

รศรางไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ : ระบบรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุดและการแสดงผล

Electric Tram Using Solar Energy : Maximum Power Point Tracking
and Monitoring System



โดย
นายพีระพัฒน์ มงคลดิษฐ์
นายภาคภูมิ วิภาสพันธ์
นายวิบูลเกียรติ สิริวรรณวงษ์

เลขที่.....
เลขทะเบียน..... 42580
วัน, เดือน, ปี..... 4 ส.ค. 2545

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2543

รถรางไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ : ระบบรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุดและการแสดงผล

**Electric Tram Using Solar Energy : Maximum Power Point Tracking
and Monitoring System**



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ทรราชไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ : ระบบรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุดและการแสดงผล

ผู้จัดทำ

1. นายพีระพัฒน์ มงคลศิษฐ์
2. นายภาคภูมิ วิภาสพันธ์
3. นายวิบูลเกียรติ สิริวรรณวงษ์



(ผศ.ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอร่างไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ : ระบบรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุดและการแสดงผล

นายพีระพัฒน์ มงคลศิษฐ์

นายภาคภูมิ วิชาสพันธ์

นายวิบูลเกียรติ สิริวรรณวงษ์

ผศ. ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

ปัจจุบันนี้มีพลังงานมากมายที่ถูกนำมาใช้ ซึ่งส่วนมากมีจำนวนจำกัดและก็ยิ่งหมดไปเรื่อยๆ พลังงานบางชนิดเราก็ได้จากการทำลายสิ่งแวดล้อมที่มีค่าและคุณประโยชน์ต่อมนุษย์ ดังนั้นได้มีการคิดค้นหาแหล่งพลังงานใหม่ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมวลมนุษยชาติ ทางออกหนึ่งก็คือแผงเซลล์สุริยะซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าแต่เราก็ประสบปัญหา คือ กำลังไฟฟ้าที่ได้ค่อนข้างต่ำ ด้วยเหตุนี้เองซึ่งงานชิ้นนี้จึงถูกสร้างขึ้นโดยวัตถุประสงค์หลักคือการดึงกำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้ค่ามากที่สุดโดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาช่วยในการทำงาน ปริมาณนิพนธ์ฉบับนี้จึงอธิบายถึงแนวทางในการดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำมาใช้งานโดยใช้หลักการของวงจรครีคัมแรงดันไฟฟ้า (Buck Converter) นอกจากนี้แล้วยังรวมถึงส่วนแสดงผลที่ใช้ในการแสดงค่าแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้า ณ ขณะใช้งานจริง(Real Time)โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมซึ่งทำให้การทำงานมีความรวดเร็วและถูกต้องมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electric Tram Using Solar Energy : Maximum Power Point Tracking and Monitoring System

Peerapat Mongkoldit

Pakpoom Vipasspan

Wiboonkiat Siriwannawong

Asst.Prof. Dr. Werachet Khan-ngern

Advisor 2000

Abstract

Nowadays , there are a lot of energies to be used. Most of them have the limited quantity. The energy has received them from demolition precious resource and environment .So new energy source is required which has no effect to anything. That is Solar Cell. There is no cost of this energy. The sunlight is able to become electricity. But one problem which is the low power, so it is necessaried to produced more power from solar cell. A new Maximum Power Point Tracking (MPPT) converter topology, base on the Parallel Power Conversion Technique (PPCT) ,to enhance the energy conversion efficiency in photovoltaic panel is analyzed and practically evaluated. The aim of this thesis is to explain how we can receive maximum power from solar cell by principle of Buck converter. Besides this, we also invent monitor to show voltage current and power real time value by using Microcontroller. So the result of this is trustful and accurate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์	1
1.2 ขอบเขตของโครงการ	1
1.3 หลักการทำงานของระบบรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุดและการแสดงผล	1
1.4 คุณสมบัติที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์	2
1.5 ตัวแปรที่สำคัญของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	4
บทที่ 2 การออกแบบโครงการ	7
2.1 หลักการออกแบบ	7
บทที่ 3 วงจรที่ใช้ในระบบรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุดและการแสดงผล	9
3.1 วงจรภาระที่ใช้หากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า	10
3.2 วงจรรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT)	11
3.3 วงจรส่งค่าเพื่อประมวลผลในส่วนแสดงผล	20
3.4 วงจรรับค่าผ่านตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล	21
3.5 วงจรแสดงผล	22
3.6 แผนผังลำดับการทำงานของโปรแกรมแสดงผล	23
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	32
4.1 ผลทดสอบหากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์ชนิด Silicon กับ Amorphous	32
4.2 ผลการทดสอบวงจรรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT)	46
4.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบการดึงพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านวงจรรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุดและการต่อโดยตรง	63
4.4 ผลการทดลองพฤติกรรมการดึงพลังงานของวงจรรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุดในลักษณะการต่อแบบอนุกรม เมื่อประยุกต์ใช้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์	65
4.5 ผลทดสอบการแสดงผล	66
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและบทวิจารณ์	68
5.1 สรุปผลการทดลอง	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 บทวิจารณ์ ปัญหาและแนวทางการแก้ไข	69
5.2.1 ปัญหาที่ประสบ	69
5.2.2 แนวทางการแก้ไข	70

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	2
รูปที่ 1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	3
รูปที่ 1.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง กับแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร และกระแสไฟฟ้าลัดวงจร	3
รูปที่ 1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรและกระแสไฟฟ้าลัดวงจร	4
รูปที่ 1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	5
รูปที่ 1.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า ณ อุณหภูมิแตกต่างกัน	5
รูปที่ 1.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า ณ ความเข้มแสงแตกต่างกัน	6
รูปที่ 2.1 ตำแหน่งบล็อกไดโอดเกรนของระบบรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุดและการแสดงผลในระบบบรรดางไฟฟ้า	7
รูปที่ 2.2 บล็อกไดโอดเกรนเฉพาะส่วนของระบบรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุดและการแสดงผล	8
รูปที่ 3.1 วงจรที่ใช้บันทึกค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์	9
รูปที่ 3.2 ตำแหน่งวงจรที่เกี่ยวข้องในระบบทั้งหมด	9
รูปที่ 3.3 วงจรการปรับค่าได้	10
รูปที่ 3.4 วงจรกำลังของวงจรรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุด	11
รูปที่ 3.5 วงจรบัคเมื่อมอสเฟตนำกระแส	11
รูปที่ 3.6 วงจรบัคเมื่อมอสเฟตหยุดนำกระแส	12
รูปที่ 3.7 กระแสของคาปาซิเตอร์	14
รูปที่ 3.8 รูปสัญญาณต่างๆในวงจร	15
รูปที่ 3.9 แสดงภาควงจรกำลังของเครื่องควบคุมกำลังสูงสุด	18
รูปที่ 3.10 วงจรรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้งานจริงซึ่งประกอบด้วยวงจรภาคกำลังและวงจรภาคควบคุมโดยใช้ ไอซี SG3524	19
รูปที่ 3.11 การส่งค่าในวงจรกำลัง	20
รูปที่ 3.12 วงจรรับค่าเพื่อประมวลผล	21
รูปที่ 3.13 วงจรแสดงค่า แรงดัน , กระแส และ กำลังไฟฟ้า	22
รูปที่ 3.14(ก) แสดงผังลำดับการทำงานหลักและผังแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า	23
รูปที่ 3.14(ข) แสดงผังลำดับการแสดงค่ากระแสและกำลังไฟฟ้า	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1	รูปวงจรที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	32
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดซิลิคอน (Silicon) ครั้งที่ 2	38
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดอมอฟัส (Amorphous) ครั้งที่ 1	41
รูปที่ 4.4	กราฟแสดงคุณสมบัติของแรงดันและกระแสไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดอมอฟัส (Amorphous) ครั้งที่ 2	45
รูปที่ 4.5	ตำแหน่งลักษณะสัญญาณแรงดันไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆในวงจร รักษากำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT)	46
รูปที่ 4.14	กราฟผลการทดลองเปรียบเทียบการดึงพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผ่านวงจรรักษากำลังไฟฟ้า	64
รูปที่ 4.15	ผลการส่งค่าแรงดันไฟฟ้า	66
รูปที่ 4.16	ผลการส่งค่ากระแสไฟฟ้า	66
รูปที่ 4.17	ค่าผลคูณจากหน้าปัดเป็นค่าวัตต์	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดซิลิคอน (Silicon) ครั้งที่ 1	33
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดซิลิคอน (Silicon) ครั้งที่ 2	36
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดชนิดชนิดอมอर्फัส (Amorphous) ครั้งที่ 1	39
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดชนิดชนิดอมอर्फัส (Amorphous) ครั้งที่ 2	42
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบการดึงพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผ่านวงจรรักษากำลังไฟฟ้า	63
ตารางที่ 4.6 แสดงพฤติกรรมกราดึงกำลังไฟฟ้าของวงจรMPPT จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แต่ละอันซึ่งต่อในลักษณะอนุกรมกัน	65

บทที่ 1

บทนำ

1.1 วัตถุประสงค์

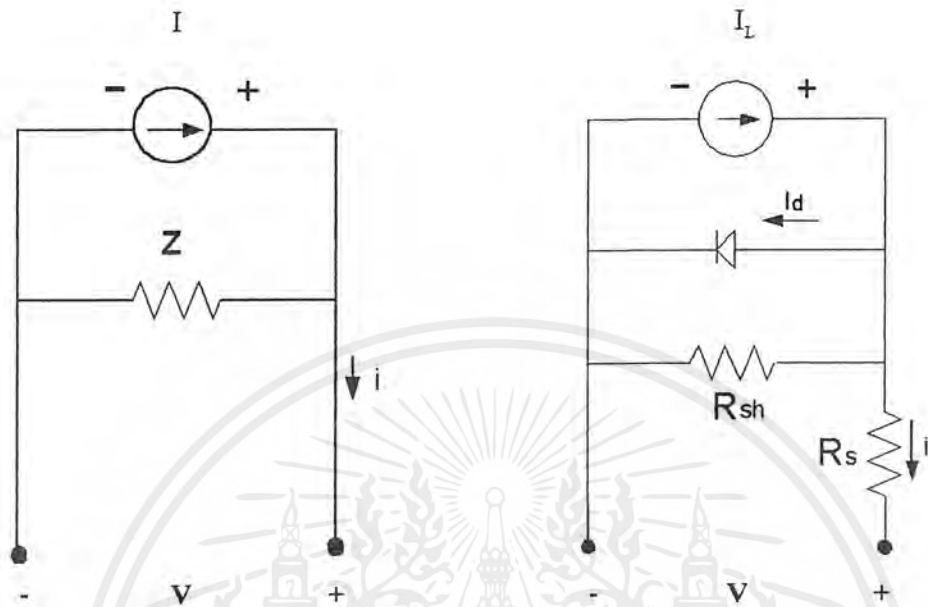
- สามารถใช้พลังงานแสงอาทิตย์ทดแทนพลังงานแบบเดิมซึ่งนับวันก็ยิ่งหมดลงเรื่อยๆ
- สามารถใช้พลังงานที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์
- นำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด
- ฝึกการทำงาน การบริหาร ตลอดจนการวางแผนงานร่วมกันเป็นกลุ่ม

1.2 ขอบเขตของโครงการ

- ศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด ซึ่งมีลักษณะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้า
- ศึกษาคุณสมบัติของวงจรรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุด เกี่ยวกับการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าขาออก (Voltage Regulation) แรงดันกระเพื่อม (Ripple Voltage) ประสิทธิภาพของวงจร (Efficiency)
- ศึกษาการดึงกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเปรียบเทียบระหว่างการต่อผ่านวงจรรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุดและการดึงกำลังไฟฟ้าโดยตรง
- สามารถแสดงระดับแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในรูปตัวเลข (7-Segments) โดยแสดงค่าในขณะใช้งานจริง (Real Time)

1.3 หลักการทำงานของระบบรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุดและการแสดงผล

พลังงานจากแสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้าได้โดยอยู่ในรูปของแหล่งกำเนิดแรงดันและกระแสไฟฟ้า ถ้าพิจารณาในกรณีอุดมคตินั้นเมื่อต่อกับภาระในกรณีที่ เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าสามารถจ่ายกระแสและพลังงานไฟฟ้าได้อย่างไม่มีขีดจำกัดขณะที่แรงดันไฟฟ้ามีค่าคงที่ ส่วนในกรณีที่แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าก็สามารถให้แรงดันและพลังงานไฟฟ้าได้ไม่มีขีดจำกัดขณะที่กระแสไฟฟ้ามีค่าคงที่ เราสามารถเขียนวงจรสมมูลของแหล่งกำเนิดแรงดันและกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ดังนี้



แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า (Current Source)

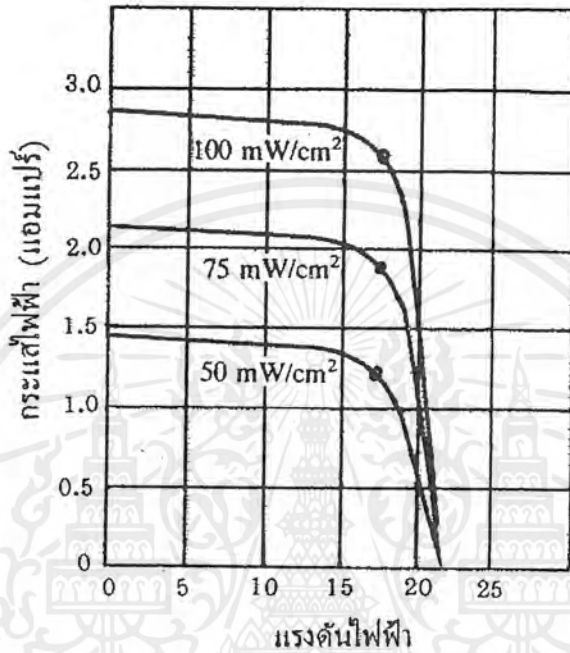
แหล่งจ่ายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Generator)

รูปที่ 1.1 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานโดยต้องการให้ได้รับกำลังงานสูงสุดเท่าที่ความสามารถของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้ ต้องมีการกำหนดจุดการทำงานเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้ามากที่สุดซึ่งได้มาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการต่อภาระที่สามารถปรับค่าได้เพื่อให้ได้ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit Current) จนถึงแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (Open Circuit Voltage)

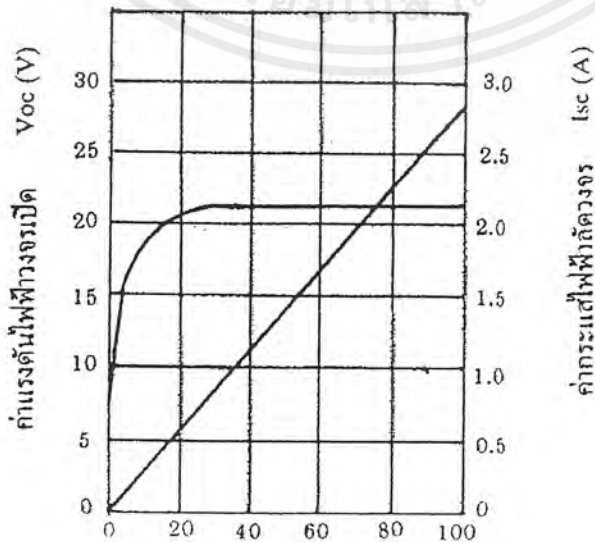
1.4 คุณสมบัติที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ มี 3 ประการ คือ

1.4.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะให้กระแสไฟฟ้าคงที่ ทั้งกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์กันจากกราฟ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีจุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ ตำแหน่งที่วงกลมตามรูป



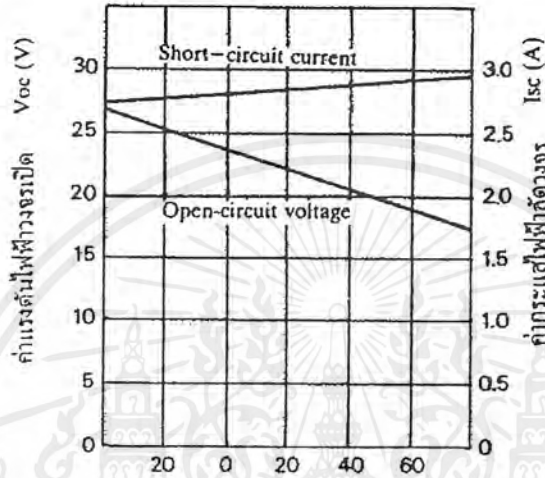
รูปที่ 1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน ไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

1.4.2 กระแสจะเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อความเข้มแสง ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าแทบจะไม่ความสัมพันธ์กับความเข้มแสง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 รูปที่ 1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสง กับแรงดัน ไฟฟ้าเปิดวงจร

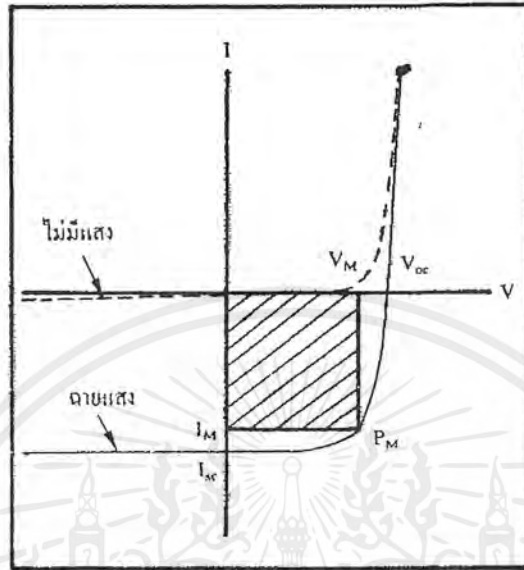
- 1.4.3 กระแสไฟฟ้าแทบจะไม่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น



รูปที่ 1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรและกระแสไฟฟ้าลัดวงจร

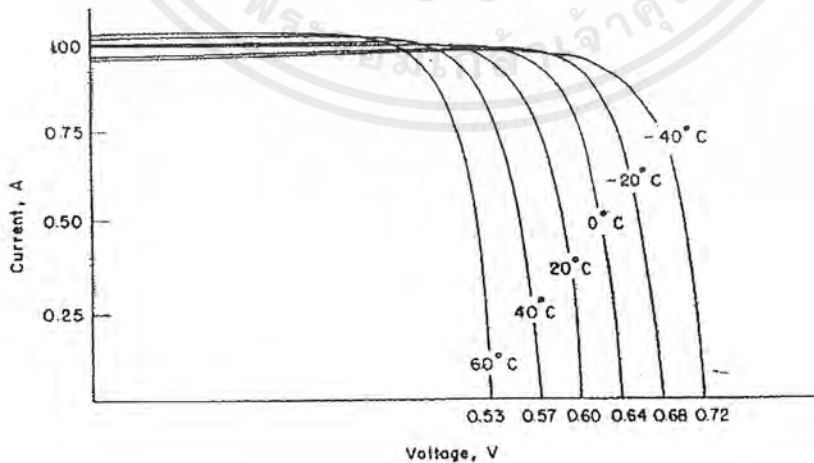
1.5 ตัวแปรที่สำคัญของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างหลักของเซลล์แสงอาทิตย์ได้แก่ รอยต่อพีและเอ็น (P-N Junction) ซึ่งมีสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าเช่นเดียวกับไดโอด (Diode) ทั่วไป ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีลักษณะของกราฟตามเส้นประในรูปที่ 5 ขณะไม่ถูกแสงและเมื่อมีการฉายมาตกกระทบบนรอยต่อจะเกิดปรากฏการณ์ โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic) ทำให้กราฟของแรงดันและกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนไปเต็มเส้นในรูปที่ 5 พื้นที่ภายใต้เส้นที่แรเงา คือ กำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ จุด P_m คือ จุดที่ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด



รูปที่ 1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

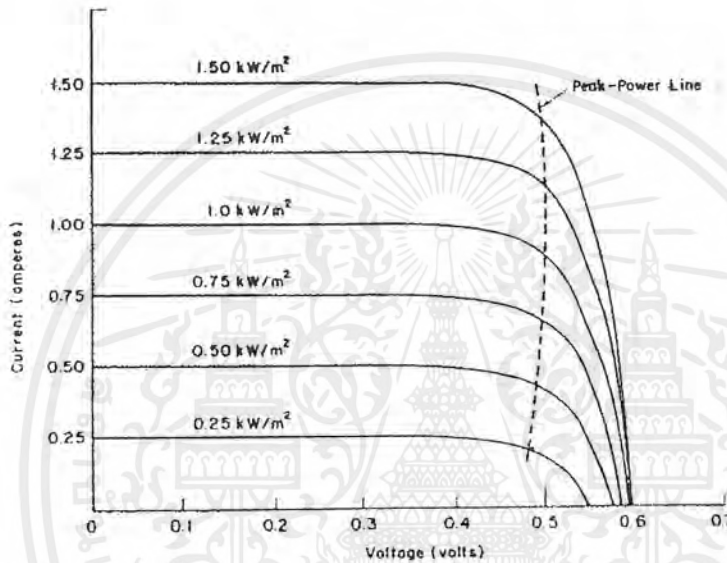
ในการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานจริง เซลล์แสงอาทิตย์จะได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วย ดังนั้นอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จึงเพิ่มขึ้น ผลที่ตามมา คือ คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงไป โดยแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรมีค่าลดลง



รูปที่ 1.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า ณ อุณหภูมิแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำงานจำเป็นต้องมีพลังงานมากกระตุ้นให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระ (Free Electron) และ โฮล (Hole) ดังนั้นถ้าแสงที่ตกกระทบบมีความเข้มสูงมากก็จะทำให้เกิดอิเล็กตรอน (Free Electron) และ โฮล (Hole) สูงขึ้นด้วย จึงกล่าวได้ว่าปริมาณของกระแสไฟฟ้าจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มแสงด้วย



รูปที่ 1.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า ณ ความเข้มแสงแตกต่างกัน

ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องติดตั้งให้มีมุมความลาดเอียงและทิศทางของแผงที่เหมาะสมเพื่อที่จะได้รับแสงแดดมากที่สุด สำหรับประเทศไทยค่ามุมลาดเอียงที่ดีที่สุดคือ 15 องศา โดยมีทิศทางหันหน้าไปทางทิศใต้แต่ถ้ามีการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปติดตั้งหลังคาบ้านมุมเอียงของแผงจะอยู่ในช่วง 15-45 องศา

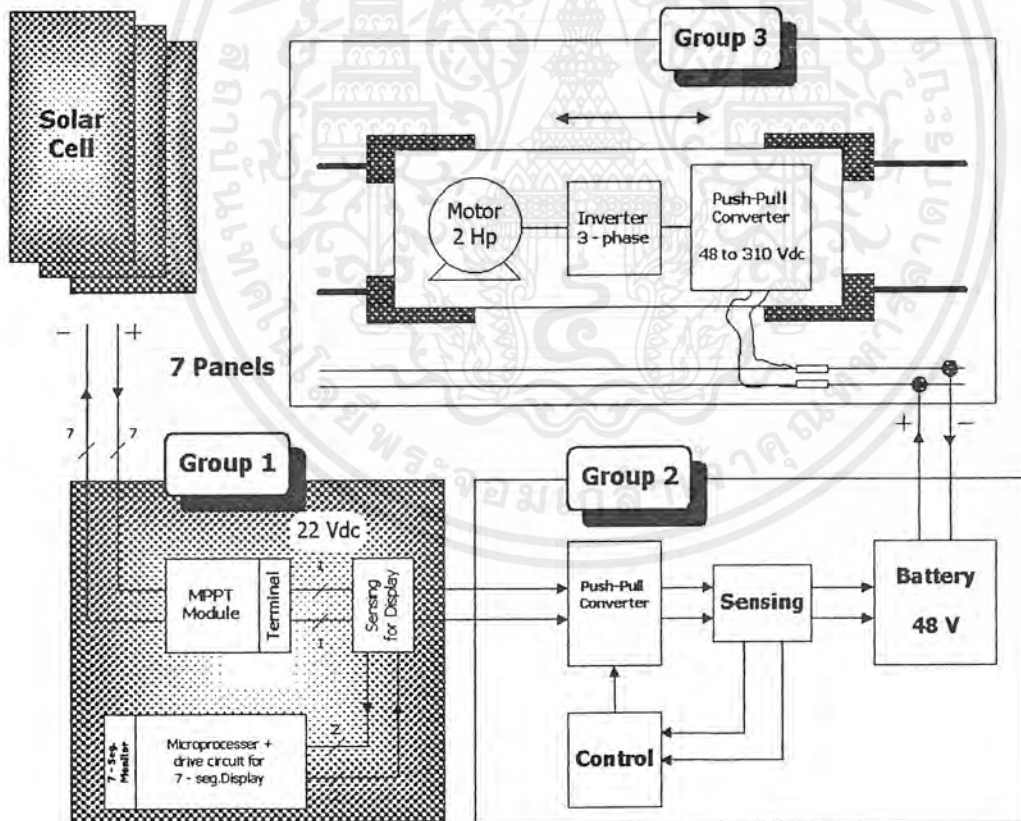
อีกวิธีหนึ่งที่ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุดคือ การปรับแผงให้เอียงตามการโคจรของดวงอาทิตย์โดยพยายามให้แสงทำมุม 90 องศา กับแผง แต่วิธีนี้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงติดตั้งแผงให้มีมุมความลาดเอียงค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น

บทที่ 2

การออกแบบโครงงาน

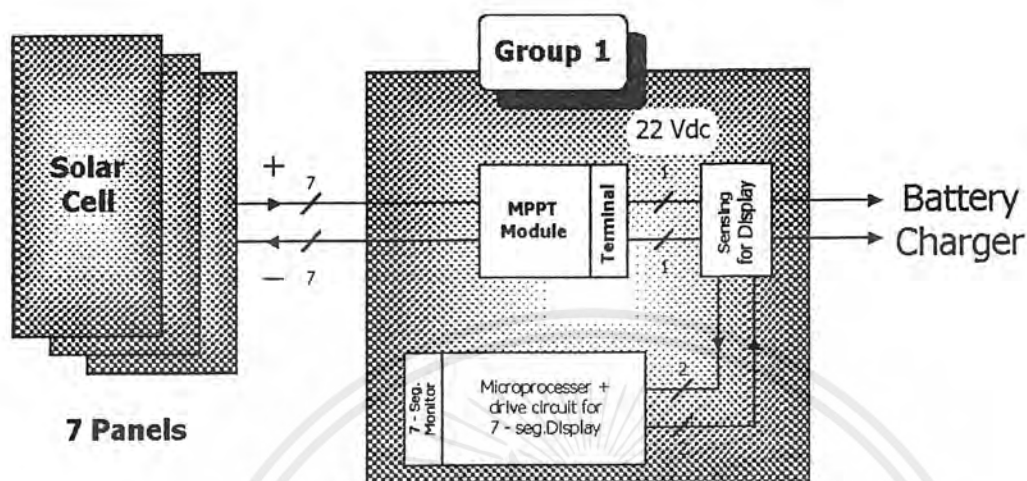
2.1 หลักการออกแบบ

พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกส่งไปยังระบบรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking : MPPT) โดยใช้หลักการการทำงานของวงจรระดับแรงดันไฟฟ้าหรือบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter) จากการศึกษาและทดลองเกี่ยวกับคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าช่วงที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดจะอยู่ในช่วง 68-70 % ของระดับแรงดันไฟฟ้าขณะเปิดวงจร (Open circuit Voltage) จากนั้นกำลังไฟฟ้าที่ได้หลังจากวงจรรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT) จะถูกส่งไปที่ชุดอัปเดตประจุแบตเตอรี่



รูป 2.1 ตำแหน่งบล็อกโคะแกรมของระบบรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุดและการแสดงผลในระบบโครงข่ายไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



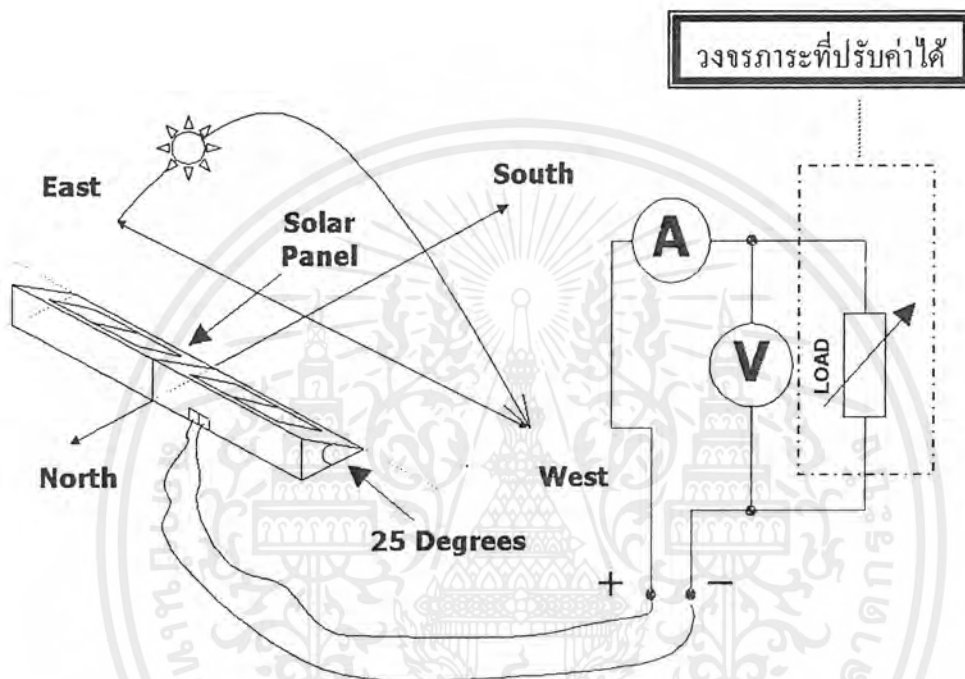
รูป 2.2 บล็อกไดอะแกรมเฉพาะส่วนของระบบรักษาพลังงานไฟฟ้าสูงสุดและการแสดงผล

แผงเซลล์สุริยะที่นำมาใช้มีอยู่ 7 แผง โดยแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดอะมอร์ฟัส (Amorphous) 3 แผงและชนิดซิลิคอน (Silicon) 4 แผง โดยแต่ละแผงต่อเข้ากับวงจรรักษาพลังงานไฟฟ้าสูงสุดโดยมีขนาดแรงดันขาออกแต่ละวงจร 11 โวลต์ จากนั้นนำแผงชนิดเดียวกันอนุกรมอย่างละ 2 แผง และต่อขนานกัน 3 ชุด ส่วนที่เหลืออีก 1 แผงถูกนำไปใช้ในการเลี้ยงวงจรส่วนแสดงผล ขนาดแรงดันขาออกที่ได้มีค่าประมาณ 22 โวลต์ ตามรูปที่ 2.2 จากนั้นขนาดแรงดันขาออกที่ได้จะถูกส่งไปยังวงจรอัดประจุแบตเตอรี่

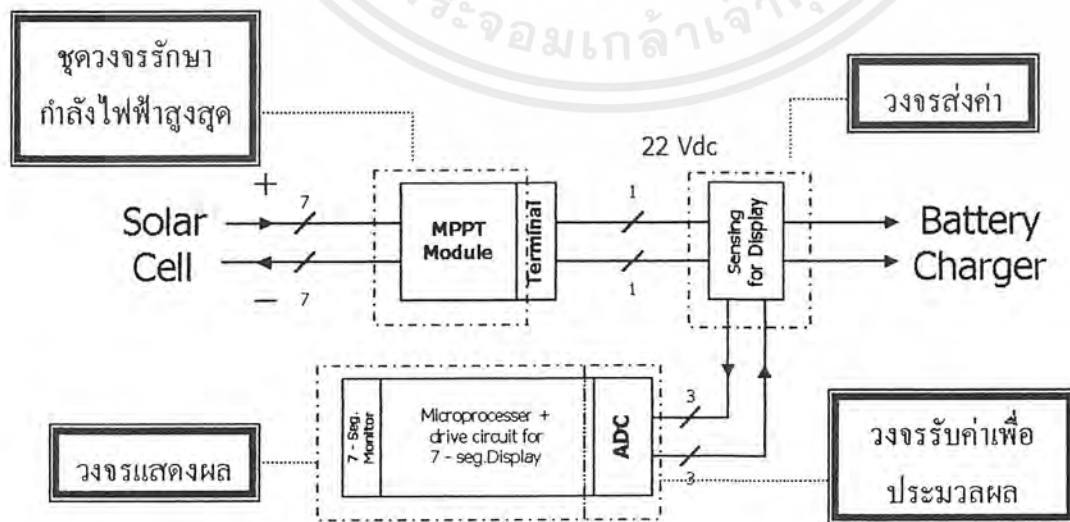
วงจรที่ทำหน้าที่แสดงผลนั้นจะใช้แผงเซลล์สุริยะ 1 แผง ในการให้ไฟเลี้ยง โดยจะต่อหลังจากวงจรรักษาระดับแรงดันสูงสุด ในส่วนนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาควบคุมสำหรับรายละเอียดปลีกย่อยจะกล่าวในส่วนวงจรการแสดงผลในบทที่ 4

