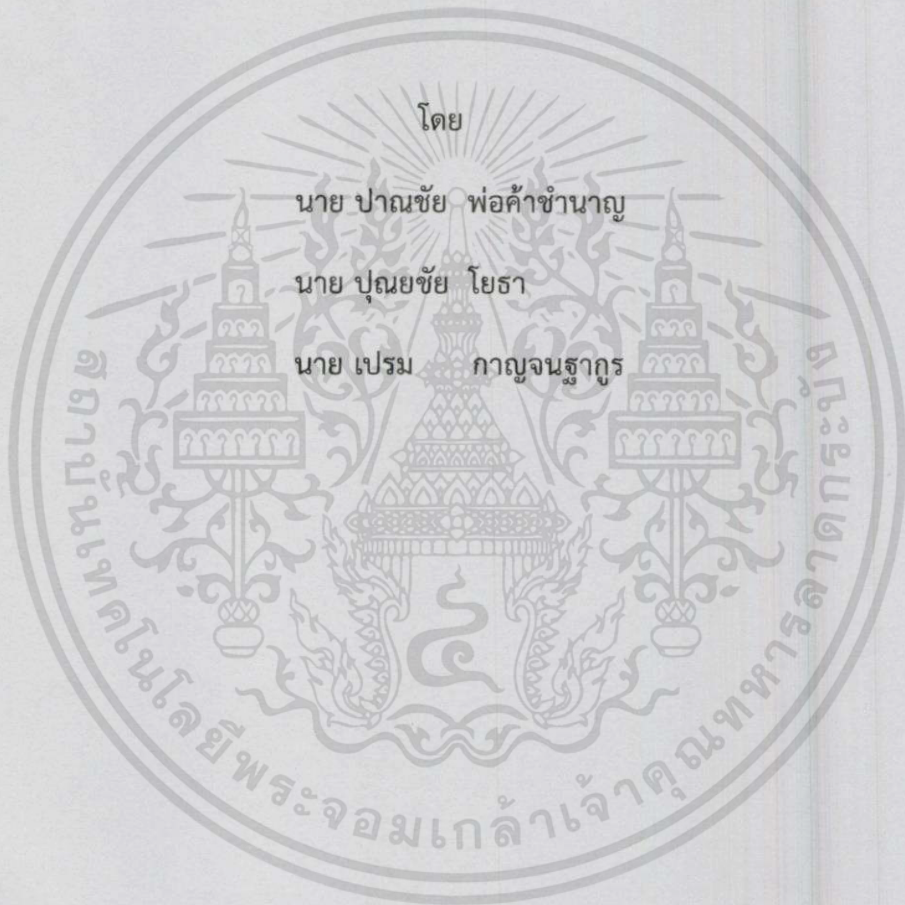


ระบบเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์กับกริด
PV GRID CONNECTED SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

ระบบเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์กับกริด
PV GRID CONNECTED SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PV GRID CONNECTED SYSTEM



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

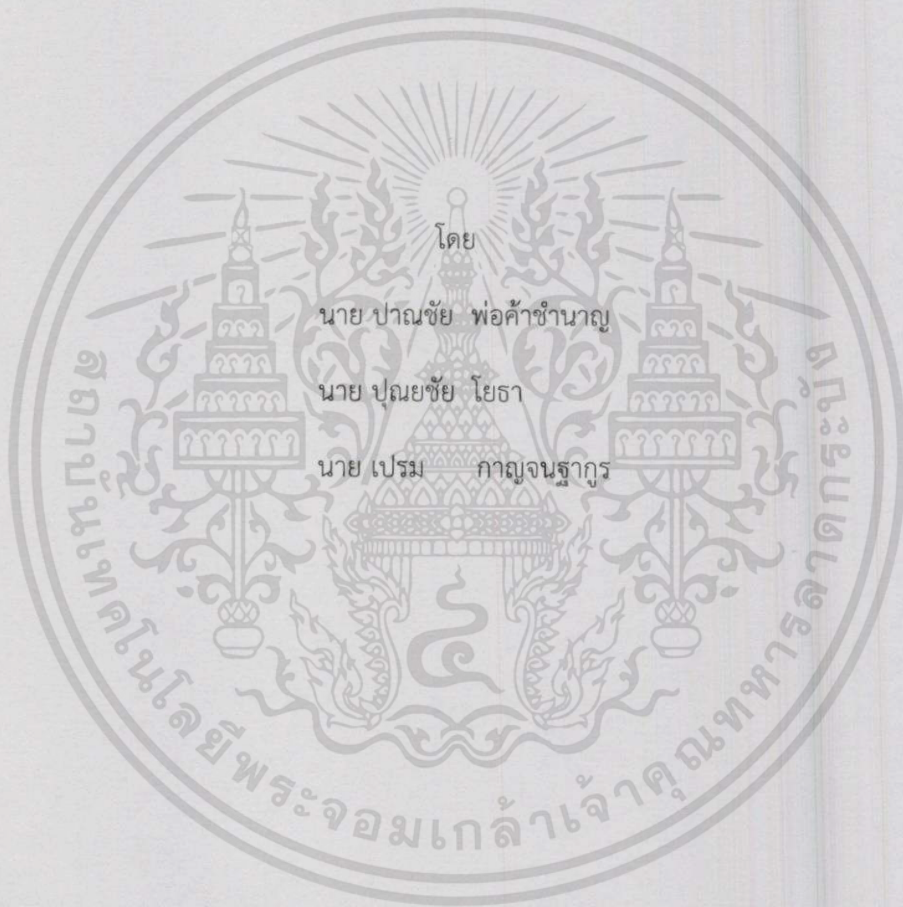
2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2557

ระบบเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์กับกริด

PV GRID CONNECTED SYSTEM



โดย
นาย ปาณชัย พ่อคำชำนาญ
นาย ปุณยชัย โยธา
นาย เปรม กาญจนธำกูร

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ

อ.ชัยทัต มณีอินทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

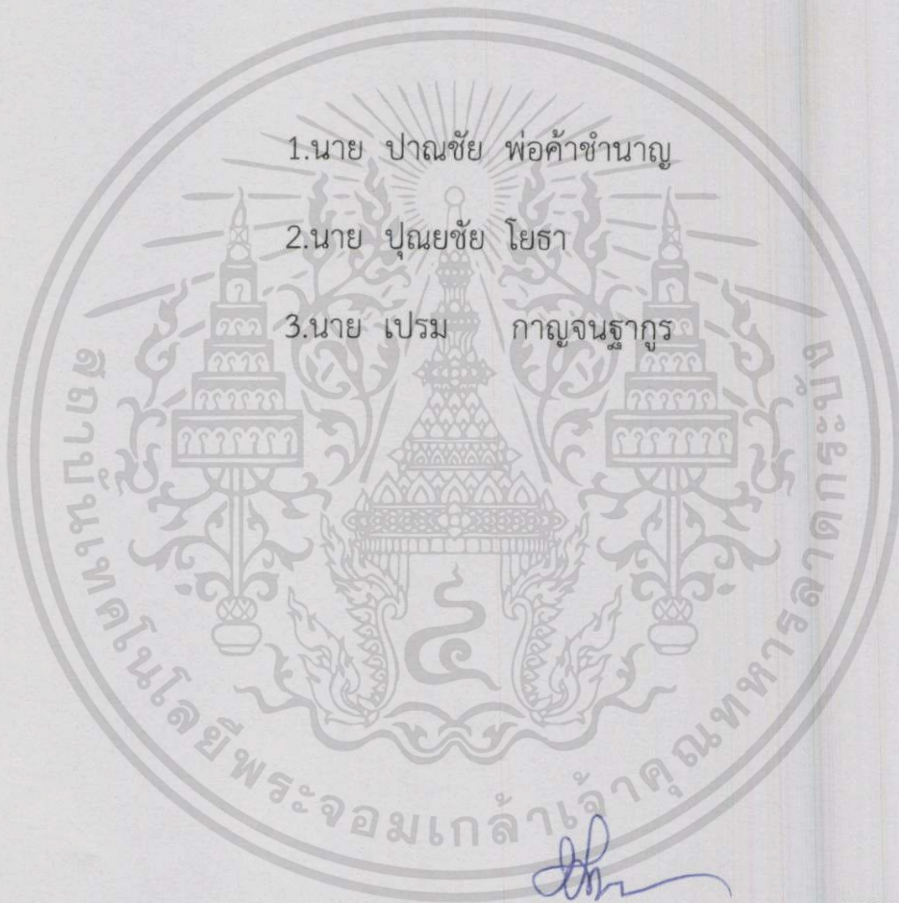
ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์กับกริด

ผู้จัดทำ



1. นาย ปาณชัย พ่อคำชำนาญ

2. นาย ปุณยชัย โยธา

3. นาย เปรม กาญจนฐากร

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร กิณเรศ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ชัยทัต มณีอินทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์กับกริด

นาย ปาณชัย พ่อคำชำนาญ

นาย ปุณยชัย โยธา

นาย เปรม กาญจนฐากร

รศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.ชัยทัต มณีอินทร์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยตรง ร่วมกับการไฟฟ้า โดยที่ระบบสามารถส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าโดยใช้กระแสในการควบคุมแบบฮิสเตอร์รีซิส โดยใช้ตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัล TMS320F28335 ทำการประมวลผลทั้งระบบ ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ยังมีการจำลองการทำงานของระบบโดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK

PV Grid connected System with Maximum Power Tracking

PANACHAI PORKACHAMNAN

POONYACHAI YOTHA

PREM KANJANATAKOON

Assoc.Prof.Dr.VIJIT KINNARES Supervisor

Mr.CHAITAT MANEEINN Supervisor

Year 2014

ABSTRACT

This project presents a solar power system that is designed for generating the electricity through the device converting DC power to AC power distribution system directly. The system is able based on hysteresis current control to transfer the electric power by using the TMS320F28335 digital signal processing system. In this project simulation and analysis of the performance of the system by using the program MATLAB /SIMULINK is also given

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้คณะผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ อาจารย์ทุกๆท่านที่ได้ให้ความรู้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ และ อ.ชัยทัต มณีอินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา ปริญญานิพนธ์ และ พี่ๆ PMC ที่ให้แนวคิด คำปรึกษา ตลอดจนช่วยแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้นรวมถึงช่วยจัดหาอุปกรณ์และเครื่องมือที่เป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์นี้ และที่สำคัญที่สุดขอขอบคุณบิดา มารดา ที่ให้ทั้งกำลังใจ และ สนับสนุนตลอดมา

คณะผู้จัดทำ



สารบัญ

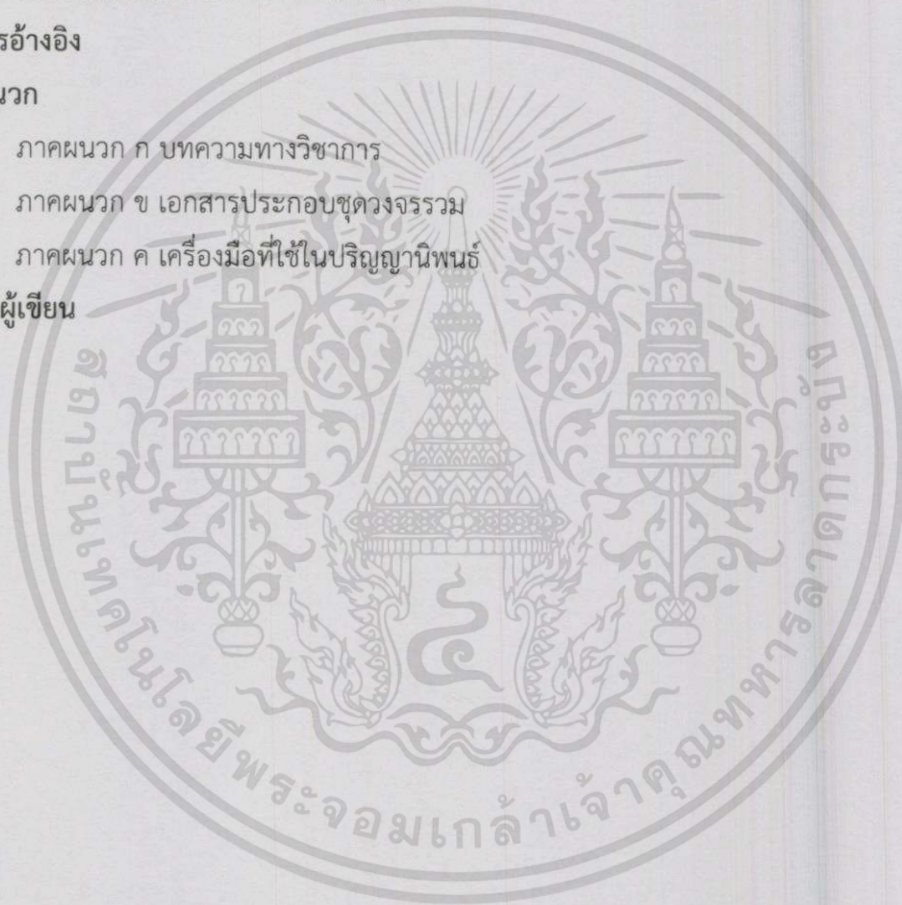
	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการทำโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของการทำโครงการ	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	2
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา	3
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในโครงการ	4
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์	4
2.1.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	5
2.1.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์	7
2.1.3 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์	8
2.2 การส่งกำลังไฟฟ้า	8
2.3 อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส	11
2.3.1 ลักษณะทั่วไปของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อการไฟฟ้าสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์	11
2.3.2 อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับสายส่งแบบชั้นเดียว	12
2.3.3 อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับสายส่งแบบสองชั้น	13
2.3.4 ผลของเดดไทม์ต่อแรงดันไฟฟ้าด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์	14
2.3.5 การควบคุมกระแสฮิสเตอร์รีซิส	14
2.4 วงจร snubber	20
2.4.1 วงจร snubber ช่วงหยุดนำกระแส	20
2.4.2 วงจร snubber ป้องกันแรงดันเกิน	21
2.4.3 การคำนวณค่า RC Snubber	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ตัวเหนี่ยวนำ	22
2.5.1 โข้คหรือคอยล์	23
2.6 หม้อแปลง	24
2.7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	14
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างวงจรควบคุมและวงจรกำลัง	25
3.1 การออกแบบระบบจ่ายไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	25
3.2 การออกแบบอินเวอร์เตอร์	27
3.2.1 ตัวเก็บประจุไฟตรง	27
3.2.2 ตัวเหนี่ยวนำกรองกระแส	28
3.2.3 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	29
3.2.4 การออกแบบวงจรสวิตช์กำลัง	30
3.2.4.1 การออกแบบวงจรขับเคลื่อน	31
3.2.5 การออกแบบวงจรตรวจจับสัญญาณของวงจรควบคุม	32
3.2.5.1 การออกแบบวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟสลับ	32
3.2.5.2 การออกแบบวงจรป้องกันกระแสเกิน	34
3.2.5.3 การออกแบบวงจรประจิงเวลา	35
3.2.5.4 การออกแบบวงจรตรวจจับสัญญาณกระแส	36
3.2.6 ตัวควบคุมสัญญาณดิจิตอล	37
3.2.7 ซอฟแวร์สำหรับพัฒนาไมโครคอนโทรเลอร์ C2000	39
3.3 การจำลองอินเวอร์เตอร์เชื่อมต้อกริดโดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง	40
3.3.1 การวิเคราะห์ผลการจำลองระบบอินเวอร์เตอร์เชื่อมต้อกริดที่มีการควบคุมกระแสแบบฮีสเตอร์รีซิส	40
บทที่ 4 ผลการทดลองการทำงานของระบบ	43
4.1 ผลการทดลองการทำงานของระบบ	43
4.1.1 การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต้อโหลดโดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันคงที่	43
4.1.2 การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยจำลองพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแหล่งจ่ายแรงดันคงที่	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.3 การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกรไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนโดยเซลล์แสงอาทิตย์	59
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	77
5.1 สรุปผลการทดลอง	77
5.2 ข้อเสนอแนะและการพัฒนาต่อไป	77
เอกสารอ้างอิง	79
ภาคผนวก	80
ภาคผนวก ก บทความทางวิชาการ	81
ภาคผนวก ข เอกสารประกอบชุดวงจรรวม	86
ภาคผนวก ค เครื่องมือที่ใช้ในปริญญานพนธ์	107
ประวัติผู้เขียน	110



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วงจรสมมูลในอุดมคติของเซลล์แสงอาทิตย์	5
2.2 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์	6
2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส กับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์	6
2.4 วงจรสมมูลการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าระหว่างบัส 1 และ บัส 2	8
2.5 เฟสเซอร์ไดอะแกรม	9
2.6 บล็อกไดอะแกรมอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบชั้นเดียว	12
2.7 โครงสร้างอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบชั้นเดียว	12
2.8 บล็อกไดอะแกรมอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบสองชั้น	13
2.9 โครงสร้างอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบสองชั้น	13
2.10 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมกระแสฮิสเตอร์รีซิส	15
2.11 สัญญาณกระแสอ้างอิงและสัญญาณสวิตช์	15
2.12 สัญญาณกระแสจริงภายใต้ขอบเขตฮิสเตอร์รีซิส	16
2.13 แสดงลักษณะที่เป็นไปได้ในการต่อวงจรสับเบอร์ RC ช่วงหยุดนำกระแส	20
2.14 วงจรสับเบอร์อย่างง่ายสำหรับอุปกรณ์สวิตชิง	21
3.1 บล็อกไดอะแกรมระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า	25
3.2 ลักษณะการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า	25
3.3 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบ	26
3.4 ตัวเก็บประจุไฟตรง	27
3.5 ตัวเหนี่ยวนำกรองกระแส	28
3.6 ชุดทดลองวงจรแหล่งจ่ายไฟตรง	29
3.7 วงจรแหล่งจ่ายไฟตรง +15, -15V	30
3.8 วงจรแหล่งจ่ายไฟตรง 5V	30
3.9 ชุดทดลองวงจรขับเคลื่อน	31
3.10 วงจรขับเคลื่อน	31
3.11 ชุดทดลองสวิตช์อินเวอร์เตอร์ IGBT	32
3.12 วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟสลับ	33
3.13 ชุดทดลองวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟสลับ	33
3.14 วงจรป้องกันกระแสเกิน	34
3.15 ชุดทดลองวงจรป้องกันกระแสเกิน	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16 วงจรประวิงเวลา	35
3.17 ชุดทดลองวงจรประวิงเวลา	35
3.18 วงจรตรวจจับสัญญาณกระแส	36
3.19 ชุดทดลองวงจรตรวจจับสัญญาณกระแส	36
3.20 โปรแกรม Code Composer Studio 4(CCS4)	39
3.21 โปรแกรม MATLAB/Simulink	39
3.22 วงจรแหล่งจ่ายไฟตรงผ่านอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกรีด	40
3.23 วงจรกำลังและวงจรควบคุมของระบบ	41
3.24 สัญญาณแรงดัน V_s (50V/div) และกระแส I_s (1A/div)	41
3.25 สัญญาณแรงดัน V_c (50V/div) และกระแส I_c (1A/div)	42
4.1 วงจรระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อโหลดโดยใช้แรงจ่ายแรงดันคงที่	43
4.2 รูปคลื่น V_L (100V/div) และ I_L (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms	44
4.3 รูปคลื่น V_L (100V/div) และ I_L (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms	44
4.4 รูปคลื่น V_L (100V/div) และ I_L (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms	45
4.5 การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้าโดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันคงที่	45
4.6 รูปคลื่น V_s (100V/div) และ I_s (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms	46
4.7 รูปคลื่น V_{con} (200V/div) และ I_c (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms	46
4.8 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms	47
4.9 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms	47
4.10 รูปคลื่น V_s (100V/div) และ I_s (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms	48
4.11 รูปคลื่น V_{con} (200V/div) และ I_c (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms	48
4.12 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms	49
4.13 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms	49
4.14 รูปคลื่น V_s (100V/div) และ I_s (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms	50
4.15 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) และ I_c (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms	50
4.16 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms	51
4.17 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms	51
4.18 รูปคลื่น V_s (100V/div) และ I_s (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.5 Arms	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 รูปคลื่น Vcon (200V/div) และ Ic (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.5 Arms	52
4.20 รูปคลื่น Vcon (100V/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.5 Arms	53
4.21 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง 2.5 Arms	53
4.22 รูปคลื่น Vs (100V/div) และ Is (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 3.0 Arms	54
4.23 รูปคลื่น Vcon (200V/div) และ Ic (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 3.0 Arms	54
4.24 รูปคลื่น Vcon (100V/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 3.0 Arms	55
4.25 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง 3.0 Arms	55
4.26 รูปคลื่น Vs (100V/div) และ Is (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 3.5 Arms	56
4.27 รูปคลื่น Vcon (200V/div) และ Ic (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 3.5 Arms	56
4.28 รูปคลื่น Vcon (100V/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 3.5 Arms	57
4.29 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง 3.5 Arms	57
4.30 ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อการไฟฟ้าไฟฟ้า โดยจำลองพลังงาน แสงอาทิตย์ด้วยแหล่งจ่ายแรงดันคงที่	58
4.31 วงจรการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนการไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์	59
4.32 รูปคลื่น Vs (100V/div) และ Is (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms	60
4.33 รูปคลื่น Vcon (100V/div) และ Ic (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms	60
4.34 รูปคลื่น Vcon (100V/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms	61
4.35 รูปคลื่น Vpv (100V/div) และ Ipv (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 Arms	61
4.36 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms	62
4.37 รูปคลื่น Vs (100V/div) และ Is (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms	62
4.38 รูปคลื่น Vcon (100V/div) และ Ic (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms	63
4.39 รูปคลื่น Vcon (100V/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms	63
4.40 รูปคลื่น Vpv (100V/div) และ Ipv (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms	64
4.41 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 Arms	64
4.42 รูปคลื่น Vs (100V/div) และ Is (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms	65
4.43 รูปคลื่น Vcon (100V/div) และ Ic (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms	65
4.44 รูปคลื่น Vcon (100V/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms	66
4.45 รูปคลื่น Vpv (100V/div) และ Ipv (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms	66
4.46 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 Arms	67

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.47 รูปคลื่น Vs (100V/div) และ Is (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.5 Arms	67
4.48 รูปคลื่น Vcon (100V/div) และ Ic (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.5 Arms	68
4.49 รูปคลื่น Vcon (100V/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.5 Arms	68
4.50 รูปคลื่น Vpv (100V/div) และ Ipv (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.5 Arms	69
4.51 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง 2.5 Arms	69
4.52 รูปคลื่น Vs (100V/div) และ Is (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 3.0 Arms	70
4.53 รูปคลื่น Vcon (100V/div) และ Ic (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 3.0 Arms	70
4.54 รูปคลื่น Vcon (100V/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 3.0 Arms	71
4.55 รูปคลื่น Vpv (100V/div) และ Ipv (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 3.0 Arms	71
4.56 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง 3.0 Arms	72
4.57 รูปคลื่น Vs (100V/div) และ Is (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 3.5 Arms	72
4.58 รูปคลื่น Vcon (100V/div) และ Ic (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 3.5 Arms	73
4.59 รูปคลื่น Vcon (100V/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 3.5 Arms	73
4.60 รูปคลื่น Vpv (100V/div) และ Ipv (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 3.5 Arms	74
4.61 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง 3.5 Arms	74
4.62 ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อการไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนการไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์	75

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	25
4.1 ผลการการทดลองระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้าโดยจำลองพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแหล่งจ่ายแรงดันคงที่	58
4.2 ผลการการทดลองระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้าโดยจำลองพลังงานกลับคืนการไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์	75



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเป็นหลัก จากข้อมูลในปี 2554 ที่ผ่านมามีการนำเข้าร้อยละ 60 ของความต้องการพลังงานเชิงพาณิชย์ขึ้นต้นมาจากการนำเข้าโดยมีสัดส่วนการนำเข้าน้ำมันสูงถึงร้อยละ 80 ของปริมาณการใช้ น้ำมันทั้งหมดภายในประเทศและยังมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นอีก เพราะไม่สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตปิโตรเลียมในประเทศได้ทันกับความต้องการใช้งาน การพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างจริงจังจะช่วยลดการพึ่งพาและการนำเข้า น้ำมัน เชื้อเพลิงและพลังงานชนิดอื่นๆ และยังช่วยกระจายความเสี่ยงในการจัดหาเชื้อเพลิงด้วย พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดที่ไม่มีวันหมดสิ้น ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ และไม่ก่อก๊าซเรือนกระจก การพัฒนาพลังงานจากแสงอาทิตย์จึงมีบทบาทที่สำคัญต่อการสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงานของประเทศ ช่วยเสริมสร้างเสถียรภาพทางเศรษฐกิจ ส่งเสริมให้เกิดการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และช่วยลดการใช้พลังงานจากฟอสซิลซึ่งเป็นหนึ่งในสาเหตุหลักของการเกิดภาวะโลกร้อน ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์มีการประยุกต์ใช้สองแบบ คือระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยลำพังโดยระบบนี้มีข้อดีที่องค์ประกอบและการควบคุมไม่ยุ่งยากแต่จำเป็นต้องมีแบตเตอรี่เก็บพลังงานไว้ใช้ในช่วงเวลาที่ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ส่วนแบบที่สอง คือระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า ระบบนี้มีการควบคุมที่ซับซ้อนกว่าแบบแรกเพราะการทำงานของระบบนี้ต้องการการควบคุมให้สอดคล้องกันกับการไฟฟ้าและจ่ายโหลดร่วมกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อออกแบบสร้างชิ้นงานทั้งวงจรกำลังและวงจรควบคุมของระบบ Grid connected
2. เพื่อศึกษาการจ่ายพลังงานร่วมกับระบบการไฟฟ้า
3. เพื่อศึกษาการจ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนสู่ระบบการไฟฟ้า
4. เพื่อพัฒนาการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ในลักษณะจ่ายกำลังไฟฟ้าต่อกับระบบการไฟฟ้าโดยตรง

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยตรงร่วมกับการไฟฟ้า มีหลักการการทำงานโดยผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และพลังงานจะถูกจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า สังเกตได้เนื่องจากมีเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าจะหมุนกลับทาง การส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าโดยใช้กระแสในการควบคุมแบบฮีสเตอร์รีซิส โดยใช้ตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัล C2000 ทำการประมวลผลทั้งระบบ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย จะเป็นการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า Grid Connected

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ศึกษาวงจรกำลังและวงจรควบคุมของระบบ Grid connected
2. ศึกษาหลักการการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์และหลักการการทำงานของอินเวอร์เตอร์
3. ศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เป็นตัวกำหนดคำสั่งของโปรแกรม
4. จำลองการทำงานของโครงการโดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink
5. ออกแบบและสร้างชิ้นงานของโครงการนี้
6. เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของโครงการ
7. ทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบ

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. เรียนรู้และเข้าใจวงจรกำลังและวงจรควบคุมของระบบ Grid connected เช่น อินเวอร์เตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์
2. เรียนรู้และเข้าใจถึงหลักการการทำงานของการจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้ระบบไฟฟ้า
3. ชิ้นงานที่สร้างขึ้นสามารถเชื่อมต่อกับการไฟฟ้าได้ เพื่อช่วยในการจ่ายพลังงาน
4. นำพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่ห่างไกล และลดการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งผลิตอื่นๆ

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

ปฏิญานิพนธ์เล่มนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทคือ

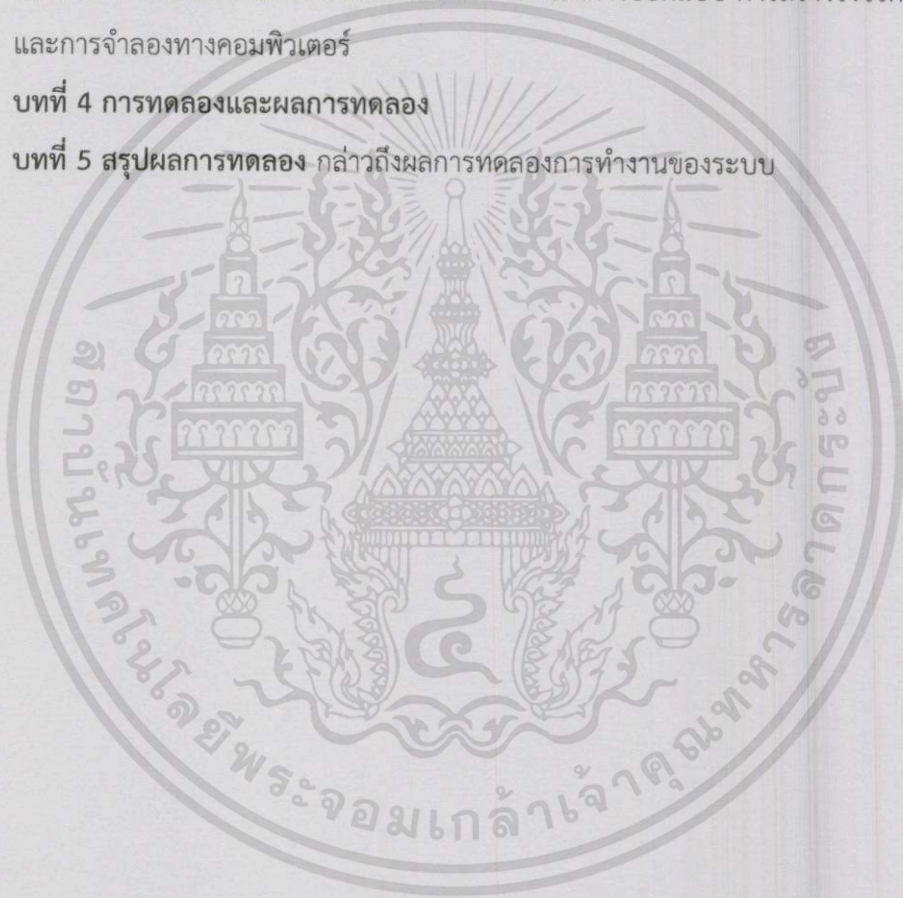
บทที่ 1 บทนำ กล่าวคือความเป็นมาของโครงการ วัตถุประสงค์ ขอบเขตข้อกำหนดของโครงการ ขั้นตอนการดำเนินงาน ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในโครงการ และพื้นฐานของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า

บทที่ 3 การออกแบบและการประกอบสร้าง กล่าวถึงการออกแบบ การสร้างวงจรควบคุม และการจำลองทางคอมพิวเตอร์

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง กล่าวถึงผลการทดลองการทำงานของระบบ



บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในโรงงาน

ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับโรงงาน และพื้นฐานของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
เชื่อมต่อการไฟฟ้า ซึ่งจะกล่าวถึงเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่ง
เนื้อหาทั้งหมดจำเป็นสำหรับการศึกษา และประเมินประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
เชื่อมต่อการไฟฟ้า

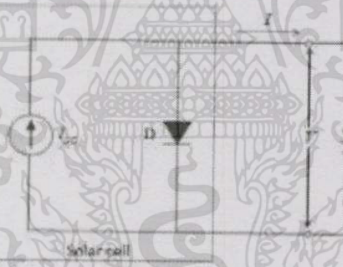
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นให้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจาก
แสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าถูกสร้างขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1954 โดยแชปบิน (Chapin) ฟูลเลอร์
(Fuller) และเพียสัน (Pearson) ซึ่งได้ค้นพบเทคโนโลยีการสร้างรอยต่อ P-N ของผลึกซิลิคอนจนได้
เซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นมาเป็นครั้งแรกในโลกซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 6% โดยในระยะเวลาต่อมาได้มีการ
วิจัยและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงกว่า 15 % โดยในระยะเริ่มต้น ได้นำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานใน
การผลิตพลังงานไฟฟ้าทางด้านอวกาศดาวเทียมระบบสื่อสารต่างๆจนในปัจจุบันมีการผลิตใช้งาน
อย่างแพร่หลายเนื่องจากความต้องการการผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีสะอาดที่เพิ่มสูงขึ้นและการ
พัฒนาเทคโนโลยีส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์มีราคาถูกลงและประสิทธิภาพสูงขึ้น การควบคุมเพื่อให้
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่ประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ตลอดเวลาจึงเป็นสิ่งสำคัญในการที่จะเพิ่ม
ประสิทธิภาพและทำให้การใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้น

2.1.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตขึ้นมาจากวัสดุสารกึ่งตัวนำเหมือนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป โครงสร้างวัสดุสารกึ่งตัวนำของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีลักษณะเป็นรอยต่อ พี-เอ็น (p-n junction) เหมือนไดโอด ดังนั้นคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติจึงสามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลประกอบด้วยแหล่งจ่ายกระแสขนานกับไดโอดดังภาพที่ 2.1 ซึ่งปริมาณกระแส I_{SC} นี้กำเนิดจากปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกที่ความเข้มของแสงค่าหนึ่ง ซึ่งสามารถแทนได้ด้วย แหล่งจ่ายกระแสคงที่ ส่วนไดโอดจะแสดงถึงคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่เป็นรอยต่อพี-เอ็น ดังนั้นค่ากระแสจ่ายออก I จึงสามารถอธิบายได้ด้วยความแตกต่างของกระแส I_{SC} ที่กำเนิดจากแสงอาทิตย์กับกระแสของไดโอดดังแสดงในสมการที่ 2.1

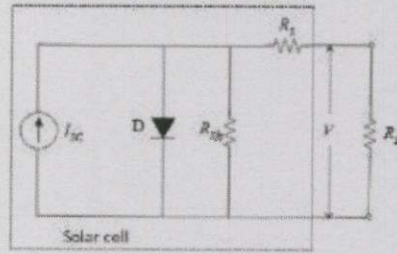
$$I = I_{SC} - I_0 \left[\exp \left(\frac{qV}{AkT} \right) - 1 \right] \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.1 วงจรสมมูลในอุดมคติของเซลล์แสงอาทิตย์

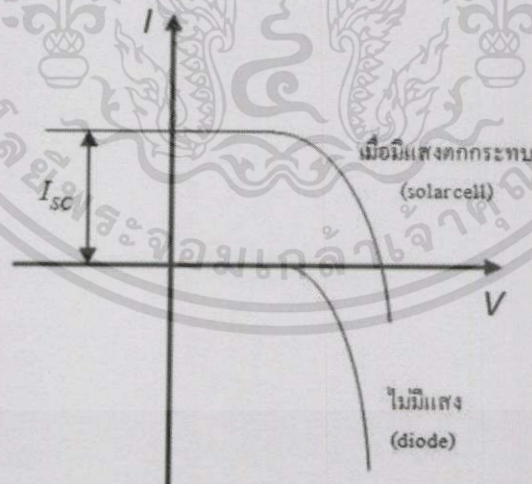
อย่างไรก็ตามเซลล์แสงอาทิตย์ยังมีค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นจากความต้านทานภายในของเซลล์แสงอาทิตย์ดังภาพที่ 2.2 ซึ่งมีทั้งความต้านทานที่ขนาน และความต้านทานที่อนุกรมกับวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติ ดังนั้นสมการคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 2.2

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



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

จากสมการที่ 2.2 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันจ่ายออกของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังภาพที่ 2.3 ในสภาวะที่ไม่มีแสงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีคุณสมบัติเหมือนไดโอดเนื่องจากมีโครงสร้างของวัสดุสารกึ่งตัวนำเหมือนกันแต่เมื่อให้แสงกับเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะเกิดปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกขึ้นทำให้เกิดแรงดันและกระแสออกมา เมื่อพิจารณาในสภาวะเปิดวงจร กระแสจะไหลเข้าไดโอดทั้งหมดทำให้กระแสจ่ายออกมีค่าเป็นศูนย์ ในทางกลับกันถ้าลัดวงจรกระแสจ่ายออกก็จะไหลออกสู่วงจรภายนอกทั้งหมด เมื่อเปลี่ยนค่าความเข้มของแสงจะส่งผลให้ค่ากระแส I_{sc} มีค่าเปลี่ยนไปด้วยซึ่งแปรผันตรงกับค่าความเข้มแสงในขณะที่แรงดันมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยหรืออาจกล่าวได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์มีคุณสมบัติเป็นแหล่งจ่ายกระแส



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส กับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตจากซิลิคอนซึ่งเป็นวัสดุเช่นเดียวกับ Transistors และวงจรรวม (Integrated Circuit :IC) โดยผลึกซิลิคอนจะถูกทำให้ไม่บริสุทธิ์ (Dope) โดยการเติมธาตุในกลุ่ม 3 และ 5 ของตารางธาตุซึ่งจะได้ผลึกซิลิคอน (P-Type และ N-type) ตามลำดับที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างกัน เมื่อนำมาต่อเชื่อมกันด้วยกรรมวิธีการแพร่สารระหว่างผลึกทำให้ระหว่างรอยต่อมีสถานะที่เป็นกลาง (Depletion Region) ผลึกซิลิคอนจะวางซ้อนกันเป็นชั้นบาง (Layer) เมื่อมีแสงซึ่งมีอนุภาคโฟตอน (Photon) มาตกกระทบแผ่นชั้นซิลิคอน อิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานจะเกิดการไหล ความไม่สมดุลของประจุระหว่างชั้นเซลล์เมื่อมีการต่อเชื่อมขั้วไฟฟ้าออกไปก็จะเกิดการความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นที่ขั้วไฟฟ้านั้นเมื่อนำมาต่อเชื่อมกันเป็นวงจรไฟฟ้าก็จะเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างขั้วเกิดมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าขึ้นมาได้ ในปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์แบ่งได้เป็น 3 ประเภท

1.เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอน (Crystalline Solar cell)

เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกที่ใช้งานในปัจจุบันส่วนมากผลิตจากซิลิคอน เนื่องจากได้มีการพัฒนาทั้งด้านราคา อายุการใช้งาน และประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานเรื่อยมา ในช่วงแรกเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวจะมีราคาประมาณ 1,000 บาทต่อวัตต์ ในช่วง พ.ศ. 2516 ลดลงมาประมาณ 125 บาทต่อวัตต์ และในปี พ.ศ. 2534 ได้มีการพัฒนาให้มีอายุการใช้งานเพิ่มมากขึ้นเกิน 30 ปี ในปัจจุบันในด้านประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนถูกจำกัดด้วยคุณสมบัติทางไฟฟ้าของซิลิคอน คือมีค่าสูงสุดได้ประมาณ 29% จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีการคิดค้นพัฒนาในการใช้สารกึ่งตัวนำชนิดอื่นๆ มาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แทนซิลิคอน เช่น แกลเลียมอาเซไนด์ (GaAs) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานสูงกว่าซิลิคอน คือจะมีค่าประมาณ 31% แต่ยังคงถูกจำกัดโดยเหตุผลทางเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากราคาของสารดังกล่าวยังสูงกว่าซิลิคอน

2.เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแผ่นบาง (Thin-Film Solar cell)

เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตขึ้นมาเพื่อลดราคาให้ถูกกว่าแบบแรก เนื่องจากกระบวนการผลิตใช้ปริมาณสารกึ่งตัวนำน้อยกว่าแบบแรก โดยปกติใช้อะมอร์ฟัสซิลิคอน (a-si) จำนวนเล็กน้อยฉาบลงบนผิวของวัสดุชนิดอื่นแต่มีข้อเสียคือประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานต่ำกว่าแบบแรก มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานประมาณ 12% ในห้องปฏิบัติการ และมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานในการใช้งานจริงภาคสนามประมาณ 8% ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์แบบแผ่นบางที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอนมีค่าสูงสุดได้ไม่เกิน 27% เนื่องจากถูกจำกัดโดยคุณสมบัติทางไฟฟ้าของอะมอร์ฟัสซิลิคอน

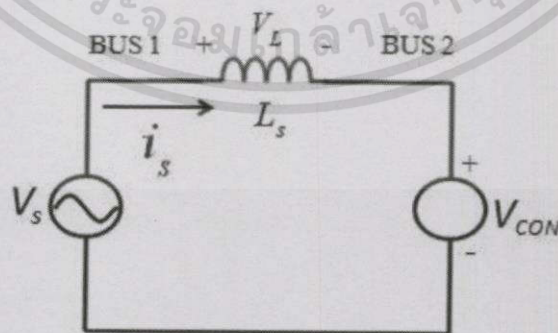
3. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกแกเลียมอาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide Solar cell) เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากสารชั้น P บนฐานของซิลิคอนผลึกแกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ชนิด N และสร้างชั้น P ชนิดแกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAlAs) ลักษณะโครงสร้างจะคล้ายผลึกเดี่ยวเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานสูงกว่า 31% สามารถใช้งานในสภาวะอุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส นิยมใช้บนยานอวกาศและเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับดาวเทียมแต่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีราคาสูงมาก

2.1.3 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

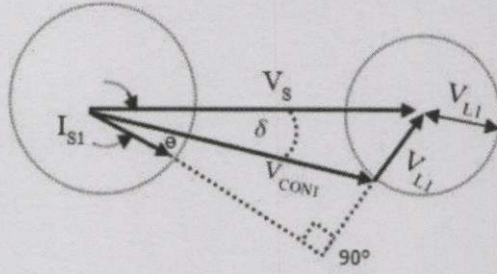
ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรติดตั้งให้มีความลาดเอียงเพียงพอเพื่อให้ได้รับแสงมากที่สุด และอีกเหตุผลหนึ่งเพื่อให้สามารถระบายน้ำฝนได้อย่างรวดเร็วเพื่อเป็นการชำระสิ่งสกปรกที่ติดค้างอยู่บนแผงได้อีกด้วยการเลือกมุมความลาดเอียงและทิศทางของแผงที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของสถานที่ สำหรับประเทศไทยค่าที่ดีที่สุดคือ 15 องศา หันหน้าไปทางทิศใต้ อีกวิธีหนึ่งในการทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดคือการปรับแผงให้เอียงตามการโคจรของดวงอาทิตย์ แต่วิธีนี้จะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากดังนั้นในทางปฏิบัติจึงติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีความลาดเอียงที่ค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น

2.2 การส่งถ่ายกำลังไฟฟ้า

การส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าระหว่างบัส 1 และ บัส 2 สามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลได้ดังภาพที่ 2.4 ซึ่งประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้า V_s และสามารถเขียนเป็นเฟสเซอร์ไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 2.5 (ก) , (ข) และ (ค)

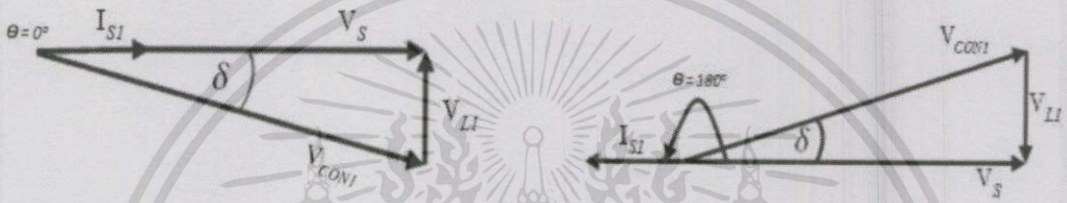


รูปที่ 2.4 วงจรสมมูลการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าระหว่างบัส 1 และ บัส 2



(ก) เฟสเซอร์ไดอะแกรมของการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้า

(ข)



(ข) เฟสเซอร์ไดอะแกรมโหมดรีคตีไฟเออร์

(ค) เฟสเซอร์ไดอะแกรมโหมคอินเวอร์เตอร์

รูปที่ 2.5 เฟสเซอร์ไดอะแกรม

จากเฟสเซอร์ไดอะแกรมภาพที่ 2.5 (ก) สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าจริง (P) และกำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) ที่จ่ายจากแหล่งจ่าย V_s ไปยังคอนเวอร์เตอร์ V_{CON} หรือจาก บัส 1 ไปยัง บัส 2 ได้ดังนี้ จากภาพที่ 2.4 พิจารณาตามกฎ KVL จะได้ว่า

$$v_s = v_{con} + v_L \tag{2.3}$$

$$v_L = L_s \frac{di_s}{dt} \tag{2.4}$$

สมมติให้ V_s เป็นรูปคลื่นไซน์และเป็นองค์ประกอบที่ความถี่มูลฐานของ V_{con} และ i_s ดังที่แสดงในภาพที่ 2.4 ซึ่งสามารถเขียนในรูปเฟสเซอร์ V_{con1} และ I_{s1} กำหนดให้ V_s เป็นเฟสเซอร์อ้างอิง จะได้ว่า

$$V_s = V_{con} + V_{L1} \tag{2.5}$$

$$V_{L1} = j\omega L_S I_{S1} \quad (2.6)$$

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

จากภาพที่ 2.7 (ก)

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

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

จากภาพที่ 2.7 (ข)

$$V_S - \omega L_S I_{S1} \sin \theta = V_{CON1} \cos \delta \quad (2.10)$$

และ

$$I_{S1} = \frac{V_S - V_{CON1}}{j\omega L_S} \quad (2.11)$$

จากเฟสเซอร์ไดอะแกรมในภาพที่ 2.5 (ค) สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าและกระแสที่ไหลจากคอนเวอร์เตอร์ V_{CON} ไปยังแหล่งจ่าย V_S หรือจาก บัส 2 ไปยังบัส 1 ได้ดังนี้

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

และ

$$I_{S1} = \frac{V_{CON1} - V_S}{j\omega L_S} \quad (2.13)$$

การควบคุมการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าสามารถควบคุมได้จากมุม δ และในการควบคุมการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ทั้งในโหมดเรกติไฟเออร์และในโหมดอินเวอร์เตอร์ โดยการกำหนดเวกเตอร์ของกระแส I_{S1} ให้ทำมุม 180 องศา และซิงโครไนส์กับแหล่งจ่าย V_S ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าไหลออกจากคอนเวอร์เตอร์ V_{CON} ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการแรงดันได้ดังนี้

$$V_{CON1} = \sqrt{V_s^2 + (\omega L_s I_{s1})^2} \quad (2.14)$$

ในกรณีที่คอนเวอร์เตอร์ทำงานที่ความถี่สูงทำให้ขนาดของตัวเหนี่ยวนำมีค่าน้อยลงดังนั้นจากสมการที่ 2.14 สามารถเขียนใหม่ได้ว่า $V_{CON1} \approx V_s$ โดยที่ไฟตรงด้านอินพุตของคอนเวอร์เตอร์ควรมีค่าตามสมการที่ 2.15

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

2.3 อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

อินเวอร์เตอร์เป็นวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ในปริยญาณิพนธ์ฉบับนี้เลือกใช้อินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ในการเชื่อมต่อการไฟฟ้า จากภาพที่ 2.12 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์โดยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านอินพุตของอินเวอร์เตอร์จะถูกเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยการควบคุมสวิตซ์ทั้ง 4 ตัวเพื่อกำหนดทิศทางของกระแสที่ไหลไปยังโหลด โดยวิธีการควบคุมมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น เทคนิค PWM แบบต่างๆ และการควบคุมกระแสฮิสเตอร์รีซิส ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในปริยญาณิพนธ์ฉบับนี้และจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2.3.1 ลักษณะทั่วไปของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อการไฟฟ้าสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้ากระแสตรงออกมา ดังนั้นการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบไฟฟ้าเหมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั่วไปจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้อินเวอร์เตอร์เพื่อเชื่อมต่อบนระบบของการไฟฟ้าโดยทั่วไปจะแบ่งตามลักษณะโครงสร้างของวงจรเป็น 2 แบบ คืออินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบชั้นเดียวและอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบสองชั้น

อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อการไฟฟ้าสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีข้อแตกต่างทางโครงสร้างเมื่อเทียบกับอินเวอร์เตอร์ทั่วไปที่ใช้อยู่ในปัจจุบันแต่มีข้อแตกต่างในด้านหน้าที่การทำงานซึ่งนอกจากทำหน้าที่เปลี่ยนรูปคลื่นไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีลักษณะของรูปคลื่นเป็นรูปไซน์เท่านั้นแต่ต้องทำหน้าที่ควบคุมกระแสที่จ่ายออกจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ได้รับกำลังงานสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์อีกด้วย อย่างไรก็ตามปัญหาที่สำคัญของอินเวอร์เตอร์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์นั้นที่ไม่แตกต่างจากอินเวอร์เตอร์ทั่วไปคือค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นในอินเวอร์เตอร์ ค่าสูญเสียนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการทำงานของอุปกรณ์สวิตซ์ในวงจรอินเวอร์เตอร์ ส่วนที่ 2 เป็นการสูญเสียเนื่องจากรูปคลื่นของกระแสที่อินเวอร์เตอร์จ่ายออกมามีลักษณะไม่เป็นรูปคลื่นไซน์หรือมีความสูญเสียเนื่องจากฮาร์มอนิกส์ของกระแสจากอินเวอร์เตอร์

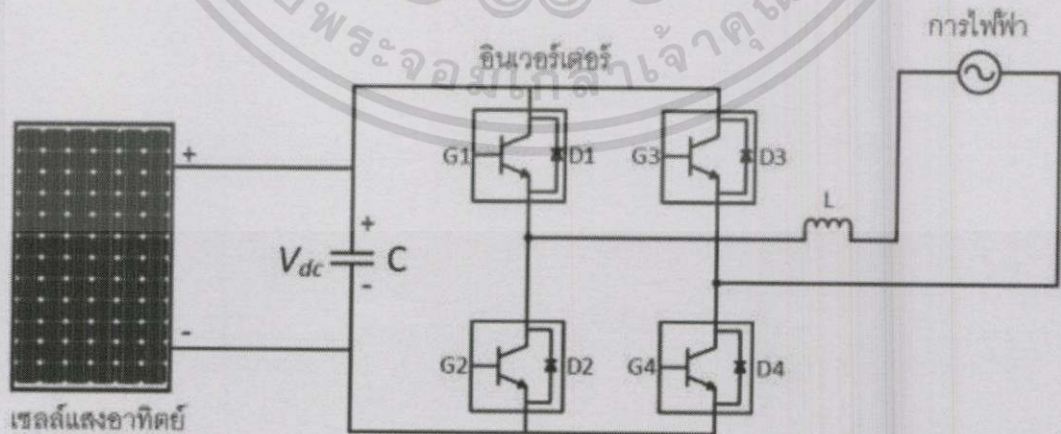
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบขั้นเดียว (Single state inverter)

บล็อกไดอะแกรมของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบขั้นเดียวและโครงสร้างระบบแสดงได้ดังภาพที่ 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบขั้นเดี่ยวนำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยไม่มีการจัดการพลังงานที่ด้านไฟฟ้ากระแสตรงก่อนหรือไม่มีการคอนเวอร์เตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการควบคุมให้เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่จุดให้กำลังงานสูงสุด อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อการไฟฟ้าแบบนี้มีข้อดีตรงที่ค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์มีค่าต่ำ เพราะมีอุปกรณ์สวิตช์ทำงานที่ความถี่ที่ต่ำ แต่มีข้อเสียในส่วนการควบคุมที่ยุ่งยาก เนื่องจากอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบนี้นอกจากทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์แล้วยังต้องทำหน้าที่ควบคุมการทำงานให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่จุดให้กำลังงานสูงสุดอีกด้วย และอีกเหตุผลที่สำคัญคือ ค่าแรงดันที่ได้รับจากเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีค่าสูงมากพอที่จะทำให้อินเวอร์เตอร์จ่ายกระแสออกสู่ระบบการไฟฟ้า



รูปที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบขั้นเดียว

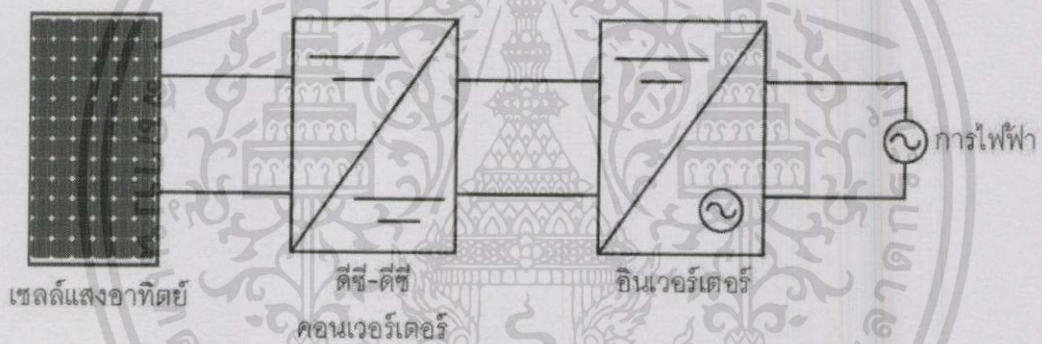


รูปที่ 2.7 โครงสร้างอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบขั้นเดียว

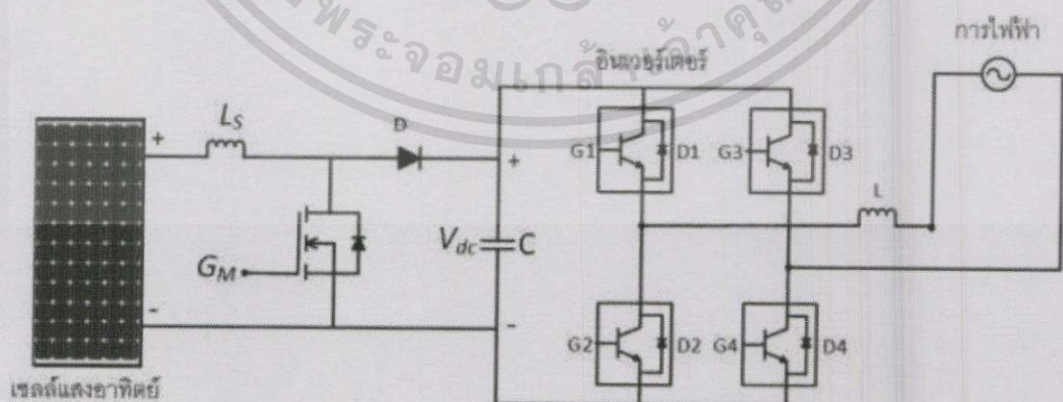
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบสองชั้น (Two state inverter)

บล็อกไดอะแกรมของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบสองชั้น และโครงสร้างระบบแสดงดังภาพที่ 2.8 และ 2.9 ตามลำดับ อินเวอร์เตอร์แบบนี้จะประกอบด้วยคอนเวอร์เตอร์ดีซี-ดีซีบูสต์คอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมแอมพลิจูดของแรงดันที่จุดให้กำลังงานสูงสุดและปรับระดับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีค่าสูงขึ้นเพื่อจ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ ส่วนอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งเป็นการจัดการพลังงานสองครั้งทำให้ค่าสูญเสียที่เกิดจากอุปกรณ์สวิตช์จึงสูงกว่าแบบแรกเนื่องจากจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์สวิตช์ทำงานที่ความถี่สูงมากกว่าชั้นเดียว แต่มีข้อดีในส่วนการควบคุมที่ทำได้ง่ายกว่าเนื่องจากแยกหน้าที่ในการทำงานกันอย่างชัดเจนระหว่างการควบคุมกำลังงานสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบสองชั้น



รูปที่ 2.9 โครงสร้างอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อสายส่งแบบสองชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 ผลของเดดไทม์ต่อแรงดันไฟฟ้าด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์

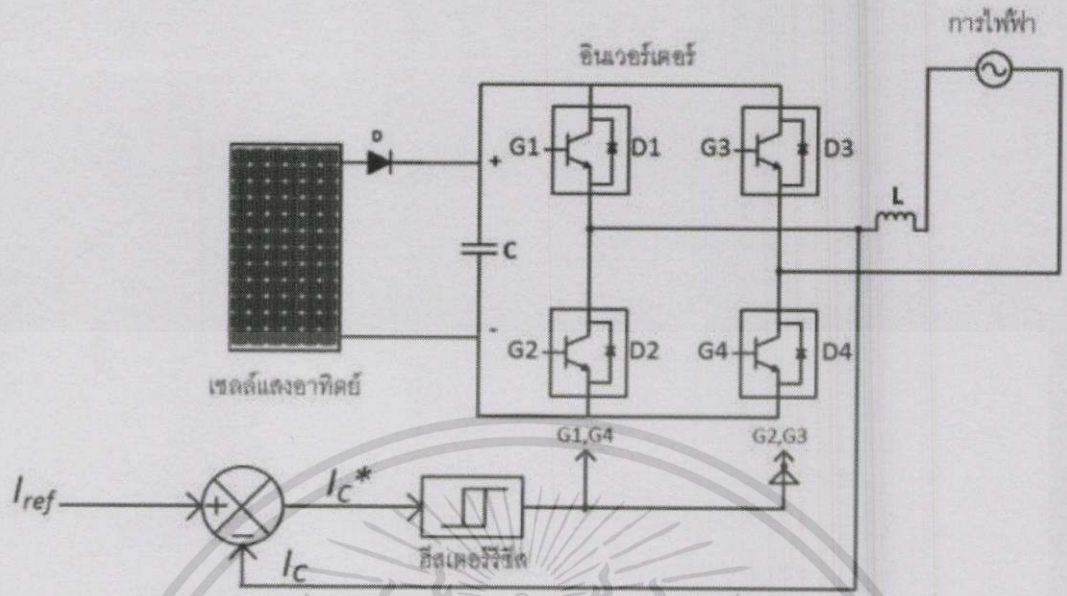
ในทางปฏิบัติ สวิตช์ตัวบนและตัวล่างต้องไม่นำกระแสพร้อมกัน ดังนั้นจึงต้องการช่วงเวลาที่ไม่สวิตช์ทั้งคู่หยุดนำกระแสก่อนที่สวิตช์จะเปลี่ยนสถานะ เพื่อป้องกันการลัดวงจรระหว่าง บัสบวกกับ บัสลบ ช่วงเวลานี้จะเรียกว่า เดดไทม์ (Dead Time) เวลาเดดไทม์ดังกล่าวจะต้องเหมาะสม หากมีค่าน้อยเกินไปอาจทำให้มีโอกาสลัดวงจรได้ง่ายหรือถ้าหากมากเกินไปอาจจะทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์ผิดเพี้ยนไป สวิตช์ที่เป็นมอสเฟตจะมีเดดไทม์น้อยๆ ประมาณ 1-2 ไมโครวินาที ดังนั้นเดดไทม์จะขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์สวิตช์ที่เลือกใช้

ข้อดี คือ ทำหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรระหว่างบัสบวกกับบัสลบ

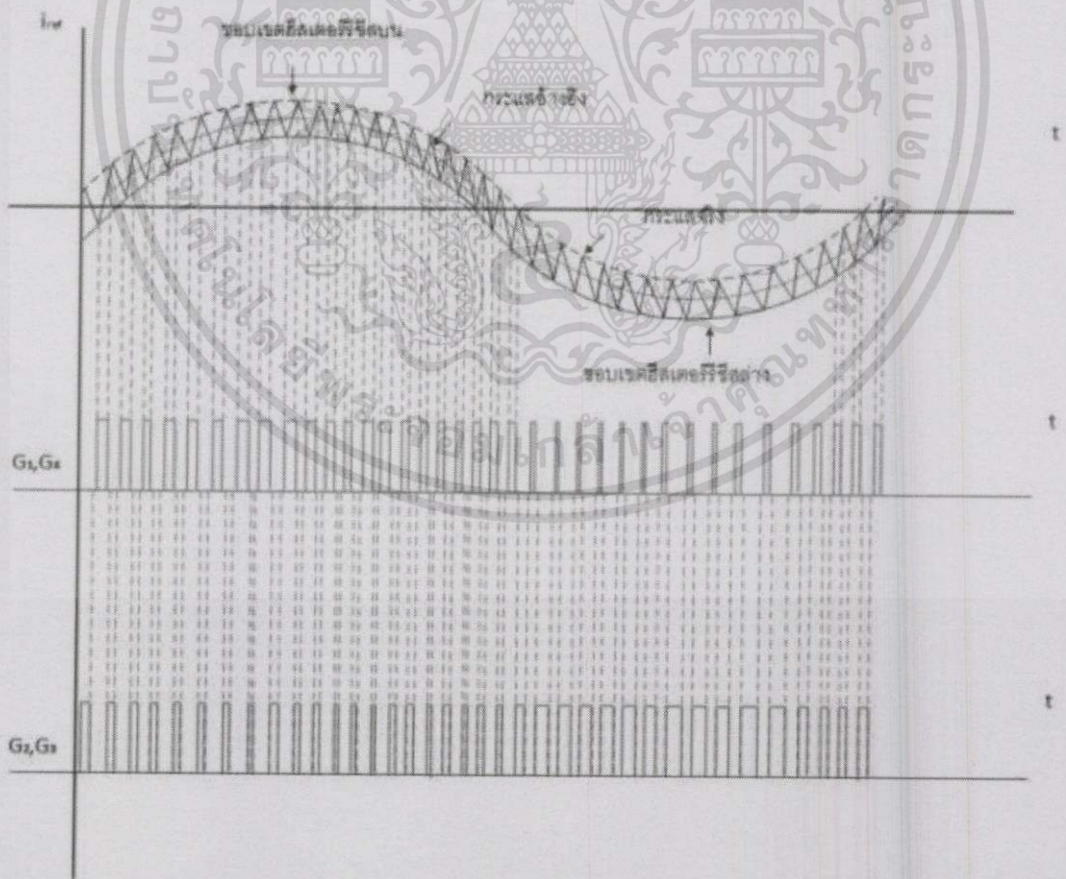
ข้อเสีย คือ หากเดดไทม์มากเกินไปจะส่งผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์ โดยขึ้นอยู่กับทิศทางไหลของกระแสไหลต การเกิดฮาร์โมนิกส์ที่ความถี่รอบข้างความถี่ความถี่สวิตช์ และเกิดความถี่ที่ฮาร์โมนิกส์อันดับต่ำๆ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพของอินเวอร์เตอร์

2.3.5 การควบคุมกระแสฮิสเตอร์รีซีส

การควบคุมด้วยเทคนิคการติดตามขอบเขตฮิสเตอร์รีซีสนั้นมีหลักการคือ นำกระแสอ้างอิงมาสร้างขอบเขตฮิสเตอร์รีซีสบนด้วยการบวกความกว้างฮิสเตอร์รีซีสกับกระแสอ้างอิงและสร้างขอบเขตฮิสเตอร์รีซีสล่างด้วยการนำกระแสอ้างอิงลบความกว้างฮิสเตอร์รีซีสสมมติกระแสอ้างอิงเป็นรูปคลื่นไซน์ จากนั้นนำกระแสจริงมาเปรียบเทียบกับขอบเขตฮิสเตอร์รีซีสล่าง ถ้าเท่ากัน (กระแสจริงชนขอบเขตฮิสเตอร์รีซีสล่าง) สัญญาณสวิตช์ G1, G4 ต้องเปลี่ยนสถานะเป็น 1 (ON) แต่ถ้าไม่เท่ากัน ทำการเปรียบเทียบกระแสจริงกับขอบเขตฮิสเตอร์รีซีสบน ถ้าเท่ากัน (กระแสจริงชนขอบเขตฮิสเตอร์รีซีสบน) สัญญาณสวิตช์ G1, G4 ต้องเปลี่ยนสถานะเป็น 0 (OFF) แต่ถ้าไม่ใช่ทั้งสองกรณี (กระแสจริงอยู่ในขอบเขตฮิสเตอร์รีซีส) ให้คงสถานะสัญญาณสวิตช์ G1, G4 ไว้จากกระบวนการดังกล่าวจะได้สัญญาณ PWM ที่นำไปควบคุม IGBT ทั้ง 4 ตัว ดังภาพที่ 2.10 และภาพที่ 2.12 ซึ่งแสดงบล็อกไดอะแกรมและรูปสัญญาณของกระแสจริงในการควบคุมติดตามขอบเขตฮิสเตอร์รีซีสตามลำดับ

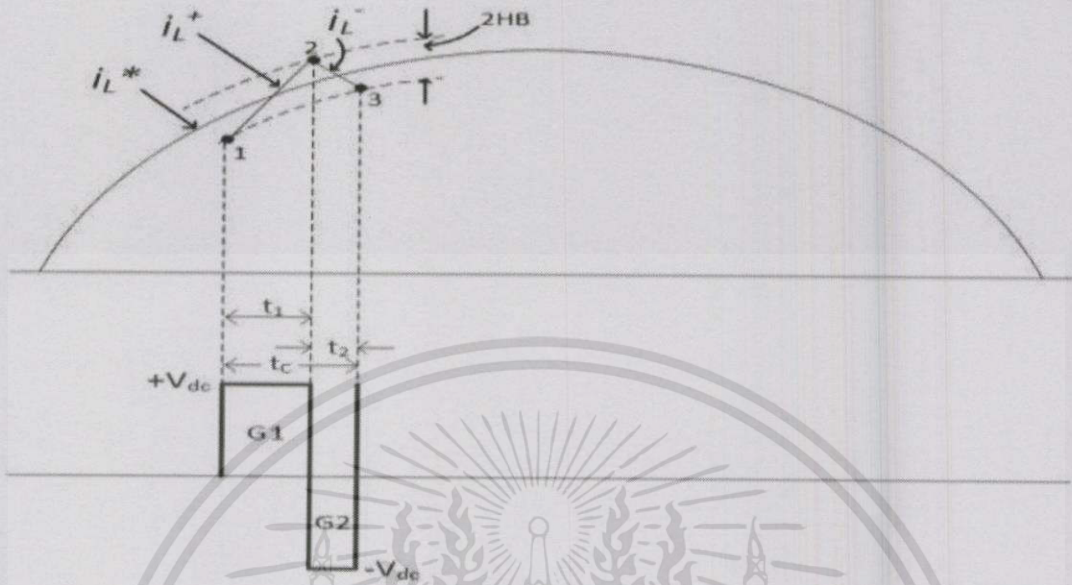


รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมกระแสฮิสเตอร์รีเซ็ต



รูปที่ 2.11 สัญญาณกระแสอ้างอิงและสัญญาณสวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้



รูปที่ 2.12 สัญญาณกระแสจริงภายใต้ขอบเขตฮีสเตอร์รีซิส

การวิเคราะห์หลักการควบคุมกระแสแบบติดตามขอบเขตฮีสเตอร์รีซิสนั้นมีการทำงานอยู่ 2 สถานะคือ เมื่อกระแสจริงไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ i_L เดินทางจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 โดยกระแสจริงเคลื่อนที่จากขอบเขตล่างไปยังขอบเขตบนส่งผลให้ความชันของกระแสจริงเพิ่มขึ้น และจากจุดที่ 2 ไปยังจุดที่ 3 กระแสจริงเคลื่อนที่จากขอบเขตบนมายังขอบเขตล่างส่งผลให้ความชันของกระแสจริงลดลง ดังนั้นในการวิเคราะห์จากภาพที่ 2.12 สามารถเขียนสมการที่เกิดจากการสวิตช์ที่เวลา t_1 และ t_2 เมื่อ G1 นำกระแส (turn on) และ G2 ไม่นำกระแส (turn off) ที่เวลา t_1

$$-V_{dc} + V_L + V_s = 0$$

$$V_L = V_{dc} - V_s$$

$$L \frac{di_L^+}{dt} = V_{dc} - V_s \quad (2.32)$$

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

$$L \frac{di_L^-}{dt} = -V_{dc} + V_s \quad (2.33)$$

เมื่อนำ $t_1 + t_2$ จะได้ว่า

$$\frac{di^+_L}{dt} + \frac{di^-_L}{dt} = 0 \quad (2.34)$$

จากภาพที่ 2.12 พบว่าที่เวลา t ใดๆ ค่าความชันของกระแสอ้างอิง (i_L^*) นั้นมีค่าน้อยมาก โดยมีค่าเข้าใกล้ศูนย์เมื่อเปรียบเทียบกับความชันของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (i_L) ซึ่งมีความชันมากกว่าและจากหลักตรีโกณมิติในภาพที่ 2.12 สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\frac{di^+_L}{dt} t_1 - \frac{di^*_L}{dt} t_1 = 2HB \quad (2.35)$$

$$\frac{di^-_L}{dt} t_2 - \frac{di^*_L}{dt} t_2 = -2HB \quad (2.36)$$

$$t_2 + t_1 = T_C = \frac{1}{f_c} \quad (2.37)$$

เมื่อ t_1 และ t_2 คือ เวลาในการสวิตช์ของไอจีบีทีและ f_c คือ ความถี่สวิตช์และเมื่อนำสมการที่ (2.35) และ (2.36) มาบวกกันแล้วแทนในสมการ (2.37) จะได้ตั้งสมการที่ (2.38) และ (2.39)

$$t_1 \frac{di^+_L}{dt} + t_2 \frac{di^-_L}{dt} - \frac{di^*_L}{dt} (t_1 + t_2) = 0 \quad (2.38)$$

$$t_1 \frac{di^+_L}{dt} + t_2 \frac{di^-_L}{dt} - \frac{1}{f_c} \left(\frac{di^*_L}{dt} \right) = 0 \quad (2.39)$$

เมื่อนำสมการที่ (2.35) ลบสมการที่ (2.36) จะได้ตั้งสมการที่ (2.40)

$$t_1 \frac{di^+_L}{dt} + t_2 \frac{di^-_L}{dt} - (t_1 - t_2) \frac{di^*_L}{dt} = 4HB \quad (2.40)$$

จากสมการที่ (2.34) แทนลงในสมการที่ (2.40) จะได้สมการที่ (2.41)

$$\begin{aligned} \frac{di^+_L}{dt} &= -\frac{di^-_L}{dt} \\ \frac{1}{f_c} \frac{di^+_L}{dt} - (t_1 - t_2) \frac{di^*_L}{dt} &= 4HB \end{aligned} \quad (2.41)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสมการที่ (2.34) แทนลงในสมการที่ (2.39) จะได้ดังสมการที่ (2.42)

$$(t_1 - t_2) = \frac{\frac{di^*_L}{dt}}{f_c \frac{di^+_L}{dt}} \quad (2.42)$$

นำสมการที่ (2.41) แทนลงในสมการที่ (2.40) จะได้ดังสมการที่ (2.43)

$$4HB = \frac{1}{f_c} \left[\frac{di^+_L}{dt} - \frac{\left(\frac{di^*_L}{dt}\right)^2}{\frac{di^+_L}{dt}} \right] \quad (2.43)$$

จากสมการที่ (2.32) แทนลงในสมการที่ (2.43) จะได้ดังสมการที่ (2.44) และ (2.45)

$$\frac{di^+_L}{dt} = \frac{V_{dc} - V_s}{L}$$

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

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

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

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

$$HB = \frac{0.25(V_{dc} - V_s)}{Lf_c} \left[1 - \frac{m^2 L^2}{(V_{dc} - V_s)^2} \right] \quad (2.44)$$

$$f_c = \frac{0.25(V_{dc} - V_s)}{(HB)L} \left[1 - \frac{m^2 L^2}{(V_{dc} - V_s)^2} \right] \quad (2.45)$$

โดยสมการที่ (2.44) แสดงถึงแถบความถี่ฮิสเตอร์รีซิสซึ่งอยู่ในฟังก์ชันของการมอดูเลต ความถี่จากสมการที่ (2.45) แสดงถึงขณะที่แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุเป็นค่าคงที่ดังนั้นความถี่ในการสวิตซึ่งสูงสุดขึ้นอยู่กับขนาดตัวเหนี่ยวนำและความกว้างขอบเขตฮิสเตอร์รีซิสในทางปฏิบัติไม่สามารถใช้ตัวเหนี่ยวนำและความกว้างขอบเขตฮิสเตอร์รีซิสมีค่าน้อยๆได้เพราะทำให้ความถี่ของการสวิตซึ่งสูงเกินพิกัดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสวิตซ์เป็นเหตุให้อุปกรณ์การสวิตซ์เสียหาย แต่ถ้ากำหนดตัวเหนี่ยวนำและความกว้างขอบเขตฮิสเตอร์รีซิสมีค่ามาก การตอบสนองต่อการสร้างกระแสเข้า ดังนั้นในการกำหนดขนาดตัวเหนี่ยวนำและความกว้างขอบเขตฮิสเตอร์รีซิสมีค่ามาก การตอบสนองต่อการสร้างกระแสเข้า ดังนั้น ในการกำหนดขนาดตัวเหนี่ยวนำและความกว้างขอบเขตฮิสเตอร์รีซิสจะต้องเลือกให้เหมาะสม และความถี่สวิตซึ่ง f_c ยังขึ้นอยู่กับ m ความถี่การสวิตซ์มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับองศาทางไฟฟ้าของสัญญาณกระแสอ้างอิงและสัญญาณแรงดันจากสมการที่ (2.45) สามารถหาความถี่สวิตซึ่งสูงสุด เมื่อ $\omega t = 0, \pi$ โดยที่ $i_L = I_m^* \sin(\omega t)$

$$m^2 = \left[\frac{d}{dt} I_m^* \sin(\omega t) \right]^2 = 0.5 \omega^2 I_m^2 (1 + \cos(2\omega t)) \quad (2.46)$$

และ $v_s = V_m(\omega t)$ ทำให้ $v_s = 0$ จะได้ว่า

$$f_{Cmax} = \frac{0.25V_{dc}}{(HB)L} \left[1 - \frac{\omega^2 I_m^2 L^2}{V_{dc}^2} \right] \quad (2.47)$$

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

$$f_{Cmax} = \frac{0.25V_{dc}}{(HB)L} \quad (2.48)$$

จากสมการที่ (2.45) สามารถหาความถี่สวิตซึ่งต่ำสุด เมื่อ $\omega t = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}$

$$f_{Cmin} = \frac{0.25(V_{dc} - V_s)}{(HB)L} \quad (2.49)$$

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

$$f_{Cmin} = \frac{0.25(V_{dc} - V_{in})}{(HB)L} \quad (2.50)$$

เมื่อ f_{Cmax} คือ ความถี่สวิตซึ่งสูงสุด

f_{Cmin} คือ ความถี่สวิตซึ่งต่ำสุด

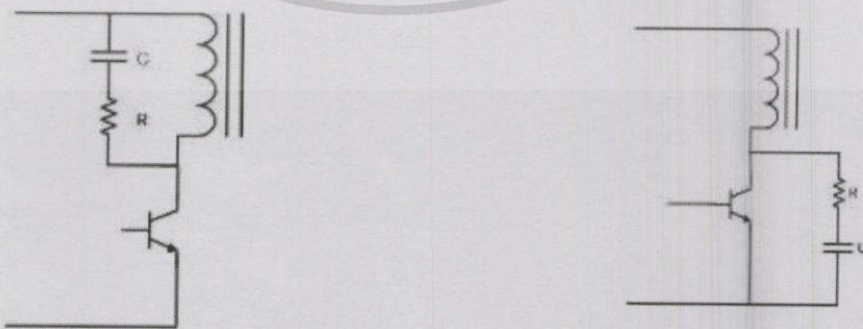
ดังนั้นในการควบคุมขอบเขตฮีสเตอร์รีซิสให้คงที่นั้น (fix band) เมื่อต้องการออกแบบให้ ความถี่สวิตช์สูงสุด f_{Cmax} ซึ่งขึ้นอยู่กับผลต่างระหว่างแรงดันไฟตรง V_{dc} กับแรงดันการไฟฟ้า V_s มากที่สุดอยู่ที่ $\omega t = 0, \pi$ เรเดียน และความถี่สวิตช์ต่ำสุด f_{Cmin} อยู่ที่ $\omega t = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}$ ในหนึ่ง รอบสัญญาณ

2.4 วงจรสับเบอร์ (Snubber Circuit)

วงจรสับเบอร์เป็นส่วนที่จำเป็นและใช้ควบคู่ไปกับการใช้งานอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งเพื่อลดการ เกิดกำลังงานสูญเสียและป้องกันการเกิดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งในวงจรขณะ ทำงานปกติ วงจรสับเบอร์อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ (1) วงจรสับเบอร์ช่วงหยุดนำกระแส (turn-off Snubber) และ (2) วงจรสับเบอร์ป้องกันแรงดันเกิน (clamp snubber) การใช้อุปกรณ์ สวิตช์ซึ่งเป็นสวิตช์ในวงจรจะพบปัญหาที่สำคัญอยู่ 2 ประการคือ การเกิดการสูญเสียช่วงหยุด นำกระแสเนื่องจากแรงดันตกคร่อมที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและยังคงมีกระแสไหลอยู่ แรงดันสไปค์ เกิดขึ้นเนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำแฝงที่เกิดขึ้นในสายไฟของวงจรและค่าความเหนี่ยวนำแฝงในหม้อ แปลง สวิตช์หรือไอซี

2.4.1 วงจรสับเบอร์ช่วงหยุดนำกระแส

วงจรสับเบอร์ช่วงหยุดนำกระแสจะช่วยหน่วงการเพิ่มขึ้นของแรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์ สวิตช์ เมื่อเริ่มหยุดนำกระแสให้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในขณะที่กระแสไหลผ่านอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งยังมีค่า มากทำให้การสูญเสียในอุปกรณ์สวิตช์ในช่วงนี้ลดลงได้ การต่อวงจรสับเบอร์ช่วงหยุดนำกระแสที่ นิยมใช้อาจทำได้ดังรูป

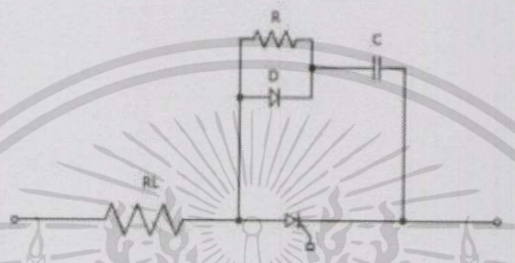


รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะที่เป็นไปได้ในการต่อวงจรสับเบอร์ RC ช่วงหยุดนำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 วงจร snubber ป้องกันแรงดันเกิน

การเกิดสไปค์ขณะที่อุปกรณ์สวิตช์เริ่มหยุดนำกระแส อาจทำให้เกิดการเสียหายขึ้นที่อุปกรณ์สวิตช์ได้ เนื่องจากสไปค์ทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวมันมีค่าสูงขณะที่มีกระแสไหล มีผลทำให้อุปกรณ์สวิตช์ทำงานเกินกำลังจากพิกัดความปลอดภัยของมัน วงจร snubber ป้องกันแรงดันเกินจะทำหน้าที่หยุดแรงดันสไปค์ที่เกิดขึ้นไม่ให้มีค่าเกินพิกัดความปลอดภัยของอุปกรณ์สวิตช์ การต่อวงจร snubber ป้องกันแรงดันเกินที่นิยมใช้ทั่วไปมีดังรูป



รูปที่ 2.14 วงจร snubber อย่างง่ายสำหรับอุปกรณ์สวิตช์

2.4.3 การคำนวณค่า RC Snubber

วงจรมีค่าเวลาคงที่เนื่องจากค่า R_L และ C ซึ่งจะเป็นตัวพิจารณาอัตราการเพิ่มขึ้นของแรงดันขณะหยุดจ่ายแรงดันให้กับอุปกรณ์สวิตช์ โดยที่ R_L คือค่าความต้านทานโหลดต่ำสุดไม่ว่าจะเป็นโหลดไฟหรือขดลวดความร้อน ขดลวดความต้านทานของมอเตอร์ หรือขดลวดไพรมารีของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยมีค่าความต้านทาน R เป็นตัวจำกัดกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์สวิตช์ขณะนำกระแสโดยการดีสชาร์จผ่าน C สำหรับไดโอดนั้น จะเป็นตัวลัดวงจรค่าความต้านทาน R ในจังหวะแรงดันที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ สวิตช์มีค่าเพิ่มขึ้นอาจจะเป็นจังหวะที่หยุดจ่ายแรงดันพอดีหรือแรงดันที่อัตราเพิ่มขึ้นในปริมาณที่สูงในระยะเวลาที่สั้นจากผลกระทบต่อโหลดภายนอก แต่ไดโอดนี้ไม่สามารถจะละลอกไปได้ หากค่าความต้านทาน R มีค่าน้อยกว่าหรือมีค่าเท่ากับค่าความต้านทานโหลด R_L และสำหรับวงจรที่ใช้ไดโอดเป็นอุปกรณ์สวิตช์ ไดโอดจำเป็นต้องเปลี่ยนเป็นบริดจ์ไดโอดเสียก่อน

ค่าตัวเก็บประจุสามารถคำนวณได้จาก

$$C = \frac{I_p(pk)T_{off}}{2V_{in(max)}}$$

สำหรับค่าความต้านทาน R สามารถคำนวณได้จาก

$$R = \frac{T_{on}}{2 * 3C}$$

$$P_o = \frac{C(2V_{in})^2}{2T}$$

เมื่อ $I_p(pk)$ คือ กระแสไหลสูงสุดที่ไหลผ่านมอสเฟต

T_{on}, T_{off} คือ ค่าพารามิเตอร์ของมอสเฟต (จาก *data sheet*)

