



ปีการศึกษา 2543

การศึกษาและพัฒนาชุดดึงกำลังงานสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์
STUDY AND DEVELOPMENT OF MAXIMUM POWER POINT TRACKING
CONTROLLER FOR PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEM



เลขหน้.....
เลขทะเบียน...42602
วัน, เดือน, ปี... 4 ส.ย. 2545

| |
|--------|
| b..... |
| i..... |

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. พิชิต ถ้ายอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาและพัฒนาชุดดัดกำลังงานสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์

ผู้จัดทำ

1. นายณรงค์เดช ยะลาไสย์
2. นายชนารักษ์ แผงเพชร
3. นายนิพัฒน์ ไทรบุญจันทร์
4. นายปิติพรณ รัชตะปิติ



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. พิชิต ถ้ายอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาและพัฒนาชุดเครื่องกำลังงานสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์

นายณรงค์เดช ยะลาไสย์
 นายธนารักษ์ แผงเพชร
 นายนิพัฒน์ ไทรบุญจันทร์
 นายปิติพรรณ รัชตะปิติ
 ผศ. พิชิต ถ้ายอง อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

ปัจจุบันแสงอาทิตย์นับเป็นทางเลือกใหม่ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า เมื่อเปรียบเทียบกับ การผลิตไฟฟ้าที่ใช้กันอยู่โดยใช้น้ำมันหรือถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ นับว่ามีข้อดีว่าการผลิตไฟฟ้าแบบเดิมหลายประการ แต่การใช้งานในปัจจุบันกำลังไฟฟ้าที่ได้รับ จากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ใช่จุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายกำลังงานได้สูงสุด ปริมาณนิพจน์ฉบับนี้จึงได้ อธิบายถึงหลักการการดึงกำลังงานสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์ออกมาใช้งาน โดยใช้วิธีการควบคุม การ ปิด-เปิด สวิตซ์ของวงจรคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งสวิตซ์จะถูกขับ โดยสัญญาณพัลส์แบบพีคดับลิวเอ็ม ซึ่งใช้ไอซีเป็นตัวสร้างและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอ็มซีเอส-51 ทำการควบคุมการสร้าง พัลส์ของไอซีอีกที ซึ่งหลักการในการออกแบบวงจรทั้งหมดจะเน้นในวงจรที่ใช้สามารถดึงกำลัง งานจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้สูงสุด มีค่าความสูญเสียต่ำ และควบคุมการใช้พลังงานที่มีอยู่อย่างเกิด ประสิทธิภาพสูงสุด

Study and Development of Maximum Power Point Tracking Controller for Photovoltaic Power System

Narongdej Yalasai
Tanaruk Pangpetch
Nipat Saiboonjan
Pitipan Rajatapiti
Asst.Prof. Pichit Lumyong Advisor
2000

Abstract

Now a days, the sunlight is new alternative source for producing the electrical power, compare with the other source of energy such as oil or coal. The photovoltaic systems generation is more advantageous than the conventional methods in many respects. But in normal utilization of electrical source from solar cells one cannot obtain maximum result. This thesis explains the principle of maximum power absorption for utilization using the method of control of on-off switch converter circuit by means of the switch activating by signal PWM using IC to generate signal and microcontroller MCS-51 again controlling IC. Over all design of circuit have importance to be can obtain maximum power result, the circuit being used will have the minimum power losses and management of energy for maximum efficiency.

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อ | I |
| ABSTRACT | II |
| สารบัญ | III |
| สารบัญภาพ | V |
| สารบัญตาราง | VII |
| บทที่ 1 บทนำ | I |
| 1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการปริญญานิพนธ์ | 1 |
| 1.2 ขอบเขตของโครงการปริญญานิพนธ์ | 1 |
| 1.3 ลำดับขั้นตอนการปฏิบัติโครงการปริญญานิพนธ์ | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน | 3 |
| 2.1 ทฤษฎีเซตส์แสงอาทิตย์ | 3 |
| 2.2 ทฤษฎีวงจรบวศคอนเวอร์เตอร์ | 11 |
| 2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช | 15 |
| 2.4 แบตเตอรี่ | 19 |
| 2.5 วิชาลเบสิก 6.0 (Visual Basic 6.0) | 24 |
| บทที่ 3 หลักการออกแบบโครงการ | 25 |
| 3.1 หลักการออกแบบชุดกำลังงานสูงสุด | 25 |
| 3.2 ส่วนประกอบหลักของโครงการ | 26 |
| บทที่ 4 ออกแบบส่วนหลักของโครงการ | 29 |
| 4.1 แผงเซตส์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงการ | 29 |
| 4.2 วงจรตั้งกำลังงานสูงสุดภาคกำลัง | 30 |
| 4.3 วงจรตั้งกำลังงานสูงสุดภาคควบคุม | 33 |
| 4.4 สวิตซ์ซึ่งเพาเวอร์สฟพลาย | 41 |
| 4.5 การแสดงผลและบันทึกผลโดยคอมพิวเตอร์ | 42 |
| บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง | 45 |
| 5.1 ทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซตส์แสงอาทิตย์ | 45 |
| 5.2 การทดลองชุดตั้งกำลังงานสูงสุด | 47 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 5.3 ผลการทดลอง | 48 |
| บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและวิจารณ์ | 56 |
| 6.1 สรุปผลการทดลอง | 56 |
| 6.2 ปัญหาและแนวทางการพัฒนา | 56 |
| ภาคผนวก | |
| ภาคผนวก ก. โปรแกรมควบคุมชุดคิ่งกำลังงานสูงสุด | |
| ภาคผนวก ข. คาด้าชีท (Data Sheet) ของอุปกรณ์ต่างๆ | |
| กิตติกรรมประกาศ | |
| เอกสารอ้างอิง | |

สารบัญญภาพ

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 2.1 วงจรสมมูลย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ | 3 |
| รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวของซิลิกอน | 4 |
| รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน | 5 |
| รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับกำลังงาน ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ | 6 |
| รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับกำลังงาน ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ | 7 |
| รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานสูงสุดกับอุณหภูมิ | 9 |
| รูปที่ 2.7 วงจรเพิ่มระดับแรงดัน | 11 |
| รูปที่ 2.8 ลักษณะรูปคลื่นต่างๆของวงจรเพิ่มระดับแรงดัน | 13 |
| รูปที่ 2.9 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 | 15 |
| รูปที่ 2.10 โครงสร้างหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช | 16 |
| รูปที่ 2.11 แสดงทิศทางการไหลของกระแสประจุแบตเตอรี่ | 22 |
| รูปที่ 2.12 ลักษณะการทำงานของโปรแกรมแบบ อีเวนท์-ไดร์เวน | 24 |
| รูปที่ 3.1 แสดง VI Characteristic ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ | 25 |
| รูปที่ 3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของชุดคั้งกำลังงานสูงสุดและส่วนแสดงผล | 26 |
| รูปที่ 4.1 กราฟ VI Curve แสดงค่ากำลังงานสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ | 29 |
| รูปที่ 4.2 วงจรสมมูลวงจรมอเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ | 30 |
| รูปที่ 4.3 แสดงวงจรมอเตอร์กำลังของชุดกำลังงานสูงสุด | 31 |
| รูปที่ 4.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของภาคควบคุม | 33 |
| รูปที่ 4.5 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ขับมอเตอร์ | 34 |
| รูปที่ 4.6 แสดงการแยกกราวด์ระหว่างภาคควบคุมและภาคกำลัง | 35 |
| รูปที่ 4.7 การจัดขาของไอซี ADC/DAC เบอร์ PCF8591 | 35 |
| รูปที่ 4.8 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51 กับไอซี PCF8591 | 36 |
| รูปที่ 4.9 ไฟลวชาร์ตการทำงานของโปรแกรมควบคุมชุดคั้งกำลังงานสูงสุด | 40 |
| รูปที่ 4.10 วงจรสวิตซ์ซิ่งเพาเวอร์ซัพพลายแบบ พุช-พูล | 41 |
| รูปที่ 4.11 วงจรขับสวิตซ์ซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย | 41 |
| รูปที่ 4.12 บล็อกไดอะแกรมการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ | 42 |
| รูปที่ 4.13 วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลเพื่อแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ | 44 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 5.1 วงจรที่ใช้สร้าง VI Curve | 45 |
| รูปที่ 5.2 การสร้าง VI Curve | 45 |
| รูปที่ 5.3 กราฟ VI Curve ที่แสดงกำลังงานสูงสุด | 46 |
| รูปที่ 5.4 วงจรการทดลองโดยรวมของชุดดิ่งกำลังงานสูงสุด | 47 |
| รูปที่ 5.5 แสดง VI Curve ที่ความเข้มแสง 910 W/m ² | 49 |
| รูปที่ 5.6 แสดง VI Curve ที่ความเข้มแสง 850 W/m ² | 50 |
| รูปที่ 5.7 แสดง VI Curve ที่ความเข้มแสง 800 W/m ² | 51 |
| รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานสูงสุด ณ ความเข้มแสงต่างๆ | 55 |
| รูปที่ 6.1 ผลของตัวเหนี่ยวนำภายในวงจรบรูสคอนเวอร์เตอร์ | 57 |
| รูปที่ 6.2 แรงดันตกคร่อมสวิตช์ กระแสผ่านสวิตช์ และกำลังสูญเสีย ณ เวลาใดๆ | 57 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 2.1 อัตราพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายวัน (กิโวลต์/ตารางเมตร/วัน) | 10 |
| ตารางที่ 5.1 ค่ากำลังงานสูงสุดจากกราฟ VI Curve ที่ความเข้มแสง 910 W/m ² | 49 |
| ตารางที่ 5.2 ค่ากำลังงานสูงสุดจากกราฟ VI Curve ที่ความเข้มแสง 850 W/m ² | 50 |
| ตารางที่ 5.3 ค่ากำลังงานสูงสุดจากกราฟ VI Curve ที่ความเข้มแสง 800 W/m ² | 51 |
| ตารางที่ 5.4 ค่ากำลังงานสูงสุดจากชุดMPPT ที่ความเข้มแสง 910 W/m ² ณ เวลาใดๆ | 52 |
| ตารางที่ 5.5 ค่ากำลังงานสูงสุดจากชุดMPPT ที่ความเข้มแสง 850 W/m ² ณ เวลาใดๆ | 53 |
| ตารางที่ 5.6 ค่ากำลังงานสูงสุดจากชุดMPPT ที่ความเข้มแสง 800 W/m ² ณ เวลาใดๆ | 54 |
| ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบค่ากำลังงานสูงสุดที่ได้จาก VI Curve กับชุด MPPT | 55 |

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึงการใช้พลังงานให้ได้อย่างคุ้มค่า และเกิดประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับแหล่งที่มาของพลังงานนั้นๆ เพราะจากคำตอบใกล้ตัวที่เราได้รับผลกระทบจากการใช้พลังงานอย่างไม่เกิดประสิทธิผล คือ มลภาวะต่างๆ เช่น เสียง ฝุ่นละออง ควันพิษ รวมไปถึงสารเคมีต่างๆที่ไปทำลายชั้นบรรยากาศทำให้โลกของเราร้อนขึ้นเร็วกว่าที่ควรจะเป็น จากการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบันโดยใช้น้ำมัน ถ่านหิน หรือกระทั่งสารกัมมันตภาพรังสีเป็นเชื้อเพลิง เหล่านี้เป็นกระบวนการที่ไม่สะอาด บริสุทธิ์ และไม่คุ้มค่าติดไป เหล่านี้ก็จะหมดไป แสงอาทิตย์ คือ พลังงานที่ได้มาเปล่าๆและอาจกล่าวได้ว่าเป็นพลังงานที่ไม่มีวันสิ้นสุด นับว่าเป็นทางเลือกใหม่ที่จะนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์นี้เป็นกระบวนการที่บริสุทธิ์และสะอาด และยังเหมาะกับพื้นที่ที่ระบบสายส่งเข้าไปไม่ถึง แต่การใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันกำลังไฟฟ้าที่ได้รับยังไม่ใช่ว่าจุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายกำลังงานได้สูงสุด ฉะนั้น โครงการนี้จึงเป็นการศึกษาการดึงกำลังงานสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเกิดประสิทธิผลสูงสุด จากคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ แรงดัน(V) และ กระแส(I) จะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสงและอุณหภูมิ เมื่อจ่ายโหลดที่แรงดันค่าหนึ่ง กำลังงาน(P) ที่โหลดได้รับจะไม่ใช่ว่าค่าที่มากที่สุดจากสมการ $P = VI$ เนื่องจากเมื่อค่าความเข้มแสงหรืออุณหภูมิเปลี่ยนกระแสก็จะเปลี่ยนตาม ดังนั้นจึงต้องมีเครื่องมือที่ช่วยในการเปลี่ยนจุดการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์จากจุดแรงดันคงที่ ให้เป็นจุดกำลังงานสูงสุด เครื่องมือนั้นคือ ชุดดึงกำลังงานสูงสุด (Maximum Power Point Tracking ; MPPT)

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการปริญญาโท

- ศึกษาคุณสมบัติและการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์
- ศึกษาและสามารถดึงกำลังงานสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้

1.2 ขอบเขตของโครงการปริญญาโท

โครงการปริญญาโทนี้จะเป็นการออกแบบและสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติในการดึงกำลังงานสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งาน วิธีการควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ที่ประดิษฐ์ขึ้นให้ควบคุมชุดขับเพื่อสร้างสัญญาณพัลส์และนำไปขับสวิทช์ของวงจรคอนเวกเตอร์เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร กรุณาแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวอร์เตอร์อีกทีเพื่อให้ได้ค่า ณ กำลังงานสูงสุดตามที่ต้องการ เป็นการประยุกต์แนวคิดวิธีการควบคุมแบบวงรอบปิดให้เห็นถึงประโยชน์ที่ชัดเจน ทั้งนี้ระบบควบคุมที่พัฒนาขึ้นจะมีความหมายที่สมนัยกับระบบควบคุมที่ใช้งานกันอย่างกว้างขวางในภาคอุตสาหกรรม ทำให้มองเห็นถึงภาพการทำงานที่แท้จริง เพื่อนำไปพิจารณาในการตัดสินใจในการทำงานได้

1.3 ลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงานโครงการปริญญาโท

1. กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตเค้าโครงของโครงการ
2. ศึกษาทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับโครงการ
3. ออกแบบวงจรภาคกำลังของวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่เลือกใช้งาน
4. ออกแบบวงจรภาคควบคุม
5. ออกแบบชุดสวิตซ์ซึ่งเพาเวอร์สัพพลายเพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับภาคควบคุม
6. ทำการทดสอบร่วมระหว่างวงจรภาคต่างๆ
7. ทดสอบหาคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์
8. เก็บข้อมูลค่ากำลังงานสูงสุด ที่ได้จากชุดดิ่งกำลังงานสูงสุดเปรียบเทียบกับกำลังงานสูงสุดที่ได้รับจากการทดสอบหาคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ และแสดงให้เห็นว่าชุดดิ่งกำลังงานสูงสุดสามารถดิ่งกำลังงานสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานได้จริง หาประสิทธิภาพของระบบโดยเปรียบเทียบระหว่างกำลังงานที่ได้รับกับกำลังงานที่จ่ายโหลด

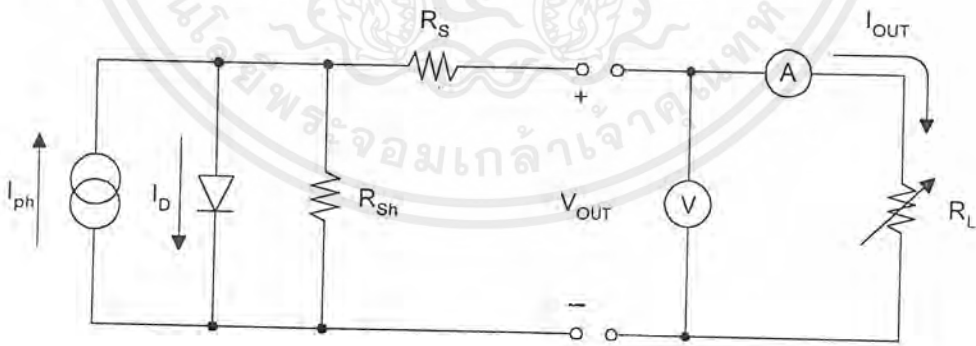
บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 ทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น(N) และชนิดพี(P) ซึ่งตัวโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีลักษณะเหมือนโครงสร้างของไดโอดทุกประการ เพียงแต่ว่าเซลล์แสงอาทิตย์จะมีพื้นผิวของรอยต่อที่มีความชันมากกว่าไดโอดธรรมดาเป็นอย่างมาก และอีกทั้งยังมีพื้นที่ที่เป็นรอยต่อมากอีกด้วย ซึ่งจะให้พลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพยิ่ง

วงจรสมมูลย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ใช้งานสามารถเขียนแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 โดยกระแสโฟโตแทนด้วยแหล่งจ่ายกระแส(I_{ph}) ซึ่งให้กระแสไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามกับกระแสไบอัสตามของไดโอด ส่วนค่าความต้านทานที่ขนานเขียนแสดงด้วย(R_{sh}) ซึ่งเป็นค่าความต้านทานที่กำหนดค่าได้จากสภาพของหัวต่อที่สร้างขึ้น เช่น การเกิดกระแสรั่วตามขอบเซลล์ ความไม่สม่ำเสมอของหัวต่อ ได้แก่ การมีดีฟฟิวชันสไปค์(Diffusion Spike) เนื่องจากความบกพร่องทางผลึกต่างๆ ส่วนค่าความต้านทานอนุกรมเขียนแทนด้วย(R_s) กำหนดได้จากค่าความต้านทานของผิวสัมผัสทั้งทางด้านหน้าและด้านหลัง รวมกับค่าความต้านทานของผลึกฐานและชั้นแพร์ซิมของเซลล์ที่ประดิษฐ์ขึ้น



รูปที่ 2.1 วงจรสมมูลย์ของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อพิจารณาดูจากวงจรสมมูลย์แล้วจะเห็นได้ว่า เซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคตินั้น ควรเป็นไดโอดที่มีหัวต่อที่คุณภาพดี โดยมีค่า R_{sh} เป็น ∞ และค่า R_s เป็น 0 แต่ในความเป็นจริงแล้วการสร้างหัวต่อที่สมบูรณ์แบบนั้นทำได้ยาก เพราะผลึกสารกึ่งตัวนำที่ใช้มีจุดบกพร่องทางผลึกอยู่ก่อนแล้ว และเมื่อมาทำหัวต่อที่มีพื้นที่กว้างโดยการเติมสารเจือปนที่อุณหภูมิสูง ก็จะได้หัวต่อที่มีความ

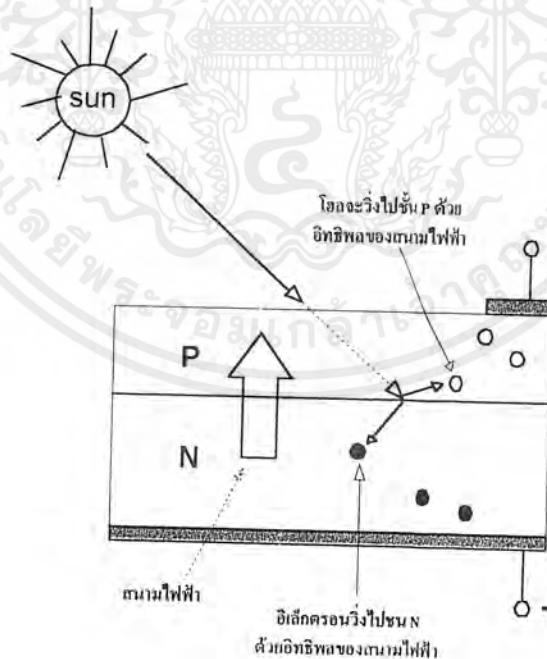
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้อยู่ที่เห็นประโยชน์เชิงพาณิชย์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมุติเสมอที่ดีที่สุดได้ด้วยขีดจำกัดขนาดหนึ่งเท่านั้น เพราะจะเกิดคิฟิวชันสไปดซ์ขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุของกระแสรั่วทำให้ค่า R_{sh} ไม่เป็น ∞ ส่วนค่า R_s ก็เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ จึงมีค่าไม่เป็น 0 ดังนั้นการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีที่สุดคือพยายามทำให้ค่า R_{sh} มีค่ามากที่สุด ในขณะที่ค่า R_s มีค่าน้อยที่สุด สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แสงอาทิตย์ความเข้มสูง ค่า R_{sh} จะมีค่าสูงพอที่อิทธิพลของมันจะตัดทิ้งไปได้ แต่เมื่อใช้กับแสงที่มีความเข้มต่ำหรือที่อุณหภูมิค่า R_{sh} จะเริ่มมีบทบาทสำคัญมากขึ้น แต่สำหรับประเทศในแถบร้อนสามารถตัดผลของ R_{sh} ที่ได้ในการศึกษา ส่วนค่า R_s กลับมีบทบาทสำคัญต่อการใช้งานกับแสงความเข้มสูงหรืออุณหภูมิสูง ดังนั้นในการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้มี R_s ต่ำจึงเป็นสิ่งจำเป็น เช่น การสร้างหัวต่อที่บางแต่มีความเข้มของสารเจือปนสูง

เซลล์แสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ ดังนี้

1. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวของซิลิคอน (Silicon Monocrystalline Solar Cell)

มีโครงสร้างเหมือน PN โฟโตไดโอดทั่วไปดังรูปที่ 2.2 ใช้ผลึกซิลิคอนในการทำรอยต่อ PN บนแผ่นซิลิคอนเวเฟอร์ชนิด N และใช้สาร P แพร่ซึมลงไปเพื่อทำชั้น P ที่มีความหนาในระดับ μm เพื่อไม่ให้แสงสะท้อนกลับ บนผิวของรอยต่อนี้จะคลุมด้วยชั้น SiO_2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวของซิลิคอน

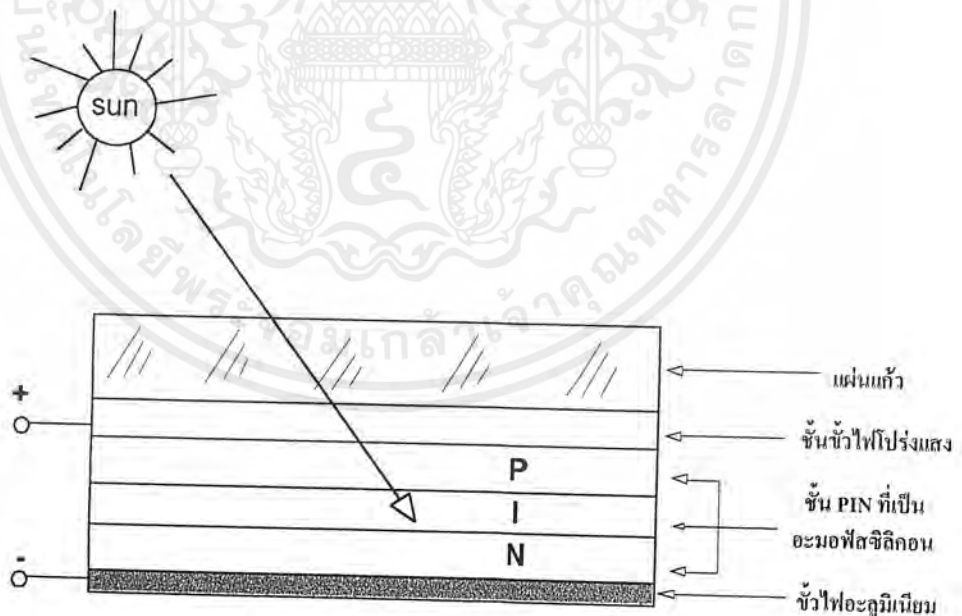
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแสงอาทิตย์ส่องผ่านชั้น SiO_2 และชั้น P เข้าไปที่รอยต่อ พลังงานจากแสงอาทิตย์จะให้ อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมและเกิดโฮลขึ้นตรงรอยต่อ PN ก่อนที่จะถูกแสงนั้น โฮลในชั้น P และอิเล็กตรอนในชั้น N จะแพร่กระจายและรวมตัวกัน บริเวณที่เกิดการรวมตัวนี้จะไม่มีความใดๆ อยู่เลยเรียกชั้นนี้ว่า ดีพลีทชัน(depletion layer) ในชั้น P เมื่อโฮลเคลื่อนตัวออกไปก็จะเกิดอิเล็กตรอนลบ ส่วนที่ชั้น N จะเกิดอิเล็กตรอนบวก อิออนทั้งคู่นี้จะสร้างสนามไฟฟ้าที่ตรงรอยต่อนี้ เมื่อแสงอาทิตย์ส่อง มาตกกระทบตรงรอยต่อจนทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮลขึ้น สนามไฟฟ้าจะดึงอิเล็กตรอนให้วิ่ง ไปสู่ขั้วลบทางด้านชั้น N ส่วนโฮลจะวิ่งไปสู่ขั้วบวกที่อยู่ในชั้น P และเมื่อต่อเชื่อมชั้น N และ P ด้วยสายไฟก็จะเกิดการวิ่งของอิเล็กตรอนจาก N ไป P หรือกระแสวิ่งจาก P ไป N

ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 13% (ตามทฤษฎีสูงสุดได้ 22%) พื้นผิว 1 ตารางเมตรจะให้กำลังไฟฟ้า 100 วัตต์ จึงนิยมใช้เป็นแหล่งจ่ายที่อยู่ไกลจากการดูแล และใช้กับอุปกรณ์ที่ต้องการกำลังสูงพอสมควร

2. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟิซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)

อะมอร์ฟิซิลิคอนจะต่างกับชนิดผลึกเดี่ยว ตรงที่อะมอร์ฟิซิลิคอนไม่เป็นผลึกและการเรียงตัวของ โมเลกุลไม่เป็นระเบียบ จึงเกิดเป็นชั้นหรือผิวซิลิคอนที่ไม่มีคุณสมบัติเป็นผลึก



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟิซิลิคอน

การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ เริ่มจากการฉาบผิวแผ่นแก้วด้วยอินเดียมออกไซด์เพื่อใช้เป็นขั้วไฟฟ้าชนิดโปร่งใส แสงสามารถทะลุผ่านได้ จากนั้นฉาบผิวด้วยก๊าซ Monosilane (SiH_4) ด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรรมวิธีโกลดดิสชาร์จ(Glow discharge) สร้างชั้นของอะมอร์ฟิซิลิกอน(Amorphous Silicon) จำนวน 3 ชั้นขึ้น คือชั้น P,I และ N แสดงดังรูปที่ 2.3 ด้านบนจะฉาบด้วยอลูมิเนียมเพื่อใช้เป็นขั้วไฟฟ้า เมื่อเทียบกับชนิดผลึกเดี่ยวแล้วอะมอร์ฟิซิลิกอนจะมีราคาถูกกว่ามาก นอกจากนั้นความไวต่อแสง ความยาวคลื่นต่ำก็ดีกว่าสามารถใช้กับแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ จึงนิยมใช้กับเครื่องคิดเลข, เครื่องเล่นเกมส เป็นต้น

นอกจากนี้ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของอะมอร์ฟิซิลิกอนจะต่ำกว่าชนิดผลึกเดี่ยว ตามทฤษฎีจะสูงสุดที่ 12% แต่ในปัจจุบันสามารถทำได้ที่ 10.2%

3. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกแกเลียมอาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide Solar Cell)

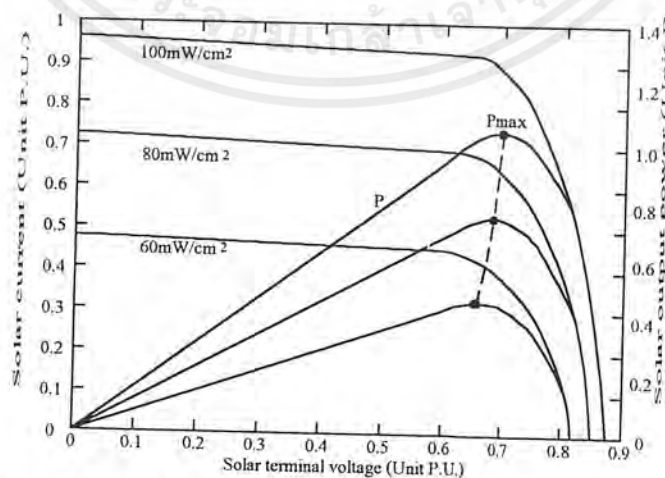
เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากการสร้างชั้น P บนฐานซิลิกอนผลึกแกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ชนิด N และสร้างชั้น P ชนิดแกเลียมอลูมิเนียมอาร์เซไนด์(GaInAs) ลักษณะโครงสร้างจะคล้ายชนิดผลึกเดี่ยว เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าสูงกว่า 20% สามารถใช้งานในสภาวะอุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส นิยมใช้บนยานอวกาศ และเป็นแหล่งจ่ายให้กับดาวเทียม แต่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จะมีราคาสูงมาก

2.1.1 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้งานในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่มีดังนี้

1. ความเข้มแสง

กระแสไฟฟ้า(I) จะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับความเข้มแสง หมายความว่า เมื่อความเข้มแสง



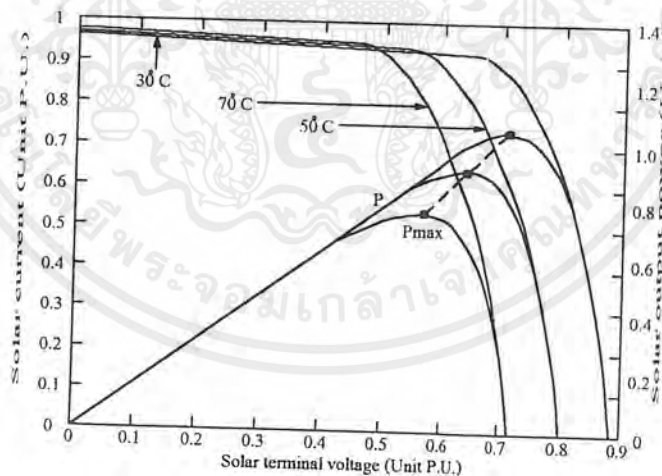
รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับกำลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า(V) แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มแสงมากนัก ดังรูปที่ 2.4 ค่าความเข้มแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่งปราศจากเมฆหมอก และวัดที่ระดับน้ำทะเล ในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร(mW/cm^2) หรือ 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร(W/m^2) ซึ่งมีค่าแอร์แมส(Air Mass) เท่ากับ AM 1.5 และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศา กับพื้นโลกความเข้มแสงจะมีค่าประมาณ $75 mW/cm^2$ หรือ $750 W/m^2$ ซึ่งมีค่าแอร์แมสเท่ากับ AM 2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

2. อุณหภูมิ

กระแสไฟฟ้า(I) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า(V) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส($^{\circ}C$) เช่น กำหนดไว้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ Voc) ที่ 21 โวลต์ ณ อุณหภูมิ 25 $^{\circ}C$ ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่



รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับกำลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 $^{\circ}C$ จะเท่ากับ 21 โวลต์ ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 $^{\circ}C$ เช่น อุณหภูมิ 30 $^{\circ}C$ จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ($0.5\% \times 5^{\circ}C$) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ Voc จะลดลง 0.525 โวลต์ ($21V \times 2.5\%$) เหลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียง 20.475 โวลต์ สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

จากที่กล่าวมาแล้วว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีหลายประเภท การพิจารณาเลือกใช้ประเภทใดประเภทหนึ่ง จะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสถานที่ติดตั้งและความต้องการของผู้ใช้ ข้อมูลที่ควรพิจารณา ซึ่งเป็นข้อมูลมาตรฐานสากลที่ใช้กันอยู่สำหรับแผงแสงอาทิตย์จะมีข้อมูลต่างๆ เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบ ดังต่อไปนี้

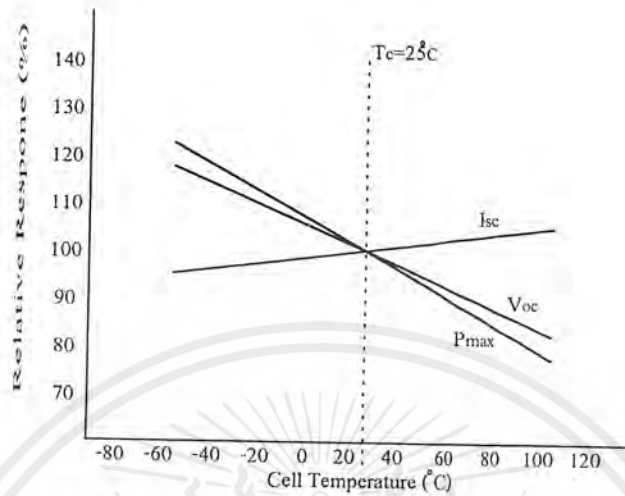
| | |
|------------------------------------|---|
| <i>Peak Power (Pmax)</i> | คือ กำลังสูงสุดของแผงชนิดนั้นๆ หน่วยวัตต์(W) |
| <i>Operating Voltage (Vmp)</i> | คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดเมื่อต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า หน่วยโวลต์(V) |
| <i>Operating Current (Imp)</i> | คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุดเมื่อใช้งานปกติ หน่วยแอมป์(A) |
| <i>Open Circuit Voltage (Voc)</i> | คือ แรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร หน่วยโวลต์(V) |
| <i>Short Circuit Current (Isc)</i> | คือ กระแสไฟฟ้าที่วัดเมื่อลัดวงจร หน่วยแอมป์(A) |
| <i>Standard Test Condition</i> | คือ เงื่อนไขของการทดสอบแผง เช่น ความเข้มแสง อุณหภูมิ |
| <i>Air Mass</i> | ที่ระดับความเข้มแสงที่ใช้ทดสอบที่ 1000 W/m^2 |
| <i>Operating Temperature</i> | ระดับอุณหภูมิ($^{\circ}\text{C}$) ที่ใช้ในการทดสอบและใช้งาน |
| <i>Cell Specifications</i> | ข้อมูลจำนวนชิ้นและชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ |

2.1.2 สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ปริมาณของพลังงานที่ผลิตได้ใน 1 วันจากเซลล์แสงอาทิตย์ จะขึ้นอยู่กับสถานะอากาศและฤดูกาล เพื่อที่จะตัดปัญหาความยุ่งยากต่างๆ ในการคำนวณหาสมรรถนะของระบบนั้นควรใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ผลิตได้ในเวลา 1 ปี ซึ่งมีหน่วยเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง(kW.hr) หรือ หน่วย(Unit) ซึ่งเหมือนกับการวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าตามบ้านเรือนทั่วไป พลังงานที่ผลิตได้ในรอบปีขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังนี้

1. ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์(Insolation) ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรอบปี(Annual insolation) จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่นั้น มุมเอียงของแผงและทิศทางที่เบี่ยงเบนไปจากทิศใต้

2. อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำงาน อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะทำงานเป็นตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อกำลังการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทั่วไปประสิทธิภาพของเซลล์จะลดลง 0.5% เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C



รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานสูงสุดกับอุณหภูมิ

3. ประสิทธิภาพของระบบ (Electrical conversion efficiency) ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ต่อเชื่อมและเครื่องแปลงกระแส (Converter) ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบจึงขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของอุปกรณ์เหล่านั้นด้วย

พลังงานที่ผลิตได้ใน 1 ปี (Annual specific yield) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการเปรียบเทียบและวัดสมรรถนะของระบบ ซึ่งคำนวณได้จากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมด (Total electric output) หารด้วยกำลังผลิตสูงสุดจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Peak power of array) จากข้อกำหนดดังกล่าวเราสามารถนำไปคำนวณค่าต่างๆ ข้อมูลเฉลี่ยของประเทศไทยจากการรวบรวมเก็บข้อมูลโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

2.1.3 พลังงานจากแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่ได้รับในประเทศไทย

ประเทศไทยอัตราพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันซึ่งรับได้ตามภาคต่างๆ ในประเทศไทย มีค่าคิดเป็น กิโลวัตต์/ตารางเมตร/วัน ดังต่อไปนี้

จากข้อมูลตามตารางที่ 2.1 ถ้าหากเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพของเซลล์ร้อยละ 15 ก็เท่ากับว่าพื้นที่ประเทศไทยต่อหนึ่งตารางเมตรจะสามารถผลิตพลังงานได้ถึง 711 วัตต์ต่อวัน และในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพของเซลล์สูงขึ้นถึงเกือบร้อยละ 18 ซึ่งถ้าใช้เซลล์แสงอาทิตย์ประสิทธิภาพสูงชนิดนี้ในการทำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีประสิทธิภาพของแผงประมาณร้อยละ 14 หรือ ถ้านำมาใช้ในประเทศไทยคิดที่อัตราพลังงานแสงแดดที่ได้รับต่อปีเท่ากับ 4.75 กิโลวัตต์/ตารางเมตร/วัน ก็จะได้พลังงานประมาณ 665 วัตต์/ตารางเมตร/วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 อัตราพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายวัน (กิโลวัตต์/ตารางเมตร/วัน)

| สถานที่ | ม.ค.- ก.พ. | ก.พ.- เม.ย. | เม.ย.- พ.ค. | พ.ค.- ก.ค. | ก.ค.- ส.ค. | ส.ค.- ต.ค. | ต.ค.- พ.ย. | พ.ย.- ม.ค. | เฉลี่ยทั้ง ปี |
|----------------------|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------|
| ภาคกลาง (กรุงเทพ) | 4.66 | 5.41 | 4.94 | 4.62 | 4.30 | 4.49 | 4.55 | 4.63 | 4.70 |
| ภาคเหนือ (เชียงใหม่) | 4.65 | 5.35 | 5.59 | 4.79 | 4.40 | 4.67 | 4.72 | 4.33 | 4.81 |
| ภาคอีสาน (ขอนแก่น) | 4.69 | 5.01 | 5.37 | 4.86 | 4.86 | 4.55 | 4.86 | 4.58 | 4.81 |
| ภาคใต้ (สงขลา) | 4.96 | 5.37 | 4.85 | 4.64 | 4.64 | 4.54 | 4.19 | 4.12 | 4.68 |
| เฉลี่ยทั่วประเทศ | | | | | | | | | 4.75 |

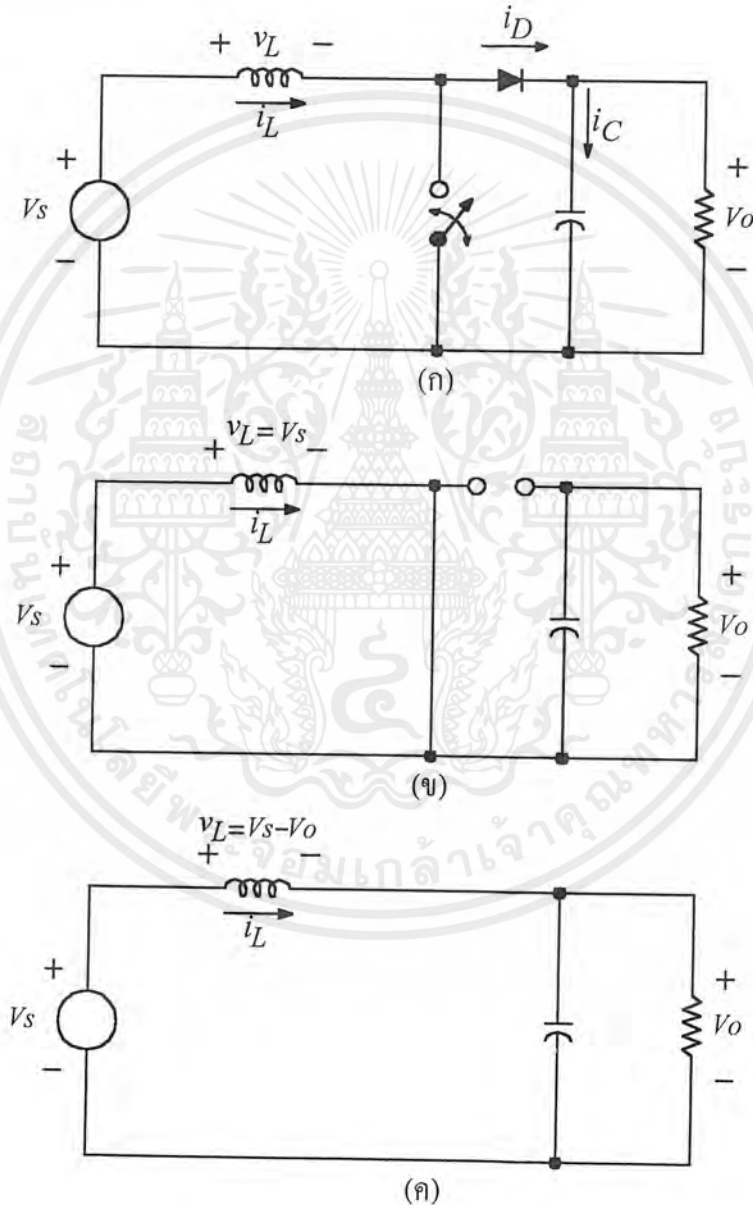
2.1.4 การติดตั้งความลาดเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องติดตั้งให้มีความเอียงเพียงพอ เพื่อที่จะให้ได้รับแสงแดดมากที่สุด และอีกประการหนึ่งเพื่อให้เกิดการระบายน้ำฝนได้อย่างรวดเร็วเพื่อใช้ในการชำระสิ่งสกปรกที่ติดค้างอยู่บนแผงเซลล์ได้อีกด้วย การเลือกมุมความลาดเอียงและทิศทางของแผงที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของสถานที่ที่ตั้งว่าอยู่เส้นรุ้ง แวง เท่าไหร่ สำหรับประเทศไทยค่าที่ดีที่สุดคือ 15 องศา โดยมีทิศทางหันหน้าไปทางทิศใต้ แต่อย่างไรก็ตามหากนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปติดตั้งบนหลังคาบ้านมุมเอียงของแผงโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 15-45 องศา หรือขึ้นอยู่กับความลาดเอียงของหลังคาบ้านเป็นสำคัญ

อีกวิธีหนึ่งที่ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดคือ การปรับแผงให้เอียงตามการโคจรของดวงอาทิตย์ แต่วิธีนี้จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงจึงติดตั้งแผงเซลล์ให้มีความลาดเอียงที่ค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น

2.2 ทฤษฎีวงจรboostคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter)

หลักการการทำงานของวงจรboostคอนเวอร์เตอร์หรือวงจรเพิ่มระดับแรงดัน ดังรูปที่ 2.7 อาศัยหลักการเปิด-ปิดของสวิตช์ ทำให้ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จะมีค่ามากกว่าแรงดันอินพุต จึงเรียกว่า วงจรboostคอนเวอร์เตอร์(Boost Converter)



รูปที่ 2.7 วงจรboostคอนเวอร์เตอร์ (ก) วงจรสมมูล

(ข) วงจรสมมูลช่วงสวิตช์ปิด

(ค) วงจรสมมูลช่วงสวิตช์เปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจรมุสคอนเวอร์เตอร์ แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ช่วง ตามการทำงานของ สวิตช์ได้ดังนี้

2.2.1 ช่วงสวิตช์ปิด (สวิตช์นำกระแส)

เมื่อสวิตช์นำกระแส ทำให้ไดโอดได้รับไบแอสไปอัส(reverse biased) ดังรูปที่ 3.1(ก) จาก กฎของเคอร์ชอฟท์ สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$v_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad \text{หรือ} \quad \frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L} \quad (2.1)$$

ช่วงนี้กระแสจะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง(linearly) ดังรูปที่ 2.8(ข) แสดงการเปลี่ยนแปลงของ กระแสตัวเหนี่ยวนำ จะได้สมการ

$$\begin{aligned} \frac{\Delta i_L}{\Delta t} &= \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \\ (\Delta i_L)_{closed} &= \frac{V_s DT}{L} \end{aligned} \quad (2.2)$$

2.2.2 ช่วงสวิตช์เปิด (สวิตช์หยุดนำกระแส)