บทที่ 3

วงจรที่ใช้ในระบบรักษาค่าแรงดันไฟฟ้าสูงชุดและการแสดงผล



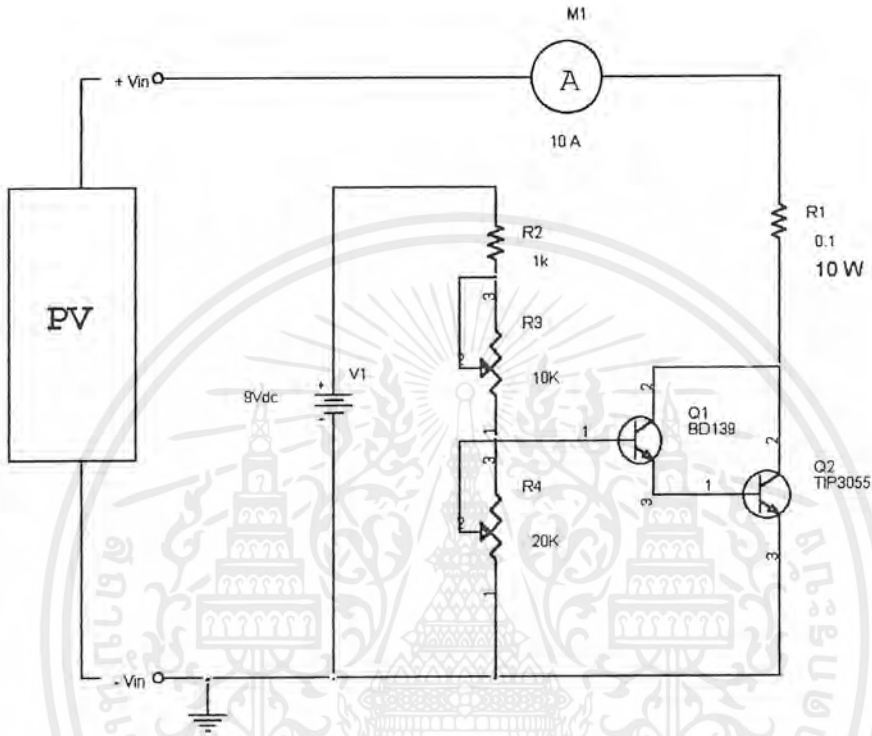
รูปที่ 3.1 วงจรที่ใช้บันทึกค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งวงจรที่เกี่ยวข้องในระบบทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

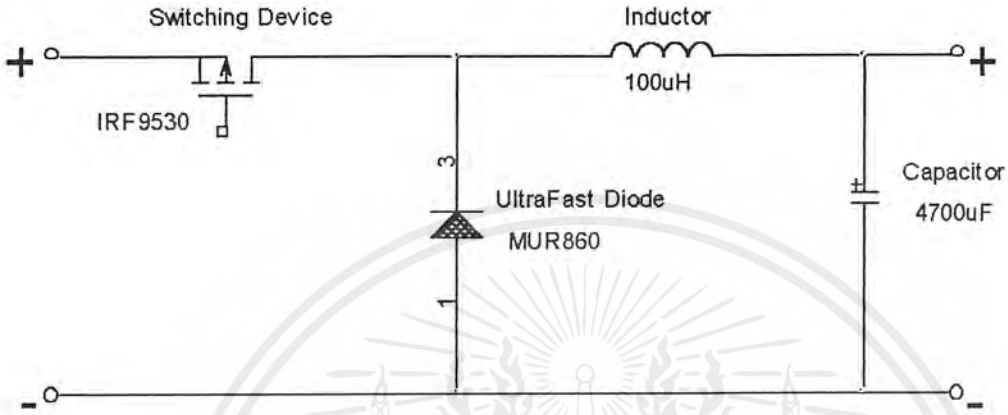
3.1 วงจรการะที่ปรับค่าได้ที่ใช้หากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 3.3 วงจรการะปรับค่าได้

วงจรนี้นำมาใช้ในการหากราฟความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดัน (I-V curve) หลักการทำงานคือ ถ้าให้กระแสเบสที่ Q_2 มีค่ามากก็จะทำให้มีกระแสไหลผ่านได้มากขึ้น ซึ่งเปรียบเสมือนว่ามีภาระ (Load) น้อย ในทางกลับกันถ้าให้กระแสเบสน้อยก็จะมีผลทำให้กระแสไหลผ่านน้อยซึ่งเปรียบเสมือนว่ามีภาระ (Load) มาก สำหรับ Q_1 ที่มาต่อนั้นจะใช้หลักการของคาร์ลิงตัน (Darlington) ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มขนาดกระแสได้มากขึ้น สำหรับความต้านทานปรับค่าได้นั้นนำมาใช้ในการควบคุมกระแสขาเบส

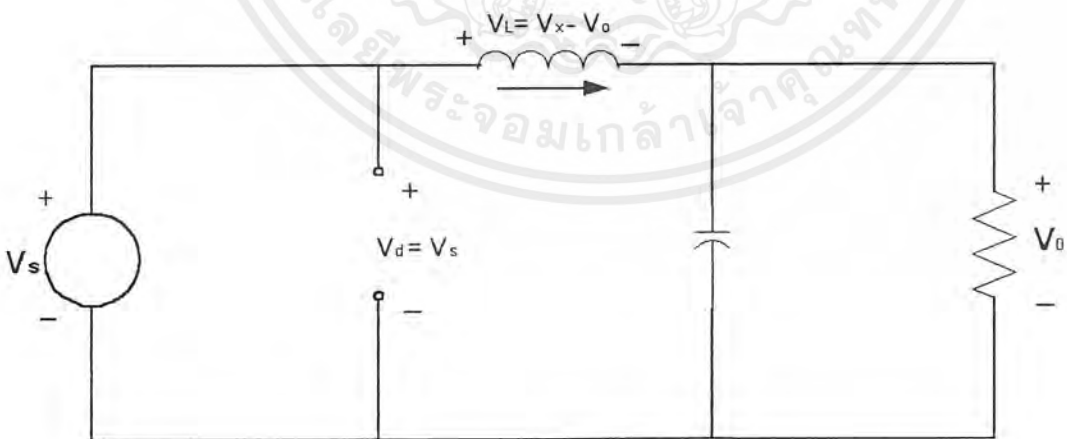
3.2 วงจรรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT) โดยใช้หลักวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter)



รูปที่ 3.4 วงจรกำลังของวงจรรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุด

การทำงานของวงจรจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนโดยแบ่งตามการทำงานของมอสเฟต โดยแบ่งได้ดังนี้

3.2.2 สวิตช์ปิด (มอสเฟตนำกระแส)



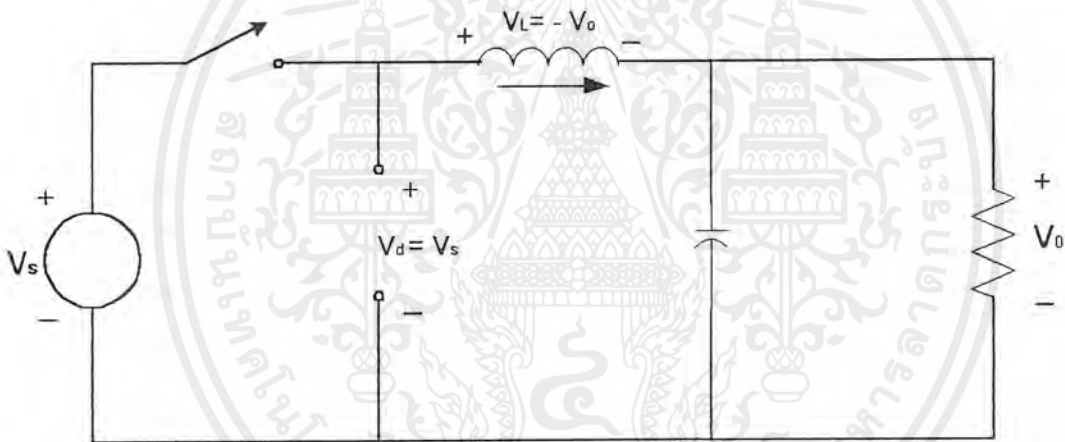
รูปที่ 3.5 วงจรบัคเมื่อมอสเฟตนำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมอสเฟตนำกระแสทำให้ไดโอดได้รับการรีเวอร์สไบอัส จากกฎของเคอร์ชอฟท์ สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} v_L &= V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt} \\ \frac{\Delta i_L}{\Delta t} &= \frac{V_s - V_o}{V_L} \\ (\Delta i_L)_{\text{closed}} &= \left(\frac{V_s - V_o}{V_L} \right) DT \end{aligned}$$

3.2.3 สวิตช์เปิด (มอสเฟตหยุดนำกระแส)



รูปที่ 3.6 วงจรบัคเมื่อมอสเฟตหยุดนำกระแส

เมื่อมอสเฟตหยุดนำกระแส กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (i_L) ไม่สามารถเปลี่ยนทิศการไหลอย่างทันทีทันใดได้ ดังนั้นไดโอดจึงได้รับฟอร์เวอร์สไบอัส จึงทำให้

$$v_L = -V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (3.3)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{-V_o}{L}$$

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{-V_o}{L}$$

$$\Delta i_{L(\text{open})} = -\left(\frac{V_o}{L} \right) (1-D)T \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำงานที่สภาวะคงตัว กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นจากสมการ (3.2) กับ (3.4) ได้

$$\begin{aligned} (\Delta i_L)_{\text{closed}} + (\Delta i_L)_{\text{open}} &= 0 \\ \left(\frac{V_s - V_o}{L}\right)DT - \left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T &= 0 \\ V_o &= V_s D_t \\ \therefore D_t &= \frac{V_o}{V_s} \end{aligned} \quad (3.5)$$

กระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ มีค่าเท่ากับกระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านโหลดเนื่องจากกระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านคาปาซิเตอร์มีค่าเท่ากับศูนย์ดังนั้น

$$I_L = I_R = 0$$

ค่ากระแสที่สูงสุดและต่ำสุดที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} I_{\text{max}} &= I_L + \frac{\Delta I_L}{2} \\ &= \frac{V_o}{R} + \frac{1}{2} \left[\frac{V_o}{V_L} (1-D)T \right] = V_o \left[\frac{1}{R_0} + \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \\ I_{\text{min}} &= I_L - \frac{\Delta I_L}{2} \\ &= \frac{V_o}{R} - \frac{1}{2} \left[\frac{V_o}{V_L} (1-D)T \right] = V_o \left[\frac{1}{R_0} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \end{aligned}$$

สำหรับของเขตที่พิจารณาถึงกระแสไหลต่อเนื่องนั้นดูได้จากสมการของ I_{min} ค่า I_{min} ต้องมีค่ามากกว่าศูนย์ถึงทำให้กระแสไหลต่อเนื่องได้จากความสัมพันธ์นี้ทำให้เราสามารถหาค่าของ L ได้

$$\begin{aligned} I_{\text{min}} &= 0 = V_o \left[\frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \\ L_{\text{min}} &= \frac{(1-D)R}{2f} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_i I_L &= \frac{\left(\frac{V_i}{1-D}\right)^2}{R} = \frac{V_i^2}{(1-D)^2 R} \\ \therefore I_L &= \frac{V_i}{(1-D)^2 R} \end{aligned} \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 หากระแสกระแสเพิ่ม (ΔI)

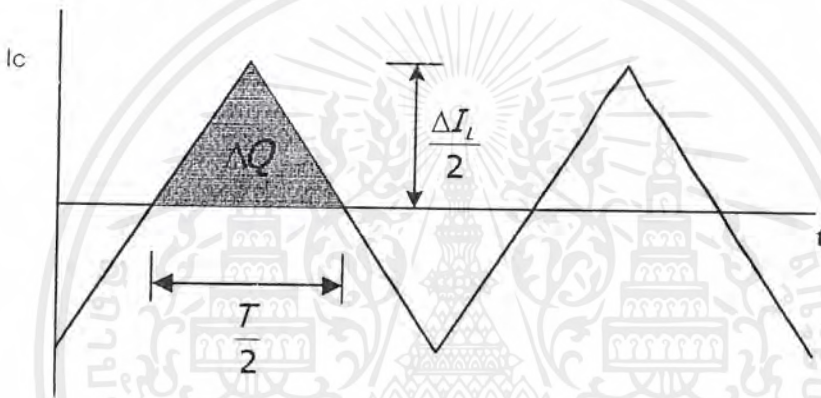
ขณะที่กระแสในคาร์ปาคิเตอร์มีค่าเป็นบวก คาร์ปาคิเตอร์จะทำหน้าที่อัดประจุโดย

$$Q = CV_0$$

$$\Delta Q = C\Delta V_0$$

$$\Delta V = \frac{\Delta Q}{C}$$

3.2.5 หาแรงดันกระแสเพิ่ม (ΔV_0)



รูปที่ 3.7 กระแสของคาปาซิเตอร์

$$|\Delta Q| = \frac{1}{2} \left(\frac{T}{2} \right) \left(\frac{\Delta I_L}{2} \right) = \frac{T\Delta I_L}{8} \quad (3.12)$$

จะได้ว่า

$$\Delta V_0 = \frac{T\Delta I_L}{8C}$$

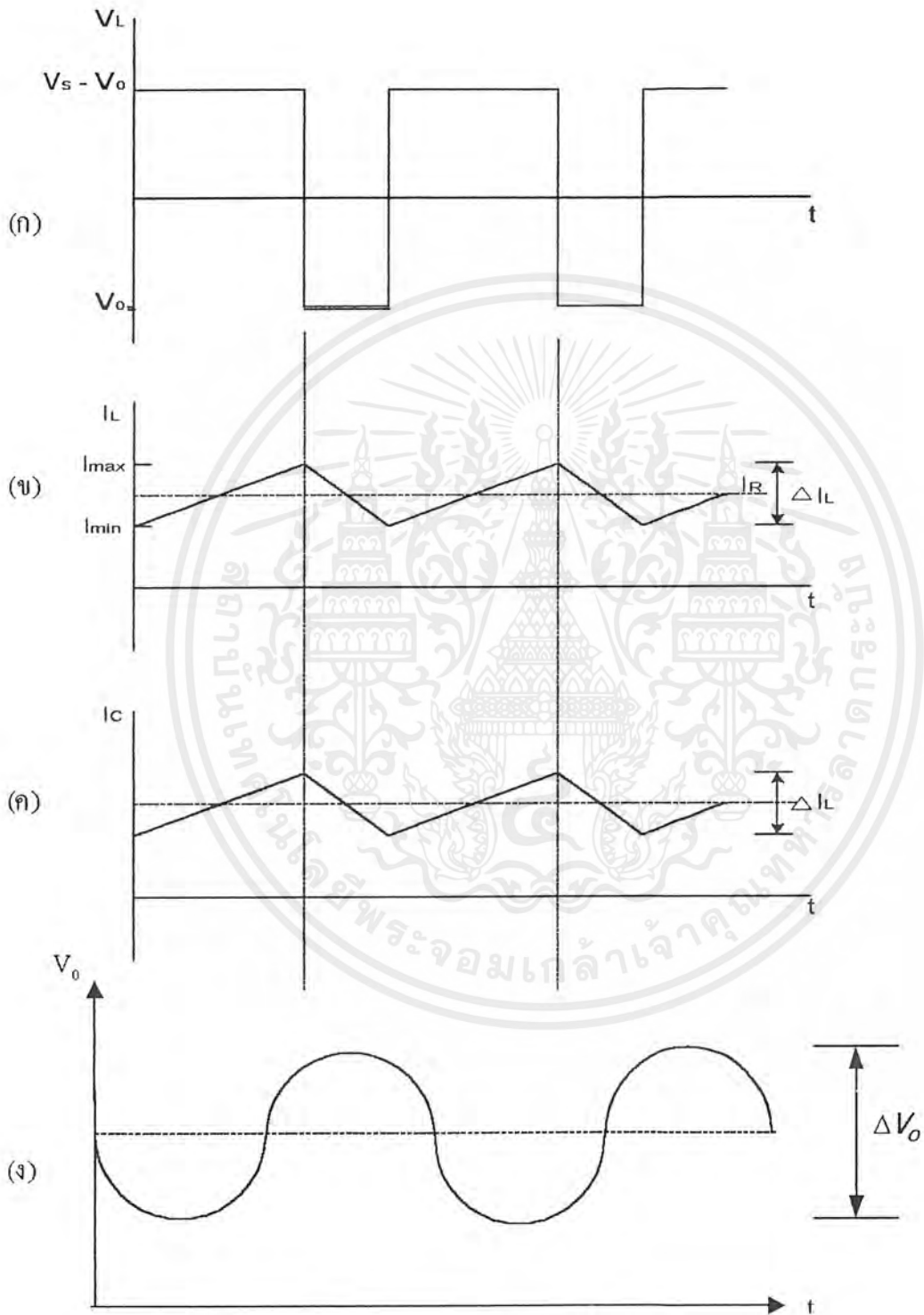
จาก

$$\Delta i_{L(\text{open})} = \left(\frac{V_0}{L} \right) (1-D)T$$

ดังนั้น

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{1-D}{8LCf^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 รูปสัญญาณต่างๆในวงจร (ก)แรงดันกรอมตัวเหนี่ยวนำ (ข)กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ
 เอกสารนี้(ค)กระแสไหลผ่านตัวเก็บประจุ (ง)แรงดันกระเพื่อมขาออก อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 การออกแบบ

กำหนด

$$V_i = 18 \text{ V (ประมาณแรงดันขณะเปิดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์)}$$

$$R = 10 \Omega \text{ (ประมาณค่าความต้านทานของภาระ คือแบตเตอรี่)}$$

$$\text{Duty Cycle (D)} = 0.7, f = 40 \text{ kHz}, \frac{\Delta V_o}{V_o} < 0.02$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ } V_o &= V_s D \\ &= 18 \times 0.7 \\ &= 12.6 \text{ V.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ } L_{\min} &= \frac{(1-D)R}{2f} \\ &= \frac{(1-0.7)(10)}{2 \times 40 \times 10^3} \\ &= 37.5 \mu\text{H} \end{aligned}$$

เผื่อค่าความมั่นใจว่าวงจรจะทำงานในโหมดกระแส(ในตัวเหนี่ยวนำ)ต่อเนื่องจึงคิดเพิ่ม 25% ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำที่ใช้คือ

$$\begin{aligned} L &= 37.5 \times 1.25 \\ &= 46.8 \mu\text{H} \end{aligned}$$

(หมายเหตุ จากการจำลองใช้งานในโปรแกรม Orcad พบว่าค่าความเหนี่ยวนำที่เหมาะสมมีค่าราว 100 μH จึงตัดสินใจใช้ค่า 140 μH)

กระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำคือ

$$\begin{aligned} I_L &= \frac{V_o}{R} = \frac{12.6}{10} = 1.26 \\ \Delta I_L &= \left(\frac{V_s - V_o}{L} \right) DT \\ &= \left(\frac{18 - 12.6}{140 \times (10)^{-6}} \right) (0.7) \left(\frac{1}{40000} \right) \\ &= 0.675 \text{ A. (หากใช้ค่าความเหนี่ยวนำ 46.8 μH จะได้ 2.02 A)} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

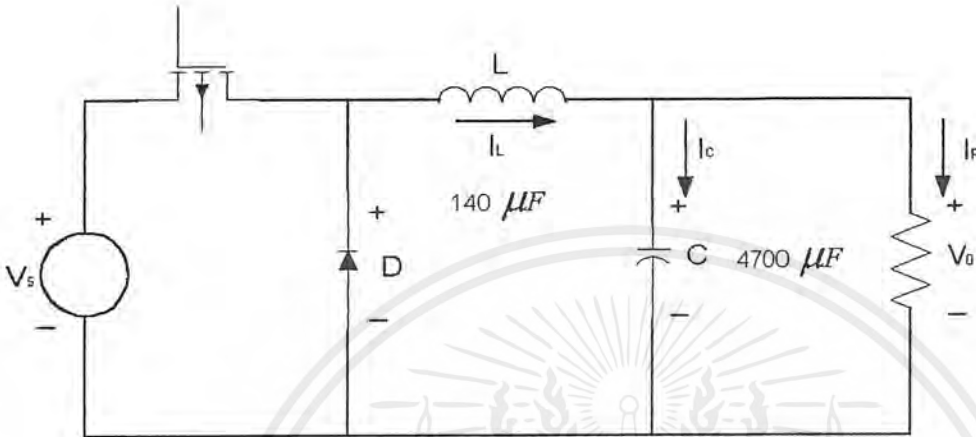
$$\begin{aligned}
 I_{\max} &= I_L + \frac{\Delta I_L}{2} \\
 &= 1.26 + 0.3375 \\
 &= 1.6 \text{ A.} \\
 I_{\min} &= I_L - \frac{\Delta I_L}{2} \\
 &= 1.26 - 0.3375 \\
 &= 0.923 \text{ A.}
 \end{aligned}$$

หาค่าของตัวเก็บประจุมากรองแรงดันกระแสเฟืองที่เอาต์พุต จากสมการ (3.12)

$$\begin{aligned}
 \frac{\Delta V_o}{V_o} &= \frac{1-D}{8LCf^2} \\
 C &= \frac{1-D}{8L\left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right)f^2} = \frac{1-0.7}{8 \times 140 \times 10^{-6} \times 0.02 \times 40000^2} \\
 &= 8.37 \mu\text{F}
 \end{aligned}$$

(หมายเหตุ จากการจำลองใช้งานในโปรแกรม Orcad พบว่าค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมมีค่า
ราว 1500 μF จึงตัดสินใจใช้ค่า 1600 μF แต่ได้มีการปรับเมื่อนำไปใช้จริงและในที่สุด
ใช้ค่า 4700 μF)

\therefore เลือกใช้ $L = 140 \mu\text{H}$, $C = 4700 \mu\text{F}$, โดย $V_s = 18 \text{ V}$, $V_o = 12.6 \text{ V}$



รูปที่ 3.9 แสดงภาพวงจรกำลังของเครื่องควบคุมกำลังสูงสุด

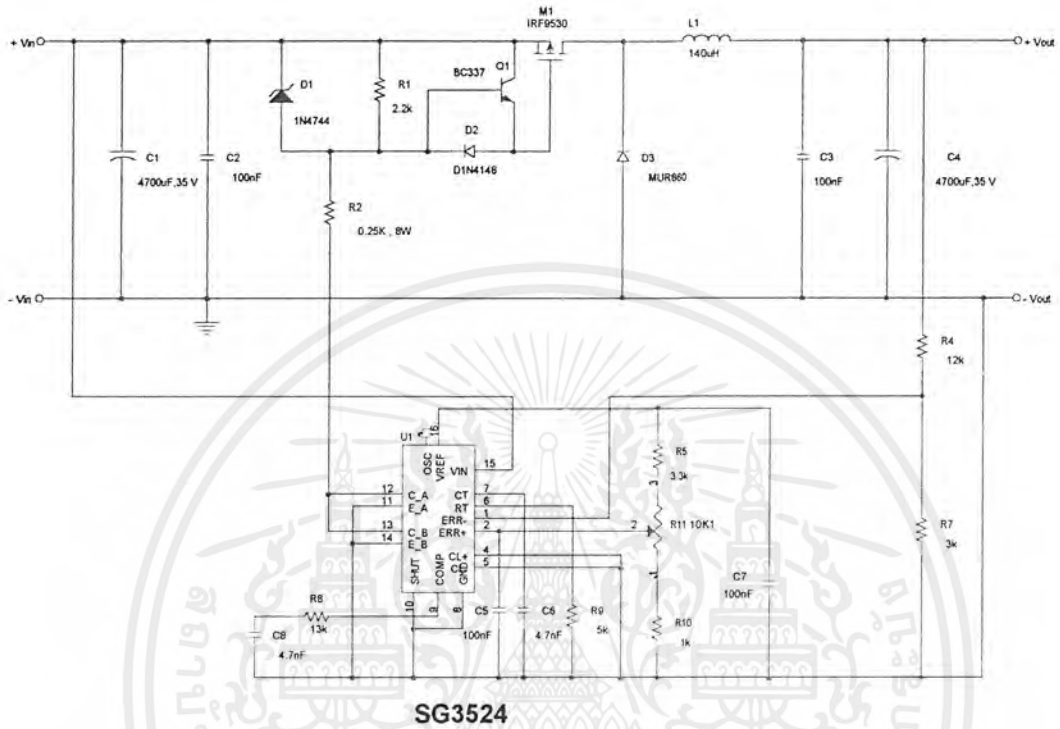
จากรูปวงจรแสดงวงจรกำลังสูงสุดภาคกำลังนั้นจะแสดงให้เห็นถึงลักษณะการต่อและอุปกรณ์ต่างๆที่อยู่ในวงจร ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ตัวเก็บประจุ (C) เป็นตัวกรองแรงดันด้านขาออก (Output Filter) จะต่อขนานกับโหลด เพื่อกรองแรงดันขาออกให้เรียบ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่จ่ายกระแสให้กับโหลดได้ด้วย โดยขนาดของตัวเก็บประจุ C ที่ใช้เท่ากับ $4700 \mu\text{F}$ 35 V.

2) มอสเฟต (Mosfet) ทำหน้าที่ในการสวิตซ์ซึ่งไฟเข้าสู่โหลดโดยจะได้รับสัญญาณควบคุมจากส่วนขยายสัญญาณควบคุม โดยมอสเฟตที่ใช้เป็นพาวเวอร์มอสเฟต เบอร์ IRF9530 สามารถทนกระแสได้ 20 A (ดู spec. ที่ภาคผนวก)

3) ตัวเหนี่ยวนำ (L) ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับโหลด ช่วยกรองและป้องกันการกระชากของกระแส ในช่วงที่ Mosfet turn off อีกด้วย

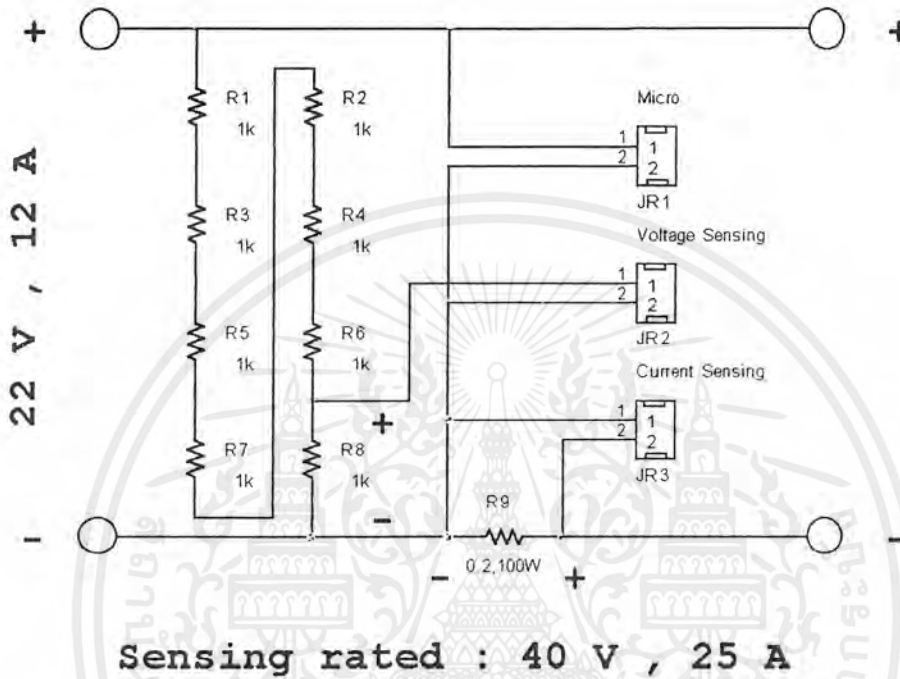
4) ไดโอด (D) ทำหน้าที่เป็น Free Wheeling Diode ในช่วงที่ มอสเฟตหยุดนำกระแส ทำให้กระแสไหลผ่านโหลดอย่างต่อเนื่อง โดยวงจรนี้ใช้ Ultra fast diode เบอร์ MUR860 ซึ่งทนกระแสได้ 15 A (ดูการใช้งานที่ภาคผนวก)



รูปที่ 3.10 วงจรรักษากำลังไฟสูงสุดที่ใช้งานจริงซึ่งประกอบด้วย วงจรภาคกำลังและวงจรภาคควบคุมโดยใช้ ไอซี SG3524

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วงจรส่งค่าเพื่อประมวลผลในผ่านแสดงผล

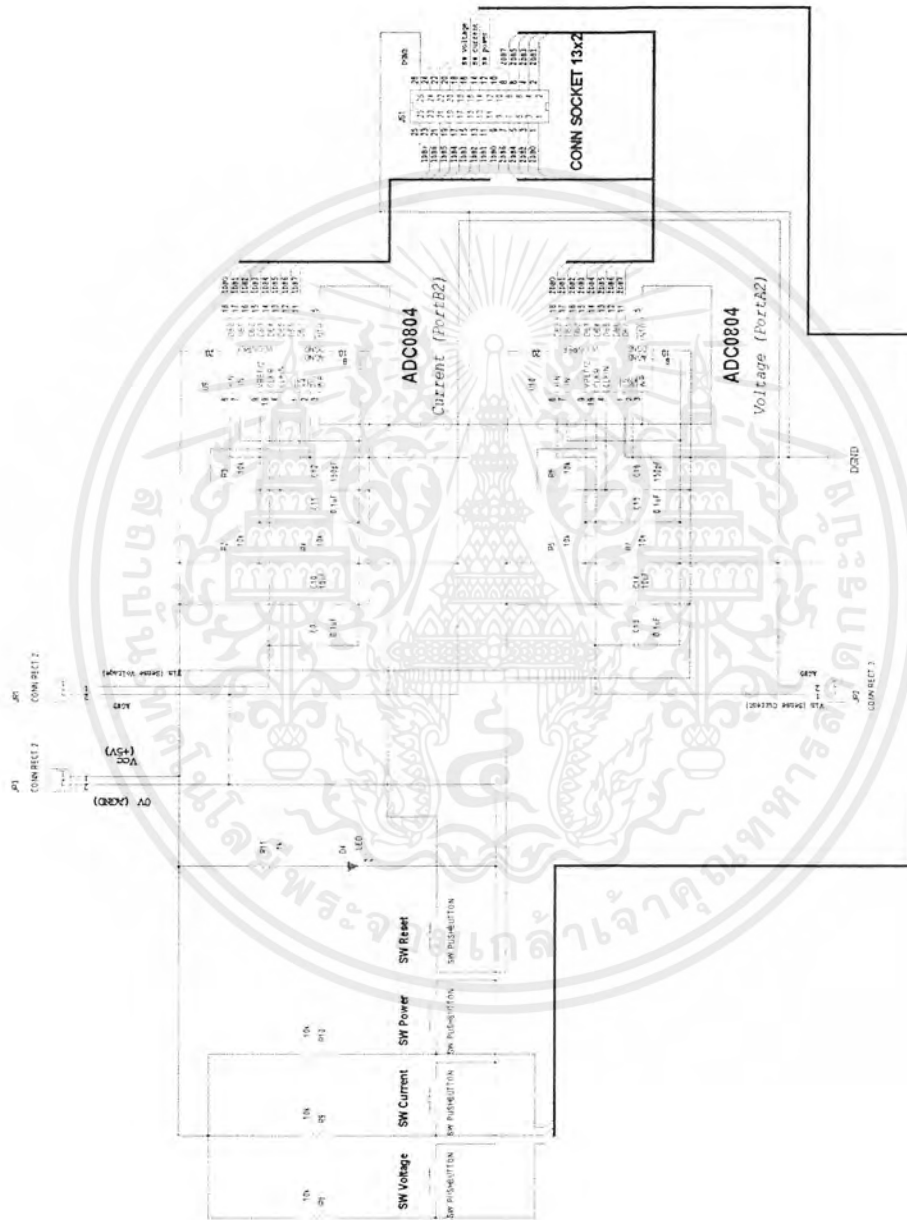


รูปที่ 3.11 การส่งค่าในวงจรกำลัง

วงจรข้างต้นทำหน้าที่ส่งสัญญาณจากวงจรกำลังไปเพื่อแสดงค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า โดยมีหลักการทำงาน คือ แบ่งระดับแรงดันในวงจรกำลังเป็น 8 ส่วน (ในที่นี้กำหนดพิกัดแรงดันในวงจรกำลังมีค่า 40 โวลต์) ทำให้แรงดันคร่อมค่าความต้านทาน 1 กิโลโอห์มมีค่า 5 โวลต์ และเป็นพิกัดระดับแรงดันป้อนเข้าสูงสุดของตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter) ที่สามารถทำงานได้ตามปกติ นำค่าแรงดันที่ตกคร่อมในตัวต้านทาน 1 ส่วนไปใช้ในการแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าของวงจรกำลัง โดยคูณกลับในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนั้นใช้ค่าแรงดันคร่อมความต้านทานขนาด 0.2 โอห์ม เพื่อนำไปแปลงสำหรับแสดงค่ากระแสโดยแปลงค่ากลับในไมโครคอนโทรลเลอร์อีกเช่นเคย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

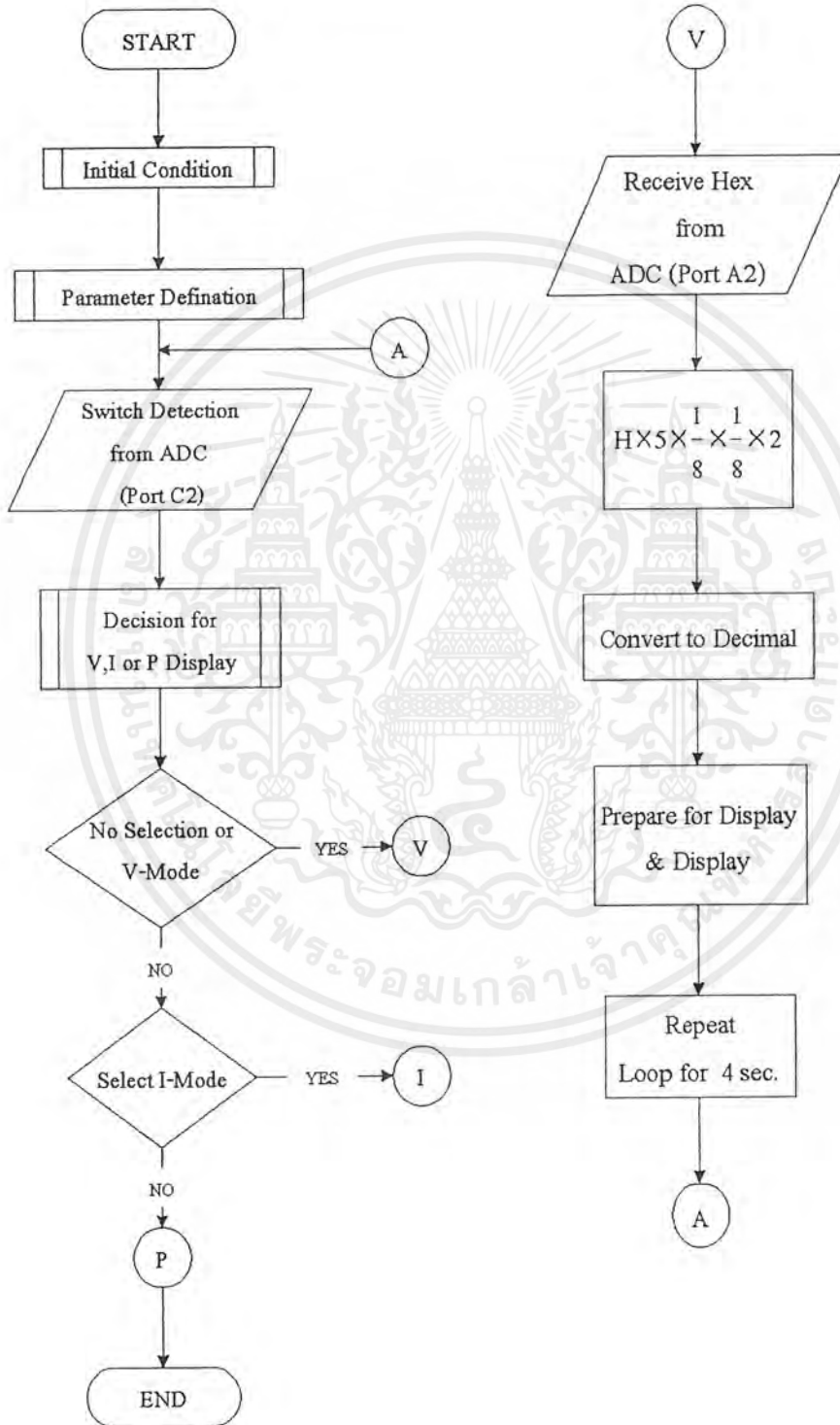
3.4 วงจรรับค่าผ่านตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter) สำหรับประมวลผล



