

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดขับเคลื่อนปั้มน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์
Submersible Pump Drive Using Solar Cell



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดขับเคลื่อนปั้มน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์
Submersible Pump Drive Using Solar Cell



รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ
อ. ชัยทัต มณีอินทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ผู้จัดทำ

1. นาย สมเกียรติ ศรีวิรัตน์
2. นาย สุชาติ คำสือ
3. นาย อภิชาติ สีสว่าง
4. นาย อำนาจ ชังโต



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิจิตร กิณเรศ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ชัยทัต มณีอินทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดขับเคลื่อนปั้มน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

1. นาย สมเกียรติ ศรีวสิรัตน์
 2. นาย สุชาติ คำลือ
 3. นาย อภิชาติ สีสว่าง
 4. นาย อำนาจ ชังโต
- รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ อาจารย์ที่ปรึกษา
 อ. ชัยทัต มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

โครงการชุดขับเคลื่อนปั้มน้ำโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์นี้ ได้นำเสนอหลักการ การออกแบบระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ แบบตามลำพัง(stand alone system) ได้แสดงให้เห็นถึง การนำพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 44.8 V 0.9 A 50 W ประจุลงแบตเตอรี่ 24 Vdc 50 Ah. ด้วย บั๊ก-บัส คอนเวอร์เตอร์ โดยการควบคุมกระแสที่ จากนั้นยกระดับแรงดัน 24 Vdc เป็น 310 Vdc จ่ายกำลังสูงสุดได้ 250 W. โดยใช้ พุช-พูล คอนเวอร์เตอร์ แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับด้วย ทีซี ทียู เอซี อินเวอร์เตอร์ โดยการควบคุมแรงดันและความถี่ให้คงที่ระบบทั้งหมดถูกควบคุมด้วยตัวประมวลผลดิจิทัล (DSPIC30F4011) เพื่อให้กำลังขาออกมีค่าคงที่ เนื่องจากการส่งกำลังจากเซลล์แสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสงและอุณหภูมิ ดังนั้นจึงต้องมีการเก็บพลังงานให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน จากผลการจำลองและผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงระบบสามารถส่ง กำลังไฟฟ้าไปยังปั้มน้ำ การทดลองสูบน้ำซึ่งมีประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจ

Submersible Pump Drive Using Solar Cell

Somkiet Srivalerat

Suchart Kamlue

Apichart Srisawang

Aumnart Changto

Assoc. Prof. Dr. Vijit Kinnares Advisor

Chaitat Maneeinnn Advisor

2005

Abstract

The submersible pump drive using solar cell presents the principle of the photovoltaic stand alone system. The system shows solar – electrical energy conversion from 44.8 V, 0.9 A, 40 W, PV cells to 24 Vdc 50 Ah batteries using a buck – boost converter. The converter is assigned to operate with constant current. Then, a push – pull converter changes 24 V dc input voltage to 310 V dc output voltage with maximum power of 250 W. After that, DC voltage is converted to AC voltage by a DC/AC inverter with constant voltage and frequency. All algorithms are processed by DSPIC30F4011 to provide constant output power. Because of variation of power transfer due to change in light intensity and temperature, appropriate energy storage for applications is required. Simulation and experiment results show capability of the proposed system for supplying power to the submersible pump. The system efficiency appears satisfactory.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการชุดขับเคลื่อนบีมน้ำโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์สำเร็จได้ติดต้องขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานและขอขอบคุณ อาจารย์รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ และ อ.ชัยทัต มณีอินทร์ ที่ให้คำปรึกษาแนะแนวทางการในการดำเนินโครงการ รวมทั้ง คณะอาจารย์ ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกๆท่าน และ คุณวิมลชัย ชูรักษ์ คุณประชา คำภีรารมณห์ เพื่อนรวมกลุ่มโครงการที่ให้ความรู้มาโดยตลอด ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถ้าโครงการนี้เป็นประโยชน์แก่ผู้อ่าน ขอให้ประโยชน์และความดี จงส่งผลให้ แต่พ่อแม่ ครอบครัวและผู้มีพระคุณ จงมีแต่ความสุขความเจริญยิ่งขึ้นไป

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 บทนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell).....	3
2.1.1 พลังงานแสงอาทิตย์.....	3
2.1.2 ทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)	3
2.1.3 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	5
2.1.4 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์.....	7
2.1.5 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Modules)	7
2.1.6 ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Array)	8
2.1.7 ความลาดเอียงของแผง.....	9
2.1.8 เซลล์แสงอาทิตย์.....	10
2.1.9 ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์.....	10
2.2 เครื่องประจุแบตเตอรี่.....	10
2.2.1 หลักการประจุไฟฟ้าของเครื่องประจุแบตเตอรี่.....	10
2.2.2 วิธีการประจุแบตเตอรี่	11
2.2.3 ประจุแบตเตอรี่โดยวิธีร่วม(Combination Charging Two- Step) ..	12
2.2.4 วงจรทอน-ทบระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบีก - บูลต์คอนเวอร์เตอร์...13	13
2.3 แบตเตอรี่	16
2.3.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่	16
2.3.2 ประเภทของแบตเตอรี่.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารการศึกษาค้นคว้าเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3.3 ชนิดของแบตเตอรี่.....	19
2.3.4 การทำงานของแบตเตอรี่.....	19
2.3.5 การใช้งานแบบชั่วคราว (Standby or Backup charging).....	20
2.3.6 คุณสมบัติของการคายประจุแบตเตอรี่	20
2.4 คอนเวอร์เตอร์.....	23
2.4.1 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	25
2.4.2 พอร์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์	25
2.4.3 พุช - พูล คอนเวอร์เตอร์	26
2.4.4 ฮาล์ฟ - บริดจ์คอนเวอร์เตอร์	26
2.4.5 ฟลู - บริดจ์คอนเวอร์เตอร์	26
2.5 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)	31
2.5.1 Pulse Width Modulation	32
2.5.2 Sine Wave Pulse Width Modulation (SPWM)	33
2.6 บั๊มจุ่ม (Submersible Pump)	35
บทที่ 3 การเลือกและการออกแบบ	
3.1 การเลือกขนาดเซลล์แสงอาทิตย์.....	36
3.2 การเลือกขนาดแบตเตอรี่	37
3.3 การออกแบบวงจร ทอน-ทบระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเครื่องประจุแบตเตอรี่	37
3.4 การออกแบบวงจรพุช - พูล คอนเวอร์เตอร์	39
3.5 การออกแบบและ สร้างชุดวงจรอินเวอร์เตอร์	45
3.6 แผ่นระบายความร้อน (Heat sink).....	47
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	51
4.2 การทดลองวงจรประจุแบตเตอรี่	55
4.3 การทดลองพุช - พูล คอนเวอร์เตอร์	59
4.4 ชุดขับเกจของ Mosfet ในวงจร พุช-พูล คอนเวอร์เตอร์	61
4.5 การทดลองอินเวอร์เตอร์.....	62
4.6 การทดลองการสูบน้ำ	64
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	71

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์.....	1
รูปที่ 2.1.1	แสดงลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่าง ๆ (ก. แบบผลึกรวม ข. แบบผลึกเดี่ยว ค. แบบอะมอร์ฟัส).....	4
รูปที่ 2.1.2	การเรียงตัวของอิเล็กตรอนขณะยังไม่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์.....	5
รูปที่ 2.1.3	อิเล็กตรอนเริ่มเคลื่อนตัวขณะเริ่มได้รับพลังงานแสงอาทิตย์.....	6
รูปที่ 2.1.4	การเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอนและโฮลเมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบ.....	6
รูปที่ 2.1.5	ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์.....	7
รูปที่ 2.1.6	รูปแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ I-V curve.....	8
รูปที่ 2.1.7	การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์โดยทำมุมเอียง 15 องศา.....	9
รูปที่ 2.2.1	กราฟแสดงผลกระแสและแรงดันเมื่อทำการประจุแบบวิธีร่วม.....	13
รูปที่ 2.2.2	วงจรบีก – บูลต์คอนเวอร์เตอร์.....	14
รูปที่ 2.2.3	วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส.....	14
รูปที่ 2.2.4	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ.....	15
รูปที่ 2.2.5	วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส.....	15
รูปที่ 2.3.1	แสดงโครงสร้างของแบตเตอรี่.....	16
รูปที่ 2.3.2	แสดงฝาดรอปเซลล์ของแบตเตอรี่.....	18
รูปที่ 2.3.3	แสดงการทำงานของแบตเตอรี่.....	20
รูปที่ 2.3.4	แสดงคุณสมบัติการคายประจุด้วยกระแสคงที่ ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด.....	22
รูปที่ 2.4.1	วงจรพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์ 5 แบบ แสดงในรูป (ก) ถึง (จ).....	24
รูปที่ 2.4.2	แสดงวงจร พุช – พลู คอนเวอร์เตอร์.....	27
รูปที่ 2.4.3	แสดงวงจร พุช – พลู คอนเวอร์เตอร์ กรณีสวิตช์ S_{w1} นำกระแสและสวิตช์ S_{w2} ไม่นำกระแส.....	28
รูปที่ 2.4.4	แสดงวงจร พุช – พลู คอนเวอร์เตอร์ กรณีสวิตช์ S_{w1} ไม่นำกระแสและสวิตช์ S_{w2} นำกระแส.....	29
รูปที่ 2.5.1	วงจรอินเวอร์เตอร์.....	32
รูปที่ 2.5.2	Pulse Width Modulation.....	33
รูปที่ 2.5.3	สัญญาณ Sine Pulse Width Modulation แบบยูนิโพลาร์.....	34
รูปที่ 2.5.4	แสดงฮาโมนิกส์ความถี่ 10 kHz จากการสวิตช์ซิงที่ 5 kHz.....	34
รูปที่ 3.3.1	วงจร ทอน-ทบระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเครื่องประจุแบตเตอรี่.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เอาต์เห็นใบใช้บวระเขื่อนด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.3.2 วงจร ทอน-ทบระดับแรงดันไฟฟ้า.....	38
รูปที่ 3.3.3 การแสดงความต้านทานภายในแบตเตอรี่.....	38
รูปที่ 3.4.1 ลักษณะแกน EE ที่เลือกใช้.....	44
รูปที่ 3.4.2 แสดงตัวอย่างของบอบบิ้นสำหรับแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE.....	45
รูปที่ 3.5.1 แสดงทรานซิสเตอร์โมดูลกำลังแบบ IGBT รุ่น PS21204.....	46
รูปที่ 3.5.2 วงจรแยกกระแสโดดและชุดขับนำทรานซิสเตอร์โมดูลกำลังแบบ IGBT.....	47
รูปที่ 3.6 แผ่นระบายความร้อน (Heat Sink).....	50
รูปที่ 4.1.1 แสดงค่า V-I และ power ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงการ.....	51
รูปที่ 4.1.2 BA 40 Amorphous Photovoltaic Modules.....	52
รูปที่ 4.1.3 แสดงค่า V-I และ power ของเซลล์แสงอาทิตย์จากการทดลอง.....	54
รูปที่ 4.2.1 กราฟแสดงกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในการประจุแบตเตอรี่.....	58
รูปที่ 4.2.2 กราฟแสดงกระแสและแรงดันในการประจุแบตเตอรี่.....	58
รูปที่ 4.3.1 แสดงการวัดกระแสขาเข้า 7 A.....	59
รูปที่ 4.3.2 แสดงการวัดค่าแรงดันขณะไม่มีโหลด 704.9 V Duty 50 %.....	59
รูปที่ 4.3.3 แสดงการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขณะไม่มีโหลด 517.8 V.....	60
รูปที่ 4.3.4 แสดงการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขณะมีโหลด 312.1 V.....	60
รูปที่ 4.3.5 แสดงการวัดค่าแรงดันตกคร่อมขาเดรนกับซอร์ส.....	61
รูปที่ 4.4.1 แสดงวงจรขับเกจของ Mosfet ที่ใช้ในวงจร พูช-พูลคอนเวอร์ ในโครงการนี้.....	61
รูปที่ 4.4.2 แสดงสัญญาณอินพุตของ TLP 250 ที่มี 2 สัญญาณ ที่ค่า Duty ต่างกัน.....	62
รูปที่ 4.5.1 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขณะขับโหลด 223.2 V 50HZ.....	62
รูปที่ 4.5.2 รูปผลการทดลองเมื่อไปเข้าโปรแกรม MATLAB.....	63
รูปที่ 4.5.3 จากการทดลองค่าความถี่เป็น 2 เท่าของความถี่สวิตซ์ซึ่ง.....	63
รูปที่ 4.5.4 รูปแรงดันไฟฟ้า 220.1 V กระแส 0.77 A 50Hz.....	64
รูปที่ 4.6.1 วงจรมอเตอร์ไฟฟ้า.....	64
รูปที่ 4.6.2 แสดงกระแสขณะเริ่มเดินของมอเตอร์ 2.4 A เมื่อแหล่งจ่าย AC Line.....	65
รูปที่ 4.6.3 แรงดัน 221.6V กระแส 0.938 A ต่างเฟสกัน 45 องศาแหล่งจ่าย AC Line	65
รูปที่ 4.6.4 แสดงรูปคลื่นแรงดัน 219.9 V กระแส 0.959 A จากการสูบน้ำจากแหล่งจ่าย จาก AC Line ที่ความสูง 1 เมตร.....	67
รูปที่ 4.6.5 แสดงรูปคลื่นแรงดัน 220.2 V กระแส 0.755 A จากการสูบน้ำ แหล่งจ่าย จากโครงการที่ความสูง 1 เมตร.....	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.6.6 แสดงรูปคลื่นแรงดัน 218.5 V กระแส 0.941 A จากการสูบน้ำจากแหล่งจ่าย จาก AC Line ที่ความสูง 3 เมตร.....	68
รูปที่ 4.6.7 แสดงรูปคลื่นแรงดัน 215.7 V กระแส 0.745 A จากการสูบน้ำ แหล่งจ่าย จากโครงการที่ความสูง 3 เมตร.....	68
รูปที่ 4.6.8 แสดงรูปคลื่นแรงดัน 220 V กระแส 0.933 A จากการสูบน้ำจากแหล่งจ่าย จาก AC Line ที่ความสูง 6 เมตร (Max total Head).....	69
รูปที่ 4.6.9 แสดงรูปคลื่นแรงดัน 220.1 V กระแส 0.728 A จากการสูบน้ำ แหล่งจ่าย จากโครงการ ที่ความสูง 6 เมตร (Max total Head).....	69
รูปที่ 4.6.10 รูปแสดงชิ้นงานในโครงการ.....	70

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1.1 แสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของ แผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	5
ตารางที่ 2.1.2 แสดงคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงการ.....	10
ตารางที่ 2.6.1 แสดงขนาดของปั๊มจุ่มที่ใช้ในโครงการนี้.....	35
ตารางที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดสายกับแรงดันที่ตกคร่อมในสายไฟฟ้า.....	36
ตารางที่ 4.1.1 การทดลองพลังงานแสงอาทิตย์.....	52
ตารางที่ 4.2.1 ผลการทดลองค่ากระแสและแรงดันจาก Solar Cell และวงจร ประจุแบตเตอรี่ วันที่ 1.....	55
ตารางที่ 4.2.2 ผลการทดลองค่ากระแสและแรงดันจาก Solar Cell และวงจร ประจุแบตเตอรี่ วันที่ 2.....	56
ตารางที่ 4.2.3 ผลการทดลองค่ากระแสและแรงดันจาก Solar Cell และวงจร ประจุแบตเตอรี่ วันที่ 3.....	57
ตารางที่ 4.6.1 การทดลองการสูบน้ำจากแหล่งจ่าย AC Line.....	66
ตารางที่ 4.6.2 การทดลองการสูบน้ำจากโครงการ.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

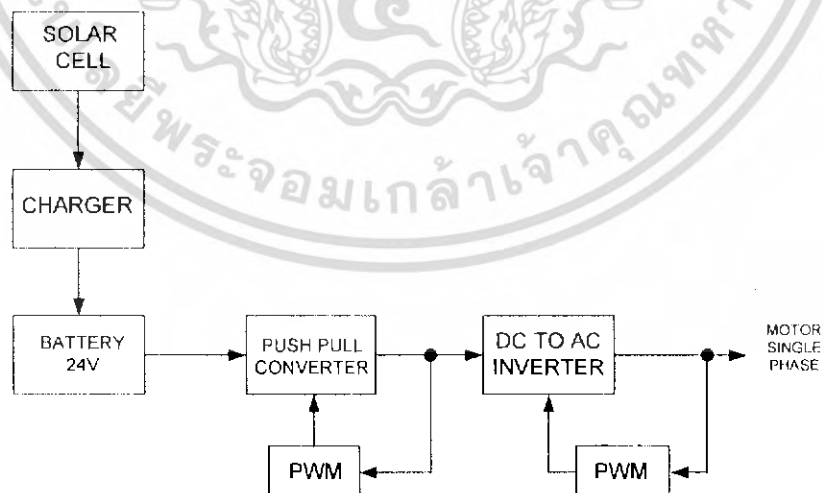
บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญในงานอุตสาหกรรมและยังเป็นสิ่งจำเป็นในชีวิตประจำวัน พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในประเทศไทย ส่วนหนึ่งต้องซื้อจากต่างประเทศ และอีกส่วนสามารถผลิตได้เองด้วยโรงไฟฟ้าภายในประเทศ แต่อย่างไรก็ดียังต้องซื้อเชื้อเพลิงจำนวนมากจากต่างประเทศเพื่อใช้ในการผลิต ในแต่ละปีประเทศต้องเสียเงินทุนจำนวนมากในการบำรุงรักษาและพัฒนาาระบบสายส่งไฟฟ้าเพื่อต้องการส่งไฟฟ้าให้ทั่วถึงทุกจุด โครงการเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ จึงเป็นอีกแนวความคิดหนึ่งที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์นี้จะไม่ก่อให้เกิดมลพิษ และเป็นระบบที่ไม่มีเคลื่อนไหว ทำให้ไม่ต้องบำรุงรักษามาก และยังสามารถลดต้นทุนของสายส่งได้อีกด้วย

ในโครงการเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์นี้สามารถนำไปใช้ในที่ห่างไกลจากระบบสายส่งไฟฟ้าหรือเพื่อการเกษตร ซึ่งจะประกอบด้วยการทำงานตามแผนผังการทำงาน (Block Diagram) โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นอุปกรณ์สำคัญในการแปลงพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าซึ่งจะได้ไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อประจุลงในแบตเตอรี่ (Battery) และป้อนเข้าวงจรคอนเวอร์เตอร์ เพื่อยกระดับแรงดันกระแสตรงจากแบตเตอรี่จาก 24 V_{DC} เป็น 311 V_{DC} เพื่อป้อนเข้าวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter) โดยจะแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220V 50 Hz จ่ายให้กับเครื่องสูบน้ำขนาด 100 W การควบคุมขนาดแรงดันต้นออก (V_{out}) จะถูกควบคุมให้คงที่ด้วยวงจรควบคุมด้วยวงจรป้อนกลับแบบ PWM (Pulse Width Modulation)



รูปที่ 1.1 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานทดแทน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและเรียนรู้ หลักการทำงานส่วนประกอบของวงจรต่าง ๆ ภายในโครงงาน
- 1.2.3 เพื่อให้นักศึกษานำวิชาการและทฤษฎี ที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ใช้งาน
- 1.2.4 เพื่อส่งเสริมนโยบายการประหยัดพลังงานของรัฐบาล
- 1.2.5 เพื่อนำหลักการของโครงงานไปประยุกต์ใช้กับสถานที่ที่ห่างไกลจากแหล่งสาธารณูปโภคพื้นฐาน

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย

- 1.3.1 ขอบเขต : นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานโดยนำไปขับมอเตอร์ปั้มน้ำแบบจุ่ม โดยผ่านแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- 1.3.2 ข้อกำหนด : ระยะเวลาในการดำเนินงานโครงงาน ใช้เวลา 1 ปี

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

- 1.4.1 นักศึกษาได้รับความรู้ และทักษะในการทำงาน
- 1.4.2 นักศึกษาได้นำความรู้ทางทฤษฎีและความสามารถทางการปฏิบัติมารวมกันเพื่อทำงาน และวิเคราะห์แก้ปัญหาในการปฏิบัติงาน
- 1.4.3 นักศึกษาได้เรียนรู้ถึงลักษณะการทำงานของโครงงาน การวางแผนปฏิบัติงาน งบประมาณ และการทำงานเป็นคณะ
- 1.4.4 นักศึกษาได้เรียนรู้ถึงการติดต่อประสานงานหน่วยงานและองค์กรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องขณะทำโครงงานนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

2.1.1 พลังงานแสงอาทิตย์

แหล่งพลังงานที่สำคัญของโลกส่วนใหญ่ได้มาจากฟอสซิลได้แก่ น้ำมัน ก๊าซ และถ่านหินเมื่อมีการเจริญเติบโตทางเทคโนโลยีและทางเศรษฐกิจจึงทำให้การบริโภคพลังงานเป็นไปอย่างมหาศาล ซึ่งคาดว่า แหล่งพลังงานของโลกที่ได้มาจาก ฟอสซิลดังกล่าว จะมีสำรองให้ใช้ได้อีกไม่เกิน 50 ปี กระบวนการผลิต และใช้พลังงานจาก ฟอสซิล นั้น ล้วนก่อให้เกิดผลกระทบ ต่อสิ่งแวดล้อม ติดตามมาอย่างมากมาย เช่น มลพิษทางอากาศ ฝนกรด และ สภาวะเรือนกระจก ซึ่งมีผลกระทบเป็นลูกโซ่ต่อทั้งระบบนิเวศน์ และความเป็นอยู่ของมนุษย์การนำพลังงานในรูปแบบอื่นมาใช้ เช่น พลังงานไฟฟ้าจาก นิวเคลียร์ มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนในการก่อสร้าง และ ถอดทิ้ง ทำลายเตาปฏิกรณ์สูงมาก และยังไม่สามารถสร้างความเชื่อมั่นในความปลอดภัยที่ประชาชนทั่วไปยอมรับได้ การส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานหมุนเวียนให้มากขึ้น ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวมวล และการแปรรูปจากมูลฝอย ด้วยเทคโนโลยีที่พัฒนาสู่ปัจจุบัน กระบวนการแปรรูป พลังงานแสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า นับเป็นกระบวนการที่สะอาดและไร้มลภาวะ และเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายทั้งในด้านการลงทุน เพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงาน โดยรวมถึงผลกระทบที่อาจมีต่อสิ่งแวดล้อมด้วยแล้วจะเห็นได้ว่าต้นทุนพลังงานที่ผลิตได้จาก เซลล์แสงอาทิตย์ มีราคาถูกกว่า แหล่งพลังงานประเภทอื่น และประการสำคัญก็คือ พลังงานจากแสงอาทิตย์ เป็นหนึ่งในพลังงานที่มีความยั่งยืน ไม่มีที่สิ้นสุด

2.1.2 ทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ (หรือแสงจากหลอดไฟ) เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จัดว่าเป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง ที่สะอาดและไม่สร้างมลภาวะใดๆ ขณะใช้งาน

การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีจุดเด่นที่สำคัญหลายประการ ดังต่อไปนี้

1. ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวในขณะที่ใช้งาน จึงทำให้ไม่มีมลภาวะทางเสียง
2. ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษจากขบวนการผลิตไฟฟ้า
3. มีการบำรุงรักษาน้อยมากและใช้งานแบบอัตโนมัติได้ง่าย
4. ประสิทธิภาพคงที่ไม่ขึ้นกับขนาด
5. สามารถผลิตเป็นแผงขนาดต่าง ๆ ได้ง่าย ทำให้สามารถผลิตได้ปริมาณมาก
6. ผลิตไฟฟ้าได้แม้มีแสงแดดอ่อนหรือมีเมฆ
7. เป็นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้มาฟรีและมีไม่สิ้นสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

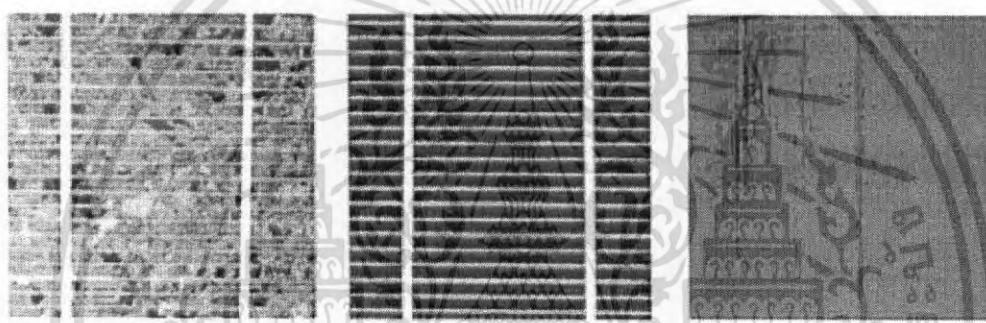
2.1.2.1) ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์แบ่งได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

1. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน แบ่งตามลักษณะของรูปผลึกได้เป็น 3 รูปแบบ คือ
 - แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline)
 - แบบผลึกรวม (Polycrystalline)
 - แบบไม่มีรูปผลึก (Amorphus) ซึ่งบางครั้งเรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์ม (ThinFilm Solar Cell)

2. เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบ

ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบัน



ก

ข

ค

รูปที่ 2.1.1 แสดงลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ

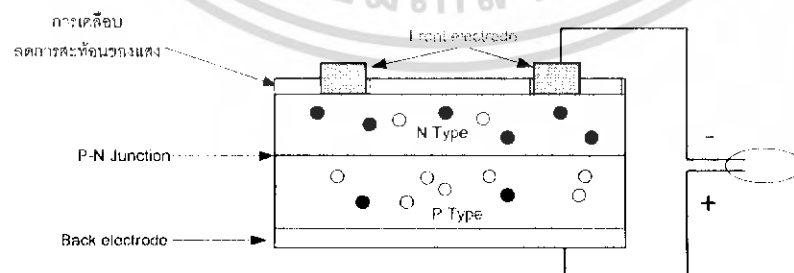
(ก. แบบผลึกรวม ข. แบบผลึกเดี่ยว ค. แบบอะมอร์ฟัส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1.1 แสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของ แผงเซลล์แสงอาทิตย์

		SC 55	SC 75	SC 120-72	SC120-36
คุณลักษณะทางไฟฟ้า					
กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Rated power)	วัตต์	55	75	120	120
แรงดันมาตรฐาน (Configuration)	โวลต์	12	6/12	12	12
กระแสไฟฟ้าปกติ (Rated current)	แอมป์	3.15	8.8/4.4	7.12	7.1
แรงดันไฟฟ้าปกติ (Rated voltage)	โวลต์	17.4	8.5/17.0	16.8	16.9
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short circuit current)	แอมป์	3.45	9.6/4.8	7.74	7.45
แรงดันไฟฟ้าวงจเปิด (Open circuit voltage)	โวลต์	21.7	10.9/21.7	21	21.5
ขนาดของแผงเซลล์					
ความยาว (Length)	มม.	1293	1220	1456	1425
ความกว้าง (Width)	มม.	329	527	731	652
ความหนา (Depth)	มม.	34	34	50	52
น้ำหนัก (Weight)	กก.	5.5	7.6	12.8	11.9
ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ					
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Isc)	[mA/°C]	+1.2	+2.06	+0.065	
แรงดันไฟฟ้าวงจเปิด (Voc)	[V/°C]	-0.077	-0.077	-0.8	

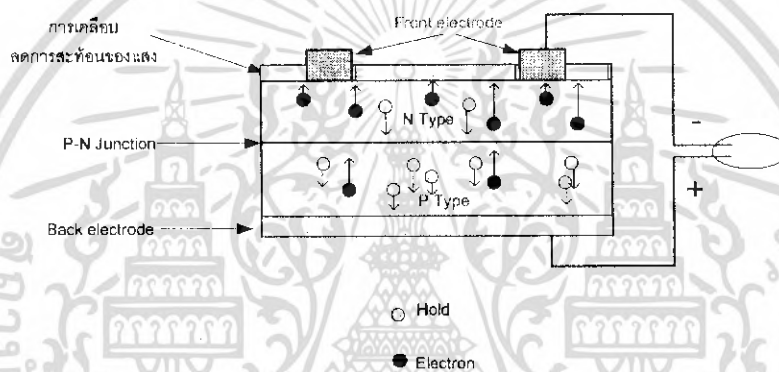
2.1.3 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.1.2 การเรียงตัวของอิเล็กตรอนขณะยังไม่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์

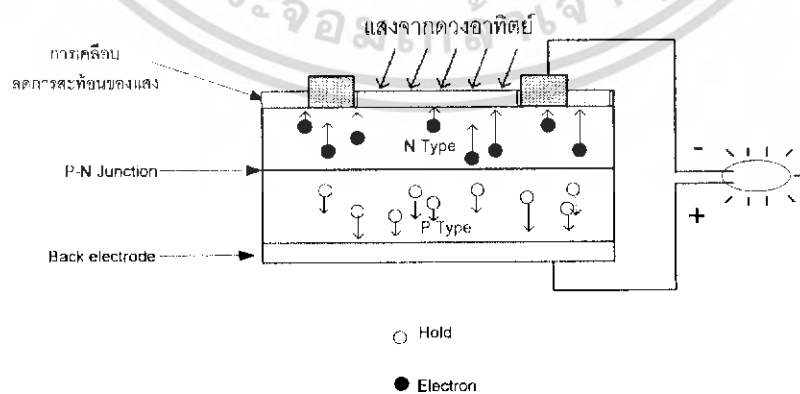
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. n type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปปิ้งด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ n type ซิลิคอน คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปปิ้งด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงาน จากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย pn junction จึงทำให้เกิดเป็น เซลล์แสงอาทิตย์ ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด n type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮล ปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ p type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล



รูปที่ 2.1.3 อิเล็กตรอนเริ่มเคลื่อนตัวขณะเริ่มได้รับพลังงานแสงอาทิตย์

1. เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังงานสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p type

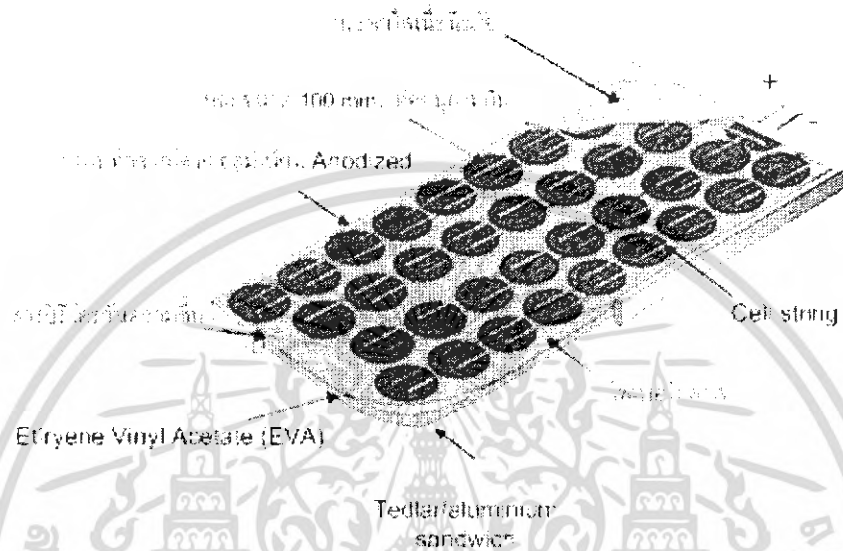


รูปที่ 2.1.4 การเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอนและโฮลเมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

2.1.4 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.1.5 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.5 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Modules)

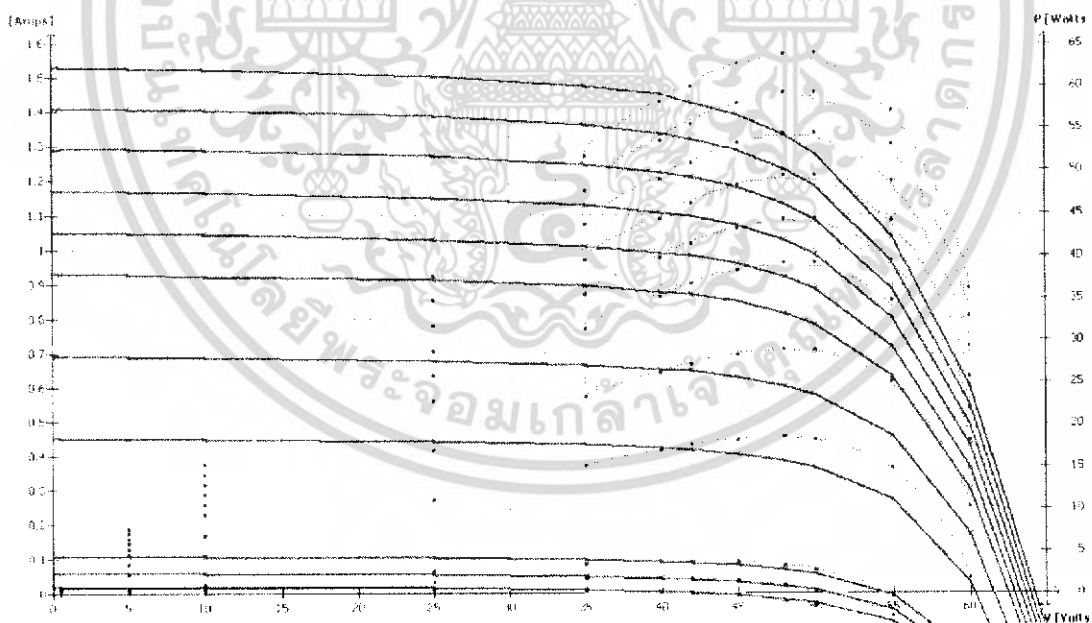
แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์เซลล์เดียวจะมีค่าต่ำมากการนำมาใช้งานจะต้องนำเซลล์หลาย ๆ เซลล์มาต่อกันแบบอนุกรม เพื่อเพิ่มค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้น เซลล์ที่นำมาต่อกันในจำนวนและขนาดที่เหมาะสม เรียกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดีและยังเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์อีกด้วยแผงเซลล์จะต้องมีการป้องกันความชื้นที่ดีมากเพราะจะต้องอยู่กลางแจ้งกลางแจ้งเป็นเวลายาวนานในการประกอบจะต้องใช้วัสดุที่มีความคงทนและป้องกันความชื้นที่ดีเช่น ซิลิโคน และอีวีเอ (Ethelene Viny 1 Acetate) เป็นต้น เพื่อเป็นการป้องกันแผ่นกระจกด้านบนของแผงเซลล์จึงต้องมีการทำกรอบด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรงแต่บางครั้งก็ไม่มีเวลาจำเป็นถ้ามีการเสริมความแข็งแรงของแผ่นกระจกให้เพียงพอซึ่งก็สามารถทดแทนการทำกรอบได้เช่นกัน ดังนั้นแผงเซลล์จึงมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ (Laminate) ซึ่งสะดวกในการติดตั้ง เซลล์แสงอาทิตย์ 1 เซลล์จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ 0.5 โวลต์ (DC) โดยไม่ขึ้นกับขนาดของเซลล์ส่วนกระแสที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์ เช่น เซลล์ที่มีพื้นที่ 4 X 4 ตารางนิ้วจะให้กระแสประมาณ 3 แอมแปร์ กำลังผลิตประมาณ 15 วัตต์ ในกรณีที่ต้องการให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงขึ้นทำได้โดยการต่อเซลล์กันแบบอนุกรม (ขั้วบวกต่อเข้ากับขั้วลบของอีกเซลล์หนึ่ง) แต่ถ้าต้องการเพิ่มกระแสก็ต้องต่อกันแบบขนาน (ขั้วบวกต่อกับขั้วบวกของอีกเซลล์) ให้เซลล์ภายในแผงเซลล์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงอาทิตย์จะมีข้อต่อที่เป็นขั้วบวกและขั้วลบต่อกับแบบอนุกรมแล้วต่อรวมออกมานอกแผงเซลล์ โดยทั่วไปแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขายในท้องตลาดจะมีแรงเคลื่อนสูงสุดประมาณ 21-22 โวลต์

2.1.6 ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Array)

สิ่งหนึ่งที่ที่น่าสนใจของเซลล์แสงอาทิตย์ก็คือกำลังผลิตที่สามารถเพิ่มโดยการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าด้วยกันเป็นชุดหรือแถว (Array) ภายในชุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีหลักการต่อ 2 วิธีคือ ต้องการเพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้องต่อแบบอนุกรมต้องการเพิ่มกระแสให้ต่อแบบขนานในกรณีของโครงการระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้าน 10 หลังแรกของประเทศไทยออกแบบระบบไว้ดังนี้

- กำหนดแรงเคลื่อน (Rated Voltage) ที่ 255 โวลต์กระแสตรงใช้แผงเซลล์ต่ออนุกรมชุดละ 15 แผง ใช้ 2 ชุดต้องใช้แผงทั้งหมด 30 แผง
- แผงเซลล์แต่ละแผงมีกำลังผลิตสูงสุด 75 วัตต์กำลังผลิตสูงสุด 2,250 กิโลวัตต์
- แผงหันไปทางทิศใต้ทำมุมเอียง 15-45 องศากับแนวนอนขึ้นอยู่กับบ้านแต่ละหลัง
- ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันใน 1 ปี 4.5 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อตารางเมตร
- พลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าจะผลิตได้ปีละ 2,800 - 3,600 กิโลวัตต์-ชั่วโมง
- ขนาดของแผงแต่ละแผง 1.20 X 0.527 เมตร แต่ละชุดมีพื้นที่เฉลี่ย 20 ตารางเมตร



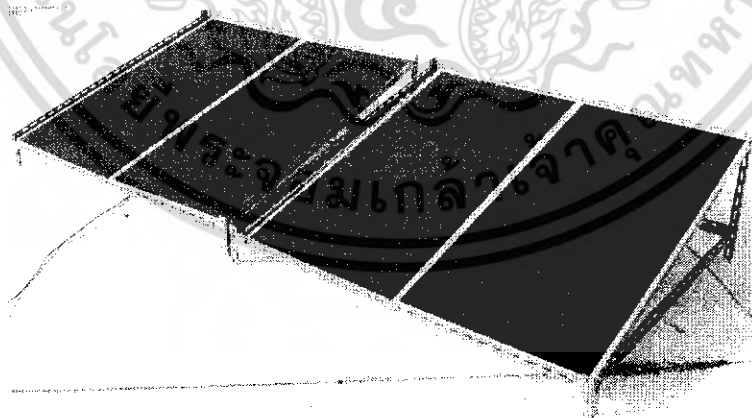
รูปที่ 2.1.6 รูปแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ I-V curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างกับการจ่ายระบบไฟฟ้าจากดีเซลที่เป็นกระแสสลับ 230 โวลต์ ไม่มีการจำกัดจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ แต่ถ้าเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ยิ่งใช้กระแสมาก แรงเคลื่อนไฟฟ้าก็จะตกจึงมีข้อจำกัดในการใช้ (จากการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อธิบายไว้ในตอนต้นจะเห็นได้ว่า โฟตอนในแสงแดดถูกดูดซับโดยเซลล์แสงอาทิตย์ จะทำให้เกิดตัวพาประจุ (charge carrier) 1 คู่ ดังนั้นปริมาณกระแสไฟฟ้าจึงขึ้นกับปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์โดยตรง ถ้าเซลล์แสงอาทิตย์ถูกทำให้เกิดการลัดวงจรโดยใช้แอมป์มิเตอร์ค่าที่วัดได้เรียกว่า Short circuit current ซึ่งจะให้ค่าบนแกน Y (I) เพราะว่าเป็นสภาวะการณ์เช่นนั้นค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้ามีค่าน้อยที่สุด หมายเหตุการทำให้เกิดการลัดวงจรในเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับแผงเซลล์

