

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แผงเซลล์แสงอาทิตย์อัจฉริยะ

INTELLIGENT PHOTOVOLTAIC PANELS



T119551

โดย

นาย ปรัชญาพันธ์ เจริญสุรสกล

นาย สิทธิชัย หลิมสมบูรณ์

นาย สิทธิโชค สบายเมือง

รพ.
ร/48201
2553

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....119551
วัน,เดือน,ปี.....B.S.A. 2554.

b. 12361525
i.....

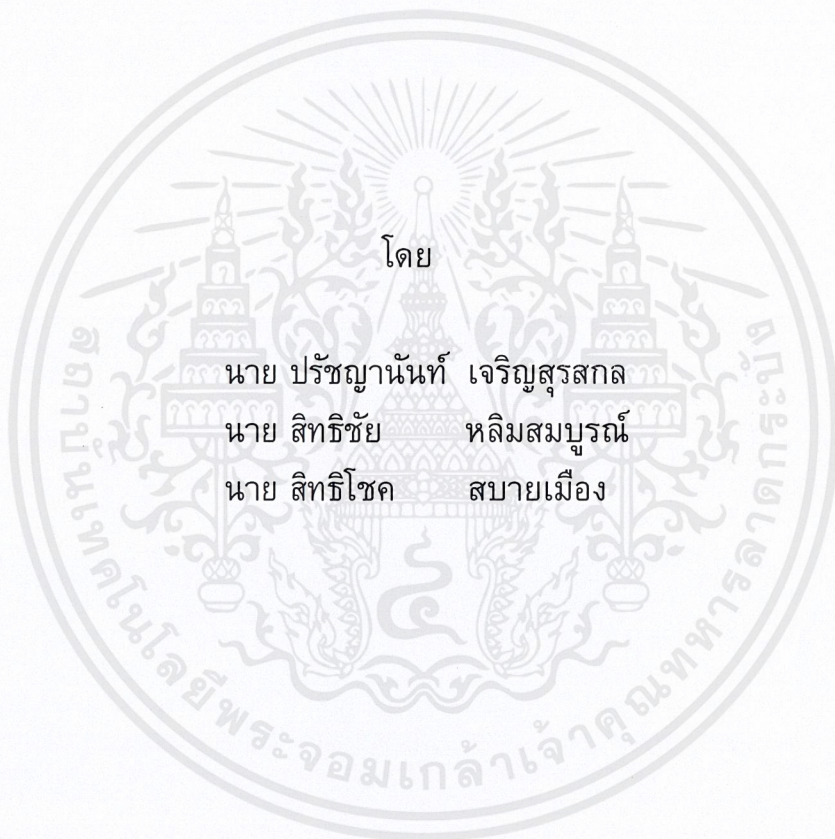
ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2553

แผงเซลล์แสงอาทิตย์อัจฉริยะ

INTELLIGENT PHOTOVOLTAIC PANELS



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. สมภาพ ผลไม้

ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2553

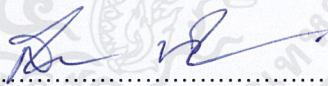
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แผงเซลล์แสงอาทิตย์อัจฉริยะ

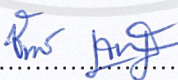
ผู้จัดทำ

1. นาย ปรัชฎานันท์ เจริญสุรสกุล
2. นาย สิทธิชัย หลิมสมบูรณ์
3. นาย สิทธิโชค สบายเมือง



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. สมภาพ ผลไม้)



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผงเซลล์แสงอาทิตย์อัจฉริยะ

นาย ปรัชญานันท์ เจริญสุรสกุล

นาย สิทธิชัย หลิมสมบูรณ์

นาย สิทธิโชค สบายเมือง

ดร.สมภพ ผลไม้

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

ปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาแผงเซลล์แสงอาทิตย์อัจฉริยะซึ่งประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์และคอนเวอร์เตอร์ชนิดซิงโครนัสที่มีการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดแยกอิสระจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์อื่นในสตริงเดียวกัน แผงเซลล์แสงอาทิตย์อัจฉริยะนี้ช่วยแก้ปัญหาการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของสตริงในสภาวะที่ความเข้มแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผงมีความแตกต่างกัน ในปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้นำเทคนิคการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบอินกรีเมนทอลคอนดักแตนซ์มาประยุกต์ใช้ และผนวกการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมเพื่อแสดงผลสถานการณ์ทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อัจฉริยะ

การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์อัจฉริยะที่นำเสนอนี้ได้รับการยืนยันจากผลการจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ได้สร้างเครื่องต้นแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์อัจฉริยะจำนวน 2 แผงเพื่อทดสอบและยืนยันการทำงาน ผลการทดลองพบว่า

การตามรอยกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้เทคนิคแบบอินกรีเมนทอลคอนดักแตนซ์สามารถให้กำลังไฟฟ้าออกมาได้ใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ควรจะได้ในแสงนั้นๆ ประสิทธิภาพของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบซิงโครนัสก็คอนเวอร์เตอร์มีค่ามากกว่าการแบบบิกคอนเวอร์เตอร์และค่าการแสดงผลสถานะการทำงานก็มีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากสโคป

INTELLIGENT PHOTOVOLTAIC PANELS

Pratchayanon Charoensurasakon

Sittichai Limsomboon

Sitthichoke Sabaimuang

Dr. Sompob Polmai Supervisor

Dr. Chaiyan Jettanasen Supervisor

2010

ABSTRACT

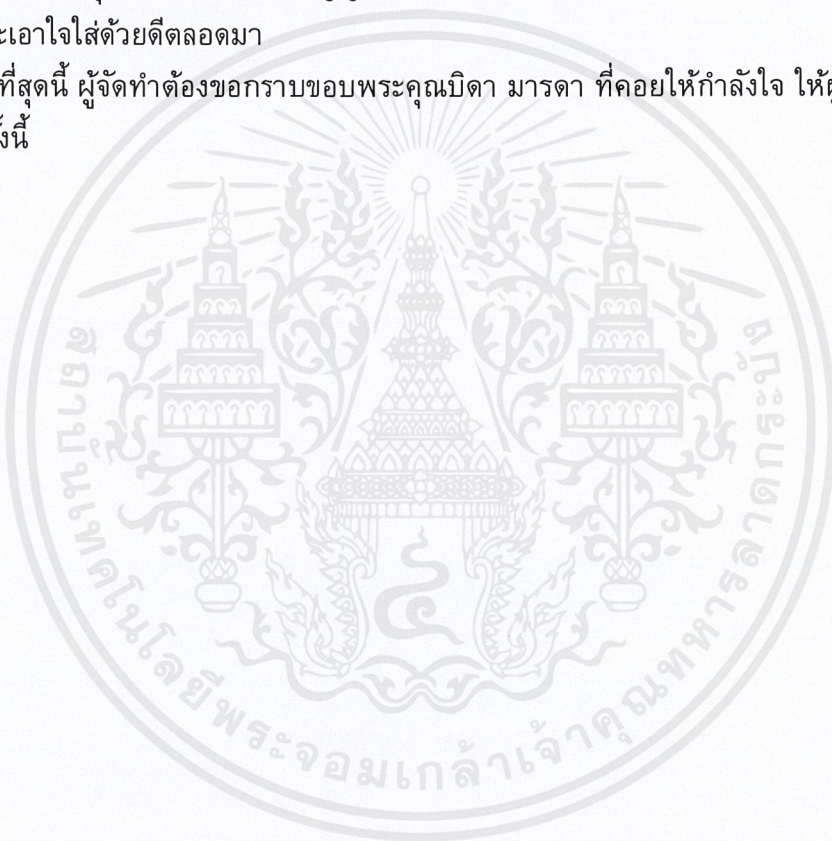
This thesis presents the development of photovoltaic which includes the intelligent photovoltaic and synchronous buck converter with maximum power point tracking to autonomic separate from the photovoltaic which is the same string. This intelligent photovoltaic helps to solve the problem of maximum power tracking the string of conditions, in case of the difference light intensity of photovoltaic. In this thesis uses the maximum power tracking techniques to adapt the incremental conductance. The production of electricity generation from the intelligent photovoltaic has been confirmed by the results of the simulation in a computer program. In addition, there are two photovoltaic prototypes to test and confirm the operation. The results showed that maximum power point tracking track by using the incremental conductance technique takes the power out to closes to the maximum power which should be that light. The efficiency of synchronous buck converter are more value than buck converter and the statue results are close to the results of scope.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณและรู้สึกซาบซึ้งต่อความกรุณาที่ ดร.สมภพ ผลไม้ และดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำ ตลอดจนอาจารย์ในภาควิชาที่ประสิทธิประสาทความรู้ให้กับผู้จัดทำในครั้งนี้ ถ้าปราศจากท่านโครงการนี้ก็คงไม่สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณบุญมี คุณนครศักดิ์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่เปิดใช้เครื่องมือ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงการ และผู้จัดทำต้องขอบคุณพี่ๆ นักศึกษาปริญญาโทและเพื่อนร่วมห้อง PEARL ที่คอยให้คำแนะนำช่วยเหลือและเอาใจใส่ด้วยดีตลอดมา

ท้ายที่สุดนี้ ผู้จัดทำต้องขอกราบขอพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจ ให้ผู้จัดทำเรียนหนังสือในครั้งนี้



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์.....	4
2.1.1 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	4
2.1.2 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	5
2.1.3 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์.....	7
2.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ	8
2.1.5 ลักษณะเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
2.1.6 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	10
2.1.7 การต่อเป็นระบบของเซลล์แสงอาทิตย์.....	10
2.1.8 การเสื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	11
2.1.9 อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์และระบบเซลล์แสงอาทิตย์.....	11
2.1.10 Maximum Power Point.....	13
2.1.11 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงพลังงาน	14
2.1.12 Fill Factor	15
2.2 Maximum Power Point Tracking (MPPT)	15
2.3 วิธีการดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วงจร DC-DC Synchronous Buck Converter	16
2.4 Maximum Power Point Tracking (MPPT) แบบ Incremental Conductance(IC)....	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 วงจรบีกคอนเวอร์เตอร์.....	18
2.5.1 วงจรบีกคอนเวอร์เตอร์.....	18
2.5.2 วงจรบีกคอนเวอร์เตอร์เมื่อทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง	20
2.6 วงจรซิงโครนัสบีกคอนเวอร์เตอร์	25
2.7 ประสิทธิภาพของวงจรซิงโครนัสบีกคอนเวอร์เตอร์.....	31
2.7.1 การสูญเสียทางด้าน High-side.....	31
2.7.2 การสูญเสียทางด้าน Low-side	33
2.7.3 การสูญเสียจากเวลาไร้ผลสอง (Dead Time)	34
2.8 บีกคอนเวอร์เตอร์กับบูสต์คอนเวอร์เตอร์.....	34
2.9 ข้อดีของการใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์ 1 วงจรต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง (Converter-per-Panel).....	34
2.10 ข้อแตกต่างของการต่ออนุกรมและขนานของแต่ละชุด.....	35
2.11 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมผ่าน RS-232	35
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างวงจร.....	36
3.1 ภาพรวมของโครงการ.....	36
3.1.1 บีกคอนเวอร์เตอร์	36
3.1.2 การต่ออนุกรมแต่ละชุด	37
3.2 การออกแบบวงจรซิงโครนัสบีกคอนเวอร์เตอร์.....	37
3.2.1 รายละเอียดของแหล่งจ่ายไฟฟ้า(แผงเซลล์แสงอาทิตย์)	37
3.2.2 โครงสร้างของวงจร Synchronous Buck Converter	37
3.2.3 การออกแบบวงจรหลักในวงจร Synchronous Buck Converter	37
3.3 วงจร Dead Time	38
3.4 วงจรขั้วเกิด.....	39
3.5 วงจรตรวจจับแรงดัน	40
3.6 วงจรตรวจจับกระแส	40
3.7 วงจร low pass filter	40
3.8 การออกแบบวงจรควบคุมเพื่อให้เกิดกระบวนการ Maximum Power Point Tracking (MPPT) แบบ Incremental Conductance (IC) ..	41
3.9 RS-232.....	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	45
4.1 ผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSIM.....	45
4.2 ผลการทดลอง.....	50
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	54
บรรณานุกรม	55
ภาคผนวก.....	56
ภาคผนวก ก โปรแกรมควบคุมการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้ PIC ด้วยภาษาซี	57
ภาคผนวก ข ชุดต้นแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์	59
ภาคผนวก ค ข้อมูลอุปกรณ์.....	60
ประวัติผู้เขียน.....	85

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	โครงสร้างโดยรวมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์..... 4
2.2	สภาวะเริ่มต้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 6
2.3	สภาวะเมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ 6
2.4	สภาวะเมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น..... 6
2.5	ผลของอุณหภูมิต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 8
2.6	โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ 9
2.7	วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์..... 10
2.8	การต่อเซลล์แสงอาทิตย์ 11
2.9	Maximum Power Point (MPP) ที่ความเข้มแสงใดๆ 13
2.10	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนไป 14
2.11	Maximum Power Point Tracking แบบ Incremental Conductance 17
2.12	กระบวนการทำงานของ MPPT แบบ IC..... 17
2.13	วงจร Synchronous Buck Converter ที่ใช้ทำ MPPT 18
2.14	วงจรแปลงผันแบบบัก 19
2.15	การควบคุมแรงดันเอาต์พุตด้วย PWM..... 19
2.16	วงจรแปลงผันแบบบัก วงจรในช่วงเวลาตัดและต่อสวิตช์และรูปสัญญาณ 21
2.17	ค่ารีปเปิลของกระแสและแรงดันของวงจรแปลงผันแบบบัก 24
2.18	หลักการของโมเดลของซิงโครนัสเรกติไฟเออร์..... 26
2.19	โมเดลของซิงโครนัสเรกติไฟเออร์..... 26
2.20	วงจรซิงโครนัสบักคอนเวอร์เตอร์..... 26
2.21	สัญญาณการทริกมอสเฟตหลักและซิงโครนัสมอสเฟต..... 27
2.22	การทำงานของวงจรในช่วงเวลาที่มอสเฟตหลักนำกระแส 28
2.23	การทำงานของวงจรในช่วงเวลาที่ซิงโครนัสมอสเฟตนำกระแส..... 28
2.24	การสวิตช์ของซิงโครนัส ในช่วงเวลาขอบขาของสวิตช์มอสเฟต Q_{FW} 29
2.25	การสวิตช์ของซิงโครนัส ในช่วงเวลาขอบขาของสวิตช์มอสเฟต Q_{SR} 30
2.26	การสูญเสียเนื่องจากการสวิตช์ทางด้าน High-side 32
2.27	ตำแหน่งขาการใช้งานของสายเชื่อมต่อแบบ DB-9 35
3.1	ภาพรวมของโครงการ..... 36
3.2	วงจรเดดไทม์..... 39
3.3	วงจรขับเคลื่อนโดยใช้ไอซีเบอร์ TLP250..... 40

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.4	Flow chart การทำงานของ MPPT แบบ IC..... 41
3.5	การทำ MPPT 42
3.6	วงจร ET-MINI 232-TTL2..... 43
3.7	โครงสร้าง ET-MINI 232-TTL2 และตำแหน่งขา Port ใช้งาน..... 43
3.8	แสดงขั้วต่อทางด้าน Input..... 44
3.9	แสดงขั้วต่อทางด้าน Output CH0 และ CH1..... 44
4.1	กราฟของกระแสกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์รุ่นขนาด 125 วัตต์ ที่ค่าความเข้มแสง 1000 W/m^2 , 800 W/m^2 และ 600 W/m^2 (อุณหภูมิเท่ากับ 25 C) 46
4.2	แบบจำลองทางกายภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 125 W 46
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันที่ค่าความเข้มแสง 500 W/m^2 จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 47
4.4	ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าและแรงดันที่ค่าความเข้มแสง 500 W/m^2 จากแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ โดยใช้การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด แบบอินครีเมนทอลคอนดักแตนซ์..... 47
4.5	ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าและแรงดันที่ค่าความเข้มแสง 500 W/m^2 ของแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ โดยใช้การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด แบบ P&O..... 48
4.6	กำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุตและเอาต์พุตของบ๊ิกคอนเวอร์เตอร์ ที่ค่าความเข้มแสง 500 W/m^2 49
4.7	กำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุตและเอาต์พุตของบ๊ิกคอนเวอร์เตอร์ ที่ค่าความเข้มแสง 500 W/m^2 49
4.8	กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อ่านได้จากสโคป..... 51
4.9	ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อ่านได้จากคอมพิวเตอร์โดยผ่าน RS-232 52
4.10	กราฟ I-V Curve และ P-V Curve ที่ความเข้มแสง 458 W/m^2 52
4.11	ผลการ MPPT ที่ความเข้มแสง 458 W/m^2 ผ่านทาง RS-232..... 53

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่นขนาด 125 W ของบริษัทเอกรัฐโซลาร์.....	45
4.2 เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้า.....	50
4.3 เปรียบเทียบการใช้คอนเวอเตอร์แบบต่อ 1 แผง กับแบบต่อหลายแผง.....	50



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันความต้องการใช้ไฟฟ้าโดยทั่วไปเพิ่มมากขึ้นอยู่ตลอดเวลา ในอนาคตก็มีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนไปในทางที่เพิ่มขึ้น เมื่อมีการเติบโตทางเทคโนโลยีและทางเศรษฐกิจ จึงทำให้การบริโภคพลังงานเป็นไปอย่างมหาศาล ดังนั้นปัญหาต้นทุนของพลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นส่งผลต่อค่าไฟฟ้าที่จะปรับเพิ่มขึ้นตามราคาเชื้อเพลิงไปด้วย ดังนั้นพลังงานทางเลือกจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่งที่จะนำมาศึกษา วิจัยและทดลองเพื่อนำมาใช้แทนพลังงานเชื้อเพลิงที่นับวันจะยิ่งลดลงและหมดไปไม่ว่าจะเป็น น้ำมัน ก๊าซ และถ่านหิน

พลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ก็เป็นพลังงานทางเลือกอีกชนิดหนึ่งที่นิยมและน่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง ที่จะนำมาเป็นแหล่งพลังงาน เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดมลพิษ และต้นทุนพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาถูกกว่าแหล่งพลังงานประเภทอื่น และประการสำคัญก็คือพลังงานแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในพลังงานที่มีความยั่งยืน ดังนั้นการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ก็เป็นทางเลือกหนึ่งในการเลือกใช้พลังงาน และยังสามารถเปลี่ยนรูปพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานรูปอื่นได้ เช่น พลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า เป็นต้น

การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้านั้นจะใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มารับแสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์ก็จะให้พลังงานฟ้าออกมา และปัญหาเนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถทำงานที่ประสิทธิภาพสูงสุดของความเข้มแสงนั้นๆ ได้ดีเนื่องด้วยการโดนบดบังแสงจากสิ่งก่อสร้าง ก้อนเมฆสภาพแวดล้อม หรืออุณหภูมิต่ำในบริเวณนั้น จึงจำเป็นต้องใช้กระบวนการ Maximum Power Point Tracking (MPPT) มาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพให้ใกล้เคียง Maximum Power Point ของแสงนั้นๆ ให้มากที่สุด เพื่อให้ระบบใช้พลังงานแสงอาทิตย์อย่างคุ้มค่ามากขึ้นและส่งผลถึงประสิทธิภาพที่ดีขึ้นด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์และออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบซิงโครนัสบัก

1.2.2 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์เทคนิค Maximum Power Point Tracking แบบ

Incremental Conductance

- 1.2.3 เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพสูงสุด
- 1.2.4 เพื่อศึกษาการใช้พอร์ตอนุกรม
- 1.2.5 เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนต่อไป

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

- 1.3.1 ออกแบบวงจรชิงโครนส์บีกคอนเวอร์เตอร์
- 1.3.2 ศึกษาการใช้เทคนิค Maximum Power Point Tracking (MPPT) แบบ Incremental Conductance (IC)
- 1.3.3 วิเคราะห์ผลเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่อกับวงจรชิงโครนส์บีกคอนเวอร์เตอร์ โดยใช้เทคนิค MPPT
- 1.3.4 วิเคราะห์ผลเอาต์พุตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของวงจรรวมเมื่อนำมาต่ออนุกรมรวมกัน

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์, เทคนิค Maximum Power Point Tracking (MPPT) และวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง
- 1.4.2 ออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- 1.4.3 จำลองวงจรและระบบด้วยโปรแกรม PSIM
- 1.4.4 สร้างวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบชิงโครนส์บีก
- 1.4.5 เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงตามเทคนิค Maximum Power Point Tracking (MPPT)
- 1.4.6 ทดสอบการทำงานของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบชิงโครนส์บีก และ Maximum Power Point Tracking (MPPT)
- 1.4.7 สร้างวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบชิงโครนส์บีกเพิ่ม แล้วนำมาต่ออนุกรมกัน
- 1.4.8 ศึกษาการสื่อสารข้อมูลโดยพอร์ตอนุกรม RS-232
- 1.4.9 ทดสอบการทำงานของระบบทั้งหมดแล้วบันทึกผล
- 1.4.10 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองเพื่อจัดทำปฏิญญาพันธและนำเสนอผลการทดลองของโครงการ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้แนวทางในการออกแบบวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบชิงโครนส์บีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.2 กระตุ้นให้เกิดการศึกษา วิจัยในหัวข้อที่มีวัตถุประสงค์หลักเดียวกัน

1.5.3 ช่วยให้มีแนวคิดในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และสามารถใช้งานได้

1.5.4 ผลงานสามารถปรับปรุงเพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์ได้

1.5.5 ช่วยเสริมสร้างศักยภาพทางด้านเทคโนโลยีภายในประเทศด้วยตัวเอง

1.5.6 ได้ข้อมูลที่จะใช้ในการพัฒนาต่อยอดความรู้ต่อไป

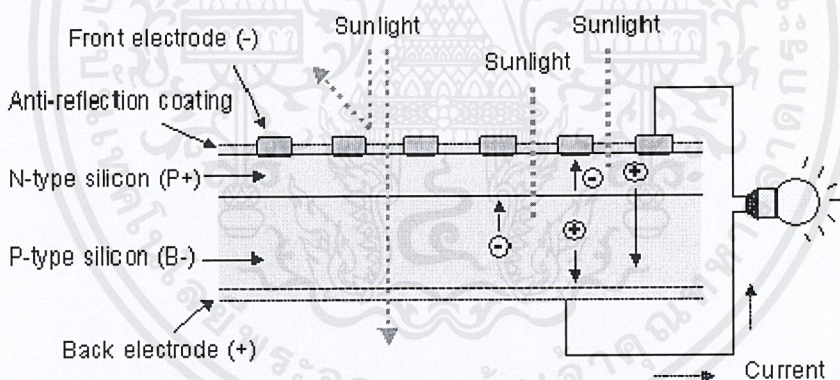


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยทำมาจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon), แกลเลียม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide), อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium Phosphide), แคดเมียม เทลลูไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide) เป็นต้น โดยสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลก นำมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โพรตอน (Proton) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (Atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างโดยรวมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.1 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

1. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell)

รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก ซิลิคอนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในโลกชนิดหนึ่ง สามารถถลุงได้จากหินและทราย เรานิยมใช้ธาตุซิลิคอนในงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้ทำทรานซิสเตอร์ ไอซี และเซลล์แสงอาทิตย์

2. เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกโพลี (Polycrystalline)

เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกโพลีได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของแบบผลึกเดี่ยวซิลิคอน แบบผลึกโพลีหรือโพลีซิลิคอนก็คือก้อนซิลิคอนที่เกิดจากการรวมตัวกันของชิ้นเล็กๆ (ขนาดระดับไมโครเมตร-มิลลิเมตร) ของผลึกเดี่ยวของซิลิคอน

3. เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell)

มีลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน (0.0005 มม.) น้ำหนักเบา และมีประสิทธิภาพเพียง 5-10% เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ธาตุซิลิคอนเช่นกัน แต่จะไม่ใช่ผลึก แต่ผลของสารอะมอร์ฟัสจะทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางของซิลิคอน ซึ่งมีความบางประมาณ 300 นาโนเมตร ทำให้ไม่สิ้นเปลืองเนื้อวัสดุ น้ำหนักเบา และผลิตง่าย จึงเหมาะที่จะประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กินไฟฟ้าน้อย เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ วิทยุทรานซิสเตอร์ เป็นต้น

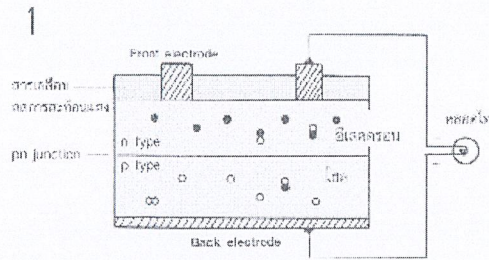
4. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกแกเลียมอาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide Solar Cell)

เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงระดับร้อยละ 25 ขึ้นไป แต่มีราคาแพงมาก ไม่นิยมนำมาใช้งานบนพื้นโลก จึงใช้งานสำหรับดาวเทียมเป็นส่วนมาก

2.1.2 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

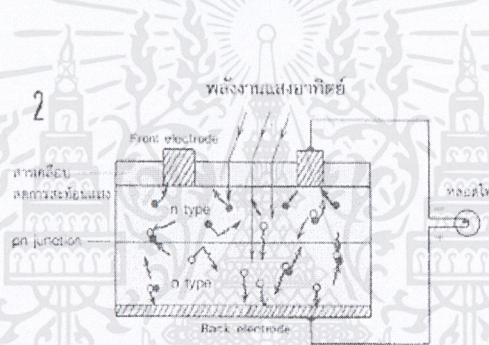
การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นขบวนการแปลงพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้

1. n-type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้การโด๊ปปิ้งด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ส่วน p-type ซิลิคอน คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้การโด๊ปปิ้งด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้งสองชนิดมาประกบต่อกันด้วย p-n junction จึงทำให้เกิดเป็น “เซลล์แสงอาทิตย์” ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด n-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n-type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ p-type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล



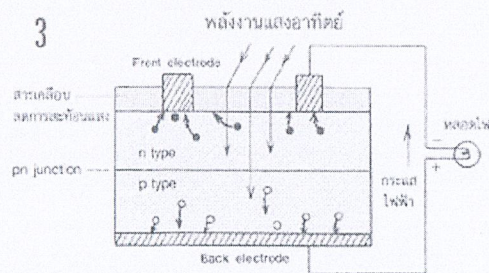
ภาพที่ 2.2 สภาวะเริ่มต้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2. เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ เมื่อพลังงานสูงพอที่อิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n-type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p-type



ภาพที่ 2.3 สภาวะเมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์

3. อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจร ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน



ภาพที่ 2.4 สภาวะเมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าต้องการให้ได้กระแสไฟฟ้ามากๆ ก็ทำได้โดยการนำเซลล์มาต่อขนานกัน หรือถ้าต้องการให้ได้แรงดันไฟฟ้าสูงๆ ก็ทำได้โดยนำเซลล์มาต่ออนุกรมกัน เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขายในท้องตลาดจะถูกออกแบบให้อยู่ในกรอบอลูมิเนียมสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งเรียกว่า แผง หรือโมดูล

เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นกระแสตรง ดังนั้นถ้าต้องการนำไฟฟ้าไปจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับต้องต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ก่อน ถ้าจ่ายไฟฟ้าให้เฉพาะเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงในเวลากลางวัน เช่นหลอดแสงสว่างกระแสตรง สามารถต่อเซลล์แสงอาทิตย์กับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยตรง ส่วนในเวลากลางคืนจะต้องมีแบตเตอรี่เพิ่มเข้ามาเพื่อสะสมพลังงานไว้ใช้