รูปที่ 3.12 วงจรรับค่าเพื่อประมวลผล

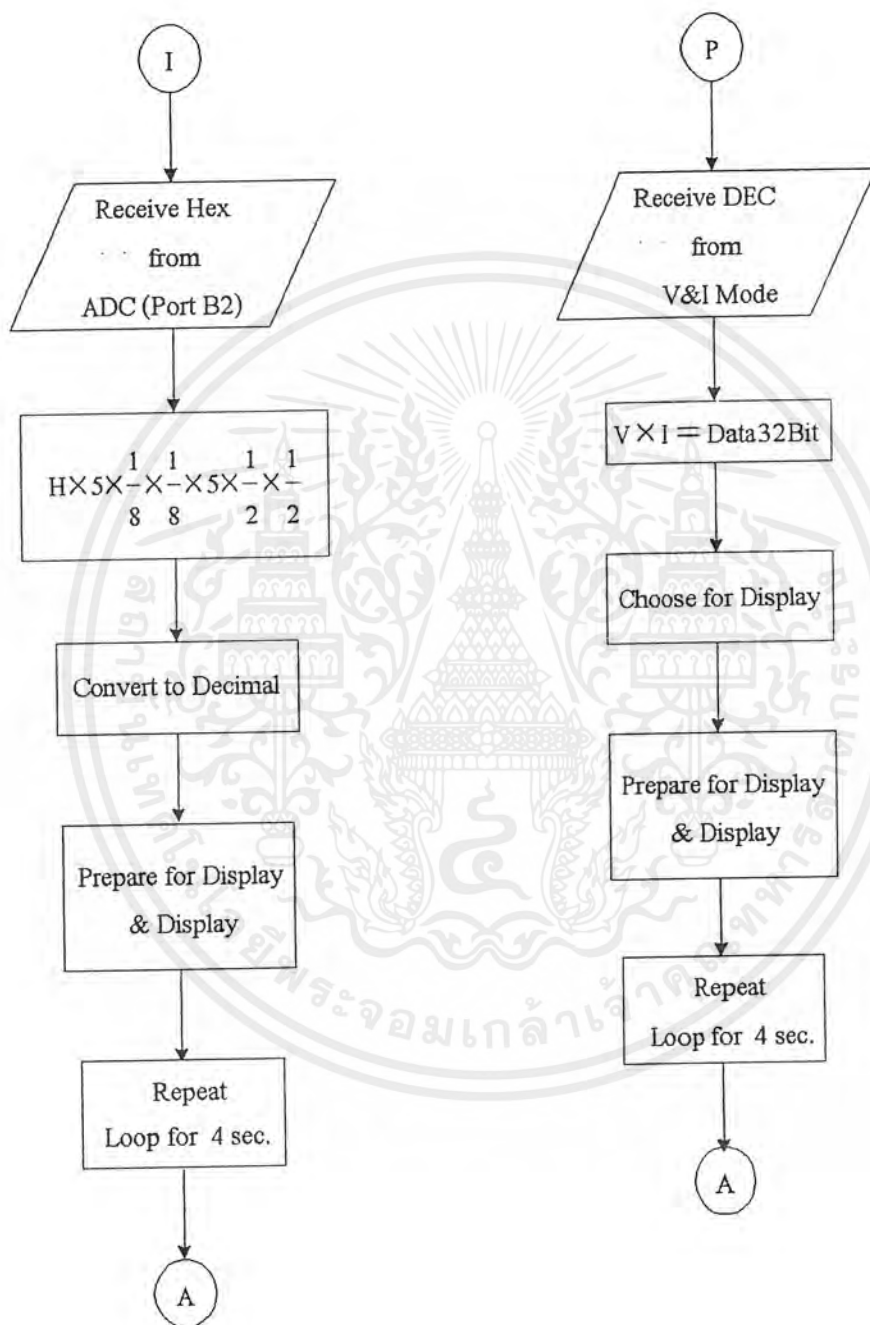
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 แผนผังลำดับการทำงานของโปรแกรมแสดงผล



รูปที่ 3.14(ก) แผนผังลำดับการทำงานหลักและผังแสดงค่าแรงดัน ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14(ข)ผังลำดับการแสดงค่ากระแสและกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.1 ตัวอย่างโปรแกรมกำหนดค่าเริ่มต้น (Initial Condition)

```

ORG      0000H

MOV      PSW,#10H
MOV      IE,#00H

MOV      DPTR,#0F803H      ; SET 8255 PORT1 FOR
MOV      A,#80H           ; OUTPUT ALL
MOVX     @DPTR,A

MOV      DPTR,#0FC03H      ; SET 8255 PORT2 FOR
MOV      A,#9BH           ; INPUT ALL
MOVX     @DPTR,A

```

3.6.2 ตัวอย่างโปรแกรมตรวจสอบสถานะสวิทช์จากวงจรแปลงค่าอนาล็อกเป็นดิจิทัล (Switch Detection from ADC)

```

MOV      DPTR,#0FC02H      ; PORT C2
MOVX     A,@DPTR          ; Move Selection to Accumulator
LCALL    DELAY
ORL      A,#1EH           ; First Check for No Selection
CJNE     A,#0FFH,CHECK
SJMP     VOL              ; Enter Voltage Mode for No selection

```

CHECK:

```

JNB      ACC.6,VOL0       ; Check for Voltage Mode Selection
JNB      ACC.5,CUR0      ; Check for Current Mode Selection
JNB      ACC.4,POW0      ; Check for Power Mode Selection

```

```

VOL0:
    SJMP    VOL1
CUR0:
    LJMP    CUR1
POW0:
    LJMP    POW1
...
DELAY:
    MOV     R3,#08H
DELAY1:
    MOV     R2,#00H
DELAY2:
    DJNZ    R2,DELAY2
    DJNZ    R3,DELAY1
    RET

```

3.6.3 ตัวอย่างโปรแกรมรับค่าจากวงจรแปลงค่าอนาล็อกเป็นดิจิทัล (Receive Hex from ADC)

```

VOL1:
    MOV     DPTR,#FC00H      ; Input from ADC via Port A2
    MOV     A,@DPTR
    MOV     R1,#30H
REPEAT:
    DJNZ    R1,REPEAT      ; Ensure for receive data period

```

3.6.4 ตัวอย่างโปรแกรมแปลงค่าจากเลขฐานสองเป็นเลขฐานสิบ

(Convert from binary to Decimal)

```
; ***** ;
; Convert For Display ;
; ***** ;
```

CONVERT:

```
MOV    R0,#00H    ; RESET R0
MOV    R1,#00H    ; RESET R1
MOV    R0,#18H    ; Set Initial address for R0
MOV    R1,#20H    ; Set Initial address for R1
```

BEGIN:

```
MOV    A,@R0      ; Consider High Nibble-Byte High First
SWAP   A
LCALL  STEP
MOV    @R1,A      ; Store Result in Address of R1
INC    R1         ; Next address for store displayed value

MOV    A,@R0      ; Consider Low Nibble-Byte High
LCALL  STEP       ; second
MOV    @R1,A      ; Store Result in Address of R1

INC    R0         ; Next address for Byte Low
INC    R1         ; Next address for store displayed value
CJNE  R0,#1AH,BEGIN ; Repeat process for Byte Low
RET    ; Go Back for LCALL CONVERT
```

STEP:

```

ANL      A,#0FH          ; Consider Only Low Nibble
MOV      DPTR,#0853H     ; Go to Address that store displayed
MOVC     A,@A+DPTR       ; value and Get it as collect Order
RET

```

3.6.5 ตัวอย่างโปรแกรมแสดงค่าต่างๆไปยังพอร์ตแสดงผล (Prepare for display)

```

; ***** ;
; Display for Voltage ;
; ***** ;
; Digit 1 ;
MOV      DPTR,#F801H     ; Display Digit1 via Port B1
MOV      R0,#20H         ; Get Value for display
MOV      A,@R0           ; from Address 20H
CJNE    3,#3FH,CONT     ; Check if Digit1 = 0
LJMP     NEXT            ; then skip to Digit2 else continue
CONT:
MOVX     @DPTR,A         ; Display to 7-segment all 4 digits

MOV      DTPR,#F802H     ; Choose digit via PORT C1
MOV      A,#08H
MOVX     @DTPR,A
LCALL    DELAY

```

; Digit 2 ;

NEXT:

```

MOV    DPTR,#F801H    ;    Display Digit1 via Port B1
INC    R0              ;    Get Value for display
MOV    A,@R0          ;    from NEXT Address OF 20H
CJNE   A,#3FH,CONT1   ;    Check if Digit2 = 0
DEC    R0              ;    then check Digit1 First else continue1
MOV    A,@R0
CJNE   A,#3FH,CONT2   ;    Check if Digit1 = 0
INC    R0              ;    Compensate DEC R0
LJMP   NEXT1          ;    then skip to Digit3 else continue2

```

CONT2:

```

INC    R0              ;    Compensate DEC R0
MOV    A,@R0

```

CONT1:

```

MOVX   @DPTR,A        ;    Display to 7-segment all 4 digits
MOV    DPTR,#F802H    ;    Choose digit via PORT C1
MOV    A,#04H
MOVX   @DPTR,A
LCALL  DELAY

```

; Digit 3 ;

NEXT1:

```

MOV     DPTR,#F801H      ; Display Digit1 via Port B1
INC     R0                ; Get Value for display
MOV     A,@R0            ; from after NEXT Address OF 20H
ORL     A,#80H           ; Apply data for display dot
MOVX    @DPTR,A          ; Display to 7-segment all 4 digits
MOV     DPTR,#F802H      ; Choose digit via PORT C1
MOV     A,#02H
MOVX    @DPTR,A
LCALL   DELAY

```

; Digit 4 ;

```

MOV     DPTR,#F801H      ; Display Digit1 via Port B1
INC     R0                ; Get Value for display
MOV     A,@R0            ; from after NEXT Address OF 20H
MOVX    @DPTR,A          ; Display to 7-segment all 4 digits
MOV     DPTR,#F802H      ; Choose digit via PORT C1
MOV     A,#01H
MOVX    @DPTR,A
LCALL   DELAY

```

; Unit ;

```

MOV     DPTR,#F800H      ; Display Unit via Port A1
MOV     A,#18H           ; for display alphabet " V "
MOVX    @DPTR,A          ; Display to 7-segment all 4 digits
LCALL   DELAY

```

3.6.6 ตัวอย่างโปรแกรมทวนการแสดงผลช่วงระยะเวลาหนึ่ง (Repeat Loop for Display)

```

MOV      R6,#40H           ; Define repeat display loop

; ***** ;
; Display for Voltage ;
; ***** ;

; Digit 1 ;
....
; Digit 4 ;
....
; Unit ;

; Check Switch Again ;

MOV      DPTR,#FC02H
MOVX    A,@DPTR
ORL     A,#8FH
CJNE   A,#0FFH,THEN

THEN:
JNB     ACC.5,CUR2        ; Jump to Current Mode
JNB     ACC.4,POW2       ; Jump to Power Mode

REPEAT1:
DJNZ   R6,REPEAT1       ; Repeat display loop
LJMP   VOL1              ; If no selection repeat voltage Mode

CUR2:
SJMP   CUR1

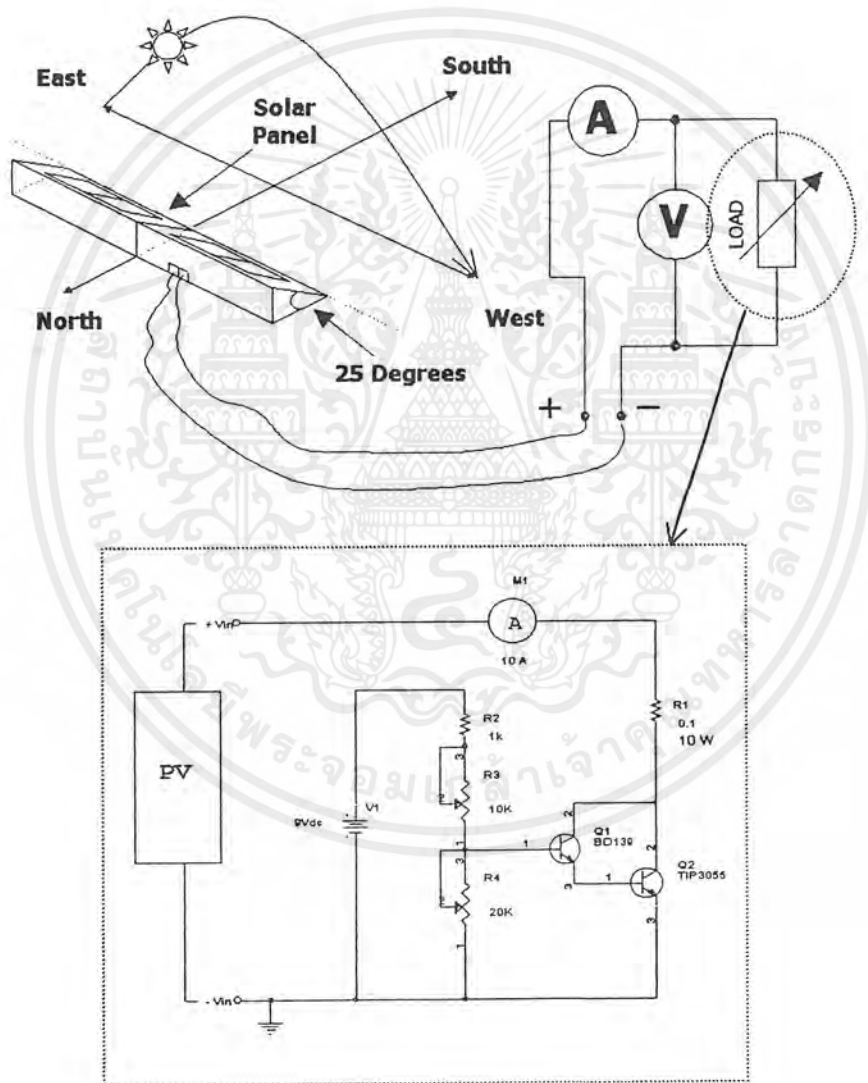
POW2:
LJMP   POW1

```

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ผลทดสอบหากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเปรียบเทียบระหว่างแผงเซลล์ชนิด Silicon กับ Amorphous



รูปที่ 4.1 รูปวงจรที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดแผง ซิลิคอน (Silicon)

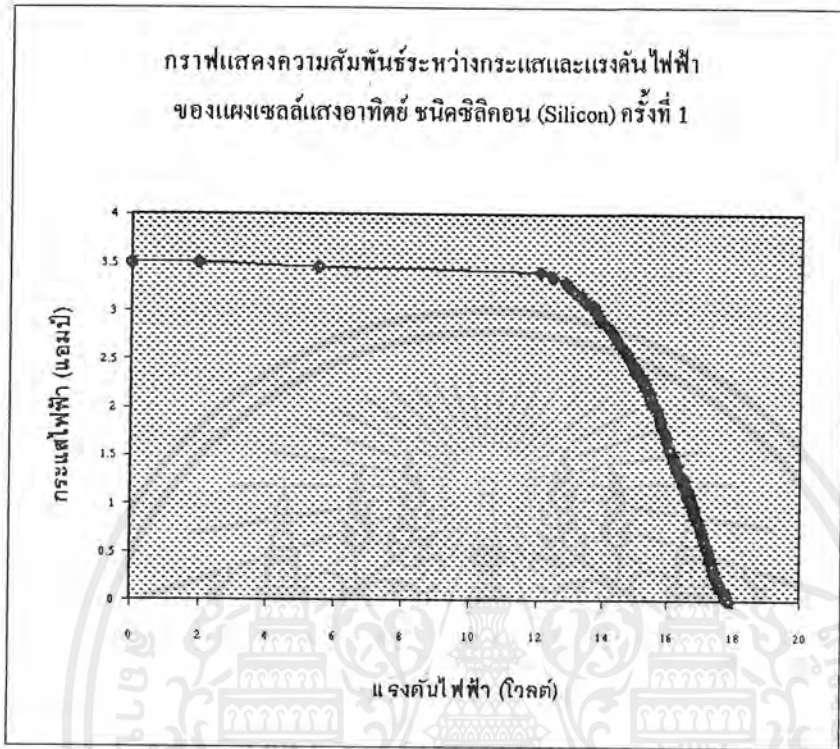
ชนิดแผง	กระแส (แอมป์)	แรงดัน (โวลต์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	กระแส (แอมป์)	แรงดัน (โวลต์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
ซิลิคอน (Silicon) ครั้งที่ 1 เวลา 13.15 น. ความเข้มแสง 83000 ลักซ์	3.50	0.00	0.00	2.35	15.11	35.51
	3.50	1.96	6.86	2.30	15.24	35.05
	3.45	5.51	19.01	2.25	15.29	34.40
	3.40	12.09	41.11	2.20	15.37	33.81
	3.35	12.45	41.71	2.15	15.45	33.22
	3.30	12.83	42.34	2.10	15.49	32.53
	3.25	12.94	42.06	2.05	15.53	31.84
	3.20	13.12	41.98	2.00	15.65	31.30
	3.15	13.33	41.99	1.95	15.70	30.62
	3.10	13.45	41.70	1.90	15.76	29.94
	3.05	13.68	41.72	1.85	15.79	29.21
	3.00	13.75	41.25	1.80	15.84	28.51
	2.95	13.84	40.83	1.75	15.92	27.86
	2.90	13.90	40.31	1.70	15.97	27.15
	2.85	14.13	40.27	1.65	16.00	26.40
	2.80	14.24	39.87	1.60	16.09	25.74
	2.75	14.37	39.52	1.55	16.12	24.99
	2.70	14.44	38.99	1.50	16.20	24.30
	2.65	14.57	38.61	1.45	16.24	23.55
	2.60	14.67	38.14	1.40	16.29	22.81
2.55	14.80	37.74	1.35	16.32	22.03	
2.50	14.87	37.18	1.30	16.42	21.35	
2.45	14.98	36.70	1.25	16.48	20.60	
2.40	15.05	36.12	1.20	16.53	19.84	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดแผง	กระแส (แอมป์)	แรงดัน (โวลต์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	กระแส (แอมป์)	แรงดัน (โวลต์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
	1.15	16.62	19.11	0.55	17.21	9.47
	1.10	16.63	18.29	0.50	17.27	8.64
	1.05	16.68	17.51	0.45	17.31	7.79
	1.00	16.74	16.74	0.40	17.36	6.94
	0.95	16.79	15.95	0.35	17.42	6.10
	0.90	16.82	15.14	0.30	17.47	5.24
	0.85	16.88	14.35	0.25	17.51	4.38
	0.80	16.95	13.56	0.20	17.55	3.51
	0.75	17.02	12.77	0.15	17.63	2.64
	0.70	17.07	11.95	0.10	17.74	1.77
	0.65	17.11	11.12	0.05	17.82	0.89
	0.60	17.15	10.29	0.00	17.87	0.00

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดซิลิคอน (Silicon) ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แรงดันเปิดวงจร (V_{∞})	=	17.87	โวลต์
กระแสลัดวงจร (I_{sc})	=	3.5	แอมป์
กำลังไฟฟ้าสูงสุด	=	42.34	วัตต์ (ณ $V = 71.79\% V_{\infty}$)
ระดับแรงดันขณะเกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด	=	12.38	โวลต์
ระดับกระแสขณะเกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด	=	3.3	แอมป์

ความเข้มแสง 83000 ลักซ์
มุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 25 องศา

อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 55.5 °C
เวลา 13.15 น.

รูปที่ 4.2 คุณสมบัติของแรงดันและกระแสไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ชนิดซิลิคอน (Silicon) ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

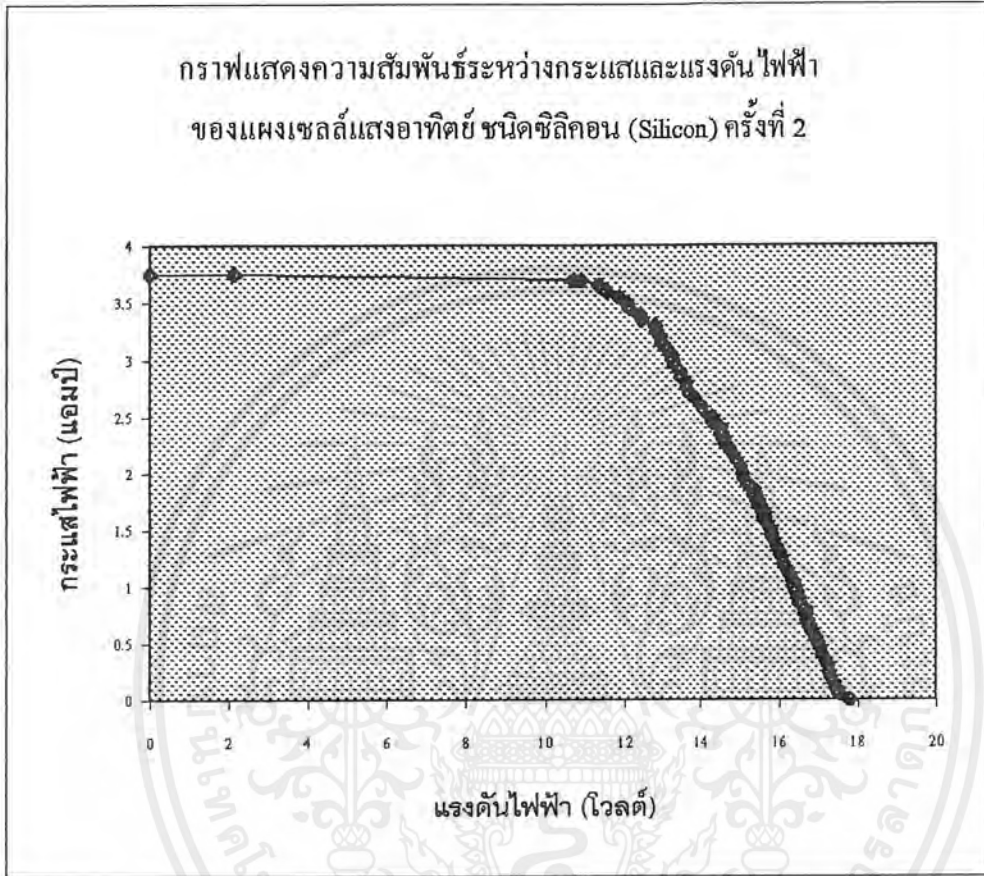
ชนิดแผง	กระแส (แอมป์)	แรงดัน (โวลต์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	กระแส (แอมป์)	แรงดัน (โวลต์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
ซิลิคอน (Silicon) ครั้งที่ 2 เวลา 13.25 น. ความเข้มแสง 88000 ลักซ์	3.75	0.00	0.00	2.65	13.88	36.78
	3.75	2.16	8.10	2.60	14.00	36.40
	3.70	10.70	39.59	2.55	14.10	35.96
	3.70	10.89	40.29	2.50	14.26	35.65
	3.65	11.34	41.39	2.45	14.32	35.08
	3.60	11.54	41.54	2.40	14.48	34.75
	3.55	11.86	42.10	2.35	14.52	34.12
	3.50	12.05	42.18	2.30	14.56	33.49
	3.45	12.12	41.81	2.25	14.62	32.90
	3.40	12.39	42.13	2.20	14.72	32.38
	3.35	12.43	41.64	2.15	14.85	31.93
	3.30	12.79	42.21	2.10	14.93	31.35
	3.25	12.81	41.63	2.05	15.04	30.83
	3.20	12.91	41.31	2.00	15.07	30.14
	3.15	12.95	40.79	1.95	15.11	29.46
	3.10	13.07	40.52	1.90	15.21	28.90
	3.05	13.16	40.14	1.85	15.35	28.40
	3.00	13.21	39.63	1.80	15.39	27.70
	2.95	13.29	39.21	1.75	15.45	27.04
	2.90	13.41	38.89	1.70	15.51	26.37
2.85	13.45	38.33	1.65	15.59	25.72	
2.80	13.59	38.05	1.60	15.61	24.98	
2.75	13.60	37.40	1.55	15.67	24.29	
2.70	13.69	36.96	1.50	15.77	23.66	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดแผง	กระแส (แอมป์)	แรงดัน (โวลต์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	กระแส (แอมป์)	แรงดัน (โวลต์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
	1.45	15.80	22.91	0.70	16.72	11.70
	1.40	15.87	22.22	0.65	16.79	10.91
	1.35	15.93	21.51	0.60	16.84	10.10
	1.30	16.02	20.83	0.55	16.94	9.32
	1.25	16.08	20.10	0.50	16.98	8.49
	1.20	16.13	19.36	0.45	17.05	7.67
	1.15	16.21	18.64	0.40	17.11	6.84
	1.10	16.29	17.92	0.35	17.20	6.02
	1.05	16.36	17.18	0.30	17.26	5.18
	1.00	16.40	16.40	0.25	17.29	4.32
	0.95	16.45	15.63	0.20	17.34	3.47
	0.90	16.51	14.86	0.15	17.41	2.61
	0.85	16.54	14.06	0.10	17.51	1.75
	0.80	16.66	13.33	0.05	17.56	0.88
	0.75	16.67	12.50	0.00	17.81	0.00

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดซิลิคอน (Silicon) ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แรงดันเปิดวงจร (V_{∞})	=	17.81 โวลต์
กระแสลัดวงจร (I_{sc})	=	3.75 แอมป์
กำลังไฟฟ้าสูงสุด	=	42.21 วัตต์ (ณ $V = 71.81 \% V_{\infty}$)
ระดับแรงดันขณะเกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด	=	12.79 โวลต์
ระดับกระแสขณะเกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด	=	3.3 แอมป์

ความเข้มแสง 88000 ลักซ์
มุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 25 องศา

อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 55.9°C
เวลา 13.25 น.

รูปที่ 4.3 คุณสมบัติของแรงดันและกระแส ไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ชนิดซิลิคอน (Silicon) ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดแผง อมอร์ฟัส (Amorphous)

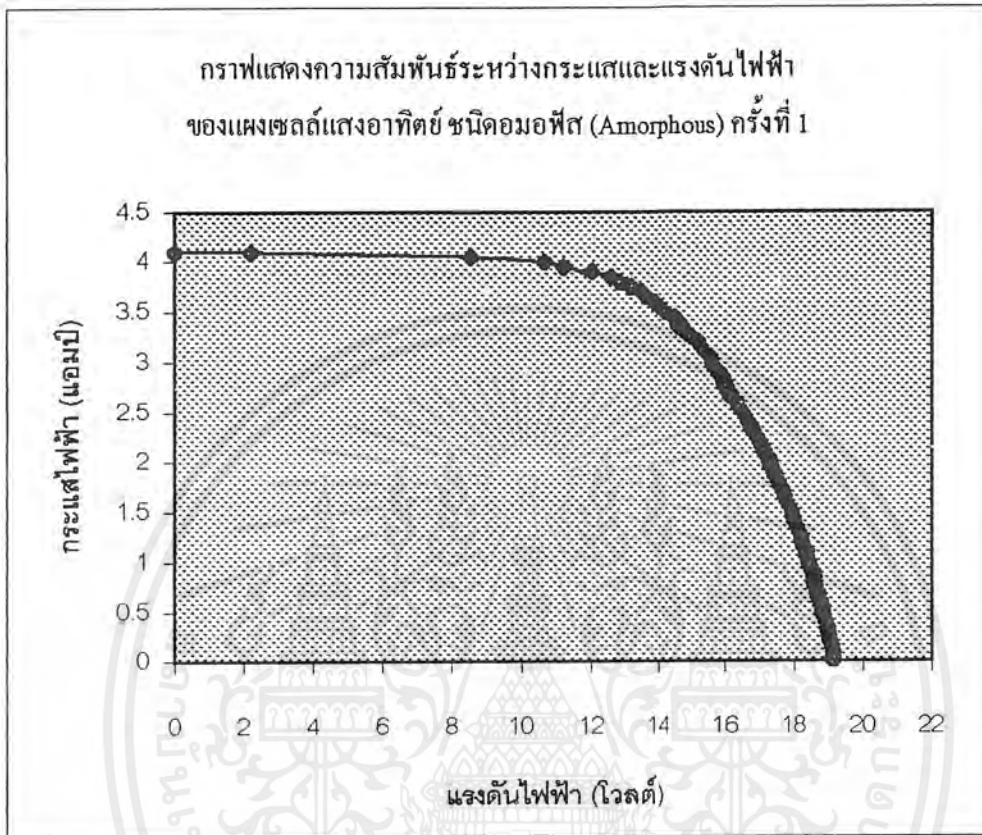
ชนิดแผง	กระแส (แอมป์)	แรงดัน (โวลต์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	กระแส (แอมป์)	แรงดัน (โวลต์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
อมอร์ฟัส (Amorphous) ครั้งที่ 1 เวลา 11.30 น. ความเข้มแสง 83400 ลักซ์	4.10	2.21	9.06	2.90	15.82	45.88
	4.05	8.55	34.63	2.85	15.91	45.34
	4.00	10.66	42.64	2.80	15.97	44.72
	3.95	11.21	44.28	2.75	16.00	44.00
	3.90	12.03	46.92	2.70	16.11	43.50
	3.85	12.57	48.39	2.65	16.16	42.82
	3.80	12.83	48.75	2.60	16.31	42.41
	3.75	13.17	49.39	2.55	16.37	41.74
	3.70	13.49	49.91	2.50	16.51	41.28
	3.65	13.60	49.64	2.45	16.59	40.65
	3.60	13.86	49.90	2.40	16.67	40.01
	3.55	14.04	49.84	2.35	16.75	39.36
	3.50	14.20	49.70	2.30	16.82	38.69
	3.45	14.51	50.06	2.25	16.93	38.09
	3.40	14.62	49.71	2.20	17.00	37.40
	3.35	14.64	49.04	2.15	17.07	36.70
	3.30	14.82	48.91	2.10	17.14	35.99
	3.25	14.98	48.69	2.05	17.22	35.30
	3.20	15.20	48.64	2.00	17.30	34.60
	3.15	15.28	48.13	1.95	17.33	33.79
3.10	15.41	47.77	1.90	17.40	33.06	
3.05	15.59	47.55	1.85	17.45	32.28	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดแผง	กระแส (แอมป์)	แรงดัน (โวลต์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	กระแส (แอมป์)	แรงดัน (โวลต์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
	1.70	17.67	30.04	0.80	18.59	14.87
	1.65	17.72	29.24	0.75	18.61	13.96
	1.60	17.79	28.46	0.70	18.66	13.06
	1.55	17.85	27.67	0.65	18.70	12.16
	1.50	17.92	26.88	0.60	18.76	11.26
	1.45	17.96	26.04	0.55	18.81	10.35
	1.40	18.01	25.21	0.50	18.82	9.41
	1.35	18.09	24.42	0.45	18.87	8.49
	1.30	18.14	23.58	0.40	18.92	7.57
	1.25	18.20	22.75	0.35	18.97	6.64
	1.20	18.22	21.86	0.30	18.99	5.70
	1.15	18.28	21.02	0.25	19.02	4.76
	1.10	18.35	20.19	0.20	19.04	3.81
	1.05	18.37	19.29	0.15	19.09	2.86
	1.00	18.44	18.44	0.10	19.12	1.91
	0.95	18.47	17.55	0.05	19.13	0.96
	0.90	18.55	16.70	0.00	19.14	0.00
	0.85	18.57	15.78			

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดชนิดอมอर्फัส (Amorphous) ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แรงดันเปิดวงจร (V_{∞})	=	19.14	โวลต์
กระแสลัดวงจร (I_{sc})	=	4.1	แอมป์
กำลังไฟฟ้าสูงสุด	=	50	วัตต์ (ณ $V = 75.8\% V_{\infty}$)
ระดับแรงดันขณะเกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด	=	14.51	โวลต์
ระดับกระแสขณะเกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด	=	3.45	แอมป์

ความเข้มแสง 83400 ลักซ์

อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 47.15 °C

มุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 25 องศา

เวลา 11.30 น.