2.1.7 ความลาดเอียงของแผง

ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องติดตั้งให้มีความลาดเอียงเพียงพอเพื่อที่จะให้ได้รับแสงแดดมากที่สุดและอีกประการหนึ่งเพื่อให้เกิดการระบายน้ำฝนได้อย่างรวดเร็ว เพื่อเป็นการชำระล้างสิ่งสกปรกที่ติดค้างอยู่บนแผงเซลล์ด้วย การเลือกมุมความลาดเอียง และทิศทางของแผงที่เหมาะสมนั้น จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของสถานที่ว่าตั้งอยู่เส้นรุ้งเท่าไร สำหรับประเทศไทยดีที่สุดคือ 15 องศา โดยมีทิศทางหันหน้าไปทางทิศใต้แต่อย่างไรก็ตามถ้ามีการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปติดตั้งบนหลังคาบ้านมุมเอียงของแผงโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 15-45 องศา หรือขึ้นกับความลาดเอียงของหลังคาบ้านเป็นสำคัญ อีกวิธีหนึ่งที่ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดก็คือ การปรับแผงให้เอียงตามการโคจรของดวงอาทิตย์ (Tracking) แต่วิธีนี้จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากดังนั้นในทางปฏิบัติจึงติดตั้งแผงให้มีความลาดเอียงที่ค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น



รูปที่ 2.1.7 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์โดยทำมุมเอียง 15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.8 เซลล์แสงอาทิตย์

ทำการศึกษาและออกแบบการนำเซลล์แสงอาทิตย์ มาใช้กับงานโครงการ ทำการตรวจสอบเพื่อหาค่าพลังงานสูงสุด ซึ่งในโครงการจะใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อรวมกันเพื่อได้กำลังไฟฟ้าที่ต้องการ ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์มีคุณลักษณะดังนี้

ตารางที่ 2.1.2 แสดงคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงการ

	Power	Voltage	Current	Weight	Size	Total area	Open circuit Voltage	Short circuit current	Max. series Fuse
Module Type	Watt	V dc	A dc	Max kg	mm x mm	m x m	V dc	A dc	A
BS40	40	44.8	0.90	13.5	635x1245	0.8	62.2	1.16	4

2.1.9 ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์

ถึงแม้ว่าจำนวนชั่วโมงที่แสงอาทิตย์ส่องสว่างมายังพื้นโลกจะสามารถหาได้โดยใช้ข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาแต่ข้อมูลนี้ไม่สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เพราะว่าปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับอัตราการตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ทั้งที่เป็นรังสีตรงและรังสีกระจาย (global irradiance) ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง (Insolation) โดยมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อตารางเมตร (kWh / m^2) ข้อสังเกตอัตราการตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ที่ถือว่าเป็นมาตรฐานที่ใช้สำหรับเป็นตัวกำหนดกำลังงานสูงสุดนั้นมีความเท่ากับ 1,000 วัตต์ ต่อตารางเมตร หรือ 1 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ในทางกลับกันเราอาจจะกล่าวถึงพลังงานที่ตกกระทบพื้นผิวในแต่ละวันในรูปของจำนวนชั่วโมงการได้รับกำลังงานสูงสุดคงที่ 1 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร (Peak hour per day) ซึ่งเท่ากับจำนวนกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน (kWh / m^2 per day)

2.2 เครื่องประจุแบตเตอรี่

2.2.1 หลักการประจุไฟฟ้าของเครื่องประจุแบตเตอรี่

เครื่องประจุแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ซึ่งจะให้ระดับแรงดันสูงกว่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่ในขณะที่มีการเก็บประจุ ในการประจุแบตเตอรี่จะให้ขั้วบวกของเครื่องประจุต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ โดยกระแสที่ทำการประจุจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของกระแสที่แบตเตอรี่จ่าย ในการประจุแบตเตอรี่ การประจุเราต้องพิจารณาถึงตัวต้านทาน 2 ตัวภายในแบตเตอรี่คือ R1 จะเป็นค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เอง จะมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนงานวิชาการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในแบตเตอรี่เสมอไม่ว่าแบตเตอรี่นั้นกำลังประจุหรือคายประจุอยู่ โดยจะมีค่ามากขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่ซึ่งจะมีค่ามากเมื่อเป็นแบตเตอรี่ชนิด Low Rated Charge – Discharge เมื่อเราใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้ในอัตรากระแสที่สูงจะทำให้เกิดความสูญเสียมากเนื่องจาก $Loss = I^2 \times R$ แต่ถ้าเป็นแบตเตอรี่ชนิด High Rate ค่าความต้านทานตัวนี้จะมีค่าน้อยมาก ทำให้สามารถใช้กระแสสูงๆ ได้โดยกำลังสูญเสียไม่มาก ส่วน R_2 นั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปโดยขึ้นอยู่กับสถานะ การหมดประจุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่คายประจุหมดเต็มที่ ค่าความต้านทานตัวนี้จะมีค่าต่ำ ดังนั้นกระแสที่ใช้ในการประจุมักมีค่าสูง อย่างไรก็ตามเมื่อแบตเตอรี่ใกล้เต็มหรือประจุจนเต็มที่แล้วค่าความต้านทาน R_2 นี้จะมีค่าสูงขึ้น ทำให้กระแสที่ใช้ในการประจุมีค่าลดลง

นอกจากนี้สิ่งที่ควรทราบอย่างยิ่งในการประจุแบตเตอรี่ดังต่อไปนี้

1) ระดับแรงดันที่ใช้ประจุ

Float Charge คือการประจุแบตเตอรี่ด้วยระดับแรงดันแบบธรรมดาที่มีค่าไม่สูงอยู่ที่ค่าประมาณ 2.13 – 2.25 V/Cell ในภาวะปกติของการประจุจะใช้ระดับแรงดันนี้

Equalizing Charge ในบางครั้งแบตเตอรี่ที่ใช้ยังไม่ถูกใช้งานหรือใช้งานน้อยทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีเสื่อมลง จึงควรมีการกระตุ้นแบตเตอรี่บ้างประมาณ 72 ชม. ต่อปี โดยระดับที่ใช้ประจุประมาณ 2.3 – 2.55 V/Cell

2) Final of Cell Voltage

คือจุดต่ำสุดของแรงดันในการพิจารณาว่าแบตเตอรี่คายประจุหมดแล้ว มีค่าไม่แน่นอนประมาณ 1.5 – 1.8 V/Cell ถ้าหากปล่อยให้แบตเตอรี่คายประจุจนต่ำกว่าค่า End Of Cell แล้วจะทำให้แบตเตอรี่ตายไม่สามารถอัดประจุด้วยวิธีธรรมดาได้ ต้องประจูปรับแรงเป็นจังหวะแบบการปั๊มหัวใจเพื่อให้แบตเตอรี่ฟื้น

2.2.2 วิธีการประจุแบตเตอรี่

2.2.2.1 ประจุแบบกระแสคงที่ (Constant Current Charging)

การประจุแบตเตอรี่แบบกระแสคงที่นับว่าเป็นการประจุที่มีประสิทธิภาพกว่าการประจูปแบบแรงดันคงที่ แต่การประจุแบบกระแสคงที่นี้ จะใช้เวลาการประจุนานกว่าแรงดันคงที่ ทั้งนี้การประจุแบบกระแสคงที่นี้ จะถูกจำกัดปริมาณการประจุกระแสจากเครื่องประจุเข้าวงจรแบตเตอรี่เป็นจำนวนแอมป์ต่อชั่วโมง ดังนั้นแบตเตอรี่จะได้รับการประจุเป็นไปตามที่กำหนดเมื่อเป็นเช่นนั้นอาจเป็นที่สงสัยว่าทำไมไม่ตั้งให้กระแสในการประจุสูงขึ้น จะทำการให้เวลาในการประจุน้อยลง แต่จะเกิดความเสียหายขึ้นกับแบตเตอรี่คือ ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเซลล์แบตเตอรี่จะสูงขึ้นตามปริมาณของกระแสที่ทำการประจุและในที่สุดแผ่นเพลทของแบตเตอรี่ที่

เอกส เป็นน้ำสตุแอคทีฟ (Active Material) ของเซลล์แบตเตอรี่จะเกิดการคุดงอ แดง หรือ เกิดการร้าวไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันเนื่องจากความร้อนนี้ ถ้าเซลล์แบตเตอรี่เกิดความร้อนสูงกว่าปกติมาก ๆ หรือความร้อนในเซลล์สูงกว่ากำหนดจะทำให้เซลล์แบตเตอรี่เกิดการระเบิดขึ้นได้

2.2.2.2 การประจุแบบแรงดันคงที่ (Constant Voltage Charging)

จากที่เราได้ทราบมาแล้วว่าการประจุแบบกระแสคงที่ เราจะทำการประจุอย่างรวดเร็วไม่ได้ ต่อไปนี้เราจะได้ศึกษาถึงการประจุแบบแรงดันคงที่ในการประจุแบบนี้จะใช้เวลาในการประจุน้อยกว่าการประจุแบบกระแสคงที่ระยะเวลาในการประจุจะใช้น้อยเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถของการประจุว่าจ่ายกระแสออกมาถึงวงจรแบตเตอรี่มากน้อยเพียงไร โดยทั่วไปเครื่องประจุสามารถจ่ายกระแสออกมาได้ 50% ของค่าความจุแบตเตอรี่ที่นำมาทำการประจุ เช่นแบตเตอรี่ขนาด 100 แอมแปร์ต่อชั่วโมง จะใช้เวลาในการประจุเท่ากับ 2 ชั่วโมง

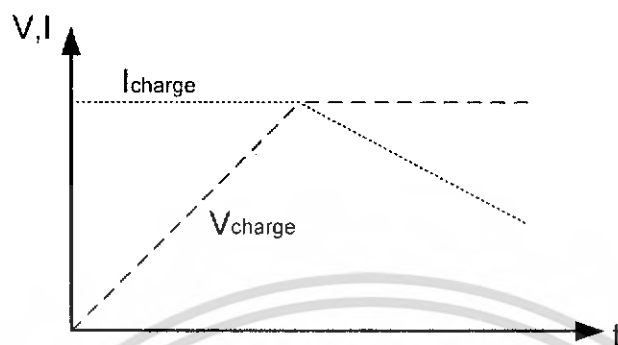
การประจุแบตเตอรี่เกิดจากเมื่อแบตเตอรี่ถูกนำเอาพลังงานออกไปใช้งานจะต้องมีการประจุไฟให้กับแบตเตอรี่มีประจุเต็มดั้งเดิม การประจุโดยระบบแรงดันคงที่ทำได้โดยการใช้เครื่องประจุหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นตัวกำเนิดโวลต์เดจขึ้นมา แล้วป้อนแบตเตอรี่ แต่การกำเนิดโวลต์เดจจากเครื่องประจุหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น อาจจะมีโวลต์เดจที่ไม่คงที่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงต้องมีตัวควบคุมโวลต์เดจที่นำเข้ามาประจุแบตเตอรี่ ให้คงที่ตลอดเวลาของการประจุ ซึ่งตัวนี้เราเรียกกันทั่วไปว่า วงจรเรกกูเลเตอร์ (Voltage Regulator) ดังนั้นวงจรเรกกูเลเตอร์นี้จะทำหน้าที่ให้แบตเตอรี่ได้รับการประจุที่คงที่ และนับเป็นวงจรที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับการประจุแบบแรงดันคงที่ และในทำนองเดียวกันถ้าหากแรงดันเรกกูเลเตอร์นี้เสียจะทำให้แบตเตอรี่ได้รับระดับโวลต์เดจที่ไม่ถูกต้องซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่ได้รับการประจุมากหรือน้อยเกินไป ซึ่งระดับแรงดันทั้งสองที่กล่าวมานี้จะทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายได้ การใช้วงจรเรกกูเลเตอร์ จะมีค่าแรงดันเท่าไรนั้นจะต้องดูที่คู่มือของแบตเตอรี่นั้นๆ เป็นหลัก ในกรณีที่ไม่มีหนังสือคู่มือใช้หลักการดังนี้ ให้ใช้จำนวนแรงดันในการประจุต่อเซลล์คูณด้วยจำนวนเซลล์ของแบตเตอรี่ที่ทำการประจุ เช่น แบตเตอรี่ 24 เซลล์จะปรับระดับแรงดันของเครื่องประจุเท่ากับ 2.15 คูณ 24 เท่ากับ 51.3 โวลต์ ขณะที่ทำการประจุปกติ

2.2.3 ประจุแบตเตอรี่โดยวิธีร่วม (Combination Charging Two- Step)

วิธีนี้บางที่เราเรียกว่า “two – step “ หรือ “ two – rate” เกิดจากการรวม 2 วิธี คือการประจุแบบกระแสคงที่ กับการประจุแบบแรงดันที่เข้าด้วยกัน โดยขั้นแรกจะใช้วิธีการอัดประจุแบบกระแสคงที่คือจะจำกัดกระแสสูงสุดที่แบตเตอรี่ทนได้ไว้ และขั้นตอนที่สองเราจะอัดประจุด้วยแรงดันคงที่ การสวิตซ์จากขั้นแรกไปยังขั้นที่สองอาจทำได้หลายวิธีเช่น ตรวจสอบแรงดันที่แบตเตอรี่ หรือ ควบคุมเวลาในการอัดประจุหรือตรวจสอบกระแสในการอัดประจุเป็นต้น โดยลักษณะการอัดประจุแสดงได้จากรูปที่ 2.2.2

จากกราฟในช่วงแรกจะควบคุมให้กระแสคงที่โดยไม่เกินค่ากระแสสูงสุดที่แบตเตอรี่จะทนได้เพราะค่าความต้านทานในแบตเตอรี่เมื่อคายประจุหมดจะมีค่าต่ำมากทำให้กระแสสูง ในช่วงนี้จะสังเกตเห็นว่าแรงดันจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามค่าความต้านทานของแบตเตอรี่ที่เพิ่มขึ้นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จนกระทั่งแรงดันเพิ่มถึงระดับที่กำหนดในการชาร์จก็จะทำการเปลี่ยนมารักษาให้แรงดันคงที่แทนในช่วงนี้กระแสจนใกล้เป็นศูนย์แสดงว่าการประจุแบตเตอรี่ใกล้เต็มแล้ว



รูปที่ 2.2.1 กราฟแสดงผลกระแสและแรงดันเมื่อทำการประจุแบบวิธีรวม

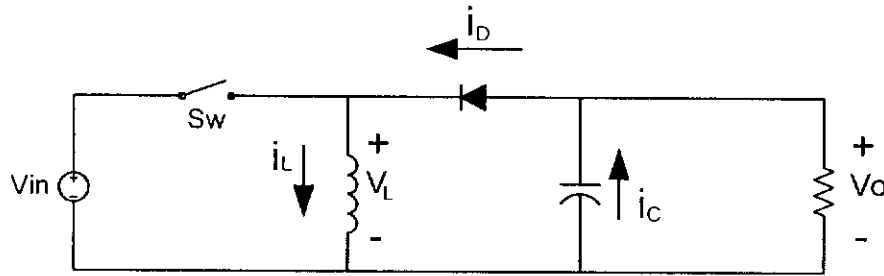
2.2.4 วงจรทอน – ทบระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบีก - บูลต์คอนเวอร์เตอร์

วงจรลดทอน - ทบระดับแรงดันไฟฟ้า หรือวงจรบีก-บูลต์คอนเวอร์เตอร์คือวงจรที่สามารถทำการลดหรือเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าด้านนอกให้ต่ำกว่าหรือสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าได้เพราะว่าพลังงานแสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงตลอดจึงต้องมีการปรับระดับแรงดันให้ได้ตามต้องการ

2.2.4.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรบีก-บูลต์คอนเวอร์เตอร์

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรบีก-บูลต์คอนเวอร์เตอร์ในช่วงสภาวะอยู่ตัว จะทำการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของวงจรบีก-บูลต์คอนเวอร์เตอร์เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ดังนี้

1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ณ ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละคาบ จะมีค่าเท่ากัน และมีค่าเป็นบวกเสมอ
2. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์ หมายถึงผลรวมของผลคูณระหว่างแรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลา ในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์
3. ตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่ทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าคงที่
4. กำลังไฟฟ้าด้านเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าด้านออก กรณีนี้ไม่คำนึงถึงการสูญเสียเนื่องจากการทำงานของวงจร โดยกำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของวงจรเป็นหนึ่งในร้อยเปอร์เซ็นต์



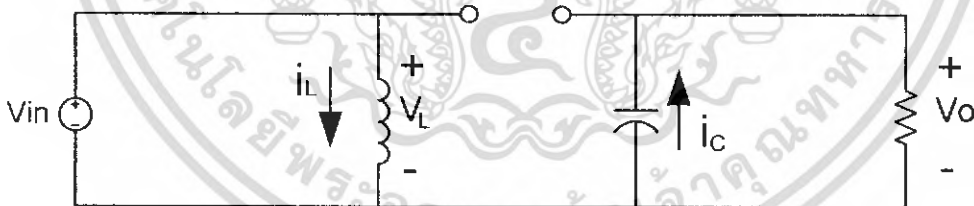
รูปที่ 2.2.2 วงจรบัก - บูลต์คอนเวอร์เตอร์

2.2.4.2 หลักการทำงานของวงจรบัก-บูลต์คอนเวอร์เตอร์

หลักการทำงานของวงจรบัก-บูลต์คอนเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านนอกมีค่าลดลงและเพิ่มขึ้นตามต้องการ โดยจะเริ่มต้นจากข้อกำหนดที่ว่า แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ได้โดยการวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมด ทั้งนี้การทำงานต้องอยู่ในช่วงสภาวะอยู่ตัว ดังนี้

2.2.4.3 ขณะสวิตช์นำกระแส

จากรูปที่ 2.2.4 กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านสวิตช์และผ่านตัวเหนี่ยวนำ ในขณะที่ไดโอดจะถูกไบอัสย้อนกลับ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเท่ากับ



รูปที่ 2.2.3 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส

$$-V_s + V_L = 0 \quad (2.2.1)$$

$$V_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.2.2)$$

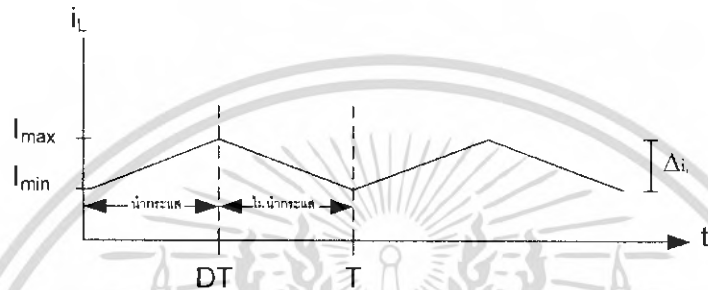
$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่สวิตช์นำกระแส $dt = DT$ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยอัตราคงที่และถือว่าการเพิ่มของกระแสเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

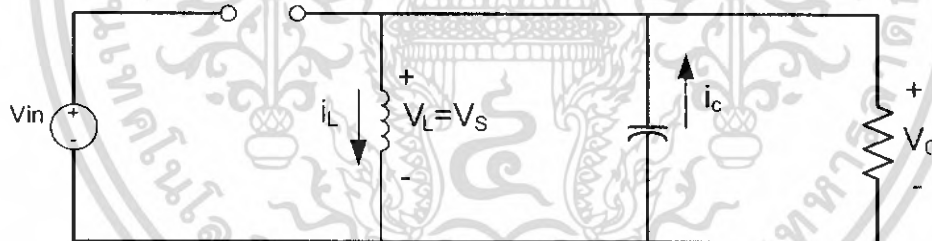
$$\frac{\Delta i_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_S}{L} \quad (2.2.3)$$

$\Delta i_{L,on}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำใน ขณะที่สวิตช์นำกระแส



รูปที่ 2.2.4 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

2.2.4.4 ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส



รูปที่ 2.2.5 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส

$$-V_L + V_o = 0 \quad (2.2.4)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_o}{L} \quad (2.2.5)$$

ขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแส $dt = (1-D)T$ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะลดลงด้วยอัตราคงที่ โดยอาจจะถือได้ว่าการลดลงของกระแสเป็นเชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2.6 ทำให้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.2.6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta i_{L,off} = \frac{V_o}{L}(1-D)T \quad (2.2.6)$$

ที่สภาวะอยู่ตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสสุทธิที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากับศูนย์ จากสมการที่ (2.2.4) และสมการที่ (2.2.5) จะได้ว่า

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.2.7)$$

$$\frac{[V_s]}{L}DT + \frac{(V_{o1}(1-D))T}{L} = 0$$

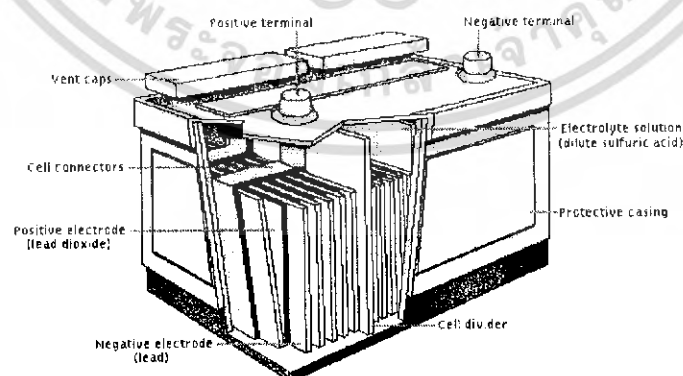
$$\frac{V_o}{V_s} = -(D) \frac{1}{1-D} \quad (2.2.8)$$

2.3 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งทางไฟฟ้า มีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าจ่ายออกมาให้เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ แบตเตอรี่บางชนิดสามารถอัดไฟฟ้าเข้าไปใหม่ได้ และบางชนิดก็มาสามารถอัดไฟฟ้าเข้าไปไม่ได้

2.3.1 โครงสร้างของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่หลายๆ ชนิดมีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกันที่ประกอบด้วย แผ่นธาตุบวก แผ่นธาตุลบ และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เซลล์เหล่านี้อาจมีการปิดผนึกสนิท หรือมีช่องให้สารระเหยได้ ชนิดปิดสนิทปิดสนิทอาจใช้สารอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นวุ้นแข็งหรือของเหลวก็ได้ แต่ชนิดที่มีช่องให้ระเหยได้จะใช้สารอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นของเหลว



รูปที่ 2.3.1 แสดงโครงสร้างของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.) เซลล์ (Cells) ประกอบด้วยแผ่นธาตุ และน้ำยาอยู่ในเปลือกหุ้ม แต่ละเซลล์จะมี จุกเกลียวสำหรับปิด ที่กลางจุกเกลียวมีรูระบายอากาศ เพื่อระบายแก๊สที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี และไฟฟ้าภายในหม้อแบตเตอรี่ การต่อเซลล์เป็นอันดับ (ขั้วบวกเซลล์หนึ่งต่อเข้ากับขั้วลบของ เซลล์ถัดไป) ของแบตเตอรี่ จะทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับผลบวกของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของแต่ละ เซลล์ นั่นคือจำนวนและการจัดลำดับของเซลล์จะเป็นตัวกำหนดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของ แบตเตอรี่

2.) แผ่นธาตุ (Elements) แต่ละเซลล์ประกอบด้วยแผ่นธาตุ อยู่ใน ของเหลวผสม ระหว่างกรดกำมะถัน และ น้ำ ซึ่งเรียกว่า น้ำยา ในภาชนะที่กันกรดได้ โดยมีฝาครอบเป็นยาง แข็ง ฝาครอบนี้จะถูกกั้นไว้ในตำแหน่งของมันด้วยสารผสมที่กันกรดได้ แผ่นธาตุทำด้วยตะกั่ว หล่อเป็นตะแกรง ใช้ผงตะกั่วซึ่งผสมด้วยวัตถุจำพวกสารผสมสำหรับยึดอยู่กับตะแกรงซึ่งทำด้วย ตะกั่ว แผ่นธาตุมี 2 ชนิดคือ แผ่นบวก ซึ่งประกอบด้วยวัตถุไวปฏิกิริยา คือตะกั่วเปอร์ออกไซด์ (Lead Peroxide) มีสีเป็นสีน้ำตาล และ แผ่นลบ ประกอบด้วยวัตถุไวปฏิกิริยา คือตะกั่วธรรมดา (Sponge Lead) สอดสานเข้ากันและกัน ตามปกติแผ่นลบจะมีมากกว่าแผ่นบวกหนึ่งแผ่น นั่นคือ แผ่นบวกทุกแผ่นจะมีแผ่นลบขนาดอยู่ทั้งสองด้านของตัวมัน การจัดแบบนี้เพราะว่าปฏิกิริยา ทางเคมีเกิดขึ้นกับแผ่นบวกมากกว่าแผ่นลบ แผ่นบวกจึงมีน้อยกว่าแผ่นลบได้ ระหว่างแผ่นแต่ละแผ่นจะมีแผ่นกั้นที่เป็นฉนวนกันไว้เพื่อไม่ให้แผ่นธาตุทั้งสองสัมผัสกัน

3.) แผ่นกั้น เป็นฉนวนกันอยู่ระหว่างแผ่นบวกและแผ่นลบ เพื่อป้องกันแผ่นบวก และแผ่นลบ สัมผัสกัน แผ่นกั้นนี้จะมีรูเล็กๆ จำนวนมาก ดังนั้นน้ำยาภายในเซลล์จึงหมุนเวียน หรือถ่ายเทไปได้ง่าย การหมุนเวียนของน้ำยานี้เป็นสิ่งจำเป็นเพราะน้ำยาจะต้องเข้าไปยังผิวธาตุ แต่ละแผ่นเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมี แผ่นกั้นนี้อาจทำด้วย ยาง แก้ว หรือ เซลลูโลส โดยกรรมวิธี ทางเคมี แบตเตอรี่บางแบบอาจใช้แผ่นกั้นมากกว่าหนึ่งชนิด ตามปกติแผ่นกั้นจะทำเป็นลูกฟูก หันไปทางแผ่นบวกในแนวตั้ง เพื่อเพิ่มบริเวณเนื้อที่สำหรับน้ำยาครอบ ๆ แผ่นบวก

4.) สะพานไฟ (Cell Connectors) เป็นตัวต่อระหว่างเซลล์เข้าด้วยกัน ซึ่งเป็นแท่ง ตะกั่วแบบหนา ยึดอยู่ระหว่างขั้วของเซลล์ แบตเตอรี่บางแบบสะพานไฟอยู่ด้านบน บางแบบอยู่ใน ฝาครอบเซลล์ ถ้าอยู่ภายในฝาครอบเซลล์จะมีสารผสมกันร้วหุ้มไว้เพื่อป้องกันการรั่วของ กระแสกรดด้านบนของฝาครอบเซลล์ เพราะตำแหน่งที่ขั้วของเซลล์โผล่ขึ้นมาโดยไม่มีอะไร บังกัน ฝุ่นละอองและความชื้นจะทำให้เกิดทางเดินของกระแสไฟฟ้าขึ้นระหว่างขั้วขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงระยะเวลาหนึ่งจะทำให้แบตเตอรี่ไม่มีไฟ หรือเก็บไฟไว้ไม่ได้

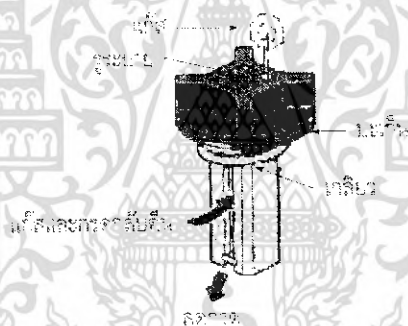
5.) เปลือกหุ้ม (Case) ทำด้วยยางแข็งหล่อขึ้นรูป เปลือกหุ้มนี้จะเป็นตัวรองรับ อุปกรณ์อื่นๆ ของแบตเตอรี่ไว้ทั้งหมด ที่เปลือกหุ้มจะทำเป็นผนังกันไว้เป็นช่องๆ เพื่อแบ่ง เซลล์ของแบตเตอรี่ ถ้า 6 V จะทำเป็น 3 ช่อง 12 V จะทำเป็น 6 ช่อง เป็นต้น แต่ละช่องจะร้วถึง กันไม่ได้

6.) ห้องตกตะกอน (Sediment Chamber) อยู่ตอนล่างของเปลือกหุ้ม โดยหล่อ เป็นสันเพื่อมารับแผ่นธาตุ โดยจัดให้มีช่องว่างตอนล่าง เนื่องจากแผ่นธาตุเมื่อใช้งานไป ความ เหนียวเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนและแรงกระเทือนจะทำให้วัตถุไวปฏิกิริยาเคมีที่ฉาบไว้ที่แผ่นธาตุหลุดร่วงออกมา วัตถุเหล่านี้จะตกลงในห้องตกตะกอนซึ่งอยู่ด้านล่างสุด เป็นการป้องกันไม่ให้วัตถุที่หลุดร่วงไปเชื่อมต่อกันระหว่างแผ่นธาตุ ซึ่งทำให้เกิดการลัดวงจร ดังนั้นจึงไม่ควรคว่ำหม้อแบตเตอรี่

7.) น้ำยา แผ่นธาตุของแบตเตอรี่จะแช่อยู่ในน้ำยา ซึ่งเป็นส่วนผสมของกรดกำมะถัน (H_2SO_4) 36 % กับน้ำ (H_2O) 64 % เมื่อมีอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อเข้ากับแบตเตอรี่ครบวงจร กระแสจะไหลจากแบตเตอรี่ โดยปฏิกิริยาระหว่างแผ่นธาตุบวก และแผ่นธาตุลบ กับกรดกำมะถันในน้ำยา

8.) ฝาครอบเซลล์ ทำด้วยยางแข็งเช่นเดียวกับเปลือกหม้อ ทำหน้าที่ปิดครอบเซลล์อยู่ตอนบนของเปลือกหม้อ ที่ฝาครอบนี้จะมีรูทำเป็นเกลียวสำหรับฝาจุก (Vent Plug) ซึ่งทำเป็นเกลียวและมีรูระบายเล็กๆ อยู่ตรงกลางฝาจุก ฝาจุกนี้คลายออกเปิดได้เพื่อตรวจดูระดับน้ำภายในเซลล์และเติมน้ำกลั่น เนื่องจากน้ำสูญเสียไประหว่างแบตเตอรี่ทำงาน บางส่วนกลายเป็นไอ บางส่วนเปลี่ยนเป็นแก๊ส (ไฮโดรเจนและออกซิเจน) การที่ฝาจุกมีรูระบาย (Vent Hole) ก็เพื่อยอมให้แก๊สเหล่านี้ระบายออกสู่ภายนอกได้



รูปที่ 2.3.2 แสดงฝาครอบเซลล์ของแบตเตอรี่

2.3.2 ประเภทของแบตเตอรี่

วัสดุที่นำมาทำแผ่นธาตุบวก (แผ่นแอนโนด) มีหลายชนิด เช่น ตะกั่ว แคดเมียม แมกนีเซียม และสังกะสี เพราะแสดงคุณสมบัติง่ายต่อการสละอิเล็กตรอน ซึ่งจะกลายเป็นประจุอิออนบวก ในอิเล็กโทรไลต์ ส่วนที่นำมาทำแผ่นธาตุลบ (แผ่นแคโทด) ได้แก่ เลดไดออกไซด์ นิเกิลปรอท และเงิน เพราะแสดงคุณสมบัติง่ายต่อการรับอิเล็กตรอน ระหว่างการจ่ายประจุสภาวะออกซิเดชันของแผ่นบวกจะลดลงและจะสร้างประจุอิออนลบในอิเล็กโทรไลต์ แล้วอิเล็กโทรไลต์จะสร้างทางเดินไอออนิกเพื่อให้อิออนลบไหลกลับ

แบตเตอรี่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1.) แบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ เช่น แบตเตอรี่ที่ทำมาจากสังกะสี – คาร์บอน พรอท และ ลิเทียม เป็นแบตเตอรี่ใช้งานได้ครั้งเดียว เมื่อจ่ายไฟหมดแล้วต้องทิ้งไปไม่สามารถประจุกลับเพื่อมาใช้ได้อีกครั้ง

2.) แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ เช่น แบตเตอรี่ที่ทำมาจากตะกั่ว – กรด นิเกิลแคดเมียม และอัลคาไลท์บางชนิด แบตเตอรี่ประเภทนี้สามารถอัดเข้าไปใหม่ได้เมื่อไฟหมด ทำให้สามารถใช้งานได้นานแบตเตอรี่ที่นิยมใช้กันมาก คือ ชนิดที่ทำจากตะกั่ว – กรด และแบบนิเกิลแคดเมียม ซึ่งมีราคาแพง แต่อายุการใช้งานนานกว่าแบตเตอรี่แบบตะกั่ว – กรด และอีกชนิดหนึ่งคือ แบบเงิน – สังกะสี ราคาแพงมากแต่จ่ายไฟได้มากที่สุด

แบตเตอรี่ที่ใช้ในโรงงานนี้เป็นแบตเตอรี่แบบตะกั่ว – กรด ซึ่งจะกล่าวถึงแบตเตอรี่แบบตะกั่ว – กรด เท่านั้น

2.3.3 ชนิดของแบตเตอรี่

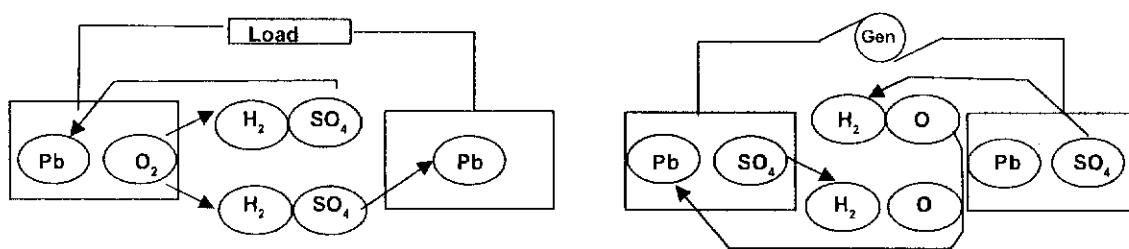
แบตเตอรี่ตะกั่ว – กรดชนิดนอนสปิล (Non spill lead – acid battery) แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1.) แบตเตอรี่ทั่วไป (Standard battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้เมื่อไม่ได้ใช้งานจะมีการคายประจุขณะไร้ภาระ (Self Discharge) ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแวดล้อม ต้องมีการอัดประจุใหม่ทุกๆ 4 – 6 สัปดาห์ เพื่อชดเชยค่าการคายประจุขณะไร้ภาระ แบตเตอรี่ประเภทนี้เหมาะสำหรับการใช้งานในช่วงสั้นๆ

2.) แบตเตอรี่อายุการใช้งานสูง (Permanent battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถเก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ได้หลายเดือนโดยไม่ต้องมีการดูแลรักษา และสามารถประจุแบตเตอรี่ทุกๆ 10 เดือน และมีการคายประจุขณะไร้ภาระต่ำ เนื่องจากใช้โลหะตะกั่ว (Lead – alloy) ชนิดพิเศษเหมาะสำหรับใช้งานพิเศษที่ต้องการอายุการใช้งานสูงกว่าแบตเตอรี่แบบทั่วไป

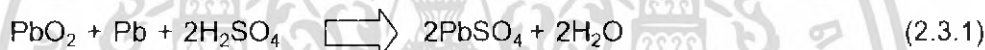
2.3.4 การทำงานของแบตเตอรี่

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า กระแสเกิดขึ้นจาก ปฏิกิริยาระหว่างวัตถุไวปฏิกิริยาในแผ่นธาตุและกรดกำมะถันในน้ำยา รูปที่ 2.3.3 วัตถุไวปฏิกิริยาในแผ่นบวกคือ PbO_2 และในแผ่นลบคือ Pb ตะกั่วเปอร์ออกไซด์เป็นรูปแบบของตะกั่วและออกซิเจนรวมกันทางเคมีในอัตราส่วน 1 อะตอมของตะกั่วกับ 2 อะตอมของออกซิเจน ส่วนสมการทางเคมีของกรดกำมะถันคือ H_2SO_4 หมายความว่า ทุกๆ โมเลกุลของกรดกำมะถันมีไฮโดรเจน 2 อะตอม กำมะถัน 1 อะตอม และออกซิเจน 4 อะตอม



รูปที่ 2.3.3 แสดงการทำงานของแบตเตอรี่

เมื่อแบตเตอรี่กำลังจ่ายไฟออก (Discharged) ปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นดังรูปที่ 2.3.3 เมื่อเริ่มปฏิกิริยาโมเลกุลของกรดกำมะถันแยกออกเป็น H_2 และ SO_4 อนุโมลซัลเฟต (SO_4) อันหนึ่งเข้ารวมกับ Pb ในแผ่นลบ ส่วนอนุโมลซัลเฟตอีกอันหนึ่งเข้ารวมกับ Pb ในแผ่นบวกที่เป็นอิสระ จึงเข้ารวมกับไฮโดรเจนซึ่งเหลือภายหลังจาก SO_4 เข้าไปรวมกับแผ่นธาตุ ออกซิเจนและไฮโดรเจนรวมกันเข้าเป็นโมเลกุล H_2O ซึ่งก็คือน้ำธรรมดา ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าในระหว่างที่แบตเตอรี่จ่ายไฟออก ตะกั่วซัลเฟต $PbSO_4$ จะเกิดขึ้นที่แผ่นธาตุทั้งสอง ในขณะที่กรดกำมะถันในน้ำยาถูกน้ำ H_2O เข้ามาแทนที่ ดังสมการ



สมการนี้เป็นเพียงมีโมเลกุลที่เกิดปฏิกิริยาเคมี ที่จริงแล้วในแผ่นธาตุและน้ำยาเคมีมีเป็นพันล้านโมเลกุล แต่ก็ไม่ใช่ทั้งหมดที่แยกตัวออกและเข้ารวมตัวกันใหม่เมื่อแบตเตอรี่จ่ายไฟ สำหรับการไหลของกระแสหรือการเคลื่อนไหวของอิเล็กตรอน เกิดจากการเคลื่อนย้ายของ SO_4 และ O_2 ไป - มา จากแผ่นธาตุทั้งสอง ส่วนโมเลกุลที่เรียกว่าไอออนซ์ พาอิเล็กตรอนจากแผ่นบวกไปไว้ยังแผ่นลบ จากผลอันนี้ทำให้ขั้วลบมีอิเล็กตรอนจำนวนมากในขณะที่ขั้วบวกขาดอิเล็กตรอน เมื่อวงจรภายนอกระหว่างขั้วทั้งสองครบวงจร อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากขั้วลบผ่านวงจรภายนอกและกลับมายังขั้วบวก ปฏิกิริยานี้สามารถเกิดขึ้นติดต่อกันตราบเท่าที่มีจำนวนโมเลกุลของ $PbSO_4$ และ H_2OSO_4 เหลืออยู่พอจะแยกตัวออกและรวมตัวกันเป็นโมเลกุลของใหม่หมดแล้ว แบตเตอรี่นั้นก็อยู่ในสภาพไม่มีไฟ จึงต้องได้รับการประจุไฟใหม่อีกครั้ง

2.3.5.1 การใช้งานแบบชั่วคราวชั่วคราว (Standby or Backup charging)

ใช้ในงานประเภทสำรองเอาไว้ใช้ในยามฉุกเฉิน ปกติจะเก็บในสภาวะแบตเตอรี่เต็มตลอดเวลา และจ่ายพลังงานไปให้กับโหลด เมื่อแหล่งจ่ายไฟหลัก (Line voltage) ผิดปกติ

2.3.6 คุณสมบัติของการคายประจุแบตเตอรี่

2.3.6.1 กราฟแสดงการคายประจุ (Discharge curve)

กราฟแสดงการคายประจุนิยมเขียนในรูปที่ความสัมพันธ์ของแรงดันในขั้วแบตเตอรี่กับเวลาโดยกำหนดให้อุณหภูมิและอัตราการคายประจุคงที่เท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปไม่สามารถหาความจุปกติ(Nominal capacity) ได้โดยการคายประจุอย่างต่อเนื่องด้วยอัตรา 20 ชั่วโมง ที่ 20° C จะให้ความจุเท่ากับ 1 x C₂₀ ถ้าแบตเตอรี่ตัวเดียวกันนี้ นำมาคายประจุด้วยกระแสที่สูงกว่าจนถึงแรงดันสุดท้าย เช่น นำมาคายประจุด้วยอัตรา 10 ชั่วโมง จะให้ความจุ 2C₂₀

$$\frac{\text{คายประจุ 20 ชั่วโมง}}{\text{คายประจุ 10 ชั่วโมง}} \times C_{20} = 2C_{20} \quad (2.3.2)$$