สถานที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรเป็นที่โล่ง ไม่มีเงามาบังเซลล์ ไม่อยู่ใกล้สถานที่ที่เกิดฝุ่น อาจอยู่บนพื้นดิน หรือบนหลังคาบ้านก็ได้ และควรวางให้แผงเซลล์มีความลาดเอียงประมาณ 10-15 องศา จากระดับแนวนอนและหันหน้าไปทางทิศใต้ การวางแผงเซลล์ให้มีความลาดเอียงดังกล่าวจะช่วยให้เซลล์รับแสงอาทิตย์ได้มากที่สุด และช่วยระบายน้ำฝนได้รวดเร็ว

2.1.3 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

1. ความเข้มแสง

กระแสไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าแทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มแสงของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 1,000 W ต่อ ตร.ม. ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้นโลก ความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 750 W ต่อ ตร.ม. ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

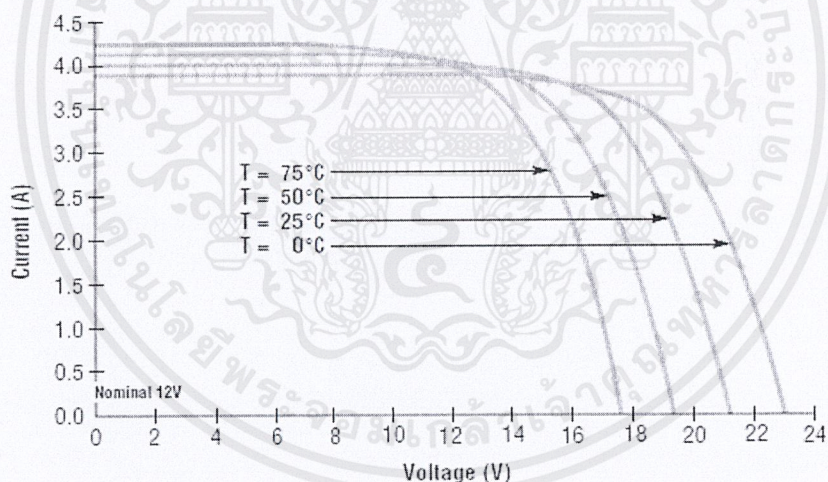
2. อุณหภูมิ

กระแสไฟฟ้าจะไม่แปรอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เช่น กำหนดไว้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่

จะได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส เช่น อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ($0.5\% \times 5$ องศาเซลเซียส) นั่นคือ แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่วงจรเปิด จะลดลง 0.525 ($21V \times 2.5\%$) เหลือเพียง 20.475 V ($21V - 0.525V$) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงด้วย

2.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเมื่อเกิดความร้อนจะทำให้ประสิทธิภาพลดลงแต่เราไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่ต้องทำงานท่ามกลางแสงอาทิตย์ดังนั้นในการออกแบบระบบการใช้เซลล์แสงอาทิตย์จะต้องมีการคำนึงถึงความร้อนในส่วนนี้เพื่อนำมาประกอบการพิจารณาประสิทธิภาพแต่โดยส่วนมากแล้วเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในเขตร้อนจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าในเขตที่มีอากาศเย็นดังนั้นความร้อนของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นตัวประกอบตัวหนึ่งที่มีผลไม่มากนักแต่ไม่ควรมองข้ามเพราะการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในเขตหนาวจะทำให้ตัวประกอบส่วนนี้มีผลต่อกำลังไฟฟ้าขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์มาก



ภาพที่ 2.5 ผลของอุณหภูมิต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.5 ลักษณะเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์

1. แหล่งพลังงานได้จากธรรมชาติ คือ แสงอาทิตย์ ซึ่งสะอาดและบริสุทธิ์ ไม่ก่อปฏิกิริยาที่จะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ
2. เป็นการนำพลังงานจากแหล่งธรรมชาติมาใช้อย่างคุ้มค่าและไม่มีวันหมดไปจากโลกนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำไปใช้เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทุกพื้นที่บนโลก และได้พลังงานไฟฟ้าใช้

โดยตรง

4. ไม่มีการเผาไหม้ จึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะด้านอากาศและน้ำ

5. ไม่เกิดของเสียขณะใช้งาน จึงไม่มีการปล่อยมลพิษไปทำลายสิ่งแวดล้อม

6. ปราศจากมลภาวะด้านเสียง เพราะไม่มีการเคลื่อนไหวขณะใช้งาน

7. ไม่เกิดการสึกหรอ เพราะเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ และไม่มีชิ้นส่วนใดที่มีการ

เคลื่อนไหวขณะทำงาน

8. ต้องการการบำรุงรักษาน้อยมากและใช้งานแบบอัตโนมัติได้ง่าย

9. อายุการใช้งานยืนยาวและประสิทธิภาพคงที่ไม่ขึ้นกับขนาด

10. น้ำหนักเบา เคลื่อนย้ายสะดวก รวดเร็ว และติดตั้งง่าย

11. สามารถประกอบได้ตามขนาดที่ต้องการ เนื่องจากมีลักษณะเป็นโมดูล

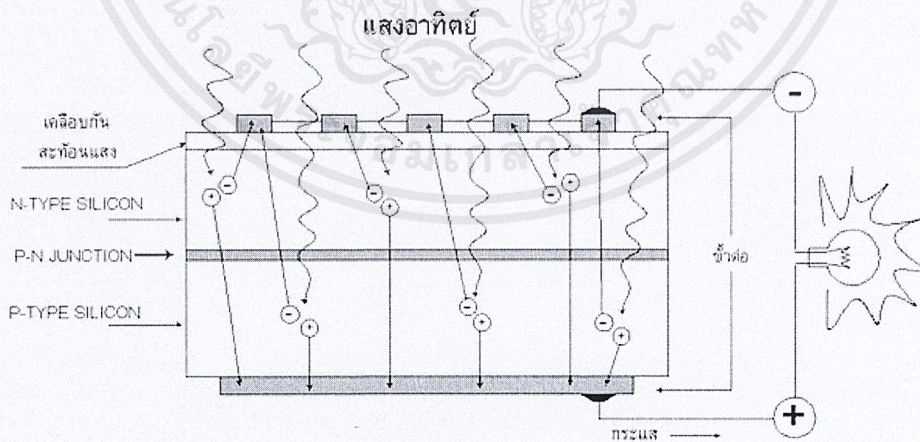
12. ช่วยลดปัญหาการสะสมของก๊าซต่างๆในบรรยากาศ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ไฮโดรคาร์บอน และก๊าซธรรมชาติ ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เกิดปฏิกิริยาเรือนกระจก ทำให้โลกร้อนขึ้น เกิดฝนกรด และอากาศเป็นพิษ ฯลฯ และช่วยลดค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการกำจัดสารต่างๆดังกล่าวนั้นด้วย

13. สร้างไฟฟ้าได้ทุกขนาดตั้งแต่เครื่องคิดเลข ไปจนถึงโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่

14. ผลิตที่ไหนใช้ที่นั่น ซึ่งระบบไฟฟ้าปกติแหล่งผลิตไฟฟ้ากับจุดใช้งานอยู่คนละที่

และจะต้องมีระบบนำส่ง แต่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าในบริเวณที่ใช้งานได้

15. ผลิตไฟฟ้าได้แม้มีแสงแดดอ่อนหรือมีเมฆ



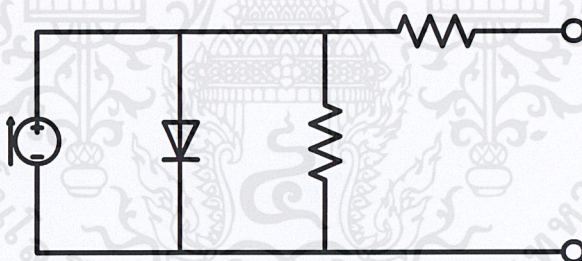
ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างที่นิยมมากที่สุด คือ รอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนโลก คือ ซิลิคอน จึงถูกนำมาสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำซิลิคอนมาถลุงและผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ จนกระทั่งทำให้เป็นผลึก จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปนเพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็น โดยเมื่อเติมสารเจือฟอสฟอรัส จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (เพราะนำไฟฟ้าด้วยอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบ) และเมื่อเติมสารเจือโบรอน จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (เพราะนำไฟฟ้าด้วยโฮลซึ่งมีประจุบวก) ดังนั้น เมื่อสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็นมาต่อกัน จะเกิดรอยต่อพีเอ็นขึ้น โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน อาจมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความหนา 200-400 ไมครอน (0.2-0.4 มม.) ผิวด้านรับแสงจะมีชั้นแพร่ซึมที่มีการนำไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าด้านที่รับแสงจะมีลักษณะคล้ายก้างปลาเพื่อให้ได้พื้นที่รับแสงมากที่สุด ส่วนขั้วไฟฟ้าด้านหลังเป็นขั้วโลหะเต็มพื้นที่

2.1.6 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

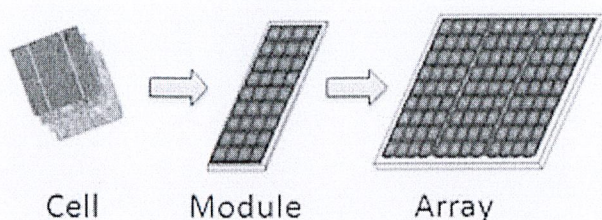
เรามักจะทำเซลล์แสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปแบบของวงจรสมมูลเพื่อให้เข้าใจพฤติกรรมทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ และเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติมักจะถูกทำให้อยู่ในรูปของแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ต่อขนานอยู่กับไดโอด แต่หากไม่ได้อยู่ในรูปแบบของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติจะต้องมีความต้านทานต่อขนานและอนุกรมอยู่ด้วยดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.7 การต่อเป็นระบบของเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงเดียวเราเรียกว่า Module แต่ถ้านำมาต่อกันมากกว่า 1 แผงขึ้นไปเราเรียกว่า Array เราจะนำมาอนุกรมกันหรือขนานกันก็ได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโหลด



ภาพที่ 2.8 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.8 การเสื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานแล้ว มักเกิดการเสื่อมสภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้น เราควรรู้ถึงสาเหตุและสามารถตรวจสอบเพื่อป้องกันความเสียหายให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด การเสื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์พอสรุปได้ดังนี้ การมีฝุ่นละอองหรือเศษผงต่างๆ สะสมอยู่บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นระยะเวลาที่เหมาะสม

- การเสื่อมสภาพในด้านการยอมให้แสงผ่านของแก้วหรือวัสดุที่ใช้ห่อหุ้มตัวเซลล์ เนื่องจากแสงอุลตราไวโอเลต

- การเกิดรอยแตกหรือร้าวของแผงที่ใช้ห่อหุ้มตัวเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ความชื้นเข้าไปถึงตัวเซลล์แสงอาทิตย์ได้

- การเกิด Corrosion ที่ผิวสัมผัสของตัวเซลล์แสงอาทิตย์

- การเกิดการกร่อนของโลหะที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากการสัมผัสที่ร้อนหรือการขยายตัวเนื่องจากความร้อนและความเย็นในการใช้งาน

- การเกิดสายขาดระหว่างการต่อตัวเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์บางตัวเกิดความเสียหายขึ้น การเกิด Hot Spot เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ถูกบังเงา

2.1.9 อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์และระบบเซลล์แสงอาทิตย์

อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์และระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นดรรชนีที่ชี้ให้เห็นถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของการใช้งานอีกทางหนึ่ง เนื่องจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยวิธีไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงใดๆ เนื่องจากพลังงานจากแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานที่ได้เปล่าและมีให้ใช้ชั่ววันรันดร์ ราคาทั้งหมดจึงขึ้นอยู่กับราคาอุปกรณ์และอายุการใช้งานของอุปกรณ์นั้น

1. อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์ทำจากสารกึ่งตัวนำที่ผ่านกระบวนการสร้างรอยต่อพีเอ็นที่อุณหภูมิสูงมาก (1,000 องศาเซลเซียส) แต่เมื่อนำมาใช้งานในภาคสนามจะมีอุณหภูมิใช้งานเพียง 30-35 องศาเซลเซียส สำหรับความเข้มแสงปกติหรืออุณหภูมิใช้งาน 80-150 องศาเซลเซียส สำหรับความเข้มแสงสูง ดังนั้นเงื่อนไขของการใช้งานเช่นนี้จะไม่สามารถทำให้โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์เสียหายได้เลย สาเหตุที่ทำให้เสียหายจึงมักได้แก่ การ

เปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดจากสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้น ไอเคมี ที่มีอยู่ในบรรยากาศซึ่งอาจทำให้ขั้วโลหะของเซลล์แสงอาทิตย์เกิดการผุกร่อน ร้อนหักหรือหลุดในที่สุด สาเหตุอีกประการหนึ่งได้แก่การเปลี่ยนแปลงทางแมกคาณิกส์ เช่น การสั่นสะเทือน แรงกดที่เกิดจากแรงลม ซึ่งอาจทำให้เซลล์แสงอาทิตย์แตกหักได้ อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ในคดีจึงยาวนานมากจนวัดหาได้ยาก หากมีการออกแบบวิธีการห่อหุ้มตัวเซลล์อย่างสมบูรณ์แบบ มีการออกแบบติดตั้งตัวเซลล์แสงอาทิตย์อย่างถูกต้องและใช้ในสถานที่สภาพแวดล้อมที่แห้ง ปราศจากไอเคมี ไม่มีการสั่นสะเทือนหรือแรงกดจากแรงลม ฯลฯ ดังนั้น อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ จึงกำหนดได้จากวิธีออกแบบและลักษณะการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ว่าควรมีค่าเท่าไรจึงจะคุ้ม

แนวความคิดหนึ่งที่จะใช้กำหนดอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ ช่วงระยะเวลาจ่ายคืนพลังงาน (Energy Payback) ซึ่งหมายถึง ระยะเวลาที่เซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถจ่ายไฟฟ้าได้ปริมาณที่เพียงพอกับพลังงานที่ต้องการใช้ในเซลล์นั้น ได้มีการทดลองคำนวณระยะเวลาดังกล่าวของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงการอวกาศที่ผลิตโดยโรงงานผลิตขนาดเล็ก ผลการคำนวณพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ควรมีอายุถึง 20 ปี จึงสามารถจ่ายคืนพลังงานที่ใช้ในการสร้างตัวเซลล์แสงอาทิตย์เอง แต่จากการพัฒนาเทคนิคสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีการใช้พลังงานที่ประหยัดขึ้นและเป็นการผลิตแบบจำนวนมาก ช่วงระยะเวลาจ่ายคืนพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันลดลงเหลือ 4 ปี และคาดว่าเทคนิคการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในปี ค.ศ. 1986 จะทำให้ช่วงระยะเวลาดังกล่าวสั้นลงไปอีกคือเหลือไม่กี่เดือน จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิต Poly Silicon ของบริษัทซีเมน ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่ประหยัดพลังงานเป็นอย่างมาก ในปัจจุบันจะลดช่วงระยะเวลาจ่ายคืนพลังงานเหลือเพียง 1-1.5 ปี เท่านั้น

2. อายุการใช้งานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ นอกเหนือจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว องค์ประกอบที่สำคัญที่จะเป็นตัวกำหนดอายุการใช้งานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ อายุของแบตเตอรี่ที่ใช้ในการสะสมพลังงาน แบตเตอรี่แต่ละชนิดมีอายุการใช้งานที่แตกต่างโดยกำหนดจาก Life Cycle ของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่จะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานหากมีการใช้งานที่ถูกต้อง เช่น มีการติดตั้งที่บำรุงรักษาอยู่เสมอเพราะในการอัดไฟจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จนเกินพอบางครั้ง จะทำให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพลงได้ จึงควรมีวงจรควบคุมการอัดไฟติดตั้งในระบบด้วย เมื่ออัดไฟเต็มแบตเตอรี่แล้วควรมีการสับสวิทช์วงจรเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าส่วนเกินนั้นทิ้งเสีย เช่น จ่ายให้กับตัวต้านทานเพื่อคายพลังงานในรูปของความร้อน เป็นต้น เป้าหมายของอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่จะนำมาใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ควรมีค่าประมาณ 10 ปี จึงควรมีการพัฒนาแบตเตอรี่ให้มีคุณภาพดังกล่าวในอนาคต

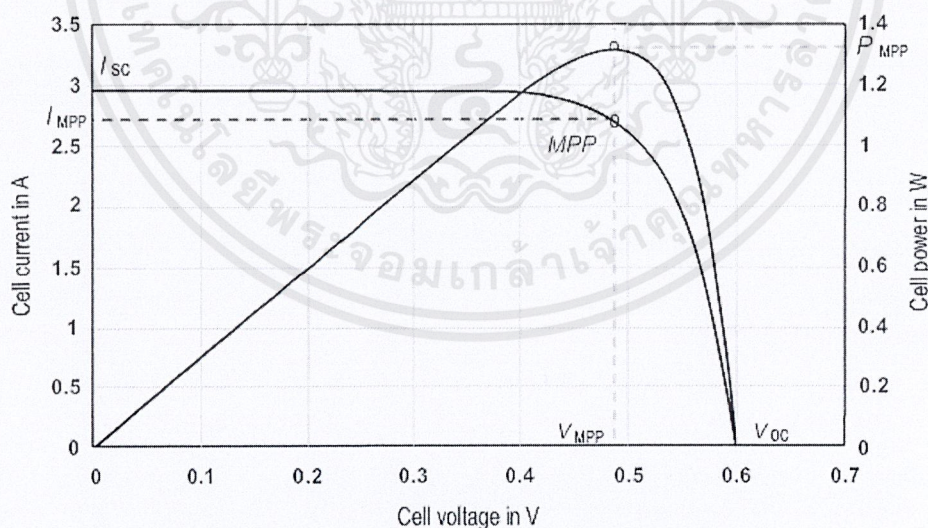
ส่วนองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เหลือล้วนแต่เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หากมีการติดตั้งที่ถูกต้องภายในตัวอาคารที่ควบคุมอุณหภูมิ อายุการใช้งานขององค์ประกอบเหล่านี้จะยาวนาน

พอสมควร หากมีการตรวจพบว่ามี ความเสียหายเกิดขึ้น ก็สามารสับเปลี่ยนของใหม่ได้ทันที หรือ ด้ดองค์ประกอบนั้นทั้งเสียได้ ชั่วระยะเวลาหนึ่งโดยมิได้ทำให้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์เสียหาย

ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าอายุการใช้งานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์นั้นขึ้นอยู่กับอายุ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ที่ใช้สะสมพลังงานเป็นสำคัญ การวิจัยและพัฒนาจึงมุ่งไปที่ องค์ประกอบทั้งสองนี้เป็นส่วนใหญ่ ทั้งทางด้านอายุการใช้งานในอุดมคติและเทคนิคการใช้งานที่มี ประสิทธิภาพโดยการออกแบบโครงสร้างและการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นการศึกษา วิธีการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเป็นระบบ ตลอดจนการหาประสิทธิภาพจากการติดตั้งใน ระบบภาคสนาม จึงเป็นวิธีการทางวิศวกรรมที่จำเป็นอย่างยิ่ง

2.1.10 Maximum Power Point

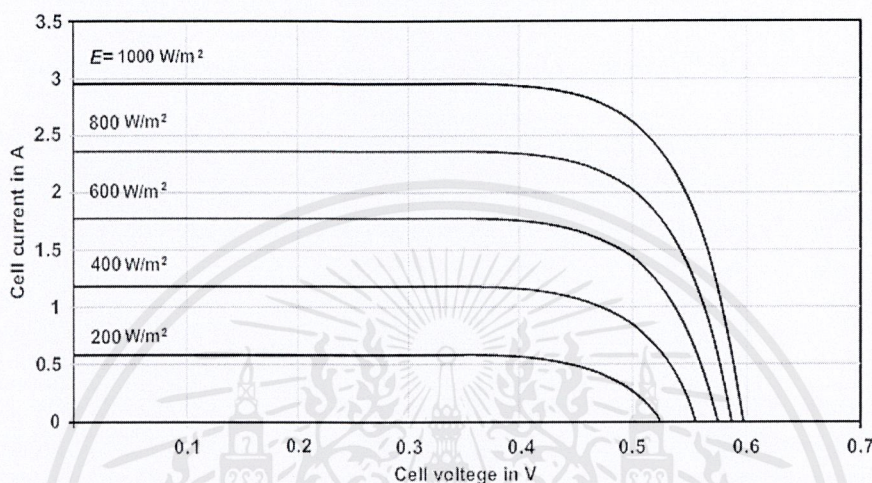
พลังงานที่ออกจากเซลล์แสงอาทิตย์จะให้ค่าพลังงานที่มีย่านกระแสไฟฟ้าและ แรงดันที่เปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มของแสงอาทิตย์ ดังนั้นการหาจุดที่ทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้า สูงสุด (ที่แรงดัน และกระแสไฟฟ้าค่าหนึ่งเท่านั้น) ทำได้โดยการต่อค่าความต้านทานปรับค่าได้ ให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการปรับค่าความต้านทานตั้งแต่ 0 โอห์ม (ทำให้เกิดกระแสลัดวงจร I_{sc}) จนถึงค่าความต้านทานสูงมาก (ทำให้เกิดแรงดันเปิดวงจร V_{oc}) การทดสอบในลักษณะนี้มักมี การกำกับว่าทำการทดสอบที่เวลาเท่าใดสภาพแวดล้อมที่ทำการทดสอบเป็นอย่างไ ซึ่งก็จะทำให้ได้ กราฟของกระแสและแรงดันที่เรียกว่า V-I curve ดังภาพที่ 2.9 เราจะสังเกตเห็นได้ว่าที่แรงดันเปิดวงจร และกระแสลัดวงจรนั้นจะทำให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าเป็นศูนย์



ภาพที่ 2.9 Maximum Power Point (MPP) ที่ความเข้มแสงใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเราสามารถหาค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดและแรงดันไฟฟ้าสูงสุดได้จากกราฟ และที่ตำแหน่งของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้านี้จะทำให้เกิดค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุด P_{max} ซึ่งจุดเหล่านี้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปแล้วตามความเข้มของแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม ความชื้น ฤดูกาล และแนวของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ



ภาพที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันเมื่อความเข้มแสงเปลี่ยนแปลง

2.1.11 ประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงพลังงาน (Energy Conversion Efficiency)

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงพลังงาน หรือ Energy Conversion Efficiency (η) เป็นอัตราส่วนของพลังงานที่ถูกเปลี่ยนแปลงจากแสงที่ตกกระทบเปลี่ยนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าที่จุดที่ให้พลังงานสูงสุด ต่อแสงที่มาตกกระทบโดยแสงนี้ต้องมีค่ามาตรฐาน โดยแสงที่ตกกระทบนี้มีค่าเป็น วัดต่อตารางเมตร (W/m^2) ใช้สัญลักษณ์ E และพื้นที่ที่แสงมาตกกระทบใช้สัญลักษณ์ A_c มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m^2)

$$\eta = \frac{P_m}{E \times A_c} \quad (2-1)$$

การคำนวณหาประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงพลังงานนั้นทำได้ไม่ยากเพียงแต่โดยส่วนใหญ่แล้วเรามักจะระบุเวลา สถานที่ และฤดูกาลเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบได้ เช่น ณ เวลากลางวัน ภายใต้สภาพอากาศปลอดโปร่ง ในเดือนมีนาคมจะให้ค่า Solar radiation ประมาณ $1,000 W/m^2$ ที่ค่ามาตรฐาน Solar radiation ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่ 12% จะได้ค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ 120 W

2.1.12 Fill Factor

การกำหนดพฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงได้ในเทอมของ Fill Factor (FF) คือ อัตราส่วนระหว่างจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ต่อ ผลคูณของแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร กับ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร

$$FF = \frac{P_m}{(V_{oc} \times I_{sc})} = \frac{(n \times A_c \times E)}{(V_{oc} \times I_{sc})} \quad (2-2)$$

2.2 Maximum Power Point Tracking (MPPT)

การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปจะเป็นการต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้งานในรูปแบบต่างๆกันออกไปแต่โดยปกติการใช้งานโดยทั่วไปนั้นไม่ได้คำนึงถึงกำลังไฟฟ้าที่สูญหายไปขณะที่นำพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ การทำ Maximum Power Point Tracking หรือ MPPT คือการดึงกำลังไฟฟ้าที่สูญหายไปนั้นมาใช้งาน ทำให้เราสามารถนำพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างเต็มที่

Maximum Power Point Tracking เป็นการติดตามค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วิธีการทางไฟฟ้า ซึ่งไม่ใช่วิธีการเดียวกับ Sun Tracking ที่อาศัยการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์โดยเคลื่อนที่เซลล์แสงอาทิตย์ให้อยู่ในลักษณะตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลา

Maximum Power Point Tracking เป็นการทำให้กำลังไฟฟ้าขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเป็นกำลังไฟฟ้าที่ค่าสูงสุดตลอดเวลาที่เซลล์แสงอาทิตย์กำลังรับแสงอยู่ ทั้งนี้กำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ความเข้มแสงอาทิตย์ (Solar Radiation), อุณหภูมิสภาพแวดล้อม (Ambient Temperature), และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell Temperature) เป็นต้น

กำลังไฟฟ้าที่หายไปขณะที่เราดึงพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์หายไปได้อย่างไรนั้น จะขอยกตัวอย่าง ดังเช่น เรามีเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 24 โวลต์ 1 แอมแปร์ เซลล์แสงอาทิตย์ของเรามีขนาดกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 24 วัตต์ เราต้องการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ เราจึงทำการลดแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีแรงดันเท่ากับ 14 โวลต์ เพื่อให้มีแรงดันที่เหมาะสมกับการชาร์จแบตเตอรี่ ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่เราได้คือ 14×1 เท่ากับ 14 วัตต์ กำลังไฟฟ้าของเรากำลังหายไป 10 วัตต์ กำลังไฟฟ้านี้ไม่ได้หายไปเพียงแต่เรายังไม่สามารถที่จะดึงให้กำลังไฟฟ้าเหล่านี้ออกมาใช้งาน เปรียบเสมือนว่าเราใช้งานแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างไม่เต็มที่นั่นเอง

2.3 วิธีการดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วงจร DC-DC Synchronous Buck Converter

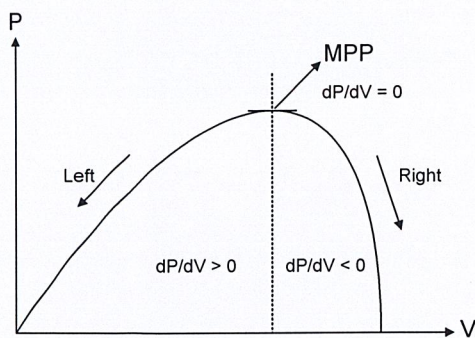
โดยปกติแล้ววงจร Buck Converter ที่เราใช้งานนั้นจะมีค่า Duty ratio ค่าใดค่าหนึ่ง เพื่อให้วงจรนั้นมีแรงดันไฟฟ้าขาออกคงที่เพียงค่าเดียว ถ้าหากเรานำวงจร Buck Converter ดังกล่าวมาใช้งานแล้วจะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าขาออกที่ค่าใดค่าหนึ่ง แต่เมื่อใดก็ตามค่า Duty cycle ของเรานั้นเปลี่ยนแปลงได้เราจะได้ค่ากำลังไฟฟ้าขาออกที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปแต่ไม่จำเป็นว่า Duty cycle มากจะต้องได้กำลังไฟฟ้าขาออกมากเสมอไปเพราะเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะให้กำลังไฟฟ้าที่มีค่าสูงสุดในแต่ละช่วงเวลานั้นเปลี่ยนแปลงไปตามแสงอาทิตย์ที่มาตกกระทบรวมไปถึงค่าแรงดันและกระแสที่เหมาะสมในการได้ผลคูณของกระแสและแรงดันที่มากที่สุด เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 120 W นำไปปรับแสงอาทิตย์เวลา 13.00 น หลังจากลองปรับค่า Duty cycle แล้วพบว่าได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 110 W ที่ Duty cycle 60% และเมื่อเวลาผ่านไป ลองปรับค่า Duty cycle แล้วพบว่าได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 108 W ที่ Duty cycle 63% ดังนั้นเราจะเห็นได้ว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในขณะที่เราต้องทำการติดตามค่านั้นตลอดเวลาด้วย จึงจะทำให้เราสามารถที่จะดึงค่าพลังงานสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ออกมาได้อย่างเต็มที่และไม่เสียพลังงานไปอย่างสิ้นเปลือง