รูปที่ 4.4 คุณสมบัติของแรงดันและกระแสไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ชนิดอมอर्फัส (Amorphous) ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดแผง	กระแส (แอมป์)	แรงดัน (โวลต์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	กระแส (แอมป์)	แรงดัน (โวลต์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
อมอร์ฟัส (Amorphous) ครั้งที่ 2 เวลา 11.45 น. ความเข้มแสง 93800 ลักซ์	5.00	0.00	0.00	3.85	14.51	55.86
	5.00	3.10	15.50	3.80	14.63	55.59
	4.95	3.74	18.51	3.75	14.71	55.16
	4.90	6.25	30.63	3.70	14.82	54.83
	4.85	7.30	35.41	3.65	14.93	54.49
	4.80	8.43	40.46	3.60	15.00	54.00
	4.75	9.97	47.36	3.55	15.15	53.78
	4.70	10.37	48.74	3.50	15.21	53.24
	4.65	11.17	51.94	3.45	15.31	52.82
	4.60	11.44	52.62	3.40	15.37	52.26
	4.55	12.42	56.51	3.35	15.43	51.69
	4.50	12.58	56.61	3.30	15.55	51.32
	4.45	12.76	56.78	3.25	15.58	50.64
	4.40	13.01	57.24	3.20	15.61	49.95
	4.35	13.18	57.33	3.15	15.87	49.99
	4.30	13.26	57.02	3.10	15.82	49.04
	4.25	13.51	57.42	3.05	15.80	48.19
	4.20	13.65	57.33	3.00	15.89	47.67
	4.15	13.81	57.31	2.95	15.97	47.11
	4.10	13.97	57.28	2.90	16.05	46.55
4.05	14.08	57.02	2.85	16.15	46.03	
4.00	14.24	56.96	2.80	16.18	45.30	
3.95	14.38	56.80	2.75	16.24	44.66	
3.90	14.44	56.32	2.70	16.27	43.93	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดแผง	กระแส (แอมป์)	แรงดัน (โวลต์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	กระแส (แอมป์)	แรงดัน (โวลต์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
	2.65	16.36	43.35	1.45	17.58	25.49
	2.60	16.40	42.64	1.40	17.67	24.74
	2.55	16.46	41.97	1.35	17.72	23.92
	2.50	16.51	41.28	1.30	17.78	23.11
	2.45	16.54	40.52	1.25	17.81	22.26
	2.40	16.60	39.84	1.20	17.87	21.44
	2.35	16.64	39.10	1.15	17.90	20.59
	2.30	16.71	38.43	1.10	17.96	19.76
	2.25	16.74	37.67	1.05	18.00	18.90
	2.20	16.78	36.92	1.00	18.03	18.03
	2.15	16.83	36.18	0.95	18.08	17.18
	2.10	16.90	35.49	0.90	18.12	16.31
	2.05	16.94	34.73	0.85	18.18	15.45
	2.00	17.00	34.00	0.80	18.22	14.58
	1.95	17.07	33.29	0.75	18.28	13.71
	1.90	17.14	32.57	0.70	18.29	12.80
	1.85	17.19	31.80	0.65	18.33	11.91
	1.80	17.26	31.07	0.60	18.38	11.03
	1.75	17.30	30.28	0.55	18.42	10.13
	1.70	17.35	29.50	0.50	18.46	9.23
	1.65	17.42	28.74	0.45	18.51	8.33
	1.60	17.47	27.95	0.40	18.57	7.43
	1.55	17.51	27.14	0.35	18.60	6.51
	1.50	17.56	26.34	0.30	18.63	5.59

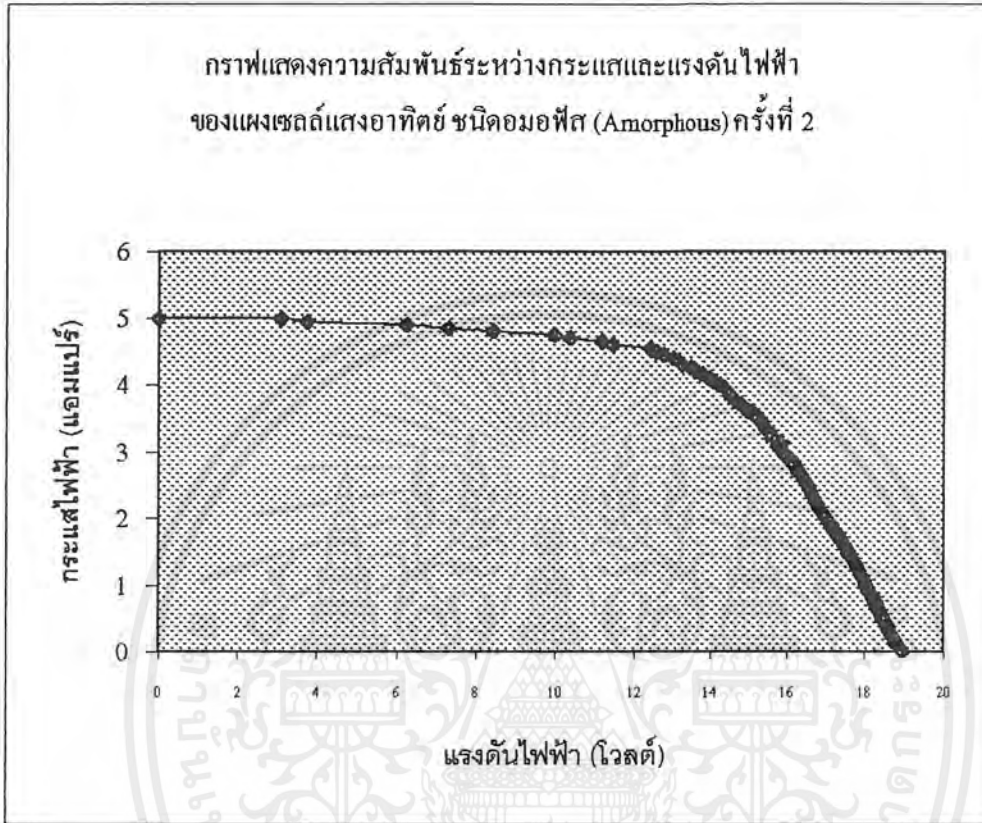
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดแผง	กระแส (แอมป์)	แรงดัน (โวลต์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	กระแส (แอมป์)	แรงดัน (โวลต์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
	0.25	18.68	4.67	0.10	18.82	1.88
	0.20	18.74	3.75	0.05	18.92	0.95
	0.15	18.79	2.82	0.00	18.97	0.00

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดอมอฟัส (Amorphous) ครั้งที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แรงดันเปิดวงจร (V_{∞})	=	18.97	โวลต์
กระแสลัดวงจร (I_{sc})	=	5.0	แอมป์
กำลังไฟฟ้าสูงสุด	=	57.41	วัตต์ (ณ $V = 71.21\% V_{\infty}$)
ระดับแรงดันขณะเกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด	=	13.51	โวลต์
ระดับกระแสขณะเกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด	=	4.25	แอมป์

ความเข้มแสง 93800 ลักซ์

อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 51.7 °C

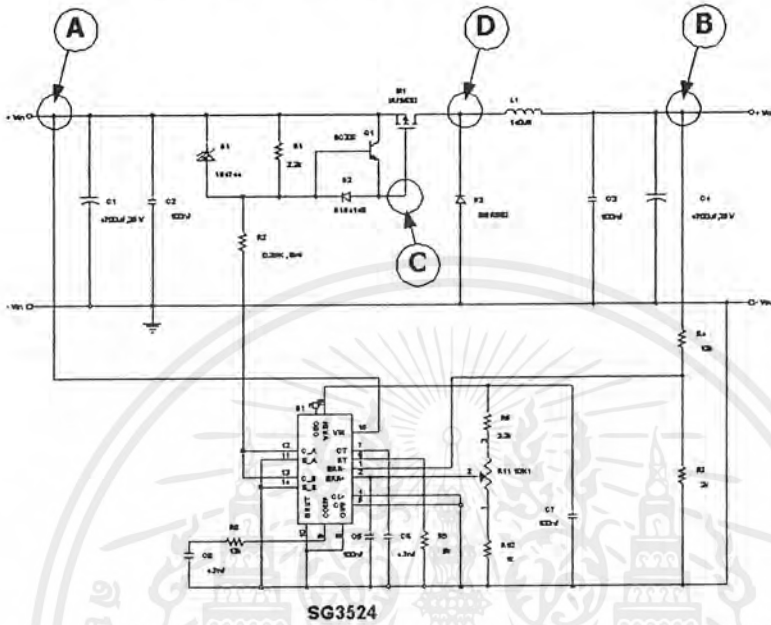
มุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 25 องศา

เวลา 11.45 น.

รูปที่ 4.4 คุณสมบัติของแรงดันและกระแสไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ชนิดอมอर्फัส (Amorphous) ครั้งที่ 2

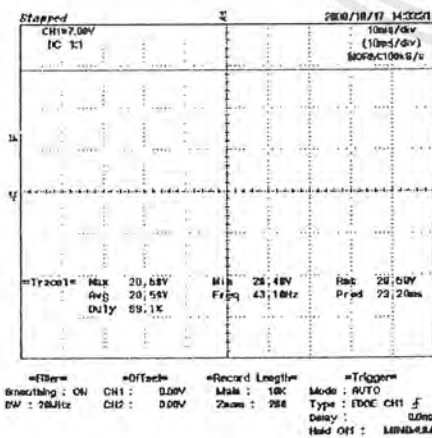
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบวงจรรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT)

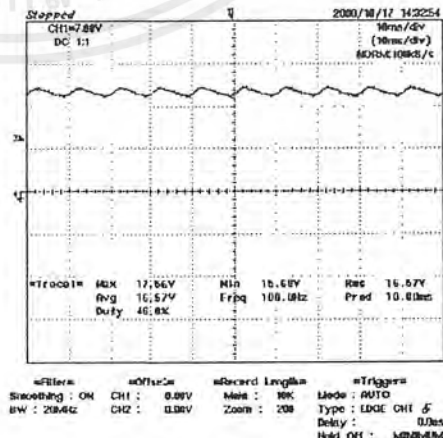


รูปที่ 4.5 ตำแหน่งลักษณะสัญญาณแรงดันไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆในวงจรรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT)

ผลการทดสอบและประเมินผล ประสิทธิภาพแรงดันไฟฟ้ากระแสเพิ่มและโวลเตจเรกกูเรชั่นของวงจรรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุด แสดงดังต่อไปนี้
- การทดสอบ โดยใช้แหล่งจ่ายไฟจากการไฟฟ้า



ขณะไม่มีภาระ



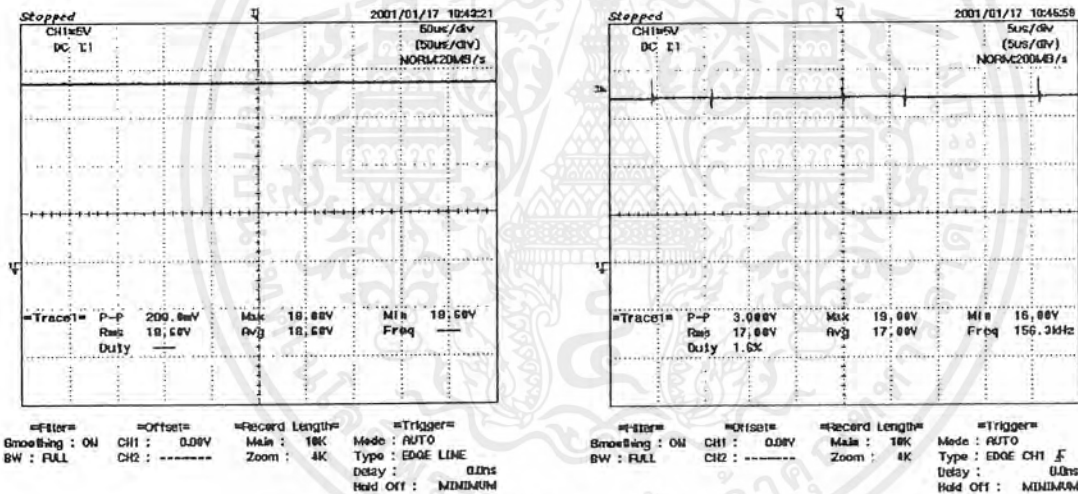
ขณะมีภาระ

รูปที่ 4.6(ก) เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าขณะ ไม่มีภาระ และ มีภาระ (ตำแหน่ง A) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทดสอบโดยใช้แหล่งจ่ายไฟจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด ณ ภาระค่าต่างๆกัน

ชนิดแผง **อมอร์ฟัส (Amorphous)**

โหลดความต้านทาน 5.4 โอห์ม					
แรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า	17.00	โวลต์	แรงดันไฟฟ้าขาออก	10.83	โวลต์
กระแสไฟฟ้าป้อนเข้า	1.40	แอมป์	กระแสไฟฟ้าขาออก	2.00	แอมป์
กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า	23.8	วัตต์	กำลังไฟฟ้าขาออก	21.66	วัตต์
ประสิทธิภาพ 91 %	แรงดันไฟฟ้ากระแสเพิ่ม 5.24 %		โวลต์เดจเรกกูเรชัน 1.00 %		

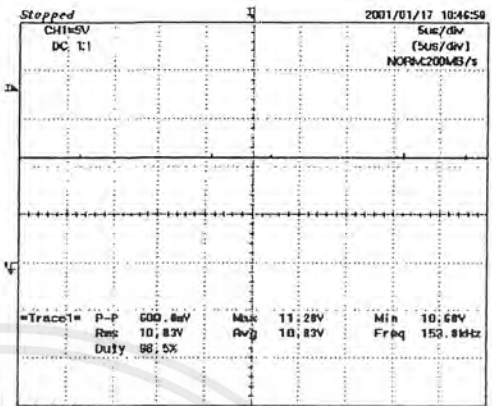
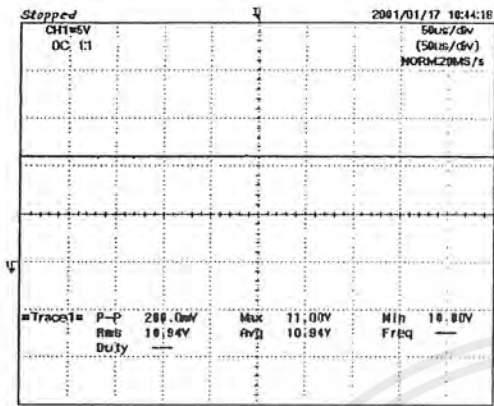


ขณะไม่มีภาระ

ขณะมีภาระ

รูปที่ 4.7(ก) เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันไฟฟ้าขาเข้าขณะ ไม่มีภาระ และ มีภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



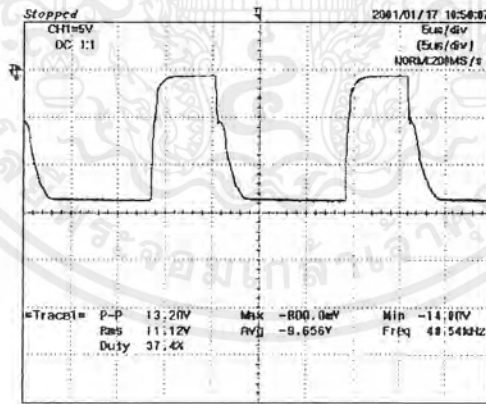
Filter: Smoothing: ON CH1: 0.00V Main: 10K Mode: AUTO Type: EDGE L1E Delay: 0.0ns Hold Off: MINIMUM
 Offset: CH2: --- Zoom: 4K

Filter: Smoothing: ON CH1: 0.00V Main: 10K Mode: AUTO Type: EDGE CH1 F Delay: 0.0ns Hold Off: MINIMUM
 Offset: CH2: --- Zoom: 4K

ขณะไม่มีภาระ

ขณะมีภาระ

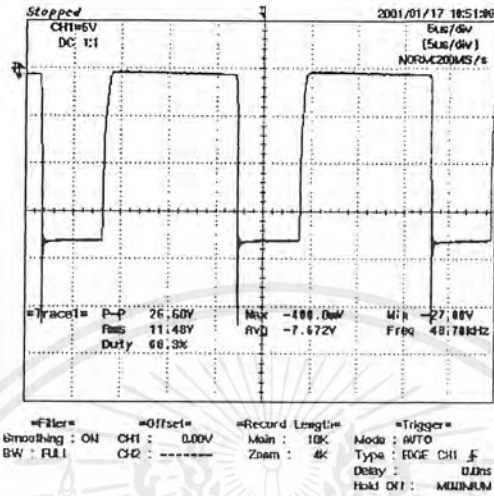
รูปที่ 4.7(ข) เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันขาออกขณะ ไม่มีภาระ และ มีภาระ



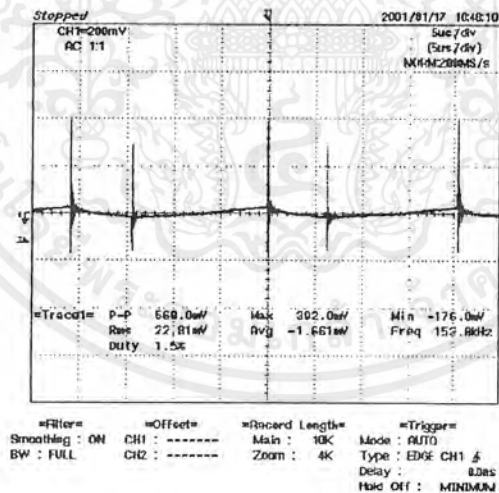
Filter: Smoothing: ON CH1: 0.00V Main: 10K Mode: AUTO Type: EDGE CH1 F Delay: 0.0ns Hold Off: MINIMUM
 Offset: CH2: --- Zoom: 4K

รูปที่ 4.7(ค) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าขาออกเกต-ซอร์ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



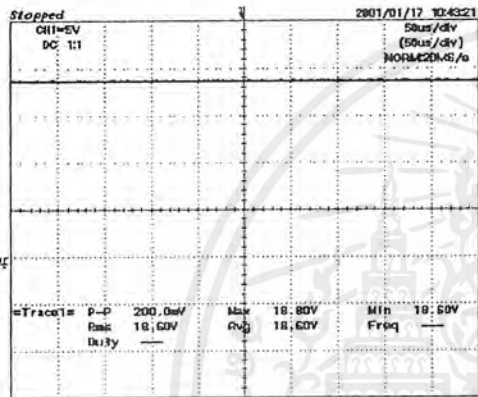
รูปที่ 4.7(ง) สัญญาณแรงดันไฟฟ้าคร่อมขาคาร์บอน-ซอร์ส



รูปที่ 4.7(จ) สัญญาณแรงดันกระแสที่ออกมาขณะมีภาระ

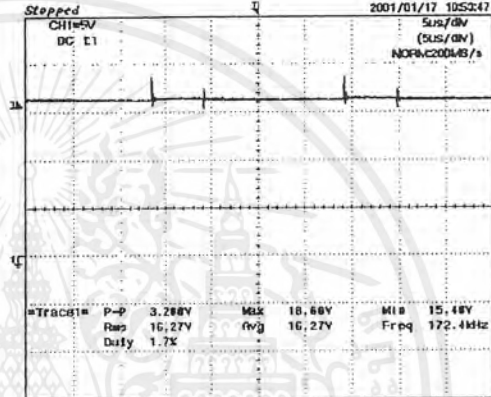
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลดความต้านทาน 3.9 โอห์ม					
แรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า	16.27	โวลต์	แรงดันไฟฟ้าขาออก	10.81	โวลต์
กระแสไฟฟ้าป้อนเข้า	2.05	แอมป์	กระแสไฟฟ้าขาออก	2.75	แอมป์
กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า	33.35	วัตต์	กำลังไฟฟ้าขาออก	29.73	วัตต์
ประสิทธิภาพ 89.14%	แรงดันไฟฟ้ากระแสเพิ่ม 6.51 %		โวลเตจเรกูเรชั่น 1.19 %		



#Filter= #Offset= #Record Length= #Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : 0.00V Main : 10K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : ----- Zoom : 4K Type : EDGE LINE
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM

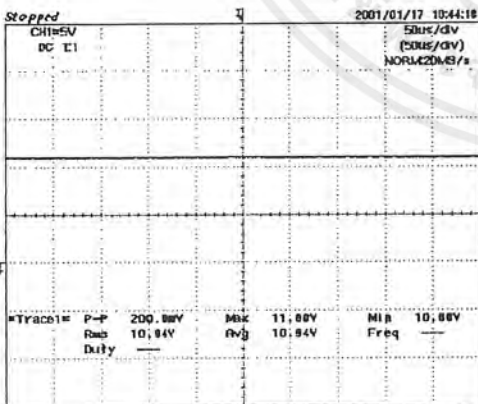
ขณะไม่มีภาระ



#Filter= #Offset= #Record Length= #Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : 0.00V Main : 10K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : ----- Zoom : 4K Type : EDGE CH1 F
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM

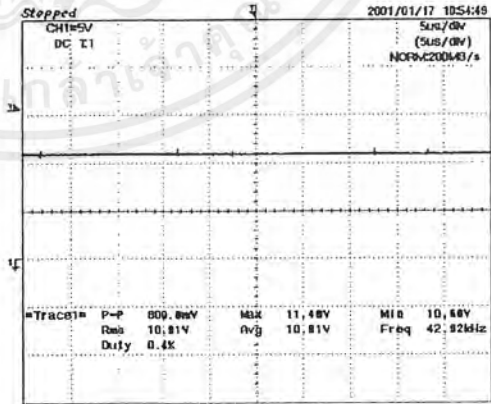
ขณะมีภาระ

รูปที่ 4.8(ก) เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันขาเข้าขณะไม่มีภาระและ มีภาระ



#Filter= #Offset= #Record Length= #Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : 0.00V Main : 10K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : ----- Zoom : 4K Type : EDGE LINE
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM

ขณะไม่มีภาระ

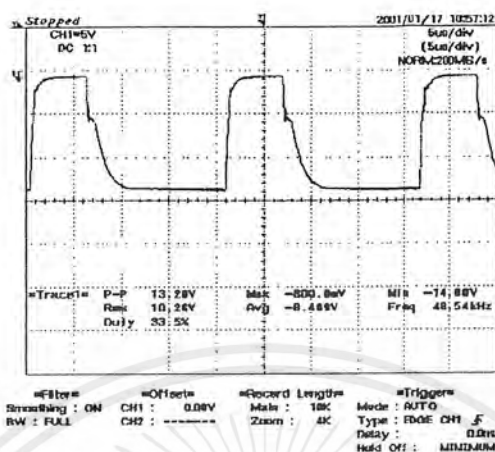


#Filter= #Offset= #Record Length= #Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : 0.00V Main : 10K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : ----- Zoom : 4K Type : EDGE CH1 F
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM

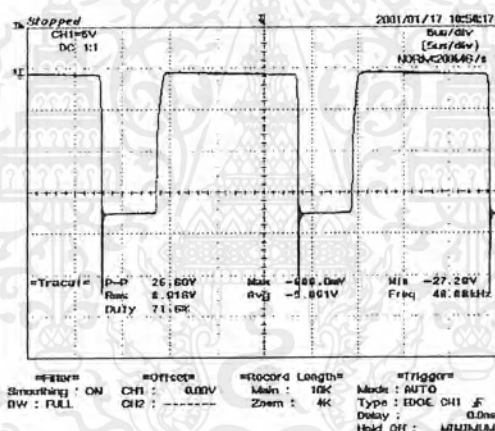
ขณะมีภาระ

รูปที่ 4.8(ข) เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันขาออกขณะไม่มีภาระ และ มีภาระ

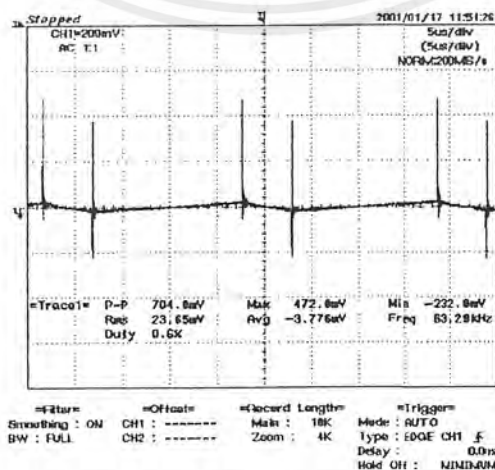
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8(ก) สัญญาณแรงดันขั้วขาเกต-ซอร์ส



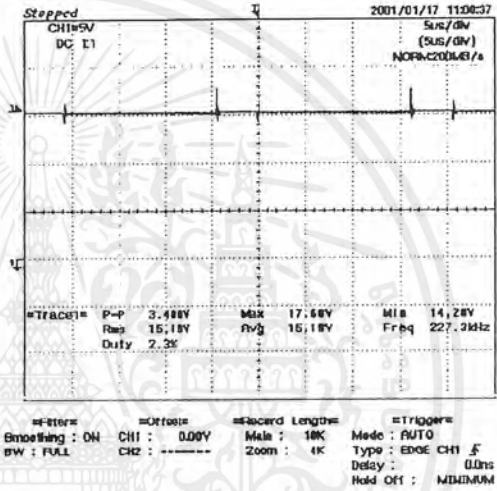
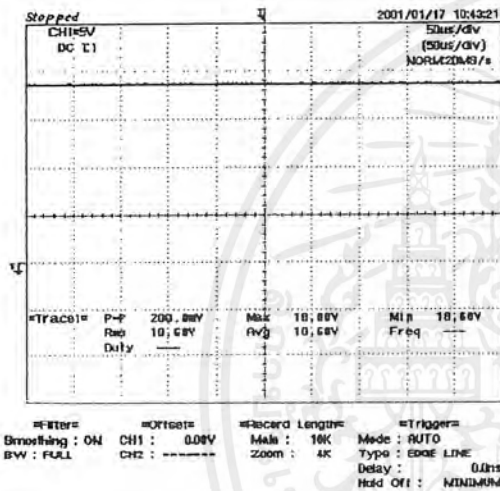
รูปที่ 4.8(ข) สัญญาณแรงดันคร่อมขาแคว-ซอร์ส



รูปที่ 4.8(จ) สัญญาณแรงดันกระแสที่ขาออก ขณะมีภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

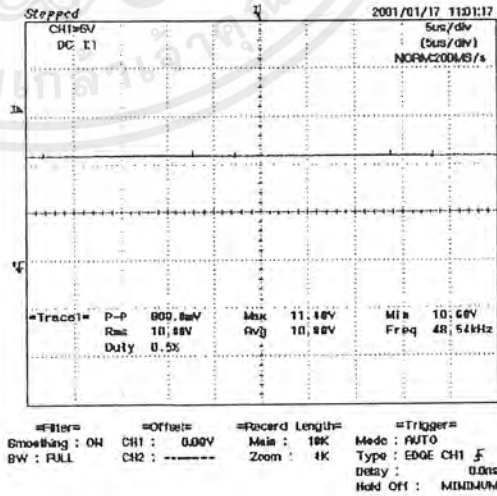
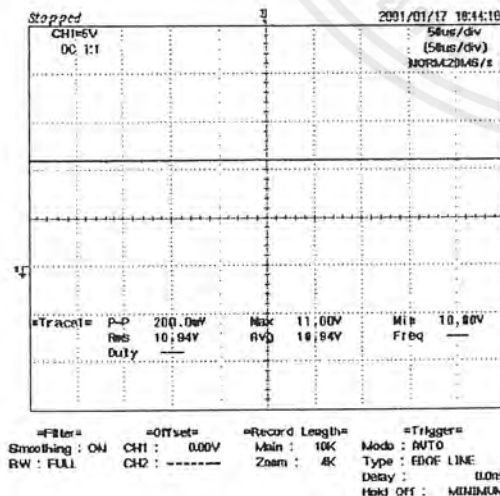
โหลดความต้านทาน 3.1 โอห์ม					
แรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า	15.19	โวลต์	แรงดันไฟฟ้าขาออก	10.8	โวลต์
กระแสไฟฟ้าป้อนเข้า	2.8	แอมป์	กระแสไฟฟ้าขาออก	3.5	แอมป์
กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า	42.53	วัตต์	กำลังไฟฟ้าขาออก	37.8	วัตต์
ประสิทธิภาพ 88.87%	แรงดันไฟฟ้ากระแสเพิ่ม 5.93 %		โวลเตจเรกกูเรชัน 1.28 %		



ขณะไม่มีภาระ

ขณะมีภาระ

รูปที่ 4.9(ก) เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันขาเข้าขณะ ไม่มีภาระ และ มีภาระ

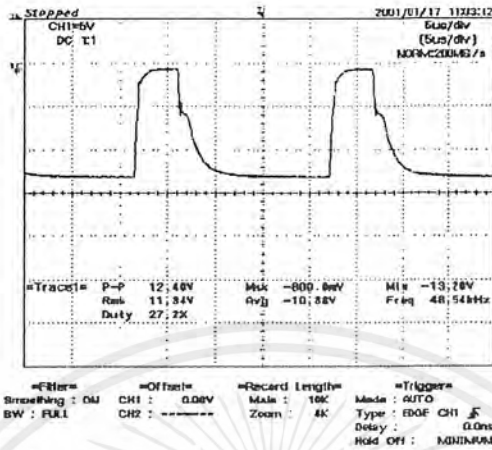


ขณะไม่มีภาระ

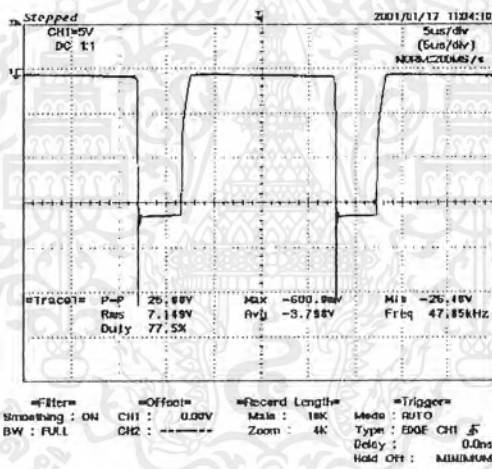
ขณะมีภาระ

รูปที่ 4.9(ข) เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันขาออกขณะ ไม่มีภาระ และ มีภาระ

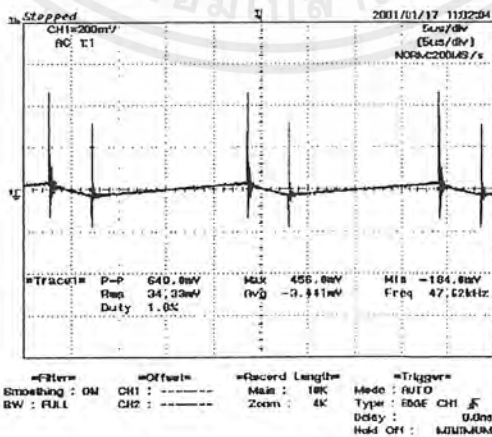
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9(ก) สัญญาณแรงดันขับจากเกต-ซอร์ส



รูปที่ 4.9(ข) สัญญาณแรงดันคร่อมขาคอนเดนเซอร์

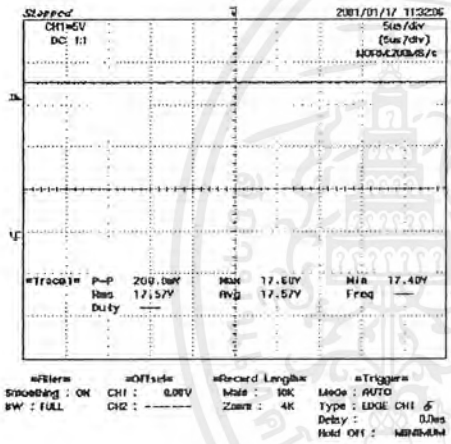


รูปที่ 4.9(จ) สัญญาณแรงดันกระแสเฟืองขาออก ขณะมีภาระ

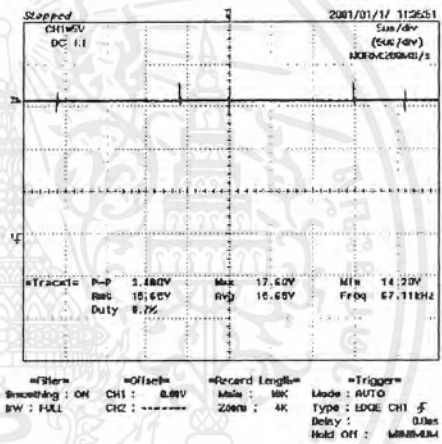
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดแผง ซิลิคอน 1 (Silicon : Round)

โหลดความต้านทาน 5.3 โอห์ม					
แรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า	15.65	โวลต์	แรงดันไฟฟ้าขาออก	10.38	โวลต์
กระแสไฟฟ้าป้อนเข้า	1.50	แอมป์	กระแสไฟฟ้าขาออก	2.00	แอมป์
กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า	23.47	วัตต์	กำลังไฟฟ้าขาออก	20.76	วัตต์
ประสิทธิภาพ 88.45%	แรงดันไฟฟ้ากระเพื่อม 6.25 %		โวลเตจเรกกูเรชัน 0.1 %		

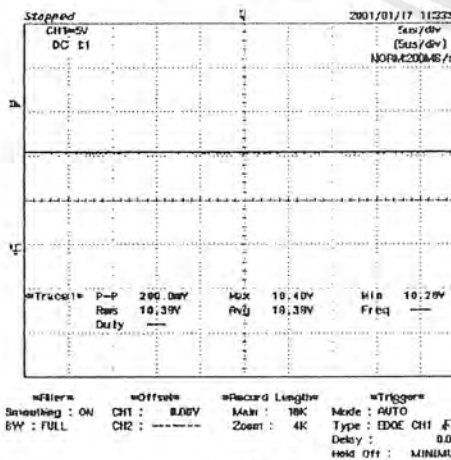


ขณะไม่มีภาระ

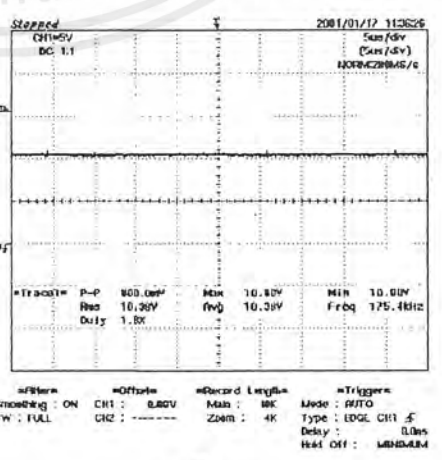


ขณะมีภาระ

รูปที่ 4.10(ก) เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันขาเข้าขณะ ไม่มีภาระ และ มีภาระ

