

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

**อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส เชื่อมต่อการไฟฟ้า**

**1-Ø UTILITY CONNECTED INVERTER**

โดย

นาย จินดา โต๊ะกลาง

นาย พิเชษฐ์ ยอดสว่าง

นาย เอกลักษณ์ ศรีประสิทธิ์

นาย เอกชัย คงรอด

๒/๗  
๑๙๖๙.๖  
๑๐๔๙

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี.2.1...ค.ย. 2550

b. 11770648  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2549

อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส เชื่อมต่อการไฟฟ้า  
1-Ø UTILITY CONNECTED INVERTER



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ

อ.ชัยทัต มณีอินทร์

อ.เฉลิมชาติ มาณพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

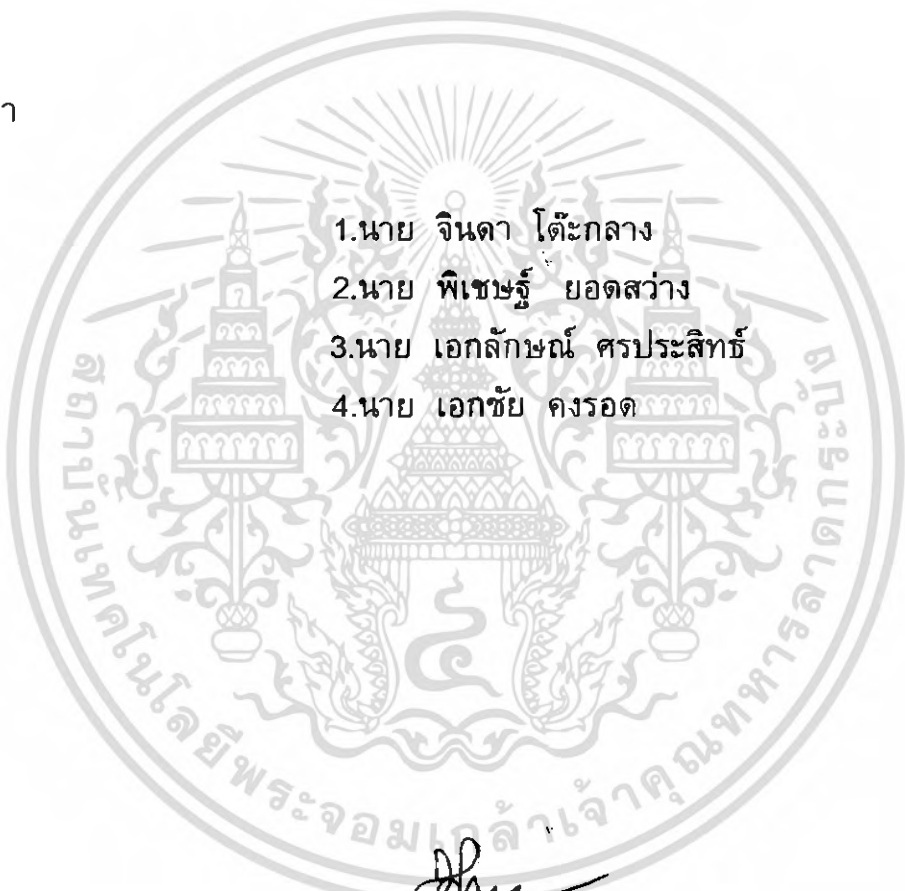
ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสเชื่อมต่อการไฟฟ้า

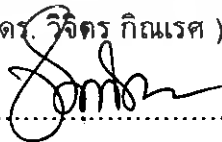
ผู้จัดทำ

- 
- 1.นาย จินดา โต๊ะกลาง
  - 2.นาย พิเชษฐ์ ยอดสว่าง
  - 3.นาย เอกลักษณ์ ตรีประสิทธิ์
  - 4.นาย เอกชัย คงรอด



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

( รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ )



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

( อาจารย์ ชัยทัต มณีอินทร์ )



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

( อาจารย์ เฉลิมชาติ มานพ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## อินเวอร์เตอร์ 1 เฟสเชื่อมต่อการไฟฟ้า

นาย จินดา ไต้กลาง

นาย พิเชษฐ์ ยอดสว่าง

นาย เอกลักษณ์ ศรีประสิทธิ์

นาย เอกชัย คงรอด

รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.ชัยทัต มณีอินทร์

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.เฉลิมชาติ มาณพ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

## บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์นี้นำเสนอระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า รวมทั้งควบคุมให้เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายพลังงาน ณ ให้กำลังออกสูงสุด โดยการวิธีการควบคุมแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้อัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังออกต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันของแสงอาทิตย์ ( $dP_{pv}/dV_{pv}$ ) เป็นศูนย์ ซึ่งตรงกับจุดกำลังสูงสุดเสมอแม้สภาวะแวดล้อมจะเปลี่ยนไป ขนาดพิกัดของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 320 W ต่อกับคอนเวอร์เตอร์ดีซี-เอซี เพื่อเชื่อมต่อการไฟฟ้าในระบบ 1 เฟส 220 V 50 Hz โดยที่ระบบถูกกำหนดให้ทำหน้าที่คือ ส่งถ่ายกำลังไฟฟ้า กระแสคำสั่งที่ได้จากการคำนวณการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการควบคุมแบบฮีสเตอร์รีซิส โดยใช้ตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัล DSPIC30F4011 ทำการประมวลผลทั้งระบบ ในปริญญาานิพนธ์นี้ได้มีการจำลองและวิเคราะห์การทำงานของระบบโดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK เพื่อนำผลที่ได้จากการจำลองมาวิเคราะห์การทำงานของระบบที่ได้ออกแบบขึ้นเพื่อตรวจสอบการทำงานที่ถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ก่อนทดสอบจริงในส่วนของการวงจรกำลังได้นำเสนอและหลักการและวิเคราะห์และออกแบบตัวเหนี่ยวนำ, ความถี่สูงสุดในการสวิตช์

## 1-Ø UTILITY CONNECTED INVERTER

Chinda Tohklang  
 Pichest Yodsawang  
 Eakkalak Sornprasit  
 Eakkachai Kongrod  
 Assoc.Prof.Dr. Vijit Kinnares Advisor  
 Chaitut Maneein Advisor  
 Chalermchart Manop Advisor

2006

### ABSTRACT

This thesis presents a grid connected DC-AC converter which is transferred energy from solar energy. The maximum power point can be obtained by regulating the derivative of output power ( $P_{pv}$ ) with respect to output voltage ( $V_{pv}$ ) of photovoltaic array ( $dP_{pv}/dV_{pv}$ ) to be zero. The MPPT are confirmed by experimental results under the condition of changing insolation. The system consists of photovoltaic system 320 W and 1 phase DC-AC converter 220 V 50 Hz. This system is assigned as a power transfer. The reference current is derived from calculating maximum power transfer tracking for controlling hysteresis type. Controller by a Digital Signal Controller (DSC dsPIC30F4011 calculation. The system design is analyzed by MATHLAB/SIMMULING. Simulation results can compare with implementation results in order to improve the system process. For power circuit part, the propose method shows the concept of inductor design and high frequency switching design.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจาก  
หลายๆฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลง  
ได้ก็คือ ผศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ อ.ชัยทัต มณีอินทร์ อ.เฉลิมชาติ มาณพ อาจารย์ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์ พี่เบิร์ด พี่นาง พี่แจ็ก และพี่นักศึกษาระดับปริญญาโททุกท่าน ที่ให้ความเอาใจใส่  
แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจในการศึกษา และเป็นผู้สนับสนุนทุกสิ่ง  
ทุกอย่างในการศึกษาตลอดมา

ขอขอบคุณสำนักห้องสมุดกลางและห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ได้สนับสนุนข้อมูล  
และหนังสือต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณภาควิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
เจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
สารบัญ.....	III
สารบัญรูป .....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย.....	1
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในโครงการ.....	3
2.1 ความหมายของเซลล์แสงอาทิตย์.....	3
2.1.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์.....	4
2.2 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์.....	6
2.2.1 ความเข้มของแสงอาทิตย์.....	6
2.2.2 อุณหภูมิ.....	6
2.2.3. จำนวนเซลล์.....	7
2.2.4 พื้นที่เซลล์.....	8
2.2.5 ประเภทของโซลาร์เซลล์.....	8
2.3 การส่งถ่ายกำลังไฟฟ้า.....	9
2.4 ทฤษฎีของอินเวอร์เตอร์.....	12
2.4.1 ประเภทของอินเวอร์เตอร์.....	12
2.4.2 รูปแบบการทำงานของอินเวอร์เตอร์.....	12
2.4.3 อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส .....	13
2.4.4 ลักษณะทั่วไปของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อการไฟฟ้าสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	13
2.4.5 อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อยางส่งแบบขั้นเดียว.....	14
2.4.6 อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อยางส่งแบบสองขั้น.....	15
2.4.7 ลักษณะของอินเวอร์เตอร์ที่มีการทำงานแบบฮาร์ดสวิตชิง.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.8 ลักษณะของอินเวอร์เตอร์ที่มีการทำงานแบบซอฟท์สวิตชิง .....	19
2.5 เทคนิค Adaptive Current control PWM.....	20
2.6 การควบคุมกระแสฮิสเตอร์รีซิส.....	23
2.7 การหาค่ากำลังสูงสุดสำหรับอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อการไฟฟ้า .....	30
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างวงจรควบคุมและวงจรกำลัง.....	33
3.1 การออกแบบระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์.....	34
3.2 การออกแบบอินเวอร์เตอร์.....	35
3.2.1 ตัวเก็บประจุไฟตรง.....	35
3.2.2 ตัวเหนี่ยวนำกรองกระแส.....	35
3.3.3 วงจรสวิตช์กำลัง.....	36
3.3.4 วงจรประวิงเวลา.....	37
3.4 การออกแบบวงจรตรวจจับสัญญาณของวงจรควบคุม.....	37
3.4.1 วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดัน.....	38
3.4.2 วงจรตรวจจับสัญญาณกระแส.....	39
3.5 ตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัล.....	39
3.5.1 สถาปัตยกรรมของ DSPIC30F4011.....	40
3.6 การออกแบบโครงสร้างทางซอฟต์แวร์สำหรับการควบคุม.....	42
3.6.1 โปรแกรมคำนวณหากระแสอ้างอิง (Iref).....	42
3.6.2 โปรแกรมคำนวณหากระแสฮิสเตอร์รีซิส (Bang Bang).....	42
บทที่ 4 ผลการทดลองการทำงานของระบบ.....	44
4.1 ผลการทดลองการทำงานของระบบ.....	44
4.1.1.การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า จ่ายกลับคืนการไฟฟ้าโดยจำลองแสงอาทิตย์.....	44
4.1.2 การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า ร่วมกันจ่ายโหลด โดยจำลองแสงอาทิตย์.....	48
4.1.3 การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า จ่าย กำลังไฟฟ้ากลับคืนการไฟฟ้าโดยแสงอาทิตย์.....	51
4.1.4 การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า ร่วมกันจ่ายโหลดโดยแสงอาทิตย์.....	55

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลการทดสอบหาค่ากำลังสูงสุดสำหรับอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อ การไฟฟ้า .....	59
4.2.1 การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า โดยไม่หาจุดจ่ายกำลังสูงสุด.....	59
4.2.2 การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า โดยการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด.....	60
 บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	 63
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	63
5.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป.....	63
 ภาคผนวก กิตติกรรมประกาศ เอกสารอ้างอิง	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1 โครงสร้างส่วนประกอบของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า...	33
3.2 ลักษณะการต่อเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า.....	34
3.3 โครงสร้างไอเจบีทีโมดูลกำลัง เบอร์ PM25RSB120.....	36
3.4 วงจรสร้างช่วงการประจิงเวลา (Dead time).....	37
3.5 วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดัน.....	38
3.6 ชุดตรวจจับสัญญาณของเครื่องต้นแบบ.....	38
3.7 วงจรตรวจจับสัญญาณกระแส.....	39
3.8 โครงสร้างของตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัล DSPIC30F4011.....	41
3.9 ตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัล DSPIC30F4011ของเครื่องต้นแบบ.....	42
3.10 ภาพแสดงชุดของโครงการ.....	43
4.1 วงจรกำลังการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนการไฟฟ้าโดยจำลองแสงอาทิตย์.....	44
4.2 สัญญาณ $V_s$ , $I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms.....	45
4.3 สัญญาณ $V_{con}$ , $I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms.....	45
4.4 สัญญาณ $I_s$ และ $I_{dc}$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms.....	45
4.5 สัญญาณ $V_s$ , $I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms.....	46
4.6 สัญญาณ $V_{con}$ , $I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms.....	46
4.7 สัญญาณ $I_s$ และ $I_{dc}$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms.....	46
4.8 สัญญาณ $V_s$ , $I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms.....	47
4.9 สัญญาณ $V_{con}$ , $I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms.....	47
4.10 สัญญาณ $I_s$ และ $I_{dc}$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms.....	47
4.11 วงจรกำลังการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลดรวมกับการไฟฟ้าโดยจำลองแสงอาทิตย์.....	48
4.12 สัญญาณ $V_s$ , $I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms.....	48
4.13 สัญญาณ $V_{con}$ , $I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms.....	49
4.14 สัญญาณ $I_s$ และ $I_{dc}$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms.....	49
4.15 สัญญาณ $V_s$ , $I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms.....	49
4.16 สัญญาณ $V_{con}$ , $I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms.....	50
4.17 สัญญาณ $I_s$ และ $I_{dc}$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms.....	50
4.18 สัญญาณ $V_s$ , $I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms.....	50
4.19 สัญญาณ $V_{con}$ , $I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms.....	51
4.20 สัญญาณ $I_s$ และ $I_{dc}$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.21 วงจรกำลังการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนการไฟฟ้า โดยแสงอาทิตย์ .....	52
4.22 สัญญาณ $V_s, I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms.....	52
4.23 สัญญาณ $V_{con}, I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms.....	52
4.24 สัญญาณ $I_s$ และ $I_{dc}$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms .....	53
4.25 สัญญาณ $V_s, I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms.....	53
4.26 สัญญาณ $V_{con}, I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms.....	53
4.27 สัญญาณ $I_s$ และ $I_{dc}$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms .....	54
4.28 สัญญาณ $V_s, I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms.....	54
4.29 สัญญาณ $V_{con}, I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms .....	54
4.30 สัญญาณ $I_s$ และ $I_{dc}$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms .....	55
4.31 วงจรกำลังการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลด ร่วมกับการไฟฟ้าโดยแสงอาทิตย์.....	55
4.32 สัญญาณ $V_s, I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms .....	56
4.33 สัญญาณ $V_{con}, I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms.....	56
4.34 สัญญาณ $I_s$ และ $I_{dc}$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms .....	56
4.35 สัญญาณ $V_s, I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms .....	57
4.36 สัญญาณ $V_{con}, I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms.....	57
4.37 สัญญาณ $I_s$ และ $I_{dc}$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms .....	57
4.38 สัญญาณ $V_s, I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms.....	58
4.39 สัญญาณ $V_{con}, I_s$ และ $I_c$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms.....	58
4.40 สัญญาณ $I_s$ และ $I_{dc}$ ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms .....	58
4.41 สัญญาณ $P_{pv}, I_{pv}$ และ $V_{pv}$ ไม่หาจุดจ่ายกำลังสูงสุด ขณะเปลี่ยนแปลงแสงเพิ่มขึ้น.....	59
4.42 สัญญาณ $P_{pv}, I_{pv}$ และ $V_{pv}$ ไม่หาจุดจ่ายกำลังสูงสุด ขณะเปลี่ยนแปลงแสงลดลง.....	60
4.43 สัญญาณ $P_{pv}, I_{pv}$ และ $V_{pv}$ หาจุดจ่ายกำลังสูงสุด ขณะเปลี่ยนแปลงแสงเพิ่มขึ้น.....	60
4.44 สัญญาณ $P_{pv}, I_{pv}$ และ $V_{pv}$ หาจุดจ่ายกำลังสูงสุด ขณะเปลี่ยนแปลงแสงลดลง.....	60

## สารบัญตาราง

ตารางที่  
1หน้า  
61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันได้มีการนำระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานในรูปแบบต่างๆ กันอย่างกว้างขวางและมีแนวโน้มที่จะนำมาใช้มากขึ้นในอนาคตอันใกล้ เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาดไม่มีสารพิษตกค้างที่อาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมไม่มีมลภาวะในการแปรรูปพลังงานและที่สำคัญคือเป็นแหล่งพลังงานอันมหาศาลที่ได้เปล่าและมีอยู่ไปตามธรรมชาติ ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์มีการประยุกต์ใช้สองแบบ คือระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยลำพังโดยระบบนี้มีข้อดีที่องค์ประกอบและการควบคุมไม่ยุ่งยากแต่จำเป็นต้องมีแบตเตอรี่เก็บพลังงานไว้ใช้ช่วงเวลากลางคืน ส่วนแบบที่สอง คือระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า ระบบนี้มีการควบคุมที่ซับซ้อนกว่าแบบแรกเพราะการทำงานของระบบนี้ต้องมีเฟสตรงกันกับการไฟฟ้าและจ่ายไหลตรงร่วมกัน ซึ่งได้มีการทำการวิจัยกันมาแล้ว แต่ในการวิจัยที่ผ่านมาไม่ได้มองถึงระบบไหลไม่เป็นเชิงเส้นที่เป็นสาเหตุให้เกิดความผิดเพี้ยนของกระแสและทำให้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าต่ำลงซึ่งอาจก่อให้เกิดกระแสเกินในตัวเก็บประจุทำให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์หรืออายุการใช้งานสั้นลงและเกิดการรบกวนต่อระบบสื่อสาร อุปกรณ์ต่างๆ ทำงานผิดพลาดรวมไปถึงการรบกวนการทำงานของระบบข้างเคียงอื่นๆ

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อออกแบบสร้างชิ้นงานทั้งวงจรกำลังและวงจรควบคุมของระบบ Grid connected
2. เพื่อศึกษาการจ่ายพลังงานให้ไหลตรงกับระบบการไฟฟ้า
3. เพื่อศึกษาการจ่ายกำลังไฟฟ้าง่ายกลับคืนเข้ากับระบบการไฟฟ้า
4. เพื่อพัฒนาการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ในลักษณะจ่ายกำลังไฟฟ้าต่อกับระบบการไฟฟ้าโดยตรง

#### 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในโครงการ

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยตรง มีหลักการทำงานแบ่งเป็น 2 ช่วง กล่าวคือ ในช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดได้โดยตรง โดยผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และหากมีพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เกินจะถูกจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าสังเกตได้เนื่องจากมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าจะหมุนกลับทาง ส่วนในช่วงกลางคืนเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ กระแสไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะจ่ายให้แก่โหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยตรง สังเกตได้จากมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าจะหมุนปกติ ดังนั้น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายจะเป็นการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า Grid connected เป็นต้น

#### 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ
2. ศึกษาหลักการการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์และหลักการการทำงานของ Inverter ที่ใช้ในโครงการ
3. ศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เป็น ตัวกำหนดคำสั่งของโปรแกรม
4. การจำลองการทำงานของโครงการโดยใช้โปรแกรม Matlab
5. ออกแบบและสร้างชิ้นงานของโครงการนี้
6. เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของโครงการ

#### 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. เรียนรู้และเข้าใจวงจรกำลังและวงจรควบคุมของระบบ Grid connected เช่น อินเวอร์เตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์
2. เรียนรู้และเข้าใจถึงหลักการทำงานของการจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้ระบบไฟฟ้า
3. ชิ้นงานที่สร้างขึ้นสามารถเชื่อมต่อการไฟฟ้าได้ เพื่อช่วยในการจ่ายพลังงานให้โหลด
4. นำพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่ห่างไกล ในการช่วยจ่ายโหลด ลดการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งผลิตอื่นๆ
5. เสริมสร้างศักยภาพทางเทคโนโลยีด้วยตัวเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

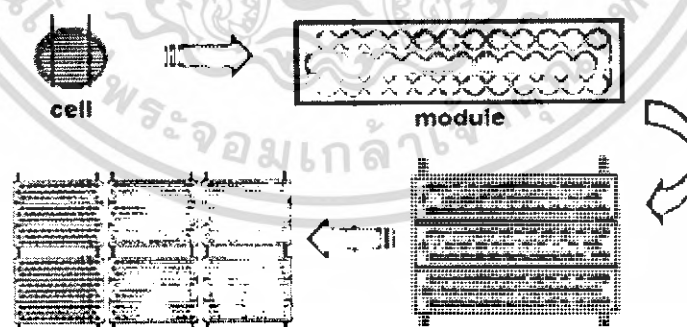
## บทที่ 2

### ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในโครงการ

#### 2.1 ความหมายของเซลล์แสงอาทิตย์

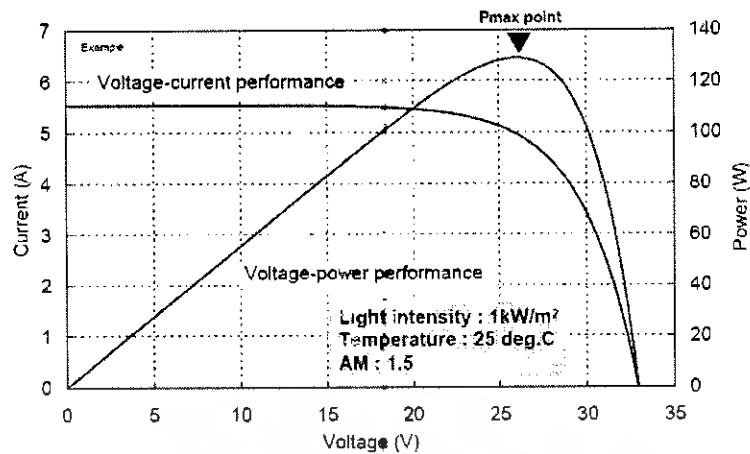
เซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์สุริยะ หรือเซลล์ photovoltaic ซึ่งต่างก็มีที่มาจากคำว่า Photovoltaic โดยแยกออกเป็น photo หมายถึง แสง และ volt หมายถึง แรงดันไฟฟ้า เมื่อรวมคำแล้วหมายถึง กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง สรุปได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon), แกลเลียม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide), อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium Phosphide), แคดเมียม เทลเลอไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ — เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น ทำให้สามารถทำงานได้หรือนำมาต่อกับอุปกรณ์จำพวกคอนเวอร์เตอร์เพื่อเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสสลับนำไปใช้งานต่อไป

ตัวนำชนิดพีและเอ็นมาต่อกัน จะเกิดรอยต่อพีเอ็นขึ้น โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน อาจมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความหนา 200-400 ไมครอน (0.2-0.4 มม.) ผิวด้านรับแสงจะมีชั้นแพร์ซิมที่มีการนำไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าด้านหน้าที่รับแสงจะมีลักษณะคล้ายกังปลาเพื่อให้ได้พื้นที่รับแสงมากที่สุด ส่วนขั้วไฟฟ้านด้านหลังเป็นขั้วโลหะเต็มพื้นผิว



รูปที่ 2.1 PV Cells, Modules, & Arrays

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

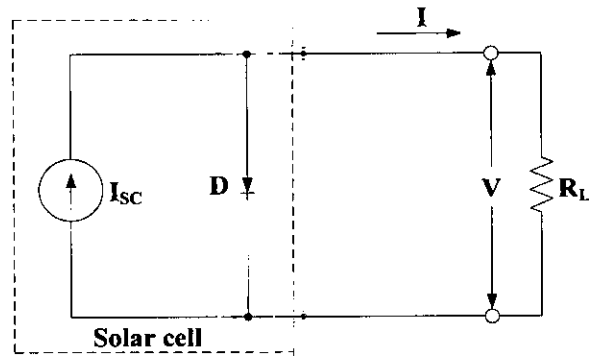


รูปที่ 2.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

### 2.1.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตขึ้นมาจากวัสดุสารกึ่งตัวนำเหมือนกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป โครงสร้างวัสดุสารกึ่งตัวนำของเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะรอยต่อพี-เอ็น (p-n junction) เหมือน ไดโอด ดังนั้นคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติจึงสามารถเขียนเป็นวงจร สมมูลประกอบด้วยแหล่งจ่ายกระแสขนานกับไดโอดดังรูปที่ 2.3 ซึ่งปริมาณกระแส  $I_{SC}$  นี้กำเนิด จากปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกที่มีความเข้มข้นของแสงค่าหนึ่ง ซึ่งสามารถแทนได้ด้วย แหล่งจ่ายกระแสคงที่ ส่วนไดโอดจะแสดงถึงคุณลักษณะของสารกึ่งตัวนำที่เป็นรอยต่อพี-เอ็น ดังนั้นค่ากระแสจ่ายออก จึงสามารถอธิบายได้ด้วยความแตกต่างของกระแส  $I_{SC}$  ที่กำเนิดจาก แสงอาทิตย์กับกระแสของไดโอดแสดงในสมการที่ 2.3

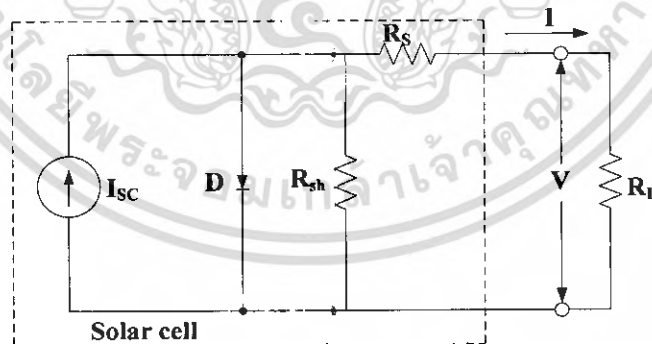
$$I = I_{SC} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{qV}{AkT}\right) - 1 \right] \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลในอุดมคติของเซลล์แสงอาทิตย์

อย่างไรก็ตามเซลล์แสงอาทิตย์ยังมีค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นจากความต้านทานภายในของเซลล์แสงอาทิตย์ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งมีทั้งความต้านทานที่ขนานและความต้านทานที่อนุกรมกับวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติ ดังนั้นสมการคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 2.2

$$I = I_{sc} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{qV}{AkT}\right) - 1 \right] - \frac{(V + IR_s)}{R_{sh}} \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

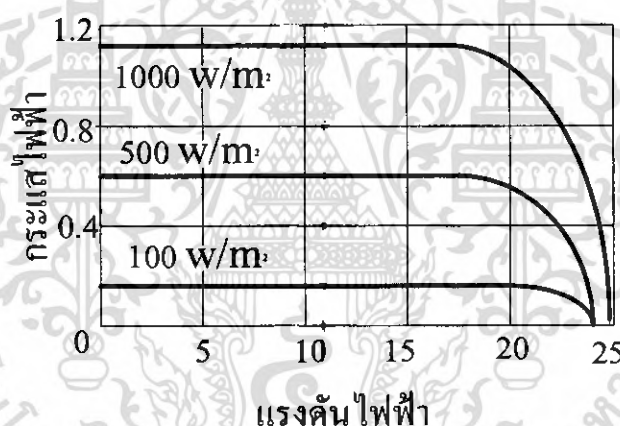
จากสมการที่ 2.2 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันจ่ายออกของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดัง ในสถานะที่ไม่มีเซลล์แสงอาทิตย์จะมีคุณสมบัติเหมือนกับไดโอด เนื่องจากมีโครงสร้างของวัสดุสารกึ่งตัวนำเหมือนกันแต่ให้แสงกับเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะเกิดปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกขึ้นทำให้เกิดแรงดันและกระแสไฟฟ้าออกมา เมื่อพิจารณาในสถานะเปิดวงจรเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสจะไหลเข้าไดโอดทั้งหมดทำให้กระแสจ่ายออกมีค่าเป็นศูนย์ ในทางกลับกันถ้าลัดวงจร กระแสออกก็จะไหลเข้าสู่วงจรภายนอกทั้งหมด เมื่อเปลี่ยนความเข้มของแสงจะเป็นผลทำให้ค่ากระแส  $I_{sc}$  มีค่าเปลี่ยนไปด้วยซึ่งแปรผันตรงกับค่าความเข้มของแสง ในขณะที่ค่าแรงดันจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยหรืออาจกล่าวได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์มีคุณสมบัติเป็นแหล่งจ่ายกระแส