ในทำนองเดียวกันเมื่อคายประจุที่ 40,50,100,200, และ 400 ชั่วโมง ความจุที่ได้ก็จะเป็น 0.5C, 0.4C, 0.2C, 0.1C และ 0.05C เป็นต้น

ถ้านำแบตเตอรี่ตัวเดียวกันนี้มาคายประจุอย่างต่อเนื่องให้หมดในระยะเวลาที่น้อยกว่า 20 ชั่วโมงที่ 20° C จุดแรงดันสุดท้ายของเซลล์จะลดลง และจะไม่ให้ความจุเต็มตามความจุปกติ 1 x C₂₀ (ความจุปกติ) เช่น 2C (คายประจุ 10 ชั่วโมง) < 1C₂₀ ในทางตรงกันข้าม ถ้าคายประจุแบตเตอรี่ด้วยระยะเวลาที่นานกว่า 20 ชั่วโมง จุดแรงดันสุดท้ายของเซลล์จะเพิ่มขึ้น และจะให้ความจุเต็มตามความจุปกติ ในความเป็นจริงแบตเตอรี่บางตัวจะมีความจุมากกว่าความจุปกติเล็กน้อย เช่น 0.05C (คายประจุ 400 ชั่วโมง) ≥ 1C₂₀

โดยทั่วไปถ้าแบตเตอรี่ที่มีความจุปกติ 20 Ah ที่คายประจุด้วยอัตรา 20 ชั่วโมง (1 x C₂₀) นำมาคายประจุอย่างต่อเนื่องด้วยกระแสสูงในอัตรา 5 ชั่วโมง จะให้ความจุเท่ากับ 4C = 80% ของ 1C₂₀ นั่นคือความจุที่ได้จะเป็น 16 Ah จะเห็นได้ว่าการคายประจุในกระแสที่สูงกว่าจะมีความสูญเสียมากกว่า ในทางตรงกันข้าม แรงดันที่ได้จากการคายประจุด้วยอัตรา 5 ชั่วโมงจะต่ำกว่าการคายประจุด้วยอัตรา 20 ชั่วโมง

ที่ 20 Ah อัตรา 20 ชั่วโมง (1C₂₀):

$$\text{กระแส (IA)} \times \text{เวลา (th)} = C_{20}$$

$$IA \times 20 \text{ h} = 20 \text{ Ah}$$

จะได้กระแส แอมป์ (I) สำหรับอัตรา 20 ชั่วโมง ที่ โวลต์ (V)

ที่อัตรา 5 ชั่วโมง (4C):

$$\text{ความจุจริง} = 0.8C_{20} = 16 \text{ Ah}$$

$$X A \times 5 \text{ h} = 16 \text{ Ah}$$

$$x = 3.2 \text{ A}$$

จะได้กระแส 3.2 แอมป์ สำหรับ 5 ชั่วโมง ที่ V₁ โวลต์ (V₁<V)

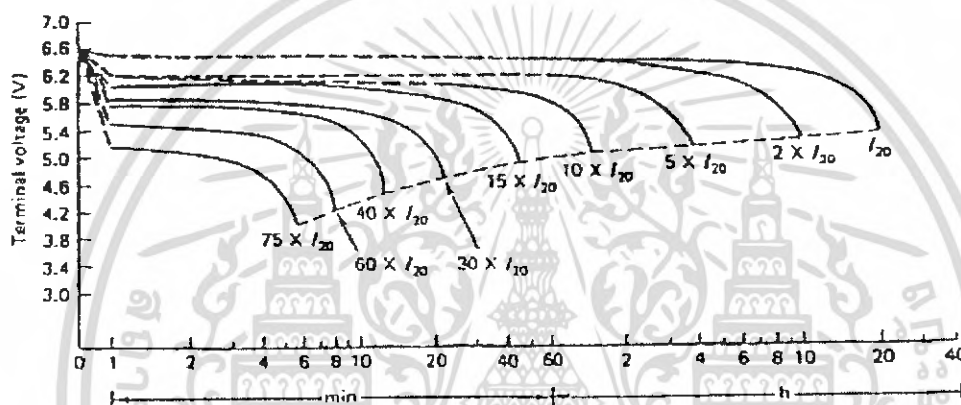
เช่นเดียวกันที่อัตรา 1 ชั่วโมง ความจุ (10C₂₀) จะเหลือเพียง 50% ของ

Nominal Capacity นั่นคือถ้าหากมีการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 10/1 \times C_{20} &= 50\% \text{ ของ } 1C_{20} \\
 &= 50\% \text{ ของ } 20 \text{ Ah} \\
 &= 10 \text{ Ah} \\
 yA \times 1 \text{ h} &= 10 \text{ Ah} \\
 y &= 10 \text{ A}
 \end{aligned}$$

จะได้กระแส 10 แอมป์ สำหรับ 1 ชั่วโมงที่ V_2 โวลต์ ($V_2 < V_1$) เพื่อให้ได้ความจุปกติจริง จำเป็นต้องทำการวัดที่อุณหภูมิ 20°C และ ใช้การคายประจุด้วยกระแสคงที่ จากนั้นนำค่าแรงดันกับเวลาเขียนกราฟ ตามรูปที่ 2.3.4



รูปที่ 2.3.4 แสดงคุณสมบัติการคายประจุด้วยกระแสคงที่ ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

การเลือกจุดแรงดันสุดท้ายให้เลือกจุดแรงดันที่ตกลงอย่างรวดเร็ว จุดแรงดันสุดท้ายของแต่ละค่ากระแสที่ทำการคายประจุจะไม่เท่ากัน จากกราฟที่เขียนขึ้นจะเห็นว่าจุดแรงดันสุดท้ายกับเวลาในการคายประจุจะมีความสัมพันธ์กับกระแสที่ทำการคายประจุ

ผลคูณของกระแสที่ทำการคายประจุกับเวลาในการคายประจุจะให้ความจุ เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความจุกับเวลาในการคายประจุและจะอ่านค่าความจุปกติ จากกราฟที่คายประจุด้วยอัตรา 20 ชั่วโมงคือ C_{20}

การที่ทราบค่าความจุปกติ (C_{20}) และ เวลาดีสชาร์จปกติ (Nominal discharge time) (20 h) ทำให้สามารถคำนวณ กระแสดีสชาร์จปกติ (Nominal discharge current) (I_{20}) ได้ ซึ่งเป็นกระแสคายประจุที่จ่ายค่าความจุแบตเตอรี่ปกติ (Nominal battery capacity) (C_{20} Ah) ในการคายประจุอย่างต่อเนื่องในอัตรา 20 ชั่วโมงที่ 20°C เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดแรงดันสุดท้ายกับเวลาในการคายประจุ (แต่ละจุดแรงดันสุดท้าย) และอ่านค่าแรงดันที่ได้ระหว่างการคายประจุ 20 ชั่วโมง และกล่าวได้ว่าการคายประจุที่ 20°C ที่ I_{20} A ด้วยอัตรา 20 ชั่วโมง เอกชนถึงสถานะแรงดันสุดท้ายจะเห็นค่าความจุปกติเท่ากับ C_{20} Ah อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟเราจะสามารถทราบพารามิเตอร์สำหรับสภาวะการคายประจุด้วยกระแสคงที่ต่างๆกันของแบตเตอรี่ ถ้าทำการคายประจุแบตเตอรี่อย่างต่อเนื่องจนถึงแรงดันสุดท้ายที่ 20°C (หรืออุณหภูมิอื่นๆ ที่กำหนดไว้) สำหรับการคายประจุด้วยกระแส $I_{20}\text{A}$ 20 ชั่วโมง จะได้ค่าความจุปกติเท่ากับ $C_{20}\text{Ah}$ ถ้ากระแสที่ทำการคายประจุอย่างต่อเนื่องเพิ่มขึ้น เช่น $2I_{20}$ หรือ $10I_{20}$ เวลาในการคายประจุและจุดแรงดันสุดท้ายจะลดลง ความจุที่ได้จะเป็นเพียงเปอร์เซ็นต์ของค่าความจุปกติ C_{20}

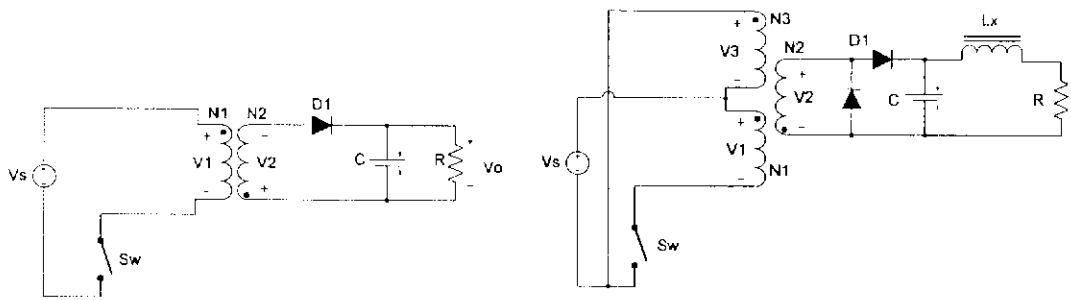
2.4 คอนเวอร์เตอร์

คอนเวอร์เตอร์นับเป็นส่วนสำคัญอย่างมากในสวิตซิงเพาเวอร์ซัพพลาย (switching power supply) คอนเวอร์เตอร์มีอยู่หลายแบบ ขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดการภายในตัวโดยคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ในการเลือกใช้แบบใดจึงจะเหมาะสม ควรพิจารณาจากลักษณะพื้นฐานของตัวคอนเวอร์เตอร์แต่ละแบบ ดังนี้

1. ลักษณะการแยกจากกันทางไฟฟ้าระหว่างอินพุต (input) กับเอาต์พุต (output) ของคอนเวอร์เตอร์
2. ค่าแรงดันอินพุตที่จะนำมาใช้กับคอนเวอร์เตอร์
3. ค่ากระแสสูงสุดที่ไหลผ่านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (power transistor) ในคอนเวอร์เตอร์ขณะที่ทำงาน
4. ค่าแรงดันสูงสุดดกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ขณะที่ทำงาน
5. การรักษาระดับแรงดันในกรณีที่คอนเวอร์เตอร์มีเอาต์พุตหลายค่าแรงดัน
6. การกำเนิดสัญญาณรบกวนของตัวคอนเวอร์เตอร์
7. การสูญเสียในตัว ในแต่ละตัวของคอนเวอร์เตอร์

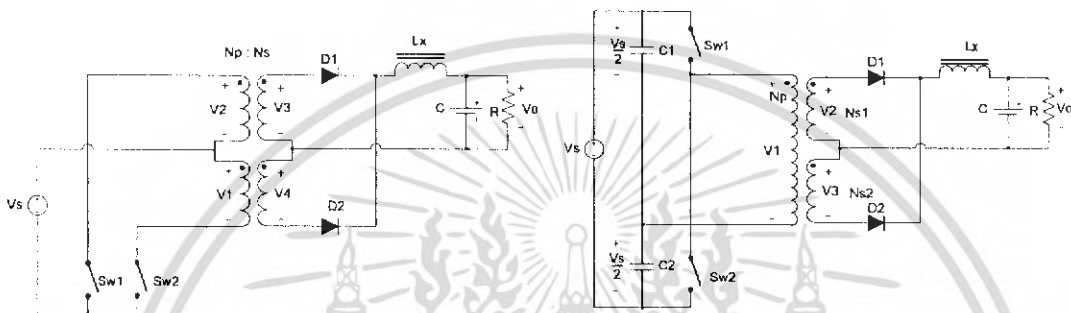
จากการพิจารณาดังกล่าวจะทำให้ผู้ออกแบบทราบขีดจำกัดของคอนเวอร์เตอร์และประเมินราคาเพื่อตัดสินใจ ในการเลือกคอนเวอร์เตอร์แบบใดก็ได้ในภาคอุตสาหกรรมของสวิตซิงเพาเวอร์ซัพพลาย

1. ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (Flyback convertor)
2. ฟอว์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์ (Forward convertor)
3. พูช - พูล คอนเวอร์เตอร์ (Push – Pull convertor)
4. ฮาล์ฟ – บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Half – Bridge convertor)
5. พูล – บริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (Full – Bridge convertor)



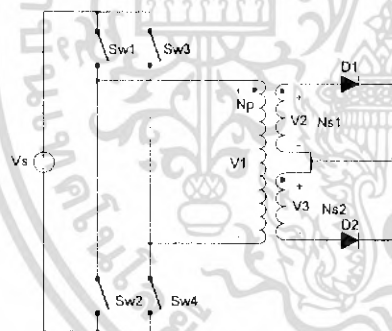
(ก)

(ข)



(ค)

(ง)



(จ)

- (ก) ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์
- (ข) ฟอร์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์
- (ค) พุช - พลู คอนเวอร์เตอร์
- (ง) ฮาล์ฟ - บริดจ์คอนเวอร์เตอร์
- (จ) ฟลู - บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

รูปที่ 2.4.1 วงจรพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์ 5 แบบ แสดงในรูป (ก) ถึง (จ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 2.4.1 (ก) สวิตช์ S_w ในฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จะทำงานในลักษณะเป็นสวิตช์ (Switch) และจะนำกระแสตามคำสั่งของพัลส์สี่เหลี่ยม (Square Pulse) ที่ป้อนให้กับขาเบส (base) เนื่องจากหม้อแปลง T_1 จะกำหนดขดไพรมารี (Primary) และขดเซคันดารี (Secondary) ให้มีลักษณะกลับเฟส (Phase) กันอยู่ ดังนั้นเมื่อ S_w นำกระแส ไดโอด D_1 จึงอยู่ในลักษณะถูกไบแอส (Bias) กลับ และไม่นำกระแส จึงมีการสะสมพลังงานที่ขดไพรมารีของหม้อแปลง T_1 แทน เมื่อ S_w หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็กใน T_1 ยุบตัวทำให้เกิดการกลับขั้วแรงดันที่ขดไพรมารีและเซคันดารี D_1 ก็จะถูกไบแอสตรงพลังงานที่สะสมในขดไพรมารีของหม้อแปลงก็จะถูกถ่ายเทออกไปยังขดเซคันดารี และมีกระแสไหลผ่านไดโอด D_1 ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต C และโหลด (Load) ได้ ค่าของแรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่การทำงานของ S_w ช่วงเวลาการนำกระแสของ S_w อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงและค่าของแรงดันอินพุต

ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ให้กำลังไม่สูงนัก โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 วัตต์ (Watt) และให้ค่าสัญญาณรบกวนค่อนข้างสูง แต่ใช้อุปกรณ์จำนวนน้อยและมีราคาถูก

2.4.2 ฟอ์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 2.4.1 (ข) จะเห็นได้ว่าฟอ์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์มีลักษณะใกล้เคียงกับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ แต่หม้อแปลง T_1 ในฟอ์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์จะกำหนดไพรมารีและเซคันดารีให้มีเฟสตรงกัน ดังนั้นเมื่อ S_w นำกระแส ไดโอด D_1 จึงอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง แต่ D_2 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่นำกระแส กระแสจึงผ่านไดโอด D_1 และตัวเหนี่ยวนำ L_x ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต C และโหลดได้ ขณะที่กระแสไหลผ่าน L_x จะมีการสะสมพลังงานไว้ในตัวมันด้วย เมื่อ S_w หยุดนำกระแส ไดโอด D_1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับ จึงไม่มีกระแสไหลจากขดเซคันดารี สนามแม่เหล็กใน L_x จะยุบตัวทำให้มีการกลับขั้วแรงดันที่ตกคร่อมตัวมันอยู่ ไดโอด D_2 ก็จะถูกไบแอสตรง L_x จะถ่ายเทพลังงานออกมาทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวมันและ D_2 ออกไปยังโหลดได้ จะเห็นได้ว่าจะมีกระแสไหลผ่านโหลดได้อย่างต่อเนื่องทั้งที่ในช่วงที่ S_w นำกระแสและหยุดนำกระแส ทำให้มีการกระเพื่อมของแรงดันที่เอาต์พุตต่ำกว่าฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

ฟอ์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์ให้กำลังงานได้ในช่วงเดียวกันกับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ แต่กระแสที่ได้จะมีการกระเพื่อมที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตามตัวอุปกรณ์ที่เพิ่มเข้ามาจะทำให้ฟอ์เวิร์คคอนเวอร์เตอร์นั้นมีราคาที่สูง

2.4.3 พุช - พลู คอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 2.4.1 (ค) พุช-พลูคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่สามารถจ่ายกำลังงานได้สูงตั้งแต่ 500 วัตต์ขึ้นไป แต่มีข้อเสียคือ มักเกิดการไม่สมมาตรฟลักซ์แม่เหล็กของแกนหม้อแปลง ซึ่งจะมีผลต่อการพังเสียหายของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้ง่าย อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเทคนิคการควบคุมแบบควบคุมกระแสจะทำให้ลดปัญหานี้ลงได้ ดังนั้น พุช-พลูคอนเวอร์เตอร์จึงเป็นคอนเวอร์เตอร์ที่น่าสนใจสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่ต้องการกำลังสูงๆ

จากรูปที่ 3.1(ค) S_{w1} และ S_{w2} จะสลับกันนำกระแสในแต่ละครึ่งคาบเวลาการทำงาน เมื่อ S_{w1} นำกระแส D_1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับ แต่ D_2 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรงและนำกระแส L_x ไปยังโหลดได้ เมื่อ S_{w1} หยุดนำกระแส S_{w2} จะเริ่มนำกระแส D_2 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและ D_1 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรงและนำกระแสผ่าน L_x ไปยังโหลดได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นโหลดจึงมีกระแสไหลต่อเนื่องได้ตลอดเวลา กระแสที่ได้ทางเอาต์พุตจึงค่อนข้างเรียบ อย่างไรก็ตามเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่เพิ่มเข้ามาจะมีผลต่อค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

2.4.4 ฮาล์ฟ – บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 2.4.1 (ง) คอนเวอร์เตอร์แบบนี้จัดเป็นตระกูลเดียวกับพุช – พลู เพราะใช้หลักการเดียวกันคือใช้อุปกรณ์สวิตชิง 2 ตัว ช่วยกันส่งพลังงานไปที่โหลด จากวงจร สังเกตได้ว่าขดปฐมภูมิแต่ละด้านของหม้อแปลงจะถูกต่ออยู่กับจุดที่มีแรงดันไฟตรงเป็นครึ่งหนึ่ง ที่มีขั้วต่างกัน โดยทรานซิสเตอร์ S_{w1} และ S_{w2} เป็นตัวสวิตซ์ตัดต่อ ทำให้ได้รูปคลื่นสี่เหลี่ยมป้อนแก่ขดปฐมภูมิของหม้อแปลง จากนั้นจึงทำการเรกิตไฟร์และฟิลเตอร์แรงดันทางเอาต์พุตของขดทุติยภูมิ ด้วยไอโอด D_1 , D_2 , L_x และ C_1 ได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงป้อนแก่โหลด

ลักษณะการทำงานของวงจรดังนี้ แรงดันที่ตกคร่อม S_{w1} และ S_{w2} ขณะไม่ทำงานมีค่าน้อยกว่าแรงดันอินพุตครึ่งหนึ่ง จึงสามารถใช้ทรานซิสเตอร์ที่ทนแรงดันไม่สูงนักได้ แต่ในลักษณะการทำงานเช่นนี้ก็ยังมีข้อเสียเช่นกันคือ กระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ขณะทำงานจะมีค่าสูงเป็น 2 เท่าของวงจรแบบพุช-พลู

2.4.5 พลู – บริดจ์คอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 2.4.1 (จ) แม้ว่าวงจรฮาร์ฟบริดจ์จะมีข้อดีในการลดแรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์ลงมาครึ่งหนึ่งของ V_{in} และป้องกันไม่ให้เกิดของหม้อแปลงอิ่มตัว แต่ว่ากระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์กลับเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของแบบ พุช-พลู ดังนั้นจึงมักใช้คอนเวอร์เตอร์แบบฮาร์ฟบริดจ์ในงานที่ใช้กำลังต่ำและปานกลางไม่สูงมากนักเพราะว่าเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์หรือเพาเวอร์มอสเฟตที่ทนกระแสสูงๆ หายากและราคาแพง ด้วยเหตุนี้จึงได้เกิดวงจรพลูบริดจ์ซึ่งรวมลักษณะเด่นด้านแรงดันของวงจรฮาร์ฟบริดจ์ และด้านกระแสของวงจรพุช-พลู ไว้ดังรูปที่ 2.4.1(จ) โดยการทำงานของทรานซิสเตอร์ S_{w1} ซึ่งนำกระแสพร้อมกับ S_{w4} และ S_{w2} นำกระแส

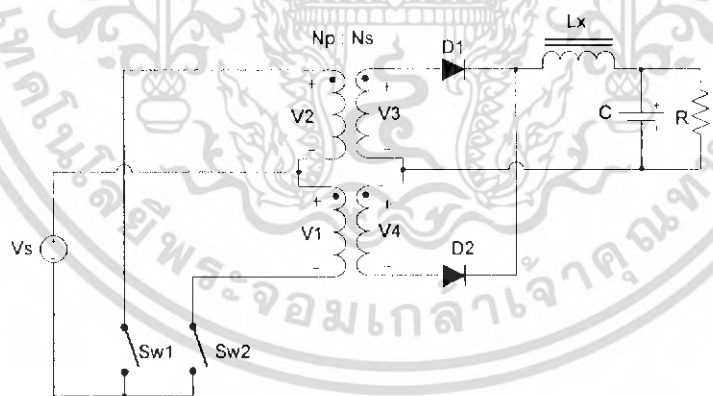
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้ในพ็อกเก็ตบุ๊กเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำเอกสารไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พร้อมกับ S_{w4} และ S_{w2} นำกระแสพร้อมกับ S_{w3} โดยแต่ละคู่จะผลัดกันทำงาน จากการทำงานเช่นนี้จึงทำให้แรงดันทางด้านขดปฐมภูมิของหม้อแปลงมีแรงดันเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง $+V_{in}$ และ $-V_{in}$ ดังนั้นแรงดันตกคร่อมทรานซิสเตอร์ V_{sw} ขณะไม่นำกระแสจึงไม่มากไปกว่า V_{in} อีกทั้งกระแสที่ไหลผ่านก็ยังเท่ากับวงจรพุก-พลูด้วย

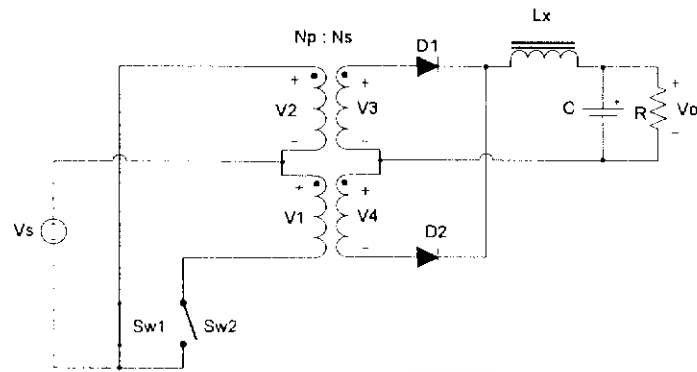
แต่ข้อเสียของวงจรนี้ก็คือ ต้องใช้สวิทช์ถึง 4 ตัว และเนื่องจากต้องใช้คู่ทรานซิสเตอร์ทำงานไม่พร้อมกันดังนั้นจึงต้องแยกใช้วงจรขับเบสของทรานซิสเตอร์แต่ละคู่ออกจากกันโดยเด็ดขาดสำหรับในส่วนของวงจรที่เลือกใช้ในงานนี้ คือ พุก - พลูดคอนเวอร์เตอร์

สำหรับยกระดับแรงดันจาก $24 V_{DC}$ เป็น $311 V_{DC}$ เนื่องจากง่ายต่อการออกแบบสามารถทำงานในกำลังที่ต้องการได้ และมีความสามารถในการยกระดับแรงดันได้ ซึ่งเป็นคอนเวอร์เตอร์สามารถจ่ายกำลังงานได้สูงสุดตั้งแต่ $600 W$ ขึ้นไป แต่มีข้อเสียคือ มักเกิดการไม่สมมาตรฟลักซ์แม่เหล็กของแกนหม้อแปลง ซึ่งมีผลต่อการพังเสียหายเวอ์ทรานซิสเตอร์ได้ง่าย แต่ในปัจจุบันด้วยเทคนิคการควบคุมกระแสจะทำให้ลดปัญหานี้ลงได้ เพราะฉะนั้น พุก - พลูดคอนเวอร์เตอร์ จึงเป็นคอนเวอร์เตอร์ที่น่าสนใจสำหรับสวิทชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่ต้องการกำลังสูง ๆ

ลักษณะการทำงานของ พุก - พลูดคอนเวอร์เตอร์ โดยในเพาเวอร์มอสเฟตจำนวน 2 ตัว กำหนดช่วงเวลาการทำงาน (duty - cycle) โดยจะผลัดการทำงานในแต่ละครึ่งคาบเวลาในลักษณะกลับเฟส ผ่านหม้อแปลงความถี่สูงเพื่อปรับเปลี่ยนระดับแรงดัน โดยมีลักษณะการทำงานดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.4.2 แสดงวงจร พุก - พลูดคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.4.3 แสดงวงจร พุช – พูล์ คอนเวอร์เตอร์ กรณีสวิตช์ S_{w1} นำกระแสและสวิตช์ S_{w2} ไม่นำกระแส

- 4.1 กรณีสวิตช์ S_{w1} นำกระแสและสวิตช์ S_{w2} ไม่นำกระแส
เมื่อสวิตช์ S_{w1} นำกระแสจะส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิ (P_1)

$$V_{P1} = V_s \quad (2.4.1)$$

แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิ (P_1) จะถ่ายเทไปยังขดลวดอีก 3 ขด

$$V_{s2} = v_s \left[\frac{N_s}{N_p} \right] \quad (2.4.2)$$

$$V_{sw2} = 2V_s$$

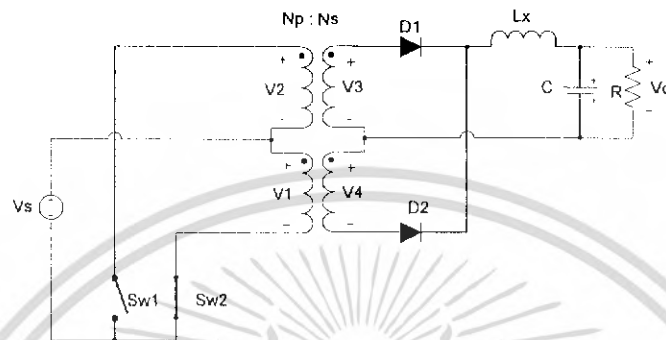
* ไดโอด D1 ได้รับไบอัสตรงขณะที่ไดโอด D2 ไบอัสกลับ

$$V_x = V_{s2} = v_s \left[\frac{N_s}{N_p} \right] \quad (2.4.3)$$

ถ้าสมมติให้แรงดันไฟฟ้าคาบออก V_o และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม L_x มีค่าคงที่
ช่วงเวลาที่สวิตช์นำกระแสจะเป็นผลทำให้กระแสไหลผ่าน L_x มีค่าเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลง
กระแสผ่าน L_x ในช่วงเวลาที่สวิตช์ S_{w1} นำกระแสมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(\Delta i_{Lx})_{close} = DT \left[\frac{v_s \left[\frac{N_s}{N_p} \right] - P}{L_x} \right] \quad (2.4.4)$$



รูปที่ 2.4.4 แสดงวงจร พุ่ม – พลุ คอนเวอร์เตอร์ กรณีสวิตช์ S_{w1} ไม่นำกระแส และสวิตช์ S_{w2} นำกระแส

2. กรณีสวิตช์ S_{w1} ไม่นำกระแสและสวิตช์ S_{w2} นำกระแส
 เมื่อสวิตช์ S_{w1} ไม่นำกระแสและสวิตช์ S_{w2} นำกระแส ทำให้มีผลต่อแรงดัน
 ตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิ V_{p2} เท่ากับ

$$V_{p2} = -v_s \quad (2.4.5)$$

แรงดันตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิ จะถ่ายเทไปยังขดลวดอีก 3 ขด ที่เหลือ ดังนี้

$$V_{s1} = -v_s \left[\frac{N_s}{N_p} \right] \quad (2.4.6)$$

$$V_{s2} = -v_s \left[\frac{N_s}{N_p} \right] \quad (2.4.7)$$

$$V_{sw1} = 2V_s$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อไดโอด D_1 ได้รับการไบอัสไปข้างหน้าขณะที่ D_2 ได้รับกระแสไบอัสกลับ

$$V_x = -V_{x2} = v_s \left[\frac{N_s}{N_p} \right] \quad (2.4.8)$$

โดยที่แรงดันไฟฟ้า V_{Lx} จะเป็นสัญญาณพัลส์ที่มีค่าเป็นบวกโดยค่ากระแสไหลผ่าน L_x จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สวิตช์ S_{w2} นำกระแสและเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าผ่าน L_x สามารถหาได้โดยการใช้สมการที่ (2.4.4)

3. กรณีสวิตช์ S_{w1} และ S_{w2} ไม่นำกระแส

ในกรณีที่ทั้งสวิตช์ S_{w1} และ S_{w2} ไม่นำกระแส กระแสไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิ P_1 และ P_2 จะมีค่าเท่ากับศูนย์ แต่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน L_x จะยังคงไหลผ่านอย่างต่อเนื่องเป็นผลทำให้ไดโอด D_1 และ D_2 ยังคงได้ไบอัสตรงแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดทุติยภูมิ แต่ขดลวดจะมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยที่แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม L_x มีค่าเท่ากับ

$$V_x = 0$$

$$V_{Lx} = V_x - V_0 = -V_0 \quad (2.4.9)$$

แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม L_x มีค่าเท่ากับ $-V_0$ เป็นผลทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน L_x จะมีค่าลดลงด้วยการเปลี่ยนแปลง
แก้สมการหาค่า Δi_{Lx} จะได้

$$(\Delta i_{Lx})_{open} = - \left[\frac{V_0}{L_x} \right] \left[\frac{1}{2} - D \right] T \quad (2.4.10)$$

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงกระแสสุทธิของกระแสไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำอยู่ในสภาวะหนึ่งคาบเวลาจะต้องมีค่าเท่ากับศูนย์ดังนั้น

$$(\Delta i_{Lx})_{close} + (\Delta i_{Lx})_{open} = 0 \quad (2.4.11)$$

$$v_0 = 2V_s \left[\frac{N_s}{N_p} \right] D \quad (2.4.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ D ในที่นี้หมายถึง ดิวตี้ไซเคิลของสวิตช์แต่ละตัว
พิจารณาสมการที่ (4.12) จะมีลักษณะคล้าย บั๊กคอนเวอร์เตอร์ ดังนั้น ค่าระลอกคลื่นของ
แรงดันไฟฟ้าจะสามารถใช้

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1 - 2D}{32 L_x c f^2} \quad (2.4.13)$$

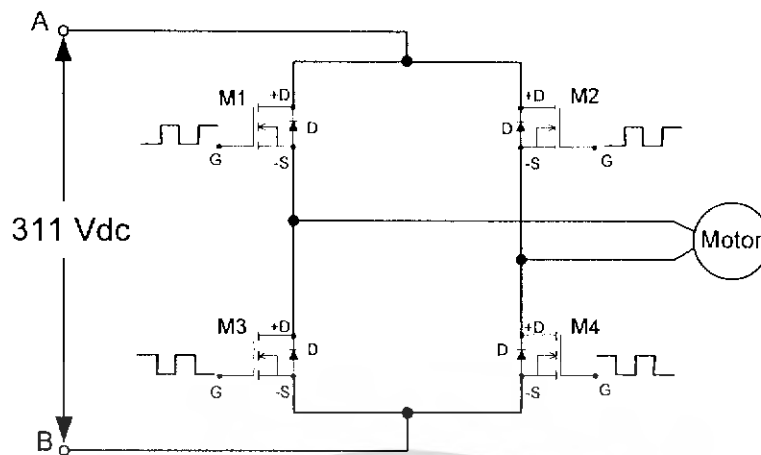
การวิเคราะห์ที่ได้กระทำมาก่อนหน้านี้ เรายังไม่ทราบถึง L_x ของหม้อแปลงไฟฟ้า โดย
ถ้าเพิ่ม L_x ในวงจรสมมูลจะได้ว่าค่ากระแส I_{Lx} เมื่อสวิตช์ S_{w1} นำกระแสจากนั้นไหลวนอยู่
ภายในหม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อ S_{w1} และ S_{w2} ไม่นำกระแสและกระแสไฟฟ้า I_{Lx} จะมีค่าลดลง
เมื่อสวิตช์ S_{w2} นำกระแสไฟฟ้าเนื่องจากช่วงเวลาการนำกระแสของทั้ง S_{w1} และ S_{w2} จะ
เท่ากัน เป็นผลให้การเปลี่ยนแปลงสุทธิกระแส I_{Lx} มีค่าเท่ากับศูนย์ กล่าวอีกในหนึ่ง ในทาง
อุดมคติแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าถูกรีเซ็ทภายในแต่ละคาบเวลาของสวิตช์

2.5 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อินเวอร์เตอร์ คือ วงจรที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งสามารถทำ
ได้หลายอย่างหลายรูปแบบ ในโครงงานนี้ใช้อินเวอร์เตอร์ แบบแหล่งจ่ายแรงดัน
(Voltage source Inverter) ซึ่งมีรูปแบบการทำงานแบบ SPWM (Sine Pulse Width
Modulation) โดยใช้เทคนิคการมอดัสสัญญาณตามความกว้างของสัญญาณพัลส์แบบไซน์ จะ
สามารถหาโมดูลัสที่มีค่าใกล้เคียงค่าความถี่มูลฐานได้

จากรูปที่ 2.5.1 เราสามารถเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยการควบคุม
การทำงานของมอสเฟตให้มีการทำงานสลับกันไปเป็นคู่ๆ โดยจะมี M_1 ทำงานพร้อมกับ M_4 และ
 M_2 จะทำงานพร้อม M_3 ในสภาวะแรก M_1 พร้อม M_4 จะทำให้มีกระแสไหลผ่านโหลดในทิศทาง
หนึ่งและในสภาวะต่อไป M_2 จะทำงานพร้อม M_3 ซึ่งสามารถสร้างสัญญาณขับมอสเฟตโดยใช้
ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Drive MOSFET) จากสภาวะการทำงานดังกล่าวแล้ว เราจะได้
สัญญาณไฟฟ้าที่ไหลในลักษณะไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งมีความถี่ตามการทำงานของมอสเฟต

ข้อควรระวัง ต้องไม่ให้มอสเฟตที่อยู่ข้างเคียงทำงานพร้อมกันจะทำให้ลัดวงจรของ
แหล่งจ่าย ดังนั้นในวงจรขับมอสเฟตต้องมีการหน่วงเวลา (Dead Time) ของการทำงานของคู่
มอสเฟตดังกล่าว

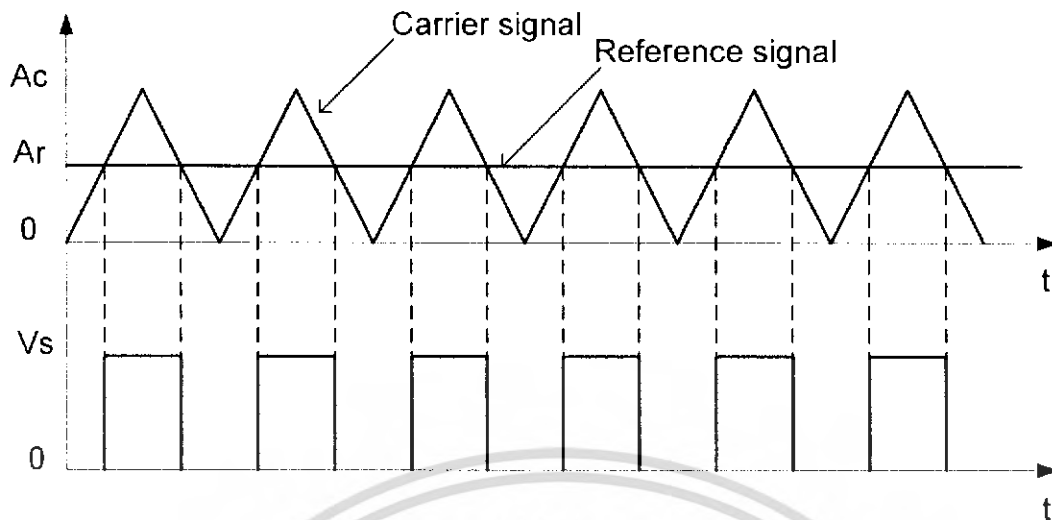


รูปที่ 2.5.1 วงจรอินเวอร์เตอร์

2.5.1 Pulse Width Modulation

PWM คือการควบคุมการมีอยู่สัญญาณตามความกว้างของสัญญาณพัลส์แบบเดี่ยว เป็นการควบคุมความกว้างของสัญญาณพัลส์ของเอาต์พุต (Output) ของอินเวอร์เตอร์จำนวนหนึ่งพัลส์ต่อหนึ่งไซเคิลการทำ PWM อาจจะทำให้ได้หลายลักษณะแต่มีหลักการเบื้องต้นคล้ายกัน คือการทำ PWM นั้นต้องประกอบด้วยสัญญาณสอง ส่วนคือ 1. สัญญาณควบคุม (Carrier Singnal) 2. สัญญาณเปรียบเทียบ (Reference Signal) ซึ่งในการออกแบบโครงงานนี้ จะใช้พีดีบีแอลในการควบคุมวงจร Buck-Boots Converter ดังรูปที่ 2.5.2

จากรูป จะเห็นว่าการทำงานเปรียบเทียบ ของสัญญาณฟันเลื่อยกับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์โดยการทำงานแบบลูปิดนั้นเราสามารถยกระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากเส้น A_r ให้สูงขึ้นหรือต่ำลงเพื่อทำการปรับค่า Duty Cycle ตามความต้องการของวงจร Buck-Boots Converter เพื่อรักษาระดับแรงดันแต่ในการทำงานของสวิตช์นั้นใช้ที่ความถี่ 20 kHz ในการขับมอเตอร์ให้ทำงานแต่ในการใช้ความถี่สูงๆ นั้นอาจจะทำให้เกิดการสูญเสียที่สวิตช์ซึ่งได้ ในการปรับค่า Duty Cycle นั้นมีส่วนสำคัญต่อการทำงานของวงจรเพราะจะทำให้เกิดเป็นเพิ่มแรงดันหรือลดแรงดันส่วนรายละเอียดดังได้กล่าวในเรื่องของวงจรประจุแบตเตอรี่



รูปที่ 2.5.2 Pulse Width Modulation

2.5.2 Sine Wave Pulse Width Modulation (SPWM)

การทำงานของ SPWM จะประกอบด้วยสัญญาณควบคุมสองสัญญาณเป็นรูป ไซน์ ต่างเฟสกัน 180 องศาเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยมเป็นการทำงานแบบยูนิโพลาร์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีหลักการทำการสวิตซ์ในกึ่ง A และ B จะแยกสัญญาณออกจากกัน คือสวิตซ์ในกึ่ง A จะถูกควบคุมจากสัญญาณ V_{control} เทียบกับสัญญาณรูปสามเหลี่ยม (V_{tri}) ขณะที่กึ่ง B จะถูกควบคุมจากสัญญาณ $-V_{\text{control}}$ เทียบกับสัญญาณรูปสามเหลี่ยม (V_{tri}) จะมีการสวิตซ์จะมีเงื่อนไขดังนี้

เมื่อ $V_{\text{control}} > V_{\text{tri}}$: +M1 จะนำกระแส

เมื่อ $V_{\text{control}} < V_{\text{tri}}$: -M4 จะนำกระแส

เมื่อ $-V_{\text{control}} > V_{\text{tri}}$: +M3 จะนำกระแส

เมื่อ $-V_{\text{control}} < V_{\text{tri}}$: -M2 จะนำกระแส

ในโครงการนี้ได้ควบคุมแบบยูนิโพลาร์เนื่องจากมีความถี่อยู่ลำดับฮาร์โมนิกส์ที่ไกลมากทำให้ไม่มีผลต่อตัวมอเตอร์ในโปรเจกต์นี้ดังรูปแสดงที่ 2.5.4