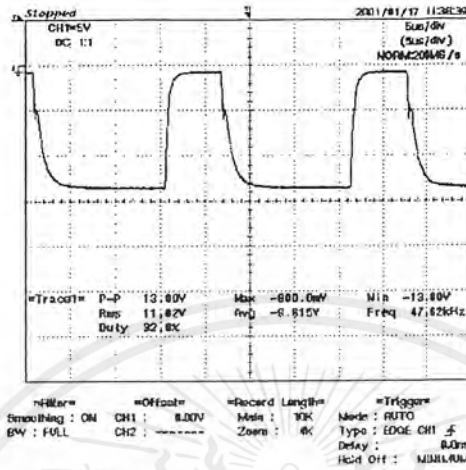


ขณะไม่มีภาระ

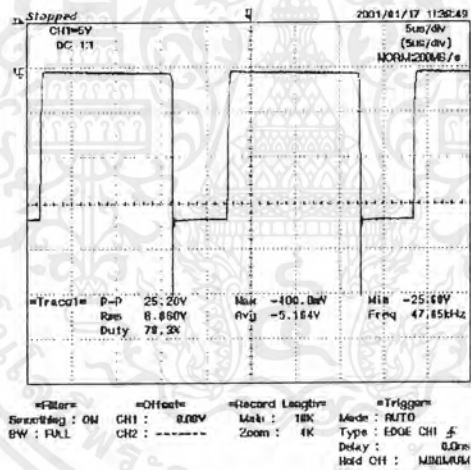


ขณะมีภาระ

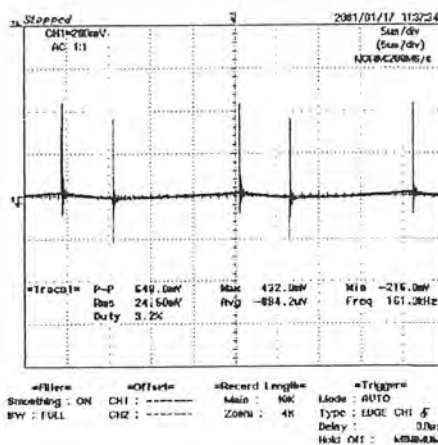
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.10(ข) เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันขาออกขณะ ไม่มีภาระ และ มีภาระ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10(ค) สัญญาณแรงดันขั้วขาเกต-ซอร์ส

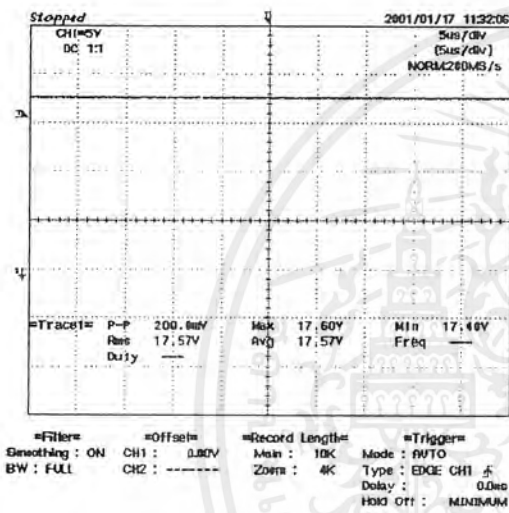


รูปที่ 4.10(ง) สัญญาณแรงดันคร่อมขาทราน-ซอร์ส

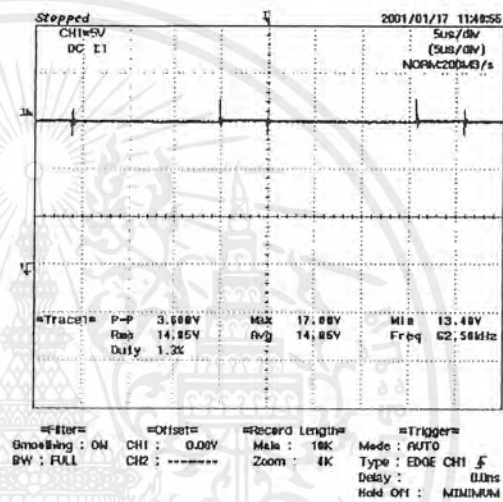


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.10(จ) สัญญาณแรงดันคร่อมขาทราน-ซอร์ส ซึ่งเป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาใช้ในการนำเสนอ ซึ่งการนำเสนอข้อมูลเหล่านี้จำเป็นต้องมีการนำเสนอในรูปแบบที่เข้าใจง่ายและน่าสนใจ ซึ่งการนำเสนอในรูปแบบที่เข้าใจง่ายและน่าสนใจนั้นจำเป็นต้องมีการนำเสนอในรูปแบบที่เข้าใจง่ายและน่าสนใจ ซึ่งการนำเสนอในรูปแบบที่เข้าใจง่ายและน่าสนใจนั้นจำเป็นต้องมีการนำเสนอในรูปแบบที่เข้าใจง่ายและน่าสนใจ

โหลดความต้านทาน 3.9 โอห์ม					
แรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า	14.85	โวลต์	แรงดันไฟฟ้าขาออก	10.36	โวลต์
กระแสไฟฟ้าป้อนเข้า	2.05	แอมป์	กระแสไฟฟ้าขาออก	2.65	แอมป์
กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า	30.44	วัตต์	กำลังไฟฟ้าขาออก	27.45	วัตต์
ประสิทธิภาพ 90.19%	แรงดันไฟฟ้ากระแสเพิ่ม 6.79 %		โวลเตจเรกกูเลชัน 0.29 %		

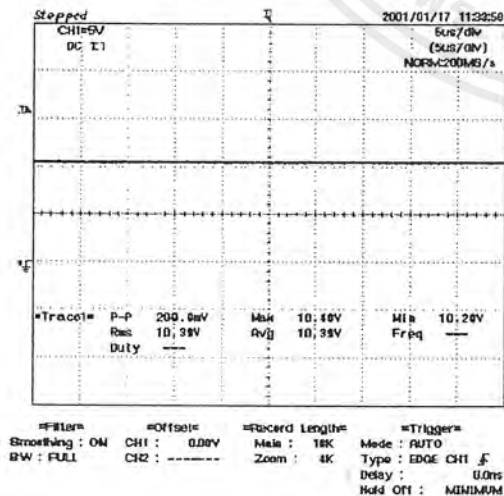


ขณะไม่มีภาระ

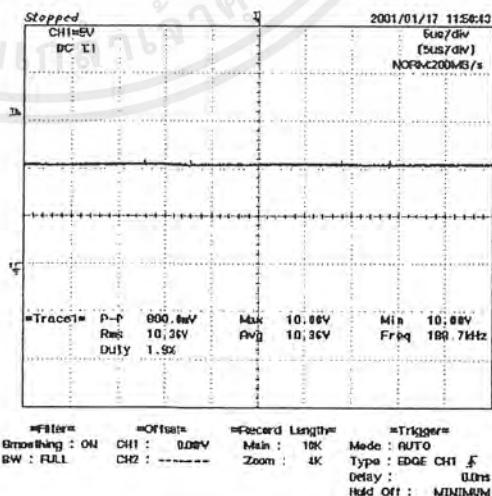


ขณะมีภาระ

รูปที่ 4.11(ก) เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันขาเข้าขณะ ไม่มีภาระ และ มีภาระ

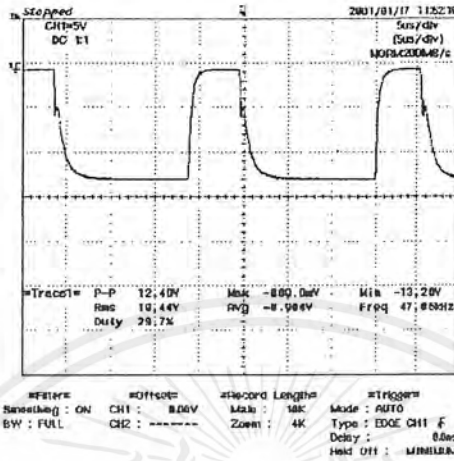


ขณะไม่มีภาระ

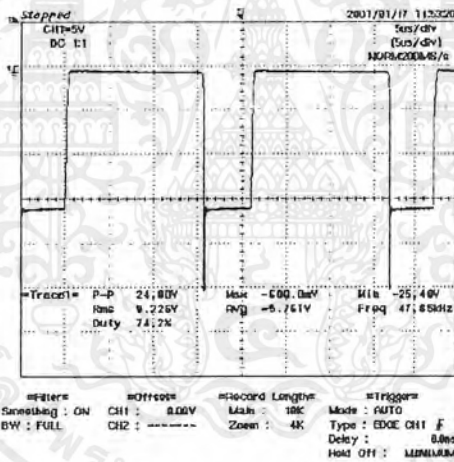


ขณะมีภาระ

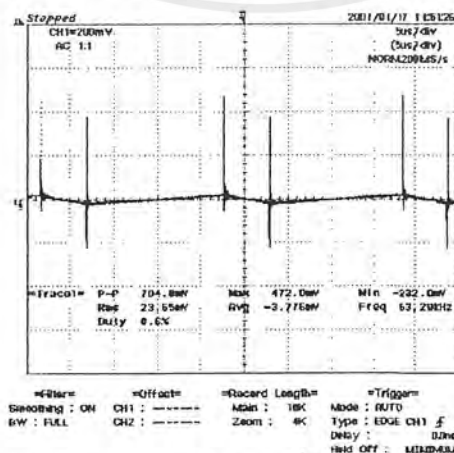
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.11(ข) เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันขาออกขณะ ไม่มีภาระ และ มีภาระ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11(ค) สัญญาณแรงดันขาขาเกต-ซอร์ส



รูปที่ 4.11(ง) สัญญาณแรงดันกร่อมขาทราน-ซอร์ส

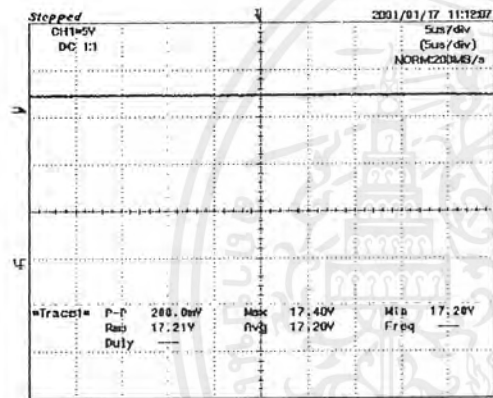


รูปที่ 4.11(จ) สัญญาณแรงดันกระแสเพื่อขาออก ขณะมีภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

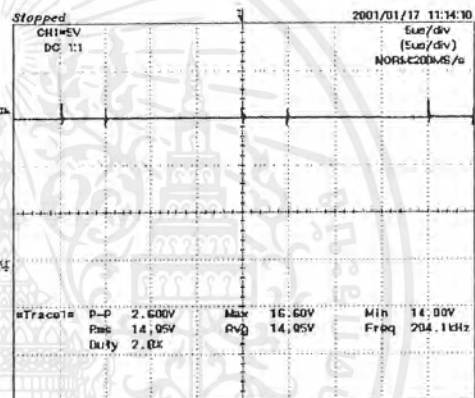
ชนิดแผง ซิลิคอน 2 (Silicon : Angle)

โหลดความต้านทาน 5.3 โอห์ม					
แรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า	14.95	โวลต์	แรงดันไฟฟ้าขาออก	10.37	โวลต์
กระแสไฟฟ้าป้อนเข้า	1.85	แอมป์	กระแสไฟฟ้าขาออก	2.25	แอมป์
กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า	27.65	วัตต์	กำลังไฟฟ้าขาออก	23.33	วัตต์
ประสิทธิภาพ 84.37%	แรงดันไฟฟ้ากระแสเพิ่ม 3.65 %		โวลเตจเรกกูเรชัน 0.29 %		



*Filter= *Offset= *Record Length= *Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : 0.00V Main : 10K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : ----- Zoom : 4K Type : EDGE CH1 f
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM

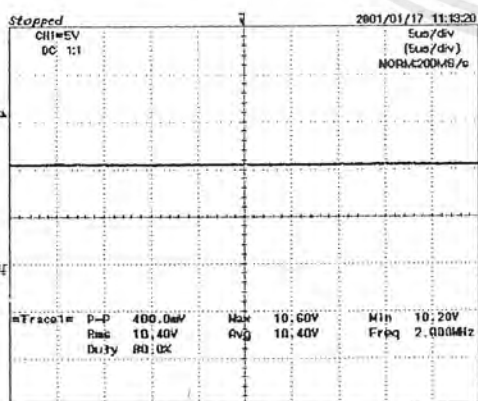
ขณะ ไม่มีภาระ



*Filter= *Offset= *Record Length= *Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : 0.00V Main : 10K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : ----- Zoom : 4K Type : EDGE CH1 f
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM

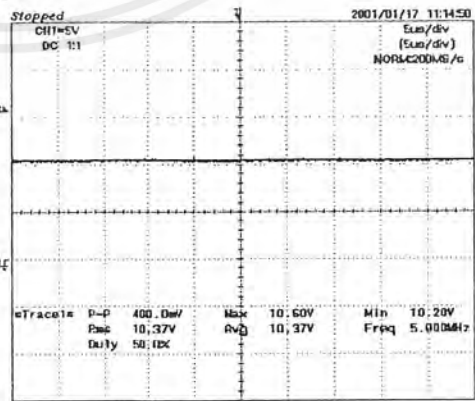
ขณะ มีภาระ

รูปที่ 4.12(ก) เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันขาเข้าขณะ ไม่มีภาระ และ มีภาระ



*Filter= *Offset= *Record Length= *Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : 0.00V Main : 10K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : ----- Zoom : 4K Type : EDGE CH1 f
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM

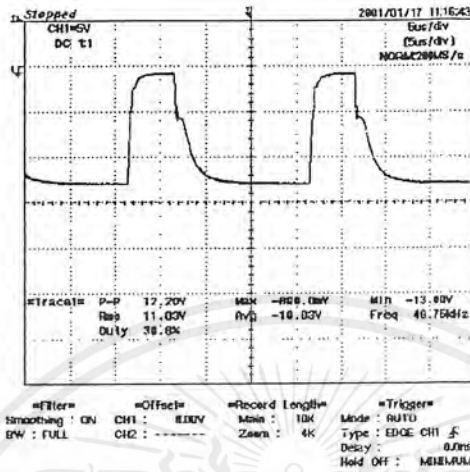
ขณะ ไม่มีภาระ



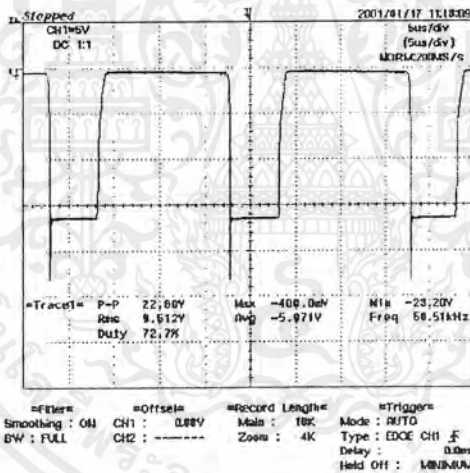
*Filter= *Offset= *Record Length= *Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : 0.00V Main : 10K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : ----- Zoom : 4K Type : EDGE CH1 f
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM

ขณะ มีภาระ

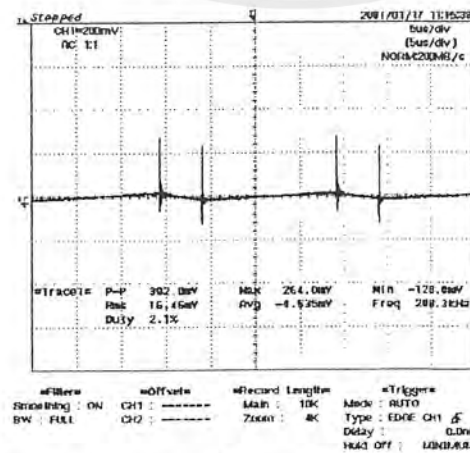
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.12(ข) เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันขาออกขณะ ไม่มีภาระ และ มีภาระ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12(ค) สัญญาณแรงดันขั้วขาเกต-ซอร์ส



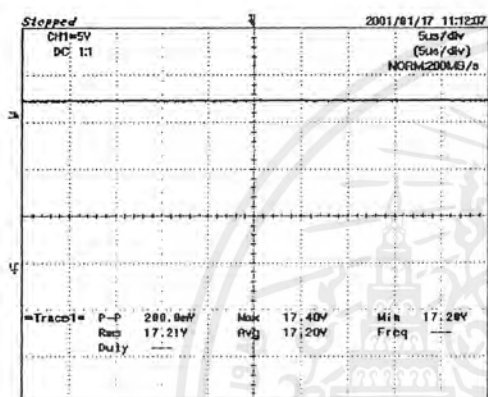
รูปที่ 4.12(ง) สัญญาณแรงดันคร่อมขาทราน-ซอร์ส



รูปที่ 4.12(จ) สัญญาณแรงดันกระแสที่ออกมาออก ขณะมีภาระ

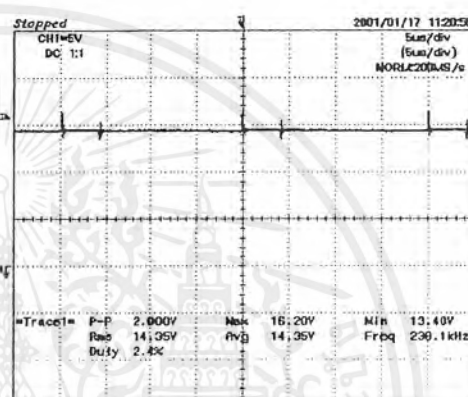
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลดความต้านทาน 3.9 โอห์ม					
แรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า	14.35	โวลต์	แรงดันไฟฟ้าขาออก	10.38	โวลต์
กระแสไฟฟ้าป้อนเข้า	2.15	แอมป์	กระแสไฟฟ้าขาออก	2.15	แอมป์
กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า	30.85	วัตต์	กำลังไฟฟ้าขาออก	30.85	วัตต์
ประสิทธิภาพ 89.17%	แรงดันไฟฟ้ากระเพื่อม 4.15 %		โวลเตจเรกกูเรชัน 0.19 %		



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : 0.00V Min : 10K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : ----- Zoom : 4K Type : EDGE CH1 f
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM

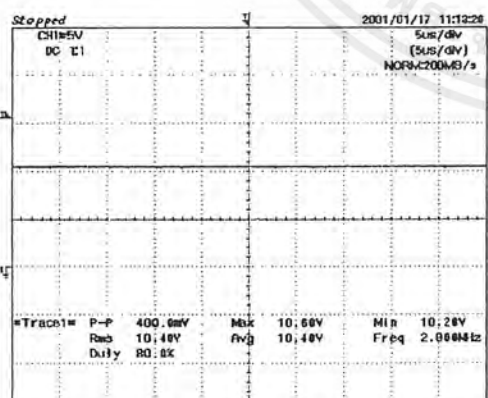
ขณะไม่มีภาระ



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : 0.00V Min : 10K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : ----- Zoom : 4K Type : EDGE CH1 f
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM

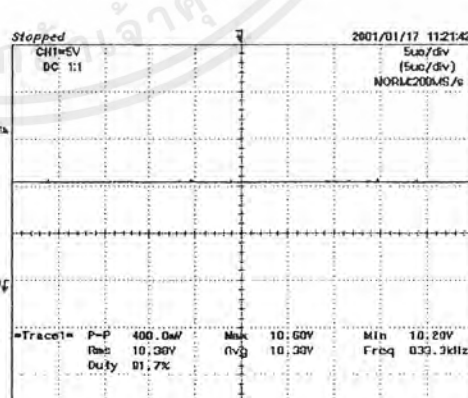
ขณะมีภาระ

รูปที่ 4.13(ก) เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันขาออกขณะ ไม่มีภาระ และ มีภาระ



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : 0.00V Min : 10K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : ----- Zoom : 4K Type : EDGE CH1 f
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM

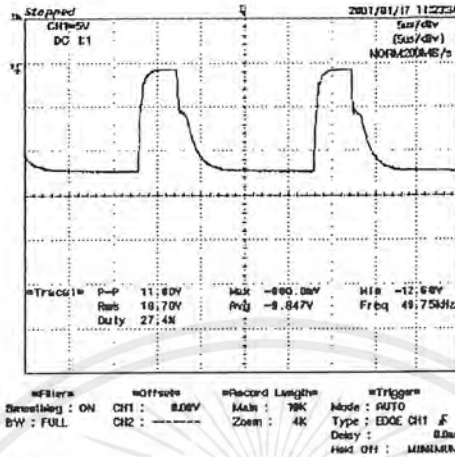
ขณะไม่มีภาระ



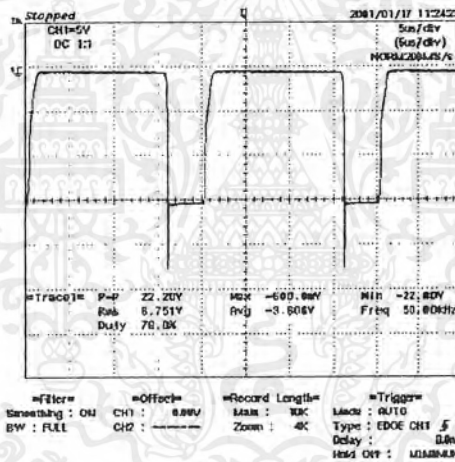
=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
 Smoothing : ON CH1 : 0.00V Min : 10K Mode : AUTO
 BW : FULL CH2 : ----- Zoom : 4K Type : EDGE CH1 f
 Delay : 0.0ns
 Hold Off : MINIMUM

ขณะมีภาระ

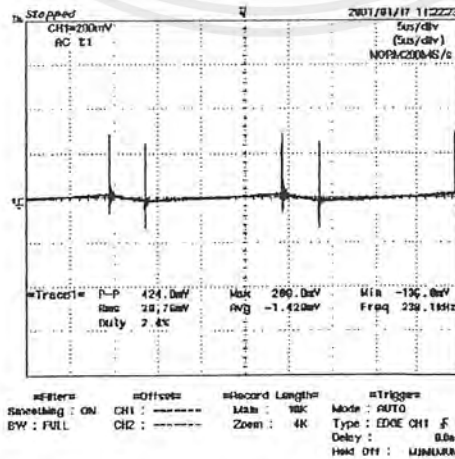
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.13(ข) เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันขาออกขณะ ไม่มีภาระ และ มีภาระ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13(ก) สัญญาณแรงดันขึ้นขาเกิด-ซอร์ส



รูปที่ 4.13(ง) สัญญาณแรงดันคร่อมขาทราน-ซอร์ส



รูปที่ 4.13(จ) สัญญาณแรงดันกระแสเพื่อมขาออก ขณะมีภาระ

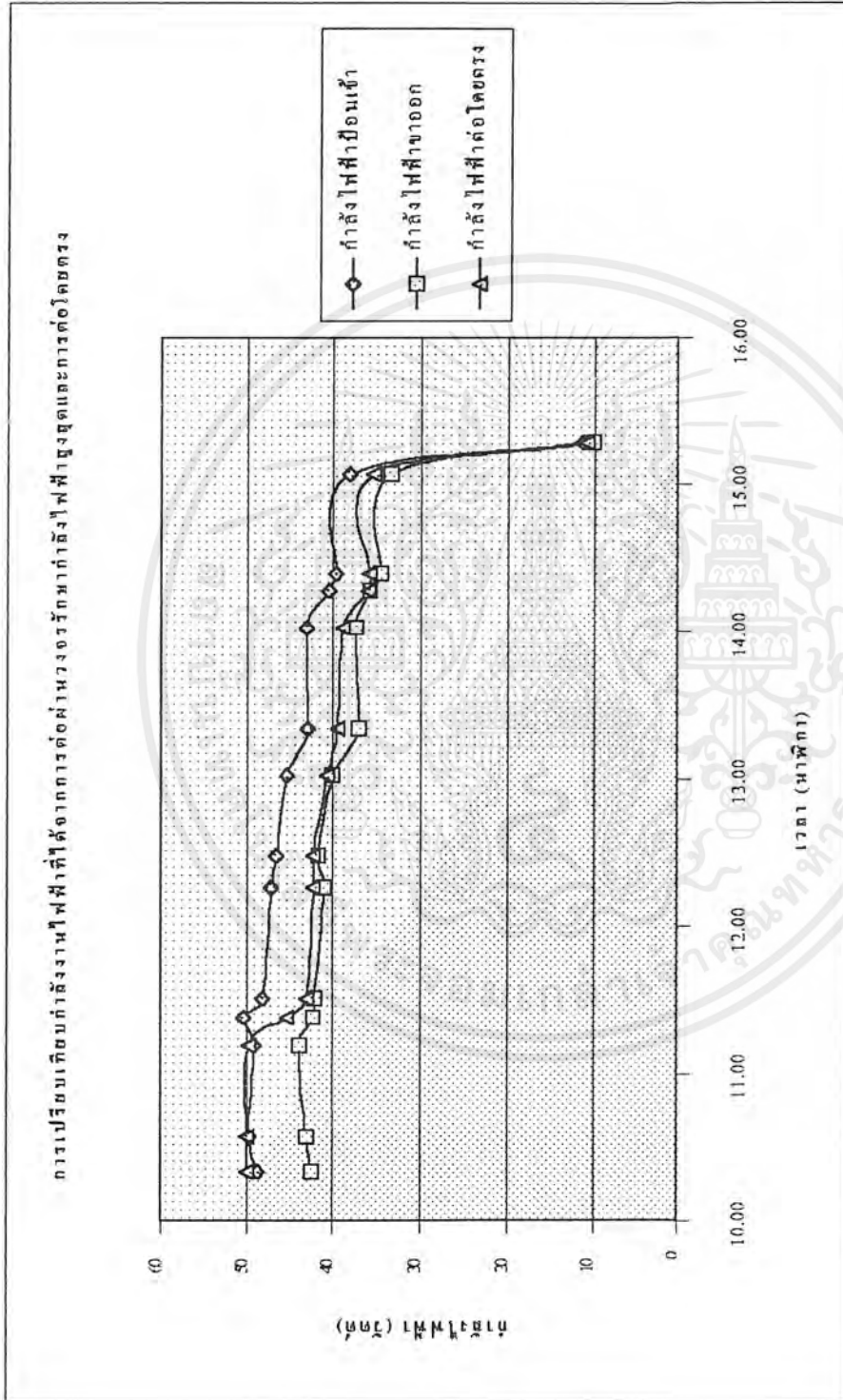
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบการดึงพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านวงจรยกกำลังไฟฟ้า
สูงสุดและการต่อโดยตรง

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบการดึงพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านวงจรยกกำลังไฟฟ้า

เวลา	ต่อผ่านวงจรยกกำลังไฟฟ้าสูงสุด										ต่อโดยตรง				เปอร์เซ็นต์ (%)		
	ป้อนเข้า					ขาออก					แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลัง (W)	ประสิทธิภาพ (%)	ผลต่าง (วัตต์)		ขาออก
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลัง (W)	กระแส (A)	กำลัง (W)	กระแส (A)	กำลัง (W)	กระแส (A)	กำลัง (W)	ป้อนเข้า					ขาออก		
10.33	13.86	3.52	48.74	11.00	3.86	42.46	87.12	14.25	3.50	49.88	-1.14	-7.42	-2.28	-14.87			
10.57	13.52	3.68	49.82	11.00	3.92	43.12	86.56	14.48	3.45	49.96	-0.14	-6.84	-0.28	-13.68			
11.19	12.59	3.90	49.07	11.00	3.99	43.89	89.45	14.74	3.38	49.82	-0.75	-5.93	-1.51	-11.90			
11.38	13.11	3.84	50.30	11.00	3.85	42.35	84.20	15.35	2.95	45.28	5.01	-2.93	11.07	-6.48			
11.51	12.51	3.84	48.02	11.00	3.82	42.02	87.50	15.55	2.77	43.07	4.95	-1.05	11.49	-2.45			
12.26	13.72	3.43	47.04	11.00	3.74	41.14	87.46	15.63	2.70	42.20	4.84	-1.06	11.46	-2.51			
12.48	13.30	3.50	46.61	11.00	3.78	41.58	89.21	15.64	2.70	42.23	4.38	-0.65	10.37	-1.53			
13.02	13.30	3.41	45.38	11.00	3.65	40.15	88.47	15.66	2.60	40.72	4.67	-0.57	11.46	-1.39			
13.35	12.04	3.56	42.83	11.00	3.37	37.07	86.56	15.21	2.60	39.55	3.28	-2.48	8.29	-6.26			
14.02	13.60	3.16	43.03	11.00	3.40	37.40	86.92	15.55	2.50	38.90	4.13	-1.50	10.61	-3.86			
14.27	14.24	2.84	40.46	11.00	3.26	35.86	88.63	15.00	2.40	36.00	4.46	-0.14	12.39	-0.39			
14.39	13.94	2.84	39.58	11.00	3.15	34.65	87.54	15.56	2.30	35.79	3.79	-1.14	10.60	-3.18			
15.07	14.42	2.64	38.06	11.00	3.04	33.44	87.86	15.55	2.28	35.45	2.61	-2.01	7.35	-5.68			
15.28	12.10	0.94	11.32	11.00	0.92	10.12	89.36	14.50	0.75	10.88	0.45	-0.75	4.14	-6.94			

โดยเฉลี่ยพลังงานที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อผ่านวงจรยกกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น 7.51% เมื่อเทียบกับพลังงานที่ได้รับจากการต่อโดยตรงผ่านแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 4.14 กราฟผลการทดลองเปรียบเทียบการดึงพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านวงจรรักษากำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

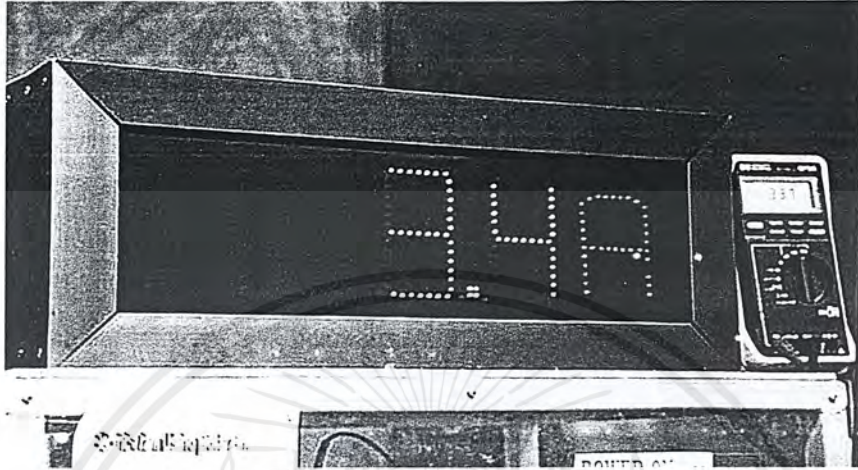
4.4 ผลการทดลองพฤติกรรมการดึงพลังงานของวงจรรืษาค่าลิ่งไฟฟ้าสูงสูดในลักษณะการต่อแบบอนุกรม เมื่อประยุกตใ้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 4.6 แสดงพฤติกรรมการดึงกำลังไฟฟ้าของวงจรMPPT จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละอันซึ่งต่อในลักษณะอนุกรมกัน

ชนิด	แรงดัน (โวลต์)		กระแส (แอมป์)		กำลังไฟฟ้า (วัตต์)		ประสิทธิภาพ (%)	กำลังไฟฟ้ารวม (วัตต์)		ประสิทธิภาพ (%)	แรงดันเปิดวงจรขาออกเท่ากับ 10 โวลต์	แรงดันเปิดวงจรขาออกเท่ากับ 10 โวลต์	แรงดันเปิดวงจรขาออกเท่ากับ 9.5 โวลต์	แรงดันเปิดวงจรขาออกเท่ากับ 9.5 โวลต์	ความเข้มแสง (ลักซ์)
	ป้อนเข้า	ขาออก	ป้อนเข้า	ขาออก	ป้อนเข้า	ขาออก		ป้อนเข้า	ขาออก						
อมอร์ฟิซ 1	15.70	9.95	2.45	3.40	38.47	33.83	87.95	77.79	67.69	87.02	19.90	3.40	67.66	82300	
อมอร์ฟิซ 2	16.05	9.96	2.45	3.40	39.32	33.86	86.12	แรงดันเปิดวงจรขาออกเท่ากับ 10 โวลต์							
อมอร์ฟิซ 1	15.10	9.95	2.55	3.45	38.51	34.33	89.15	77.98	68.69	88.09	19.90	3.45	68.66	78000	
อมอร์ฟิซ 2	15.79	9.96	2.50	3.45	39.48	34.36	87.05	แรงดันเปิดวงจรขาออกเท่ากับ 10 โวลต์							
อมอร์ฟิซ 1	15.30	9.96	2.05	2.82	31.37	28.09	89.55	63.82	56.20	88.07	19.87	2.82	56.03	64100	
อมอร์ฟิซ 2	15.83	9.97	2.05	2.82	32.45	28.12	86.64	แรงดันเปิดวงจรขาออกเท่ากับ 10 โวลต์							
อมอร์ฟิซ 1	15.03	9.47	2.00	2.76	30.06	26.14	86.95	60.86	52.30	85.94	18.91	2.76	52.19	59000	
อมอร์ฟิซ 2	15.40	9.48	2.00	2.76	30.80	26.16	84.95	แรงดันเปิดวงจรขาออกเท่ากับ 9.5 โวลต์							
อมอร์ฟิซ 1	15.90	8.97	1.50	2.59	23.85	23.23	97.41	48.15	46.49	96.55	17.91	2.59	46.39	53900	
อมอร์ฟิซ 2	15.19	8.98	1.60	2.59	24.30	23.26	95.70	แรงดันเปิดวงจรขาออกเท่ากับ 9 โวลต์							
อมอร์ฟิซ 1	15.90	9.47	1.50	2.29	23.85	21.69	90.93	48.45	43.40	89.57	18.94	2.29	43.37	51800	
อมอร์ฟิซ 1	16.40	9.48	1.50	2.29	24.60	21.71	88.25	แรงดันเปิดวงจรขาออกเท่ากับ 9.5 โวลต์							

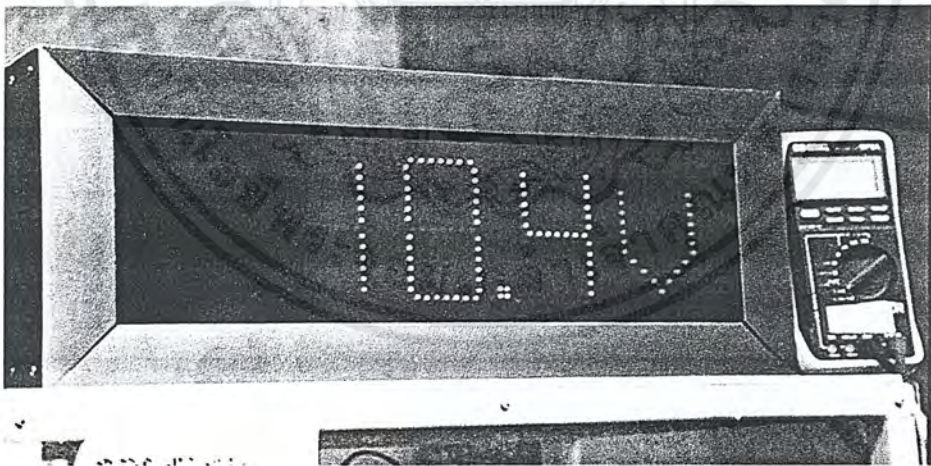
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลทดสอบการแสดงผล



$$\begin{aligned} \text{Error} &= \frac{(3.40 - 3.37)}{3.37} \times 100 \\ &= 0.89\% \end{aligned}$$