## 2.2 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์

### 2.2.1 ความเข้มของแสงอาทิตย์

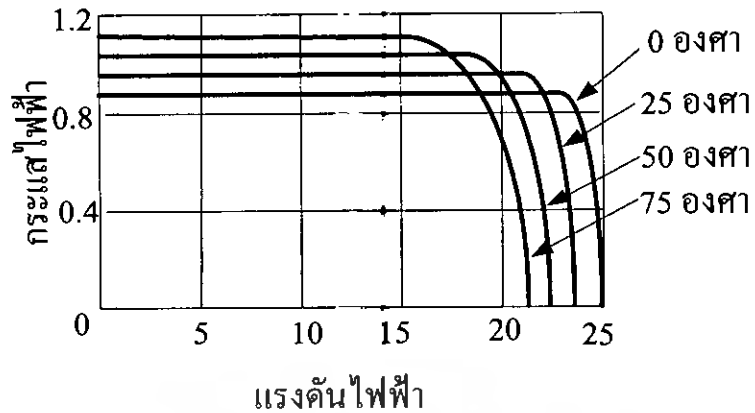
เนื่องจากโซลาร์เซลล์ขณะทำงานต้องมีแสงมาตกกระทบให้อิเล็กตรอนภายในสารกึ่งตัวนำได้รับพลังงานสูงพอที่จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระ และโฮลขึ้นตั้งนั้นถ้าหากแสงที่ตกกระทบสารกึ่งตัวนำมีค่าความเข้มสูงมาก ปริมาณความหนาแน่นของโฟตอนก็สูงขึ้น ทำให้เกิดพาหะอิเล็กตรอนอิสระกับโฮลเป็นจำนวนมาก ผลที่ได้ก็จะทำให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าเนื่องจากแสงตกกระทบมีค่าสูงขึ้นด้วย ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ผลของความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ต่อแรงดัน

### 2.2.2. อุณหภูมิ

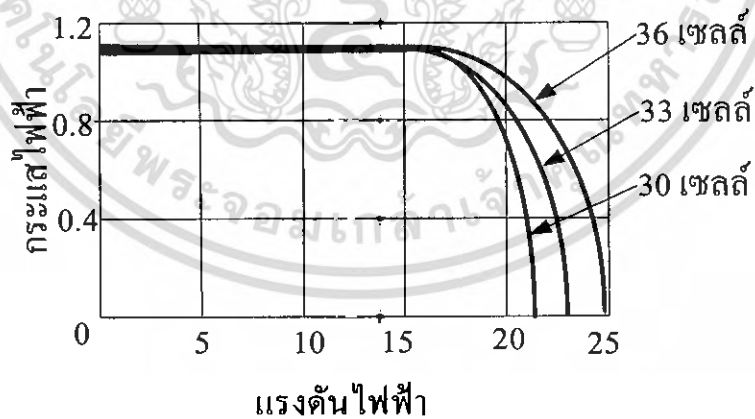
เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์เปลี่ยนด้วย คือเมื่ออุณหภูมิของเซลล์เพิ่มขึ้น กระแสไฟฟ้าจะสูงขึ้นในขณะที่แรงดันมีค่าลดลง จากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้พลังงานไฟฟ้าที่โซลาร์เซลล์ผลิตได้มีค่าลดลง



รูปที่ 2.6 ผลของความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ต่อแรงดัน

### 2.2.3. จำนวนเซลล์

โดยปกติโซลาร์เซลล์มีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.5 Volt/cell การต่อเซลล์จะต่อเป็นอนุกรม เพื่อเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้น โดยจะมีผลต่อกระแสไฟฟ้าลดลงของเซลล์น้อยมาก

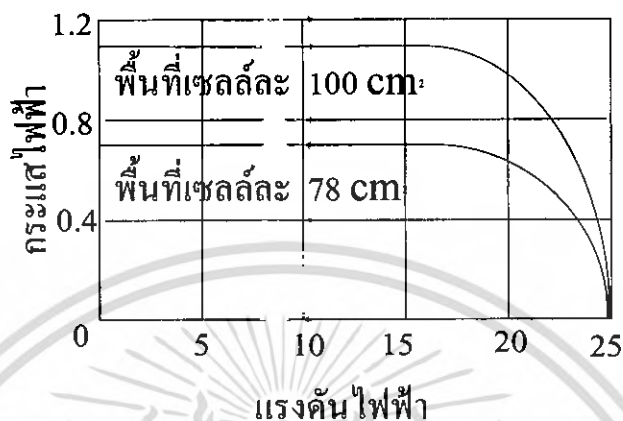


รูปที่ 2.7 ผลของจำนวนเซลล์ต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.4 พื้นที่เซลล์

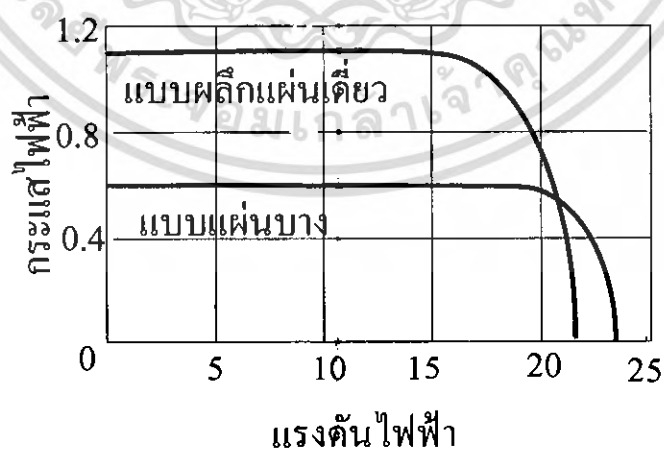
ถ้าเซลล์มีพื้นที่ในการรับแสงมากกว่าจะมีกระแสไฟฟ้าลัดวงจรมากกว่าเซลล์ที่มีพื้นที่รับแสงน้อยกว่า



รูปที่ 2.8 ผลของพื้นที่ต่อคุณสมบัติของโซลาร์เซลล์

## 2.2.5 ประเภทของโซลาร์เซลล์

เซลล์แบบผลึกแผ่นเดี่ยว (Crystalline) จะผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงกว่าเซลล์แบบแผ่นบาง (thin-film cells) แต่แรงดันไฟฟ้าจะน้อยกว่า

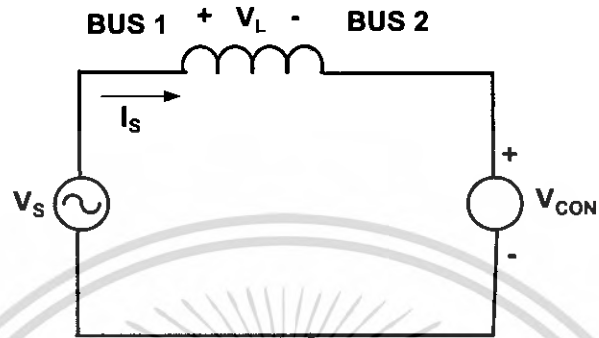


รูปที่ 2.9 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์แต่ละประเภท

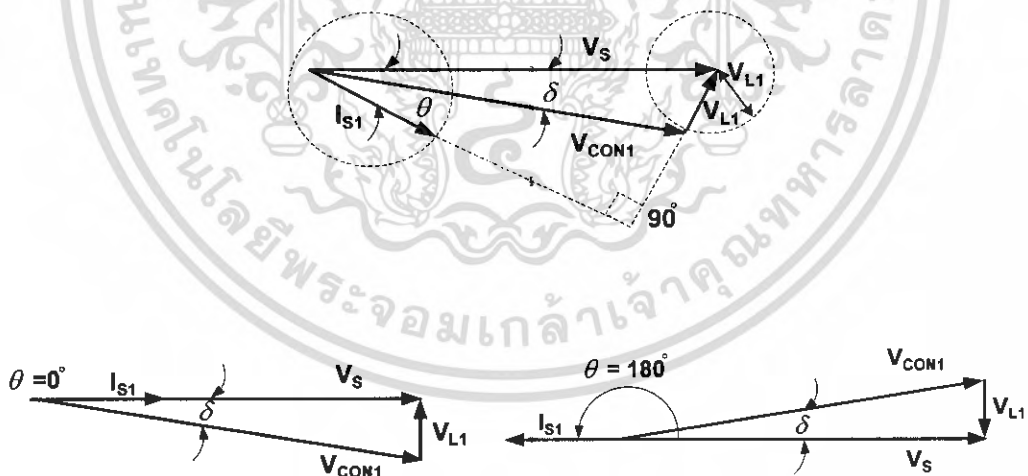
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3 การส่งถ่ายกำลังไฟฟ้า

การส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าระหว่างบัส 1 และบัส 2 สามารถเขียนเป็นโปรแกรมเป็นวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้า  $V_S$  และ  $V_{CON}$  และสามารถเขียนเป็นเฟสเซอร์ไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 2.11 (ก), (ข) และ (ค)



รูปที่ 2.10 วงจรสมมูลการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าระหว่างบัส 1 และบัส 2



รูปที่ 2.11 (ก) เฟสเซอร์ไดอะแกรมของการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้า

(ข) เฟสเซอร์ไดอะแกรมโหมดเร็คติไฟเออร์

(ค) เฟสเซอร์ไดอะแกรมโหมดอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเฟสเซอร์ไดอะแกรมในรูปที่ 2.11 (ก) สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าจริง ( $P$ ) และกำลังไฟฟ้าเสมือน ( $Q$ ) ที่จ่ายแหล่งจ่าย  $V_S$  ไปยังคอนเวอร์เตอร์  $V_{CON}$  หรือจากบัส 1 ไปยังบัส 2 ได้ดัง  
 ดังนี้ จากรูปที่ 2.10 พิจารณาตามกฎ KVL จะได้ว่า

$$v_S = v_{con} + v_{L,1} \quad (2.3)$$

$$v_L = L_S \frac{di_S}{dt} \quad (2.4)$$

สมมติให้  $V_S$  ให้รูปไซน์และเป็นองค์ประกอบที่ความถี่มูลฐานของ  $V_{CON}$  และ  $I_{S1}$  ดังที่แสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งสามารถเขียนในรูปเฟสเซอร์  $V_{CON1}$  และ  $I_{S1}$  กำหนดให้  $V_S$  เป็นเฟสเซอร์อ้างอิงจะได้ว่า

$$V_S = V_{CON} + V_{L1} \quad (2.5)$$

$$V_S = j\omega L_S I_{S1} \quad (2.6)$$

$$P = V_S I_{S1} \cos \theta = \frac{V_S^2}{\omega L_S} \left[ \frac{V_{CON1}}{V_S} \sin \delta \right] \quad (2.7)$$

จากรูปที่ 2.11(ก)

$$V_{L1} \cos \theta = \omega L_S I_{S1} \cos \theta = V_{CON1} \sin \delta \quad (2.8)$$

$$Q = V_S I_{S1} \sin \theta = \frac{V_S^2}{\omega L_S} \left[ 1 - \frac{V_{CON1}}{V_S} \cos \delta \right] \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.11 (ก)

$$V_S - \omega L_{S1} \sin \theta = V_{CON} \cos \delta \quad (2.10)$$

และ

$$I_{S1} = \frac{V_S - V_{CON}}{j\omega L_S} \quad (2.11)$$

จากเฟสเซอร์ไดอะแกรมในรูปที่ 2.11 (ค) สามารถหากำลังไฟฟ้าและและกระแสที่ไหลจากคอนเวอร์เตอร์  $V_{CON}$  ไปยังแหล่งจ่าย  $V_S$  หรือจากบัส 2 ไปยังบัส 1 ได้ดังนี้

$$P_{21} = -P_{12} \quad (2.12)$$

$$I_{S1} = \frac{V_{CON} - V_S}{j\omega L_S} \quad (2.13)$$

การควบคุมการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าสามารถควบคุมได้จาก  $\delta$  และการควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ทั้งในโหมดเรกติไฟเออร์และในโหมดอินเวอร์เตอร์ ในปริศยานิพนธ์นี้ใช้วิธีการควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ โดยการกำหนดเวกเตอร์ของกระแส  $I_{S1}$  ให้ทำมุม 180 องศา และสังโครไนส์กับแหล่งจ่าย  $V_S$  ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าจะไหลออกจากคอนเวอร์เตอร์  $V_{CON}$  ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการแรงดันได้ดังนี้

$$V_{CON} = \sqrt{V_S^2 + (\omega L_S I_{S1})^2} \quad (2.14)$$

ในกรณีคอนเวอร์เตอร์ทำงานที่ความถี่สูงทำให้ 2 ขนาดของตัวเหนี่ยวนำมีค่าน้อยลง ดังนั้นจากสมการที่ 2.14 สามารถเขียนใหม่ได้ว่า  $V_{CON} \approx V_S$  โดยที่แรงดันไฟตรงทางด้านอินพุตของคอนเวอร์เตอร์ควรมีค่าตามสมการที่ 2.5

$$V_{dc} > \sqrt{2}V_S \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ทฤษฎีของอินเวอร์เตอร์

### 2.4.1 ประเภทของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์แบ่งกว้างๆได้ 2 ประเภท คือ

- 1.การอินเวอร์เตอร์แบบเฟสเดียว
- 2.การอินเวอร์เตอร์แบบสามเฟส

นอกจากนี้อินเวอร์เตอร์ยังแบ่งเป็นตามลักษณะโครงสร้าง และการนำไปใช้งานได้ 2 ประเภทคือ

1.การอินเวอร์เตอร์แบบป้อนแรงดัน ( Voltage Source Inverter): VSI ซึ่งแบ่งเป็น 4 กลุ่มดังนี้

- 1.1 อินเวอร์เตอร์แบบ มีอดตุลิตตามความกว้างของพัลส์
- 1.2 อินเวอร์เตอร์แบบ รีโซแนนท์
- 1.3 อินเวอร์เตอร์แบบ McMurray
- 1.4 อินเวอร์เตอร์แบบ McMurray – Bedford

2.การอินเวอร์เตอร์แบบป้อนกระแส ( Current Source Inverter): CSI

### 2.4.2รูปแบบการทำงานของอินเวอร์เตอร์

รูปแบบการทำงานของอินเวอร์เตอร์แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

- 1.การทำงานแบบฮาร์ดสวิตชิง
- 2.การทำงานแบบซอฟท์สวิตชิง

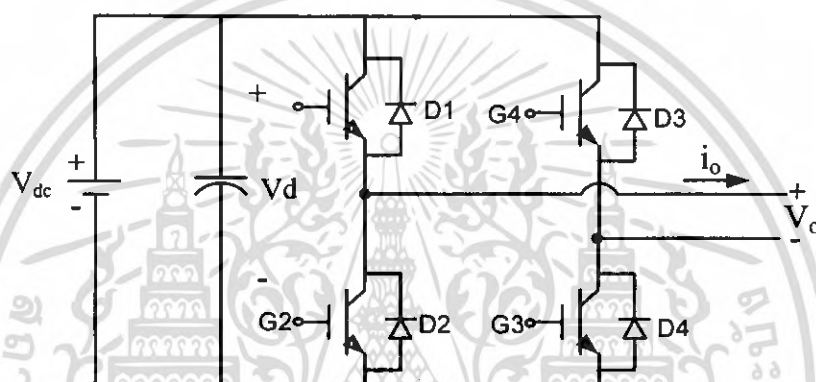
อุปกรณ์ที่ทำการควบคุมการทำงานหรือขับอินเวอร์เตอร์สามารถสร้างรูปคลื่นเป็นพัลส์ มาทำการขับให้อินเวอร์เตอร์ทำงานได้ อาจเป็นสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม โดยการสร้างคลื่นพีดับเบิลยูเอ็ม สามารถสร้างได้หลากหลายวิธี ได้แก่

การใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งสามารถกระทำได้โดยการโปรแกรมให้ไมโครโปรเซสเซอร์ ส่งสัญญาณซึ่งสอดคล้องกับมุมสวิตชิง ผ่านทางพอร์ตเอาต์พุตซึ่งวิธีนี้จะต้องมีการคำนวณหรือกำหนดมุมสวิตชิงมุมต่างๆ ออกมาก่อนแล้วจึงเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำไมโครโปรเซสเซอร์ จะอาศัยข้อมูลในหน่วยความจำนั้นเพื่อสร้างรูปสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม ขึ้นมาแล้วจึงส่งผ่านพอร์ตเอาต์พุต

โดยการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ สร้างพีดับเบิลยูเอ็ม จากวงจรอิเล็กทรอนิกส์วิธีที่สะดวกที่สุดคือการใช้วงจรเปรียบเทียบ ซึ่งสามารถป้อนสัญญาณอินพุต 2 สัญญาณเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบสัญญาณอ้างอิง กับสัญญาณแคร์เรียร์ สัญญาณอ้างอิงจะความถี่เท่ากับรูปคลื่นพีดับเบิลยูเอ็ม ส่วนสัญญาณแคร์เรียร์จะมีความถี่สูงกว่า

### 2.4.3 อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

อินเวอร์เตอร์เป็นวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ในวิทยานิพนธ์นี้ เลือกใช้อินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ในการเชื่อมต่อการไฟฟ้า จากรูปที่ 2.12 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ จากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านอินพุตอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ จากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านอินพุตอินเวอร์เตอร์ถูกเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยการควบคุมสวิตช์ทั้ง 4 ตัว เพื่อกำเนิดทิศทางของกระแสที่ไหลไปยังโหลด โดยวิธีการควบคุมมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีเช่น เทคนิค PWM แบบต่างๆ และการควบคุมกระแสฮิสเตอร์รีซิส ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในปริญญาวิทยานิพนธ์นี้และจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 2.12 อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส แบบฟูลบริดจ์

### 2.4.4 ลักษณะทั่วไปของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อการไฟฟ้าสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้ากระแสตรงออกมา ดังนั้นการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบการไฟฟ้าเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั่วไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้อินเวอร์เตอร์เพื่อเชื่อมต่อกับระบบการไฟฟ้า โดยทั่วไปจะแบ่งตามลักษณะโครงสร้างของวงจรเป็น 2 แบบ คืออินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อการไฟฟ้าแบบขั้นเดียวและอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบสองขั้น

อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อการไฟฟ้าสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีข้อแตกต่างทางโครงสร้าง เมื่อเทียบกับอินเวอร์เตอร์ทั่วไปที่ใช้อยู่ในปัจจุบันแต่มีข้อแตกต่างในด้านหน้าที่การทำงานซึ่งนอกจากทำหน้าที่เปลี่ยนรูปคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีลักษณะของรูปคลื่นเป็นรูปคลื่นไซน์เท่านั้น แต่ต้องทำหน้าที่ควบคุมกระแสที่จ่ายออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ได้รับกำลังงานสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์อีกด้วย ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการควบคุมประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อีกทางหนึ่งด้วย อย่างไรก็ตามปัญหาที่สำคัญของอินเวอร์เตอร์สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่แตกต่างจากอินเวอร์เตอร์ทั่วไปคือ การสูญเสียที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้นจากการทำงานของอุปกรณ์ของอุปกรณ์สวิตช์ในวงจรอินเวอร์เตอร์ ส่วนที่ 2 เป็นการสูญเสียเนื่องจากรูปคลื่นของกระแสที่อินเวอร์เตอร์จ่ายออกมามีลักษณะไม่เป็นรูปคลื่นไซน์หรือมีค่าฮาร์มอนิกมากกว่าที่มาตรฐาน

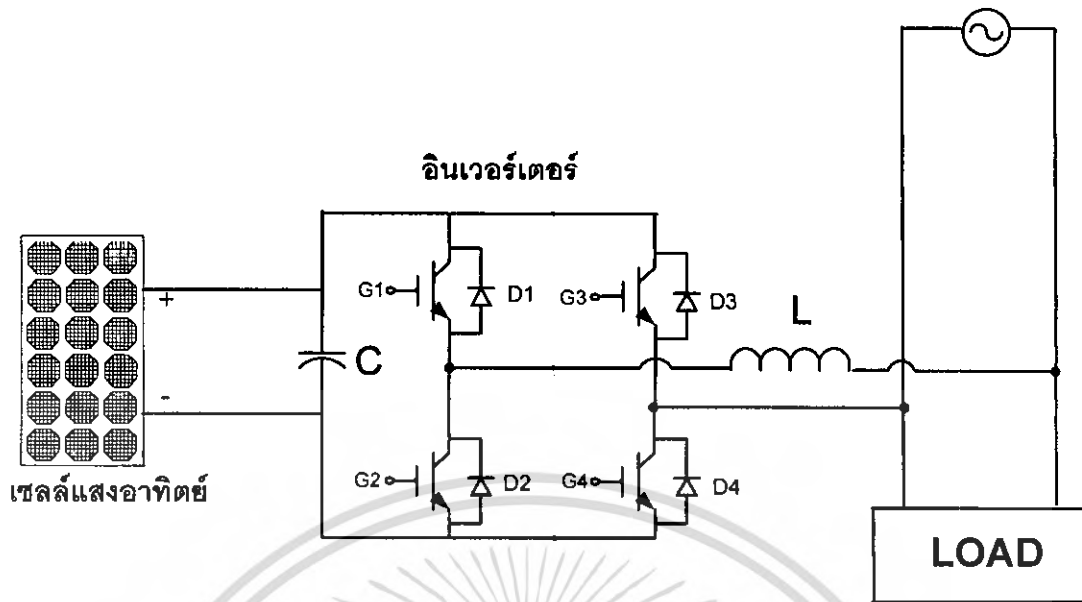
#### 2.4.5 อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบขั้นเดียว(Single state inverter)

บล็อกไดอะแกรมอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบขั้นเดียวและโครงสร้างระบบแสดงได้ดังรูปที่ 2.20 และ 2.21 ตามลำดับ อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบขั้นเดี่ยวนี้ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยไม่มีการจัดการพลังงานที่ด้านฟ้ากระแสตรงก่อนหรือไม่มีวงจรคอนเวอร์เตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการควบคุมให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่จุดให้กำลังงานสูงสุด อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อการไฟฟ้าแบบนี้มีข้อดีตรงที่ค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์มีค่าต่ำ เพราะมีจำนวนอุปกรณ์สวิตช์ที่ทำงานที่ความถี่สูงน้อย แต่มีข้อเสียในการควบคุมที่ยุ่งยากเนื่องจากอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบนี้ นอกจากทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์แล้ว ยังต้องทำหน้าที่ควบคุมการทำงานให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่จุดให้กำลังสูงสุดอีกด้วยและอีกเหตุผลที่สำคัญคือ ค่าแรงดันที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีค่าสูงมากพอที่ทำให้อินเวอร์เตอร์จ่ายกระแสออกสู่ระบบการไฟฟ้า



รูปที่ 2.13 บล็อกไดอะแกรมอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบขั้นเดียว

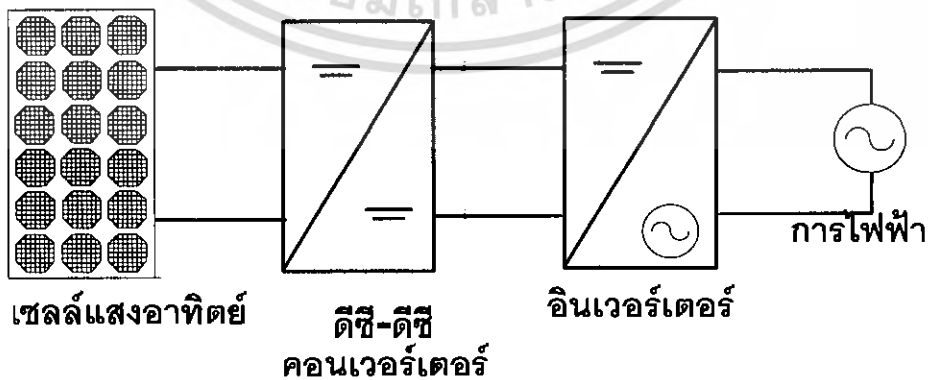
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 โครงสร้างอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบขั้นเดียว

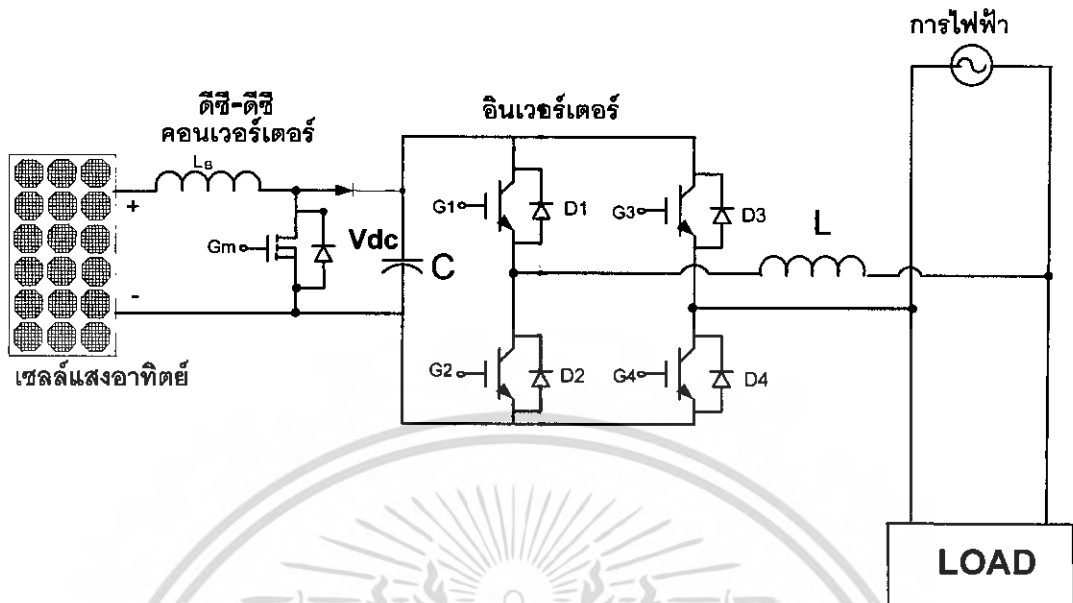
2.4.6 อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบสองขั้น (Two state inverter)

บล็อกไดอะแกรมของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบสองขั้นและโครงสร้างระบบแสดงดังรูปที่ 2.15 และ 2.16 ตามลำดับ อินเวอร์เตอร์แบบนี้จะประกอบด้วยคอนเวอร์เตอร์ดีซี-ดีซีบูสต์คอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมแรงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีค่าสูงขึ้นเพื่อจ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ ส่วนอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งเป็นการจัดการพลังงาน 2 ครั้งทำให้สูญเสียที่เกิดจากอุปกรณ์สวิตซ์จึงสูงกว่าแบบแรก เนื่องจากจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์สวิตซ์ทำงานที่ความถี่สูงมากกว่าขั้นเดียว แต่มีข้อดีในด้านการควบคุมที่ทำได้ง่าย เนื่องจากแยกหน้าที่ในการทำงานอย่างชัดเจนระหว่างการควบคุมกำลังงานสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้า



รูปที่ 2.15 บล็อกไดอะแกรมอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบสองขั้น

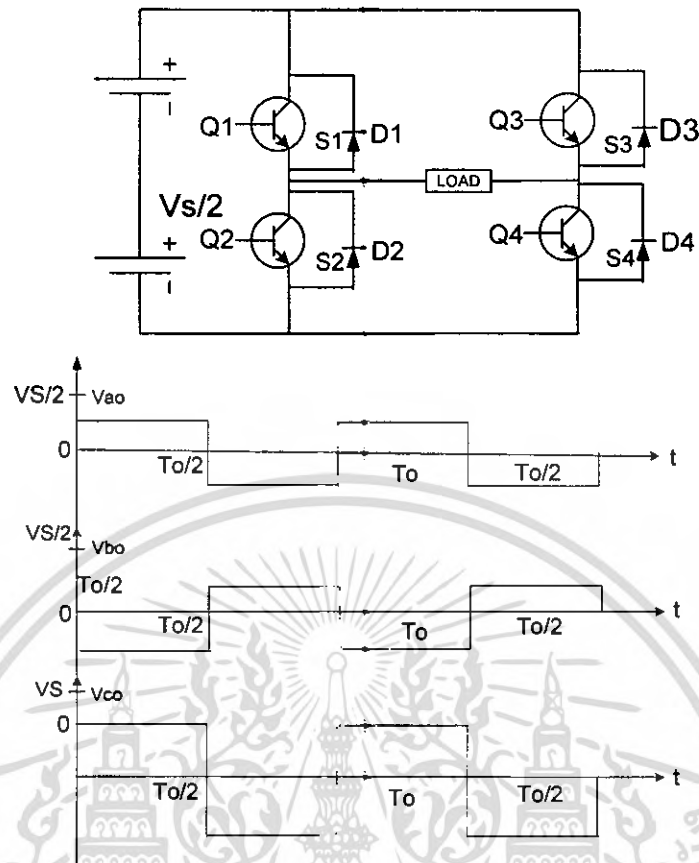
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 โครงสร้างอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบสองชั้น

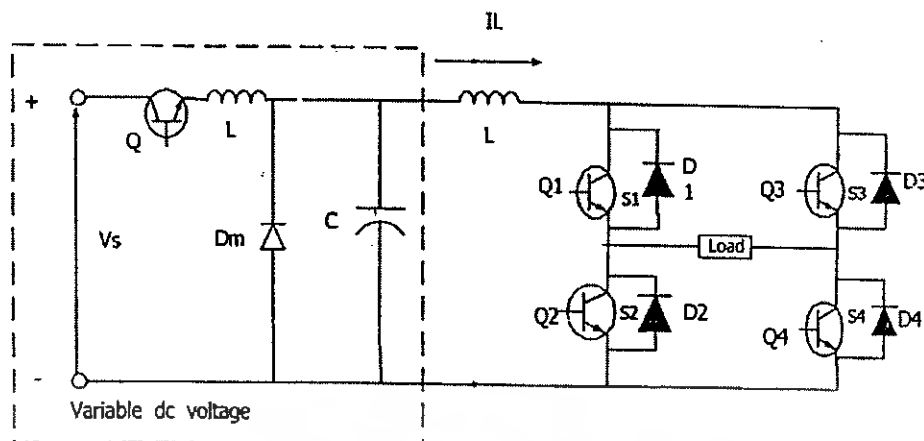
#### 2.4.7 ลักษณะของอินเวอร์เตอร์ที่มีการทำงานแบบฮาร์ดสวิตชิง