2.4 Maximum Power Point Tracking (MPPT) แบบ Incremental Conductance (IC)

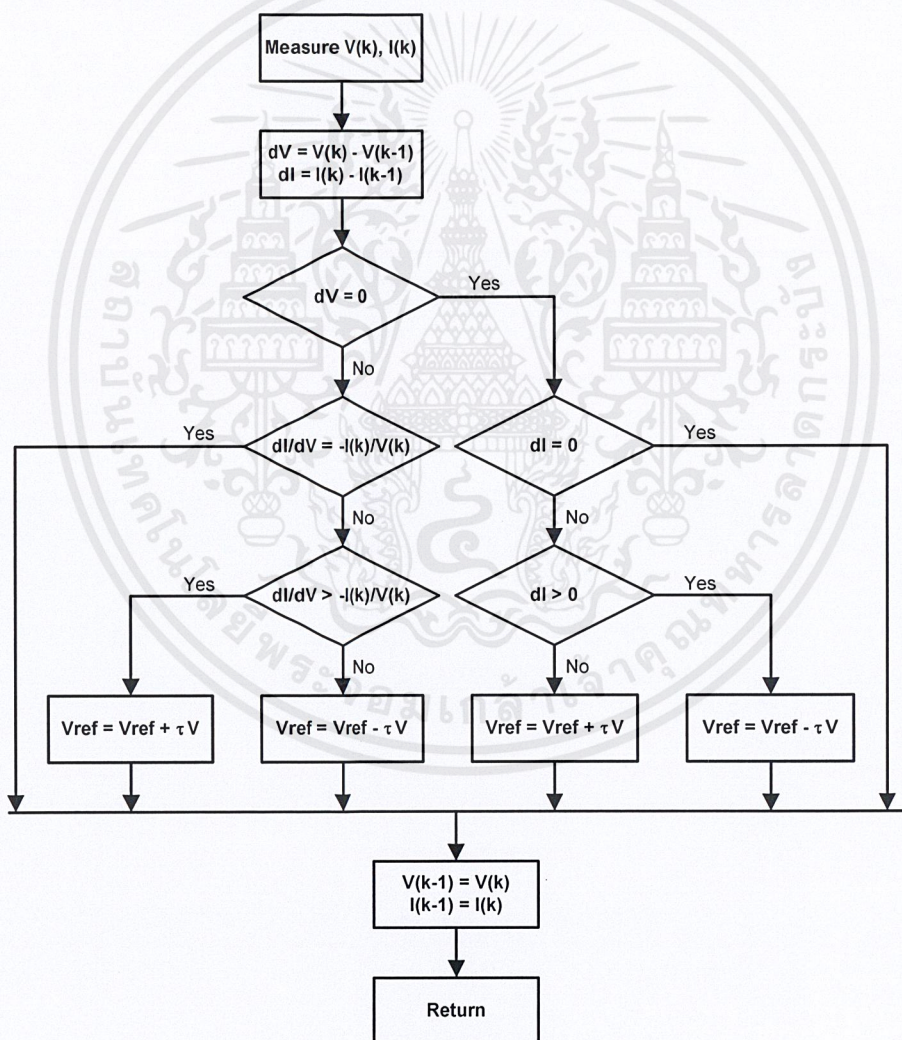
MPPT หมายถึง ขั้นตอนวิธีที่ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเข้าใกล้จุดผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มแสงนั้นๆ ดังกราฟในภาพที่ 2.11

$$P = V \cdot I \quad (2-3)$$

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(I \cdot V)}{dV} = V \cdot \frac{dI}{dV} + I \quad (2-4)$$



ภาพที่ 2.11 Maximum Power Point Tracking แบบ Incremental Conductance



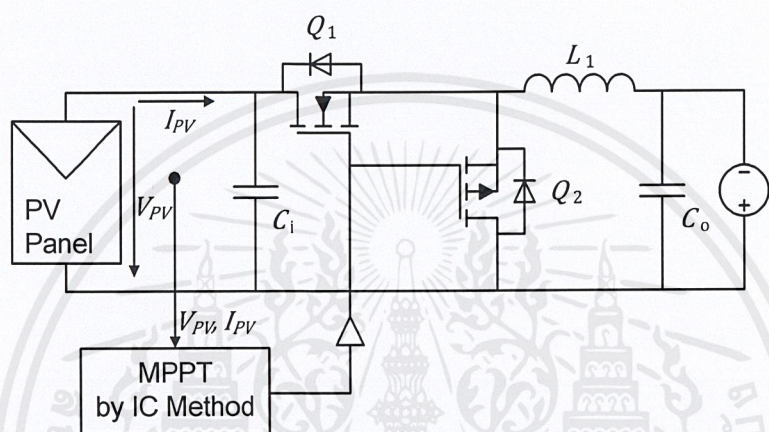
ภาพที่ 2.12 กระบวนการทำงานของ MPPT แบบ IC

119551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่จะติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดตลอดเวลาการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเราจะต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้การติดตามกำลังไฟฟ้าเป็นไปได้อย่างตลอดเวลา

ภาพที่ 2.11 จุด MPP คือ จุดที่ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดตามความเข้มแสงนั้นๆ เมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จะทำให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จนถึงจุด MPP หลังจากนั้นเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น กำลังไฟฟ้าจะลดลง ส่วนภาพที่ 2.12 แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบการ MPPT จากภาพที่ 2.11 จุดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเข้มแสงนั้น คือจุดที่ $dP/dV = 0$



ภาพที่ 2.13 วงจร Synchronous Buck Converter ที่ใช้ทำ MPPT

ข้อดีของวิธี Incremental Conductance (IC) คือ จะกำจัดปัญหาการแกว่งที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่พบในวิธี P&O และสามารถติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้รวดเร็ว รวมทั้งเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างรวดเร็วจะไม่ติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดผิดพลาดซึ่งพบในวิธี P&O

2.5 วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์

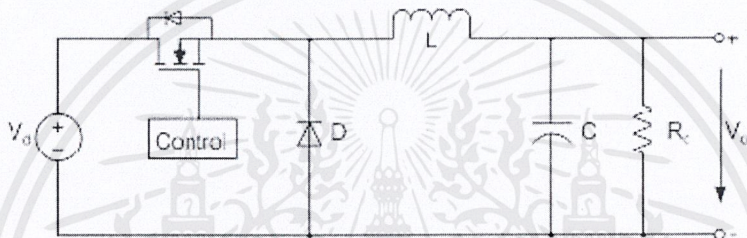
2.5.1 วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์

วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่ใช้งานในลักษณะเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า กระแสตรงที่ให้แรงดันเอาต์พุตน้อยกว่าอินพุต ดังแสดงในภาพที่ 2.14

สภาวะสวิตช์นำกระแสแรงดันเอาต์พุตเท่ากับแรงดันอินพุต เมื่อสภาวะสวิตช์ไม่นำกระแสแรงดันเอาต์พุตเท่ากับศูนย์โวลต์ ค่าของคาบเวลาการนำกระแสและหยุดนำกระแสและสัญญาณพัลส์ดังภาพที่ 2.15

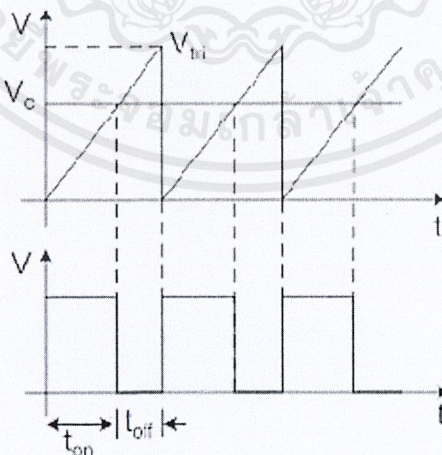
ความสัมพันธ์ของค่าแรงดันเอาต์พุตและเวลาการทำงานของวงจรบีกอนเวอร์เตอร์ เมื่อผลการควบคุมสวิทช์ได้ค่าแรงดันเอาต์พุต $V_o = \frac{V_d t_{on}}{T_s}$ และกำหนดให้ $\frac{t_{on}}{T_s}$ เป็นค่าวัฏจักรการทำงาน (Duty Cycle : D) ของสวิทช์ ดังนั้น $V_o = V_d D$

เมื่อค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการตัดและต่อสวิทช์ ด้วยค่า D ที่ค่าเหมาะสมจากค่าของอัตราส่วนของแรงดันเอาต์พุต V_o ต่อแรงดันอินพุต V_d วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) ทำให้ได้แรงดันเอาต์พุตที่เป็นกระแสตรง นิยมใช้วงจรกรองแบบ LC เพราะมีอัตราการทอนสัญญาณที่ไม่ต้องการพดกับกำลังสองของความถี่ วงจรที่ใช้จึงมีไดโอด (Diode) เป็นทางผ่านของกระแสที่เกิดจากตัวเหนี่ยวนำ



ภาพที่ 2.14 บีกอนเวอร์เตอร์

การควบคุมแรงดันเอาต์พุตโดยใช้สวิทช์ตัดและต่อวงจรที่ความถี่ของการสวิทช์คงที่ และควบคุมความกว้างพัลส์หรือการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation: PWM) แสดงดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 การควบคุมแรงดันเอาต์พุตด้วย PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้เงื่อนไขการทำงานของวงจรแปลงผันแบบบักในช่วงสภาวะอยู่ตัว (Steady State) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากัน แรงดันเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์ กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์และกำลังไฟฟ้าอินพุตเท่ากับกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต

กำหนดให้ V_o เป็นค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุต สามารถคำนวณหา V_o ได้ดังนี้

$$V_o = \frac{V_d t_{on} + (0)t_{off}}{T_s} = \frac{V_d t_{on}}{T_s} \quad (2-5)$$

$$V_o = V_d D \quad (2-6)$$

เมื่อค่าของ V_d เปลี่ยนแปลงไปและต้องการคงที่ค่า V_o ไว้ให้ได้นั้น ต้องทำการควบคุมการทำงานของวงจรด้วยการใช้หลักของการป้อนกลับแรงดันเอาต์พุต ดังแสดงในภาพที่ 2.15 ค่าของ Duty Cycle คือค่าที่เกิดจากการเปรียบเทียบแรงดันควบคุมกับแรงดันรูปสัญญาณฟันเลื่อยมีค่าเท่ากับ $D = \frac{V_c}{V_{tri}}$ เมื่อค่า V_c คือแรงดันควบคุมและ V_{tri} คือค่ายอดของแรงดันสัญญาณฟันเลื่อย

2.5.2 วงจรบักคอนเวอร์เตอร์เมื่อทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง

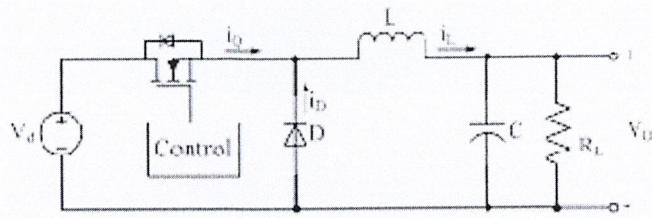
จากภาพที่ 2.16 คำนวณหาอัตราส่วนการแปลงผัน $M = \frac{V_o}{V_d}$ เมื่อกำหนดให้มอสเฟตและไดโอดทางอุดมคติและวงจรกรอง LC สามารถกรองความถี่การสวิตช์ออกไปได้ ทำให้สัญญาณของแรงดันเอาต์พุตมีค่าแรงดันริบเบิลเพียงเล็กน้อย

การคำนวณแรงดันเอาต์พุต (V_o) โดยใช้หลักความสมดุลโวลต์-วินาที ของตัวเหนี่ยวนำ หลักการที่ใช้ได้ทั่วไปสำหรับวงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟตรงในสภาวะคงตัวคือแรงดันเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเป็นศูนย์ นั่นคือ

$$\int_0^T V_L dt = \int_0^{t_{on}} V_L dt + \int_{t_{on}}^{t_{off}} V_L dt = 0 \quad (2-7)$$

จากสมการ (2-7) แสดงว่าพื้นที่เหนือแกนเวลาและพื้นที่ใต้แกนเวลาของ V_L มีค่าเท่ากัน นั่นคือมีความสมดุลของโวลต์-วินาที ดังนี้

$$(V_d - V_o)t_{on} = V_o t_{off} \quad (2-8)$$



(a) วงจรบักคอนเวอร์เตอร์



(b) การทำงานของวงจรบักคอนเวอร์เตอร์



(c) สัญญาณวงจรบักคอนเวอร์เตอร์

ภาพที่ 2.16 วงจรแปลงผันแบบบัก วงจรในช่วงเวลาตัดและต่อสวิตช์และรูปสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก $T_s = t_{on} + t_{off}$ สามารถคำนวณอัตราการทำงานได้ดังนี้

$$M = \frac{V_o}{V_d} = \frac{t_{on}}{T_s} = D \quad (2-9)$$

ในบางครั้งจะใช้สัญลักษณ์ D' สำหรับวัฏจักรงานของไดโอด ดังนี้

$$t_{off} = D' T_s \text{ หรือ } D' = 1 - D = \frac{t_{off}}{T_s} \quad (2-10)$$

ในช่วงเวลา DT_s เป็นช่วงเวลาที่มอสเฟตต่อวงจรและไดโอดตัดวงจร แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเท่ากับ $V_D - V_o$ สามารถคำนวณหากระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้ดังนี้

$$0 < t < DT_s : i_L = I_1 + (V_d - V_o) \frac{t}{L} \quad (2-11)$$

โดยที่ I_1 คือค่าของกระแส I_L ที่เวลา $t=0$
ที่เวลา $t=DT_s$ ให้กระแส I_L เท่ากับ I_2 โดยนิยามดังนี้

$$I_2 = I_1 + (V_d - V_o) \frac{DT_s}{L} \quad (2-12)$$

ในช่วงเวลา $D'T_s$ เป็นช่วงเวลาที่มอสเฟตตัดวงจรและไดโอดต่อวงจร จะมีแรงดัน V_o ตกคร่อม V_L และกระแส I_L จะลดลงอย่างเชิงเส้นตามสมการ (2-13)

$$DT_s < t < T_s : i_L = I_2 - (V_o) \left(\frac{t - DT_s}{L} \right) \quad (2-13)$$

สมมุติว่าวงจรแปลงผันทำงานแบบอุดมคติไม่มีการสูญเสีย กำลังเอาต์พุตจะเท่ากับกำลังอินพุต กระแสผ่านไฟตรงมีค่าเท่ากับกระแสสวิทช์และเท่ากับกระแสของตัวเหนี่ยวนำ I_L ในช่วง DT_s จากภาพที่ 2.17 เป็นค่าเฉลี่ยของกระแสตัวเหนี่ยวนำ ค่าเฉลี่ยของกระแส I_s เท่ากับ

$$I_s = I_o = \frac{I_L D T_s + 0 D T_s}{T_s} = D I_L \quad (2-14)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่เอาต์พุตเป็นไปตามกฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ (KCL) ดังนี้

$$I_L = I_c + I_o \quad (2-15)$$

เนื่องจากค่าเฉลี่ยของกระแสผ่านตัวเก็บประจุในสถานะอยู่ตัวเท่ากับศูนย์ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของกระแสเอาต์พุตคือ

$$I_L = I_o \quad (2-16)$$

ดังนั้นอัตราการแปลงผันเมื่อเขียนสมการที่ให้กำลังอินพุตเท่ากับกำลังเอาต์พุต หนึ่ง ถ้า M เป็นอัตราการแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง จากความเท่ากันของกำลัง จะได้ $M = \frac{V_o}{V_d} = \frac{I_s}{I_o}$ หรือ อัตราแปลงผันกระแสคือ $1/M$

การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรมักคอนเวอร์เตอร์ในโหมดกระแสต่อเนื่องจากการสมการ (2-16)

$$I_L = I_o = \frac{V_o}{R_{load}} \quad (2-17)$$

$$I_{Lmax} = I_L + \frac{\Delta I}{2} = \frac{V_o}{R_{Load}} + \frac{1}{2} \left[\frac{V_o}{L} (1-D) T_s \right] = V_o \left[\frac{1}{R_{Load}} + \frac{(1-D)}{2 L f_s} \right] \quad (2-18)$$

$$I_{Lmin} = I_L - \frac{\Delta I}{2} = \frac{V_o}{R_{Load}} - \frac{1}{2} \left[\frac{V_o}{L} (1-D) T_s \right] = V_o \left[\frac{1}{R_{Load}} - \frac{(1-D)}{2 L f_s} \right] \quad (2-19)$$

เงื่อนไขสำคัญสำหรับการทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง คือกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะต้องเป็นบวกเสมอ จากสมการ (2-19) นำสมการมาใช้ในการหาค่าความเหนี่ยวนำต่ำสุด (L_{min}) และความถี่ในการสวิตช์ (f_s)

$$I_{Lmin} = V_o \left[\frac{1}{R_{Load}} - \frac{(1-D)}{2 L f_s} \right] = 0 \quad (2-20)$$

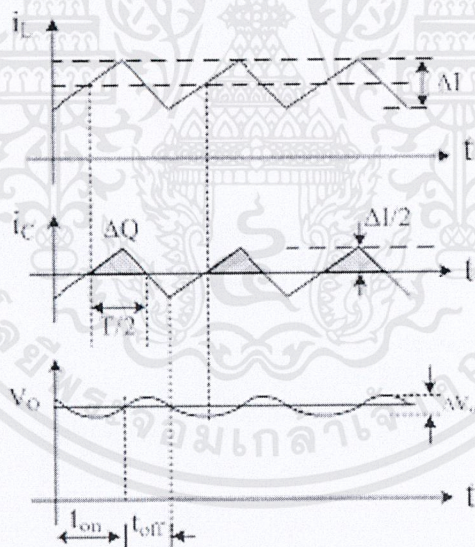
กำหนดให้
$$\frac{1}{R_{Load}} - \left[\frac{(1-D)}{2Lf_s} \right] \tag{2-21}$$

$$\frac{1}{R_{Load}} - \frac{1-D}{2Lf_s} \tag{2-22}$$

ดังนั้น
$$L_{min} = \frac{(1-D)R_{Load}}{2f_s} \tag{2-23}$$

$$f_s = \frac{(1-D)R_{Load}}{2L_{min}} \tag{2-24}$$

ค่าริปเปิลของแรงดันเอาต์พุตมีน้อยกว่าค่าริปเปิลของกระแสตัวเหนี่ยวนำมาก นั่นคือค่าริปเปิลของกระแสตัวเก็บประจุมีค่าประมาณเท่ากับค่าริปเปิลของกระแสตัวเหนี่ยวนำ



ภาพที่ 2.17 ค่าริปเปิลของกระแสและแรงดันของวงจรแปลงผันแบบบัก

ปริมาณของประจุที่ตัวเก็บประจุ C ได้รับในหนึ่งคาบเวลาเท่ากับ $\int i_c dt$ หรือพื้นที่ Q เหนือแกนเวลาของรูปคลื่น i_c ในช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุได้รับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุจะเพิ่มขึ้นเท่ากับ ΔV_o ดังนั้น

$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C}; \Delta Q = \frac{T_s \Delta I}{8} \quad (2-26)$$

แทนค่า

$$\Delta I = \frac{V_o}{L} (1-D) T_s \quad (2-26)$$

$$\therefore \Delta V_o = \frac{T_s}{8C} \cdot \frac{V_o}{L} (1-D) \cdot T_s \quad (2-27)$$

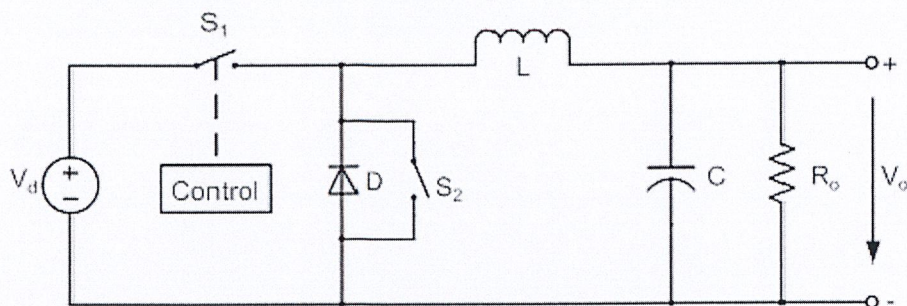
$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{T_s^2}{8C} \left(\frac{1}{L} \right) (1-D) = \frac{(1-D)}{8 \cdot L \cdot C \cdot f_s^2} \quad (2-28)$$

สมการที่ (2-28) คืออัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันเอาต์พุตเรียกว่า อัตราริปเปิลคลีน (Ripple Ratio)

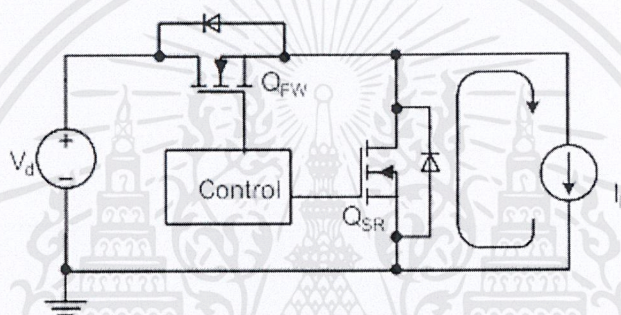
2.6 วงจรซิงโครนัสบัคคอนเวอร์เตอร์

วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบบักธรรมดา (Conventional Buck) เป็นวงจรที่นิยมนำไปสร้างวงจรแปลงผันแบบลดทอนแรงดัน แต่ไม่นิยมใช้ในวงจรแปลงผันแรงดันต่ำ-กระแสสูง เนื่องจากจะเกิดกำลังสูญเสียภายในไดโอดสูง ส่งผลให้ประสิทธิภาพของวงจรต่ำ จากสาเหตุดังกล่าวจึงมีการแทนที่ไดโอดด้วยมอสเฟตกำลัง Q_{SR} ซึ่งเรียกววงจรแปลงผันนี้ว่า วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบซิงโครนัสบัค (Synchronous Buck Converter) ข้อดีของวงจรแปลงผันชนิดนี้คือสามารถลดกำลังสูญเสียภายใน Q_{SR} และในการออกแบบสามารถเลือกมอสเฟตกำลังที่มีความต้านทานภายในต่ำ ๆ มาใช้งานได้ ทำให้ลดกำลังสูญเสียที่เกิดจากสวิตช์กำลังลงได้ นอกจากนี้สามารถกำหนดค่าเวลาไร้ผลสนอง (Dead Time) ระหว่างการทำงานของสวิตช์กำลังได้ ส่งผลให้สวิตช์กำลังทำงานไม่พร้อมกัน ทำให้สวิตช์กำลังมีความปลอดภัยมากขึ้น

วงจรซิงโครนัสบัคคอนเวอร์เตอร์เป็นรูปแบบหนึ่งของวงจรซิงโครนัสเรกติไฟเออร์ หลักการทำงานของวงจรซิงโครนัสเรกติไฟเออร์คือ การทำงานแบบเข้าจังหวะ ใช้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ เช่น มอสเฟต แทนไดโอดของวงจบบักคอนเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมการทำงานของวงจร และควบคุมการจุดชนวนเกต (Gate) ของมอสเฟตให้ทำงานด้วยวงจร PWM

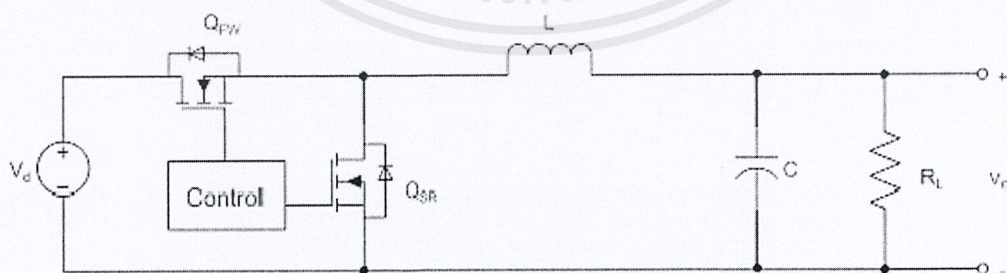


ภาพที่ 2.18 หลักการของโมเดลของซิงโครนัสเรกติไฟเออร์



ภาพที่ 2.19 โมเดลของซิงโครนัสเรกติไฟเออร์

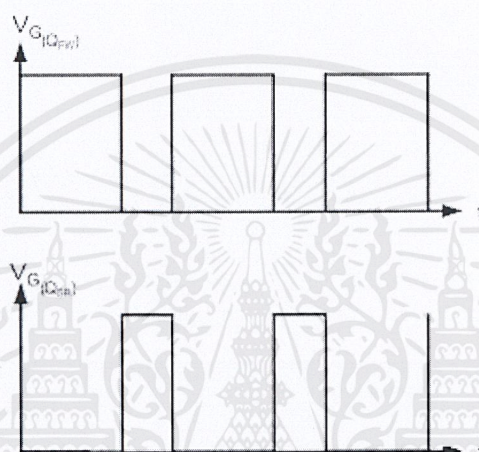
ข้อดีของวงจรคือลดการสูญเสียที่เกิดจากไดโอดในลูป (Loop) ของวงจร โดยการใช้ สวิตช์มอสเฟตที่มีช็อตกกีไดโอด (Schottky Diode) ต่อขนานอยู่ภายใน หรือเรียกว่า ซิงโครนัสมอสเฟต เปรียบเสมือนว่าสวิตช์มอสเฟตทำหน้าที่แทนไดโอดดังกล่าวได้เพราะโครงสร้างภายในนั่นเอง



ภาพที่ 2.20 วงจรซิงโครนัสบั๊กคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจรซิงโครไนส์บีกอนเวอร์เตอร์เป็นแบบเข้าจังหวะของมอสเฟต 2 ตัวที่ทำงานไม่พร้อมกัน เมื่อมอสเฟตหลัก (Q_{FW}) ทำงาน ซิงโครไนส์มอสเฟต (Q_{SR}) จะไม่ทำงานและซิงโครไนส์มอสเฟตจะทำงานในควอดแดรนต์ (Quadrant) ที่ 3 ของมอสเฟต เมื่อค่ากระแสเป็นลบ แรงดันเป็นลบ และสัญญาณที่ชดเชยชนวนให้กับมอสเฟตทั้งสองตัวจะเป็นบวก เนื่องจากมอสเฟตเป็นชนิดเอ็น (N-Type) แรงดันของการจุดชนวนที่ขาเกตต้องได้รับแรงดันบวกจึงนำกระแสได้ สัญญาณการจุดชนวนเกตของ Q_{FW} และ Q_{SR} แสดงในภาพที่ 2.21