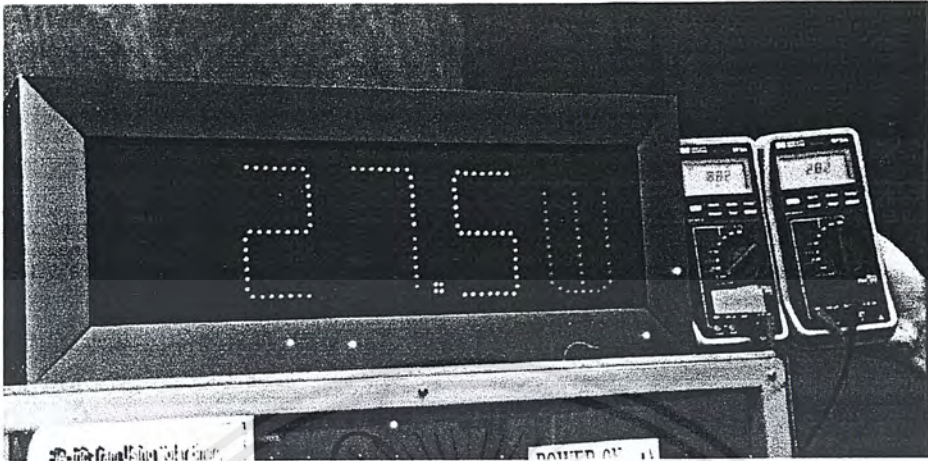
รูปที่ 4.16 ผลการส่งค่ากระแสไฟฟ้ามาแสดง



$$\begin{aligned} \text{Error} &= \frac{(10.61 - 10.4)}{10.61} \times 100 \\ &= 1.97\% \end{aligned}$$

รูปที่ 4.15 ผลการส่งค่าแรงดันไฟฟ้ามาแสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$\text{Error} = \left[\frac{27.5 - (8.82 \times 2.82)}{8.82 \times 2.82} \right]$$

$$= 0.10 (10\%)$$

รูปที่ 4.17 แสดงการแสดงผลคูณจากหน้าปัดได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและบทวิจารณ์

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด ณ ความเข้มแสงต่างๆกัน มีช่วงเปอร์เซ็นต์ใกล้เคียงกันในแผงชนิดเดียวกัน และแตกต่างกันสำหรับแผงต่างชนิดกันดังนี้

อมอร์ฟิซ ระดับแรงดันที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าประมาณ 13.03 โวลต์

ซิลิคอน 1 (กลม) ระดับแรงดันที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าประมาณ 12.42 โวลต์

ซิลิคอน 2 (เหลี่ยม) ระดับแรงดันที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าประมาณ 12.52 โวลต์

เพราะฉะนั้นหากเราสามารถควบคุมระดับแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเดียวกันแต่ละแผง ในช่วงที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดไว้ได้ ก็เปรียบเสมือนว่าเราสามารถรักษาช่วงการใช้งานที่ได้รับกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ได้

5.1.2 จากผลการทดลองวงจรมีความสามารถในการรักษาระดับแรงดันที่ต้องการไว้ได้ สังเกตจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านภาระที่เปลี่ยนแปลงไป แต่ระดับแรงดันขาออกยังคงมีค่าใกล้เคียงกับค่าแรงดันขณะเปิดวงจรที่เรากำหนดไว้ (พิจารณาค่าโวลเตจเรกูเลชัน (Voltage Regulation))

5.1.3 พฤติกรรมในการดึงพลังงานไม่เป็นไปตามทฤษฎี กล่าวคือแรงดันขาเข้าของทั้งสองวงจรมีค่าไม่เท่ากันโดยห่างกันประมาณ 0.5 โวลต์ แต่ระดับแรงดันขาออกของทั้งสองวงรียังคงมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดไว้และไปปรากฏที่ภาระในลักษณะแรงดันบวกกัน ทั้งนี้ภาระที่ใช้ทดสอบเป็นภาระที่สามารถปรับค่าได้ แต่ในความเป็นจริงภาระที่ใช้เป็นแบตเตอรี่ซึ่งไม่ว่าจะให้ระดับแรงดันสูงมากกว่าปกติของแบตเตอรี่เท่าใด มันก็จะดึงกระแสตามขนาดที่มันต้องการขึ้นอยู่กับว่าแบตเตอรี่มีพลังงานสะสมมากน้อยเพียงใด และในกรณีที่แหล่งจ่ายเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งถือเป็นแหล่งจ่ายที่ให้กำลังไฟฟ้าได้จำกัด กล่าวคือดึงกระแสมาก ระดับแรงดันจะลดลง ตามกราฟแสดงความสัมพันธ์แรงดันและกระแสข้างต้น ต่างจากแหล่งจ่ายของการไฟฟ้าที่ให้กระแสได้ออนันต์ จึงทำให้จำเป็นต้องมีชุดควบคุมกระแสการชาร์จแบตเตอรี่เข้ามาเกี่ยวข้องกับวงจรจึงจะสามารถใช้งานวงจรรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.1.4 จากการทดลองในหัวข้อที่ 3 พบว่า จุดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถควบคุมให้ไปถึงได้ยาก ด้วยการปรับค่าภาระเพื่อเปลี่ยนค่ากระแส ดังนั้นหากสังเกตระดับแรงดันป้อนเข้าของแต่ละวงจรจะมีค่าค่อนข้างห่างจากระดับแรงดันที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด และหากดึงกระแสเกินจากจุดนี้ไปพบว่านอกจากวงจรจะไม่สามารถรักษาระดับแรงดันได้ตามเงื่อนไข เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากระดับแรงดันป้อนเข้ามีค่าต่ำเกินไปแล้วยังพบว่า พฤติกรรมการดึงกระแสส่วนที่เกินจะเกิดขึ้นกับวงจรที่ต่ออยู่ทางด้านขั้วบวก โดยกระแสป้อนเข้าจะเพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่งหากยังคงดึงกระแสต่อไป พฤติกรรมการดึงกระแสส่วนที่เหลือนี้จะเกิดกับวงจรที่ต่ออยู่ทางด้านขั้วลบและมีค่ากระแสป้อนเข้าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนเท่ากับค่ากระแสป้อนเข้าของวงจรด้านขั้วบวก

5.1.5 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านวงจรรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT) มีค่ามากกว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการต่อผ่านโดยตรงกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่กำลังไฟฟ้าที่ได้ออกมาจริงๆจากวงจรรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุด มีค่ากำลังไฟฟ้าน้อยกว่าที่ได้จากการต่อผ่านโดยตรงกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นเช่นนี้เพราะเกิดการสูญเสียพลังงานในรูปความร้อนของอุปกรณ์ในวงจร

5.2 บทวิจารณ์ ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

5.2.1 ปัญหาที่ประสบ

- พลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ส่งจ่ายไปยังส่วนตัวรถรางซึ่งใช้อินดิคชันมอเตอร์ (Induction motor) ขนาด 2 แรงม้าเป็นตัวขับเคลื่อนไม่พอ เนื่องจากมีจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียง 6 แผง และแต่ละแผงให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 50 - 55 วัตต์ ทำให้ต้องมีการใช้แบตเตอรี่เป็นตัวสำรองพลังงานหรือแบคอัพ (Back up) คือ พลังงานส่วนหนึ่งของแบตเตอรี่จ่ายให้กับส่วนของตัวรถและอีกส่วนหนึ่งรับพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นควรมีแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเพื่อส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอ

- พลังงานที่ได้จากวงจร MPPT ไม่ใช่ค่าพลังงานสูงสุดเนื่องจากพลังงานส่วนหนึ่งสูญเสียไปในวงจรอินเน็ทเนื่องมาจากการสวิตชิง (Switching loss) ในวงจร MPPT ที่มีลักษณะการทำงานของวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์แบบวงจรมัด (Close Loop Buck Converter) จากคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ช่วยให้พลังงานสูงสุดที่ขนาด 68-70% ของแรงดันเปิดวงจร ดังนั้นขนาดแรงดันขาออกของวงจร MPPT จึงควรมีค่าประมาณ 13 โวลต์ ซึ่งจะให้พลังงานสูงสุด แต่ในวงจร MPPT ที่ใช้งานจริง ค่า Duty Cycle ปรับได้ 0.83 หรือ 83 % เท่านั้นอันเนื่องมาจากข้อจำกัดของตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) ซึ่งไม่สามารถอิ่มตัวได้ และเนื่องจากเมื่อนำมาต่อเข้ากับภาระที่เป็นแบตเตอรี่ เกิดกระแสไหลจึงส่งผลให้ขนาดแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าลดลงตามกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าจนมีค่าเหลือประมาณ 13 โวลต์ ซึ่งเป็นระดับแรงดันที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ดังนั้นขนาดแรงดันขาออกที่สามารถควบคุมได้จึงมีค่าประมาณ 11 โวลต์ ทำให้พลังงานที่ได้มายังไม่ใช่พลังงานสูงสุด สาเหตุสำคัญที่เกิดขึ้นนั้นคาดว่าจะเป็นเกิดการสูญเสียพลังงานภายในตัวมอเตอร์ และอีกส่วนหนึ่งภายในตัวเหนี่ยวนำ กล่าวคือถ้าปรับ Duty Cycle = 0.9 หมายถึงถ้าแรงดันป้อนเข้ามีค่า 10 โวลต์ ส่งผลให้แรงดันขาออกมีค่าเท่ากับ 9 โวลต์ แต่ในทางปฏิบัติสามารถปรับ Duty Cycle ได้แค่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.83 เท่านั้นเพราะจากคุณสมบัติของตัวเหนี่ยวนำที่ว่ากระแสเฉลี่ยใน 1 คาบเวลา มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นถ้าช่วงที่ตัวเหนี่ยวนำมีกระแสไหลผ่านนานจะมีขนาดกระแสต่ำ ส่งผลให้ช่วงที่ไม่มีกระแส (สวิตช์เปิดออก) ตัวเหนี่ยวนำจะทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายกระแสช่วงนั้นกระแสจะสูงมากใน 1 คาบเวลา จากคุณสมบัติ แต่ในทางปฏิบัติจริงจะเกิดการอ้อมตัวในแกนเหล็กของตัวเหนี่ยวนำทำให้ไม่สามารถเป็นไปตามที่ทางทฤษฎี

นอกจากนั้นระดับแรงดันไฟฟ้าที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดยังมีการเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ ตามความเข้มแสง เพราะเรานิยามระดับแรงดันที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด มีค่าประมาณ 70 % ของระดับแรงดันขณะเปิดวงจรจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และ แม้ระดับแรงดันดังกล่าวจะแปรผกผันกับความเข้มแสงเพียงเล็กน้อยก็ตาม แต่ก็เกิดผลอย่างชัดเจนในทางปฏิบัติ เนื่องจากวงจรรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้เป็นวงจรรักษาระดับแรงดันขาออก ดังนั้นเมื่อระดับแรงดันป้อนเข้า(ซึ่งมีความสัมพันธ์ถึงระดับแรงดันขณะเปิดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์) มีการเปลี่ยนแปลงไป ข้อมหมายถึงจุดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเปลี่ยนแปลงไปด้วย ในขณะที่วงจรมิได้ออกแบบมารองรับการเปลี่ยนแปลงทางด้านป้อนเข้าด้วย จึงทำให้กำลังไฟฟ้าที่ได้ในบางช่วงมิใช่กำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างแท้จริง

- แสงสว่างของส่วนแสดงผลมีไม่มากพอ

5.2.2 แนวทางการแก้ไข

- หาแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อเพิ่ม
- เลือกมอสเฟตที่มีค่าความต้านทานระหว่างขาเกต-ซอร์ส (R_{DS}) ต่ำเพื่อลดการสูญเสีย อันเนื่องมาจากการสวิตชิง (แต่จากการตรวจพบว่าประเทศไทยไม่มีมอสเฟตกลุ่มดังกล่าว) นำตัวเหนี่ยวนำที่มีคุณสมบัติในการอ้อมตัวได้มาใช้แทน และใช้อุปกรณ์ที่มีพลังงานสูญเสียในตัวน้อยที่สุด
- การเพิ่มแสงสว่างนั้นอาจทำได้โดยการเพิ่มไฟเลี้ยง แต่เนื่องจากแนวความคิดที่ว่าใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ทำให้ความสว่างนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มแสงอาทิตย์ด้วยส่วนหนึ่ง ทำให้สิ่งที่พิจารณา คือ ฝาครอบของส่วนแสดงผลจากเดิมที่ใช้กระจกตัดแสง อาจเปลี่ยนเป็นใช้กระจกธรรมดาครอบที่ละส่วนของหลอดแสดงผล เพื่อลดแสงสะท้อนจากด้านข้างและบังคับให้แสงเปล่งออกในแนวเดียวด้านหน้า



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด ณ อุณหภูมิของแผง และความเข้มแสงต่างๆกัน

ชนิดแผง อมอร์ฟัส (Amorphous)

ชนิดแผง	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	
อมอร์ฟัส (Amorphous)	0.00	5.20	0.00	13.85	4.05	56.09	
	9.12	5.20	47.42	14.06	4.00	56.24	
	10.22	5.15	52.63	14.14	3.95	55.85	
	10.59	5.10	54.01	14.21	3.90	55.42	
	10.82	5.05	54.64	14.31	3.85	55.09	
	12:20 น.	11.25	5.00	56.25	14.36	3.80	54.57
	ความเข้มแสง	11.49	4.95	56.88	14.45	3.75	54.19
	95600 ลักซ์	11.77	4.90	57.67	14.50	3.70	53.65
	วันที่	12.03	4.85	58.35	14.56	3.65	53.14
	18 มกราคม 2544	12.25	4.80	58.80	14.63	3.60	52.67
		12.38	4.75	58.81	14.73	3.55	52.29
		12.58	4.70	59.13	14.84	3.50	51.94
		12.77	4.65	59.38	14.85	3.45	51.23
		12.95	4.60	59.57	14.96	3.40	50.86
		13.01	4.55	59.20	15.05	3.35	50.42
		13.05	4.50	58.73	15.12	3.30	49.90
		13.08	4.45	58.21	15.22	3.25	49.47
		13.12	4.40	57.73	15.47	3.20	49.50
		13.29	4.35	57.81	15.50	3.15	48.83
		13.37	4.30	57.49	15.59	3.10	48.33
	13.48	4.25	57.29	15.62	3.05	47.64	
	13.59	4.20	57.08	15.80	3.00	47.40	
	13.63	4.15	56.56	15.92	2.95	46.96	
	13.70	4.10	56.17	15.99	2.90	46.37	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดแผง	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า
	16.09	2.85	45.86	17.43	1.65	28.76
	16.20	2.80	45.36	17.44	1.60	27.90
	16.26	2.75	44.72	17.50	1.55	27.13
	16.27	2.70	43.93	17.55	1.50	26.33
	16.32	2.65	43.25	17.56	1.45	25.46
	16.35	2.60	42.51	17.60	1.40	24.64
	16.40	2.55	41.82	17.65	1.35	23.83
	16.48	2.50	41.20	17.70	1.30	23.01
	16.55	2.45	40.55	17.77	1.25	22.21
	16.60	2.40	39.84	17.80	1.20	21.36
	16.65	2.35	39.13	17.82	1.15	20.49
	16.74	2.30	38.50	17.91	1.10	19.70
	16.79	2.25	37.78	17.93	1.05	18.83
	16.81	2.20	36.98	17.97	1.00	17.97
	16.87	2.15	36.27	18.00	0.95	17.10
	16.91	2.10	35.51	18.07	0.90	16.26
	16.98	2.05	34.81	18.12	0.85	15.40
	17.08	2.00	34.16	18.14	0.78	14.15
	17.11	1.95	33.36	18.17	0.71	12.90
	17.15	1.90	32.59	18.21	0.65	11.84
	17.23	1.85	31.88	18.25	0.58	10.59
	17.29	1.80	31.12	18.27	0.52	9.50
	17.35	1.75	30.36	18.30	0.45	8.24
	17.39	1.70	29.56	18.35	0.32	5.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดแผง	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า
	18.38	0.28	5.15	18.51	0.08	1.48
	18.42	0.21	3.87	18.58	0.00	0.00
	18.46	0.14	2.58			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดแผง	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า
เวลา 12:55 น. ความเข้มแสง 103600 ลักซ์ วันที่ 18 มกราคม 2544	0.00	5.30	0.00	12.94	4.18	54.09
	4.70	5.30	24.91	13.06	4.13	53.87
	5.10	5.24	26.72	13.12	4.07	53.40
	7.30	5.18	37.81	13.35	4.02	53.60
	7.80	5.11	39.86	13.48	3.96	53.38
	8.59	5.08	43.64	13.62	3.91	53.19
	8.83	5.04	44.50	13.85	3.85	53.32
	9.18	4.98	45.72	13.93	3.80	52.86
	9.17	4.95	45.41	14.07	3.74	52.62
	9.94	4.93	49.00	14.11	3.69	52.00
	10.12	4.90	49.59	14.21	3.63	51.58
	10.60	4.88	51.73	14.30	3.58	51.12
	10.70	4.84	51.79	14.41	3.52	50.72
	11.14	4.79	53.30	14.56	3.47	50.45
	11.33	4.73	53.59	14.62	3.41	49.85
	11.49	4.68	53.72	14.75	3.36	49.49
	11.78	4.62	54.42	14.87	3.30	49.07
	12.04	4.57	54.96	14.95	3.25	48.51
	12.40	4.51	55.92	15.04	3.19	47.98
	12.47	4.46	55.55	15.13	3.14	47.43
12.71	4.40	55.92	15.19	3.08	46.79	
12.75	4.35	55.40	15.26	3.03	46.16	
12.81	4.29	54.95	15.29	2.97	45.41	
12.92	4.24	54.72	15.32	2.92	44.66	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดแผง	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า
	15.33	2.86	43.84	16.82	1.54	25.90
	15.37	2.81	43.11	16.96	1.49	25.19
	15.38	2.75	42.30	17.01	1.43	24.32
	15.40	2.70	41.50	17.07	1.38	23.47
	15.42	2.64	40.71	17.11	1.32	22.59
	15.45	2.59	39.94	17.17	1.27	21.72
	15.50	2.53	39.22	17.23	1.21	20.85
	15.59	2.48	38.59	17.25	1.16	19.92
	15.64	2.42	37.85	17.30	1.10	19.03
	15.69	2.37	37.11	17.33	1.05	18.11
	15.78	2.31	36.45	17.34	0.99	17.17
	15.83	2.26	35.70	17.38	0.94	16.25
	15.93	2.20	35.05	17.45	0.88	15.36
	16.07	2.15	34.47	17.49	0.83	14.43
	16.15	2.09	33.75	17.54	0.77	13.51
	16.20	2.04	32.97	17.61	0.72	12.59
	16.27	1.98	32.21	17.65	0.66	11.65
	16.36	1.93	31.49	17.71	0.61	10.71
	16.44	1.87	30.74	17.79	0.55	9.78
	16.45	1.82	29.86	17.85	0.50	8.84
	16.58	1.76	29.18	17.93	0.44	7.89
	16.62	1.71	28.34	18.08	0.39	6.96
	16.72	1.65	27.59	18.12	0.33	5.98
	16.78	1.60	26.76	18.16	0.28	4.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดแผง	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า
	18.19	0.22	4.00	18.36	0.06	1.01
	18.30	0.17	3.02	18.36	0.00	0.00
	18.34	0.11	2.02			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดแผง ซิลิคอนแบบเซลล์กลม (Silicon : Round)

ชนิดแผง	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า
ซิลิคอน 1	0.00	2.50	0.00	15.61	1.35	21.07
	1.26	2.50	3.15	15.73	1.30	20.45
(Silicon : Round)	7.25	2.45	17.76	15.81	1.25	19.76
	10.12	2.40	24.29	16.02	1.20	19.22
เวลา	11.08	2.35	26.04	16.06	1.15	18.47
10:20 น.	11.33	2.30	26.06	16.12	1.10	17.73
ความเข้มแสง	11.72	2.25	26.37	16.19	1.05	17.00
66400 ลักซ์	12.32	2.20	27.10	16.25	1.00	16.25
วันที่	12.62	2.15	27.13	16.30	0.95	15.49
20 มกราคม 2544	13.01	2.10	27.32	16.33	0.90	14.70
	13.29	2.05	27.24	16.40	0.85	13.94
	13.64	2.00	27.28	16.42	0.80	13.14
	14.00	1.95	27.30	16.59	0.75	12.44
	14.22	1.90	27.02	16.63	0.70	11.64
	14.43	1.85	26.70	16.77	0.65	10.90
	14.46	1.80	26.03	16.84	0.60	10.10
	14.60	1.75	25.55	16.91	0.55	9.30
	14.75	1.70	25.08	16.98	0.50	8.49
	14.96	1.65	24.68	17.04	0.45	7.67
	15.04	1.60	24.06	17.14	0.40	6.86
	15.17	1.55	23.51	17.22	0.35	6.03
	15.38	1.50	23.07	17.29	0.30	5.19
	15.48	1.45	22.45	17.37	0.25	4.34
	15.53	1.40	21.74	17.45	0.20	3.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดแผง	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า
	17.54	0.15	2.63	17.62	0.05	0.88
	17.59	0.10	1.76	17.70	0.00	0.00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดแผง	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า
ซิลิคอน 1	0.00	3.50	0.00	13.92	2.35	32.71
	1.59	3.50	5.57	14.02	2.30	32.25
(Silicon : Round)	5.08	3.45	17.53	14.15	2.25	31.84
เวลา	9.08	3.40	30.87	14.23	2.20	31.31
	9.83	3.35	32.93	14.31	2.15	30.77
11:25 น.	10.99	3.30	36.27	14.43	2.10	30.30
ความเข้มแสง	11.66	3.25	37.90	14.56	2.05	29.85
112600 ลักซ์	11.75	3.20	37.60	14.75	2.00	29.50
วันที่	11.94	3.15	37.61	14.79	1.95	28.84
20 มกราคม 2544	12.09	3.10	37.48	14.85	1.90	28.22
	12.29	3.05	37.48	14.97	1.85	27.69
	12.49	3.00	37.47	15.05	1.80	27.09
	12.65	2.95	37.32	15.12	1.75	26.46
	12.75	2.90	36.98	15.25	1.70	25.93
	12.86	2.85	36.65	15.32	1.65	25.28
	13.03	2.80	36.48	15.38	1.60	24.61
	13.13	2.75	36.11	15.44	1.55	23.93
	13.50	2.70	36.45	15.53	1.50	23.30
	13.28	2.65	35.19	15.67	1.45	22.72
	13.39	2.60	34.81	15.72	1.40	22.01
	13.49	2.55	34.40	15.75	1.35	21.26
	13.56	2.50	33.90	15.84	1.30	20.59
	13.70	2.45	33.57	15.95	1.25	19.94
	13.83	2.40	33.19	16.01	1.20	19.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดแสง	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า
	16.07	1.15	18.48	16.91	0.55	9.30
	16.14	1.10	17.75	16.99	0.50	8.50
	16.24	1.05	17.05	17.05	0.45	7.67
	16.33	1.00	16.33	17.14	0.40	6.86
	16.40	0.95	15.58	17.25	0.35	6.04
	16.43	0.90	14.79	17.30	0.30	5.19
	16.49	0.85	14.02	17.36	0.25	4.34
	16.61	0.80	13.29	17.36	0.20	3.47
	16.63	0.75	12.47	17.49	0.15	2.62
	16.67	0.70	11.67	17.60	0.10	1.76
	16.75	0.65	10.89	17.64	0.05	0.88
	16.83	0.60	10.10	17.69	0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดแผง

ซิลิคอนแบบเซลล์เหลี่ยม (Silicon : Angle)

ชนิดแผง	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า
ซิลิคอน 2	0.00	3.45	0.00	14.34	2.30	32.98
	1.47	3.45	5.07	14.39	2.25	32.38
(Silicon : Angle)	10.20	3.40	34.68	14.55	2.20	32.01
เวลา	11.15	3.35	37.35	14.64	2.15	31.48
	11.76	3.30	38.81	14.80	2.10	31.08
11:20 น.	12.12	3.25	39.39	14.85	2.05	30.44
ความเข้มแสง	12.42	3.20	39.74	14.98	2.00	29.96
87400 ลักซ์	12.72	3.15	40.07	15.09	1.95	29.43
วันที่	12.83	3.10	39.77	15.12	1.90	28.73
20 มกราคม 2544	13.02	3.05	39.71	15.24	1.85	28.19
	13.25	3.00	39.75	15.29	1.80	27.52
	13.35	2.95	39.38	15.34	1.75	26.85
	13.47	2.90	39.06	15.39	1.70	26.16
	13.58	2.85	38.70	15.45	1.65	25.49
	13.64	2.80	38.19	15.51	1.60	24.82
	13.70	2.75	37.68	15.58	1.55	24.15
	13.84	2.70	37.37	15.70	1.50	23.55
	13.94	2.65	36.94	15.76	1.45	22.85
	14.04	2.60	36.50	15.80	1.40	22.12
	14.08	2.55	35.90	15.85	1.35	21.40
	14.20	2.50	35.50	15.93	1.30	20.71
	14.24	2.45	34.89	16.01	1.25	20.01
	14.27	2.40	34.25	16.08	1.20	19.30
	14.30	2.35	33.61	16.15	1.15	18.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดแผง	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า
	16.18	1.10	17.80	16.81	0.50	8.41
	16.27	1.05	17.08	16.92	0.45	7.61
	16.31	1.00	16.31	16.99	0.40	6.80
	16.36	0.95	15.54	17.01	0.35	5.95
	16.44	0.90	14.80	17.06	0.30	5.12
	16.47	0.85	14.00	17.10	0.25	4.28
	16.50	0.80	13.20	17.16	0.20	3.43
	16.52	0.75	12.39	17.19	0.15	2.58
	16.58	0.70	11.61	17.25	0.10	1.73
	16.65	0.65	10.82	17.31	0.05	0.87
	16.70	0.60	10.02	17.45	0.00	0.00
	16.75	0.55	9.21			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

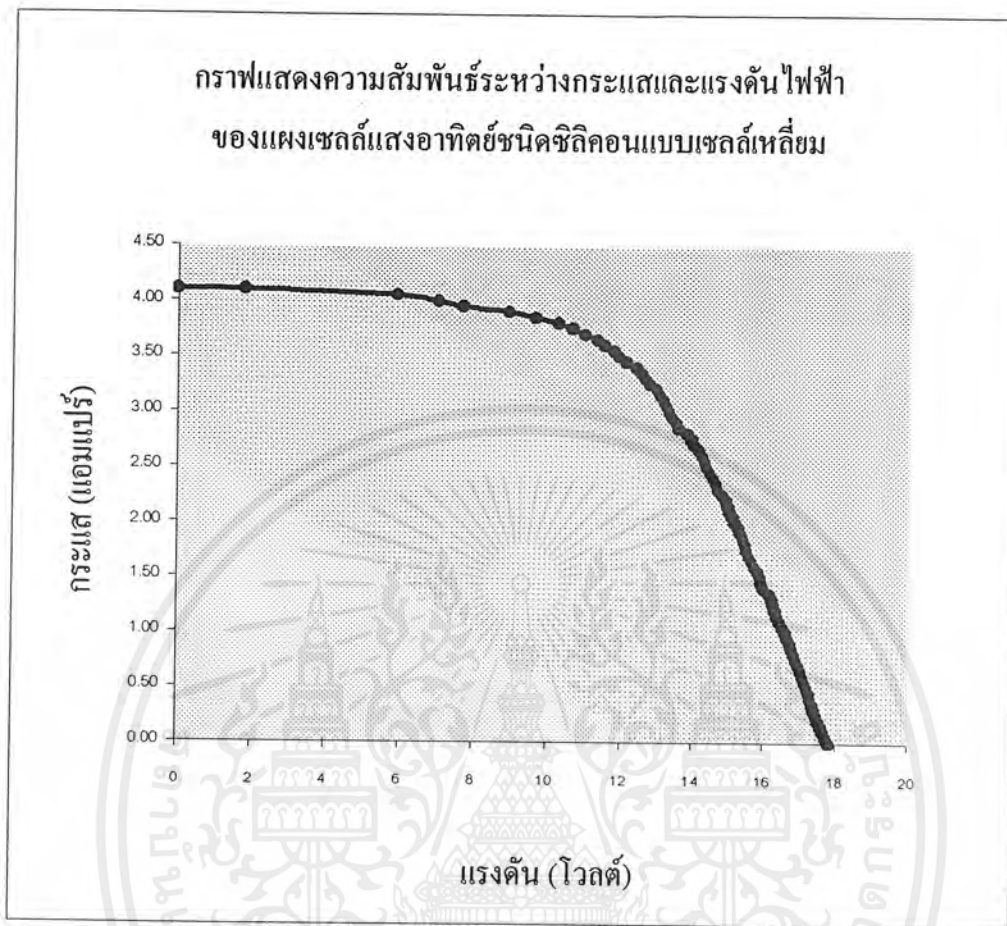
ชนิดแผง	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า
ซิลิคอน 2	0.00	4.10	0.00	13.43	2.95	39.62
	1.82	4.10	7.46	13.56	2.90	39.32
(Silicon : Angle)	5.92	4.05	23.98	13.62	2.85	38.82
เวลา	7.02	4.00	28.08	13.84	2.80	38.75
	7.69	3.95	30.38	13.96	2.75	38.39
12:25 น.	8.94	3.90	34.87	14.01	2.70	37.83
ความเข้มแสง	9.67	3.85	37.23	14.14	2.65	37.47
115800 ลักซ์	10.28	3.80	39.06	14.24	2.60	37.02
วันที่	10.66	3.75	39.98	14.31	2.55	36.49
20 มกราคม 2544	10.99	3.70	40.66	14.37	2.50	35.93
	11.33	3.65	41.35	14.48	2.45	35.48
	11.52	3.60	41.47	14.58	2.40	34.99
	11.79	3.55	41.85	14.67	2.35	34.47
	11.92	3.50	41.72	14.71	2.30	33.83
	12.12	3.45	41.81	14.84	2.25	33.39
	12.40	3.40	42.16	14.95	2.20	32.89
	12.55	3.35	42.04	15.00	2.15	32.25
	12.64	3.30	41.71	15.04	2.10	31.58
	12.76	3.25	41.47	15.11	2.05	30.98
	12.97	3.20	41.50	15.19	2.00	30.38
	13.07	3.15	41.17	15.28	1.95	29.80
	13.19	3.10	40.89	15.34	1.90	29.15
	13.26	3.05	40.44	15.41	1.85	28.51
	13.34	3.00	40.02	15.47	1.80	27.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดแผง	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า	แรงดัน	กระแส	กำลังไฟฟ้า
	15.51	1.75	27.14	16.78	0.85	14.26
	15.57	1.70	26.47	16.85	0.80	13.48
	15.66	1.65	25.84	16.91	0.75	12.68
	15.74	1.60	25.18	16.99	0.70	11.89
	15.86	1.55	24.58	17.04	0.65	11.08
	15.92	1.50	23.88	17.10	0.60	10.26
	15.95	1.45	23.13	17.15	0.55	9.43
	16.01	1.40	22.41	17.22	0.50	8.61
	16.17	1.35	21.83	17.28	0.45	7.78
	16.23	1.30	21.10	17.31	0.40	6.92
	16.28	1.25	20.35	17.38	0.35	6.08
	16.32	1.20	19.58	17.43	0.30	5.23
	16.37	1.15	18.83	17.49	0.25	4.37
	16.44	1.10	18.08	17.55	0.20	3.51
	16.53	1.05	17.36	17.62	0.15	2.64
	16.60	1.00	16.60	17.67	0.10	1.77
	16.65	0.95	15.82	17.74	0.05	0.89
	16.74	0.90	15.07	17.82	0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า
ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนแบบเซลล์เหลี่ยม



แรงดันเปิดวงจร (V_{∞}) = 17.82 โวลต์
 กระแสลัดวงจร (I_{∞}) = 4.1 แอมป์
 กำลังไฟฟ้าสูงสุด = 42.16 วัตต์ (ณ $V = 69.58 \% V_{\infty}$)
 ระดับแรงดันขณะเกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด = 12.4 โวลต์
 ระดับกระแสขณะเกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด = 3.4 แอมป์

ความเข้มแสง 115800 ลักซ์

อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 53.78 °C

มุมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 25 องศา

เวลา 12.25 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SMPS control circuit

SG3524

DESCRIPTION

This monolithic integrated circuit contains all the control circuitry for a regulating power supply inverter or switching regulator. Included in a 16-pin dual-in-line package is the voltage reference, error amplifier, oscillator, pulse-width modulator, pulse steering flip-flop, dual alternating output switches and current-limiting and shut-down circuitry. This device can be used for switching regulators of either polarity, transformer-coupled DC-to-DC converters, transformerless voltage doublers and polarity converters, as well as other power control applications. The SG3524 is designed for commercial applications of 0°C to +70°C.