เมื่อสวิตช์หยุดนำกระแส กระแสตัวเหนี่ยวนำจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด ดังนั้น ทำให้ไดโอดได้รับฟอร์ไบแอสไปอัส(forward biased) เป็นทางเดินสำหรับกระแสตัวเหนี่ยวนำ จะได้แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ คือ

$$\begin{aligned} v_L &= V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt} \\ \frac{di_L}{dt} &= \frac{V_s - V_o}{L} \end{aligned}$$

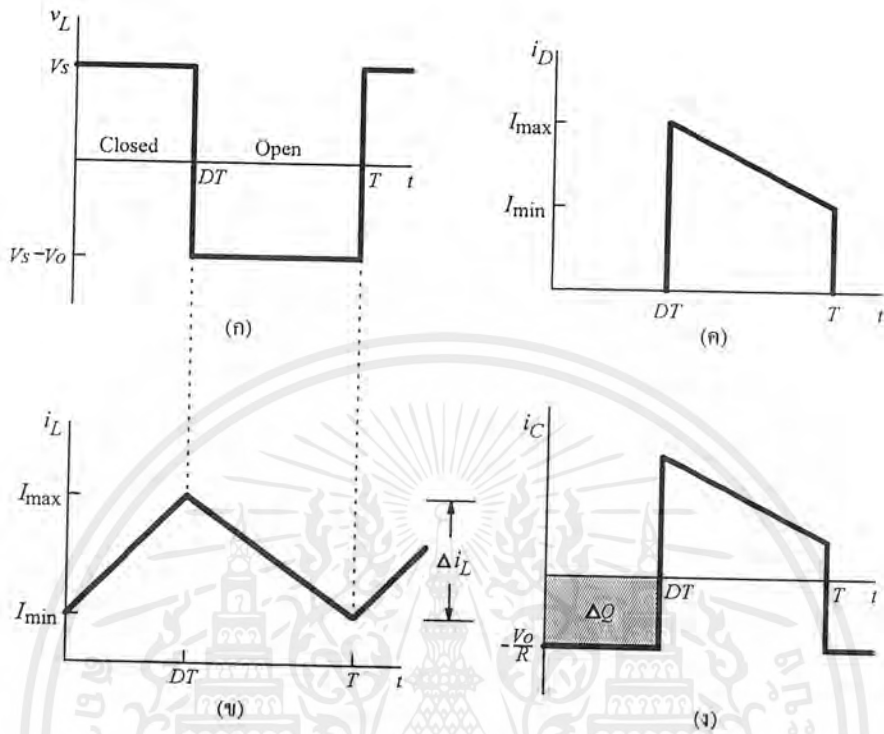
ช่วงนี้กระแสตัวเหนี่ยวนำจะลดลงเป็นเส้นตรง(linearly) การเปลี่ยนแปลงของกระแสตัวเหนี่ยวนำ จะได้สมการ

$$\begin{aligned} \frac{\Delta i_L}{\Delta t} &= \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_s - V_o}{L} \\ (\Delta i_L)_{open} &= \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} \end{aligned} \quad (2.3)$$

สำหรับการทำงานที่สภาวะคงตัว(steady-state) กระแสตัวเหนี่ยวนำจะต้องเป็นศูนย์ จากสมการ(2.2) และ(2.3) จะได้

$$\begin{aligned} (\Delta i_L)_{closed} + (\Delta i_L)_{open} &= 0 \\ \frac{V_s DT}{L} + \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} &= 0 \end{aligned}$$

∴ $V_o = \frac{V_s}{1-D}$
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ (2.4) ขนด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ลักษณะรูปคลื่นของวงจรสวิตชิ่งคอนเวอร์เตอร์
 (ก)แรงดันตัวเหนี่ยวนำ (ข)กระแสตัวเหนี่ยวนำ
 (ค)กระแสไดโอด (ง)กระแสตัวเก็บประจุ

ดังนั้นแรงดันเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำจะต้องเป็นศูนย์

$$V_L = V_s D + (V_s - V_o)(1 - D) = 0$$

กำลังด้านอินพุตจะต้องเท่ากับกำลังด้านเอาต์พุต โดยขึ้นอยู่กับโหลดที่ต่ออยู่กับด้านเอาต์

พุท $P_o = \frac{V_o^2}{R}$

กำลังด้านอินพุต $V_s I_s = V_s I_L$

$$V_s I_L = \frac{V_o^2}{R} = \frac{\left(\frac{V_s}{1-D}\right)^2}{R} = \frac{V_s^2}{(1-D)^2 R}$$

$$I_L = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} \tag{2.5}$$

กระแสตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุด หาค่าเฉลี่ยได้จากสมการ(2.2)

$$I_{\max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{V_s DT}{2L}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ (2.6) ขนด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{\min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{V_s DT}{2L} \quad (2.7)$$

จากสมการ(2.7) สามารถนำมาพิจารณากระแสตัวเหนี่ยวนำในโหมดกระแสไหลต่อเนื่อง ซึ่งหมายความว่า กระแสจะเป็นบวกตลอด ดังนั้นค่ากระแส I_{\min} จึงจำเป็นจะต้องเป็นบวก ทำให้ขอบเขตระหว่างกระแสไหลต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง หาได้จาก

$$I_{\min} = 0 = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{V_s DT}{2L}$$

$$\frac{V_s}{(1-D)^2 R} = \frac{V_s DT}{2L} = \frac{V_s D}{2Lf}$$

ค่าตัวเหนี่ยวนำที่น้อยที่สุดและความถี่สวิทช์ซึ่งสำหรับ โหมดกระแสต่อเนื่องของวงจรเพิ่มระดับแรงดัน หาได้จาก

$$(Lf)_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2}$$

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.8)$$

2.2.3 แรงดันกระเพื่อมด้านเอาต์พุต (Output Voltage Ripple)

ขนาดยอด-ยอด(peak to peak) ของแรงดันกระเพื่อมด้านเอาต์พุตสามารถคำนวณได้จากรูปคลื่นของกระแสตัวเก็บประจุ ดังรูปที่ 2.8(ง) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$|\Delta Q| = \left(\frac{V_o}{R} \right) DT = C \Delta V_o$$

แรงดันกระเพื่อม แสดงได้ดังนี้

$$\Delta V_o = \frac{V_o DT}{RC} = \frac{V_o D}{RCf}$$

หรือ

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} \quad (2.9)$$

เมื่อ f คือ ความถี่สวิทช์ซึ่ง (เฮิรตซ์ ; Hz)

ค่าตัวเก็บประจุที่น้อยที่สุด หาได้จาก

$$C > \frac{D}{Rf} / \frac{\Delta V_o}{V_o} \quad (2.10)$$

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

2.3.1 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ที่ใช้ในโครงงานนี้มีหน่วยความจำภายในเป็นแบบแฟลช(Flash memory) เหตุผลในการใช้งานมีอยู่ด้วยกันหลายประการ ดังนี้

1. หน่วยความจำโปรแกรมภายในสามารถลบและเขียนใหม่ได้นับพันครั้ง จึงสามารถใช้งานในรูปแบบชิพเดี่ยวไม่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอก ทำให้ใช้งานพอร์ตอินพุทเอาต์พุทได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

2. ต้นทุนและเวลาในการพัฒนาระบบลดลง เพราะไม่ต้องใช้เครื่องมือพัฒนาจำพวกอีมูเลเตอร์และเครื่องโปรแกรมอีพรอม

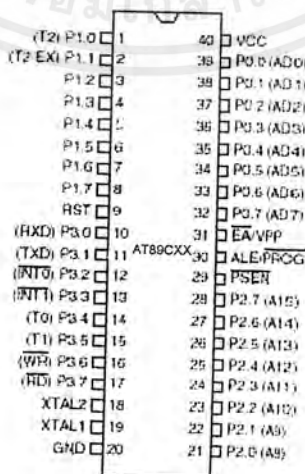
3. ผู้ผลิตทำการผลิตออกมาหลายเบอร์ มีความสามารถแตกต่างกัน ทำให้มีทางเลือกในการใช้งานสูง

4. ความสะดวกใช้หน่วยความจำภายในตัว ทำให้สามารถป้องกันการคัดลอกข้อมูลของโปรแกรมได้เป็นอย่างดี

5. ในบางเบอร์สามารถทำการโปรแกรมข้อมูลโดยไม่ต้องออกมาทำการโปรแกรมภายนอกจนเรียกว่า การโปรแกรมในวงจรถ หรือ ในระบบ(In-system programming) โดยใช้ลักษณะการติดต่อแบบSPI(Serial Peripheral Interface) ทำให้การพัฒนาหรือซ่อมบำรุง ตลอดจนการปรับปรุงหรืออัปเดตข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมทำได้สะดวก ราคาถูก

6. ชุดคำสั่งและสถาปัตยกรรมพื้นฐานMCS-51 เหมือนกันทุกผู้ผลิต

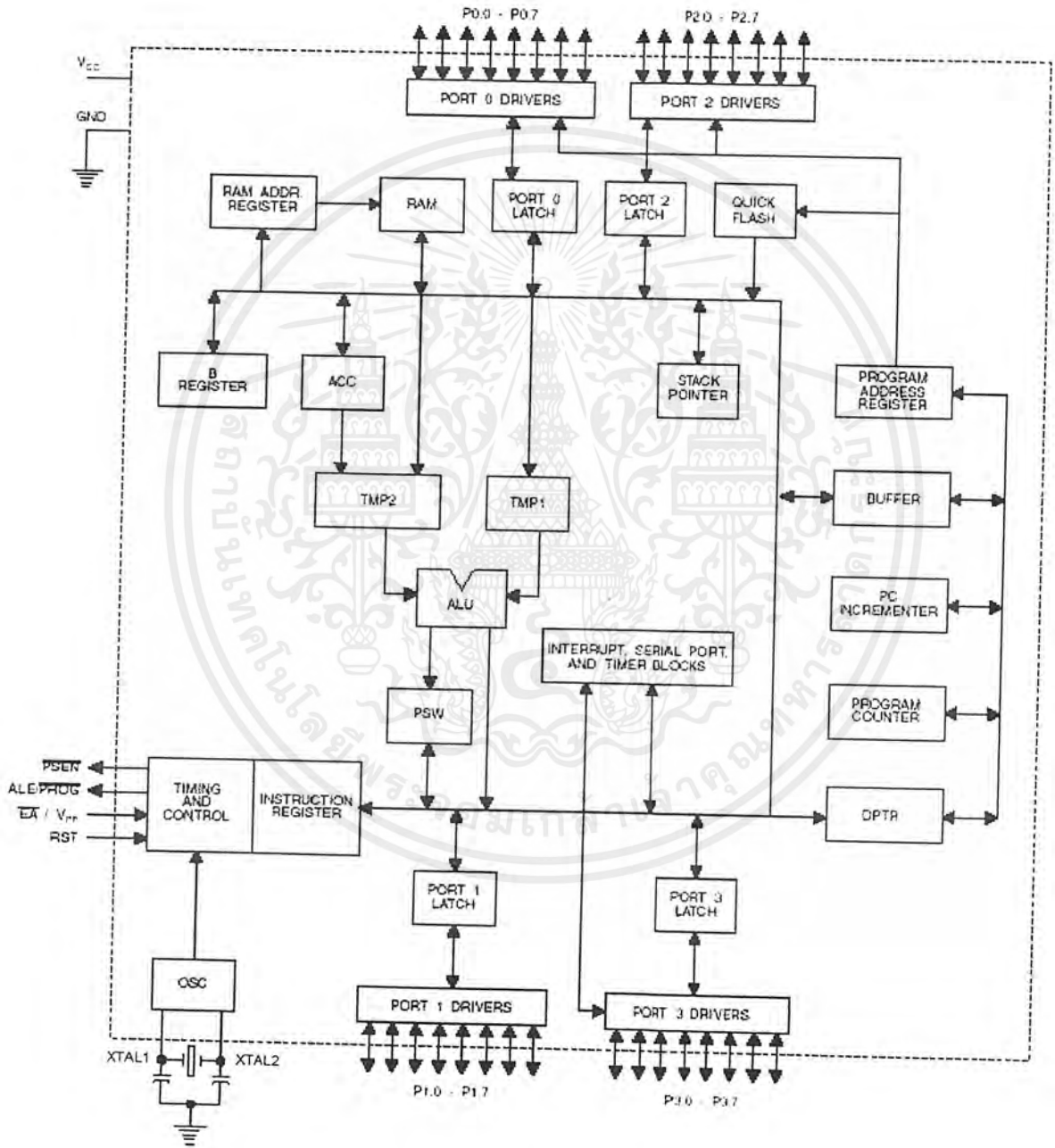
2.3.2 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51



รูปที่ 2.9 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-1 ทุกเบอร์จะมีสถาปัตยกรรมและขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกัน แสดงดังรูปที่ 2.9 และรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 โครงสร้างหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 คุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

1. เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
2. มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในเป็นแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้พันครั้ง
3. หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นแบบแรม ในบางเบอร์มีหน่วยความจำแบบอีอีพรอมเพิ่มเติม
4. ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง สามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
5. มีวงจรสื่อสารแบบพูลดูเพล็กซ์
6. ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตอย่างน้อย 2 ตัว
7. สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
8. มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายในชิพ

2.3.4 การจัดหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีหน่วยความจำหลักๆอยู่ 2 ส่วน คือ หน่วยความจำโปรแกรม และ หน่วยความจำข้อมูล

1. หน่วยความจำโปรแกรม (*Program memory*) เบอร์ที่นิยมใช้งาน คือ AT89C51 และ AT89C52 ซึ่งสามารถติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ โดยสามารถเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายในอย่างเดียวหรือรวมกับภายนอกหรือเลือกใช้หน่วยความจำภายนอกอย่างเดียวก็ได้ โดยที่ AT89C51 มีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน 4 กิโลไบต์ ในขณะที่ AT89C52 มีขนาด 8 กิโลไบต์

2. หน่วยความจำข้อมูล (*Data memory*) มีด้วยกัน 2 แบบ คือ หน่วยความจำข้อมูลภายนอกและภายใน โดยสามารถติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์โดยการใช้คำสั่ง MOVX มีลักษณะคล้ายกับการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกแตกต่างกันที่มีสัญญาณที่ใช้สำหรับการอ่านและเขียนหน่วยความจำข้อมูลภายนอก นั่นคือ ขา RD และ WR

ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในเป็นแบบแรม (RAM : Random Access Memory) โดยแต่ละเบอร์จะมีขนาดแตกต่างกันไป ในเบอร์ AT89C51 มีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 128 ไบต์ ส่วนเบอร์ AT89C52 มีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 256 ไบต์ สำหรับการจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลภายในแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ หน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง(lower) , ส่วนบน(upper) , และรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ(SFR : Special Function Register) แต่ละส่วนมีขนาด 128 ไบต์

รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (*SFR : Special Function Register*) เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของ MCS-51 แบบแฟลช ในเบอร์ AT89C51 มี 22 ตัว ส่วนเบอร์ AT89C52 มี 28 ตัวเพราะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนไทมเมอร์คาน์เตอร์มากกว่า จะมีแอดเดรสอยู่ระหว่าง 80H-FFH ในพื้นที่ของหน่วยความจำ ข้อมูลส่วนบนสามารถเข้าถึงได้โดยตรง มีรายละเอียดเบื้องต้นของรีจิสเตอร์SFR ดังนี้

CY (บิต7) : แพลกทค(Carry flag) เป็น “1” เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิก แล้วค่าของแอกคิวมูลเตอร์เกิน 255(ฐาน10) หรือ FFH

AC (บิต6) : แพลกทคเสริม(Auxiliary Carry flag) เป็น “1” เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์ แล้วทำให้เกิดการทคข้ามจากบิต3 มายังบิต4 มักใช้ในการแปลงค่าเป็นเลขฐานสิบ

F0 (บิต5) : แพลกใช้งานทั่วไป เมื่อผู้เขียน โปรแกรมกำหนดค่าที่บิตนี้แล้ว ไม่ว่าจะกระทำคำสั่งใดๆ ที่บิตนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

RS1 (บิต4) : บิตเลือกรีจิสเตอร์แบงก์(Register Select 1) ใช้งานร่วมกับบิตRS0 เพื่อเลือกแบงก์ของรีจิสเตอร์ R0-R7

RS2 (บิต3) : บิตเลือกรีจิสเตอร์แบงก์(Register Select 0) ใช้งานร่วมกับบิตRS1 เพื่อเลือกแบงก์ของรีจิสเตอร์ R0-R7

OV (บิต2) : บิตเกิน(Overflow) เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิกแล้ว ทำให้เกิดการทคข้ามจากบิต6 มายังบิต7 ของแอกคิวมูลเตอร์ หรือแอกคิวมูลเตอร์มีค่าเกิน 127(ฐาน10) นอกจากนั้นยังใช้เป็นการแสดงค่าลบด้วย

- (บิต1) : บิตนี้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดใช้งานได้อย่างอิสระ

P (บิต0) : บิตพาริตี ใช้ในการตรวจสอบจำนวนค่า “1” ภายในแอกคิวมูลเตอร์ ถ้าหากในแอกคิวมูลเตอร์มีจำนวนบิตที่เป็น “1” รวมกันเป็นเลขคู่ บิตนี้จะเป็น “0” ถ้ารวมกันเป็นเลขคี่ บิตนี้จะเป็น “1”

2.3.5 ชุดคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช มีชุดคำสั่งแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่มดังนี้ คือ

1. กลุ่มคำสั่งโอนย้ายข้อมูล (data transfer instructions) ได้แก่ คำสั่ง MOV, MOVX, MOVC, XCH, XCHD, PUSH, POP
2. กลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์ (arithmetic instructions) ได้แก่ คำสั่ง ADD, ADDC, SUBB, MUL, DIV, INC, DEC, DA
3. กลุ่มคำสั่งทางลอจิก (logical instructions) ได้แก่ คำสั่ง ANL, ORL, XRL, CLR, CPL, RL, RLC, RR, RRC, SWAP
4. กลุ่มคำสั่งจัดการข้อมูลระดับบิต (bit manipulated instructions) ได้แก่ คำสั่ง CLR C, CLR bit, CPL C, CPL bit, SETB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กลุ่มคำสั่งการกระโดด (branch instructions) ได้แก่ คำสั่ง SJMP, AJMP, LJMP, JMP, NOP, JB, JBC, JNB, JNZ, JZ, JNC, JC, CJNE, DJNZ, ACALL, LCALL, RET

2.4 แบตเตอรี่ (Battery)

2.4.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญทางด้านไฟฟ้า ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้าจ่ายออกมาให้เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ แบตเตอรี่บางชนิดสามารถอัดไฟเข้าไปเพื่อเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานเคมี แล้วค่อยๆปล่อยพลังงานไฟฟ้าให้กับ โหลดหรือเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ

2.4.2 โครงสร้างของแบตเตอรี่

เซลล์ของแบตเตอรี่ประกอบด้วยแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ และสารละลายที่เป็นของเหลวหรือวุ้น ซึ่งเรียกว่า “ อิเล็กโทรไลต์ ” เซลล์อาจมีช่องปิดหรือมีช่องให้สารระเหยได้ แผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบจะวางอยู่คู่กัน ในเซลล์แบตเตอรี่ลูกหนึ่งๆอาจมีแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบหลายๆชุด วางขนานกันเป็นคู่เพื่อให้ได้ขนาดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาสูงขึ้น ปริมาณกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ของแผ่นธาตุบวกและแผ่นธาตุลบ ระยะห่างระหว่างแผ่นค่าความเข้มข้นของสารละลาย ความจุของแบตเตอรี่มักวัดเป็นแอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-hour ;A.hr) การวัดความจุโดยให้เวลาคงที่ แล้ววัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาให้ช่วงเวลาดังกล่าว เช่น แบตเตอรี่ลูกหนึ่งจ่ายกระแสไฟฟ้า 20 แอมแปร์ในเวลา 8 ชั่วโมง จะมีความจุ 160 แอมแปร์-ชั่วโมง เป็นต้น

2.4.3 ประเภทแบตเตอรี่

วัสดุที่นำมาทำแผ่นธาตุบวก(แผ่นออกไซด์) มีหลายชนิด เช่น ตะกั่ว แคดเมียม แมกนีเซียม และสังกะสี เพราะแสดงคุณสมบัติในการจ่ายต่อการสละอิเล็กตรอน ซึ่งจะกลายเป็นประจุไอออนบวก(cations ละอองที่เกาะอยู่ที่ขั้วลบ)ในอิเล็กโทรไลต์ ส่วนวัสดุที่นำมาทำแผ่นธาตุลบ(แผ่นคาโอด) ได้แก่ เลดไดออกไซด์ นิกเกิล พรอท และเงิน เพราะแสดงคุณสมบัติในการจ่ายต่อการรับอิเล็กตรอน ระหว่างการจ่ายประจุสภาวะออกซิเดชันของแผ่นบวกจะถูกลดลงและจะสร้างประจุไอออนลบ(anion ธาตุที่ผูกหรือจับทางขั้วบวก)ในอิเล็กโทรไลต์ แล้วอิเล็กโทรไลต์สร้างทางเดินไอออนนิกเพื่อให้อ่างไฟฟ้าสมบูรณ์

แบตเตอรี่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. แบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ เช่น แบตเตอรี่ที่ทำจากสังกะสี-คาร์บอน พรอท และลิเทียม เป็นแบตเตอรี่ที่ใช้งานได้ครั้งเดียว เมื่อจ่ายไฟฟ้าหมดแล้วต้องทิ้งไป ไม่สามารถอัดประจุกลับเข้าไปเพื่อนำมาใช้ได้อีกครั้ง

2. แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ เช่น แบตเตอรี่ที่ทำจากตะกั่ว-กรด นิเกิล แคดเมียมและอัลคาไลน์ บางชนิด แบตเตอรี่ประเภทนี้สามารถอัดประจุเข้าไปใหม่เมื่อไฟหมด ทำให้สามารถใช้งานได้นาน แบตเตอรี่ที่นิยมใช้งานกันมาก คือ ชนิดที่ทำจากตะกั่ว-กรด และอีกชนิดคือแบบ เงิน-สังกะสี ราคาแพงมากแต่จ่ายไฟได้มากที่สุด

แบตเตอรี่ที่ใช้ในโครงการนี้เป็นแบบตะกั่ว-กรด ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของ แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด เท่านั้น

2.4.4 ประเภทของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด

2.4.4.1 แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดชนิดนอนสปิล (Non spill lead-acid battery) แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1. แบตเตอรี่ทั่วไป (Standard battery)

แบตเตอรี่ชนิดนี้เมื่อไม่ได้ใช้งานจะมีการคายประจุระยะไว้โหด (Self-discharge) ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ต้องมีการอัดประจุใหม่ทุกๆ 4-6 สัปดาห์เพื่อชดเชยค่าประจุระยะไว้การะ แบตเตอรี่ประเภทนี้เหมาะสำหรับการใช้งานในช่วงสั้นๆ

2. แบตเตอรี่อายุการใช้งานสูง (Permanent battery)

แบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถเก็บในที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสได้หลายเดือน โดยไม่ต้องการการดูแลรักษา และสามารถประจุแบตเตอรี่ทุกๆ 10 เดือน และมีการคายประจุระยะไว้การะต่ำ เนื่องจากใช้โลหะตะกั่ว (Lead-alloy) ชนิดพิเศษเหมาะสำหรับใช้ในงานพิเศษที่ต้องการอายุการใช้งานสูงกว่าแบบมาตรฐาน

2.4.4.2 แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดชนิดผนึกโดยไม่ต้องเติมน้ำกลั่น (Recombining sealed lead-acid battery)

ปกติแล้วเมื่อแบตเตอรี่อัดประจุจนถึงระดับแรงดันพิคค (Over charge) กรดซัลฟิวริกที่เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะเกิดปฏิกิริยาเป็นก๊าซไฮโดรเจน กับก๊าซออกซิเจน ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้น เราต้องมีการเติมน้ำกลั่น มิฉะนั้นแบตเตอรี่จะเสื่อมคุณภาพได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการเติมน้ำกลั่น จะได้ไม่เสียเวลาในการบำรุงรักษาจึงได้พัฒนา แบตเตอรี่ให้มีความสามารถในการใช้งานได้โดยไม่ต้องเติมน้ำกลั่น ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. แบตเตอรี่แบบ Non-recombining หรือ Partial recombining

ใช้วิธีการอัดประจุที่ยุงยากซับซ้อนมาก ซึ่งจะช่วยลดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในตัวแบตเตอรี่ได้ แบตเตอรี่แบบนี้ไม่ต้องมีการบำรุงรักษาใดๆ และไม่ต้องอัดประจุให้ถึงแรงดันระดับเกินพิคค เพื่อให้แบตเตอรี่เต็ม ในกรณีที่อุณหภูมิการใช้งานสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมากๆ แบตเตอรี่จะเกิดก๊าซทำให้ความดันสูงขึ้น ซึ่งแบตเตอรี่จะมีวาล์วที่คอยเปิดให้ก๊าซออกไปในทันที และวาล์วจะ

ปิดอัตโนมัติเมื่อความดันก๊าซต่ำลง ด้วยเหตุนี้จึงใช้ได้กับทุกสภาวะแวดล้อม แบตเตอรี่แบบนี้จะปิดสนิทได้ ภายในแบตเตอรี่จะไม่เกิดก๊าซ อีกทั้งมีความต้านทานภายในต่ำ และจ่ายกระแสได้สูง ภายใต้อัตราประจุแบบรักษาระดับแรงดันคงที่ จะอัดประจุด้วยกระแสสูงๆ ในตอนเริ่มต้น และในขั้นที่ 2 เมื่อแรงดันย้อนกลับของแบตเตอรี่เริ่มสูงขึ้นและต้องควบคุมกระแสในการอัดประจุ เมื่อแบตเตอรี่เต็มจะต้องรักษาระดับแรงดันแบตเตอรี่ โดยลดกระแสให้เหลือน้อยๆ เพื่อไม่ให้แรงดันอัดประจุเกินพิกัด และป้องกัน Electrolyte loss partially recombining แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดที่ขนาดความจุเดียวกัน สามารถต่อกันเป็นอนุกรมหรือขนานก็ได้

- ถ้าอัดประจุแบตเตอรี่แบบอนุกรม จะใช้แรงดันสูงและกระแสต่ำ

- ถ้าอัดประจุแบตเตอรี่แบบขนาน จะใช้แรงดันต่ำและกระแสสูง

แบตเตอรี่แบบนี้สามารถอัดประจุและสามารถจ่ายประจุได้ที่อุณหภูมิ -20 ถึง 50 องศาเซลเซียส ซึ่งดีกว่าแบบนิเกิล-แคดเมียม

2. แบตเตอรี่แบบ Fully recombining sealed

โดยก๊าซที่เกิดขึ้นจากการคายประจุคือไฮโดรเจนกับออกซิเจนจะรวมตัวกันเป็นน้ำทำให้ปริมาตรของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไม่ลดลง โครงสร้างคล้ายๆกันกับแบบ Standard cylindrical (Ni-Cd) เหมาะสำหรับใช้งานตลอดเวลา(Standby) ใช้ Alloy plate grids ชนิดพิเศษ และมีการรวมตัวของก๊าซออกซิเจนที่ดี อายุการใช้งานขึ้นอยู่กับลักษณะใช้งานและสภาวะแวดล้อม มีความต้านทานภายในต่ำ อัตราการคายประจุสูง การอัดประจุส่วนใหญ่เป็นแบบแรงดันคงที่(Constant voltage) หรือกระแสคงที่(Constant current) หรือการเปลี่ยนแท็บ(Tab changing) หรือการเปลี่ยนสัญญาณพัลส์(Pulse changing) และอื่นๆ

2.4.5 คุณสมบัติของแบตเตอรี่

สามารถเป็นแหล่งจ่ายกระแสตรงได้โดยการนำไปจ่ายโหลด(การคิซาร์จ) และยังสามารถทำหน้าที่เป็นโหลดได้อีก(การชาร์จ) ซึ่งทั้งสองหน้าที่นี้จะทำงานสลับกันและในสภาวะที่แบตเตอรี่เป็นโหลดจะรับกำลังงานได้เต็มพิกัดของแหล่งจ่าย ซึ่งแหล่งจ่ายให้เท่าไร แบตเตอรี่จะรับทั้งหมดไว้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าแรงดันที่ออกจากแหล่งจ่ายจะต้องมีค่ามากกว่าแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่และควรมีค่าถึงค่ากระแสชาร์จซึ่งถ้ามากเกินไปจะทำให้แบตเตอรี่เสียหายได้

การทำปฏิกิริยาโดยทั่วไปของแบตเตอรี่โดยที่ไอออนของตะกั่วจากแผ่นอิเล็กโทรไลต์ทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถัน กลายเป็นตะกั่วซัลเฟต (Lead Sulphate) ซึ่งจะเห็นเป็นตะกอนสีขาวเกาะที่อิเล็กโทรดทั้งสอง และก๊าซไฮโดรเจนซึ่งจะรวมกับไอออนของออกซิเจนจากคาโอดกลายเป็นน้ำ เราสามารถจะเขียนสูตรสำหรับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของศูนย์บริการวิชาการที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

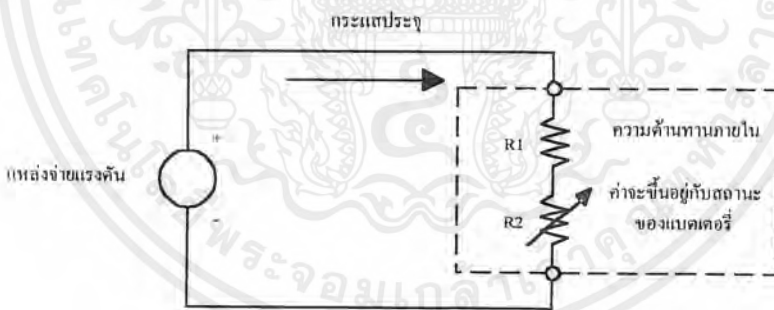
$$PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 \rightleftharpoons 2PbSO_4 + 2H_2O$$
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งแสดงโดยลูกศรสองทิศทางว่าเป็นปฏิกิริยาที่สามารถผันกลับได้ ดังนั้นจึงสามารถที่จะประจุเซลล์ใหม่โดยการต่อวงจรซึ่งจะขับเคลื่อนให้ไหลจากคาโอดไปสู่แอโนด

สูตรทางเคมีแสดงให้เห็นว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะเจือจางลงโดยโมเลกุลของน้ำที่เกิดขึ้นซึ่งเป็นขณะเดียวกับที่เซลล์คายประจุทำให้สามารถใช้เป็นวิธีการหาสถานะการประจุและคายประจุของเซลล์ได้ โดยการวัดความถ่วงจำเพาะ(Specific Gravity) ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึ่งจะบอกกว่าเซลล์ใกล้จะถึงสถานะคายประจุหมดหรือยัง เพื่อจะได้ประจุไปกลับเข้าใหม่โดยค่าความถ่วงจำเพาะของเซลล์ที่ประจุมาเต็มจะมีค่าประมาณ 1.25 โวลท์ และค่าความถ่วงจำเพาะของเซลล์ที่คายประจุหมดจะมีค่าประมาณ 1.2 โวลท์ เราใช้ไฮโดรมิเตอร์เป็นตัววัดแรงดันของเซลล์โดยปกติจะมีค่าประมาณ 2 โวลท์

2.4.6 การประจุแบตเตอรี่

เครื่องประจุแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ซึ่งจะให้ระดับแรงดันสูงกว่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่ในขณะที่มีการเก็บประจุ ในการประจุแบตเตอรี่จะให้ขั้วบวกของเครื่องประจุต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ แสดงดังรูปที่ 2.11 โดยกระแสที่ทำการประจุจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของกระแสที่แบตเตอรี่จ่ายออกมา



รูปที่ 2.11 แสดงทิศทางการไหลของกระแสประจุแบตเตอรี่

จากรูปที่ 2.11 ใช้ในการประจุแบตเตอรี่แสดงให้เห็นว่าการประจุเราต้องพิจารณาถึงตัวต้านทาน 2 ตัวภายในแบตเตอรี่ คือ R1 จะเป็นค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เอง จะมีอยู่ในแบตเตอรี่เสมอไม่ว่าแบตเตอรี่นั้นกำลังประจุหรือคายประจุอยู่โดยจะมีค่าน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่ซึ่งจะมีค่ามากเมื่อเป็นแบตเตอรี่ชนิดพิกัดต่ำ(Low Rated Charge-Discharge)เมื่อเราใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้ในอัตรากระแสที่สูงจะทำให้เกิดความสูญเสีย(Loss) มากเนื่องจาก $Loss = I^2R$ แต่ถ้าเป็นแบตเตอรี่ชนิดพิกัดสูง(High Rate) ค่าความต้านทานตัวนี้จะมิต่างน้อยมากทำให้สามารถใช้กระแสสูงๆได้โดยกำลังสูญเสียไม่มาก ส่วน R2 นั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปโดยขึ้นอยู่กับสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการละเมิดลิขสิทธิ์อื่น ๆ มิฉะนั้นจะถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าประจุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่คายประจุหมดเต็มที่ ค่าความต้านทานตัวนี้จะมีค่าต่ำ ดังนั้นกระแสที่ใช้ในการประจุจึงมีค่าสูง อย่างไรก็ตามเมื่อแบตเตอรี่ใกล้จะเต็มหรือประจุจนเต็มที่แล้ว ค่าความต้านทาน R2 นี้จะมีค่าสูงขึ้น ทำให้กระแสที่ใช้ในการประจุมีค่าลดลง

นอกจากนี้สิ่งที่ควรทราบอย่างยิ่งในการประจุแบตเตอรี่มีดังต่อไปนี้

1. ระดับแรงดันที่ใช้ประจุ

Float Charge คือ การประจุแบตเตอรี่ด้วยระดับแรงดันแบบธรรมดาที่มีค่าไม่สูงอยู่ที่ค่าประมาณ 2.13 - 2.25 V/Cell ในภาวะปกติของการประจุจะใช้ระดับแรงดันนี้

Equalizing Charge ในบางครั้งแบตเตอรี่ที่ใช้อยู่ไม่ถูกใช้งานหรือใช้งานน้อยทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีเสื่อมลงจึงควรมีการกระตุ้นแบตเตอรี่บ้างประมาณ 72 ชม.ต่อปี โดยระดับแรงดันที่ใช้ประจุประมาณ 2.3 - 2.55 V/Cell

2. End Of Cell Voltage

คือ จุดต่ำสุดของแรงดันในการพิจารณาว่าแบตเตอรี่คายประจุหมดแล้ว มีค่าไม่แน่นอนประมาณ 1.5 - 1.8 V/Cell ถ้าหากปล่อยให้แบตเตอรี่คายประจุจนต่ำกว่าค่า End Of Cell แล้วจะทำให้แบตเตอรี่คายประจุไม่สามารถอัดประจุด้วยวิธีธรรมดาได้ ต้องประจุแบบรุนแรงเป็นจังหวะแบบการบีบหัวใจเพื่อให้แบตเตอรี่ฟื้น

3. ขนาดกระแสประจุสูงสุดที่แบตเตอรี่ทนได้

เท่ากับ 0.15-0.2 CA ห้ามเกิน 0.4 CA คือขนาด 0.15-0.2 เท่าของขนาดแอมป์-ชั่วโมง(A.hr) ของสเปกแบตเตอรี่ลูกนั้นๆ เช่น แบตเตอรี่ขนาด 24 A.hr ขนาดกระแสประจุควรอยู่ที่ 0.2 CA*24 เท่ากับ 4.8 A

2.4.7 การนำแบตเตอรี่ไปใช้งาน

1. *For cyclic use* การนำแบตเตอรี่ไปใช้งานโดยใช้ให้หมดแล้วนำแบตเตอรี่ลูกนั้นมาทำการชาร์จใหม่ ซึ่งเหมาะกับการชาร์จแบบเร็ว (Fast charge ; Equalizer charge)

2. *For standby use* ในขณะที่ใช้งานแบตเตอรี่ลูกนั้นจะถูกทำการชาร์จตลอดเวลา(Float charge) ที่มีการใช้งาน ซึ่งเหมาะกับการรักษาระดับแรงดันและการจำกัดกระแสชาร์จ

2.5 วิชาลเบสิก 6.0 (Visual Basic 6.0)

2.5.1 ความเป็นมา

วิชาลเบสิก (Visual Basic) เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ (Programming Language) ที่พัฒนาโดยบริษัทไมโครซอฟท์ โดยตัวภาษามีรากฐานมาจากภาษาเบสิก ซึ่งไมโครซอฟท์ได้พัฒนาโปรแกรมภาษาเบสิกมานานนับสิบปี ตั้งแต่ภาษา MBASIC (Microsoft Basic), BASICA (Basic advanced), GWBASIC และ QBASIC (Quick Basic) ซึ่งโปรแกรมภาษาเหล่านี้ล้วนทำงานเป็นแบบตัวหนังสือล้วนๆ (Text Mode) จนกระทั่งเมื่อระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows) เข้ามาแทนที่ระบบดอส (Dos) และได้รับความนิยมอย่างสูง ไมโครซอฟท์จึงได้พัฒนาโปรแกรมภาษาเบสิกให้สนับสนุนการทำงานในระบบวินโดวส์ ดังนั้นจึงได้มีโปรแกรมวิชาลเบสิกออกมา

วิชาลเบสิก เวอร์ชันแรก คือ เวอร์ชัน 1.0 ออกเมื่อปี 1991 โดยในช่วงแรกนั้นความสามารถยังไม่ต่างจากภาษา QBASIC มากนัก แต่จะเน้นเรื่องเครื่องมือที่ช่วยในการเขียนโปรแกรมบนวินโดวส์ ซึ่งปรากฏว่าวิชาลเบสิกได้รับความนิยมและประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี ไมโครซอฟท์จึงได้พัฒนาวิชาลเบสิกให้ดีขึ้นเรื่อยๆ ทั้งด้านประสิทธิภาพ ความสามารถ และ เครื่องมือต่างๆ

วิชาลเบสิก เวอร์ชันปัจจุบัน คือ เวอร์ชัน 6.0 ซึ่งออกมาในปี 1998 ได้เพิ่มความสามารถในการเขียนโปรแกรมติดต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต การเชื่อมต่อกับระบบฐานข้อมูล รวมทั้งปรับปรุงเครื่องมือและการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object Oriented Programming) ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมทั้งเพิ่มเครื่องมือต่างๆอีกมากมายที่ทำให้ใช้งานง่ายและสะดวกขึ้นกว่าเดิม

2.5.2 ลักษณะการทำงานของวิชาลเบสิก 6.0

โปรแกรมที่เขียนขึ้นโดยวิชาลเบสิก จะมีรูปร่างหน้าต่างในแบบกราฟิกแบบวินโดวส์ ซึ่งผู้ใช้จะติดต่อกับโปรแกรมโดยการกระทำเหตุการณ์ใดๆ (Event) ลงในส่วนประกอบต่างๆของโปรแกรม เช่น การคลิกเมาส์ (Mouse) ที่ปุ่ม การป้อนข้อมูลบนคีย์บอร์ด (Keyboard) ลงในช่องรับข้อความ เป็นต้น โปรแกรมจะตอบสนองต่อเหตุการณ์ต่างๆที่กระทำลงไปตามการเขียนโปรแกรมที่เขียนผูกไว้กับเหตุการณ์ที่กระทำต่อส่วนประกอบนั้นๆ ซึ่งเรียกลักษณะการทำงานของโปรแกรมแบบนี้ว่า อีเวนท์-ไดรเวน (Event-driven) ซึ่งมีจุดเด่นของโปรแกรมคือ ในตัวภาษาจะมีการกำหนดแบ่งแยกเหตุการณ์ต่างๆไว้อย่างชัดเจนและจะคอยตรวจสอบเหตุการณ์เหล่านั้นเอง



รูปที่ 2.12 ลักษณะการทำงานของโปรแกรมแบบ อีเวนท์-ไดรเวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นว่าเป็นประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

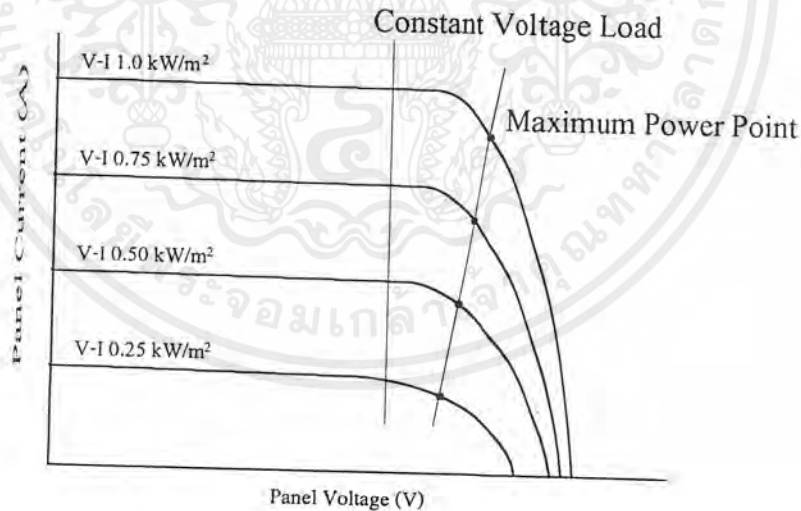
บทที่ 3

หลักการออกแบบโครงงาน

3.1 หลักการออกแบบชุดดึงกำลังงานสูงสุด

ในการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งาน โดยให้ได้รับกำลังงานสูงสุดเท่าที่ความสามารถของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายออกมาได้นั้นต้องมีการกำหนดจุดการทำงานที่จะได้กำลังงานมากที่สุด จากรูปที่ 3.1 แสดงถึงเส้นกราฟการจ่ายแรงดันและกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการรับแสงที่ความเข้มแสงต่างกัน และเมื่อนำโหลดมาต่อก็จะสามารถทราบถึงจุดที่โหลดได้รับ กระแสและแรงดันค่าหนึ่งบนเส้นกราฟซึ่งนำมาเขียนเป็นเส้นก็จะได้เส้นขึ้นมาเส้นหนึ่งคือเส้นแรงดันจ่ายโหลดคงที่(Constant Voltage Load) ซึ่งเมื่อพิจารณาที่จุดนี้ ค่ากำลังงาน(Power) ที่โหลดได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ใช่กำลังงานที่มากที่สุด เมื่อคิดจากสมการ

$$\text{Power} = \text{Voltage} * \text{Current}$$



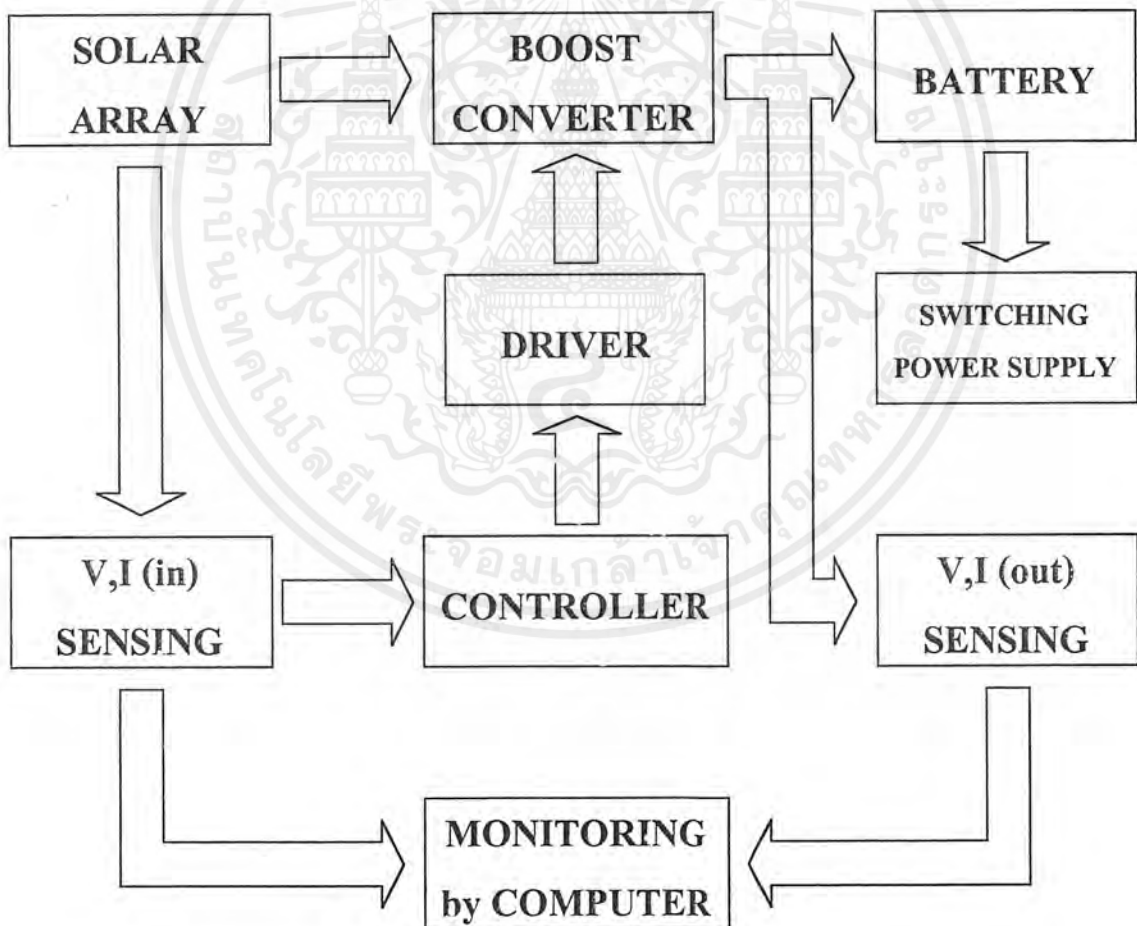
รูปที่ 3.1 แสดง VI Characteristic ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อพิจารณาจากกราฟคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ จะเห็นได้ว่าขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงเท่ากันนั้น กำลังงานที่ได้จากการคิดที่ค่าของกระแสและแรงดันที่คงที่ เมื่อจ่ายโหลดจะมีค่าน้อยกว่ากำลังงานที่ได้จากการคิดค่าของกระแสและแรงดันที่จุดจ่ายกำลังงานสูงสุด(Maximum Power Point)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเป็นเช่นนี้ จึงต้องมีเครื่องมือที่ช่วยในการเปลี่ยนจุดการทำงานจากจุดแรงดันจ่ายโหลดคงที่ มาเป็นจุดจ่ายกำลังงานสูงสุด(Maximum Power Point) เครื่องมือนั้น คือ ชุดคั้งกำลังงานสูงสุด(Maximum Power Point Tracking : MPPT) โดยใช้หลักการของการควบคุมแรงดันและกระแสจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมองอยู่ในรูปของกำลังงานที่จ่ายออกมาให้แก่โหลด ซึ่งการควบคุมนั้นใช้หลักการของการปรับค่าดิวตี้ไซเคิล(Duty Cycle)ให้กับสวิทซ์ของวงจรมอเตอร์คอนเวอร์เตอร์(Boost Converter) ที่ส่งออกมาจากภาคควบคุมอีกที เพื่อให้ได้จุดทำงานที่ได้ค่ากำลังงานสูงสุด และนี่จึงเป็นที่มาของโครงการนี้