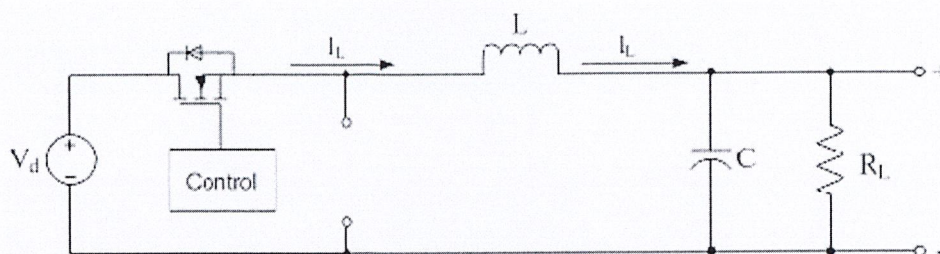


ภาพที่ 2.21 สัญญาณการทริกมอสเฟตหลักและซิงโครไนส์มอสเฟต

เมื่อ $V_{G(Q_{FW})}$ คือสัญญาณจุดชนวนเกตของมอสเฟตหลัก

$V_{G(Q_{SR})}$ คือสัญญาณจุดชนวนเกตของซิงโครไนส์มอสเฟต

การทำงานของวงจรซิงโครไนส์บีกอนเวอร์เตอร์ เมื่อมอสเฟตหลักนำกระแสจะมีกระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไปยังโหลด ขณะที่ซิงโครไนส์มอสเฟตจะไม่ทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 2.22

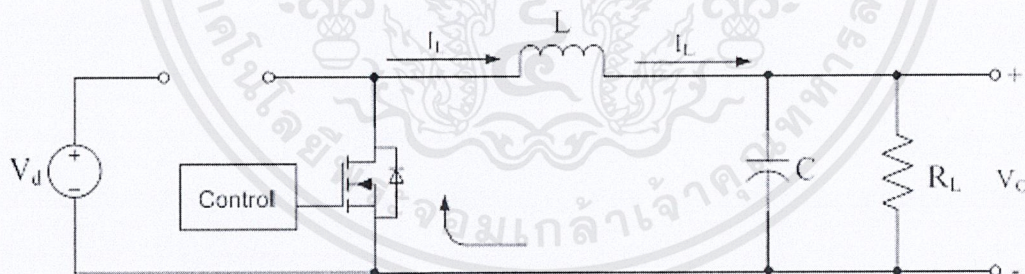


ภาพที่ 2.22 การทำงานของวงจรในช่วงเวลาที่มอสเฟตหลักนำกระแส

แรงดันเอาต์พุตคำนวณได้จาก $V_o = V_d D$ เมื่อ D คือ Duty Cycle ขณะที่มอสเฟตหลักทำงานนั้นมีการไหลจากแหล่งจ่ายไปยังตัวเหนี่ยวนำแล้วส่งผ่านไปยังโหลดจนครบวงจร โดยกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำนั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นแบบลิเนียร์ (Linear) ช่วงเวลาที่มอสเฟตหลักนำกระแสคือ $t_{on} = DT_s$ เมื่อ T_s คือคาบเวลาของการสวิตช์

เมื่อมอสเฟตหลักหยุดนำกระแสจะมีช่วงเวลาที่สัญญาณควบคุมเป็นศูนย์พร้อมกัน ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่น้อยมากๆ ช่วงเวลานี้เรียกว่าเวลาไร้ผลสนอง (Dead Time) ช่วงเวลาดังกล่าวช็อตก็ได้อัดที่อยู่ภายในซิงโครนัสมอสเฟตจะนำกระแสชั่วขณะ

เมื่อซิงโครนัสมอสเฟตได้รับสัญญาณควบคุมที่เป็นบวกจะทำให้ซิงโครนัสมอสเฟตทำงาน ดังภาพที่ 2.23



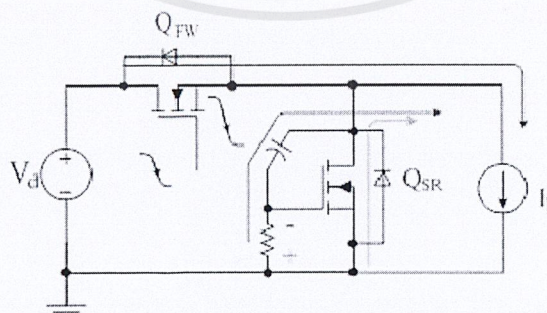
ภาพที่ 2.23 การทำงานของวงจรในช่วงเวลาที่ซิงโครนัสมอสเฟตนำกระแส

ขณะที่ซิงโครนัสมอสเฟตทำงาน ความต้านทานภายในมอสเฟต ($R_{DS(on)}$) มีค่าต่ำมากๆ การสูญเสียลดลง วงจรซิงโครนัสเรกติไฟเออร์มอสเฟตจะถูกให้หยุดนำกระแสเมื่อสัญญาณควบคุมซิงโครนัสมอสเฟตเป็นศูนย์ โดยช่วงเวลาที่ซิงโครนัสมอสเฟตนำกระแสคือ $t_{off} = T_s - t_{on}$

วงจรถิงโครนัสบั๊กคอนเวอร์เตอร์นี้ทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง เพราะฉะนั้น กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำไม่เป็นศูนย์ มอสเฟตที่นำมาทำเป็นซิงโครนัสเรกติไฟเออร์นั้นเป็น การใช้งานลักษณะของสวิตช์ ในวงจรถิงโครนัสบั๊กคอนเวอร์เตอร์เป็นการประยุกต์ในงานที่เป็น ลักษณะแรงดันต่ำของ Power Supply โดยการนำไปแทนที่ไดโอดเรกติไฟเออร์

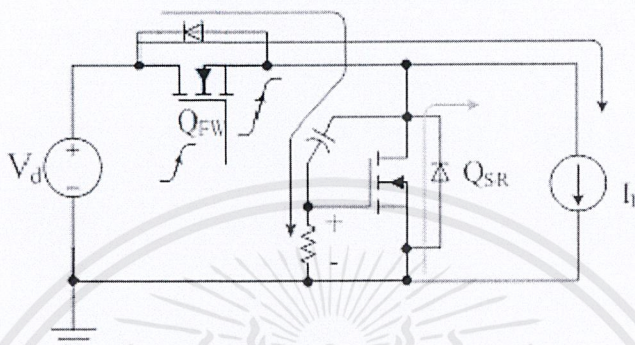
วงจรถิงโครนัสเรกติไฟเออร์ ในภาพที่ 2.20 เมื่อมอสเฟตหลัก (Main MOSFET: Q_{FW}) เข้าสู่สภาวะหยุดนำกระแสจะมีค่าพลังงานที่ถูกเก็บในตัวเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดกระแสไหลวนใน ลูปของสวิตช์มอสเฟตที่มีซ็อดกั๊กที่อยู่ภายในสวิตช์ ทำให้มีแรงดันตกคร่อมซ็อดกั๊กไดโอดขณะที่ไบอัส ไปหน้า (Forward Bias) ประมาณ 0.3 V แรงดันดังกล่าวจะมีค่าน้อยถ้าแรงดันที่เอาต์พุตมีค่าสูง แต่ ถ้าแรงดันเอาต์พุตมีค่าน้อยก็จะมีผลต่อการสูญเสียอย่างมาก ดังนั้นค่าแรงดันที่ตกคร่อมมอสเฟต เป็นค่าสำคัญที่แสดงกำลังสูญเสียและบอกประสิทธิภาพของจิงโครนัสเรกติไฟเออร์ มอสเฟตที่ มีซ็อดกั๊กไดโอดต่อขานานจะนำกระแสหลังจากที่ซ็อดกั๊กไดโอดภายในตัวสวิตช์นำกระแสได้เป็นเวลา ΔT เมื่อวงจรถิงโครนัสเรกติไฟเออร์ทำงานความต้านทานภายในมอสเฟต ($R_{DS(on)}$) มีค่าต่ำมากๆ ดังนั้นในการตรวจจับกระแสที่จุดใดของวงจรต้องมีหลักการการทำงานของวงจรถิงโครนัสเรกติไฟเออร์ คือมอสเฟตจะทำงานได้ขึ้นอยู่กับจุดชนวนที่เกิดของสวิตช์มอสเฟต วิธีการควบคุมสวิตช์เป็น การควบคุมสวิตช์หลัก (Forward Switch: Q_{FW}) สัญญาณขับเคลื่อนทั้งสองรูปสัญญาณไม่อิสระและ โดยเฉพาช่วงเวลาวิกฤติ (Dead Time) จำเป็นต้องมีการ Overlapping ของสัญญาณขับเคลื่อนในแต่ ละตัวของมอสเฟตเพราะอาจเกิดการลัดวงจรกับแหล่งจ่ายแรงดันได้หากทำงานพร้อมกัน คุณสมบัติ ทางอุดมคติของมอสเฟตทั้งสองตัวจะนำกระแส (Turn-on) และหยุดนำกระแส (Turn-off) ในเวลา เดียวกันโดยมีไดโอดเป็นตัวขัดขวางของซิงโครนัสมอสเฟต (Q_{SR}) ในการนำกระแส และเนื่องจาก ช่วงเวลาไดโอดนำกระแสน้อยมากๆ แต่มีความเที่ยงตรงสูงมาก จึงต้องพิจารณาค่าการ เปลี่ยนแปลงของ dv/dt ดังนี้

การเปลี่ยนแปลงของ dv/dt พิจารณาจากองค์ประกอบของค่าเวลาของมอสเฟต Q_{SR} ในสภาวะนำกระแสและไม่นำกระแสเป็นการเปรียบเทียบกับค่าแรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงใน ช่วงเวลาดังกล่าว



ภาพที่ 2.24 การสวิตช์ของซิงโครนัส ในช่วงเวลาขอบขาลงของสวิตช์มอสเฟต Q_{FW}

การทำให้มอสเฟต Q_{SR} นำกระแส เริ่มต้นด้วยการทำให้มอสเฟต Q_{FW} หยุดนำกระแส เมื่อสัญญาณในการขับเคลื่อนของมอสเฟต Q_{FW} เปลี่ยนเป็นขอบขาลงค่าของแรงดันที่มอสเฟต Q_{FW} ส่งผ่านแรงดันอินพุตจากระดับค่ามากไปเป็นศูนย์ กระแสยังคงอยู่ในมอสเฟต Q_{FW} กระทั่งตัวเก็บประจุ C_{RSS} มีการคายประจุและไดโอดของซิงโครนัสมอสเฟต Q_{SR} ก็จะได้รับไบอัสตรง



ภาพที่ 2.25 การสวิตช์ของซิงโครนัส ในช่วงเวลาขอบขาลงของสวิตช์มอสเฟต Q_{SR}

ในช่วงเวลาดังกล่าวมอสเฟต Q_{SR} จะให้กระแสไหลผ่านและมอสเฟต Q_{FW} จะหยุดนำกระแสโดยสิ้นเชิง หลังจากนั้นสมรรถนะของการควบคุมสัญญาณที่ขับเคลื่อนของมอสเฟต Q_{SR} ได้ใช้ประโยชน์ และมอสเฟต Q_{SR} ก็จะนำกระแส การควบคุมการหยุดนำกระแสของมอสเฟต Q_{SR} กระบวนการนี้เริ่มต้นโดยการนำสัญญาณขับเคลื่อนออกจากมอสเฟต Q_{SR} กล่าวคือ การทำให้สัญญาณขับเคลื่อนเปลี่ยนเป็นช่วงเวลาขอบขาลงของสัญญาณควบคุมนั่นเอง

สรุปคือ การทำงานลักษณะพิเศษของซิงโครนัสมอสเฟตและการขับเคลื่อน ทำให้สวิตช์มอสเฟตนำกระแสและหยุดนำกระแสได้ ค่า dv/dt ของสวิตช์มอสเฟตซึ่งอุปกรณ์ถูกบังคับโดยคุณลักษณะของการขับเคลื่อนของการสวิตช์ไปข้างหน้า (Forward Switch) ฉะนั้นวงจรขับเคลื่อนทั้งสองมักจะออกแบบเพื่อให้แน่ใจว่าแต่ละความเร็วและการจำกัดค่า dv/dt เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขการทำงาน เพื่อให้แน่ใจไม่มีวิธีการคำนวณดังนี้

$$\frac{dv}{dt_{\text{TURN-ON}(FW)}} = \frac{V_{\text{DRV}} - V_{\text{GS,PLATEAU}(FW)}}{(R_{\text{HI}(FW)} + R_{\text{GATE}(FW)} + R_{\text{G,I}(FW)}) \cdot C_{\text{RSS}(FW)}} \quad (2-29)$$

$$\frac{dv}{dt_{\text{MAX}(SR)}} = \frac{V_{\text{TH}(SR)}}{(R_{\text{LO}(SR)} + R_{\text{GATE}(SR)}) + R_{\text{G,I}(SR)} \cdot C_{\text{RSS}(SR)}} \quad (2-30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ดังนั้นค่าของ} \quad \frac{dv}{dt_{\text{TURN-ON(FW)}}} < \frac{dv}{dt_{\text{MAX(SR)}}}$$

สมมติว่าอุปกรณ์สวิตช์มอสเฟต Q_{SR} และ Q_{FW} เหมือนกัน ไม่มีความต้านทานภายนอกที่เกิด และเกิดมีความต้านทานภายในที่น้อยมากเปรียบเทียบกับ การซบเอาต์พุดอิมพีแดนซ์ ค่าของอัตราส่วนการซบเอาต์พุดอิมพีแดนซ์สามารถประมาณได้โดย

$$\frac{R_{LO(SR)}}{R_{HI(FW)}} \leq \frac{V_{TH(SR)}}{V_{DRV} - V_{GS, PLATEAU(FW)}} \quad (2-31)$$

โดยทั่วไประดับลอจิกของมอสเฟตที่ซบเกิดใช้แรงดัน 10 V ได้อัตราส่วน 0.417 ซึ่งหมายความว่าใส่ค่าอิมพีแดนซ์ของมอสเฟต Q_{SR} มักจะน้อยกว่า 42% ของค่าอิมพีแดนซ์มอสเฟต Q_{FW} เมื่อนำมาคำนวณ ควรระวังไว้ว่าทุกพารามิเตอร์ ยกเว้น V_{DRV} ขึ้นกับอุณหภูมิ ค่าที่มีการปรับแล้วจะสะท้อนกลับมายังเป็นเงื่อนไขการทำงานที่แย

2.7 ประสิทธิภาพของวงจรซิงโครนัสบั๊กคอนเวอร์เตอร์

วงจรซิงโครนัสบั๊กคอนเวอร์เตอร์สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพของวงจรได้จาก

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \times 100\% \quad (2-32)$$

ในการคำนวณหา กำลังสูญเสียในวงจรซิงโครนัสบั๊กคอนเวอร์เตอร์ การสูญเสียส่วนมากจะเกิดขึ้นในกระบวนการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการสวิตช์ภายในมอสเฟตกำลัง โครงสร้างของการสูญเสียสำหรับมอสเฟตจะใช้การเปรียบเทียบเป็น High-side คือมอสเฟตหลัก (Q_{FW}) และ Low-side คือซิงโครนัสมอสเฟต (Q_{SR})

2.7.1 การสูญเสียทางด้าน High-side

กำลังการสูญเสียในมอสเฟตตัวหนึ่ง จะเป็นการรวมเข้าด้วยกันของการสูญเสียอันเนื่องจากการนำกระแส (P_{COND}) ของมอสเฟตและการสูญเสียในการสวิตช์ (P_{SW})

$$P_{MOSFET} = P_{SW} + P_{COND} \quad (2-33)$$

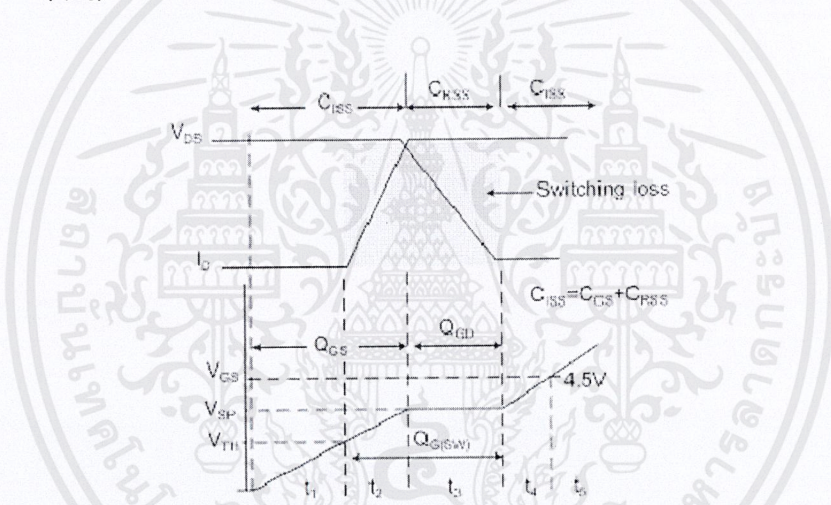
มอสเฟตหลักมีผลโดยตรงต่อการสวิตช์ เริ่มตั้งแต่เมื่อจ่ายแรงดันอินพุตด้วยกระแสเต็มพิกัดไหลผ่านตัวมัน ในการแปลงผันที่มี Duty Cycle ต่ำ การสูญเสียจากการสวิตช์จะเริ่มเกิดขึ้นและมีค่ามาก

การสูญเสียเนื่องจากการนำกระแสทางด้าน High side ในการคำนวณโดยทั่วไปก็คือ

$$P_{\text{COND}} = I_{\text{QFW(rms)}}^2 \cdot R_{\text{DS(ON)}} \quad (2-34)$$

เมื่อ $R_{\text{DS(on)}}$ คือค่าความต้านทานของมอสเฟต เมื่ออุณหภูมิร่อยต่อสูงสุด ($T_{j,\text{max}}$) อุณหภูมิที่ร่อยต่อสูงสุดคือสมการที่สามารถคำนวณได้โดยใช้เทคนิคการ Interactive

การสูญเสียเนื่องจากการสวิตช์ทางด้าน High Side หากแบ่งช่วงเวลาในการสวิตช์ออกเป็น 5 คาบ (t_4 - t_5) เมื่อพิจารณาจากแรงดันตกคร่อมมอสเฟตและกระแสที่ไหลผ่านตัวมัน



ภาพที่ 2.26 การสูญเสียเนื่องจากการสวิตช์ทางด้าน High-side

จากภาพที่ 2.26 เป็นกราฟ Timing ที่แสดงค่าแรงดัน V_{GS} เทียบกับเวลา รูปร่างของกราฟนี้คือเอกลักษณ์ของรูปคลื่น Q_C ที่ถูกบรรจุในใบข้อมูล (Datasheet) ของมอสเฟต ซึ่งสมมติว่าเกตได้รับการขับด้วยกระแสที่ สัญลักษณ์ Q_C เป็นตัวชี้บอกโดย Q_C จะเริ่มเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับเวลา ช่วงเวลาที่เว้นว่างของการสวิตช์ จะเริ่มขึ้นเมื่อ มอสเฟตทางด้าน High-side ถูกขับให้นำกระแสและกระแสจากแหล่งจ่ายไหลผ่านตัวมัน ตัวเก็บประจุทางด้านอินพุตเริ่มทำการเก็บประจุ ซึ่งขณะนี้ยังไม่มีการสูญเสียเกิดขึ้น จนกระทั่งแรงดัน V_{GS} เพิ่มขึ้นมาถึงระดับแรงดันปิดกั้น (V_{TH}) ของมอสเฟต

เมื่อแรงดัน V_{GS} มีค่าเพิ่มมากกว่า V_{TH} ตัวเก็บประจุทางด้านอินพุต (C_{ISS}) จะมีการเก็บประจุและ I_D จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่าเท่ากับกระแสที่ไหลในตัวเหนี่ยวนำซึ่งจะถือได้

ว่าเป็นกระแสเอาต์พุต ระหว่างคาบเวลาที่ 2 (t_2) มอสเฟตเริ่มได้รับแรงดันตกคร่อมทั้งหมดที่ตัวมัน ดังนั้นพลังงานในมอสเฟตระหว่างคาบเวลาที่ 2 คือ

$$W_{12} = t_2 \frac{V_d \cdot I_o}{2} \quad (2-35)$$

จากพื้นที่เหนือแกนเวลาของกระแส I_C กระแสเอาต์พุตไหลผ่านมอสเฟตหลัก และแรงดัน V_{DS} จะเริ่มตกลงขณะเดียวกันกระแสเกตทั้งหมดจะได้อามาจากการคายประจุของ Q_{GD} เมื่อ Q_{GD} คล้ายกับตัวเก็บประจุ मिलเลอร์ของทรานซิสเตอร์แบบ BJT ดังนั้นสามารถคิดพลังงานในมอสเฟตระหว่างช่วงเวลา t_3 นี้ได้จากสมการดังนี้

$$W_{13} = t_3 \frac{V_d \cdot I_o}{2} \quad (2-36)$$

ระหว่าง t_4 และ t_5 มอสเฟตทำงานเกือบจะสมบูรณ์แล้ว การสูญเสียตลอดคาบเวลานี้น้อยมากหากเปรียบเทียบกับคาบเวลา t_2, t_3 ดังนั้นจึงไม่นำส่วนนี้มาวิเคราะห์

การสูญเสียในการสวิตช์ส่วนใหญ่แล้วจะไปปรากฏที่ทุก ๆ ช่วงเวลาเว้นว่างมีค่าเพิ่มขึ้นได้ โดยค่า Duty Cycle ของช่วงเวลาในการสวิตช์

$$P_{sw} = \frac{V_d \cdot I_o}{2} (t_1 + t_2) \cdot f_s \quad (2-37)$$

2.7.2 การสูญเสียทางด้าน Low-side

การสูญเสียทางด้าน Low-side P_{LS} ประกอบไปด้วย การสูญเสียเนื่องจากการนำ และการสูญเสียเนื่องจากการสวิตช์ การสูญเสียทางด้าน Low-side หาได้จากสมการ

$$P_{LS} = P_{COND} + P_{SW} \quad (2-38)$$

การสูญเสียเนื่องจากการนำสำหรับ Q_{SR} หาได้จาก

$$P_{COND} = I_{Q_{SR}(rms)}^2 \cdot R_{DS(ON)} \quad (2-39)$$

การสูญเสียเนื่องจากการสวิตช์ทางด้านต่ำ (Low-side Switch Losses) มีค่าน้อยมากจึงไม่น่ามาคิด

2.7.3 การสูญเสียจากเวลาไร้ผลสนอง (Dead Time)

การสูญเสียจากเวลาไร้ผลสนองเป็นผลรวมของเวลาทั้งคู่ เมื่อมอสเฟตไม่นำกระแสช่วงระหว่างเวลานี้ซ็อดก็ไดโอดที่ต่อขนานได้รับไบอัสไปหน้า ในการนำกระแสจะมีกำลังสูญเสียคือ

$$P_{\text{DIODE}} = T_{\text{DIODE-TIME}} f_s V_F I_o \quad (2-40)$$

ในการคำนวณค่าเวลาไร้ผลสนองต้องพิจารณาว่าจะขั้ขาเกตของมอสเฟตอย่างไรมากกว่าเป็นวงจรขั้ แต่เป็นวงจรปรับปรุงค่าเวลาไร้ผลสนองซึ่งเป็นแรงดันที่ตรงข้ามกับมอสเฟตที่จะเพิ่มขึ้นก่อนที่แรงดัน off จะเริ่มขึ้นเพื่อประจุของมอสเฟตเอง มีการใส่ตัวหน่วงเวลาคงที่เพื่อป้องกันการลัดวงจรผ่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการเปลี่ยนแปลงจาก Low ไป High

การหน่วงที่พอดี จะเป็นการหลีกเลี่ยงการเกิดค่าสไปร์ (Spike) ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อค่าแรงดันที่เกตมากกว่าแรงดัน V_{TH} ทางด้าน Low-side ของการเริ่มนำกระแสของมอสเฟตทั้งคู่และการสูญเสียจากการนำกระแสที่เรียกว่า “Shoot-through”

2.8 บั๊กคอนเวอร์เตอร์กับบูสต์คอนเวอร์เตอร์

บูสต์คอนเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่ดีในกรณีที่ต้องการเพิ่มแรงดันสูงๆโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มาก แต่ในโครงการนี้ได้ใช้บั๊กคอนเวอร์เตอร์ (ซึ่งโครนส์บั๊กคอนเวอร์เตอร์) เนื่องจากเมื่อเกิดสภาวะไม่เอื้ออำนวยต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ บูสต์คอนเวอร์เตอร์ไม่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้ทั้งหมด แต่บั๊กคอนเวอร์เตอร์สามารถรวบรวมกำลังไฟฟ้าและส่งออกมาได้ดีกว่าเพียงแต่ต้องใช้จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้น

2.9 ข้อดีของการใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์ 1 วงจรต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง (Converter-per-Panel)

1. แต่ละวงจรคอนเวอร์เตอร์ถูกควบคุมเป็นอิสระต่อกัน และสามารถดึงกำลังไฟฟ้าด้วยกระบวนการ MPPT จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของแต่ละแผงได้ดีกว่า เนื่องจากพลังงานทั้งหมดที่ดึงได้ถูกนำมาใช้ทั้งหมด และหากมีแผงใดแผงหนึ่งถูกบังแสง ความสูญเสียจะถูกจำกัดไว้ไม่ส่งผลกระทบต่อชุดคอนเวอร์เตอร์กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์อื่นที่อยู่ใกล้เคียง
2. สามารถตัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือคอนเวอร์เตอร์ที่ผิดปกติออกจากระบบได้ แล้วปล่อยให้ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับคอนเวอร์เตอร์อื่นที่ติดอยู่แล้วทำงานต่อไปได้

3. การระบุหรือเก็บข้อมูลของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับคอนเวอร์เตอร์แต่ละชุดสามารถทำได้ง่ายจึงง่ายต่อการตรวจสอบและซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนชุดคอนเวอร์เตอร์ใหม่ได้ง่าย
4. มีความปลอดภัยในขณะที่ติดตั้งและซ่อมบำรุง
5. สามารถนำแต่ละชุดมาต่ออนุกรมกันเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงขึ้นได้

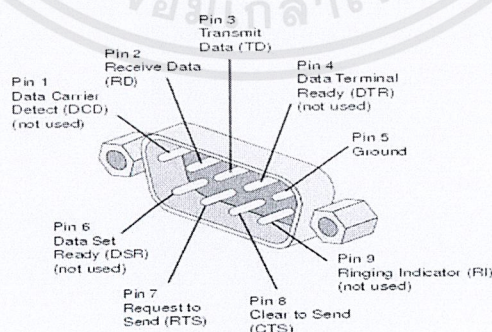
2.10 ข้อแตกต่างของการต่ออนุกรมและขนานของแต่ละชุด

การนำแต่ละชุดมาต่ออนุกรมกันจะใช้ MOSFET, Schottky Diodes, Inductors และ Capacitors ที่มีพิกัดแรงดันต่ำ ทำให้คอนเวอร์เตอร์มีขนาดเล็ก เบา และราคาถูก แต่การต่อแบบขนานจะต้องใช้อุปกรณ์ที่มีพิกัดแรงดันสูง แล้วนำชุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับคอนเวอร์เตอร์แต่ละชุดมาต่อกันแบบอนุกรม

2.11 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมผ่าน RS-232

การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมซึ่งมีลักษณะการรับส่งข้อมูลที่ละบิตภายในช่วงเวลาหนึ่งจนครบข้อมูล แบบที่เป็นพื้นฐานสำคัญของการสื่อสารข้อมูลในระบบบัสและง่ายที่สุดคือ RS-232 หรือ EIA-232