FEATURES

- Complete PWM power control circuitry
- Single ended or push-pull outputs
- Line and load regulation of 0.2%
- 1% maximum temperature variation
- Total supply current is less than 10mA
- Operation beyond 100kHz

PIN CONFIGURATION

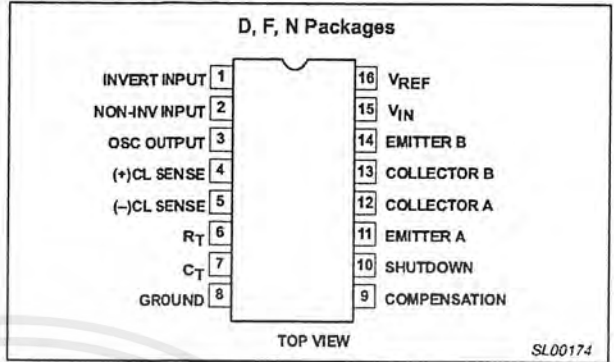


Figure 1. Pin Configuration

ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
16-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 to +70°C	SG3524N	SOT38-4
16-Pin Ceramic Dual In-Line Package (CERDIP)	0 to +70°C	SG3524F	0582B
16-Pin Small Outline (SO) Package	0 to +70°C	SG3524D	SOT109-1

BLOCK DIAGRAM

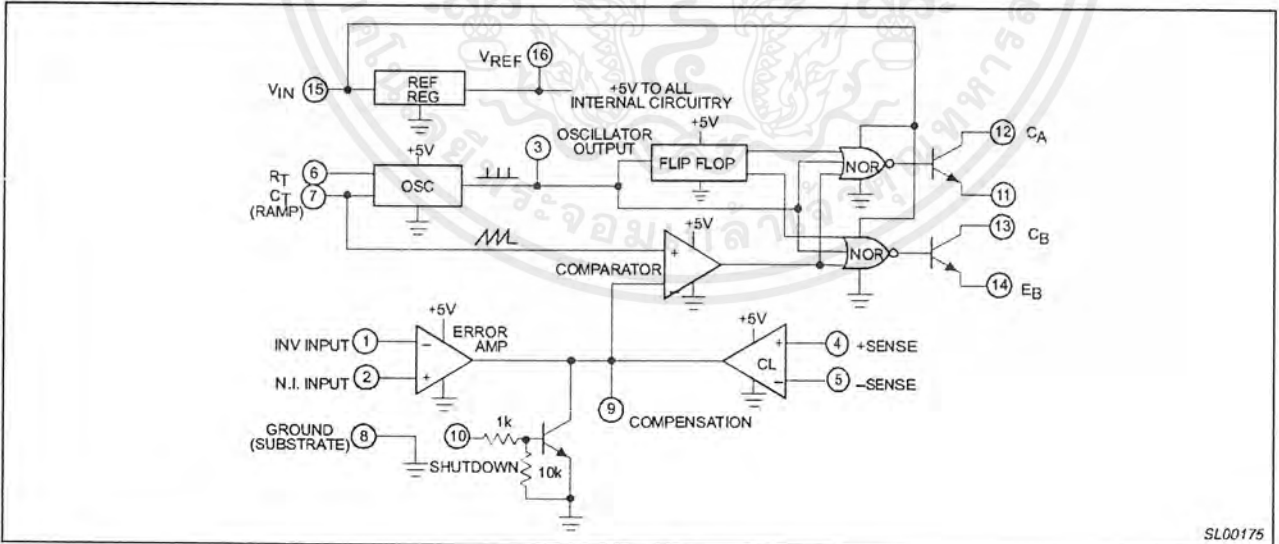


Figure 2. Block Diagram

SMPS control circuit

SG3524

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNIT
V_{IN}	Input voltage	40	V
I_{OUT}	Output current (each output)	100	mA
I_{REF}	Reference output current	50	mA
	Oscillator charging current	5	mA
P_D	Power dissipation		
	Package limitation	1000	mW
	Derate above 25°C	8	mW/°C
T_A	Operating temperature range	0 to +70	°C
T_{STG}	Storage temperature range	-65 to +150	°C

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$T_A=0^\circ\text{C}$ to $+70^\circ\text{C}$, $V_{IN}=20\text{V}$, and $f=20\text{kHz}$, unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNIT
			Min	Typ	Max	
Reference section						
V_{OUT}	Output voltage		4.6	5.0	5.4	V
	Line regulation	$V_{IN}=8$ to 40V		10	30	mV
	Load regulation	$I_L=0$ to 20mA		20	50	mV
	Ripple rejection	$f=120\text{Hz}$, $T_A=25^\circ\text{C}$		66		dB
I_{SC}	Short circuit current limit	$V_{REF}=0$, $T_A=25^\circ\text{C}$		100		mA
	Temperature stability	Over operating temperature range		0.3	1	%
	Long-term stability	$T_A=25^\circ\text{C}$		20		mV/kHz
Oscillator section						
f_{MAX}	Maximum frequency	$C_T=0.001\ \mu\text{F}$, $R_T=2\text{k}\Omega$		300		kHz
	Initial accuracy	R_T and C_T constant		5		%
	Voltage stability	$V_{IN}=8$ to 40V , $T_A=25^\circ\text{C}$			1	%
	Temperature stability	Over operating temperature range			2	%
	Output amplitude	Pin 3, $T_A=25^\circ\text{C}$		3.5		V_P
	Output pulse width	$C_T=0.01\ \mu\text{F}$, $T_A=25^\circ\text{C}$		0.5		μs
Error amplifier section						
V_{OS}	Input offset voltage	$V_{CM}=2.5\text{V}$		2	10	mV
I_{BIAS}	Input bias current	$V_{CM}=2.5\text{V}$		2	10	μA
	Open-loop voltage gain		68	80		dB
V_{CM}	Common-mode voltage	$T_A=25^\circ\text{C}$	1.8		3.4	V
CMRR	Common-mode rejection ratio	$T_A=25^\circ\text{C}$		70		dB
BW	Small-signal bandwidth	$A_V=0\text{dB}$, $T_A=25^\circ\text{C}$		3		MHz
V_{OUT}	Output voltage	$T_A=25^\circ\text{C}$	0.5		3.8	V
Comparator section						
	Duty cycle	% each output "ON"	0		45	%
	Input threshold	Zero duty cycle		1		V
	Input threshold	Maximum duty cycle		3.5		V
I_{BIAS}	Input bias current			1		μA
Current limiting section						
	Sense voltage	Pin 9=2V with error amplifier set for maximum out, $T_A=25^\circ\text{C}$	180	200	220	mV
	Sense voltage T.C.			0.2		mV/°C
V_{CM}	Common-mode voltage		-1		+1	V

SMPS control circuit

SG3524

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Continued)

$T_A = 0^\circ\text{C}$ to $+70^\circ\text{C}$, $V_{IN} = 20\text{V}$, and $f = 20\text{kHz}$, unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNIT
			Min	Typ	Max	
Output section (each output)						
	Collector-emitter voltage (breakdown)		40			V
	Collector-leakage current	$V_{CE}=40\text{V}$		0.1	50	μA
	Saturation voltage	$I_C=50\text{mA}$		1	2	V
	Emitter output voltage	$V_{IN}=20\text{V}$	17	18		V
t_R	Rise time	$R_C=2\text{k}\Omega$, $T_A=25^\circ\text{C}$		0.2		μs
t_F	Fall time	$R_C=2\text{k}\Omega$, $T_A=25^\circ\text{C}$		0.1		μs
Total standby current						
	(excluding oscillator charging current, error and current limit dividers, and with outputs open)	$V_{IN}=40\text{V}$		8	10	mA

THEORY OF OPERATION

Voltage Reference

An internal series regulator provides a nominal 5V output which is used both to generate a reference voltage and is the regulated source for all the internal timing and controlling circuitry. This regulator may be bypassed for operation from a fixed 5V supply by

connecting Pins 15 and 16 together to the input voltage. In this configuration, the maximum input voltage is 6.0V.

This reference regulator may be used as a 5V source for other circuitry. It will provide up to 50mA of current itself and can easily be expanded to higher currents with an external PNP as shown in Figure 3.

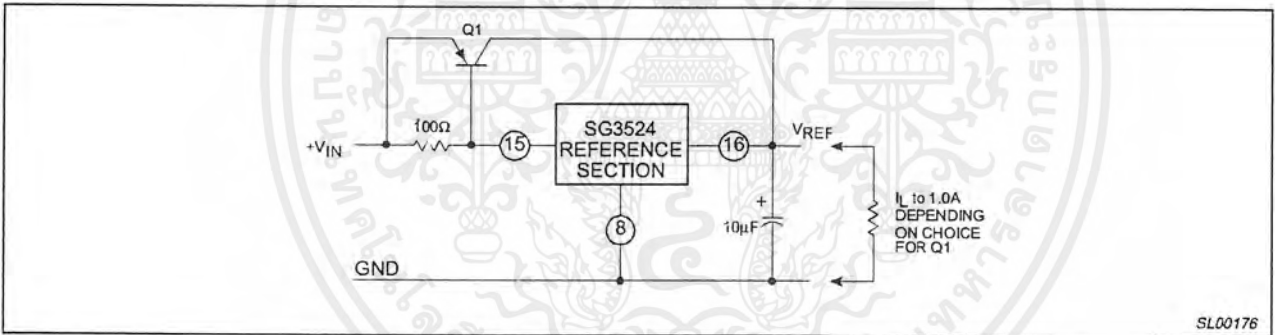


Figure 3. Expanded Reference Current Capability

TEST CIRCUIT

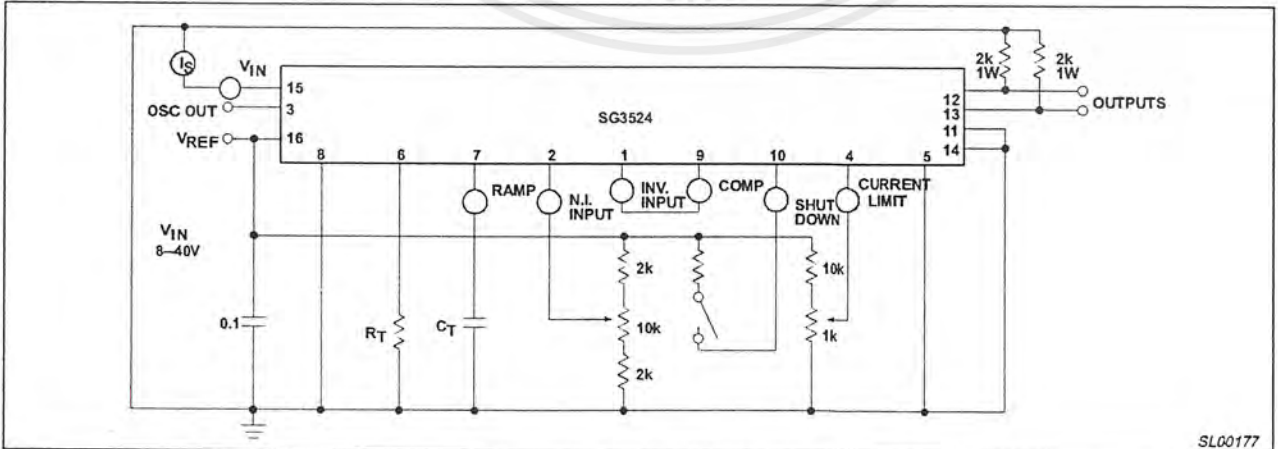


Figure 4. Test Circuit

SMPS control circuit

SG3524

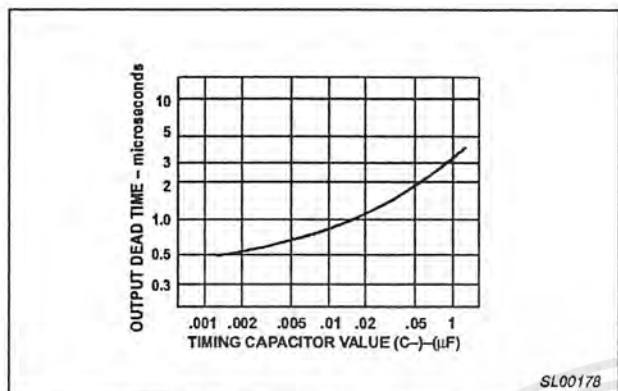


Figure 5. Output Stage Dead Time as a Function of the Timing Capacitor Value

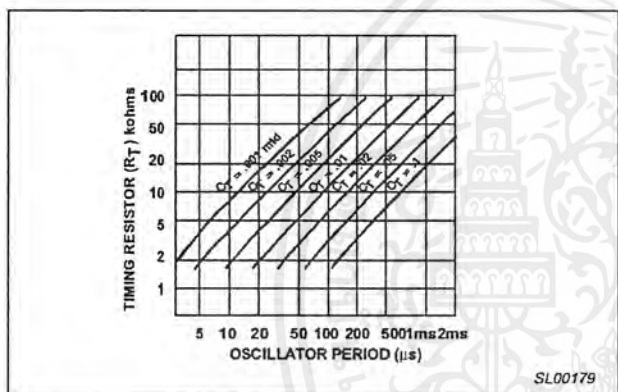


Figure 6. Oscillator Period as a Function of R_T and C_T

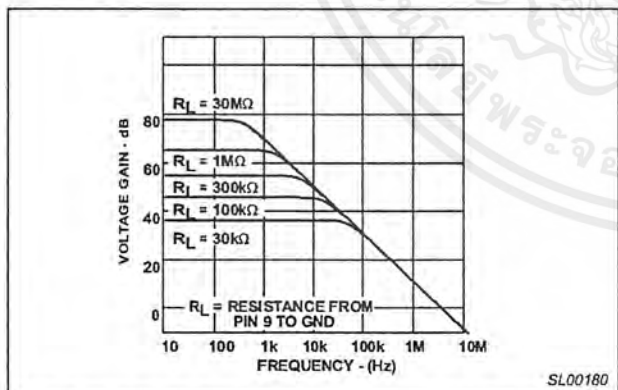


Figure 7. Amplifiers Open-Loop Gain as a Function of Frequency and Loading on Pin 9

Oscillator

The oscillator in the SG3524 uses an external resistor (R_T) to establish a constant charging current into an external capacitor (C_T). While this uses more current than a series-connected RC, it provides a linear ramp voltage on the capacitor which is also used as a reference for the comparator. The charging current is equal to

$3.6 V + R_T$ and should be kept within the approximate range of $30\mu A$ to $2mA$; i.e., $1.8k < R_T < 100k$.

The range of values for C_T also has limits as the discharge time of C_T determines the pulse-width of the oscillator output pulse. This pulse is used (among other things) as a blanking pulse to both outputs to insure that there is no possibility of having both outputs on simultaneously during transitions. This output dead time relationship is shown in Figure 5. A pulse width below approximately $0.5\mu s$ may allow false triggering of one output by removing the blanking pulse prior to the flip-flop's reaching a stable state. If small values of C_T must be used, the pulse-width may still be expanded by adding a shunt capacitance ($\approx 100pF$) to ground at the oscillator output. [(Note: Although the oscillator output is a convenient oscilloscope sync input, the cable and input capacitance may increase the blanking pulse-width slightly.)] Obviously, the upper limit to the pulse width is determined by the maximum duty cycle acceptable. Practical values of C_T fall between 0.001 and $0.1 \mu F$.

The oscillator period is approximately $t = R_T C_T$ where t is in microseconds when $R_T = \Omega$ and $C_T = \mu F$. The use of Figure 6 will allow selection of R_T and C_T for a wide range of operating frequencies. Note that for series regulator applications, the two outputs can be connected in parallel for an effective 0-90% duty cycle and the frequency of the oscillator is the frequency of the output. For push-pull applications, the outputs are separated and the flip-flop divides the frequency such that each output's duty cycle is 0-45% and the overall frequency is one-half that of the oscillator.

External Synchronization

If it is desired to synchronize the SG3524 to an external clock, a pulse of $\approx 3V$ may be applied to the oscillator output terminal with $R_T C_T$ set slightly greater than the clock period. The same considerations of pulse-width apply. The impedance to ground at this point is approximately $2k\Omega$.

If two or more SG3524s must be synchronized together, one must be designated as master with its $R_T C_T$ set for the correct period. The slaves should each have an $R_T C_T$ set for approximately 10% longer period than the master with the added requirement that $C_T(\text{slave}) = \text{one-half } C_T(\text{master})$. Then connecting Pin 3 on all units together will insure that the master output pulse—which occurs first and has a wider pulse width—will reset the slave units.

Error Amplifier

This circuit is a simple differential input transconductance amplifier. The output is the compensation terminal, Pin 9, which is a high-impedance node ($R_L \approx 5M\Omega$). The gain is

$$A_V = g_M R_L = \frac{8 I_C R_L}{2kT} = 0.002 R_L$$

and can easily be reduced from a nominal of 10,000 by an external shunt resistance from Pin 9 to ground, as shown in Figure 7.

In addition to DC gain control, the compensation terminal is also the place for AC phase compensation. The frequency response curves of Figure 7 show the uncompensated amplifier with a single pole at approximately 200Hz and a unity gain crossover at 5MHz.

Typically, most output filter designs will introduce one or more additional poles at a significantly lower frequency. Therefore, the best stabilizing network is a series RC combination between Pin 9 and ground which introduces a zero to cancel one of the output filter poles. A good starting point is $50k\Omega$ plus $0.001\mu F$.

SMPS control circuit

SG3524

One final point on the compensation terminal is that this is also a convenient place to insert any programming signal which is to override the error amplifier. Internal shutdown and current limit circuits are connected here, but any other circuit which can sink 200µA can pull this point to ground.

While feedback is normally applied around the entire regulator, the error amplifier can be used with conventional operational amplifier feedback and is stable in either the inverting or non-inverting mode. Regardless of the connections, however, input common-mode limits must be observed or output signal inversions may result. For conventional regulator applications, the 5V reference voltage must be divided down as shown in Figure 8. The error amplifier may also be used in fixed duty cycle applications by using the unity gain configuration shown in the open-loop test circuit.

Current Limiting

The current limiting circuitry of the SG3524 is shown in Figure 9.

By matching the base-emitter voltages of Q1 and Q2, and assuming a negligible voltage drop across R₁:

$$\text{Threshold} = V_{BE}(Q1) + I_1 R_2 - V_{BE}(Q2)$$

$$= I_1 R_2 \approx 200\text{mV}$$

Although this circuit provides a relatively small threshold with a negligible temperature coefficient, there are some limitations to its use, the most important of which is the ±1V common-mode range which requires sensing in the ground line. Another factor to consider is that the frequency compensation provided by R₁C₁ and Q1 provides a roll-off pole at approximately 300Hz.

Since the gain of this circuit is relatively low, there is a transition region as the current limit amplifier takes over pulse width control from the error amplifier. For testing purposes, threshold is defined as the input voltage required to get 25% duty cycle with the error amplifier signaling maximum duty cycle.

In addition to constant current limiting, Pins 4 and 5 may also be used in transformer-coupled circuits to sense primary current and to shorten an output pulse, should transformer saturation occur. Another application is to ground Pin 5 and use Pin 4 as an additional shutdown terminal: i.e., the output will be off with Pin 4 open and on when it is grounded. Finally, foldback current limiting can be provided with the network of Figure 10. This circuit can reduce the short-circuit current (I_{SC}) to approximately one-third the maximum available output current (I_{MAX}).

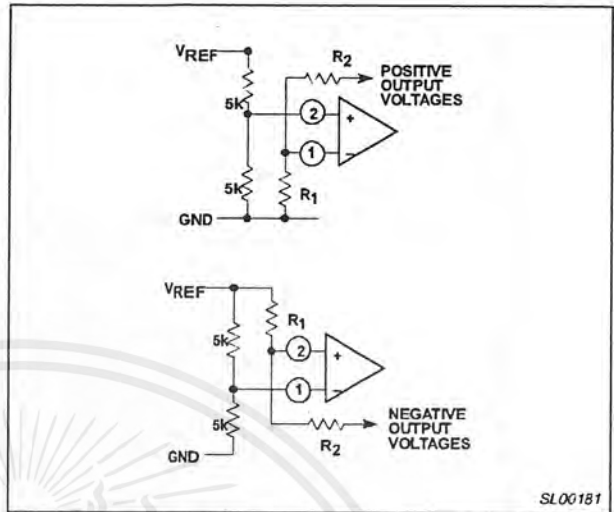


Figure 8. Error Amplifier Biasing Circuits

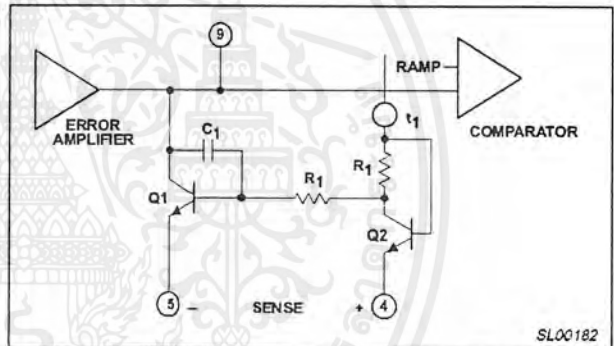


Figure 9. Current Limiting Circuitry of the SG3524

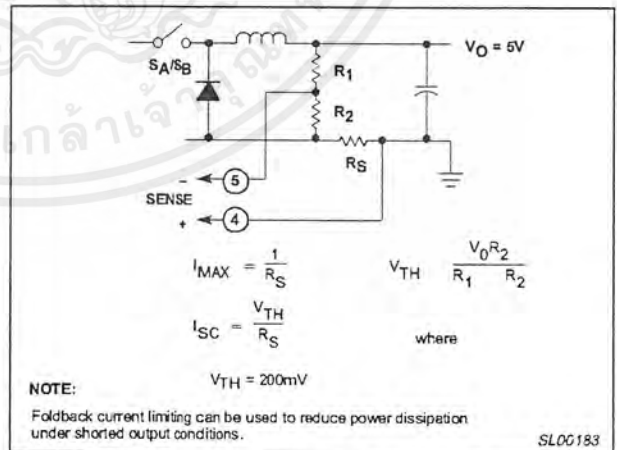
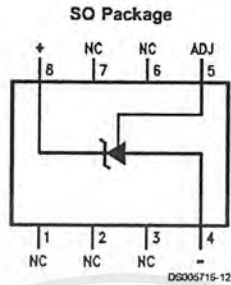


Figure 10. Foldback Current Limiting

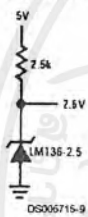
Connection Diagrams (Continued)



Top View
 Order Number LM236M-2.5,
 LM236AM-2.5, LM336M-2.5
 or LM336BM-2.5
 See NS Package Number M08A

Typical Applications

2.5V Reference

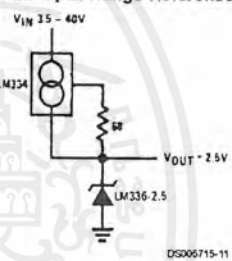


2.5V Reference with Minimum Temperature Coefficient



¹Adjust to 2.490V
 Any silicon signal diode

Wide Input Range Reference



Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

Reverse Current	15 mA
Forward Current	10 mA
Storage Temperature	-60°C to +150°C

Operating Temperature Range (Note 2)

LM136	-55°C to +150°C
LM236	-25°C to +85°C
LM336	0°C to +70°C

Soldering Information

TO-92 Package (10 sec.)	260°C
TO-46 Package (10 sec.)	300°C
SO Package	
Vapor Phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C

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

Electrical Characteristics (Note 3)

Parameter	Conditions	LM136A-2.5/LM236A-2.5			LM336B-2.5			Units
		LM136-2.5/LM236-2.5			LM336-2.5			
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Reverse Breakdown Voltage	$T_A=25^\circ\text{C}$, $I_R=1\text{ mA}$							V
	LM136, LM236, LM336	2.440	2.490	2.540	2.390	2.490	2.590	V
	LM136A, LM236A, LM336B	2.465	2.490	2.515	2.440	2.490	2.540	V
Reverse Breakdown Change With Current	$T_A=25^\circ\text{C}$, $400\ \mu\text{A} \leq I_R \leq 10\text{ mA}$		2.6	6		2.6	10	mV
Reverse Dynamic Impedance	$T_A=25^\circ\text{C}$, $I_R=1\text{ mA}$, $f=100\text{ Hz}$		0.2	0.6		0.2	1	Ω
Temperature Stability (Note 4)	V_R Adjusted to 2.490V $I_R=1\text{ mA}$, Figure 2							
	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$ (LM336)					1.8	6	mV
	$-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ (LM236H, LM236Z)		3.5	9				mV
	$-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ (LM236M)		7.5	18				mV
	$-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ (LM136)		12	18				mV
Reverse Breakdown Change With Current	$400\ \mu\text{A} \leq I_R \leq 10\text{ mA}$		3	10		3	12	mV
Reverse Dynamic Impedance	$I_R=1\text{ mA}$		0.4	1		0.4	1.4	Ω
Long Term Stability	$T_A=25^\circ\text{C} \pm 0.1^\circ\text{C}$, $I_R=1\text{ mA}$, $t=1000\text{ hrs}$		20			20		ppm

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 2: For elevated temperature operation, T_J max is:

LM136	150°C
LM236	125°C
LM336	100°C

Thermal Resistance	TO-92	TO-46	SO-8
θ_{JA} (Junction to Ambient)	180°C/W (0.4" leads) 170°C/W (0.125" lead)	440°C/W	165°C/W
θ_{JC} (Junction to Case)	n/a	80°C/W	n/a

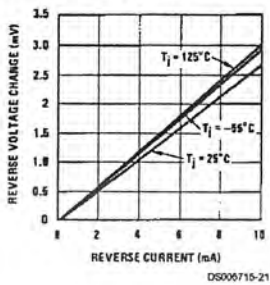
Note 3: Unless otherwise specified, the LM136-2.5 is specified from $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$, the LM236-2.5 from $-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ and the LM336-2.5 from $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$.

Note 4: Temperature stability for the LM336 and LM236 family is guaranteed by design. Design limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels. Stability is defined as the maximum change in V_{ref} from 25°C to T_A (min) or T_A (max).

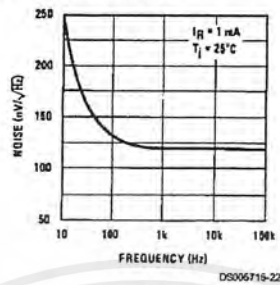
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

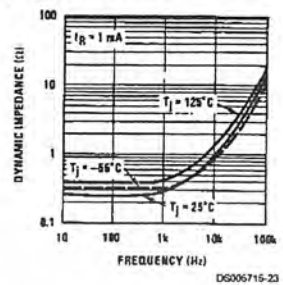
Reverse Voltage Change



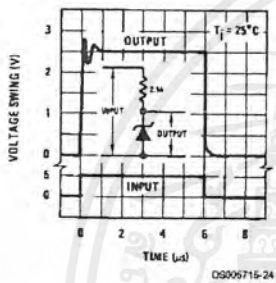
Zener Noise Voltage



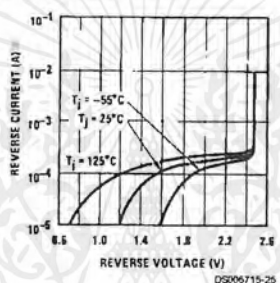
Dynamic Impedance



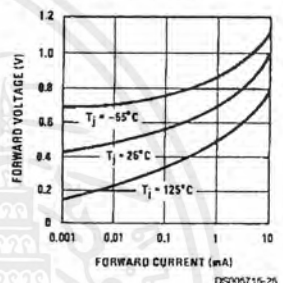
Response Time



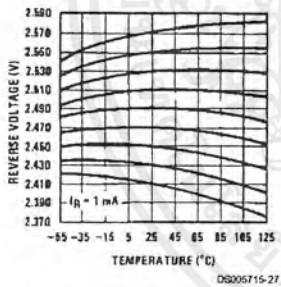
Reverse Characteristics



Forward Characteristics

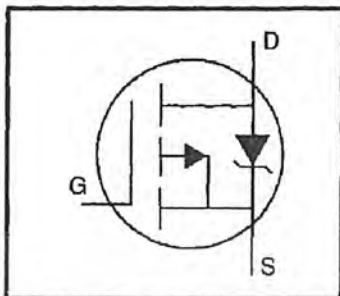


Temperature Drift



HEXFET® Power MOSFET

- Dynamic dv/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- P-Channel
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements

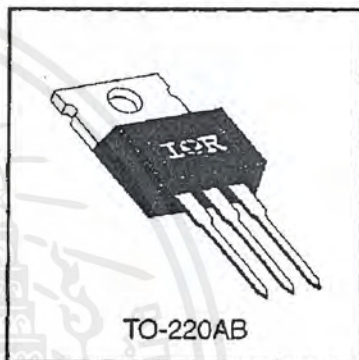


$V_{DSS} = -100V$
$R_{DS(on)} = 0.30\Omega$
$I_D = -12A$

Description

Third Generation HEXFETs from International Rectifier provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

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.



DATA SHEETS

Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10 V$	-12	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10 V$	-8.2	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	-48	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	88	W
	Linear Derating Factor	0.59	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	400	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ①	-12	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	8.8	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	-5.5	V/ns
T_J T_{STG}	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +175	°C
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting Torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1 N•m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	—	1.7	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	—	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	—	62	

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

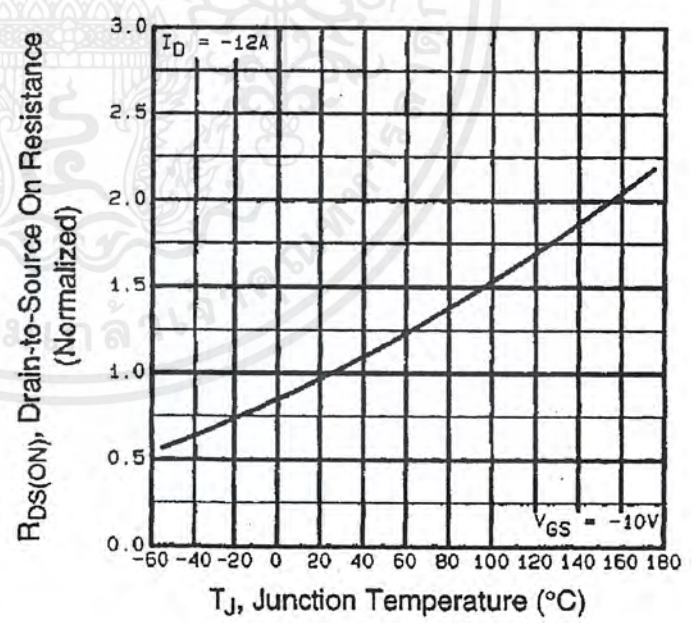
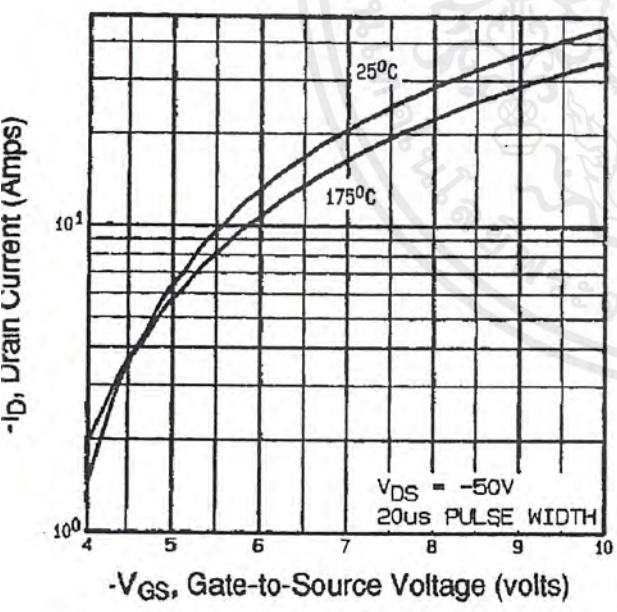
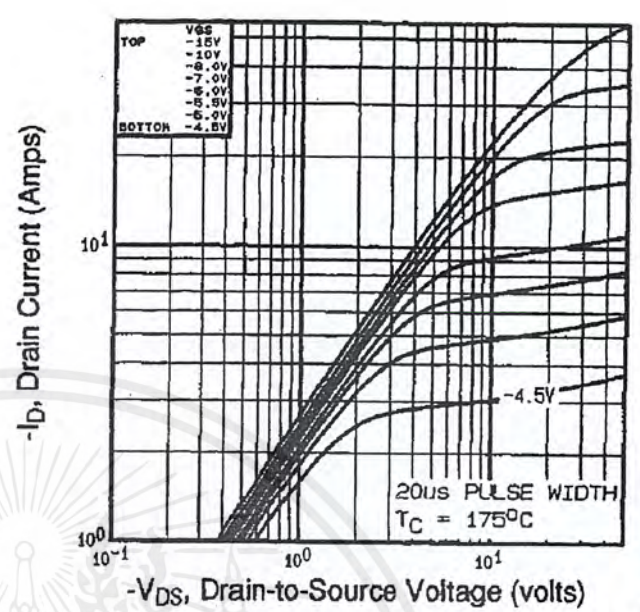
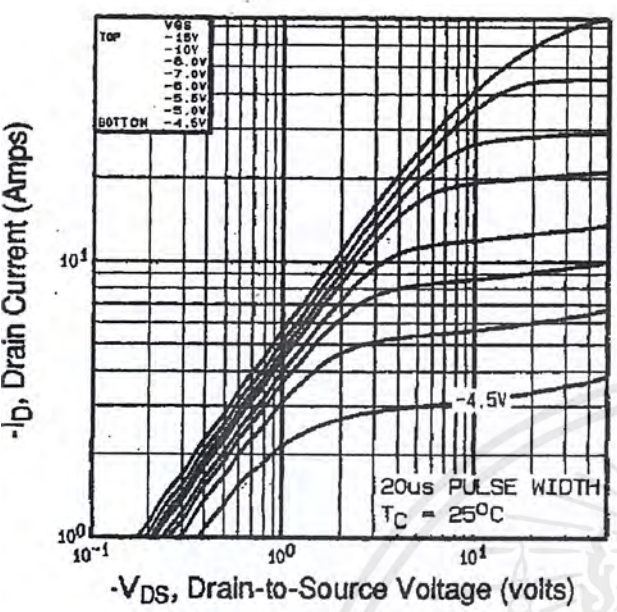
	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	-100	—	—	V	$V_{GS}=0V, I_D=-250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	-0.10	—	V/ $^\circ\text{C}$	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D=-1mA$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.30	Ω	$V_{GS}=-10V, I_D=-7.2A$ 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	3.7	—	—	S	$V_{DS}=-50V, I_D=-7.2A$ ④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	-100	μA	$V_{DS}=-100V, V_{GS}=0V$
		—	—	-500		$V_{DS}=-80V, V_{GS}=0V, T_J=150^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	-100	nA	$V_{GS}=-20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	100		$V_{GS}=20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	38	nC	$I_D=-12A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	6.8		$V_{DS}=-80V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	21		$V_{GS}=-10V$ See Fig. 6 and 13 ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	12	—	ns	$V_{DD}=-50V$
t_r	Rise Time	—	52	—		$I_D=-12A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	31	—		$R_G=12\Omega$
t_f	Fall Time	—	39	—		$R_D=3.9\Omega$ See Figure 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	860	—	pF	$V_{GS}=0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	340	—		$V_{DS}=-25V$
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	93	—		$f=1.0MHz$ See Figure 5

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	-12	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	-48		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	-6.3	V	$T_J=25^\circ\text{C}, I_S=-12A, V_{GS}=0V$ ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	120	240	ns	$T_J=25^\circ\text{C}, I_F=-12A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	0.46	0.92	μC	$di/dt=100A/\mu s$ ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)
- ② $V_{DD}=-25V$, starting $T_J=25^\circ\text{C}$, $L=4.2mH$, $R_G=25\Omega$, $I_{AS}=-12A$ (See Figure 12)
- ③ $I_{SD}\leq-12A$, $di/dt\leq 140A/\mu s$, $V_{DD}\leq V_{(BR)DSS}$, $T_J\leq 175^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width $\leq 300\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.