3.2 ส่วนประกอบหลักของโครงการ



รูปที่ 3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของชุดคั้งกำลังงานสูงสุดและส่วนแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหลักการทำงานของชุดคั้งกำลังงานสูงสุด(MPPT) ที่ต้องการให้ได้ค่ากำลังงานที่จ่ายออกมาจากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่ามากที่สุด ดังนั้นถ้าสามารถทำวงจรที่มีการวัดค่ากำลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายออกมา แล้วมีการเก็บข้อมูลไว้เปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงก่อนหน้านี้ได้แล้ว ก็จะสามารถประยุกต์ทำเป็นชุดคั้งกำลังงานสูงสุดได้ และส่วนประกอบหลักของการทำงานโดยรวมของชุดคั้งกำลังงานสูงสุด แสดงได้ดังบล็อกไดอะแกรม รูปที่3.2

-แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 1 แผง ขนาดกำลังงานสูงสุด 64 วัตต์ ที่ 1000 W/m^2 25°C ชนิดที่เป็นสารอะมอร์ฟิซิลิกอน(Amorphous Silicon) ของบริษัท ยูนิโซลาร์ วัดค่าแรงดันสูงสุดได้ 16.5 โวลต์ และวัดค่ากระแสสูงสุดได้ 3.88 แอมป์

-ส่วนตรวจจับแรงดันและกระแส (V , I Sensing) ตรวจจับค่าแรงดันและกระแสทั้งด้านอินพุตและเอาต์พุต สำหรับส่งไปประมวลผลในส่วนของคอนโทรลเลอร์ และนำไปแสดงผล

-ส่วนคอนโทรลเลอร์ ใช้ในการประมวลผล โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลMCS-51 ทำการประมวลผลส่งสัญญาณควบคุมไปยังชุดบัสคอนเวอร์เตอร์ ให้ทำงาน ณ จุดที่ให้ค่ากำลังงานสูงสุด ที่ค่าความเข้มแสงและอุณหภูมินั้นๆ ขณะทำงาน โดยในส่วนของคอนโทรลเลอร์ จะมีส่วนวงจรเปลี่ยนสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล(A/D Converter) และวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาล็อก(D/A Converter) ซึ่งสัญญาณที่ได้จากส่วนของคอนโทรลเลอร์นี้จะนำไปควบคุมชุดขับอีกที

-ส่วนชุดขับ เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์(Pulse) สามารถปรับดีวตีไซเคิล(Duty Cycle) ได้ เพื่อนำไปขับสวิทช์ของวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ โดยจะใช้การควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์อีกที โดยในส่วนชุดขับจะรวมถึงตัวแยกกราวด์(Isolator) ทำหน้าที่แยกกราวด์ของระบบระหว่างภาคควบคุมกับภาคกำลัง

-ส่วนชุดบัสคอนเวอร์เตอร์ โดยจะรับสัญญาณพัลส์(Pulse) ที่สามารถปรับดีวตีไซเคิล(Duty Cycle)ได้จากชุดขับอีกที เพื่อนำไปควบคุมการเปิด-ปิด(On-Off) ของสวิทช์ของวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้ค่ากำลังงานสูงสุด และทำการเพิ่มระดับแรงดันได้เพียงพอสำหรับประจุแบตเตอรี่ที่ขนาด 24 โวลต์ ได้ตามที่ออกแบบไว้

-ส่วนสวิทช์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์ต่างๆที่อยู่ในส่วนของภาคควบคุมทั้งหมด

-ส่วนแบตเตอรี่ ออกแบบใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ขนาด 24 แอมป์-ชั่วโมง 12โวลต์ จำนวน 2 ลูกต่ออนุกรมกันมองเป็นลูกเดียวขนาด 24 โวลต์ เปรียบเสมือนเป็นโหลดของชุดคั้งกำลังงานสูงสุด

-*ส่วนแสดงผล* รับค่าแรงคืนและกระแสทั้งด้านอินพุทและเอาต์พุทมาแสดงผลค่ากำลังงานสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์แสงอาทิตย์และกำลังงานที่จ่ายโหลด เปรียบเทียบหาประสิทธิภาพของระบบ ณ ค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิค่าต่างๆขณะทำงาน โดยส่วนนี้จะแยกการทำงานออกจากชุดคิ่งกำลังงานสูงสุดไม่เกี่ยวข้องกัน จะบันทึกผลและแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ออกแบบส่วนหลักของโครงการ

4.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงการ

เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ UNI-SOLAR รุ่น US 64 จำนวน 1 แผง มีคุณสมบัติเฉพาะดังนี้

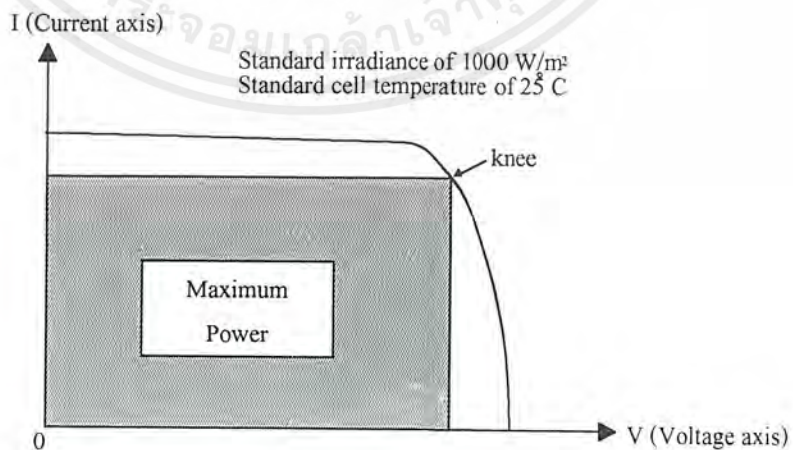
| | | |
|-----------------------------|------|--------|
| Rated Power (Pmax) | 64 | Watts. |
| Operating Voltage (Vmp) | 16.5 | Volts. |
| Operating Current (Imp) | 3.88 | Amps. |
| Open Circuit Voltage (Voc) | 23.8 | Volts. |
| Short Circuit Current (Isc) | 4.80 | Amps. |
| Series fuse rating | 8.0 | Amps. |
| Minimum blocking diode | 8.0 | Amps. |
| Weight | 9.17 | kgs. |

Cell เซลล์เป็นชนิดอะมอร์ฟิซิลิกอน(Triple Junction Amorphous Silicon Solar Cell)

Encapsulation ด้านหน้าเป็นชนิดพลาสติก(Polymer) ไม่ใช่กระจก

Frame โครงเป็นชนิดอะโนไดซ์ อลูมิเนียม(Anodized Aluminum)

หมายเหตุ Open Circuit Voltage และ Short Circuit Current ทดสอบที่ค่าความเข้มแสง 1000 W/m^2 อุณหภูมิที่เซลล์(Cell Temp) 25°C

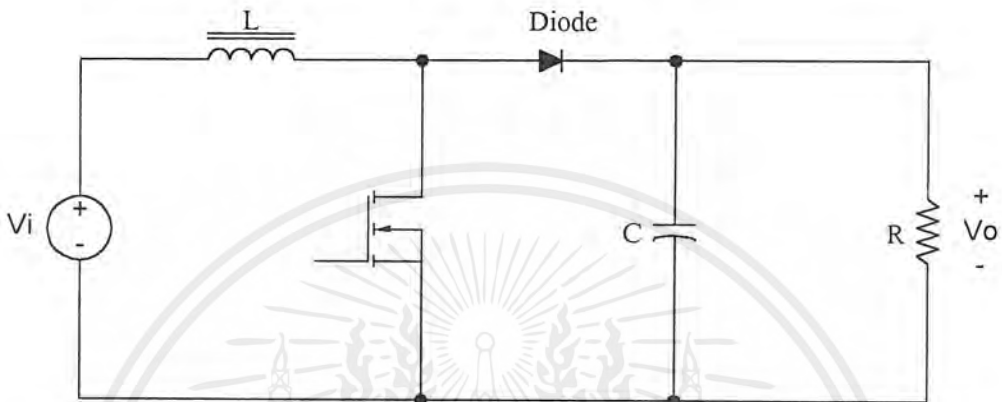


รูปที่ 4.1 กราฟ VI Curve แสดงค่ากำลังงานสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วงจรดึงกำลังงานสูงสุดภาคกำลัง

4.2.1 การออกแบบวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter)



รูปที่ 4.2 วงจรสมมูลวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ

$$V_i = 18 \text{ V}, D = 0.5, R = 10 \text{ } \Omega, f = 40 \text{ kHz}, \Delta i < 0.2, \Delta V_o / V_o < 1\%$$

จาก

$$\begin{aligned} V_o &= \frac{V_i}{(1-D)} \\ &= \frac{18}{(1-0.5)} \\ &= 36 \text{ V} \end{aligned}$$

หาค่าตัวเหนี่ยวนำ (Inductance)

$$\begin{aligned} L_{\min} &= \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \\ &= \frac{(0.5)(1-0.5)^2 (10)}{2 \times 40 \times 10^3} \\ &= 15.625 \text{ } \mu\text{H} \end{aligned}$$

จาก

$$\begin{aligned} v_L &= L \frac{\Delta i_L}{\Delta t} \\ L &= \frac{V_i D T}{\Delta i} \\ &= \frac{18 \times 0.5}{0.2 \times 40 \times 10^3} \end{aligned}$$

$$= 1.125 \text{ mH}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกใช้ L เท่ากับ 2.65 mH (เพื่อไว้สำหรับ continuous current ; ฟันเต็มแกน)

ตรวจสอบ $\Delta i < 0.2$ จากสมการ

$$\begin{aligned}\Delta i &= \frac{V_i D}{Lf} \\ &= \frac{18 \times 0.5}{2.65 \times 10^{-3} \times 40 \times 10^3} \\ &= 0.085 \quad (< 0.2 \text{ ใช้ได้})\end{aligned}$$

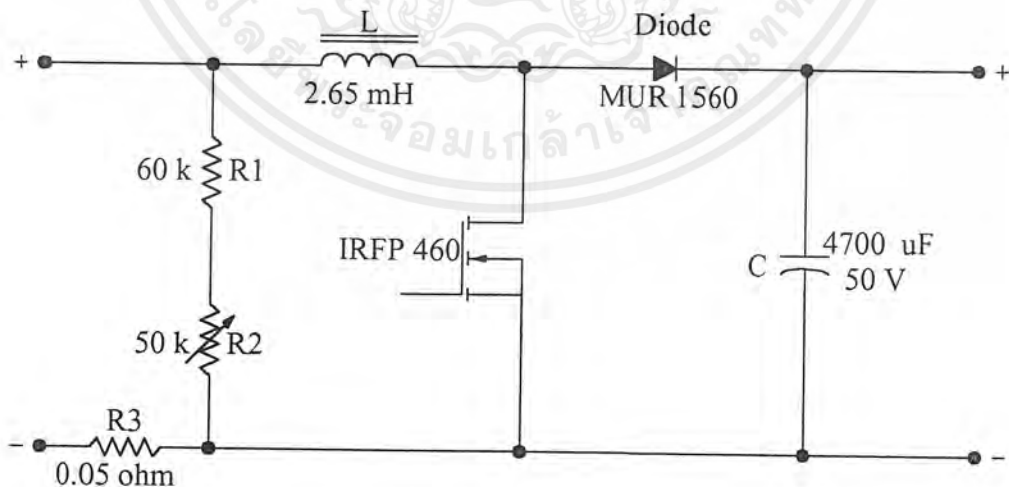
หาค่าตัวเก็บประจุ (Capacitance) มาตรฐานแรงดันกระแสเพื่อม(ripple)ที่เอาท์พุท จากสมการ

$$\begin{aligned}\frac{\Delta V_o}{V_o} &= \frac{D}{RCf} \quad ; \text{ (กำหนด } \frac{\Delta V_o}{V_o} < 1\% \text{)} \\ C &= \frac{D}{Rf(\Delta V_o / V_o)} \\ &= \frac{0.5}{10 \times 40 \times 10^3 \times 0.01} \\ &= 125 \mu\text{F}\end{aligned}$$

เลือกใช้ C ขนาด $> 125 \mu\text{F}$ ช่วยลดขนาด ripple และยังช่วยกรองแรงดันเอาท์พุทให้เรียบได้ดียิ่งขึ้น

4.2.2 อุปกรณ์ที่ได้จากการออกแบบ

\therefore เลือกใช้ $L(\text{min}) = 2.65 \text{ mH}$, $C = 4700 \mu\text{F}$ (50 V), โดย $V_i = 18 \text{ V}$, $V_o = 36 \text{ V}$



รูปที่ 4.3 แสดงวงจรภาคกำลังของชุดกำลังงานสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 แสดงภาควงจรกำลังจะแสดงให้เห็นถึงลักษณะการต่อวงจรและอุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ในวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

-**ตัวเก็บประจุ(C)** เป็นตัวกรองแรงดันด้านเอาต์พุต(Output Filter) จะต่อขนานกับโหลด เพื่อกรองแรงดันเอาต์พุตให้เรียบ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่จ่ายกระแสให้กับโหลดได้ด้วย โดยขนาดของตัวเก็บประจุที่ใช้เท่ากับ 4700 μF .

-**มอสเฟต(MOSFET)** ทำหน้าที่ในการสวิตช์ซึ่งกำลังไฟฟ้าเข้าสู่โหลด โดยจะได้รับสัญญาณควบคุมจากตัวขยายสัญญาณควบคุม โดยมอสเฟตที่ใช้เป็นเพาเวอร์มอสเฟตเบอร์ IRFP460 สามารถทนกระแสได้ 20 A.

-**ตัวเหนี่ยวนำ(L)** ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับโหลด ช่วยกรองและป้องกันการกระชากของกระแสไฟฟ้าในช่วงที่สวิตช์ปิด(turn off) อีกด้วย ขนาดที่ใช้เท่ากับ 2.65 mH. (พันเต็มแกน)

-**ไดโอด(D)** ทำหน้าที่บังคับทิศทางกระแสไฟบวกออกสู่โหลดและกันไฟบวกจากโหลด(แบตเตอรี่)กลับสู่วงจรด้วย โดยในวงจรนี้ใช้อุลตราฟาสต์ไดโอดเบอร์ MUR1560 ซึ่งสามารถทนกระแสได้ 15 A.

-**ตัวต้านทาน(R1,R2,R3)** ทำหน้าที่ตรวจจับค่าแรงดันและทำหน้าที่จำกัด(limit) ค่ากระแสที่ไหลเข้าสู่วงจรภาคควบคุมด้วย ซึ่งตัวต้านทาน R1 มีค่า 60 กิโลโอห์ม ส่วนตัวต้านทาน R2 นั้นเป็นตัวต้านทานที่สามารถปรับค่าได้ ซึ่งมีค่า 50 กิโลโอห์ม เพื่อใช้ในการจำกัดค่าแรงดันที่นำไปใช้ในภาคควบคุมไม่ให้เกิน 5 โวลต์ สำหรับตัวต้านทาน R3 นั้นทำหน้าที่ตรวจจับค่ากระแสเพื่อเปลี่ยนเป็นค่าแรงดันก่อนและส่งไปภาคควบคุมอีกที ซึ่งตัวต้านทาน R3 นี้ใช้ชนิดกระเบื้องค่า 0.1 โอห์ม 10 วัตต์ จำนวน 2 ตัวต่อขนานกัน

4.2.3 สแน็บเบอร์ (Snubber)

ที่ใช้ในวงจรเพื่อลดผลการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตกคร่อมมอสเฟตให้ต่ำลง เพื่อที่จะให้กำลังสูญเสียที่มอสเฟตถูกแบ่งไปที่ความต้านทานสแน็บเบอร์บ้างบางส่วน โดยที่การออกแบบพิจารณาได้จาก

$$V_c(t) = \frac{1}{C} \int_0^t \frac{I(t)}{t_f} dt \quad ; 0 < t < t_r$$

เมื่อ t_r เป็นเวลาที่กระแส $i(t)$ ลดลงเท่ากับศูนย์

$$V_c(t) = \frac{1}{C} \cdot \frac{I(t)I_f^2}{2.t_f} \Big|_0^{t_r} = \frac{I(t)I_f}{2.C}$$

$$\therefore C = \frac{I(t)I_f}{2.V_f}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ V_f คือค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ C เมื่อ $i(t) = 0$ โดยที่ค่าความต้านทานหาได้จาก

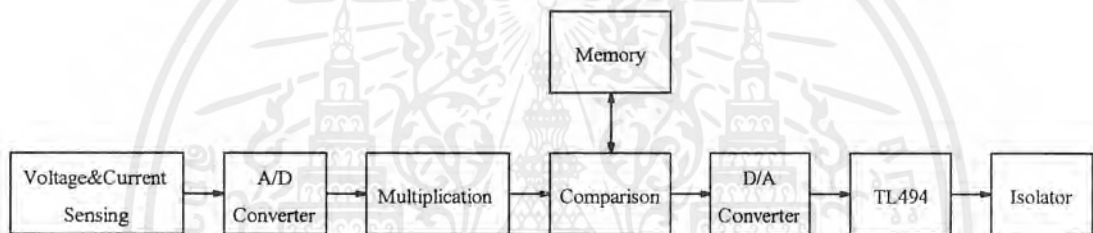
$$R < \frac{t_{on}}{5.C}$$

สำหรับในวงจรเลือกใช้ $C = 0.1 \mu\text{F}/100 \text{ V}$ และค่า ค.ต.ท. $R = 15 \text{ โอห์ม}/10 \text{ วัตต์}$

4.3 วงจรดึงกำลังงานสูงสุดภาคควบคุม

4.3.1 การทำงานของภาคควบคุม

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการเปิด-ปิดสวิตช์ของมอสเฟต(MOSFET) โดยสามารถแสดงส่วนต่างๆของวงจรดึงกำลังงานสูงสุดภาคควบคุม ได้ดังบล็อก ไดอะแกรม ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงบล็อก ไดอะแกรมของภาคควบคุม

1. ชุดตรวจจับแรงดันและกระแส(Voltage and Current Sensing) ทำหน้าที่ในการรับแรงดันและกระแสจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะลดขนาดของสัญญาณอินพุตลงมาไม่เกิน 5 โวลต์ ในส่วนของการรับกระแสจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะทำการแปลงกระแสให้เป็นค่าแรงดัน มีการใช้วงจรขยายสัญญาณ(Amplifier) และวงจรบัฟเฟอร์(Buffer) เพื่อแยกผลของความต้านทานระหว่างวงจรตรวจจับกับวงจรคอนโทรลเลอร์และส่วนมอนิเตอร์แสดงผลด้วย

2. ชุดแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล(A/D Converter) เพื่อให้สามารถนำค่าแรงดันและกระแสที่ได้จากชุดตรวจจับไปใช้ในการคำนวณในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ได้โดยใช้ชุดแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอลนี้ ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ PCF8591 ทำงานในโหมดของแรงดัน ซึ่งมีช่องรับสัญญาณอินพุต 4 ช่องทาง(Channel) มีความละเอียด 8 บิต(bit) และใช้เวลาในการแปลงสัญญาณประมาณ 100 ไมโครวินาที โดยช่องทางที่0(Channel 0) จะกำหนดให้รับสัญญาณแรงดัน และช่องทางที่1(Channel 1) จะกำหนดให้รับสัญญาณกระแสที่เปลี่ยนเป็นรูปของแรงดันแล้ว โดยจะทำการแปลงสัญญาณได้เพียงครั้งละหนึ่งสัญญาณ ดังนั้นจึงต้องทำการเลือกช่องสัญญาณในการแปลงสัญญาณ ซึ่งจะอยู่ในส่วนของการเขียนโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

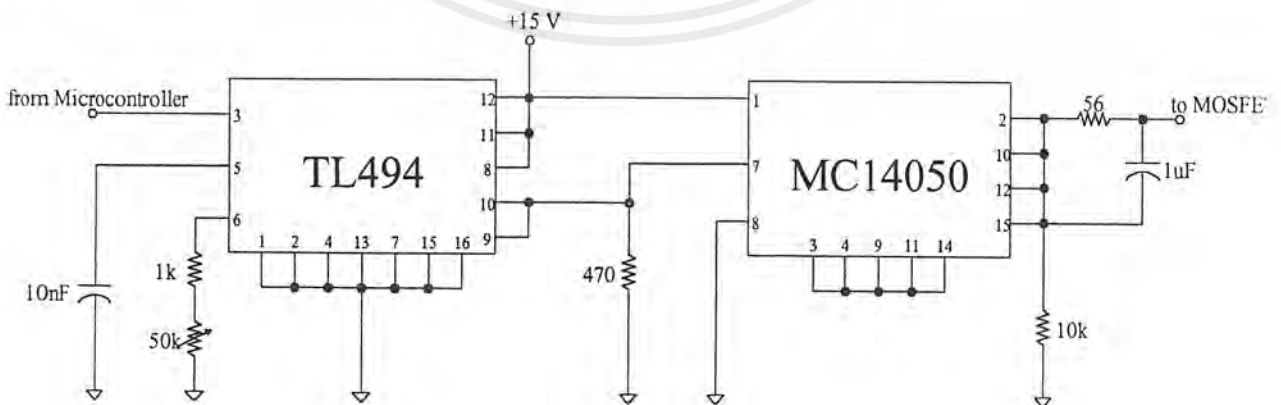
3. *Multiplication* เป็นส่วนที่ทำหน้าที่คูณค่าแรงดันและกระแสที่อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัลแล้ว เพื่อให้เป็นค่ากำลังงาน โดยส่วนของการคำนวณนี้จะอยู่ในส่วนของการเขียนโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

4. *Comparison* เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เปรียบเทียบค่ากำลังงานที่ได้จากการคูณกันของแรงดันและกระแส ณ จุดทำงานต่างๆที่ได้จากการเลื่อนจุดการทำงาน เพื่อให้ได้ซึ่งจุดทำงานที่ให้ค่ากำลังงานสูงสุด ณ ความเข้มแสงและอุณหภูมินั้นๆ โดยส่วนของการเปรียบเทียบนี้จะอยู่ในส่วนของการเขียนโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

5. *Memory* เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เก็บค่ากำลังงานที่ได้จากการคูณกันของแรงดันและกระแสไว้เพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่ากำลังงานที่จุดต่างๆ ซึ่งจะใช้นหน่วยความจำภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่เก็บไว้เพื่อทำการเปรียบเทียบ

6. *ชุดแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาล็อก(D/A Converter)* เพื่อทำการควบคุมการทำงานของวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ โดยจะทำการแปลงสัญญาณดิจิทัล ณ จุดที่ให้ค่ากำลังงานสูงสุดเป็นสัญญาณอะนาล็อกเพื่อไปควบคุมการทำงานของชุดสร้างสัญญาณพัลส์ให้สร้างสัญญาณพัลส์ที่ค่าดีวตี้ไซเคิล(Duty Cycle) ที่ต้องการไปควบคุมการสวิตช์ของมอสเฟตที่ใช้ในส่วนของภาคกำลังต่อไป โดยชุดแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาล็อกนี้ใช้ไอซีเบอร์ PCF8591 ซึ่งมีช่องทางการทำงานได้ 1 ช่องทาง

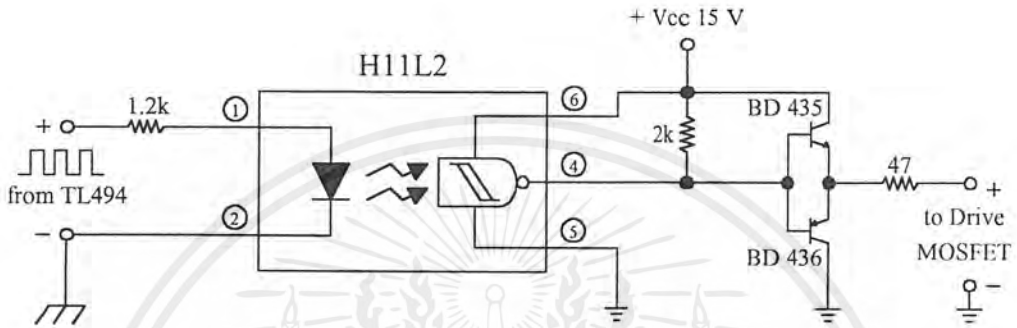
7. *ชุดวงจรสร้างสัญญาณพัลส์(Pulse)* โดยออกแบบใช้ไอซี TL494 ทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์ ณ ค่าดีวตี้ไซเคิลที่ต้องการ และนำไปขับมอสเฟตให้ทำงาน ณ จุดที่ให้ค่ากำลังงานสูงสุด การต่อวงจรแสดงดังรูปที่ 4.5 โดยมีการต่อไอซี CMOS เบอร์ MC14050 เพื่อช่วยให้สัญญาณพัลส์มีความเร็วในการเปลี่ยนสถานะขณะขับมอสเฟตเป็นไปได้อย่างเร็วขึ้น



รูปที่ 4.5 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ขับมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.ชุดแยกกราวด์(Isolator) ทำหน้าที่แยกกราวด์ระหว่างภาคควบคุมกับภาคกำลังออกจากกัน เพื่อลดผลของการรบกวนกันของสัญญาณ โดยออกแบบใช้ไอซีแยกสัญญาณ(Opto Isolator) เบอร์ H11L2 มีลักษณะการต่อใช้งาน ดังรูปที่4.6

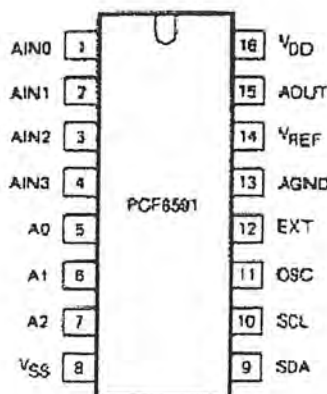


รูปที่ 4.6 แสดงการแยกกราวด์ระหว่างภาคควบคุมและภาคกำลัง

การทำงานอาศัยหลักการทำงานของไดโอดเรืองแสง กับสวิตช์เรืองแสงที่มีอยู่ภายในตัวไอซี ซึ่งใช้ไฟเลี้ยง +15 โวลต์ จากนั้นนำสัญญาณที่ได้มาผ่านวงจรขยายพหุข-พหุ เพื่อนำไปขับมอสเฟตของภาคกำลังต่อไป

4.3.2 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51 กับไอซี PCF8591

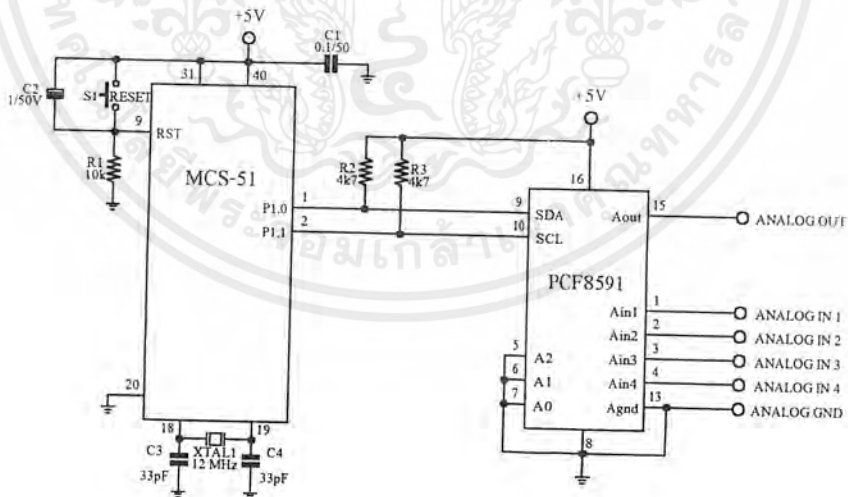
ไอซี ADC/DAC เบอร์ PCF8591 มีลักษณะการจัดขา ดังรูปที่4.7 และมีความสามารถสูง เนื่องจากภายในตัวมีวงจรเอ/ดี(ADC) แบบซิกเซตซีฟแอปพรีอซิเมชันขนาด 8 บิตจำนวน 4 ช่อง และยังมีวงจรดี/เอ(DAC) อีก 1 ช่องด้วย ระบบการเชื่อมต่อเป็นแบบบัส I²C ทำให้ใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น ทั้งยังสามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุดอีก 8 ตัว สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กว้างขวาง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 4.7 การจัดขาของไอซี ADC/DAC เบอร์ PCF8591 นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอซี PCF8591 มีรายละเอียดคุณสมบัติทางเทคนิคดังนี้

- ใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว ย่านแรงดันใช้งาน 2.5 ถึง 6 โวลต์ดีซี
- ในสถานะสแตนด์บายกินกระแสต่ำมาก
- อินพุต/เอาต์พุตอินเตอร์เฟซแบบอนุกรม I²C บัส
- เข้ากำหนดแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์จาก 3 ขาใช้งานได้คือ A0, A1, A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้ถึง 8 ตัว
- อัตราการแซมปลิ่งกำหนดจากความเร็วของสัญญาณนาฬิกาบน I²C บัส
- อินพุตอะนาล็อกทั้ง 4 อินพุต โปรแกรมจัดได้ทั้งแบบซิงเกิลเอนด์หรือดิฟเฟอเรนเชียลอินพุต
- เพิ่มฟังก์ชันการเลือกแชนแนลได้อัตโนมัติ
- ย่านแรงดันของสัญญาณอะนาล็อกอินพุต มีระดับตั้งแต่ VSS ถึง VDD
- บนชิปมีวงจรแทรกและโฮลท์ในตัว
- วงจรเอ/ดี แบบซิกเซสซีฟแอปพลิเคชัน 8 บิต 4 ช่อง และดี/เอ 8 บิต 1 ช่อง



รูปที่ 4.8 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับ ไอซี PCF8591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การอ่านค่าอินพุทอะนาลอกของ PCF8591

มีลำดับขั้นตอนดังนี้

- 1.เตรียมข้อมูลกำหนดแอดเดรสของ PCF8591 ไว้ที่ 000 (ขา A0, A1, A2 ต่อลงกราวด์ทั้งหมด) และให้ทำงานในโหมดเขียนข้อมูล (ป้อนข้อมูลลอจิก “0” ให้แก่บิต R/W)
- 2.เรียกโปรแกรมย่อยการติดต่อกับอุปกรณ์สเลฟ
- 3.ส่งสัญญาณควบคุมไปยัง PCF8591
- 4.ส่งสัญญาณ STOP
- 5.เรียกโปรแกรมย่อยการติดต่อกับอุปกรณ์สเลฟ
- 6.ส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสอีกครั้ง โดยครั้งนี้กำหนดให้เป็นโหมดอ่านข้อมูล (ส่งลอจิก “1” ให้แก่บิต R/W) เพื่อเริ่มต้นอ่านค่าข้อมูลจากช่องสัญญาณอะนาลอกอินพุท
- 7.อ่านค่าจากขาอินพุทของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลช่องที่ 1
- 8.หากต้องการอ่านค่าในช่องต่อไปก็ให้เริ่มต้นการติดต่อใหม่ ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมเพื่ออ่านค่าต่อเนื่องทั้ง 4 ช่องหรือมากกว่าจึงต้องเขียนโปรแกรมลูป เพื่อกำหนดรอบการทำงาน 4 รอบหรือมากกว่า ก็จะสามารถอ่านค่าได้ครบทุกช่อง

4.3.4 การเขียนข้อมูลไปยังวงจรถ่าย/เอาของ PCF8591

มีลำดับขั้นตอนดังนี้

- 1.เรียกโปรแกรมย่อยการติดต่อกับอุปกรณ์สเลฟ
- 2.ส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสโดยให้ทำงานในโหมดเขียนข้อมูล (ป้อนข้อมูลลอจิก “0” ให้แก่บิต R/W)
- 3.ส่งข้อมูลควบคุม 40H ไปยัง PCF8591 เพื่ออีนาเบิ้ลอะนาลอกเอาท์พุท
- 4.ส่งข้อมูลไปยังเอาท์พุทอะนาลอก โดยค่าที่ส่งไปจะต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 0-255 เพื่อทำการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอก
- 5.ส่งสถานะหยุด

4.3.5 ขั้นตอนการเขียนโปรแกรม

- 1.ทำการเขียนโปรแกรมเป็นภาษาแอสเซมบลี บนโน้ตแพดด้วยคอมพิวเตอร์ บันทึกเป็นโปรแกรมไฟล์ PROJECT.ASM เช่น MPPT.ASM
- 2.ทำการคอมไพล์โปรแกรมจากภาษาแอสเซมบลีเป็นฐานสิบหก(.HEX) ด้วยโปรแกรมแอสเซมเบลอร์ SXAS1 จะทำให้ได้ไฟล์ผลลัพธ์ออกมา 2 ไฟล์ คือ PROJECT.LST และ PROJECT.HEX โดยใช้คำสั่ง ณ ไดรเรททอรี่ของโปรแกรม SXAS1 ดังนี้

“SXAS1 PROJECT.ASM” และ “SXAS1 -L PROJECT”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.เมื่อใช้คำสั่งข้างต้นแล้ว ถ้าโปรแกรมไฟล์ที่เขียนขึ้นมีข้อผิดพลาดเกี่ยวกับโครงสร้างของภาษาคำสั่ง โปรแกรมแอสเซมเบลเลอร์จะแจ้งให้ทราบว่าผิดพลาดที่บรรทัดไหนบ้างบนหน้าจอ คอส หรือจะดูได้จากไฟล์ PROJECT.LST ก็ได้ แล้วทำการแก้ไขบรรทัดที่ผิดพลาด จากนั้นทำการแอสเซมเบลอร์ใหม่อีกครั้ง

4.ในกรณีโปรแกรมที่แอสเซมเบลอร์แล้วไม่เกิดข้อผิดพลาด ก็ทำการดาวน์โหลดไฟล์ PROJECT.HEX ลงสู่บอร์ดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51 โดยส่งออกจากพอร์ตอนุกรม (COM1) ที่เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับบอร์ดด้วยสาย RS232

5.ทำการทดสอบโปรแกรมด้วยการสั่ง RUN ตรวจสอบผลการทดลองว่ามีข้อผิดพลาดตรงไหนหรือไม่ หากว่ามีต้องกลับไปแก้ไขโปรแกรมใหม่ตามขั้นตอนข้างต้น

6.หากทำการทดสอบโปรแกรมแล้วสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตามที่ออกแบบไว้และไม่มีข้อผิดพลาดใดๆ เมื่อจะใช้งานจริงๆก็นำโปรแกรม PROJECT.HEX นี้ทำการอัปโหลดบนชิพไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51 เบอร์ AT89CXX โดยใช้เครื่องอัปโปรแกรมอีกที ขนาดชิพจะมีขนาดหน่วยความจำโปรแกรมที่ต่างกันแล้วแต่จะเลือกใช้เบอร์ไหนขึ้นอยู่กับโปรแกรมที่เราเขียนไว้ว่ามีขนาดกี่ไบต์ ในโครงการนี้เลือกใช้ชิพเบอร์ AT89C51 มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชขนาด 4 กิโลไบต์ แรม 128 ไบต์

4.3.6 การประมวลผลของส่วนโปรแกรมควบคุม

การประมวลผลของส่วนโปรแกรมควบคุมของชุดคิงกำลังงานสูงสุด มีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้ คือ

1.เริ่มจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการรับค่าแรงดันและกระแสที่ส่งมาจากชุดตรวจจับ (V,I Sensing) โดยค่าที่ได้จะผ่านวงจรขยายและวงจรมัลติเพล็กซ์แล้ว และทำการแปลงค่าจากสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลด้วยชุดเอ/ดี คอนเวอร์เตอร์ โดยไอซีเบอร์ PCF8591 ด้วยการเขียนโปรแกรมควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์

2.นำค่ากระแสและแรงดันที่แปลงค่าแล้วนี้ไปคำนวณหาค่ากำลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายออกมา นำค่ากำลังงาน ณ ขณะนี้เก็บไว้เป็นค่าอ้างอิง ขณะเดียวกันทำการย้ายจุดการทำงานของระบบไปเล็กน้อย โดยการปรับค่าตัวรีไซเคิล ซึ่งทำงานได้โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งค่าดิจิตอล และทำการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อกด้วยชุดดี/เอ คอนเวอร์เตอร์ โดยไอซีเบอร์ PCF8591 ด้วยการเขียนโปรแกรมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่งค่าอนาล็อกนี้ให้กับชุดสร้างสัญญาณพัลส์ โดยใช้ไอซี TL494 นำไปขับมอเตอร์อีกที

3.ทำการตรวจวัดค่ากำลังงานใหม่เข้ามาเปรียบเทียบกับค่ากำลังงาน ณ จุดอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

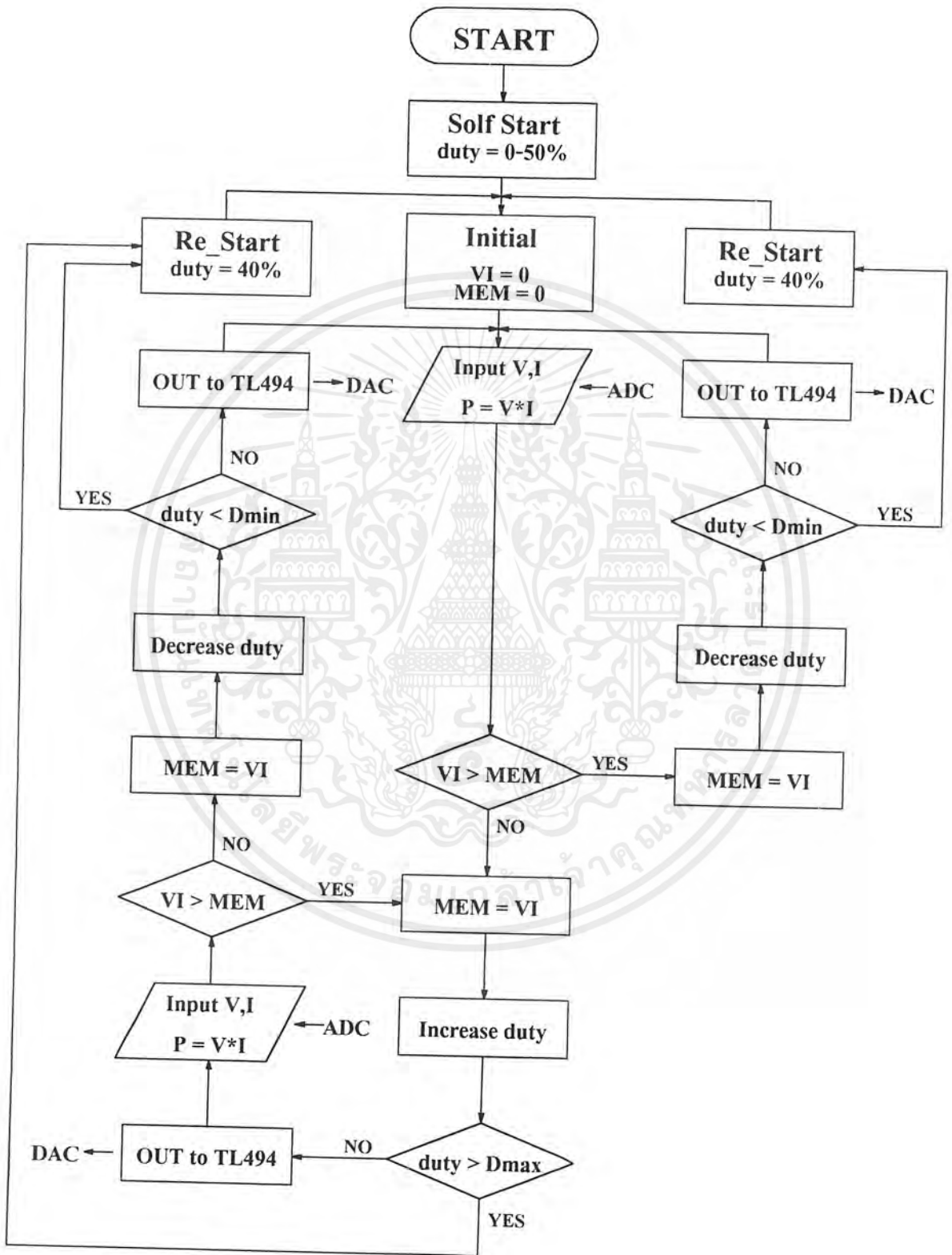
- หากกำลังงานใหม่ที่เข้ามานี้มีค่ามากกว่ากำลังงาน ณ จุดอ้างอิง ก็ทำการย้ายจุดการทำงานไปในทิศทางเดิมเล็กน้อย และทำการเก็บค่ากำลังงานใหม่นี้ไว้เป็นกำลังงาน ณ จุดอ้างอิงแทน แล้วทำการเปรียบเทียบกับจุดการทำงานใหม่ต่อไปเรื่อยๆ

- หากกำลังงานใหม่ที่เข้ามานี้มีค่าน้อยกว่ากำลังงาน ณ จุดอ้างอิง ก็ทำการย้ายจุดการทำงานไปในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางเดิมเล็กน้อย จนกว่าค่ากำลังงานที่นำมาเปรียบเทียบจะมีค่ามากกว่ากำลังงาน ณ จุดอ้างอิง

โปรแกรมจะทำงานวนรอบอย่างนี้ไปเรื่อยๆ เพื่อที่จะให้ได้ค่า ณ กำลังงานสูงสุดอยู่ตลอดเวลา แม้ว่าความเข้มแสงและอุณหภูมิขณะทำงานจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรก็ตาม