RS-232 (Recommended Standard-232) เป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อข้อมูลแบบอนุกรม Serial Port) กำหนดโดย EIA (Electronics Industry Association) หรือ สมาคมผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ใช้กับการสื่อสารแบบจุดต่อจุด โดยใช้สายเชื่อมต่อ DB แบบ 25 และ 9 เข็ม ที่ไม่ประสานจังหวะระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ต่อพ่วง มีการทำงานแบบสองทางพร้อมกัน (Full-duplex) โดยอาจใช้สายสัญญาณอื่นร่วมด้วยเพื่อทำแฮนด์เชค (Handshake) หรือไม่ได้ ทั้งนี้มาตรฐาน RS-232 จำกัดความยาวสายไว้ที่ 50 ฟุต หรือประมาณ 15 เมตร สำหรับการส่งสัญญาณที่ 19,200 บิตต่อวินาที โดยที่ความยาวสายจะต้องสั้นลงถ้าต้องการสื่อสารที่ความเร็วขึ้น



ภาพที่ 2.27 ตำแหน่งการใช้งานของสายเชื่อมต่อแบบ DB-9

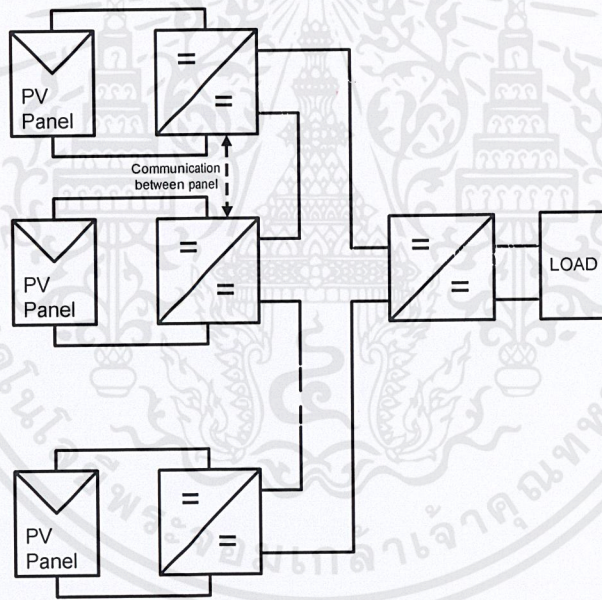
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างวงจร

3.1 ภาพรวมของโครงการ

ภาพรวมของโครงการสามารถอธิบายได้ดังนี้คือเริ่มจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 1 แผงขึ้นไป ส่งกำลังไฟฟ้าผ่านวงจร DC/DC Converter แบบ Synchronous Buck ในแต่ละแผง ที่มีการควบคุมให้สามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้กระบวนการ Maximum Power Point Tracking (MPPT) แบบ Incremental Conductance (IC) จากนั้นนำแต่ละชุดมาต่ออนุกรมกันแล้วผ่านวงจรวงจร DC/DC Converter อีกทีเพื่อทำให้ค่ากระแสและแรงดันมีความเหมาะสมกับกำลังไฟฟ้าที่โหลดจะต้องทำงานและทำให้โหลดนั้นทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ



ภาพที่ 3.1 ภาพรวมของโครงการ

3.1.1 บั๊กคอนเวอร์เตอร์

ในโครงการนี้ได้ใช้บั๊กคอนเวอร์เตอร์ (ซิงโครนัสบั๊กคอนเวอร์เตอร์) เนื่องจากเมื่อเกิดสถานะไม่เอื้ออำนวยต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ บูสต์คอนเวอร์เตอร์ไม่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้ทั้งหมด แต่บั๊กคอนเวอร์เตอร์สามารถรวบรวมกำลังไฟฟ้าและส่งออกมาได้ดีกว่าเพียงแค่ว่าต้องใช้จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้น

3.1.2 การต่ออนุกรมแต่ละชุด

การนำแต่ละชุดมาต่ออนุกรมกันจะใช้ MOSFET, Schottky Diodes, Inductors และ Capacitors ที่มีพิกัดแรงดันต่ำ ทำให้คอนเวอร์เตอร์มีขนาดเล็ก เบา และราคาถูก แต่การต่อแบบขนานจะต้องใช้อุปกรณ์ที่มีพิกัดแรงดันสูง แล้วนำชุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับคอนเวอร์เตอร์แต่ละชุดมาต่อกันแบบอนุกรม

3.2 การออกแบบวงจรซิงโครนัสบัคคอนเวอร์เตอร์

3.2.1 รายละเอียดของแหล่งจ่ายไฟฟ้า(แผงเซลล์แสงอาทิตย์)

กำลังไฟฟ้าสูงสุด $P_M = 125 \text{ W}$

แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่กัลังไฟฟ้าสูงสุด $V_{MP} = 17 \text{ V}$

กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่กัลังไฟฟ้าสูงสุด $I_{MP} = 7.36 \text{ A}$

แรงดันขณะเปิดวงจร $V_{OC} = 21.5 \text{ V}$

กระแสไฟฟ้าขณะลัดวงจร $I_{SC} = 7.64 \text{ A}$

3.2.2 โครงสร้างของวงจร Synchronous Buck Converter

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงลักษณะโครงสร้างวงจร Synchronous Buck Converter และระบบควบคุม ซึ่งประกอบด้วย ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ ชุดขับเกท ชุดวงจรเดดไทม์ ชุดวงจรบัฟเฟอร์ ชุดวงจรขยายแรงดัน ชุดวงจรตรวจจับแรงดัน ชุดวงจรตรวจจับกระแส โครงสร้างโดยภาพรวมแสดงไว้ในภาพที่ 3.1

3.2.3 การออกแบบวงจรหลักในวงจร Synchronous Buck Converter

3.2.3.1 การออกแบบค่าความเหนี่ยวนำ

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ } \frac{\Delta I_L}{2} &= \frac{1}{2} \left(\frac{V_o}{L} (1-D)T \right) \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{V_i D}{L} \right) (1-D)T \end{aligned}$$

นำมาหาอนุพันธ์เทียบกับ Duty เพื่อหา Duty ที่มีกระแสริบเปิดมากที่สุด

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta I_L}{dD} &= - \left(\frac{V_i T}{L} \right) (1-2D) \\ 0 &= 1-2D \\ D &= 0.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการ } L_{\min} &= \frac{(1-D)R}{2f} \\
 &= \frac{(1-0.5)(22.91)}{2 \times 100 \times 10^3} \\
 &= 57.27 \mu\text{H}
 \end{aligned}$$

โดยค่าความต้านทาน 22.91 Ω นำมาจากค่าแรงดันหารค่ากระแสที่ความเข้มแสง 100 W/m² จะให้ค่าความต้านทานมากที่สุด

แต่ในชิ้นงานจริงเราได้เลือกใช้ค่าความเหนี่ยวนำที่มีขนาด 120 μH

3.2.3.2 การออกแบบค่าตัวเก็บประจุ

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร } \frac{\Delta V_o}{V_o} &= \frac{(1-D)}{8LCf^2} \\
 C &= \frac{(1-0.5)}{8(0.01)(57.27 \times 10^{-6})(100 \times 10^3)^2} \\
 &= 10.91 \mu\text{F}
 \end{aligned}$$

แต่ในชิ้นงานจริงเราเลือกใช้ตัวเก็บประจุขนาด 220 μF

3.2.3.3 Mosfet (Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect)

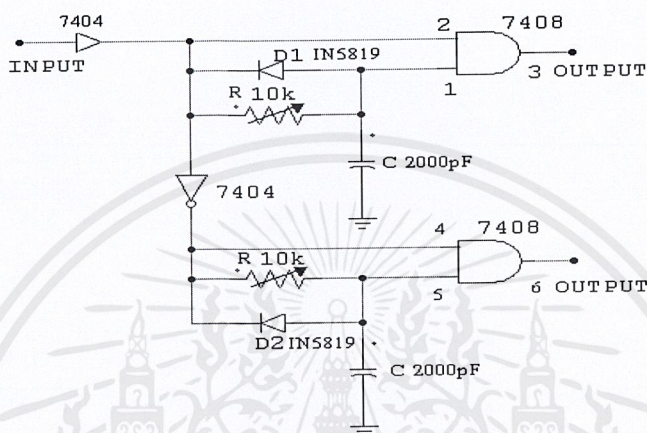
ยี่ห้อที่นำมาใช้ คือ International Rectifier เบอร์ irf 3205 55V Single N-Channel HEXFET Power MOSFET in a TO-220AB package สาเหตุที่เลือกใช้ตัวนี้เนื่องจากมีพิกัดอยู่ในช่วงที่สามารถใช้งานได้ ที่สำคัญ คือ มีค่า Rds(on) ต่ำมาก ทำให้ลดการสูญเสียในวงจรมากขึ้น

3.3 วงจร Dead Time

เป็นวงจรที่ใช้สำหรับปรับตั้งค่าเวลาให้มอสเฟตสวิตช์ โดยในทางปฏิบัติมอสเฟตทั้งสองตัวต้องไม่นำกระแสพร้อมกันดังนั้นจึงต้องการช่วงเวลาสวิตช์ทั้งคู่หยุดนำกระแสก่อนที่สวิตช์จะเปลี่ยนสถานะ เพื่อป้องกันการลัดวงจร ช่วงเวลานี้เรียกว่า เดดไทม์ ซึ่งเวลาเดดไทม์

ดังกล่าวจะต้องมีความเหมาะสม คือหากมีค่าน้อยเกินไปอาจทำให้มีโอกาสลัดวงจรได้ง่ายหรือถ้าหากมากเกินไปก็อาจจะทำให้แรงดันไฟฟ้าต้านออกของคอนเวอเตอร์ผิดเพี้ยนไป

ข้อดีของเดาต์ไทม์คือการทำหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรระหว่างมอสเฟตสองตัว แต่หากมีค่าเดาต์ไทม์มากเกินไป ก็จะมีผลต่อรูปคลื่นสัญญาณทางด้านออก โดยขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไหล

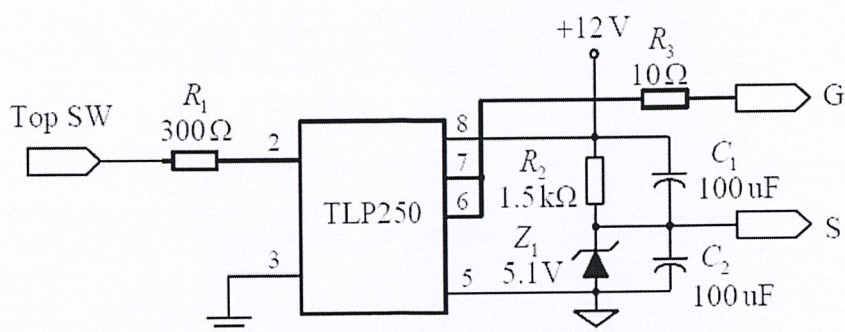


ภาพที่ 3.2 วงจรเดาต์ไทม์

3.4 วงจรขับเกต

วงจรถับเกตนั้นได้เลือกใช้ตัวขับเกตของ Toshiba เบอร์ TLP 250 วงจรถับเกตสำหรับมอสเฟตกำลัง มอสเฟตกำลังเป็นสวิตช์ที่ควบคุมด้วยแรงดัน (Voltage-controlled) ทำให้ง่ายต่อการควบคุมให้เริ่มนำกระแสหรือเริ่มหยุดนำกระแส ซึ่งจะเป็นข้อดีที่เหนือกว่ากรณีของทรานซิสเตอร์กำลัง

สัญญาณที่ผ่านกระบวน MPPT มีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยม สัญญาณนี้ถูกส่งผ่านวงจร Dead Time ไปยังวงจรถับสัญญาณขับเกตด้วยไอซีสร้างสัญญาณขับนำเกต เบอร์ TLP250 เพื่อควบคุมการทำงานของมอสเฟต วงจรถับสัญญาณขับเกตแสดงดังภาพที่ 3.3 โดยสัญญาณด้านเข้าเป็นสัญญาณที่มีขนาดแรงดัน 0 ถึง 5 V สัญญาณนี้ถูกส่งเข้าไปไบอัสให้ LED ใน TLP250 นำกระแส โดยมีความต้านทาน R_1 ทำหน้าที่จำกัดกระแสในการไบอัส เมื่อ LED นำกระแสทำให้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ทางด้านเอาต์พุตของ TLP250 นำกระแส แรงดันที่ขา 7 ของ TLP250 เทียบกับกราวด์เท่ากับ 12 V เมื่อแรงดัน V_{GS} มีค่าเป็นบวกสามารถทำให้มอสเฟตนำกระแสได้ ส่วนในกรณีที่แรงดันอินพุตน้อยกว่า 0.7 V LED ภายใน TLP250 หยุดนำกระแสส่งผลให้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ทางด้านเอาต์พุตของ TLP250 หยุดนำกระแสเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 3.3 วงจรขับเกตโดยใช้ไอซีเบอร์ TLP250

3.5 วงจรตรวจจับแรงดัน

เราจะใช้วงจร Voltage Divider ในการตรวจจับแรงดัน โดยใช้ตัวต้านทานขนาด 100 k Ω 1 W มาต่ออนุกรมกับตัวต้านทานขนาด 20 k Ω 1 W และนำไปขนานกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.6 วงจรตรวจจับกระแส

เราจะใช้ค่าตัวต้านทานขนาด 0.1 Ω 10 W มาต่อตรงกราวด์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำค่าแรงดันที่เกิดคร่อมที่ตัวต้านทานส่งผ่านไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแปลงเป็นค่ากระแสไปใช้ในการคำนวณต่อไป

3.7 วงจร low pass filter

จากสูตร $f = \frac{1}{2\pi RC}$

กำหนดให้ f (ความถี่คัตออฟ) = 100 Hz

ค่าตัวเก็บประจุ = 220 μF

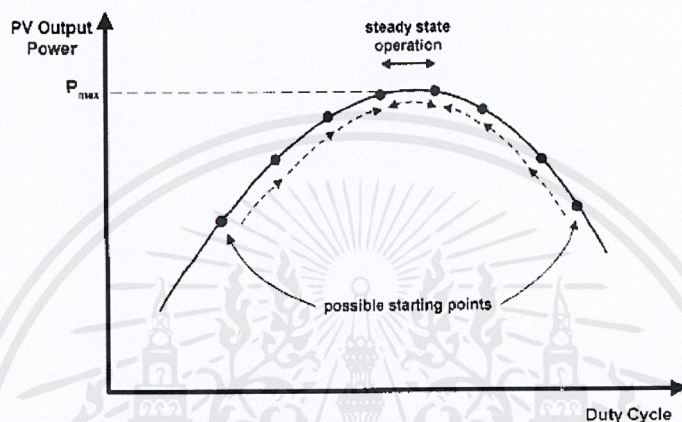
คำนวณหาค่าความต้านทาน $R = \frac{1}{2\pi f c}$

$$R = \frac{1}{2\pi(100)(220 \times 10^{-6})}$$

$$= 7.234 \Omega$$

ในที่นี้เลือกใช้ค่าความต้านทาน 8 Ω 1 W

เริ่มต้นการทำงานนั้นจะสุ่มค่า Duty Cycle เริ่มต้นให้กับหน่วยประมวลผลก่อนเพื่อให้เกิดค่าเริ่มต้นในการคำนวณรอบต่อไปและเมื่อพบจุดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วหรือเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวแล้วค่า Duty Cycle ที่ได้จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักซึ่งเป็นข้อดีของวิธี Incremental Conductance (IC) เราเรียกย่านนี้ว่า Steady State Operation ซึ่งจะเป็นการทำงานในย่านนี้ไปตลอดเวลาการทำงานเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้เป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

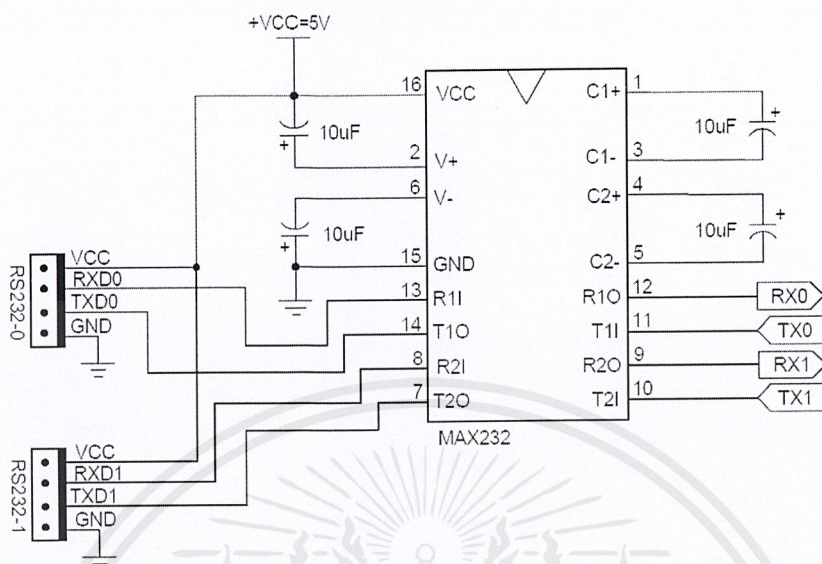


ภาพที่ 3.5 การทำ MPPT

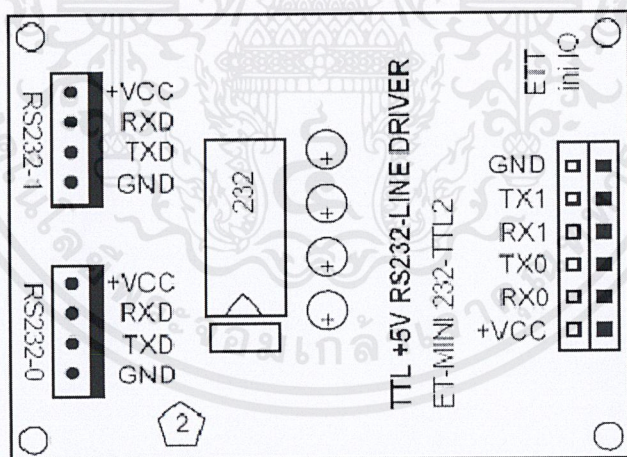
3.9 RS-232

ในโครงงานนี้ได้มีการออกแบบให้ใช้การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมโดยใช้ RS-232 ในการแสดงข้อมูลและสถานะการทำงานของแต่ละแผง ทำให้สามารถรู้ได้ว่าแต่ละแผงให้พลังงานออกมาเท่าไร และเมื่อเกิดการเสียหายผู้ดูแลระบบจะสามารถรู้ได้ทันที

โดยโครงงานนี้ได้เลือกใช้ Module ET-MINI 232-TTL2 เป็นชุด Line Driver ในการสื่อสารแบบ RS-232 ทำงานที่แรงดัน 5 V ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนระดับสัญญาณทางไฟฟ้าของ ขาสัญญารับและส่งข้อมูลให้เป็นระดับสัญญาณทางไฟฟ้าแบบ RS-232 (± 12 V) ซึ่งใน Module นี้จะสามารถต่อใช้งานได้ 2 แชนแนล โดยที่ขั้วต่อทางด้าน Input จะต้องต่อขา Tx และ Rx เข้ากับขา Tx และ Rx ของ Microcontroller Unit (MCU) ตามลำดับ ขา Tx และ Rx จะต้องต่อในแชนแนลเดียวกัน (Tx0:Rx0,Tx1:Rx1) ส่วนขา +VCC และ GND ก็ต่อเข้ากับไฟเลี้ยง MCU ได้เลย ในส่วน ขั้วต่อทางด้าน Output ถ้าต่อ Input เข้ามาทางแชนแนลไหนก็ให้ต่อ Output ของแชนแนลนั้นไปใช้งาน โดยจะต้องต่อขา Rx เข้ากับขา Tx และต่อขา Tx เข้ากับขา Rx ของอุปกรณ์ที่จะนำมาสื่อสารกัน และต่อขา GND เข้ากับ GND ของอุปกรณ์ที่นำมาสื่อสารด้วย ส่วน +VCC ไม่ต้องต่อ

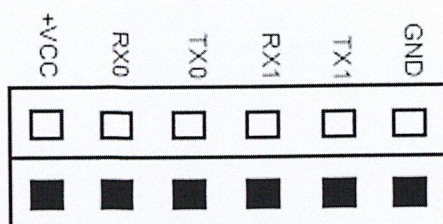


ภาพที่ 3.6 วงจร ET-MINI 232-TTL2



ภาพที่ 3.7 โครงสร้าง ET-MINI 232-TTL2 และตำแหน่งขา Port ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.8 แสดงขั้วต่อทางด้าน Input



ภาพที่ 3.9 แสดงขั้วต่อทางด้าน Output CH0 และ CH1

บทที่ 4

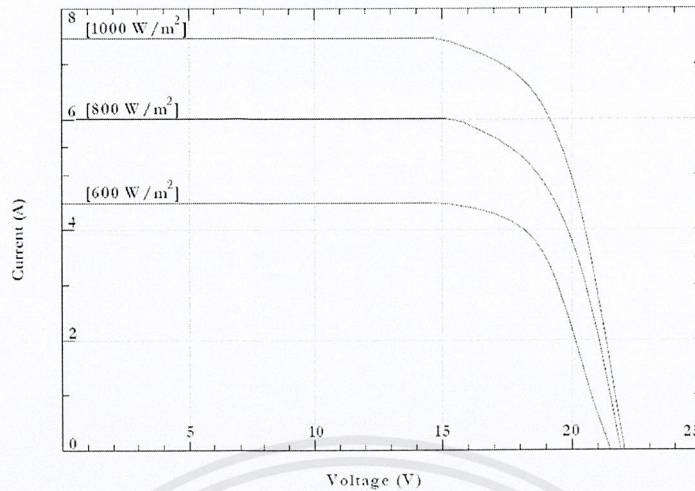
ผลการทดลอง

4.1 ผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSIM

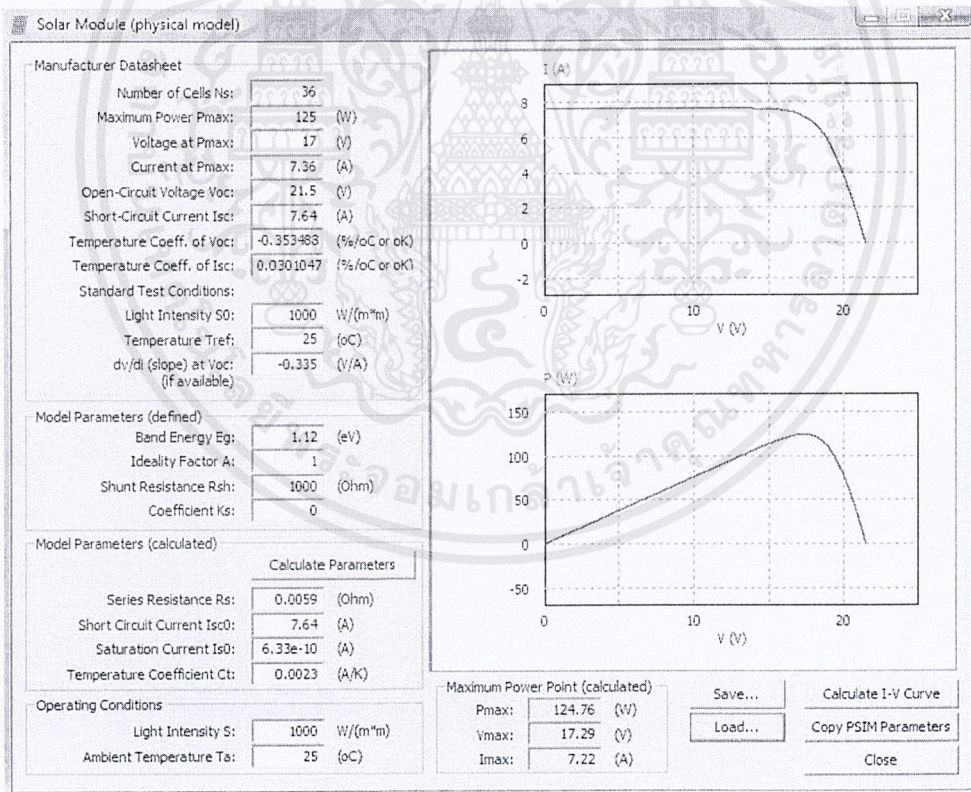
4.1.1 จากข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่นขนาด 125 วัตต์ ของบริษัทเอกรัฐโซลาร์ แสดงในตารางที่ 4.1 นำมาสร้างแบบจำลองทางกายภาพในโปรแกรม PSIM สำหรับใช้ในการจำลองการทำงาน จะได้แบบจำลองดังแสดงในภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่นขนาด 125 วัตต์ ของบริษัทเอกรัฐโซลาร์

Maximum power (P_{max})	125 W
Power tolerance	$\pm 5\%$
No. of connected cells	36
Voltage of Pmax (V_{mp})	17 V
Current at Pmax (I_{mp})	7.36 A
Short - Circuit current (I_{sc})	7.64 A
Open - Circuit voltage (V_{oc})	21.5 V
Temperature Coefficient of V_{oc}	- 0.076 V / °C
Temperature Coefficient of I_{sc}	+ 2.3 mA / °C
Temperature Coefficient of power	- 0.43 % / °C
Maximum series fuse rating	15 A
Maximum voltage system	1000 V



ภาพที่ 4.1 กราฟของกระแสกับแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่นขนาด 125 วัตต์ ของบริษัทเอกรัฐโซลาร์ ที่ค่าความเข้มแสง 1000 W/m^2 , 800 W/m^2 และ 600 W/m^2 (อุณหภูมิเท่ากับ $25 \text{ }^\circ\text{C}$)

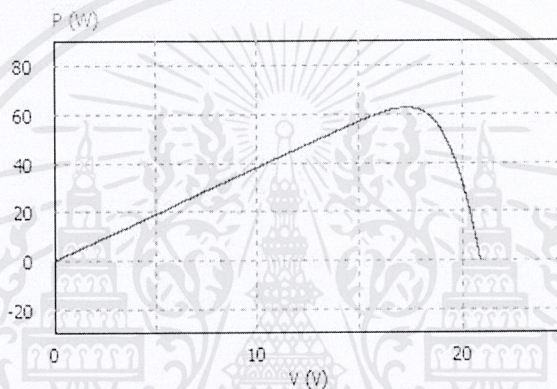


ภาพที่ 4.2 แบบจำลองทางกายภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 125 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

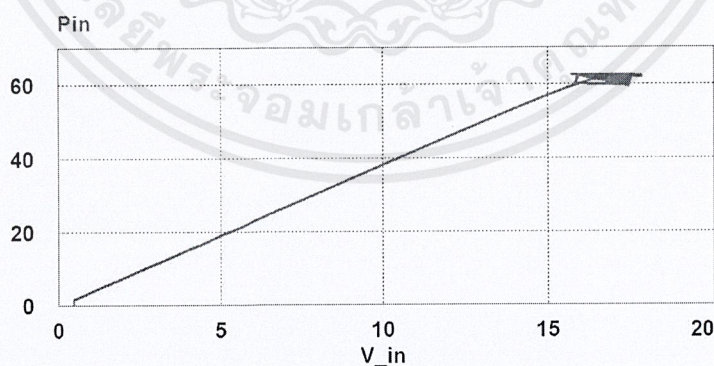
จากการจำลองทางกายภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ค่าความเข้มแสงเท่ากับ 1000 W/m^2 , อุณหภูมิเท่ากับ $25 \text{ }^\circ\text{C}$ พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด แรงดัน และกระแส มีค่าเปลี่ยนไปเล็กน้อย และกราฟของแรงดันกับกระแสที่ได้จากการจำลอง มีลักษณะใกล้เคียงกับกราฟที่ได้จากข้อมูลการทดสอบมาจากบริษัทผู้ผลิตเอง (แสดงในภาพที่ 4.1) ทำให้สามารถใช้แบบจำลองดังกล่าวในการศึกษาจำลองการทำงานได้