DATA SHEETS

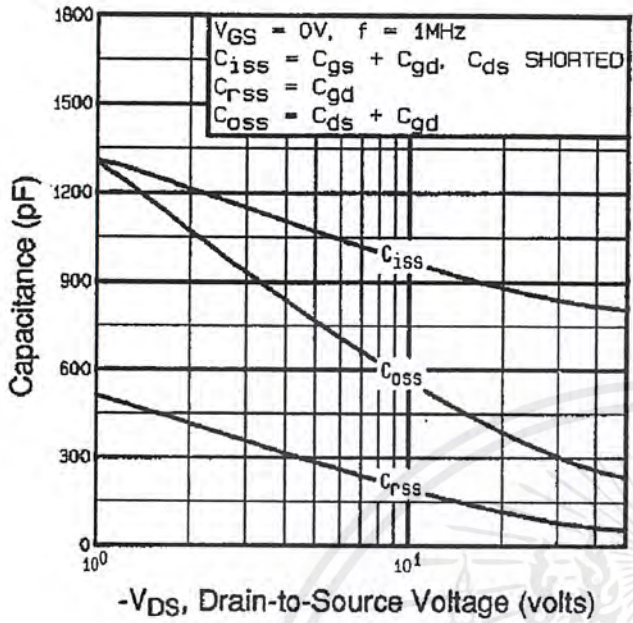


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

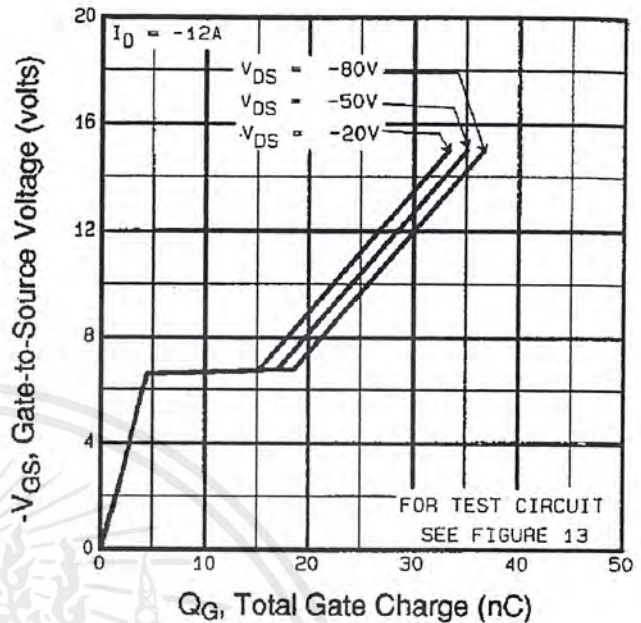


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

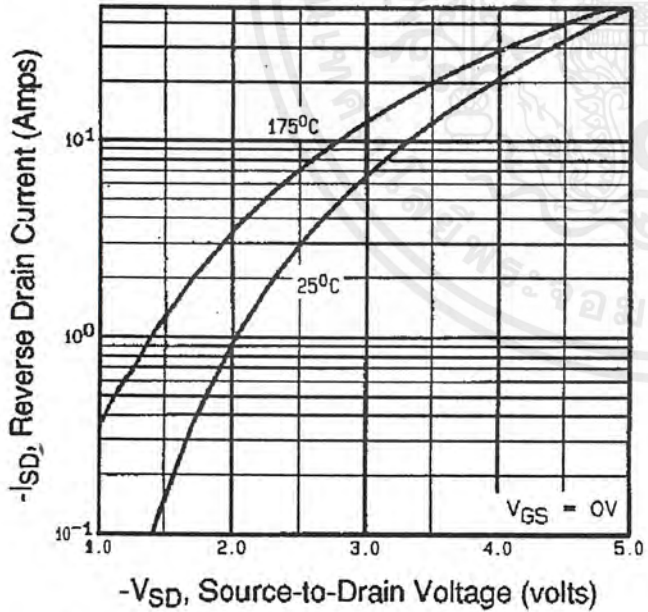


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

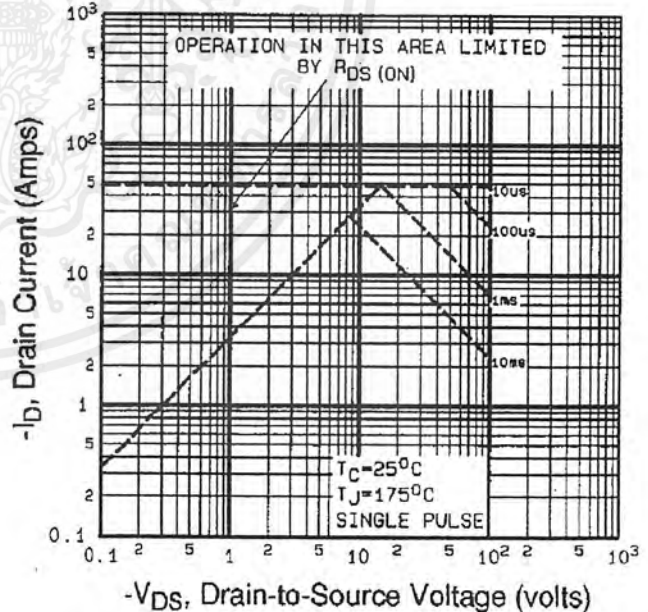


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

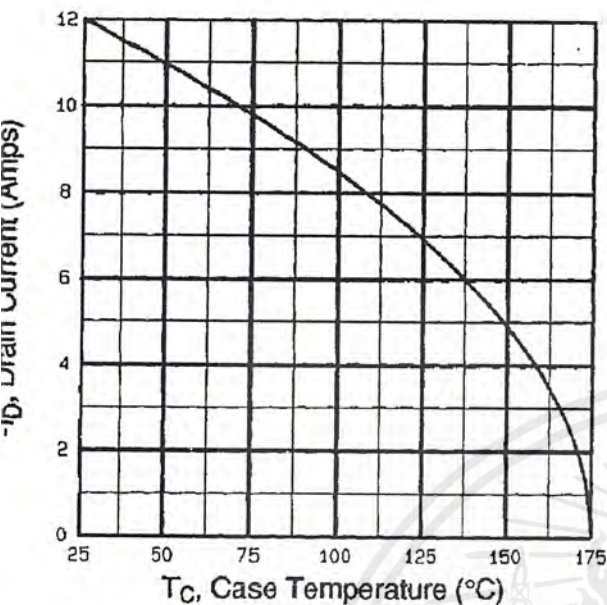


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

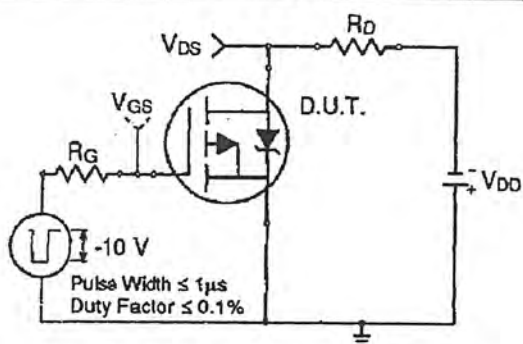


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

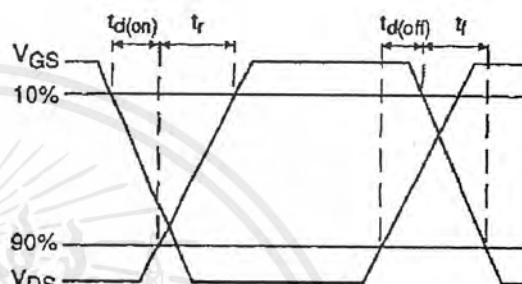


Fig 10b. Switching Time Waveforms

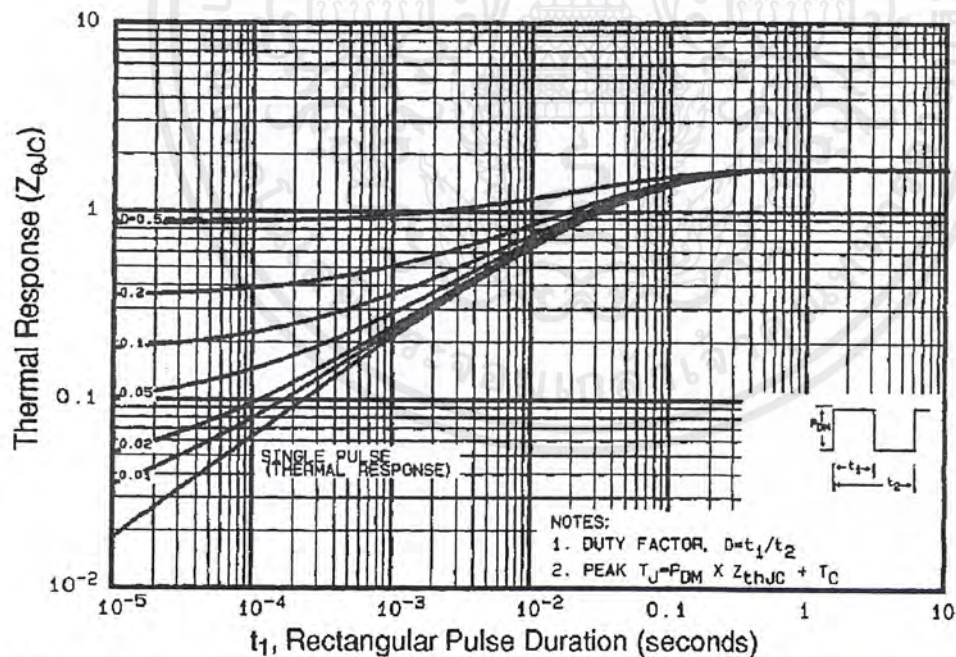


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

DATA SHEETS

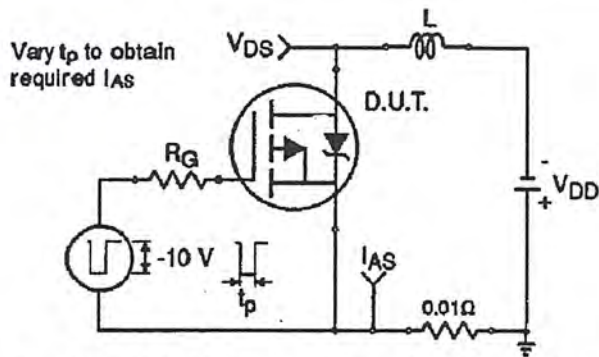


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

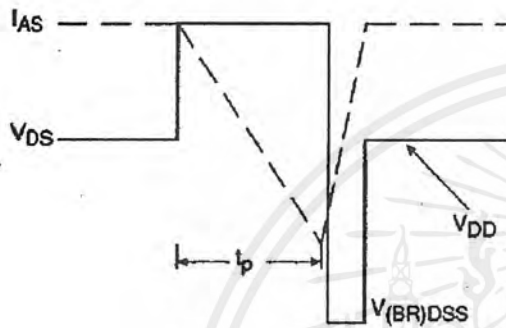


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

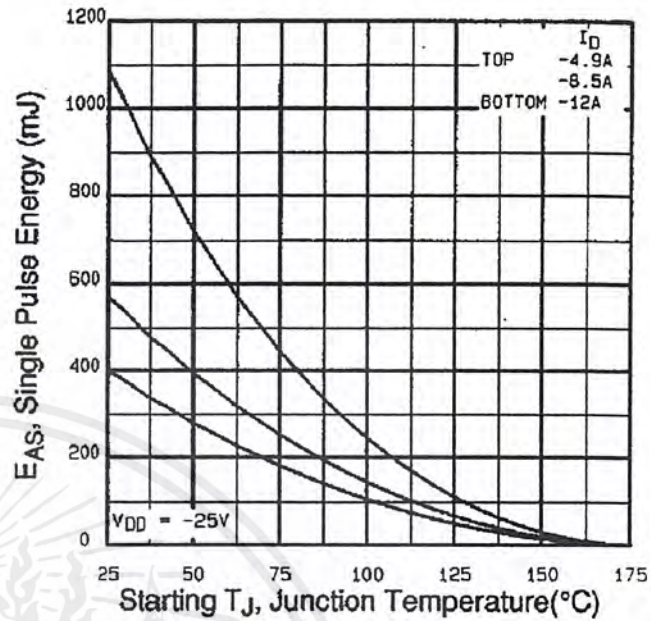


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

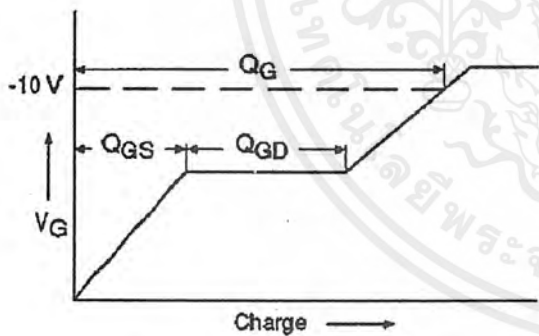


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

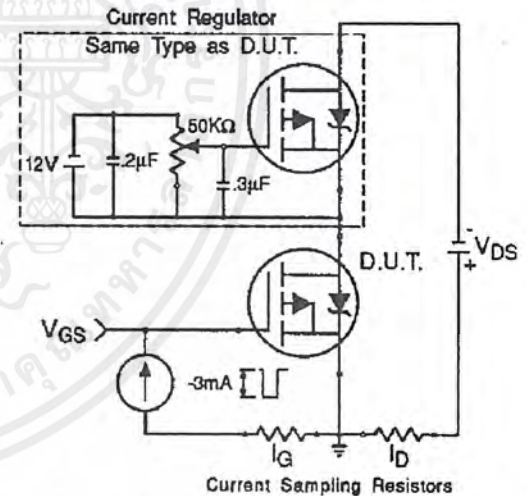


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

Appendix A: Figure 14, Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit – See page 1506

Appendix B: Package Outline Mechanical Drawing – See page 1509

Appendix C: Part Marking Information – See page 1516

Appendix E: Optional Leadforms – See page 1525

**International
IR Rectifier**

ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805 8-Bit μ P Compatible A/D Converters

General Description

The ADC0801, ADC0802, ADC0803, ADC0804 and ADC0805 are CMOS 8-bit successive approximation A/D converters that use a differential potentiometric ladder—similar to the 256R products. These converters are designed to allow operation with the NSC800 and INS8080A derivative control bus with TRI-STATE[®] output latches directly driving the data bus. These A/Ds appear like memory locations or I/O ports to the microprocessor and no interfacing logic is needed.

Differential analog voltage inputs allow increasing the common-mode rejection and offsetting the analog zero input voltage value. In addition, the voltage reference input can be adjusted to allow encoding any smaller analog voltage span to the full 8 bits of resolution.

Features

- Compatible with 8080 μ P derivatives—no interfacing logic needed - access time - 135 ns
- Easy interface to all microprocessors, or operates "stand alone"

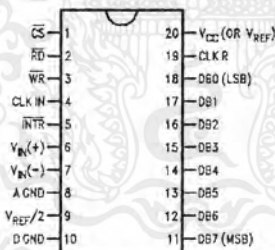
- Differential analog voltage inputs
- Logic inputs and outputs meet both MOS and TTL voltage level specifications
- Works with 2.5V (LM336) voltage reference
- On-chip clock generator
- 0V to 5V analog input voltage range with single 5V supply
- No zero adjust required
- 0.3" standard width 20-pin DIP package
- 20-pin molded chip carrier or small outline package
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC} , 2.5 V_{DC} , or analog span adjusted voltage reference

Key Specifications

- Resolution 8 bits
- Total error $\pm 1/4$ LSB, $\pm 1/2$ LSB and ± 1 LSB
- Conversion time 100 μ s

Connection Diagram

ADC080X
Dual-In-Line and Small Outline (SO) Packages



DS005671-30

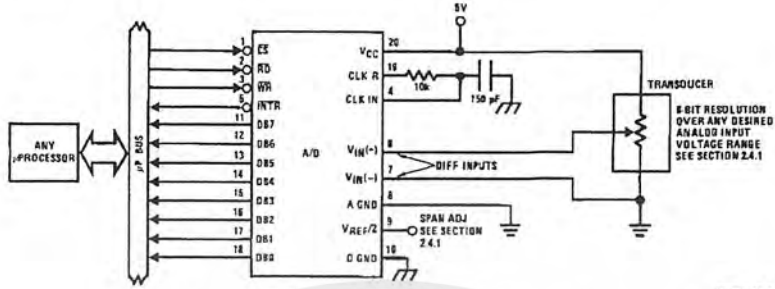
See Ordering Information

Ordering Information

TEMP RANGE		0°C TO 70°C	0°C TO 70°C	-40°C TO +85°C
ERROR	$\pm 1/4$ Bit Adjusted			ADC0801LCN
	$\pm 1/2$ Bit Unadjusted	ADC0802LCWM		ADC0802LCN
	$\pm 1/2$ Bit Adjusted			ADC0803LCN
	± 1 Bit Unadjusted	ADC0804LCWM	ADC0804LCN	ADC0805LCN/ADC0804LCJ
PACKAGE OUTLINE		M20B—Small Outline	N20A—Molded DIP	

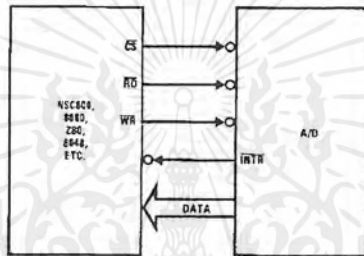
TRI-STATE[®] is a registered trademark of National Semiconductor Corp.
Z-80[®] is a registered trademark of Zilog Corp.

Typical Applications



DS009571-1

8080 Interface



DS009571-31

Error Specification (Includes Full-Scale, Zero Error, and Non-Linearity)

Part Number	Full-Scale Adjusted	$V_{REF}/2=2.500 V_{DC}$ (No Adjustments)	$V_{REF}/2=No\ Connection$ (No Adjustments)
ADC0801	$\pm 1/4$ LSB		
ADC0802		$\pm 1/2$ LSB	
ADC0803	$\pm 1/2$ LSB		
ADC0804		± 1 LSB	
ADC0805			± 1 LSB

Absolute Maximum Ratings (Notes 1, 2)

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

Supply Voltage (V_{CC}) (Note 3)	6.5V
Voltage	
Logic Control Inputs	-0.3V to +18V
At Other Input and Outputs	-0.3V to ($V_{CC}+0.3V$)
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	260°C
Dual-In-Line Package (ceramic)	300°C
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C

Infrared (15 seconds)	220°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation at $T_A=25^\circ\text{C}$	875 mW
ESD Susceptibility (Note 10)	800V

Operating Ratings (Notes 1, 2)

Temperature Range	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$
ADC0804LCJ	-40°C $\leq T_A \leq$ +85°C
ADC0801/02/03/05LCN	-40°C $\leq T_A \leq$ +85°C
ADC0804LCN	0°C $\leq T_A \leq$ +70°C
ADC0802/04LCWM	0°C $\leq T_A \leq$ +70°C
Range of V_{CC}	4.5 V_{DC} to 6.3 V_{DC}

Electrical Characteristics

The following specifications apply for $V_{CC}=5 V_{DC}$, $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ and $f_{CLK}=640$ kHz unless otherwise specified.

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ADC0801: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			$\pm 1/4$	LSB
ADC0802: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2=2.500 V_{DC}$			$\pm 1/2$	LSB
ADC0803: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			$\pm 1/2$	LSB
ADC0804: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2=2.500 V_{DC}$			± 1	LSB
ADC0805: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2$ -No Connection			± 1	LSB
$V_{REF}/2$ Input Resistance (Pin 9)	ADC0801/02/03/05	2.5	8.0		k Ω
	ADC0804 (Note 9)	0.75	1.1		k Ω
Analog Input Voltage Range	(Note 4) $V(+)$ or $V(-)$	Gnd-0.05		$V_{CC}+0.05$	V_{DC}
DC Common-Mode Error	Over Analog Input Voltage Range		$\pm 1/16$	$\pm 1/2$	LSB
Power Supply Sensitivity	$V_{CC}=5 V_{DC} \pm 10\%$ Over Allowed $V_{IN}(+)$ and $V_{IN}(-)$ Voltage Range (Note 4)		$\pm 1/16$	$\pm 1/2$	LSB

AC Electrical Characteristics

The following specifications apply for $V_{CC}=5 V_{DC}$ and $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
T_C	Conversion Time	$f_{CLK}=640$ kHz (Note 6)	103		114	μs
T_C	Conversion Time	(Notes 5, 6)	66		73	$1/f_{CLK}$
f_{CLK}	Clock Frequency	$V_{CC}=5V$, (Note 5)	100	640	1460	kHz
	Clock Duty Cycle		40		60	%
CR	Conversion Rate in Free-Running Mode	INTR tied to WR with $\overline{CS}=0 V_{DC}$, $f_{CLK}=640$ kHz	8770		9708	conv/s
t_{WVRL}	Width of WR Input (Start Pulse Width)	$\overline{CS}=0 V_{DC}$ (Note 7)	100			ns
t_{ACC}	Access Time (Delay from Falling Edge of RD to Output Data Valid)	$C_L=100$ pF		135	200	ns
t_{TH}, t_{OH}	TRI-STATE Control (Delay from Rising Edge of RD to Hi-Z State)	$C_L=10$ pF, $R_L=10k$ (See TRI-STATE Test Circuits)		125	200	ns
t_{WI}, t_{RI}	Delay from Falling Edge of WR or RD to Reset of INTR			300	450	ns
C_{IN}	Input Capacitance of Logic Control Inputs			5	7.5	pF

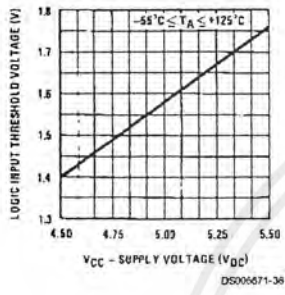
AC Electrical Characteristics (Continued)						
The following specifications apply for $V_{CC}=5 V_{DC}$ and $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ unless otherwise specified.						
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
C_{OUT}	TRI-STATE Output Capacitance (Data Buffers)			5	7.5	pF
CONTROL INPUTS (Note: CLK IN (Pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately)						
$V_{IN}(1)$	Logical "1" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	$V_{CC}=5.25 V_{DC}$	2.0		15	V_{DC}
$V_{IN}(0)$	Logical "0" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	$V_{CC}=4.75 V_{DC}$			0.8	V_{DC}
$I_{IN}(1)$	Logical "1" Input Current (All Inputs)	$V_{IN}=5 V_{DC}$		0.005	1	μA_{DC}
$I_{IN}(0)$	Logical "0" Input Current (All Inputs)	$V_{IN}=0 V_{DC}$	-1	-0.005		μA_{DC}
CLOCK IN AND CLOCK R						
V_{T+}	CLK IN (Pin 4) Positive Going Threshold Voltage		2.7	3.1	3.5	V_{DC}
V_{T-}	CLK IN (Pin 4) Negative Going Threshold Voltage		1.5	1.8	2.1	V_{DC}
V_H	CLK IN (Pin 4) Hysteresis ($V_{T+} - V_{T-}$)		0.6	1.3	2.0	V_{DC}
$V_{OUT}(0)$	Logical "0" CLK R Output Voltage	$I_O=360 \mu A$ $V_{CC}=4.75 V_{DC}$			0.4	V_{DC}
$V_{OUT}(1)$	Logical "1" CLK R Output Voltage	$I_O=-360 \mu A$ $V_{CC}=4.75 V_{DC}$	2.4			V_{DC}
DATA OUTPUTS AND INTR						
$V_{OUT}(0)$	Logical "0" Output Voltage					
	Data Outputs	$I_{OUT}=1.6 mA, V_{CC}=4.75 V_{DC}$			0.4	V_{DC}
	INTR Output	$I_{OUT}=1.0 mA, V_{CC}=4.75 V_{DC}$			0.4	V_{DC}
$V_{OUT}(1)$	Logical "1" Output Voltage	$I_O=-330 \mu A, V_{CC}=4.75 V_{DC}$	2.4			V_{DC}
$V_{OUT}(1)$	Logical "1" Output Voltage	$I_O=-10 \mu A, V_{CC}=4.75 V_{DC}$	4.5			V_{DC}
I_{OUT}	TRI-STATE Disabled Output Leakage (All Data Buffers)	$V_{OUT}=0 V_{DC}$ $V_{OUT}=5 V_{DC}$	-3		3	μA_{DC} μA_{DC}
I_{SOURCE}		V_{OUT} Short to Gnd, $T_A=25^\circ C$	4.5	6		mA_{DC}
I_{SINK}		V_{OUT} Short to V_{CC} , $T_A=25^\circ C$	9.0	16		mA_{DC}
POWER SUPPLY						
I_{CC}	Supply Current (Includes Ladder Current)	$f_{CLK}=640 kHz$, $V_{REF}/2=NC, T_A=25^\circ C$ and $\overline{CS}=5V$				
	ADC0801/02/03/04LCJ/05			1.1	1.8	mA
	ADC0804LCN/LCWM			1.9	2.5	mA
<p>Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.</p> <p>Note 2: All voltages are measured with respect to Gnd, unless otherwise specified. The separate A Gnd point should always be wired to the D Gnd.</p> <p>Note 3: A zener diode exists, internally, from V_{CC} to Gnd and has a typical breakdown voltage of $7 V_{DC}$.</p> <p>Note 4: For $V_{IN}(-) \geq V_{IN}(+)$ the digital output code will be 0000 0000. Two on-chip diodes are tied to each analog input (see block diagram) which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the V_{CC} supply. Be careful, during testing at low V_{CC} levels (4.5V), as high level analog inputs (5V) can cause this input diode to conduct—especially at elevated temperatures, and cause errors for analog inputs near full-scale. The spec allows 50 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog V_{IN} does not exceed the supply voltage by more than 50 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0 V_{DC} to 5 V_{DC} input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of $\approx 950 V_{DC}$ over temperature variations, initial tolerance and loading.</p> <p>Note 5: Accuracy is guaranteed at $f_{CLK} = 640 kHz$. At higher clock frequencies accuracy can degrade. For lower clock frequencies, the duty cycle limits can be extended so long as the minimum clock high time interval or minimum clock low time interval is no less than 275 ns.</p> <p>Note 6: With an asynchronous start pulse, up to 8 clock periods may be required before the internal clock phases are proper to start the conversion process. The start request is internally latched, see Figure 4 and section 2.0.</p>						

AC Electrical Characteristics (Continued)

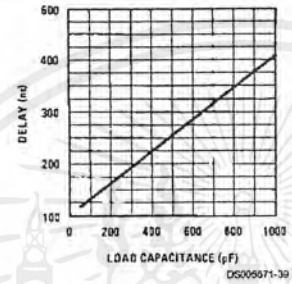
- Note 7:** The \overline{CS} input is assumed to bracket the \overline{WR} strobe input and therefore timing is dependent on the \overline{WR} pulse width. An arbitrarily wide pulse width will hold the converter in a reset mode and the start of conversion is initiated by the low to high transition of the \overline{WR} pulse (see timing diagrams).
- Note 8:** None of these A/Ds requires a zero adjust (see section 2.5.1). To obtain zero code at other analog input voltages see section 2.5 and Figure 7.
- Note 9:** The $V_{REF/2}$ pin is the center point of a two-resistor divider connected from V_{CC} to ground. In all versions of the ADC0801, ADC0802, ADC0803, and ADC0805, and in the ADC0804LCJ, each resistor is typically 15 k Ω . In all versions of the ADC0804 except the ADC0804LCJ, each resistor is typically 2.2 k Ω .
- Note 10:** Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Typical Performance Characteristics

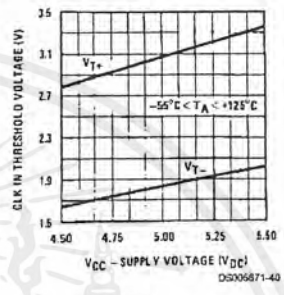
Logic Input Threshold Voltage vs. Supply Voltage



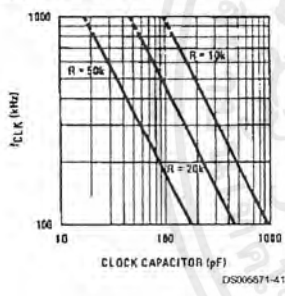
Delay From Falling Edge of RD to Output Data Valid vs. Load Capacitance



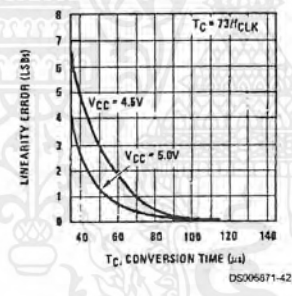
CLK IN Schmitt Trip Levels vs. Supply Voltage



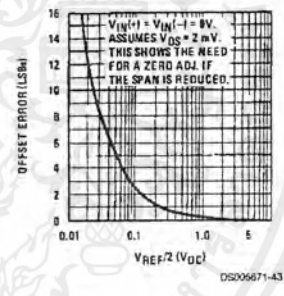
fCLK vs. Clock Capacitor



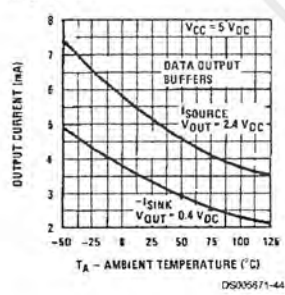
Full-Scale Error vs Conversion Time



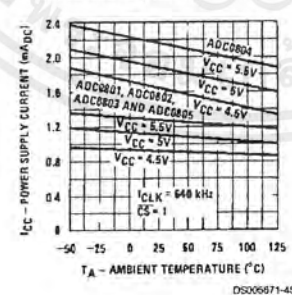
Effect of Unadjusted Offset Error vs. VREF/2 Voltage



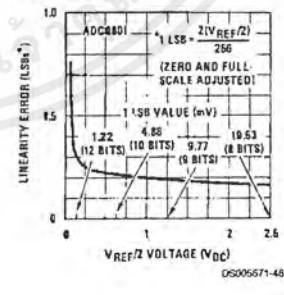
Output Current vs Temperature



Power Supply Current vs Temperature (Note 9)



Linearity Error at Low VREF/2 Voltages



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่องระบบรักษากำลังไฟฟ้าสูงสุดและการแสดงผลคงจะไม่สามารถสำเร็จลงได้ หากปราศจากความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ซึ่งทางคณะผู้จัดทำขอขอบขอบคุณบุคคลต่อไปนี้อันประกอบไปด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระเชษฐ ชันเงิน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านการให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการ รวมถึงงบประมาณในการวิจัยและการติดตามผลการทำงานอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่เริ่มดำเนินงานเป็นอย่างดีตั้งแต่เริ่มต้นจนแล้วเสร็จ รวมถึงบุคคลอื่นซึ่งประกอบไปด้วย นายชัยทัต มณีอินทร์ และนายกำพล ศิริจันทร์พงศ์ รุ่นพี่ปริญญาโทที่ให้ความช่วยเหลือในยามที่เกิดปัญหาขณะการจัดทำโครงการรวมถึงเพื่อนทุก ๆ คนที่คอยให้กำลังใจ ตลอดจนความบันเทิงต่าง ๆ จนเป็นผลทำให้การจัดทำโครงการและวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้สามารถสำเร็จลุล่วงลงด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและคณาจารย์ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ คุณธรรม และจริยธรรม ให้กับผู้จัดทำจนประสบความสำเร็จในการศึกษา

คณะผู้จัดทำ

เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Harada and H. Sakamoto, "High power and high switching frequency dc-to-dc converter using saturable inductor commutation and switched snubber," in *Proc. Annu. IEEE Power Electronics Specialists Conf. (PESC-'91)*, Boston, MA, June, 1991, pp. 148 - 154
- [2] J.J. Schoeman and J.D. van Wyk, "A Simplified maximum power controller for terrestrial photovoltaic panel arrays," in *Proc. 13th Annu. IEEE Power Electronics Specialists Conf. (PESC-'82)*, Cambridge, MA, June, 1982, pp. 361 - 367
- [3] D.B. Synman and J.H.R. Enslin, "Simplified maximum power point controller for PV installations" in *Proc. 2nd IEEE Photovoltaic Specialists Conf. (PVSC-'93)*, Louisville, KY, May 10-14, 1993, pp. 1240 - 1245
- [4] S.M.M. Wolf and J.H.R. Enslin, "Economical, PV Maximum Power Point Tracking Regulator with simplistic controller" in *Proc. 24th Annu. IEEE Power Electronics Specialists Conf. (PESC-'93)*, Seattle, WA, June 20-24, 1993, pp. 581 - 587
- [5] France Lasnier and Tony Gan Ang, *Photovoltaic Engineering Handbook* (Part II Chapter 2), Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, Adam Hilger, Bristol and New York
- [6] Dr. T.C. Green, Sheet LAB "Switched-mode Power Supply (Buck Converter)" in *The department of electrical engineering, KMITL, third year laboratory : semester 1/99*
- [7] N. Mohan, T.M. Underland and W.P. Robbins, *Power Electronics* (Chapter 7), Wiley
- [8] ชีรวัดน์ ประกอบผล, การประยุกต์ใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์, ส่วนตำราสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), ตุลาคม 2542
- [9] ทีมงานวารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, เข้าใจ/สร้าง/เล่น ไมโครโปรเซสเซอร์ 1, บริษัท ซีอีคยูเคชั่น จำกัด(มหาชน)