T คือ คาบเวลาที่มอสเฟตทำงานมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{f_s}$

2.5 ตัวเหนี่ยวนำ

ตัวเหนี่ยวนำ(inductor) ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กและด้านการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า โดยอาศัยผลจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเป็นที่มาของชื่อเรียกอุปกรณ์นี้ ตัวเหนี่ยวนำจึงเกี่ยวข้องกับสนามแม่เหล็กและกระแสไฟฟ้าโดยเป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อกันระหว่างวงจรแม่เหล็กและวงจรไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กรอบๆตัวเหนี่ยวนำ ถ้าป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงผ่านตัวเหนี่ยวนำ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะเพิ่มจากศูนย์เป็นค่าสูงสุด(เกือบจะ)ทันที สนามแม่เหล็กรอบตัวเหนี่ยวนำจะเพิ่มจากศูนย์เป็นค่าความเข้มสนามแม่เหล็กสูงสุด(เกือบจะ)ทันทีเช่นกัน และจะยังคงค่าความเข้มสนามแม่เหล็กสูงสุดนั้นอยู่ตราบเท่าที่ยังคงมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ และเมื่อตัดการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำและสนามแม่เหล็กรอบๆตัวเหนี่ยวนำจะลดลงจากค่าสูงสุดเป็นศูนย์(เกือบจะ)ทันทีเช่นกัน แต่ถ้าป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับผ่านตัวเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนค่าไปตามค่าแรงดันรูปคลื่นไซน์ กล่าวคือกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะเพิ่มจากศูนย์ถึงค่าสูงสุดแล้วลดลงจากค่าสูงสุดเป็นศูนย์จากนั้นก็กลับทิศการไหลและมีค่าเพิ่มจากศูนย์ถึงค่าสูงสุดแล้วลดลงเป็นศูนย์อีกครั้งเมื่อครบ 1 รอบของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ สนามแม่เหล็กรอบๆตัวเหนี่ยวนำจึงมีความเข้มไม่คงที่ เรียกว่า เกิดการขยายตัวและยุบตัวของสนามแม่เหล็กรอบๆตัวเหนี่ยวนำขณะที่ สนามแม่เหล็กกำลังขยายตัวออกไป (กระแสไฟฟ้าในครึ่งคลื่นที่เป็นบวกกำลังไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ) และยุบตัวลงมา(กระแสไฟฟ้าในครึ่งคลื่นที่เป็นลบกำลังไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ) เส้นแรงแม่เหล็กจากสนามแม่เหล็กที่กำลังเปลี่ยนแปลงนี้จะตัดผ่านตัวเหนี่ยวนำซึ่งส่งผลให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในตัวเหนี่ยวนำ(กฎของฟาราเดย์) และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้ทำให้มีกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ โดยกระแสเหนี่ยวนำจะไหลในทิศที่ต้านกับการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (กฎของเลนซ์) กล่าวคือ ขณะที่กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำกำลังมีค่าเพิ่มขึ้น กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะไหลในทิศตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ(ด้านการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้า) แต่

ขณะที่กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำกำลังมีค่าลดลง กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะไหลในทิศเดียวกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (ด้านการลดลงของกระแสไฟฟ้า) การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งทำให้เกิดการขยายตัวและยุบตัวของสนามแม่เหล็กรอบๆ ตัวเหนี่ยวนำและส่งผลให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นในตัวเหนี่ยวนำนี้ เรียกว่า การเหนี่ยวนำตัวเอง (self induction) อัตราการต้านหรือสมบัติการต้านการเปลี่ยนแปลง (เพิ่ม-ลด) ของกระแสไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำขึ้นอยู่กับค่า ความเหนี่ยวนำ (inductance) ของตัวเหนี่ยวนำ

โดยจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กหมายถึงจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่ตัดผ่านตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มสนามแม่เหล็กและพื้นที่หน้าตัดของตัวเหนี่ยวนำที่เส้นแรงแม่เหล็กตัดผ่าน ความเหนี่ยวนำมีหน่วยเป็น เฮนรี (henry; H) โดยความเหนี่ยวนำ 1 เฮนรี เป็นความเหนี่ยวนำในตัวเหนี่ยวนำ เมื่อกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำลดลงด้วยอัตราคงที่ 1 แอมแปร์ต่อวินาทีแล้วทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ (counter electromotive force) ขนาด 1 โวลต์ ขึ้นในตัวเหนี่ยวนำ แต่ค่าความเหนี่ยวนำของตัวเหนี่ยวนำที่ใช้งานกันทั่วไปอยู่ในระดับขนาดไมโครเฮนรี (μH) หรือมิลลิเฮนรี (mH) เป็นส่วนใหญ่ ตัวเหนี่ยวนำอาจประกอบด้วยขดลวดเพียงขดเดียว ซึ่งเรียกว่า ไข้คหรือคอยล์ (choke or coil) หรือ อาจ ประกอบด้วยขดลวด 2 ขด หรือมากกว่า ซึ่งเรียกว่า หม้อแปลง (transformer)

2.5.1 ไข้คหรือคอยล์

เป็นขดลวดขดเดียวโครงสร้างของไข้คประกอบด้วยลวดทองแดงเคลือบน้ำยาฉนวนพัน เป็นขดลวดอยู่บนแกนหรือฐานรองต่างๆ การเรียกชื่อตัวเหนี่ยวนำชนิดนี้เรียกตามชื่อของแกนที่ทำเป็นฐานขดลวด ได้แก่ ตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ (air core inductor) ตัวเหนี่ยวนำแกนผงเหล็ก (powdered-iron core inductor) ตัวเหนี่ยวนำแกนเฟอร์ไรท์ (ferrite core inductor) ตัวเหนี่ยวนำแกนทอรอยด์ (toroidal core inductor) ตัวเหนี่ยวนำแกนเหล็กแผ่น (laminated-iron core inductor)

ค่าความเหนี่ยวนำของไข้คหรือคอยล์ขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวด วัสดุที่ใช้ทำแกน ขนาดของแกนและ รูปทรงของแกนหรือฐานรองรับ โดยจำนวนรอบของขดลวดยิ่งมากค่าความเหนี่ยวนำยิ่งสูง วัสดุที่ใช้ทำแกนถ้าเป็นสารแม่เหล็ก (เช่น เหล็กเฟอร์ไรท์) จะให้ค่าความเหนี่ยวนำสูงกว่าสารที่ไม่ใช่สารแม่เหล็ก (เช่น อากาศ พลาสติก) สำหรับแกนที่เป็นสารแม่เหล็กค่าความเหนี่ยวนำของไข้คจะเพิ่มขึ้นตามค่าความซึมซาบทางแม่เหล็กของสาร แม่เหล็กที่ทำเป็นแกน ส่วนขนาดของแกน (พื้นที่หน้าตัดและ/หรือความยาว) นั้น แกนขนาดใหญ่จะให้ค่าความเหนี่ยวนำสูงกว่าแกนขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 หม้อแปลง

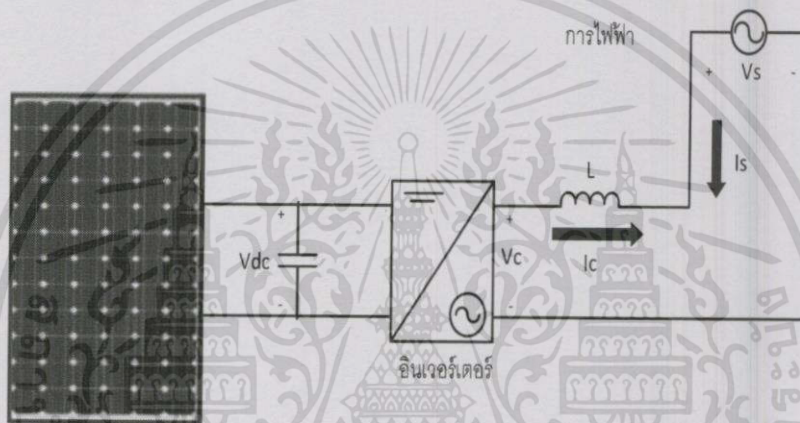
มีขดลวดพันรอบแกนมากกว่า 1 ขดอาจเป็น 2 ขด หรือ 3 ขด หรือ 4 ขด ขดลวดเหล่านี้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนทางเข้ากับส่วนทางออก โดยขดลวดทั้งสองส่วนนี้ไม่ได้ต่อกันเป็นวงจรไฟฟ้าเดียวกัน ขดลวดส่วนทางเข้าเรียกว่า ขดลวดปฐมภูมิ ส่วนขดลวดส่วนทางออกเรียกว่า ขดลวดทุติยภูมิ เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเข้าทางขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา(ขยายตัวและยุบตัว) ขึ้นรอบๆ ขดลวดปฐมภูมิ เส้นแรงแม่เหล็กจากสนามแม่เหล็กนี้จะไหลวนผ่านแกนของหม้อแปลงไปตัดผ่านขดลวดทุติยภูมิและเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นในขดลวดทุติยภูมิซึ่งส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดทุติยภูมิออกสู่วงจรไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับขดลวดทุติยภูมิได้ แม้ว่าขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิไม่ได้ต่อกันเป็นวงจรไฟฟ้าเดียวกัน ผลที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า การเหนี่ยวนำร่วมกัน (mutual inductance) แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดทุติยภูมิ(แรงดันด้านออกของหม้อแปลง) จะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า แรงดันตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิ(แรงดันด้านเข้าของหม้อแปลง) ขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิและ ขดลวดปฐมภูมิ โดยแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดทุติยภูมิจะมีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิถ้าขดลวดทุติยภูมิมีจำนวนรอบมากกว่าขดลวดปฐมภูมิ แต่ถ้าขดลวดทุติยภูมิมีจำนวนรอบน้อยกว่าขดลวดปฐมภูมิ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดทุติยภูมิจะมีค่าน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิ หลักการนี้นำไปใช้ในการแปลงแรงดันให้มีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ตามต้องการ ซึ่งเป็นที่มาของชื่อเรียกตัวเหนี่ยวนำชนิดนี้ หม้อแปลงจึงใช้ เพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยอาศัยผลของการเหนี่ยวนำร่วมกันระหว่างขดลวด 2 ขด ที่ไม่ได้ต่อกันเป็นวงจรไฟฟ้าเดียวกัน

การเรียกชื่อหม้อแปลงจะเรียกตามชื่อของวัสดุที่ใช้ทำแกนเช่นเดียวกับโซลิด คือ หม้อแปลงแกนอากาศ(aircore transformer) หม้อแปลงแกนเฟอร์ไรท์(ferrite-core transformer) และหม้อแปลงแกนเหล็ก(iron-core transformer) หม้อแปลงแกนอากาศมีความเหนี่ยวนำต่ำและนิยมใช้กับงานย่านความถี่สูง หม้อแปลงแกนเฟอร์ไรท์มีความเหนี่ยวนำสูงกว่าหม้อแปลงแกนอากาศและนิยมใช้กับงานย่านความถี่สูงเช่นกัน หม้อแปลงแกนอากาศและหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรท์ที่ใช้กับสัญญาณความถี่สูงเป็นกิโลเฮิรตซ์ (kHz) หรือเมกะเฮิรตซ์ (MHz) ส่วนใหญ่จะใช้ในเครื่องรับส่งวิทยุ จึงมีชื่อเรียกรวมกันว่าหม้อแปลงอาร์เอฟ ส่วนหม้อแปลงแกนเหล็กนิยมใช้กับงานย่าน ความถี่ต่ำ หม้อแปลงแกนเหล็กใช้งานได้หลายลักษณะและมีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน เช่น หม้อแปลงกำลัง(power transformer) หม้อแปลงออดิโอ(audio transformer) หม้อแปลงออโต้(auto transformer) หม้อแปลงทอรอยด์(toroidal transformer)

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้างวงจรควบคุมและวงจรถูกำลัง

บทนี้จะกล่าวถึงลักษณะทางโครงสร้างระบบควบคุมและวงจรถูกำลังของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า โดยเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นประกอบด้วยวงจรตรวจจับแรงดัน วงจรตรวจจับกระแส วงจรควบคุมหลักที่ควบคุมโดยตัวประมวลผลสัญญาณ วงจรภาคกำลัง อินเวอร์เตอร์ ซึ่งทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อเชื่อมต่อการไฟฟ้า รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการเชื่อมต่อการไฟฟ้า



รูปที่ 3.1 บล็อกไดโอดแอมป์ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า

3.1 การออกแบบระบบจ่ายไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

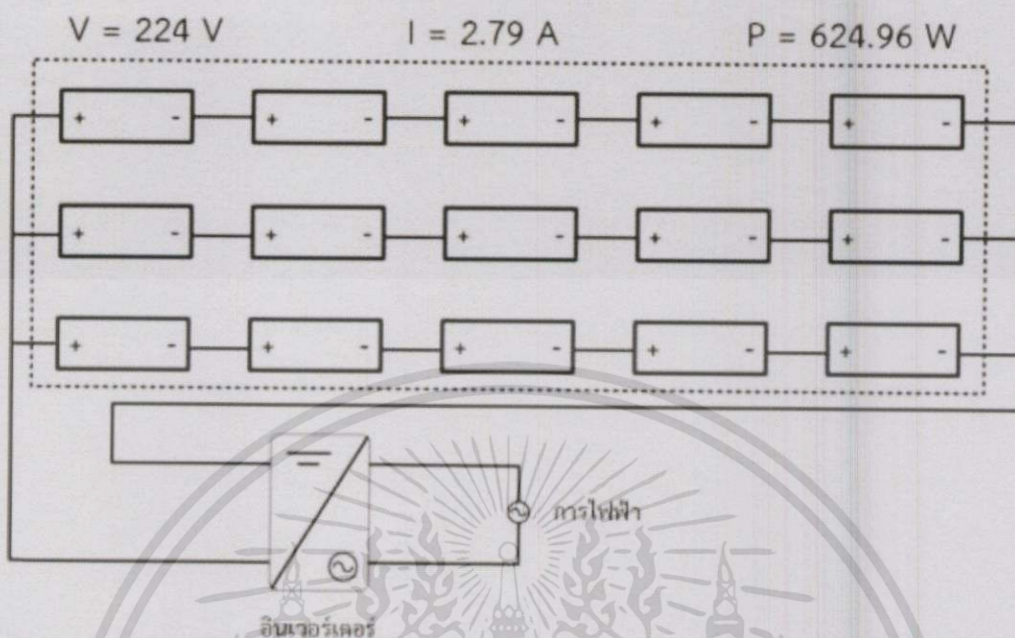
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในปฏิยานุพันธ์นี้เป็นของบริษัทบางกอกโซลาร์ รุ่น BS 40 จำนวน 15 แผง โดยมีข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการออกแบบดังนี้

ตารางที่ 3.1 ตารางคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

กำลังไฟฟ้าสูงสุด : P_{max}	40 W
แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร : V_{oc}	62.2 V
กระแสไฟฟ้ลัดวงจร : I_{sc}	1.14 A
แรงดันไฟฟ้าที่จุดให้กำลังงานสูงสุด : V_m	44.8
กระแสไฟฟ้าที่จุดให้กำลังงานสูงสุด :	0.93 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 3.2 ลักษณะการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า

ลักษณะการต่อเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเป็นวงจรผสม โดยต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์อนุกรมกัน 5 แผง เป็นจำนวน 3 ชุด ซึ่งแต่ละชุดจะได้แรงดันไฟฟ้า : 224 V กระแสไฟฟ้า: 0.93 A จากนั้นนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชุดมาต่อขนานกันจะได้แรงดันไฟฟ้า 224 V กระแสไฟฟ้า: 2.79 A ซึ่งจะได้กำลังไฟฟ้าทั้งหมด: 624.96 W



รูปที่ 3.3 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าด้วยการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้า

3.2.1 ตัวเก็บประจุไฟตรง

ตัวเก็บประจุไฟตรงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรักษาระดับแรงดันไฟตรงด้านเอาต์พุตและเป็นอุปกรณ์ในการเก็บพลังงานเพื่อจ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ในการทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าและประพดีตัวเป็นวงจรกรองกำลังแอกทิว เนื่องจากวงจรอินเวอร์เตอร์ที่นำมาใช้ในการศึกษานี้เป็นชนิดแหล่งจ่ายแรงดันที่ต่อขนานอยู่กับระบบขนาดของตัวเก็บประจุนั้นขึ้นอยู่กับพิกัดกำลังไฟฟ้าของวงจรกรองกำลังแอกทิวและชนิดของโหลด สำหรับเครื่องต้นแบบได้เลือกใช้ค่าความจุของตัวเก็บประจุขนาด $10,000\mu\text{F}$ 2 ตัว ต่ออนุกรมกัน



รูปที่ 3.4 ตัวเก็บประจุไฟตรง

3.2.2 ตัวเหนี่ยวนำกรองกระแส

การเชื่อมโยงระหว่างอินเวอร์เตอร์เข้ากับระบบการไฟฟ้าทำการเชื่อมโยงผ่านตัวเหนี่ยวนำคือทำการกรองระลอกคลื่นกระแสที่เกิดจากการสวิตช์ของวงจรอินเวอร์เตอร์ ทำให้กระแสขดเคยที่จ่ายจากอินเวอร์เตอร์มีความเรียบมากขึ้นแต่ในกรณีที่ต้องการให้ผลตอบสนองทางไดนามิกส์ที่ดีขึ้นนั้นขนาดของตัวเหนี่ยวนำควรมีขนาดเล็ก แต่อย่างไรก็ตามในกรณีที่ตัวเหนี่ยวนำมีขนาดเล็กเกินไปจะส่งผลให้ระลอกคลื่นกระแสที่เกิดจากการสวิตช์มีมาก ดังนั้นในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำควรออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานโดยค่าของตัวเหนี่ยวนำสามารถหาได้จากสมการ

$$f_{c,max} = \frac{0.25V_{dc}}{(HB)L} \quad (3.1)$$

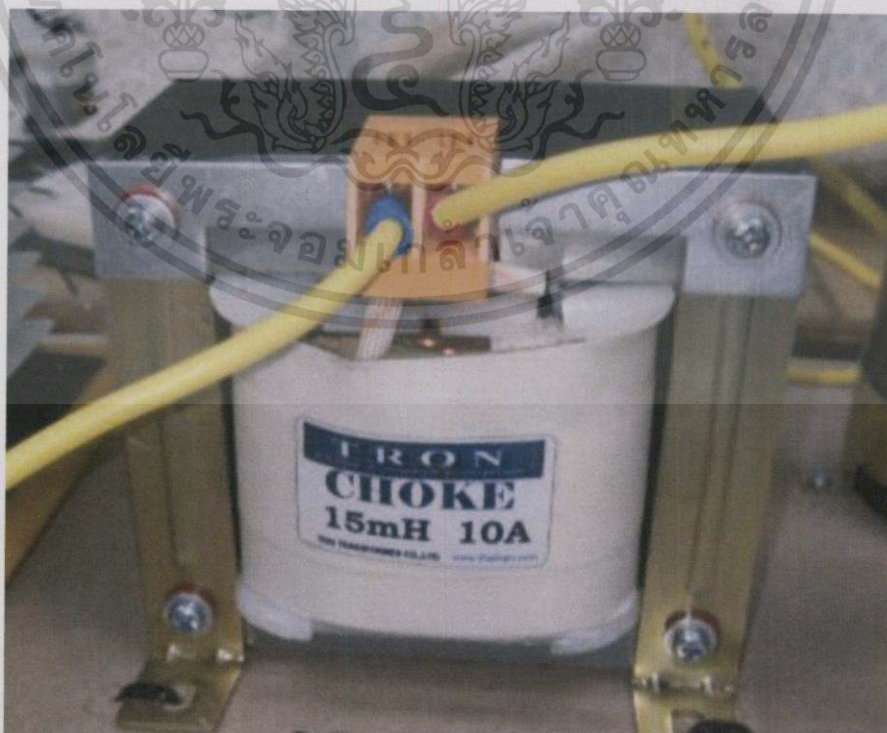
เมื่อ L คือ ตัวเหนี่ยวนำที่ต่ออยู่ระหว่างอินเวอร์เตอร์กับการไฟฟ้า

HB คือ ขอบเขตฮีสเตอร์รีซิส

V_{dc} คือ แรงดันไฟตรงที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ

$f_{c,max}$ คือ ความถี่ในการสวิตช์สูงสุด

กำหนดความถี่ในการสวิตช์สูงสุดเท่ากับ 15 KHz ขอบเขตฮีสเตอร์รีซิสเท่ากับ 0.5 และแรงดันไฟตรงที่คร่อมตัวเก็บประจุเท่ากับ 450 V ดังนั้นจะได้ค่าของตัวเหนี่ยวนำเท่ากับ 15 mH



รูปที่ 3.5 ตัวเหนี่ยวนำกรองกระแส

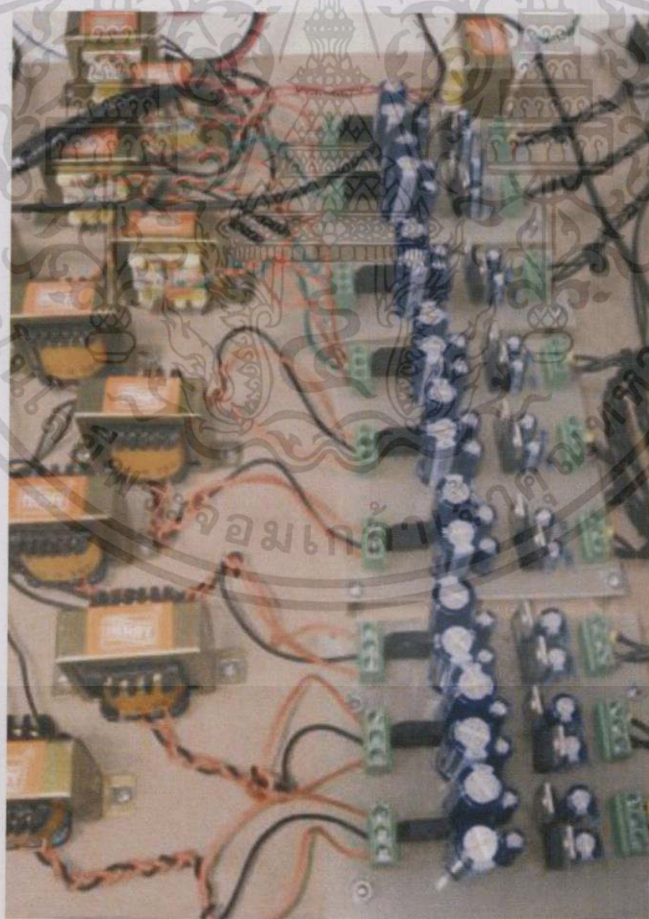
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะแบ่งออกเป็น 2 ระดับแรงดันไฟฟ้า คือ

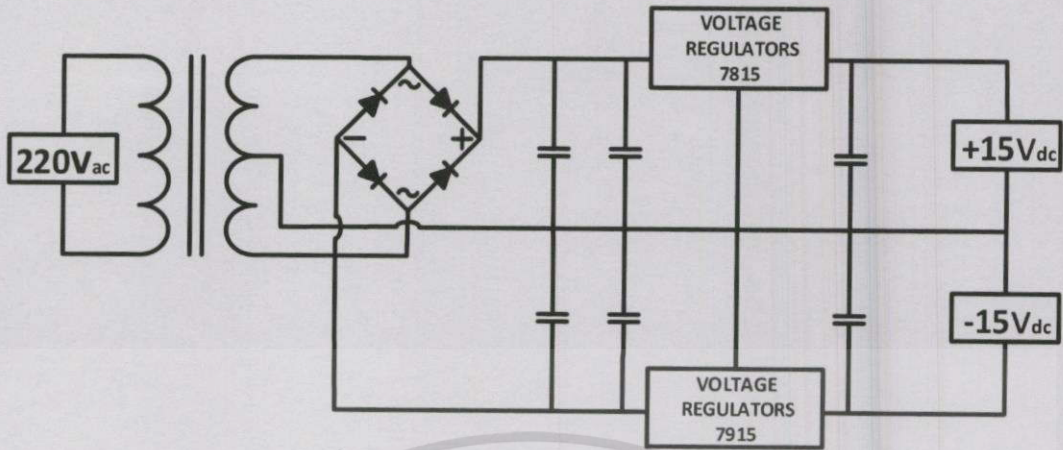
- +5 โวลต์ จำนวน 1 ชุด ถูกนำไปจ่ายให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์
- +15 และ -15 โวลต์ จำนวน 3 ชุด ถูกนำไปจ่ายให้กับวงจรขับเคลื่อน
- +15 และ -15 โวลต์ จำนวน 5 ชุด ถูกนำไปจ่ายให้กับตัวตรวจจับแรงดันและตัวตรวจจับกระแส

ซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ผู้ดำเนินโครงการวิจัยได้ทำการสร้างโดยใช้หม้อแปลงลดระดับแรงดันจาก 220 โวลต์ เป็นระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานโดยพิกัดหม้อแปลงที่ใช้สำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาดต่างๆที่กล่าวไว้ข้างต้น เมื่อได้ค่าแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงจะผ่านวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ผ่านไอซีรักษาแรงดันเบอร์ LM7815, LM7915 และผ่านตัวกรอง เพื่อเรียงกระแส รักษาแรงดันให้ได้ค่าที่ต้องการ ทำให้ได้ไฟฟ้ากระแสตรงเรียบ

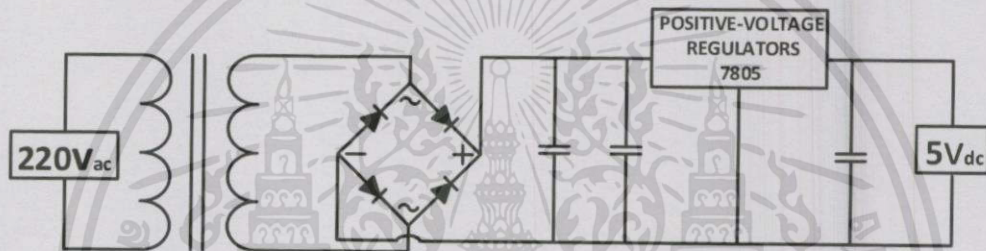


รูปที่ 3.6 ชุดทดลองวงจรแหล่งจ่ายไฟตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 วงจรแหล่งจ่ายไฟตรง +15V, -15V



รูปที่ 3.8 วงจรแหล่งจ่ายไฟตรง 5V

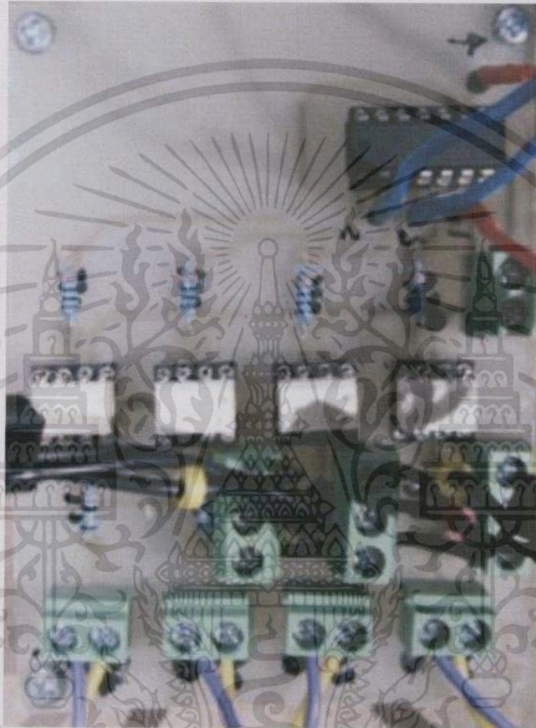
3.2.4 การออกแบบวงจรสวิตช์กำลัง

วงจรสวิตช์กำลังเป็นส่วนในการทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟตรงให้เป็นกระแสด้วยเทคนิคการติดตามขอบเขตฮิสเตอร์รีซิส โดยการสวิตช์นั้นจะถูกควบคุมจากส่วนของการควบคุมที่ได้กำหนดไว้ จากตัวประมวลผลเพื่อใช้สำหรับการสร้างกระแสอ้างอิง โดยอุปกรณ์กำลังทำหน้าที่ในการสวิตช์เป็นส่วนที่มีการเสียหายน้อยที่สุด เพราะจะเป็นส่วนที่ทำการแปลงจากสัญญาณควบคุมกำลังต่ำเป็นไฟฟ้ากำลังสูง อุปกรณ์สวิตช์ที่นำมาใช้นี้ต้องคำนึงถึงพิกัดของขนาดแรงดัน กระแส และความถี่ในการสวิตช์สูงสุดที่สามารถรองรับได้

การควบคุมการทำงานของไอจีบีทีกำลังจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่ทำการแยกระหว่างสัญญาณขับเคลื่อนกับสัญญาณควบคุมในการแยกกันของสัญญาณนี้เพื่อต้องการแยกราวด์ไม่ให้ไอจีบีทีกำลังตัวบนและตัวล่างในกิ่งเดียวกันเกิดการลัดวงจรเนื่องจากใช้กราวด์ร่วมกัน ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกราวด์ได้ใช้ออปโต เบอร์ TLP250 จำนวน 4 ตัว โดยออปโตที่ใช้ในการควบคุมสวิตช์ 2 ตัวบน จะต้องทำการแยกไฟเลี้ยงขนาด 15 โวลต์ ออกจากกัน ส่วนออปโตที่ใช้ในการควบคุมสวิตช์ 2 ตัวล่าง จะรับไฟเลี้ยงขนาด 15 โวลต์ จากแหล่งจ่ายชุดเดียวกัน

3.2.4.1 การออกแบบวงจรขับเคลื่อน

เนื่องจากสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ c2000 ไม่สามารถนำไปขับไอจีบีทีได้โดยตรง จึงต้องทำการแปลงขึ้นเป็น 15 โวลต์ ผ่านวงจรขับเคลื่อนเพื่อควบคุมการสวิตช์ของไอจีบีทีซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกกราวด์ได้ใช้ออปโต เบอร์ TLP250 จำนวน 4 ตัว โดยออปโตที่ใช้ในการ ควบคุมสวิตช์ 2 ตัวบนจะต้องทำการแยกไฟเลี้ยงขนาด 15 โวลต์ ออกจากกัน ส่วนออปโตที่ใช้ในการ ควบคุมสวิตช์ 2 ตัวล่างจะรับไฟเลี้ยงขนาด 15 โวลต์ จากแหล่งจ่ายชุดเดียวกัน

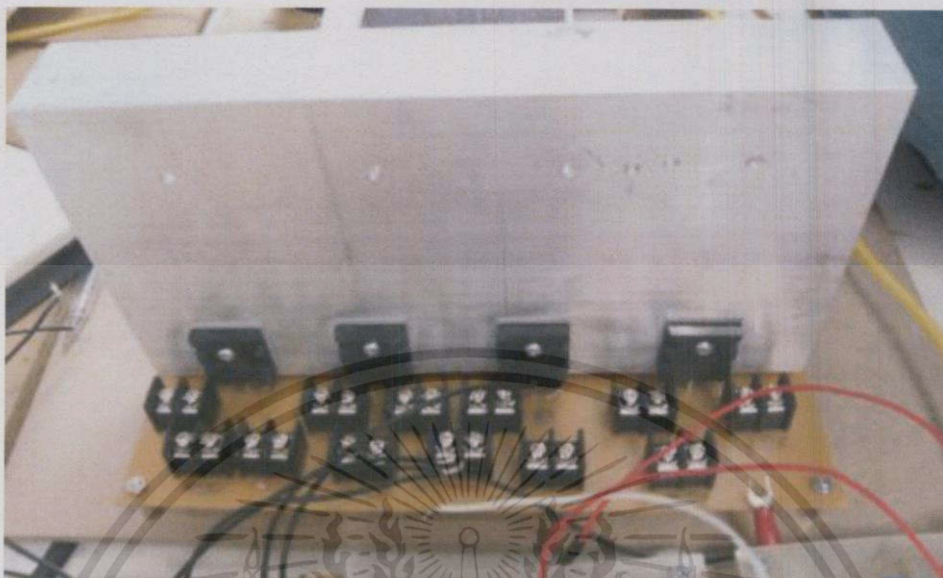


รูปที่ 3.9 ชุดทดลองวงจรถูกขับเคลื่อน



รูปที่ 3.10 วงจรถูกขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ชุดทดลองสวิตซ์อินเวอร์เตอร์ IGBT

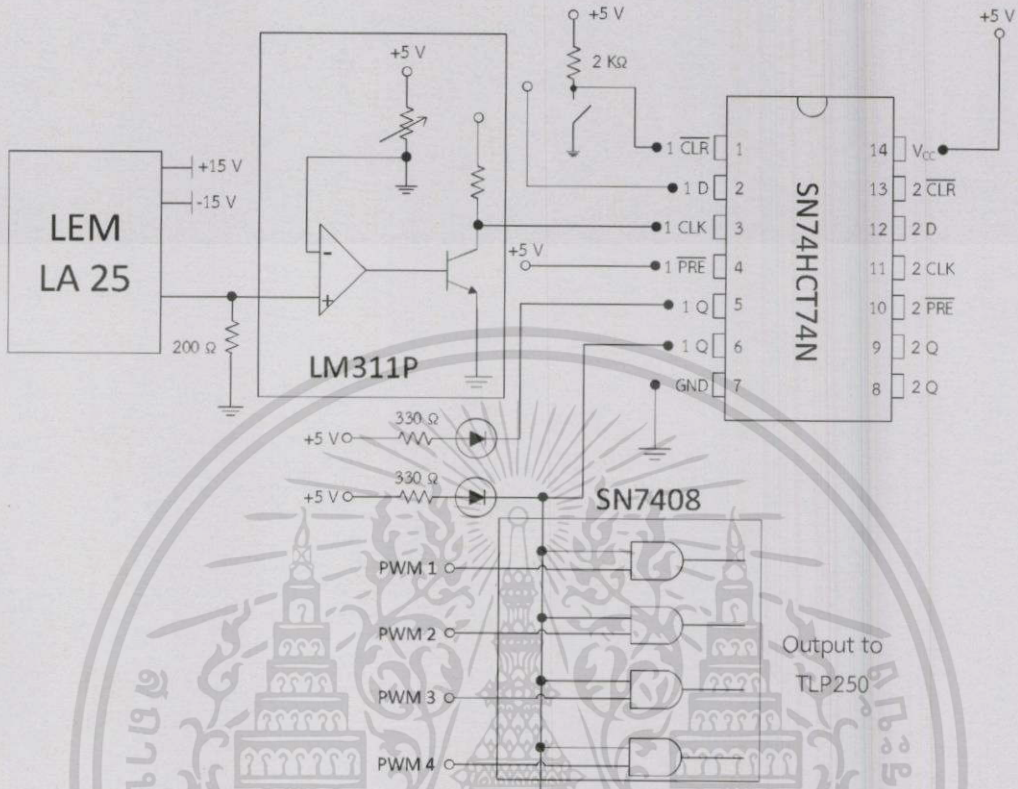
3.2.5 การออกแบบวงจรตรวจจับสัญญาณของวงจรควบคุม

เนื่องจากการประมวลผลสัญญาณของวงจรควบคุมจะต้องมีการรับส่งสัญญาณทั้งสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดันจากจุดต่างๆแล้วทำการส่งข้อมูลมายังตัวควบคุมสัญญาณเพื่อนำสัญญาณเข้ามาทำการประมวลผลเพื่อสร้างสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมภาคกำลังต่อไปซึ่งในส่วนของการตรวจจับสัญญาณจะมีทั้งหมด 4 จุด โดยแยกประเภทของวงจรตรวจจับสัญญาณออกเป็น 3 ประเภท

3.2.5.1 การออกแบบวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟสลัป

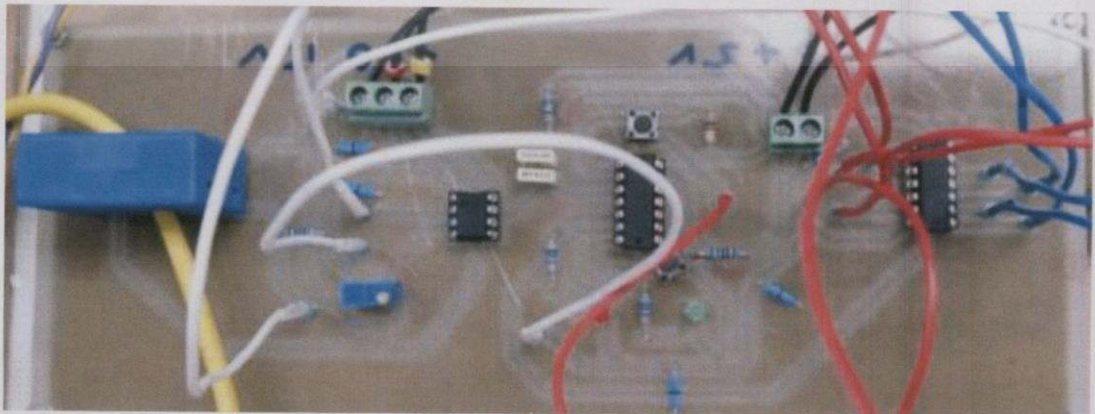
การตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟสลัปนั้นทำโดยการจับสัญญาณแรงดันจากการไฟฟ้าเพื่อนำสัญญาณที่ได้นี้ไปเป็นสัญญาณอ้างอิงให้กับส่วนตรวจจับกระแสฮาร์มอนิกส์ วงจรที่ใช้ในการตรวจจับสัญญาณแรงดันของวงจรควบคุมนั้นจะใช้หม้อแปลงเซ็นเตอร์แท๊ป 6 โวลต์ ในการแยกโดดเพื่อทำการแยกกราวด์จากแรงดันการไฟฟ้า โดยแรงดันที่รับเข้ามาจะมีระดับแรงดันขนาด 220 โวลต์ โดยหม้อแปลงเซ็นเตอร์แท๊ป 6 โวลต์ จะทำหน้าที่ลดระดับแรงดันการไฟฟ้าลงมาจาก 220 โวลต์ เป็น 6 โวลต์ จากนั้นจะนำมาผ่านวงจรปรับอัตราขยายให้เหมาะสมแล้วทำการยกระดับออฟเซตของสัญญาณไปที่ 1.5 โวลต์ จากนั้นจะส่งไปยังวงจรตัดแต่งรูปสัญญาณเพื่อให้สัญญาณที่รับเข้ามา มีระดับแรงดันที่เหมาะสมกับพอร์ตของตัวควบคุมสัญญาณที่ใช้ทำหน้าที่แปลงสัญญาณเอาท์พุทไม่เกิน 3 โวลต์ และต้องเป็นสัญญาณบวกเท่านั้น โดยใช้ไดโอดในการตัดแต่งสัญญาณแล้วทำการส่งสัญญาณไปยังตัวควบคุมสัญญาณเพื่อนำไปประมวลผลต่อไป

3.2.5.2 การออกแบบวงจรป้องกันกระแสเกิน



รูปที่ 3.14 วงจรป้องกันกระแสเกิน

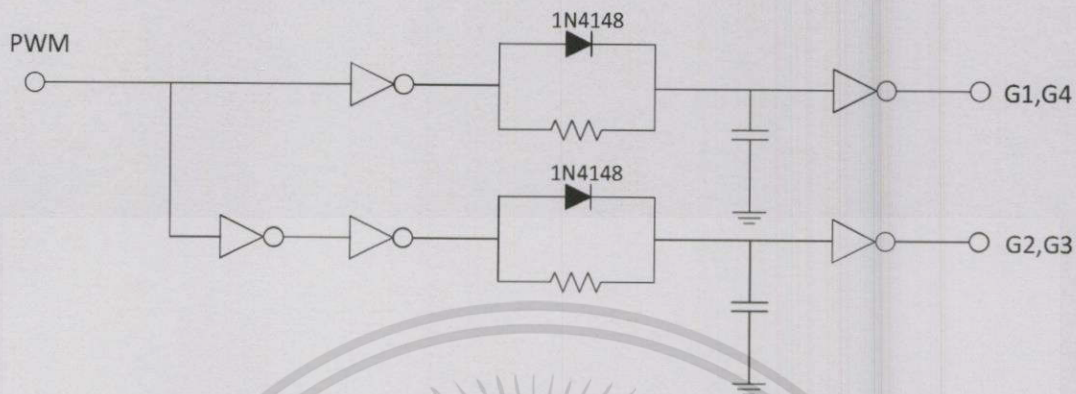
โดยวงจรป้องกันกระแสเกินจะมีหลักการทำงานคือจะทำการเปรียบเทียบกระแสตรงกับค่ากระแสอ้างอิงที่ทำการตั้งค่าไว้โดยจะสัมพันธ์กับกระแสที่กััดที่ทนได้ของอุปกรณ์สวิทซ์ซิ่ง(IGBT) เมื่อกระแสตรงที่ตรวจจับได้จากเครื่องมือวัดภายในวงจรป้องกันมีค่าเกินกว่าค่ากระแสอ้างอิงที่ทำการตั้งค่าไว้จะทำการส่งสัญญาณลอจิก "0" ไปยัง AND gate เพื่อตัดสัญญาณขับเคลื่อนออกเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์สวิทซ์ซิ่ง