โดยหลักการทั้งหมดที่กล่าวมาในข้างต้น สามารถนำมาเขียนเป็นโฟลวชาร์ต ได้ดังรูปที่ 4.9 แสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมของชุดดิ่งกำลังงานสูงสุด



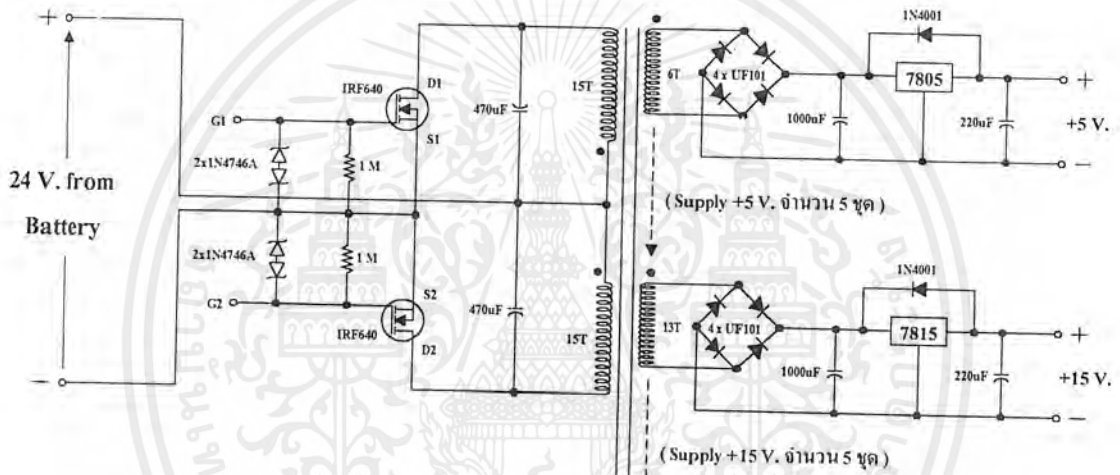


รูปที่ 4.9 โฟลวชาร์ตการทำงานของโปรแกรมควบคุมชุดคั้งกำลังงานสูงสุด

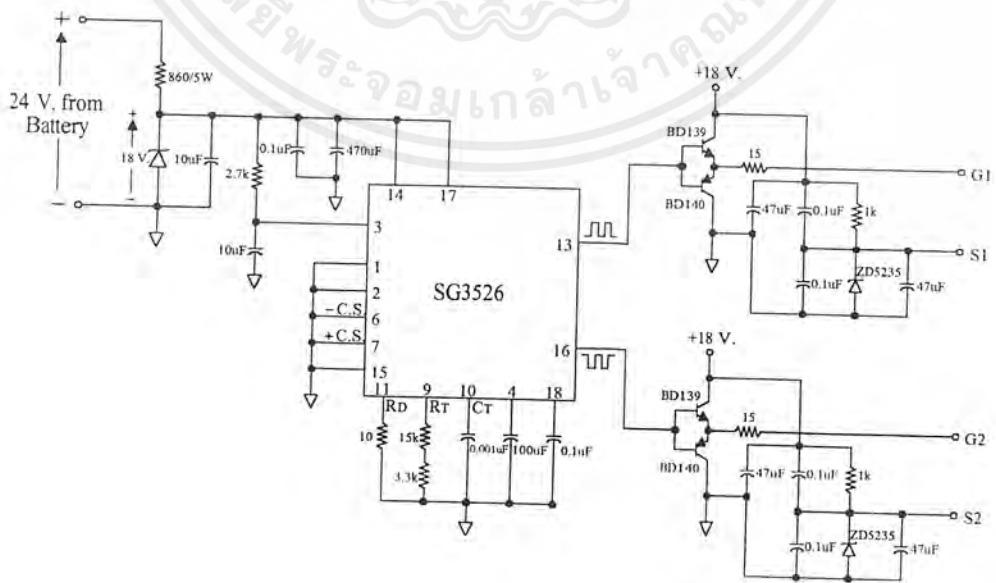
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 สวิตซ์ซิงเพาเวอร์ซัพพลาย

ชุดสวิตซ์ซิงเพาเวอร์ซัพพลายใช้สำหรับเป็นแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับอุปกรณ์ต่างๆที่อยู่ใน ส่วนของภาคควบคุมทั้งหมด เพื่อเพิ่มความสามารถให้กับชุดดังกล่าวถึงงานสูงสุดที่จะสามารถทำงาน ได้ด้วยตัวเอง นำไปใช้งานในบริเวณที่ห่างไกลจากระบบสายส่งได้ โดยออกแบบเป็นสวิตซ์ซิงเพาเวอร์ซัพพลายแบบพuxe-พูล วงจรที่ทำการออกแบบสร้างแสดงดังรูปที่ 4.10 ส่วนวงจรชุดขับให้กับ สวิตซ์ซิงเพาเวอร์ซัพพลาย แสดงดังรูปที่ 4.11 ออกแบบใช้ไอซีขับเบอร์ SG3526 มีความสามารถในการ ทำงานสูงเหมาะสำหรับนำมาใช้งาน



รูปที่ 4.10 วงจรสวิตซ์ซิงเพาเวอร์ซัพพลายแบบพuxe-พูล



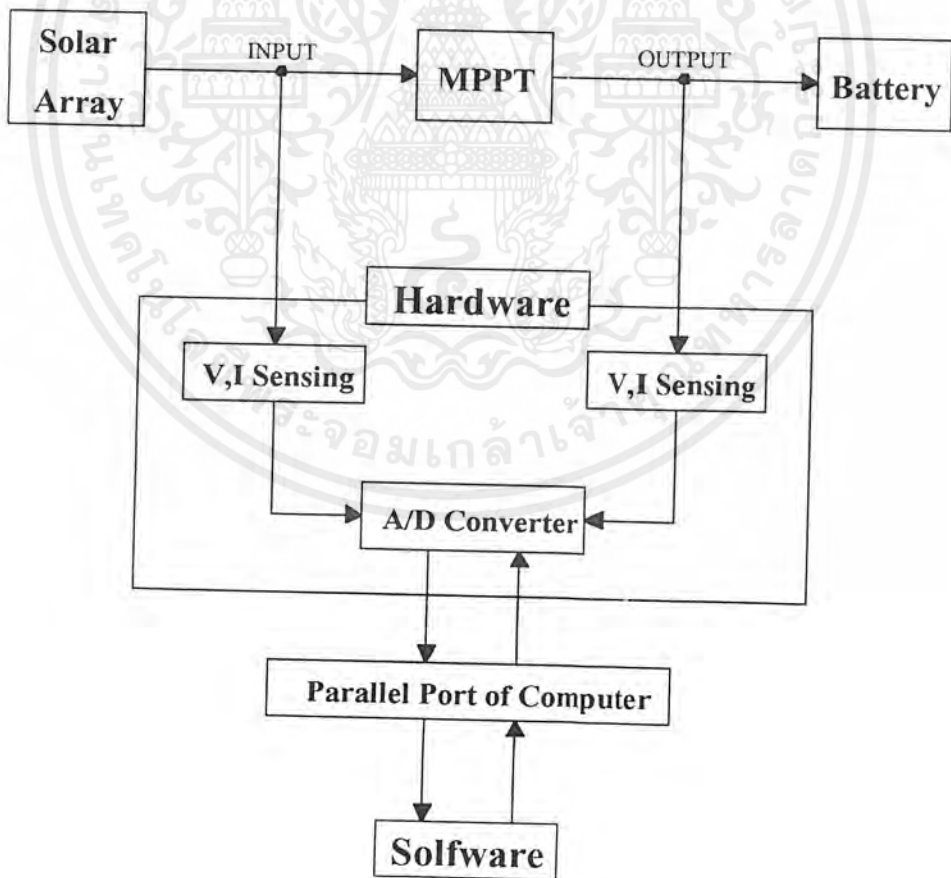
รูปที่ 4.11 วงจรชุดขับสวิตซ์ซิงเพาเวอร์ซัพพลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การแสดงผลและบันทึกผลโดยคอมพิวเตอร์

การนำคอมพิวเตอร์มาใช้งานร่วมกับชุดดิ่งกำลังงานสูงนั้น มีส่วนช่วยทำให้การพัฒนาชุดดิ่งกำลังงานสูงสุดเกิดประสิทธิภาพขึ้นได้ เนื่องจากเราสามารถนำข้อมูลที่ได้จากคอมพิวเตอร์มาวิเคราะห์หาแนวทางปรับปรุงชุดดิ่งกำลังงานสูงสุด เพื่อให้ได้กำลังที่สูงสุดจริงๆจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งการนำคอมพิวเตอร์มาใช้งานนั้นได้นำมาใช้งานอยู่ 2 ส่วนคือ การแสดงผล และการบันทึกผล

ในส่วนของ การแสดงผลโดยคอมพิวเตอร์ มีหน้าที่เพื่อแสดงค่าของพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (พลังงานด้านอินพุต) และ พลังงานหลังจากผ่านชุดดิ่งกำลังงานสูงสุด (พลังงานด้านเอาต์พุต) ซึ่งพลังงานที่แสดงให้เห็นนั่นคือ ค่าแรงดัน, ค่ากระแส และ ค่ากำลังงาน ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของตัวเลขที่มีทศนิยม 2 ตำแหน่ง จึงทำให้การแสดงผลของพลังงานทำได้ละเอียดกว่าการใช้มิเตอร์แบบเข็ม



รูปที่ 4.12 บล็อกไดอะแกรมการแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และส่วนของการบันทึกผลโดยคอมพิวเตอร์มีหน้าที่เพื่อเก็บข้อมูลพลังงาน เพื่อใช้วิเคราะห์และเปรียบเทียบ ระหว่างพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะไม่ใช้ชุดดิ่งกำลังงานสูงสุดและใช้ชุดดิ่งกำลังงานสูงสุด รวมทั้งใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพของชุดดิ่งกำลังงานสูงสุด ในส่วนนี้จึงทำให้ชุดดิ่งกำลังงานสูงสุดสามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพและมีความคุ้มค่าต่อการนำมาใช้งานได้ดียิ่งขึ้น

โครงสร้างของการทำงานที่ใช้เพื่อการแสดงผลและบันทึกผลโดยคอมพิวเตอร์ นั้นประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ฮาร์ดแวร์(Hardware) และ ซอฟต์แวร์(Software) แสดงดังรูปที่ 4.12 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.5.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

คือ ส่วนของวงจรที่รับค่าพลังงานทั้งทางด้านอินพุตและเอาต์พุต ซึ่งเป็นสัญญาณอะนาลอก(Analog) ขนาด 0-40 โวลท์ ต่งเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ทางพอร์ทขนาน ซึ่งต้องการเป็นสัญญาณดิจิตอล(Digital) ขนาด 5 โวลท์ ประกอบด้วยวงจรที่ใช้ ดังนี้

1. วงจรตรวจจับแรงดันและกระแส (V, I Sensing)

วงจรส่วนนี้มีหน้าที่รับสัญญาณอนาลอกของแรงดันและกระแสทั้งทางด้านอินพุตและเอาต์พุตเข้ามา แล้วปรับค่าให้อยู่ในช่วง 0-5 โวลท์ โดยแรงดันทางด้านอินพุตที่มีขนาดอยู่ในช่วง 0-25 โวลท์ และ แรงดันทางด้านเอาต์พุตที่มีขนาดอยู่ในช่วง 0-40 โวลท์ จะถูกลดขนาดแรงดันลงให้อยู่ในช่วง 0-5 โวลท์ โดยใช้วงจรโวลท์เตจดีไวเดอร์(Voltage Divider) ส่วนค่ากระแสทั้งทางด้านอินพุตและเอาต์พุตจะมีขนาดอยู่ในช่วง 0-6 แอมป์ จะรับเข้ามาในรูปของแรงดัน โดยรับค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่มีกระแสอินพุตหรือกระแสเอาต์พุตไหลผ่าน แล้วนำแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานนั้นมาขยายให้อยู่ในช่วง 0-5 โวลท์ โดยใช้วงจรอนอินเวอร์ตติ้งแอมป์

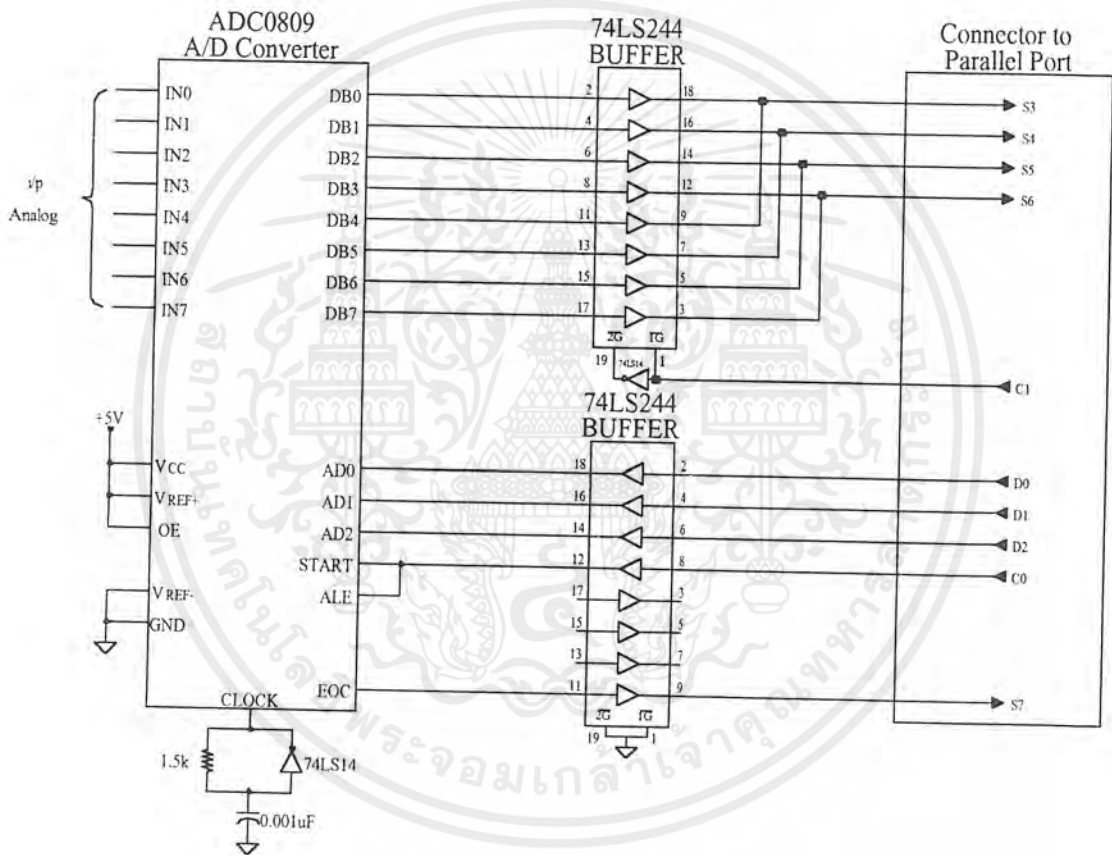
2. วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital)

วงจรส่วนนี้มีหน้าที่รับสัญญาณอะนาลอกขนาด 0-5 โวลท์ (จากชุดตรวจจับแรงดันและกระแสทั้งทางด้านอินพุตและเอาต์พุต) เข้ามาแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิตอลขนาด 5 โวลท์ (ซึ่งมีค่าตามขนาดของสัญญาณอนาลอกที่เข้ามา) เพื่อส่งเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางพอร์ทขนาน แสดงดังรูปที่ 4.13

4.5.2 ซอฟต์แวร์ (Software)

คือ ส่วนของโปรแกรมทั้งหมด ตั้งแต่โปรแกรมการรับค่าสัญญาณดิจิตอลจากพอร์ทขนานเข้ามาจัดการให้เป็นค่าตัวเลขที่ตรงกับค่าของแรงดันและกระแสทั้งทางด้านอินพุตและเอาต์พุต ที่วงจรตรวจจับแรงดันและกระแสรับค่าเข้ามา ส่วนของโปรแกรมการแสดงผลเป็นการแสดงค่าของพลังงานต่างๆ (ค่าแรงดัน, ค่ากระแส และ ค่ากำลังงาน ทั้งทางด้านอินพุตและเอาต์พุต) ส่วนของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการบันทึกผลเป็นการบันทึกข้อมูลของพลังงานต่างๆ ส่วนของโปรแกรมที่ใช้ดูข้อมูลของพลังงานที่บันทึกเอาไว้ และ ส่วนของโปรแกรมเปรียบเทียบพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขณะไม่ใช่ชุดดิ่งกำลังงานสูงสุด และ ใช้ชุดดิ่งกำลังงานสูงสุด ซึ่งโปรแกรมทั้งหมดนี้มีเป้าหมายในการทำงานเดียวกันคือ เพื่อนำมาวิเคราะห์และพัฒนา ประสิทธิภาพการทำงานของชุดดิ่งกำลังงานสูงสุด



รูปที่ 4.13 วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลเพื่อแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์

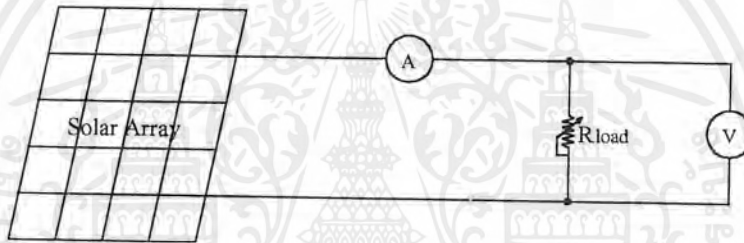
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

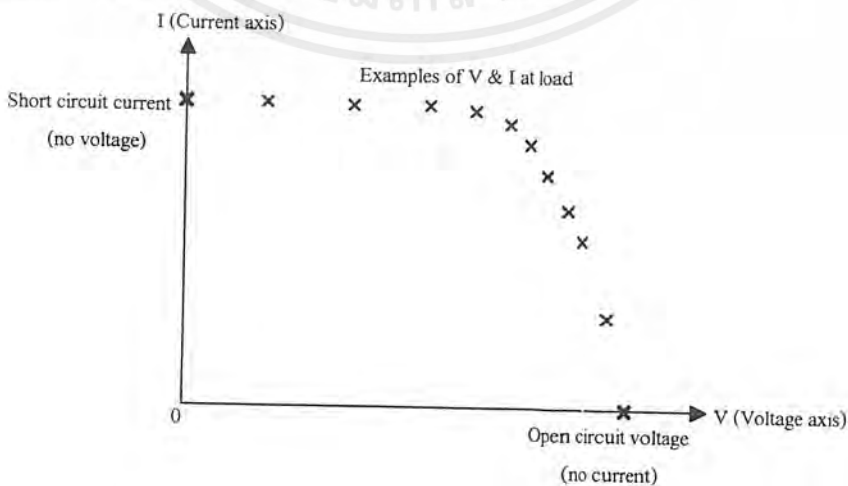
5.1 การทดสอบหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถหาได้จากการทดลองดังรูปที่ 5.1 ซึ่งจะได้ค่ากระแสและแรงดันต่างๆเมื่อโหลดเปลี่ยนแปลง นำมาพล็อตเป็นกราฟ VI Curve ได้ดังรูปที่ 5.2 ซึ่งมีประโยชน์มากสำหรับใช้ตรวจสอบกำลังผลิตสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยที่ V หมายถึงแรงดันไฟฟ้า แทนด้วยเส้นกราฟในแกน X และ I หมายถึงกระแสไฟฟ้าซึ่ง แทนด้วยเส้นกราฟในแกน Y



รูปที่ 5.1 วงจรที่ใช้สร้าง VI Curve

VI Curve มาตรฐานที่ใช้สำหรับหาค่ากำลังผลิตสูงสุด หรือ W_p (Peak Watt) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ได้มาจากการทดสอบในสภาวะมาตรฐานที่กำหนด โดยใช้แสงส่องสว่างมาตรฐาน (Solar simulator) ที่อุณหภูมิของเซลล์คงที่ 25 องศาเซลเซียส

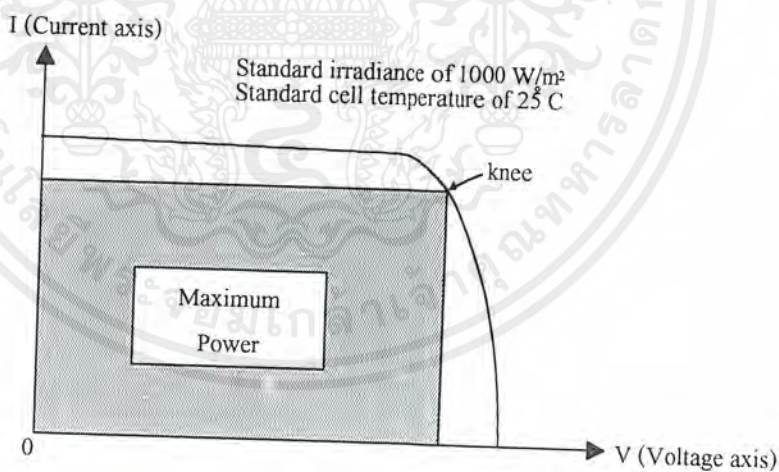


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ รูปที่ 5.2 การสร้าง VI Curve อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการสร้าง VI Curve สิ่งแรกที่ต้องวัดก็คือแรงดันไฟฟ้าที่ไม่มีการต่อโหลด(Voc) เรียกว่าแรงดันเปิดวงจร(Open Circuit Voltage) จะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าในแกนX (Voltage axis) เพราะไม่มีกระแสไหลผ่าน เมื่อต่อโหลดที่มีค่าต่างๆกัน ค่ากระแสและแรงดันจะถูกเก็บบันทึกไว้ เมื่อต่อทุกจุดเข้าด้วยกันจะเกิดเป็น VI Curve ภายใต้สภาวะเฉพาะของความเข้มแสงและอุณหภูมิต่างๆกัน สิ่งที่น่าสนใจที่สุดคือ กำลังงานสูงสุด(Maximum Power) ที่ได้ในแต่ละภายใต้สภาวะนั้นๆ ในทางกำลังไฟฟ้า งานที่ได้มีหน่วยเป็นวัตต์(Watt) ซึ่งเกิดจากแรงดันและกระแสไฟฟ้า สำหรับกำลังงานสูงสุดจะถูกแทนด้วยรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีพื้นที่มากที่สุดภายใต้เส้น VI Curve ดังรูปที่ 5.3 โดยจุดสัมผัสที่อยู่บนเส้นกราฟ เรียกว่า Knee ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์สูงสุด(Wp) หรือ Peak Watt ค่านี้จะถูกกำหนดไว้ในข้อกำหนด(Specification) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัทผู้ผลิต

ถ้าเซลล์แสงอาทิตย์ถูกทำให้เกิดการลัดวงจร(Isc) ค่าที่วัดได้เรียกว่า กระแสลัดวงจร(Short Circuit Current) ซึ่งจะให้ค่าบนแกนY (Current axis) ซึ่งจะเป็นค่ากระแสสูงสุด ณ ความเข้มแสงนั้นๆ เพราะในสถานการณ์เช่นนั้นค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าน้อยที่สุดคือเป็นศูนย์

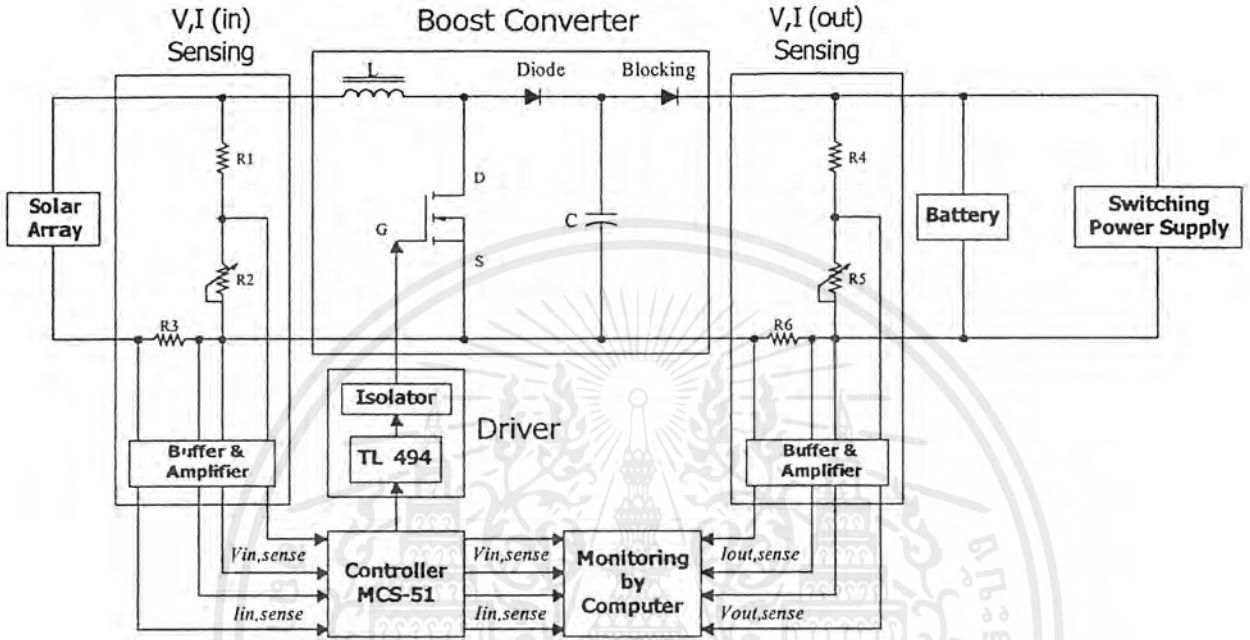
หมายเหตุ การทำให้เกิดการลัดวงจรในเซลล์แสงอาทิตย์ จะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 5.3 กราฟ VI Curve ที่แสดงกำลังงานสูงสุด

5.2 การทดลองชุดดิ่งกำลังงานสูงสุด

5.2.1 วงจรการทดลองโดยรวม



รูปที่ 5.4 วงจรการทดลองโดยรวมของชุดดิ่งกำลังงานสูงสุด

5.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรการทดลอง ดังรูปที่ 5.4 แสดงวงจรการทดลอง โดยรวมของชุดดิ่งกำลังงานสูงสุด โดยในส่วนแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์จะแยกทำงานอิสระไม่เกี่ยวกับชุดดิ่งกำลังงานสูงสุด เพียงแค่รับสัญญาณแรงดันและกระแสด้านอินพุตและเอาท์พุทไปแสดงผลหาค่ากำลังงานสูงสุด ที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และค่ากำลังงานที่จ่ายโหลด เปรียบเทียบหาประสิทธิภาพของระบบ
2. ทำการทดลองที่สภาวะการทำงานที่ค่าความเข้มแสงต่างๆ บันทึกผลการทดลอง
3. นำผลการทดลองที่ได้จากชุดดิ่งกำลังงานสูงสุดเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบหาคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ค่ากำลังงานสูงสุด ณ ค่าความเข้มแสงเดียวกัน เพื่อแสดงให้เห็นว่าชุดดิ่งกำลังงานสูงสุดสามารถดิ่งกำลังงานสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานได้จริง

5.3 ผลการทดลอง

จากการทดสอบหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ จะได้ค่ากำลังงานสูงสุดที่ค่าความเข้มแสงต่างๆ ดังตารางที่ 5.1 ถึง 5.3 และสามารถนำมาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแส (VI Curve) ได้ดังรูปที่ 5.5 ถึง 5.7

จากวงจรการทดลองโดยรวมของชุดคั้งกำลังงานสูงสุด ดังรูปที่ 5.4 ที่ค่าความเข้มแสงต่างๆ จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.4 ถึง 5.6

เมื่อนำค่ากำลังงานสูงสุดที่ได้จากการทดสอบหาคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์(VI Curve) มาเปรียบเทียบกับค่ากำลังงานสูงสุดที่ได้จากชุดคั้งกำลังงานสูงสุด(MPPT) แสดงได้ดังตารางที่ 5.7 และนำมาเขียนเป็นกราฟเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 5.8



ตารางที่ 5.1 Date 9/11/43 Time 12:45

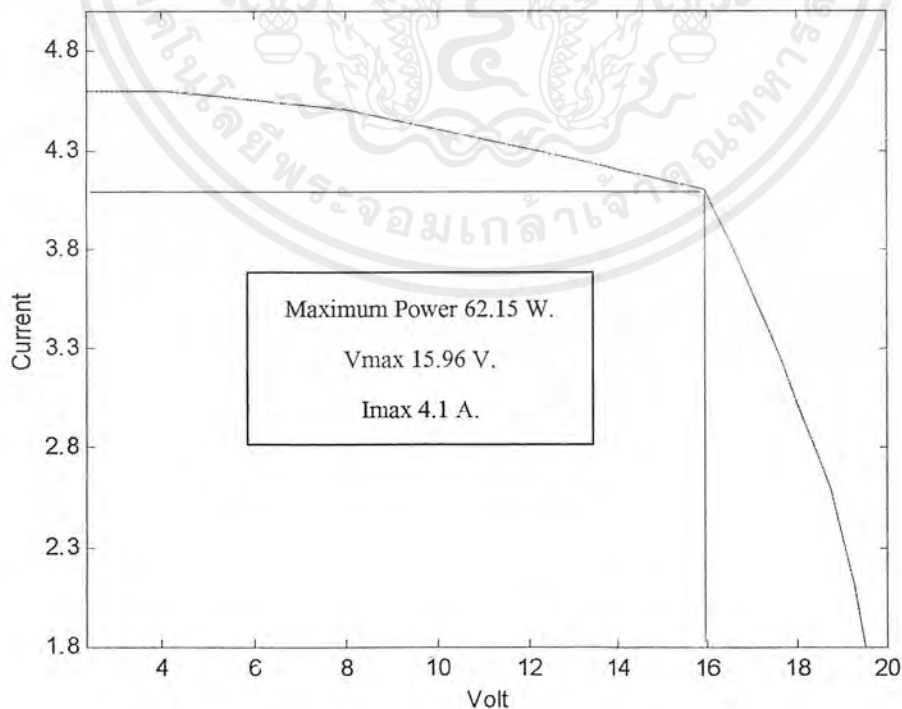
ความเข้มแสง 910 W/m² อุณหภูมิรอบข้าง 38 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิที่แผงเซลล์ 58.4 องศาเซลเซียส

Voc 20.02 V. , Isc 4.6 A.

| Voltage (V) | Current (A) | Power (W) |
|-------------|-------------|-----------|
| 2.35 | 4.6 | 10.81 |
| 4.09 | 4.6 | 18.81 |
| 8.00 | 4.5 | 36.00 |
| 12.19 | 4.3 | 52.41 |
| 15.96 * | 4.1 * | 62.15 * |
| 16.97 | 3.6 | 61.09 |
| 17.73 | 3.2 | 56.73 |
| 18.22 | 2.9 | 52.83 |
| 18.72 | 2.6 | 48.67 |
| 19.27 | 2.1 | 40.46 |
| 19.52 | 1.8 | 35.14 |

หมายเหตุ * แสดงจุดที่เกิดค่ากำลังงานสูงสุด



รูปที่ 5.5 แสดง VI Curve ที่ความเข้มแสง 910 W/m²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 Date 9/11/43 Time 13:45

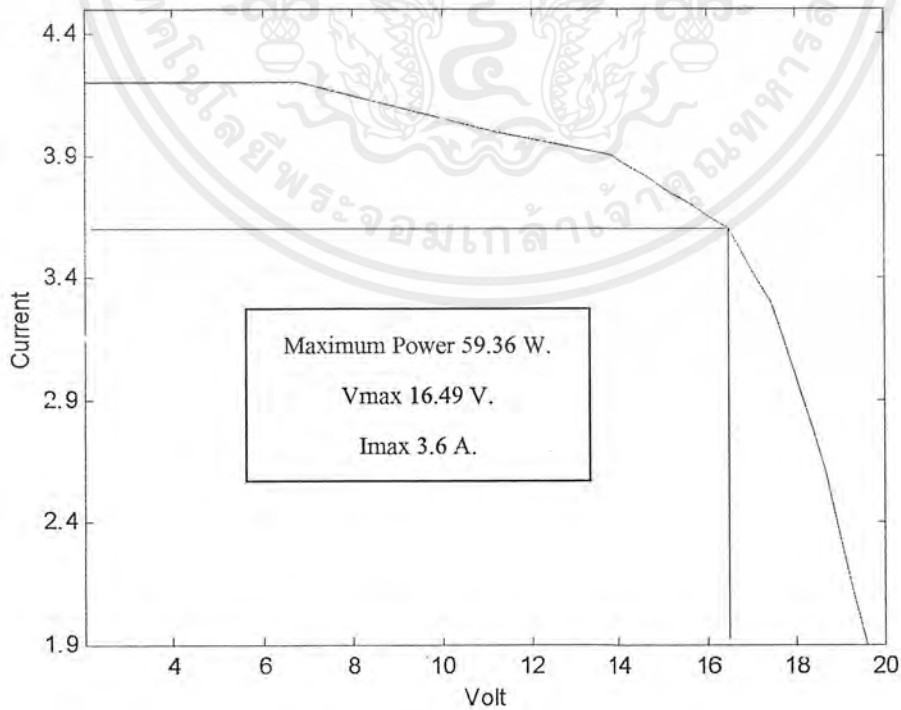
ความเข้มแสง 850 W/m^2 อุณหภูมิรอบข้าง 38 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิที่แผงเซลล์ 53.7 องศาเซลเซียส

V_{oc} 21.24 V , I_{sc} 4.2 A .

| Voltage (V) | Current (A) | Power (W) |
|-------------|-------------|-----------|
| 2.03 | 4.2 | 8.52 |
| 4.09 | 4.2 | 17.17 |
| 6.77 | 4.2 | 28.43 |
| 11.17 | 4.0 | 44.68 |
| 13.85 | 3.9 | 54.01 |
| 16.49 * | 3.6 * | 59.36 * |
| 17.44 | 3.3 | 57.55 |
| 18.01 | 3.0 | 54.03 |
| 18.68 | 2.6 | 48.56 |
| 19.31 | 2.1 | 40.55 |
| 19.59 | 1.9 | 37.22 |

หมายเหตุ * แสดงจุดที่เกิดค่ากำลังงานสูงสุด



รูปที่ 5.6 แสดง VI Curve ที่ความเข้มแสง 850 W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 Date 9/11/43 Time 14:20

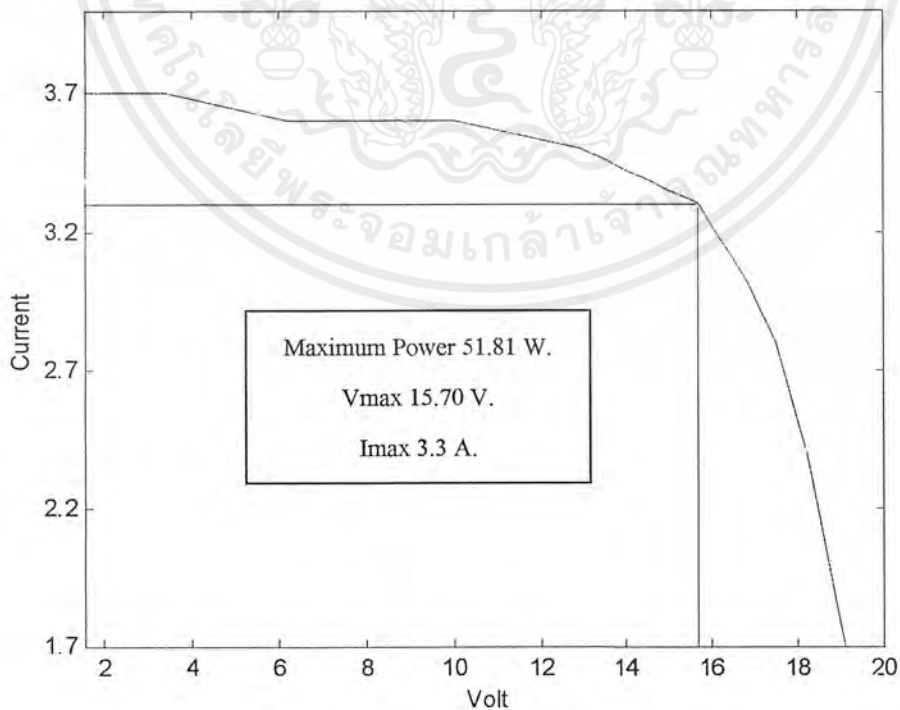
ความเข้มแสง 800 W/m^2 อุณหภูมิรอบข้าง 37 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิที่แผงเซลล์ 52.4 องศาเซลเซียส

V_{oc} 20.73 V , I_{sc} 3.8 A .

| Voltage (V) | Current (A) | Power (W) |
|-------------|-------------|-----------|
| 1.58 | 3.7 | 5.84 |
| 3.43 | 3.7 | 12.69 |
| 6.21 | 3.6 | 22.35 |
| 10.01 | 3.6 | 36.03 |
| 12.90 | 3.5 | 45.15 |
| 15.70 * | 3.3 * | 51.81 * |
| 16.91 | 3.0 | 50.73 |
| 17.47 | 2.8 | 48.91 |
| 18.20 | 2.4 | 43.68 |
| 18.85 | 1.9 | 35.81 |
| 19.09 | 1.7 | 3.24 |

หมายเหตุ * แสดงจุดที่เกิดกำลังงานสูงสุด



รูปที่ 5.7 แสดง VI Curve ที่ความเข้มแสง 800 W/m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Date | Time | Irradiance (W/m ²) | Cell Temp. (°C) | Amb Temp. (°C) | V _{in} (V) | I _{in} (A) | P _{in} (W) | V _{out} (V) | I _{out} (A) | P _{out} (W) | Efficiency |
|----------|----------|--------------------------------|-----------------|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------|
| 26/01/01 | 12:48:36 | 910 | 56 | 36 | 15.39 | 3.84 | 59.10 * | 30.59 | 1.55 | 47.41 | 80.22% |
| 26/01/01 | 12:48:36 | 910 | 56 | 36 | 15.39 | 3.84 | 59.10 * | 30.59 | 1.55 | 47.41 | 80.22% |
| 26/01/01 | 12:48:36 | 910 | 56 | 36 | 15.39 | 3.84 | 59.10 * | 30.59 | 1.55 | 47.41 | 80.22% |
| 26/01/01 | 12:48:36 | 910 | 56 | 36 | 15.39 | 4.05 | 62.33 * | 30.90 | 1.55 | 47.89 | 76.83% |
| 26/01/01 | 12:48:36 | 910 | 56 | 36 | 15.39 | 4.05 | 62.33 * | 30.90 | 1.55 | 47.89 | 76.83% |
| 26/01/01 | 12:48:37 | 910 | 56 | 36 | 15.39 | 4.17 | 64.18 * | 31.06 | 1.58 | 49.07 | 76.46% |
| 26/01/01 | 12:48:37 | 910 | 56 | 36 | 15.39 | 4.17 | 64.18 * | 31.06 | 1.58 | 49.07 | 76.46% |
| 26/01/01 | 12:48:37 | 910 | 56 | 36 | 15.39 | 4.17 | 64.18 * | 31.06 | 1.58 | 49.07 | 76.46% |
| 26/01/01 | 12:48:37 | 910 | 56 | 36 | 15.39 | 3.74 | 57.56 * | 30.75 | 1.55 | 47.66 | 82.80% |
| 26/01/01 | 12:48:38 | 910 | 56 | 36 | 15.39 | 3.74 | 57.56 * | 30.75 | 1.55 | 47.66 | 82.80% |
| 26/01/01 | 12:48:38 | 910 | 56 | 36 | 16.67 | 3.69 | 61.51 * | 31.06 | 1.55 | 48.14 | 78.26% |
| 26/01/01 | 12:48:38 | 910 | 56 | 36 | 16.67 | 3.69 | 61.51 * | 31.06 | 1.55 | 48.14 | 78.26% |
| 26/01/01 | 12:48:38 | 910 | 56 | 36 | 16.67 | 3.69 | 61.51 * | 31.06 | 1.55 | 48.14 | 78.26% |
| 26/01/01 | 12:48:39 | 910 | 56 | 36 | 15.59 | 3.88 | 60.49 * | 31.06 | 1.53 | 47.52 | 78.56% |
| 26/01/01 | 12:48:39 | 910 | 56 | 36 | 15.59 | 3.88 | 60.49 * | 31.06 | 1.53 | 47.52 | 78.56% |
| 26/01/01 | 12:48:39 | 910 | 56 | 36 | 15.39 | 4.00 | 61.56 * | 30.75 | 1.55 | 47.66 | 77.42% |
| 26/01/01 | 12:48:39 | 910 | 56 | 36 | 15.39 | 4.00 | 61.56 * | 30.75 | 1.55 | 47.66 | 77.42% |
| 26/01/01 | 12:48:39 | 910 | 56 | 36 | 15.39 | 4.12 | 63.41 * | 31.06 | 1.58 | 49.07 | 77.39% |
| 26/01/01 | 12:48:40 | 910 | 56 | 36 | 15.39 | 4.12 | 63.41 * | 31.06 | 1.58 | 49.07 | 77.39% |
| 26/01/01 | 12:48:40 | 910 | 56 | 36 | 15.39 | 4.12 | 63.41 * | 31.06 | 1.58 | 49.07 | 77.39% |
| 26/01/01 | 12:48:40 | 910 | 56 | 36 | 15.39 | 4.17 | 64.18 * | 30.75 | 1.60 | 49.20 | 76.66% |
| 26/01/01 | 12:48:40 | 910 | 56 | 36 | 15.39 | 4.17 | 64.18 * | 30.75 | 1.60 | 49.20 | 76.66% |
| 26/01/01 | 12:48:40 | 910 | 56 | 36 | 15.39 | 4.17 | 64.18 * | 30.75 | 1.60 | 49.20 | 76.66% |
| 26/01/01 | 12:48:41 | 910 | 56 | 36 | 15.39 | 4.00 | 61.56 * | 29.96 | 1.55 | 46.44 | 75.44% |

ตารางที่ 5.4 ค่ากำลังงานสูงสุดจากชุดMPPPT ที่ความเข้มแสง 910 W/m² ณ เวลาใดๆ หมายเหตุ * แสดงค่ากำลังงานสูงสุด

| Date | Time | Irradiance (W/m ²) | Ceil.Temp. (°C) | Amb.Temp. (°C) | Vin (V) | Iin (A) | Pin (W) | Vout (V) | Iout (A) | Pout (W) | Efficiency |
|----------|----------|--------------------------------|-----------------|----------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|------------|
| 26/01/01 | 14:08:09 | 850 | 58 | 36 | 15.10 | 4.00 | 60.40* | 32.63 | 1.41 | 46.01 | 76.18% |
| 26/01/01 | 14:08:09 | 850 | 58 | 36 | 15.10 | 4.00 | 60.40* | 32.63 | 1.41 | 46.01 | 76.18% |
| 26/01/01 | 14:08:09 | 850 | 58 | 36 | 15.10 | 3.95 | 59.65* | 32.00 | 1.41 | 45.12 | 75.64% |
| 26/01/01 | 14:08:09 | 850 | 58 | 36 | 15.10 | 3.95 | 59.65* | 32.00 | 1.41 | 45.12 | 75.64% |
| 26/01/01 | 14:08:09 | 850 | 58 | 36 | 15.10 | 3.95 | 59.65* | 32.00 | 1.41 | 45.12 | 75.64% |
| 26/01/01 | 14:08:10 | 850 | 58 | 36 | 15.10 | 3.69 | 55.72* | 31.53 | 1.34 | 42.25 | 75.83% |
| 26/01/01 | 14:08:10 | 850 | 58 | 36 | 15.10 | 3.69 | 55.72* | 31.53 | 1.34 | 42.25 | 75.83% |
| 26/01/01 | 14:08:10 | 850 | 58 | 36 | 15.10 | 3.69 | 55.72* | 31.53 | 1.34 | 42.25 | 75.83% |
| 26/01/01 | 14:08:10 | 850 | 58 | 36 | 15.10 | 3.88 | 58.59* | 31.53 | 1.36 | 42.88 | 73.19% |
| 26/01/01 | 14:08:10 | 850 | 58 | 36 | 15.10 | 3.88 | 58.59* | 31.53 | 1.36 | 42.88 | 73.19% |
| 26/01/01 | 14:08:11 | 850 | 58 | 36 | 14.90 | 4.00 | 59.60* | 31.69 | 1.41 | 44.68 | 74.97% |
| 26/01/01 | 14:08:11 | 850 | 58 | 36 | 14.90 | 4.00 | 59.60* | 31.69 | 1.41 | 44.68 | 74.97% |
| 26/01/01 | 14:08:11 | 850 | 58 | 36 | 14.90 | 4.00 | 59.60* | 31.69 | 1.41 | 44.68 | 74.97% |
| 26/01/01 | 14:08:11 | 850 | 58 | 36 | 15.10 | 4.00 | 60.40* | 31.85 | 1.51 | 48.09 | 79.62% |
| 26/01/01 | 14:08:11 | 850 | 58 | 36 | 15.10 | 4.00 | 60.40* | 31.85 | 1.51 | 48.09 | 79.62% |
| 26/01/01 | 14:08:12 | 850 | 58 | 36 | 15.10 | 4.00 | 60.40* | 31.85 | 1.51 | 48.09 | 79.62% |
| 26/01/01 | 14:08:12 | 850 | 58 | 36 | 15.10 | 3.88 | 58.59* | 31.53 | 1.36 | 42.88 | 73.19% |
| 26/01/01 | 14:08:12 | 850 | 56 | 36 | 15.10 | 3.81 | 57.53* | 31.53 | 1.36 | 42.88 | 74.54% |
| 26/01/01 | 14:08:12 | 850 | 58 | 36 | 15.10 | 3.81 | 57.53* | 31.53 | 1.36 | 42.88 | 74.54% |
| 26/01/01 | 14:08:12 | 850 | 58 | 36 | 15.10 | 3.81 | 57.53* | 31.53 | 1.36 | 42.88 | 74.54% |
| 26/01/01 | 14:08:13 | 850 | 58 | 36 | 15.88 | 3.36 | 53.36* | 31.69 | 1.36 | 43.10 | 80.77% |
| 26/01/01 | 14:08:13 | 850 | 58 | 36 | 15.39 | 3.69 | 56.79* | 31.53 | 1.41 | 44.46 | 78.29% |
| 26/01/01 | 14:08:13 | 850 | 58 | 36 | 15.39 | 3.69 | 56.79* | 31.53 | 1.41 | 44.46 | 78.29% |