2.6 ปัมป์จุ่ม (Submersible Pump)

ปัมป์จุ่ม หรือ เครื่องสูบน้ำแบบจุ่ม หรือมีศัพท์เรียกว่า Submersible Pump เป็นเครื่องสูบน้ำที่สามารถแช่ลงในน้ำได้ขณะทำงาน ไม่ว่าจะแช่หรือจุ่มลงไปทั้งตัวหรือเพียงบางส่วนและมีหลายขนาดให้เลือก ตัวเล็กที่ใส่กันในตู้ปลา จนถึงตัวขนาดใหญ่ขนาดสูบน้ำที่ท่วมได้ คุณสมบัติพิเศษของเครื่องสูบน้ำชนิดนี้อยู่ตรงที่มีการออกแบบให้ตัวปัมป์และมอเตอร์ติดกันเป็นยูนิตเดียวกัน ที่จะทำงานได้ในของเหลวที่ต้องการสูบ หรืออาจจะออกแบบมาให้แยกส่วนกันระหว่างปัมป์กับมอเตอร์

แนวคิดในการออกแบบระบบสูบน้ำ

- ตำแหน่งของแหล่งน้ำที่จะสูบและตำแหน่งสถานที่ที่จะส่งน้ำไป
- แนวท่อและระยะทางจากตำแหน่งสูบไปยังตำแหน่งจะส่งน้ำไปพร้อมระดับพื้นดิน
- ระดับน้ำต่ำสุด – สูงสุด ที่จุดสูบและส่งน้ำ
- ปริมาณน้ำที่ต้องการสูบในแต่ละช่วงเวลา

แนวคิดในการเลือกขนาดของเครื่องสูบน้ำ

- ชนิดของเครื่องสูบน้ำซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกัน
- ขนาดและอัตราการไหล
- วัสดุของเครื่องสูบน้ำ
- อัตราพิกัดความดันและอุณหภูมิ
- ลักษณะการติดตั้ง
- ลักษณะเฉพาะอื่นๆ

ตารางที่ 2.6.1 แสดงขนาดของปัมป์จุ่มที่ใช้ในโครงการนี้

Submersible Pump	MODEL: MARQUIS
AC , Single Phase	
Out put	100 W.
Volt	220 V.
Current	1.0 A.
Max total Head	6 m.
Max capacity	0.12 m^3 / min
speed	2850 rpm
Type	30 mm.
Frequency	50 Hz.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การเลือกและการออกแบบ

3.1 การเลือกขนาดเซลล์แสงอาทิตย์

การหาขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หลักการเบื้องต้น พลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อย่างน้อยต้องเท่ากับพลังงานที่ใช้ไป ส่วนพลังงานที่เกินต้องถูกเก็บไว้ที่แบตเตอรี่ โดยเฉลี่ยประเทศไทยจะใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ วันละประมาณ 5 ชั่วโมง แต่ในโครงการนี้ต้องการใช้เซลล์แสงอาทิตย์กับโพลด์เครื่องสูบน้ำแบบจุ่ม แบบอินตักชั้นมอเตอร์ 220 V. 1 A. เอาท์พุทออก 100 วัตต์ สูบน้ำได้ 100 ลิตรต่ออนาที ขนาดของท่อทางออก 25 mm โดยการสูบน้ำเป็นเวลา 3 ชั่วโมงต่อวัน

ดังนั้น มอเตอร์สูบน้ำต้องใช้กำลังไฟฟ้า = $220 \text{ V} \times 1 \text{ A} = 220 \text{ VA}$ ต่อชั่วโมง

กำหนดให้ค่าประสิทธิภาพของระบบประมาณ 0.35

พลังงานอินพุท = เอาท์พุท / 0.35

$$= 220 / 0.35 = 628.57 \text{ VA}$$

เพราะฉะนั้นใน 1 วัน จะต้องใช้พลังงาน = 628.57 VA

ดังนั้นต้องเลือกเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 40 วัตต์ 0.9 A. 44.8 Vdc จำนวน 4 แผงขนานกันจะได้

$$\text{แรงดัน} = 44.8 \text{ Vdc.}$$

$$\text{กระแส} = 0.9 + 0.9 + 0.9 + 0.9 = 3.6 \text{ A.}$$

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายพลังงานได้ = $44.8 \times 3.6 = 161.28 \text{ VA.}$

ในเวลาหนึ่งวัน เซลล์แสงอาทิตย์จะจ่ายพลังงานสูงสุด = 5 ชั่วโมง \times 161.28 = 806.4 VA ต่อวัน

ดังนั้น กำลังไฟฟ้าที่ได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์จึงเพียงพอต่อการใช้เครื่องสูบน้ำในระยะเวลาที่ต้องการ

ตารางที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดสายกับแรงดันที่ตกคร่อมในสายไฟฟ้า

ขนาดสายไฟฟ้า (มิลลิเมตร)	แรงดันตกคร่อมระหว่างสาย (มิลลิโวลต์ต่อเมตร)
1	42
1.5	28
2.5	17
4	11
6	7.1
10	4.2

เอกสารแรงดันตกคร่อมที่สาย = {ความยาว(m) x กระแสไฟฟ้า(I) x อัตราการสูญเสีย(mV/m)} / 1000 นี้เป็นการคำนวณคร่าวๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากแรงดันตกคร่อมในสายไฟฟ้า มากกว่า 2.5% ของแรงดันในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ควรเปลี่ยนสายให้มีขนาดใหญ่ขึ้นหรือทำให้ระยะทางลดลง แต่ถ้าหากแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมในสายมากกว่า 2.5 % แต่แรงดันที่แบตเตอรี่ยังคงมีแรงดัน สูงกว่าแรงดันที่แบตเตอรี่ประมาณ 3 โวลต์ ระบบจะใช้ได้แต่จะช้าลง

โครงการนี้เลือกสายขนาด 6 มิลลิเมตร ยาว 1.5 เมตร

$$\text{การหาแรงดันตกคร่อมในสาย (V)} = \frac{1.5 \times 3.6 \times 7.1}{1000} = 0.03834 \text{ Volt.}$$

เพราะฉะนั้นการหาขนาดสายถูกต้อง คือ ขนาด 6 mm²

3.2 การเลือกขนาดแบตเตอรี่

การเลือกขนาดแบตเตอรี่ ขึ้นอยู่กับปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการใช้ในแต่ละวัน ซึ่งปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการใช้ในแต่ละวันจะต้องสัมพันธ์กับขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย โดยปกติปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการใช้ในแต่ละวันควรอยู่ที่ประมาณ 20% - 30% ของขนาดแบตเตอรี่

จากความต้องการใช้กำลังงาน 628.57 VA.ต่อชั่วโมง

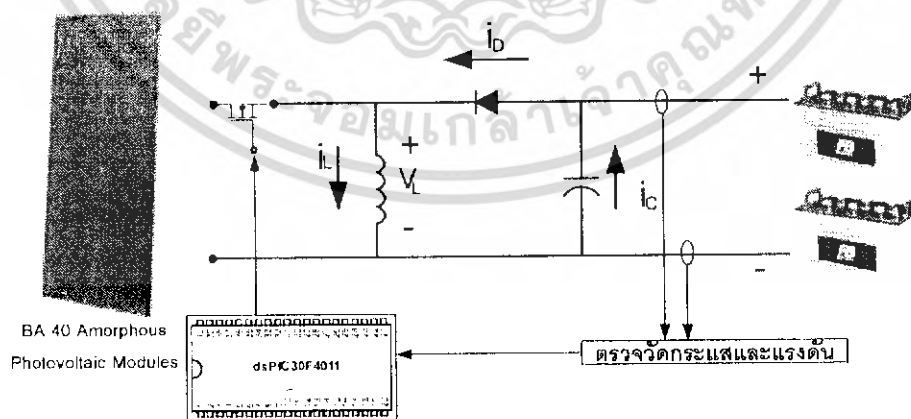
เลือกขนาดแรงดันของแบตเตอรี่ 24 Vdc

กระแสที่ใช้งาน = กำลังงานที่ต้องการ / ขนาดของแรงดันของแบตเตอรี่

$$= 628.57 / 24 = 26.19 \text{ A/hr}$$

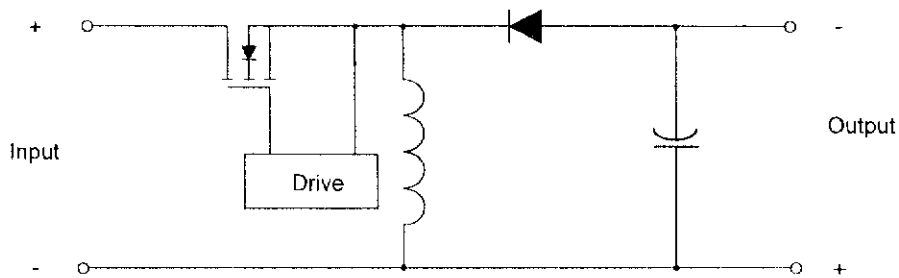
จากเงื่อนไขการเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 V. 50 Ah จำนวน 2 ลูกอนุกรมกันซึ่งจะได้แหล่งจ่ายไฟแบตเตอรี่ 24 V 50 Ah

3.3 การออกแบบวงจร ทอน-ทบระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเครื่องประจุแบตเตอรี่



รูปที่ 3.3.1 วงจร ทอน - ทบระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเครื่องประจุแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3.2 วงจร ทอน-ทบระดับแรงดันไฟฟ้า

ทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรทอน-ทบระดับแรงดันไฟฟ้าจากทฤษฎีเป็นดังนี้

3.3.1 การหาอินดักเตอร์ (Inductor)

จากสมการหาค่าอินดักเตอร์ที่ใช้ในวงจร Buck Boost Converter จะได้ค่าต่ำสุดที่ควรใช้ ตามสมการ

ตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด

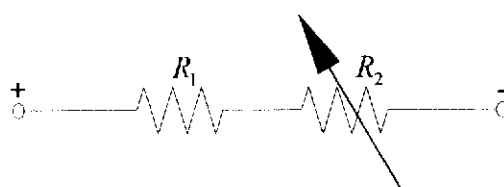
$$L_{min} = \frac{(1-d)^2 R}{2f}$$

และจากสมการ อัตราขยายแรงดัน $\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{-D}{(1-D)}$

เนื่องจากทั้ง V_{in} และ V_{out} มีค่าที่เปลี่ยนแปลงตลอดไม่คงที่ ทำให้ค่าของ L ที่จะใช้มีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่เราไม่สามารถเพิ่ม L ให้มีค่าเปลี่ยนแปลงได้เราจึงควรเลือกใช้ค่า L ในช่วงที่มีค่าสูงสุดเพื่อให้กระแสต่อเนื่องมากที่สุด

เมื่อพิจารณาจากสมการจะเห็นว่าค่าของ L ขึ้นกับตัวแปรดังนี้คือ

- ความถี่ (f) ตัวแปรนี้เรากำหนดให้มีค่าคงที่เท่ากับ 20 KHZ
- แรงดันอินพุท (V_{in}) เป็นแรงดันที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณแสงอาทิตย์ จากโครงการนี้ใช้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 4 แผง เพื่อประจุแบตเตอรี่
- แรงดันเอาต์พุท (V_{out}) เป็นแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไปตามการประจุของแบตเตอรี่ที่รับการประจุไฟฟ้าโดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อแบตเตอรี่ได้รับการประจุ
- ความต้านทานภายในแบตเตอรี่ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ตามรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.3.3 การแสดงความต้านทานภายในแบตเตอรี่
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทาน R_1 มีอยู่เสมอขณะ Charger และ Discharg Battery ความต้านทาน R_2 จะเปลี่ยนแปลงตามประจุของ Battery ขณะหมดประจุ R_2 จะน้อย กระแสประจุจะมากขณะประจุเต็ม R_2 จะมากขึ้น กระแสประจุจะลดลงจากการรวบรวมค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เป็นไปได้ นำมาคำนวณหาค่าของอินดักเตอร์ที่เหมาะสมต่อโครงการ และนำค่าที่ได้มาทดสอบกับงานจริง ปรากฏว่าค่าอินดักเตอร์ที่ทำให้กระแสในการประจุต่อเนื่องมากที่สุดมีค่าอยู่ประมาณ 6.35 mH ใช้แกนขนาด EE - 40

3.3.2 คาปาซิเตอร์ (Capacitor)

หาค่าตัวเก็บประจุได้จากสมการ

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

ดังนั้น $C = \frac{D}{Rf \frac{\Delta V_o}{V_o}}$

จากสมการสามารถวิเคราะห์หาค่าตัวแปรที่จำเป็นต่อการคำนวณได้ดังนี้คือ

- ความถี่ไฟฟ้ามีค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 20 KHz
- อัตราการลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าต้านออก กำหนดให้เท่ากับ 1 %
- ความต้านทานภายในแบตเตอรี่ R_1 และ R_2 เปลี่ยนแปลงตามประจุของแบตเตอรี่
- ค่า Duty cycle ต้องปรับให้เหมาะสมกระแสและแรงดันที่ทำการประจุแบตเตอรี่

จากค่าตัวแปรวิเคราะห์ได้ทำการแทนค่าตัวแปรต่างๆ ในช่วงใช้งาน คำนวณหาค่าคาปาซิเตอร์ได้ค่าประมาณ $370 \mu F$ จากการใช้งานจริงเมื่อค่าเอาไว้อาศัยคาปาซิเตอร์ขนาด $2200 \mu F$ ที่ 50 V

3.4 การออกแบบวงจรพืซ – พลู คอนเวอร์เตอร์

ในการออกแบบวงจรต้องทราบค่าต่างๆ เบื้องต้นก่อนดังนี้

- แรงที่ต้องการทางด้าน อินพุตและเอาต์พุต
- กำลังงานของอินเวอร์เตอร์
- ดิวตี้ไซเคิลที่ใช้งาน
- แกนเฟอร์ไรท์ที่ทำให้หม้อแปลงสวิตชิงมีค่าความหนาแน่น สนามแม่เหล็ก " B " (ตาม Material Characteristic) และพื้นที่หน้าตัดใช้งาน
- ความถี่ที่ใช้งานของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่กำหนดค่าประมาณของแรงดันกระเพื่อม (ripple) ไม่ควรใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าต่าง ๆ มาคำนวณดังต่อไปนี้

จำนวนรอบทาง primary

$$E_p = 4.44 N_p f BA \quad (3.1)$$

E_p : แรงดันทางด้าน primary

N_p : จำนวนรอบของขดลวดทางด้าน primary

f : ความถี่ในการใช้งานของสวิตซิ่ง

B : ค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กของแกนเฟอร์ไรท์

A : พื้นที่หน้าตัดตรงกลางของแกนเฟอร์ไรท์

จำนวนรอบของหม้อแปลง

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = 2 \frac{N_s}{N_p} D \quad (3.2)$$

V_{out} : ค่าแรงดันเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์

V_{in} : ค่าแรงดันอินพุตของคอนเวอร์เตอร์

N_s : จำนวนรอบของขด secondary

N_p : จำนวนรอบทางด้าน primary

D : Duty cycle

ค่ากระแสที่ primary โดยประมาณ

$$I_p = \frac{P}{V_{in}}$$

I_p : กระแสด้าน primary

P : กำลังไฟฟ้า

V_{in} : แรงดันอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ากระแสที่ secondary โดยประมาณ

$$I_s = \frac{P}{V_{out}}$$

- I_s : กระแสทางด้าน primary
 P : กำลังใช้งาน
 V_{out} : แรงดันอินพุต

ซึ่งค่ากระแสทางด้าน primary จะนำไปออกแบบขดลวดด้าน primary โดยจะออกแบบให้ทนกระแสประมาณ 2 เท่า ทำการเลือกมอสเฟสกำลังที่สามารถหาช่วงเอาต์พุต กระชากได้จาก

$$L_{o(min)} = (V_{out} + V_D) \frac{ERS}{V_{ripple}} \left[T \cdot ton_{(max)} \times \frac{V_{IN(min)}}{V_{IN(max)}} \right] \quad (3.3)$$

$$L_{o(max)} = \frac{(V_{out} + V_D)(T \times ton_{(max)})}{\Delta I_o \times 2 ton_{(max)}} \times tr$$

$$ERS = \frac{V_{ripple}}{\Delta I_o}$$

โดย

- $L_{o(min)}$: ค่าต่ำสุดของเอาต์พุตใช้ค
 $L_{o(max)}$: ค่าสูงสุดของเอาต์พุตใช้ค
 V_{out} : แรงดันเอาต์พุต
 V_D : แรงดันตกคร่อมไดโอด
 ERS : ความต้านทานของ C
 V_{ripple} : แรงดันริบเบิลของแรงดันเอาต์พุต
 $ton_{(max)}$: ช่วงเวลาทำงานดีวีไอเคิลมากที่สุด
 T : คาบเวลาการทำงาน
 $V_{IN(min)}$: ค่าต่ำสุดของแรงดันอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $V_{IN(max)}$: ค่าสูงสุดของแรงดันอินพุต
 t_R : กระแสเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด

ทำการออกแบบใช้งานจริง

ทำการออกแบบวงจร พุช – พลู คอนเวอร์เตอร์ ขนาด 250 W ($220 \times 1 = 220 \text{ w}$)
 แรงดันเอาต์พุต 311 V_{DC} ให้มีค่าแรงดันกระเพื่อม (ripple) 0.01 % และใช้แกนเฟอร์ไรท์ขนาด
 EE - 80 จำนวน 2 แกน

หาจำนวนขดลวด primary

จากสมการที่ (3.1) เลือกใช้แกนเฟอร์ไรท์ขนาด EE - 80 , $B = 1500$ เกาส์
 ($10,000$ เกาส์ = 1 wb/m^2) และมีค่าพื้นที่หน้าตัด $2(1.98 \times 1.98) \text{ cm}^2$ ทำงานที่
 ความถี่ 20 kHz.

$$24 = 4.44 \times N_p \times 15 \times 10^3 \times \frac{1,500}{10,000} \times 2 \times 1.98^2 \times 10^{-4}$$

$$\text{จะได้ } N_p = 3.06 \text{ (ให้ใช้ 3 รอบ)}$$

หาค่าอัตราส่วนจำนวนรอบ (turn ratio) จากสมการที่ (3.2) และกำหนด
 ช่วงเวลาการทำงาน (duty cycle) ของการทำงานที่สภาวะคงที่ (steady state) คือ 0.4

$$\frac{311}{24} = 2 \times \frac{N_s}{N_p} \times 0.4$$

$$\text{จะได้ค่าอัตราส่วนจำนวนรอบ } (N_s/N_p) = 16.1 \text{ ใช้ } 16$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ากระแสด้าน primary

$$I_p = \frac{250}{24}$$

ได้ค่า $I_p = 10.41 \text{ A}$.

เลือกใช้ลวดเบอร์ 28 ทนได้ 200 °c ดีเกลียวจำนวน 13 เส้น

เลือกใช้มอสเฟตเบอร์ IRF 44 N (ทนกระแสได้ 49 A แรงดัน 55 V)

ค่ากระแสทางด้าน secondary

$$I_s = \frac{250}{311} \\ = 0.8 \text{ A}$$

เลือกใช้เบอร์เดียวกันกับ primary ดีเกลียวจำนวน 7 เส้น

เลือกใช้ไดโอดทนกระแสได้ 2 A. และทนแรงดันได้ 400 V.

จากข้อมูลขดลวดและอัตราส่วนจำนวนรอบข้างต้น นำมาออกแบบหม้อแปลง สวิตชิงได้หม้อแปลงมีจำนวนรอบ primary ต่อ secondary = 1 : 13

กำหนดค่า V_{ripple} ประมาณ 0.01 % ของ V และค่า ΔI_o มีค่า 7 A.

(ลดลงจาก 25 A. เหลือ 18 A.)

$$ERS = \frac{0.01\% \times 311}{7}$$

จะได้ค่า $ESR = 4.44 \times 10^{-3}$

จากสมการหาค่าเอาท์พุทใช้ค ดังนั้น

$$L_{v(\text{min})} = (310 + 1) \times \frac{4.44 \times 10^{-3}}{2 \times 0.01\% \times 314} [66.67 \times 10^{-6} - 26.67 \times 10^{-6}]$$

จะได้ค่า $L_{v(\text{min})} = 0.88 \mu\text{H}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ V_{ripple} วิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{1 \times 26.67 \times 10^{-6}}{150 \times 10^{-3}}$$

$$= 746 \mu\text{F}$$

จะได้ค่า C_{e} = 746 μF เลือกใช้ 740 μF ทนแรงดันได้ 450 V_{DC}

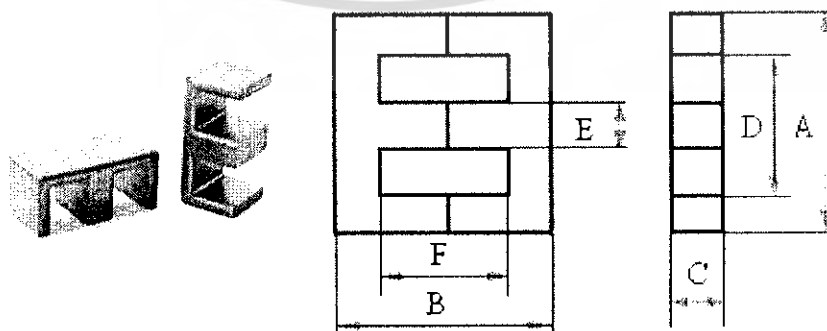
3.4.1 แกนเฟอร์ไรต์และการเลือกใช้

ลักษณะและมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์

แกนเฟอร์ไรต์สำหรับหม้อแปลงสวิตชิงโดยทั่วไป จะถูกผลิตออกมาที่ขนาดและรูปทรงต่างๆ ตามมาตรฐานเดียวกัน เช่น แกนแบบ EI, EE, ETD หรือแกนแบบ POT เป็นต้น ปกติผู้ผลิตจะทำแกนเฟอร์ไรต์ออกมาในลักษณะของคู่ประกบเพื่อความสะดวกในการประกอบเข้ากับบอบบิ้นจะทำให้ทางเดินของฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์มีลักษณะวงจรรอบได้ ตัวอย่างขนาดของแกนเฟอร์ไรต์แบบต่างๆ แสดงไว้ที่ภาพที่ 3.4.1

แกนแบบ POT นั้นจะใช้กับหม้อแปลงสวิตชิงที่ไม่ต้องการกำลังสูง (ไม่เกิน 125 วัตต์) และในงานที่ต้องการสัญญาณรบกวน EMI/RFI ต่ำ เนื่องจากลักษณะรูปทรงของมันสามารถป้องกันการแพร่กระจายของสัญญาณรบกวนได้ดี แต่แกนแบบ POT มีช่องสำหรับใช้ขดลวดออกมาภายนอกได้ค่อนข้างเล็กจึงเป็นอุปสรรคในการพันลวดทองแดงขนาดใหญ่เมื่อหม้อแปลงต้องการกำลังสูงจะเป็นแกนแบบ EI, EE และ ETD เนื่องจากสามารถพันขดลวดรอบแกนบอบบิ้นได้สะดวก แกนในกลุ่มนี้จะมีขนาดต่างๆ ให้เลือกใช้กันได้เป็นจำนวนมาก โดยสามารถให้กำลังงานได้ตั้งแต่ 5 วัตต์ ไปจนถึง 10 กิโลวัตต์ อย่างไรก็ตามสัญญาณรบกวน EMI/RFI ที่เกิดขึ้นจะมีค่ามากกว่าแกนแบบ POT

ยังมีแกนเฟอร์ไรต์ในแบบอื่นๆ ที่สามารถนำมาใช้งานได้อีก เช่น แกนแบบ RM, PQ และ LP แต่มักไม่ค่อยพบเห็นตามท้องตลาดทั่วไปและไม่ค่อยเป็นที่นิยมจึงจะไม่ขอกล่าวถึง

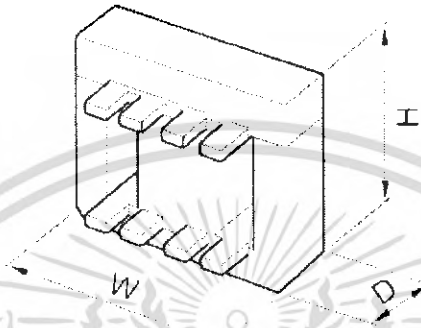


รูปที่ 3.4.1 ลักษณะแกน EE ที่เลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 บอบบี้ (Bobbin)

บอบบี้หรือแบบรองพัน ปกติจะทำจากพลาสติกทนความร้อนสูงและไม่ติดไฟบอบบี้ จะช่วยให้การพันของขดลวดบนแกนเฟอร์ไรต์สะดวกขึ้น และปกป้องปัญหาการลัดวงจรระหว่าง ขดลวดกับแกนเฟอร์ไรต์ได้ บอบบี้จะมีขนาดมาตรฐานของแกนเฟอร์ไรต์ตัวอย่างขนาดของ บอบบี้ดูได้จากภาพบอบบี้ส่วนใหญ่จะถูกออกแบบให้มีขาพักขดลวดทองแดงเพื่อความ สะดวกในการพันขดลวดและบัดกรีติดกับแผ่น PCB



รูปที่ 3.4.2 แสดงตัวอย่างของบอบบี้สำหรับแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE

3.4.3 เทปฉนวน (Insulation Tape)

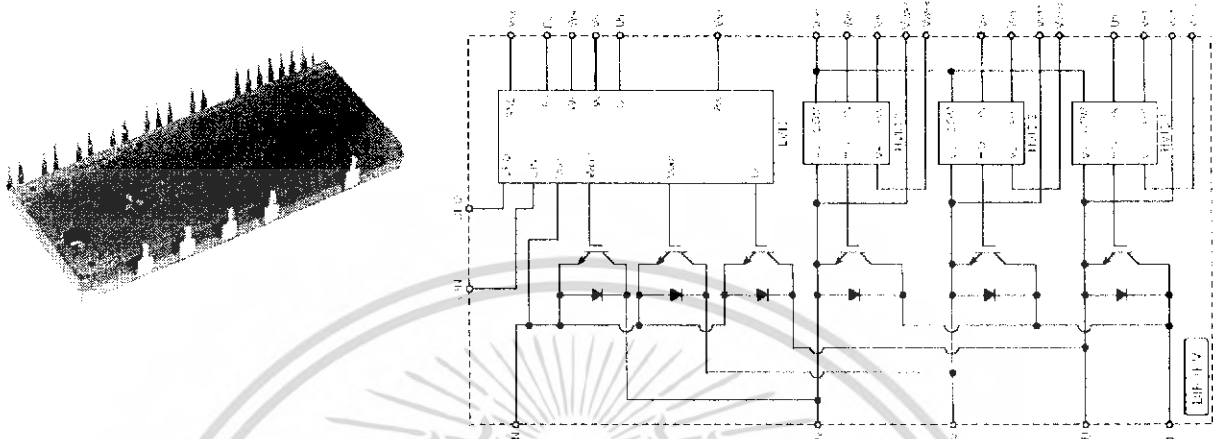
เทปฉนวนใช้พันสำหรับเป็นตัวรองระหว่างชั้นของขดลวดในหม้อแปลงสวิตชิงและมี หน้าที่สำคัญในการแยกส่วนทางไฟฟ้าระหว่างขดไฟโรรมารี่และขดเซคันดารีด้วยวัสดุที่ใช้ทำเทป ฉนวนอาจเป็นพวกไมลาร์ (Mylar) หรือ โพลีเอสเตอร์ (Polyester) ที่มีความหนาอยู่ในช่วง 0.05 – 0.1 มิลลิเมตร การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับกรออกแบบและค่าความปลอดภัยที่ต้องการ จากหม้อแปลงสวิตชิงเป็นหลัก

3.5 การออกแบบและ สร้างชุดวงจรอินเวอร์เตอร์

ในหัวข้อนี้ให้เห็นถึงภาพที่แสดง 3.5.1 การทำงานในภาคนี้จะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่าย ให้แก่มอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้ในการขับเคลื่อน ในการทำงานจะรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแล้วมา ทำการแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่ความถี่ต่างๆ เพื่อป้องกันมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ในส่วน ของชุดอินเวอร์เตอร์นี้จะเลือกใช้ทรานซิสเตอร์กำลังแบบ IGBT ที่เป็นโมดูลสวิตช์ของบริษัทมี ตูชิชิ ซึ่งจากข้อมูล (data sheet) เราสามารถเลือกโมดูลสวิตช์ PS21204 สำหรับการควบคุม มอเตอร์ขนาด 100 วัตต์ได้ แต่จากข้อมูลดังกล่าวจะพบว่าเหมาะสมกับงานพาณิชย์เป็นส่วน ใหญ่ จึงทำให้โครงการเลือกใช้ และสามารถส่งสัญญาณพอลต์จากตัวโมดูลได้สวิตช์รุ่น PS21204 ที่มีคุณสมบัติเด่นคือทนแรงดันได้ถึง 600 โวลต์ การจากกระแสได้ถึง 30 แอมแปร์

และสามารถส่งสัญญาณพอลต์จากตัวโมดูลได้เพื่อหยุดสัญญาณขับในกรณีเกิดการลัดวงจร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้มาไปเผยแพร่บนนิตยสาร การค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในกึ่ง กระแสเกินหรืออุณหภูมิสูงและสามารถรองรับความถี่สวิตช์ซึ่งสูงสุดได้ 20 กิโลเฮิร์ต
 ดังแสดงดังรูปที่ 3.5.1



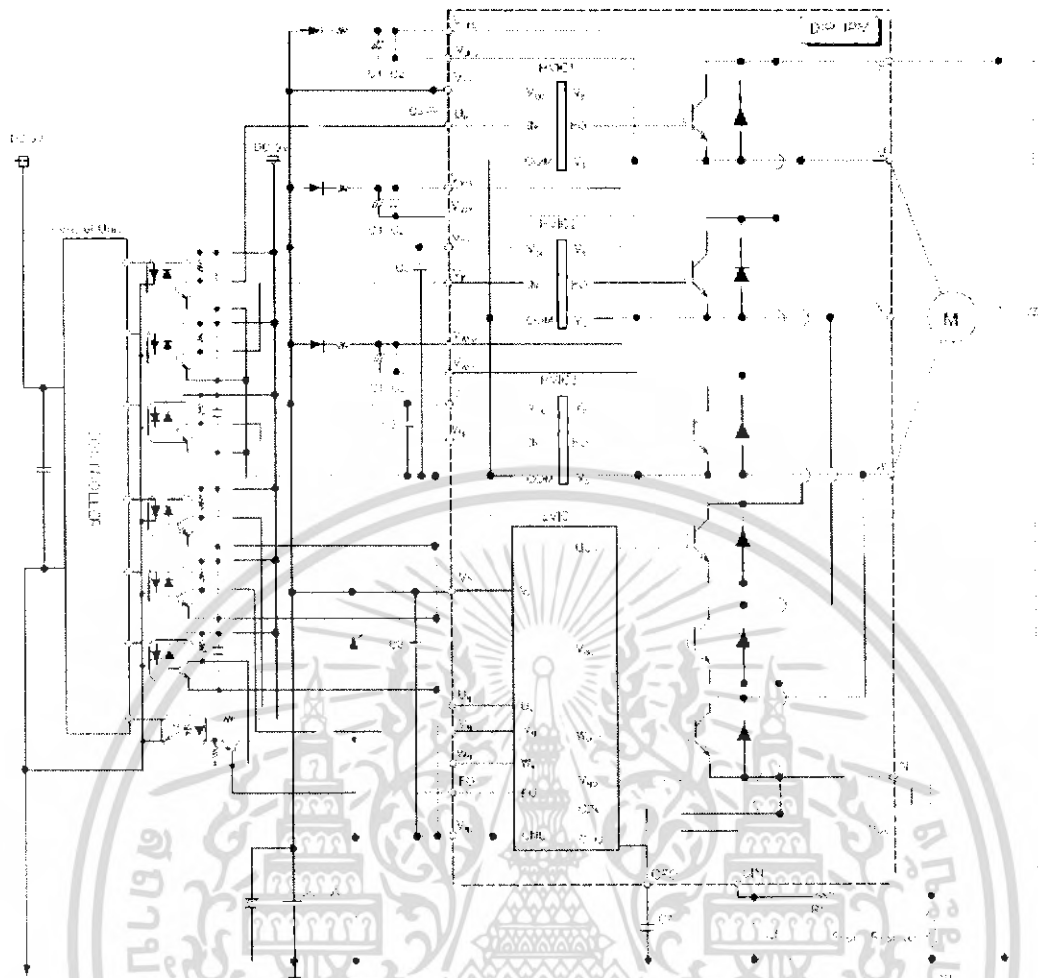
(ก) โครงสร้างภายนอกของทรานซิสเตอร์

(ข) โครงสร้างภายในของทรานซิสเตอร์

รูปที่ 3.5.1 แสดงทรานซิสเตอร์โมดูลกำลังแบบ IGBT รุ่น PS21204

ใช้การควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลังแบบโมดูลนี้จำเป็นต้องมีวงจรแยกสัญญาณ (Isolate) ใช้ในการควบคุมการทำงานซึ่งวงจรแยกโดดที่ใช้ในการทำงานนี้จะประกอบไปด้วย อุปกรณ์ออปโตไดโอด (OPTO) เบอร์ HP4504 จำนวน 4 ตัวทำแยกโดดสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้ในการควบคุมสวิตช์ 3 กิ่งบนจะมีการแยกรับไฟตรงขนาด 15 โวลต์ จากสวิตช์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลาย คนละส่วนกันออปโตไดโอดที่ใช้ในการควบคุมสวิตช์นี้สามารถทำได้โดยการควบคุมออปโตในสภาวะปกติ(สวิตช์ไม่มีการทำงาน) ทางด้านโมดูลสวิตช์จะมีไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 15 โวลต์ไปยังขา Up, Vp, Wp, Un1, Vn2, และ Wn1 หากต้องการสวิตช์ตัวใดตัวหนึ่งทำงาน สามารถทำได้โดยการทำให้ศักย์ไฟฟ้าของแรงดันไฟฟ้าขานั้นมีค่าเท่ากับศูนย์หรือควบคุมจากทางด้านไดโอดเปล่งแสงขนาด 16 มิลลิแอมแปร์ หรือพิกัดของกระแสออปโต เพื่อทำให้วงจรอีกฝั่งหนึ่งของออปโตทำหน้าที่เหมือนสวิตช์ ส่วนวงจรที่ใช้ส่งสัญญาณฟลัดที่ออกจากตัวโมดูลสวิตช์ เพื่อใช้ในการหยุดสัญญาณขั้วนำ ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรภายในกึ่ง กระแสเกิน หรืออุณหภูมิภายในตัวเองมีค่าสูงจะใช้ออปโต (OPTO) เบอร์ PIC810 จำนวน 1 ตัว โดยสัญญาณออปโตทุกตัวจะถูกตรวจจับ การทำงานของวงจรสัญญาณที่มีความกว้างขนาด 10 ไมโครวินาที ออกมาทางขาสัญญาณฟลัด ซึ่งการใช้งานสัญญาณฟลัดนี้ต้องอาศัยวงจรภายนอกในการช่วยในการล้างสภาวะการเกิด เพื่อหยุดสัญญาณที่ใช้ในอินเวอร์เตอร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5.2 วงจรแยกกระโถดและชุดขับนำทรานซิสเตอร์โมดูลกำลังแบบ IGBT

3.6 แผ่นระบายความร้อน (Heat sink)

เมื่อใดก็ตามที่วัตถุ 2 ชิ้นเกิดการสัมผัสกันย่อมเกิดการนำความร้อน หรือการถ่ายเทความร้อนขึ้นได้และที่ผิวสัมผัสของวัตถุแต่ละชิ้นนั้นจะเป็นตัวแสดงถึง คุณสมบัติในการระบายความร้อนซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นที่ ๆ สัมผัส วัสดุที่ใช้ทำและแรงกดของวัตถุทั้งสอง โดยที่คุณสมบัติการระบายความร้อนหรือการถ่ายเทความร้อนของวัตถุได้มี การกำหนดในรูปของ Thermal Resistance หรือ R_{θ}

1. แผ่นระบายความร้อนกับอากาศรอบข้าง (Sink-ambient) จะเรียกว่า $R_{\theta SA}$ ขึ้นอยู่กับตัวแผ่นระบายความร้อน
2. ระหว่างตัวถังของอุปกรณ์กับแผ่นระบายความร้อน (Case-Sink) เรียกว่า $R_{\theta CS}$ ขึ้นอยู่กับพื้นที่ของอุปกรณ์ที่สัมผัสกับแผ่นระบายความร้อนและแรงกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระหว่างรอยต่อของสารกึ่งตัวนำกับตัวถังอุปกรณ์ (Junction-case) เรียกว่า R_{JC} ขึ้นอยู่กับตัวอุปกรณ์ และสามารถเปิดดูได้จากคู่มือของอุปกรณ์แต่ละตัว ซึ่งจะบอกเป็นค่าสูงสุด
 4. ระหว่างตัวถังกับอุปกรณ์กับอากาศรอบข้างโดยตรง (Case-ambient) เรียกว่า R_{CA} แต่จะมีค่ามากกว่า R_{CS} หลายเท่าตัว ซึ่งจะไม่มีคามหมายเมื่อเทียบกับ R_{CS} แต่จะมีประโยชน์เมื่อไม่ได้ใช้แผ่นระบายความร้อน
- นอกจากนี้อาจมีการใช้สารระบายความร้อนต่าง ๆ เข้าช่วย เช่น ครีมนิลิโคน แผ่นไมก้า แผ่นยางซิลิโคน ซึ่งจะมีผลทำให้ R_{CS} เปลี่ยนไป

$$P_D = \frac{(T_J - T_A)}{R_{JC} \times R_{CS} \times R_{CA}} \quad (3.6.1)$$

จากสูตร หาค่า R_{CA} เพื่อเลือกแผ่นระบายความร้อนได้

$$\theta_{RCA} = \frac{(T_J - T_A)}{P_D \times R_{JC} \times R_{CS}} \quad (3.6.2)$$

เมื่อ P_D = กำลังความร้อนที่เกิดจากตัวอุปกรณ์ (W)

$$\text{ค่า } P_D = I_L \times V_D$$

T_J = อุณหภูมิที่รอยต่อของสารกึ่งตัวนำ (°C)
(บริษัทผู้ผลิตจะกำหนดเป็นค่าสูงสุดที่ตัวมันทำได้)

T_A = อุณหภูมิของอากาศรอบข้าง (°C) ปรกติประมาณ 25 °C

R_{JC} = เปิดดูได้จากตารางคู่มือเป็นค่าสูงสุด

R_{CS} = หากจากราฟแสดงค่าของ R_{CS} ของตัวถัง

การใช้ฉนวนกันจะทำให้ R_{CS} มีค่าสูงขึ้น ถ้าใช้ฉนวนที่มีความหนามากขึ้น R_{CS} สูงขึ้นและการخن็อดยึดให้แน่นจะทำให้ R_{CS} มีค่าลดลง และการใช้ครีบบระบายความร้อนจะทำให้ R_{CS} มีค่าลดลง ขน็อดยึดมีค่า 6 นิ้ว -ปอนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่า Heat-Sink ของมอสเฟต IRFP264

$$\begin{aligned} T_{J(\max)} &= 175 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ T_A &= 25 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ R_{\theta JC} &= 1.0 \text{ }^{\circ}\text{C/W} \\ R_{\theta CS} &= 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C/W} \\ R_{\theta SA} &= 82 \text{ }^{\circ}\text{C/W} \end{aligned}$$