4.1.2 การจำลองการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด แบบอินกรีเมนทอลคอนดักแตนซ์ เปรียบเทียบกับแบบ P&O ผ่านคอนเวอร์เตอร์แบบซิงโครนัส

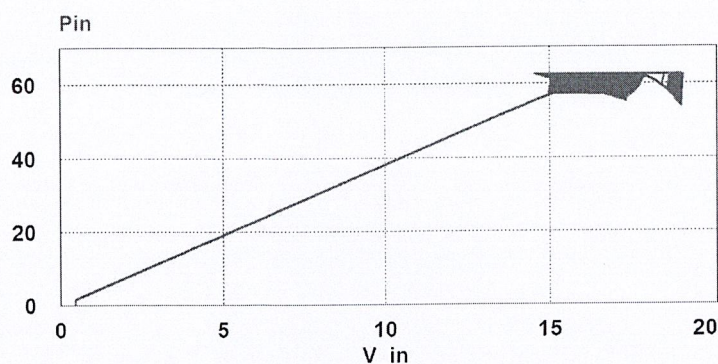


ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันที่ค่าความเข้มแสง 500 W/m^2

จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่า $P_{\text{max}} = 62.73 \text{ W}$, $V = 17.34 \text{ V}$



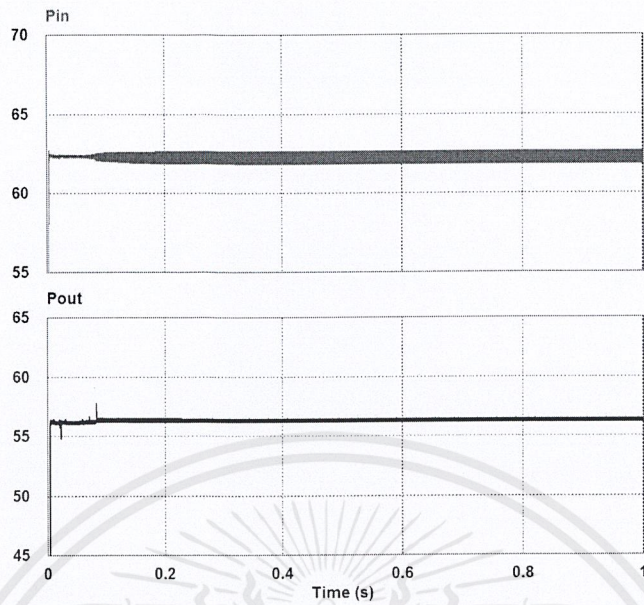
ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าและแรงดันที่ค่าความเข้มแสง 500 W/m^2 จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด แบบอินกรีเมนทอลคอนดักแตนซ์ จะมีค่า $P_{\text{in}} = 62.20 \text{ W}$, $V_{\text{in}} = 17.08 \text{ V}$



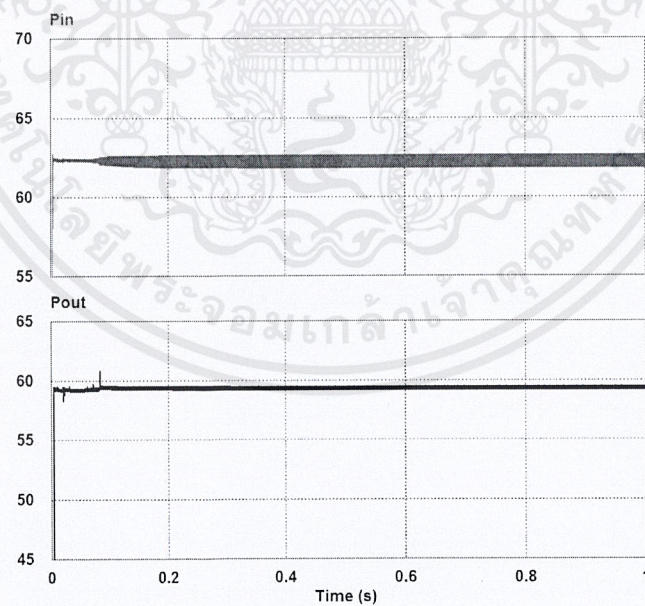
ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าและแรงดันที่ค่าความเข้มแสง 500 W/m^2 ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด แบบ P&O จะให้ค่า $P_{in} = 61.48 \text{ W}$, $V_{in} = 16.98 \text{ V}$

จากผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSIM จะเห็นได้ว่าการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบอินครีเมนทอลคอนตักแดนซ์สามารถติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ใกล้เคียงจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ควรจะได้ที่แสง 500 W/m^2 มากกว่าการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบ P&O นอกจากนี้เมื่อเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวที่จุดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบอินครีเมนทอลคอนตักแดนซ์จะไม่เกิดการแกว่งซึ่งพบได้ในแบบ P&O

4.1.3 ผลการจำลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างวงจร Buck converter กับวงจร Synchronous buck converter ที่แสง 500 W/m^2 พบว่า วงจร Buck converter มีประสิทธิภาพ 90.13 % และ วงจร Synchronous buck converter มีประสิทธิภาพ 95.02 % ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่า ดังนั้นวงจร Synchronous buck converter จึงเป็นวงจรที่เหมาะสมในการทำงาน



ภาพที่ 4.6 กำลังไฟฟ้าทางต้านอินพุตและเอาต์พุตของบีกคอนเวอร์เตอร์ ที่ค่าความเข้มแสง 500 W/m^2 ($P_{in} = 62.20 \text{ W}$, $P_{out} = 56.06 \text{ W}$)



ภาพที่ 4.7 กำลังไฟฟ้าทางต้านอินพุตและเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์แบบซิงโครนัสที่ค่าความเข้มแสง 500 W/m^2 ($P_{in} = 62.20 \text{ W}$, $P_{out} = 59.10 \text{ W}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่มีการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด กับ แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด เพื่อตรวจสอบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด จะสามารถติดตามค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ความเข้มแสงนั้นๆ ได้จริง

นอกจากนี้ ยังได้ทำการทดลองโดยใช้คอนเวอร์เตอร์แบบบักคอนเวอร์เตอร์ เปรียบเทียบกับแบบซิงโครนัสบัก เพื่อตรวจสอบว่าคอนเวอร์เตอร์แบบซิงโครนัสบักนั้น สามารถลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากไดโอด ในบักคอนเวอร์เตอร์ได้

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้า (โหลดความต้านทานเท่ากับ 2.3 โอห์ม)

ค่าความเข้มแสง (W/m^2)	ค่ากำลังไฟฟ้าขาเข้า (W)		ค่ากำลังไฟฟ้าขาออก (W)		ประสิทธิภาพ (%)	
	ไม่มี	มี	Buck	Synchronous Buck	Buck	Synchronous Buck
	MPPT	MPPT				
300	10.327	18.426	12.375	15.471	67.161	83.962
500	23.564	38.111	27.419	35.497	71.845	93.141
700	44.646	59.038	52.552	55.897	89.013	94.679

จากตารางผลการทดลองพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด มีค่ามากกว่าแบบไม่มีการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด ในทุกย่านความเข้มแสงต่างๆ และประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์แบบซิงโครนัสบัก มีค่ามากกว่าประสิทธิภาพของบักคอนเวอร์เตอร์

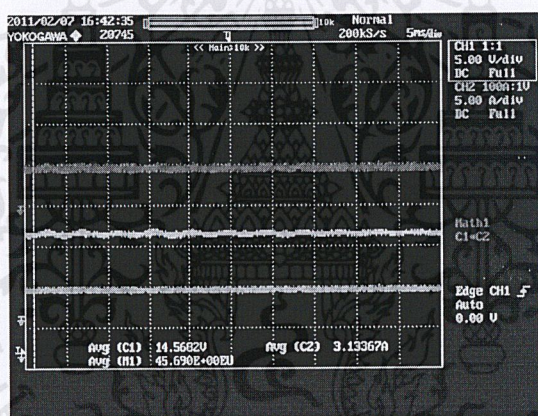
4.2.2 นำเซลล์แสงอาทิตย์และคอนเวอร์เตอร์ชนิดซิงโครนัสบักที่มีการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดแยกอิสระจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาต่ออนุกรมกัน 2 แผง และเปรียบเทียบกับแบบเซลล์แสงอาทิตย์และคอนเวอร์เตอร์ชนิดซิงโครนัสบักที่มีการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดไม่แยกอิสระ ในสภาวะที่ความเข้มแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผงมีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบการใช้คอนเวอร์เตอร์แบบต่อหนึ่งแผง กับ แบบต่อหลายแผง

คอนเวอร์เตอร์ต่อหนึ่งแผง			คอนเวอร์เตอร์ต่อหลายแผง		
แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (W)
21.79	5.44	118.54	20.44	4.52	92.38

จากการทดลองโดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แผงที่หนึ่งได้รับความเข้มแสง 500 W/m^2 และอีกแผงได้รับความเข้มแสง 700 W/m^2 พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากแบบมีคอนเวอร์เตอร์ต่อหนึ่งแผงมีค่ามากกว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากแบบมีคอนเวอร์เตอร์ต่อหลายแผง อันเป็นผลเนื่องมาจากการแยกให้คอนเวอร์เตอร์อิสระต่อแผงนั้น สามารถติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างอิสระต่อกันในความเข้มแสงนั้นๆ แต่การใช้คอนเวอร์เตอร์หนึ่งตัวต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายแผง ทำให้แต่ละแผงไม่เป็นอิสระต่อกัน จะทำให้การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดทำได้ยาก เนื่องจากค่าความเข้มแสงมีหลายค่า ในขณะที่การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ควรจะได้ผิดพลาดไป

4.2.3 ผลการทดลองการสื่อสารและแสดงผลการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อดูว่าค่าที่อ่านได้จากสโคปและค่าที่อ่านได้ผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 มีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่ โดยค่าสถานะที่จะแสดง คือ ค่ากระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้า ดิวตี้ไซเคิล ที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 400 W/m^2



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อ่านได้จากสโคป

```

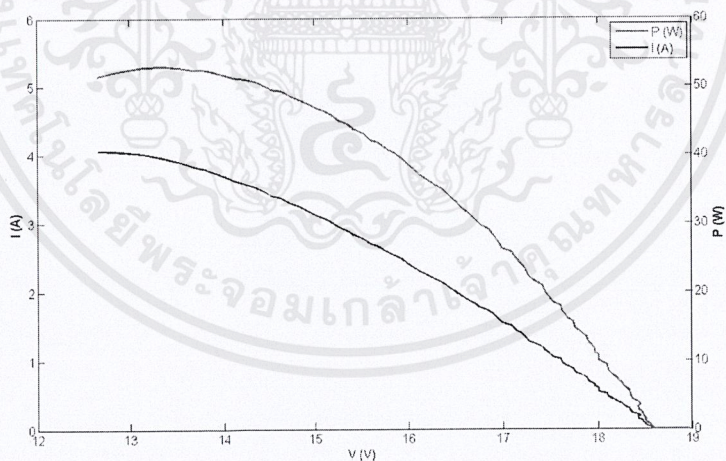
com - HyperTerminal
File Edit View Call Transfer Help
ADC error 2
V = 14.15 I = 3.37 P = 47.77 D = 90
ADC error 2
V = 14.08 I = 3.35 P = 47.24 D = 90
ADC error 2
V = 13.95 I = 3.32 P = 46.44 D = 90
ADC error 2
V = 13.82 I = 3.29 P = 45.54 D = 90
ADC error 2
V = 13.85 I = 3.30 P = 45.77 D = 90
ADC error 1
V = 13.91 I = 3.31 P = 46.16 D = 90
ADC error 1
V = 13.91 I = 3.31 P = 46.13 D = 90
ADC error 2
V = 13.95 I = 3.32 P = 46.41 D = 90
ADC error 1
V = 13.95 I = 3.32 P = 46.44 D = 90
ADC error 1
V = 13.95 I = 3.32 P = 46.41 D = 90
ADC error 2
V = 13.96 I = 3.32 P = 46.49 D = 90
ADC error 1

```

ภาพที่ 4.9 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อ่านได้จากคอมพิวเตอร์โดยผ่าน RS-232

จากภาพที่ 4.8 และภาพที่ 4.9 พบว่าค่าสถานะการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทางคอมพิวเตอร์ผ่าน RS-232 มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากสโคป

4.2.4 การตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมควบคุมการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด



ภาพที่ 4.10 กราฟ I-V Curve และ P-V Curve ที่ความเข้มแสง 458 W/m^2

$$(P_{\max} = 53.01 \text{ W}, V = 13.37 \text{ V}, I = 3.96 \text{ A})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V = 13.47	I = 3.85	P = 51.89	D = 94.00
V = 13.52	I = 3.85	P = 52.08	D = 94.00
V = 13.62	I = 3.74	P = 51.01	D = 92.00
V = 13.59	I = 3.86	P = 52.46	D = 94.00
V = 13.36	I = 3.92	P = 52.47	D = 96.00
V = 13.26	I = 3.92	P = 52.09	D = 96.00
V = 13.33	I = 3.85	P = 51.39	D = 94.00
V = 13.25	I = 3.92	P = 52.05	D = 96.00
V = 12.81	I = 3.93	P = 50.45	D = 98.00
V = 12.89	I = 3.91	P = 50.53	D = 96.00
V = 13.16	I = 3.85	P = 50.70	D = 94.00
V = 13.46	I = 3.75	P = 50.60	D = 92.00
V = 13.51	I = 3.85	P = 52.12	D = 94.00
V = 13.50	I = 3.84	P = 51.91	D = 94.00
V = 13.50	I = 3.85	P = 52.09	D = 94.00
V = 13.51	I = 3.84	P = 51.98	D = 94.00
V = 13.50	I = 3.85	P = 52.07	D = 94.00
V = 13.49	I = 3.84	P = 51.94	D = 94.00
V = 13.51	I = 3.84	P = 52.02	D = 94.00
V = 13.49	I = 3.84	P = 51.95	D = 94.00
V = 13.62	I = 3.74	P = 51.07	D = 92.00
V = 13.57	I = 3.85	P = 52.28	D = 94.00
V = 13.37	I = 3.92	P = 52.45	D = 96.00

ภาพที่ 4.11 ผลการ MPPT ที่ความเข้มแสง 458 W/m^2 ผ่านทาง RS-232

จากภาพที่ 4.10 เป็นการทดลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกับคอนเวอร์เตอร์ชนิดซิงโครนัสบัส ควบคุมโดยการปรับเพิ่มดิวตี้ไซเคิลขึ้นทีละ 1% จาก 0 – 100% เพื่อหาดิวตี้ไซเคิลที่ทำให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด แล้วนำมาเทียบกับการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด จาก RS-232 แสดงในภาพที่ 4.11 เพื่อตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมควบคุมว่าสามารถทำงานได้ถูกต้อง

จากภาพที่ 4.11 จะเห็นได้ว่า ดิวตี้ไซเคิล จะคงที่อยู่ที่ประมาณ 94% ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในภาพที่ 4.10

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองการดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงต่างๆโดยใช้กระบวนการ Maximum Power Point Tracking แบบ Incremental Conductance จาก Microcontroller นั้นสามารถดึงกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดจริง และไม่เกิดการแกว่งเมื่ออยู่ในสภาวะอยู่ตัวที่จุดที่ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดและยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพหรือลดการสูญเสียด้วยการใช้วงจร Synchronous Buck Converter ซึ่งจะทำให้มีประสิทธิภาพดีกว่าวงจร Buck Converter ที่มีการสูญเสียมากกว่า ในการทดลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์และคอนเวอร์เตอร์ชนิดซิงโครนัสก็ที่มีการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดแยกอิสระจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์อื่นในสตริงเดียวกัน แผงเซลล์แสงอาทิตย์อัจฉริยะนี้สามารถช่วยแก้ปัญหาการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของสตริงในสภาวะที่ความเข้มแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผงมีความแตกต่างกันได้ นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลหรือสถานการณ์ทำงานด้วยการสื่อสารแบบอนุกรมผ่าน RS-232 ทำให้สะดวกต่อการตรวจวัดและตรวจสอบสถานะการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผงได้ดีอีกด้วยดังนั้นประสิทธิภาพโดยรวมของระบบจึงอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