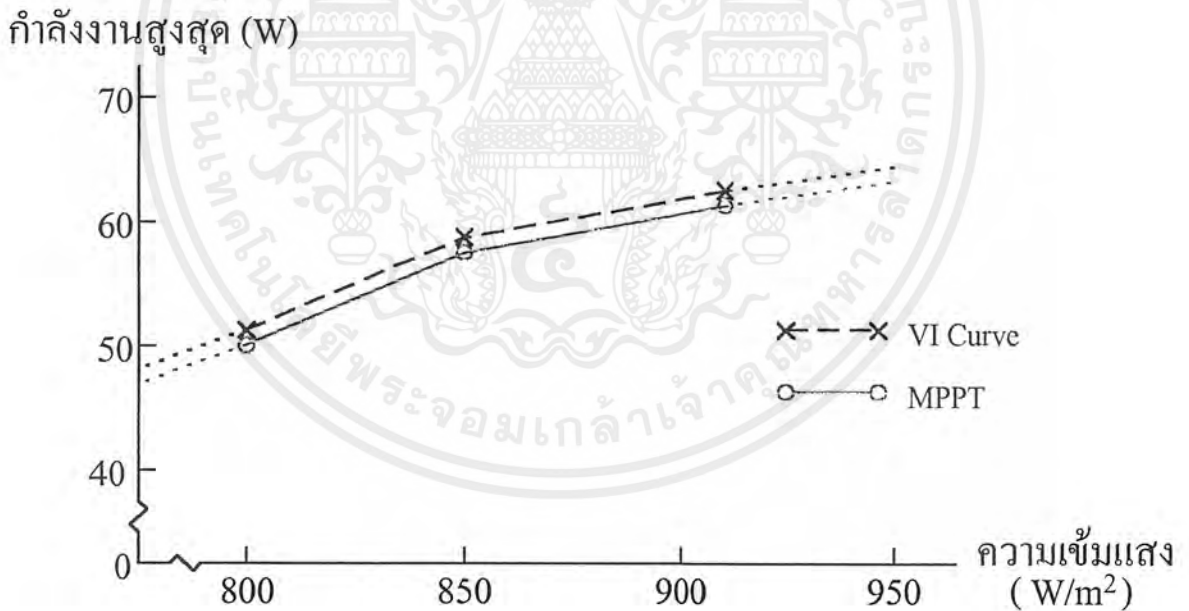
ตารางที่ 5.5 ค่ากำลังงานสูงสุดจากชุดMPPPT ที่ความเข้มแสง 850 W/m² ณ เวลาใดๆ หมายเหตุ * แสดงค่ากำลังงานสูงสุด

| Date | Time | Irradiance (W/m ²) | Cell Temp. (°C) | Amb Temp. (°C) | V _{in} (V) | I _{in} (A) | P _{in} (W) | V _{out} (V) | I _{out} (A) | P _{out} (W) | Efficiency |
|----------|----------|--------------------------------|-----------------|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------|
| 26/01/01 | 14:09:00 | 800 | 57 | 36 | 15.10 | 3.51 | 53.00 * | 31.38 | 1.36 | 42.68 | 80.53% |
| 26/01/01 | 14:09:00 | 800 | 57 | 36 | 15.39 | 3.27 | 50.33 * | 31.22 | 1.29 | 40.27 | 80.01% |
| 26/01/01 | 14:09:00 | 800 | 57 | 36 | 15.39 | 3.27 | 50.33 * | 31.22 | 1.29 | 40.27 | 80.01% |
| 26/01/01 | 14:09:00 | 800 | 57 | 36 | 15.39 | 3.27 | 50.33 * | 31.22 | 1.29 | 40.27 | 80.01% |
| 26/01/01 | 14:09:00 | 800 | 57 | 36 | 15.00 | 3.20 | 48.00 * | 30.59 | 1.22 | 37.32 | 77.75% |
| 26/01/01 | 14:09:01 | 800 | 57 | 36 | 15.00 | 3.20 | 48.00 * | 30.59 | 1.22 | 37.32 | 77.75% |
| 26/01/01 | 14:09:01 | 800 | 57 | 36 | 15.00 | 3.20 | 48.00 * | 30.59 | 1.22 | 37.32 | 77.75% |
| 26/01/01 | 14:09:01 | 800 | 57 | 36 | 14.81 | 3.51 | 51.98 * | 31.69 | 1.29 | 40.88 | 78.65% |
| 26/01/01 | 14:09:01 | 800 | 57 | 36 | 14.81 | 3.51 | 51.98 * | 31.69 | 1.29 | 40.88 | 78.65% |
| 26/01/01 | 14:09:01 | 800 | 57 | 36 | 14.81 | 3.51 | 51.98 * | 31.69 | 1.29 | 40.88 | 78.65% |
| 26/01/01 | 14:09:02 | 800 | 57 | 36 | 14.61 | 3.39 | 49.53 * | 30.90 | 1.22 | 37.70 | 76.11% |
| 26/01/01 | 14:09:02 | 800 | 57 | 36 | 14.61 | 3.39 | 49.53 * | 30.91 | 1.22 | 37.70 | 76.11% |
| 26/01/01 | 14:09:02 | 800 | 57 | 36 | 14.61 | 3.39 | 49.53 * | 30.90 | 1.22 | 37.70 | 76.11% |
| 26/01/01 | 14:09:02 | 800 | 57 | 36 | 15.39 | 3.27 | 50.33 * | 31.22 | 1.29 | 40.27 | 80.01% |
| 26/01/01 | 14:09:02 | 800 | 57 | 36 | 15.39 | 3.27 | 50.33 * | 31.22 | 1.29 | 40.27 | 80.01% |
| 26/01/01 | 14:09:02 | 800 | 57 | 36 | 14.61 | 3.25 | 47.48 * | 30.59 | 1.18 | 40.48 | 75.09% |
| 26/01/01 | 14:09:03 | 800 | 57 | 36 | 14.61 | 3.25 | 47.48 * | 30.59 | 1.18 | 40.48 | 76.13% |
| 26/01/01 | 14:09:03 | 800 | 57 | 36 | 14.61 | 3.25 | 47.48 * | 30.59 | 1.18 | 40.48 | 76.13% |
| 26/01/01 | 14:09:03 | 800 | 57 | 36 | 14.81 | 3.51 | 51.98 * | 31.69 | 1.29 | 40.88 | 78.65% |
| 26/01/01 | 14:09:03 | 800 | 57 | 36 | 14.81 | 3.51 | 51.98 * | 31.69 | 1.29 | 40.88 | 78.65% |
| 26/01/01 | 14:09:03 | 800 | 57 | 36 | 14.81 | 3.51 | 51.98 * | 31.69 | 1.29 | 40.88 | 78.65% |
| 26/01/01 | 14:09:04 | 800 | 57 | 36 | 14.61 | 3.69 | 53.91 * | 31.53 | 1.29 | 40.67 | 75.44% |
| 26/01/01 | 14:09:04 | 800 | 57 | 36 | 14.61 | 3.69 | 53.91 * | 31.53 | 1.29 | 40.67 | 75.44% |
| 26/01/01 | 14:09:04 | 800 | 57 | 36 | 14.61 | 3.69 | 53.91 * | 31.53 | 1.29 | 40.67 | 75.44% |

ตารางที่ 5.6 ค่ากำลังงานสูงสุดจากชุดMPPPT ที่ความเข้มแสง 800 W/m² ณ เวลาใดๆ หมายเหตุ * แสดงค่ากำลังงานสูงสุด

ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบค่ากำลังงานสูงสุดที่ได้จาก VI Curve กับชุด MPPT

| ความเข้มแสง (W/m^2) | เปรียบเทียบ | แรงดัน (Volt) | กระแส (Amp) | กำลังงานสูงสุด (Watt) | %เปรียบเทียบ (MPPT / VI Curve) |
|----------------------------|-------------|--------------------|------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| 910 | VI Curve | 15.96 | 4.10 | 62.15 | 99.37 % |
| | MPPT | 15.39 | 4.17 | 61.76 | |
| 850 | VI Curve | 16.49 | 3.60 | 59.36 | 98.31 % |
| | MPPT | 15.10 | 4.00 | 58.36 | |
| 800 | VI Curve | 15.70 | 3.30 | 51.81 | 97.56 % |
| | MPPT | 14.61 | 3.81 | 50.55 | |



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานสูงสุด ณ ความเข้มแสงต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและวิจารณ์

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองตามตารางที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังงานสูงสุดที่ได้จากชุดดิ่งกำลังงานสูงสุด (MPPT) กับค่ากำลังงานสูงสุดจากกราฟแรงดัน-กระแส (VI Curve) และนำมาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานสูงสุด ณ ความเข้มแสงต่างๆ ได้ดังรูปที่ 5.8 จะสังเกตเห็นว่าผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน อันแสดงให้เห็นว่าชุดดิ่งกำลังงานสูงสุด (MPPT) สามารถดิ่งกำลังงานสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานได้จริง และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของระบบจากค่าตามตารางที่ 5.4 ถึง 5.6 พบว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพของระบบจะมีค่ามากที่ค่าความเข้มแสงต่ำ และประสิทธิภาพของระบบจะลดลงเมื่อค่าความเข้มแสงเพิ่มมากขึ้น อันเนื่องมาจากเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น ค่ากระแสและแรงดันก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตาม อันส่งผลไปถึงช่วงขณะทำงานที่สวิทช์เปิด-ปิด ทำให้ค่ากำลังงานสูญเสียจากการสวิทช์ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตาม ขณะที่การดิ่งกำลังงานสูงสุดเพิ่มขึ้นในอัตราที่น้อยกว่า จึงทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงบ้างเล็กน้อย

6.2 ปัญหาและแนวทางการพัฒนา

จากการทดลองพบว่ามีปัญหาต่างๆ ดังต่อไปนี้

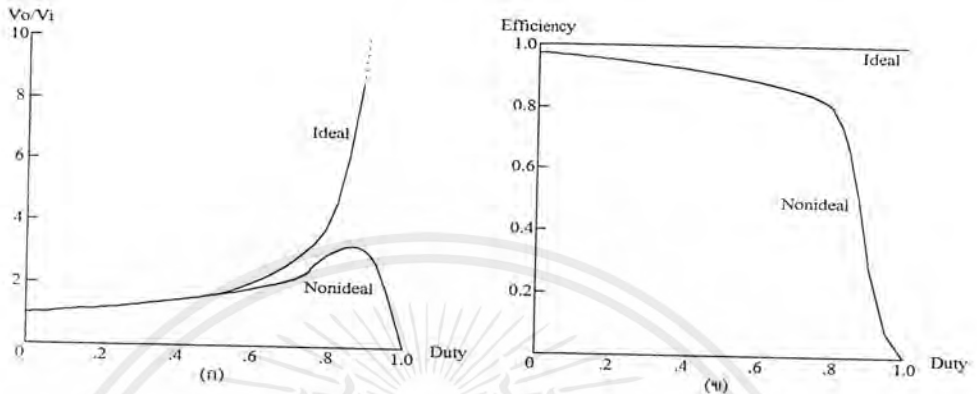
1. ผลกระทบต่างๆ ในวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์

-แรงดันตกคร่อมสวิทช์ (Switch voltage drop) จะเกิดขึ้นกับมอสเฟตและไดโอด โดยจะเกิดขึ้นเมื่อมีสถานะการนำกระแสของอุปกรณ์ทั้งสอง

-แรงดันกระเพื่อมเอาต์พุต (Output ripple voltage) เกิดเนื่องมาจากการที่กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในวงจรไม่เรียบ ส่งผลให้กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุไม่เรียบด้วย ทำให้แรงดันเอาต์พุตเกิดการกระเพื่อม สามารถแก้ไขได้โดยการออกแบบค่าตัวเก็บประจุให้มีขนาดที่เหมาะสม

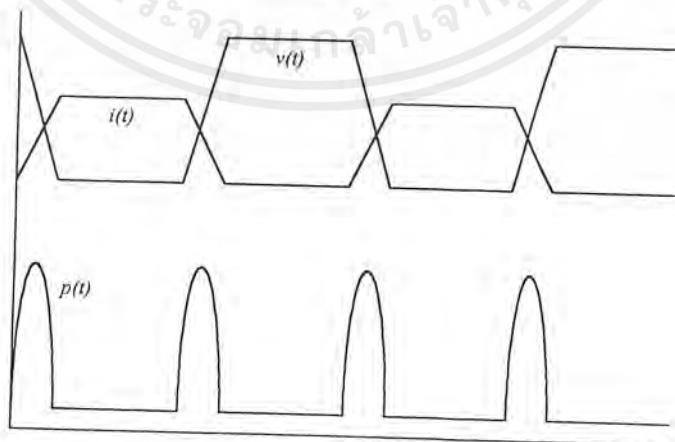
-ผลของค่าความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำต่อประสิทธิภาพของวงจร แสดงดังรูปที่ 6.1 เมื่อพิจารณาในอุดมคติจะไม่คิดผลของความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ ดังนั้นจะไม่คิดกำลังงานสูญเสียจากความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ จึงคิดกำลังไฟฟ้าเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าออก แต่ในกรณีของการใช้งานจริง จะมีการสูญเสียเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำซึ่งเป็นค่าผลคูณของกำลังสองของกระแส ที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำกับค่าความต้านทาน จึงทำให้ประสิทธิภาพของวงจร

ทดลอง เมื่อพิจารณาแล้วจะพบว่า กำลังสูญเสียเพิ่มขึ้นอยู่กับค่าควิตซ์ไค์เกิดของวงจรมอสเฟตคอนเวอร์เตอร์ด้วย



รูปที่ 6.1 ผลของตัวเหนี่ยวนำภายในวงจรมอสเฟตคอนเวอร์เตอร์ (ก)แรงดันเอาต์พุต (ข)ประสิทธิภาพของมอสเฟตคอนเวอร์เตอร์

-การสูญเสียจากการเปิด-ปิดสวิตช์(Switching losses) เป็นการสูญเสียขณะทำงานในช่วงเปิด-ปิดของมอสเฟตในวงจร โดยในช่วงที่มอสเฟตหยุดนำกระแส ค่ากระแสจะค่อยๆลดลงสู่ศูนย์ ซึ่งในขณะเดียวกัน ค่าแรงดันที่ตกคร่อมมอสเฟตก็จะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงที่กระแสยังไม่เป็นศูนย์ ทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียขึ้น จาก $p(t)=v(t)*i(t)$ เช่นเดียวกัน ในช่วงที่มอสเฟตเริ่มนำกระแส แรงดันตกคร่อมมอสเฟตจะค่อยๆลดต่ำลง โดยที่มอสเฟตเริ่มนำกระแสในช่วงที่แรงดันยังไม่เป็นศูนย์ จึงทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียเช่นเดียวกัน แสดงดังรูปที่6.2



รูปที่ 6.2 แรงดันตกคร่อมสวิตช์ กระแสผ่านสวิตช์ และกำลังสูญเสีย ณ เวลาใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปัญหาด้านเครื่องมือวัดค่าความเข้มแสง เนื่องจากขณะทำการทดลอง ค่าความเข้มแสงจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ส่งผลให้การเก็บข้อมูลเกิดความคลาดเคลื่อนไปบ้างเล็กน้อย ซึ่งยอมให้ค่าความเข้มแสงขณะทำการทดลองเกิดความคลาดเคลื่อนอยู่ภายในขอบเขตได้ $\pm 5 \text{ W/m}^2$