รูปที่ 3.15 ชุดทดลองวงจรป้องกันกระแสเกิน

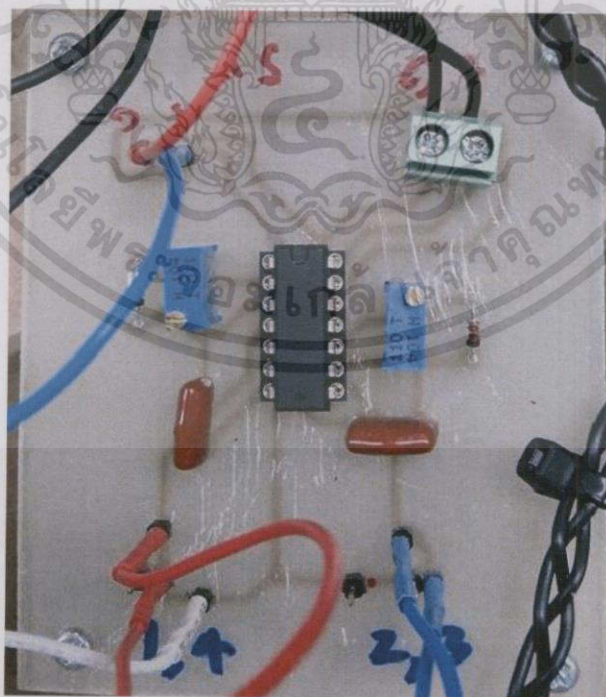
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5.3 การออกแบบวงจรประวิงเวลา



รูปที่ 3.16 วงจรประวิงเวลา

เนื่องจากการทำงานของอุปกรณ์สวิทชิงไอจีบีที อาจมีการที่สวิทชิงในกิ่งเดียวกันทำงานพร้อมกันส่งผลทำให้เกิดการลัดวงจรภายในกิ่งเดียวกัน ก่อให้เกิดความเสียหายขึ้นที่อุปกรณ์สวิทชิงไอจีบีที กิ่งนั้น โดยวงจรประวิงเวลาจะทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณประวิงเวลา สัญญาณขับเคลื่อนกิ่งบนและกิ่งล่างต้องมีค่านว่วงเวลากันเล็กน้อยและเวลาในการประวิงเวลานี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์สวิทชิงแต่ละประเภท โดยในที่นี้จะหน่วงเวลาที $4\mu\text{S}$

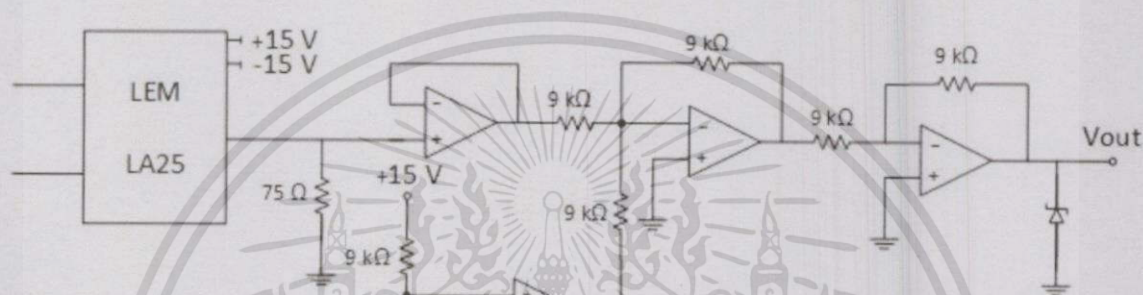


รูปที่ 3.17 ชุดทดลองวงจรประวิงเวลา

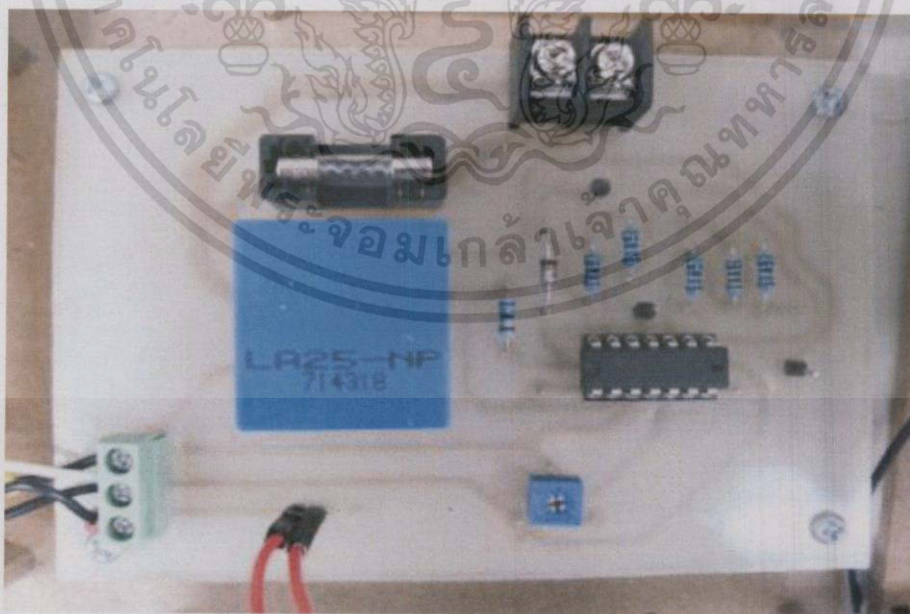
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5.4 การออกแบบวงจรตรวจจับสัญญาณกระแส

การตรวจจับสัญญาณกระแสของวงจรควบคุมนี้สามารถแบ่งออกเป็น 1 จุด เป็นการตรวจจับสัญญาณกระแสที่แหล่งจ่ายอินเวอร์เตอร์ ซึ่งในงานปริญญาานิพนธ์นี้ใช้พิคคของกระแสไม่เกิน 25 A ดังนั้นจึงเลือกใช้ตัวตรวจจับกระแส LEM เบอร์ LA25-NP แล้วทำการเลือกอัตรากระแสอินพุตต่อกระแสเอาต์พุตไว้ที่ 1000:1 จากนั้นสัญญาณที่ได้จากการตรวจจับกระแสจะถูกส่งไปยังวงจรที่ทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณและปรับระดับออฟเซต ซึ่งมีลักษณะวงจรเหมือนกับวงจรตรวจจับระดับแรงดันไฟสลับและไฟตรงที่กล่าวมาแล้วข้างต้น



รูปที่ 3.18 วงจรตรวจจับสัญญาณกระแส



รูปที่ 3.19 ชุดทดลองวงจรตรวจจับสัญญาณกระแส

3.2.6 ตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัล

ความก้าวหน้าทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์และอิเล็กทรอนิกส์และความต้องการใช้งานทางด้านความเร็วสูงในการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ ส่งผลให้มีการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เรียกว่าตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Controller :DSC) ข้อเด่นของตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัลคือความเร็วของการทำงานทางคณิตศาสตร์และฟังก์ชันการทำงานแบบตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Controller :DSC) รวมถึงมีฟังก์ชันโมดูลพิเศษให้ได้ใช้งานได้อย่างสะดวก โดยตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัลที่ใช้ในงานวิจัยเลือกใช้ C2000 ซึ่งเป็นตระกูลไมโครคอนโทรลเลอร์ 32 บิต จาก Texas Instruments Inc. ผู้ผลิต DSP , Microcontroller และ ไอซีต่างๆ โดย Texas Instruments ได้กำหนดชื่อตระกูลอย่างเป็นทางการของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ Real-time control ว่า C2000 ซึ่งถูกจัดให้เป็น Digital Signal Controller (DSC) หากเป็นตระกูลอื่นที่ไม่ใช่ C2000 เช่น C5000 หรือ C6000 จะถูกจัดให้อยู่ในตระกูล Digital Signal Processor (DSP) ที่เน้นใช้งานประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเป็นส่วนใหญ่ เช่น ประมวลผลวิดีโอ และ มินิคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

คุณสมบัติเด่นโดยรวมของ C2000 เบอร์ TMS320F28335

- High-Performance Static CMOS Technology
Up to 150 MHz (6.67-ns Cycle Time)
1.9-V/1.8-V Core, 3.3-V I/O Design
- High-Performance 32-Bit CPU (TMS320C28x)
Single-Precision Floating-Point Unit (FPU)
16 x 16 and 32 x 32 MAC Operations
16 x 16 Dual MAC
Fast Interrupt Response and Processing
Code-Efficient (in C/C++ and Assembly)
- Six-Channel DMA Controller (for ADC, McBSP, ePWM, XINTF, and SARAM)
- 16-Bit or 32-Bit External Interface (XINTF)
Over 2M x 16 Address Reach
- On-Chip Memory
256K x 16 Flash, 34K x 16 SARAM
1K x 16 OTP ROM

- Boot ROM (8K x 16)

With Software Boot Modes (via SCI, SPI, CAN, I2C, McBSP, XINTF, and Parallel I/O)

Standard Math Tables

- GPIO63 Pins
- Peripheral Interrupt Expansion (PIE) Block That Supports All 58 Peripheral Interrupts

- Enhanced Control Peripherals

Up to 18 PWM Outputs

Up to 6 HRPWM Outputs With 150 ps MEP Resolution

Up to 6 Event Capture Inputs

Up to 2 Quadrature Encoder Interfaces

Up to 8 32-Bit Timers (6 for eCAPs and 2 for eQEPs)

Up to 9 16-Bit Timers (6 for ePWMs and 3 XINTCTRs)

- Three 32-Bit CPU Timers

- Serial Port Peripherals

Up to 2 CAN Modules

Up to 3 SCI (UART) Modules

Up to 2 McBSP Modules (Configurable as SPI)

One SPI Module

One Inter-Integrated-Circuit (I2C) Bus

- 12-Bit ADC, 16 Channels

80-ns Conversion Rate

2 x 8 Channel Input Multiplexer

Two Sample-and-Hold

Single/Simultaneous Conversions

Internal or External Reference

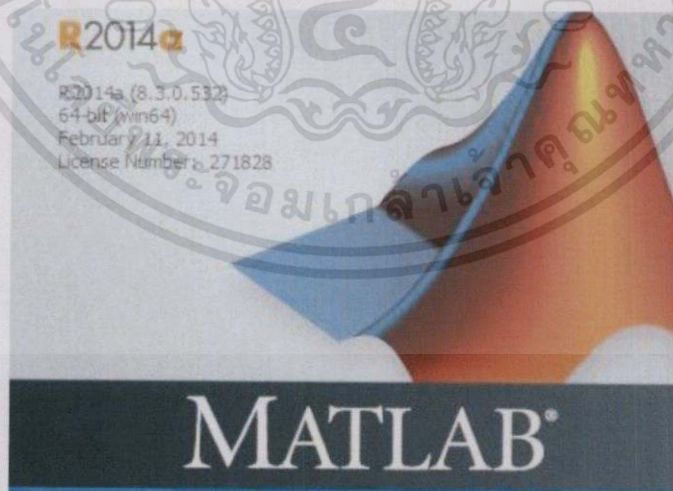
3.2.7 ซอฟต์แวร์สำหรับพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ C2000

การพัฒนาาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องใช้ทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ และสำหรับการทดลองนี้จะแนะนำซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการโปรแกรมโค้ดลงไปไมโครคอนโทรลเลอร์และโปรแกรมคอมไพเลอร์ ซึ่งมีโปรแกรม 2 ตัว คือ

1. Code Composer Studio 4 (CCS4) เป็นซอฟต์แวร์โปรแกรม และคอมไพเลอร์ ภาษาซี
2. MATLAB/Simulink เป็นโปรแกรมคอมไพเลอร์บล็อกไดอะแกรม



รูปที่ 3.20 โปรแกรม Code Composer Studio 4 (CCS4)

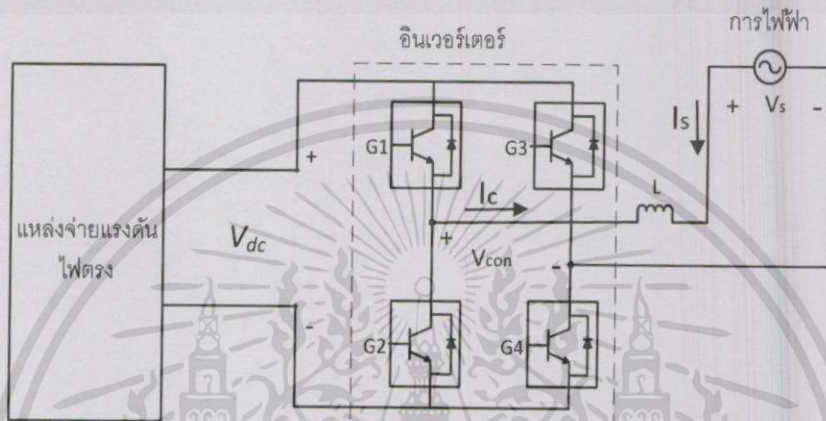


รูปที่ 3.21 โปรแกรม MATLAB/Simulink

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การจำลองอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับกริดโดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง

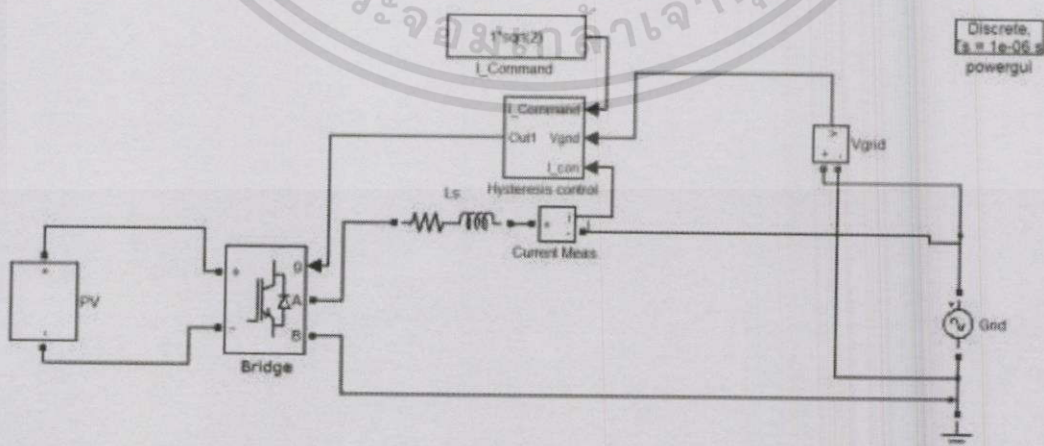
จากรูป 3.2 เป็นรูประบบโดยรวมของแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงเชื่อมต่อกับกริดโดยผ่านอินเวอร์เตอร์ที่มีการควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์รีซิสชัน ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการจำลองการทำงานของระบบทั้งหมดใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อศึกษา วิเคราะห์ และปรับปรุงให้ระบบที่ออกแบบสามารถส่งจ่ายกำลังกลับคืนสู่การไฟฟ้าได้



รูปที่ 3.22 วงจรจ่ายแรงดันไฟตรงผ่านอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับกริด

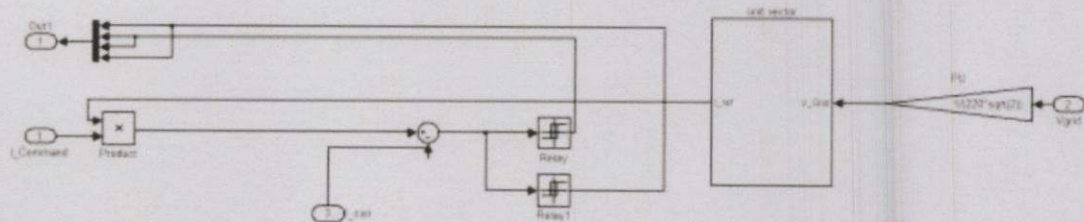
3.3.1 การวิเคราะห์ผลการจำลองระบบอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับกริดที่มีการควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์รีซิสชัน

จากรูปที่ 3.23 แสดงการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink จำลองระบบอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับกริด 1 เฟส 220V ความถี่ 50 Hz โดยมีตัวเหนี่ยวนำ $L_s = 15 \text{ mH}$, $V_{dc} = 320 \text{ V}$ และความกว้างของฮิสเตอร์รีซิสชัน (HB) = 0.5 A ความถี่สวิตชิงสูงสุด 10kHz กระแสคำสั่ง 1 Arms



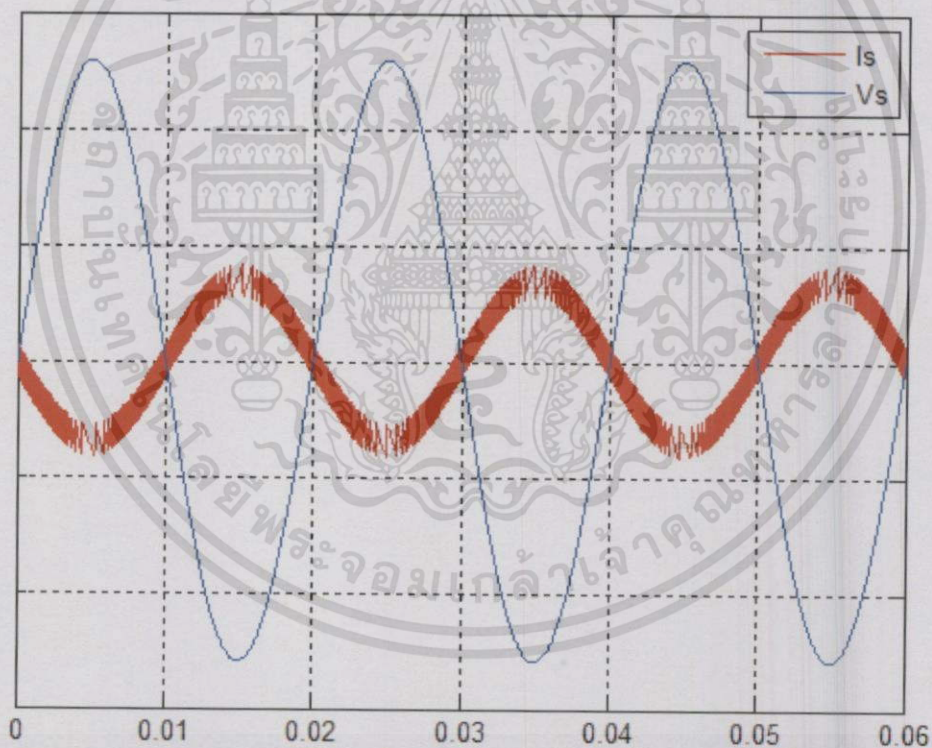
รูปที่ 3.23 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



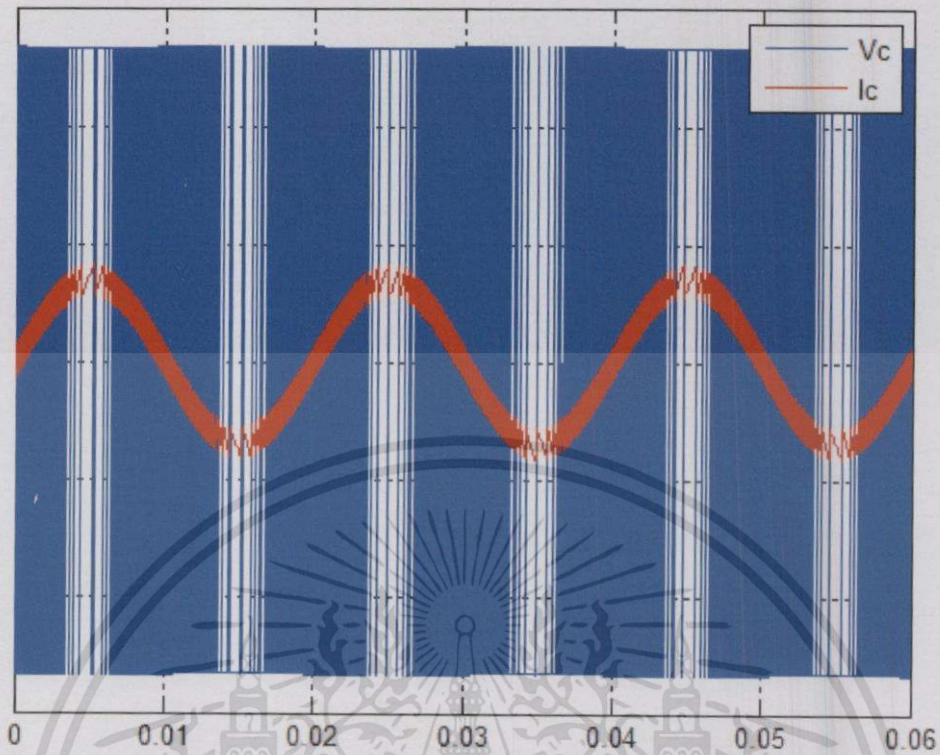
รูปที่ 3.23 (ข)

รูปที่ 3.23 (ก) วงจรกำลังของระบบ (ข) วงจรควบคุมของระบบ



รูปที่ 3.24 สัญญาณแรงดัน Vs (50 V/div) และกระแส Is (1 A/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 สัญญาณแรงดัน V_c (50 V/div) และกระแส I_c (1 A/div)

จากรูปที่ 3.24 และ 3.25 แสดงผลการจำลองระบบอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับกริดที่มีการควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์รีซิส จากผลการจำลองพบว่าสัญญาณกระแส I_s มีรูปร่างใกล้เคียงไซน์และกลับเฟสกับสัญญาณแรงดัน V_s (out of phase) แสดงให้เห็นว่าอินเวอร์เตอร์สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนสู่ระบบกริดได้

บทที่ 4

ผลการทดลองการทำงานของระบบ

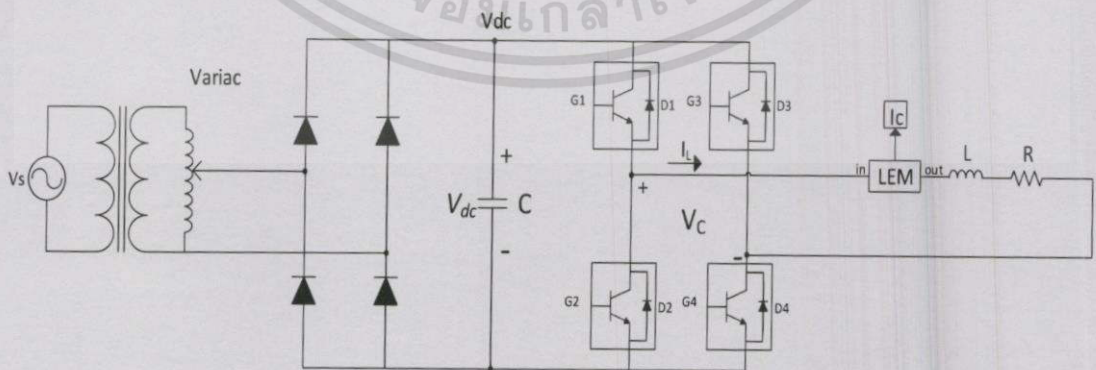
4.1 ผลการทดลองการทำงานของระบบ

เป็นการทดสอบการทำงานของระบบ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับทฤษฎีที่ได้ออกแบบไว้ และในการทดสอบระบบของการทำงานเพื่อดูความผิดพลาดที่เกิดจากความผิดปกติของการทำงาน และติดตามผลการทำงานที่ต้องการ โดยการควบคุมการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนสู่การไฟฟ้าแล้วทำการทดสอบโดยการควบคุมกระแสที่จ่ายออกจากอินเวอร์เตอร์ที่ค่าต่างๆ ผลการทดลองการทำงานของระบบ สามารถแยกผลการทดลองได้ดังนี้

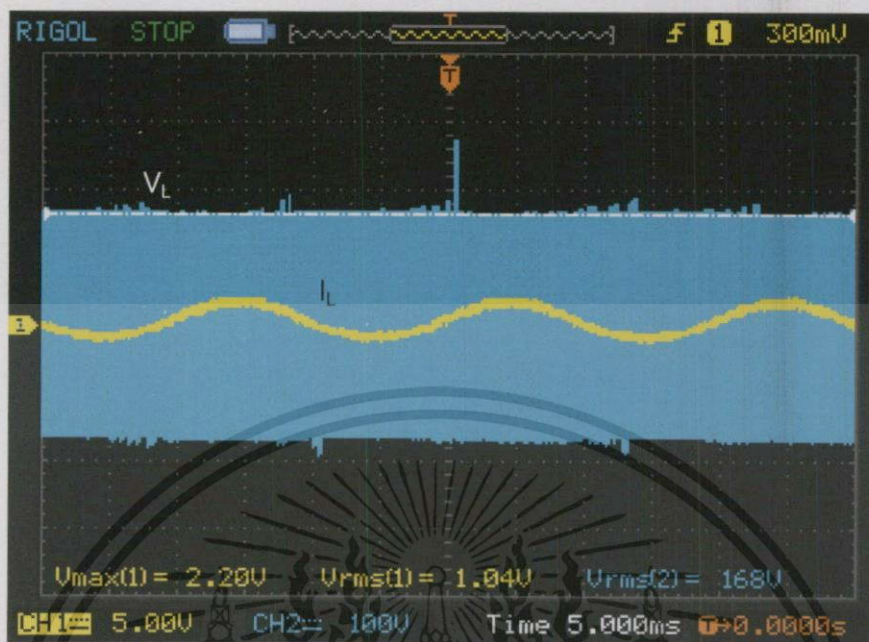
1. การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อโหลดโดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันคงที่
2. การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า โดยจำลองพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแหล่งจ่ายแรงดันคงที่
3. การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนโดยเซลล์แสงอาทิตย์

4.1.1 การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อโหลดโดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันคงที่

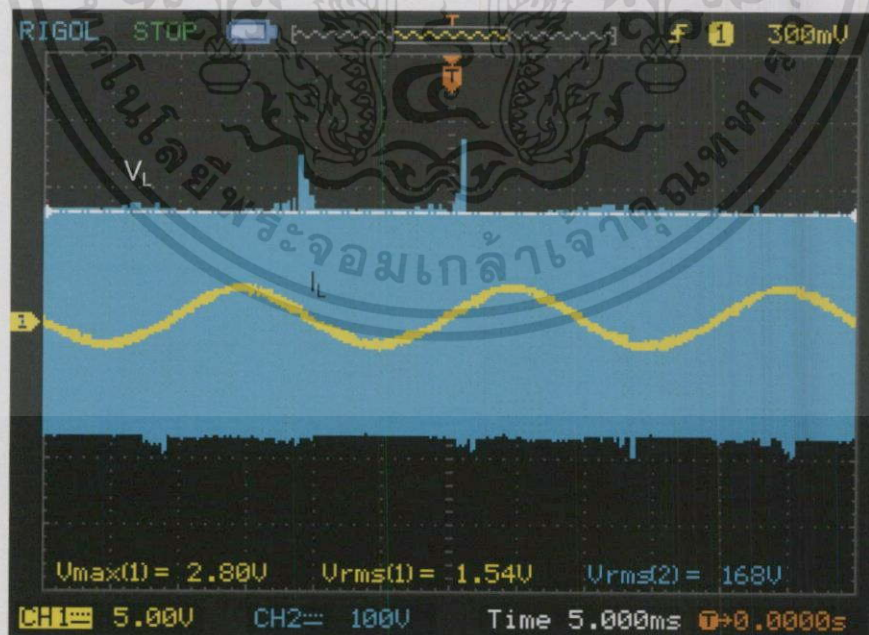
เป็นการทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนการไฟฟ้าโดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันคงที่ (แรงดันไฟตรง 160V , แรงดันไฟสลับ 100V) แล้วทำการควบคุมกระแสคำสั่ง จ่ายออกจากอินเวอร์เตอร์ที่ค่าต่างๆ ดังนี้ $1.0 A_{rms}$, $1.5 A_{rms}$, $2.0 A_{rms}$



รูปที่ 4.1 วงจรระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อโหลดโดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันคงที่

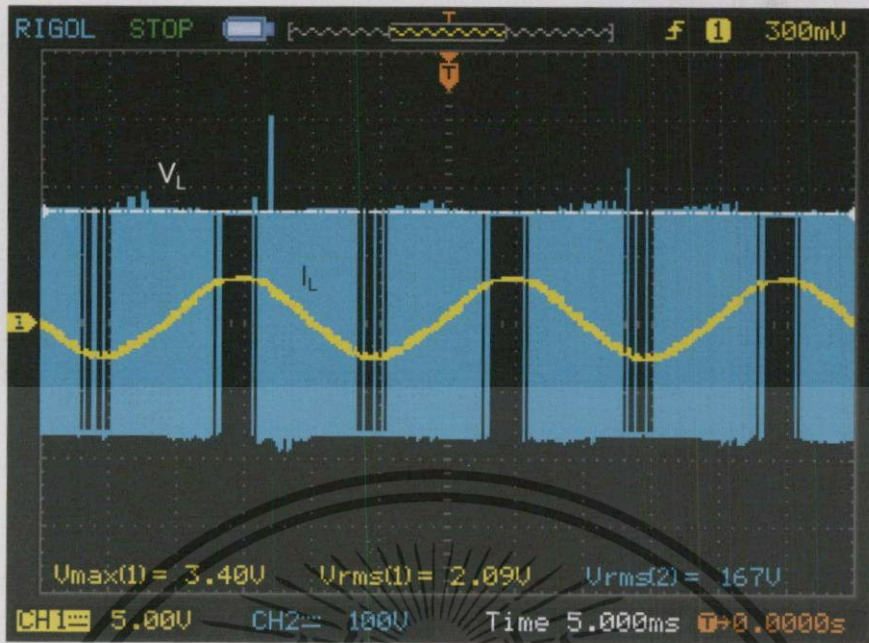


รูปที่ 4.2 รูปคลื่น V_L (100V/div) และ I_L (5A/div) ในการกำหนดกระแสค่าสั่ง 1.0 A_{rms}



รูปที่ 4.3 รูปคลื่น V_L (100V/div) และ I_L (5A/div) ในการกำหนดกระแสค่าสั่ง 1.5 A_{rms}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

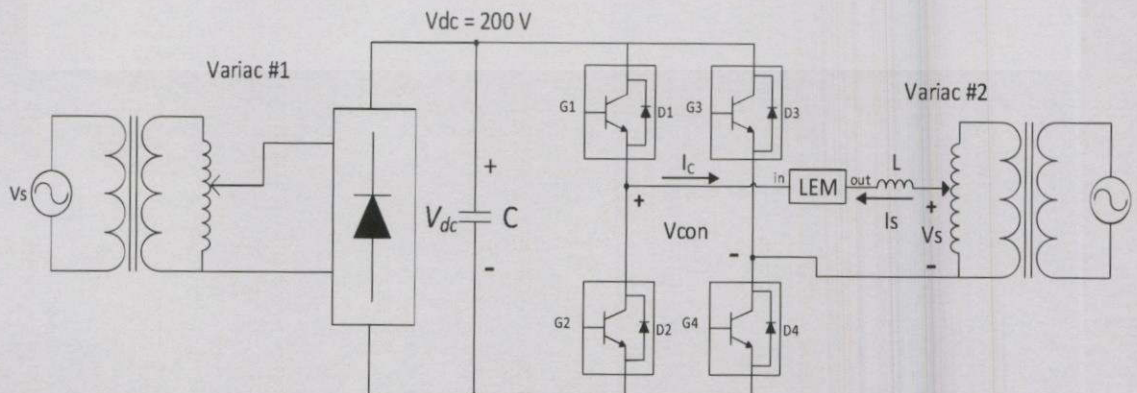


รูปที่ 4.4 รูปคลื่น V_L (100V/div) และ I_L (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 A_{rms}

จากผลการทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อโหลดโดยจำลองพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแหล่งจ่ายแรงดันคงที่ ที่คำสั่งกระแส 1.0 Arms, 1.5 Arms, 2.0 Arms จะเห็นได้ว่าอินเวอร์เตอร์สามารถควบคุมกระแสที่ไหลผ่านโหลด (I_L) เป็นสัญญาณไซน์ ที่มีค่ากระแส rms ความถี่ 50 Hz ตามคำสั่งได้

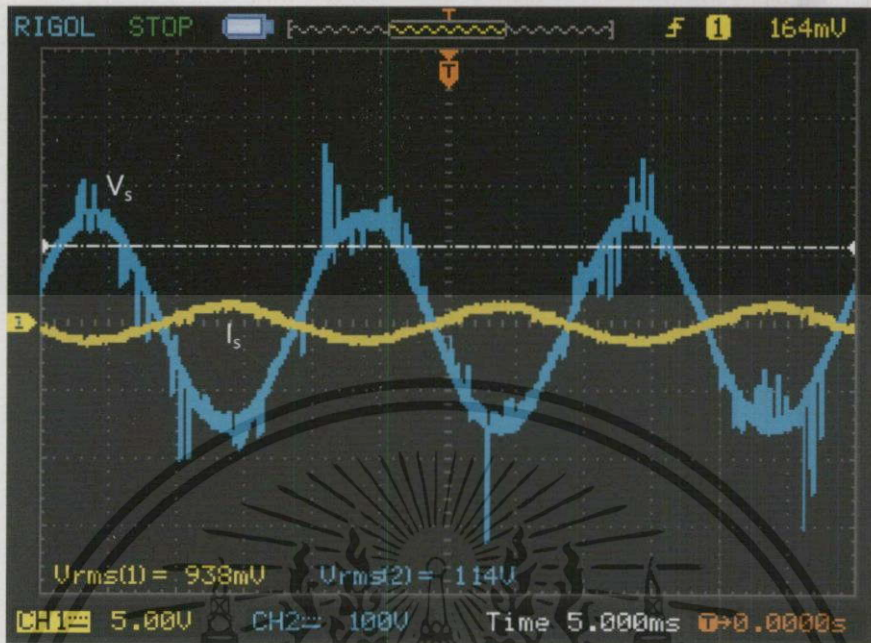
4.1.2 การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า โดยจำลองพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแหล่งจ่ายแรงดันคงที่

เป็นการทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า โดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันคงที่ (แรงดันไฟตรง 200V , แรงดันไฟสลับ 110V) แล้วทำการควบคุมกระแสคำสั่งจ่ายออกจากอินเวอร์เตอร์ที่ค่าต่างๆ ดังนี้ 1.0 A_{rms} , 1.5 A_{rms} , 2.0 Arms, 2.5 A_{rms} , 3.0 A_{rms} , 3.5 A_{rms}

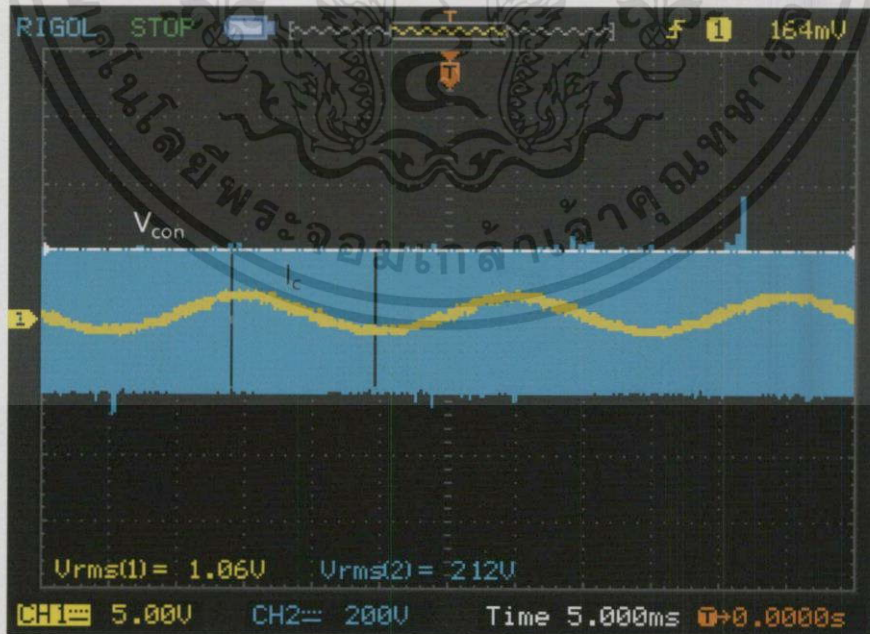


รูปที่ 4.5 การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า โดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

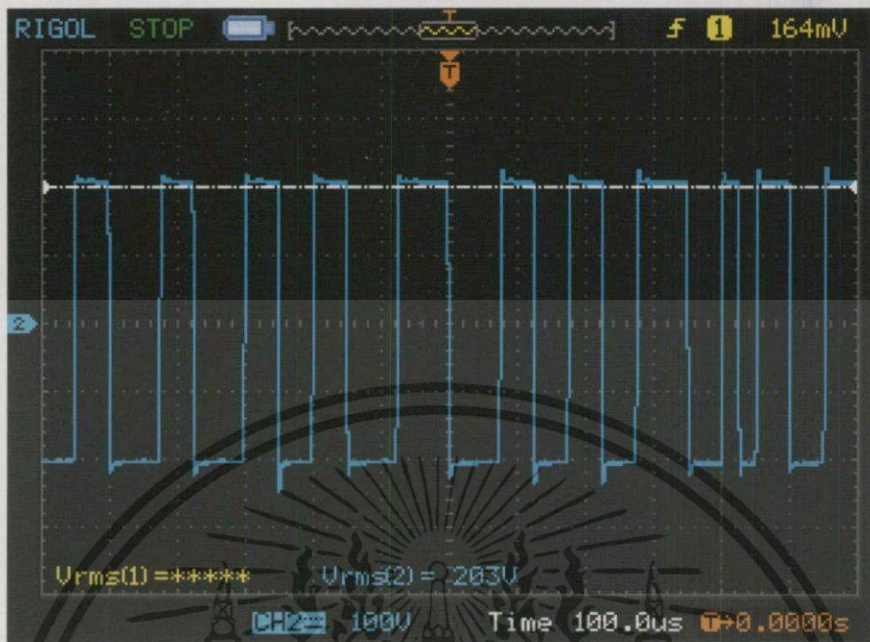


รูปที่ 4.6 รูปคลื่น V_s (100V/div) และ I_s (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง $1.0 A_{rms}$

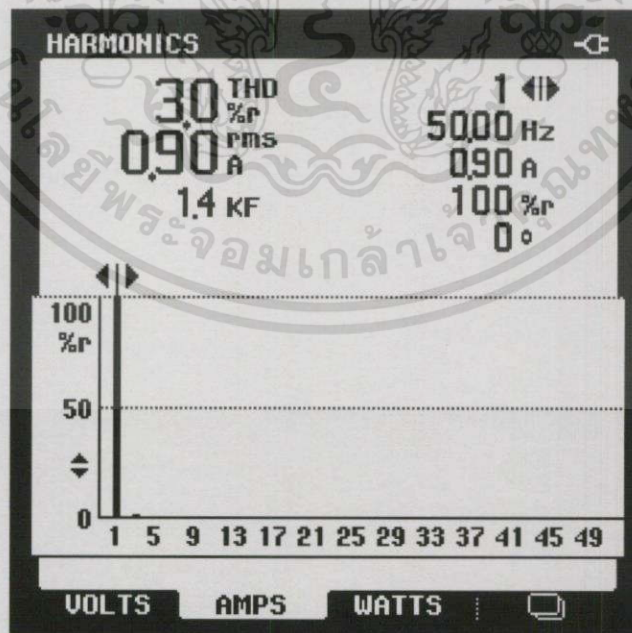


รูปที่ 4.7 รูปคลื่น V_{con} (200V/div) และ I_c (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง $1.0 A_{rms}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