จากสมการที่ 3.6.1

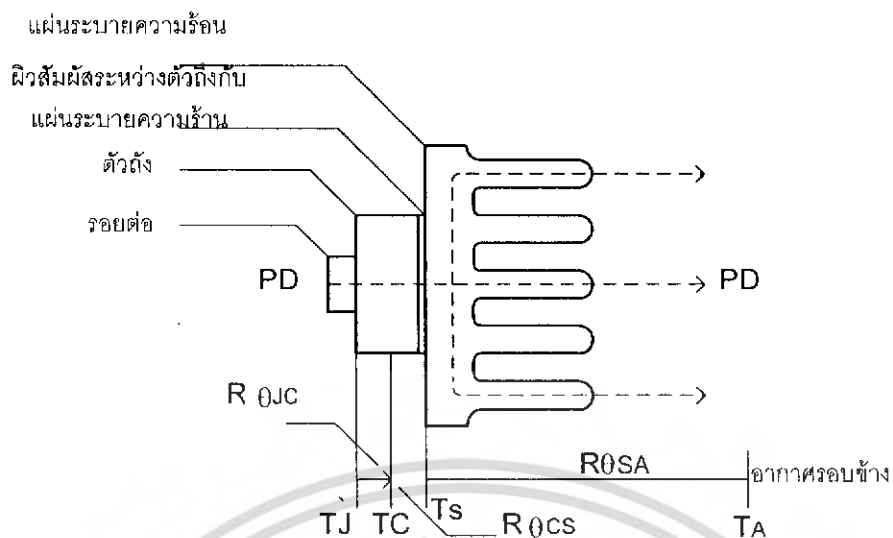
$$P_D = \frac{125}{31.1}$$

$$R_{\theta SA} = \frac{(T_J - T_A)}{P_D \times R_{\theta JC} \times R_{\theta CS}}$$

$$\begin{aligned} R_{\theta SA} &= \frac{175 - 25}{4.02 + 1.0 + 0.1} \\ &= 29.30 \text{ }^{\circ}\text{C/W} \end{aligned}$$

ในการออกแบบแผ่นระบายความร้อนตัวอื่นก็เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แผ่นระบายความร้อน (Heat Sink)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

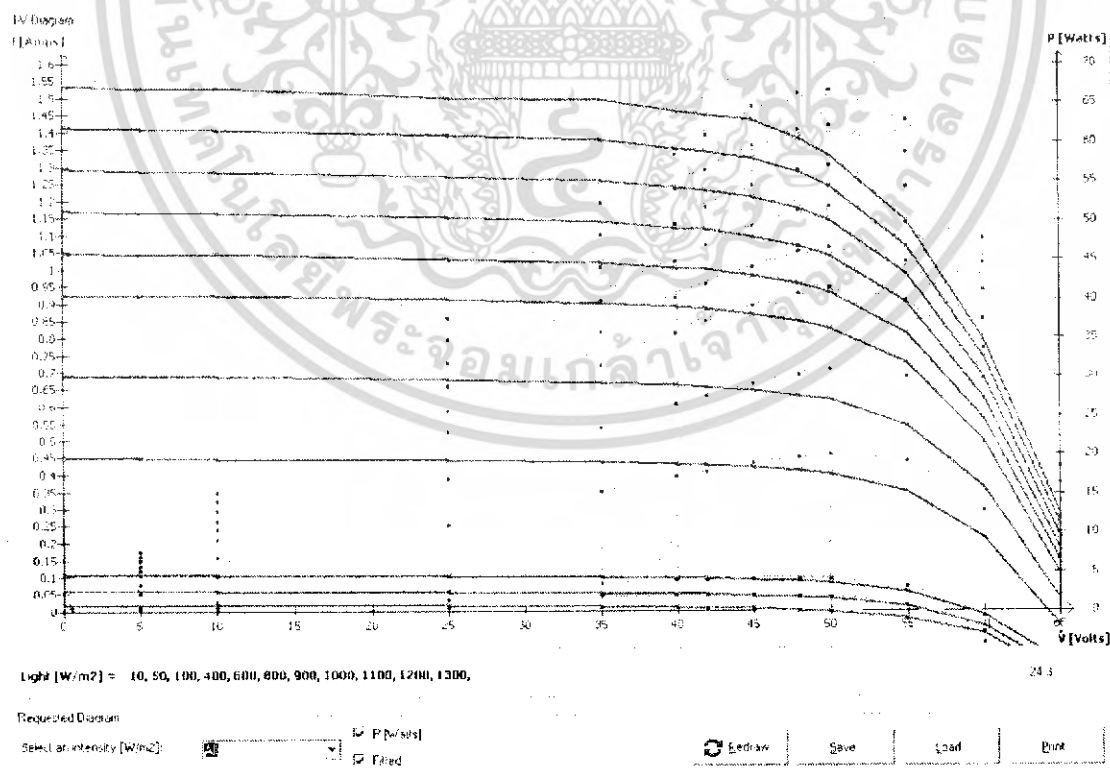
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด สิ่งที่ต้องคำนึงถึงก็คือ การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point) ดังนี้

Maximum Power Point หมายถึง ขั้นตอนวิธี ที่ถูกรวมเข้าไปในอุปกรณ์ควบคุม อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งใช้ในการทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าให้ได้สูงสุด (maximum power) ทั้งนี้ กำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ความเข้มของแสงอาทิตย์ (Solar radiation), อุณหภูมิสภาพแวดล้อม (Ambient temperature) และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell temperature) ระบบ จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการตรวจสอบกำลังไฟฟ้าขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตลอดเวลา เพื่อให้ได้ค่ากำลังผลิตสูงสุดในแต่ละเวลาตามค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ได้รับ ในรูปของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าจะทำให้ได้กำลังไฟฟ้ามากขึ้น หากตรวจสอบพบว่า กลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใดให้ค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขาออกสูงกว่า จะย้ายจุด ควบคุมไปยังแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขาออกของกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
รูปที่ 4.1.1 แสดงค่า V-I และ power ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงการ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงการ

Technical Specification

•Type	Amorphous Silicon	
•Module Type	BS40	
•Power	40	Watt
•Voltage	44.8	Vdc
•Current	0.90	Adc
•Open circuit Voltage	1.16	Vdc
•Short circuit current	62.2	Adc
•Max. series Fuse	4	A
•Weight	13.5	Max kg
•Size	635x1245	mm x mm
•Total area	0.8	m x m



รูปที่ 4.1.2 BA 40 Amorphous Photovoltaic Modules

ตารางที่ 4.1.1 การทดลองพลังงานแสงอาทิตย์

ตารางการทดลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด Pmax[Watts]

ช่วงเวลา 11:00-12:00 น.			ช่วงเวลา 14:00-15:00 น.			ช่วงเวลา 16:00-17:00 น.		
V	I	W	V	I	W	V	I	W
(volts)	(Amps)	(watts)	(volts)	(Amps)	(watts)	(volts)	(Amps)	(watts)
0	1.105	0	0	0.968	0	0	0.663	0
5.56	1.103	6.133	4.83	0.966	4.67	3.21	0.654	2.12
10.97	1.102	12.09	9.56	0.958	9.16	6.58	0.651	4.28
16.45	1.101	18.11	14.26	0.943	13.45	9.71	0.643	6.24
21.56	1.092	23.54	18.47	0.936	15.44	12.67	0.642	8.13
26.87	1.086	29.18	22.98	0.935	21.37	15.54	0.629	9.77
32.31	1.080	34.89	27.44	0.923	25.33	18.65	0.627	11.69
36.87	1.077	39.71	31.91	0.915	29.19	21.66	0.623	13.49
42.62	1.072	45.58	35.98	0.907	32.63	24.63	0.626	15.27
47.81	1.071	51.15	39.78	0.892	35.42	27.51	0.612	16.78
53.32	1.068	56.92	43.92	0.882	38.72	30.12	0.603	18.15
58.65	1.067	62.53	48.22	0.886	42.71	32.11	0.588	18.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

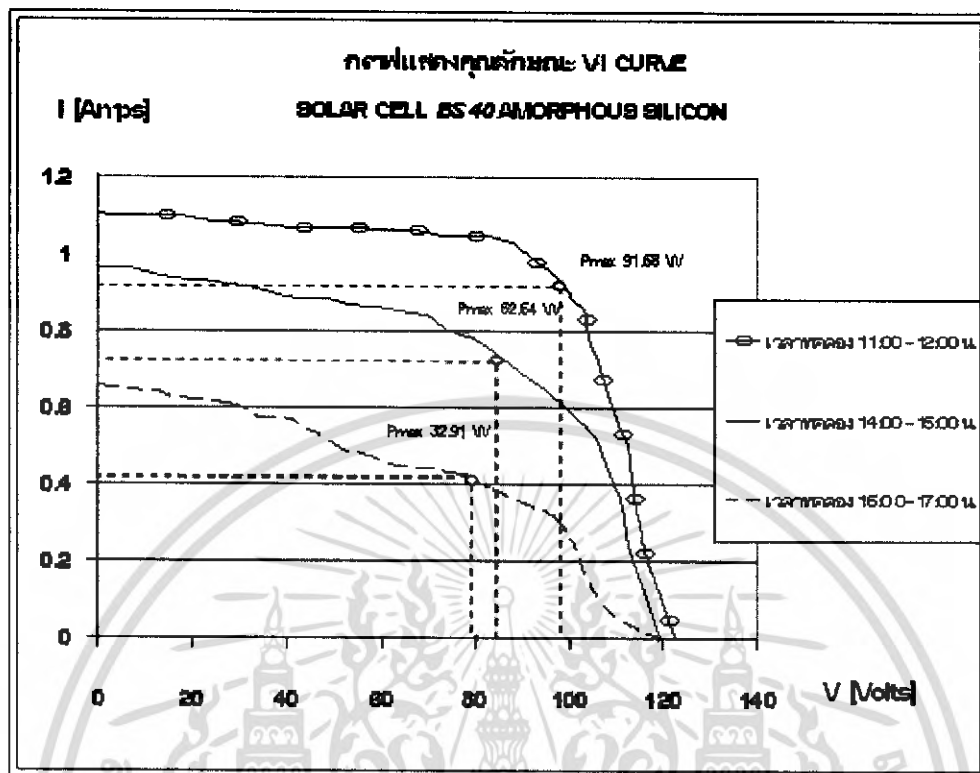
ตารางที่ 4.1.1 การทดลองพลังงานแสงอาทิตย์(ต่อ)

ตารางการทดลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด Pmax[Watts](ต่อ)

ช่วงเวลา 11:00-12:00 น.			ช่วงเวลา 14:00-15:00 น.			ช่วงเวลา 16:00-17:00 น.		
V (volts)	I (Amps)	W (watts)	V (volts)	I (Amps)	W (watts)	V (volts)	I (Amps)	W (watts)
63.8	1.065	67.95	52.2	0.872	45.52	34.61	0.576	19.94
68.7	1.061	72.89	56.4	0.867	48.91	39.1	0.577	22.56
73.5	1.047	76.95	60.4	0.863	52.13	40.1	0.571	22.86
78.3	1.046	81.92	64.2	0.855	54.72	41.5	0.567	23.53
83.4	1.046	87.23	67.2	0.847	56.92	42.5	0.558	23.72
87.7	1.033	90.59	70.7	0.837	59.18	44.3	0.547	24.23
88.6	1.025	90.82	71.8	0.823	59.09	45.6	0.540	24.62
90.4	1.009	91.21	74.3	0.805	59.57	48.2	0.520	25.06
96.0	0.955	91.68	78.7	0.784	61.71	51.8	0.491	25.43
98.1	0.932	91.23	81.1	0.771	62.45	53.6	0.488	26.16
100.0	0.901	90.15	83.3	0.752	62.64	56.1	0.481	26.88
100.3	0.890	89.27	84.9	0.735	62.42	58.2	0.471	27.41
103.5	0.850	87.98	86.8	0.719	62.41	60.4	0.463	27.97
103.8	0.796	82.62	90.0	0.691	62.19	62.9	0.451	28.37
105.2	0.751	78.92	92.8	0.664	61.62	66.7	0.443	29.55
106.3	0.710	75.47	96.0	0.637	61.15	71.3	0.439	31.30
110.4	0.552	60.94	105.3	0.527	55.49	77.8	0.423	32.91
112.2	0.511	57.22	106.6	0.488	52.02	83.2	0.391	32.53
114.2	0.353	40.31	110.8	0.359	39.81	91.1	0.350	31.88
115.4	0.274	31.62	112.0	0.281	31.47	98.6	0.290	28.59
116.2	0.223	25.91	113.0	0.229	25.88	106.9	0.089	29.51
122.5	0	0	119.5	0	0	119.1	0	0

หมายเหตุ ทำการทดลองที่ 3 แผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.3 แสดงค่า V-I และ power ของเซลล์แสงอาทิตย์จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองวงจรประจุแบตเตอรี่

ในการทดลองการประจุแบตเตอรี่ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ได้ผลการทดลองตามตารางเพื่อมาใช้งาน

ตารางที่ 4.2.1 ผลการทดลองค่ากระแสและแรงดันจาก Solar Cell และ
วงจร ประจุแบตเตอรี่ วันที่ 1

เวลา (น.)	แรงดัน Solar Cell (V)	กระแส Solar Cell (A)	แรงดัน Charger (V)	กระแส Charger (A)	Duty Cycle (%)
9:00	46.73	0.90	24.89	1.30	38
9:30	47.04	1.00	24.90	1.35	38
10:00	49.60	0.95	24.92	1.36	36
10:30	48.63	0.95	24.91	1.40	36
11:00	52.40	1.10	24.99	1.42	38
11:30	52.76	1.10	24.92	1.50	40
12:00	52.83	1.13	24.92	1.51	40
12:30	54.10	1.30	24.94	1.60	38
13:00	59.21	1.20	24.89	1.65	36
13:30	59.10	1.32	24.91	1.60	38
14:00	59.32	1.30	24.91	1.55	40
14:30	58.76	1.19	24.92	1.58	36
15:00	58.90	1.20	24.92	1.60	36
15:30	58.02	1.11	24.91	1.38	40
16:00	57.49	1.00	24.92	1.23	40
16:30	57.34	0.95	24.91	1.21	38
17:00	57.62	0.95	24.91	1.10	38

การทดลอง วันที่ 1 แรงดันแบตเตอรี่ ขณะเริ่มประจุ 24.01 V
แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่หลังการประจุ 24.52 V กระแสประจุเฉลี่ย 1.52 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2.2 ผลการทดลองค่ากระแสและแรงดันจาก Solar Cell และวงจร ประจุ แบตเตอรี่ วันที่ 2

เวลา (น.)	แรงดัน Solar Cell (V)	กระแส Solar Cell (A)	แรงดัน Charger (V)	กระแส Charger (A)	Duty Cycle (%)
9:00	50.30	0.90	24.87	1.00	40
9:30	50.20	0.90	24.74	0.95	38
10:00	52.30	0.95	24.83	0.97	40
10:30	57.30	1.00	24.85	1.30	36
11:00	46.50	1.10	24.86	1.40	42
11:30	49.98	1.20	24.88	1.33	38
12:00	54.10	1.10	24.82	1.30	36
12:30	54.10	1.30	24.82	1.40	36
13:00	53.01	1.30	24.81	1.45	40
13:30	51.34	1.23	24.92	1.40	38
14:00	46.73	1.30	24.86	1.42	36
14:30	49.60	1.20	24.90	1.36	38
15:00	48.63	1.13	24.90	1.32	40
15:30	48.45	1.10	24.94	1.42	36
16:00	47.42	1.00	24.94	1.35	40
16:30	49.17	0.95	24.93	1.25	38
17:00	49.83	0.95	24.93	1.22	38

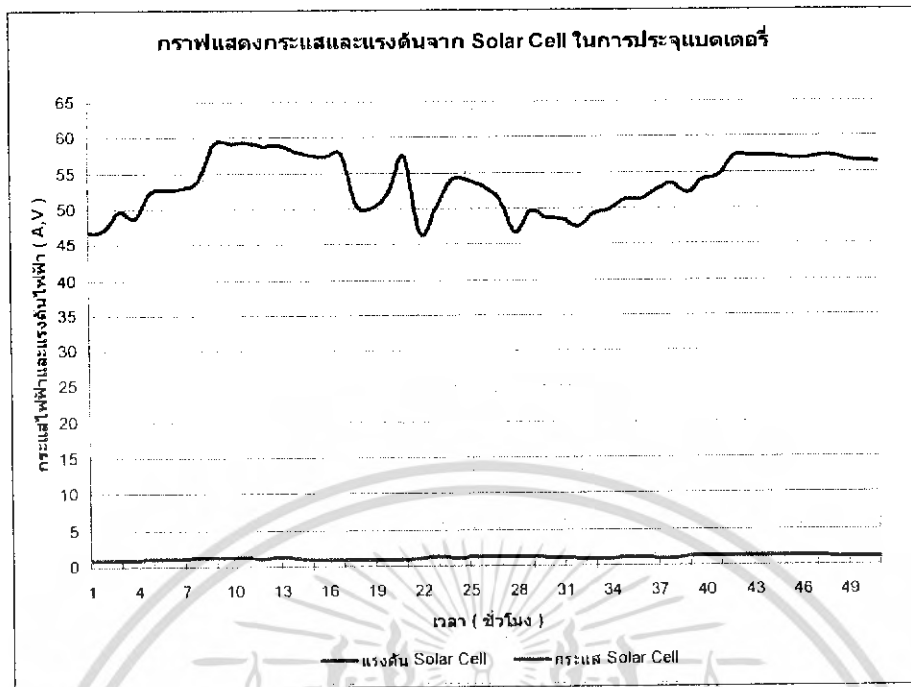
การทดลอง วันที่ 2 แรงดันแบตเตอรี่ ขณะเริ่มประจุ 24.52 V
แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่หลังการประจุ 24.78 V กระแสประจุเฉลี่ย 1.37 A

ตารางที่ 4.2.3 ผลการทดลองค่ากระแสและแรงดันจาก Solar Cell และวงจร ประจุ แบตเตอรี่

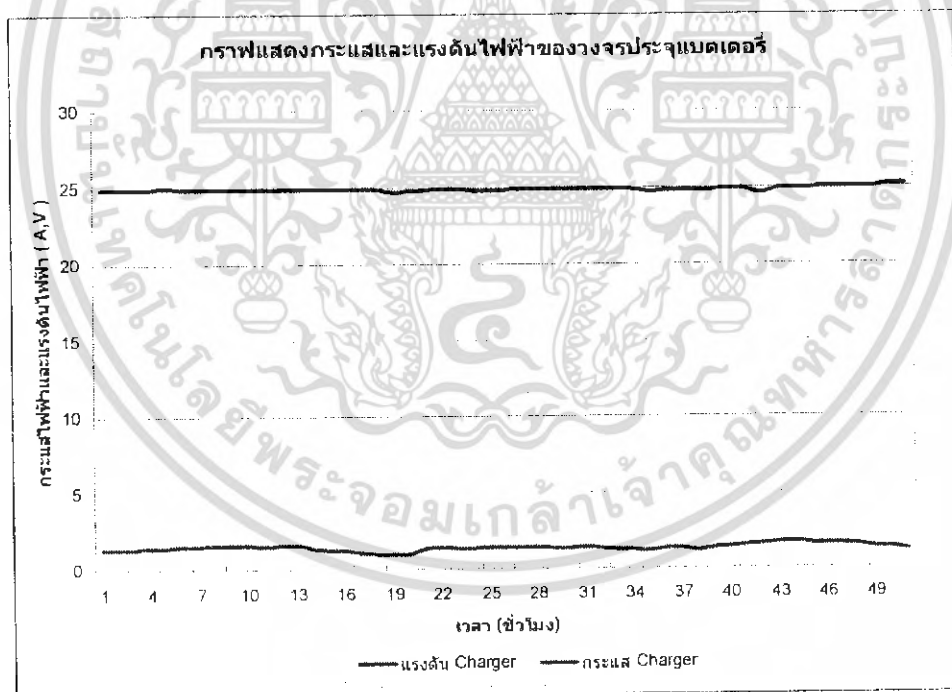
เวลา (น.)	แรงดัน Solar Cell (V)	กระแส Solar Cell (A)	แรงดัน Charger (V)	กระแส Charger (A)	Duty Cycle (%)
9:00	51.30	1.10	24.70	1.12	36
9:30	51.20	1.10	24.81	1.30	38
10:00	52.60	1.00	24.81	1.32	38
10:30	53.40	0.95	24.85	1.12	36
11:00	52.20	1.30	24.85	1.32	38
11:30	54.10	1.30	24.86	1.45	40
12:00	54.60	1.32	24.87	1.51	40
12:30	57.30	1.30	24.92	1.61	38
13:00	57.40	1.32	24.90	1.73	40
13:30	57.40	1.21	24.93	1.70	38
14:00	57.20	1.23	24.94	1.65	40
14:30	56.90	1.20	24.95	1.61	40
15:00	57.20	1.30	24.96	1.60	38
15:30	57.40	1.12	24.96	1.54	38
16:00	56.80	1.02	24.96	1.32	36
16:30	56.60	1.03	25.12	1.30	38
17:00	56.40	1.03	25.12	1.20	38

การทดลอง วันที่ 3 แรงดันแบตเตอรี่ ขณะเริ่มประจุ 24.78 V

แรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่หลังการประจุ 25.03 V กระแสประจุเฉลี่ย 1.53 A



รูปที่ 4.2.1 กราฟแสดงกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในการประจุแบตเตอรี่



รูปที่ 4.2.2 กราฟแสดงกระแสและแรงดันในการประจุแบตเตอรี่

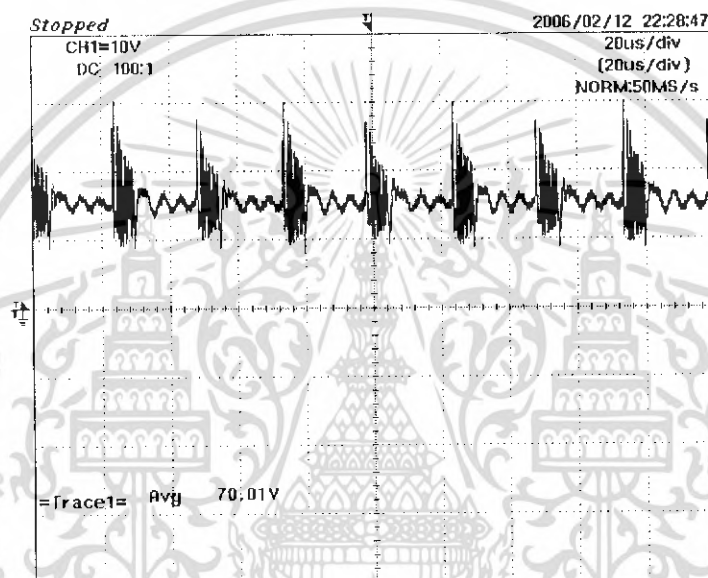
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองพืซ – พลุ คอนเวอร์เตอร์

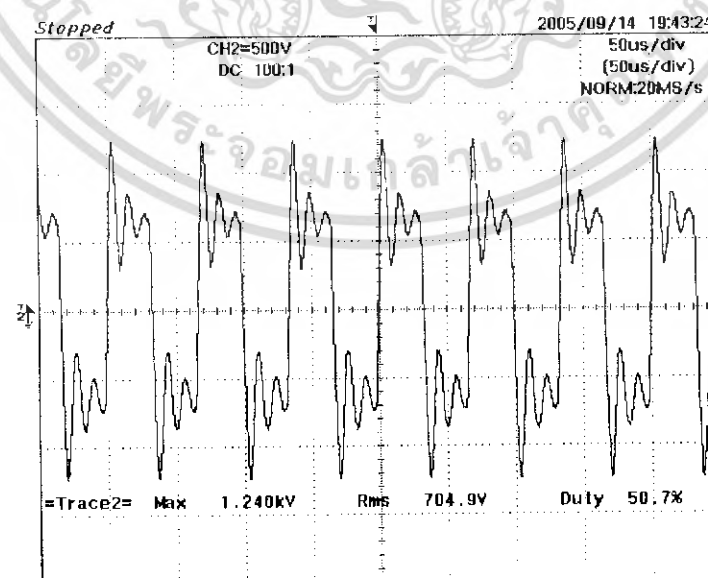
จากการทำการทดลองหม้อแปลง พืซ – พลุ คอนเวอร์เตอร์ ทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง แต่การทดลองยังไม่สามารถได้ค่าเอาต์พุตตามต้องการเมื่อทำการใส่โหลดจำลอง

$$R = \frac{E^2}{P}$$

แรงดันไฟฟ้าที่ต้องการผ่านไดโอด 311 V_{DC} กำลังไฟฟ้าที่โหลด 100 W ค่าความต้านทานโดยประมาณ 300 Ω

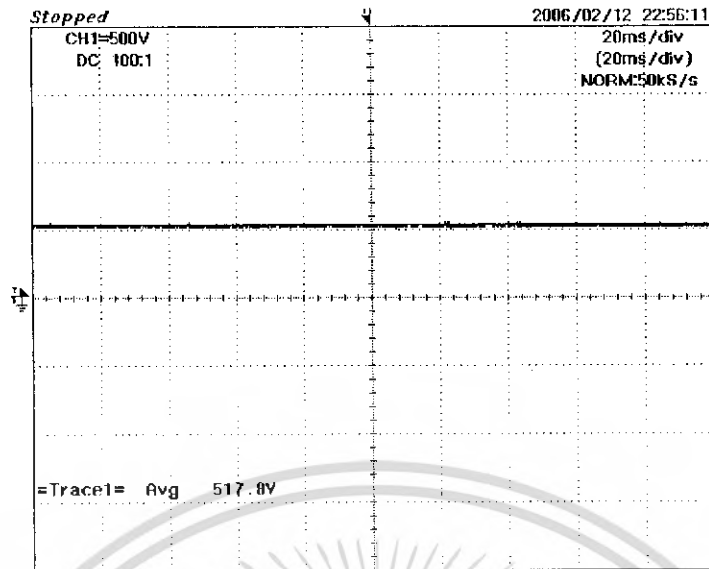


รูปที่ 4.3.1 แสดงการวัดกระแสเข้า 7 A

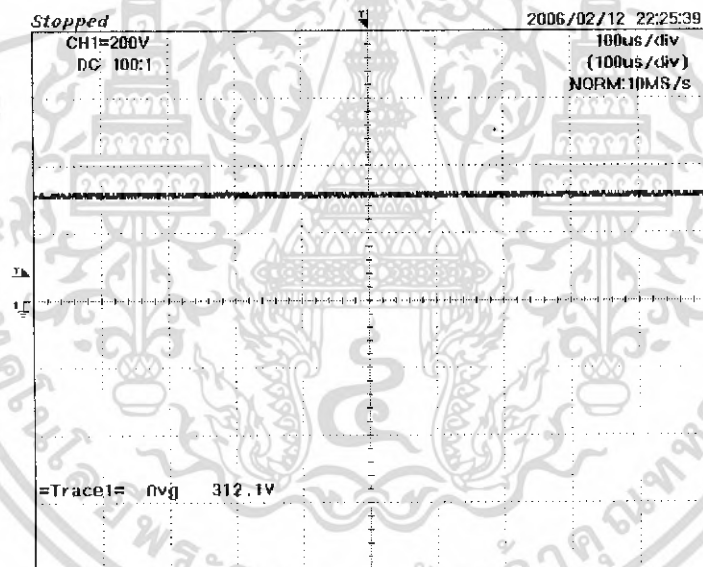


รูปที่ 4.3.2 แสดงการวัดค่าแรงดันขณะไม่มีโหลด 704.9 V Duty 50 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

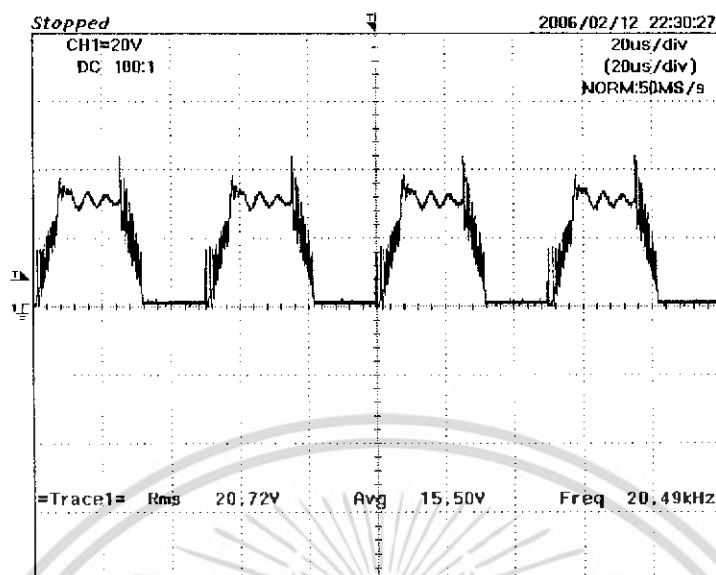


รูปที่ 4.3.3 แสดงการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขณะไม่มีโหลด 517.8 V



รูปที่ 4.3.4 แสดงการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขณะมีโหลด 312.1 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

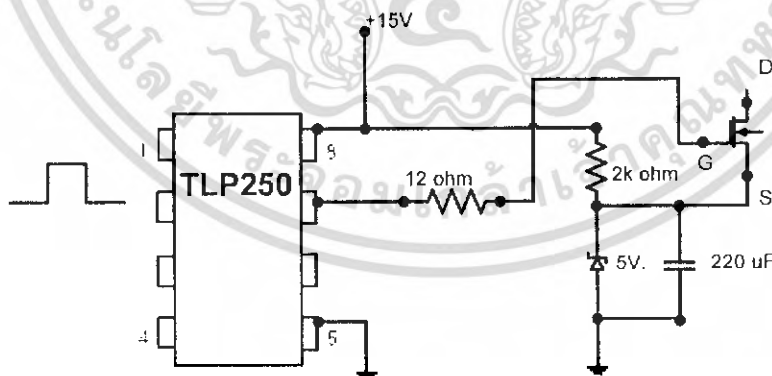


รูปที่ 4.3.5 แสดงการวัดค่าแรงดันตกคร่อมขาคะพอส

4.4 ชุดขับเกจของ Mosfet ในวงจร พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์

เนื่องจาก Mosfet ในวงจร พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ต้องการแรงดันระหว่างขาเกจ กับ ขอส (V_{GS}) ที่ ± 20 V จึงจะสามารถนำกระแสได้และเนื่องจากสัญญาณที่ออกมาจากชุดควบคุมมี แรงดัน +5 V. ไม่สามารถจะทำให้ Mosfet On ได้

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรขับเกจ Mosfet ในวงจร พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งจะใช้ IC opto#TLP250 เป็นอุปกรณ์ Isolate ซึ่งแสดงวงจรดังนี้

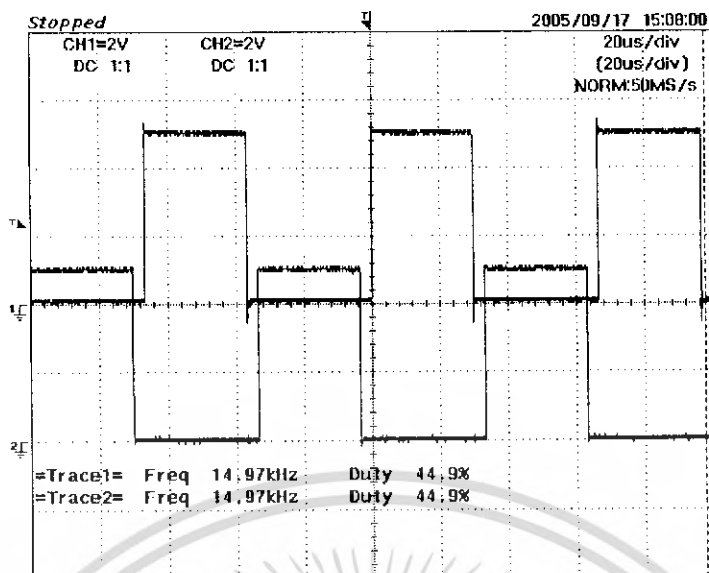


รูปที่ 4.4.1 แสดงวงจรขับเกจของ Mosfet ที่ใช้ในวงจร พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ ในโครงการนี้

จากรูปที่ 4.4 สัญญาณ input จะเป็นสัญญาณที่รับมาจากชุดควบคุม ซึ่งในโครงการนี้จะ ใช้ชุด ไมโครคอนโทรลเลอร์ 1 สัญญาณต่อหนึ่งวงจรขับเกจ ซึ่งแสดงสัญญาณ input ที่มี 2

สัญญาณ ที่ Duty เท่ากัน แต่จะทำงานที่ช่วงเวลาต่างกัน ดังรูปที่ 4.6

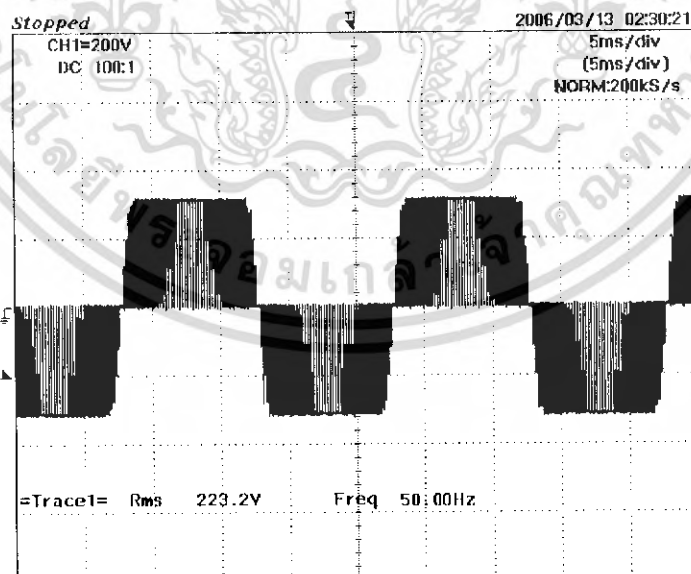
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4.2 แสดงสัญญาณอินพุตของ TLP 250 ที่มี 2 สัญญาณ ที่ค่า Duty ต่างกัน และเมื่อได้ทำการวัดสัญญาณที่ขา เกจ กับ ซอส จะได้สัญญาณที่เป็น +10 V. กับ -5 V. ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้ Mosfet นำกระแสได้ ดังรูปที่ 4.4.2

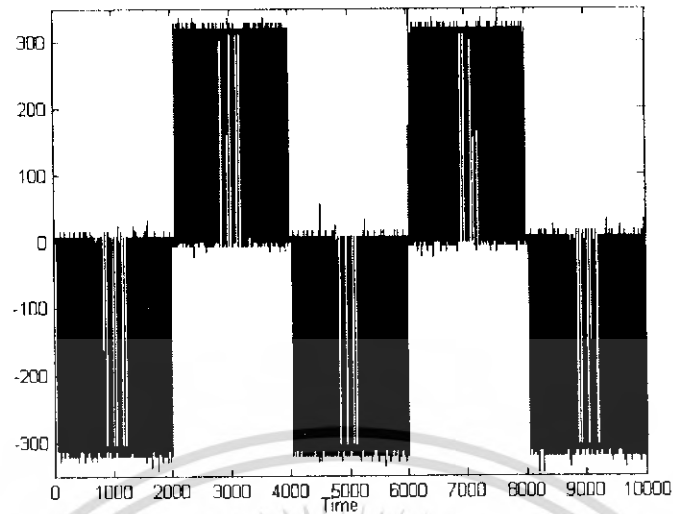
4.5 การทดลองอินเวอร์เตอร์

ในการทดลองการทำงานของอินเวอร์เตอร์นั้นได้ทำการทดลองที่การมีอดดูลเลขันที่ 0.9 แรงแดันไฟฟ้าที่จ่ายจาก ดีซี 315 Vdc. จากการปรับดิ้วตัพูล-พลู คอนเวอร์เตอร์รูปสัญญาณที่ได้ดังรูป

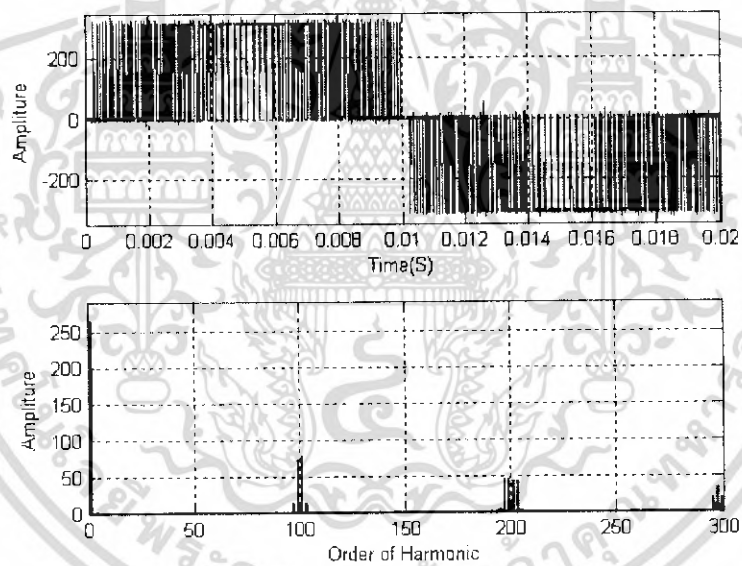


รูปที่ 4.5.1 แรงแดันไฟฟ้ากระแสสลับขณะขับโหลด 223.2 V 50HZ

และเมื่อนำสัญญาณมาวิเคราะห์ ด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อหาลำดับฮาร์โมนิกส์ เอกส จะได้ดังรูปที่ 4.5.2 ไม่ว่าสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

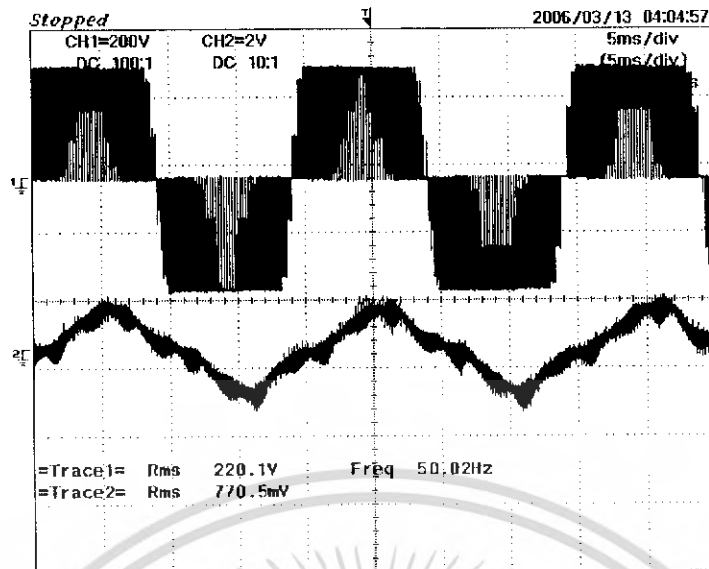


รูปที่ 4.5.2 รูปผลการทดลองเมื่อไปเข้าโปรแกรม MATLAB



รูปที่ 4.5.3 จากการทดลองค่าความถี่เป็น 2 เท่าของความถี่สวิตช์ซึ่ง

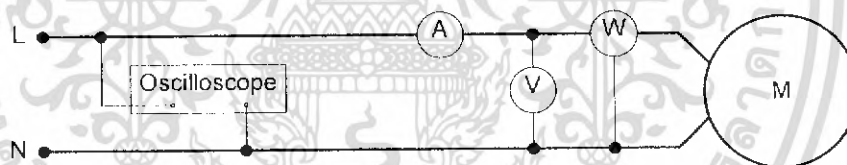
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5.4 รูปแรงดันไฟฟ้า 220.1 V กระแส 0.77 A 50Hz

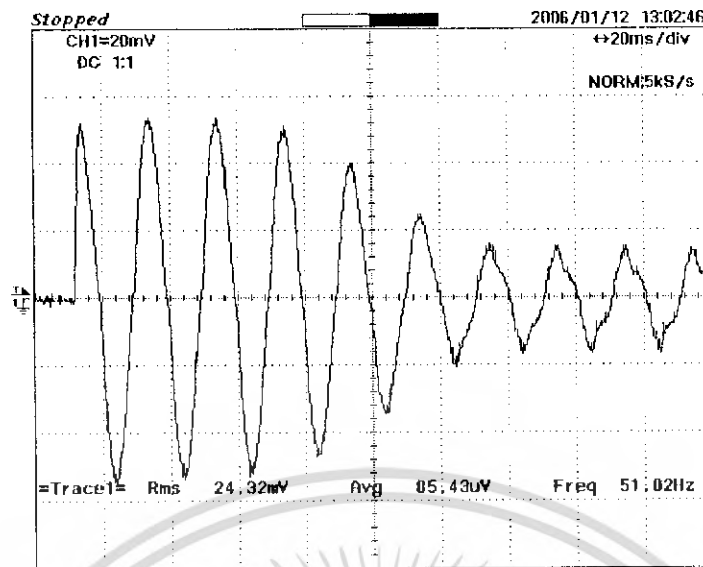
4.6 การทดลองสุบหน้า

เพื่อจะทราบกำลังไฟฟ้าของระบบจำเป็นต้องทดลองเดินมอเตอร์เพื่อทราบกระแสขณะเริ่มเดิน และกระแสคงตัวของมอเตอร์ รวมทั้งค่าประกอบกำลังของมอเตอร์