แนวทางการพัฒนาขั้นต่อไป มีดังนี้ คือ

1. ควรมีการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ ความเป็นไปได้และความเหมาะสมของระบบ ว่าควรใช้จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่าใด จึงจะเกิดความคุ้มค่ามากที่สุด
2. สำหรับระบบที่ใหญ่ กรณีที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่า 1 แผงในการออกแบบ ควรศึกษาและวิเคราะห์ว่าควรใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบใด จึงจะเหมาะสมและเกิดประสิทธิภาพมากที่สุดในการติดตั้งงานสูงสุดมาใช้ เมื่อเทียบกันระหว่างกำลังงานด้านอินพุตกับเอาต์พุต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมควบคุมชุดดึงกำลังงานสูงสุด

```

;
;
;   MAXIMUM POWER POINT TRACKING
;   ..... "MPPT" .....
;
;   by Visual Voltaic Team
;
;   Electrical Engineering '2000
;
;   KMITL
;
;
;***** PARAMETER *****
MEML      EQU    050H
MEMH      EQU    051H
VIL       EQU    052H
VIH       EQU    053H
V         EQU    054H
I         EQU    055H
D_MAX EQU    056H
D_MIN     EQU    057H
DUTY      EQU    058H
;
;***** A/D and D/A *****
; PROGRAM          : I2C PCF8591 A/D D/A
; DESCRIPTION      : I2C PCF8591 8 bit, 4 Ch.A/D, 1 Ch.D/A
;*****
;
;*****
;Define Port&Pin Name
;*****
SDA        BIT    P1.0
SCL        BIT    P1.1
;*****
;Define User Register
;*****
FLAG      EQU    02FH ;User FLAG

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

I2C_ACK      BIT    FLAG.0          ;Define I2C Acknowledge as bit
I2C_ADDR     EQU    033H
I2C_DATA     EQU    034H
CONTROL      EQU    035H
DA_DATA      EQU    036H          ;D/A
CHANEL       EQU    037H
AD_DATA      EQU    038H          ;A/D
BUFFEREQU    039H                ;Buffer
                                ;39H : Ch.0
                                ;3AH : Ch.1
                                ;3BH : Ch.2
                                ;3CH : Ch.3
;*****
;PCF8591 : 000 Slave Address
;*****
PCF_ID        EQU    10010000B
;
;----- Main Program -----
;
ORG    8100H
LCALL DELAY_100mS ;power delay
;***** Soft Start *****
START:        MOV    A,#0
STAR2:        CJNE   A,#6CH,INCD
              AJMP   STAR3
INCD:         INC    A
              MOV    DA_DATA,A    ;sense duty for solfstart 0-50%
              MOV    CONTROL,#01000000B
              ACALL  PCF_WR
              LCALL  DELAY_50mS
              SJMP   STAR2
STAR3:        MOV    D_MIN,#32H    ;duty=10% , 0.99 V.
              MOV    D_MAX,#9EH    ;duty=85% , 3.10 V.
              MOV    DUTY,#6CH     ;duty=50% , 2.11 V.

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;***** Initial *****
INITIAL:      MOV  MEML,#0      ;clear memory
              MOV  MEMH,#0
              MOV  VIL,#0
              MOV  VIH,#0

;*****
MAIN:         LCALL MAIN_PCF   ;A/D detect voltage & current
              LCALL INPUT     ;keep value in P=V*I
              AJMP  COMPARE1

LP1:         LCALL MEMORY     ;if VI<MEM
              AJMP  LOOP1

LP2:         LCALL MEMORY     ;if VI>MEM

LOOP:        MOV  A,DUTY
              SUBB A,#1       ;decrease duty cycle
              CJNE A,D_MIN,NE1 ;check duty cycle
              AJMP  OUT1

NE1:         JC   RE_START

OUT1:        MOV  DUTY,A
              MOV  DA_DATA,A
              MOV  CONTROL,#01000000B
              ACALL PCF_WR
              LCALL DELAY_100mS
              AJMP  MAIN

LOOP1:       MOV  A,DUTY
              ADD  A,#1       ;increase duty cycle
              CJNE A,D_MAX,NE2 ;check duty cycle
              AJMP  OUT2

NE2:         JNC  RE_START

OUT2:        MOV  DUTY,A
              MOV  DA_DATA,A
              MOV  CONTROL,#01000000B
              ACALL PCF_WR
              LCALL DELAY_100mS

MAIN2:       LCALL MAIN_PCF   ;A/D detect voltage & current

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                LCALL INPUT          ;keep value in P=V*I
                AJMP COMPARE2
LP3:            LCALL MEMORY
                AJMP LOOP
LP4:            LCALL MEMORY
                AJMP LOOP1
RE_START:     MOV  A,#5EH          ;duty=40% , 1.83 V.
                MOV  DUTY,A
                MOV  DA_DATA,A
                MOV  CONTROL,#0100000B
                ACALL PCF_WR
                LCALL DELAY_100mS
                AJMP INITIAL
;*****
COMPARE1:     MOV  A,VIH
                CJNE A,MEMH,CPR11
                SJMP CPR13          ;if VI+1=MEM+1
CPR11:        JC   CPR12          ;if VI+1<MEM+1
                AJMP LP2          ;if VI+1>MEM+1
CPR12:        AJMP LP1
CPR13:        MOV  A,VIL
                CJNE A,MEML,CPR14
                MOV  A,DUTY
                AJMP OUT1          ;if VI+0=MEM+0
CPR14:        JC   CPR15          ;if VI+0<MEM+0
                AJMP LP2          ;if VI+0>MEM+0
CPR15:        AJMP LP1
;*****
COMPARE2:     MOV  A,VIH
                CJNE A,MEMH,CPR21
                SJMP CPR23          ;if VI+1=MEM+1
CPR21:        JC   CPR22          ;if VI+1<MEM+1
                AJMP LP4          ;if VI+1>MEM+1
CPR22:        AJMP LP3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CPR23:    MOV    A,VIL
          CJNE  A,MEML,CPR24
          MOV    A,DUTY
          AJMP  OUT2        ;if VI+0=MEM+0
CPR24:    JC    CPR25        ;if VI+0<MEM+0
          AJMP  LP4        ;if VI+0>MEM+0
CPR25:    AJMP  LP3
:
;----- Sub Program -----
INPUT:    MOV    A,V
          MOV    B,I
          MUL   AB
RESU:     MOV    VIH,B
          MOV    VIL,A
          RET
;*****
MEMORY:   MOV    MEML,VIL
          MOV    MEMH,VIH
          RET
;*****
MAIN_PCF: MOV    CHANEL,#0
          MOV    R1,#BUFFER
          MOV    R4,#2
CONV_LOOP: MOV   A,CHANEL
          ADD   A,#01000000B
          MOV   CONTROL,A
          ACALL PCF_WR
          ACALL PCF_RD
          ACALL PCF_RD
          MOV   @R1,AD_DATA
          INC   R1
          INC   CHANEL
          DJNZ  R4,CONV_LOOP
          INC   DA_DATA

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ACALL DELAY_500mS
MOV R1,#BUFFER
MOV A,@R1
MOV V,A ;detect voltage
INC R1
MOV A,@R1
MOV I,A ;detect current
RET

;***** SUBROUTINE I2C PCF8591 *****
;***** I2C PCF8591 READ *****
PCF_RD: MOV I2C_ADDR,#PCF_ID+1 ;10010001B
ACALL I2C_SLAVE
ACALL I2C_DATA_RD
MOV AD_DATA,I2C_DATA
ACALL I2C_NACK_BIT
ACALL I2C_STOP
RET

;***** I2C PCF8591 WRITE *****
PCF_WR: MOV I2C_ADDR,#PCF_ID ;10010000B
ACALL I2C_SLAVE
MOV I2C_DATA,CONTROL
ACALL I2C_DATA_WR
MOV I2C_DATA,DA_DATA
ACALL I2C_DATA_WR
ACALL I2C_STOP
RET

;***** I2C DATA WRITE *****
I2C_DATA_WR:PUSH ACC
SETB I2C_ACK
MOV A,I2C_DATA
MOV R5,#008
I2C_DATA_WR_1:RLC A
MOV SDA,C
ACALL I2C_CLK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        DJNZ  R5,I2C_DATA_WR_1
        SETB  SDA
        ACALL I2C_DELAY
        SETB  SCL
        ACALL I2C_DELAY
        JB    SDA,I2C_DATA_WR_2
        CLR   I2C_ACK
I2C_DATA_WR_2:CLR  SCL
        POP   ACC
        RET

;***** I2C DATA READ *****
I2C_DATA_RD:PUSH  ACC
        CLR   A
        MOV   R5,#008
I2C_DATA_RD_1:ACALL I2C_DELAY
        SETB  SCL
        ACALL I2C_DELAY
        MOV   C,SDA
        RLC   A
        CLR   SCL
        DJNZ  R5,I2C_DATA_RD_1
        MOV   I2C_DATA,A
        POP   ACC
        RET

;***** I2C SLAVE CONNECT *****
I2C_SLAVE:  PUSH  ACC
            SETB  I2C_ACK
            MOV   A,I2C_ADDR
            ACALL I2C_START
            MOV   R5,#008
I2C_SLAVE_1: RLC   A
            MOV   SDA,C
            ACALL I2C_CLK
            DJNZ  R5,I2C_SLAVE_1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SETB SDA
ACALL I2C_DELAY
SETB SCL
ACALL I2C_DELAY
JB SDA,I2C_SLAVE_2
CLR I2C_ACK
I2C_SLAVE_2: CLR SCL
POP ACC
RET
;***** I2C START CONDITION *****
I2C_START: SETB SCL
SETB SDA
ACALL I2C_DELAY
CLR SDA
ACALL I2C_DELAY
CLR SCL
RET
;***** I2C_STOP CONDITION *****
I2C_STOP: CLR SDA
ACALL I2C_DELAY
SETB SCL
ACALL I2C_DELAY
SETB SDA
RET
;***** I2C CLOCK *****
I2C_CLK: ACALL I2C_DELAY
SETB SCL
ACALL I2C_DELAY
CLR SCL
RET
;***** I2C NOT ACKNOWLEDGE *****
I2C_NACK_BIT:SETB SDA
ACALL I2C_DELAY
ACALL I2C_CLK

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                RET
;*****
I2C_DELAY:    MOV    R6,#00CH    ;Delay 50 us
I2C_DELAY_1:  NOP
                NOP
                DJNZ  R6,I2C_DELAY_1
                RET
DELAY_2mS:    MOV    R7,#02      ;Delay 2*1 ms
DELAY_2mS_1: MOV    R6,#0E6H
DELAY_2mS_2:  NOP
                NOP
                DJNZ  R6,DELAY_2mS_2
                DJNZ  R7,DELAY_2mS_1
                RET
DELAY_50mS:   MOV    R7,#50      ;Delay 50*1 ms
DELAY_50mS_1: MOV    R6,#0E6H
DELAY_50mS_2:  NOP
                NOP
                DJNZ  R6,DELAY_50mS_2
                DJNZ  R7,DELAY_50mS_1
                RET
DELAY_100mS:  MOV    R7,#100     ;Delay 100*1 ms
DELAY_100mS_1:MOV    R6,#0E6H
DELAY_100mS_2:NOP
                NOP
                DJNZ  R6,DELAY_100mS_2
                DJNZ  R7,DELAY_100mS_1
                RET
DELAY_500mS:  MOV    R5,#5       ;Delay 5*100 ms
DELAY_500mS_1:ACALL DELAY_100mS
                DJNZ  R5,DELAY_500mS_1
                RET
;*****
                END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20A, 500V, 0.270 Ohm, N-Channel Power MOSFET

This N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistor is an advanced power MOSFET designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching convertors, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA17465.

Ordering Information

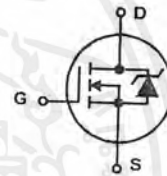
| PART NUMBER | PACKAGE | BRAND |
|-------------|---------|---------|
| IRFP460 | TO-247 | IRFP460 |

NOTE: When ordering, use the entire part number.

Features

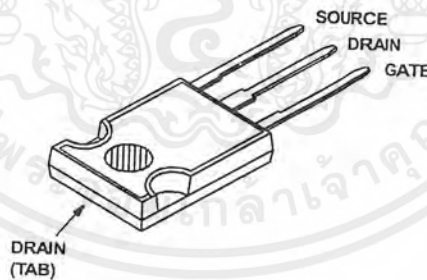
- 20A, 500V
- $r_{DS(ON)} = 0.270\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
 - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

Symbol



Packaging

JEDEC STYLE TO-247



IRFP460

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

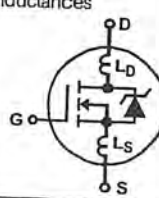
| | IRFP460 | UNITS | |
|--|----------------|------------|---------------------|
| Drain to Source Voltage (Note 1)..... | V_{DS} | 500 | V |
| Drain to Gate Voltage ($R_{GS} = 20k\Omega$) (Note 1)..... | V_{DGR} | 500 | V |
| Continuous Drain Current..... | I_D | 20 | A |
| $T_C = 100^\circ\text{C}$ | I_D | 12 | A |
| Pulsed Drain Current (Note 3)..... | I_{DM} | 80 | A |
| Gate to Source Voltage..... | V_{GS} | ± 20 | V |
| Maximum Power Dissipation..... | P_D | 250 | W |
| Linear Derating Factor..... | | 2.0 | W/ $^\circ\text{C}$ |
| Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4)..... | E_{AS} | 960 | mJ |
| Operating and Storage Temperature..... | T_J, T_{STG} | -55 to 150 | $^\circ\text{C}$ |
| Maximum Temperature for Soldering | | | |
| Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s..... | T_L | 300 | $^\circ\text{C}$ |
| Package Body for 10s, See Techbrief 334..... | T_{pkg} | 260 | $^\circ\text{C}$ |

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

NOTE:

- $T_J = 25^\circ\text{C}$ to $T_J = 125^\circ\text{C}$.

Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

| PARAMETER | SYMBOL | TEST CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS | |
|---|-----------------|---|---|--|-----------|--------------------|-----|
| Drain to Source Breakdown Voltage | BV_{DSS} | $I_D = 250\mu\text{A}, V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 10) | 500 | - | - | V | |
| Gate Threshold Voltage | $V_{GS(TH)}$ | $V_{GS} = V_{DS}, I_D = 250\mu\text{A}$ | 2 | - | 4 | V | |
| Zero Gate Voltage Drain Current | I_{DSS} | $V_{DS} = \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0\text{V}$ | - | - | 25 | μA | |
| | | $V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0\text{V}, T_J = 125^\circ\text{C}$ | - | - | 250 | μA | |
| On-State Drain Current (Note 2) | $I_{D(ON)}$ | $V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}, V_{GS} = 10\text{V}$ | 20 | - | - | A | |
| Gate to Source Leakage Current | I_{GSS} | $V_{GS} = \pm 20\text{V}$ | - | - | ± 100 | nA | |
| Drain to Source On Resistance (Note 2) | $r_{DS(ON)}$ | $I_D = 11\text{A}, V_{GS} = 10\text{V}$ (Figures 8, 9) | - | 0.24 | 0.27 | Ω | |
| Forward Transconductance (Note 2) | g_{fs} | $V_{DS} \geq 50\text{V}, I_{DS} > 11\text{A}$ (Figure 12) | 13 | 19 | - | S | |
| Turn-On Delay Time | $t_{d(ON)}$ | $V_{DD} = 250\text{V}, I_D = 21\text{A}, R_{GS} = 4.3\Omega, R_D = 12\Omega, V_{GS} = 10\text{V}$ MOSFET Switching Times are Essentially Independent of Operating Temperature | - | 23 | 35 | ns | |
| Rise Time | t_r | | - | 81 | 120 | ns | |
| Turn-Off Delay Time | $t_{d(OFF)}$ | | - | 85 | 130 | ns | |
| Fall Time | t_f | | - | 65 | 98 | ns | |
| Total Gate Charge (Gate to Source + Gate-Drain) | $Q_g(TOT)$ | $V_{GS} = 10\text{V}, I_D = 21\text{A}, V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, I_{G(REF)} = 1.5\text{mA}$ (Figure 14). Gate Charge is Essentially Independent of Operating Temperature | - | 120 | 190 | nC | |
| Gate to Source Charge | Q_{gs} | | - | 18 | - | nC | |
| Gate to Drain "Miller" Charge | Q_{gd} | | - | 62 | - | nC | |
| Input Capacitance | C_{ISS} | | $V_{DS} = 25\text{V}, V_{GS} = 0\text{V}, f = 1\text{MHz}$ (Figure 10) | - | 4100 | - | pF |
| Output Capacitance | C_{OSS} | - | | 480 | - | pF | |
| Reverse Transfer Capacitance | C_{RSS} | - | | 84 | - | pF | |
| Internal Drain Inductance | L_D | Measured from the Drain Lead, 6mm (0.25in) from Package to Center of Die | | Modified MOSFET Symbol Showing the Internal Device Inductances | | - | 5.0 |
| Internal Source Inductance | L_S | Measured from the Source Lead, 6mm (0.25in) from Header to Source Bonding Pad |  | | - | 13 | nH |
| Thermal Resistance Junction to Case | $R_{\theta JC}$ | | - | - | 0.50 | $^\circ\text{C/W}$ | |
| Thermal Resistance Junction to Ambient | $R_{\theta JA}$ | Free Air Operation | - | - | 30 | $^\circ\text{C/W}$ | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP460

Source to Drain Diode Specifications

| PARAMETER | SYMBOL | TEST CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|--|-----------|---|-----|-----|------|---------------|
| Continuous Source to Drain Current | I_{SD} | Modified MOSFET Symbol Showing the Integral Reverse P-N Junction Rectifier | - | - | 20 | A |
| Pulse Source to Drain Current (Note 3) | I_{SDM} | | - | - | 80 | A |
| Source to Drain Diode Voltage (Note 2) | V_{SD} | $T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 21\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 13) | - | - | 1.8 | V |
| Reverse Recovery Time | t_{rr} | $T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 21\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$ | 280 | 580 | 1200 | ns |
| Reverse Recovery Charge | Q_{RR} | $T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 21\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$ | 3.8 | 8.1 | 18 | μC |

NOTES:

- Pulse test: pulse width $\leq 300\mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$.
- Repetitive rating: pulse width limited by Max junction temperature. See Transient Thermal Impedance curve (Figure 3).
- $V_{DD} = 50\text{V}$, starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 4.3\text{mH}$, $R_{GS} = 25\Omega$, Peak $I_{AS} = 20\text{A}$.

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified

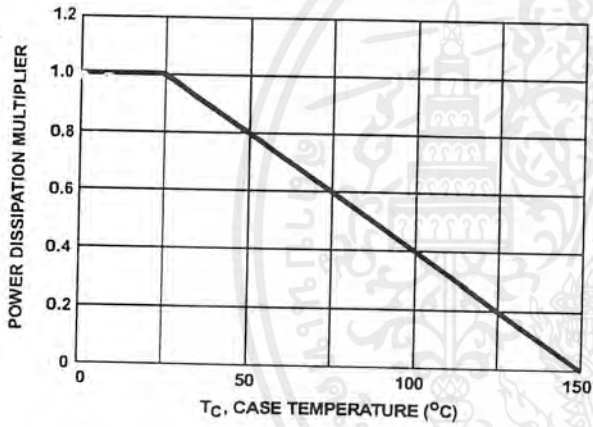


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

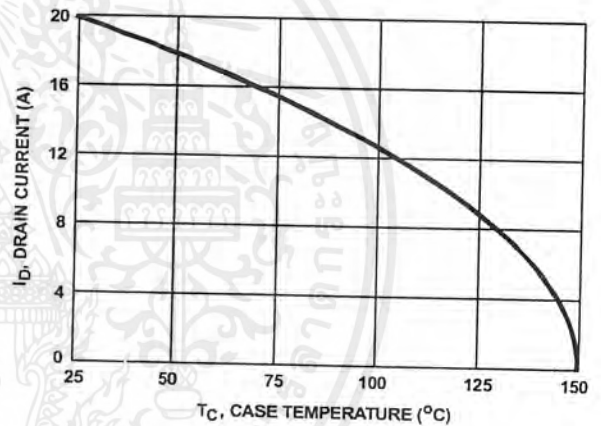


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

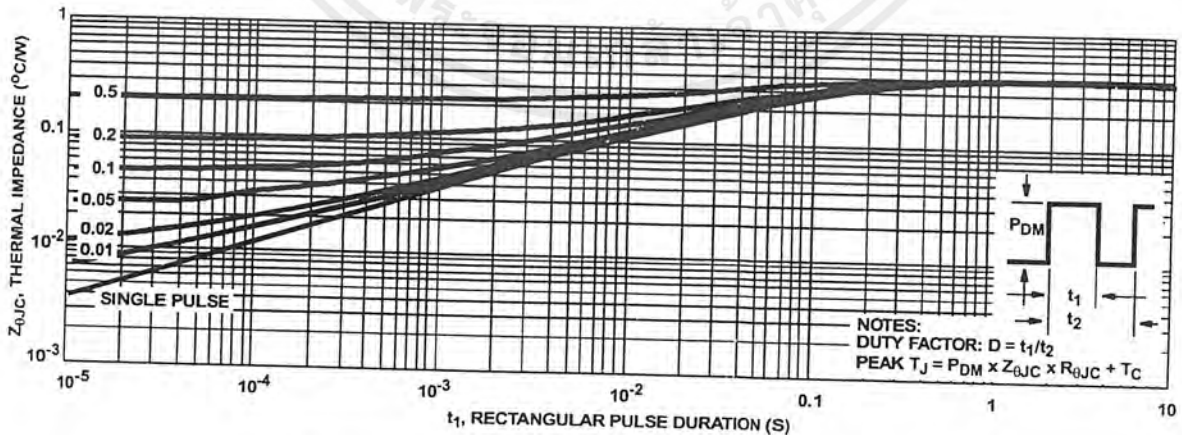


FIGURE 3. MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

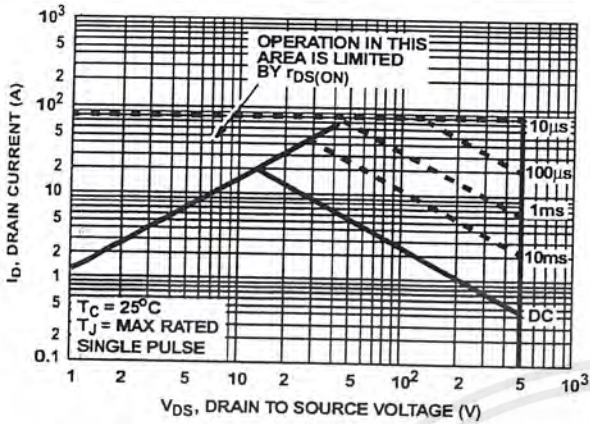


FIGURE 4. FORWARD BIAS SAFE OPERATING AREA

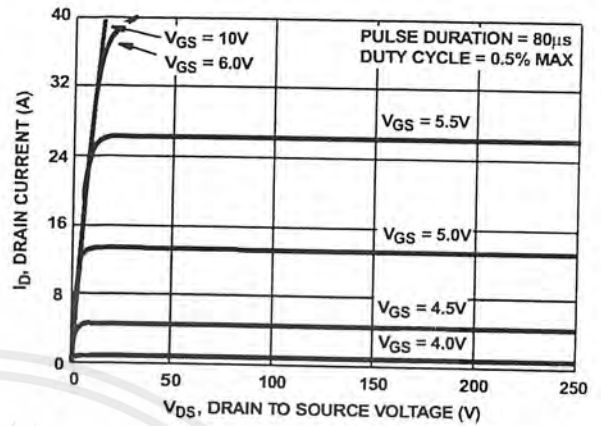


FIGURE 5. OUTPUT CHARACTERISTICS

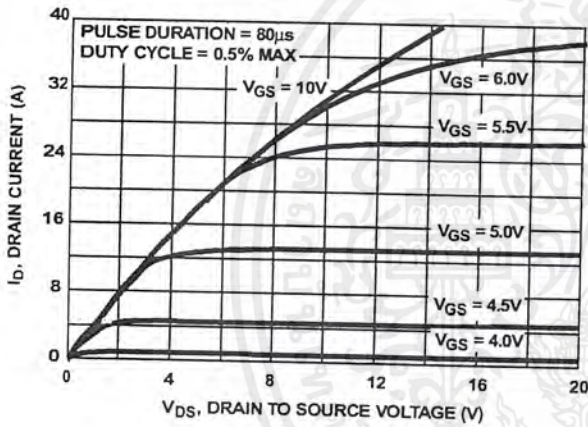


FIGURE 6. SATURATION CHARACTERISTICS

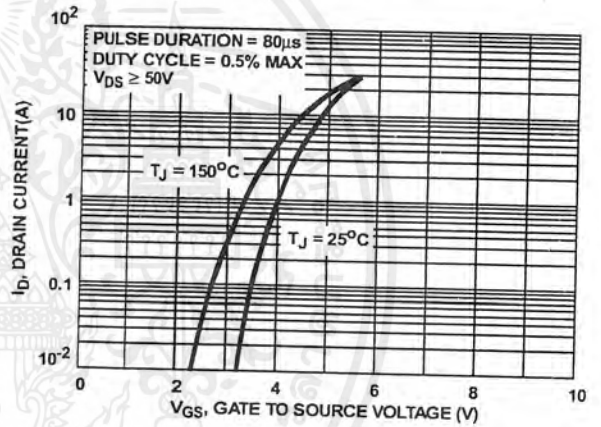


FIGURE 7. TRANSFER CHARACTERISTICS

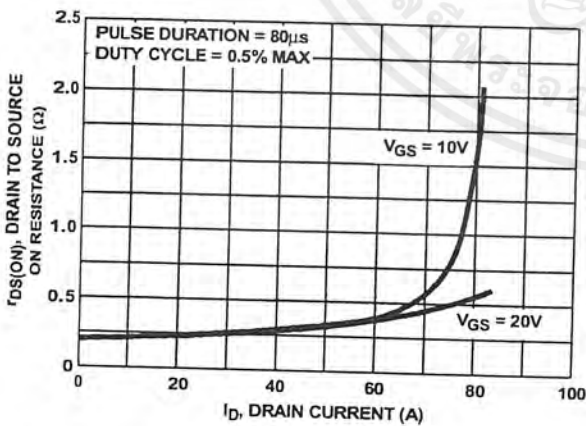


FIGURE 8. DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs. GATE VOLTAGE AND DRAIN CURRENT

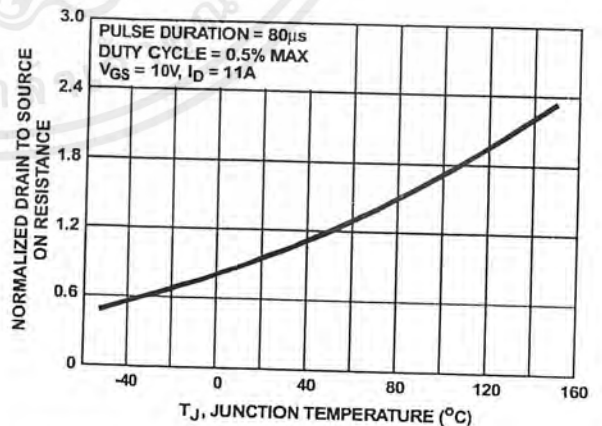


FIGURE 9. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs. JUNCTION TEMPERATURE

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

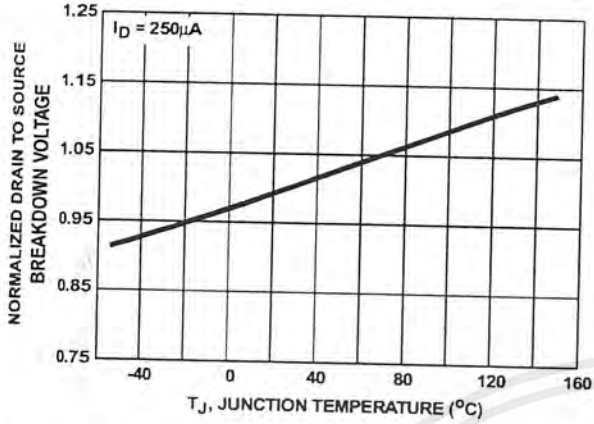


FIGURE 10. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE BREAKDOWN VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

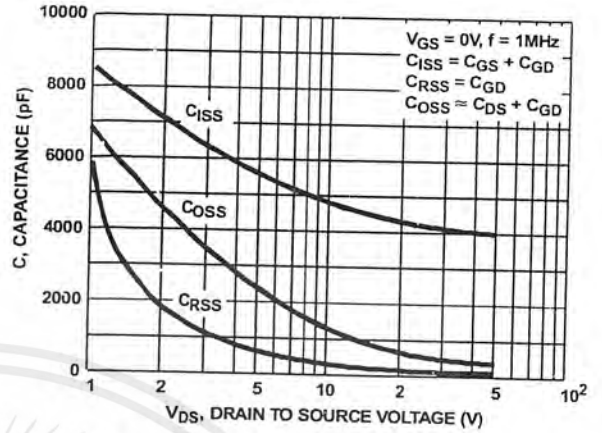


FIGURE 11. CAPACITANCE vs DRAIN TO SOURCE VOLTAGE

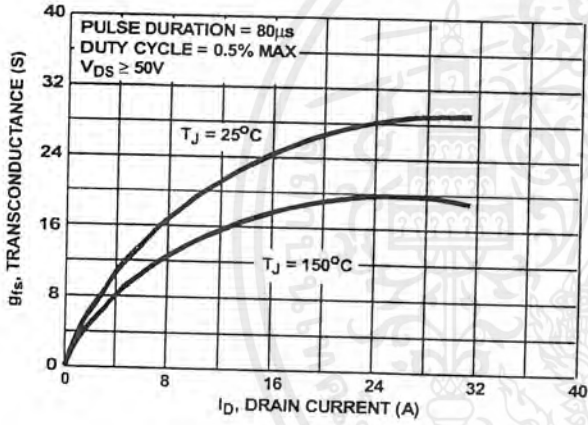


FIGURE 12. TRANSCONDUCTANCE vs DRAIN CURRENT

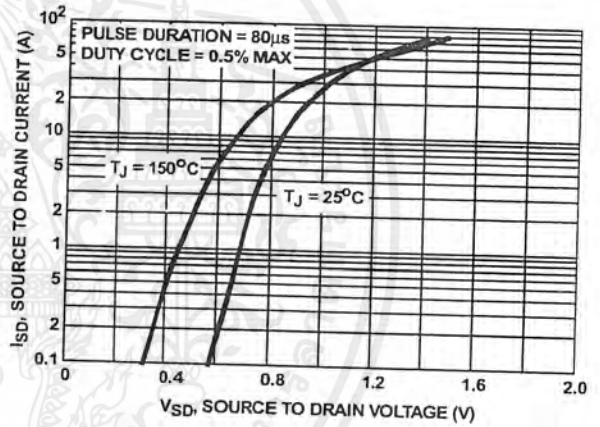


FIGURE 13. SOURCE TO DRAIN DIODE VOLTAGE

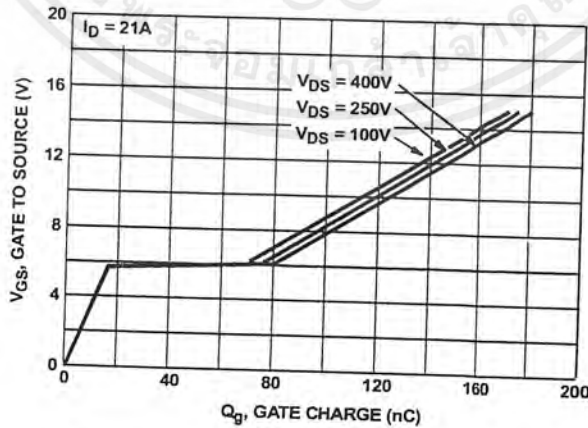


FIGURE 14. GATE TO SOURCE VOLTAGE vs GATE CHARGE

Test Circuits and Waveforms

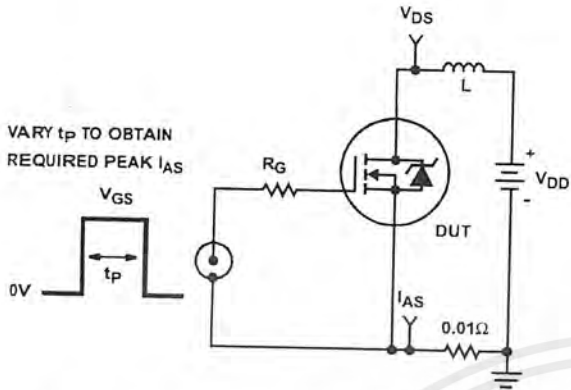


FIGURE 15. UNCLAMPED ENERGY TEST CIRCUIT

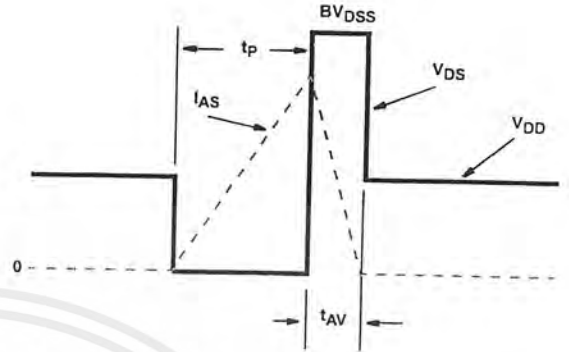


FIGURE 16. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

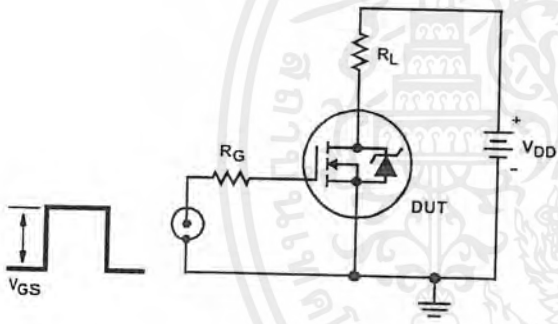


FIGURE 17. SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

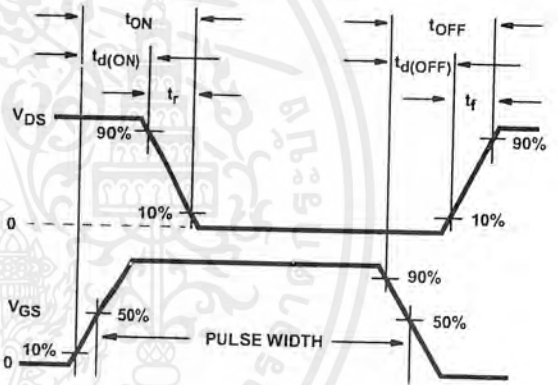


FIGURE 18. RESISTIVE SWITCHING WAVEFORMS

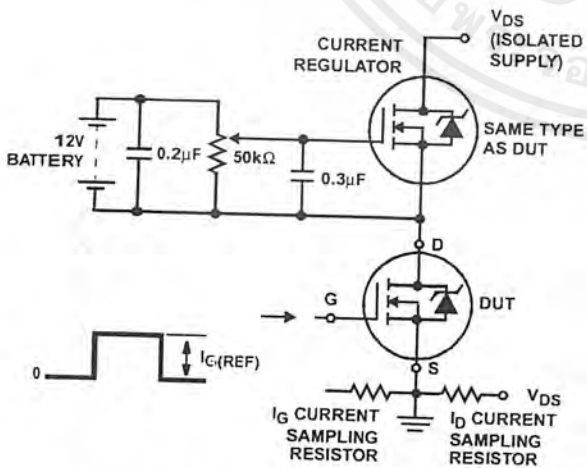


FIGURE 19. GATE CHARGE TEST CIRCUIT

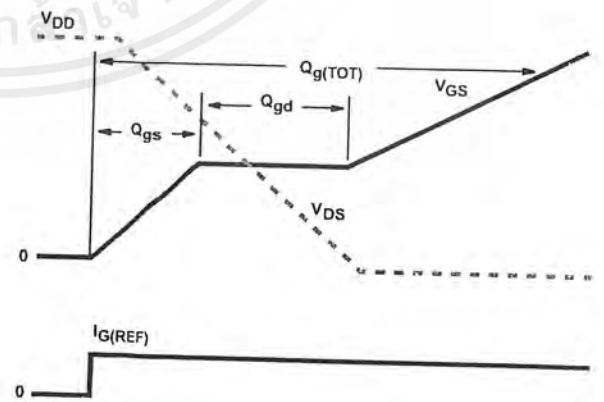


FIGURE 20. GATE CHARGE WAVEFORMS

15A, 400V - 600V Ultrafast Diodes

The MUR1540, MUR1560, RURP1540, and RURP1560 are ultrafast diodes ($t_{rr} < 55ns$) with soft recovery characteristics. They have a low forward voltage drop and are of planar, silicon nitride passivated, ion-implanted, epitaxial construction.

These devices are intended for use as energy steering/clamping diodes and rectifiers in a variety of switching power supplies and other power switching applications. Their low stored charge and ultrafast recovery with soft recovery characteristics minimizes ringing and electrical noise in many power switching circuits, thus reducing power loss in the switching transistor.

Formerly developmental type TA09905.

Ordering Information

| PART NUMBER | PACKAGE | BRAND |
|-------------|----------|----------|
| MUR1540 | TO-220AC | MUR1540 |
| RURP1540 | TO-220AC | RURP1540 |
| MUR1560 | TO-220AC | MUR1560 |
| RURP1560 | TO-220AC | RURP1560 |

NOTE: When ordering, use the entire part number

Symbol



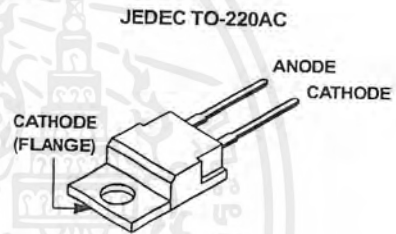
Features

- Ultrafast with Soft Recovery <55ns
- Operating Temperature 175°C
- Reverse Voltage Up to 600V
- Avalanche Energy Rated
- Planar Construction

Applications

- Switching Power Supply
- Power Switching Circuits
- General Purpose

Packaging



Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^{\circ}C$, Unless Otherwise Specified

| | MUR1540 RURP1540 | MUR1560 RURP1560 | UNITS |
|---|---------------------------|---------------------|-------|
| Peak Repetitive Reverse Voltage | V_{RRM} 400 | 600 | V |
| Working Peak Reverse Voltage | V_{RWM} 400 | 600 | V |
| DC Blocking Voltage | V_R 400 | 600 | V |
| Average Rectified Forward Current ($T_C = 145^{\circ}C$) | $I_{F(AV)}$ 15 | 15 | A |
| Repetitive Peak Surge Current (Square Wave 20kHz) | I_{FRM} 30 | 30 | A |
| Nonrepetitive Peak Surge Current (Halfwave 1 Phase 60Hz) | I_{FSM} 200 | 200 | A |
| Maximum Power Dissipation | P_D 100 | 100 | W |
| Avalanche Energy (See Figures 7 and 8) | E_{AVL} 20 | 20 | mJ |
| Operating and Storage Temperature | T_{STG}, T_J -55 to 175 | -55 to 175 | °C |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MUR1540, MUR1560, RURP1540, RURP1560

Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

| SYMBOL | TEST CONDITION | MUR1540, RURP1540 | | | MUR1560, RURP1560 | | | UNITS |
|-----------------|---|-------------------|-----|------|-------------------|-----|-----|---------------------------|
| | | MIN | TYP | MAX | MIN | TYP | MAX | |
| V_F | $I_F = 15\text{A}$ | - | - | 1.25 | - | - | 1.5 | V |
| | $I_F = 15\text{A}, T_C = 150^\circ\text{C}$ | - | - | 1.12 | - | - | 1.2 | V |
| I_R | $V_R = 400\text{V}$ | - | - | 100 | - | - | - | μA |
| | $V_R = 600\text{V}$ | - | - | - | - | - | 100 | μA |
| | $V_R = 400\text{V}, T_C = 150^\circ\text{C}$ | - | - | 500 | - | - | - | μA |
| | $V_R = 600\text{V}, T_C = 150^\circ\text{C}$ | - | - | - | - | - | 500 | μA |
| t_{rr} | $I_F = 1\text{A}, di_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$ | - | - | 55 | - | - | 55 | ns |
| | $I_F = 15\text{A}, di_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$ | - | - | 60 | - | - | 60 | ns |
| t_a | $I_F = 15\text{A}, di_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$ | - | 30 | - | - | 30 | - | ns |
| t_b | $I_F = 15\text{A}, di_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$ | - | 17 | - | - | 20 | - | ns |
| $R_{\theta JC}$ | | - | - | 1.5 | - | - | 1.5 | $^\circ\text{C}/\text{W}$ |

DEFINITIONS

V_F = Instantaneous forward voltage ($p_w = 300\mu\text{s}$, $D = 2\%$).

I_R = Instantaneous reverse current.

t_{rr} = Reverse recovery time at $di_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$ (See Figure 6), summation of $t_a + t_b$.

t_a = Time to reach peak reverse current at $di_F/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$ (See Figure 6).

t_b = Time from peak I_{RM} to projected zero crossing of I_{RM} based on a straight line from peak I_{RM} through 25% of I_{RM} (See Figure 6).

$R_{\theta JC}$ = Thermal resistance junction to case.

p_w = pulse width.

D = duty cycle.

Typical Performance Curves

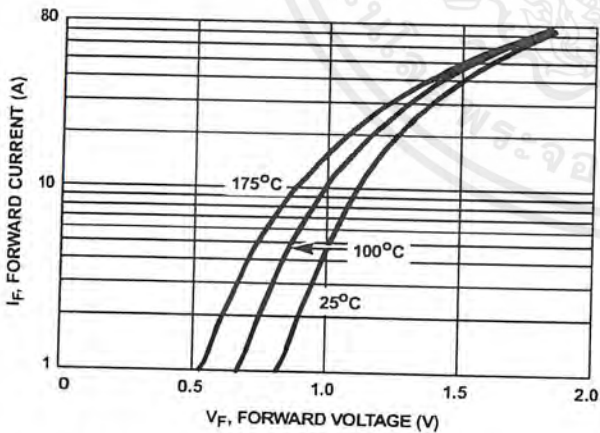


FIGURE 1. FORWARD CURRENT vs FORWARD VOLTAGE

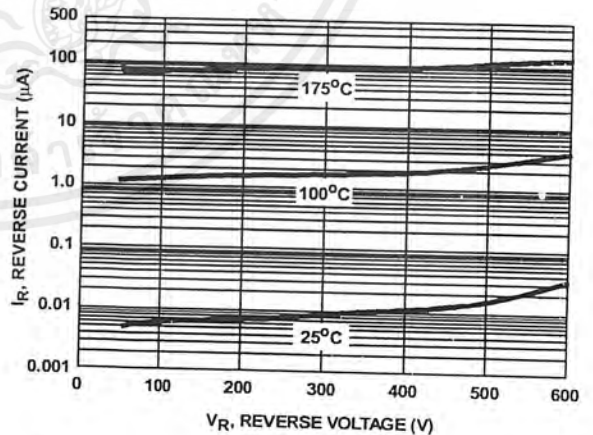


FIGURE 2. REVERSE CURRENT vs REVERSE VOLTAGE

Typical Performance Curves (Continued)

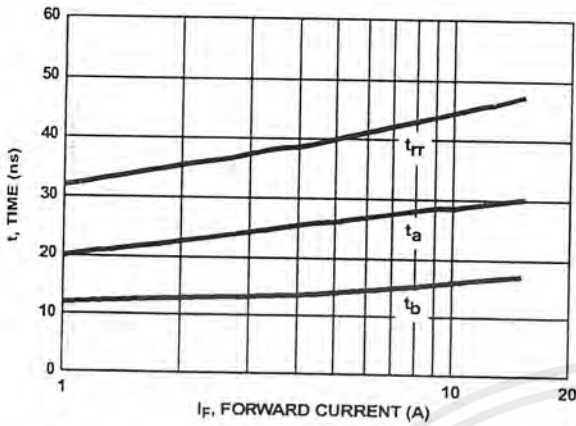


FIGURE 3. t_{rr} , t_a AND t_b CURVES VS FORWARD CURRENT

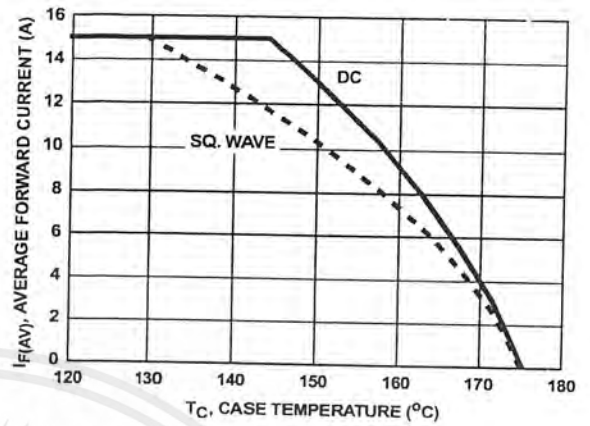


FIGURE 4. CURRENT DERATING CURVE

Test Circuits and Waveforms

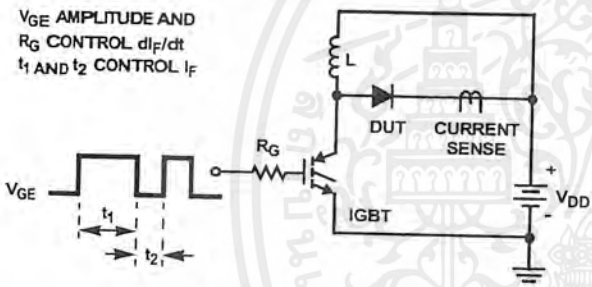


FIGURE 5. t_{rr} TEST CIRCUIT

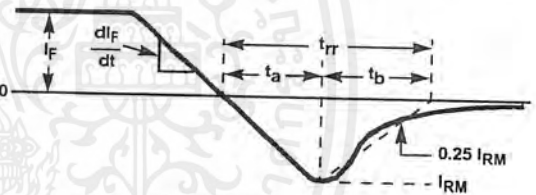


FIGURE 6. t_{rr} WAVEFORMS AND DEFINITIONS

$I = 1A$
 $L = 40mH$
 $R < 0.1\Omega$
 $E_{AVL} = 1/2LI^2 [V_{R(AVL)} / (V_{R(AVL)} - V_{DD})]$
 $Q_1 = IGBT (BV_{CES} > DUT V_{R(AVL)})$

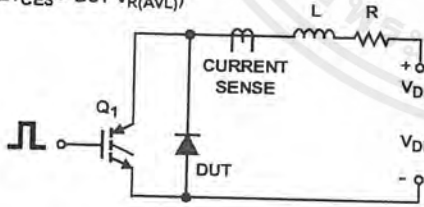


FIGURE 7. AVALANCHE ENERGY TEST CIRCUIT

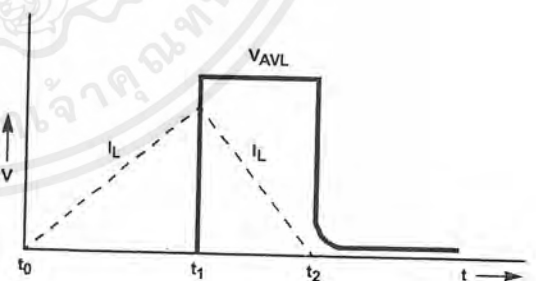


FIGURE 8. AVALANCHE CURRENT AND VOLTAGE WAVEFORMS

All Intersil semiconductor products are manufactured, assembled and tested under ISO9000 quality systems certification.

Intersil semiconductor products are sold by description only. Intersil Corporation reserves the right to make changes in circuit design and/or specifications at any time without notice. Accordingly, the reader is cautioned to verify that data sheets are current before placing orders. Information furnished by Intersil is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Intersil or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Intersil or its subsidiaries.

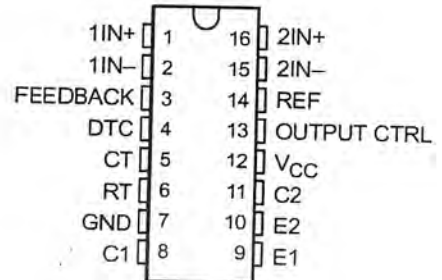
For information regarding Intersil Corporation and its products, see web site www.intersil.com

TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

- Complete PWM Power Control Circuitry
- Uncommitted Outputs for 200-mA Sink or Source Current
- Output Control Selects Single-Ended or Push-Pull Operation
- Internal Circuitry Prohibits Double Pulse at Either Output
- Variable Dead Time Provides Control Over Total Range
- Internal Regulator Provides a Stable 5-V Reference Supply With 5% Tolerance
- Circuit Architecture Allows Easy Synchronization

D, N, NS, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



description

The TL494 incorporates all the functions required in the construction of a pulse-width-modulation (PWM) control circuit on a single chip. Designed primarily for power-supply control, this device offers the flexibility to tailor the power-supply control circuitry to a specific application.

The TL494 contains two error amplifiers, an on-chip adjustable oscillator, a dead-time control (DTC) comparator, a pulse-steering control flip-flop, a 5-V, 5%-precision regulator, and output-control circuits.

The error amplifiers exhibit a common-mode voltage range from -0.3 V to $V_{CC} - 2\text{ V}$. The dead-time control comparator has a fixed offset that provides approximately 5% dead time. The on-chip oscillator can be bypassed by terminating RT to the reference output and providing a sawtooth input to CT, or it can drive the common circuits in synchronous multiple-rail power supplies.

The uncommitted output transistors provide either common-emitter or emitter-follower output capability. The TL494 provides for push-pull or single-ended output operation, which can be selected through the output-control function. The architecture of this device prohibits the possibility of either output being pulsed twice during push-pull operation.

The TL494C is characterized for operation from 0°C to 70°C . The TL494I is characterized for operation from -40°C to 85°C .

FUNCTION TABLE

| INPUT TO OUTPUT CTRL | OUTPUT FUNCTION |
|------------------------|---------------------------------|
| $V_I = \text{GND}$ | Single-ended or parallel output |
| $V_I = V_{\text{ref}}$ | Normal push-pull operation |



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1999, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

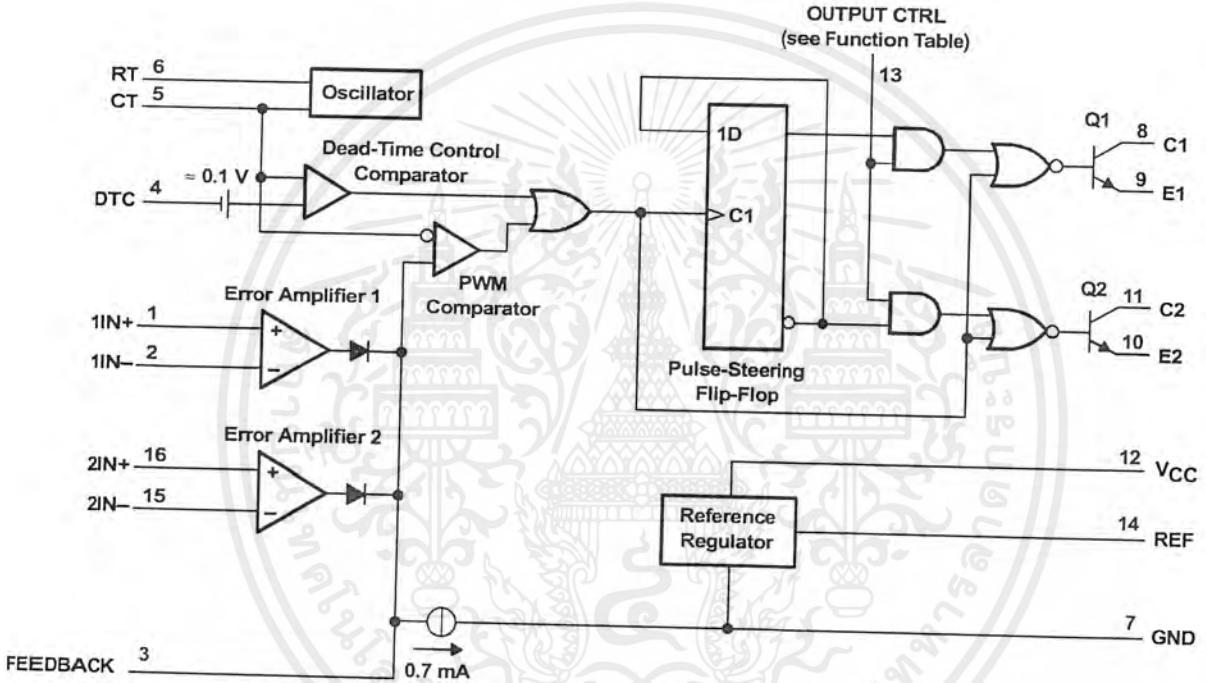
PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

| T _A | AVAILABLE OPTIONS | | | | |
|----------------|-------------------|-----------------|--------------------|---------------------------|---------------|
| | PACKAGED DEVICES | | | | CHIP FORM (Y) |
| | SMALL OUTLINE (D) | PLASTIC DIP (N) | SMALL OUTLINE (NS) | SHRINK SMALL OUTLINE (PW) | |
| 0°C to 70°C | TL494CD | TL494CN | TL494CNS | TL494CPW | TL494Y |
| -40°C to 85°C | TL494ID | TL494IN | — | — | — |

The D, NS, and PW packages are available taped and reeled. Add the suffix R to device type (e.g., TL494CDR). Chip forms are tested at 25°C.

functional block diagram



TEXAS INSTRUMENTS

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)[†]

| | | TL494 | UNIT |
|--|------------|---------------------|---------------|
| Supply voltage, V_{CC} (see Note 1) | | 41 | V |
| Amplifier input voltage, V_I | | $V_{CC}+0.3$ | V |
| Collector output voltage, V_O | | 41 | V |
| Collector output current, I_O | | 250 | mA |
| Package thermal impedance, θ_{JA} (see Notes 2 and 3) | D package | 73 | °C |
| | N package | 88 | |
| | NS package | 64 | |
| | PW package | 108 | |
| Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds | | D, N, or PW package | 260 °C |
| Storage temperature range, T_{stg} | | | -65 to 150 °C |

[†] Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES:
- All voltage values, except differential voltages, are with respect to the network ground terminal.
 - Maximum power dissipation is a function of $T_J(\max)$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\max) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can impact reliability.
 - The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51, except for through-hole packages, which use a trace length of zero.

recommended operating conditions

| | TL494 | | UNIT |
|--|--------|------------|------------|
| | MIN | MAX | |
| Supply voltage, V_{CC} | 7 | 40 | V |
| Amplifier input voltage, V_I | -0.3 | $V_{CC}-2$ | V |
| Collector output voltage, V_O | | 40 | V |
| Collector output current (each transistor) | | 200 | mA |
| Current into feedback terminal | | 0.3 | mA |
| Oscillator frequency, f_{osc} | 1 | 300 | kHz |
| Timing capacitor, C_T | 0.47 | 10000 | nF |
| Timing resistor, R_T | 1.8 | 500 | k Ω |
| Operating free-air temperature, T_A | TL494C | 0 | °C |
| | TL494I | -40 | |



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $f = 10\text{ kHz}$ (unless otherwise noted)

reference section

| PARAMETER | TEST CONDITION [†] | TL494C, TL494I | | | UNIT |
|---|--------------------------------------|----------------|------------------|------|------|
| | | MIN | TYP [‡] | MAX | |
| Output voltage (REF) | $I_O = 1\text{ mA}$ | 4.75 | 5 | 5.25 | V |
| Input regulation | $V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$ | | 2 | 25 | mV |
| Output regulation | $I_O = 1\text{ mA to }10\text{ mA}$ | | 1 | 15 | mV |
| Output voltage change with temperature | $\Delta T_A = \text{MIN to MAX}$ | | 2 | 10 | mV/V |
| Short-circuit output current [§] | REF = 0 V | | 25 | | mA |

[†] For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

[‡] All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

[§] Duration of the short circuit should not exceed one second.

oscillator section, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ (see Figure 1)

| PARAMETER | TEST CONDITION [†] | TL494, TL494I | | | UNIT |
|--|---|---------------|------------------|-----|--------|
| | | MIN | TYP [‡] | MAX | |
| Frequency | | | 10 | | kHz |
| Standard deviation of frequency [¶] | All values of V_{CC} , C_T , R_T , and T_A constant | | 100 | | Hz/kHz |
| Frequency change with voltage | $V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ | | 1 | | Hz/kHz |
| Frequency change with temperature [#] | $\Delta T_A = \text{MIN to MAX}$ | | | 10 | Hz/kHz |

[†] For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

[‡] All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

[¶] Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula:

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

[#] Temperature coefficient of timing capacitor and timing resistor are not taken into account.

error-amplifier section (see Figure 2)

| PARAMETER | TEST CONDITIONS | TL494, TL494I | | | UNIT |
|----------------------------------|--|--------------------|------------------|-----|---------------|
| | | MIN | TYP [‡] | MAX | |
| Input offset voltage | $V_O (\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$ | | 2 | 10 | mV |
| Input offset current | $V_O (\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$ | | 25 | 250 | nA |
| Input bias current | $V_O (\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$ | | 0.2 | 1 | μA |
| Common-mode input voltage range | $V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$ | -0.3 to $V_{CC}-2$ | | | V |
| Open-loop voltage amplification | $\Delta V_O = 3\text{ V}$, $R_L = 2\ \text{k}\Omega$, $V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$ | | 70 | 95 | dB |
| Unity-gain bandwidth | $V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$, $R_L = 2\ \text{k}\Omega$ | | | 800 | kHz |
| Common-mode rejection ratio | $\Delta V_O = 40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ | | 65 | 80 | dB |
| Output sink current (FEEDBACK) | $V_{ID} = -15\text{ mV to }-5\text{ V}$, $V (\text{FEEDBACK}) = 0.7\text{ V}$ | | 0.3 | 0.7 | mA |
| Output source current (FEEDBACK) | $V_{ID} = 15\text{ mV to }5\text{ V}$, $V (\text{FEEDBACK}) = 3.5\text{ V}$ | | -2 | | mA |

[‡] All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $f = 10\text{ kHz}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

reference section

| PARAMETER | TEST CONDITION [†] | TL494Y | | | UNIT |
|---|--------------------------------------|--------|------------------|-----|------|
| | | MIN | TYP [†] | MAX | |
| Output voltage (REF) | $I_O = 1\text{ mA}$ | | 5 | | V |
| Input regulation | $V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$ | | 2 | | mV |
| Output regulation | $I_O = 1\text{ mA to }10\text{ mA}$ | | 1 | | mV |
| Short-circuit output current [‡] | REF = 0 V | | 25 | | mA |

[†]All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

[‡]Duration of the short circuit should not exceed one second.

oscillator section, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ (see Figure 1)

| PARAMETER | TEST CONDITION [†] | TL494Y | | | UNIT |
|--|---|--------|------------------|-----|--------|
| | | MIN | TYP [†] | MAX | |
| Frequency | | | 10 | | kHz |
| Standard deviation of frequency [§] | All values of V_{CC} , C_T , R_T , and T_A constant | | 100 | | Hz/kHz |
| Frequency change with voltage | $V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$ | | 1 | | Hz/kHz |

[†]All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

[§]Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula:

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

error-amplifier section (see Figure 2)

| PARAMETER | TEST CONDITIONS | TL494Y | | | UNIT |
|---------------------------------|--|--------|------------------|-----|---------------|
| | | MIN | TYP [†] | MAX | |
| Input offset voltage | V_O (FEEDBACK) = 2.5 V | | 2 | | mV |
| Input offset current | V_O (FEEDBACK) = 2.5 V | | 25 | | nA |
| Input bias current | V_O (FEEDBACK) = 2.5 V | | 0.2 | | μA |
| Open-loop voltage amplification | $\Delta V_O = 3\text{ V}$, $R_L = 2\ \text{k}\Omega$, $V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$ | | 95 | | dB |
| Unity-gain bandwidth | $V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$, $R_L = 2\ \text{k}\Omega$ | | 800 | | kHz |
| Common-mode rejection ratio | $\Delta V_O = 40\text{ V}$ | | 80 | | dB |
| Output sink current (FEEDBACK) | $V_{ID} = -15\text{ mV to }-5\text{ V}$, V (FEEDBACK) = 0.7 V | | 0.7 | | mA |

[†]All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

TL494

PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $f = 10\text{ kHz}$ (unless otherwise noted)

output section

| PARAMETER | TEST CONDITIONS | TL494, TL494Y | | | UNIT |
|--------------------------------------|---|---------------|------|------|---------------|
| | | MIN | TYP† | MAX | |
| Collector off-state current | $V_{CE} = 40\text{ V}$, $V_{CC} = 40\text{ V}$ | | 2 | 100 | μA |
| Emitter off-state current | $V_{CC} = V_C = 40\text{ V}$, $V_E = 0$ | | | -100 | μA |
| Collector-emitter saturation voltage | Common emitter $V_E = 0$, $I_C = 200\text{ mA}$ | | 1.1 | 1.3 | V |
| | Emitter follower $V_O(C1\text{ or }C2) = 15\text{ V}$, $I_E = -200\text{ mA}$ | | 1.5 | 2.5 | |
| Output control input current | $V_I = V_{ref}$ | | | 3.5 | mA |

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

dead-time control section (see Figure 1)

| PARAMETER | TEST CONDITIONS | TL494, TL494Y | | | UNIT |
|--|---|---------------|------|-----|---------------|
| | | MIN | TYP† | MAX | |
| Input bias current (DEAD-TIME CTRL) | $V_I = 0\text{ to }5.25\text{ V}$ | | -2 | -10 | μA |
| Maximum duty cycle, each output | V_I (DEAD-TIME CTRL) = 0, $C_T = 0.1\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ | | 45% | | |
| Input threshold voltage (DEAD-TIME CTRL) | Zero duty cycle | | 3 | 3.3 | V |
| | Maximum duty cycle | | 0 | | |

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

PWM comparator section (see Figure 1)

| PARAMETER | TEST CONDITIONS | TL494, TL494Y | | | UNIT |
|------------------------------------|------------------------|---------------|------|-----|------|
| | | MIN | TYP† | MAX | |
| Input threshold voltage (FEEDBACK) | Zero duty cycle | | 4 | 4.5 | V |
| Input sink current (FEEDBACK) | V (FEEDBACK) = 0.7 V | 0.3 | 0.7 | | mA |

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

total device

| PARAMETER | TEST CONDITIONS | TL494, TL494Y | | | UNIT |
|------------------------|---|------------------------|------|-----|------|
| | | MIN | TYP† | MAX | |
| Standby supply current | $R_T = V_{ref}$, All other inputs and outputs open | | 6 | 10 | mA |
| Average supply current | V_I (DEAD-TIME CTRL) = 2 V, See Figure 1 | $V_{CC} = 15\text{ V}$ | | 9 | |
| | | $V_{CC} = 40\text{ V}$ | | 15 | |
| | | | 7.5 | | mA |

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

switching characteristics, $T_A = 25^\circ\text{C}$

| PARAMETER | TEST CONDITIONS | TL494, TL494Y | | | UNIT |
|-----------|---|---------------|------|-----|------|
| | | MIN | TYP† | MAX | |
| Rise time | Common-emitter configuration, See Figure 3 | | 100 | 200 | ns |
| Fall time | | | 25 | 100 | |
| Rise time | Emitter-follower configuration, See Figure 4 | | 100 | 200 | ns |
| Fall time | | | 40 | 100 | |

† All typical values except for temperature coefficient are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

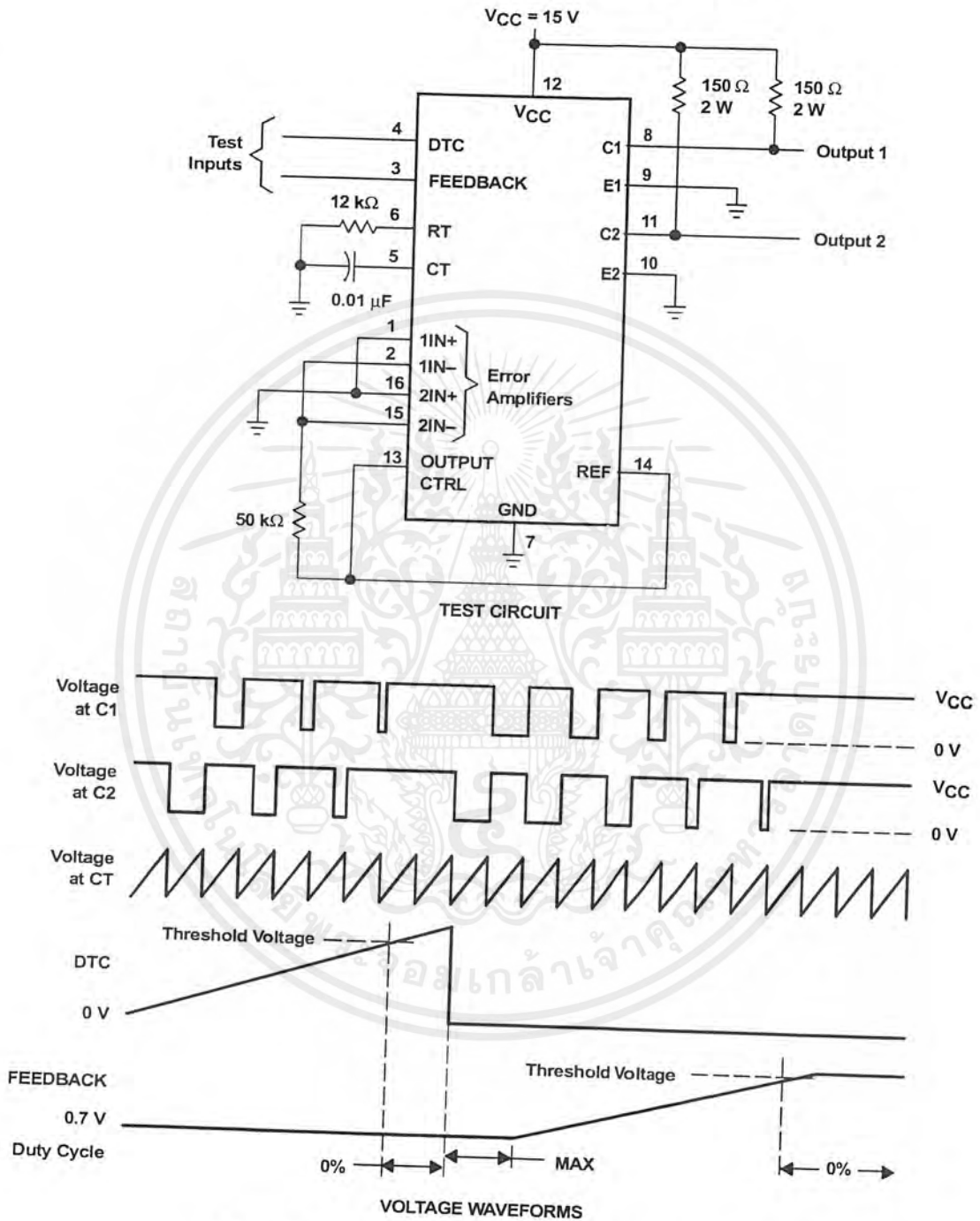


Figure 1. Operational Test Circuit and Waveforms

TL494
PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074B – JANUARY 1983 – REVISED JULY 1999

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

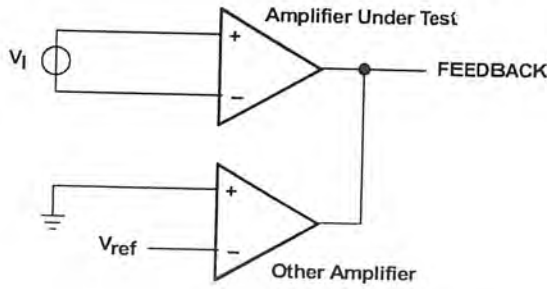
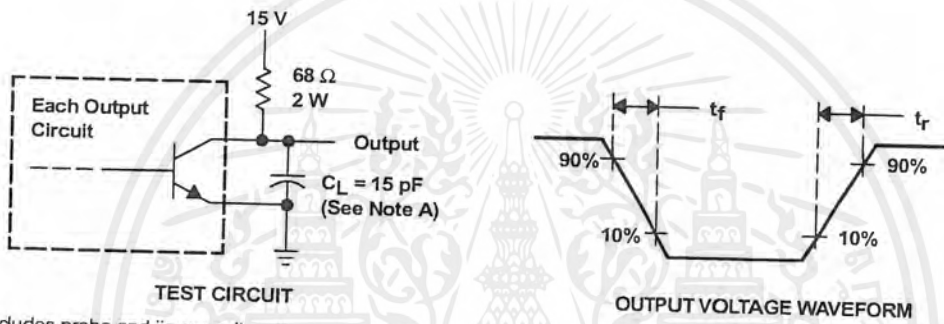
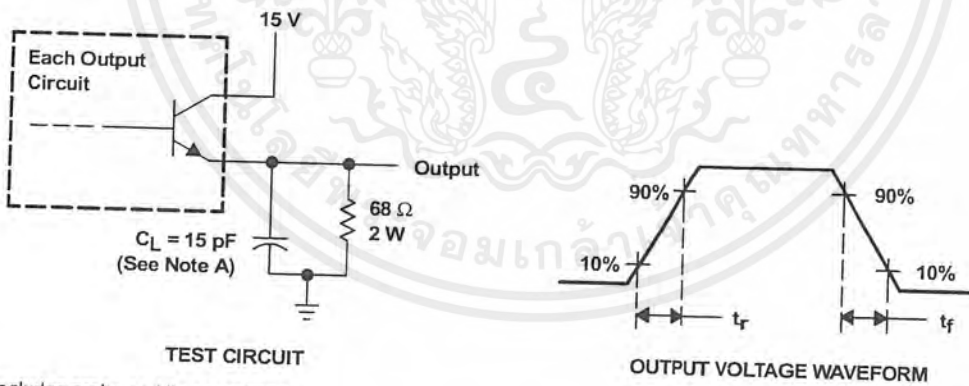


Figure 2. Amplifier Characteristics



NOTE A: C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 3. Common-Emitter Configuration



NOTE A: C_L includes probe and jig capacitance.

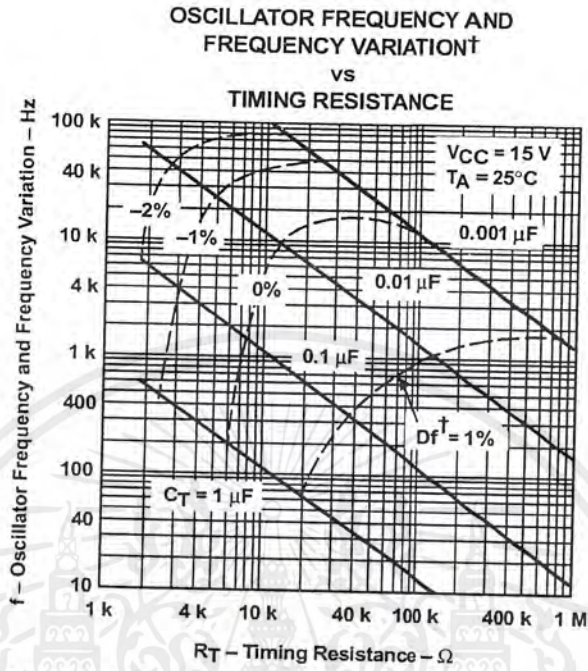
Figure 4. Emitter-Follower Configuration



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาก็เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS



† Frequency variation (Δf) is the change in oscillator frequency that occurs over the full temperature range.

Figure 5

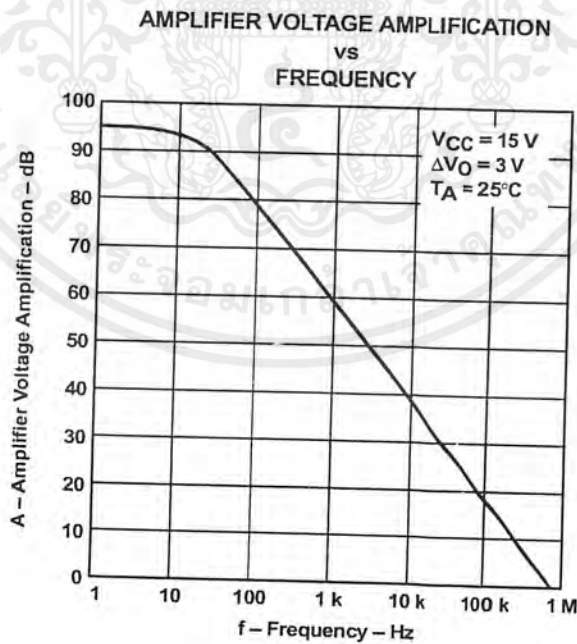


Figure 6



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265



6-Pin DIP Optoisolators Logic Output

The H11L1 and H11L2 have a gallium arsenide IRED optically coupled to a high-speed integrated detector with Schmitt trigger output. Designed for applications requiring electrical isolation, fast response time, noise immunity and digital logic compatibility.

- Guaranteed Switching Times — $t_{on}, t_{off} < 4 \mu s$
- Built-In On/Off Threshold Hysteresis
- High Data Rate, 1 MHz Typical (NRZ)
- Wide Supply Voltage Capability
- Microprocessor Compatible Drive
- *To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.*

Applications

- Interfacing Computer Terminals to Peripheral Equipment
- Digital Control of Power Supplies
- Line Receiver — Eliminates Noise
- Digital Control of Motors and Other Servo Machine Applications
- Logic to Logic Isolator
- Logic Level Shifter — Couples TTL to CMOS

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ C$ unless otherwise noted)

| Rating | Symbol | Value | Unit |
|--------|--------|-------|------|
|--------|--------|-------|------|

INPUT LED

| | | | |
|--|-------|------|----------------|
| Reverse Voltage | V_R | 6 | Volts |
| Forward Current — Continuous | I_F | 60 | mA |
| — Peak | | 1.2 | Amp |
| Pulse Width = 300 μs , 2% Duty Cycle | | | |
| LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ C$ | P_D | 120 | mW |
| Derate above $25^\circ C$ | | 1.41 | mW/ $^\circ C$ |

OUTPUT DETECTOR

| | | | |
|---|----------|------|----------------|
| Output Voltage Range | V_O | 0–16 | Volts |
| Supply Voltage Range | V_{CC} | 3–16 | Volts |
| Output Current | I_O | 50 | mA |
| Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ C$ | P_D | 150 | mW |
| Derate above $25^\circ C$ | | 1.76 | mW/ $^\circ C$ |

TOTAL DEVICE

| | | | |
|---|-----------|-------------|----------------|
| Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ C$ | P_D | 250 | mW |
| Derate above $25^\circ C$ | | 2.94 | mW/ $^\circ C$ |
| Maximum Operating Temperature(2) | T_A | –40 to +85 | $^\circ C$ |
| Storage Temperature Range(2) | T_{stg} | –55 to +150 | $^\circ C$ |
| Soldering Temperature (10 s) | T_L | 260 | $^\circ C$ |
| Isolation Surge Voltage (Pk ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration)(1) | V_{ISO} | 7500 | Vac(pk) |

1. Isolation surge voltage is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
 2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.
- Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.
Global Optoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

H11L1*

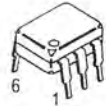
[I_F (on) = 1.6 mA Max]

H11L2

[I_F (on) = 10 mA Max]

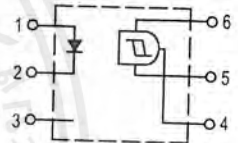
*Motorola Preferred Device

STYLE 5 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE
CASE 730A–04

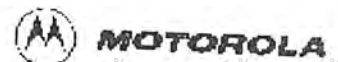
SCHEMATIC



- PIN 1. ANODE
2. CATHODE
3. NC
4. OPEN COLLECTOR
OUTPUT
5. GND
6. V_{CC}

REV 1

© Motorola, Inc. 1995



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H11L1 H11L2

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)⁽¹⁾

| Characteristic | Symbol | Min | Typ ⁽¹⁾ | Max | Unit | |
|--|---|-----------|--------------------|-----|------------------|---------------|
| INPUT LED | | | | | | |
| Reverse Leakage Current ($V_R = 3\text{ V}$, $R_L = 1\text{ M}\Omega$) | I_R | — | 0.05 | 10 | μA | |
| Forward Voltage ($I_F = 10\text{ mA}$) ($I_F = 0.3\text{ mA}$) | V_F | — 0.75 | 1.2 0.95 | 1.5 | Volts | |
| Capacitance ($V_R = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$) | C | — | 18 | — | pF | |
| OUTPUT DETECTOR | | | | | | |
| Operating Voltage | V_{CC} | 3 | — | 15 | Volts | |
| Supply Current ($I_F = 0$, $V_{CC} = 5\text{ V}$) | $I_{CC(\text{off})}$ | — | 1 | 5 | mA | |
| Output Current, High ($I_F = 0$, $V_{CC} = V_O = 15\text{ V}$) | I_{OH} | — | — | 100 | μA | |
| COUPLED | | | | | | |
| Supply Current ($I_F = I_{F(\text{on})}$, $V_{CC} = 5\text{ V}$) | $I_{CC(\text{on})}$ | — | 1.6 | 5 | mA | |
| Output Voltage, Low ($R_L = 270\ \Omega$, $V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_F = I_{F(\text{on})}$) | V_{OL} | — | 0.2 | 0.4 | Volts | |
| Threshold Current, ON ($R_L = 270\ \Omega$, $V_{CC} = 5\text{ V}$) | $I_{F(\text{on})}$ | — | 1.2 | 1.6 | mA | |
| Threshold Current, OFF ($R_L = 270\ \Omega$, $V_{CC} = 5\text{ V}$) | $I_{F(\text{off})}$ | 0.3 | 0.75 | — | mA | |
| Hysteresis Ratio ($R_L = 270\ \Omega$, $V_{CC} = 5\text{ V}$) | $\frac{I_{F(\text{off})}}{I_{F(\text{on})}}$ | 0.5 | 0.75 | 0.9 | | |
| Isolation Voltage ⁽²⁾ 60 Hz, AC Peak, 1 second, $T_A = 25^\circ\text{C}$ | V_{ISO} | 7500 | — | — | Vac(pk) | |
| Turn-On Time | $R_L = 270\ \Omega$ ⁽³⁾ $V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_F = I_{F(\text{on})}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ | t_{on} | — | 1.2 | 4 | μs |
| Fall Time | | t_f | — | 0.1 | — | |
| Turn-Off Time | | t_{off} | — | 1.2 | 4 | |
| Rise Time | | t_r | — | 0.1 | — | |

1. Always design to the specified minimum/maximum electrical limits (where applicable).
2. For this test, IRED Pins 1 and 2 are common and Output Gate Pins 4, 5, 6 are common.
3. R_L value effect on switching time is negligible.

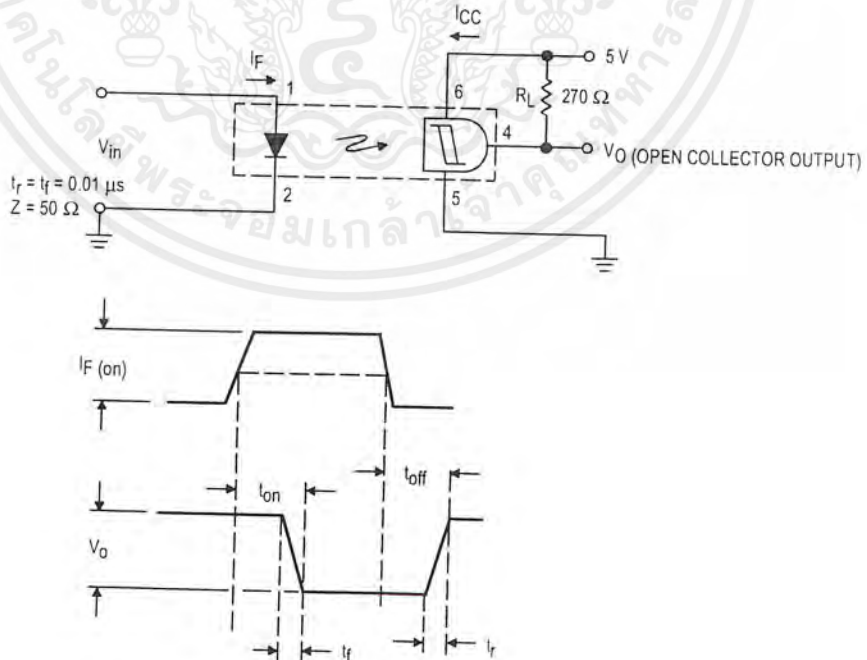


Figure 1. Switching Test Circuit

TYPICAL CHARACTERISTICS

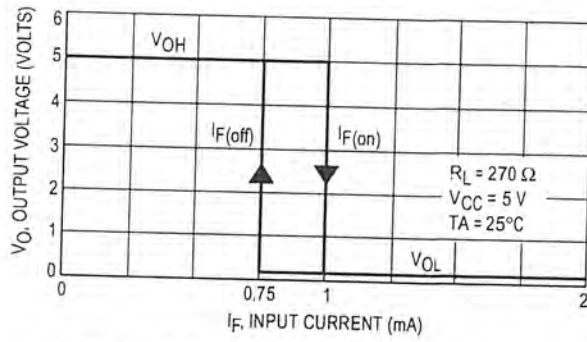


Figure 2. Transfer Characteristics for H11L1

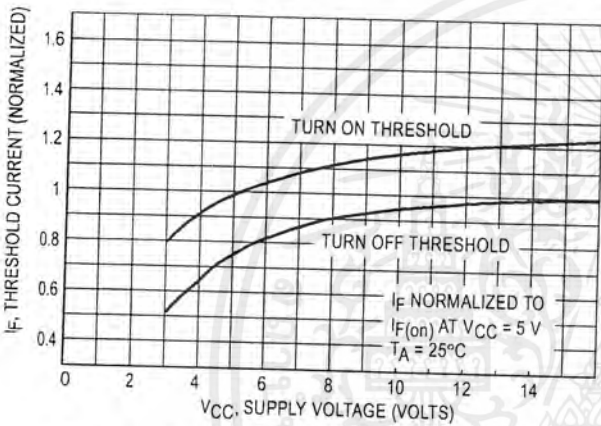


Figure 3. Threshold Current versus Supply Voltage

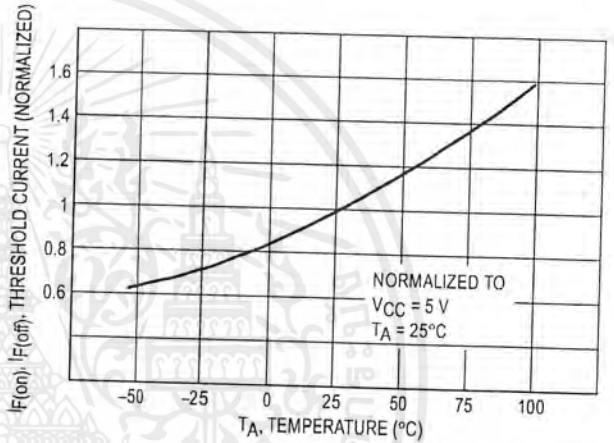


Figure 4. Threshold Current versus Temperature

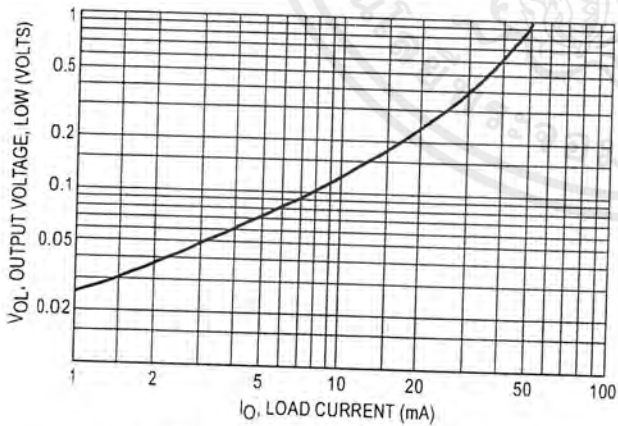


Figure 5. Output Voltage, Low versus Load Current

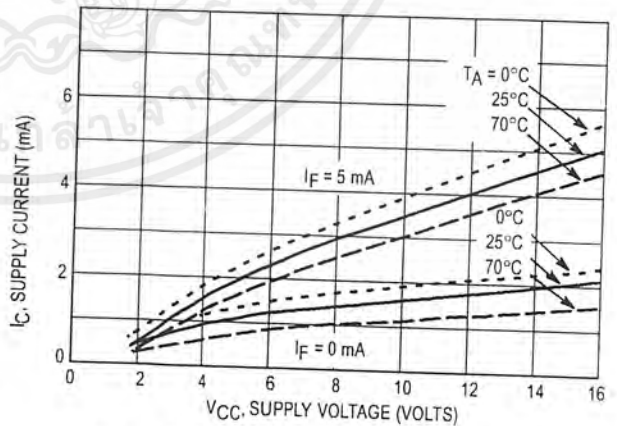
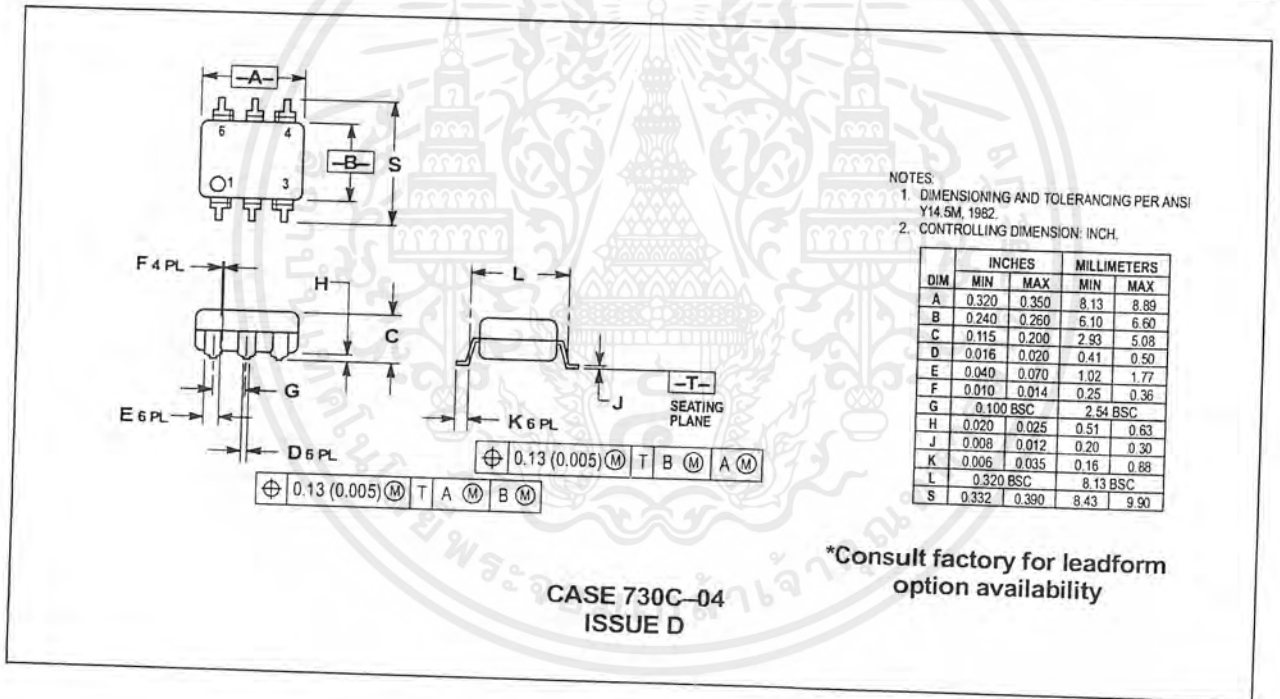
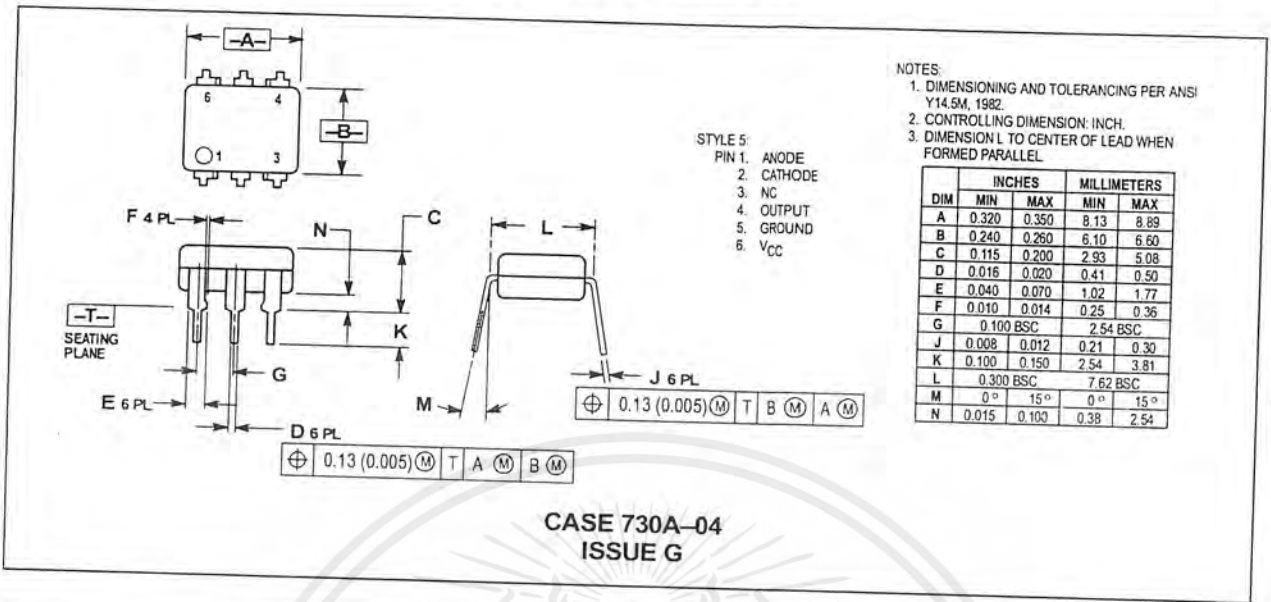
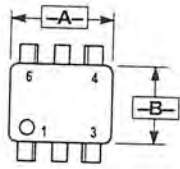


Figure 6. Supply Current versus Supply Voltage

H11L1 H11L2

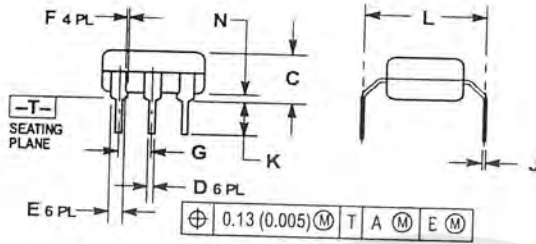
PACKAGE DIMENSIONS





- NOTES
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982
 2. CONTROLLING DIMENSION INCH.
 3. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL

| DIM | INCHES | | MILLIMETERS | |
|-----|-----------|-------|-------------|-------|
| | MIN | MAX | MIN | MAX |
| A | 0.320 | 0.350 | 8.13 | 8.89 |
| B | 0.240 | 0.260 | 6.10 | 6.60 |
| C | 0.115 | 0.200 | 2.93 | 5.08 |
| D | 0.016 | 0.020 | 0.41 | 0.50 |
| E | 0.040 | 0.070 | 1.02 | 1.77 |
| F | 0.010 | 0.014 | 0.25 | 0.36 |
| G | 0.100 BSC | | 2.54 BSC | |
| J | 0.008 | 0.012 | 0.21 | 0.30 |
| K | 0.100 | 0.150 | 2.54 | 3.81 |
| L | 0.400 | 0.425 | 10.16 | 10.80 |
| N | 0.015 | 0.040 | 0.38 | 1.02 |



*Consult factory for leadform option availability

CASE 730D-05
ISSUE D



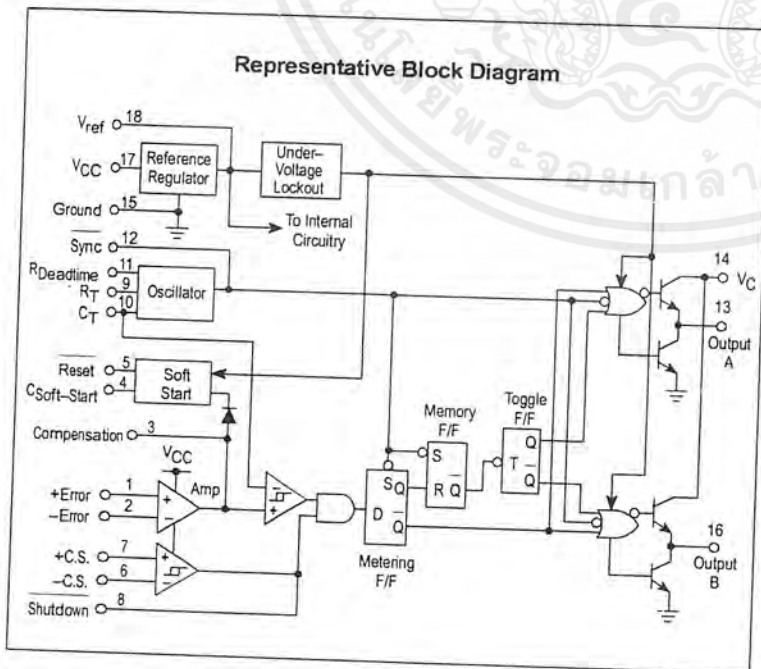
Pulse Width Modulation Control Circuit

The SG3526 is a high performance pulse width modulator integrated circuit intended for fixed frequency switching regulators and other power control applications.

Functions included in this IC are a temperature compensated voltage reference, sawtooth oscillator, error amplifier, pulse width modulator, pulse metering and steering logic, and two high current totem pole outputs ideally suited for driving the capacitance of power FETs at high speeds.

Additional protective features include soft start and undervoltage lockout, digital current limiting, double pulse inhibit, adjustable dead time and a data latch for single pulse metering. All digital control ports are TTL and B-series CMOS compatible. Active low logic design allows easy wired-OR connections for maximum flexibility. The versatility of this device enables implementation in single-ended or push-pull switching regulators that are transformerless or transformer coupled. The SG3526 is specified over a junction temperature range of 0° to +125°C.

- 8.0 V to 35 V Operation
- 5.0 V $\pm 1\%$ Trimmed Reference
- 1.0 Hz to 400 kHz Oscillator Range
- Dual Source/Sink Current Outputs: ± 100 mA
- Digital Current Limiting
- Programmable Dead Time
- Undervoltage Lockout
- Single Pulse Metering
- Programmable Soft-Start
- Wide Current Limit Common Mode Range
- Guaranteed 6 Unit Synchronization



SG3526

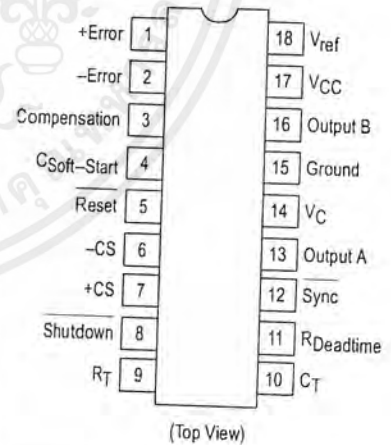
PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUIT

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA



N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 707

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

| Device | Operating Temperature Range | Package |
|---------|---|-------------|
| SG3526N | $T_J = 0^\circ \text{ to } +125^\circ \text{C}$ | Plastic DIP |

SG3526

MAXIMUM RATINGS (Note 1)

| Rating | Symbol | Value | Unit |
|---|-----------------|------------------|--------------------|
| Supply Voltage | V_{CC} | +40 | Vdc |
| Collector Supply Voltage | V_C | +40 | Vdc |
| Logic Inputs | | -0.3 to +5.5 | V |
| Analog Inputs | | -0.3 to V_{CC} | V |