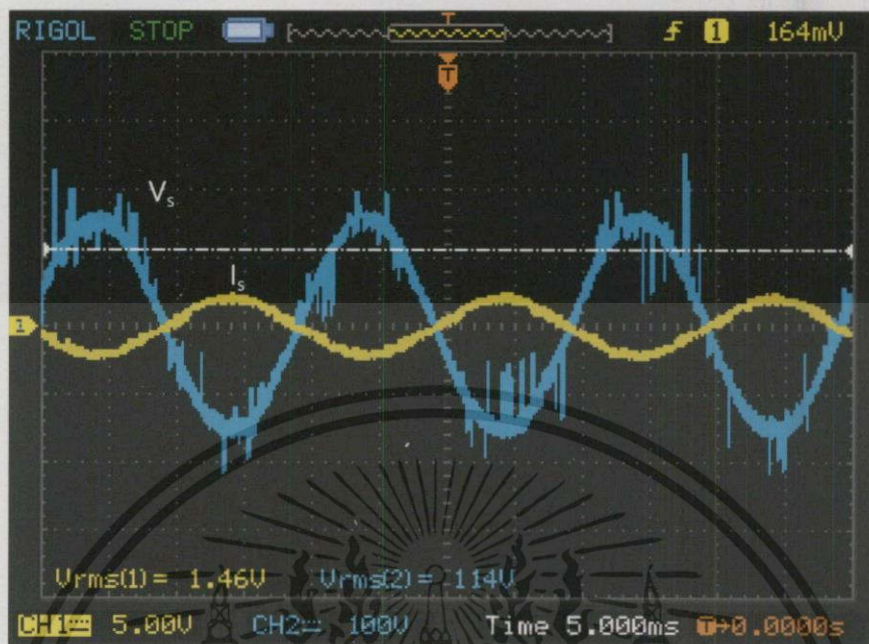


รูปที่ 4.8 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 A_{rms}

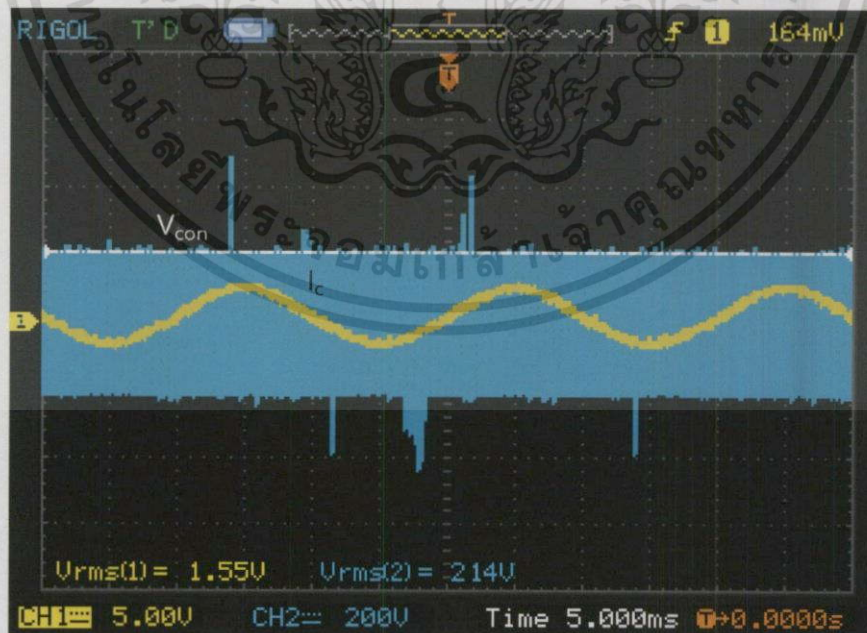


รูปที่ 4.9 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 A_{rms}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

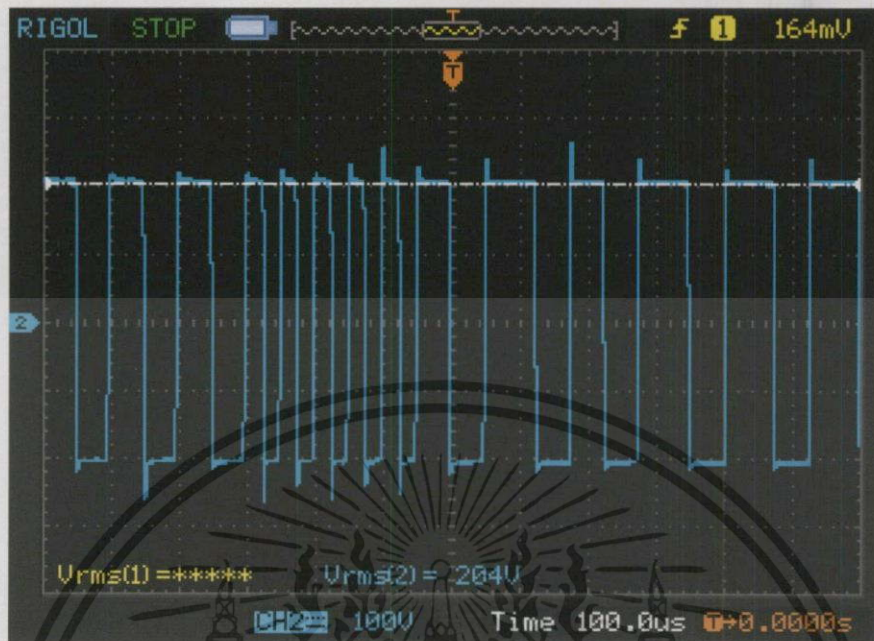


รูปที่ 4.10 รูปคลื่น V_s (100V/div) และ I_s (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง $1.5 A_{rms}$

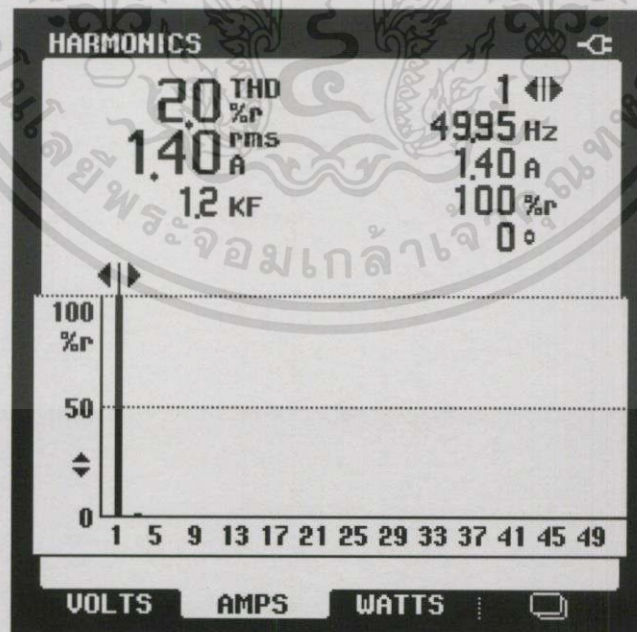


รูปที่ 4.11 รูปคลื่น V_{con} (200V/div) และ I_c (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง $1.5 A_{rms}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

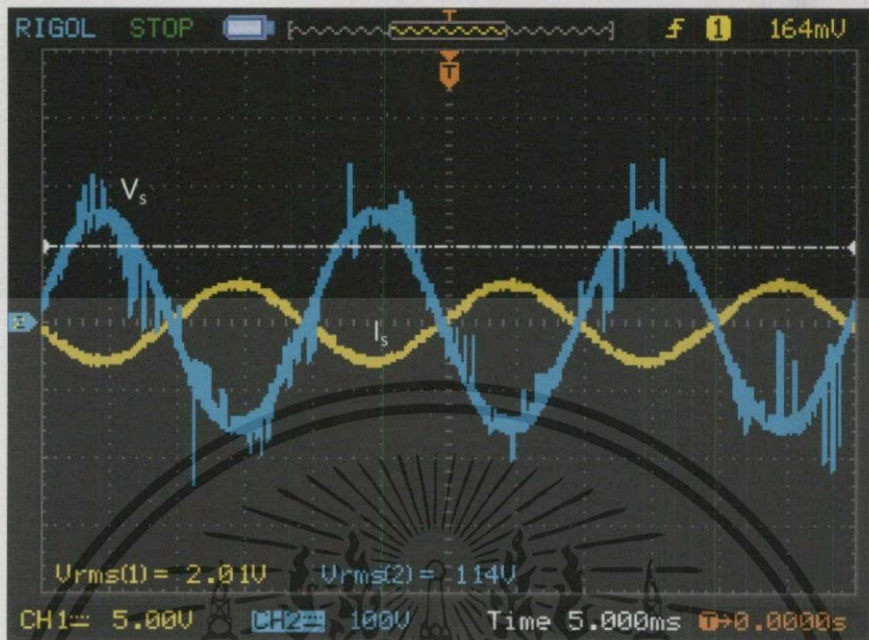


รูปที่ 4.12 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง $1.5 A_{rms}$

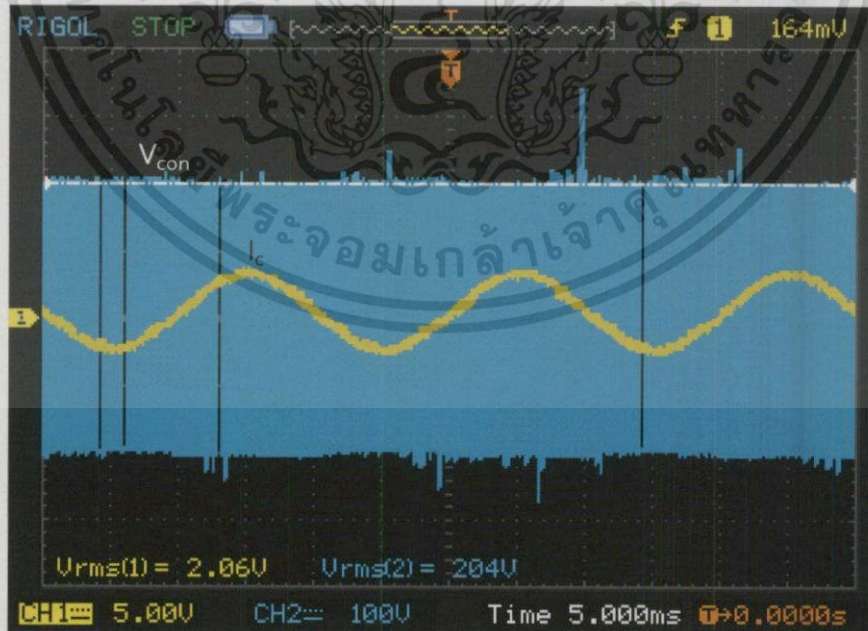


รูปที่ 4.13 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง $1.5 A_{rms}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

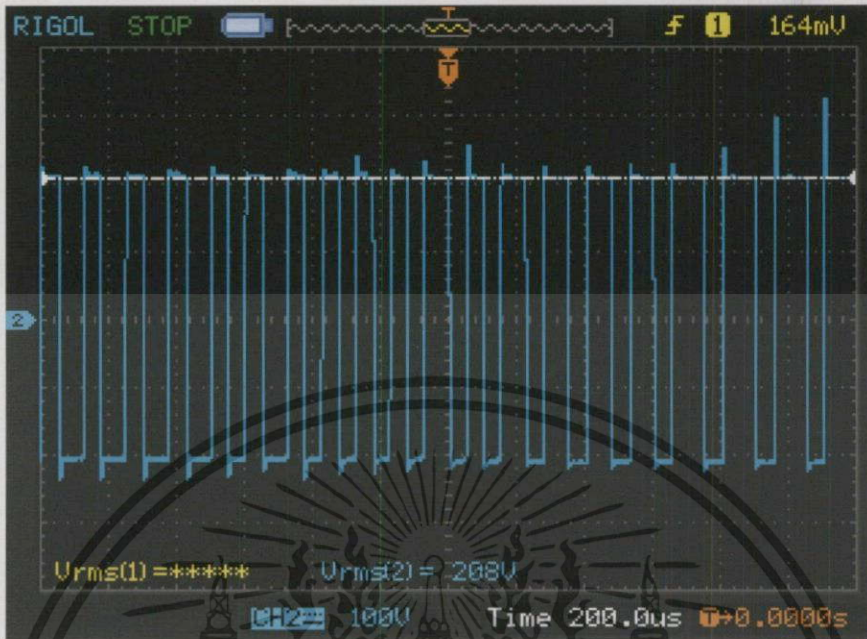


รูปที่ 4.14 รูปคลื่น V_s (100V/div) และ I_s (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 A_{rms}

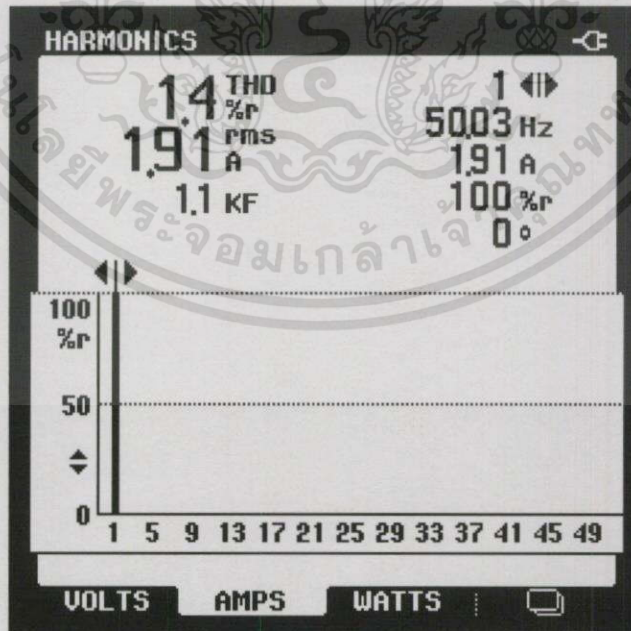


รูปที่ 4.15 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) และ I_c (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 A_{rms}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

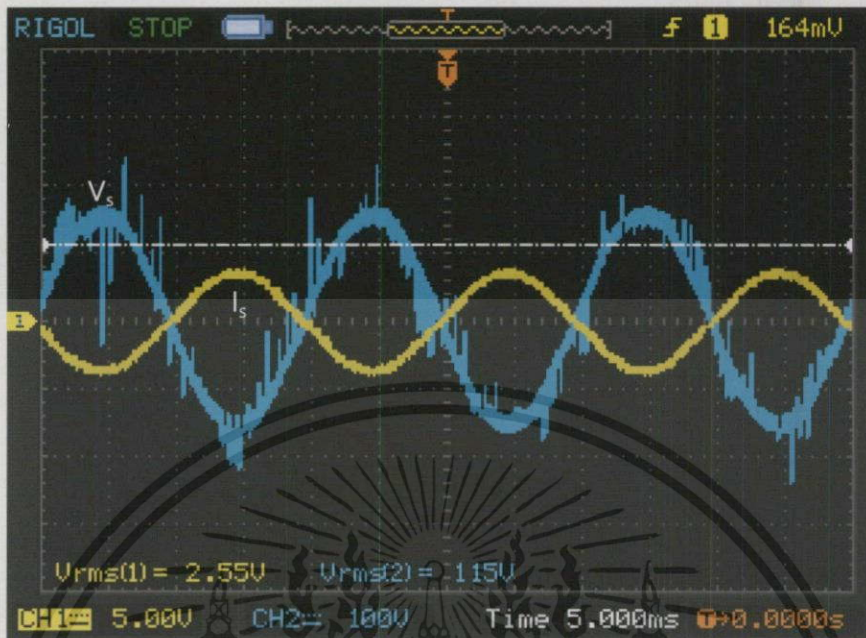


รูปที่ 4.16 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 A_{rms}

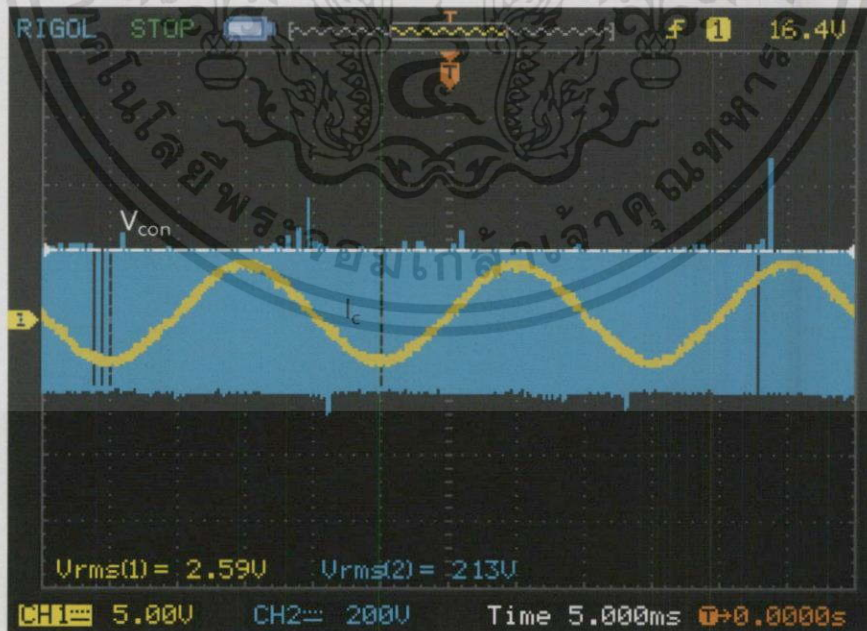


รูปที่ 4.17 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 A_{rms}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

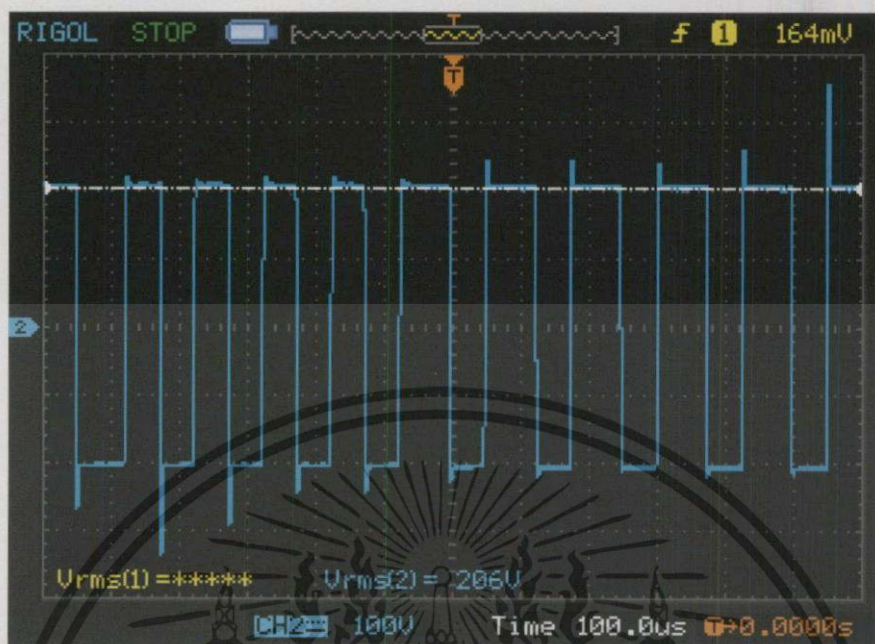


รูปที่ 4.18 รูปคลื่น V_s (100V/div) และ I_s (5A/div) ในการกำหนดกระแสค่าสั่ง 2.5 A_{rms}

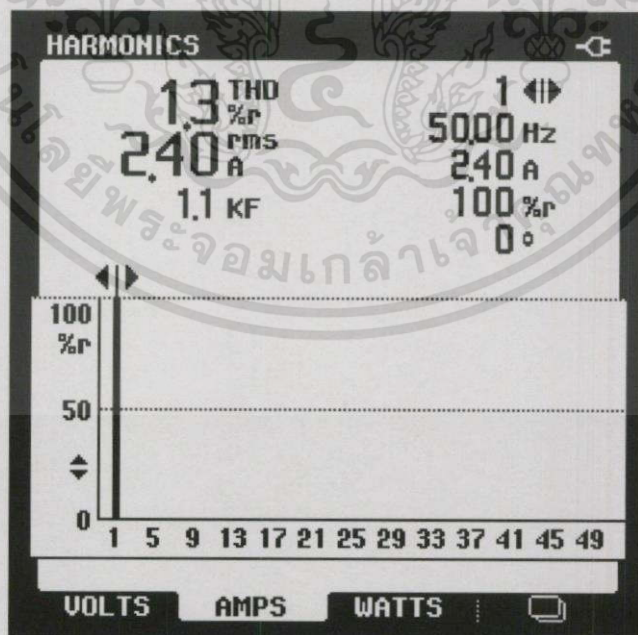


รูปที่ 4.19 รูปคลื่น V_{con} (200V/div) และ I_c (5A/div) ในการกำหนดกระแสค่าสั่ง 2.5 A_{rms}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

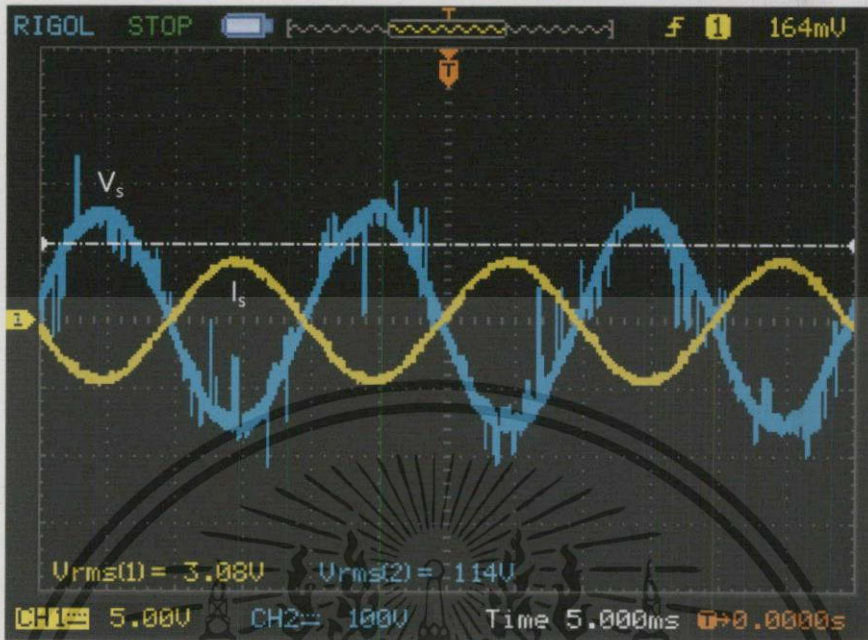


รูปที่ 4.20 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง $2.5 A_{rms}$

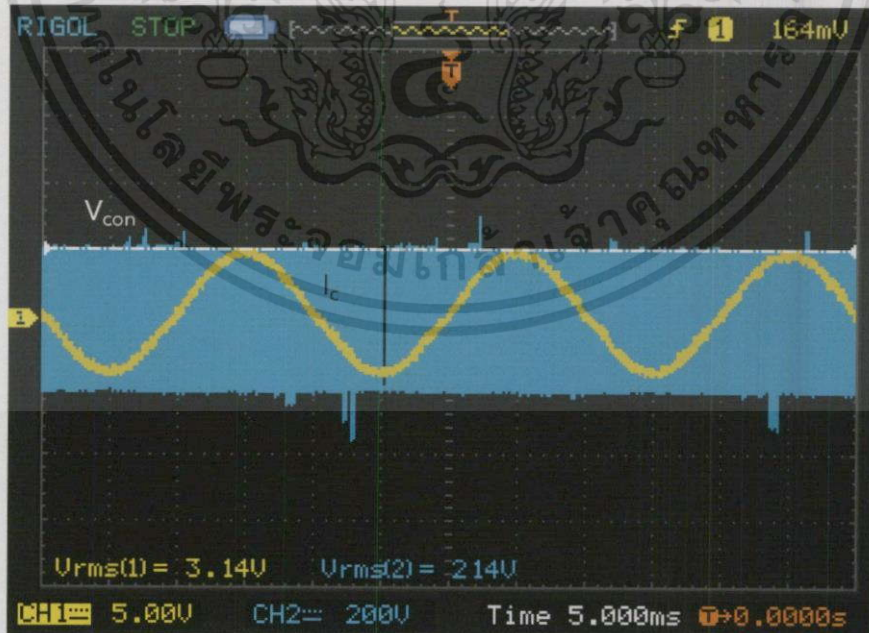


รูปที่ 4.21 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง $2.5 A_{rms}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาใช้

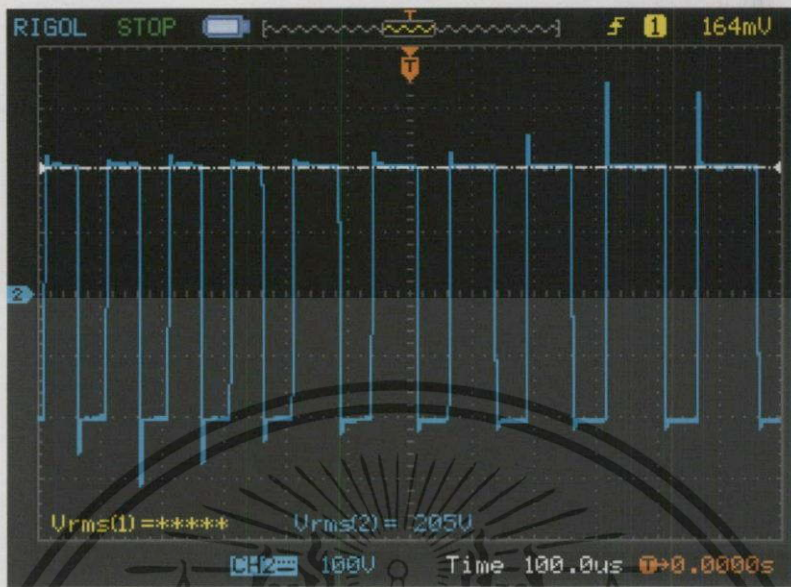


รูปที่ 4.22 รูปคลื่น V_s (100V/div) และ I_s (5A/div) ในการกำหนดกระแสค่าตั้ง 3.0 A_{rms}

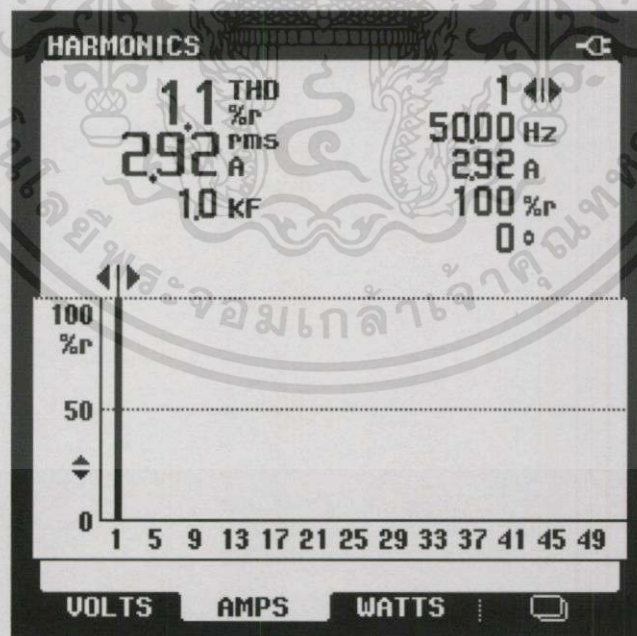


รูปที่ 4.23 รูปคลื่น V_{con} (200V/div) และ I_c (5A/div) ในการกำหนดกระแสค่าตั้ง 3.0 A_{rms}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

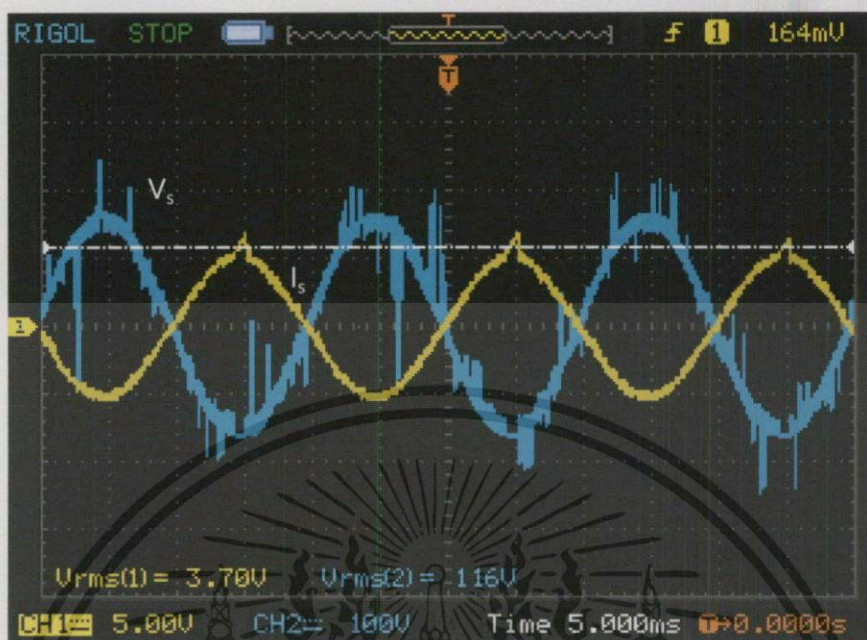


รูปที่ 4.24 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 3.0 A_{rms}



รูปที่ 4.25 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง 3.0 A_{rms}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาไปใช้

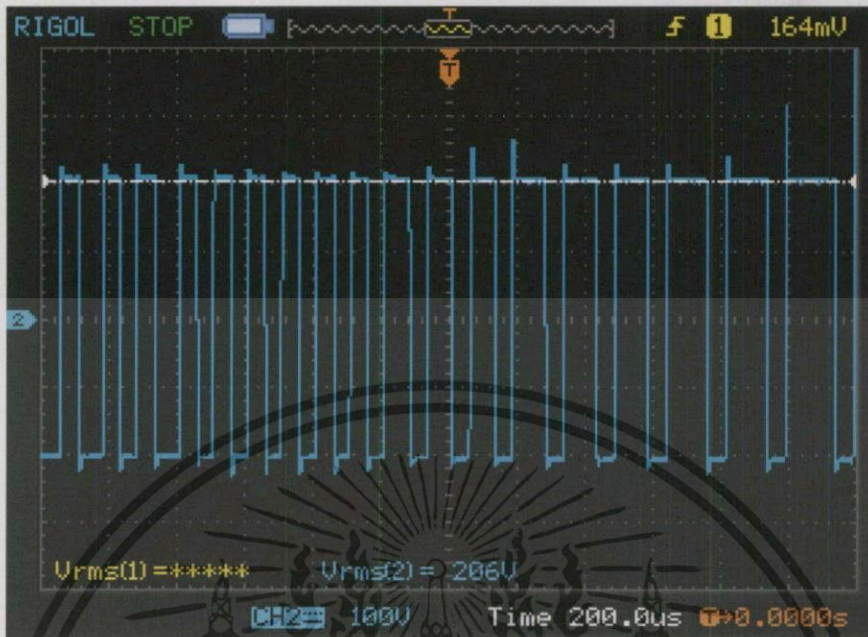


รูปที่ 4.26 รูปคลื่น V_s (100V/div) และ I_s (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง $3.5 A_{rms}$

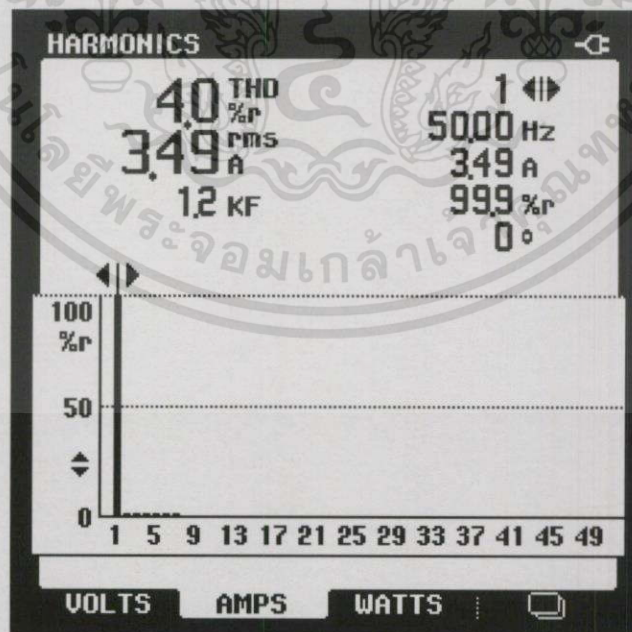


รูปที่ 4.27 รูปคลื่น V_{con} (200V/div) และ I_c (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง $3.5 A_{rms}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 3.5 A_{rms}

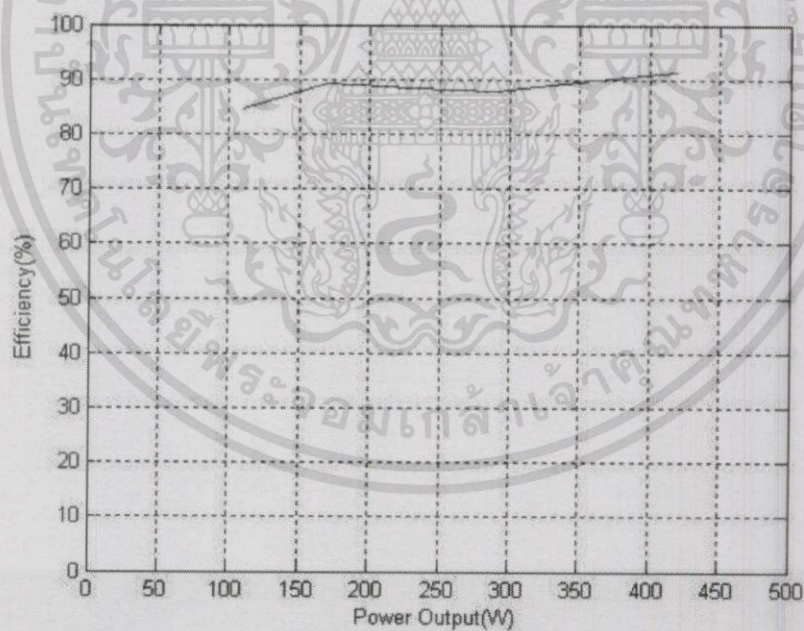


รูปที่ 4.29 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง 3.5 A_{rms}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการการทดลองระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้าโดยจำลองพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแหล่งจ่ายแรงดันคงที่

Current Command (A)	V_{dc} (V)	P_{dc} (W)	V_{ac} (V)	P_{ac} (W)	THD _i (%)	P.F.	D.P.F	Efficiency (%)
1.0	202	130	112	110	3.0	0.99	1.00	84.62
1.5	203	190	113	170	2.0	1.00	1.00	89.47
2.0	200	260	114	230	1.4	1.00	1.00	88.46
2.5	202	330	113	290	1.3	1.00	1.00	87.87
3.0	203	390	113	350	1.1	1.00	1.00	89.74
3.5	203	460	113	420	4.0	1.00	1.00	91.30



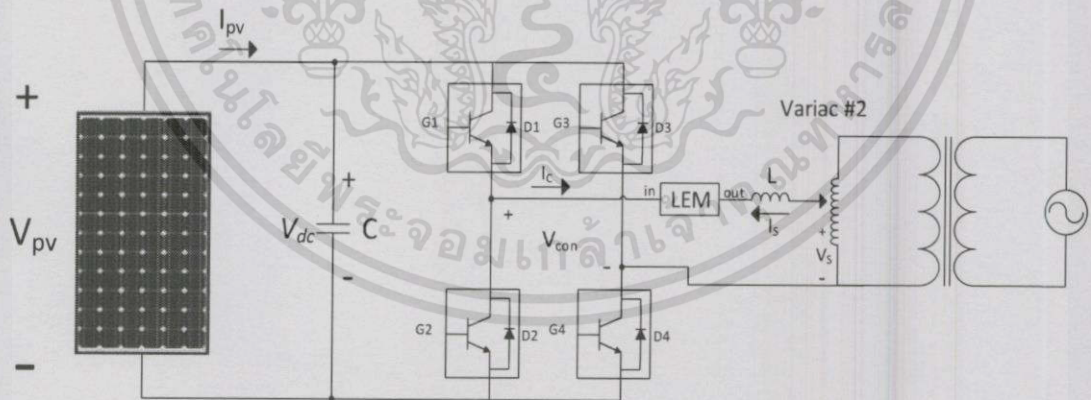
รูปที่ 4.30 ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อการไฟฟ้าไฟฟ้า โดยจำลองพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแหล่งจ่ายแรงดันคงที่

สรุป

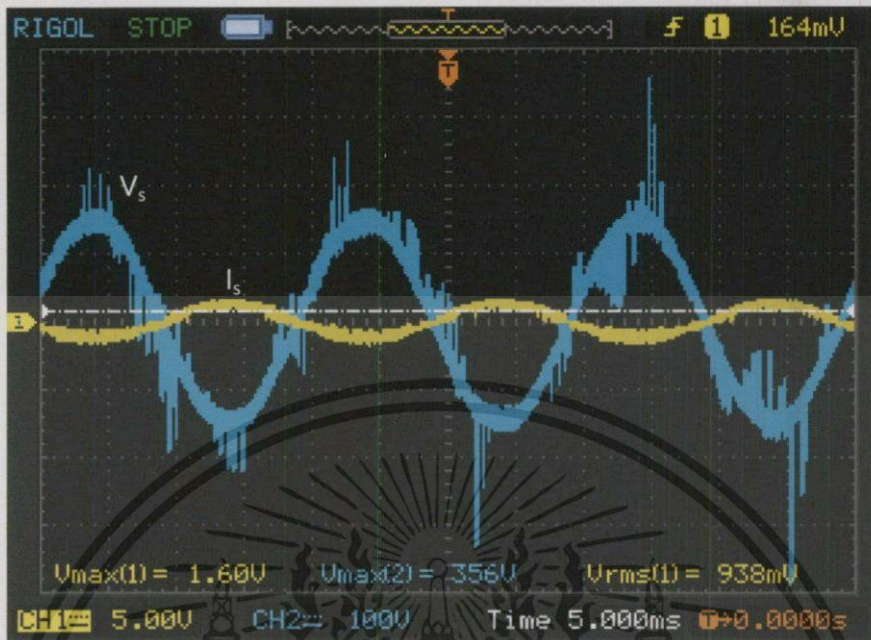
จากผลการทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า โดยจำลองพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแหล่งจ่ายแรงดันคงที่ ในกระแสคำสั่ง $1.0 A_{rms}$, $1.5 A_{rms}$, $2.0 A_{rms}$, $2.5 A_{rms}$, $3.0 A_{rms}$, $3.5 A_{rms}$ จะเห็นได้ว่าอินเวอร์เตอร์สามารถส่งจ่ายกำลังกลับคืนสู่การไฟฟ้าได้ตามกระแสคำสั่งที่กำหนดไว้โดยสังเกตได้จาก รูปคลื่นกระแสจากการไฟฟ้า (I_s) จะกลับเฟสกับรูปคลื่นแรงดันจากการไฟฟ้า (V_s) ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะสอดคล้องกับผลการจำลองในบทที่ 3 และเมื่อเพิ่มกระแสคำสั่งกำลังที่ส่งจ่ายคืนการไฟฟ้าและประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

4.1.3 การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนการไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์

การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนโดยเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วทำการควบคุมการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนการไฟฟ้า โดยทำการควบคุมกระแสคำสั่งจ่ายออกจากอินเวอร์เตอร์ที่ค่าต่างๆ ดังนี้ $1.0 A_{rms}$, $1.5 A_{rms}$, $2.0 A_{rms}$, $2.5 A_{rms}$, $3.0 A_{rms}$, $3.5 A_{rms}$



รูปที่ 4.31 วงจรการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนการไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์

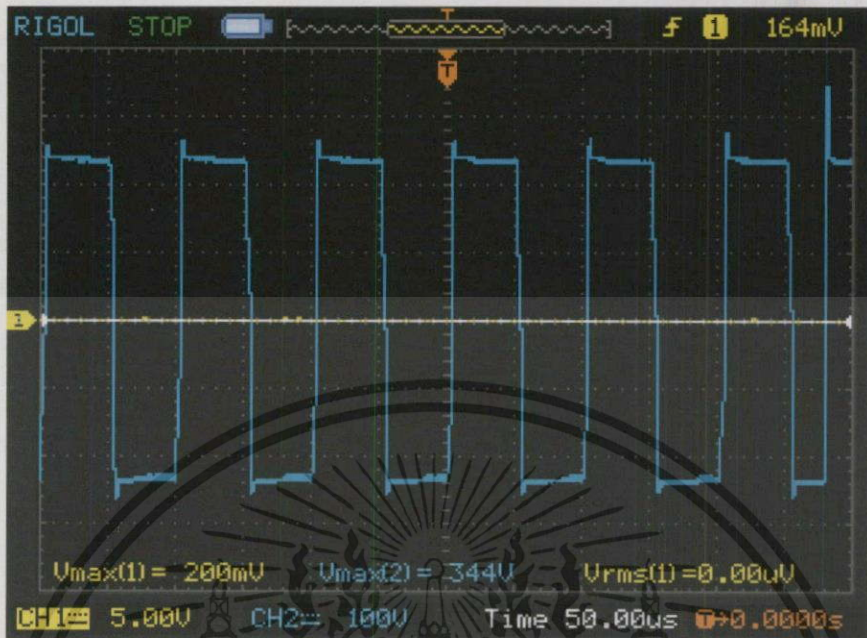


รูปที่ 4.32 รูปคลื่น V_s (100V/div) และ I_s (5A/div) ในการกำหนดกระแสค่าสั่ง 1.0 A_{rms}