อินเวอร์เตอร์เป็นวงจรด้านเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้กันอย่างมากมายความแตกต่างขึ้นอยู่กับวิธีการควบคุมการทำงานที่ได้ปรับปรุง วิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยการประยุกต์ใช้งานที่เห็นใช้งานในปัจจุบัน ได้แก่ ระบบแหล่งจ่ายไฟกำลังแบบต่อเนื่อง หรือระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ โดยทั่วไประบบอินเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้งานประกอบด้วยแหล่งจ่ายกระแสตรงโดยใช้ไดโอดเรกติไฟเออร์ ที่ไม่สามารถควบคุมได้ มีคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่ต่อขนานอยู่ทำหน้าที่เป็นฟิลเตอร์ และต่อวงจรอินเวอร์เตอร์ที่มีอุปกรณ์สวิตชิงควบคุมกระแสไหลทางเดียวพร้อมมีฟริววิลลิ่งไดโอดซึ่งเป็นไดโอดต่อขนานแบบกลับกันอุปกรณ์สวิตชิงเพื่อให้เป็นเส้นทางให้กระแสไหลกลับได้อย่างต่อเนื่องซึ่งเรียกระบบอินเวอร์เตอร์แบบนี้ว่า อินเวอร์เตอร์ชนิดจ่ายแรงดัน (Voltage Source Inverter: VSI) ตามรูปของวงจรในส่วนของอินเวอร์เตอร์ อุปกรณ์สวิตชิงจะใช้เป็นทรานซิสเตอร์ มอสเฟส หรือ ไอจีบีที ก็ได้ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของงานที่ต้องการทำ ซึ่งข้อดีของอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้คือสามารถควบคุมแรงดันและความถี่ได้ง่าย ปรับความถี่ได้ในย่านกว้าง และใช้ได้กับมอเตอร์หลาย ๆ ตัวที่ทำงานพร้อมๆ กัน ส่วนข้อเสียมักมีปัญหาในเรื่องการลัดวงจรของอุปกรณ์สวิตชิงภายในกึ่งเดียวกัน ในทางปฏิบัติ สามารถแก้ไขได้โดยการสร้าง เดดไทม์ เป็นส่วนช่วยในการป้องกัน



รูปที่ 2.17 แสดงระบบอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน

เมื่อระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเป็นที่สามารถควบคุมแรงดันได้ ซึ่งอาจเป็น ไทริสเตอร์เรกติไฟเออร์ สามารถควบคุมได้โดยการควบคุมเฟสของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านอินพุทหรืออาจใช้ไดโอดเรกติไฟเออร์กับดีซีชอปเปอร์ก็ได้ต่ออนุกรม กับอินดักเตอร์ขนาดใหญ่เพื่อสร้างเป็นแหล่งจ่ายกระแส และต่อเข้ากับวงจรเมนอินเวอร์เตอร์จะเรียกอินเวอร์เตอร์แบบนี้ว่า อินเวอร์เตอร์ชนิดจ่ายกระแส ( Current Source Inverter: CSI) ข้อดีของ CSI คือไม่มีปัญหาเรื่อง shoot through เหมือนเช่นในอินเวอร์เตอร์แบบ VSI โครงสร้างการหยุดนำกระแสไม่ซับซ้อน สามารถจำกัดผลกระทบเนื่องจากโหลดอินดักทีฟ โดยไม่ต้องใช้ฟรีวิลลิ่งไดโอด นอกจากนี้ลักษณะที่สำคัญอย่างหนึ่งของ CSI คือการทำงานในโหมด รีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative) ดังนั้นจึงทำให้กำลังไฟฟ้ากลับเข้าสู่ Source แต่อย่างไรก็ตาม CSI จะมีช่วงความถี่อินเวอร์เตอร์ที่ปรับค่าได้ค่อนข้างต่ำ และไม่สามารถทำงานในสภาวะไร้โหลด ซึ่งต้องกระแสไหลอย่างน้อยที่สุดที่จะทำให้คอมมิวเตทอินอินเวอร์เตอร์ได้ และนอกจากนี้ต้องใช้อินเวอร์เตอร์ขนาดใหญ่ และต้องมีตัวเก็บประจุเพื่อการคอมมิวเตท ทำให้ CSI มีขนาดใหญ่ และมีราคาแพง การคอมมิวเตทจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการสับทรานเซียนอินดักแดนซ์ของเครื่องจักรได้ในด้านการตอบสนองของอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ค่อนข้างช้า และมีแนวโน้มที่จะมีปัญหาของเสถียรภาพการทำงานที่โหลดเบา และที่สภาวะความเร็วรอบสูง



รูปที่ 2.18 แสดงวงจรของอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายกระแส

จากคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ทั้งสองชนิด จะมีลักษณะการทำงานที่เรียกว่า ฮาร์ด สวิตชิง (Hard Switching) กล่าวคือการทำงานแบบนี้อุปกรณ์สวิตชิงของอินเวอร์เตอร์ จะเปลี่ยน สถานการณ์ทำงานตามสัญญาณควบคุม ในขณะที่แรงดันตกคร่อมมีค่าเท่ากับแรงดันแหล่งจ่าย หรือขณะที่มีกระแสไหลผ่านที่อุปกรณ์สวิตชิง อย่างทันทีทันใดวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฮาร์ด สวิตชิงคือ มีโครงสร้างวงจรไม่ซับซ้อนทำให้สามารถออกแบบวิธีการควบคุมได้ง่าย จึงเป็นที่ นิยมและใช้งานในปัจจุบัน แต่จากการศึกษาพบว่าการพัฒนาให้อินเวอร์เตอร์แบบนี้ทำงานที่ ความถี่สวิตชิงสูงขึ้น ยังคงมีขีดจำกัดและผลเสียต่างๆ ได้แก่

- เกิดการสูญเสียเนื่องมาจากสวิตชิง (Switching Losses) ซึ่งค่าการสูญเสียดังกล่าวจะ แปรรูปเป็นพลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่อาจทำให้อุปกรณ์สวิตชิงเสียหาย และความร้อนนี้ยัง ทำให้อุปกรณ์อื่นๆ ในระบบเสียหายตามไปด้วยก็ได้ จึงทำให้ต้องเพิ่มแผ่นระบายความร้อนและมีระบบระบายความร้อนที่ดีพอที่จะนำไปสู่ราคาและพื้นที่ในการติดตั้งมากขึ้น

- เกิดความเครียดทางด้านแรงดันและกระแสไฟฟ้า (Voltage and Current Stress) ที่ ตัวอุปกรณ์สวิตชิงสูงขึ้นในช่วงการทำงาน เทอร์ออน และ เทอร์ออฟเนื่องจากการทำงานอาจ นอกเหนือขอบเขตการทำงานที่ปลอดภัยส่งผลให้ต้องเลือกพิกัดกำลังอุปกรณ์สวิตชิงที่สามารถ ทนการทำงานได้สูงขึ้น จึงเป็นส่วนเพิ่มต้นทุนในการผลิต และราคาที่แพงขึ้นด้วย

- เกิดผล  $di/dt$  และ  $dv/dt$  ที่สร้างสัญญาณรบกวนทางสนามแม่เหล็ก (Electromagnetic Interference : EMI) ให้กับวงจรใกล้เคียงอื่นๆทำงานผิดพลาด จะเห็นได้ว่าผลกระทบจาก ข้อเสียดังกล่าวทำให้ สมรรถนะ ประสิทธิภาพ ความน่าเชื่อถือ และความไว้วางใจในการทำงาน ของอินเวอร์เตอร์ลดลง แต่อย่างไรก็ตาม ความจำเป็นของงานบางอย่างที่มีอาจหลีกเลี่ยงได้ กับ ข้อดีในหลายๆ ด้านของการทำงานที่ความถี่สวิตชิงจึงต้องหาทางแก้ไขปัญหาดังกล่าว ให้หมดไป เพื่อรักษาไว้ซึ่งคุณค่าของการทำงานที่ความถี่สวิตชิงสูง รวมทั้งอินเวอร์เตอร์ที่มีประสิทธิภาพมี ความน่าเชื่อถือในการทำงานที่ดีขึ้นด้วย เนื่องจากผลการทำงานแบบฮาร์ดสวิตชิงจะเห็นได้ว่ามี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสูญเสียเกิดขึ้นที่สวิตช์จึงต้องหาหนทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นขั้นแรกโดยนำเอาวงจร snubber มาแก้ไขในวงจร

สาเหตุของการสูญเสียที่เกิดขึ้นในสวิตช์ซึ่งอาจเกิดได้ดังสาเหตุต่อไปนี้

1. การสูญเสียอันเนื่องมาจากการนำกระแสของอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งจะเป็นสัดส่วนกับแรงดันตกคร่อมและกระแส ขณะนำกระแสซึ่งจะแปรผันตามความถี่
2. การสูญเสียอันเนื่องมาจากการสวิตช์ซึ่งจะเกิดขึ้นระหว่างการเทอร์ออน และเทอร์ออฟ ของอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งปัญหานี้จะเกิดขึ้นเด่นชัดที่ความถี่สวิตช์ที่สูงๆ

#### 2.4.8 ลักษณะของอินเวอร์เตอร์ที่มีการทำงานแบบซอฟท์สวิตช์

อินเวอร์เตอร์ที่ทำงานแบบฮาร์ดสวิตช์ จะมีขีดจำกัดในการทำงานและให้ผลเสียต่างๆ จึงไม่เหมาะในการทำงานที่ความถี่สวิตช์สูงๆ แต่เดิมการใช้วงจร snubber ใส่เข้าไปให้อุปกรณ์สวิตช์แต่ละตัวสามารถช่วยให้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ดีขึ้นได้ด้วยวงจร snubber จะช่วยป้องกันไม่ให้พีทกระแสและแรงดันเกินค่าพิกัด ขณะเดียวกันก็ยิ่งช่วยลดการสูญเสียของการสวิตช์ได้แต่ไม่สามารถลดการสูญเสียได้ทั้งหมดรวมทั้งการออกแบบวงจร snubber จะต้องกระทำอย่างเหมาะสมเพื่อให้สามารถทำงานเข้ากับวงจรที่กำลังใช้งานอยู่ได้ดี นอกจากนี้จำนวนของวงจร snubber จะขึ้นอยู่กับจำนวนสวิตช์ในวงจรกำลังนั้นและต้องเตรียมพื้นที่ไว้สำหรับการระบายความร้อนของวงจร snubber ด้วยดังนั้นจึงมีผู้คิดค้นและวิจัยขึ้นมาใหม่เพื่อกำจัดปัญหาดังกล่าวให้ดีขึ้นและมีการทำงานที่ดีกว่าวงจร snubber โดยมีหลักการคือเปลี่ยนระบบการทำงานของอินเวอร์เตอร์แบบฮาร์ดสวิตช์ ให้เป็นระบบการทำงานแบบซอฟท์สวิตช์ หรือสวิตช์แบบนุ่มนวล

ในการทำงานแบบนี้ หมายถึงการให้อุปกรณ์สวิตช์เปลี่ยนสถานะการทำงานในสภาวะที่แรงดันตกคร่อมเป็นศูนย์ (Zero Voltage Switching: ZVS) หรือที่สภาวะกระแสเป็นศูนย์ (Zero Current: ZIS) อย่างหนึ่งอย่างใดวิธีที่ทำให้มีการทำงานในลักษณะนี้จะใช้วงจรรีโซแนนซ์เข้ามาช่วยและได้ถูกนำไปรวมกับอินเวอร์เตอร์ที่มีการทำงานแบบฮาร์ดสวิตช์โดยวงจรรีโซแนนซ์ที่ใช้ทั่วไปประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ตัวหลักคือ ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ทำหน้าที่สร้างสภาวะรีโซแนนซ์เพียงอย่างเดียว หรือบางที่อาจใช้อุปกรณ์สวิตช์ หรือไดโอดเข้ามาช่วยควบคุมการทำงานของตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุสร้างสภาวะรีโซแนนซ์ให้เป็นไปตามต้องการได้

ผลจากการทำงานของวงจรรีโซแนนซ์ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมหรือกระแสที่สวิตช์เกิดการแกว่ง (Oscillate) เป็นช่วงๆและเกิดจุดเป็นศูนย์ (Closes Zero Point) ที่จุดศูนย์นี้ อุปกรณ์สวิตช์ของอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์จะเปลี่ยนสถานะการทำงาน จึงเรียกว่าเป็นการทำงานสวิตช์แบบนุ่มนวล ทำให้ค่าการสูญเสียจากสวิตช์ และความเครียดแรงดันและกระแสไฟฟ้า รวมทั้งเกิดผล  $di / dt$  และ  $dv / dt$  ลดต่ำลงหรือไม่ เกิดขึ้นได้ซึ่งอาจทำให้อุปกรณ์สวิตช์ไม่จำเป็นต้อง

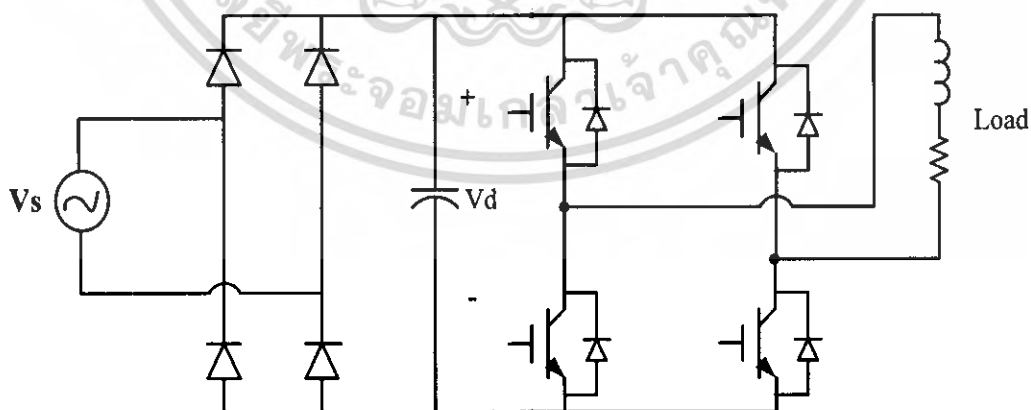
ใช้แผ่นระบายความร้อน ทำให้มีการใช้พื้นที่ติดตั้งน้อยลงดังนั้น เพาเวอร์แฟคเตอร์ที่กระแสไม่เป็นรูปไซน์ จะกำหนดเป็น

$$pf = \frac{I_s}{\cos \phi} \quad (2.16)$$

ถ้า  $i_s / i_s$  มีค่าน้อยๆ แล้วจะทำให้ความผิดเพี้ยนมากและเพาเวอร์แฟคเตอร์มีค่าต่ำเพาเวอร์แฟคเตอร์สามารถที่จะแสดงในรูปของ THD

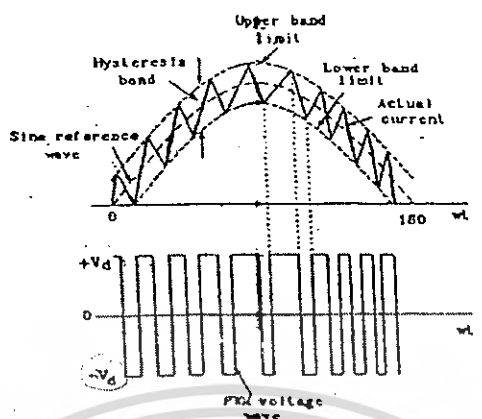
## 2.5 เทคนิค Adaptive Current control PWM

ในอินเวอร์เตอร์แบบ Voltage source ที่ใช้ Diode rectifier นั้น จะมีข้อเสียอยู่มากคือ จะทำให้เกิดฮาร์มอนิกขึ้น ในสาย AC และกระแสตรง DC link จะมี ripple เกิดขึ้นดังนั้นเทคนิค Adaptive Current control PWM จะมีความสามารถในการควบคุมกระแสโดยมีการปรับตัวเองโดยอัตโนมัติ ภายใต้ขอบเขตฮีสเตอร์รีซิส โดยการตรวจจับกระแสจริงมาเปรียบเทียบกับกระแสไซน์อ้างอิง เมื่อกระแสจริงเกินขอบเขตฮีสเตอร์รีซิสที่กำหนดไว้ ทรานซิสเตอร์ด้านบนจะหยุดนำกระแสในขณะที่ทรานซิสเตอร์ด้านล่างจะนำกระแสเป็นผลให้แรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนจาก  $V_d$  เป็น  $-V_d$  และกระแสเริ่มลดลงจนกระทั่งกระแสลดลงมาถึง ขอบเขตล่างของฮีสเตอร์รีซิสจะมีการเปลี่ยนสวิตช์ โดยทรานซิสเตอร์ด้านบนจะนำกระแส ส่วนทรานซิสเตอร์ด้านล่างจะหยุดนำกระแส ซึ่งจะเป็นการครบรอบสวิตช์ ช่วงที่ทรานซิสเตอร์ตัวและตัวล่างจะเปลี่ยนการสวิตช์นั้น จะมีการลอค-เอาต์ time เพื่อไม่ให้ทรานซิสเตอร์ด้านบนและตัวล่างสวิตช์พร้อมกัน เป็นการป้องกันไม่ให้เกิด shot-branch ขึ้น

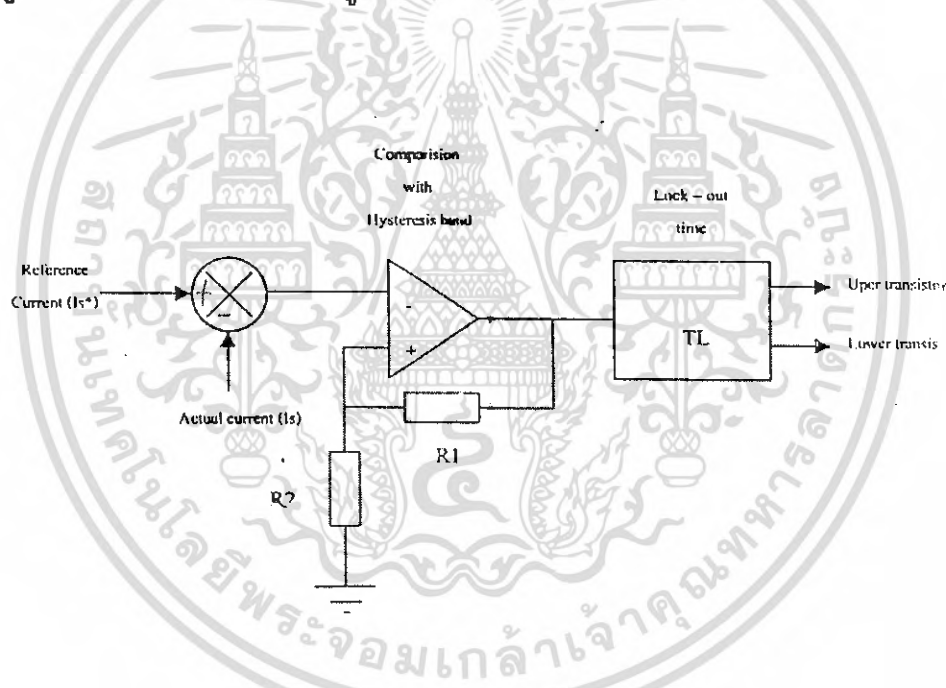


รูปที่ 2.19 Voltage source Inverter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



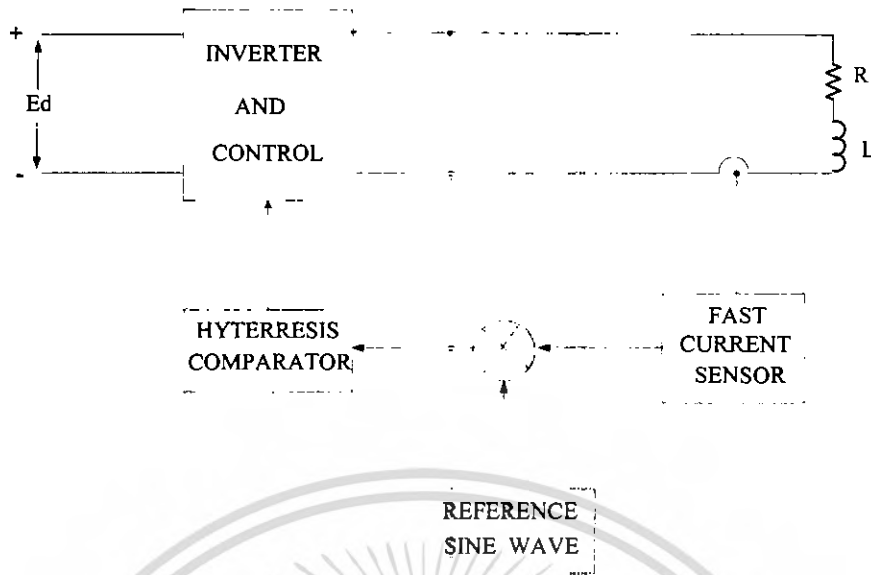
รูปที่ 2.20 แสดงหลักการเกิดรูปคลื่น PWM โดยเทคนิค Adaptive Current control



รูปที่ 2.21 แสดงวงจรควบคุมเทคนิค Adaptive Current control

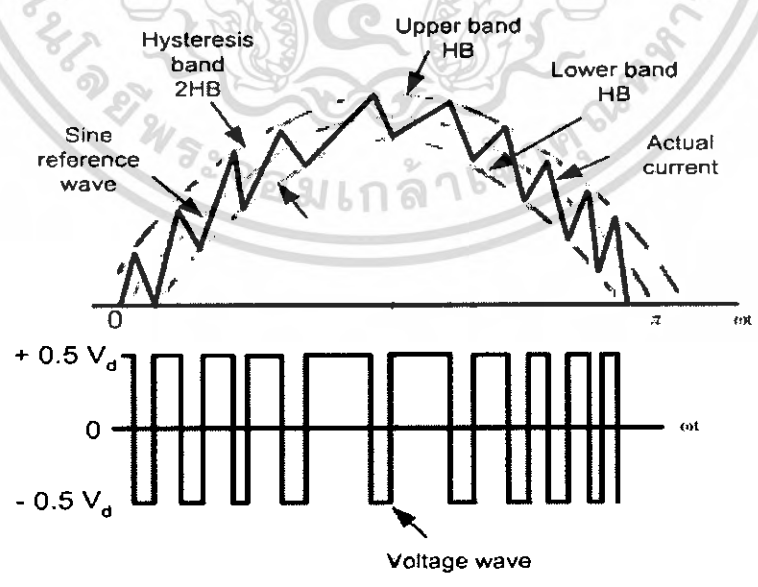
จุดประสงค์ของเทคนิคนี้ เพื่อให้รูปคลื่นกระแสที่เกิดขึ้นแปรตามรูปคลื่นอ้างอิง ซึ่งเราจะสร้างขึ้นมา ส่วนที่สำคัญของเทคนิค Adaptive Current control นี้ คือ การตรวจจับกระแสจริงมาเปรียบเทียบกับสัญญาณคลื่นอ้างอิง ความแตกต่างระหว่าง 2 สัญญาณจะอยู่ภายในค่าที่กำหนด โดยการ swing ของอินเวอร์เตอร์ระหว่าง maximum voltage กับ minimum voltage แสดงบลิ้อการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



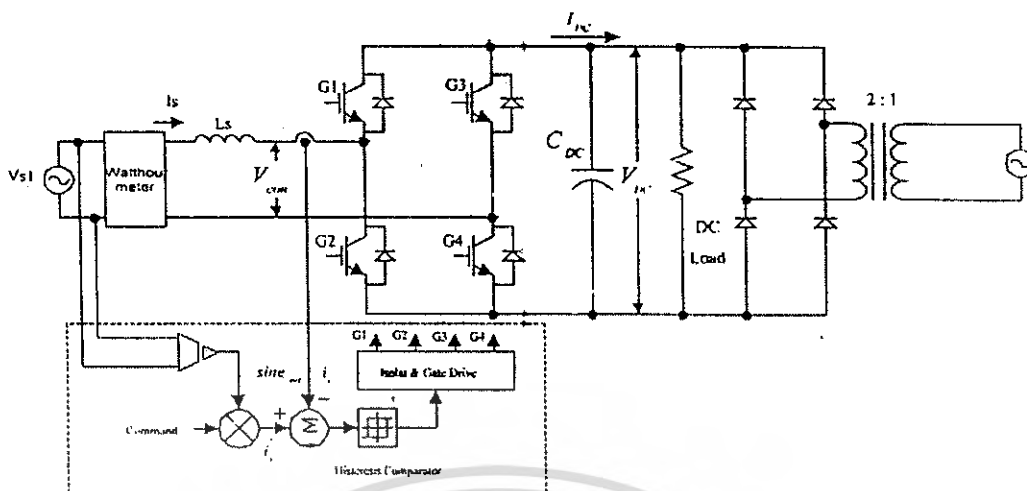
รูปที่ 2.22 บล็อกการทำงานพื้นฐานของ Adaptive Current control

รูปแบบการควบคุมประกอบไปด้วย ตัวตรวจจับกระแส สัญญาณไซน์อ้างอิง ซึ่งปรับได้ทั้งขนาดและความถี่, Hysteresis compartor, voltage-source inverter ค่ากระแสไหลดจริงได้มาจากการตรวจจับโดย current sensor นำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณไซน์อ้างอิง เมื่อไรก็ตามที่กระแสจริงเบี่ยงเบนไปจากค่าอ้างอิง โดยมีค่าที่กำหนดไว้ วงจรควบคุมจะส่งสัญญาณ Tigger ไปทริกไอจีบีทีเพื่อให้เกิดการสวิตช์เพื่อลดค่าเบี่ยงเบนนี้ ดังนั้นกระแสจริงจะถูกจำกัด



รูปที่ 2.23 แสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสจริงในขอบเขตฮิสเตอร์รีซิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



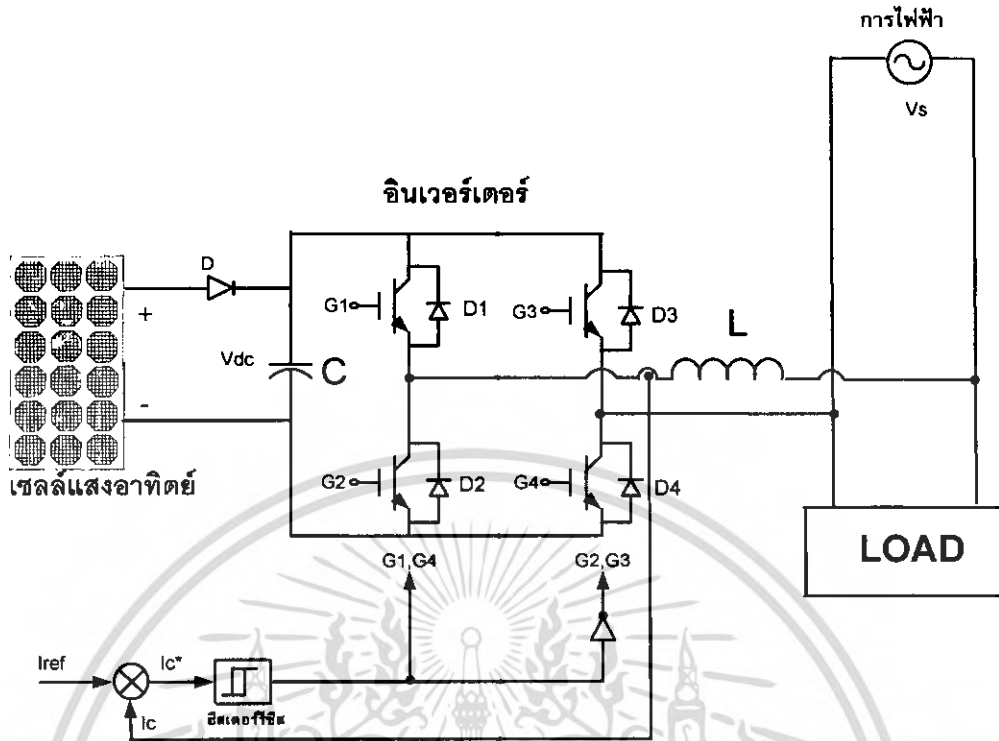
รูปที่ 2.24 การทำงานของคอนเวอร์เตอร์

## 2.6 การควบคุมกระแสฮิสเตอร์รีซิส

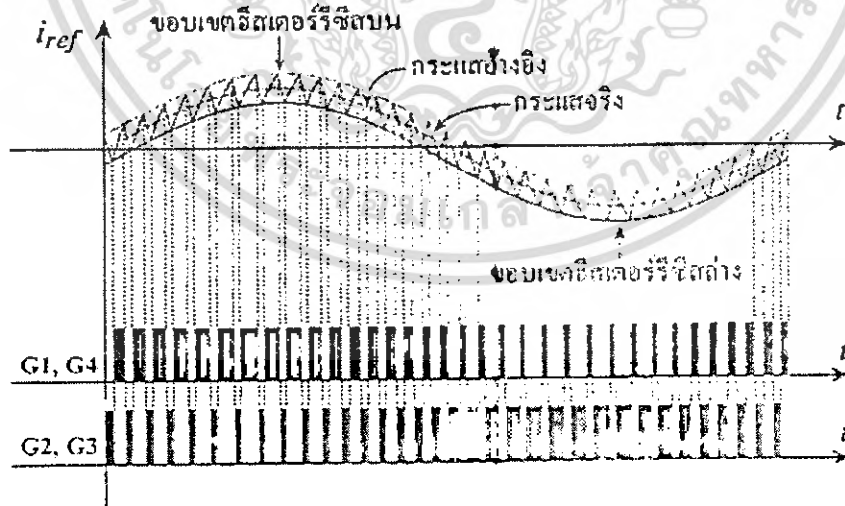
การควบคุมด้วยเทคนิคการติดตามขอบเขตฮิสเตอร์รีซิสนั้นมีหลักการคือ นำกระแสอ้างอิงมาสร้างขอบเขตฮิสเตอร์รีซิสบนด้วยการบวกความกว้างฮิสเตอร์รีซิสกับกระแสอ้างอิงและสร้างขอบเขตฮิสเตอร์รีซิสล่างด้วยการนำกระแสอ้างอิงลบความกว้างฮิสเตอร์รีซิส