ปัจจัยที่มีผลต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำให้ไม่ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความเข้มแสงนั้นๆตามที่ควรจะได้ นั่นได้แก่ อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิภายในเซลล์แสงอาทิตย์ และความเข้มแสง ซึ่งอุณหภูมิในอุดมคติ นั่นคือ 25 องศาเซลเซียส จึงทำให้การดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดในบางครั้งคลาดเคลื่อนจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดจริงๆเล็กน้อย นอกจากนี้ควรเลือกมอสเฟตที่มีการสูญเสียขณะสภาวะทำงานน้อยที่สุดเพื่อลดการสูญเสีย รวมไปถึงการออกแบบตัวเหนี่ยวนำให้มีค่าความเหนี่ยวนำที่เหมาะสมและมีความต้านทานแผ่นน้อยที่สุด เพื่อให้วงจรมีประสิทธิภาพมากขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] E. Roman, R. Alonso and P. Ibanez, **“Intelligent PV Module for Grid-Connected PV Systems,”** IEEE Transaction on Industrial Electronics. Vol. 53, no. 4, August 2006.
- [2] G. R. Walker and P. C. Sernia, **“Cascaded DC-DC Converter Connection of Photovoltaic Modules,”** IEEE Transaction on Power Electronics. Vol. 19, no. 4, July 2004.
- [3] A. I. Bratcu, I. Munteanu, S. Bacha, D. Picault and B. Raison, **“Power Optimization Strategy for Cascaded DC-DC Converter Architectures of Photovoltaic Modules,”** IEEE Transactions on Power Electronics. vol. 20, no. 4, July. 2004.
- [4] J. H. Lee, H. S. Bae and B. H. Cho, **“Advanced Incremental Conductance MPPT Algorithm with a Variable Step Size,”** IEEE. 2006.
- [5] R. Faranda, and S. Leva, **“Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems,”** WSEAS Transaction on Power Systems. Issue 6, Vol. 3, June 2008.
- [6] N. Mohan, T .M. Underland, and W.P. Robins, **Power Electronics Converter, Application and Design,** John Wiley & Sons, Inc., 1989.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โปรแกรมควบคุมการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยใช้ PIC ด้วยภาษาซี

```

#include<16F877A.h>
#define ADC=10
#define fuses HS, NOLVP, NOWDT, NOPROTECT
#define use_delay (clock=20000000)
#define use_rs232(baud=9600, xmit=PIN_b0, rcv=PIN_b1, STREAM=prev_MCU)
#define use_rs232(baud=9600, xmit=PIN_c6, rcv=PIN_c7, STREAM=next_MCU)
#include <math.h>
#include <stdlib.h>
#include <input.c>

void main(void)
{
    char str[50];
    float V1,V2,Vv=0,Vi=0,V,I,dV,dI,Vp=0,Ip=0,P,D;
    float c=10;
    int16 duty=100,a;

    set_tris_c(0x00);
    setup_ccp1(CCP_PWM);
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,49,1);
    set_timer2(0);
    set_pwm1_duty(duty);
    setup_port_a(ALL_ANALOG);
    setup_adc(adc_clock_internal);

    while(TRUE){
        for(a=0;a<100;a++)
        {
            set_adc_channel(0);
            delay_us(20);
            V1=read_adc();

            set_adc_channel(1);
            delay_us(20);
            V2=read_adc();

            Vv=Vv+V1;
            Vi=Vi+V2;
        }

        V=(Vv/100)*(5.0/1023)*(26);
        I=(Vi/100)*(5.0/1023)*(0.9/0.1);
        P=(V*I);
        D=(duty/2);

        Vv=0;
        Vi=0;

        fgets(str,prev_MCU);
        fputs(str,prev_MCU);
        fprintf(next_MCU,"Panel 1 %s\r\n",str);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

fprintf(next_MCU, "Panel 2 V = %f I = %f P = %f D = %f \r\n", V, I, P, D);
fprintf(next_MCU, "\r\n");

dV=(V-Vp);
dI=(I-Ip);

if(dV>0&&dI>0){}
else if(dV<0&&dI<0){}
else{

    if((dV>(-0.01))&&(dV<0.01)){

        if((dI>(-0.01))&&(dI<0.01)){
            duty=duty;
        }
        else if(dI>0){
            duty=duty-c;
        }
        else{
            duty=duty+c;
        }
    }
    else{

        if(((dI/dV)+(I/V))>(-0.01))&&(((dI/dV)+(I/V))<(0.01)){
            duty=duty;
        }
        else if((dI/dV)>(-I/V)){
            duty=duty-c;
        }
        else{
            duty=duty+c;
        }
    }
}

if(duty<=20){duty=20;}
else if(duty>=200){duty=200;}
set_pwm1_duty(duty);

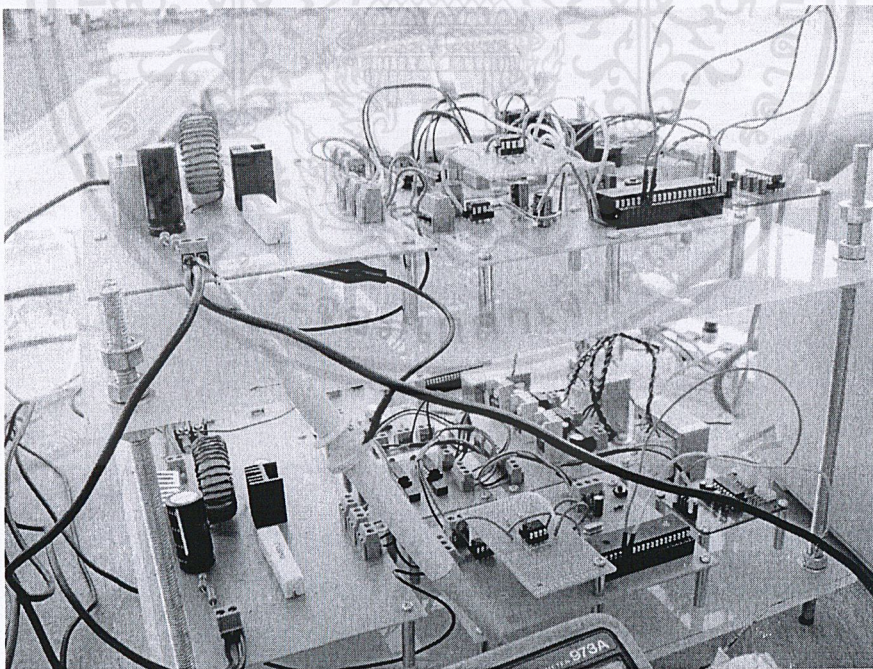
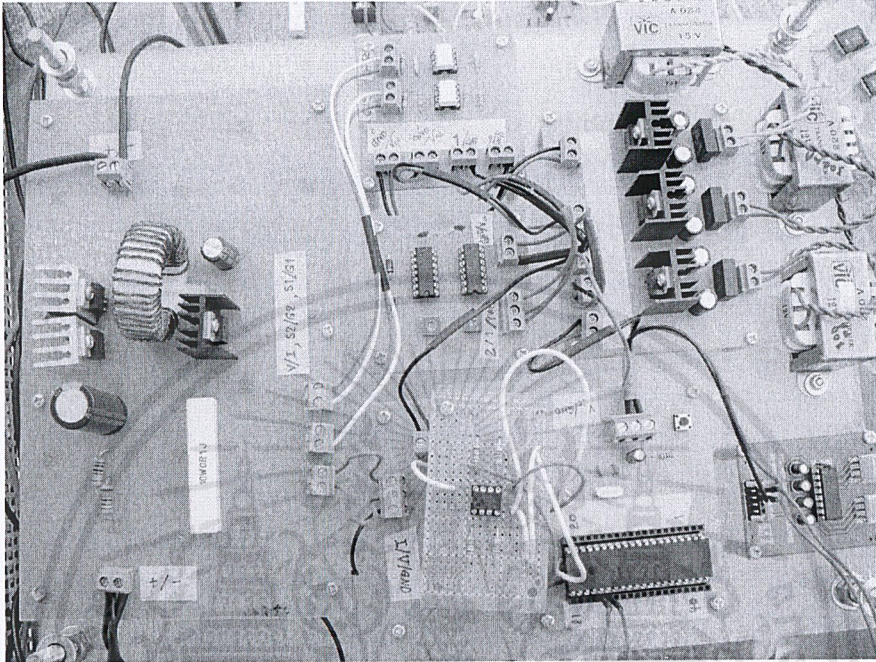
Vp=V;
Ip=I;

delay_ms(500);
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ชุดต้นแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์อัจฉริยะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ข้อมูลอุปกรณ์

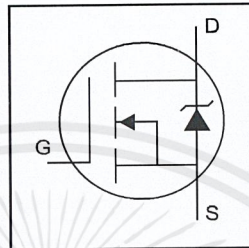
International
IR Rectifier

PD-91279E

IRF3205

HEXFET® Power MOSFET

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

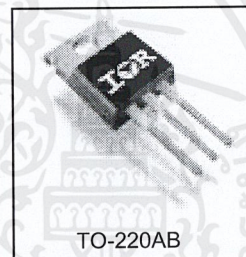


$V_{DSS} = 55V$
 $R_{DS(on)} = 8.0m\Omega$
 $I_D = 110A^{⑤}$

Description

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

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



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	110 ⑤	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10V$	80	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	390	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	200	W
	Linear Derating Factor	1.3	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
I_{AR}	Avalanche Current ①	62	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	20	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf·in (1.1N·m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.75	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

www.irf.com

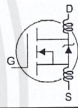
1
01/25/01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF3205

International
IR Rectifier

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

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	55	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.057	—	$V/^\circ\text{C}$	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	8.0	$m\Omega$	$V_{GS} = 10V, I_D = 62A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	44	—	—	S	$V_{DS} = 25V, I_D = 62A$ ④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS} = 55V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	146	nC	$I_D = 62A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	35		$V_{DS} = 44V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	54		$V_{GS} = 10V$, See Fig. 6 and 13
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	14	—	ns	$V_{DD} = 28V$
t_r	Rise Time	—	101	—		$I_D = 62A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	50	—		$R_G = 4.5\Omega$
t_f	Fall Time	—	65	—		$V_{GS} = 10V$, See Fig. 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	3247	—	pF	$V_{GS} = 0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	781	—		$V_{DS} = 25V$
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	211	—		$f = 1.0\text{MHz}$, See Fig. 5
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	—	1050 ⑥	264 ⑦		$I_{AS} = 62A, L = 138\mu H$

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	110	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	390		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 62A, V_{GS} = 0V$ ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	69	104	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 62A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	143	215	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S + L_D$)				

Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)
- ② Starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 138\mu H$
 $R_G = 25\Omega$, $I_{AS} = 62A$. (See Figure 12)
- ③ $I_{SD} \leq 62A$, $di/dt \leq 207A/\mu s$, $V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$,
 $T_J \leq 175^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width $\leq 400\mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.
- ⑤ Calculated continuous current based on maximum allowable junction temperature. Package limitation current is 75A.
- ⑥ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.
- ⑦ This is a calculated value limited to $T_J = 175^\circ\text{C}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

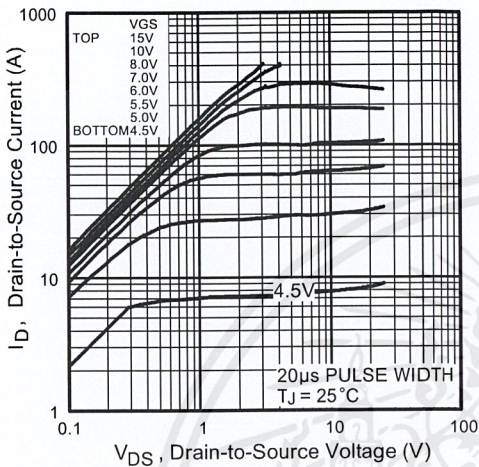


Fig 1. Typical Output Characteristics

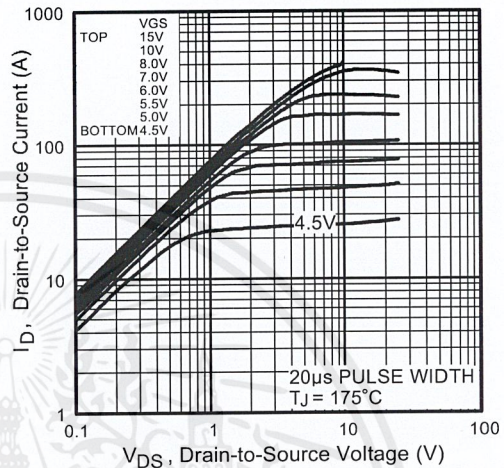


Fig 2. Typical Output Characteristics

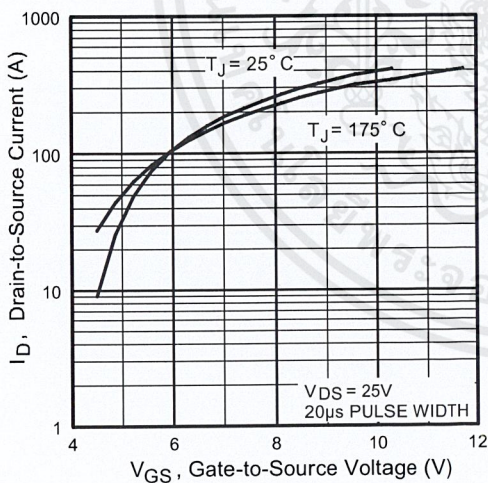


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

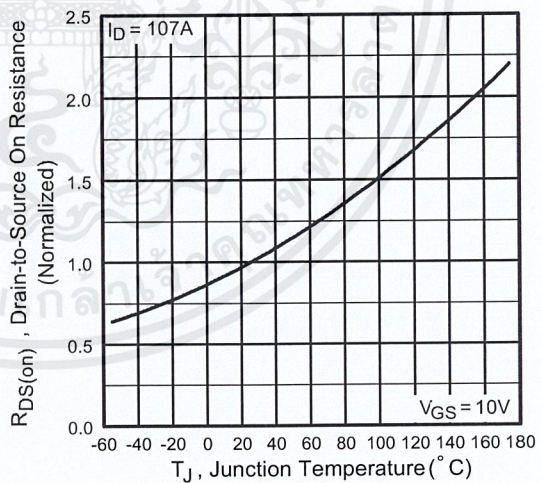


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

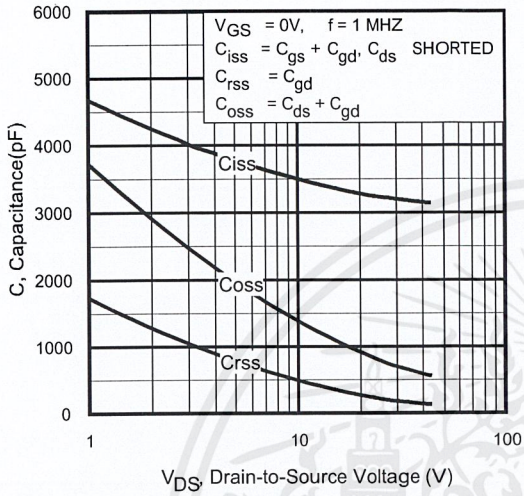


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

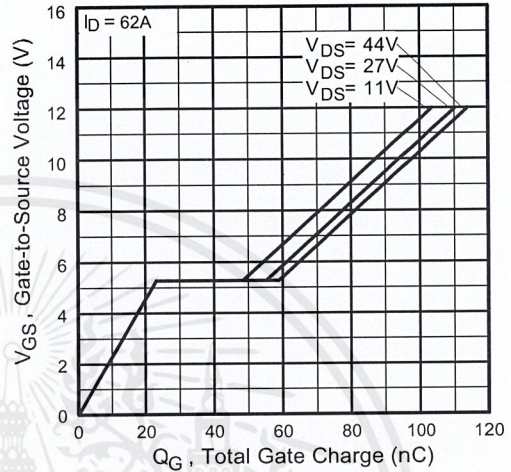


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

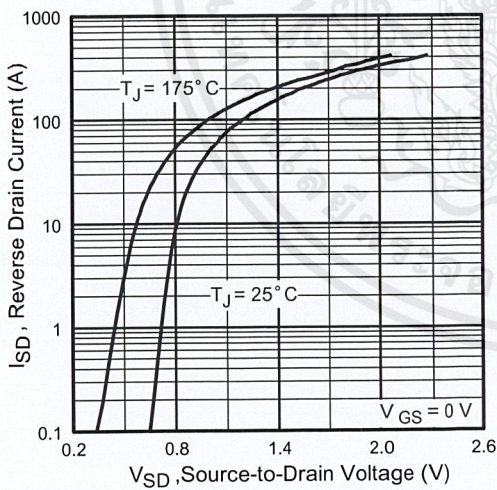


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

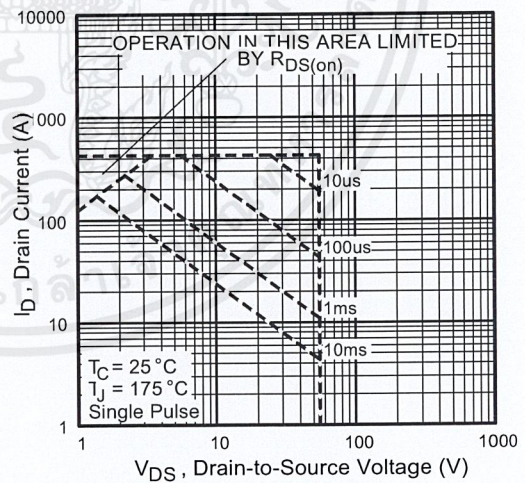


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

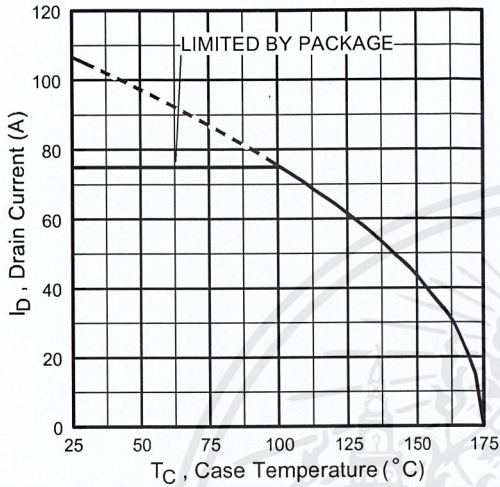


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

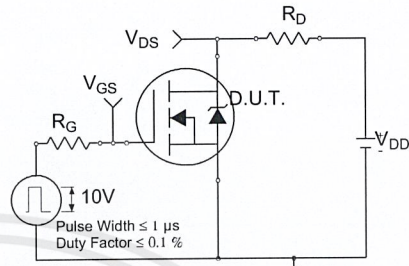


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

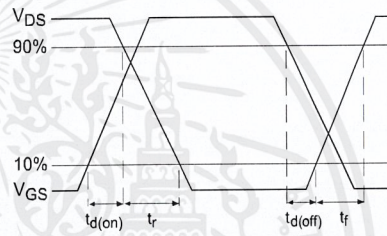


Fig 10b. Switching Time Waveforms

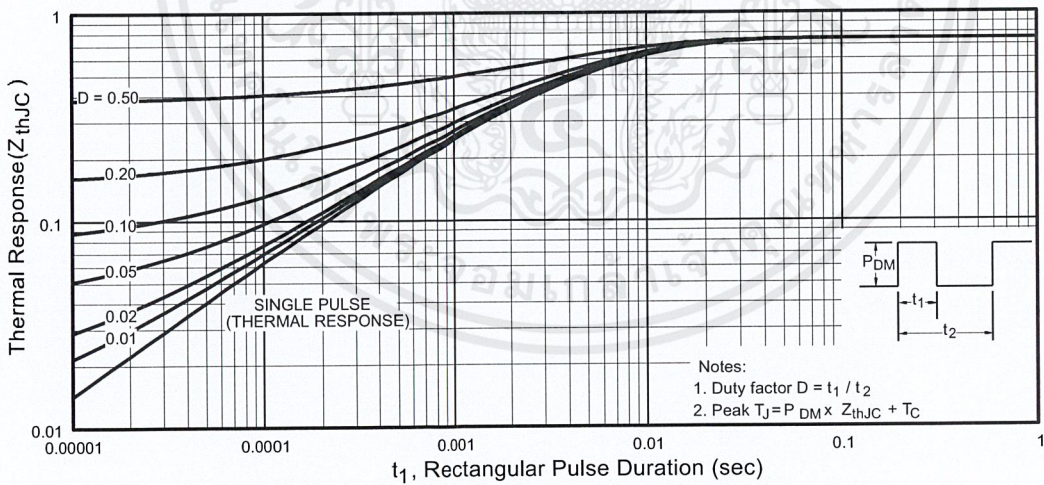


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

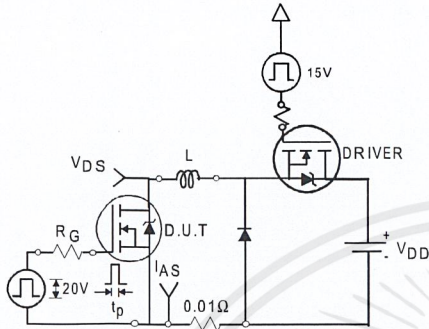


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

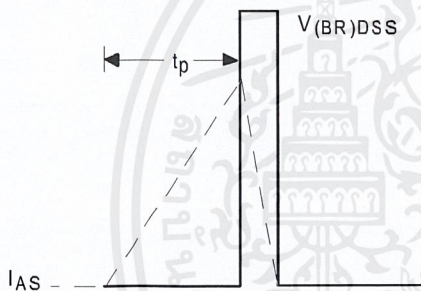


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

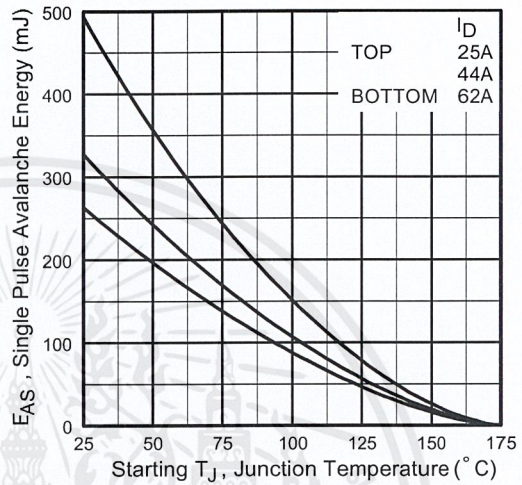


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

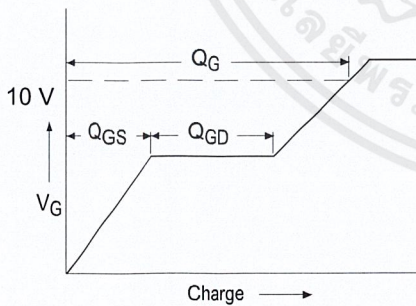


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

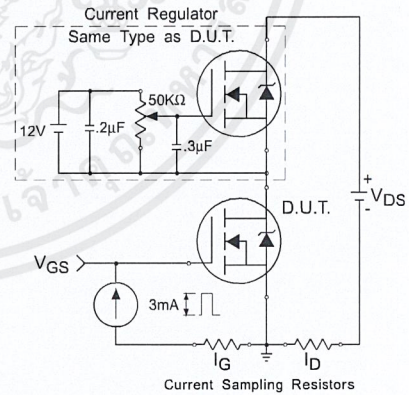


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit

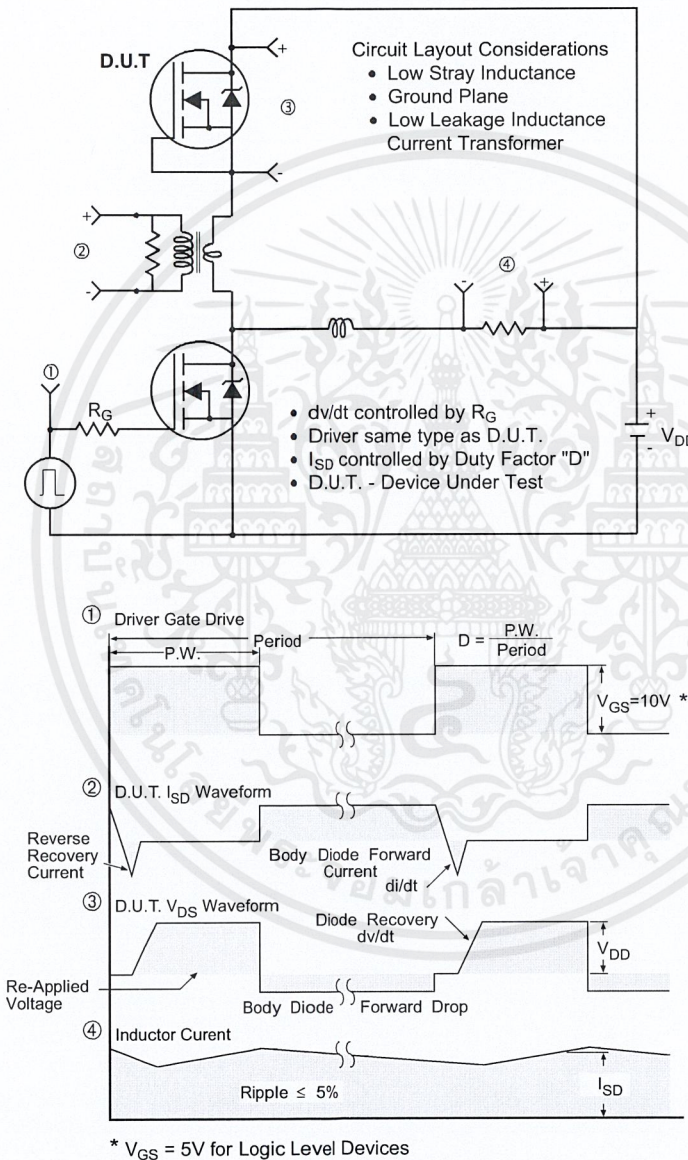


Fig 14. For N-Channel HEXFETS

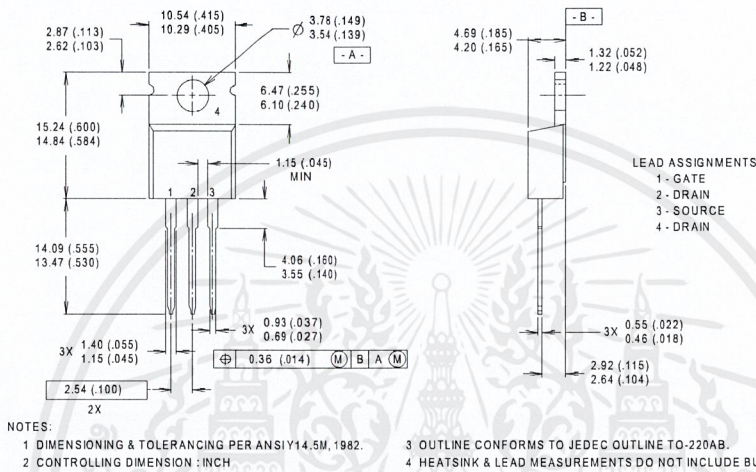
IRF3205

Package Outline

TO-220AB Outline

Dimensions are shown in millimeters (inches)

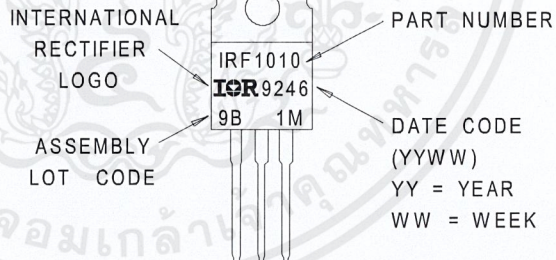
International
IR Rectifier



Part Marking Information

TO-220AB

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



Data and specifications subject to change without notice.
This product has been designed and qualified for the automotive [Q101] market.
Qualification Standards can be found on IR's Web site.

International
IR Rectifier

IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105

TAC Fax: (310) 252-7903

Visit us at www.irf.com for sales contact information.01/01

www.irf.com

TLP250

- Transistor Inverter
- Inverter For Air Conditionor
- IGBT Gate Drive
- Power MOS FET Gate Drive

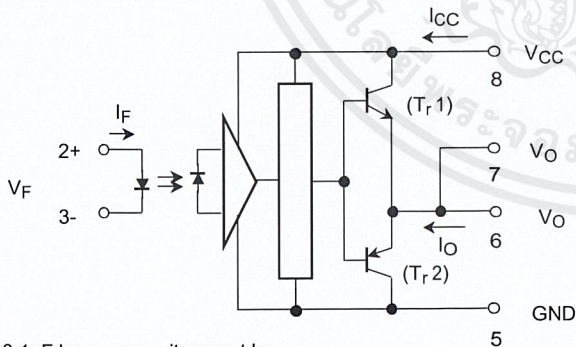
The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.
 This unit is 8-lead DIP package.
 TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input threshold current: $I_F=5\text{mA}(\text{max.})$
- Supply current (I_{CC}): $11\text{mA}(\text{max.})$
- Supply voltage (V_{CC}): $10\text{--}35\text{V}$
- Output current (I_O): $\pm 1.5\text{A}(\text{max.})$
- Switching time (t_{pLH}/t_{pHL}): $1.5\mu\text{s}(\text{max.})$
- Isolation voltage: $2500\text{V}_{\text{rms}}(\text{min.})$
- UL recognized: UL1577, file No.E67349
- Option (D4) type
 VDE approved: DIN VDE0884/06.92,certificate No.76823
 Maximum operating insulation voltage: 630V_{PK}
 Highest permissible over voltage: 4000V_{PK}

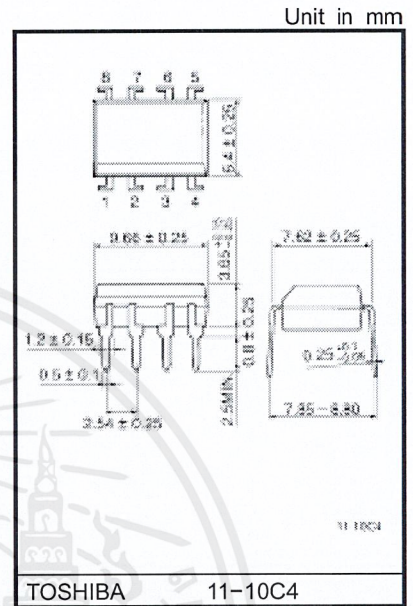
(Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "option (D4)"

- Creepage distance: $6.4\text{mm}(\text{min.})$
 Clearance: $6.4\text{mm}(\text{min.})$

Schmatic

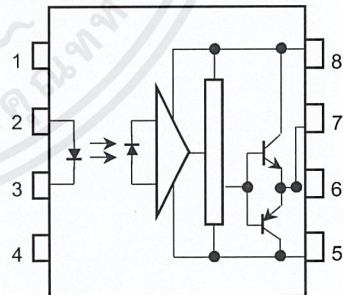


A $0.1\mu\text{F}$ bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5. (See Note 5).



Weight: 0.54 g

Pin Configuration (top view)



- 1 : N.C.
- 2 : Anode
- 3 : Cathode
- 4 : N.C.
- 5 : GND
- 6 : V_O (Output)
- 7 : V_O
- 8 : V_{CC}

Truth Table

		Tr1	Tr2
Input LED	On	On	Off
	Off	Off	On

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristic		Symbol	Rating	Unit	
LED	Forward current	I _F	20	mA	
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)	ΔI _F / ΔTa	-0.36	mA / °C	
	Peak transient forward current (Note 1)	I _{FPT}	1	A	
	Reverse voltage	V _R	5	V	
	Junction temperature	T _J	125	°C	
Detector	"H" peak output current (P _W ≤ 2.5μs, f ≤ 15kHz) (Note 2)	I _{OPH}	-1.5	A	
	"L" peak output current (P _W ≤ 2.5μs, f ≤ 15kHz) (Note 2)	I _{OPL}	+1.5	A	
	Output voltage	V _O	(Ta ≤ 70°C)	35	V
			(Ta = 85°C)	24	
	Supply voltage	V _{CC}	(Ta ≤ 70°C)	35	V
			(Ta = 85°C)	24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)	ΔV _O / ΔTa	-0.73	V / °C	
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)	ΔV _{CC} / ΔTa	-0.73	V / °C	
Junction temperature	T _J	125	°C		
Operating frequency (Note 3)	f	25	kHz		
Operating temperature range	T _{opr}	-20~85	°C		
Storage temperature range	T _{stg}	-55~125	°C		
Lead soldering temperature (10 s) (Note 4)	T _{sol}	260	°C		
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H. ≤ 60%) (Note 5)	BV _S	2500	V _{rms}		

Note 1: Pulse width P_W ≤ 1μs, 300pps

Note 2: Exponential waveform

Note 3: Exponential waveform, I_{OPH} ≤ -1.0A (≤ 2.5μs), I_{OPL} ≤ +1.0A (≤ 2.5μs)

Note 4: It is 2 mm or more from a lead root.

Note 5: Device considered a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

Note 6: A ceramic capacitor(0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input current, on (Note 7)	I _{F(ON)}	7	8	10	mA
Input voltage, off	V _{F(OFF)}	0	—	0.8	V
Supply voltage	V _{CC}	15	—	30 20	V
Peak output current	I _{OPH} /I _{OPL}	—	—	±0.5	A
Operating temperature	T _{opr}	-20	25	70 85	°C

Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs.

Electrical Characteristics (Ta = -20~70°C, unless otherwise specified)

Characteristic		Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Input forward voltage		V _F	—	I _F = 10 mA, Ta = 25°C		1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage		ΔV _F / ΔTa	—	I _F = 10 mA	—	-2.0	—	mV / °C
Input reverse current		I _R	—	V _R = 5V, Ta = 25°C		—	10	μA
Input capacitance		C _T	—	V = 0, f = 1MHz, Ta = 25°C	—	45	250	pF
Output current	"H" level	I _{OPH}	3	V _{CC} = 30V (*1) I _F = 10 mA V ₈₋₆ = 4V	-0.5	-1.5	—	A
	"L" level	I _{OPL}	2		I _F = 0 V ₆₋₅ = 2.5V	0.5	2	
Output voltage	"H" level	V _{OH}	4	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, I _F = 5mA	11	12.8	—	V
	"L" level	V _{OL}	5	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _F = 0.8V	—	-14.2	-12.5	
Supply current	"H" level	I _{CCH}	—	V _{CC} = 30V, I _F = 10mA Ta = 25°C	—	7	—	mA
				V _{CC} = 30V, I _F = 10mA	—	—	11	
	"L" level	I _{CCL}	—	V _{CC} = 30V, I _F = 0mA Ta = 25°C	—	7.5	—	
				V _{CC} = 30V, I _F = 0mA	—	—	11	