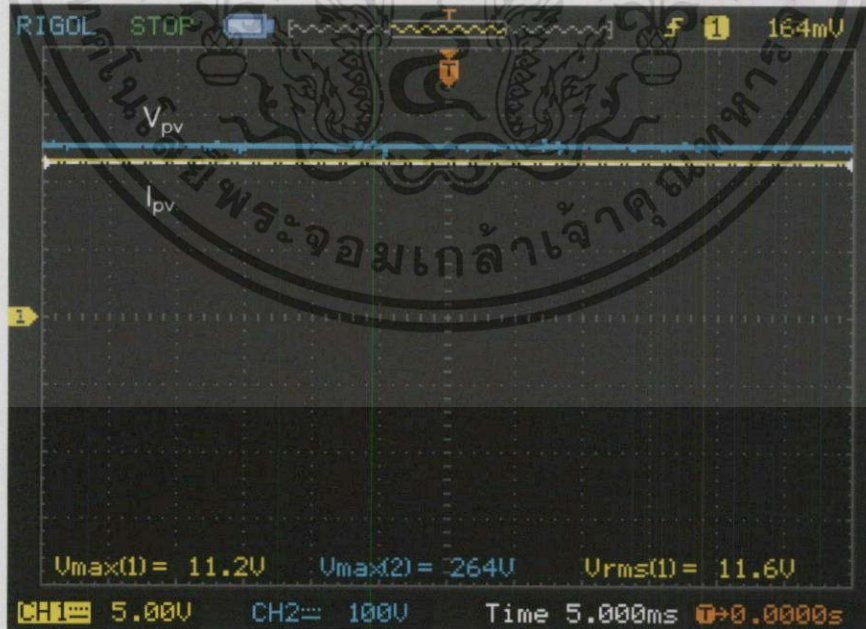


รูปที่ 4.33 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) และ I_c (5A/div) ในการกำหนดกระแสค่าสั่ง 1.0 A_{rms}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

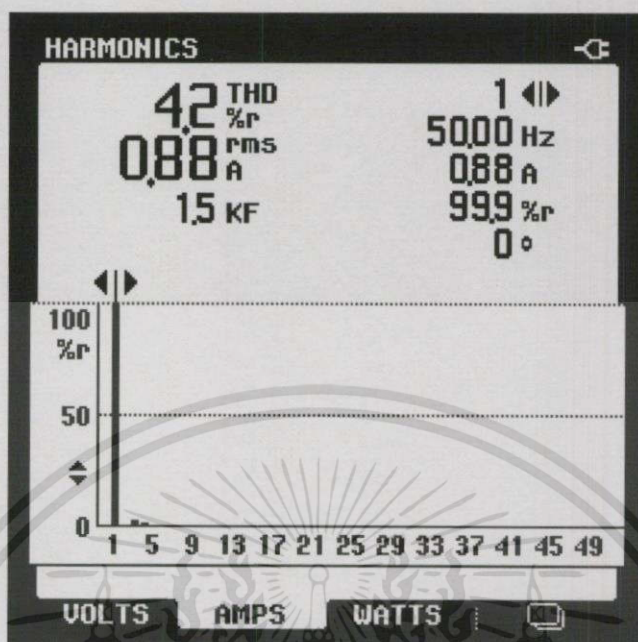


รูปที่ 4.34 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) ในการกำหนดกระแสค่าสั่ง 1.0 A_{rms}

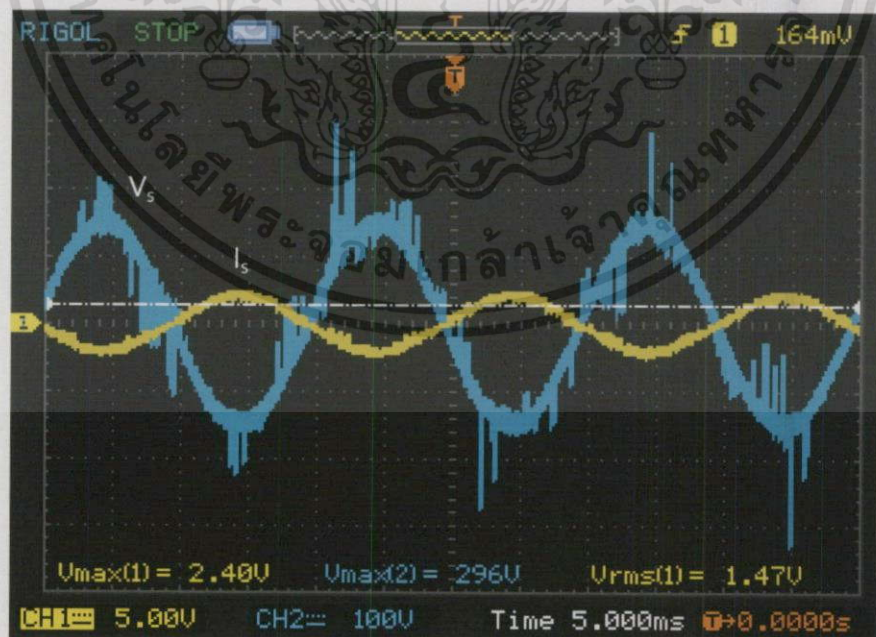


รูปที่ 4.35 รูปคลื่น V_{pv} (100V/div) และ I_{pv} (5A/div) ในการกำหนดกระแสค่าสั่ง 1.0 A_{rms}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

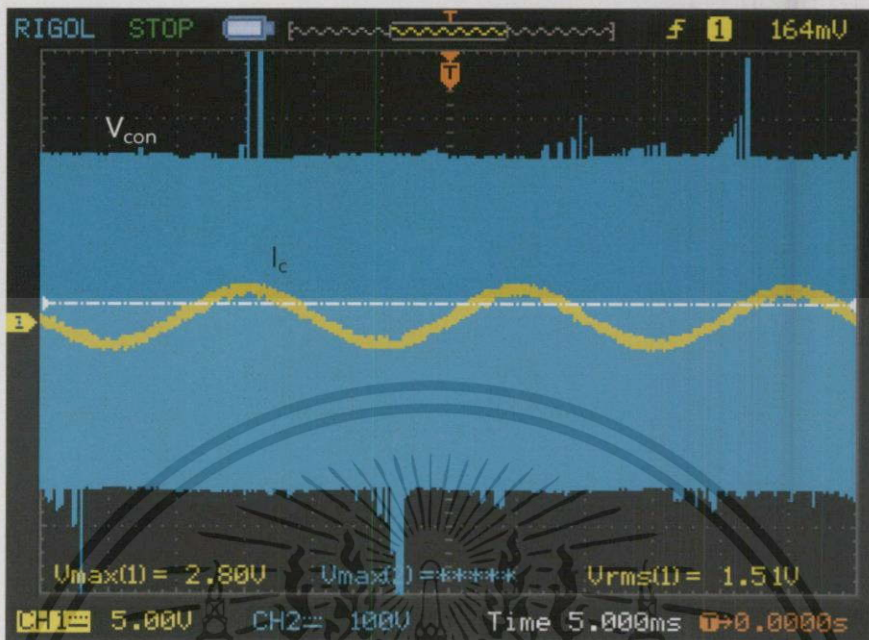


รูปที่ 4.36 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง 1.0 A_{rms}

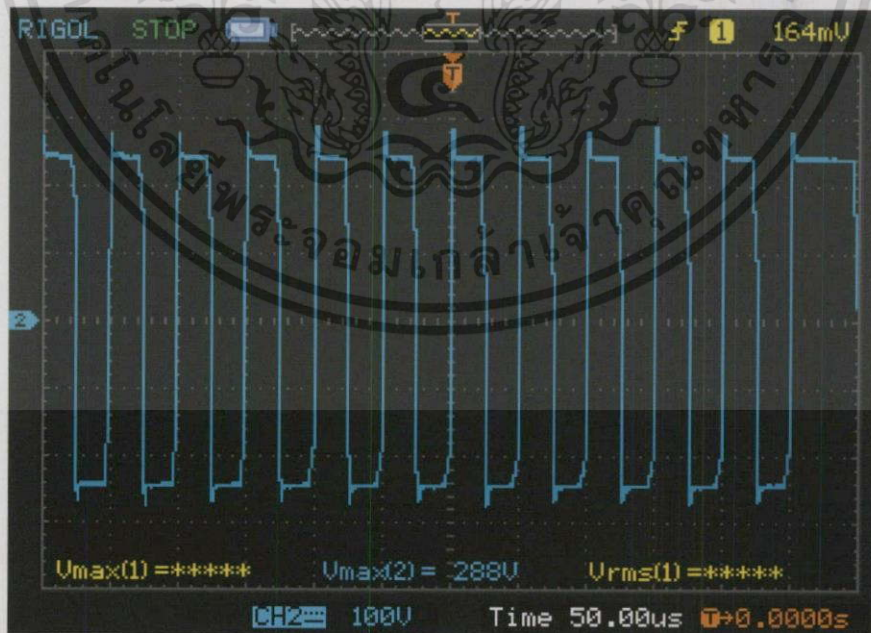


รูปที่ 4.37 รูปคลื่น V_s (100V/div) และ I_s (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 1.5 A_{rms}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

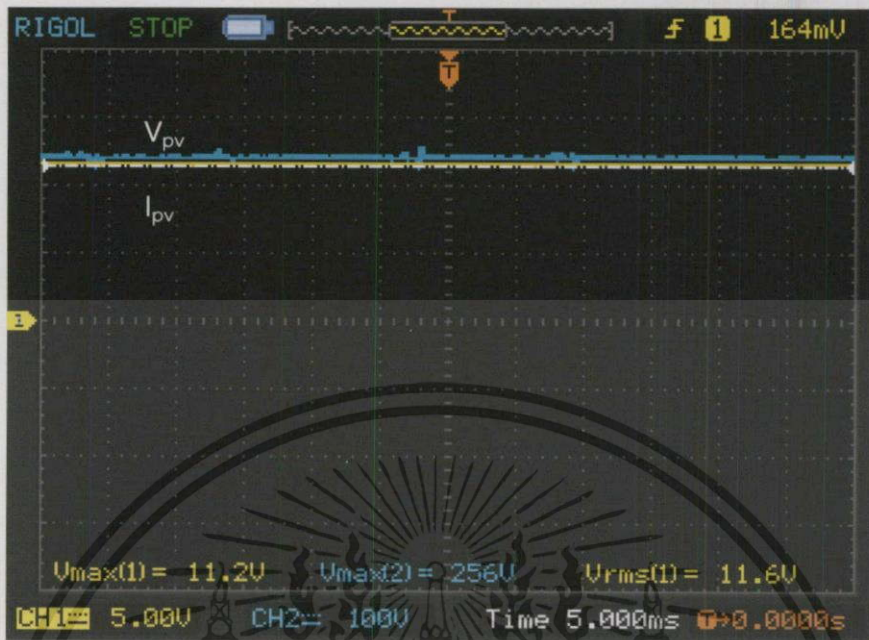


รูปที่ 4.38 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) และ I_c (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง $1.5 A_{rms}$

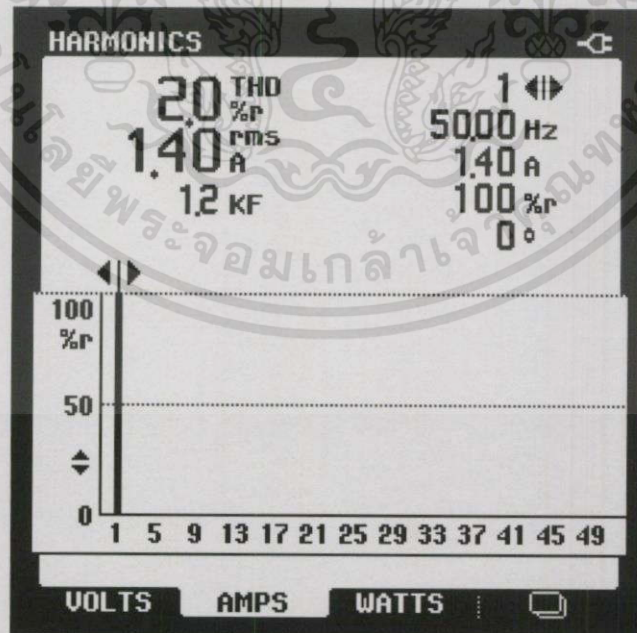


รูปที่ 4.39 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง $1.5 A_{rms}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

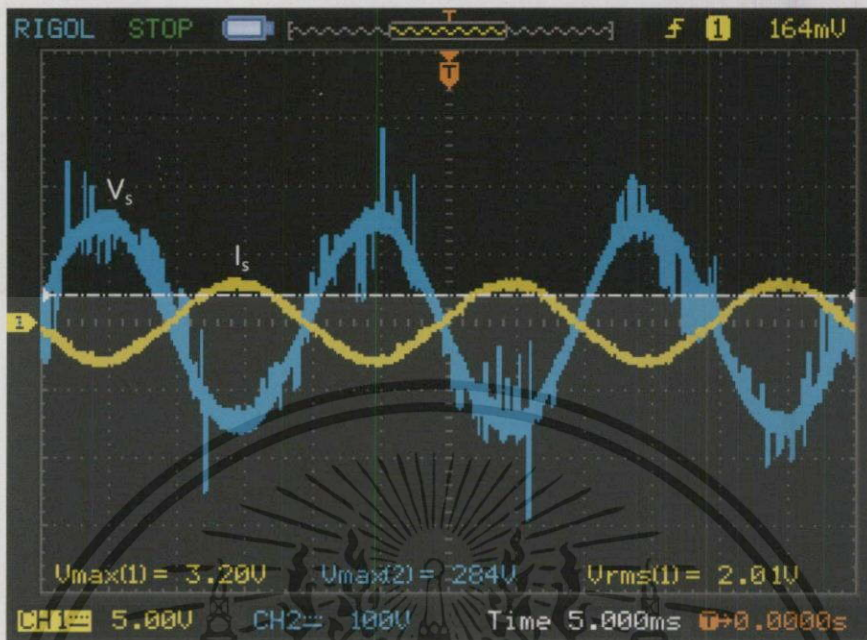


รูปที่ 4.40 รูปคลื่น V_{pv} (100V/div) และ I_{pv} (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง $1.5 A_{rms}$

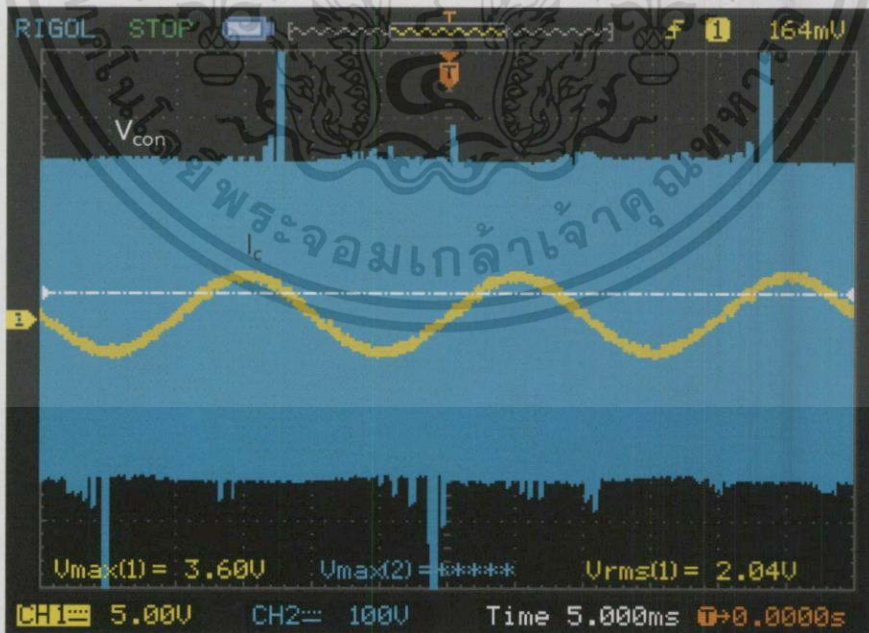


รูปที่ 4.41 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง $1.5 A_{rms}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

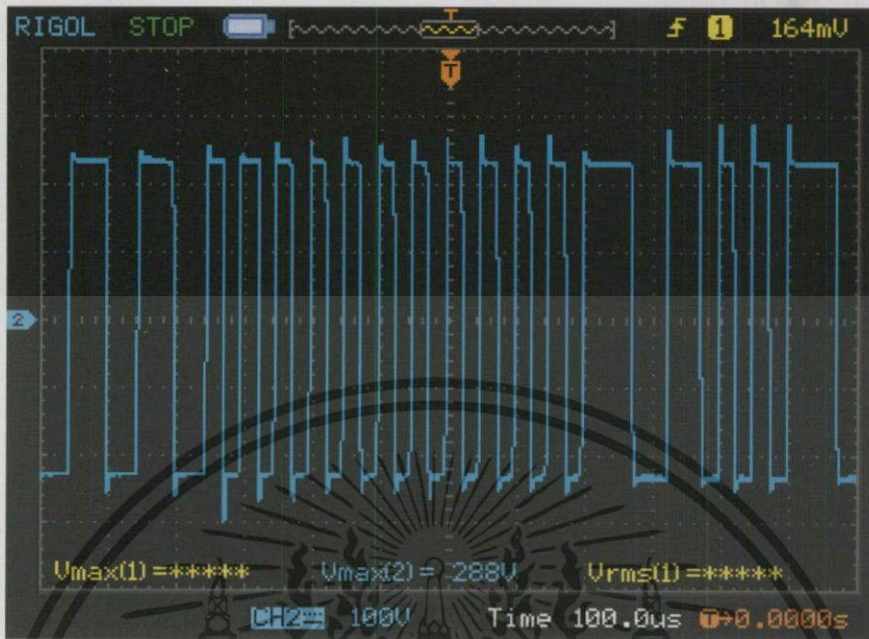


รูปที่ 4.42 รูปคลื่น V_s (100V/div) และ I_s (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 A_{rms}



รูปที่ 4.43 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) และ I_c (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 A_{rms}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

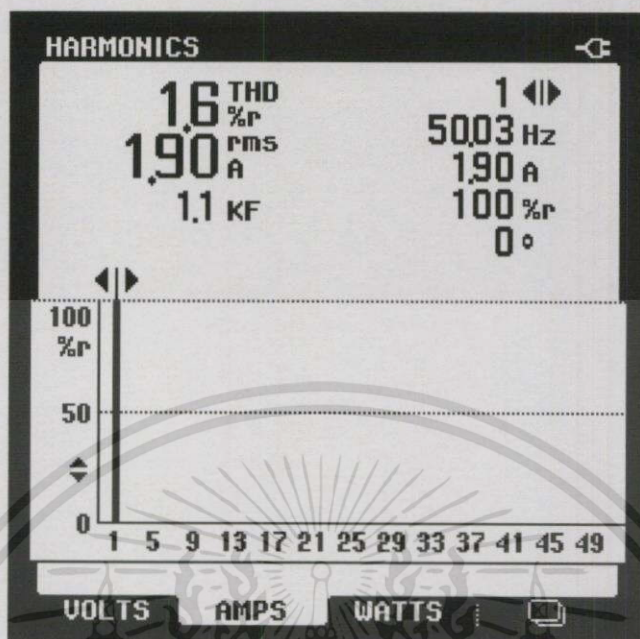


รูปที่ 4.44 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 A_{rms}

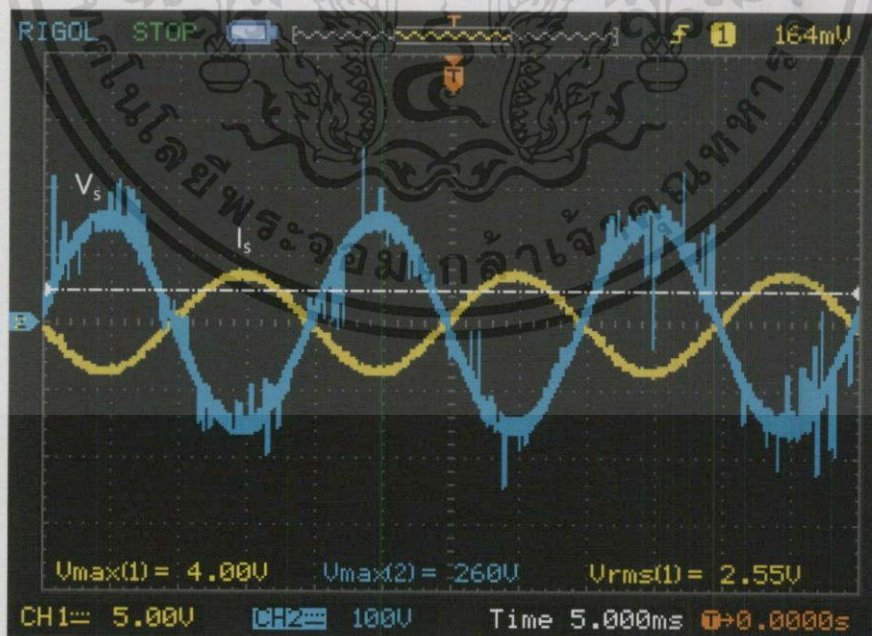


รูปที่ 4.45 รูปคลื่น V_{pv} (100V/div) และ I_{pv} (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.0 A_{rms}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

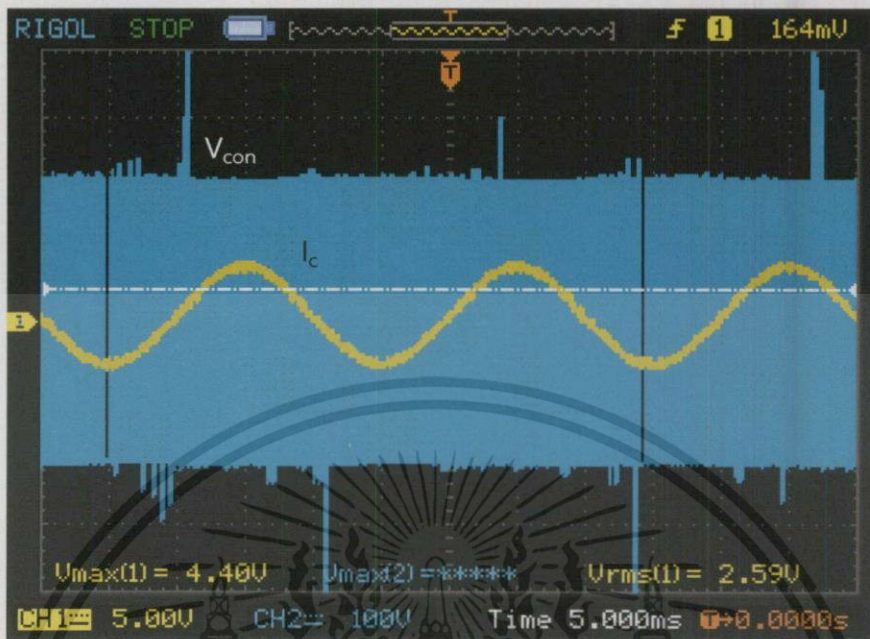


รูปที่ 4.46 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง $2.0 A_{rms}$

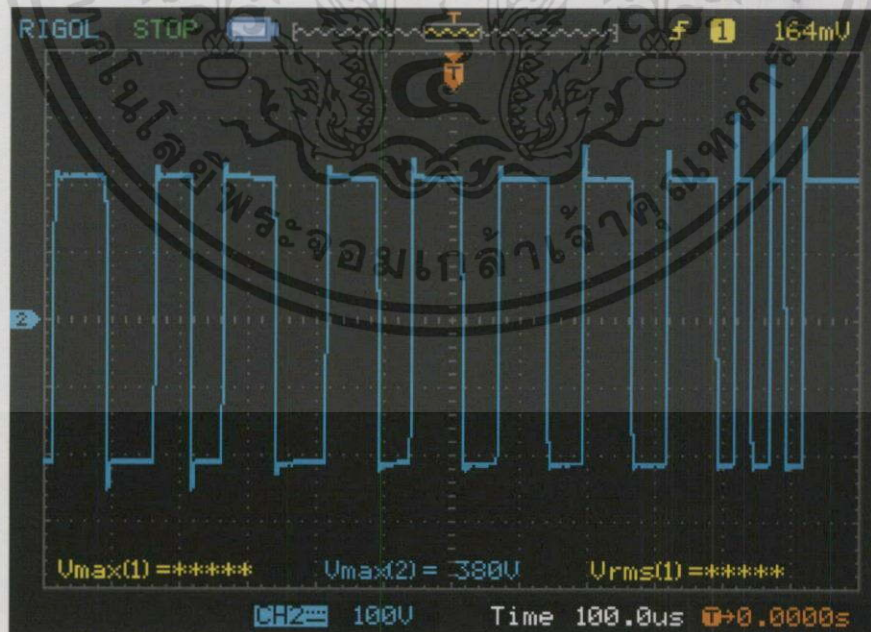


รูปที่ 4.47 รูปคลื่น V_s (100V/div) และ I_s (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง $2.5 A_{rms}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

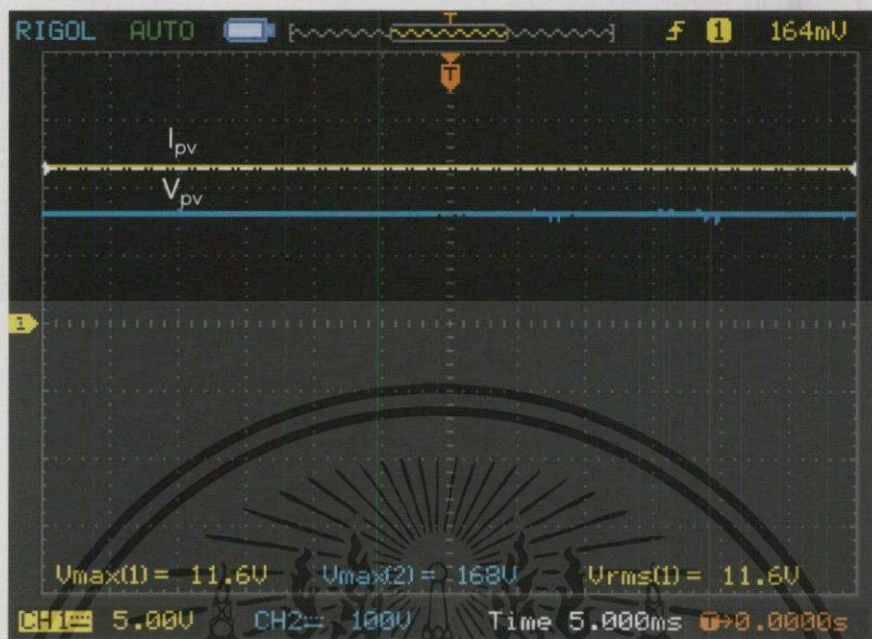


รูปที่ 4.48 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) และ I_c (5A/div) ในการกำหนดกระแสค่าสั่ง 2.5 A_{rms}

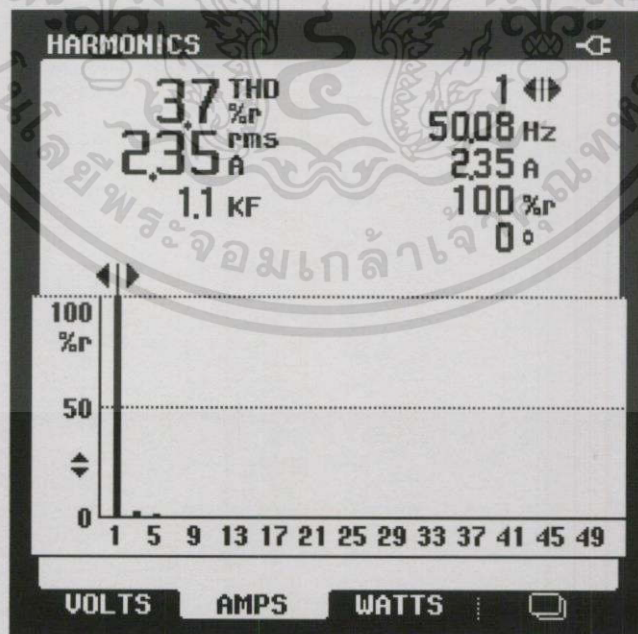


รูปที่ 4.49 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) ในการกำหนดกระแสค่าสั่ง 2.5 A_{rms}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

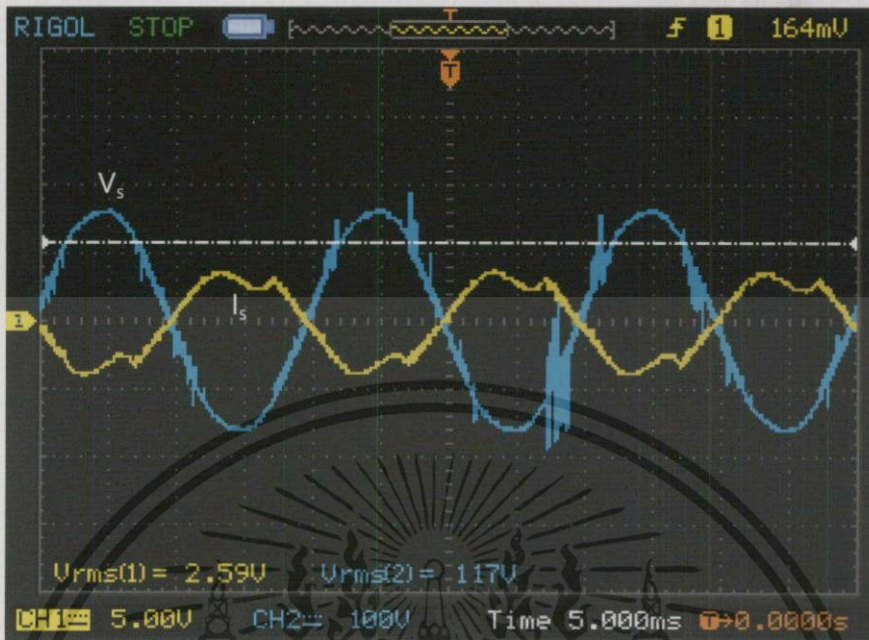


รูปที่ 4.50 รูปคลื่น V_{pv} (100V/div) และ I_{pv} (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 2.5 A_{rms}

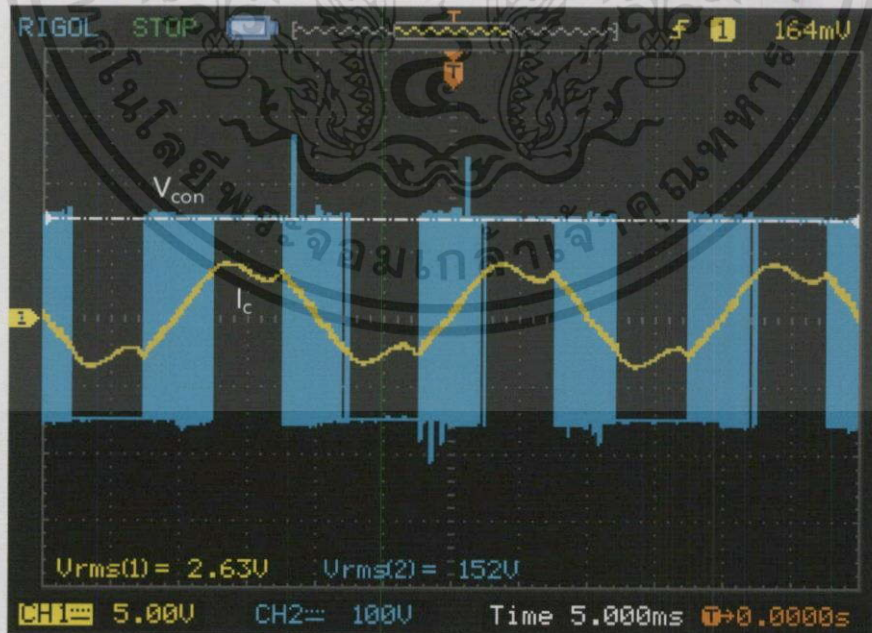


รูปที่ 4.51 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง 2.5 A_{rms}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

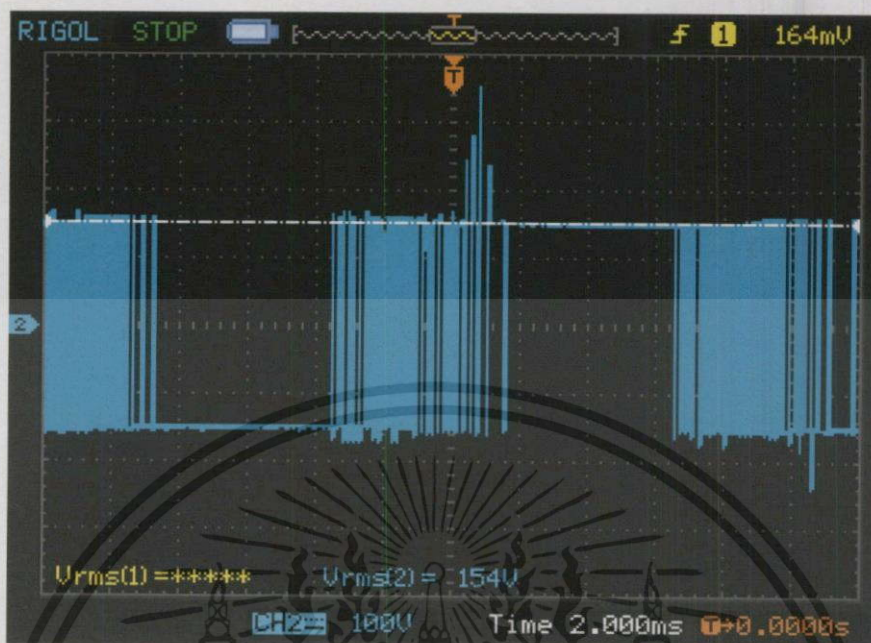


รูปที่ 4.52 รูปคลื่น V_s (100V/div) และ I_s (5A/div) ในการกำหนดกระแสค่าสั่ง 3.0 A_{rms}

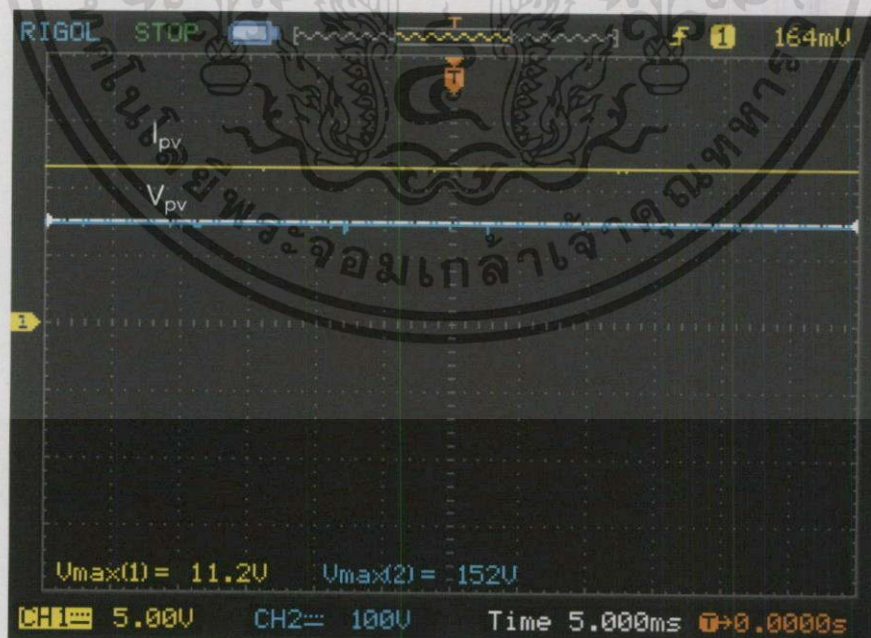


รูปที่ 4.53 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) และ I_c (5A/div) ในการกำหนดกระแสค่าสั่ง 3.0 A_{rms}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

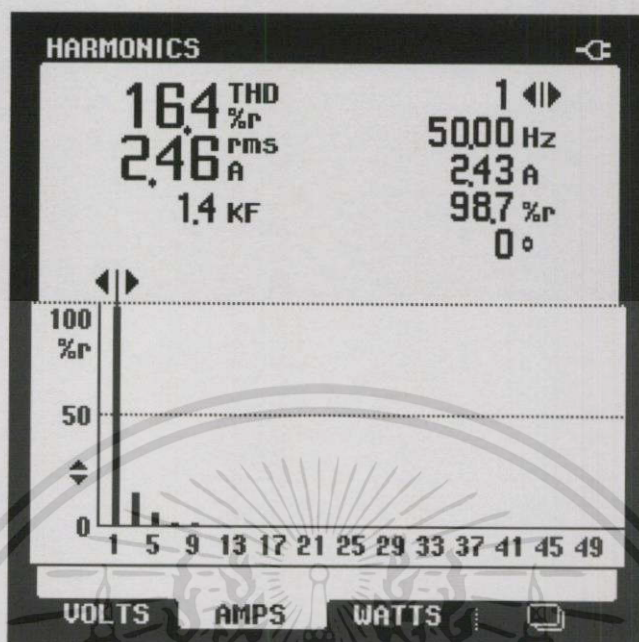


รูปที่ 4.54 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง $3.0 A_{rms}$

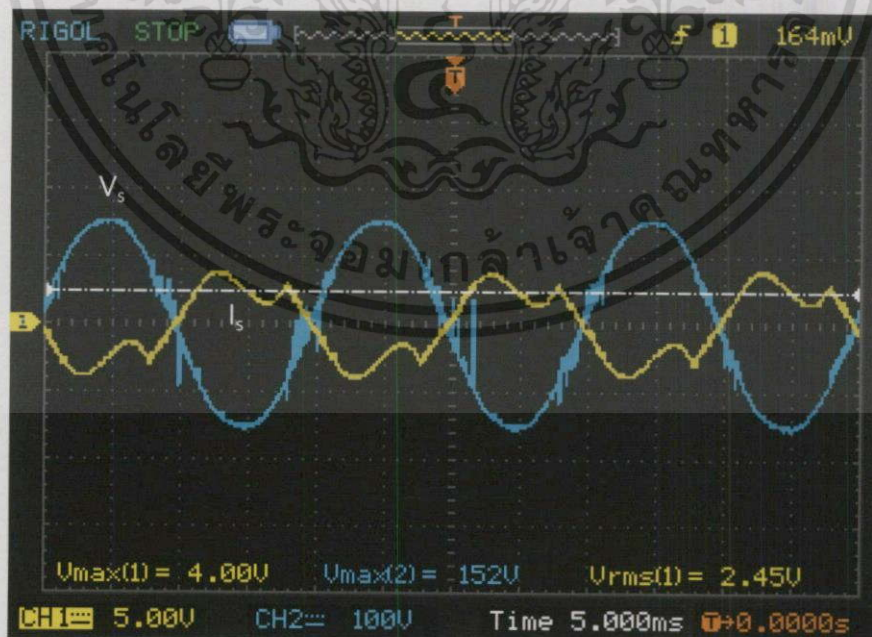


รูปที่ 4.55 รูปคลื่น V_{pv} (100V/div) และ I_{pv} (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง $3.0 A_{rms}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