สมมุติกระแสอ้างอิงเป็นไซน์ จากนั้นนำกระแสจริงมาเปรียบเทียบกับขอบเขตฮิสเตอร์รีซิสล่าง ถ้าเท่ากัน (กระแสจริงชนขอบเขตฮิสเตอร์รีซิสล่าง) สัญญาณสวิทช์ G1, G4 ต้องเปลี่ยนสถานะเป็น 1 (ON) แต่ถ้าไม่เท่ากัน ทำการเปรียบเทียบกระแสจริงกับขอบเขตฮิสเตอร์รีซิสบน ถ้าเท่ากัน (กระแสจริงชนขอบเขตฮิสเตอร์รีซิสบน) สัญญาณสวิทช์ G1, G4 ต้องเปลี่ยนสถานะเป็น 0 (OFF) แต่ถ้าไม่จริงทั้ง 2 กรณี (กระแสจริงอยู่ในขอบเขตฮิสเตอร์รีซิส) ให้คงสถานะสัญญาณสวิทช์ G1, G4 ไว้

จากกระบวนการดังกล่าวจะได้สัญญาณ PWM ที่นำไปควบคุม IGBT ทั้ง 4 ตัว รูปที่ 2.24 และ 2.25 แสดงบล็อกไดอะแกรมและรูปสัญญาณกระแสจริงในการควบคุมแบบติดตามขอบเขตฮิสเตอร์รีซิสตามลำดับ

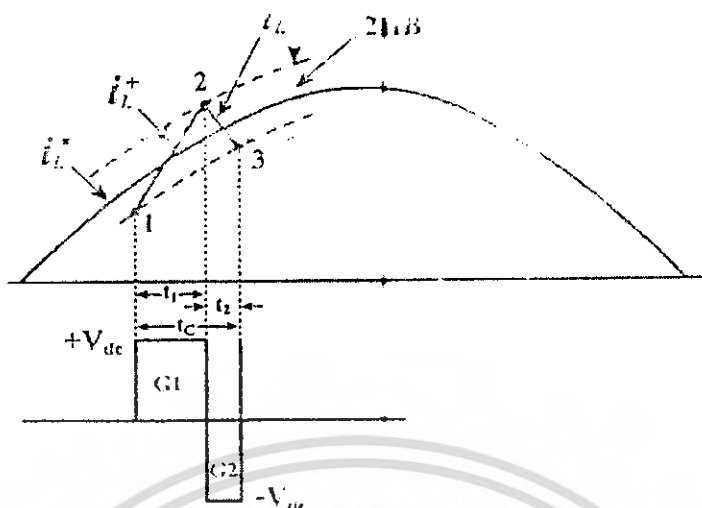


รูปที่ 2.25 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมกระแสยีสเตอร์รีซิส



รูปที่ 2.26 สัญญาณกระแสอ้างอิงและสัญญาณสวิทช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 สัญญาณกระแสจริงภายใต้ขอบเขตฮิสเตอร์รีซิส

การวิเคราะห์หลักการควบคุมกระแสแบบติดตามขอบเขตฮิสเตอร์รีซิสนั้นมีการทำงานอยู่ 2 สถานะ คือ เมื่อกระแสจริงไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ  $i_L$  เดินทางจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 โดยกระแสจริงเคลื่อนที่จากขอบเขตล่างไปยังขอบเขตบนส่งผลให้ความชันของกระแสจริงเพิ่มขึ้นจากจุดที่ 2 ไปยังจุดที่ 3 กระแสจริงจึงเคลื่อนที่จากขอบเขตบนมายังขอบเขตล่างส่งผลให้ความชันของกระแสจริงลดลง ดังนั้นการวิเคราะห์จากรูปที่ 2.26 สามารถเขียนเป็นสมการที่เกิดจากการสวิตช์ที่เวลา  $t_1$  และ  $t_2$

เมื่อ G1 นำกระแส (turn on) และ G2 ไม่นำกระแส (turn off) ที่เวลา  $t_1$

$$-V_{dc} + V_L + v_S = 0 \quad (2.17)$$

$$V_L = V_{dc} - v_S \quad (2.19)$$

$$L \frac{di_L^+}{dt} = V_{dc} - v_S \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ G2 นำกระแส (turn on) และ G1 ไม่นำกระแส (turn off) ที่เวลา  $t_2$

$$L \frac{di_L^-}{dt} = +V_{dc} + v_s \quad (2.21)$$

เมื่อนำ  $t_1 + t_2$  จะได้ว่า

$$\frac{di_L^+}{dt} + \frac{di_L^-}{dt} = 0 \quad (2.22)$$

จากรูปที่ 2.25 พบว่าที่เวลา  $t$  ใดๆ ค่าความชันของกระแสอ้างอิง ( $i_L^*$ ) นั้นมีค่าน้อยมาก โดยมีค่าเข้าใกล้ศูนย์เมื่อเปรียบเทียบกับความชันของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ( $i_L$ ) ซึ่งมีค่าความชันมากกว่าและหลังจากหลักการตรีโกณมิติในรูปที่ 2.26 สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\frac{di_L^+}{dt} t_1 - \frac{di_L^*}{dt} t_1 = 2HB \quad (2.23)$$

$$\frac{di_L^-}{dt} t_2 - \frac{di_L^*}{dt} t_2 = -2HB \quad (2.24)$$

$$t_2 + t_1 = T_C = \frac{1}{f_c} \quad (2.25)$$

เมื่อ  $t_1$  และ  $t_2$  คือ เวลาในการสวิตช์ของไอจีบีที และ  $f_c$  คือ ความถี่สวิตช์ชิ่ง และเมื่อนำสมการที่ (2.23) และ (2.24) มาบวกกันแล้วแทนในสมการที่ (2.25) จะได้ตั้งสมการ (2.26) และสมการที่ (2.27)

$$t_1 \frac{di_L^+}{dt} + t_2 \frac{di_L^-}{dt} (t_1 + t_2) = 0 \quad (2.26)$$

$$t_1 \frac{di_L^+}{dt} + t_2 \frac{di_L^-}{dt} - \frac{1}{f_c} \frac{di_L^*}{dt} = 0 \quad (2.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำสมการที่ (2.23) ลบสมการที่(2.24)จะได้สมการที่ (2.28)

$$t_1 \frac{di_L^+}{dt} - t_2 \frac{di_L^-}{dt} - (t_1 - t_2) \frac{di_L^*}{dt} = 4HB \quad (2.28)$$

จากสมการที่ (2.22) แทนลงในสมการที่ (2.28) จะได้สมการที่ (2.29)

$$\frac{di_L^+}{dt} = \frac{di_L^-}{dt}$$

$$4HB = \frac{1}{f_c} \frac{di_L^+}{dt} - (t_1 - t_2) \frac{di_L^*}{dt} \quad (2.29)$$

นำสมการที่ (2.21)แทนลงในสมการที่ (2.26) จะได้ดังสมการที่ (2.29)

$$(t_1 - t_2) = \frac{\frac{di_L^*}{dt}}{f_c \frac{di_L^+}{dt}} \quad (2.30)$$

นำสมการที่ (2.29) แทนลงในสมการที่ (2.28) จะได้ดังสมการที่ (2.30)

$$4HB = \frac{1}{f_c} \left[ \frac{di_L^+}{dt} - \frac{(\frac{di_L^*}{dt})^2}{\frac{di_L^+}{dt}} \right] \quad (2.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.20) แทนลงในสมการที่ (2.31) จะได้ตั้งสมการที่ (2.32) และ (2.33)

$$\frac{di_L^*}{dt} = \frac{V_{dc} - v_S}{L}$$

$$4HB = \frac{1}{f_c} \left[ \frac{V_{dc} - v_S}{L} - \frac{\left(\frac{di_L^*}{dt}\right)^2}{\frac{V_{dc} - v_S}{L}} \right]$$

เมื่อ  $m = \frac{di_L^*}{dt}$  คือ ความชันของกระแสอ้างอิง

$$4HB = \frac{1}{f_c} \left[ \frac{V_{dc} - v_S}{L} - \frac{m^2}{\frac{V_{dc} - v_S}{L}} \right]$$

$$4HB = \frac{V_{dc} - v_S}{Lf_c} \left[ 1 - \frac{m^2 L^2}{(V_{dc} - v_S)^2} \right]$$

$$HB = \frac{0.25(V_{dc} - v_S)}{Lf_c} \left[ 1 - \frac{m^2 L^2}{(V_{dc} - v_S)^2} \right] \quad (2.32)$$

$$f_c = \frac{0.25(V_{dc} - v_S)}{(HB)L} \left[ 1 - \frac{m^2 L^2}{(V_{dc} - v_S)^2} \right] \quad (2.33)$$

โดยสมการที่ (2.32) แสดงถึงแถบความถี่ฮีสเตอร์ซิสซึ่งอยู่ในฟังก์ชันของมอดดูเลตความถี่ จาก สมการที่ (2.33) แสดงถึงแรงดันขณะดัดคร่อมตัวเก็บประจุเป็นค่าคงที่ ดังนั้นความถี่ในการสวิตชิงสูงสุดขึ้นอยู่กับขนาดตัวเหนี่ยวนำและความกว้างขอบเขตฮีสเตอร์ซิส เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติไม่สารกใช้ตัวเหนี่ยวนำและความกว้างและความกว้างขอบเขตฮีสเตอร์รีซีซีมีค่าน้อยๆ ได้เพราะทำให้ความถี่ในการสวิตช์สูงเกินพิกัดของอุปกรณ์การสวิตช์เป็นเหตุให้อุปกรณ์การสวิตช์เสียหาย แต่ถ้ากำหนดตัวเหนี่ยวนำและความกว้างขอบเขตฮีสเตอร์รีซีซีมีค่ามาก การตอบสนองต่อการสร้างกระแสขา ดังนั้นในการกำหนดขนาดตัวเหนี่ยวนำและความกว้างขอบเขตฮีสเตอร์รีซีซีจะต้องเลือกให้เหมาะสมและความถี่สวิตช์  $f_c$  ยังขึ้นอยู่กับ  $m$  ความถี่สวิตช์มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับองศาทางไฟฟ้าของสัญญาณและกระแสอ้างอิงและสัญญาณแรงดัน จากสมการที่ (2.33) สามารถหาความถี่สวิตช์สูงสุด เมื่อ  $\omega t = 0, \pi$  โดยที่  $i_L = I_m^* \sin \omega t$

$$m^2 = \left[ \frac{d}{dt} I_m^* \sin \omega t \right]^2 = 0.5 \omega^2 I_m^{*2} (1 + \cos 2\omega t) \quad (2.34)$$

และ  $v_S = V_m \sin \omega t$  ทำให้  $v_S = 0$  จะได้ว่า

$$f_{C \max} = \frac{0.25 V_{dc}}{(HB)L} \left[ 1 - \frac{\omega^2 m^2 L^2}{V_{dc}^2} \right]$$

สมมติให้  $\frac{\omega^2 I_m^{*2} L^2}{V_{dc}^2} \ll 1$  จะได้ว่า

$$f_{C \max} = \frac{0.25 V_{dc}}{(HB)L} \quad (2.35)$$

จากสมการที่ (2.54) สามารถหาความถี่สวิตช์ต่ำสุดเมื่อ  $\omega t = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}$

$$f_{C \min} = \frac{0.25(V_{dc} - v_S)}{(HB)L}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ  $v_s = V_m \sin \omega t$  ทำให้  $v_s = V_m$  จะได้ว่า

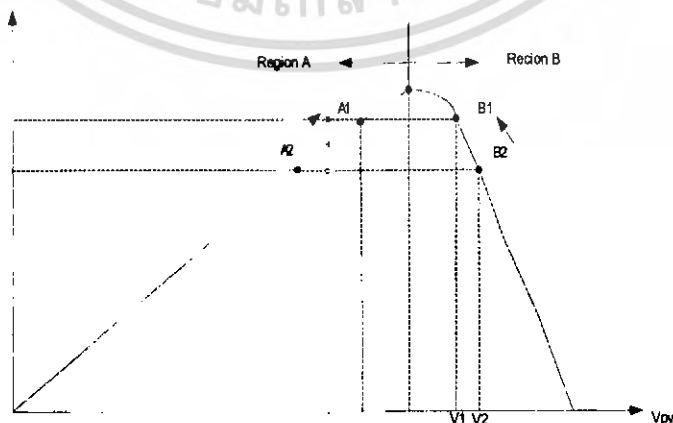
$$f_{C \min} = \frac{0.25(V_{dc} - v_m)}{(HB)L} \tag{2.36}$$

เมื่อ  $f_{C \max}$  คือ ความถี่สวิตช์สูงสุด  
 $f_{C \min}$  คือ ความถี่สวิตช์ต่ำสุด

ดังนั้นในการออกแบบควบคุมขอบเขตฮิสเตอร์ซิสให้คงที่นั้น (fix band) เมื่อต้องการออกแบบให้ความถี่สวิตช์สูงสุด  $f_{C \max}$  ซึ่งขึ้นอยู่กับผลต่างระหว่างแรงดันไฟตรง  $V_{dc}$  กับแรงดันการไฟฟ้า  $V_s$  มากที่สุดอยู่ที่  $\omega t = 0, \pi$  เเรเดียน และความถี่สวิตช์สูงสุด  $f_{C \min}$  อยู่ที่  $\omega t = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}$  ในหนึ่งรอบสัญญาณ

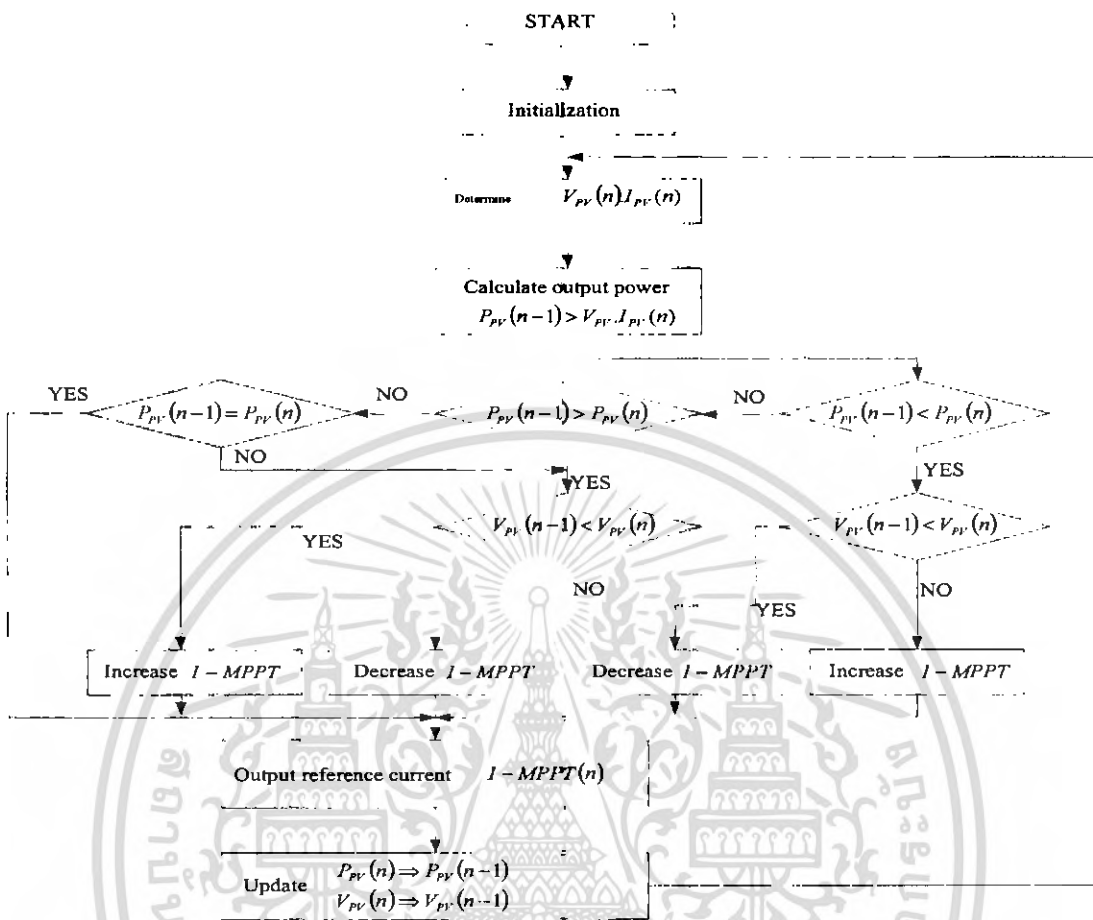
### 2.7 การหาค่ากำลังสูงสุดสำหรับอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อการไฟฟ้า

วิธีการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดของโซลาร์เซลล์ เพื่อจ่ายไฟฟ้าเข้ากับระบบกริด โดยแบ่งการควบคุมเป็นการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับชดยใช้วิธีการควบคุมแบบฮิสเตอร์ซิสเพื่อควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวสำหรับสร้างกระแสรูปคลื่นไซน์ที่มีเฟสตรงกันกับแรงดันกริด โดยใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเป็นการควบคุมการทำงานของระบบ Maximum Power Tracking (MPPT)



รูปที่ 2.28 PV output cure with respect to the PV output voltage

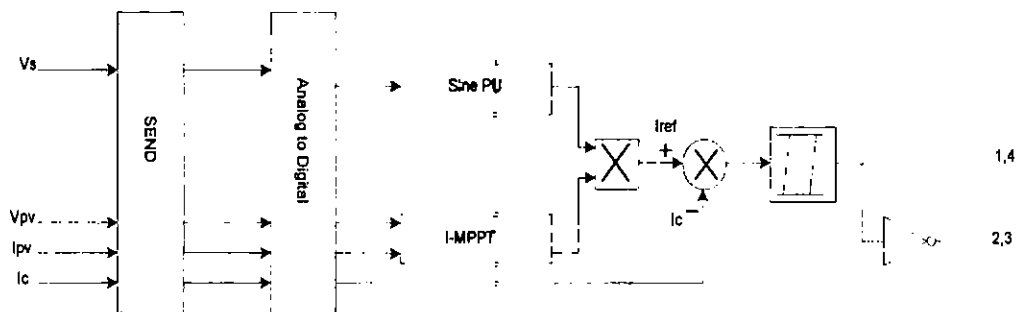
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอก  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 Flow chart of the MPPT

เทคนิคการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดของระบบโซลาร์เซลล์ ในโครงงานนี้จะอาศัยการพิจารณาค่าแรงดันและกระแสที่โซลาร์เซลล์จ่ายออกมา และนำค่ามาพิจารณาตามคุณสมบัติของโซลาร์เซลล์ตามลักษณะของกราฟ VI Curve เมื่อพิจารณาเป็น Power (W) จะได้กราฟดังรูปที่ 1 คือจะมีจุดจ่ายกำลังสูงสุดอยู่เพียงจุดเดียวในระดับความเข้มแสงระดับที่รับที่ได้รับแสงในเวลานั้นๆ และจำนวนการต่อแผงแบบต่างๆ จากลักษณะของการควบคุมการทำงานของโครงงานนี้จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 บล็อกการทำงานของ MPPT

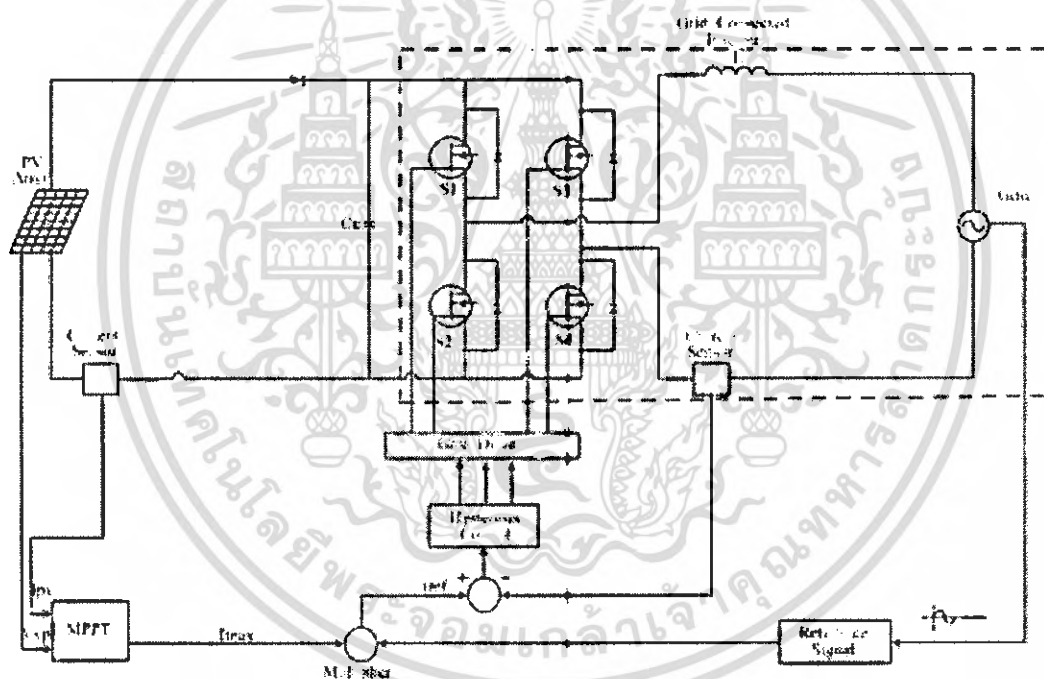
การควบคุมการทำงานของระบบจะควบคุมที่กระแสคำสั่งให้อินเวอร์เตอร์เป็นตัวจ่ายกระแสออกมา ( $I_{ref}$ ) โดยมีการกำหนดขนาดของ  $I_{ref}$  ให้มีค่าคงมากหรือน้อยสามารถทำได้ 2 วิธีคือ วิธีแรกกำหนดขนาดของกระแสคำสั่งให้มีค่าคงที่อาจจะเป็น 1A, 1.5A, หรือ 2A แต่วิธีนี้จะทำให้การจ่ายค่ากำลังที่แผงโซลาร์เซลล์มีค่าน้อยกว่าค่ากำลังสูงสุดในขณะนั้นๆ ( $P_{max}$ ) ของแผงโซลาร์เซลล์ วิธีที่สองคือ การกำหนดขนาดกระแสคำสั่ง ( $I_{ref}$ ) จากโปรแกรมประมวลผล (MPPT) ที่เพิ่มเข้าไปแทนที่ค่ากระแสคำสั่งคงที่ โดยการใช้ขนาดกระแสที่ควรจะเป็น (I-MPPT) ซึ่งจะได้มาเป็นค่าขนาดจากการประมวลผลของค่า  $V_{pv}$  กับค่า  $I_{pv}$  แล้วนำมาคูณกับค่า Sine 1pu จะได้  $I_{ref}$  ที่จุด MPPT ของการทำงานในในสภาวะของปริมาณแสงขณะนั้นๆ

การทำงานของโปรแกรมเพื่อหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดของโปรแกรม (MPPT) จะมีหลักการทำงานคือ จากกราฟคุณสมบัติของ Solar cell ในรูปที่ 1 คือเมื่อมีการกำหนดกระแสคำสั่งมากจะทำให้  $V_{pv}$  และ  $P_{pv}$  ลดลงด้วยในทางกลับกัน เมื่อมีคำสั่งให้จ่ายกระแสน้อยๆจะทำให้  $V_{pv}$  สูงขึ้นแต่สูงน้อย ดังนั้นในการกำหนดค่ากระแสคำสั่ง (I-MPPT) จะต้องมามีค่าที่พอดีกับค่า Power (W) ที่ Cell ผลักได้ในขณะนั้นๆ โดยโปรแกรมจะเซตค่าแรงดันและ Power โดยขั้นตอนแรกจะเซตค่า Power โดยการเซตค่าเก่าเปรียบเทียบกับค่าใหม่แล้วนำไปตรวจเช็คแรงดัน ( $V_{pv}$ ) ค่าเก่าเปรียบเทียบกับค่าใหม่ เมื่อเข้าเงื่อนไขก็จะทำการเพิ่มค่า I-MPPT หรือลดค่า I-MPPT ที่จะเป็นค่ากระแสคำสั่งไปโปรแกรมหลักต่อไป

### บทที่ 3

#### การออกแบบและสร้างวงจรควบคุมและวงจรกำลัง

บทนี้จะกล่าวถึงลักษณะโครงสร้างระบบควบคุมและวงจรกำลังของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้าโดยมีการแก้ไขตัวประกอบกำลัง โดยเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นประกอบด้วยวงจรตรวจจับกระแสและแรงดัน, วงจรควบคุมหลักที่ควบคุมโดยตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSC) และวงจรกำลัง, อินเวอร์เตอร์ ซึ่งทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อเชื่อมต่อการไฟฟ้าและหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงโซลาร์เซลล์ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลา โดยถูกควบคุมจากสัญญาณที่ได้คำนวณจากตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัล รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างส่วนประกอบของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้าโดยมีการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด



รูปที่ 3.1 โครงสร้างส่วนประกอบของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า

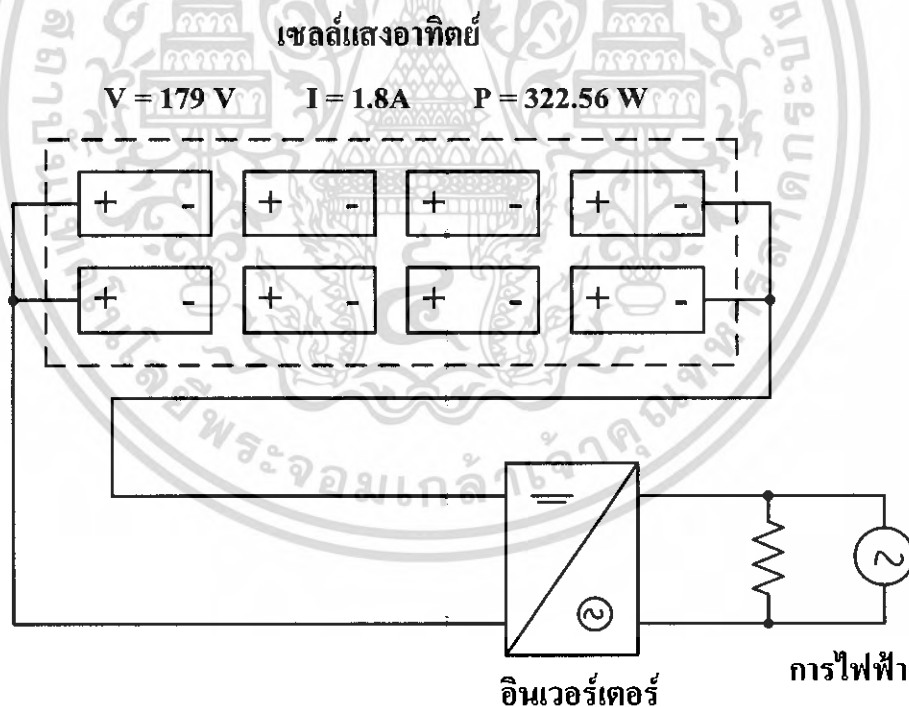
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 การออกแบบระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นของบริษัท บางกอกโซลาร์ รุ่น BS 40 จำนวน 8 แผง โดยมีข้อมูลสำคัญในการออกแบบดังนี้

กำลังไฟฟ้าสูงสุด : $P_{max}$	40w	$\pm 10 \%$
แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร : $V_{oc}$	62.2V	$\pm 10 \%$
กระแสไฟฟ้ลัดวงจร : $I_{sc}$	1.16A	$\pm 10 \%$
แรงดันไฟฟ้าที่จุดให้กำลังงานสูงสุด : $V_M$	48.8V	$\pm 10 \%$
กระแสไฟฟ้าที่จุดให้กำลังงานสูงสุด : $I_M$	0.9A	$\pm 10 \%$

ลักษณะการต่อเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเป็นวงจรผสม โดยต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์อนุกรมกัน 4 แผง 2 ชุดซึ่งแต่ละชุดจะได้แรงดันไฟฟ้า 179 V กระแสไฟฟ้า 0.9 A จากนั้นนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 ชุดมาต่อขนานกันจะได้แรงไฟฟ้า 179V กระแสไฟฟ้า 1.8A ซึ่งได้กำลังไฟฟ้าทั้งหมด 322.56W



**รูปที่ 3.2** ลักษณะการต่อเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การออกแบบอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าด้วยการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้า และกำจัดฮาร์มอนิกเพื่อแก้ไขตัวประกอบกำลัง จากรูป 3.1 แสดงถึงส่วนประกอบอินเวอร์เตอร์ ดังนี้