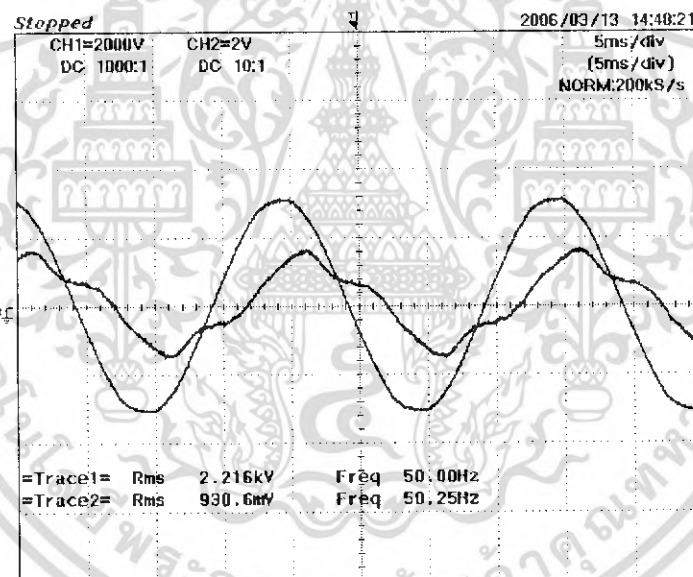


รูปที่ 4.6.1 วงจรทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6.2 แสดงกระแสขณะเริ่มเดินของมอเตอร์ 2.4 A เมื่อแหล่งจ่าย AC Line



รูปที่ 4.6.3 แรงดัน 221.6V กระแส 0.938 A ต่างเฟสกัน 45 องศาแหล่งจ่าย AC Line

การทดลองการสูบน้ำจากเพื่อเปรียบเทียบการสูบน้ำจากแหล่งจ่ายจากการไฟฟ้าและแหล่งจ่ายจากโครงการนี้จากตารางผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

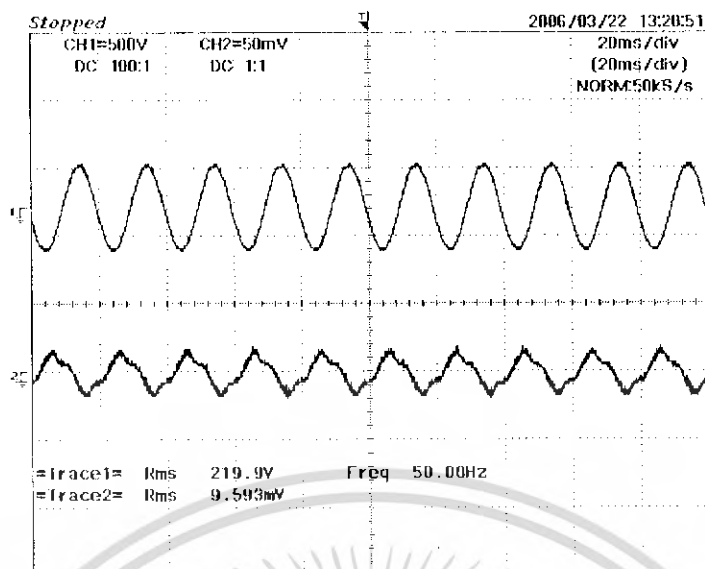
ตารางที่ 4.6.1 การทดลองการสูบน้ำจากแหล่งจ่าย AC Line

ความสูง (เมตร)	อัตราการไหลของน้ำ (ลิตรต่อวินาที)	แรงดันน้ำ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
0.00	37.98	0.50	150
1.00	37.91	0.50	150
2.00	37.85	0.50	150
3.00	37.36	0.50	150
4.00	15.29	0.55	150
5.00	13.14	0.60	145
6.00	5.54	0.60	140
6.25	0.00	0.65	130

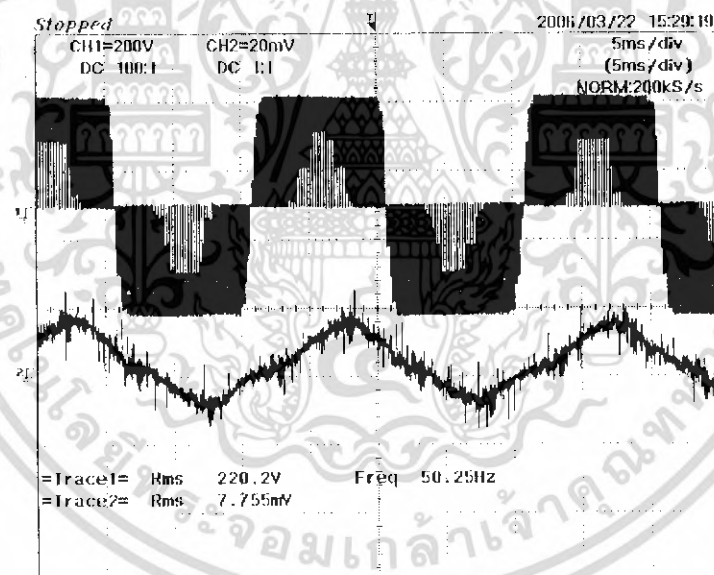
ตารางที่ 4.6.2 การทดลองการสูบน้ำจากโรงงาน

ความสูง (เมตร)	อัตราการไหลของน้ำ (ลิตรต่อวินาที)	แรงดันน้ำ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
0.00	37.34	0.40	110
1.00	35.35	0.40	110
2.00	32.85	0.40	110
3.00	18.67	0.45	100
4.00	15.61	0.50	100
5.00	13.14	0.50	100
6.00	4.98	0.55	100
6.15	0.00	0.60	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

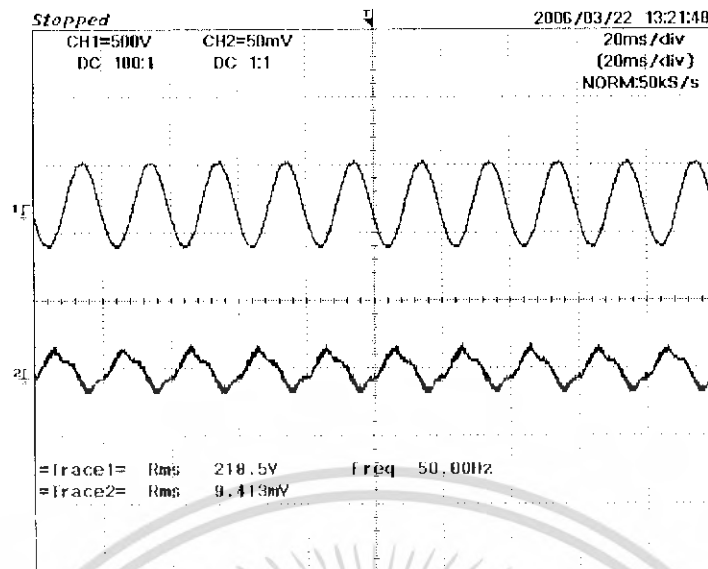


รูปที่ 4.6.4 แสดงรูปคลื่นแรงดัน 219.9 V กระแส 0.959 A จากการสูบน้ำจากแหล่งจ่าย จาก AC Line ที่ความสูง 1 เมตร

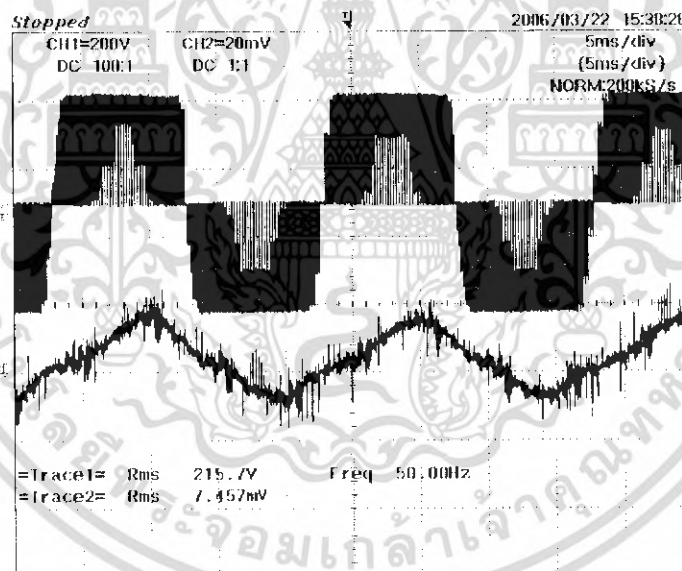


รูปที่ 4.6.5 แสดงรูปคลื่นแรงดัน 220.2 V กระแส 0.755 A จากการสูบน้ำ แหล่งจ่าย จากโครงการที่ความสูง 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

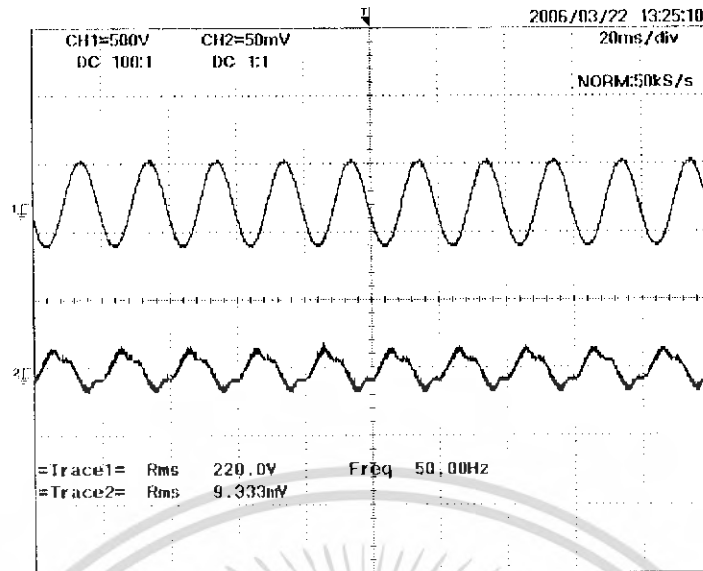


รูปที่ 4.6.6 แสดงรูปคลื่นแรงดัน 218.5 V กระแส 0.941 A จากการสูบน้ำจากแหล่งจ่าย
 จาก AC Line ที่ความสูง 3 เมตร

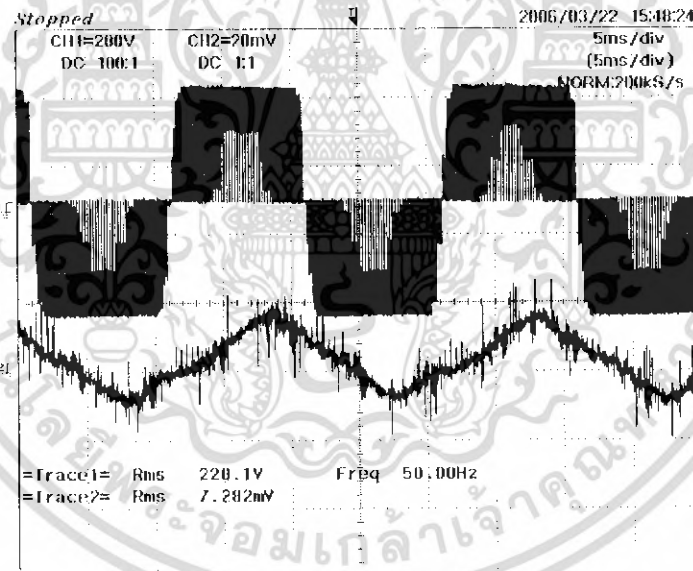


รูปที่ 4.6.7 แสดงรูปคลื่นแรงดัน 215.7 V กระแส 0.745 A จากการสูบน้ำ แหล่งจ่าย
 จากโครงการที่ความสูง 3 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

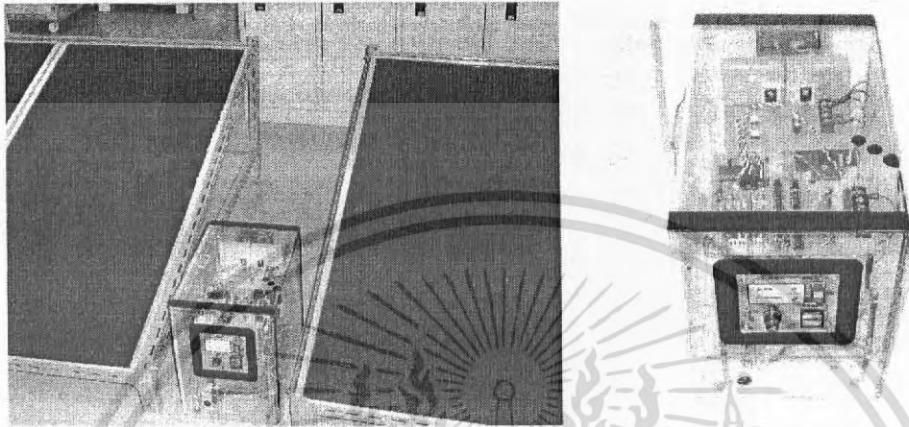


รูปที่ 4.6.8 แสดงรูปคลื่นแรงดัน 220 V กระแส 0.933 A จากการสุ่มน้ำจากแหล่งจ่าย จาก AC Line ที่ความสูง 6 เมตร (Max total Head)



รูปที่ 4.6.9 แสดงรูปคลื่นแรงดัน 220.1 V กระแส 0.728 A จากการสุ่มน้ำ แหล่งจ่าย จากโครงการ ที่ความสูง 6 เมตร (Max total Head)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6.10 รูปแสดงชิ้นงานในโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

พลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถนำมาประจุแบตเตอรี่ โดยผ่านวงจรประจุแบตเตอรี่โดยได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลา 11.00 – 14.00 น. โดยค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานไฟฟ้าที่ได้ นำมาประจุเก็บในแบตเตอรี่ 24 Vdc. วงจรของเครื่องประจุแบตเตอรี่ในโครงการนี้ใช้วงจรบีก - บูล คอนเวอร์เตอร์จากผลการทดลองในโครงการปรากฏทำงานในโหมดลดทอนแรงดันโหมดเดียวเนื่องจากแรงดันจากเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในช่วง 48 – 60 Vdc. ในขณะที่แรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรบีก บูล ต้องการขนาด 24 -25 Vdc ลักษณะการประจุแบตเตอรี่ ช่วงแรก ประจุแบบกระแสคงที่หลังจากได้แรงดันที่พิกัด 25.5 Vdc แล้วการเก็บประจุจะเป็นแบบแรงดันคงที่ ช่วงเวลาการเก็บประจุของแบตเตอรี่ใช้เวลา 3 วัน วันละประมาณ 8 ชั่วโมงกระแสที่ใช้เฉลี่ย 1.5 แอมป์ ถ้าแรงดันของแบตเตอรี่ต่ำกว่า 22 Vdc จะตัดวงจรการทำงานของวงจรกำลังทั้งหมด ในส่วนของวงจรกำลังเมื่อต้องการนำไปใช้งานในการต่อมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งใช้คาปาซิเตอร์สตาร์ทขนาด 100 วัตต์ 220 โวลต์ 0.8 แอมป์ ในการยกกระดบแรงดันจะใช้ฟุซ พลุ คอนเวอร์เตอร์ จาก 24 Vdc เป็น 311 Vdc. กระแสขาเข้า 10 แอมป์ ขาออก 1 แอมป์ แต่กระแสขาเข้า นั้นมีขนาดของกระแสไม่เท่ากัน อันเนื่องมาจากฟลักไม่สมมาตร เนื่องจากการพันขดลวดทางด้านปฐมภูมิ การเรียงตัวของขดลวดเรียงตัวยังไม่สม่ำเสมอ เมื่อได้แรงดันไฟฟ้า 311 Vdc แล้วนำมาเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยอินเวอร์เตอร์ สัญญาณที่ได้จากอินเวอร์เตอร์เป็นแบบยูนิโพลาร์ แล้วไปขับมอเตอร์บีมน้ำ แล้วทำการเปรียบเทียบระหว่างแหล่งจ่ายจากการไฟฟ้า กับแหล่งจ่ายจากโครงการจะเห็นว่าประสิทธิภาพจะน้อยกว่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ข้อเสนอแนะ ถ้าต้องการเก็บประจุเร็วขึ้นต้องใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากกว่า 4 แผงเพื่อให้กระแสเก็บประจุสูงขึ้น ในส่วนของการขับมอเตอร์บีมน้ำสามารถพัฒนากำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นและใส่ฟิลเตอร์ในการกรองความถี่เพื่อใช้กับโหลดที่ไม่ใช่มอเตอร์

เอกสารอ้างอิง

Mohan, Undeland, Robbins, POWER ELECTRONICS Converter , Application and Design., John Wiley & sons , 1989

T.R.Crompton , “Battery reference book” , third Edition Newnes , 2000.

กฤษดา วิเศษรัตนนท์ , หลักการทำงานและเทคนิคการใช้งานอินเวอร์เตอร์ , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , กรุงเทพฯ : 2536

วีระเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ธาราธิเศรษฐ์ , อิเล็กทรอนิกส์กำลัง , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , กรุงเทพฯ : 2547

สุวัฒน์ คั่น , เทคนิค และการออกแบบ สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย , บริษัท เอนเทลไทย จำกัด , กรุงเทพฯ : 2537.

สุเทพ เอื้อคณิต และ รื่นเริง พรประดับ , “ เครื่องสูบน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ ” ปริญญาทิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2542.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N-channel enhancement mode TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

GENERAL DESCRIPTION

N-channel enhancement mode standard level field-effect power transistor in a plastic envelope using 'trench' technology. The device features very low on-state resistance and has integral zener diodes giving ESD protection up to 2kV. It is intended for use in switched mode power supplies and general purpose switching applications.

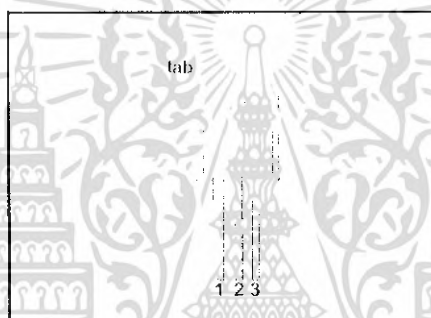
QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	MAX.	UNIT
V_{DS}	Drain-source voltage	55	V
I_D	Drain current (DC)	49	A
P_{tot}	Total power dissipation	110	W
T_j	Junction temperature	175	°C
$R_{DS(ON)}$	Drain-source on-state resistance $V_{GS} = 10\text{ V}$	22	m Ω

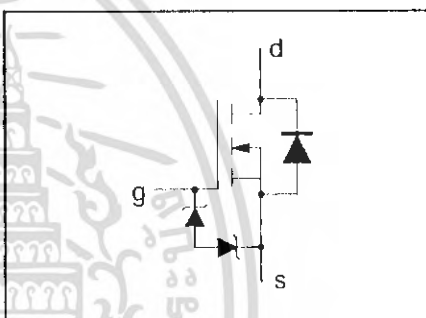
PINNING - TO220AB

PIN	DESCRIPTION
1	gate
2	drain
3	source
tab	drain

PIN CONFIGURATION



SYMBOL



LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{DS}	Drain-source voltage	-	-	55	V
V_{DGR}	Drain-gate voltage	$R_{GS} = 20\text{ k}\Omega$	-	55	V
$\pm V_{GS}$	Gate-source voltage	-	-	20	V
I_D	Drain current (DC)	$T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	49	A
I_D	Drain current (DC)	$T_{mb} = 100\text{ }^\circ\text{C}$	-	35	A
I_{DM}	Drain current (pulse peak value)	$T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	160	A
P_{tot}	Total power dissipation	$T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	110	W
T_{stg}, T_j	Storage & operating temperature	-	- 55	175	°C

ESD LIMITING VALUE

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_C	Electrostatic discharge capacitor voltage, all pins	Human body model (100 pF, 1.5 k Ω)	-	2	kV

THERMAL RESISTANCES

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYP.	MAX.	UNIT
$R_{th(j-mb)}$	Thermal resistance junction to mounting base	-	-	1.4	K/W
$R_{th(j-a)}$	Thermal resistance junction to ambient	in free air	60	-	K/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N-channel enhancement mode TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

STATIC CHARACTERISTICS

 $T_j = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$V_{(BR)DSS}$	Drain-source breakdown voltage	$V_{GS} = 0\text{ V}; I_D = 0.25\text{ mA}; T_j = -55^\circ\text{C}$	55	-	-	V
$V_{GS(TH)}$	Gate threshold voltage	$V_{DS} = V_{GS}; I_D = 1\text{ mA}$	2.0	3.0	4.0	V
		$T_j = 175^\circ\text{C}$	1.0	-	-	V
		$T_j = -55^\circ\text{C}$	-	-	4.4	V
I_{DSS}	Zero gate voltage drain current	$V_{DS} = 55\text{ V}; V_{GS} = 0\text{ V}; T_j = 175^\circ\text{C}$	-	0.05	10	μA
		$T_j = -55^\circ\text{C}$	-	-	500	μA
I_{GSS}	Gate source leakage current	$V_{GS} = \pm 10\text{ V}; V_{DS} = 0\text{ V}; T_j = 175^\circ\text{C}$	-	0.04	1	μA
		$T_j = -55^\circ\text{C}$	-	-	20	μA
$\pm V_{(BR)GSS}$	Gate source breakdown voltage	$I_G = \pm 1\text{ mA}; T_j = 175^\circ\text{C}$	16	-	-	V
$R_{DS(ON)}$	Drain-source on-state resistance	$V_{GS} = 10\text{ V}; I_D = 25\text{ A}; T_j = 175^\circ\text{C}$	-	15	22	$\text{m}\Omega$
			-	-	42	$\text{m}\Omega$

DYNAMIC CHARACTERISTICS

 $T_{mb} = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
g_{fs}	Forward transconductance	$V_{DS} = 25\text{ V}; I_D = 25\text{ A}$	6	-	-	S
C_{iss}	Input capacitance	$V_{GS} = 0\text{ V}; V_{DS} = 25\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	-	1350	1800	pF
C_{oss}	Output capacitance		-	330	400	pF
C_{rss}	Feedback capacitance		-	155	215	pF
Q_g	Total gate charge	$V_{DD} = 44\text{ V}; I_D = 50\text{ A}; V_{GS} = 10\text{ V}$	-	-	62	nC
Q_{gs}	Gate-source charge		-	-	15	nC
Q_{gd}	Gate-drain (miller) charge		-	-	26	nC
$t_{d\text{ on}}$	Turn-on delay time	$V_{DD} = 30\text{ V}; I_D = 25\text{ A}; V_{GS} = 10\text{ V}; R_G = 10\ \Omega$	-	18	26	ns
t_r	Turn-on rise time	Resistive load	-	50	75	ns
$t_{d\text{ off}}$	Turn-off delay time		-	40	50	ns
t_f	Turn-off fall time		-	30	40	ns
L_d	Internal drain inductance	Measured from contact screw on tab to centre of die	-	3.5	-	nH
L_D	Internal drain inductance	Measured from drain lead 6 mm from package to centre of die	-	4.5	-	nH
L_s	Internal source inductance	Measured from source lead 6 mm from package to source bond pad	-	7.5	-	nH

REVERSE DIODE LIMITING VALUES AND CHARACTERISTICS

 $T_j = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I_{DR}	Continuous reverse drain current		-	-	49	A
I_{DRM}	Pulsed reverse drain current		-	-	160	A
V_{SD}	Diode forward voltage	$I_F = 25\text{ A}; V_{GS} = 0\text{ V}$	-	0.95	1.2	V
		$I_F = 40\text{ A}; V_{GS} = 0\text{ V}$	-	1.0	-	V
t_{rr}	Reverse recovery time	$I_F = 40\text{ A}; -dI_F/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}; V_{GS} = -10\text{ V}; V_R = 30\text{ V}$	-	47	-	ns
Q_{rr}	Reverse recovery charge		-	0.15	-	μC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N-channel enhancement mode
TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

AVALANCHE LIMITING VALUE

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
W_{DSS}	Drain-source non-repetitive unclamped inductive turn-off energy	$I_D = 45\text{ A}; V_{DD} \leq 25\text{ V};$ $V_{GS} = 10\text{ V}; R_{GS} = 50\ \Omega; T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	-	110	mJ

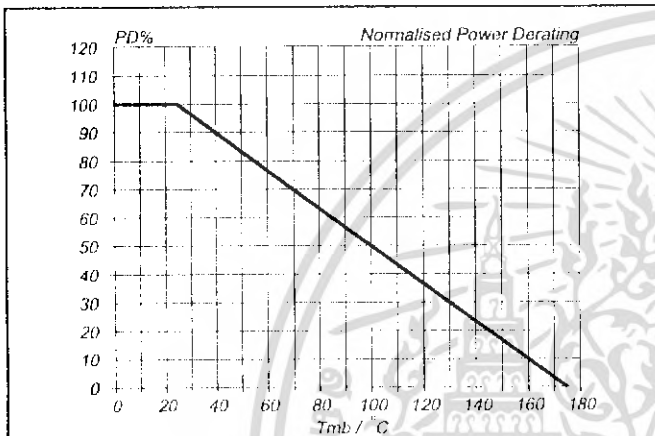


Fig. 1. Normalised power dissipation.
 $PD\% = 100 \cdot P_D / P_{D,25\text{ }^\circ\text{C}} = f(T_{mb})$

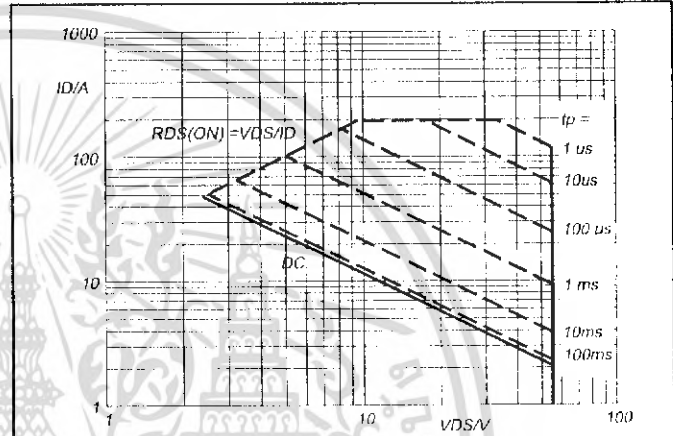


Fig. 3. Safe operating area. $T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$
 I_D & $I_{DM} = f(V_{DS}); I_{DM}$ single pulse; parameter t_p

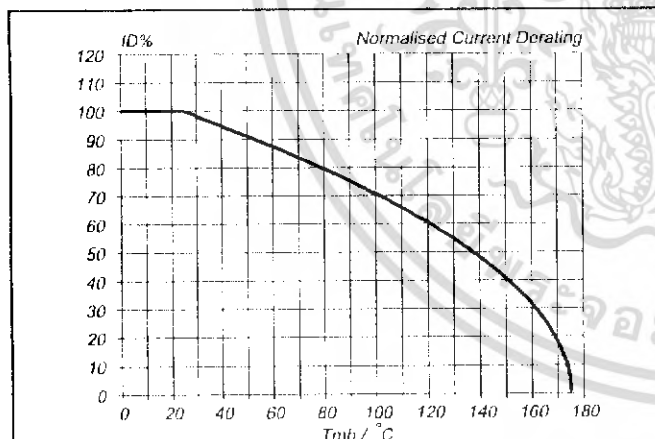


Fig. 2. Normalised continuous drain current.
 $ID\% = 100 \cdot I_D / I_{D,25\text{ }^\circ\text{C}} = f(T_{mb});$ conditions: $V_{GS} \geq 10\text{ V}$

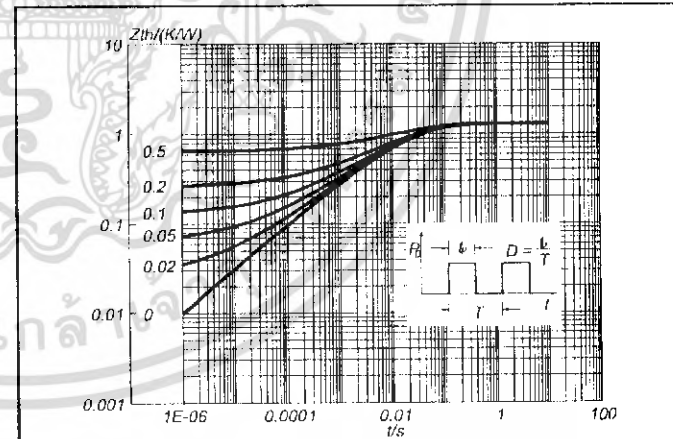


Fig. 4. Transient thermal impedance.
 $Z_{thj-mb} = f(t);$ parameter $D = t_p / T$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N-channel enhancement mode
TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

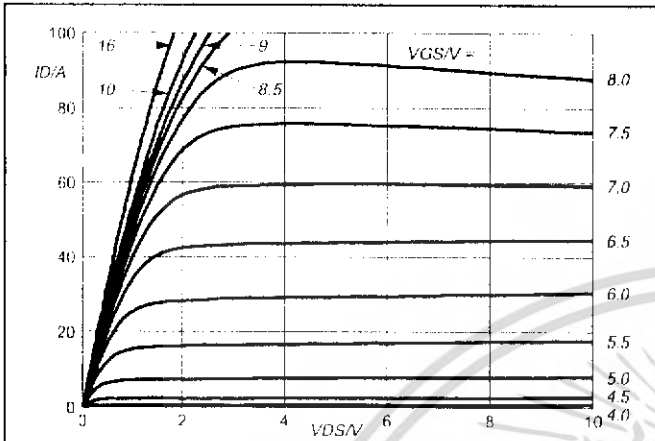


Fig. 5. Typical output characteristics, $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$.
 $I_D = f(V_{DS})$; parameter V_{GS}

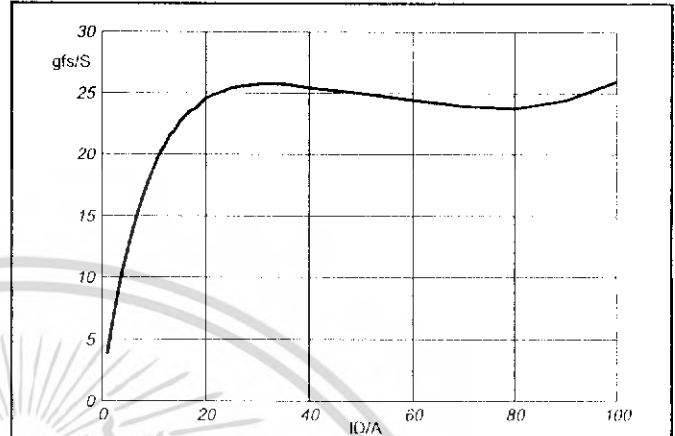


Fig. 8. Typical transconductance, $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$.
 $g_{fs} = f(I_D)$; conditions: $V_{DS} = 25\text{ V}$

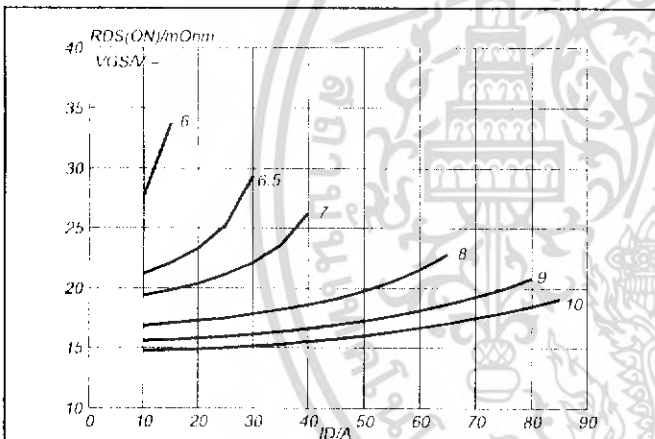


Fig. 6. Typical on-state resistance, $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$.
 $R_{DS(ON)} = f(I_D)$; parameter V_{GS}

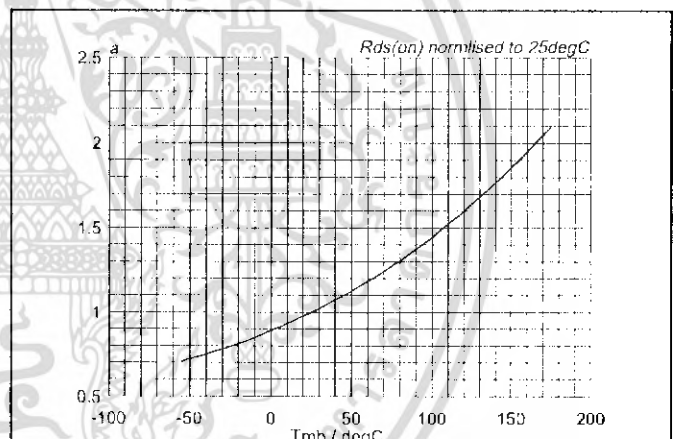


Fig. 9. Normalised drain-source on-state resistance.
 $a = R_{DS(ON)}/R_{DS(ON)25\text{ }^\circ\text{C}} = f(T_j)$; $I_D = 25\text{ A}$; $V_{GS} = 10\text{ V}$

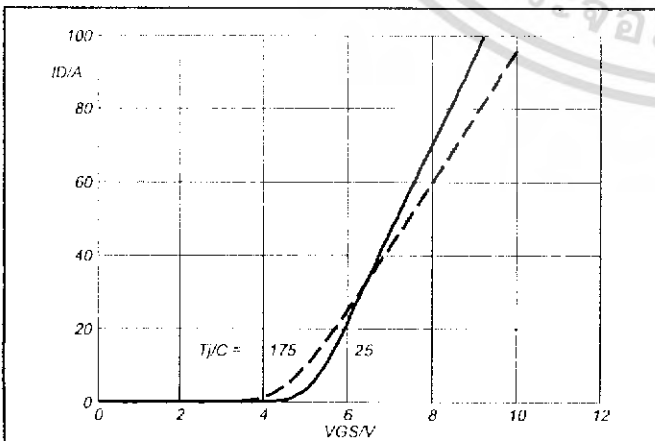


Fig. 7. Typical transfer characteristics.
 $I_D = f(V_{GS})$; conditions: $V_{DS} = 25\text{ V}$; parameter T_j

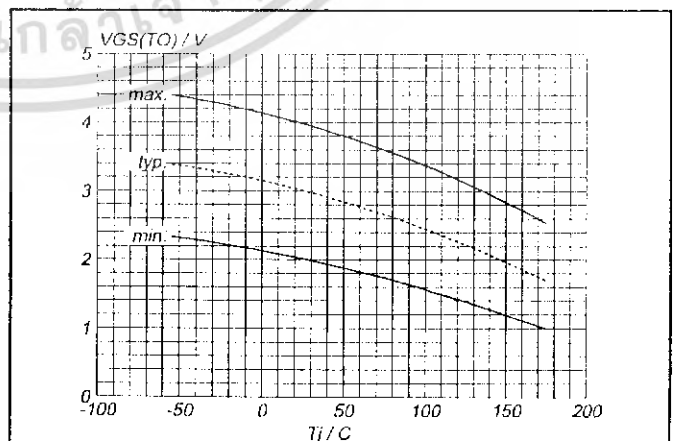


Fig. 10. Gate threshold voltage.
 $V_{GS(T0)} = f(T_j)$; conditions: $I_D = 1\text{ mA}$; $V_{DS} = V_{GS}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N-channel enhancement mode
TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

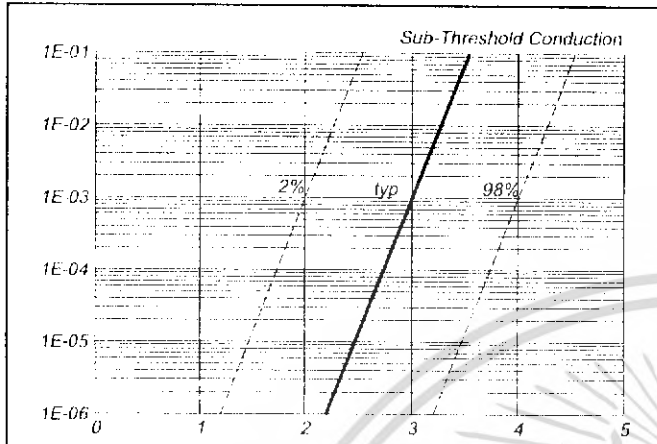


Fig. 11. Sub-threshold drain current.
 $I_D = f(V_{GS})$; conditions: $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$; $V_{DS} = V_{GS}$

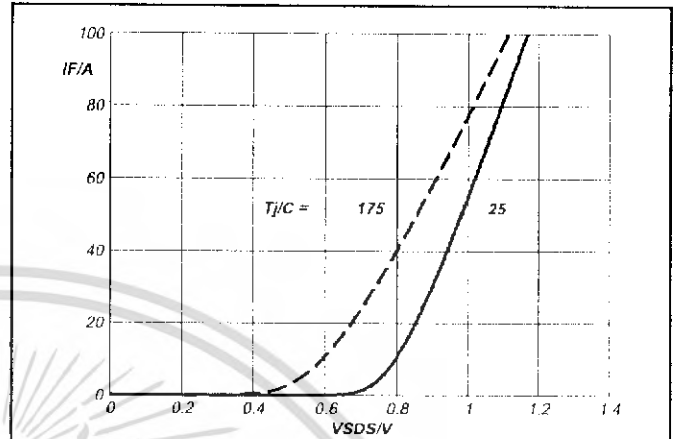


Fig. 14. Typical reverse diode current.
 $I_F = f(V_{DS})$; conditions: $V_{GS} = 0\text{ V}$; parameter T_J

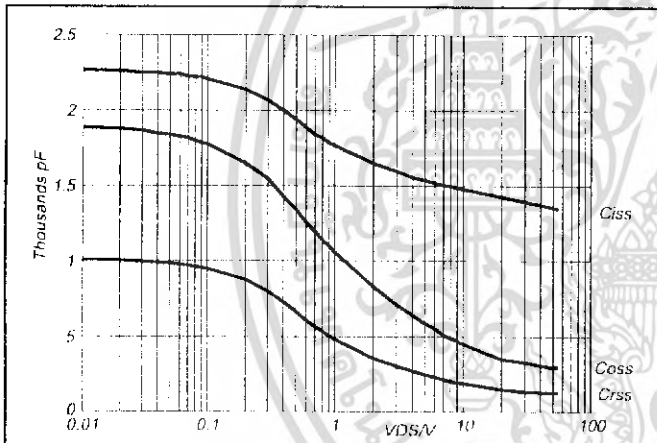


Fig. 12. Typical capacitances, C_{iss} , C_{oss} , C_{rss} .
 $C = f(V_{DS})$; conditions: $V_{GS} = 0\text{ V}$; $f = 1\text{ MHz}$

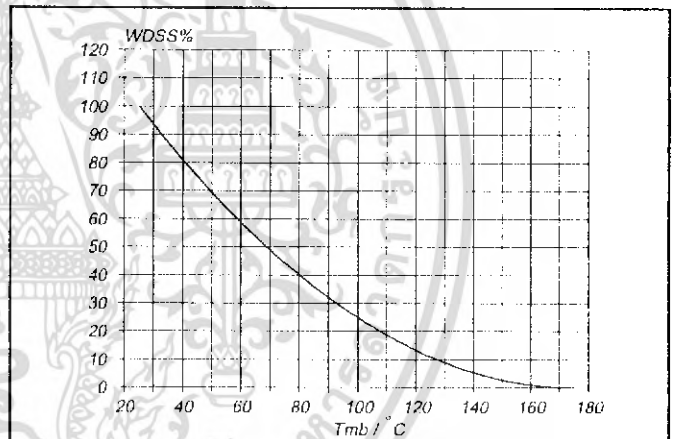


Fig. 15. Normalised avalanche energy rating.
 $W_{DSS} \% = f(T_{mj})$; conditions: $I_D = 49\text{ A}$

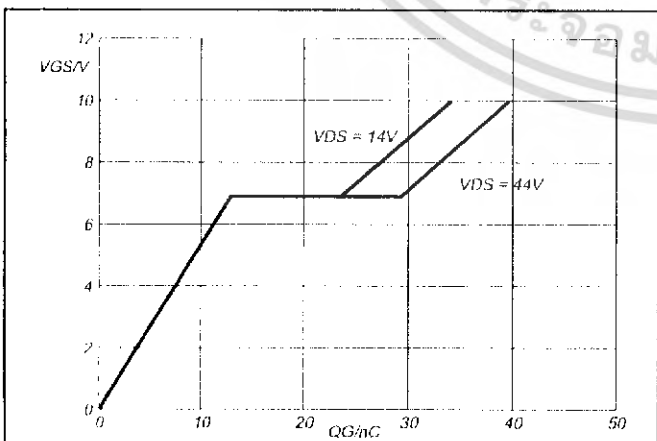


Fig. 13. Typical turn-on gate-charge characteristics.
 $V_{GS} = f(Q_G)$; conditions: $I_D = 50\text{ A}$; parameter V_{DS}

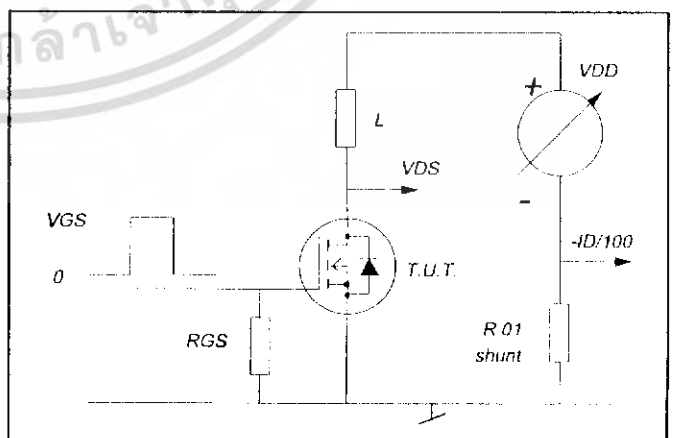


Fig. 16. Avalanche energy test circuit.
 $W_{DSS} = 0.5 \cdot L I_D^2 \cdot BV_{DSS} / (BV_{DSS} - V_{DD})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Intelligent Power Module and Gate Drive Interface Optocouplers

Technical Data

HCPL-4506
HCPL-J456
HCPL-0466
HCNW4506

Features

- Performance Specified for Common IPM Applications over Industrial Temperature Range: -40°C to 100°C
- Fast Maximum Propagation Delays
 $t_{PHL} = 480 \text{ ns}$
 $t_{PLH} = 550 \text{ ns}$
- Minimized Pulse Width Distortion
 $PWD = 450 \text{ ns}$
- 15 kV/μs Minimum Common Mode Transient Immunity at $V_{CM} = 1500 \text{ V}$
- $CTR > 44\%$ at $I_F = 10 \text{ mA}$
- Safety Approval UL Recognized
 -2500 V rms / 1 min. for HCPL-4506/0466
 -3750 V rms / 1 min. for HCPL-J456
 -5000 V rms / 1 min. for HCPL-4506 Option 020 and HCNW4506

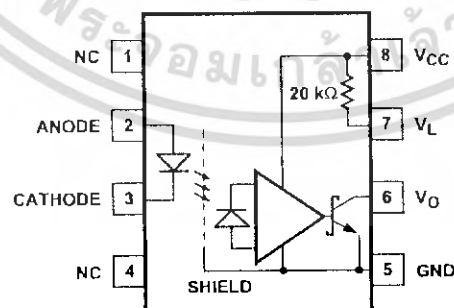
CSA Approved
BSI Certified (HCNW4506)

VDE0884 Approved
 $-V_{IORM} = 560 \text{ Vpeak}$ for HCPL-0466 Option 060
 $-V_{IORM} = 630 \text{ Vpeak}$ for HCPL-4506 Option 060
 $-V_{IORM} = 891 \text{ Vpeak}$ for HCPL-J456
 $-V_{IORM} = 1414 \text{ Vpeak}$ for HCNW4506

Applications

- IPM Isolation
- Isolated IGBT/MOSFET Gate Drive
- AC and Brushless DC Motor Drives
- Industrial Inverters

Functional Diagram



Truth Table

LED	V_O
ON	L
OFF	H

The connection of a 0.1 μF bypass capacitor between pins 5 and 8 is recommended.