| Output Current, Source or Sink | I_O | ± 200 | mA |
| Reference Load Current ($V_{CC} = 40$ V, Note 2) | I_{ref} | 50 | mA |
| Logic Sink Current | | 15 | mA |
| Power Dissipation $T_A = +25^\circ\text{C}$ (Note 3) $T_C = +25^\circ\text{C}$ (Note 4) | P_D | 1000 3000 | mW |
| Thermal Resistance Junction-to-Air | $R_{\theta JA}$ | 100 | $^\circ\text{C/W}$ |
| Thermal Resistance Junction-to-Case | $R_{\theta JC}$ | 42 | $^\circ\text{C/W}$ |
| Operating Junction Temperature | T_J | +150 | $^\circ\text{C}$ |
| Storage Temperature Range | T_{stg} | -65 to +150 | $^\circ\text{C}$ |
| Lead Temperature (Soldering, 10 Seconds) | T_{Solder} | ± 300 | $^\circ\text{C}$ |

- NOTES:** 1. Values beyond which damage may occur.
 2. Maximum junction temperature must be observed.
 3. Derate at 10 mW/ $^\circ\text{C}$ for ambient temperatures above +50 $^\circ\text{C}$.
 4. Derate at 24 mW/ $^\circ\text{C}$ for case temperatures above +25 $^\circ\text{C}$.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

| Characteristics | Symbol | Min | Max | Unit |
|--|-----------|-------|-----------|------------------|
| Supply Voltage | V_{CC} | 8.0 | 35 | Vdc |
| Collector Supply Voltage | V_C | 4.5 | 35 | Vdc |
| Output Sink/Source Current (Each Output) | I_O | 0 | ± 100 | mA |
| Reference Load Current | I_{ref} | 0 | 20 | mA |
| Oscillator Frequency Range | f_{osc} | 0.001 | 400 | kHz |
| Oscillator Timing Resistor | R_T | 2.0 | 150 | k Ω |
| Oscillator Timing Capacitor | C_T | 0.001 | 20 | μF |
| Available Deadtime Range (40 kHz) | - | 3.0 | 50 | % |
| Operating Junction Temperature Range | T_J | 0 | +125 | $^\circ\text{C}$ |

SG3526

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = +15\text{ Vdc}$, $T_J = T_{low}$ to T_{high} [Note 5], unless otherwise noted.)

| Characteristics | Symbol | Min | Typ | Max | Unit |
|--|--|------|-----------|-----------|------|
| REFERENCE SECTION (Note 6) | | | | | |
| Reference Output Voltage ($T_J = +25^\circ\text{C}$) | V_{ref} | 4.90 | 5.00 | 5.10 | V |
| Line Regulation ($+8.0\text{ V} \leq V_{CC} \leq +35\text{ V}$) | Reg_{line} | - | 10 | 30 | mV |
| Load Regulation ($0\text{ mA} \leq I_L \leq 20\text{ mA}$) | Reg_{load} | - | 10 | 50 | mV |
| Temperature Stability | $\Delta V_{ref}/\Delta T$ | - | 10 | - | mV |
| Total Reference Output Voltage Variation ($+8.0\text{ V} \leq V_{CC} \leq +35\text{ V}$, $0\text{ mA} \leq I_L \leq 20\text{ mA}$) | ΔV_{ref} | 4.85 | 5.00 | 5.15 | V |
| Short Circuit Current ($V_{ref} = 0\text{ V}$) (Note 2) | I_{SC} | 25 | 80 | 125 | mA |
| UNDERVOLTAGE LOCKOUT | | | | | |
| Reset Output Voltage ($V_{ref} = +3.8\text{ V}$) | | - | 0.2 | 0.4 | V |
| Reset Output Voltage ($V_{ref} = +4.8\text{ V}$) | | 2.4 | 4.8 | - | V |
| OSCILLATOR SECTION (Note 7) | | | | | |
| Initial Accuracy ($T_J = +25^\circ\text{C}$) | | - | ± 3.0 | ± 8.0 | % |
| Frequency Stability over Power Supply Range ($+8.0\text{ V} \leq V_{CC} \leq +35\text{ V}$) | $\frac{\Delta f_{osc}}{\Delta V_{CC}}$ | - | 0.5 | 1.0 | % |
| Frequency Stability over Temperature ($\Delta T_J = T_{low}$ to T_{high}) | $\frac{\Delta f_{osc}}{\Delta T_J}$ | - | 2.0 | - | % |
| Minimum Frequency ($R_T = 150\text{ k}\Omega$, $C_T = 20\text{ }\mu\text{F}$) | f_{min} | - | 0.5 | - | Hz |
| Maximum Frequency ($R_T = 2.0\text{ k}\Omega$, $C_T = 0.001\text{ }\mu\text{F}$) | f_{max} | 400 | - | - | kHz |
| Sawtooth Peak Voltage ($V_{CC} = +35\text{ V}$) | $V_{osc(P)}$ | - | 3.0 | 3.5 | V |
| Sawtooth Valley Voltage ($V_{CC} = +8.0\text{ V}$) | $V_{osc(V)}$ | 0.45 | 0.8 | - | V |
| ERROR AMPLIFIER SECTION (Note 8) | | | | | |
| Input Offset Voltage ($R_S \leq 2.0\text{ k}\Omega$) | V_{IO} | - | 2.0 | 10 | mV |
| Input Bias Current | I_{IB} | - | -350 | -2000 | nA |
| Input Offset Current | I_{IO} | - | 35 | 200 | nA |
| DC Open Loop Gain ($R_L \geq 10\text{ M}\Omega$) | A_{VOL} | 60 | 72 | - | dB |
| High Output Voltage ($V_{Pin 1} - V_{Pin 2} \geq +150\text{ mV}$, $I_{source} = 100\text{ }\mu\text{A}$) | V_{OH} | 3.6 | 4.2 | - | V |
| Low Output Voltage ($V_{Pin 2} - V_{Pin 1} \geq +150\text{ mV}$, $I_{sink} = 100\text{ }\mu\text{A}$) | V_{OL} | - | 0.2 | 0.4 | V |
| Common Mode Rejection Ratio ($R_S \leq 2.0\text{ k}\Omega$) | CMRR | 70 | 94 | - | dB |
| Power Supply Rejection Ratio ($+12\text{ V} \leq V_{CC} \leq +18\text{ V}$) | PSRR | 66 | 80 | - | dB |

NOTES: 2. Maximum junction temperature must be observed.
 5. $T_{low} = 0^\circ\text{C}$ $T_{high} = +125^\circ\text{C}$
 6. $I_L = 0\text{ mA}$ unless otherwise noted.
 7. $f_{osc} = 40\text{ kHz}$ ($R_T = 4.12\text{ k}\Omega \pm 1\%$, $C_T = 0.01\text{ }\mu\text{F} \pm 1\%$, $R_D = 0\text{ }\Omega$)
 8. $0\text{ V} \leq V_{CM} \leq +5.2\text{ V}$.

SG3526

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

| Characteristics | Symbol | Min | Typ | Max | Unit |
|---|------------------------------------|------------|--------------|--------------|---------------|
| PWM COMPARATOR SECTION (Note 7) | | | | | |
| Minimum Duty Cycle ($V_{\text{Compensation}} = +0.4 \text{ V}$) | DC_{min} | – | – | 0 | % |
| Maximum Duty Cycle ($V_{\text{Compensation}} = +3.6 \text{ V}$) | DC_{max} | 45 | 49 | – | % |
| DIGITAL PORTS (SYNC, SHUTDOWN, RESET) | | | | | |
| Output Voltage (High Logic Level) ($I_{\text{source}} = 40 \mu\text{A}$) (Low Logic Level) ($I_{\text{sink}} = 3.6 \text{ mA}$) | V_{OH} V_{OL} | 2.4 – | 4.0 0.2 | – 0.4 | V |
| Input Current — High Logic Level (High Logic Level) ($V_{\text{IH}} = +2.4 \text{ V}$) (Low Logic Level) ($V_{\text{IL}} = +0.4 \text{ V}$) | I_{IH} I_{IL} | – – | –125 –225 | –200 –360 | μA |
| CURRENT LIMIT COMPARATOR SECTION (Note 9) | | | | | |
| Sense Voltage ($R_{\text{S}} \leq 50 \Omega$) | V_{sense} | 80 | 100 | 120 | mA |
| Input Bias Current | I_{IB} | – | –3.0 | –10 | μA |
| SOFT-START SECTION | | | | | |
| Error Clamp Voltage (Reset = +0.4 V) | | – | 0.1 | 0.4 | V |
| CSoft-Start Charging Current (Reset = +2.4 V) | I_{CS} | 50 | 100 | 150 | μA |
| OUTPUT DRIVERS (Each Output, $V_{\text{C}} = +15 \text{ Vdc}$, unless otherwise noted.) | | | | | |
| Output High Level $I_{\text{source}} = 20 \text{ mA}$ $I_{\text{source}} = 100 \text{ mA}$ | V_{OH} | 12.5 12 | 13.5 13 | – – | V |
| Output Low Level $I_{\text{sink}} = 20 \text{ mA}$ $I_{\text{sink}} = 100 \text{ mA}$ | V_{OL} | – – | 0.2 1.2 | 0.3 2.0 | V |
| Collector Leakage, $V_{\text{C}} = +40 \text{ V}$ | $I_{\text{C(leak)}}$ | – | 50 | 150 | μA |
| Rise Time ($C_{\text{L}} = 1000 \text{ pF}$) | t_{r} | – | 0.3 | 0.6 | μs |
| Fall Time ($C_{\text{L}} = 1000 \text{ pF}$) | t_{f} | – | 0.1 | 0.2 | μs |
| Supply Current (Shutdown = +0.4 V, $V_{\text{CC}} = +35 \text{ V}$, $R_{\text{T}} = 4.12 \text{ k}\Omega$) | I_{CC} | – | 18 | 30 | mA |

NOTES: 7. $f_{\text{osc}} = 40 \text{ kHz}$ ($R_{\text{T}} = 4.12 \text{ k}\Omega \pm 1\%$, $C_{\text{T}} = 0.01 \mu\text{F} \pm 1\%$, $R_{\text{D}} = 0 \Omega$)
 8. $0 \text{ V} \leq V_{\text{CM}} \leq +5.2 \text{ V}$
 9. $0 \text{ V} \leq V_{\text{CM}} \leq +12 \text{ V}$

Figure 1. Reference Stability over Temperature

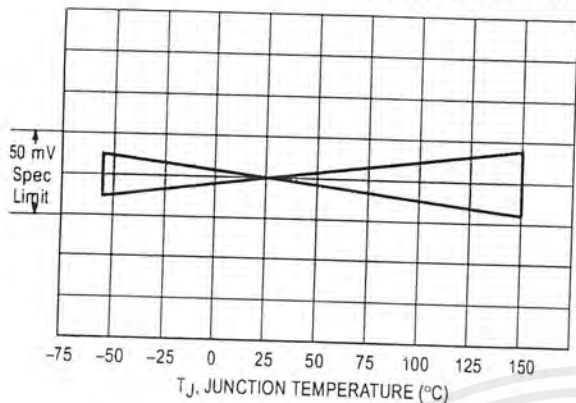


Figure 2. Reference Voltage as a Function Supply Voltage

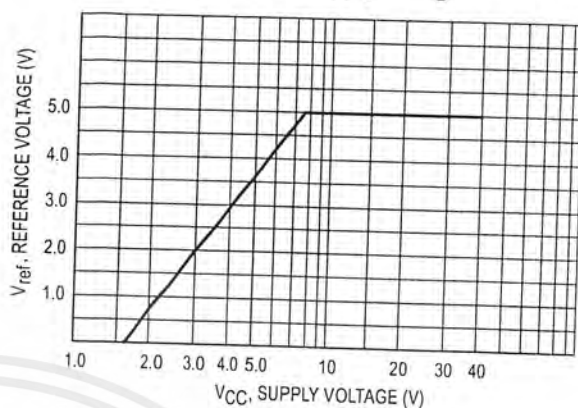


Figure 3. Error Amplifier Open Loop Frequency Response

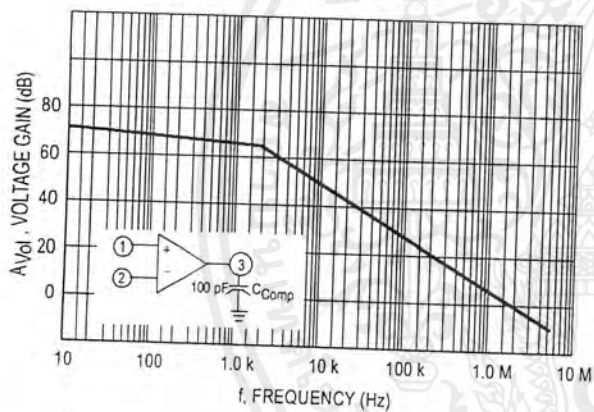


Figure 4. Current Limit Comparator Threshold

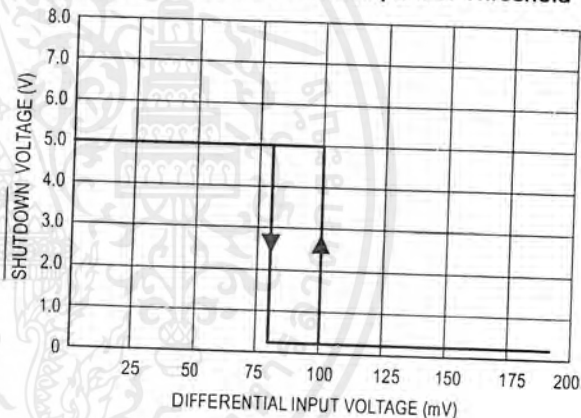


Figure 5. Undervoltage Lockout Characteristic

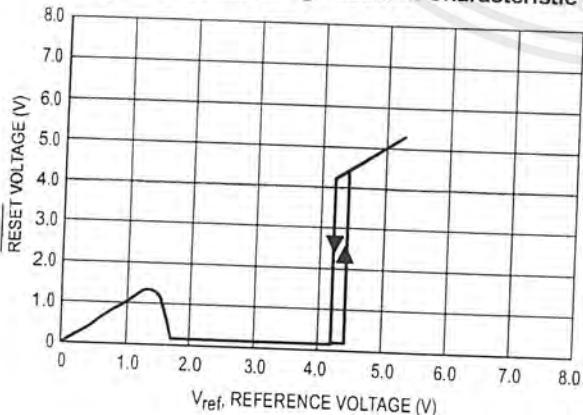


Figure 6. Output Driver Saturation Voltage as a Function of Sink Current

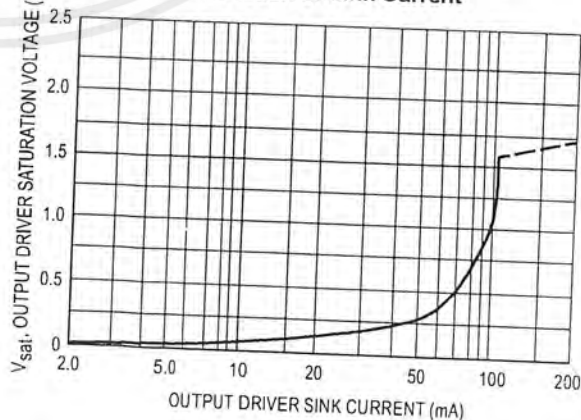


Figure 7. V_C Saturation Voltage as a Function of Sink Current

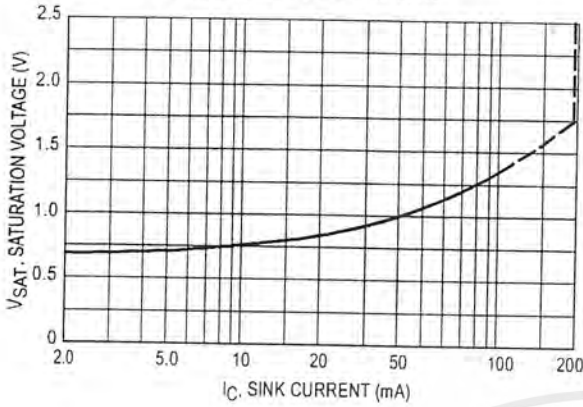


Figure 8. Oscillator Period

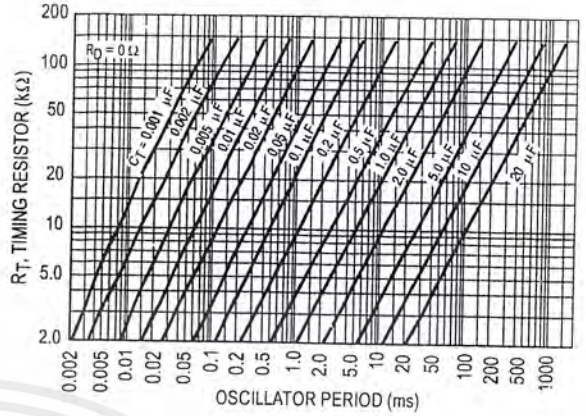


Figure 9. Error Amplifier

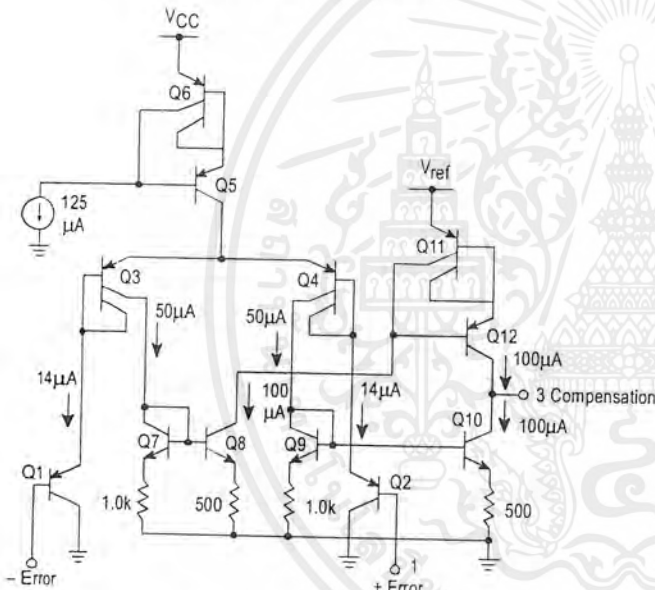


Figure 10. Undervoltage Lockout

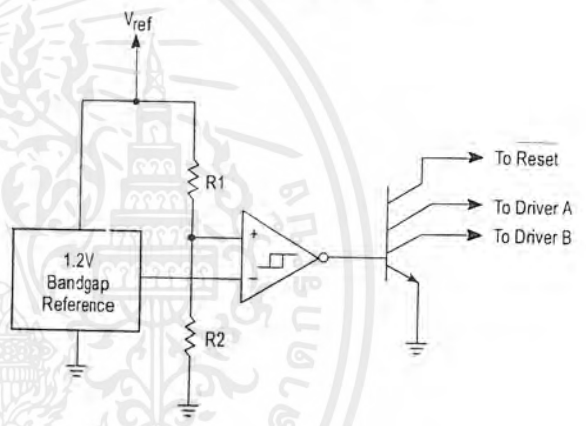
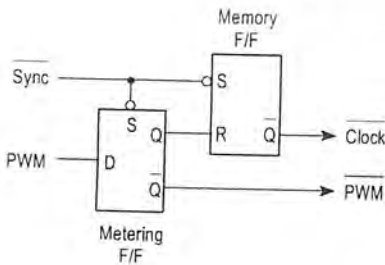


Figure 11. Pulse Processing Logic



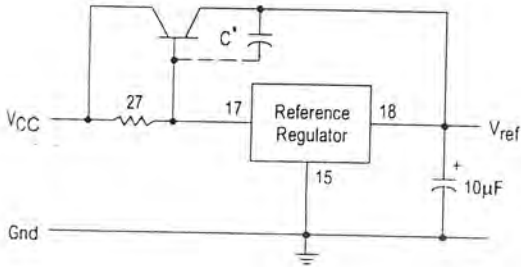
The metering Flip-Flop is an asynchronous data latch which suppresses high frequency oscillations by allowing only one PWM pulse per oscillator cycle.

The memory Flip-Flop prevents double pulsing in a push-pull configuration by remembering which output produced the last pulse.

SG3526

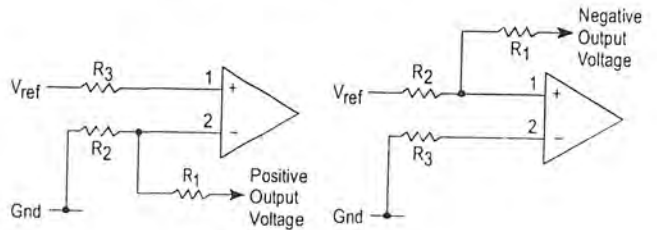
APPLICATIONS INFORMATION

Figure 12. Extending Reference Output Current Capability



* May be required with some types of transistors

Figure 13. Error Amplifier Connections



$$V_{out} = V_{ref} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right)$$

$$V_{out} = V_{ref} \left(\frac{R_1}{R_2} \right)$$

$$R_3 = \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

Figure 14. Oscillator Connections

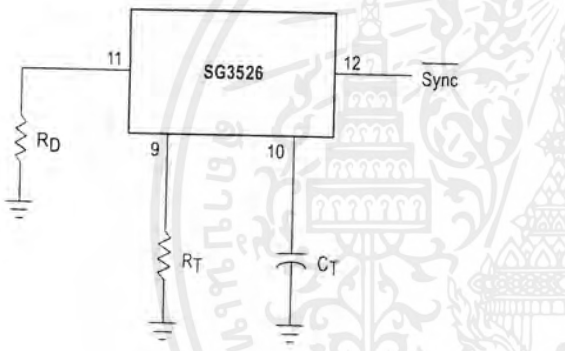
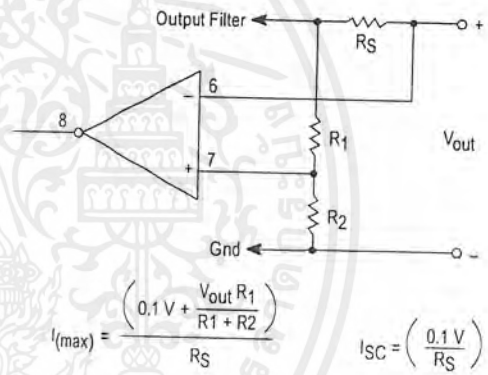


Figure 15. Foldback Current Limiting



$$I_{(max)} = \frac{(0.1 V + \frac{V_{out} R_1}{R_1 + R_2})}{R_S}$$

$$I_{SC} = \left(\frac{0.1 V}{R_S} \right)$$

Figure 16. Soft-Start Circuitry

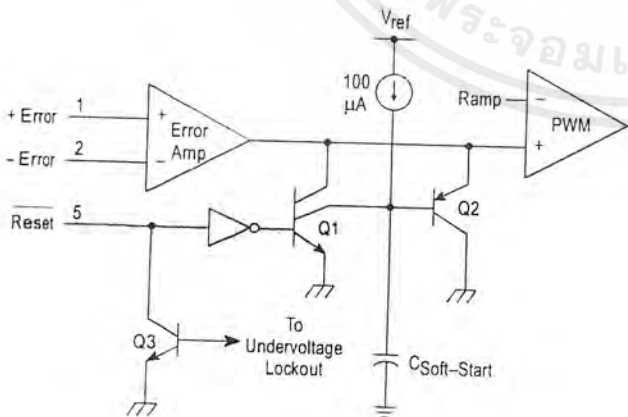
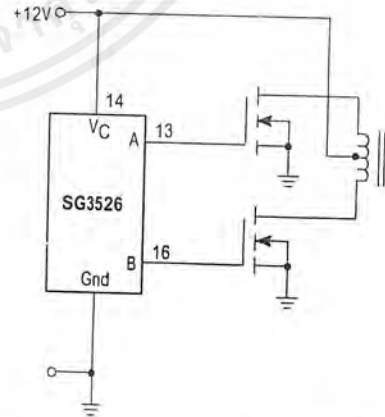


Figure 17. Driving VMOS Power FETs



The totem pole output drivers of the SG3526 are ideally suited for driving the input capacitance of power FETs at high speeds.

Figure 18. Half-Bridge Configuration

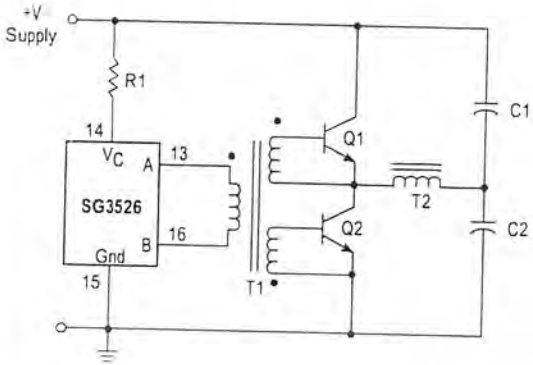
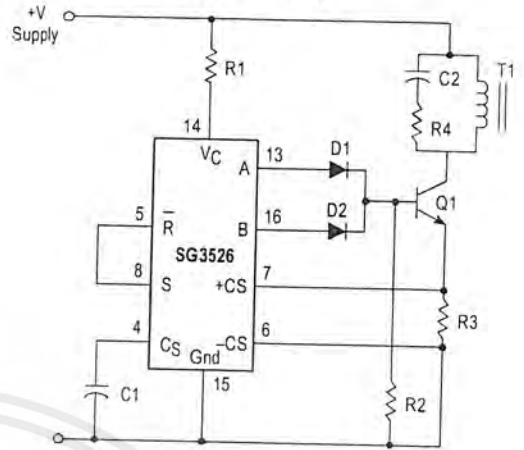


Figure 19. Flyback Converter with Current Limiting



In the above circuit, current limiting is accomplished by using the current limit comparator output to reset the soft-start capacitor.

Figure 20. Single-Ended Configuration

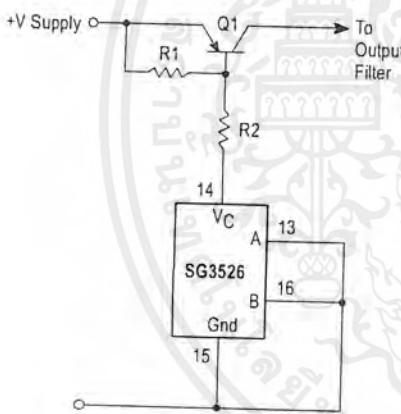
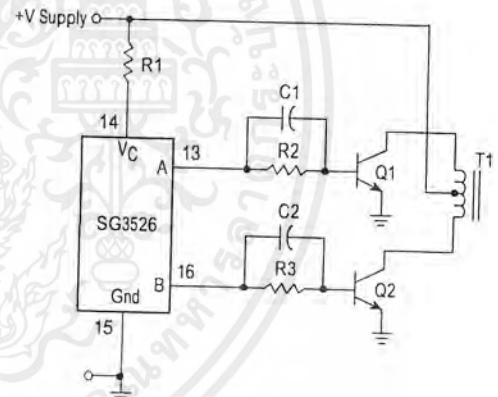


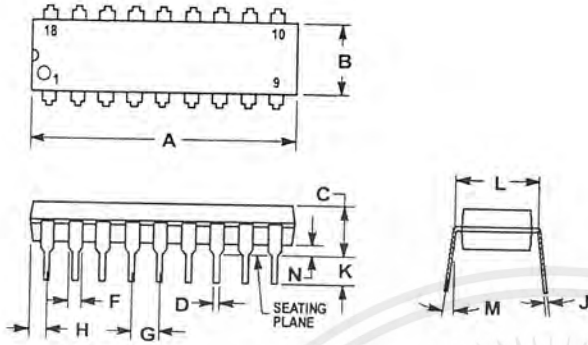
Figure 21. Push-Pull Configuration



SG3526

OUTLINE DIMENSIONS

N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 707-02
ISSUE C



NOTES:

1. POSITIONAL TOLERANCE OF LEADS (D), SHALL BE WITHIN 0.25 (0.010) AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION, IN RELATION TO SEATING PLANE AND EACH OTHER.
2. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
3. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.

| DIM | MILLIMETERS | | INCHES | |
|-----|-------------|-------|-----------|-------|
| | MIN | MAX | MIN | MAX |
| A | 22.22 | 23.24 | 0.875 | 0.915 |
| B | 6.10 | 6.60 | 0.240 | 0.260 |
| C | 3.56 | 4.57 | 0.140 | 0.180 |
| D | 0.36 | 0.56 | 0.014 | 0.022 |
| F | 1.27 | 1.78 | 0.050 | 0.070 |
| G | 2.54 BSC | | 0.100 BSC | |
| H | 1.02 | 1.52 | 0.040 | 0.060 |
| J | 0.20 | 0.30 | 0.008 | 0.012 |
| K | 2.92 | 3.43 | 0.115 | 0.135 |
| L | 7.62 BSC | | 0.300 BSC | |
| M | 0° | 15° | 0° | 15° |
| N | 0.51 | 1.02 | 0.020 | 0.040 |

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

1 FEATURES

- Single power supply
- Operating supply voltage 2.5 V to 6 V
- Low standby current
- Serial input/output via I²C-bus
- Address by 3 hardware address pins
- Sampling rate given by I²C-bus speed
- 4 analog inputs programmable as single-ended or differential inputs
- Auto-incremented channel selection
- Analog voltage range from V_{SS} to V_{DD}
- On-chip track and hold circuit
- 8-bit successive approximation A/D conversion
- Multiplying DAC with one analog output.

2 APPLICATIONS

- Closed loop control systems
- Low power converter for remote data acquisition
- Battery operated equipment
- Acquisition of analog values in automotive, audio and TV applications.

4 ORDERING INFORMATION

| TYPE NUMBER | PACKAGE | | |
|-------------|---------|---|----------|
| | NAME | DESCRIPTION | VERSION |
| PCA8591P | DIP16 | plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil); long body | SOT38-1 |
| PCA8591T | SO16 | plastic small outline package; 16 leads; body width 7.5 mm | SOT162-1 |



3 GENERAL DESCRIPTION

The PCF8591 is a single-chip, single-supply low power 8-bit CMOS data acquisition device with four analog inputs, one analog output and a serial I²C-bus interface. Three address pins A0, A1 and A2 are used for programming the hardware address, allowing the use of up to eight devices connected to the I²C-bus without additional hardware. Address, control and data to and from the device are transferred serially via the two-line bidirectional I²C-bus.

The functions of the device include analog input multiplexing, on-chip track and hold function, 8-bit analog-to-digital conversion and an 8-bit digital-to-analog conversion. The maximum conversion rate is given by the maximum speed of the I²C-bus.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

5 BLOCK DIAGRAM

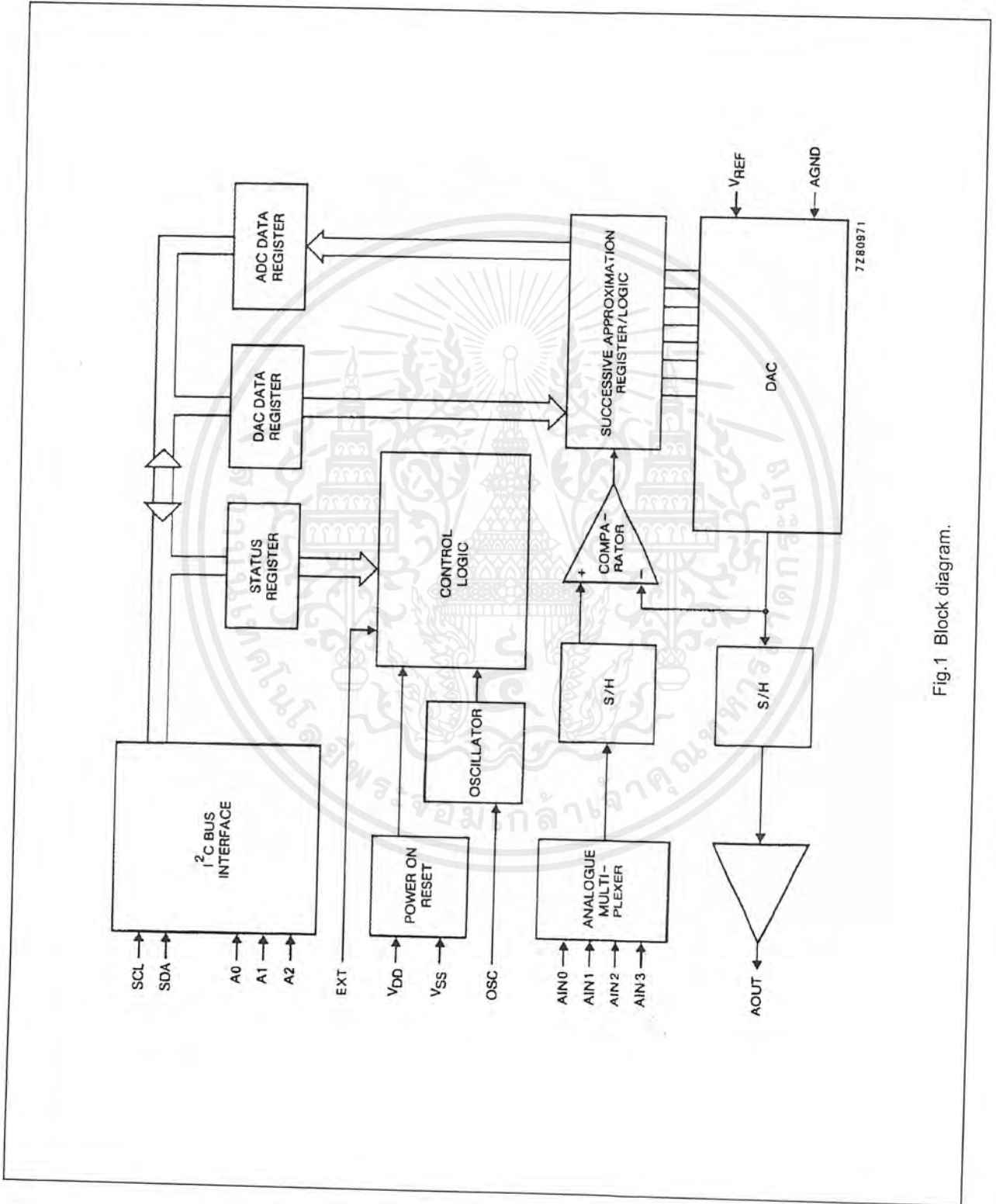


Fig.1 Block diagram.

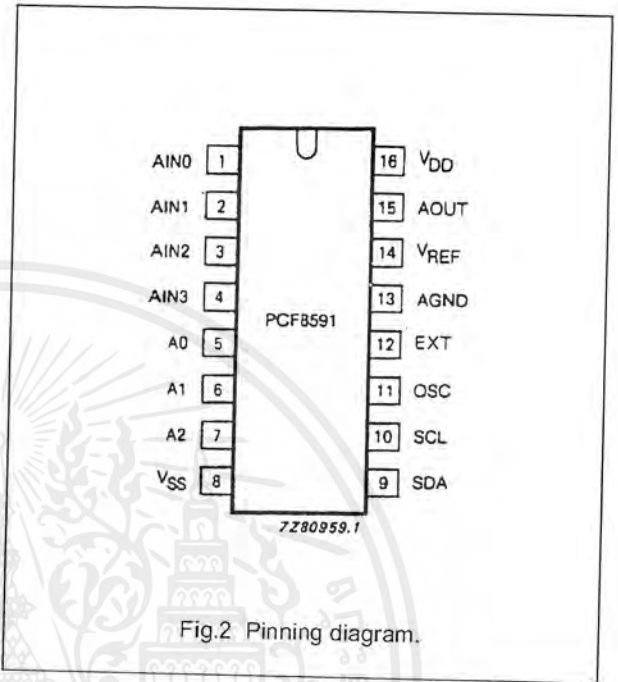
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

6 PINNING

| SYMBOL | PIN | DESCRIPTION |
|------------------|-----|---|
| AINO | 1 | analog inputs (A/D converter) |
| AIN1 | 2 | |
| AIN2 | 3 | |
| AIN3 | 4 | |
| A0 | 5 | hardware address |
| A1 | 6 | |
| A2 | 7 | |
| V _{SS} | 8 | negative supply voltage |
| SDA | 9 | I ² C-bus data input/output |
| SCL | 10 | I ² C-bus clock input |
| OSC | 11 | oscillator input/output |
| EXT | 12 | external/internal switch for oscillator input |
| AGND | 13 | analog ground |
| V _{REF} | 14 | voltage reference input |
| AOUT | 15 | analog output (D/A converter) |
| V _{DD} | 16 | positive supply voltage |



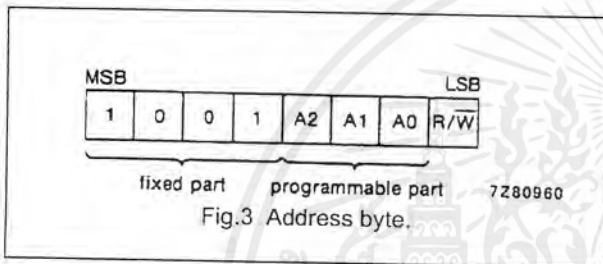
8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

7 FUNCTIONAL DESCRIPTION

7.1 Addressing

Each PCF8591 device in an I²C-bus system is activated by sending a valid address to the device. The address consists of a fixed part and a programmable part. The programmable part must be set according to the address pins A0, A1 and A2. The address always has to be sent as the first byte after the start condition in the I²C-bus protocol. The last bit of the address byte is the read/write-bit which sets the direction of the following data transfer (see Figs 3, 15 and 16).



7.2 Control byte

The second byte sent to a PCF8591 device will be stored in its control register and is required to control the device function.

The upper nibble of the control register is used for enabling the analog output, and for programming the analog inputs as single-ended or differential inputs. The lower nibble selects one of the analog input channels defined by the upper nibble (see Fig.4). If the auto-increment flag is set the channel number is incremented automatically after each A/D conversion.

If the auto-increment mode is desired in applications where the internal oscillator is used, the analog output enable flag in the control byte (bit 6) should be set. This allows the internal oscillator to run continuously, thereby preventing conversion errors resulting from oscillator start-up delay. The analog output enable flag may be reset at other times to reduce quiescent power consumption.

The selection of a non-existing input channel results in the highest available channel number being allocated. Therefore, if the auto-increment flag is set, the next selected channel will be always channel 0. The most significant bits of both nibbles are reserved for future functions and have to be set to 0. After a Power-on reset condition all bits of the control register are reset to 0. The D/A converter and the oscillator are disabled for power saving. The analog output is switched to a high-impedance state.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

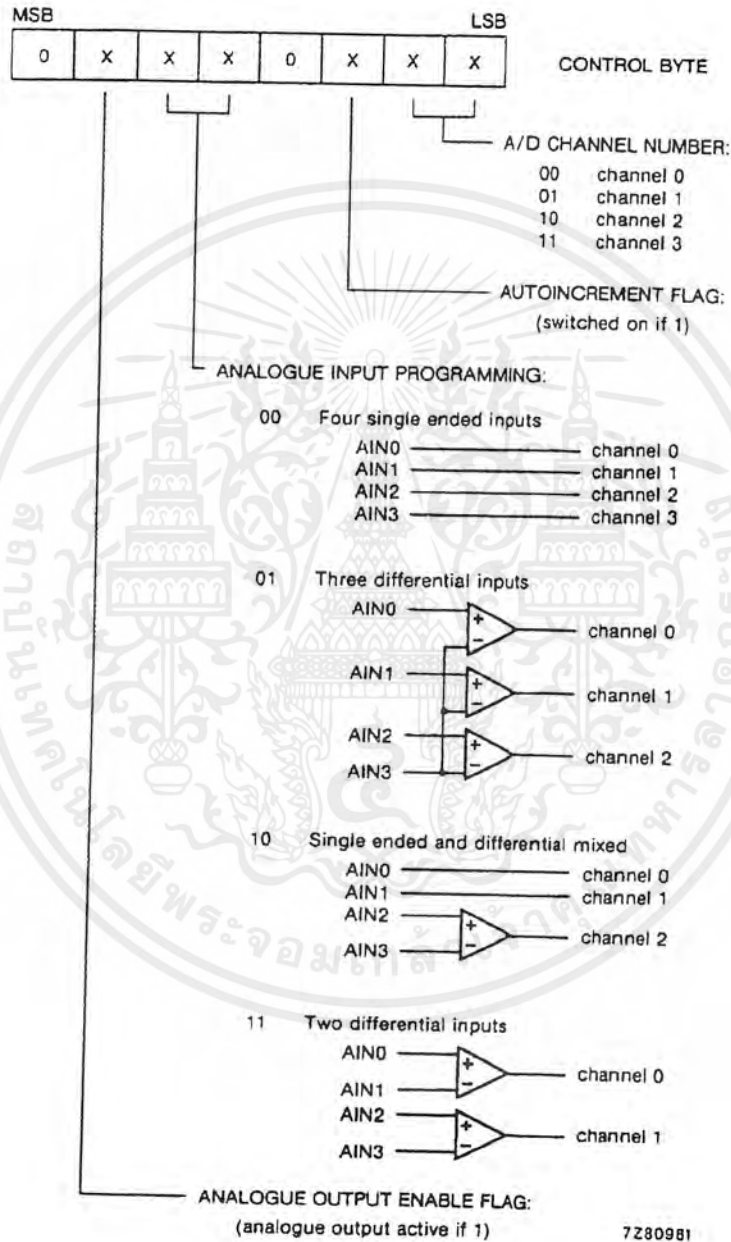


Fig.4 Control byte.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

7.3 D/A conversion

The third byte sent to a PCF8591 device is stored in the DAC data register and is converted to the corresponding analog voltage using the on-chip D/A converter. This D/A converter consists of a resistor divider chain connected to the external reference voltage with 256 taps and selection switches. The tap-decoder switches one of these taps to the DAC output line (see Fig.5).

The analog output voltage is buffered by an auto-zeroed unity gain amplifier. This buffer amplifier may be switched on or off by setting the analog output enable flag of the control register. In the active state the output voltage is held until a further data byte is sent.

The on-chip D/A converter is also used for successive approximation A/D conversion. In order to release the DAC for an A/D conversion cycle the unity gain amplifier is equipped with a track and hold circuit. This circuit holds the output voltage while executing the A/D conversion.

The output voltage supplied to the analog output AOUT is given by the formula shown in Fig.6. The waveforms of a D/A conversion sequence are shown in Fig.7.

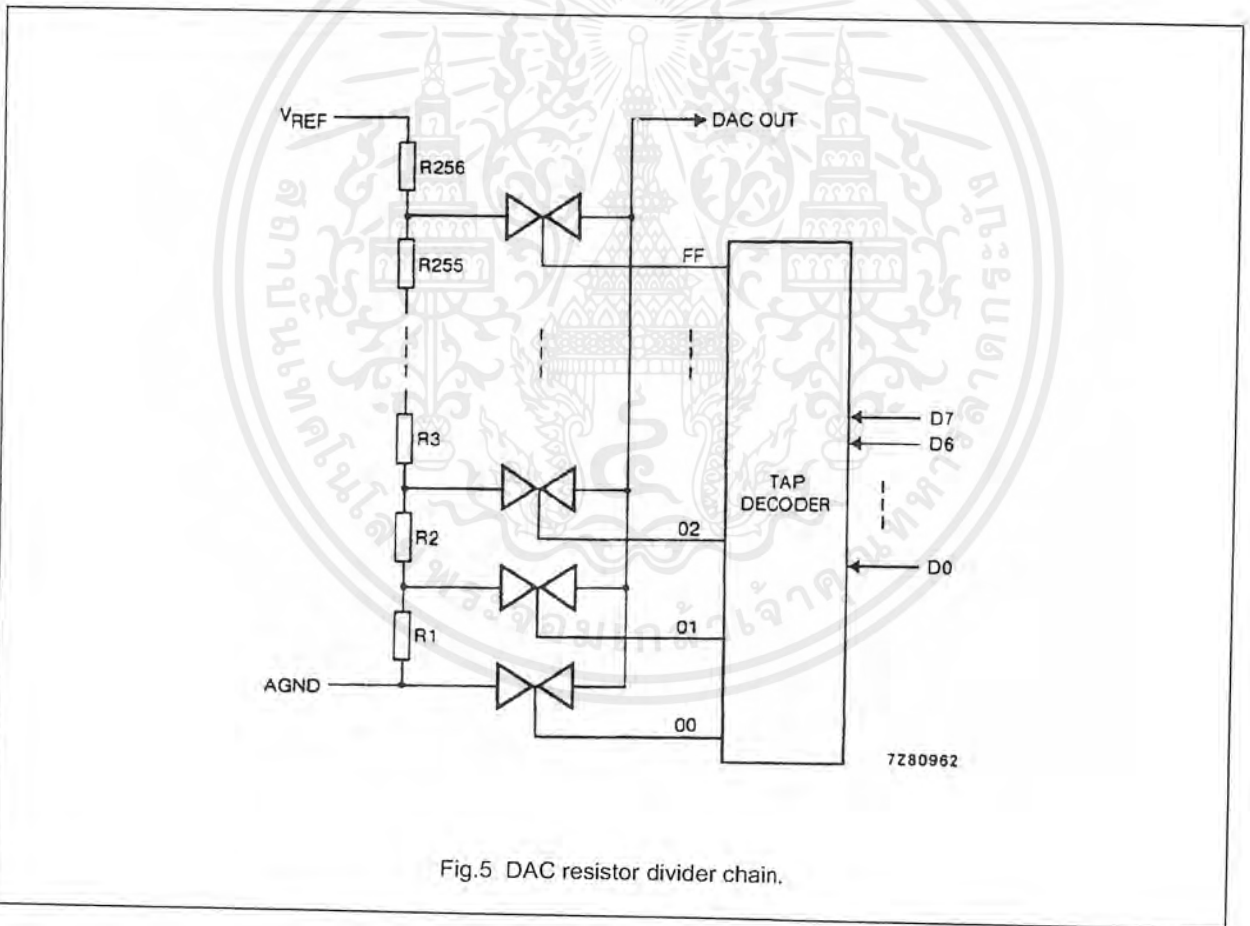


Fig.5 DAC resistor divider chain.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

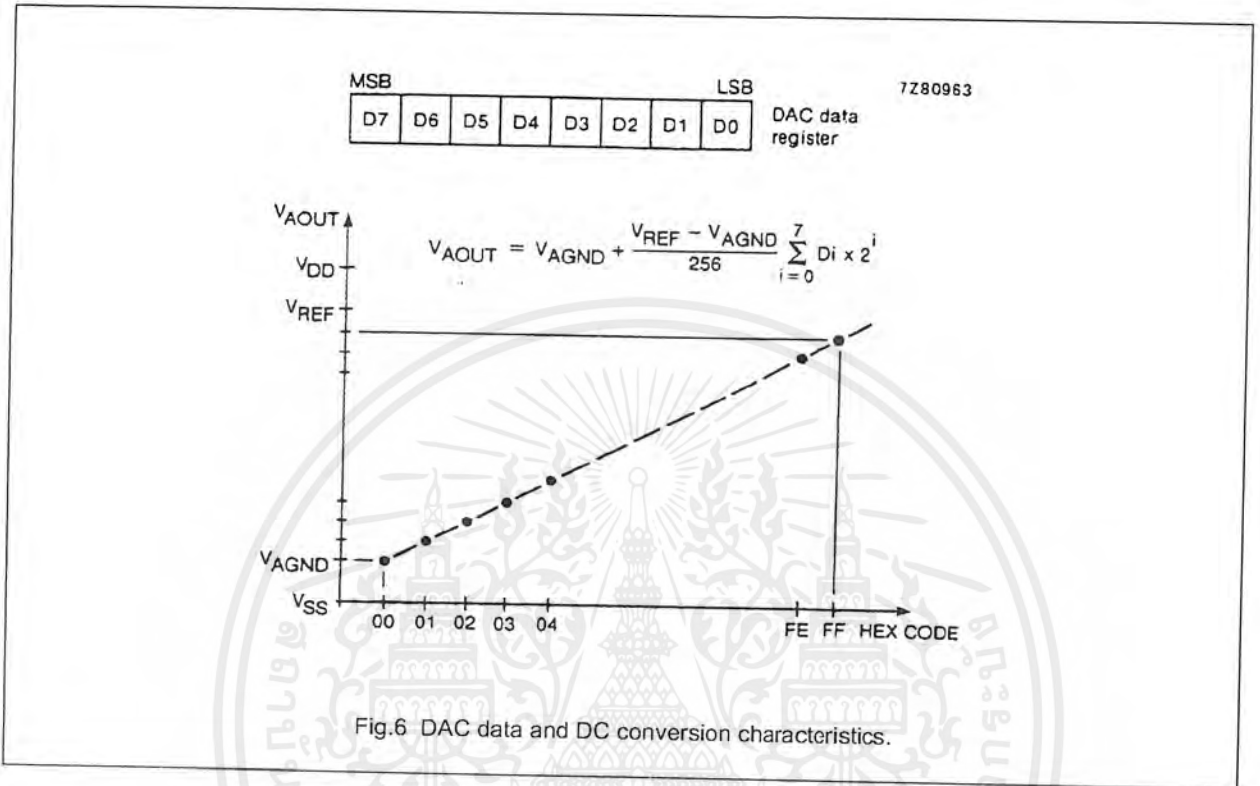


Fig.6 DAC data and DC conversion characteristics.

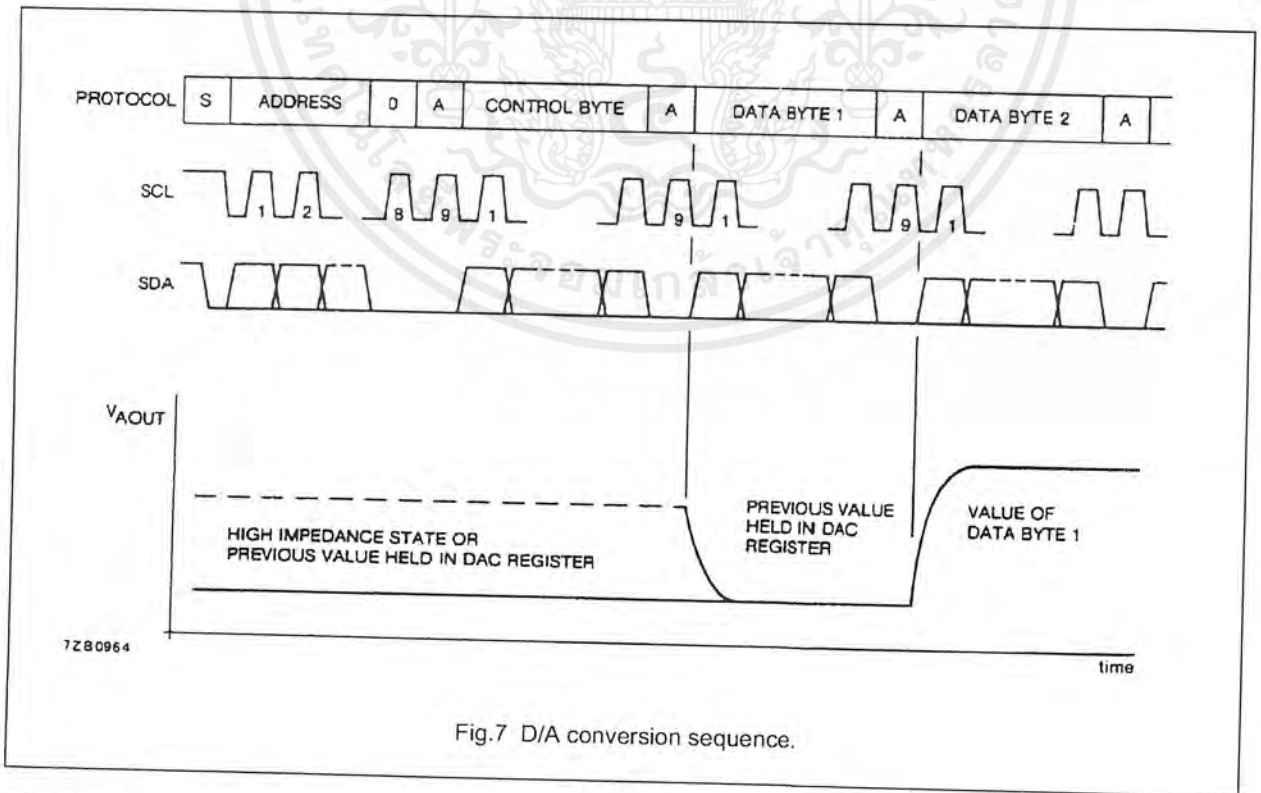


Fig.7 D/A conversion sequence.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

7.4 A/D conversion

The A/D converter makes use of the successive approximation conversion technique. The on-chip D/A converter and a high-gain comparator are used temporarily during an A/D conversion cycle.

An A/D conversion cycle is always started after sending a valid read mode address to a PCF8591 device. The A/D conversion cycle is triggered at the trailing edge of the acknowledge clock pulse and is executed while transmitting the result of the previous conversion (see Fig.8).

Once a conversion cycle is triggered an input voltage sample of the selected channel is stored on the chip and is converted to the corresponding 8-bit binary code. Samples picked up from differential inputs are converted to an 8-bit two's complement code (see Figs 9 and 10).

The conversion result is stored in the ADC data register and awaits transmission. If the auto-increment flag is set the next channel is selected.

The first byte transmitted in a read cycle contains the conversion result code of the previous read cycle. After a Power-on reset condition the first byte read is a hexadecimal 80. The protocol of an I²C-bus read cycle is shown in Chapter 8, Figs 15 and 16.

The maximum A/D conversion rate is given by the actual speed of the I²C-bus.

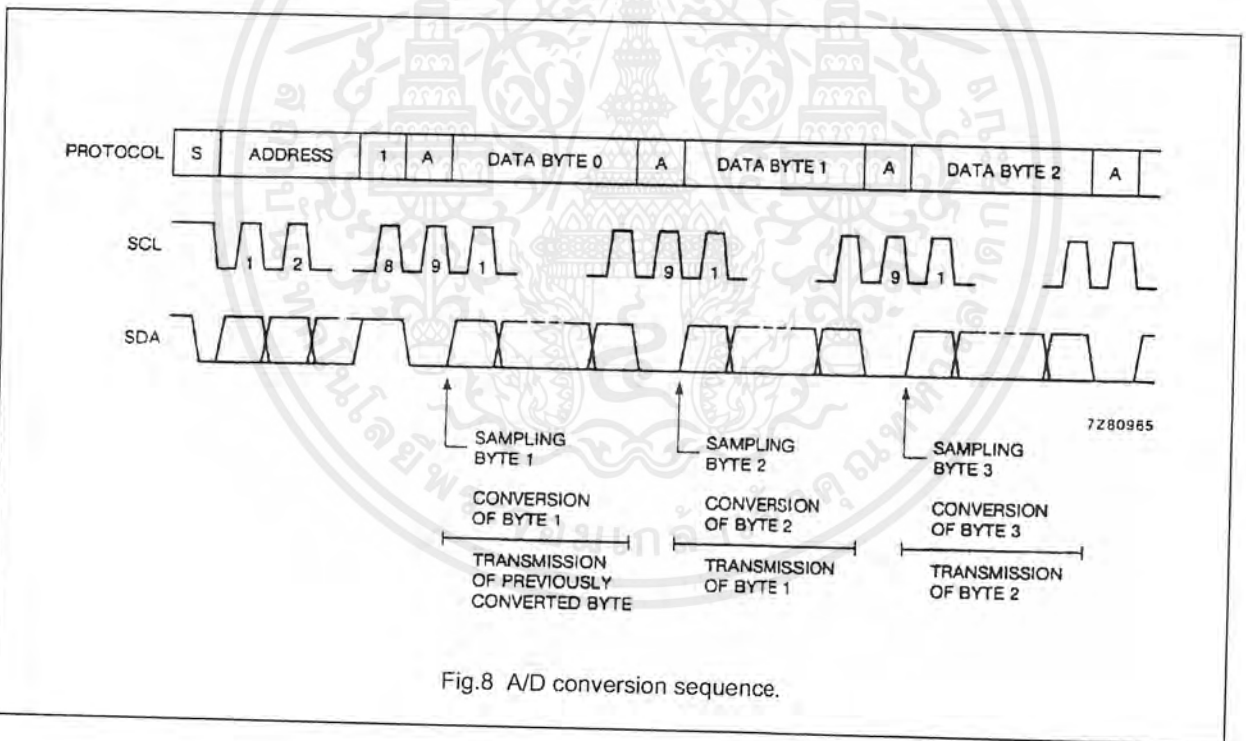


Fig.8 A/D conversion sequence.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

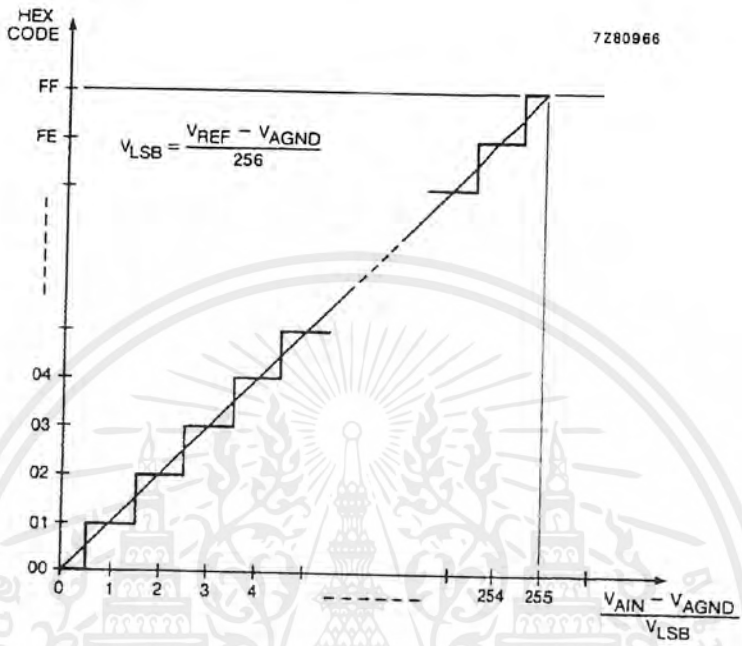


Fig.9 A/D conversion characteristics of single-ended inputs.

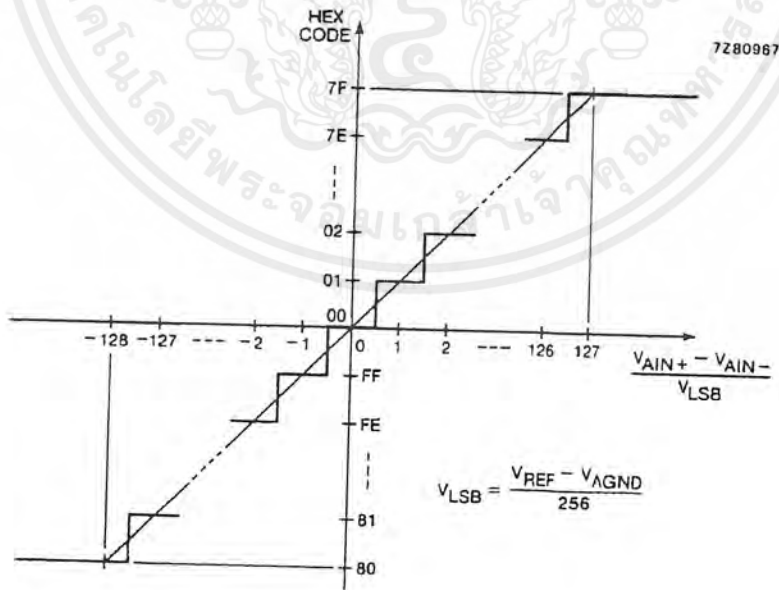


Fig.10 A/D conversion characteristics of differential inputs.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

7.5 Reference voltage

For the D/A and A/D conversion either a stable external voltage reference or the supply voltage has to be applied to the resistor divider chain (pins V_{REF} and AGND). The AGND pin has to be connected to the system analog ground and may have a DC off-set with reference to V_{SS} .

A low frequency may be applied to the V_{REF} and AGND pins. This allows the use of the D/A converter as a one-quadrant multiplier; see Chapter 15 and Fig.6.

The A/D converter may also be used as a one or two quadrant analog divider. The analog input voltage is divided by the reference voltage. The result is converted to a binary code. In this application the user has to keep the reference voltage stable during the conversion cycle.

7.6 Oscillator

An on-chip oscillator generates the clock signal required for the A/D conversion cycle and for refreshing the auto-zeroed buffer amplifier. When using this oscillator the EXT pin has to be connected to V_{SS} . At the OSC pin the oscillator frequency is available.

If the EXT pin is connected to V_{DD} the oscillator output OSC is switched to a high-impedance state allowing the user to feed an external clock signal to OSC.



กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอย่างเป็นที่สุด บิดา มารดา ที่ให้ชีวิตกับข้าพเจ้าได้เติบโต และ โอกาสทางการศึกษา หรือแม้แต่ทุกสิ่งทุกอย่างที่จะให้ได้ บุญคุณสิ้นพันจะขอตอบแทนพระคุณไม่มี ที่สิ้นสุด ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.) ที่ให้ข้าพเจ้าได้มี โอกาสศึกษาในระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสำเร็จการศึกษา ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ผศ. พิชิต ถ้ายอง ในฐานะผู้ควบคุมปริญญาบัตรของข้าพเจ้า ที่ได้มอบหมายโครงการงานอัน เป็นประโยชน์อันนี้ คอยให้คำปรึกษาแนะนำแนวความคิดด้วยความเมตตาแก่ศิษย์เสมอมา ทั้งความรู้ในการปฏิบัติโครงการและสอดแทรกแนวความคิดปรัชญาในการดำรงชีวิตแก่ข้าพเจ้าได้ยึดถือ และประยุกต์ปฏิบัติใช้กับชีวิตของข้าพเจ้า ณ ปัจจุบันและอนาคตที่จะต้องออกไปเผชิญโลกภายนอกหลังจากสำเร็จการศึกษาได้อย่างดีเยี่ยม

นายณรงค์เดช ยะตาไสย์
นายธนารักษ์ แผงเพชร
นายนิพัฒน์ ไทรบุญจันทร์
นายปิติพรรณ รัชตะปิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ผศ. พิชิต ถ้ายอง “เครื่องจักรกลไฟฟ้า1” , ทฤษฎีตัวเหนี่ยวนำ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537
- [2] ผศ. ประภาส ไพรสุวรรณนา “Energy Conversion Technology” , ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่และการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543
- [3] บริษัท บีพี ไทยโซลาร์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด “ความรู้พื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์” , คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์, 2543
- [4] ชัยวัฒน์ ถิมพรจิตรวิไล “เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51” , ความรู้พื้นฐาน, การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ภายนอก, บ.อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด, 2542
- [5] Ned Mohan, TORE M. Undeland and William P. Robbins “Power Electronics”, Converters, Design, Switching Power Supply, 1995 by J.W. & Sons, Inc. New York,
- [6] John H.R. Enslin, Daniel B Snyman “Simplified Maximum Power Controller for PV Installations” IEEE , Dept of Electrical and Electronic Eng. University of Stellenbosch , South Africa
- [7] John H.R. Enslin, Daniel B Snyman “Integrated Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Converter” , IEEE Transactions On Industrial Electronics, Vol. 44, No. 6, December 1997
- [8] J. Michael Jacob “Industrial Control Electronics” ,Digital Control Algorithms, P.387-392, 1989 by Prentice-Hall, Inc. A Division of Simon & Schuster, Englewood Cliffs, NJ.
- [9] Jack Golten, Andy Verwer “Control System Design and Simulation” ,The Digital Three-term Controller, P.299-303, 1991 Published by McGraw-Hill Book Company Europe.
- [10] C.R. Sullivan and M.J. Powers “A High-Efficiency Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Arrays in a Solar-Power Race Vehicle” , IEEE PESC'93, 1993, pp.574-580
- [11] Chihchiang Hua and Chihming Shen “Control of DC/DC Converters for Solar Energy System with Maximum Power Tracking” , IEEE, 1997, National Yunlin University of Science & Technology, Taiwan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้