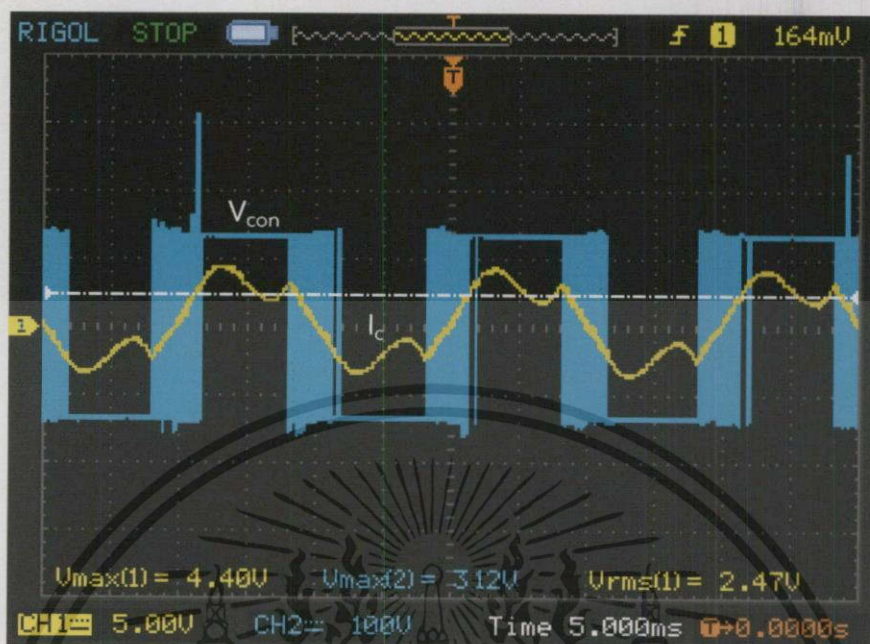


รูปที่ 4.56 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง $3.0 A_{rms}$

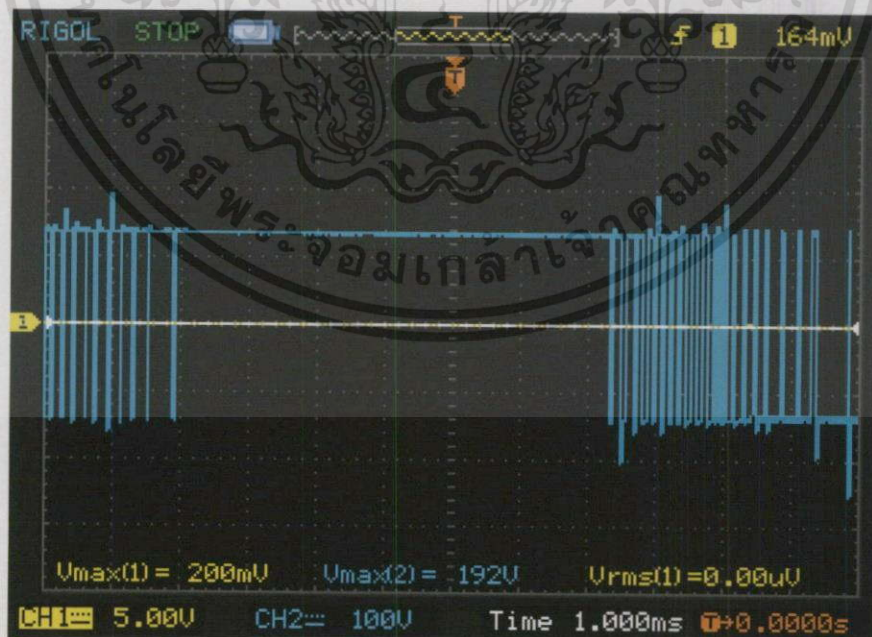


รูปที่ 4.57 รูปคลื่น V_s (100V/div) และ I_s (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง $3.5 A_{rms}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

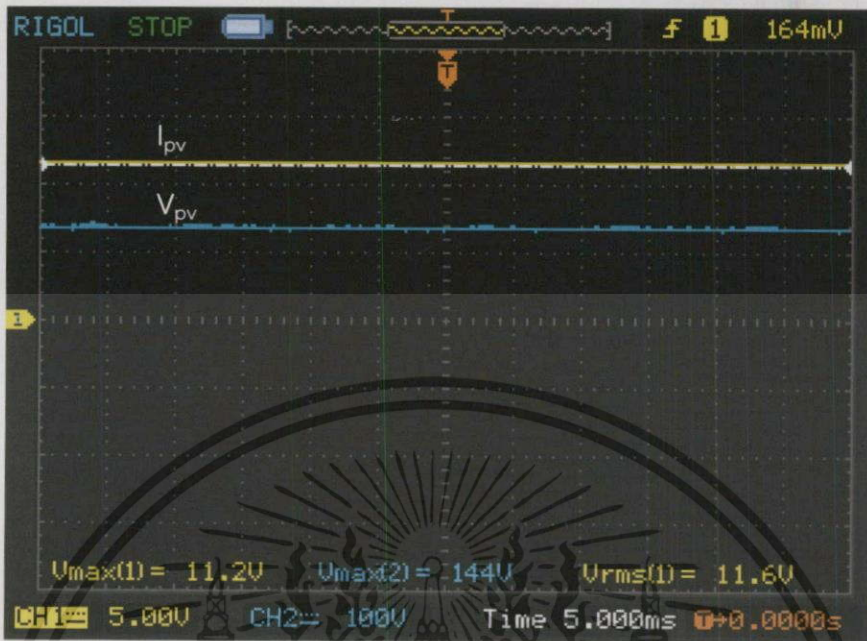


รูปที่ 4.58 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) และ I_c (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 3.5 A_{rms}

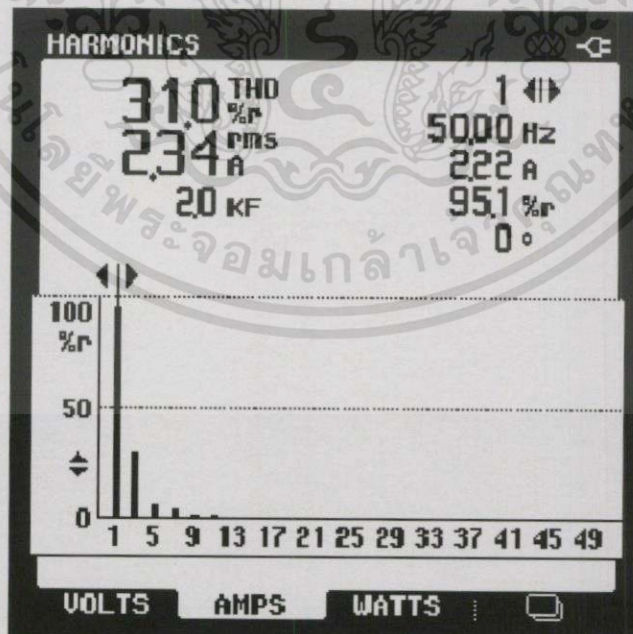


รูปที่ 4.59 รูปคลื่น V_{con} (100V/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 3.5 A_{rms}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.60 รูปคลื่น V_{pv} (100V/div) และ I_{pv} (5A/div) ในการกำหนดกระแสคำสั่ง 3.5 A_{rms}

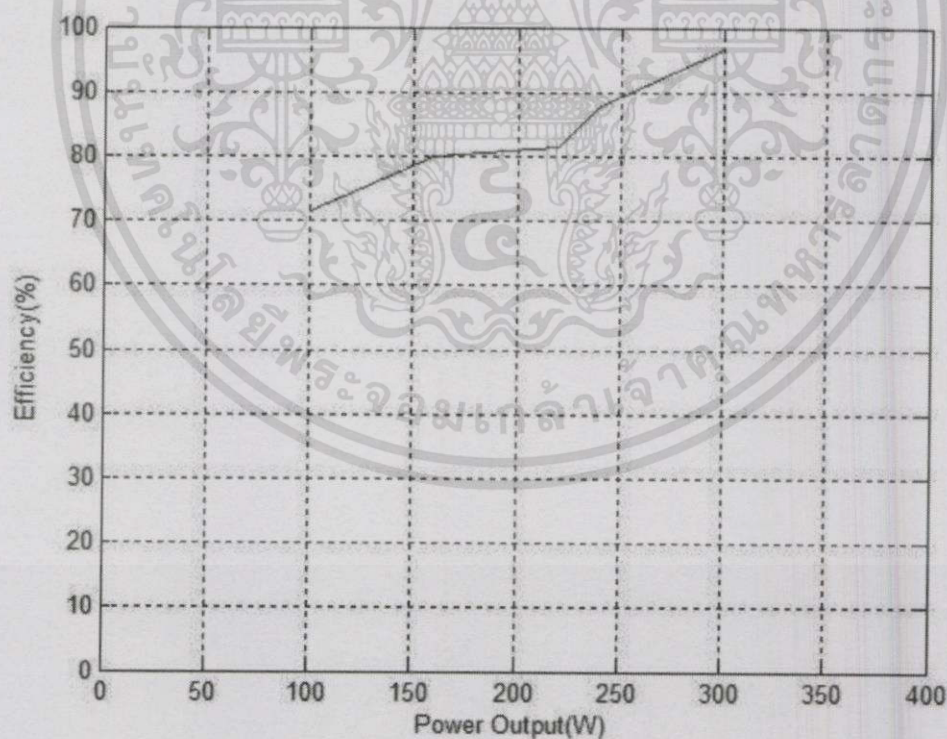


รูปที่ 4.61 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดยกำหนดกระแสคำสั่ง 3.5 A_{rms}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้า
กลับคืนการไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์

Current Command (A)	V_{dc} (V)	P_{dc} (W)	V_{ac} (V)	P_{ac} (W)	THD _i (%)	P.F.	D.P.F	Efficiency (%)
1.0	253	140	110	100	4.2	0.98	1.00	71.42
1.5	240	200	110	160	2.0	0.99	1.00	80.00
2.0	230	270	111	220	1.6	1.00	1.00	81.48
2.5	208	330	113	290	3.7	1.00	1.00	87.87
3.0	150	310	113	300	16.4	0.97	1.00	96.77
3.5	135	280	108	250	31.0	0.94	0.99	89.28

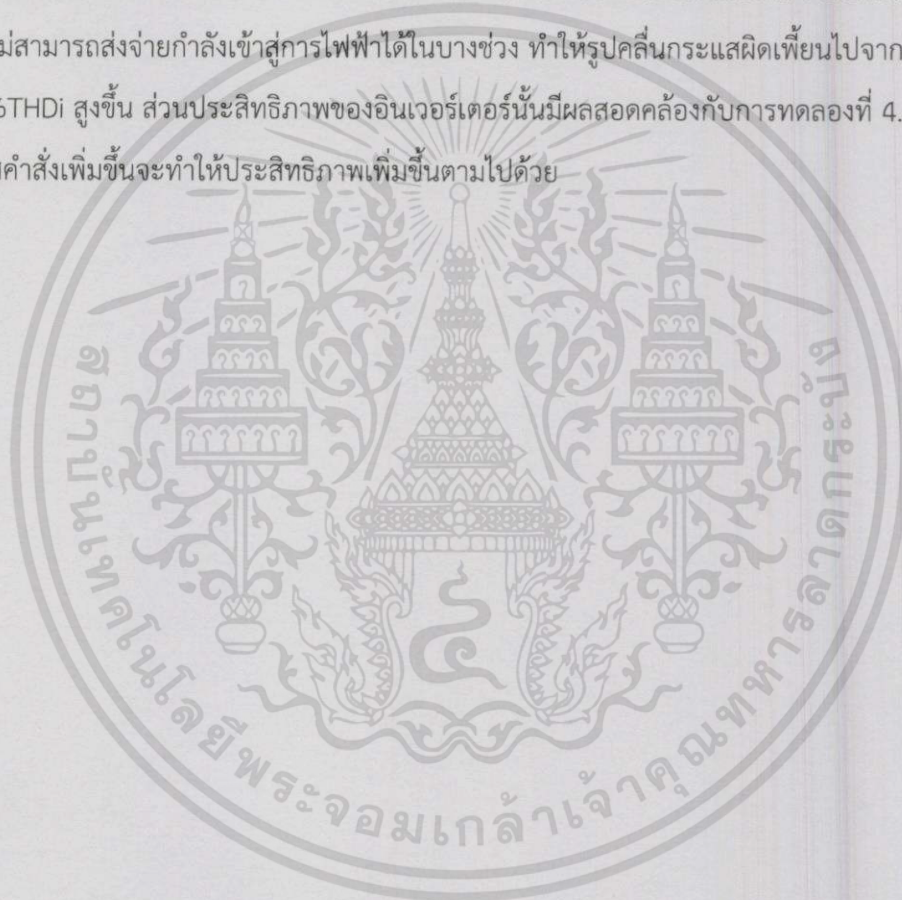


รูปที่ 4.62 ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อการไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนการไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

จากผลการทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืน การไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์ ที่กระแสคำสั่ง $1.0 A_{rms}$, $1.5 A_{rms}$, $2.0 A_{rms}$, $2.5 A_{rms}$, $3.0 A_{rms}$, $3.5 A_{rms}$ จะเห็นได้ว่าอินเวอร์เตอร์สามารถแปลงพลังงานแสงอาทิตย์กลับคืนการไฟฟ้าได้สังเกตจากรูปคลื่นกระแสจากการไฟฟ้า (Is) จะกลับเฟสกับรูปคลื่นแรงดันจากการไฟฟ้า จากรูปที่ 4.16 ถึง 4.18 จะเห็นได้ว่ารูปคลื่นกระแสผิดเฟสไปจากรูปคลื่นไซน์และมีค่า %THDi สูงเป็นผลมาจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไม่คงที่ เมื่อกระแสไหลเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันลดลง เมื่อแรงดันลดลงทำให้ไม่สามารถส่งจ่ายกำลังเข้าสู่การไฟฟ้าได้ในบางช่วง ทำให้รูปคลื่นกระแสผิดเฟสไปจากไซน์และมีค่า %THDi สูงขึ้น ส่วนประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์นั้นมีผลสอดคล้องกับการทดลองที่ 4.1.2 เมื่อกระแสคำสั่งเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการสร้างและทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยตรงร่วมกับการไฟฟ้า โดยที่ระบบถูกกำหนดให้ทำหน้าที่คือส่งถ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสคำสั่งที่ได้จากการควบคุมแบบฮิสเตอร์รีซิส โดยใช้ตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัล C2000 ทำการประมวลผลทั้งระบบ ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้มีการจำลองและวิเคราะห์การทำงานของระบบโดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK เพื่อนำผลที่ได้จากการจำลองมาวิเคราะห์การทำงานของระบบที่ได้ออกแบบขึ้นเพื่อตรวจสอบการทำงานที่ถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ก่อนทดสอบจริง โดยจากผลการทดสอบสามารถสรุปและมีข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ผลที่ได้จากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ให้ผลที่มีความสอดคล้องกับผลการทดลองจริง
2. วิธีการคำนวณกระแสอ้างอิงในการควบคุมการทำงานของระบบให้ผลที่ถูกต้องจากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองวิธีการคำนวณกระแสอ้างอิงจากผลการทดสอบ และการคำนวณกระแสอ้างอิงของระบบจริงจากตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัล

5.2 ข้อเสนอแนะและการพัฒนาต่อไป

1. ควรออกแบบวงจรควบคุมให้มีเสถียรภาพที่ดีเพื่อป้องกันปัญหาสัญญาณรบกวนกับวงจรควบคุมและวงจรตรวจจับสัญญาณต่างๆ
2. เนื่องจากการควบคุมการทำงานของระบบนี้ใช้การควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์รีซิส ซึ่งการควบคุมกระแสด้วยวิธีนี้มีความถี่สวิตช์ไม่คงที่ และอาจเกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ในระบบได้ถ้าความถี่สวิตช์สูงเกินพิกัดของตัวอุปกรณ์ ดังนั้นควรมีการควบคุมแบบกระแสคงที่
3. ควรมีการสร้างวงจรสับเบรหรือวิธีการอื่นๆ เพื่อป้องกันสวิตช์ IGBT เสียหาย เนื่องจากการทดลองมีสวิตช์ IGBT เสียหายจำนวนมาก
4. ควรมีการตรวจสอบ Dead Time ของวงจรสวิตช์ให้ดีเพื่อป้องกันการทำงานพร้อมกันของ IGBT ในกึ่งเดียวกัน

5. ควรมีการตรวจสอบวงจรเซ็นเซอร์ต่างๆให้ดีก่อนการทดลอง โดยเฉพาะการปรับค่าอัตราส่วนของค่าจริงที่ต้องการวัดกับค่าที่ส่งเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ เพราะอาจส่งผลให้ระบบควบคุมทำงานผิดเพี้ยนไปจากเดิมจนส่งผลให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ต่างๆ อย่างเช่น IGBT

6. ควรมีการใช้ฟิลเตอร์เพื่อป้องกันการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) และการเกิดฮาร์โมนิกที่อาจส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า



เอกสารอ้างอิง

- [1] วีระเชษฐ์ ชันเงิน, วุฒิพล ธาราธิระเศรษฐ์, “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง” ห้างหุ้นส่วนจำกัด วีเจ.พรินต์ติ้ง, 2547.
- [2] จินดา โต้ะกลาง, พิเชษฐ์ ยอดสว่าง, เอกลักษณ์ ศรประสิทธิ์, และ เอกชัย คงรอด, “อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส เชื่อมต่อการไฟฟ้า,” *ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*, 2549.
- [3] วุฒิไกร จันทะศิลา, ศักดิ์ชัย วาริษา, อรรถกร เสียงใส, และ อัญวุฒิ จารุธรรมรัตน์, “ระบบคอนเวอร์เตอร์เชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์กับกริดโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้งานเป็นวงจรรองกำลังแบบไวงาน,” *ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*, 2553.
- [4] Jan Leuchter, Vladimir Rerucha, Ahned F. Zobaa, “Mathematical Modeling of Photovoltaic Systems,” *International Power Electronics and Motion Control Conference, EPE-PEMC 2010*.
- [5] Rosa A. Mastromauro, Antonio Dell’Aquila, “Control Issues in Single-State Photovoltaic Systems: MPPT, Current and Voltage Control,” *IEEE Trans. VOL 8 May 2012*.
- [6] R.D. Patidar, S.P.Singh, Dheeraj Kumar Khatod, “Single-Phase Single-Stage Grid-Interactive Photovoltaic System with Active Filter Functions,” *IEEE Trans. VOL 19 Sep 2004*.
- [7] S.Meschi E. Hashemzadeh, “MATLAB Simulation of a DSTATCOM using Hyteresis Current Control for Electric Arc Furnace Flicker Mitigation,” *Ferdowsi University of Mashhad*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์กับกริด

PV Grid connected System

ปานชัย พ้อคำชำนาญ ปุณยชัย โยธา และ เปรม กาญจนฐาตุ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย คลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: Panachai_gun@yahoo.com

บทคัดย่อ

ปัญญานินทรฉบับนี้นำเสนอระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกรอกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยตรงร่วมกับการไฟฟ้า โดยที่ระบบสามารถส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าโดยใช้กระแสในการควบคุมแบบฮิสเตอรีซิส โดยใช้ตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัล TMS320F28335 ทำการประมวลผลทั้งระบบ ในปัญญานินทรฉบับนี้ยังมีการจำลองการทำงานของระบบโดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK

คำสำคัญ : คอนเวอร์เตอร์เชื่อมต่องกริด

ABSTRACT

This project presents a solar power system that is designed for generating the electricity through the device converting DC power to AC power distribution system directly. The system is able based on hysteresis current control to transfer the electric power by using the TMS320F28335 digital signal processing system. In this project simulation and analysis of the performance of the system by using the program MATLAB / SIMULINK is also given

1. บทนำ

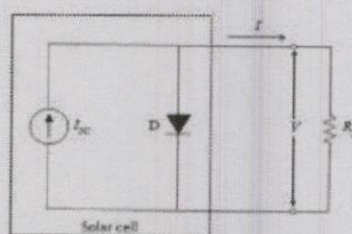
ในปัจจุบันประเทศไทยต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ เป็นหลัก และยังมีแนวโน้มที่สูงขึ้นในอนาคต การพัฒนาพลังงานทดแทน อย่างจริงจังนั้น จึงสามารถช่วยลดการพึ่งพาและการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงได้ ดังนั้นพลังงานจากแสงอาทิตย์จึงเป็นอีกตัวเลือกหนึ่งที่ดีในด้านของการพลังงานทดแทนมาใช้ประโยชน์ ซึ่งปัญญานินทรฉบับนี้เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่

ถูกรอกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยตรงร่วมกับการไฟฟ้า โดยกำหนดกระแสคำสั่งใช้ในการควบคุมแบบฮิสเตอรีซิสซึ่งใช้ตัวควบคุมสัญญาณดิจิทัล TMS320F28335 ทำการประมวลผลทั้งระบบ

2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตขึ้นมาจากวัสดุสารกึ่งตัวนำเหมือนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป โครงสร้างวัสดุสารกึ่งตัวนำของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีลักษณะเป็นรอยต่อ พี-เอ็น (p-n junction) เหมือนไดโอด ดังนั้นคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติจึงสามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลประกอบด้วยแหล่งจ่ายกระแสขนานกับไดโอดคงสภาพที่ 2.1 ซึ่งปริมาณกระแส I_{SC} นี้เกิดจากปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกที่ความเข้มของแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถแทนได้ด้วยแหล่งจ่ายกระแสคงที่ ส่วนไดโอดจะแสดงถึงคุณลักษณะของสารกึ่งตัวนำที่เป็นรอยต่อพี-เอ็น ดังนั้นค่ากระแสจ่ายออก I จึงสามารถอธิบายได้ด้วยความแตกต่างของกระแส I_{SC} ที่กำเนิดจากแสงอาทิตย์กับกระแสของไดโอดคงแสดงในสมการที่ 2.1

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

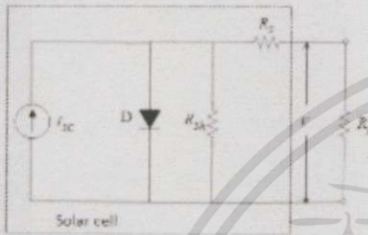


รูปที่ 2.1 วงจรสมมูลในอุดมคติของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามเซลล์แสงอาทิตย์ยังมีค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นจากความต้านทานภายในของเซลล์แสงอาทิตย์ดังภาพที่ 2.2 ซึ่งมีทั้งความต้านทานที่ขนาน และความต้านทานที่อนุกรมกับวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติ ดังนั้นสมการคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถอธิบาย ได้ดังสมการที่ 2.2

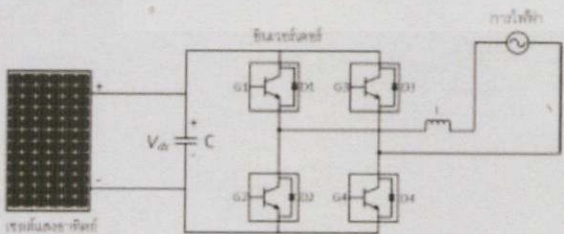
$$I = I_{SC} - I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{AKT}\right) - 1 \right] - \frac{(V + IR_s)}{R_{sh}} \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

จากสมการที่ 2.2 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันจ่ายออกของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังภาพที่ 2.3 ในกรณีที่ไม่มีแสงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีคุณสมบัติเหมือนไดโอดเนื่องจากมีโครงสร้างของวัสดุสารกึ่งตัวนำเหมือนกันแต่เมื่อให้แสงกับเซลล์แสงอาทิตย์ก็เกิดปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกขึ้นทำให้เกิดแรงดันและกระแสออกมา เมื่อพิจารณาในสภาวะเปิดวงจร กระแสจะไหลเข้าไดโอดทั้งหมดทำให้กระแสจ่ายออกมีค่าเป็นศูนย์ ในทางกลับกันถ้าัดวงจรกระแสจ่ายออกก็จะไหลออกสู่วงจรภายนอกทั้งหมด เมื่อเปลี่ยนค่าความเข้มของแสงจะส่งผลให้ค่ากระแส I_{SC} มีค่าเปลี่ยนไป ซึ่งแปรผันตรงกับค่าความเข้มแสง ในขณะที่แรงดันมีค่า k เปลี่ยนแปลงน้อยหรืออาจกล่าวได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์มีคุณสมบัติเป็นแหล่งจ่ายกระแส

อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับสายส่งแบบขั้นเดียว (Single state inverter)



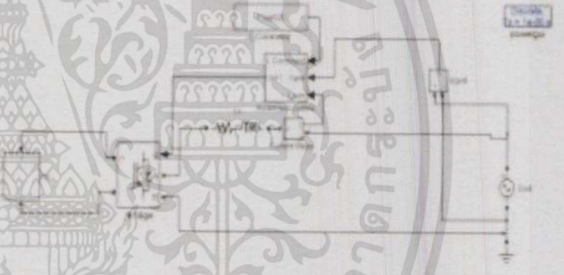
รูปที่ 2.3 โครงสร้างอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับสายส่งแบบขั้นเดียว

อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับสายส่งแบบขั้นเดียวนี้ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยไม่มีการจัดการพลังงานที่ด้านไฟฟ้ากระแสตรงก่อน อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อการไฟฟ้าแบบนี้มีข้อดีตรงที่ค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานของอุปกรณ์กึ่งตัวนำมีค่าต่ำ เพราะมีอุปกรณ์กึ่งตัวนำทำงานที่ความถี่ที่ต่ำ

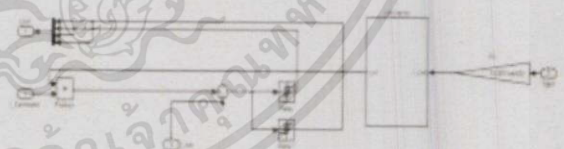
3.บล็อกไดอะแกรม และผลการจำลอง

การวิเคราะห์ผลการจำลองระบบอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับกริดที่มีการควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์รีซิส

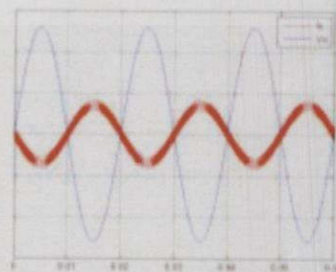
จากรูปที่ 3.1 และ 3.2 แสดงการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink จำลองระบบอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับกริด 1 เฟส 220V ความถี่ 50 Hz โดยมีตัวเหนี่ยวนำ $L_s = 15$ mH, $V_{dc} = 320$ V และความกว้างของฮิสเตอร์รีซิส (HB) = 0.5 A ความถี่กึ่งวงจรสูงสุด 10kHz กระแสค่าตั้ง 1 Arms



รูปที่ 3.1 วงจรกำลังของระบบ

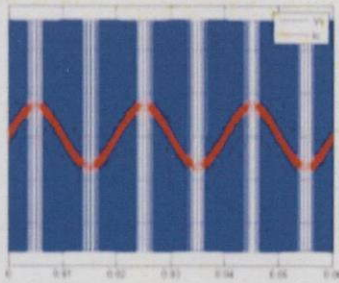


รูปที่ 3.2 วงจรควบคุมของระบบ

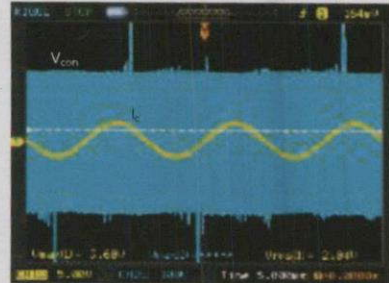


รูปที่ 3.3 สัญญาณแรงดัน Vs (50 V/div) และกระแส Is (1 A/div)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 สัญญาณแรงดัน V_c (50 V/div) และกระแส I_c (1 A/div)

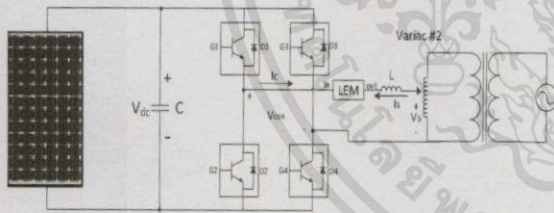


รูปที่ 4.3 สัญญาณ V_{con} และ I_c ในการกำหนดกระแสคำสั่ง $2.0 A_{rms}$

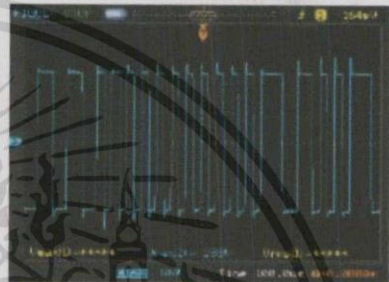
จากรูปที่ 3.3 และ 3.4 แสดงผลการจำลองระบบ อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับกริดที่มีการควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์รีซิส จากผลการจำลองพบว่าสัญญาณกระแส I_s มีรูปปร่างใกล้เคียงไซน์และ กัดกับเฟสกับสัญญาณแรงดัน V_s (out of phase) แสดงให้เห็นว่า อินเวอร์เตอร์สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนสู่ระบบกริดได้

4.ผลการทดลอง

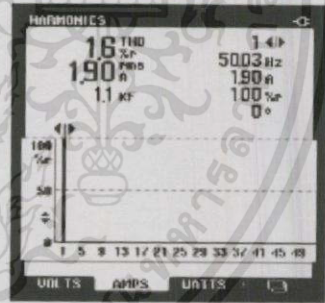
การทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการ ไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนการ ไฟฟ้า โดยเซลล์แสงอาทิตย์ทำ โดย การทดลองกับปริมาณความเข้มแสง และตั้งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ได้จาก เซลล์แสงอาทิตย์มีค่าระดับต่างๆ แล้วทำการควบคุมการส่งจ่าย กำลังไฟฟ้ากลับคืนการ ไฟฟ้า โดยทำการควบคุมกระแสคำสั่งจ่ายออก จากอินเวอร์เตอร์ที่ค่าต่างๆ



รูปที่ 4.1 วงจรการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนการ ไฟฟ้า โดยเซลล์แสงอาทิตย์

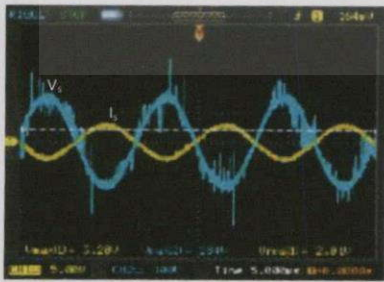


รูปที่ 4.4 สัญญาณ V_{con} ในการกำหนดกระแสคำสั่ง $2.0 A_{rms}$



รูปที่ 4.5 ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนรวมของกระแส (%THDi) โดย กำหนดกระแสคำสั่ง $2.0 A_{rms}$

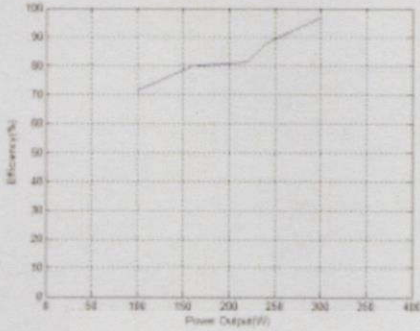
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับการ ไฟฟ้า จ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนการ ไฟฟ้า โดยเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 4.2 สัญญาณ V_s และ I_s ในการกำหนดกระแสคำสั่ง $2.0 A_{rms}$

Current command (A)	V_{dc} (V)	P_{dc} (W)	V_{con} (V)	P_{con} (W)	THDi (%)	Efficiency (%)
1.0	253	140	110	100	4.2	71.42
1.5	240	200	110	160	2.0	80.00
2.0	230	270	111	220	1.6	81.48
2.5	208	330	113	290	3.7	87.87
3.0	150	310	113	300	16.4	96.77
3.5	135	280	108	250	31.0	89.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อการไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนการไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์

5.สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อการไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนการไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่กระแสค่าตั้งที่กำหนดจะเห็นได้ว่าอินเวอร์เตอร์สามารถแปลงพลังงานแสงอาทิตย์กลับคืนการไฟฟ้าได้สังเกตจากรูปคลื่นกระแสจากการไฟฟ้า (rs) จะกลับเฟสกับรูปคลื่นแรงดันจากการไฟฟ้า ส่วนประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์นั้นมีผลสอดคล้องกับการทดลอง เมื่อกระแสค่าตั้งเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้คงได้ละผู้จัดทำต้องขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอบพระคุณ รศ.ดร. วิจิตร กิมรศ และ อ.ชัยทัต มณีจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ และ ที่ๆ PMC ที่ให้แนวคิด คำปรึกษา ตลอดจนช่วยแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้นรวมถึงช่วยจัดหาอุปกรณ์และเครื่องมือที่เป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์นี้ และที่สำคัญที่สุดขอขอบคุณบิดา มารดา ที่ให้ทั้งกำลังใจ และสนับสนุนตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

[1] จินดา โต้ะกลาง, พิเชษฐ ชอคสว่าง, เอกกฤษณ์ สรประสิทธิ์, และ เอกชัย คงรอด, "อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส เชื่อมต่อการไฟฟ้า," ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549.

[2] N. Pandiarajan and Ranganath Muthu, "Mathematical Modeling of Photovoltaic Module with Simulink" International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES 2011), 3-5 Jan 2011

[3] Michael E. Ropp and Sigifredo Gonzalez "Development of a MATLAB/Simulink Model of a Single-Phase Grid-Connected Photovoltaic System" Energy Conversion, IEEE Transactions on (Volume:24 , Issue: 1)



นาย ปานชัย พงศ์คำชำนาญ
สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลายจาก
โรงเรียนสามเสนวิทยาลัย
ปริญญาตรีวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯลาดกระบัง



นาย เปรม กาญจนฐาตุร
สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลายจาก
โรงเรียนเซนต์ฟรังซิสเซเวียร์
ปริญญาตรีวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯลาดกระบัง



นาย ปุณชชัย ไชธา
สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลายจาก
โรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรี
นครินทร์ พะเยา
ปริญญาตรีวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BSC



BSC

BANGKOK SOLAR CO., LTD.

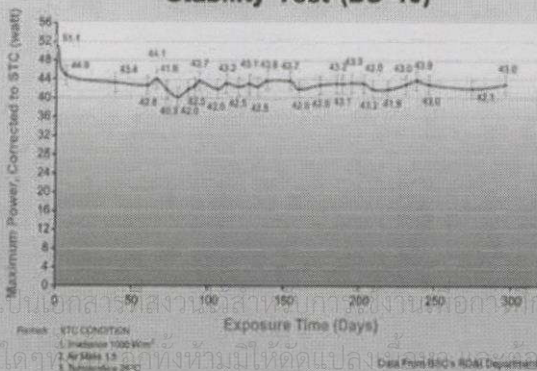
Amorphous Silicon (a-Si)
Thin-Film Photovoltaic (PV)
Module

Why thin-film ?

In advancing amorphous silicon thin-film technology, recognizing that there exists a growing interest in the cost of energy per kilowatt hour of production. We have focused on the development of thin-film modules because it satisfies our main goal which is to provide solar electricity at the lowest possible price per kilowatt hour. Among other positive attributes, amorphous silicon modules generate more electricity per unit of installed capacity than crystalline silicon modules do, leading to lower electricity generating costs and superior economics for many applications.

- a-Si thin-film PV Module has better temperature coefficients resulting in generating considerably more power at higher ambient temperatures.
- Generate higher energy yield under low light conditions and diffuse light conditions (cloudy days).
- Environmentally Friendly by having extremely thin thickness of a-Si cell 0.3 μm .
- Shorter Energy Pay-Back Time (EPT) when compare with c-Si PV Module. EPT is one of the most important factors when evaluating the ecological benefit of PV Systems.

Stability Test (BS 40)



CE RoHS COMPLIANT



Certificates

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายขายของ BSC โดยตรงที่เบอร์โทร 02-111-1111

How can BS Series return high value, quality and satisfaction at affordable price ?

BS Series is produced by using modern and state of art of a-Si thin-film PV technology.
 BS Series still works very well on low light condition and diffuse light condition (cloudy days).
 BS Series generates the highest annual electricity energy among various of solar modules.

SPECIFICATIONS

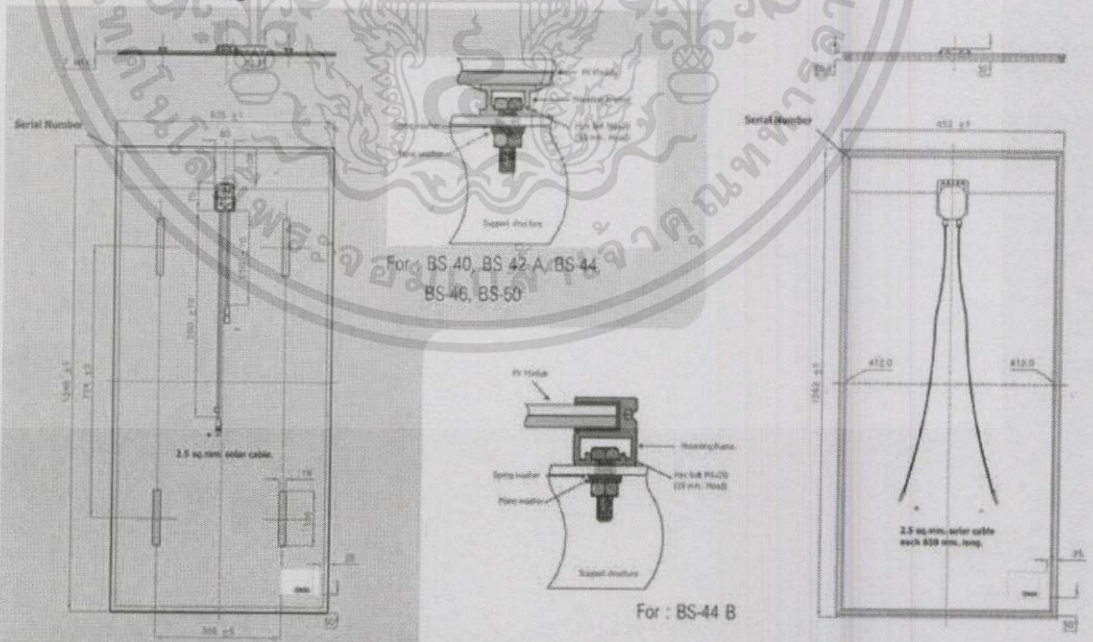
BS Series (a-Si PV Solar Module) Principal Specifications							
Technical	Model	BS 40	BS 42 A	BS 44	BS 44 B	BS 46	BS 50
Mechanical Characteristics							
Dimensions (mm X mm)		635 X 1245	635 X 1245	635 X 1245	635 X 1245	635 X 1245	635 X 1245
Weight (kg)		13.5	13.5	13.8	15	13.6	13.5
Electrical Characteristics							
Maximum power (Wp)		40	42	44	44	46	50
Maximum power voltage (V)		14.5	15.3	16.0	16.9	17.3	19.9
Maximum power current (A)		0.93	0.96	0.99	0.99	0.66	0.71
Open circuit voltage (V)		17.2	17.9	18.6	19.3	19.7	23.4
Short circuit current (A)		1.14	1.16	1.17	1.17	0.82	0.89
Maximum system voltage (V)		600	1000	1000	1500	1000	1000

Temperature Coefficients

Maximum power (W)	- 0.2% / °C
Open circuit voltage (V)	- 0.2967% / °C
Short circuit current (A)	+ 0.0395% / °C

Measurements made under the standard test conditions (STC):
 • Irradiance of 1,000 W/m²
 • Spectrum of Air Mass 1.5
 • Module temperature of 25°C
 • BS 42 A, BS 44, BS 44 B, BS 46, BS 50 : Compliance with IEC Standard and under-testing at TUV, VDE, UL
 • *For UL Standard the maximum system voltage shall be 600 V.
 • *BSC reserves its rights to change without prior notice the contents of this data.

Construction Drawing.



- More Cost Effective
- More Energy Yield
- More Flexible



BANGKOK SOLAR CO., LTD.