CAUTION: It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of this component to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Description

The HCPL-4506 and HCPL-0466 contain a GaAsP LED while the HCPL-J456 and the HCNW4506 contain an AlGaAs LED. The LED is optically coupled to an integrated high gain photo detector. Minimized propagation delay

difference between devices makes these optocouplers excellent solutions for improving inverter efficiency through reduced switching dead time.

An on chip 20 k Ω output pull-up resistor can be enabled by

shorting output pins 6 and 7, thus eliminating the need for an external pull-up resistor in common IPM applications. Specifications and performance plots are given for typical IPM applications.

Selection Guide

Package Type	Standard 8-Pin DIP (300 Mil)	White Mold 8-Pin DIP (300 Mil)	Small Outline SO8	Widebody (400 Mil)	Hermetic*
Part Number	HCPL-4506	HCPL-J456	HCPL-0466	HCNW4506	HCPL-5300 HCPL-5301
VDE0884 Approval	V _{IORM} = 630 V _{peak} (Option 060)	V _{IORM} = 891 V _{peak}	V _{IORM} = 560 V _{peak} (Option 060)	V _{IORM} = 1414 V _{peak}	—

*Technical data for these products are on separate IIP publications.

Ordering Information

Specify Part Number followed by Option Number (if desired).

Example:

HCPL-4506#XXX

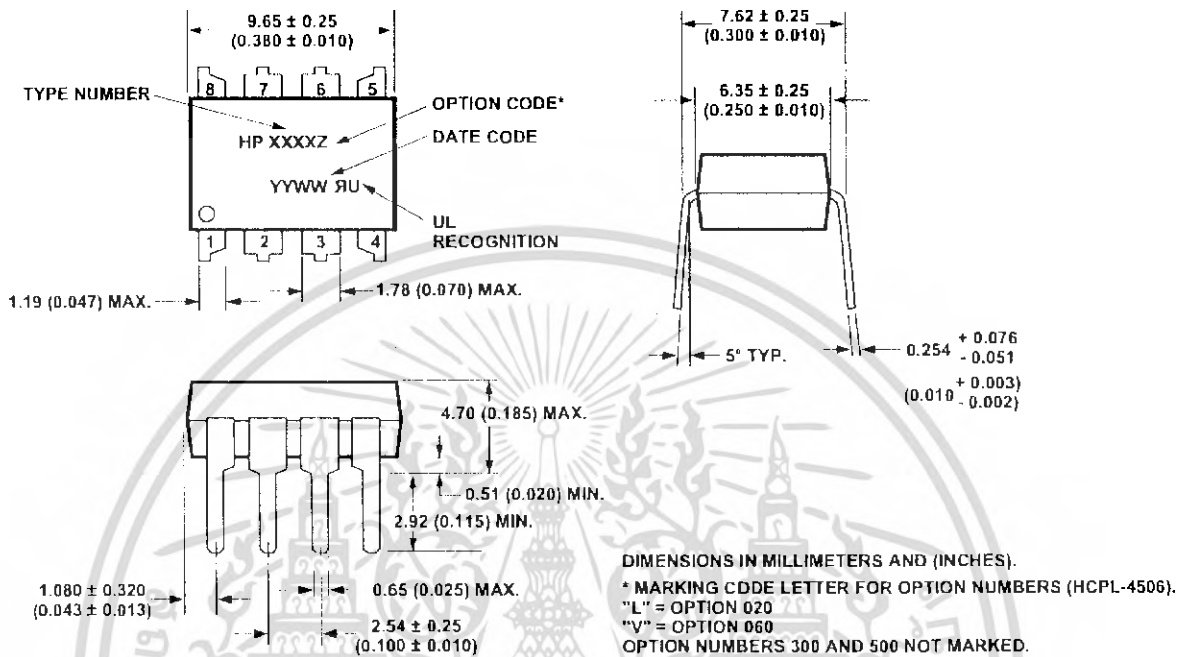
- 020 = UL 5000 V rms/1 minute Option** for HCPL-4506 Only.
- 060 = VDE0884 Option** for HCPL-4506/0466.
- 300 = Gull Wing Lead Option for HCPL-4506/J456, HCNW4506.
- 500 = Tape and Reel Packaging Option

Option data sheets are available. Contact Hewlett-Packard sales representative or authorized distributor for information.

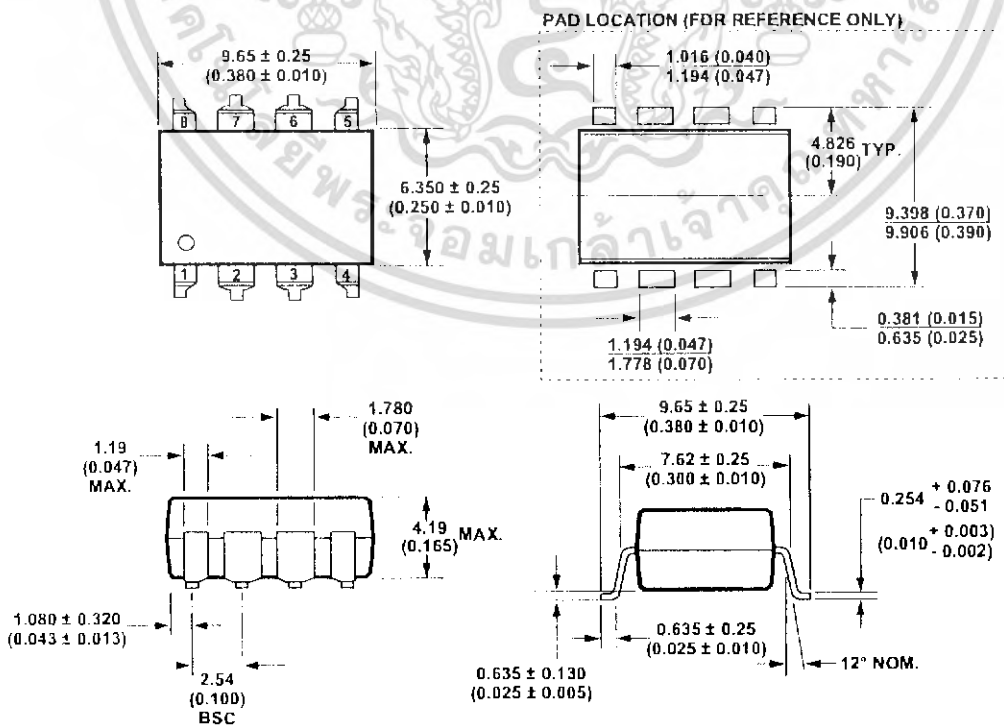
**Combination of Option 020 and Option 060 is not available.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Outline Drawings HCPL-4506 and HCPL-J456 Outline Drawing

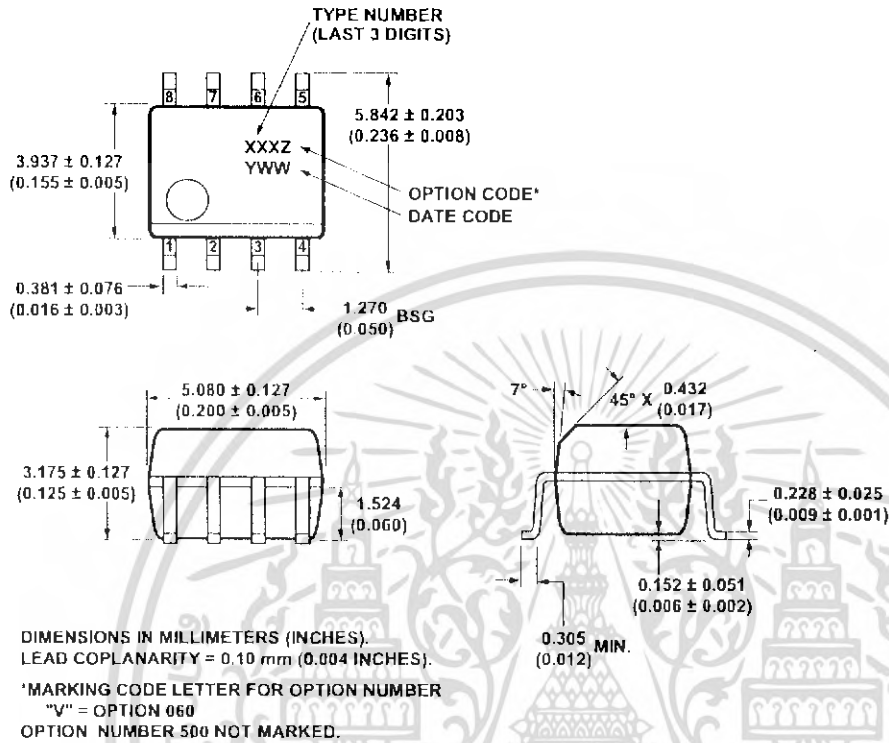


HCPL-4506 and HCPL-J456 Gull Wing Surface Mount Option 300 Outline Drawing

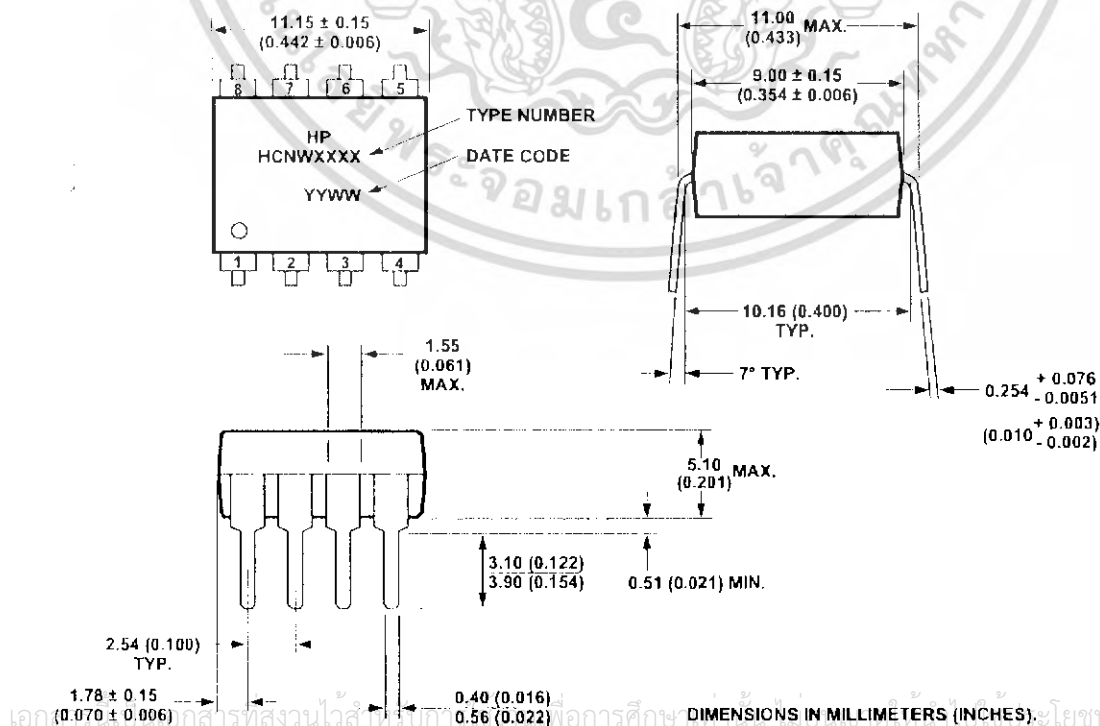


เอกสารนี้เป็นเอกสาร LEAD COPLANARITY = 0.10 mm (0.004 INCHES) ปรึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HCPL-0466 Outline Drawing (8-Pin Small Outline Package)

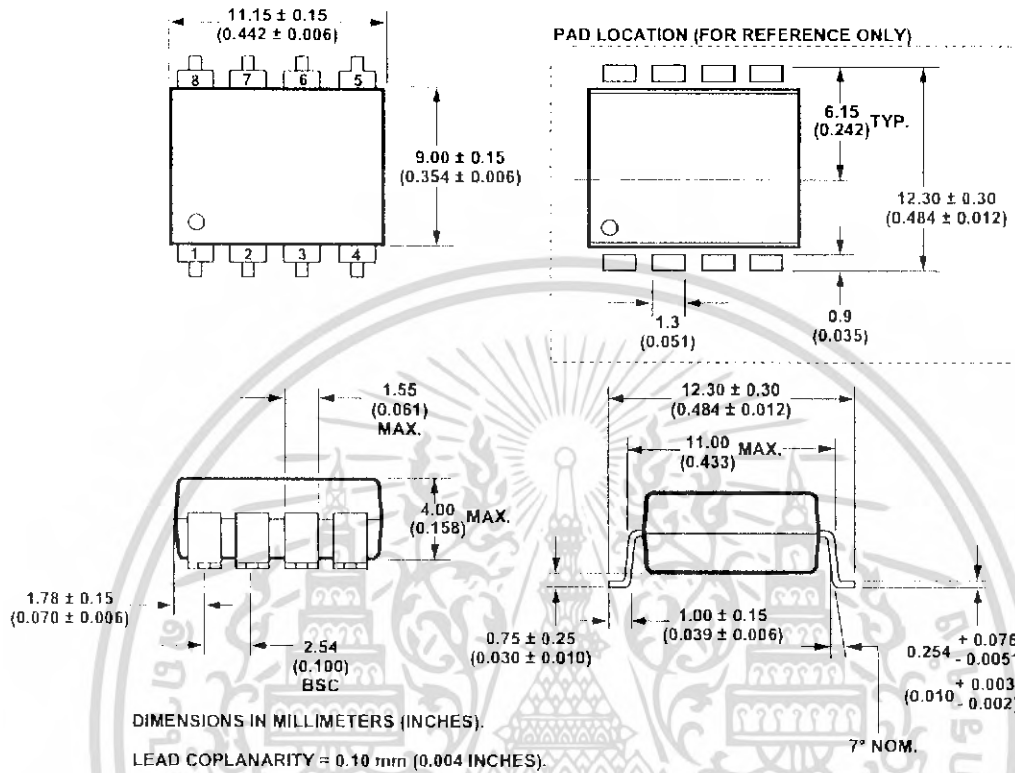


HCNW4506 Outline Drawing (8-Pin Widebody Package)

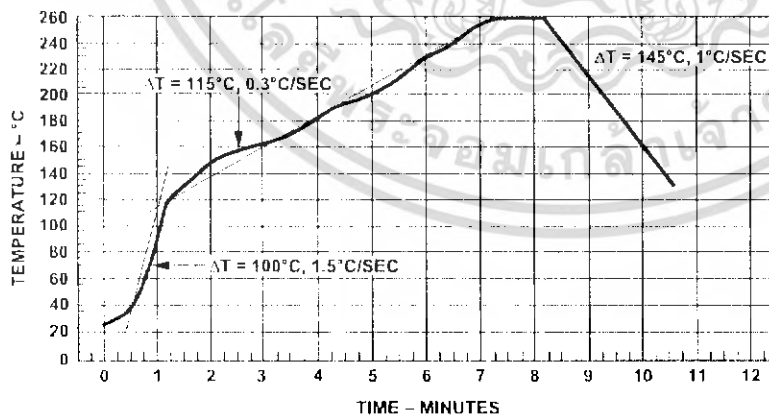


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาระดับปริญญาโทเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IICNW4506 Gull Wing Surface Mount Option 300 Outline Drawing



Solder Reflow Temperature Profile



Note: Use of nonchlorine activated fluxes is recommended.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLP250(INV)

TRANSISTOR INVERTER
 INVERTERS FOR AIR CONDITIONER
 IGBT GATE DRIVE
 POWER MOS FET GATE DRIVE

The TOSHIBA TLP250(INV) consists of a GaAIAs light emitting diode and a integrated photodetector.

This unit is 8-lead DIP.

TLP250(INV) 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}) : $10\sim 35\text{V}$
- Output Current(I_O) : $\pm 2.0\text{A}(\text{MAX})$
- Switching Time(t_{pLH}/t_{pHL}) : $0.5\mu\text{s}(\text{MAX})$
- Isolation Voltage : $2500\text{V}_{\text{rms}}$
- UL Recognized : UL1577,File No.E67349
- Option(D4)

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,

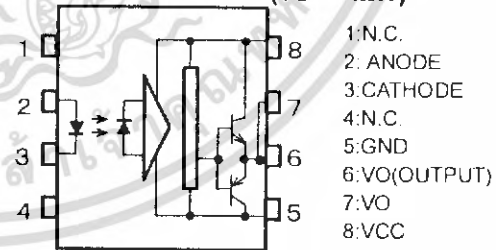
Please designate the "Option(D4)"

- Creepage Distance : $6.4\text{mm}(\text{MIN})$
- Clearance : $6.4\text{mm}(\text{MIN})$

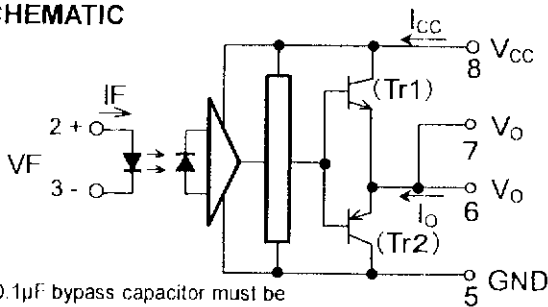
TRUTH TABLE

		Tr 1	Tr 2
INPUT LED	ON	ON	OFF
	OFF	OFF	ON

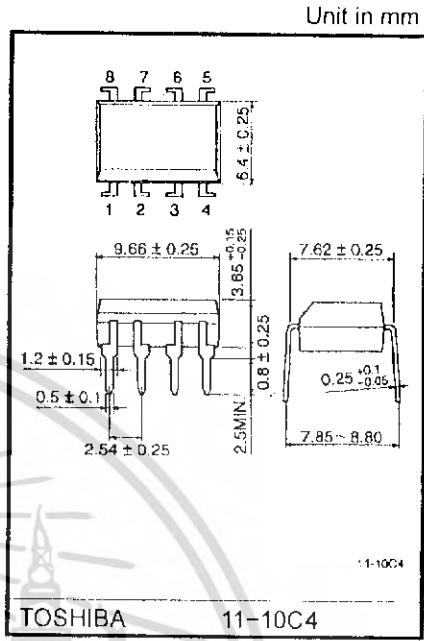
PIN CONFIGURATION(TOP VIEW)



SCHEMATIC



A 0.1 μF bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5(See Note 5).



Weight: 0.54 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIMUM RATINGS (Ta=25°C)

CHARACTERISTIC			SYMBOL	RATING	UNIT	
LED	Forward Current		I_F	20	mA	
	Forward Current Derating (Ta≥70°C)		$\Delta I_F / \Delta T_a$	-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	PW ≤ 2.5μs, f ≤ 15 kHz	(Note 2)	I_{OPH}	-1.5	A
		PW ≤ 1.0μs, f ≤ 15 kHz			-2.0	
	"L" Peak Output Current	PW ≤ 2.5μs, f ≤ 15 kHz		I_{OPL}	+1.5	A
		PW ≤ 1.0μs, f ≤ 15 kHz			+2.0	
	Output Voltage		(Ta ≤ 70°C)	V_O	35	V
			(Ta = 85°C)		24	
	Supply Voltage		(Ta ≤ 70°C)	V_{CC}	35	V
			(Ta = 85°C)		24	
	Output Voltage Derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta V_O / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
	Supply Voltage Derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta V_{CC} / \Delta T_a$	-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(10s)		T_{sol}	260	°C		
Isolation Voltage (AC, 1min., R.H. ≤ 60%, Ta=25°C) (Note 4)		BV_S	2500	Vrms		

(Note 1) : Pulse width PW ≤ 1μs, 300pps

(Note 2) : Exponential Waveform

(Note 3) : Exponential Waveform $I_{OPH} \leq -1.0A$ (≤ 2.5μs), $I_{OPL} \leq +1.0A$ (≤ 2.5μs)

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

(Note 5) : 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	$I_{F(ON)}$	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = -20~70°C, Unless otherwise specified)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION	MIN	TYP.	MAX	UNIT
Input Forward Voltage		V_F	—	$I_F = 10 \text{ mA}$, $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	1.6	1.8	V
Temperature Coefficient of Forward Voltage		$\Delta V_F / \Delta T_a$	—	$I_F = 10 \text{ mA}$	—	-2.0	—	mV/°C
Input Reverse Current		I_R	—	$V_R = 5 \text{ V}$, $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	—	10	μA
Input Capacitance		C_T	—	$V = 0$, $f = 1 \text{ MHz}$, $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	45	250	pF
Output Current	"H" Level	I_{OHH}	2	$V_{CC} = 30 \text{ V}$ (*1)	$I_F = 10 \text{ mA}$ $V_{8-5} = 4 \text{ V}$	-1.0	-1.5	—
	"L" Level	I_{OPL}	1		$I_F = 0$ $V_{5-3} = 2.5 \text{ V}$	1.0	2	—
Output Voltage	"H" Level	V_{OH}	3	$V_{CC1} = +15 \text{ V}$ $V_{EE1} = -15 \text{ V}$ $R_L = 200\Omega$, $I_F = 5 \text{ mA}$	11	12.8	—	
	"L" Level	V_{OL}	4	$V_{CC1} = +15 \text{ V}$ $V_{EE1} = -15 \text{ V}$ $R_L = 200\Omega$, $V_F = 0.8 \text{ V}$	—	-14.2	-12.5	
Supply Current	"H" Level	I_{CCH}	—	$V_{CC} = 30 \text{ V}$	$I_F = 10 \text{ mA}$ $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	7	—
					$I_F = 10 \text{ mA}$	—	—	11
	"L" Level	I_{CCL}			$I_F = 0 \text{ mA}$ $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	7.5	—
					$I_F = 0 \text{ mA}$	—	—	11
Threshold Input Current	L→H	I_{IHH}	—	$V_{CC1} = +15 \text{ V}$ $V_{EE1} = -15 \text{ V}$ $R_L = 200\Omega$, $V_O > 0 \text{ V}$	—	1.2	5	
Threshold Input Voltage	H→L	V_{FHL}	—	$V_{CC1} = +15 \text{ V}$ $V_{EE1} = -15 \text{ V}$ $R_L = 200\Omega$, $V_O < 0 \text{ V}$	0.8	—	—	
Supply Voltage		V_{CC}	—	—	10	—	35	V
Capacitance (Input-Output)		C_S	—	$V_S = 0$, $f = 1 \text{ MHz}$, $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	1.0	2.0	pF
Resistance (Input-Output)		R_S	—	$V_S = 500 \text{ V}$, $T_a = 25^\circ\text{C}$ $R.H. \leq 60\%$	1×10^{12}	10^{14}	—	Ω

(*): All typical values are at $T_a = 25^\circ\text{C}$

(*1): Duration of IO time $\leq 50\mu\text{s}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SWITCHING CHARACTERISTICS (Ta = -20~70°C, Unless otherwise specified)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION	MIN	TYP.	MAX	UNIT		
Propagation Delay Time	L → H	t_{pLH}	5	$I_F = 8 \text{ mA}$, $V_{CC} = 15 \text{ V}$ $R_L = 20 \Omega$, $C_L = 10 \text{ nF}$	0.05	0.15	0.5	μs		
	H → L	t_{pHL}			0.05	0.15	0.5			
Switching Time Dispersion between ON and OFF		$ t_{pHL} - t_{pLH} $			—	—	0.45			
Output Rise Time		t_r			—	—	—			
Output Fall Time		t_f			—	—	—			
Common Mode Transient Immunity at High Level Output		CM_H	6	$V_{CM} = 1000 \text{ V}$, $I_F = 8 \text{ mA}$ $V_{CC} = 30 \text{ V}$, $T_a = 25^\circ\text{C}$	-15000	—	—	$\text{V}/\mu\text{s}$		
Common Mode Transient Immunity at Low Level Output		CM_L			15000	—	—	$\text{V}/\mu\text{s}$		

Fig.1 I_{OPL} TEST CIRCUIT

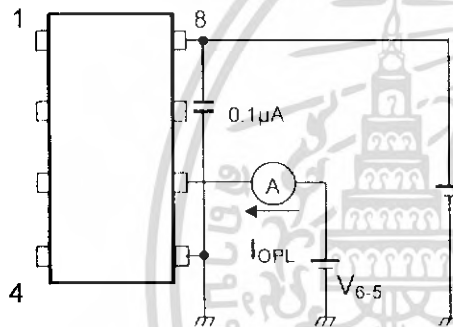


Fig.2 I_{OPH} TEST CIRCUIT

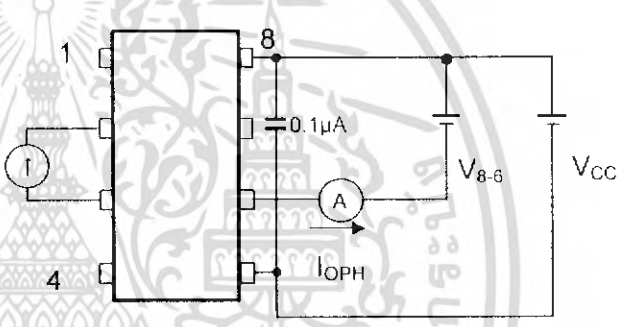


Fig.3 V_{OH} TEST CIRCUIT

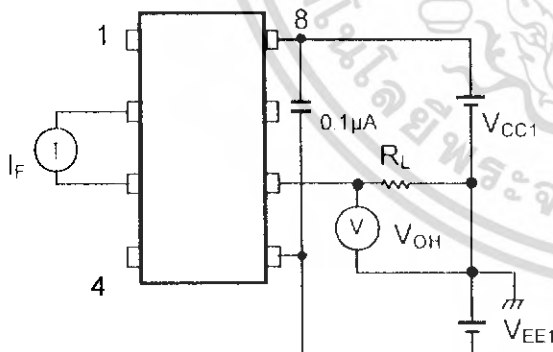
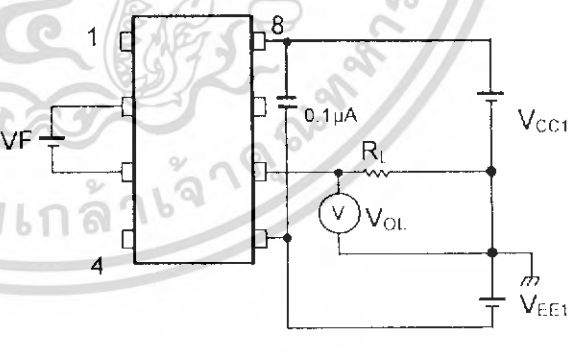


Fig.4 V_{OL} TEST CIRCUIT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig.5 tpLH, tpHL, tr, tf TEST CIRCUIT

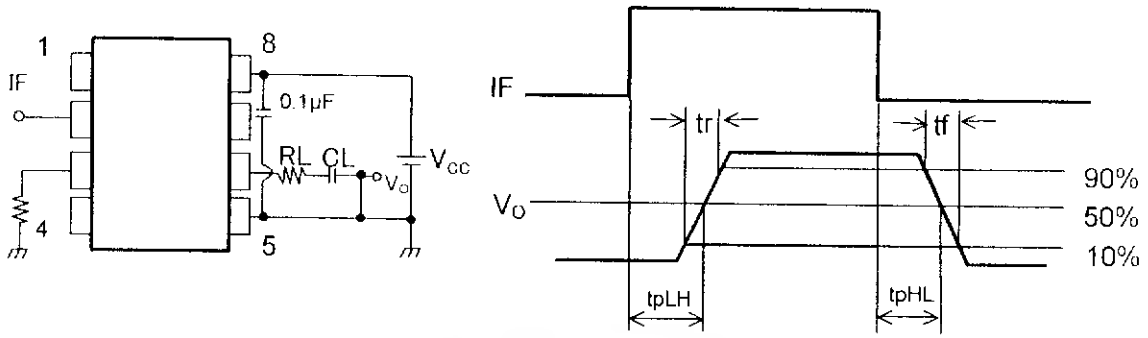
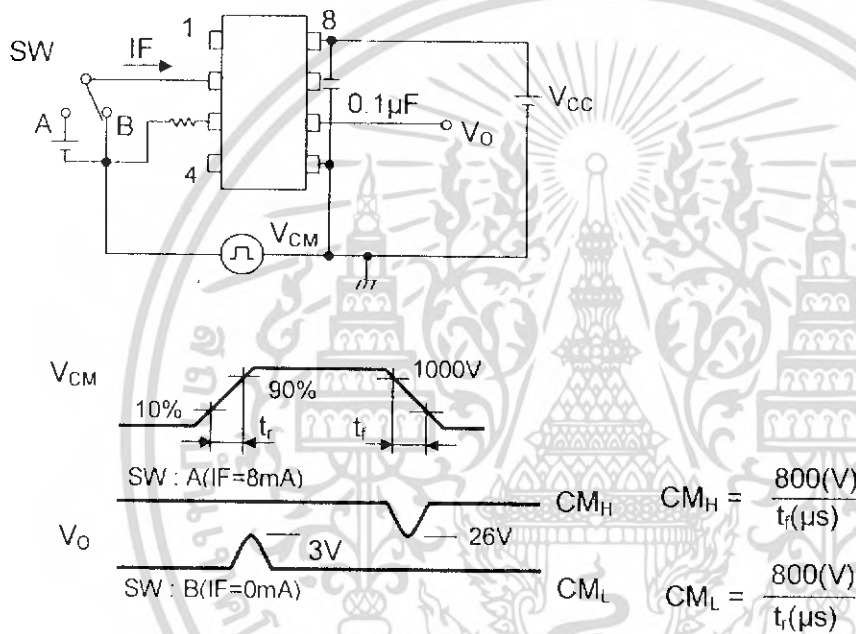


Fig.6 CM_H, CM_L TEST CIRCUIT



CM_L(CM_H) 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RESTRICTIONS ON PRODUCT USE

000707EBC

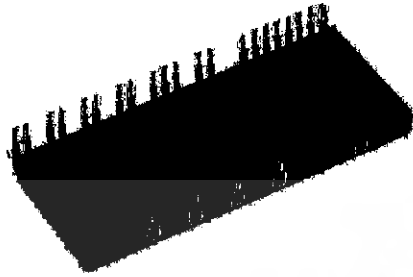
- TOSHIBA is continually working to improve the quality and reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to comply with the standards of safety in making a safe design for the entire system, and to avoid situations in which a malfunction or failure of such TOSHIBA products could cause loss of human life, bodily injury or damage to property.
In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent TOSHIBA products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the "Handling Guide for Semiconductor Devices," or "TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook" etc..
- The TOSHIBA products listed in this document are intended for usage in general electronics applications (computer, personal equipment, office equipment, measuring equipment, industrial robotics, domestic appliances, etc.). These TOSHIBA products are neither intended nor warranted for usage in equipment that requires extraordinarily high quality and/or reliability or a malfunction or failure of which may cause loss of human life or bodily injury ("Unintended Usage"). Unintended Usage include atomic energy control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, combustion control instruments, medical instruments, all types of safety devices, etc.. Unintended Usage of TOSHIBA products listed in this document shall be made at the customer's own risk.
- Gallium arsenide (GaAs) is a substance used in the products described in this document. GaAs dust and fumes are toxic. Do not break, cut or pulverize the product, or use chemicals to dissolve them. When disposing of the products, follow the appropriate regulations. Do not dispose of the products with other industrial waste or with domestic garbage.
- The products described in this document are subject to the foreign exchange and foreign trade laws.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringements of intellectual property or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.
- The information contained herein is subject to change without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PS21204

TRANSFER-MOLD TYPE
INSULATED TYPE

PS21204



INTEGRATED POWER FUNCTIONS

600V/15A low-loss 3rd generation IGBT inverter bridge for 3 phase DC-to-AC power conversion (Fig. 2)

Application Motor Ratings : Power : 0.75kW, sinusoidal, PWM
Frequency=5kHz

100% load current : 5.0A (rms)*

150% load current : 7.5A (rms)*,
1 minute

*(Note) : The motor current is assumed to be sinusoidal and the peak current value is defined as : $I_o \times \sqrt{2}$

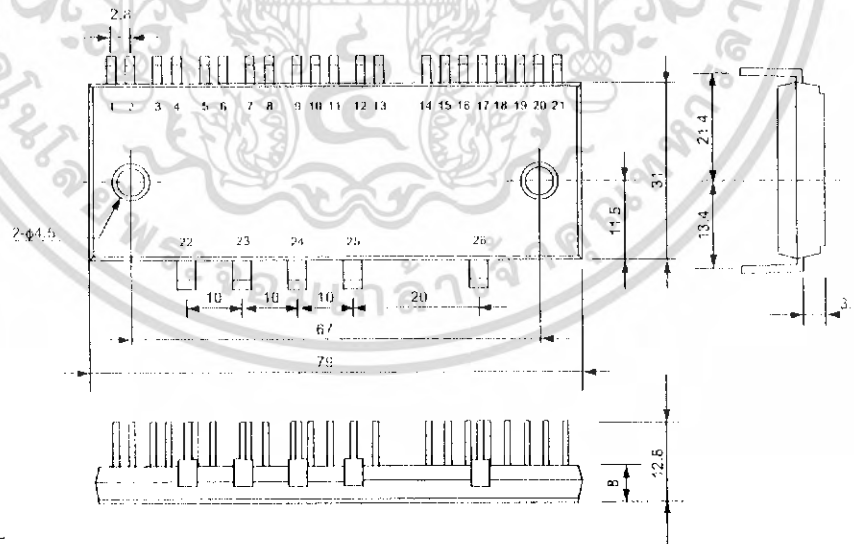
INTEGRATED DRIVE, PROTECTION AND SYSTEM CONTROL FUNCTIONS

- For upper-leg IGBT's : Drive circuit, High voltage isolated high-speed level shifting, Control circuit under-voltage (UV) protection.
Note : Bootstrap supply scheme can be applied (Fig. 2).
- For lower-leg IGBT's : Drive circuit, Control circuit under-voltage protection (UV), Short circuit protection (SC). (Fig. 3)
- Fault signaling : Corresponding to a SC fault (Low side IGBT) or a UV fault (Low-side supply).
- Input interface : 5V line CMOS/TTL compatible, Schmitt Trigger receiver circuit.

APPLICATION

AC100V~200V three-phase inverter drive for small power (0.75 kW) motor control.