Threshold input current	"Output L→H"	I _{FLH}	—	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _O > 0V	—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	I _{FHL}	—	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _O < 0V	0.8	—	—	V
Supply voltage		V _{CC}	—		10	—	35	V
Capacitance (input-output)		C _S	—	V _S = 0, f = 1MHz Ta = 25°C	—	1.0	2.0	pF
Resistance(input-output)		R _S	—	V _S = 500V, Ta = 25°C R.H. ≤ 60%	1×10 ¹²	10 ¹⁴	—	Ω

* All typical values are at Ta = 25°C (*1): Duration of I_O time ≤ 50μs

Switching Characteristics (Ta = -20~70°C , unless otherwise specified)

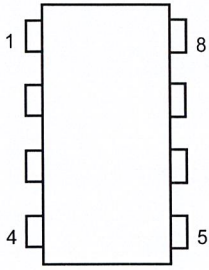
Characteristic	Symbol	Test Cir-cuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Propagation delay time	L→H	t _{pLH}	I _F = 8mA (Note 7) V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω	—	0.15	0.5	μs
	H→L	t _{pHL}		—	0.15	0.5	
Output rise time	t _r	6		—	—	—	
Output fall time	t _f			—	—	—	
Common mode transient immunity at high level output	C _{MH}	7	V _{CM} = 600V, I _F = 8mA V _{CC} = 30V, Ta = 25°C	-5000	—	—	V / μs
Common mode transient immunity at low level output	C _{ML}	7	V _{CM} = 600V, I _F = 0mA V _{CC} = 30V, Ta = 25°C	5000	—	—	V / μs

* All typical values are at Ta = 25°C

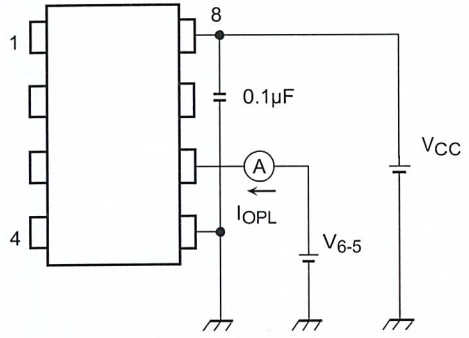
Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs.



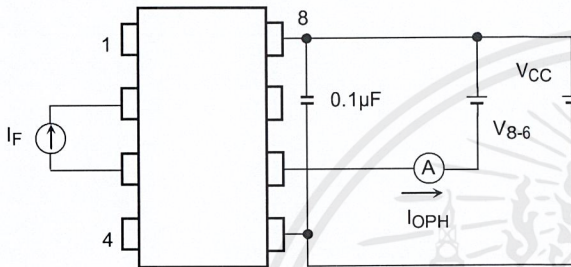
Test Circuit 1 :



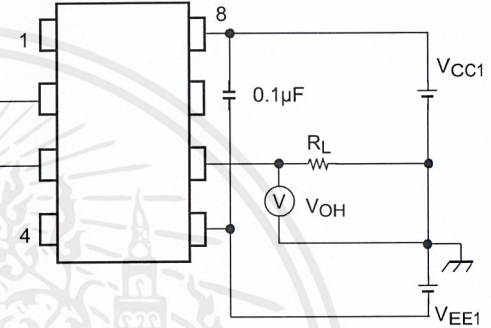
Test Circuit 2 : IOPL



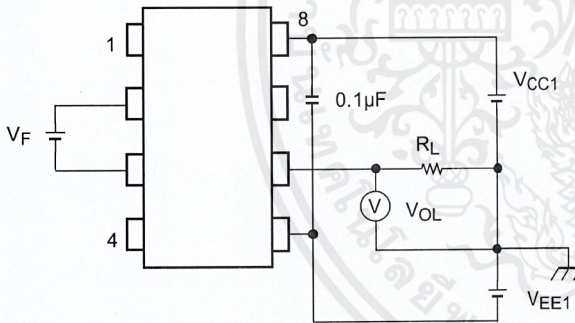
Test Circuit 3 : IOPH



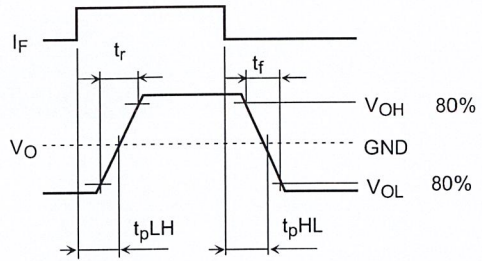
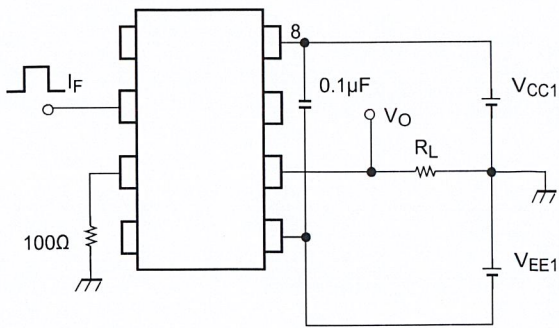
Test Circuit 4 : VOH



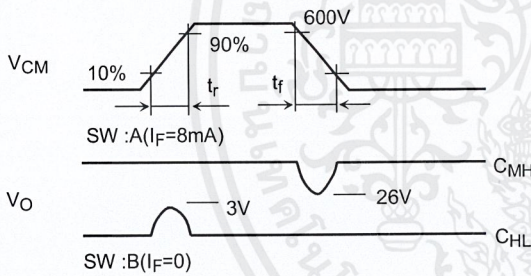
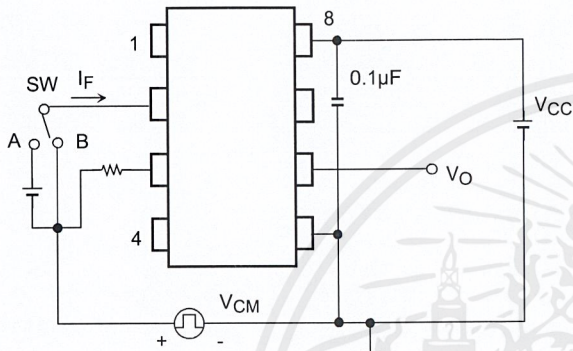
Test Circuit 5 : VOL



Test Circuit 6: t_{pLH} , t_{pHL} , t_r , t_f



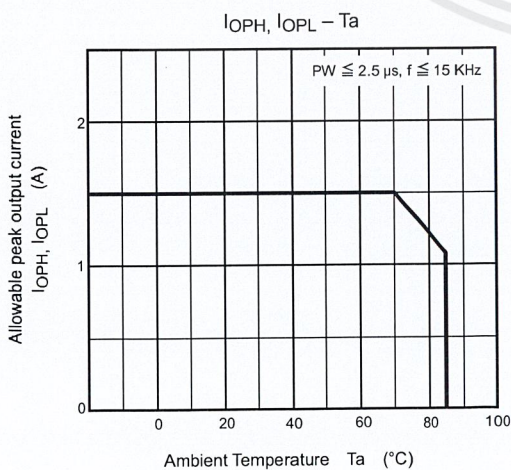
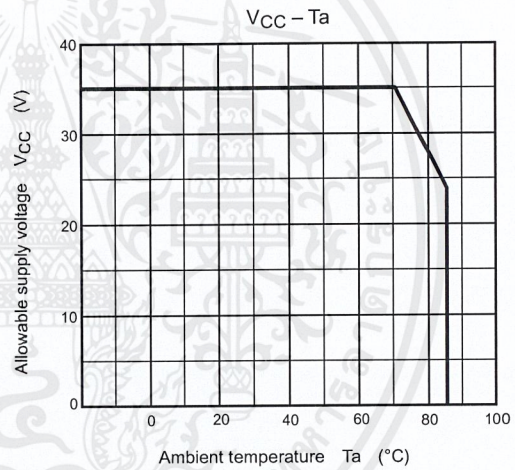
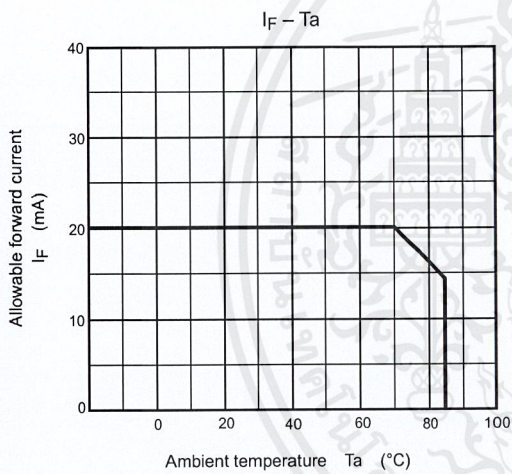
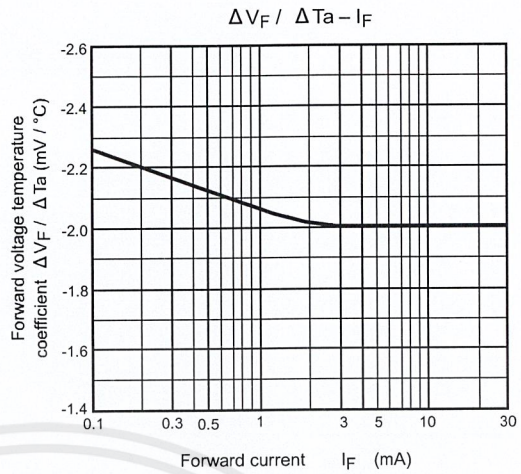
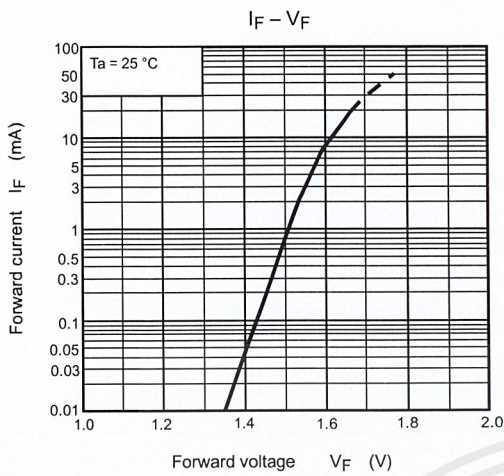
Test Circuit 7: C_{MH} , C_{ML}



$$C_{ML} = \frac{480 \text{ (V)}}{t_r \text{ (}\mu\text{s)}}$$

$$C_{MH} = \frac{480 \text{ (V)}}{t_f \text{ (}\mu\text{s)}}$$

$C_{ML}(C_{MH})$ is the maximum rate of rise (fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.



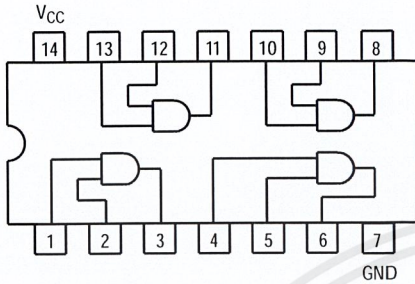
SN74LS08

Quad 2-Input AND Gate



ON Semiconductor
Formerly a Division of Motorola
<http://onsemi.com>

**LOW
POWER
SCHOTTKY**



GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	4.75	5.0	5.25	V
T _A	Operating Ambient Temperature Range	0	25	70	°C
I _{OH}	Output Current – High			-0.4	mA
I _{OL}	Output Current – Low			8.0	mA



**PLASTIC
N SUFFIX
CASE 646**



**SOIC
D SUFFIX
CASE 751A**

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
SN74LS08N	14 Pin DIP	2000 Units/Box
SN74LS08D	14 Pin	2500/Tape & Reel

SN74LS08

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
V _{IH}	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
V _{IL}	Input LOW Voltage			0.8	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
V _{IK}	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	V _{CC} = MIN, I _{IN} = -18 mA
V _{OH}	Output HIGH Voltage	2.7	3.5		V	V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX, V _{IN} = V _{IH} or V _{IL} per Truth Table
V _{OL}	Output LOW Voltage		0.25	0.4	V	I _{OL} = 4.0 mA V _{CC} = V _{CC} MIN, V _{IN} = V _{IL} or V _{IH} per Truth Table
			0.35	0.5	V	
I _{IH}	Input HIGH Current			20	μA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 2.7 V
				0.1	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 7.0 V
I _{IL}	Input LOW Current			-0.4	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 0.4 V
I _{OS}	Short Circuit Current (Note 1)	-20		-100	mA	V _{CC} = MAX
I _{CC}	Power Supply Current Total, Output HIGH			4.8	mA	V _{CC} = MAX
	Total, Output LOW			8.8		

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS (T_A = 25°C)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
t _{PLH}	Turn-Off Delay, Input to Output		8.0	15	ns	V _{CC} = 5.0 V C _L = 15 pF
t _{PHL}	Turn-On Delay, Input to Output		10	20	ns	

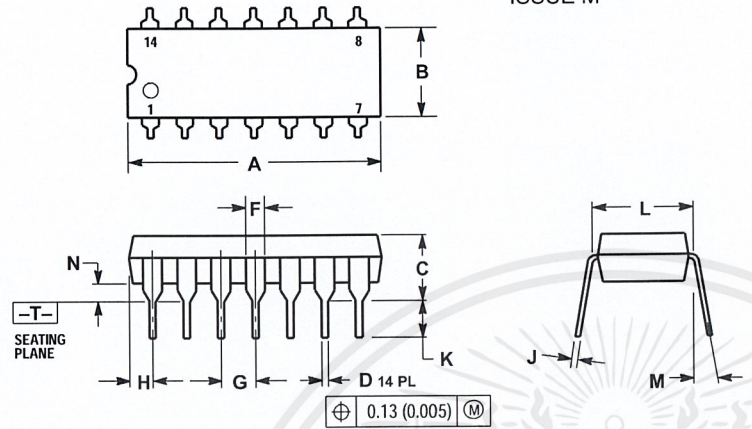
SN74LS08

PACKAGE DIMENSIONS

N SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 646-06 ISSUE M

NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
4. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
5. ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

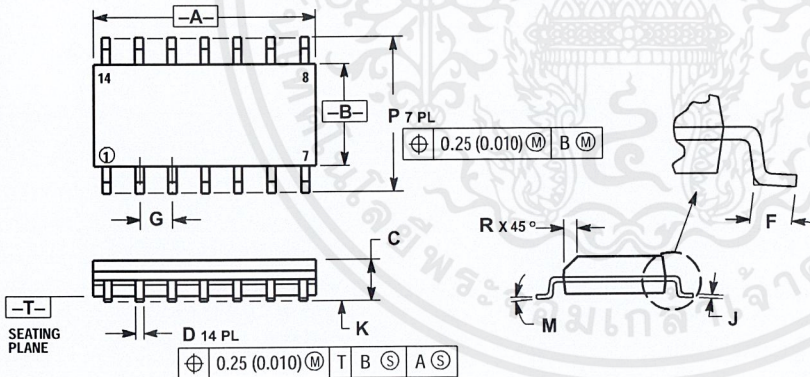


DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.715	0.770	18.16	18.80
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.145	0.185	3.69	4.69
D	0.015	0.021	0.38	0.53
F	0.040	0.070	1.02	1.78
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.052	0.095	1.32	2.41
J	0.008	0.015	0.20	0.38
K	0.115	0.135	2.92	3.43
L	0.290	0.310	7.37	7.87
M	— 10°		— 10°	
N	0.015	0.039	0.38	1.01

D SUFFIX PLASTIC SOIC PACKAGE CASE 751A-03 ISSUE F

NOTES:

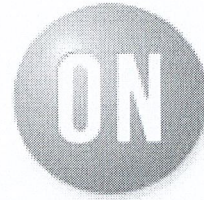
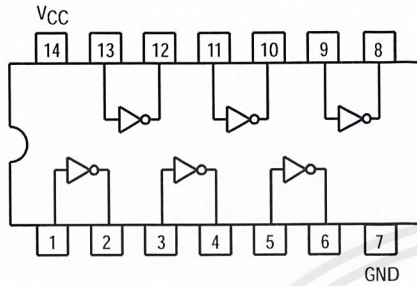
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
3. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006) PER SIDE.
5. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 (0.005) TOTAL IN EXCESS OF THE D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.



DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	8.55	8.75	0.337	0.344
B	3.80	4.00	0.150	0.157
C	1.35	1.75	0.054	0.068
D	0.35	0.49	0.014	0.019
F	0.40	1.25	0.016	0.049
G	1.27 BSC		0.050 BSC	
J	0.19	0.25	0.008	0.009
K	0.10	0.25	0.004	0.009
M	0° 7°		0° 7°	
P	5.80	6.20	0.228	0.244
R	0.25	0.50	0.010	0.019

SN74LS04

Hex Inverter



ON Semiconductor
Formerly a Division of Motorola
<http://onsemi.com>

**LOW
POWER
SCHOTTKY**

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	4.75	5.0	5.25	V
T _A	Operating Ambient Temperature Range	0	25	70	°C
I _{OH}	Output Current – High			-0.4	mA
I _{OL}	Output Current – Low			8.0	mA



**PLASTIC
N SUFFIX
CASE 646**



**SOIC
D SUFFIX
CASE 751A**

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
SN74LS04N	14 Pin DIP	2000 Units/Box
SN74LS04D	14 Pin	2500/Tape & Reel

SN74LS04

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
V _{IH}	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
V _{IL}	Input LOW Voltage			0.8	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
V _{IK}	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	V _{CC} = MIN, I _{IN} = -18 mA
V _{OH}	Output HIGH Voltage	2.7	3.5		V	V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX, V _{IN} = V _{IH} or V _{IL} per Truth Table
V _{OL}	Output LOW Voltage		0.25	0.4	V	I _{OL} = 4.0 mA
			0.35	0.5	V	I _{OL} = 8.0 mA
I _{IH}	Input HIGH Current			20	μA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 2.7 V
				0.1	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 7.0 V
I _{IL}	Input LOW Current			-0.4	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 0.4 V
I _{OS}	Short Circuit Current (Note 1)	-20		-100	mA	V _{CC} = MAX
I _{CC}	Power Supply Current Total, Output HIGH			2.4	mA	V _{CC} = MAX
	Total, Output LOW			6.6		

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS (T_A = 25°C)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
t _{PLH}	Turn-Off Delay, Input to Output		9.0	15	ns	V _{CC} = 5.0 V C _L = 15 pF
t _{PHL}	Turn-On Delay, Input to Output		10	15	ns	

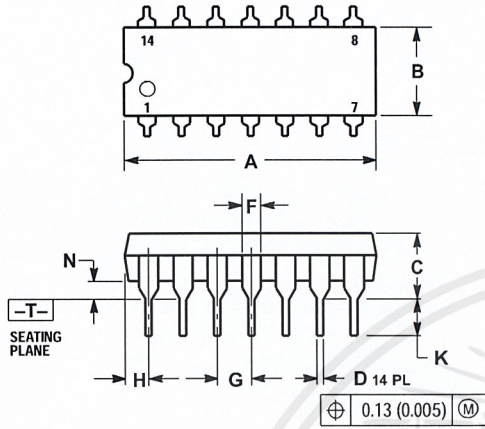
SN74LS04

PACKAGE DIMENSIONS

N SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 646-06 ISSUE M

NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
4. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
5. ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

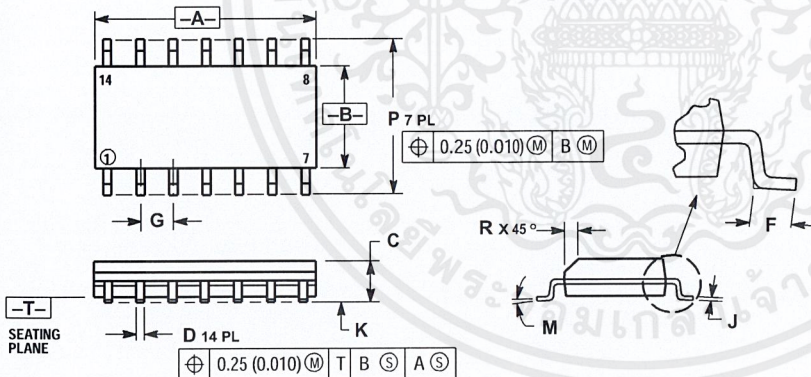


DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.715	0.770	18.16	18.80
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.145	0.185	3.69	4.69
D	0.015	0.021	0.38	0.53
F	0.040	0.070	1.02	1.78
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.052	0.095	1.32	2.41
J	0.008	0.015	0.20	0.38
K	0.115	0.135	2.92	3.43
L	0.290	0.310	7.37	7.87
M	—		10°	
N	0.015	0.039	0.38	1.01

D SUFFIX PLASTIC SOIC PACKAGE CASE 751A-03 ISSUE F

NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
3. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006) PER SIDE.
5. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 (0.005) TOTAL IN EXCESS OF THE D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.



DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	8.55	8.75	0.337	0.344
B	3.80	4.00	0.150	0.157
C	1.35	1.75	0.054	0.068
D	0.35	0.49	0.014	0.019
F	0.40	1.25	0.016	0.049
G	1.27 BSC		0.050 BSC	
J	0.19	0.25	0.008	0.009
K	0.10	0.25	0.004	0.009
M	0°		7°	
P	5.80	6.20	0.228	0.244
R	0.25	0.50	0.010	0.019

MBR1635, MBR1645

MBR1645 is a Preferred Device

SWITCHMODE™ Power Rectifiers

These state-of-the-art devices use the Schottky Barrier principle with a platinum barrier metal.

Features

- Guard-ring for Stress Protection
- Low Forward Voltage
- 175°C Operating Junction Temperature
- Pb-Free Packages are Available*

Mechanical Characteristics:

- Case: Epoxy, Molded
- Weight: 1.9 Grams (Approximately)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead Temperature for Soldering Purposes: 260°C Max. for 10 Seconds

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage	V_{RRM}		V
Working Peak Reverse Voltage	V_{RWM}		
DC Blocking Voltage	V_R	35 45	
	MBR1635 MBR1645		
Average Rectified Forward Current (Rated V_R , $T_C = 125^\circ\text{C}$)	$I_{F(AV)}$	16	A
Peak Repetitive Forward Current, (Rated V_R , Square Wave, 20 kHz, $T_C = 125^\circ\text{C}$)	I_{FRM}	32	A
Non-Repetitive Peak Surge Current (Surge Applied at Rated Load Conditions Halfwave, Single Phase, 60 Hz)	I_{FSM}	150	A
Peak Repetitive Reverse Surge Current (2.0 μs , 1.0 kHz)	I_{RRM}	1.0	A
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +175	°C
Operating Junction Temperature (Note 1)	T_J	-65 to +175	°C
Voltage Rate of Change (Rated V_R)	dv/dt	10,000	V/ μs

Maximum ratings are those values beyond which device damage can occur. Maximum ratings applied to the device are individual stress limit values (not normal operating conditions) and are not valid simultaneously. If these limits are exceeded, device functional operation is not implied, damage may occur and reliability may be affected.

1. The heat generated must be less than the thermal conductivity from Junction-to-Ambient: $dP_D/dT_J < 1/R_{\theta JA}$.

*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

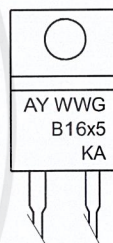
SCHOTTKY BARRIER RECTIFIERS 16 AMPERES 35 and 45 VOLTS



MARKING DIAGRAM



TO-220AC
CASE 221B
PLASTIC



A = Assembly Location
Y = Year
WW = Work Week
B16x5 = Device Code
x = 3 or 4
KA = Diode Polarity
G = Pb-Free Package

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
MBR1635	TO-220	50 Units / Rail
MBR1635G	TO-220 (Pb-Free)	50 Units / Rail
MBR1645	TO-220	50 Units / Rail
MBR1645G	TO-220 (Pb-Free)	50 Units / Rail

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MBR1635, MBR1645

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Maximum Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	1.5	$^{\circ}C/W$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Maximum Instantaneous Forward Voltage (Note 2) ($I_F = 16$ Amps, $T_C = 125^{\circ}C$) ($I_F = 16$ Amps, $T_C = 25^{\circ}C$)	V_F	0.57 0.63	V
Maximum Instantaneous Reverse Current (Note 2) (Rated dc Voltage, $T_C = 125^{\circ}C$) (Rated dc Voltage, $T_C = 25^{\circ}C$)	i_R	40 0.2	mA

2. Pulse Test: Pulse Width = 300 μs , Duty Cycle $\leq 2.0\%$.

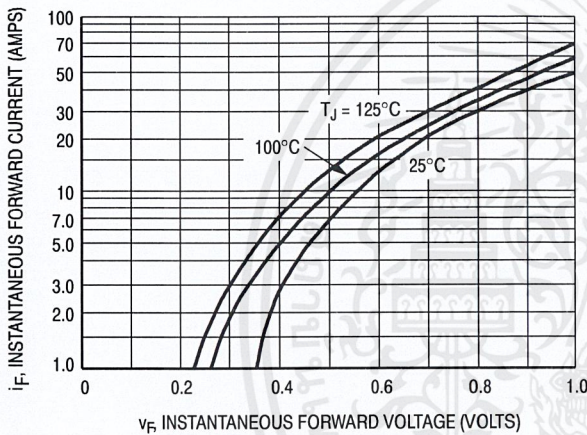


Figure 1. Typical Forward Voltage

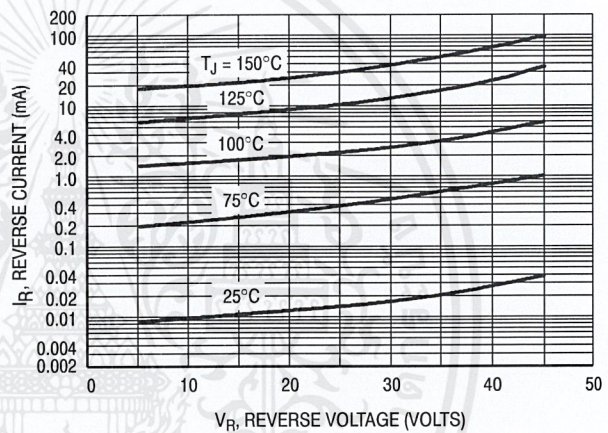


Figure 2. Typical Reverse Current

MBR1635, MBR1645

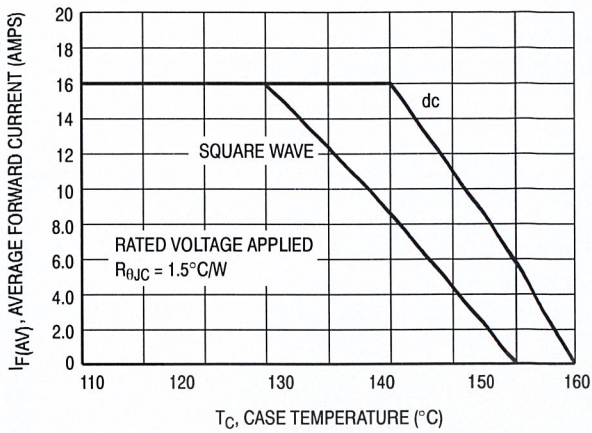


Figure 3. Current Derating, Case

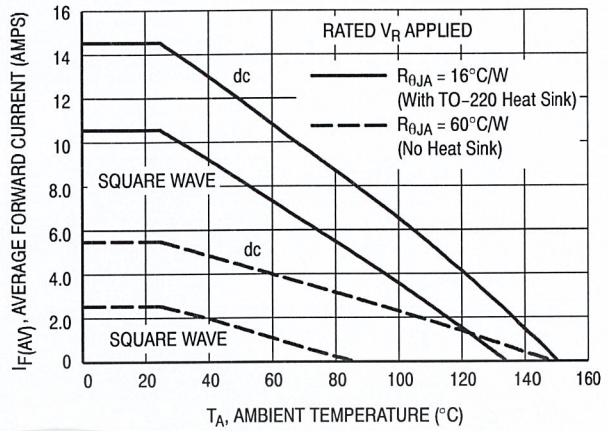


Figure 4. Current Derating, Ambient

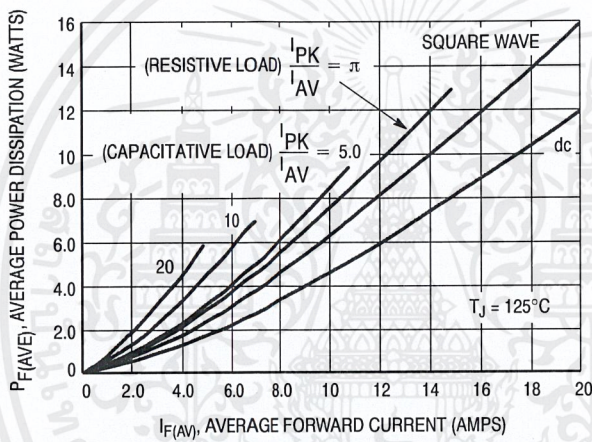
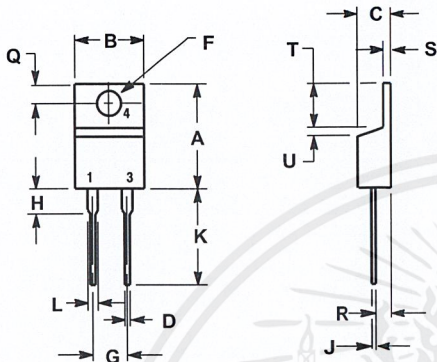


Figure 5. Forward Power Dissipation

MBR1635, MBR1645

PACKAGE DIMENSIONS

TO-220
PLASTIC
CASE 221B-04
ISSUE D



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.595	0.620	15.11	15.75
B	0.380	0.405	9.65	10.29
C	0.160	0.190	4.06	4.82
D	0.025	0.035	0.64	0.89
F	0.142	0.147	3.61	3.73
G	0.190	0.210	4.83	5.33
H	0.110	0.130	2.79	3.30
J	0.018	0.025	0.46	0.64
K	0.500	0.562	12.70	14.27
L	0.045	0.060	1.14	1.52
Q	0.100	0.120	2.54	3.04
R	0.080	0.110	2.04	2.79
S	0.045	0.055	1.14	1.39
T	0.235	0.255	5.97	6.48
U	0.000	0.050	0.000	1.27

SWITCHMODE is a trademark of Semiconductor Components Industries, LLC.

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

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 61312, Phoenix, Arizona 85082-1312 USA
Phone: 480-829-7710 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 480-829-7709 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada

Japan: ON Semiconductor, Japan Customer Focus Center
2-9-1 Kamimeguro, Meguro-ku, Tokyo, Japan 153-0051
Phone: 81-3-5773-3850

ON Semiconductor Website: <http://onsemi.com>

Order Literature: <http://www.onsemi.com/litorder>

For additional information, please contact your local Sales Representative.

MBR1635/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นาย ปรัชญานันท์ เจริญสุรสากุล

เกิดวันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2532

ที่อยู่ 75 หมู่ 17 ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมตอนต้นจากโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมตอนปลายจากโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

E-mail : charoensurasakon.p@gmail.com

นาย สิทธิชัย หลิมสมบุรณ์

เกิดวันที่ 1 เมษายน 2532

ที่อยู่ 78 ซ.ตากสิน 17 ถ.ตากสิน แขวงบุดโคล เขตธนบุรี กรุงเทพฯ 10600

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมตอนต้นจากโรงเรียนทวีธาภิเศก

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมตอนปลายจากโรงเรียนทวีธาภิเศก

E-mail : champy_dk_788@hotmail.com

นาย สิทธิโชค สบายเมือง

เกิดวันที่ 29 พฤศจิกายน 2531

ที่อยู่ 39 ถ.ราษฎร์อุทิศ ต.ตลาด อ.เมือง จ.มหาสารคาม 44000

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมตอนต้นจากโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมตอนปลายจากโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

E-mail : makotofc@hotmail.com