#### 3.2.1 ตัวเก็บประจุไฟตรง

ตัวเก็บประจุไฟตรงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้รักษาระดับแรงดันไฟตรงด้านเอาต์พุตของ วงจรบัสคอนเวอร์เตอร์และเป็นอุปกรณ์ในการเก็บพลังงานเพื่อจ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ในการทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าและประพุดิตัวเป็นวงจรกรองกำลังแอกทีฟ เนื่องจากวงจรอินเวอร์เตอร์ที่นำมาใช้ในการศึกษานี้เป็นชนิดแหล่งจ่ายแรงดันที่ต่อขนานอยู่กับระบบ ขนาดของตัวเก็บประจุนั้นขึ้นอยู่กับพิกัดกำลังไฟฟ้าของวงจรกรองกำลังแอกทีฟชนิดของโหลด สำหรับเครื่องต้นแบบได้เลือกใช้ค่าความของตัวเก็บประจุขนาด 6,600  $\mu\text{F}$

#### 3.2.2 ตัวเหนี่ยวนำกรองกระแส

การเชื่อมโยงระหว่างอินเวอร์เตอร์เข้ากับระบบการไฟฟ้าทำการเชื่อมตงผ่านตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งหน้าที่ของตัวเหนี่ยวนำคือทำการกรองระลอกคลื่นกระแสที่เกิดจากการสวิตซ์ของ วงจรอินเวอร์เตอร์ ทำให้กระแสชดเชยที่จ่ายจากอินเวอร์เตอร์มีความเรียบมากขึ้นแต่ในกรณีที่ต้องการใช้ผลตอบสนองทางไดนามิกที่ดีขึ้นนั้น ขนาดของตัวเหนี่ยวนำควรมีขนาดเล็ก แต่อย่างไรก็ตามในกรณีที่ตัวเหนี่ยวนำมีขนาดเล็กเกินไปส่งผลให้ระลอกคลื่นกระแสที่เกิดจากการสวิตซ์มาก ดังนั้น ในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำควรออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยค่าของตัวเหนี่ยวนำสามารถหาได้จากสมการ

$$f_c \max \Rightarrow 0.25v_{dc} / (HB)L \quad (3.1)$$

เมื่อ  $L$  คือ ตัวเหนี่ยวนำที่ต่ออยู่ระหว่างอินเวอร์เตอร์กับการไฟฟ้า

$HB$  คือ ขอบเขตฮีสเตอร์ริส

$V_{dc}$  คือ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ

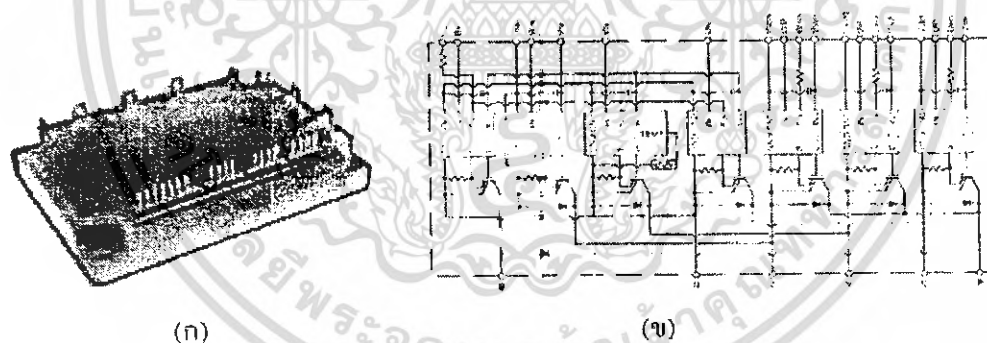
$f_c$  คือ ความถี่ในการสวิตซ์สูงสุด

กำหนดความถี่ในการสวิตซ์สูงสุดเท่ากับ 17.5 KHz และขอบเขตฮีสเตอร์ริสเท่ากับ 0.5 และแรงดันไฟที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุเท่ากับ 350 V ดังนั้นจะได้ค่าเหนี่ยวนำเท่ากับ 10 mH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3 วงจรสวิตช์กำลัง

วงจรสวิตช์กำลังเป็นส่วนในการทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟตรงให้เป็นกระแสด้วยเทคนิคการติดตามขอบเขตฮีสเตอร์รีซิส โดยการสวิตช์นั้นจะถูกควบคุมจากส่วนของการควบคุมที่ได้กำหนดไว้จากตัวประมวลผลเพื่อใช้สำหรับกระแสอ้างอิง โดยอุปกรณ์กำลังที่ทำหน้าที่ในการสวิตช์เป็นส่วนที่มีการเสียหายบ่อยที่สุด เพราะเป็นส่วนที่ทำการแปลงจากสัญญาณควบคุมกำลังต่ำเป็นไฟฟ้ากำลังสูง อุปกรณ์สวิตช์ที่นำมาใช้นี้ต้องคำนึงถึงพิกัดของขนาดแรงดันกระแสและความถี่ในการสวิตช์สูงสุดที่สามารถรองรับได้ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ ไอเจบีทีโมดูลกำลังของบริษัทมิตซูบิชิ เบอร์ PM25RSB120 (Intelligent Power Module : IPM) มีพิกัดแรงดัน 1,200 โวลต์ พิกัดกระแส 25 แอมป์ โดยภายในของไอเจบีทีโมดูลกำลังประกอบไปด้วยไอเจบีทีทั้งหมด 7 ตัว ซึ่งออกแบบมาให้ใช้งานในการควบคุมพลังงานในลักษณะ 3 เฟส นำมาประยุกต์ใช้กับ 1 เฟส โดยใช้ ไอเจบีที 4 ตัว ซึ่งไอเจบีทีโมดูลแบบนี้มีข้อดีกว่าแบบตัวเดี่ยวคือสามารถส่งสัญญาณฟอลต์ (Fault) จากตัวไอเจบีทีโมดูล เพื่อใช้ในการหยุดสัญญาณขับเคลื่อนในกรณีที่เกิดการลัดวงจรภายในกึ่งและกระแสเกินหรืออุณหภูมิภายในตัวเองมีค่าสูง ไอเจบีทีโมดูลนี้มีความสามารถในการรองรับความถี่สวิตช์สูงสุดได้ถึง 20 KHz ซึ่งโคลงสร้างของไอเจบีทีโมดูลนี้แสดงดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 โครงสร้างไอเจบีทีโมดูลกำลัง เบอร์ PM25RSB120

(ก) โครงสร้างภายนอกไอเจบีทีกำลัง

(ข) โครงสร้างภายในไอเจบีทีกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้







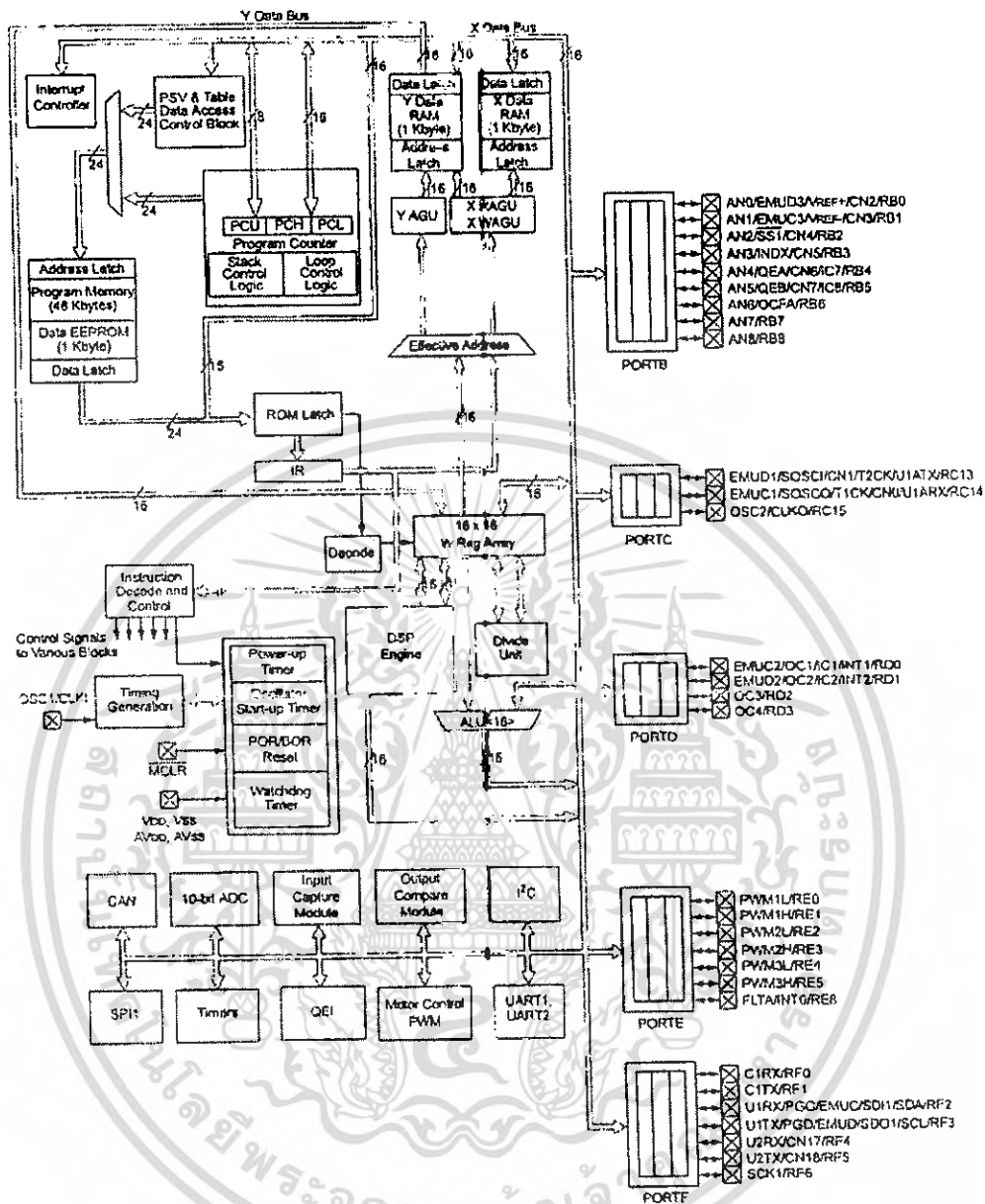
### 3.5.1 สถาปัตยกรรมของ DSPIC30F4011

ตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัลเบอร์ DSPIC30F4011 ของบริษัท Microchip ผู้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีในแวดวงนักพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์โดย Microchip Technology ได้กำหนดชื่ออย่างเป็นทางการสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นใหม่ นี้ว่า Digital signal Controller หรือ DSC นั้นหมายความว่า DSPIC เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่องานประมวลผลดิจิทัลสำหรับสร้างระบบควบคุมโดยอัตโนมัติที่มีความสามารถสูง คุณสมบัติภายในตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัล DSPIC30F4011

- ตัวประมวลผลเป็นแบบ RISC
- ความเร็วในการทำงานสูงถึง 30 ล้านคำสั่งต่อวินาที
- มีแอสเซมบลีเลอร์ขนาด 40 บิต 2 ตัว
- มีหน่วยประมวลผลทางด้านการคูณหาร 17 บิต
- มีวงจรเฟตซ์ข้อมูลคู่
- มีไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต 5 ตัว สามารถต่อใช้งานร่วมกันเป็นไทม์เมอร์ 32 บิต
- มี 84 คำสั่งภาษาแอสเซมบลีมาตรฐาน
- ชุดคำสั่งมีขนาด 24 บิต สามารถประมวลผลของมูลได้ 16 บิต
- มีความจำหน่วยโปรแกรมแฟลช ขนาด 48 กิโลไบต์ × 16 บิต
- มีหน่วยความจำแบบ ROM ขนาด 2 กิโลไบต์ × 16 บิต
- มีหน่วยความจำแบบ EEPROM ขนาด 1 กิโลไบต์ × 16 บิต
- มีอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์ 30 แหล่งอินเตอร์รัปต์
- มีวงจรถ่วงจับไฟเลี้ยงต่ำกว่ากำหนดแบบโปรแกรมได้
- มีเพาเวอร์-อนรีเซตม เพาเวอร์อัป-ไทม์เมอร์ และออสซิลเลเตอร์สตาร์ท-อัปไทม์เมอร์
- มีวอตช์ด็อกไทม์เมอร์โปรแกรมได้
- มีวงจรถ่วงสองการทำงานของวงจรถ่วงกำเนิดสัญญาณนาฬิกา
- รองรับการตรึงโปรแกรมในวงจรอนุกรม
- สามารถเลือกโหมดการใช้พลังงานได้
- มีโมดูลตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณดิจิทัล
- มีโมดูลสร้างสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมมอเตอร์
- มีวงจรมแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลความละเอียด 10 บิต
- มีโมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรม UART พร้อมบัฟเฟอร์แบบ FIFO
- มีโมดูลเชื่อมต่อเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์

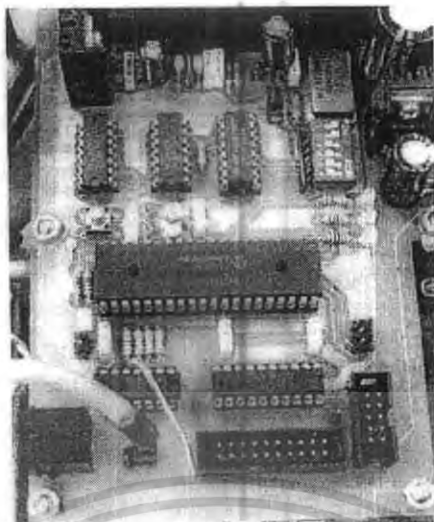
มีส่วนเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้งแบบ SPI และ I<sup>2</sup>C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 โครงสร้างของตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัล DSPIC30F4011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัล DSPIC30F4011 ของเครื่องต้นแบบ

### 3.6 การออกแบบโครงสร้างทางซอฟต์แวร์สำหรับการควบคุม

จากหัวข้อที่ผ่านมาได้กล่าวถึงการสร้างและส่วนประกอบต่างๆ ซึ่งมีทั้งวงจรกำลังและวงจรตรวจจับสัญญาณเพื่อส่งสัญญาณไปตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัลเพื่อประมวลผลสัญญาณควบคุมแล้วส่งสัญญาณไปควบคุมวงจรกำลังต่อไป ในการเขียนเพื่อทำการควบคุมการทำงานสามารถเขียนโปรแกรมได้ทั้งภาษาระดับสูง (ภาษาซี) และภาษาระดับต่ำ (แอสเซมบลี) ในการศึกษานี้จะเลือกใช้ภาษาระดับต่ำ เนื่องจากการเขียนโปรแกรมที่ใช้ภาษาระดับสูงเมื่อแปลง (Compile) มาเป็นภาษาระดับต่ำโปรแกรมที่ได้จะมีขนาดใหญ่ ซึ่งภาษาภาษาระดับต่ำ (แอสเซมบลี) จะใช้เวลาในการประมวลผลน้อย และให้ผลตอบสนองได้ดี

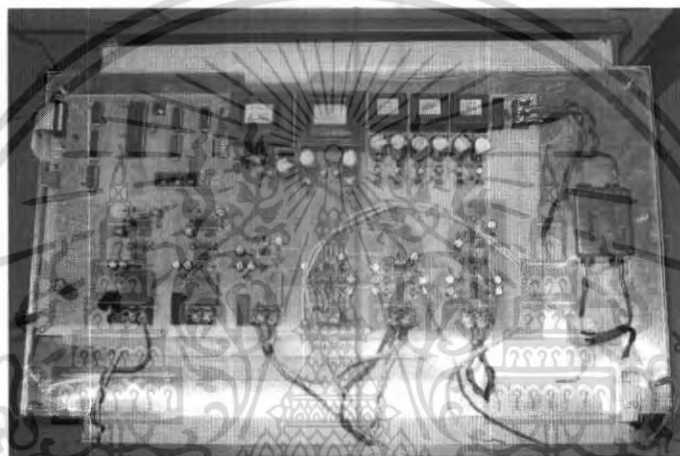
#### 3.6.1 โปรแกรมคำนวณหากระแสอ้างอิง (Iref)

ในส่วนนี้เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่คำนวณหากระแสอ้างอิงให้กับการควบคุมกระแสแบบฮีสเตอร์รีซิส ซึ่งจากการทำงานของระบบควบคุมให้ทำงาน 2 หน้าที่ คือ การส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าและและหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด ดังนั้น กระแสอ้างอิงจึงต้องประกอบด้วยกัน 2 ส่วน กระแสคำสั่งในการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้า  $I_{com}$  และกระแสในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด  $IMPPT$

#### 3.6.2 โปรแกรมคำนวณหากระแสฮีสเตอร์รีซิส (Bang Bang)

ในส่วนนี้เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่ในกรควบคุมสร้างกระแสเพื่อนำไปควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ โดยรับกระแสอ้างอิงในการควบคุมจากโปรแกรมคำนวณหากระแสอ้างอิงซึ่งเป็นวิธีการควบคุมด้วยเทคนิคการติดตามขอบเขตฮีสเตอร์รีซิส โดยการนำกระแสอ้างอิงมาสร้างขอบเขตฮีสเตอร์รีซิสบน ด้วยการบวกความกว้างฮีสเตอร์รีซิสกับกระแสอ้างอิงและสร้างขอบเขตฮีสเตอร์รีซิสล่างด้วยการนำกระแสอ้างอิงลบความกว้างฮีสเตอร์รีซิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 3.10** ภาพแสดงชุดของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองการทำงานของระบบ

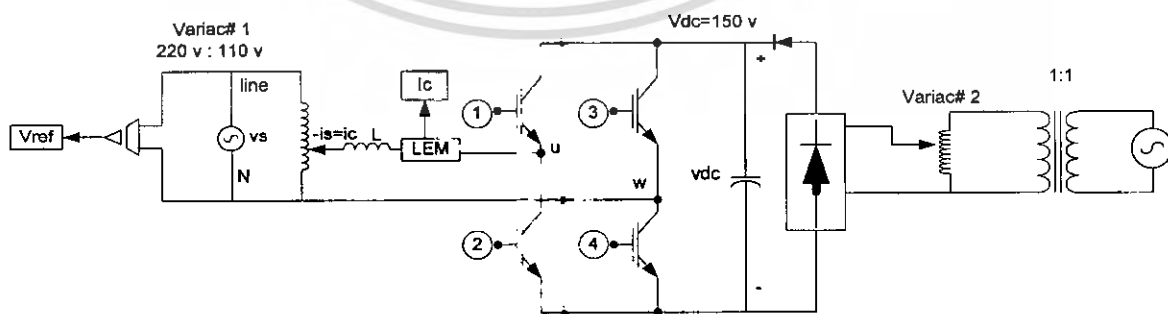
#### 4.1 ผลการทดลองการทำงานของระบบ

เป็นการทดสอบการทำงานของระบบ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับทฤษฎีที่ได้ออกแบบไว้ และในการทดสอบระบบของการทำงานเพื่อดูความผิดพลาดที่เกิดจากความผิดพลาดของการทำงาน และติดตามผลการทำงานที่ต้องการ โดยการควบคุมการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนการไฟฟ้าและ จ่ายโหลดรวมกันการไฟฟ้า แล้วทำการทดสอบโดยการควบคุมกระแสที่จ่ายออกจากอินเวอร์เตอร์ที่ค่าต่างๆ ผลการทดลองการทำงานของระบบ สามารถแยกผลการทดลองได้

1. การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนโดยจำลองแสงอาทิตย์
2. การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า ร่วมกันจ่ายโหลด โดยจำลองแสงอาทิตย์
3. การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนโดยแสงอาทิตย์
4. การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า ร่วมกันจ่ายโหลดโดยแสงอาทิตย์

#### 4.1.1 การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนการไฟฟ้าโดยจำลองแสงอาทิตย์

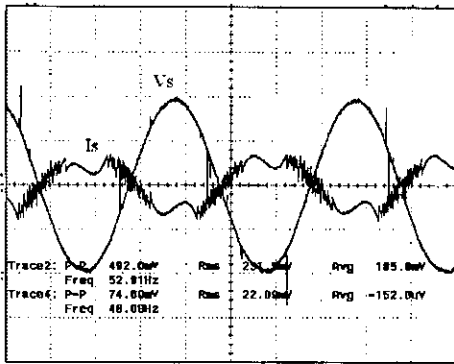
การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนการไฟฟ้าโดยจำลองแสงอาทิตย์ โดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันคงที่แล้วทำการควบคุมกระแสคำสั่งจ่ายออกจากอินเวอร์เตอร์ที่ค่าต่างๆ ดังนี้ 1.0 Arms, 1.5 Arms, 2.0 Arms



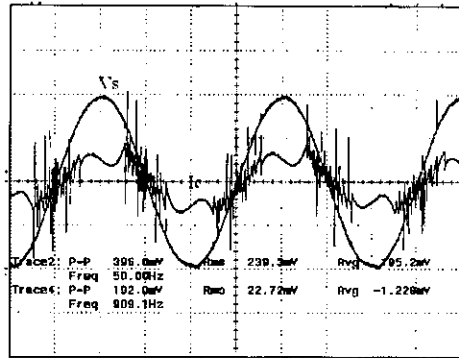
รูปที่ 4.1 วงจรกำลังการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนการไฟฟ้าโดยจำลองแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



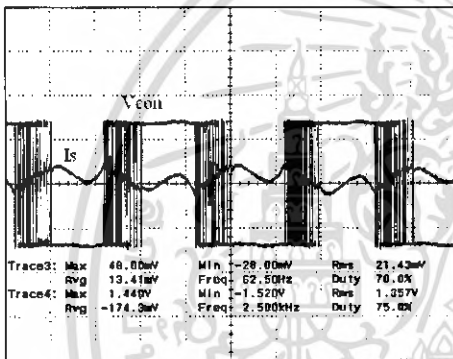


(ก) สัญญาณ  $V_s$  และ  $I_s$

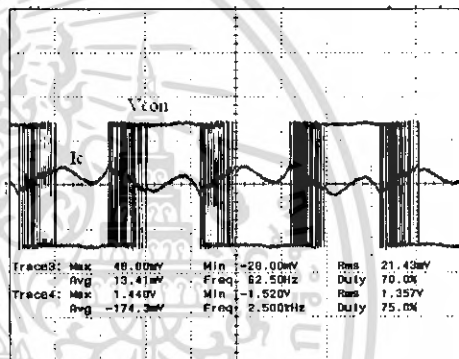


(ข) สัญญาณ  $V_s$  และ  $I_c$

รูปที่ 4.5 สัญญาณ  $V_s, I_s$  และ  $I_c$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms

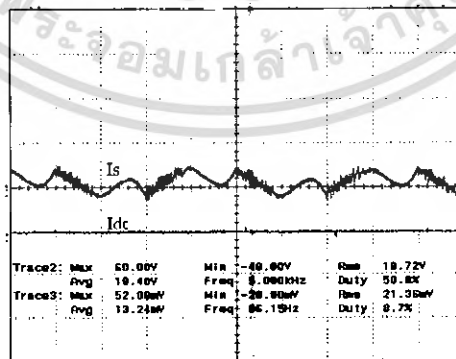


(ก) สัญญาณ  $V_{con}$  และ  $I_s$



(ข) สัญญาณ  $V_{con}$  และ  $I_c$

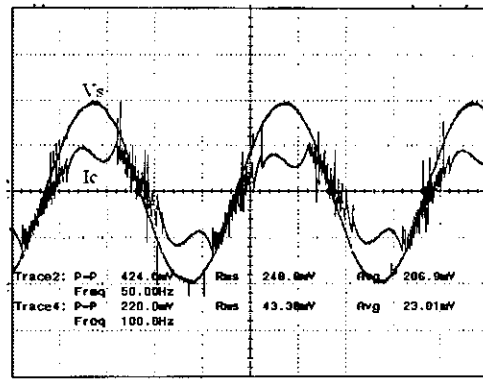
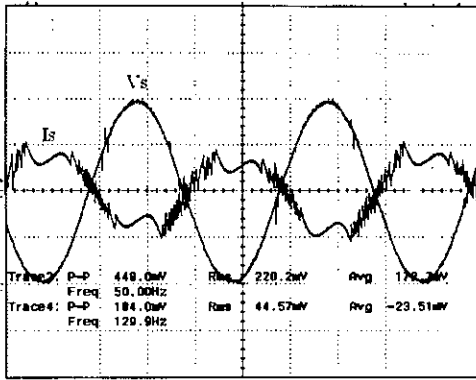
รูปที่ 4.6 สัญญาณ  $V_{con}, I_s$  และ  $I_c$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms



(ก) สัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$

รูปที่ 4.7 สัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms

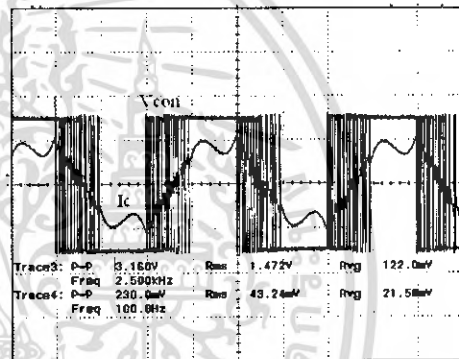
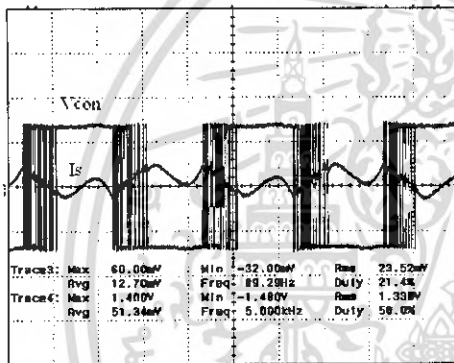
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณ  $V_s$  และ  $I_s$

(ข) สัญญาณ  $V_s$  และ  $I_c$

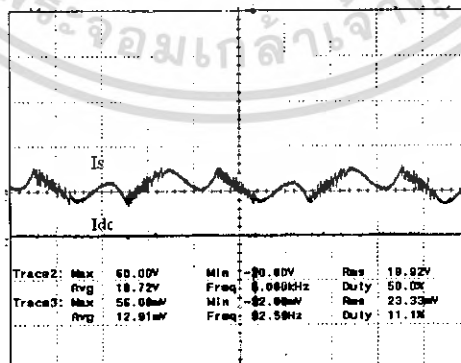
รูปที่ 4.8 สัญญาณ  $V_s$ ,  $I_s$  และ  $I_c$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms



(ก) สัญญาณ  $V_{con}$  และ  $I_s$

(ข) สัญญาณ  $V_{con}$  และ  $I_c$

รูปที่ 4.9 สัญญาณ  $V_{con}$ ,  $I_s$  และ  $I_c$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms



(ก) สัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$

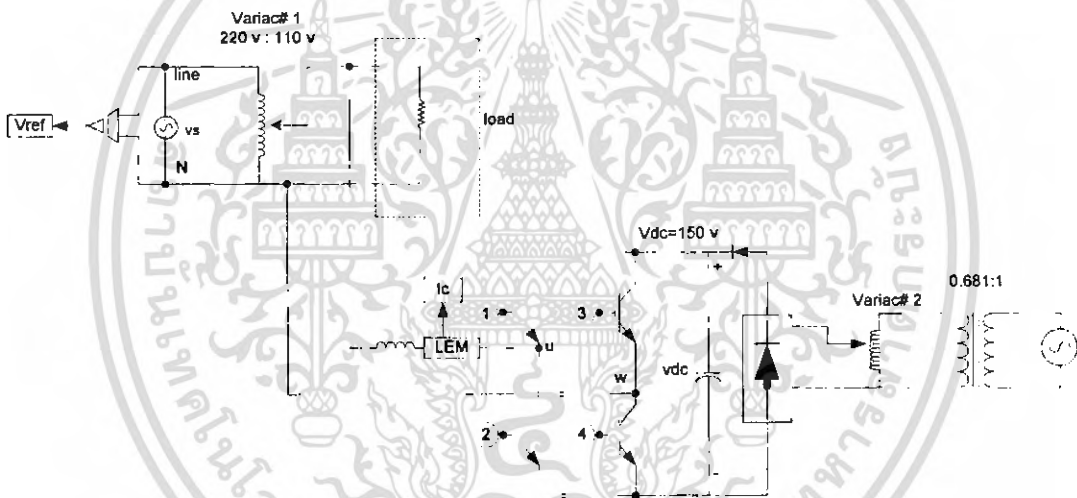
รูปที่ 4.10 สัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

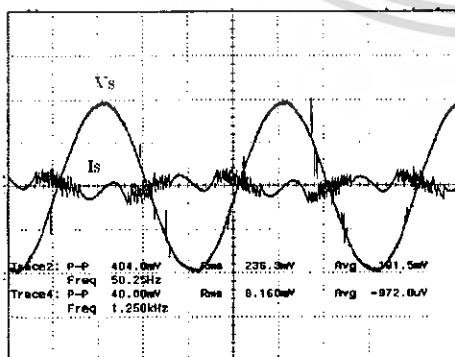
จากผลการทดสอบที่ได้ทำการทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้างลับคืนการไฟฟ้าโดยจำลองแสงอาทิตย์ ในกระแสคำสั่ง 1.0 Arms, 1.5 Arms, 2.0 Arms ในช่วงของสัญญาณ  $V_s$ ,  $I_s$  และ  $I_c$  จะมีลักษณะของกระแส,  $I_s$  ที่ส่งกลับคืนสู่การไฟฟ้า เป็นสัญญาณไซน์ กลับเฟสกับสัญญาณของกระแส  $I_c$  เมื่อเทียบกับสัญญาณแรงดัน  $V_s$  และในเมื่อดูจากสัญญาณของ  $V_{con}$  จะเห็นการสร้างกระแส  $I_s$  และ  $I_c$  ที่กลับเฟสกัน และสัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$  เทียบกันในช่วงแต่ละกระแสคำสั่ง