Fig. 1 PACKAGE OUTLINES



TERMINALS CODE

1. UP	4. VUFS	7. VVFB	10. VP1	13. VWFS	16. CIN	19. UN	22. P	25. W
2. VP1	5. VP	8. VVFS	11. VPC	14. VN1	17. CFO	20. VN	23. U	26. N
3. VUFB	6. VP1	9. WP	12. VWFB	15. VNC	18. Fo	21. WN	24. V	

Fig. 2 INTERNAL FUNCTIONS BLOCK DIAGRAM (TYPICAL APPLICATION EXAMPLE)

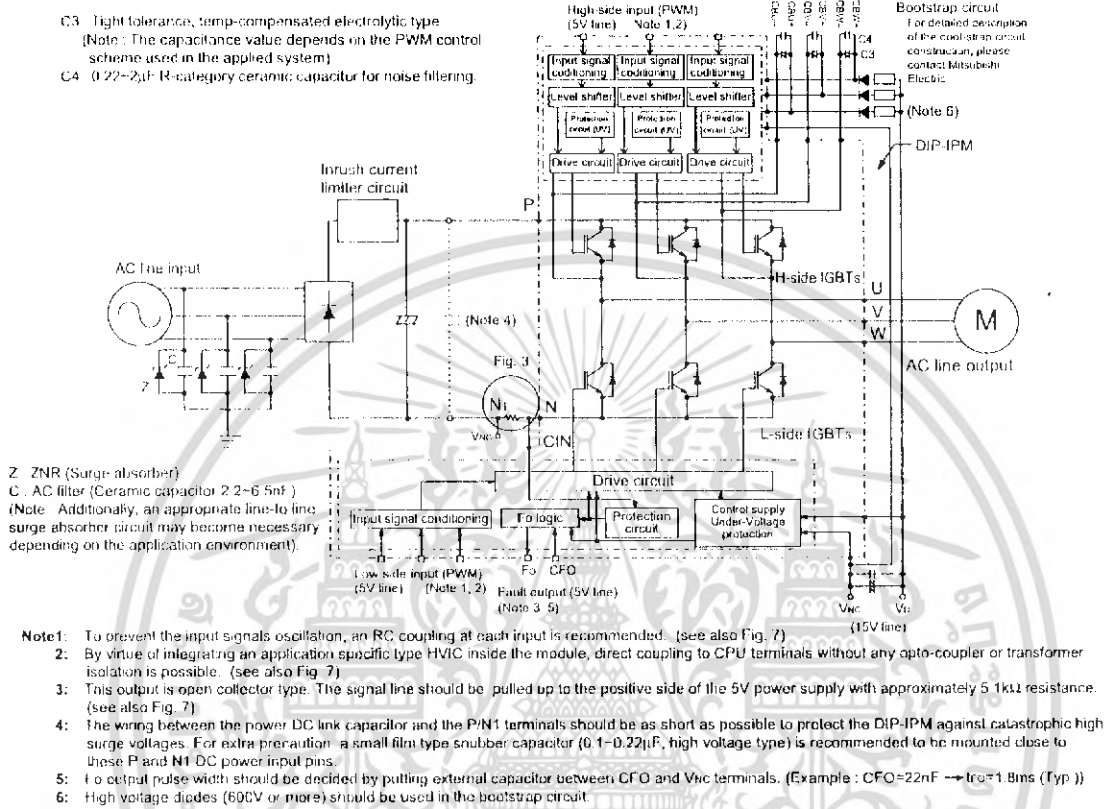
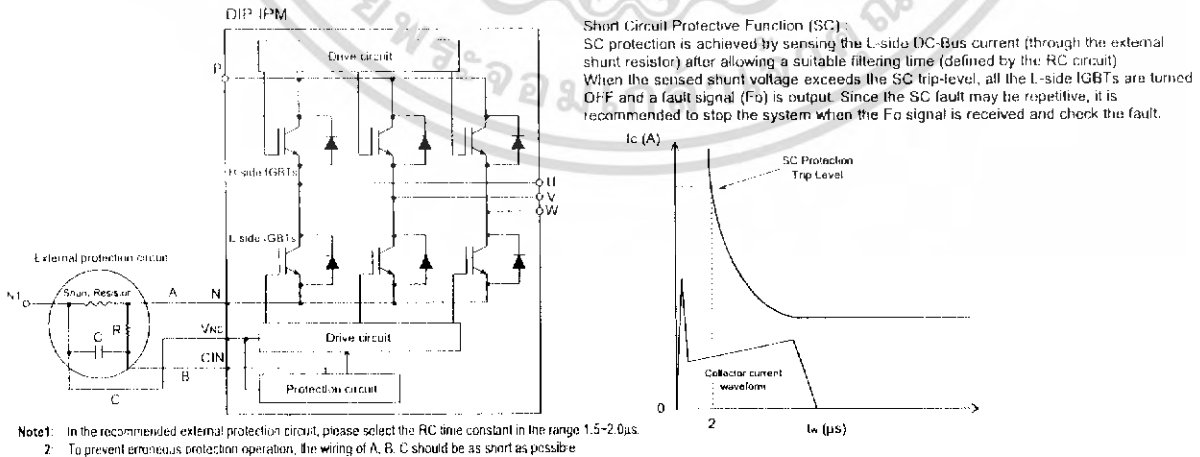


Fig. 3 EXTERNAL PART OF THE DIP-IPM PROTECTION CIRCUIT



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

INVERTER PART

Symbol	Parameter	Condition	Ratings	Unit
V _{CC}	Supply voltage	Applied between P-N	450	V
V _{CC(surge)}	Supply voltage (surge)	Applied between P-N	500	V
V _{CES}	Collector-emitter voltage		600	V
±I _C	Each IGBT collector current	T _c = 25°C	15	A
±I _{CP}	Each IGBT collector current (peak)	T _c = 25°C, instantaneous value (pulse)	30	A
P _C	Collector dissipation	T _c = 25°C, per 1 chip	43	W
T _j	Junction temperature	(Note 1)	-20~+150	°C

Note 1 : The maximum junction temperature rating of the power chips integrated within the DIP-IPM is 150°C (@ T_c ≤ 100°C) however, to insure safe operation of the DIP-IPM, the average junction temperature should be limited to T_{j(ave)} ≤ 125°C (@ T_c ≤ 100°C).

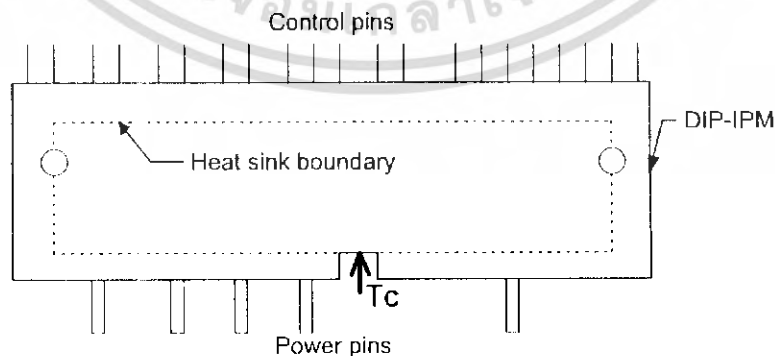
CONTROL (PROTECTION) PART

Symbol	Parameter	Condition	Ratings	Unit
V _D	Control supply voltage	Applied between V _{P1} -V _{PC} , V _{N1} -V _{NC}	20	V
V _{DB}	Control supply voltage	Applied between V _{UFB} -V _{UFS} , V _{WFB} -V _{WFS} , V _{WFB} -V _{WFS}	20	V
V _{CIN}	Input voltage	Applied between U _P , V _P , W _P -V _{PC} , U _N , V _N , W _N -V _{NC}	-0.5~+5.5	V
V _{FO}	Fault output supply voltage	Applied between F _O -V _{NC}	-0.5~V _D +0.5	V
I _{FO}	Fault output current	Sink current at F _O terminal	15	mA
V _{SC}	Current sensing input voltage	Applied between C _{IN} -V _{NC}	-0.5~V _D +0.5	V

TOTAL SYSTEM

Symbol	Parameter	Condition	Ratings	Unit
V _{CC(prot)}	Self protection supply voltage limit (short circuit protection capability)	V _D = V _{DB} = 13.5-16.5V, Inverter part T _j = 125°C, non-repetitive, less than 2 μs	400	V
T _C	Module case operation temperature	(Note 2)	-20~+100	°C
T _{stg}	Storage temperature		-40~+125	°C
V _{iso}	Isolation voltage	60Hz, Sinusoidal, AC 1 minute, connection pins to heat-sink plate	1500	V _{rms}

Note 2 : T_c MEASUREMENT POINT



THERMAL RESISTANCE

Symbol	Parameter	Condition	Limits			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
R _{th(j-c)}	Junction to case thermal resistance	Inverter IGBT part (per 1/6 module)	—	—	2.85	°C/W
R _{th(j-f)}		Inverter FWDi part (per 1/6 module)	—	—	4.5	
R _{th(c-f)}	Contact thermal resistance	Case to fin, (per 1 module) thermal grease applied	—	—	0.067	

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_j = 25°C, unless otherwise noted)

INVERTER PART

Symbol	Parameter	Condition	Limits			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
V _{CE(sat)}	Collector-emitter saturation voltage	V _D = V _{DB} = 15V V _{CIN} = 0V I _c = 15A, T _j = 25°C	—	1.8	—	V
		I _c = 15A, T _j = 125°C	—	2.0	—	
V _{FE}	FWDi forward voltage	T _j = 25°C, -I _c = 15A, V _{CIN} = 5V	—	2.2	—	V
t _{on}	Switching times	V _{CC} = 300V, V _D = V _{DB} = 15V I _c = 15A, T _j = 125°C, V _{CIN} = 5V → 0V Inductive load (upper-lower arm)	—	0.7	—	μs
t _r			—	0.1	—	
t _{ce(on)}			—	0.4	—	
t _{off}			—	1.9	—	
t _{ce(off)}			—	0.9	—	
I _{CE-S}	Collector-emitter cut-off current	V _{CE} = V _{CES} T _j = 25°C	—	—	1.0	mA
		T _j = 125°C	—	—	10	

CONTROL (PROTECTION) PART

Symbol	Parameter	Condition	Limits			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
V _D	Control supply voltage	Applied between V _{P1} -V _{PC} , V _{N1} -V _{NC}	13.5	15.0	16.5	V	
V _{DB}	Control supply voltage	Applied between V _{URB} -V _{URS} , V _{VFB} -V _{VFS} , V _{WFB} -V _{WFS}	13.5	15.0	16.5	V	
I _D	Circuit current	V _D = V _{DB} = 15V, input = OFF V _{P1} -V _{PC} , V _{N1} -V _{NC}	—	4.25	8.50	mA	
		V _D = V _{DB} = 15V, input = ON V _{URB} -V _{URS} , V _{VFB} -V _{VFS} , V _{WFB} -V _{WFS}	—	0.50	1.00		
			V _D = V _{DB} = 15V, input = OFF V _{P1} -V _{PC} , V _{N1} -V _{NC}	—	4.95	9.70	mA
			V _D = V _{DB} = 15V, input = ON V _{URB} -V _{URS} , V _{VFB} -V _{VFS} , V _{WFB} -V _{WFS}	—	0.50	1.00	
V _{FOH}	Fault output voltage	V _{SC} = 0V, F _o circuit : 10kΩ to 5V pull-up	4.9	—	—	V	
V _{FOI}		V _{SC} = 1V, F _o circuit : 10kΩ to 5V pull-up	—	1.0	2.0	V	
V _{FOsat}		V _{SC} = 1V, I _{FO} = 15mA	0.8	1.2	1.8	V	
f _{PWM}	PWM input frequency	T _C ≤ 100°C, T _j ≤ 125°C	—	5.0	—	kHz	
t _{dead}	Allowable deadtime	Relates to corresponding input signal for blocking arm shoot-through. -20°C ≤ T _c ≤ 100°C	3.0	—	—	μs	
V _{SC(ref)}	Short circuit trip level	T _j = 25°C, V _D = 15°C (Note 2)	0.45	0.5	0.55	V	
U _{VDtr}	Supply circuit under-voltage protection	T _j = 125°C	Trip level	10.0	—	12.0	V
U _{VDBr}			Reset level	10.5	—	12.5	V
U _{VDt}			Trip level	10.3	—	12.5	V
U _{VDi}			Reset level	10.8	—	13.0	V
t _{FO}	Fault output pulse width (Note 3)	C _{FO} = 22nF (connected between C _{FO} -V _{NC})	1.0	1.8	—	ms	
V _{ih(on)}	ON threshold voltage	H-side	Applied between: U _P , V _P , W _P -V _{PC}	0.8	1.4	2.0	V
V _{ih(off)}	OFF threshold voltage			2.5	3.0	4.0	
V _{ih(on)}	ON threshold voltage	L-side	Applied between: U _N , V _N , W _N -V _{NC}	0.8	1.4	2.0	V
V _{ih(off)}	OFF threshold voltage			2.5	3.0	4.0	

Note 2 : Short circuit protection is functioning only at the low-arms. Please select the value of the external shunt resistor such that the SC trip level is less than 25.5 A.

3 : Fault signal is output when the low-arms short circuit or control supply under-voltage protective functions operate. The fault output pulse-width t_{FO} depends on the capacitance value of C_{FO} according to the following approximate equation : C_{FO} = 12.2 × 10⁻⁶ × t_{FO} [F].



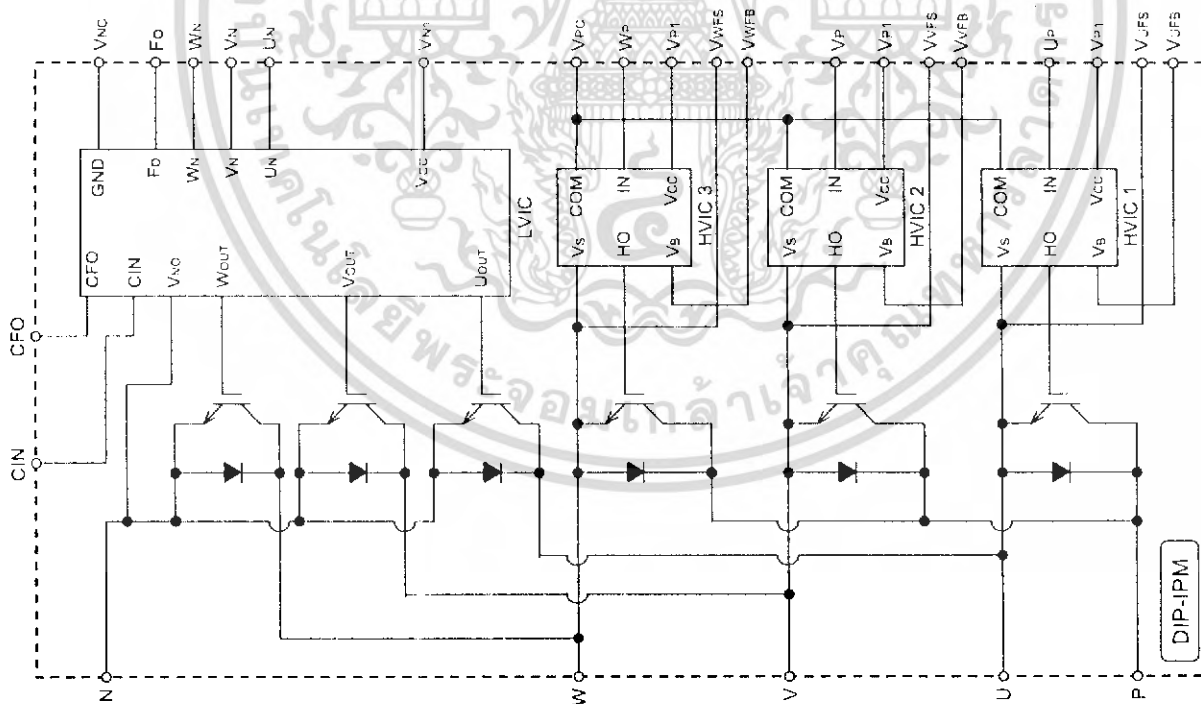
MECHANICAL CHARACTERISTICS AND RATINGS

Parameter	Condition	Limits			Unit	
		Min.	Typ.	Max.		
Mounting torque	Mounting screw : M4	Recommended 12kg·cm	10	—	15	kg·cm
		Recommended 1.18N·m	0.98	—	1.47	N·m
Weight			54			g

RECOMMENDED OPERATION CONDITIONS

Symbol	Parameter	Condition	Limits			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Vcc	Supply voltage	Applied between P-N	0	300	400	V
Vp	Control supply voltage	Applied between Vp1-Vpc, Vn1-Vnc	13.5	15.0	16.5	V
Vdb	Control supply voltage	Applied between Vvfb-Vvfs, Vwfb-Vwfs	13.5	15.0	16.5	V
ΔVd, ΔVdb	Control supply variation		-1	—	1.0	V/μs
I _{dead}	Arm shoot-through blocking time	For each input signal	3	—	—	μs
f _{IPWM}	PWM input frequency	T _c < 100°C, T _j ≤ 125°C	—	5	—	kHz
V _{CIN(ON)}	Input ON threshold voltage	Applied between Up, Vp, Wp-Vpc		0-0.65		V
V _{CIN(OFF)}	Input OFF threshold voltage	Applied between Un, Vn, Wn-Vnc		4.0-5.5		V

Fig. 4 THE DIP-IPM INTERNAL CIRCUIT



**N-channel enhancement mode
TrenchMOS™ transistor**

IRFZ44N

GENERAL DESCRIPTION

N-channel enhancement mode standard level field-effect power transistor in a plastic envelope using 'trench' technology. The device features very low on-state resistance and has integral zener diodes giving ESD protection up to 2kV. It is intended for use in switched mode power supplies and general purpose switching applications.

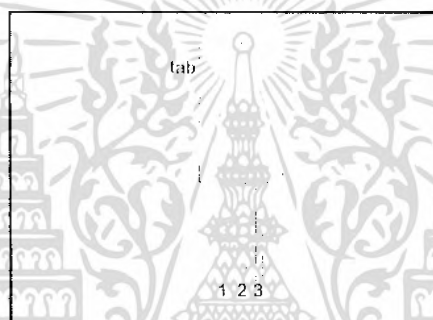
QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	MAX.	UNIT
V_{DS}	Drain-source voltage	55	V
I_D	Drain current (DC)	49	A
P_{tot}	Total power dissipation	110	W
T_j	Junction temperature	175	°C
$R_{DS(ON)}$	Drain-source on-state resistance $V_{GS} = 10\text{ V}$	22	mΩ

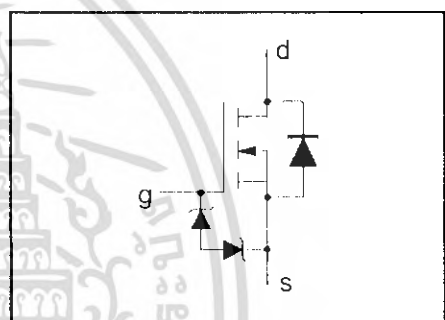
PINNING - TO220AB

PIN	DESCRIPTION
1	gate
2	drain
3	source
tab	drain

PIN CONFIGURATION



SYMBOL



LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{DS}	Drain-source voltage	-	-	55	V
V_{DGR}	Drain-gate voltage	$R_{GS} = 20\text{ k}\Omega$	-	55	V
$\pm V_{GS}$	Gate-source voltage	-	-	20	V
I_D	Drain current (DC)	$T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	49	A
I_D	Drain current (DC)	$T_{mb} = 100\text{ }^\circ\text{C}$	-	35	A
I_{DM}	Drain current (pulse peak value)	$T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	160	A
P_{tot}	Total power dissipation	$T_{mb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	-	110	W
T_{stg}, T_j	Storage & operating temperature	-	- 55	175	°C

ESD LIMITING VALUE

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_C	Electrostatic discharge capacitor voltage, all pins	Human body model (100 pF, 1.5 kΩ)	-	2	kV

THERMAL RESISTANCES

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYP.	MAX.	UNIT
$R_{th\ j-mb}$	Thermal resistance junction to mounting base	-	-	1.4	K/W
$R_{th\ j-a}$	Thermal resistance junction to ambient	in free air	60	-	K/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**N-channel enhancement mode
TrenchMOS™ transistor**

IRFZ44N

STATIC CHARACTERISTICS
T_j = 25°C unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
V _{(BR)DSS}	Drain-source breakdown voltage	V _{GS} = 0 V; I _D = 0.25 mA; T _j = -55°C	55 50	- -	- -	V V
V _{GS(TO)}	Gate threshold voltage	V _{DS} = V _{GS} ; I _D = 1 mA T _j = 175°C T _j = -55°C	2.0 1.0 -	3.0 -	4.0 -	V V V
I _{DSS}	Zero gate voltage drain current	V _{DS} = 55 V; V _{GS} = 0 V; T _j = 175°C	- -	0.05	10	μA μA
I _{GSS}	Gate source leakage current	V _{GS} = ±10 V; V _{DS} = 0 V T _j = 175°C	- -	0.04	1	μA μA
±V _{(BR)GSS}	Gate source breakdown voltage	I _G = ±1 mA; T _j = 175°C	16	-	-	V
R _{DS(ON)}	Drain-source on-state resistance	V _{GS} = 10 V; I _D = 25 A T _j = 175°C	- -	15	22 42	mΩ mΩ

DYNAMIC CHARACTERISTICS
T_{mb} = 25°C unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
g _{fs}	Forward transconductance	V _{DS} = 25 V; I _D = 25 A	6	-	-	S
C _{iss}	Input capacitance	V _{GS} = 0 V; V _{DS} = 25 V; f = 1 MHz	-	1350	1800	pF
C _{oss}	Output capacitance		-	330	400	pF
C _{rss}	Feedback capacitance		-	155	215	pF
Q _g	Total gate charge	V _{DD} = 44 V; I _D = 50 A; V _{GS} = 10 V	-	-	62	nC
Q _{gs}	Gate-source charge		-	-	15	nC
Q _{gd}	Gate-drain (miller) charge		-	-	26	nC
t _{d on}	Turn-on delay time	V _{DD} = 30 V; I _D = 25 A; V _{GS} = 10 V; R _G = 10 Ω	-	18	26	ns
t _r	Turn-on rise time		-	50	75	ns
t _{d off}	Turn-off delay time	Resistive load	-	40	50	ns
t _f	Turn-off fall time		-	30	40	ns
L _d	Internal drain inductance	Measured from contact screw on tab to centre of die	-	3.5	-	nH
L _d	Internal drain inductance	Measured from drain lead 6 mm from package to centre of die	-	4.5	-	nH
L _s	Internal source inductance	Measured from source lead 6 mm from package to source bond pad	-	7.5	-	nH

REVERSE DIODE LIMITING VALUES AND CHARACTERISTICS
T_j = 25°C unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I _{DR}	Continuous reverse drain current		-	-	49	A
I _{DRM}	Pulsed reverse drain current		-	-	160	A
V _{SD}	Diode forward voltage	I _F = 25 A; V _{GS} = 0 V I _F = 40 A; V _{GS} = 0 V	- -	0.95 1.0	1.2 -	V V
t _{rr}	Reverse recovery time	I _F = 40 A; -di _F /dt = 100 A/μs; V _{GS} = -10 V; V _R = 30 V	-	47	-	ns
Q _{rr}	Reverse recovery charge		-	0.15	-	μC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

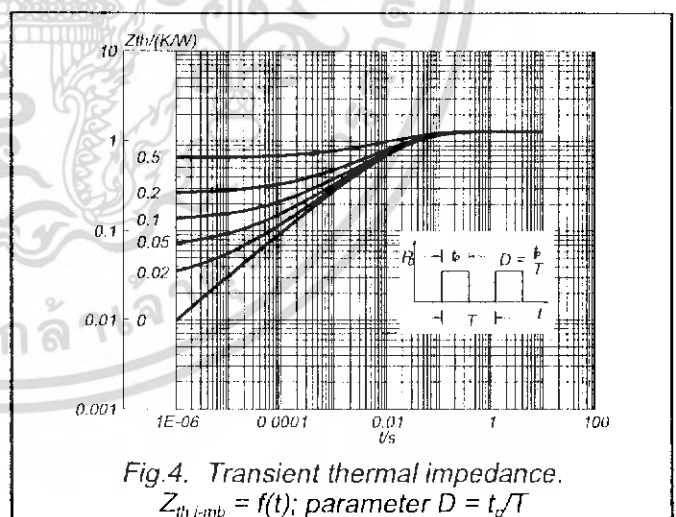
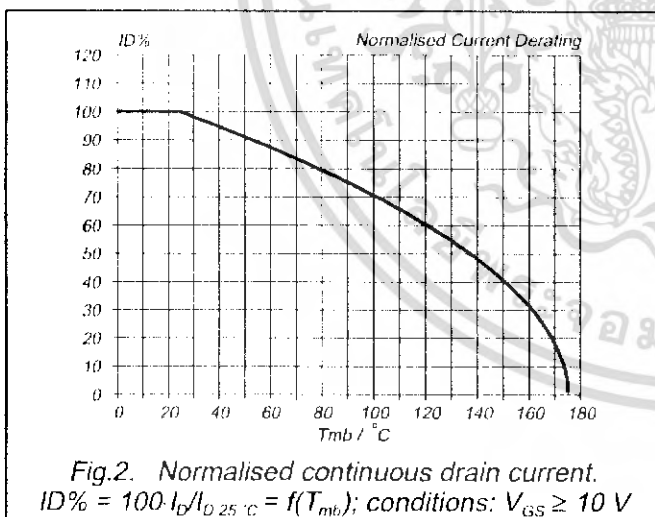
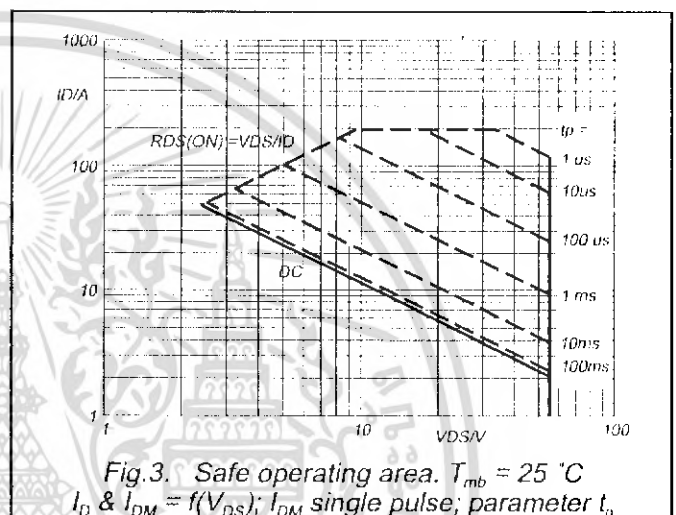
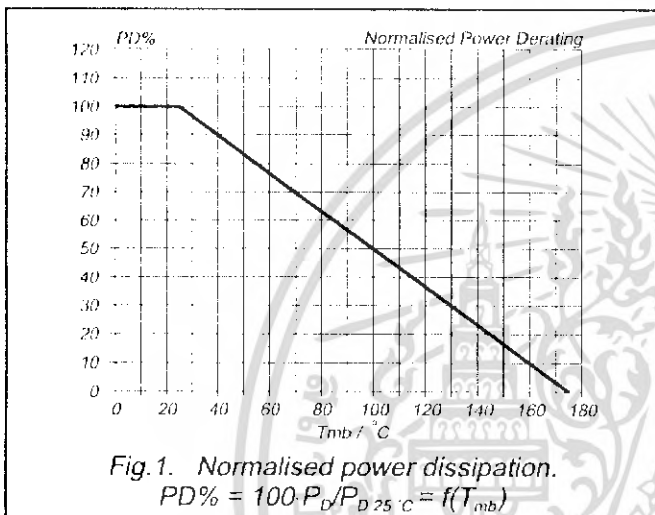
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N-channel enhancement mode
TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

AVALANCHE LIMITING VALUE

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
W_{DSS}	Drain-source non-repetitive unclamped inductive turn-off energy	$I_D = 45 \text{ A}; V_{DD} \leq 25 \text{ V}; V_{GS} = 10 \text{ V}; R_{GS} = 50 \Omega; T_{mb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	-	-	110	mJ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N-channel enhancement mode
TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

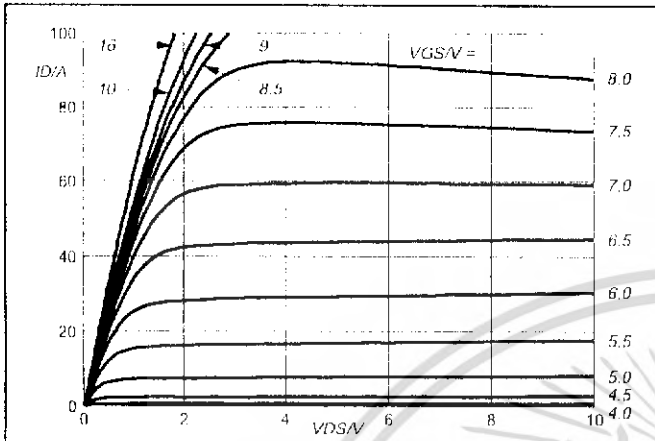


Fig. 5. Typical output characteristics, $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$.
 $I_D = f(V_{DS})$; parameter V_{GS}

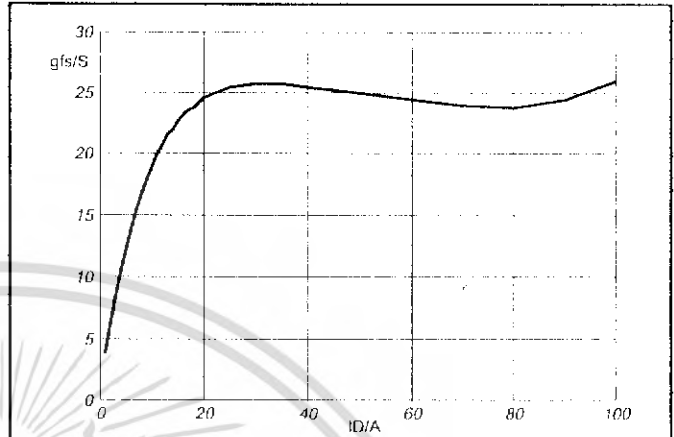


Fig. 8. Typical transconductance, $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$.
 $g_{fs} = f(I_D)$; conditions: $V_{DS} = 25\text{ V}$

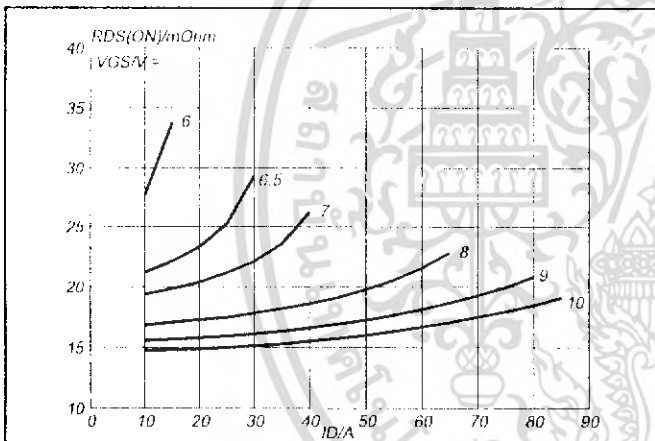


Fig. 6. Typical on-state resistance, $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$.
 $R_{DS(ON)} = f(I_D)$; parameter V_{GS}

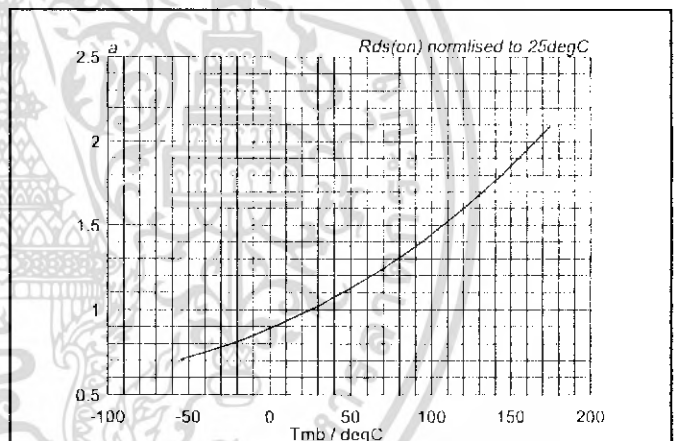


Fig. 9. Normalised drain-source on-state resistance.
 $a = R_{DS(ON)}/R_{DS(ON)25\text{ }^\circ\text{C}} = f(T_j)$; $I_D = 25\text{ A}$; $V_{GS} = 10\text{ V}$

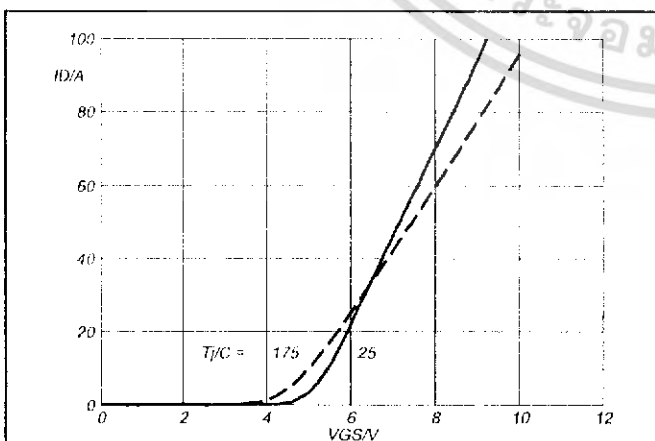


Fig. 7. Typical transfer characteristics.
 $I_D = f(V_{GS})$; conditions: $V_{DS} = 25\text{ V}$; parameter T_j

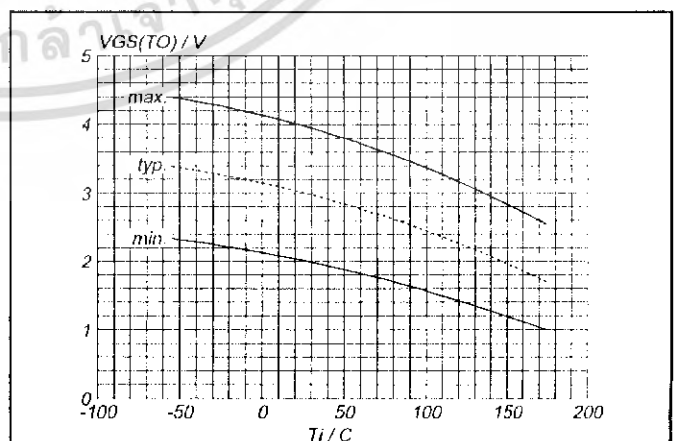


Fig. 10. Gate threshold voltage.
 $V_{GS(T_0)} = f(T_j)$; conditions: $I_D = 1\text{ mA}$; $V_{DS} = V_{GS}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N-channel enhancement mode
TrenchMOS™ transistor

IRFZ44N

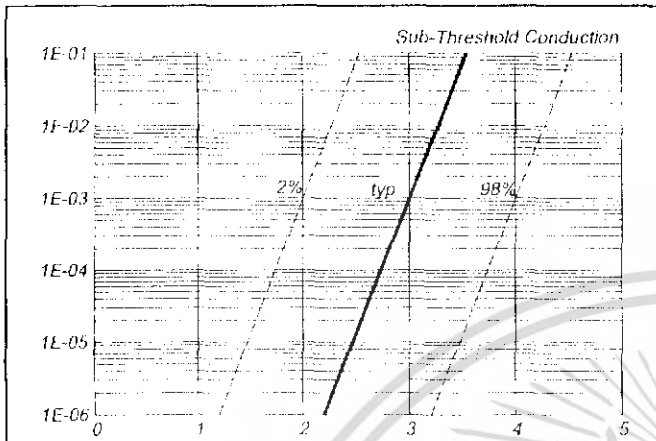


Fig. 11. Sub-threshold drain current.
 $I_D = f(V_{GS})$; conditions: $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$; $V_{DS} = V_{GS}$

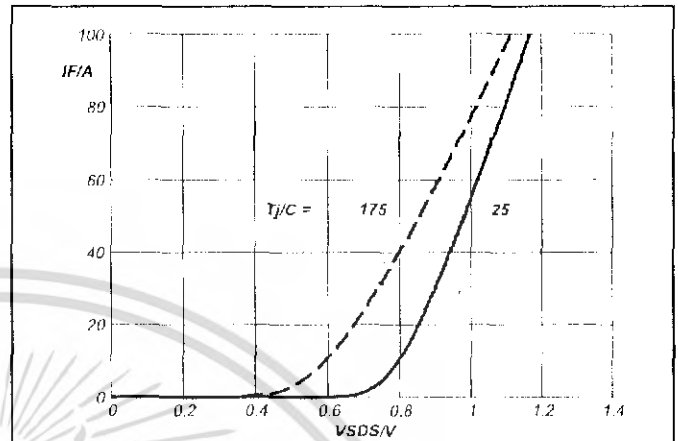


Fig. 14. Typical reverse diode current.
 $I_F = f(V_{DS})$; conditions: $V_{GS} = 0\text{ V}$; parameter T_j

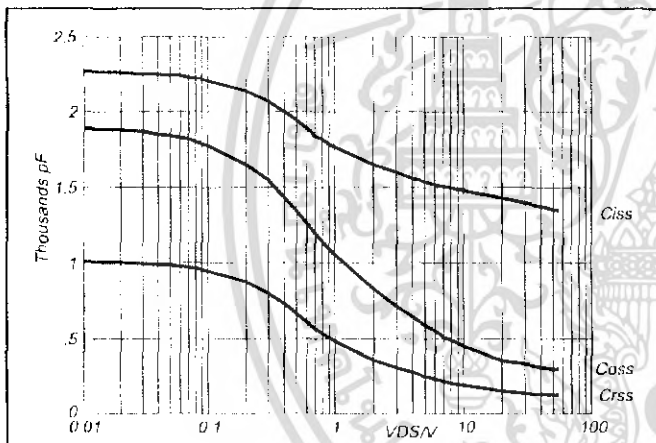


Fig. 12. Typical capacitances, C_{iss} , C_{oss} , C_{rss} .
 $C = f(V_{DS})$; conditions: $V_{GS} = 0\text{ V}$; $f = 1\text{ MHz}$

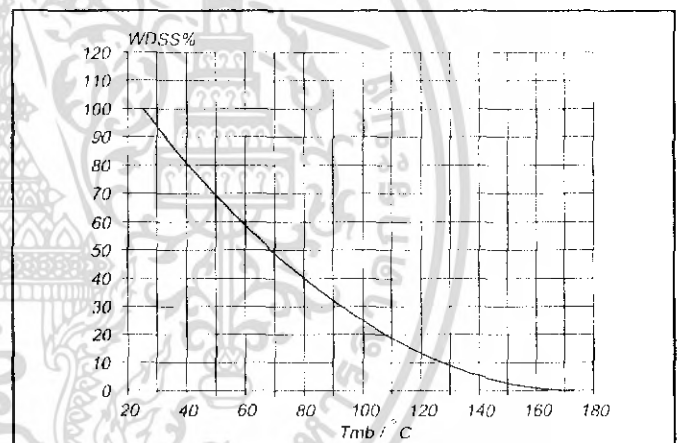


Fig. 15. Normalised avalanche energy rating.
 $W_{DSS}\% = f(T_{mb})$; conditions: $I_D = 49\text{ A}$

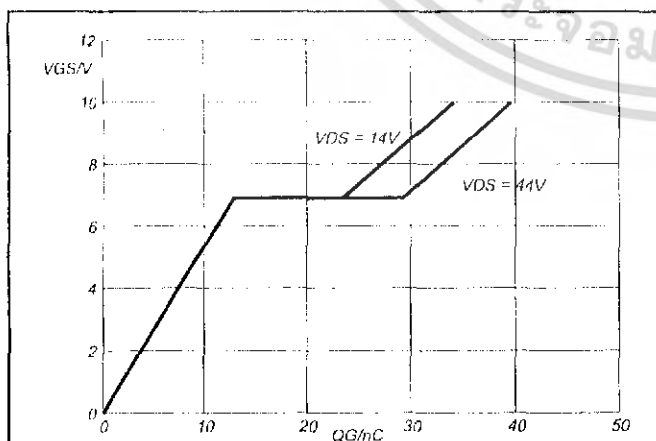


Fig. 13. Typical turn-on gate-charge characteristics.
 $V_{GS} = f(Q_G)$; conditions: $I_D = 50\text{ A}$; parameter V_{DS}

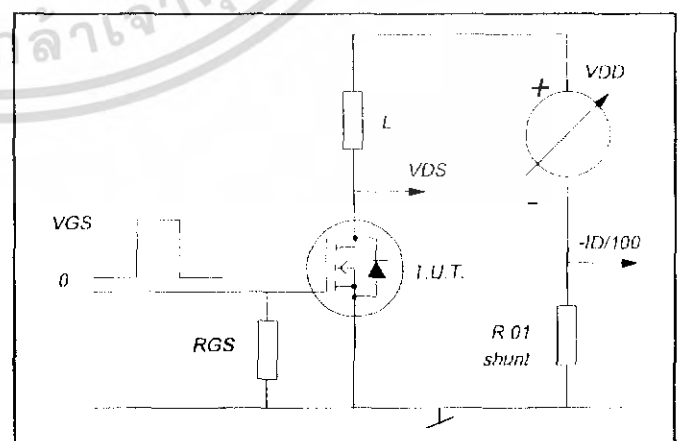


Fig. 16. Avalanche energy test circuit.
 $W_{DSS} = 0.5 \cdot L I_D^2 \cdot BV_{DSS} / (BV_{DSS} - V_{DD})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้