**4.1.2 การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า ร่วมกันจ่ายโหลด โดยจำลองแสงอาทิตย์**

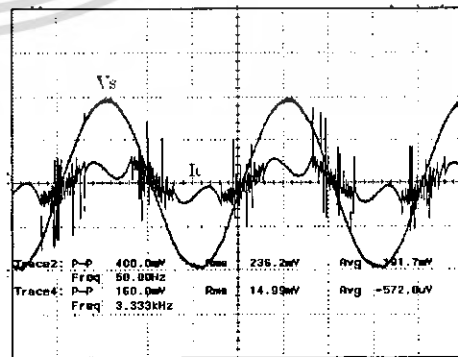
การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลด ร่วมกับการไฟฟ้างลับคืนการไฟฟ้าโดยจำลองแสงอาทิตย์ โดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันคงที่แล้วทำการควบคุมกระแสคำสั่งจ่ายออกจากอินเวอร์เตอร์ที่ค่าต่างๆ ดังนี้ 1.0 Arms, 1.5 Arms, 2.0 Arms



รูปที่ 4.11 วงจรกำลังการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าง่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลดร่วมกับการไฟฟ้างลับคืนการไฟฟ้าโดยจำลองแสงอาทิตย์



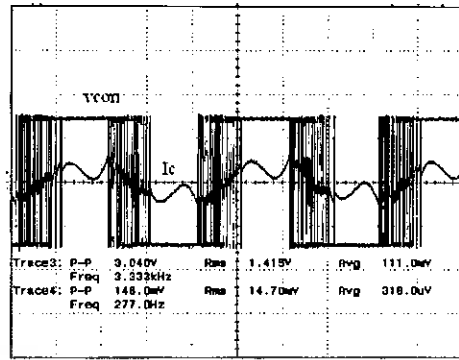
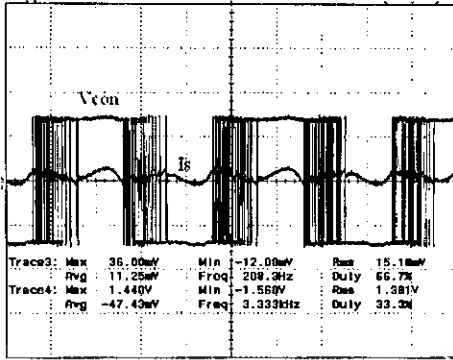
(ก) สัญญาณ  $V_s$  และ  $I_s$



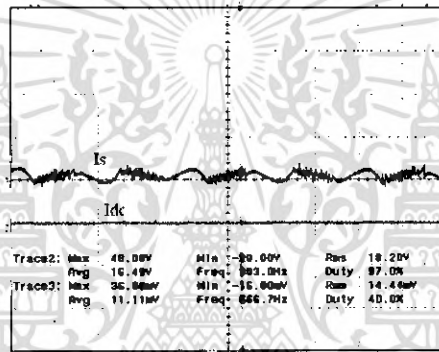
(ข) สัญญาณ  $V_s$  และ  $I_c$

รูปที่ 4.12 สัญญาณ  $V_s$ ,  $I_s$  และ  $I_c$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms

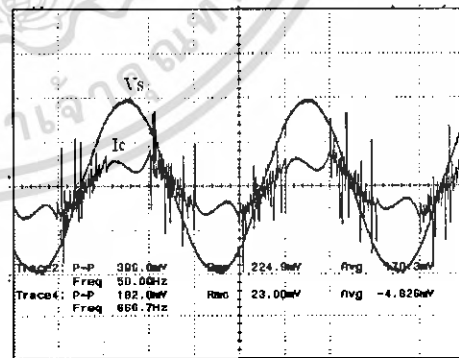
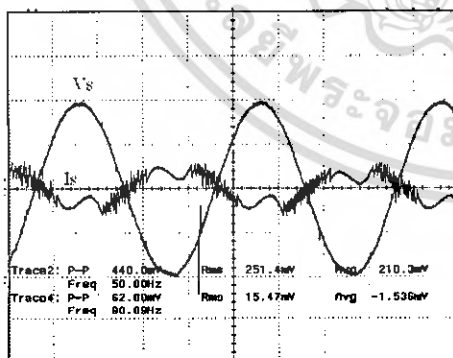
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณ  $V_{con}$  และ  $I_s$  (ข) สัญญาณ  $V_{con}$  และ  $I_c$   
 รูปที่ 4.13 สัญญาณ  $V_{con}$ ,  $I_s$  และ  $I_c$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms



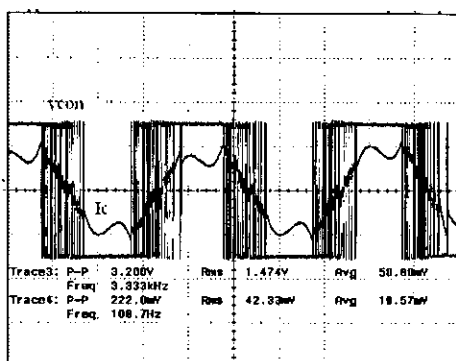
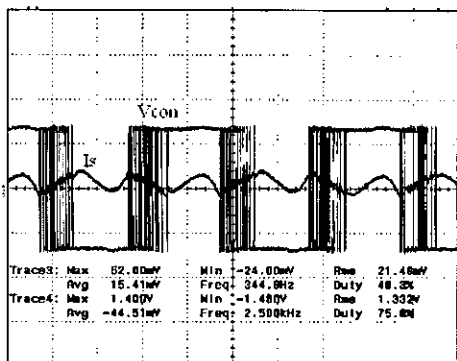
(ก) สัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$   
 รูปที่ 4.14 สัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms



(ก) สัญญาณ  $V_s$  และ  $I_s$  (ข) สัญญาณ  $V_s$  และ  $I_c$   
 รูปที่ 4.15 สัญญาณ  $V_s$ ,  $I_s$  และ  $I_c$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

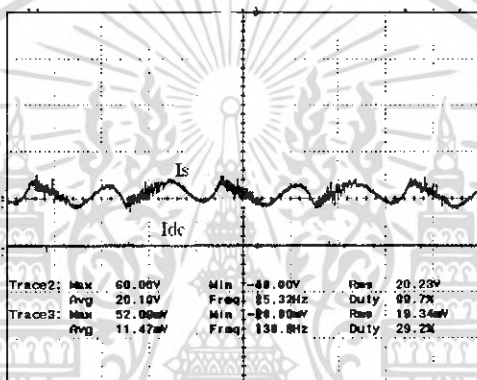




(ก) สัญญาณ  $V_{con}$  และ  $I_s$

(ข) สัญญาณ  $V_{con}$  และ  $I_c$

รูปที่ 4.19 สัญญาณ  $V_{con}$ ,  $I_s$  และ  $I_c$  ในการกำหนดกระแสค่าสั่ง 2.0 Arms



(ก) สัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$

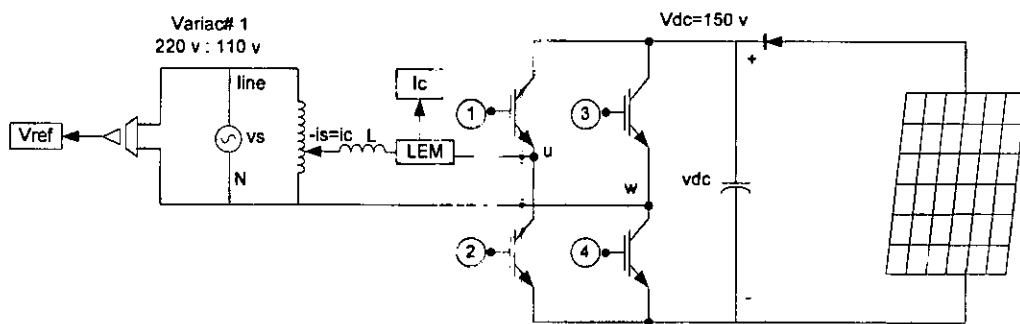
รูปที่ 4.20 สัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$  ในการกำหนดกระแสค่าสั่ง 2.0 Arms

จากผลการทดสอบที่ได้ทำการทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า ร่วมกันจ่ายโหลด โดยจำลองแสงอาทิตย์ในกระแสค่าสั่ง 1.0 Arms, 1.5 Arms, 2.0 Arms ในช่วงของสัญญาณ  $V_s$ ,  $I_s$  และ  $I_c$  จะมีลักษณะของกระแส,  $I_s$  ที่ส่งกลับคืนสู่การไฟฟ้า เมื่อสามารถจ่ายได้เพียงพอแล้ว เป็นสัญญาณไซน์ กลับเฟสกับสัญญาณของกระแส  $I_c$  เมื่อเทียบกับสัญญาณแรงดัน  $V_s$  และในเมื่อดูจากสัญญาณของ  $V_{con}$  จะเห็นการสร้างกระแส  $I_s$  และ  $I_c$  ที่กลับเฟสกัน และ สัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$  เทียบกันในช่วงแต่ละกระแสค่าสั่ง

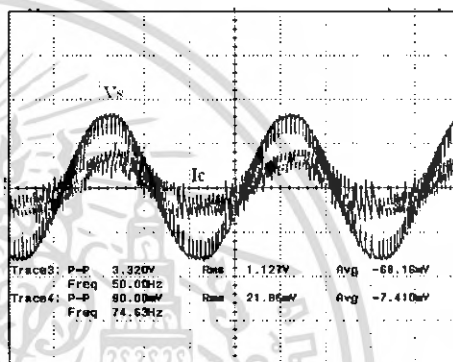
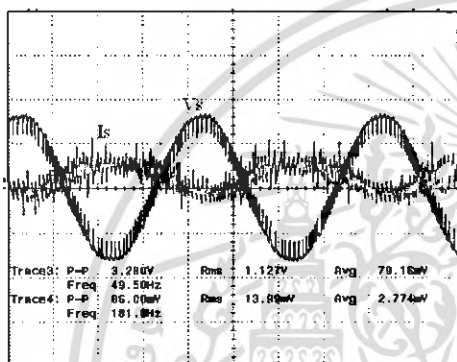
#### 4.1.3 การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้างกลับคืนการไฟฟ้าโดยแสงอาทิตย์

การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้างกลับคืนโดยแสงอาทิตย์ ทำโดยการทดลองกับปริมาณความเข้มแสง และส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าระดับต่างๆ แล้วทำการควบคุมการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้างกลับคืนการไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



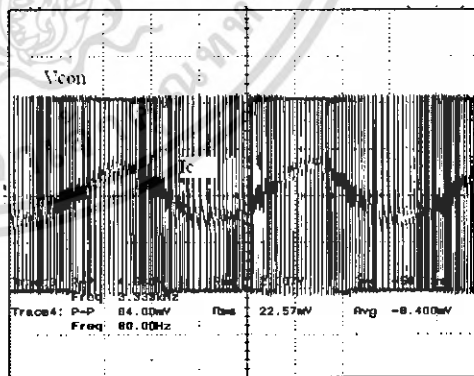
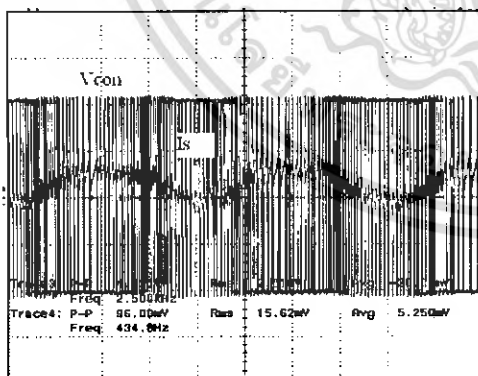
รูปที่ 4.21 วงจรกำลังการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนการไฟฟ้าโดยแสงอาทิตย์



(ก) สัญญาณ  $V_s$  และ  $I_s$

(ข) สัญญาณ  $V_s$  และ  $I_c$

รูปที่ 4.22 สัญญาณ  $V_s, I_s$  และ  $I_c$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms

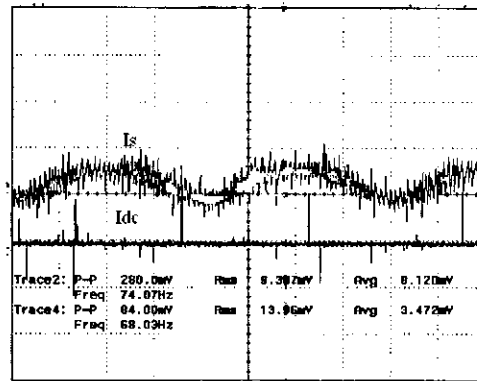


(ก) สัญญาณ  $V_{con}$  และ  $I_s$

(ข) สัญญาณ  $V_{con}$  และ  $I_c$

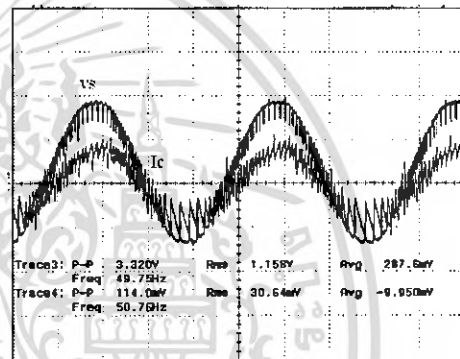
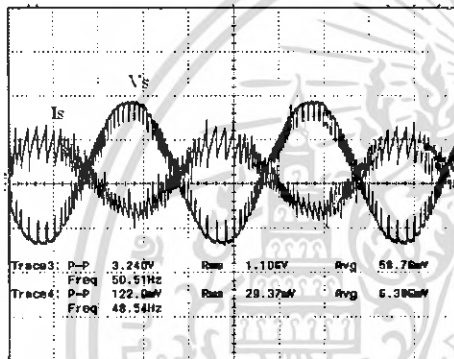
รูปที่ 4.23 สัญญาณ  $V_{con}, I_s$  และ  $I_c$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$

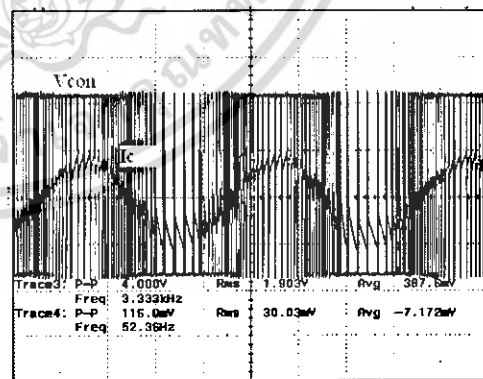
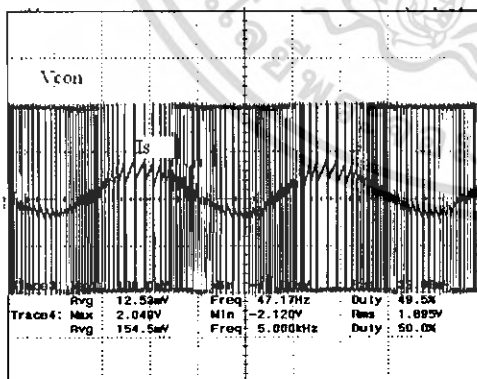
รูปที่ 4.24 สัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms



(ก) สัญญาณ  $V_s$  และ  $I_s$

(ข) สัญญาณ  $V_s$  และ  $I_c$

รูปที่ 4.25 สัญญาณ  $V_s$ ,  $I_s$  และ  $I_c$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms

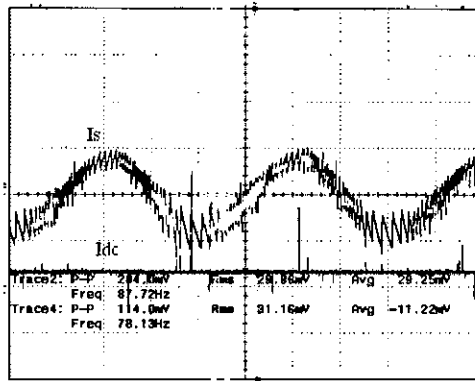


(ก) สัญญาณ  $V_{con}$  และ  $I_s$

(ข) สัญญาณ  $V_{con}$  และ  $I_c$

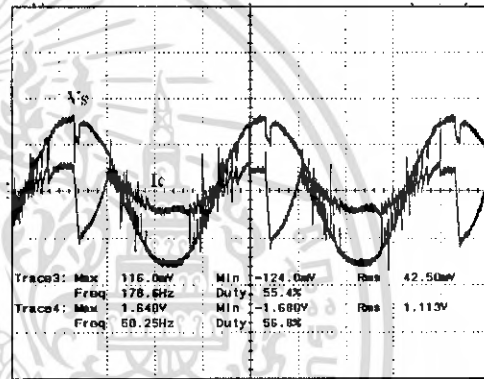
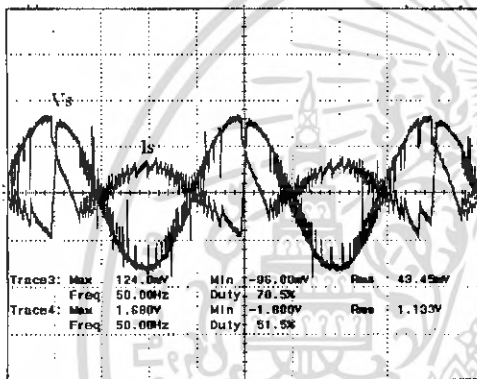
รูปที่ 4.26 สัญญาณ  $V_{con}$ ,  $I_s$  และ  $I_c$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$

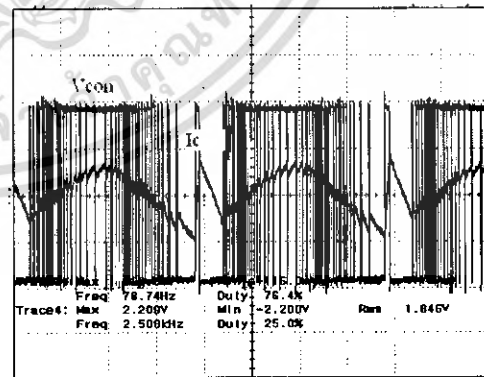
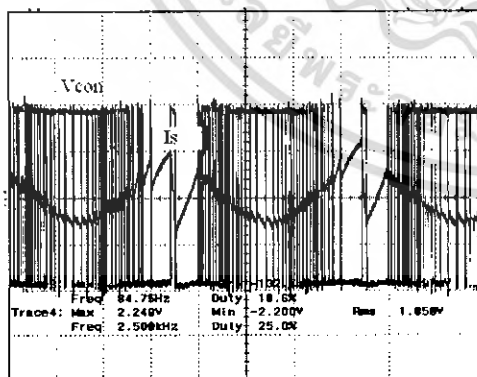
รูปที่ 4.27 สัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms



(ก) สัญญาณ  $V_s$  และ  $I_s$

(ข) สัญญาณ  $V_s$  และ  $I_c$

รูปที่ 4.28 สัญญาณ  $V_s, I_s$  และ  $I_c$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms

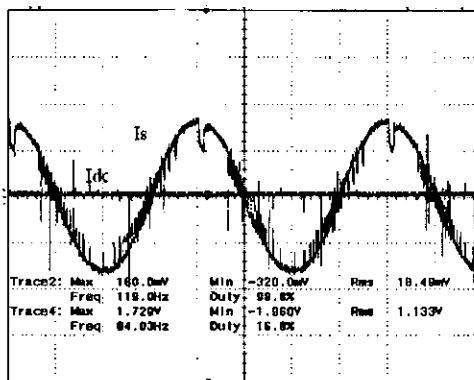


(ก) สัญญาณ  $V_{con}$  และ  $I_s$

(ข) สัญญาณ  $V_{con}$  และ  $I_c$

รูปที่ 4.29 สัญญาณ  $V_{con}, I_s$  และ  $I_c$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



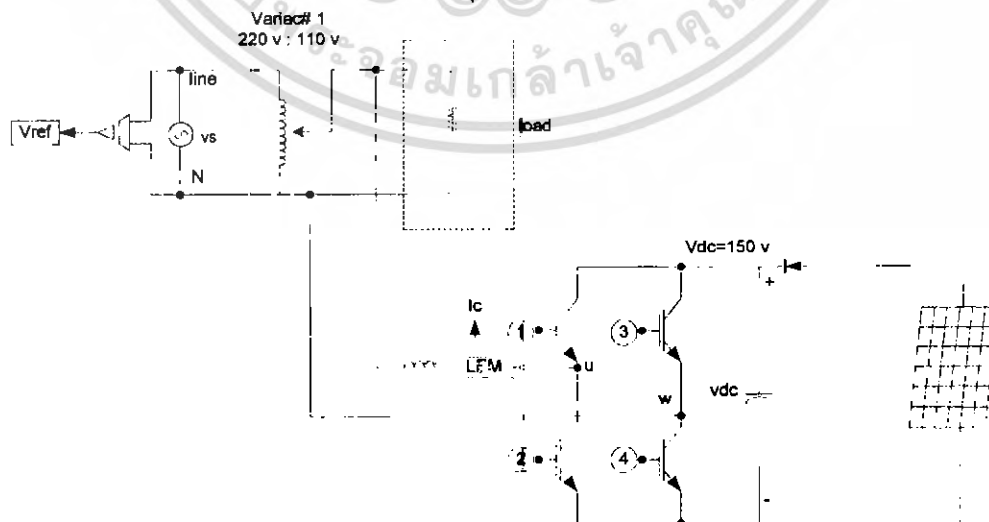
(ก) สัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$

รูปที่ 4.30 สัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms

จากผลการทดสอบที่ได้ทำการทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนการไฟฟ้าโดยแสงอาทิตย์ ในกระแสคำสั่ง 1.0 Arms, 1.5 Arms, 2.0 Arms ในช่วงของสัญญาณ  $V_s, I_s$  และ  $I_c$  จะมีลักษณะของกระแส,  $I_s$  ที่ส่งกลับคืนสู่การไฟฟ้า เป็นสัญญาณไซน์ กลับเฟสกับสัญญาณของกระแส  $I_c$  เมื่อเทียบกับสัญญาณแรงดัน  $V_s$  และในเมื่อดูจากสัญญาณของ  $V_{con}$  จะเห็นการสร้างกระแส  $I_s$  และ  $I_c$  ที่กลับเฟสกัน และสัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$  เทียบกันในช่วงแต่ละกระแสคำสั่ง ในช่วงของแสงอาทิตย์

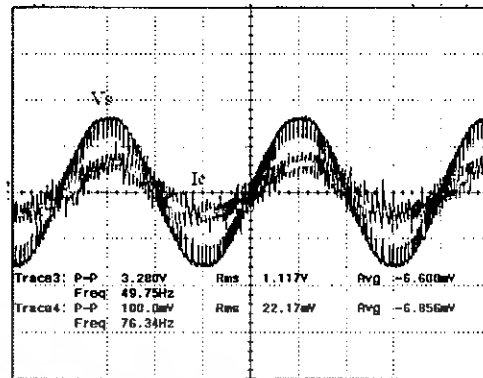
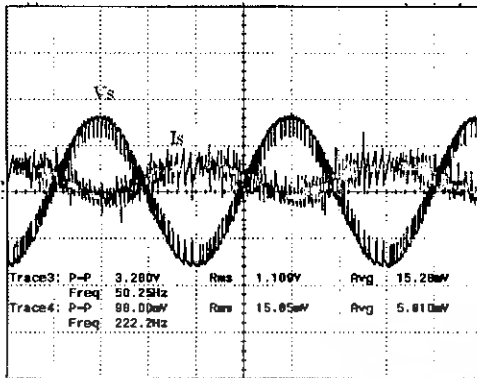
#### 4.1.4 การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า ร่วมกันจ่ายโหลดโดยแสงอาทิตย์

การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า ร่วมกันจ่ายโหลดโดยแสงอาทิตย์ ทำโดยการคำนวณกับปริมาณความเข้มแสง และส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าระดับต่างๆ แล้วทำการควบคุมการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด

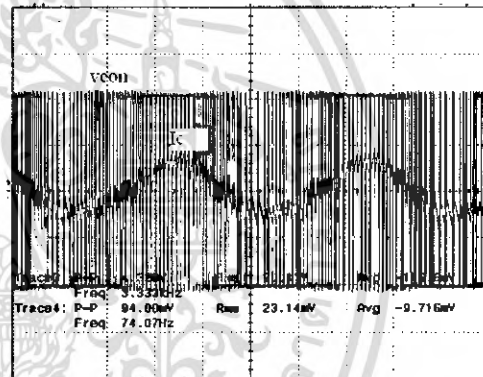
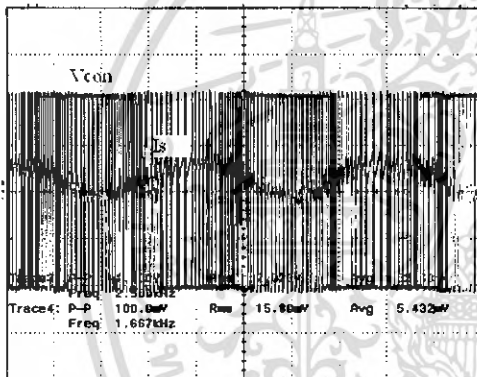


รูปที่ 4.31 วงจรกำลังการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลดร่วมกับการไฟฟ้า

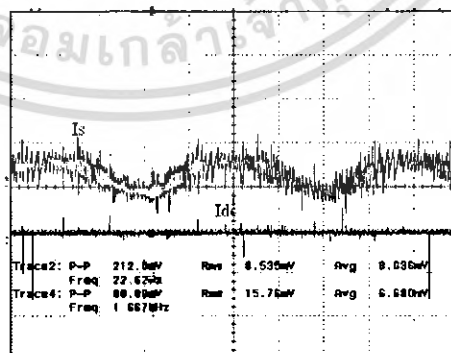
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณ  $V_s$  และ  $I_s$  (ข) สัญญาณ  $V_s$  และ  $I_c$   
 รูปที่ 4.32 สัญญาณ  $V_s$ ,  $I_s$  และ  $I_c$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms

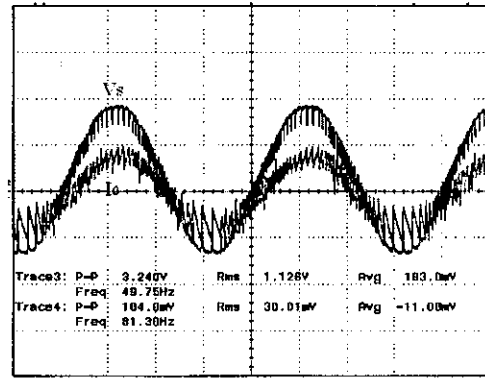
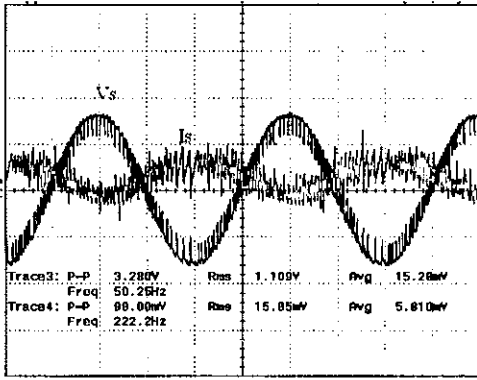


(ก) สัญญาณ  $V_{con}$  และ  $I_s$  (ข) สัญญาณ  $V_{con}$  และ  $I_c$   
 รูปที่ 4.33 สัญญาณ  $V_{con}$ ,  $I_s$  และ  $I_c$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms



(ก) สัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$   
 รูปที่ 4.34 สัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms

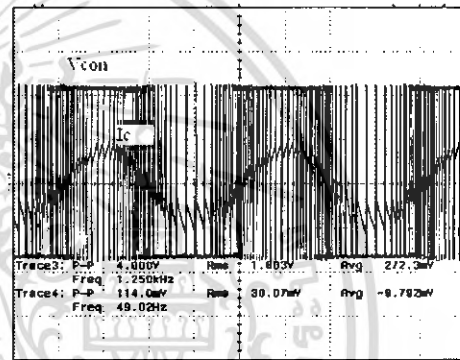
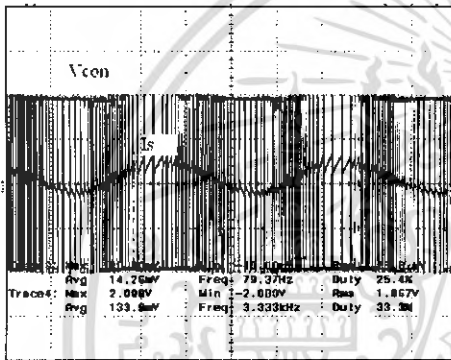
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณ  $V_s$  และ  $I_s$

(ข) สัญญาณ  $V_s$  และ  $I_c$

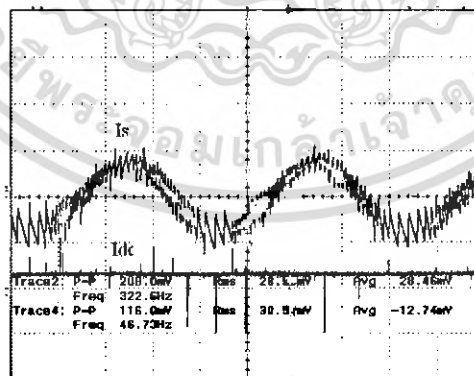
รูปที่ 4.35 สัญญาณ  $V_s, I_s$  และ  $I_c$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms



(ก) สัญญาณ  $V_{con}$  และ  $I_s$

(ข) สัญญาณ  $V_{con}$  และ  $I_c$

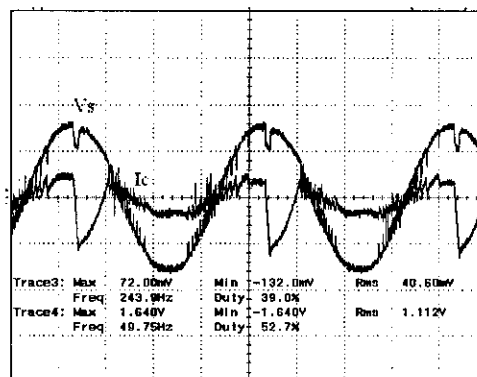
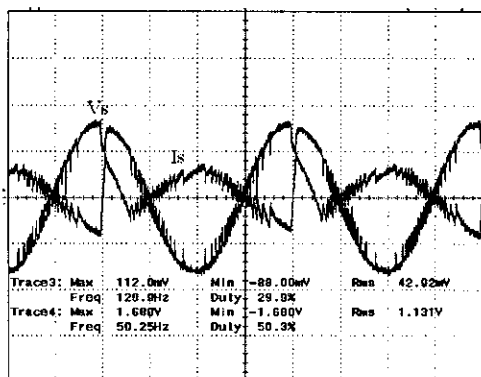
รูปที่ 4.36 สัญญาณ  $V_{con}, I_s$  และ  $I_c$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms



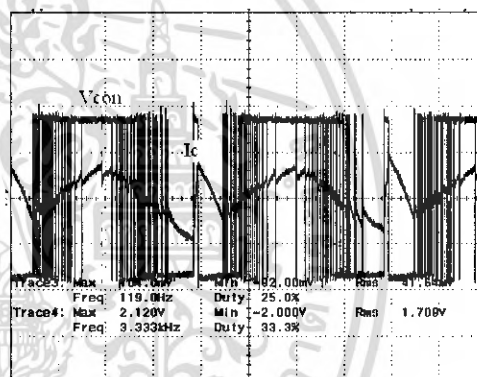
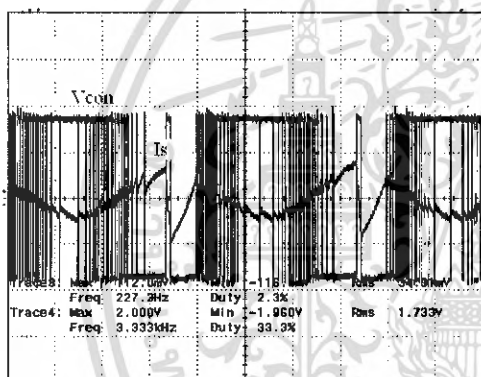
(ก) สัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$

รูป 4.37 สัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms

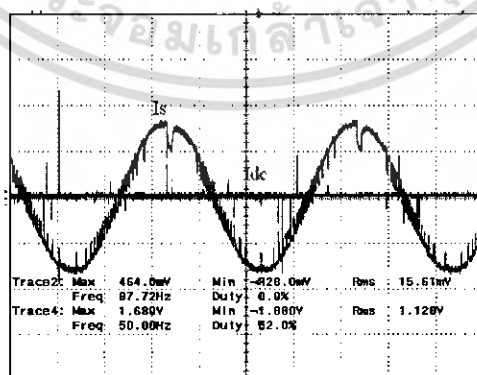
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณ  $V_s$  และ  $I_s$  (ข) สัญญาณ  $V_s$  และ  $I_c$   
รูปที่ 4.38 สัญญาณ  $V_s$ ,  $I_s$  และ  $I_c$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms



(ก) สัญญาณ  $V_{con}$  และ  $I_s$  (ข) สัญญาณ  $V_{con}$  และ  $I_c$   
รูปที่ 4.39 สัญญาณ  $V_{con}$ ,  $I_s$  และ  $I_c$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms



(ก) สัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$   
รูปที่ 4.40 สัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$  ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

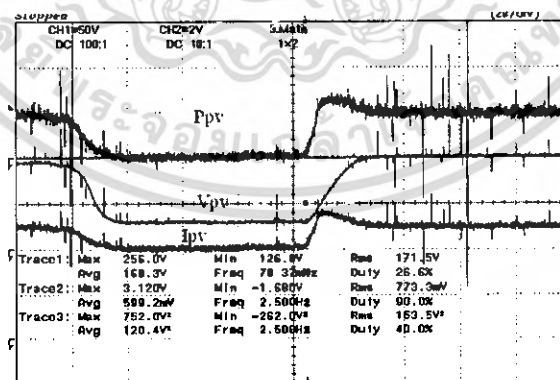
จากผลการทดสอบที่ได้ทำการทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า ร่วมกันจ่ายโหลดโดยแสงอาทิตย์ ในกระแสคำสั่ง 1.0 Arms, 1.5 Arms, 2.0 Arms ในช่วงของสัญญาณ  $V_s$ ,  $I_s$  และ  $I_c$  จะมีลักษณะของกระแส,  $I_s$  ที่ส่งกลับคืนสู่การไฟฟ้า ที่เพียงพอต่อการจ่ายให้กับโหลดเป็นสัญญาณไซน์ กลับเฟสกับสัญญาณของกระแส  $I_c$  เมื่อเทียบกับสัญญาณแรงดัน  $V_s$  และในเมื่อดูจากสัญญาณของ  $V_{con}$  จะเห็นการสร้างกระแส  $I_s$  และ  $I_c$  ที่กลับเฟสกัน และ สัญญาณ  $I_s$  และ  $I_{dc}$  เทียบกันในช่วงแต่ละกระแสคำสั่ง ในช่วงของแสงอาทิตย์

## 4.2 ผลการทดสอบหาค่ากำลังสูงสุดสำหรับอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อการไฟฟ้า

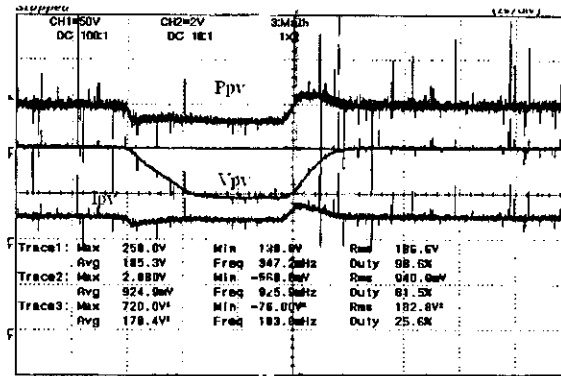
เป็นการทดสอบหาค่ากำลังสูงสุดของแผงโซลาร์เซลล์ โดยการประมวลผลสัญญาณจากการควบคุมทำได้จากการนำค่าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ในขณะนั้น มาทำการหาค่ากำลังสูงสุดที่แผงโซลาร์เซลล์จะจ่ายได้ในสภาวะขณะนั้น เพราะในช่วงที่แสงเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันจะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นจึงใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสเป็นตัวควบคุมวัฏจักรการทำงานของตัวแปลงผันแบบทวิระดับ โดยแบ่งการทดสอบเป็นดังนี้

1. การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า โดยไม่หาจุดจ่ายกำลังสูงสุด
2. การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า โดยการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด

### 4.2.1 การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า โดยไม่หาจุดจ่ายกำลังสูงสุด



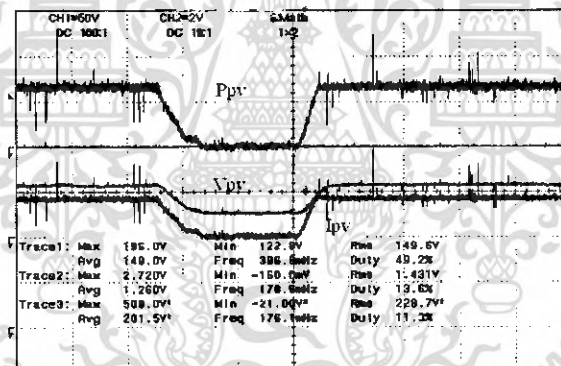
รูปที่ 4.41 สัญญาณ  $P_{pv}$ ,  $I_{pv}$  และ  $V_{pv}$  ไม่หาจุดจ่ายกำลังสูงสุด ขณะเปลี่ยนแปลงแสงเพิ่มขึ้น



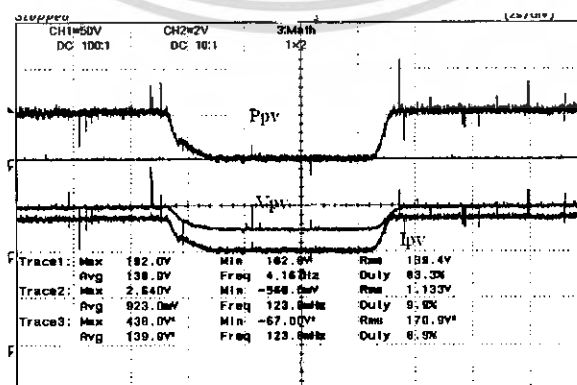
รูปที่ 4.42 สัญญาณ  $P_{pv}$ ,  $I_{pv}$  และ  $V_{pv}$  ไม่หาจุดจ่ายกำลังสูงสุด ขณะเปลี่ยนแปลงแสงลดลง

จากรูปผลการทดลองเมื่อไม่ได้ทำการหาค่ากำลังสูงสุด ในช่วงของการเปลี่ยนแปลงแสง ในขณะที่แสงเพิ่มและแสงลดลง สัญญาณ  $P_{pv}$ ,  $I_{pv}$  และ  $V_{pv}$  จะเพิ่มขึ้นและลดลง ในลักษณะที่ไม่ได้จ่ายกำลังงานสูงสุด ดูได้จากสัญญาณ  $P_{pv}$ ,  $I_{pv}$  และ  $V_{pv}$

#### 4.2.2 การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า โดยการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุด



รูปที่ 4.43 สัญญาณ  $P_{pv}$ ,  $I_{pv}$  และ  $V_{pv}$  หาจุดจ่ายกำลังสูงสุด ขณะเปลี่ยนแปลงแสงเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.44 สัญญาณ  $P_{pv}$ ,  $I_{pv}$  และ  $V_{pv}$  หาจุดจ่ายกำลังสูงสุด ขณะเปลี่ยนแปลงแสงลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปผลการทดลองเมื่อได้ทำการหาค่ากำลังสูงสุด ในช่วงของการเปลี่ยนแปลงแสง ในขณะที่แสงเพิ่มและแสงลดลง สัญญาณ  $P_{pv}$ ,  $I_{pv}$  และ  $V_{pv}$  จะเพิ่มขึ้นและลดลง ในลักษณะที่สามารถหาจุดจ่ายกำลังงานสูงสุดได้ ดูได้สัญญาณ  $P_{pv}$ ,  $I_{pv}$  และ  $V_{pv}$

จากการทดลอง โดยการพิจารณาค่าของกระแสและแรงดันแบบต่อเนื่องจากรูปที่ 4.41 ถึงรูปที่ 4.44 นั้นจะเป็นการทดลองให้ค่าของกระแสคำสั่งมาจากสองกรณีคือแบบกำหนดกระแสคำสั่งคงที่ และแบบที่ใช้โปรแกรมการหาจุดจ่ายกำลังสูงสุดของแผงโซลาร์เซลล์เป็นตัวกำหนดกระแสคำสั่งซึ่งจะไม่คงที่ เพื่อที่จะทำการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากชิ้นงานในโครงการนี้ การพิจารณาจะพิจารณาจากความเข้มแสงสองระดับ

จากรูปที่ 4.41 และ 4.43 จะเป็นระดับความเข้มแสงที่มีค่าใกล้เคียงกันซึ่งโซลาร์เซลล์จะให้พลังงานเท่ากัน จากการทดลองจะเห็นได้ว่าในกรณีที่กระแสคำสั่งเป็นแบบคงที่ ในช่วงนี้มีพลังงานเพิ่มเข้ามาค่าพลังงานจะมีช่วงที่สูงขึ้นแล้วลดลงซึ่งเกิดจากการที่โซลาร์เซลล์มีพลังงานมากกว่าค่ากระแสคำสั่งที่กำหนดให้และที่พลังงานสูงขึ้นช่วงนี้ เกิดจากการเพิ่มขึ้นของกระแสจริงแบบเร็ว ก่อนที่จะมีค่าเท่ากับกระแสคำสั่ง ในส่วนของรูปที่ 4.43 จะเห็นได้ชัดเจนว่าค่าพลังงานนี้ที่ได้จะมีค่าสูงขึ้นและมีค่าคงที่ตลอดเวลาไม่มีการแกว่งซึ่งเกิดจากการที่ค่ากระแสคำสั่งมีค่าเพิ่มขึ้นและค่ากระแสจริงมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยโดยจะเพิ่มขึ้นถึงระดับหนึ่งตามลักษณะโปรแกรมที่กำหนด

ในส่วนรูปที่ 4.42 และ 4.43 ก็เป็นการทดลองแบบเดียวกันรูปที่ 4.41 และ 4.42 เพื่อเปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตได้ แต่ความเข้มแสงก็จะมากกว่ากรณีแรก(พลังงานมากกว่า) โดยจะเห็นได้ว่ากรณีที่มีการกำหนดค่ากระแสคำสั่งแบบคงที่จะให้พลังงานน้อยกว่าแบบการกำหนดค่ากระแสคำสั่งแบบโปรแกรมการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดของโซลาร์เซลล์ อีกอย่างคือจะเห็นได้ว่ากรณีการใช้โปรแกรมกำหนดค่ากระแสคำสั่งเมื่อมีพลังงานเพิ่มจะเห็นได้ว่าจะมีการเพิ่มที่เป็นเชิงเส้นและเร็วกว่าแบบกำหนดค่ากระแสคำสั่งแบบคงที่ พิจารณาได้จากรูป 4.41 ถึง 4.44 เช่นเดียวกัน

#### ตารางที่ 1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการเชื่อมต่อการไฟฟ้า

Is	Vs	Pout	PF	DPF	Vpv
2.3	113	260	0.99	1.00	163
2.25	114.4	250	0.98	0.99	164
2.27	115.3	250	0.98	0.99	164
2.27	115.1	260	0.98	0.99	162.3
2.19	115.1	240	0.98	0.99	158.4
2.03	114.2	219	0.97	1.00	154.0
2.11	114.9	230	0.98	0.99	157.3

Is	Vs	Pout	PF	DPF	Vpv
2.33	115.2	260	0.99	0.99	163.2
2.23	114.7	246	0.98	0.99	158.2
2.20	114.7	250	0.97	0.99	158.4
2.15	115.2	250	0.97	0.99	159.0
2.25	115.3	260	0.98	0.99	161.2
2.05	114.7	230	0.97	0.99	156.2
1.50	113.5	210	0.79	1.00	143
1.26	112.3	72	0.52	0.96	137
1.24	112.7	52	0.49	0.90	137

จากตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการเชื่อมต่อการไฟฟ้าเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลองใช้งานชิ้นงานกับระบบของการไฟฟ้า โดยจะเป็นการใช้โซลาร์เซลล์ 8 แผง ต่อกันแบบ 4 แผงอนุกรมเป็นสองชุดแล้วนำมาต่อขนานกัน แล้วทำการจ่ายพลังงานที่ผลิตได้คือให้กับระบบของการไฟฟ้า(220 V, 50 Hz) ที่ผ่านการลดระดับแรงดันลงมาเป็น 110 V, 50 Hz ในช่วงเวลาหนึ่ง

จากการบันทึกค่าต่างๆจากระบบการทำงาน จะเห็นได้ว่า ระบบสามารถจ่ายพลังงานกลับคือเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าได้ มีค่าพลังงานตั้งค่าในตาราง ส่วนของค่า PF มีค่าที่เหมาะสมคือมีค่าประมาณ 0.99 และค่า DPF มีค่าประมาณ 0.99 จะเห็นว่าเมื่อโซลาร์เซลล์มีพลังงานที่ผลิตได้น้อยจะมีค่า PF และค่า DPF น้อยลงแต่ระบบของโครงการก็สามารถจ่ายพลังงานกลับคือเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าได้เช่นเดิม

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

โครงการนี้ได้นำเสนอการสร้างและทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้าโดยจ่ายให้กับโหลดที่เป็นเชิงเส้นขนาด 100 W ในระบบ 1 เฟส 220 V โดยแบ่งการทดสอบออกเป็นสี่กรณี คือ กรณีแรกเป็นการทดลองระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า กรณีที่สองเป็นการทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้าร่วมกันจ่ายโหลดเป็นเชิงเส้นส่วนในกรณีที่สามและสี่ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะต้องสามารถหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงโซลาร์เซลล์สามารถผลิตได้ในแต่ละช่วงของวันในกรณีเชื่อมต่อและร่วมกันจ่ายโหลดรวมทั้งได้มีการจำลองเพื่อวิเคราะห์การทำงานของระบบด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULIN เพื่อนำผลที่ได้จากการ Simulation เป็นแนวทางในการปฏิบัติในโครงการ และนำมาเปรียบเทียบกับผลทดลองจริง เพื่อใช้เปรียบเทียบทฤษฎีที่ได้ทำการศึกษาว่าเป็นจริงดังที่ศึกษามาหรือไม่

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

1. จากผลที่ได้จากการทดลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/SIMULIN ให้ผลสอดคล้องกับผลการทดลองจริง
2. จากการทดลองระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้าในการร่วมกันจ่ายโหลดระบบจะทำงานโดยตัวของมันเอง โดยสภาวะที่แผงโซลาร์เซลล์ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เยอะเกินตามความต้องการที่จ่ายให้กับโหลดพลังงานในส่วนที่เหลือจะไหลคืนสู่การไฟฟ้า และในกรณีที่แผงโซลาร์เซลล์ผลิตพลังงานไม่พอที่จะจ่ายให้กับโหลดได้เต็มที่ในช่วงนี้พลังงานจากการไฟฟ้าจะชว่กันจ่ายโหลดร่วมด้วย โดยการส่งพลังงานระหว่างสองบัสนี้จะเป็นอัตโนมัติโดยในส่วนของอินเวอร์เตอร์นั้นจะใช้ตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัลโดยวิธีควบคุมกระแสแบบฮีสเตอร์รีซิส สำหรับการคำนวณกระแสอ้างอิงในการควบคุมการทำงานของระบบที่ได้นำเสนอไว้ข้างต้นแล้ว
3. จากการทดลองระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้าระบบสามารถควบคุมให้อินเวอร์เตอร์สามารถหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงโซลาร์เซลล์สามารถผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลาของวัน
4. สำหรับผลการทดลองที่ได้นั้นสัญญาณสวิตซ์ที่ใช้ในการควบคุมอินเวอร์เตอร์นั้นไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับปริมาณพลังงานโซลาร์เซลล์ที่แผงผลิตได้จากปริมาณแสงแดดที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงของวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป

1. ในการทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งในการทดลองนั้นในบางช่วงเวลากรณีของฤดูฝนไม่สามารถทำการทดลองได้การหลีกเลี่ยงปัญหาในกรณีนี้ควรมีแหล่งกำเนิดแสงเทียมที่มีความเข้มแสงใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์

2. เนื่องจากโครงการนี้สร้างเพื่อเชื่อมต่อระบบพลังงานแสงอาทิตย์กับระบบการไฟฟ้าและร่วมกันจ่ายโหลดที่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นในการพัฒนาระบบต่อไปเพื่อจ่ายพลังงานให้กับโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นควรมีการแก้ไขปัญหากับฮาร์มอนิกและการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

3. ควรออกแบบวงจรควบคุมให้มีเสถียรภาพที่ดีเพื่อป้องกันปัญหาสัญญาณรบกวนกับวงจรควบคุมและวงจรตรวจจับสัญญาณต่างๆ

4. เนื่องจากการควบคุมการทำงานของระบบนี้ใช้การควบคุมกระแสแบบฮีสเตอร์รีซิส ซึ่งการควบคุมกระแสด้วยวิธีนี้มีความถี่สวิตช์ไม่คงที่อาจจะเกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ในระบบได้ถ้าความถี่สวิตช์สูงเกินพิกัดของตัวอุปกรณ์ ดังนั้นควรมีการควบคุมกระแสแบบความถี่สวิตช์คงที่



## เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Mohan, T .M. Underland, and W.P. Robins, **Power Electronics Converter, Application and Design**, John Wiley & Sons, Inc., 1989.
- [2] M.H. Rashid, **“Power Electronics: Circuit Devices and Application,”** Pearson Prentice Hall, 3rd edition, 2004.
- [3] Multiinput Converter With Power Factor Correction, **“Maximum Power Point Tracking, and Ripple – Free Input Current ”**, Yaow-Ming Chen Member IEEE, Yuan-Chuan Liu and Feng-Yu Wu, 2004.
- [4] Study on Dynamic and Static Characteristics of Photovoltaic Cell Katsutoshi Ujiie, Tomonori, Izumi, Tomoki, and Toshimasa Haneyoshi, Tokyo Denki University, 2004.
- [5] Grid-Connected PV System with Power-Factor Correction Capability, Humberto Jimenez, Hugo Calleja & Victor Cardenas
- [6] A Fast Maximum Power Point Tracker For Photovoltaic Power System, Ching-Tsai Pan, Jeng-Yue Chen-Peng Chu, Yi-Shuo Huang Dep of Engineering, National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan, 2004.
- [7] Prediction-Data-Based-Maximum-Power-Point-Tracking Method for Photovoltaic Power Generation System, Nobuyoshi Mutoh, Taktoshi Matuo and Masahiro Sakai, Tokyo Metropolitan Institute of Technology, 6-6, Asahigaoka, Hino-shi, Tokyo, 191-0065 Japan, 2004.
- [8] Control and Interfacing of Bi-directional Inverters Off-Grid and Weak Grid Photovoltaic Power Systems, Computer Engineering Curtin University Of Technology Perth, Western Australia 6845, 2005.
- [9] A New Maximum Photovoltaic Power Traking Control Scheme Based on Power Equilibrium at DC Link, Tatsuya Kitano, Zhejiang University Dep. Of Electrical Eng. Hang-zhou 310027, P.R. China, 2004.
- [10] Direct Power Control for Distributed PV Power System, บทความวิชาการ, Jong-Rong Lin Dept. of E.E., Kuang Wu Institute of Technology ,Taiwan, 2005.
- [11] รศ.ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน , วุฒิพล ธาราธิ์เรษฐ, **“อิเล็กทรอนิกส์กำลัง”** ห้างหุ้นส่วน จำกัด วีเจ.พรินติ้ง, 2547.
- [12] คมกฤตย์ ชมสุวรรณ, **“อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ควบคุมการทำงานด้วยตัวประมวลสัญญาณดิจิทัลซึ่งให้ค่ากระแสฮาร์มอนิก,”**

วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2545.

- [13] กำพล ศิริจันทร์, “1 เฟส เอซี-ทู-ดีซีสวิตช์โหมดคอนเวอร์เตอร์มีการส่งถ่ายกำลังงานไฟฟ้าสำหรับอินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2545.
- [14] สินชาย แซ่ตั้ง และ เขิตชัย ปรภานวรัตน์, “การหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่องรีดโดยใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล,” เอกสารการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.
- [15] สาคร ธีรชัยสกุล และ สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์, “การพัฒนาอินเวอร์เตอร์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อการไฟฟ้า,” เอกสารการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 23, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- [16] A High-Efficiency Single-Phase Three-Wire Photovoltaic Energy Conversion System, Yeong-Chau Kuo, Tsomg-Juu Linng Member, IEEE, and Jiann-Fuh Chen, Member, IEEE, 2005.
- [17] รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ, “Industrial Power Electronic,” เอกสารประกอบการเรียน
- [18] Solar Thermal component and System Testing, T.A. Reddy and Ph.Bouix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



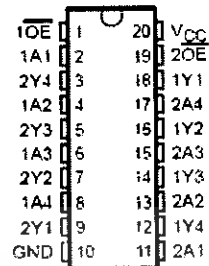
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SN74HCT244-Q1 OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS

SCLSE23 – JULY 2003

- Qualification in Accordance With AEC-Q100†
- Qualified for Automotive Applications
- Customer-Specific Configuration Control Can Be Supported Along With Major-Change Approval
- ESD Protection Exceeds 1000 V Per MIL-STD-883, Method 3015; Exceeds 200 V Using Machine Model (C = 200 pF, R = 0)
- Operating Voltage Range of 4.5 V to 5.5 V
- High-Current Outputs Drive Up To 15 LSTTL Loads
- Low Power Consumption. 80- $\mu$ A Max  $I_{CC}$
- Typical  $t_{pd} = 13$  ns
- $\pm 6$ -mA Output Drive at 5 V
- Low Input Current of 1  $\mu$ A Max
- Inputs Are TTL-Voltage Compatible
- 3-State Outputs Drive Bus Lines or Buffer Memory Address Registers

PW PACKAGE  
(TOP VIEW)



† Contact factory for details. Q100 qualification data available on request.

## description/ordering information

This octal buffer and line driver is designed specifically to improve both the performance and density of 3-state memory address drivers, clock drivers, and bus-oriented receivers and transmitters. The HCT244 device is organized as two 4-bit buffers/drivers with separate output-enable (OE) inputs. When OE is low, the device passes noninverted data from the A inputs to the Y outputs. When OE is high, the outputs are in the high-impedance state.

## ORDERING INFORMATION

T <sub>A</sub>	PACKAGE†	ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
-40°C to 125°C	TSSOP – PW Taps and rees	SN74HCT244QPWRQ1	HT244Q

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at [www.ti.com/sc/package](http://www.ti.com/sc/package)

FUNCTION TABLE  
(each buffer/driver)

INPUTS		OUTPUT
OE	A	Y
L	H	H
L	L	L
H	X	Z



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

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

TEXAS  
INSTRUMENTS

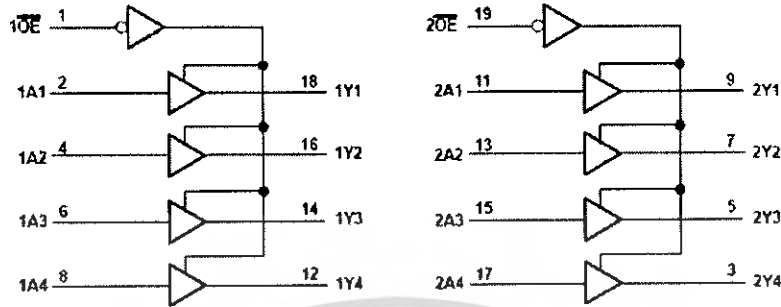
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SN74HCT244-Q1**  
**OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS**  
**WITH 3-STATE OUTPUTS**  
 SCL5509 – JUNE 2003

logic diagram (positive logic)



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

Supply voltage range, $V_{CC}$ .....	-0.5 V to 7 V
Input clamp current, $I_{IK}$ ( $V_I = 0$ or $V_I > V_{CC}$ ) (see Note 1) .....	$\pm 20$ mA
Output clamp current, $I_{OK}$ ( $V_O < 0$ or $V_O > V_{CC}$ ) (see Note 1) .....	$\pm 20$ mA
Continuous output current, $I_O$ ( $V_O = 0$ to $V_{CC}$ ) .....	$\pm 35$ mA
Continuous current through $V_{CC}$ or GND .....	$\pm 70$ mA
Package thermal impedance, $\theta_{JA}$ (see Note 2) .....	83°C/W
Storage temperature range, $T_{stg}$ .....	-65°C to 150°C

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

- NOTES: 1. The input and output voltage ratings may be exceeded if the input and output current ratings are observed.  
 2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JEDEC 51-7.

recommended operating conditions (see Note 3)

		MIN	NOM	MAX	UNIT
$V_{CC}$	Supply voltage	4.5	5	5.5	V
$V_{IH}$	High-level input voltage	$V_{CC} = 4.5$ V to $5.5$ V		2	V
$V_{IL}$	Low-level input voltage	$V_{CC} = 4.5$ V to $5.5$ V		0.8	V
$V_I$	Input voltage	0	$V_{CC}$		V
$V_O$	Output voltage	0	$V_{CC}$		V
$t_{tr}/t_f$	Input transition rise/fall time			500	ns
$T_A$	Operating free-air temperature	-40		125	°C

NOTE 3: All unused inputs of the device must be held at  $V_{CC}$  or GND to ensure proper device operation. Refer to the TI application report, *Implications of Slow or Floating CMOS Inputs*, literature number SBAA004.



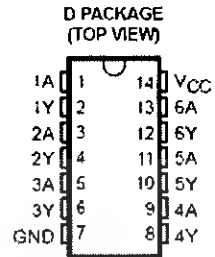
POST OFFICE BOX 655309 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SN74HCT04-Q1 HEX INVERTER

SCLS535 - AUGUST 2003

- Qualification In Accordance With AEC-Q100†
- Qualified for Automotive Applications
- Customer-Specific Configuration Control Can Be Supported Along With Major-Change Approval
- ESD Protection Exceeds 2000 V Per MIL-STD-883, Method 3015; Exceeds 200 V Using Machine Model (C = 200 pF, R = 0)
- Operating Voltage Range of 4.5 V to 5.5 V
- Outputs Can Drive Up To 10 LSTTL Loads
- Low Power Consumption, 20-µA Max I<sub>CC</sub>
- Typical t<sub>pd</sub> = 13 ns
- ±4-mA Output Drive at 5 V
- Low Input Current of 1 µA Max
- Inputs Are TTL-Voltage Compatible



† Contact factory for details. Q100 qualification data available on request.

## description/ordering information

This device contains six independent inverters. It performs the Boolean function  $Y = \bar{A}$  in positive logic.

### ORDERING INFORMATION

TA	PACKAGE‡	ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
-40°C to 85°C	SOIC - D	SN74HCT04DRQ1	HCT04IQ1

‡ Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at [www.ti.com/sc/package](http://www.ti.com/sc/package).

### FUNCTION TABLE (each inverter)

INPUT A	OUTPUT Y
H	L
L	H

### logic diagram (positive logic)



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

PRODUCTION DATA Information is current as of publication date. Product's suitability to specific applications is the responsibility of the customer. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

 **TEXAS  
INSTRUMENTS**  
POST OFFICE BOX 655313 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SN74HCT04-Q1 HEX INVERTER

SCL5535 – AUGUST 2003

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

Supply voltage range, $V_{CC}$	-0.5 V to 7 V
Input clamp current, $I_{IK}$ ( $V_I < 0$ or $V_I > V_{CC}$ ) (see Note 1)	$\pm 20$ mA
Output clamp current, $I_{OK}$ ( $V_O < 0$ or $V_O > V_{CC}$ ) (see Note 1)	$\pm 20$ mA
Continuous output current, $I_O$ ( $V_O = 0$ to $V_{CC}$ )	$\pm 25$ mA
Continuous current through $V_{CC}$ or GND	$\pm 50$ mA
Package thermal impedance, $\theta_{JA}$ (see Note 2)	86°C/W
Storage temperature range, $T_{stg}$	-65°C to 150°C

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

- NOTES: 1. The input and output voltage ratings may be exceeded if the input and output current ratings are observed.  
2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JEDEC 51-7.

## recommended operating conditions (see Note 3)

	MIN	NOM	MAX	UNIT
$V_{CC}$ Supply voltage	4.5	5	5.5	V
$V_{IH}$ High-level input voltage	$V_{CC} = 4.5$ V to $5.5$ V		2	V
$V_{IL}$ Low-level input voltage	$V_{CC} = 4.5$ V to $5.5$ V		0.8	V
$V_I$ Input voltage	0		$V_{CC}$	V
$V_O$ Output voltage	0		$V_{CC}$	V
$\Delta V_{\Delta v}$ Input transition rise/fall time			500	ns
$T_A$ Operating free-air temperature	-40		85	°C

NOTE 3: All unused inputs of the device must be held at  $V_{CC}$  or GND to ensure proper device operation. Refer to the TI application report, *Implications of Slow or Floating CMOS Inputs*, literature number SCBA004.

## electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$V_{CC}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$			MIN	MAX	UNIT
			MIN	TYP	MAX			
$V_{OH}$	$V_I = V_{IH}$ or $V_{IL}$	4.5 V	$I_{OH} = -20 \mu\text{A}$	4.4	4.499	4.4	V	
			$I_{OH} = -4 \text{ mA}$	3.98	4.3	3.84		
$V_{OL}$	$V_I = V_{IH}$ or $V_{IL}$	4.5 V	$I_{OL} = 20 \mu\text{A}$	0.001	0.1	0.1	V	
			$I_{OL} = 4 \text{ mA}$	0.17	0.26	0.33		
$I_I$	$V_I = V_{CC}$ or 0	5.5 V	$\pm 3.1$	$\pm 100$	$\pm 1000$	nA		
$I_{CC}$	$V_I = V_{CC}$ or 0, $I_O = 0$	5.5 V		2	20	$\mu\text{A}$		
$\Delta I_{CC}^\ddagger$	One input at 0.5 V or 2.4 V. Other inputs at 0 or $V_{CC}$	5.5 V	1.4	2.4	2.9	mA		
$C_i$		4.5 V to 5.5 V	3	10	10	pF		

‡ This is the increase in supply current for each input that is at one of the specified TTL voltage levels, rather than 0 V or  $V_{CC}$ .



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมการควบคุมการทำงาน DSPIC30F4011

Main Program

```

Init Port
Init Timer
Init OC
Init ADC
    
```

```

กำหนดค่า VCELL
กำหนดค่า ICOM
SEND DAC Iref
    
```

รูปที่ ข.1 แผนผังการทำงานของโปรแกรมหลัก

```

*****
Author       : E_KONGROD
Company      : KMITL
Filename     : Main Program.s
Date         : 01/03/2007
Frequency    : 7.3728 MHz at PLL 16x
*****

.equ __30F4011, 1
.include "p30f4011.inc"

;-----
; Configuration bits:
;-----

config __FOSC, CSW_FSCM_OFF & XT_PLL16      ; Turn off clock switching and fail-
config __FWDT, WDT_OFF                       ; Turn off Watchdog Timer
config __FBORPOR, PBOR_ON & BORV_27 & PWRT_16 & MCLR_DIS
config __FGS, CODE_PROT_OFF                  ;Set Code Protection Off for the
;-----

; Global Declarations:
;-----

.global __reset                               ; The label for the first line of code.
    
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

.global __T1Interrupt          ; Declare Timer 1 ISR name global
.global __T2Interrupt          ; Declare Timer 2 ISR name global
;-----
;Difine Constants
;-----
.equ   T_2,#0x101              ; (Q15format)
.equ   T_2RC,#0xCE             ; (Q15format)
.equ   G_XOR,#0x8000
.equ   G_AND,#0x7FFF
.equ   BAND,#0x168             ; BAND = 0.25 A
.equ   I2C_DAC_CON,#0b01000000 ; CONTROL of PFC8591P
.equ   I2C_ADD_ADC_1,#0b10010000 ; ADDRESS of PFC8591P #1
.equ   M_DUTY,#0x00FF         ; % duty lmax ~0.06=> Q15=200
;-----
; Global Declarations Constants:
;-----
.global T_2
.global T_2RC
.global G_XOR
.global G_AND
.global BAND
.global I2C_DAC_CON
.global I2C_ADD_ADC_1
.global I2C_ADD_ADC_2
.global M_DUTY
;-----
; Difine Variable
;-----
.bss   BAND_UP,2
.bss   BAND_DOWN,2
.bss   B_I2C_ACK,2
.bss   COUNT_ADC_PV,2
.bss   COUNT_N,2
.bss   COUNT_SINE,2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

.bss    COUNT_DAC,2
.bss    COUNT_GAIN,2
.bss    I2C_DATA,2
.bss    I_C,2
.bss    I_LOAD,2
.bss    I_PV,2
.bss    IN,2
.bss    IP,2
.bss    SINE,2
.bss    V_S,2
.bss    V_PV,2
.bss    V_DC,2
.bss    VN,2
.bss    VP,2
.bss    I_MPPT,2
.bss    I_REF,2
.bss    I_REF_B,2
.bss    Y,2
.bss    Y_Z1,2
.bss    PN,2
.bss    PP,2

```

; -----; Global Declarations Variable:  
; -----

```

.global    BAND_UP
.global    BAND_DOWN
.global    B_I2C_ACK
.global    COUNT_ADC_PV
.global    COUNT_N
.global    COUNT_SINE
.global    COUNT_DAC
.global    COUNT_GAIN
.global    I2C_DATA
.global    I_C
.global    I_LOAD

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

.global      I_PV
.global      IN
.global      IP
.global      SINE
.global      V_S
.global      V_PV
.global      V_DC
.global      VN
.global      VP
.global      I_MPPT
.global      I_REF
.global      I_REF_B
.global      Y
.global      Y_Z1
.global      PN
.global      PP
;-----
; Code Section in Program Memory
;-----
.text                ; Start of Code section
__reset:             MOV    #__SP_init, W15    ; Initialize the Stack Pointer
                    MOV    #__SPLIM_init, W0    ; Initialize the Stack Pointer Limit Register
                    MOV    W0, SPLIM
                    NOP                          ; Add NOP to follow SPLIM initialization
                    CLR    W0                    ; Initialization of W registers to 0x0000
                    MOV    W0, W14
                    REPEAT #12
                    MOV    W0, [++W14]
                    CLR    W14
;-----
; Clear all Variable:
;-----
                    CLR    BAND_UP
                    CLR    BAND_DOWN

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CLR      B_I2C_ACK
CLR      COUNT_ADC_PV
CLR      COUNT_N
CLR      COUNT_SINE
CLR      COUNT_DAC
CLR      COUNT_GAIN
CLR      I2C_DATA
CLR      I_C
CLR      I_LOAD
CLR      I_PV
CLR      IN
CLR      SINE
CLR      V_S
CLR      V_PV
CLR      V_DC
CLR      VN
CLR      I_REF ;-----
CLR      I_REF_B
CLR      Y
CLR      Y_Z1
CLR      PN

```

\*\*\*\*\* << insert more user code here >> \*\*\*\*\*

```

START:  CALL  Init_PORTS      ; Initialize the I/O ports
        CALL  Init_TMR      ; initialize TMR
        CALL  Init_OC       ; initialize OC
        CALL  Init_ADC      ; initialize ADC_10BIT
        BSET  LATF,#RF5     ; LED3 Show Opertering

```

MAIN:

-----

```

SW_DAC:

        BTSC  PORTF, #RF6   ; SW_2
        BRA   SKIP_SW
        CALL  SW_DELAY
        BTSS  PORTF, #RF6   ; SW_2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        BRA    SKIP_SW
        INC    COUNT_DAC

SKIP_SW:
        MOV    COUNT_DAC, W8
        CP     W8,#1           ; COUNT_DAC = 1 ?
        BRA   Z,SEND_1       ; If Yes jump to SEND_1
        CP     W8,#2           ; COUNT_DAC = 2 ?
        BRA   Z,SEND_2       ; If Yes jump to SEND_2
        CP     W8,#3           ; COUNT_DAC = 2 ?
        BRA   Z,SEND_3       ; If Yes jump to SEND_3

SEND_0:
        MOV    SINE,W6        ; I_INV => W6 (SEND DAC)
        BCLR   LATF,#RF1      ; '00'
        BCLR   LATF,#RF4
        CLR    COUNT_DAC
        BRA    END_DAC

SEND_1:
        MOV    I_C,W6         ; I_X1 => W6 (SEND DAC)
        BSET   LATF,#RF1      ; '10'
        BCLR   LATF,#RF4
        BRA    END_DAC

SEND_2:
        MOV    I_MPPT,W6      ; I_1 => W6 (SEND DAC)
        BCLR   LATF,#RF1      ; '01'
        BSET   LATF,#RF4
        BRA    END_DAC

SEND_3:
        MOV    I_REF,W6       ; I_h => W6 (SEND DAC) I_MPPT
        BSET   LATF,#RF1      ; '11'
        BSET   LATF,#RF4

END_DAC:
;-----
; WRITE DATA to I2C
;-----

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SLAVE\_I2C :

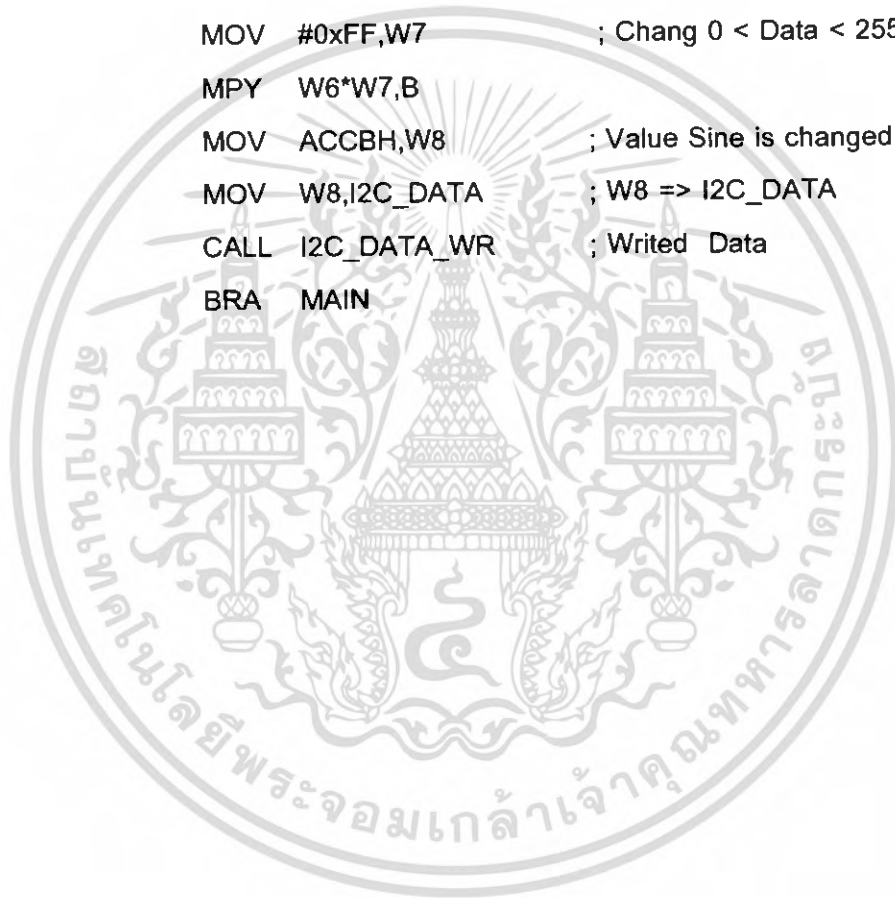
```
MOV #I2C_ADD_ADC_1,W9 ; ADDRESS of PFC8591P #1
MOV W9,I2C_DATA
CALL I2C_SLAVE ; Connected DAC
```

CONTROL\_DAC:

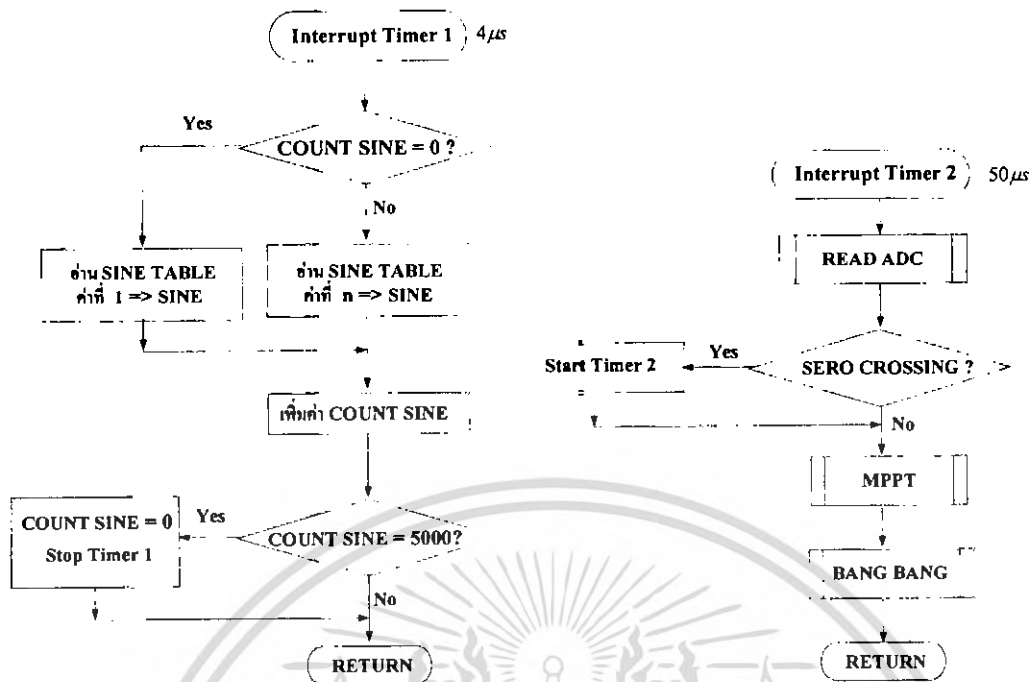
```
MOV #I2C_DAC_CON,W9
MOV W9,I2C_DATA
CALL I2C_DATA_WR ; Writed Control Data
```

SEND\_DAC:

```
MOV #0xFF,W7 ; Chang 0 < Data < 255
MPY W6*W7,B
MOV ACCBH,W8 ; Value Sine is changed => W8
MOV W8,I2C_DATA ; W8 => I2C_DATA
CALL I2C_DATA_WR ; Writed Data
BRA MAIN
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2 แผนผังการทำงานของโปรแกรมขัดจังหวะ

\_\_T1Interrupt:

BCLR IFS0,#T1IF ; Clear the Timer1 Interrupt flag Status bit.

\*\*\*\*\*<<insert more user code here>>\*\*\*\*\*

```

PUSH W0
PUSH W1
PUSH W4
PUSH W5
PUSH W6
PUSH W7
PUSH W8
PUSH W9
CALL READ_SINE_TABLE
POP W9
POP W8
POP W7
POP W6
POP W5

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
POP W4
POP W1
POP W0
```

```
RETFIE ; Return from Interrupt Service routine
```

```
;-----
; End of AllTimer 1 Interrupt Service Routine
;-----
```

```
__T2Interrupt:
```

```
BCLR IFS0,#T2IF ; Clear the Timer2 Interrupt flag Status bit.
```

```
;***** <<insert more user code here>>*****
```

```
PUSH W0
PUSH W1
PUSH W2
PUSH W3
PUSH W4
PUSH W5
PUSH W6
PUSH W7
PUSH W8
PUSH W9
```

```
;-----
CALL READ_ADC
;-----
```

```
; Check Zero Crossing
;-----
```

```
MOV V_S,W1
MOV #0x3FFF,W0 ; ZERO = > W0
CPSGTW0,W1 ; ZERO > V_LINE ?and If Yes, jump to
```

```
SET_D1
```

```
BRA CLR_D1 ; If No, jump to CLR_D1
```

```
SET_D1:
```

```
BSET LATD,#RD1 ; SET_D1
BRA END_ZC
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CLR\_D1:

```
BCLR LATD,#RD1      ; CLR_D1
BTSC PORTD,#RD1     ; RD1 = 0 ? and If Yes, Start Timer 1
BRA  END_ZC         ; If No, jump to END_ZC
BSET T1CON,#TON     ; Start Timer 1
```

END\_ZC:

```
-----
; MPPT
-----
```

```
CALL MPPT
```

```
-----
; I_REF = SINE*I_MPPT
-----
```

```
MOV  SINE,W1      ; Multiply Gain Command in Bipolar value
SL   W1,W1        ; Changed Unipolar value to Bipolar value
MOV  #G_XOR,W2    ; |-----"-----|
XOR  W1,W2,W4     ; V_INV = Unipolar => SL => XOR 8000h =>
MOV  I_MPPT,W5    ; Gain Command in Q13 format
MPY  W4*W5,A      ; Bipolar Value * Gain Command
MOV  ACCAH,W1     ; |-----"-----|
MOV  W1,I_REF_B   ; ***** ( V_REF_B {Bipolar Value}) *****
SL   W1,#2,W1     ; Shift left 3 time
MOV  #G_XOR,W2    ; Changed Bipolar value to Unipolar value
XOR  W1,W2,W3     ; |-----"-----|
ASR  W3,#1,W1     ; Shift Right 1 times
MOV  #G_AND,W2    ; |-----"-----|
AND  W1,W2,W1     ; W1 => AND 7FFFh => Unipolar (W1)
MOV  W1,I_REF
```

```
-----
;
CALL BANG_BANG
-----
```

END\_T2:

```
POP  W9
POP  W8
```

POP W7  
POP W6  
POP W5  
POP W4  
POP W3  
POP W2  
POP W1  
POP W0

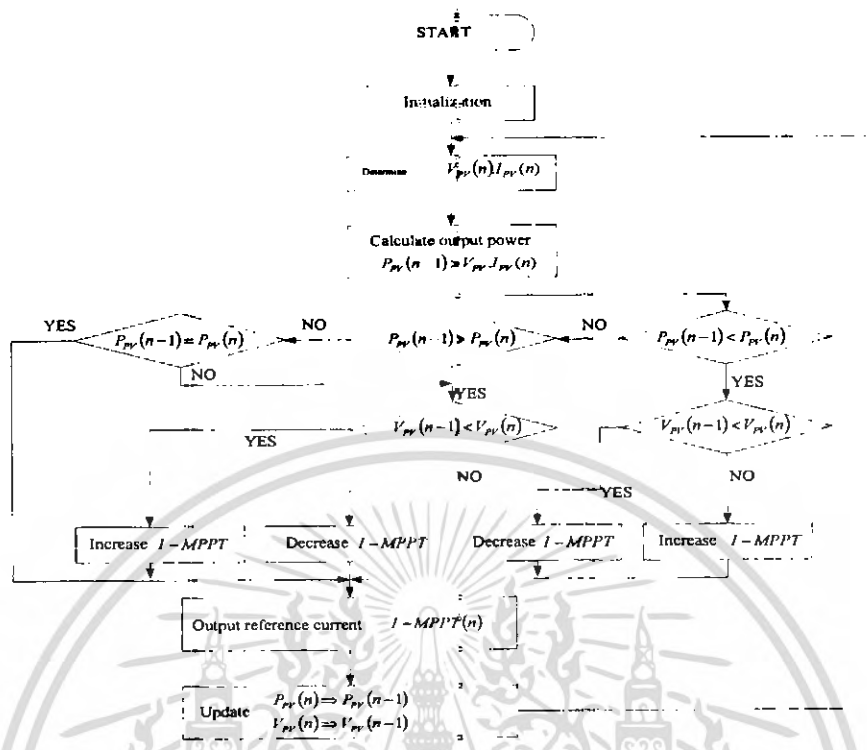
RETFIE ; Return from Interrupt Service routine

-----  
-----End of All Code Sections-----

.end ; End of program code in this file



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 โครงสร้างโปรแกรมคำนวณหากระแสอ้างอิง

```

.equ __30F4011,1
.include "p30f4011.inc"

;Subroutine send Vdc,Ipv => Ppv
;
.global MPPT

MPPT:
MOV V_DC,W4
MOV W4,VN
MOV I_PV,W5
MOV W5,IN
MUL.UU W4,W5,W6 ; = W2,W3 W4 มีค่ามาก 3FFF
MOV W7,PN ; VN*IN = PN คำตอบจะไปอยู่ที่ w7+w6

CHECK_PN:
MOV PP,W5

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CPSLT W5,W7          ;PP < PN ?
BRA  CHACK_PP        ;No      =====> ADD_I
CHACK_VP:
;Yes
MOV  VP,W3
CPSLT W3,W4          ;VP < VN ?
BRA  ADD_IMPPT       ;No  >=
BRA  SUB_IMPPT       ;Yes <

CHACK_PP:
CPSGTW5,W7          ;PP > PN ?
BRA  CHACK_BVPN      ;No  >=
BRA  CHACH_VPN       ;Yes <

CHACK_BVPN:
CPSEQ W3,W4          ;VP = VN ?  =====
BRA  CHACH_VPN       ;No  > <
BRA  KEEP_IMPPT      ;Yes  =

CHACH_VPN:
CPSLT W3,W4          ;VP < VN ?
BRA  SUB_IMPPT       ;No  >=
BRA  ADD_IMPPT       ;Yes <

-----
;I_MPPT
-----

ADD_IMPPT:
MOV  I_MPPT,W0
MOV  #0x1F00,W1
CPSLT W0,W1          ;I_MPPT < I_MAX ?
BRA  EXIT_MPPT
MOV  #M_DUTY,W1
ADD  W0,W1,W2
MOV  W2,I_MPPT      ; +I MPPT*
BRA  EXIT_MPPT      ; EXIT

KEEP_IMPPT:
;      MOV  I_MPPT,W0
;      MOV  W0,I_MPPT      ; ~I MPPT*

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

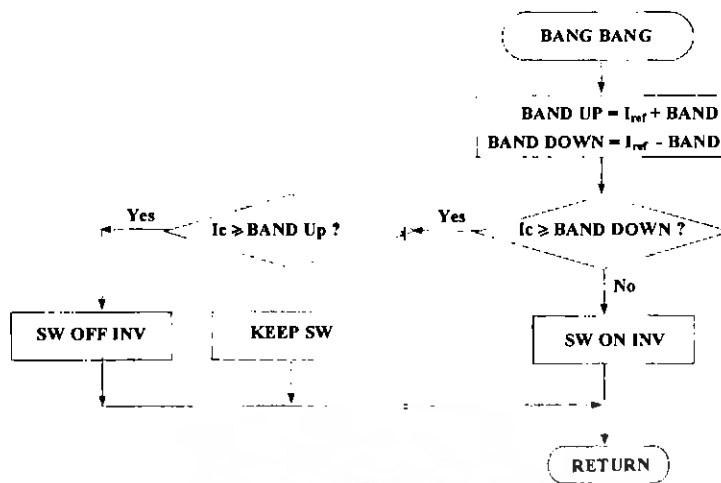
        BRA    EXIT_MPPT        ; EXIT
SUB_IMPPT:
        MOV    I_MPPT,W0
        MOV    #M_DUTY,W1
        CPSGTW0,W1            ;I_PV > M_DUTY ?
        BRA    EXIT_MPPT
        SUB    W0,W1,W2
        MOV    W2,I_MPPT        ; -I_MPPT*
        BRA    EXIT_MPPT        ; EXIT

EXIT_MPPT:
        MOV    VN,W0
        MOV    W0,VP
        MOV    IN,W0
        MOV    W0,IP
        MOV    PN,W0
        MOV    W0,PP
        MOV    I_MPPT,W0
        MOV    W0,I_MPPT
        RETURN

```

-----

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.4 โครงสร้างโปรแกรมควบคุมการสร้างกระแส

```

.equ __30F4011, 1
.include "p30f4011.inc"

;-----
; Subroutine: BANG_BANG
;-----

.global BANG_BANG
BANG_BANG:
    MOV    I_REF,W1          ; I_REF => W1
    MOV    #BAND,W2         ; BAND => W2
    ADD    W1,W2,W3         ; I_REF + BAND = W3
    MOV    W3,BAND_UP       ; W3 => BAND_UP
    SUB    W1,W2,W3         ; I_REF - BAND = W3
    MOV    W3,BAND_DOWN     ; W3 => BAND_DOWN

;-----
    MOV    I_C,W1           ; I_INV => W1
;-----

; INVERTER MODE
;-----
INVERTER:    CP    W1,W3          ; I_INV >= BAND_DOWN ?
             BRA   GTU,CHECK_HI_INV ; If Yes jump to CHECK_HI
SW_ON_INV:   BSET  LATE,#RE0
             BRA   EXIT_BB_INV
  
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CHECK_HI_INV:    MOV    I_C,W1          ; I_INV => W1
                 MOV    BAND_UP,W2      ; BAND_UP => W2
                 CP     W1,W2          ; I_INV >= BAND_UP ?
                 BRA    GTU,SW_OFF_INV  ; If Yes jump to SW_OFF

SW_KEEP_INV:     MOV    PORTE,W0
                 MOV    W0,LATE
                 BRA    EXIT_BB_INV

SW_OFF_INV:      BCLR   LATE,#RE0

EXIT_BB_INV:
                 RETURN

```

---

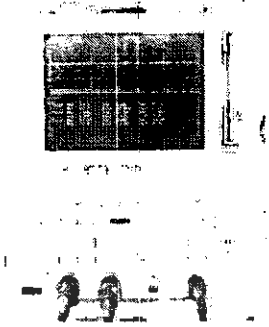


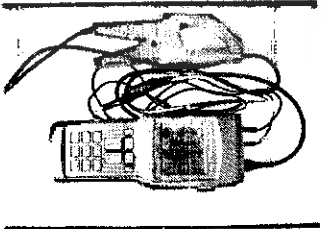


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค  
เครื่องมือที่ใช้ในปริญาานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	<p>ผลิตภัณฑ์ Digital Oscilloscope ( YOKOGA )</p> <p>รุ่น DL1540/DL ( 4 Channel )</p> <p>รายละเอียด 150 MHz Analog Bandwidth 120 MS/s on two channel 8 bit vertical resolution DC to 30 MHz,850V(DC+ACpeak)2% DC accuracy,Internal low pass filter</p>
	<p>ผลิตภัณฑ์ Multi Meter (Hewlett Packard)</p> <p>รุ่น 973 A</p> <p>รายละเอียด True RMS 20 kHz Accuracy = 0.1% Var or Vdc : 0 to 1000 Volt Iac or Idc : 0 to 10 Amp</p>
	<p>ผลิตภัณฑ์ Current Probe (CHAUVIN ARNOUX)</p> <p>รุ่น E3N</p> <p>รายละเอียด Current Probe 10-100 Ampere/1Volt Input 100 A Peak Max Frequency : DC to 100 kHz Output 10 m V/A,100mV/A CAT</p>
	<p>ผลิตภัณฑ์ Power/Harmonic Scope Meter</p> <p>รุ่น Fluke 41B</p> <p>รายละเอียด True-rms voltage from 5.0 V to 600V True-rms current from 1A to 500A Peak,DC,and Crest Factor Frequency from 6Hz-99.9Hz</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้