39/1 Moo.1 Bangpakong-Chachoengsao Rd., Sanphudas, Banpho, Chachoengsao 24140 Thailand
 Tel: +66 (0) 3857-7373, +66 (0) 3857-7253 Fax: +66 (0) 3857-7370
 email: sales@bangkoksolar.com

www.bangkoksolar.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อจำหน่ายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ผู้อื่นใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาใดๆของอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Digital Signal Controllers (DSCs)


Check for Samples: TMS320F28335, TMS320F28334, TMS320F28332, TMS320F28235, TMS320F28234, TMS320F28232

TMS320F2833x, TMS320F2823x DSCs

Features

- High-Performance Static CMOS Technology
 - Up to 150 MHz (6.67-ns Cycle Time)
 - 1.9-V/1.8-V Core, 3.3-V I/O Design
- High-Performance 32-Bit CPU (TMS320C28x)
 - IEEE-754 Single-Precision Floating-Point Unit (FPU) (F2833x only)
 - 16 x 16 and 32 x 32 MAC Operations
 - 16 x 16 Dual MAC
 - Harvard Bus Architecture
 - Fast Interrupt Response and Processing
 - Unified Memory Programming Model
 - Code-Efficient (in C/C++ and Assembly)
- Six-Channel DMA Controller (for ADC, McBSP, ePWM, XINTF, and SARAM)
- 16-Bit or 32-Bit External Interface (XINTF)
 - Over 2M x 16 Address Reach
- On-Chip Memory
 - F28335, F28235:
256K x 16 Flash, 34K x 16 SARAM
 - F28334, F28234:
128K x 16 Flash, 34K x 16 SARAM
 - F28332, F28232:
64K x 16 Flash, 26K x 16 SARAM
 - 1K x 16 OTP ROM
- Boot ROM (8K x 16)
 - With Software Boot Modes (via SCI, SPI, CAN, I2C, McBSP, XINTF, and Parallel I/O)
 - Standard Math Tables
- Clock and System Control
 - Dynamic PLL Ratio Changes Supported
 - On-Chip Oscillator
 - Watchdog Timer Module
- GPIO0 to GPIO63 Pins Can Be Connected to One of the Eight External Core Interrupts
- Peripheral Interrupt Expansion (PIE) Block That Supports All 58 Peripheral Interrupts
- 128-Bit Security Key/Lock
 - Protects Flash/OTP/RAM Blocks
 - Prevents Firmware Reverse Engineering
- Enhanced Control Peripherals
 - Up to 18 PWM Outputs
 - Up to 6 HRPWM Outputs With 150 ps MEP Resolution
 - Up to 6 Event Capture Inputs
 - Up to 2 Quadrature Encoder Interfaces
 - Up to 8 32-Bit Timers (6 for eCAPs and 2 for eQEPs)
 - Up to 9 16-Bit Timers (6 for ePWMs and 3 XINTCTRs)
- Three 32-Bit CPU Timers
- Serial Port Peripherals
 - Up to 2 CAN Modules
 - Up to 3 SCI (UART) Modules
 - Up to 2 McBSP Modules (Configurable as SPI)
 - One SPI Module
 - One Inter-Integrated-Circuit (I2C) Bus
- 12-Bit ADC, 16 Channels
 - 80-ns Conversion Rate
 - 2 x 8 Channel Input Multiplexer
 - Two Sample-and-Hold
 - Single/Simultaneous Conversions
 - Internal or External Reference
- Up to 88 Individually Programmable, Multiplexed GPIO Pins With Input Filtering
- JTAG Boundary Scan Support ⁽¹⁾
- Advanced Emulation Features
 - Analysis and Breakpoint Functions
 - Real-Time Debug via Hardware
- Development Support Includes
 - ANSI C/C++ Compiler/Assembler/Linker
 - Code Composer Studio™ IDE
 - DSP/BIOS™
 - Digital Motor Control and Digital Power Software Libraries

(1) IEEE Standard 1149.1-1990 Standard Test Access Port and Boundary Scan Architecture

 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. MicroStar BGA, Code Composer Studio, DSP/BIOS, TMS320C28x, Delfino, PowerPAD, TMS320C54x, TMS320C55x, C28x are trademarks of Texas Instruments. All other trademarks are the property of their respective owners.

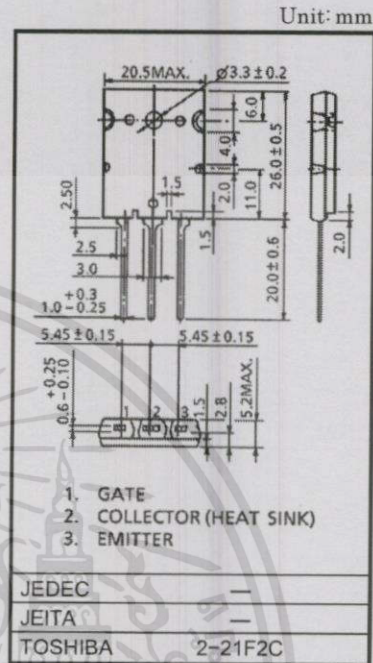
GT60M303

HIGH POWER SWITCHING APPLICATIONS

- Fourth generation IGBT
- FRD included between emitter and collector
- Enhancement mode type
- High speed IGBT : $t_f = 0.25\mu s$ (TYP.)
FRD : $t_{rr} = 0.7\mu s$ (TYP.)
- Low saturation voltage : $V_{CE(sat)} = 2.1V$ (TYP.)

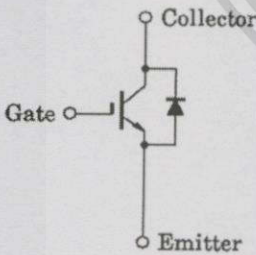
MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	RATING	UNIT
Collector-Emitter Voltage	V_{CES}	900	V
Gate-Emitter Voltage	V_{GES}	±25	V
Collector Current	DC	I_C 60	A
	1ms	I_{CP} 120	
Emitter-Collector Forward Current	DC	I_{ECF} 15	A
	1ms	I_{ECFP} 120	
Collector Power Dissipation (Tc = 25°C)	P_C	170	W
Junction Temperature	T_J	150	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	-55-150	°C
Screw Torque	—	0.8	N·m

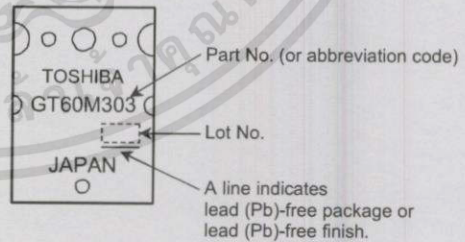


Weight : 9.75g

EQUIVALENT CIRCUIT



MARKING



TOSHIBA

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = 25°C)

91

CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CONDITION	MIN	TYP.	MAX	UNIT
Gate Leakage Current		I_{GES}	$V_{GE} = \pm 25V, V_{CE} = 0$	—	—	± 500	nA
Collector Cut-off Current		I_{CES}	$V_{CE} = 900V, V_{GE} = 0$	—	—	1.0	mA
Gate-Emitter Cut-off Voltage		$V_{GE(OFF)}$	$I_C = 60mA, V_{CE} = 5V$	3.0	—	6.0	V
Collector-Emitter Saturation Voltage		$V_{CE(sat)}(1)$	$I_C = 10A, V_{GE} = 15V$	—	1.6	2.2	V
Collector-Emitter Saturation Voltage		$V_{CE(sat)}(2)$	$I_C = 60A, V_{GE} = 15V$	—	2.1	2.7	V
Input Capacitance		C_{ies}	$V_{CE} = 10V, V_{GE} = 0, f = 1MHz$	—	3800	—	pF
Switching Time	Rise Time	t_r		—	0.35	0.60	μs
	Turn-On Time	t_{on}		—	0.46	0.75	
	Fall Time	t_f		—	0.25	0.40	
	Turn-Off Time	t_{off}		—	0.60	0.70	
Emitter-Collector Forward Voltage		V_{ECF}	$I_{EC} = 15A, V_{GE} = 0$	—	1.5	2.0	V
Reverse Recovery Time		t_{rr}	$I_F = 15A, V_{GE} = 0$ $di/dt = -20A/\mu s$	—	0.7	2.5	μs
Thermal Resistance		$R_{th(j-c)}$	IGBT	—	—	0.74	°C/W
Thermal Resistance		$R_{th(j-c)}$	Diode	—	—	4.0	°C/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLP250

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

The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.

This unit is 8-lead DIP package.

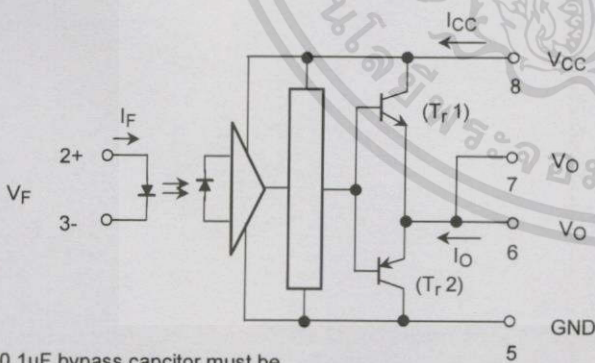
TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

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

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

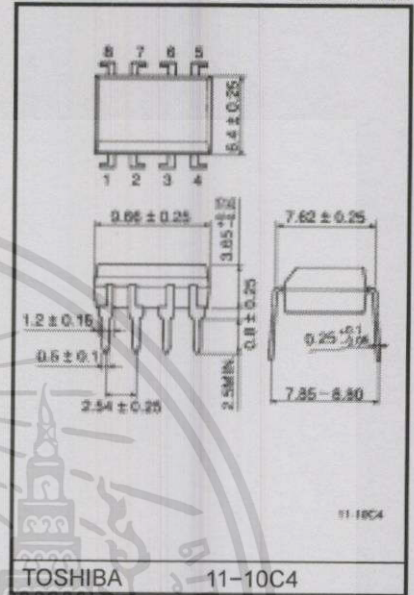
- Creepage distance: $6.4\text{mm}(\text{min.})$
- Clearance: $6.4\text{mm}(\text{min.})$

Schmatic



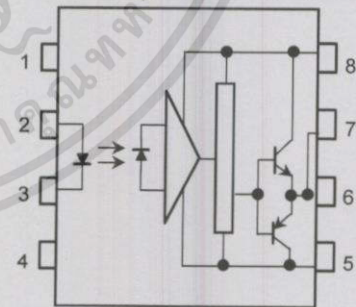
A $0.1\mu\text{F}$ bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).

Unit in mm



Weight: 0.54 g

Pin Configuration (top view)



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

Truth Table

	Tr1	Tr2
Input LED On	On	Off
Input LED Off	Off	On

Characteristic		Symbol	Rating	Unit	
LED	Forward current	I_F	20	mA	
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta I_F / \Delta T_a$	-0.36	mA / °C	
	Peak transient forward current (Note 1)	I_{FPT}	1	A	
	Reverse voltage	V_R	5	V	
	Junction temperature	T_J	125	°C	
Detector	"H" peak output current ($P_W \leq 2.5\mu s, f \leq 15kHz$) (Note 2)	I_{OPH}	-1.5	A	
	"L" peak output current ($P_W \leq 2.5\mu s, f \leq 15kHz$) (Note 2)	I_{OPL}	+1.5	A	
	Output voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_O	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Supply voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_{CC}	35	V
		(Ta = 85°C)		24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_O / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)	$\Delta V_{CC} / \Delta T_a$	-0.73	V / °C	
	Junction temperature	T_J	125	°C	
Operating frequency (Note 3)	f	25	kHz		
Operating temperature range	T_{opr}	-20~85	°C		
Storage temperature range	T_{stg}	-55~125	°C		
Lead soldering temperature (10 s) (Note 4)	T_{sol}	260	°C		
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H. ≤ 60%) (Note 5)	BV_S	2500	Vrms		

Note 1: Pulse width $P_W \leq 1\mu s$, 300pps

Note 2: Exponential waveform

Note 3: Exponential waveform, $I_{OPH} \leq -1.0A$ ($\leq 2.5\mu s$), $I_{OPL} \leq +1.0A$ ($\leq 2.5\mu s$)

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

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

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

Recommended Operating Conditions

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

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



L78xx, L78xxC L78xxAB, L78xxAC

Positive voltage regulator ICs

Datasheet – production data

Features

- Output current up to 1.5 A
- Output voltages of 5; 6; 8; 8.5; 9; 12; 15; 18; 24 V
- Thermal overload protection
- Short circuit protection
- Output transition SOA protection
- 2 % output voltage tolerance (A version)
- Guaranteed in extended temperature range (A version)

Description

The L78xx series of three-terminal positive regulators is available in TO-220, TO-220FP, TO-3, D²PAK and DPAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications.

These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1 A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltage and currents.

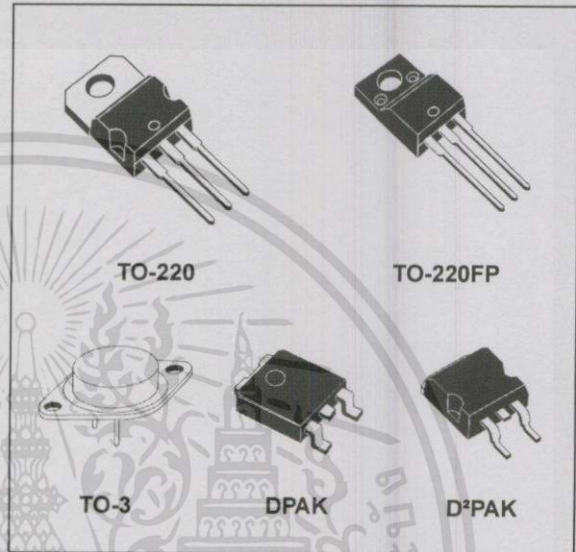


Table 1. Device summary

Part numbers			
L7805	L7806AC	L7809AB	L7815AB
L7805C	L7808C	L7809AC	L7815AC
L7805AB	L7808AB	L7812C	L7818C
L7805AC	L7808AC	L7812AB	L7824C
L7806C	L7885C	L7812AC	L7824AB
L7806AB	L7809C	L7815C	L7824AC

Negative voltage regulators

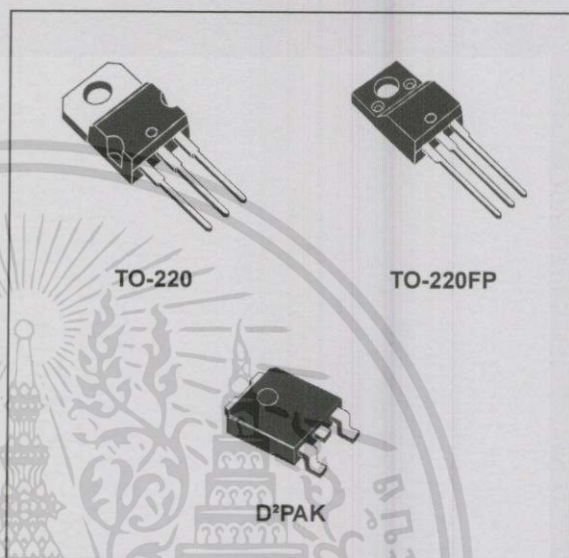
Datasheet – production data

Features

- Output current up to 1.5 A
- Output voltages of - 5; - 8; - 12; - 15 V
- Thermal overload protection
- Short circuit protection
- Output transition SOA protection

Description

The L79xxC series of three-terminal negative regulators is available in TO-220, TO-220FP and D²PAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications. These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation; furthermore, having the same voltage option as the L78xx positive standard series, they are particularly suited for split power supplies. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1.5 A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.


Table 1. Device summary

Part numbers	Order codes				Output voltages
	TO-220		D ² PAK	TO-220FP	
L7905C	L7905CV	L7905CV-DG ⁽¹⁾	L7905CD2T-TR	L7905CP	- 5 V
L7908C	L7908CV	L7908CV-DG ⁽¹⁾			- 8 V
L7912C	L7912CV	L7912CV-DG ⁽¹⁾	L7912CD2T-TR	L7912CP	- 12 V
L7915C	L7915CV	L7915CV-DG ⁽¹⁾	L7915CD2T-TR	L7915CP	- 15 V

1. TO-220 Dual Gauge frame.

2 Maximum ratings

Table 2. Absolute maximum ratings

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_I	DC input voltage	for $V_O = -5$ to -18 V	-35
		for $V_O = -20$ to -24 V	-40
I_O	Output current	Internally limited	
P_D	Power dissipation	Internally limited	
T_{STG}	Storage temperature range	-65 to 150	°C
T_{OP}	Operating junction temperature range	0 to 150	°C

Note: Absolute maximum ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied.

Table 3. Thermal data

Symbol	Parameter	D ² PAK	TO-220	TO-220FP	Unit
R_{thJC}	Thermal resistance junction-case	3	5	5	°C/W
R_{thJA}	Thermal resistance junction-ambient	62.5	50	60	°C/W

4

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = -10\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 2.2\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified.

Electrical characteristics of L7905C

Table 4.

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-4.8	-5	-5.2	V
V_O	Output voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -8\text{ to } -20\text{ V}$	-4.75	-5	-5.25	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = -7\text{ to } -25\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$V_I = -8\text{ to } -12\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			50	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			50	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -8\text{ to } -25\text{ V}$			1.3	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.4		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to } 100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		100		μV
SVR	Supply voltage rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	54	60		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.4		V
I_{sc}	Short circuit current			2.1		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Refer to the test circuits, $T_J = 0$ to 125°C , $V_I = -23\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 2.2\ \mu\text{F}$, $C_O = 1\ \mu\text{F}$ unless otherwise specified.

Table 5. Electrical characteristics of L7915C

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-14.4	-15	-15.6	V
V_O	Output voltage	$I_O = -5\text{ mA to } -1\text{ A}$, $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = -18.5\text{ to } -30\text{ V}$	-14.3	-15	-15.7	V
$\Delta V_O^{(1)}$	Line regulation	$V_I = -17.5\text{ to } -30\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			300	mV
		$V_I = -20\text{ to } -26\text{ V}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			150	
$\Delta V_O^{(1)}$	Load regulation	$I_O = 5\text{ mA to } 1.5\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			300	mV
		$I_O = 250\text{ to } 750\text{ mA}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			150	
I_d	Quiescent current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			3	mA
ΔI_d	Quiescent current change	$I_O = 5\text{ mA to } 1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = -18.5\text{ to } -30\text{ V}$			1	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output voltage drift	$I_O = 5\text{ mA}$		-0.9		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output noise voltage	$B = 10\text{ Hz to } 100\text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$		250		μV
SVR	Supply voltage rejection	$\Delta V_I = 10\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	54	60		dB
V_d	Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$, $\Delta V_O = 100\text{ mV}$		1.1		V
I_{sc}	Short circuit current			1.3		A

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

Current Transducer LA 25-NP

$I_{PN} = 5-6-8-12-25 \text{ At}$

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed..., with galvanic isolation between the primary circuit and the secondary circuit.



Electrical data

I_{PN}	Primary nominal current rms	25	At
I_{PM}	Primary current, measuring range	0 .. ± 36	At
R_M	Measuring resistance @		
	with $\pm 15 \text{ V}$		
	@ $\pm 25 \text{ At}$	$R_{M \min}$ 100	$R_{M \max}$ 320
	@ $\pm 36 \text{ At}$	$R_{M \min}$ 100	$R_{M \max}$ 190
I_{SN}	Secondary nominal current rms	25	mA
K_N	Conversion ratio	1-2-3-4-5 : 1000	
V_C	Supply voltage ($\pm 5 \%$)	± 15	V
I_C	Current consumption	$10 + I_s$	mA

Features

- Closed loop (compensated) current transducer using the Hall effect
- Isolated plastic case recognized according to UL 94-V0.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low temperature drift
- Optimized response time
- Wide frequency bandwidth
- No insertion losses
- High immunity to external interference
- Current overload capability.

Accuracy - Dynamic performance data

X	Accuracy @ I_{PN} , $T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0.5	%
ϵ_L	Linearity error	< 0.2	%
I_O	Offset current ¹⁾ @ $I_p = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ ± 0.05 Max ± 0.15	mA
I_{OM}	Magnetic offset current ²⁾ @ $I_p = 0$ and specified R_M after an overload of $3 \times I_{PN}$	± 0.05 ± 0.15	mA
I_{OT}	Temperature variation of I_O		
	0°C .. +25°C	± 0.06	± 0.25 mA
	+25°C .. +70°C	± 0.10	± 0.35 mA
	-25°C .. +85°C	± 0.5	mA
	-40°C .. +85°C	± 1.2	mA
t_r	Response time ³⁾ to 90 % of I_{PN} step	< 1	μs
di/dt	di/dt accurately followed	> 50	A/ μs
BW	Frequency bandwidth (-1 dB)	DC .. 150	kHz

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Power supplies for welding applications.

General data

T_A	Ambient operating temperature	-40 .. +85	°C
T_S	Ambient storage temperature	-45 .. +90	°C
R_P	Primary coil resistance per turn @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	< 1.25	m Ω
R_S	Secondary coil resistance		
	@ $T_A = 70^\circ\text{C}$	110	Ω
	@ $T_A = 85^\circ\text{C}$	115	Ω
R_{IS}	Isolation resistance @ 500 V, $T_A = 25^\circ\text{C}$	> 1500	M Ω
m	Mass	22	g
	Standards	EN 50178: 1997	

Application domain

- Industrial.

Notes: ¹⁾ Measurement carried out after 15 mn functioning
²⁾ The result of the coercive field of the magnetic circuit
³⁾ With a di/dt of 100 A/ μs .

Current Transducer LA 25-NP
Isolation characteristics

V_d	Rms voltage for AC insulation test, 50 Hz, 1 min	2.5	kV
\hat{V}_w	Impulse withstand voltage 1.2/50 μ s	9	kV
		Min	
dCp	Creepage distance	10.63	mm
dCl	Clearance	10.63	mm
CTI	Comparative Tracking Index (group IIIa)	175	

Applications examples

According to EN 50178 and IEC 61010-1 standards and following conditions:

- Over voltage category OV 3
- Pollution degree PD2
- Non-uniform field

	EN 50178	IEC 61010-1
dCp, dCl, \hat{V}_w	Rated insulation voltage	Nominal voltage
Basic insulation	1700 V	1700 V
Reinforced insulation	600 V	600 V

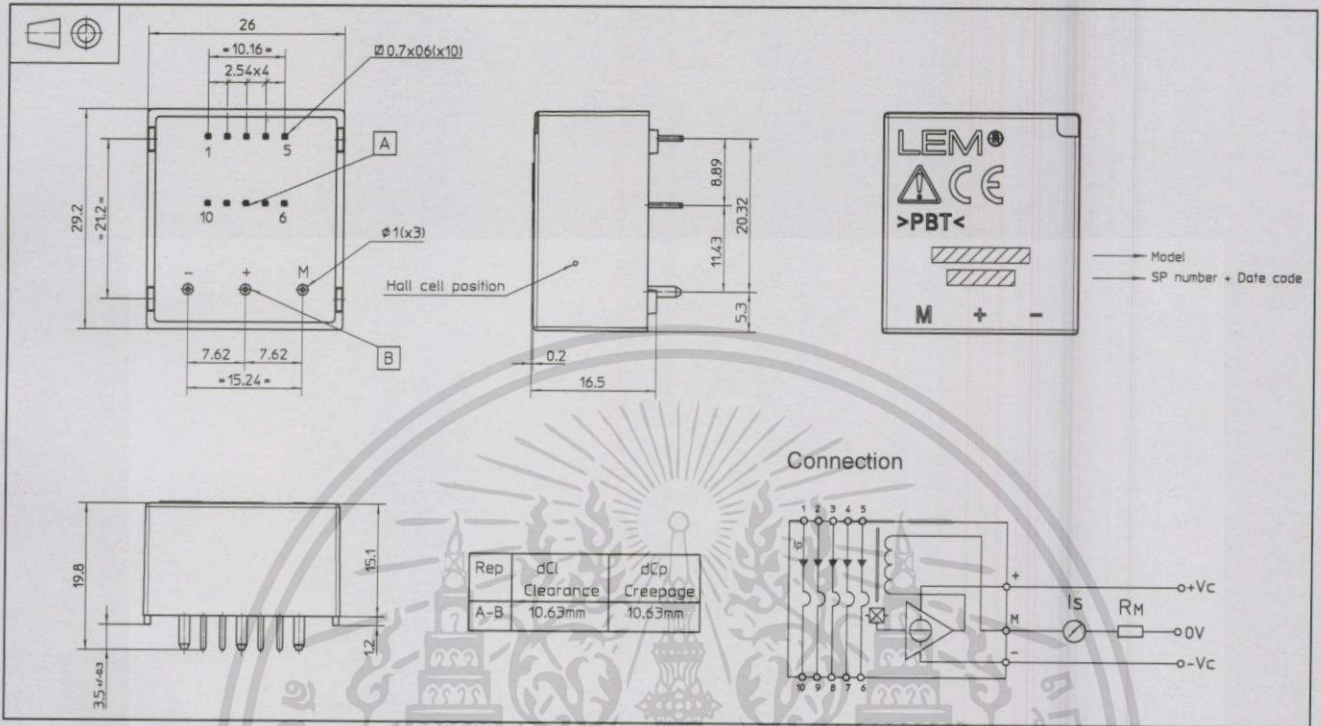
Safety


This transducer must be used in electric/electronic equipment with respect to applicable standards and safety requirements in accordance with the manufacturer's operating instructions.



Caution, risk of electrical shock

When operating the transducer, certain parts of the module can carry hazardous voltage (eg. primary busbar, power supply). Ignoring this warning can lead to injury and/or cause serious damage. This transducer is a build-in device, whose conducting parts must be inaccessible after installation. A protective housing or additional shield could be used. Main supply must be able to be disconnected.

Dimensions LA 25-NP (in mm)


Number of primary turns	Primary current		Nominal output current I_{SN} [mA]	Turns ratio K_N	Primary resistance R_p [mΩ]	Primary insertion inductance L_p [μH]	Recommended connections
	nominal I_{PN} [A]	maximum I_P [A]					
1	25	36	25	1 / 1000	0.3	0.023	
2	12	18	24	2 / 1000	1.1	0.09	
3	8	12	24	3 / 1000	2.5	0.21	
4	6	9	24	4 / 1000	4.4	0.37	
5	5	7	25	5 / 1000	6.3	0.58	

Mechanical characteristics

- General tolerance ± 0.2 mm
- Fastening & connection of primary 10 pins 0.7 x 0.6 mm
- Fastening & connection of secondary 3 pins $\varnothing 1$ mm
- Recommended PCB hole 1.2 mm

Remarks

- I_S is positive when I_P flows from terminals 1, 2, 3, 4, 5 to terminals 10, 9, 8, 7, 6.
- This is a standard model. For different versions (supply voltages, turns ratios, unidirectional measurements...), please contact us.



ISO124 Precision Lowest-Cost Isolation Amplifier

1 Features

- 100% Tested for High-Voltage Breakdown
- Rated 1500 Vrms
- High IMR: 140 dB at 60 Hz
- 0.010% Maximum Nonlinearity
- Bipolar Operation: $V_O = \pm 10$ V
- DIP-16 and SO-28
- Ease of Use: Fixed Unity Gain Configuration
- ± 4.5 -V to ± 18 -V Supply Range

2 Applications

- Industrial Process Control:
 - Transducer Isolator, Isolator for Thermocouples, RTDs, Pressure Bridges, and Flow Meters, 4-mA to 20-mA Loop Isolation
- Ground Loop Elimination
- Motor and SCR Control
- Power Monitoring
- PC-Based Data Acquisition
- Test Equipment

3 Description

The ISO124 is a precision isolation amplifier incorporating a novel duty cycle modulation-demodulation technique. The signal is transmitted digitally across a 2-pF differential capacitive barrier. With digital modulation, the barrier characteristics do not affect signal integrity, thus resulting in excellent reliability and good high-frequency transient immunity across the barrier. Both barrier capacitors are imbedded in the plastic body of the package.

The ISO124 is easy to use. No external components are required for operation. The key specifications are 0.010% maximum nonlinearity, 50-kHz signal bandwidth, and $200\text{-}\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ V_{OS} drift. A power supply range of ± 4.5 V to ± 18 V and quiescent currents of ± 5 mA on V_{S1} and ± 5.5 mA on V_{S2} make the ISO124 ideal for a wide range of applications.

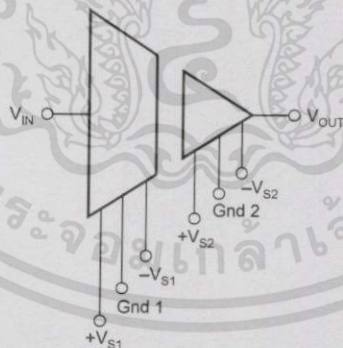
The ISO124 is available in PDIP-16 and SOIC-28 plastic surface-mount packages.

Device Information⁽¹⁾

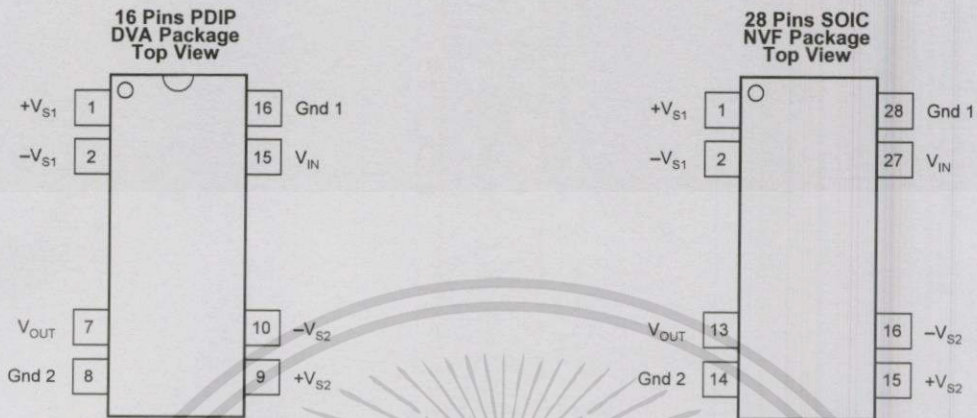
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
ISO124	PDIP (16)	17.90 mm × 7.50 mm
	SOIC (28)	20.01 mm × 6.61 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

4 Simplified Schematic



5 Pin Configuration and Functions



Pin Functions

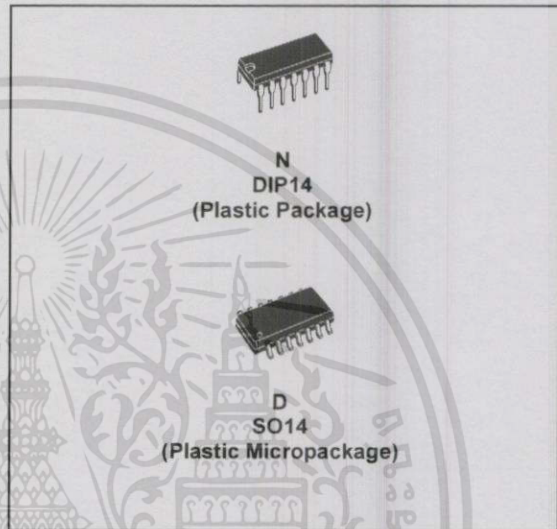
NAME	PIN		I/O	DESCRIPTION
	PDIP	SOIC		
GND	8	14	-	Low-side ground reference
	16	28	-	High-side ground reference
V_{IN}	15	27	I	High-side analog input
V_{OUT}	7	13	O	Low-side analog output
$+V_{S1}$	1	1	-	High-side positive analog supply
$-V_{S1}$	2	2	-	High-side negative analog supply
$+V_{S2}$	9	15	-	Low-side positive analog supply
$-V_{S2}$	10	16	-	Low-side negative analog supply



TL074 TL074A - TL074B

LOW NOISE J-FET QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- LOW NOISE $e_n = 15nV/\sqrt{Hz}$ (typ)
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- LOW HARMONIC DISTORTION : 0.01% (typ)
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : $13V/\mu s$ (typ)



DESCRIPTION

The TL074, TL074A and TL074B are high speed J-FET input quad operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

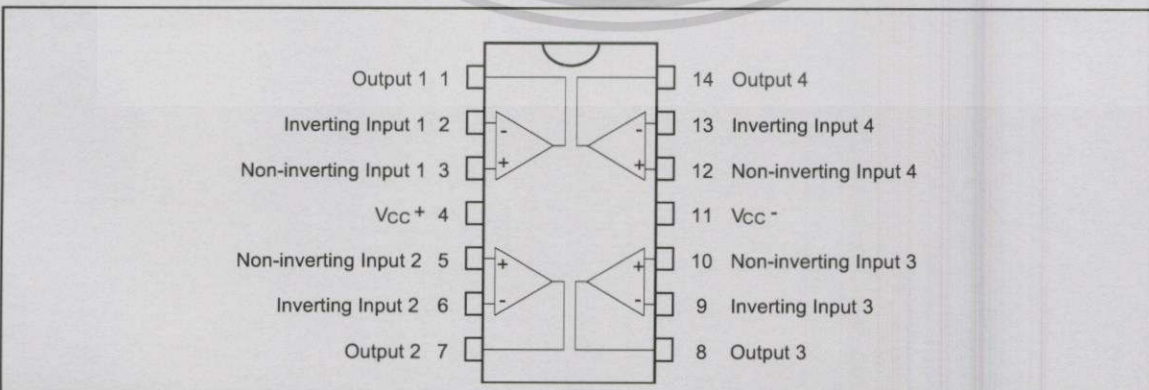
ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
TL074M/AM/BM	-55°C, +125°C	•	•
TL074I/AI/BI	-40°C, +105°C	•	•
TL074C/AC/BC	0°C, +70°C	•	•

Example : TL074IN

N = Dual in Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)

PIN CONNECTIONS (top view)



March 2001

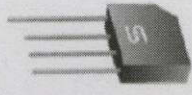
ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{CC} = \pm 15V$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$ (unless otherwise specified)

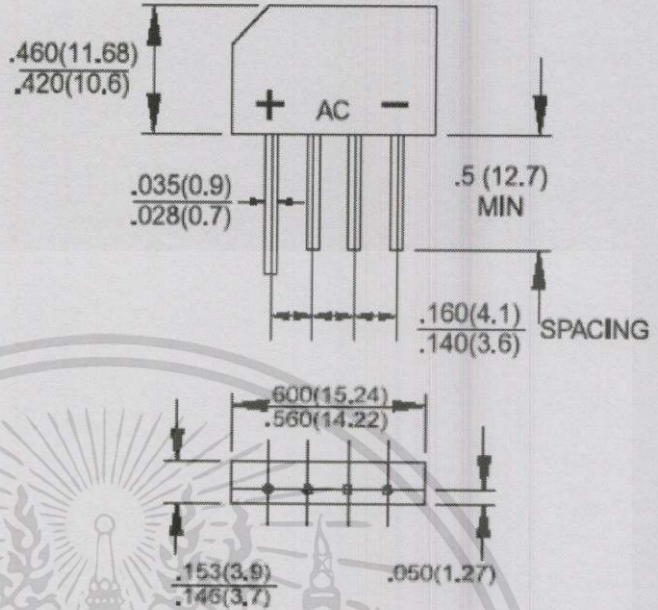
Symbol	Parameter	TL074I,M,AC,AI,AM, BC,BI,BM			TL074C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V_{io}	Input Offset Voltage ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$		3	10		3	10	mV
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	TL074 TL074A TL074B	1	3			13	
DV_{io}	Input Offset Voltage Drift		10			10		$\mu V/^{\circ}C$
I_{io}	Input Offset Current - note 1) $T_{amb} = +25^{\circ}C$		5	100		5	100	pA nA
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$			4		10		
I_{ib}	Input Bias Current -note 1 $T_{amb} = +25^{\circ}C$		20	200		30	200	pA nA
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$			20		20		
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain ($R_L = 2k\Omega$, $V_o = \pm 10V$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$		50	200		25	200	V/mV
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		25			15		
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$		80	86		70	86	dB
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		80			70		
I_{CC}	Supply Current, no load, per amplifier $T_{amb} = +25^{\circ}C$		1.4	2.5		1.4	2.5	mA
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$			2.5		2.5		
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range	± 11	+15 -12		± 11	+15 -12		V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$		80	86		70	86	dB
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		80			70		
I_{os}	Output Short-circuit Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$		10	40		10	40	mA
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		10	60		10	60	
$\pm V_{opp}$	Output Voltage Swing $T_{amb} = +25^{\circ}C$		10	12		10	12	V
	$T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		12	13.5		12	13.5	
	$R_L = 2k\Omega$		10			10		
	$R_L = 10k\Omega$		12			12		
SR	Slew Rate ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 10V$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain		8	13		8	13	V/ μs
t_r	Rise Time ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain		0.1			0.1		μs
K_{ov}	Overshoot ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain		10			10		%
GBP	Gain Bandwidth Product ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 10mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $f = 100kHz$		2	3		2	3	MHz
R_i	Input Resistance		10^{12}			10^{12}		Ω



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



KBP



Features

- ◇ UL Recognized File #E-326243
- ◇ Glass passivated junction
- ◇ Ideal for printed circuit board
- ◇ High case dielectric strength
- ◇ Plastic material has Underwriters laboratory flammability Classification 94V-0
- ◇ Typical IR less than 0.1uA
- ◇ High surge current capability
- ◇ High temperature soldering guaranteed: 260°C/10 seconds at 5 lbs.,(2.3kg) tension
- ◇ Green compound with suffix "G" on packing code & prefix "G" on datecode

Mechanical Data

- ◇ Case: Molded plastic body
- ◇ Terminals: Pure tin plated, lead free, solderable per MIL-STD-202, Method 208
- ◇ Weight: 1.54 grams (0.055 ounce)
- ◇ Mounting position : Any

Dimensions in inches and (millimeters)

Marking Diagram



- KBP30XG = Specific Device Code
- G = Green Compound
- Y = Year
- WW = Work Week

Maximum Ratings and Electrical Characteristics

Rating at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified.
 Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.
 For capacitive load, derate current by 20%


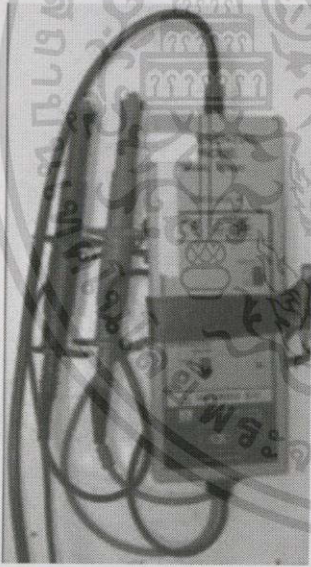
Type Number	Symbol	KBP 301G	KBP 302G	KBP 303G	KBP 304G	KBP 305G	KBP 306G	KBP 307G	Unit
Maximum Repetitive Peak Reverse Voltage	V_{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS Voltage	V_{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC Blocking Voltage	V_{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum Average Forward Rectified Current @TA=50°C	$I_{(AV)}$				3				A
Peak Forward Surge Current, 8.3 ms Single Half Sine-wave Superimposed on Rated Load (JEDEC method)	I_{FSM}				80				A
Rating of fusing (t<8.3ms)	I^2T				26.5				A ² S
Maximum Instantaneous Forward Voltage @ 3 A	V_F				1.1				V
Maximum DC Reverse Current at Rated DC Block Voltage @ TA=25°C @ TA=125 °C	I_R				10 500				uA
Typical Junction Capacitance per leg (Note 1)	C_j				215				pF
Typical Thermal Resistance (Note 2)	$R_{\theta JA}$ $R_{\theta JL}$				30 11				°C/W
Operating Temperature Range	T_J				- 55 to + 150				°C
Storage Temperature Range	T_{STG}				- 55 to + 150				°C

Note 1 : Measured at 1MHz and applied Reverse bias of 4.0V DC
 Note 2 : Unit mount on P.C.B. 0.4" x 0.4" (10mmx10mm) Copper pads, 0.375"(9.5mm) lead length

ไม่จำกัดจำนวน สั่งซื้อซ้ำได้ตลอดเวลา กรุณาแจ้งชื่อและที่อยู่บริษัทของท่านในการสั่งซื้อทุกครั้งเพื่อความสะดวกในการจัดส่งสินค้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	<p>มัลติมิเตอร์ Multimeter Fluke 73/77 Series III Digital Multimeter</p> <p>เป็นเครื่องมือวัดปริมาณทางไฟฟ้า ได้แก่ กระแส ,แรงดัน และ ความต้านทาน</p>
	<p>Differential Probe YOKOGAWA (model 700925)</p> <p>ใช้สำหรับแยกกราวด์ของCH1,CH2เพื่อป้องกัน ความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับ Oscilloscope</p>

	<p>ออสซิลโลสโคป Digital Oscilloscope YOKOGAWA (DL1620)</p> <p>เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับสัญญาณทางไฟฟ้า</p>
	<p>วงจรวัดสัญญาณกระแส (Current sensor)</p> <p>ใช้สำหรับตรวจจับกระแสเข้า Oscilloscope</p>
	<p>หม้อแปลงไฟฟ้าปรับค่าได้ (Variable Voltage Transformer)</p> <p>ใช้สำหรับปรับระดับแรงดันไฟฟ้า</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นาย ปาณชัย พอค้ำชำนาญ
 วัน เดือน ปีเกิด 28 มิถุนายน 2535
 ที่อยู่ 115/7 ซอยสะพานขาว แขวงบางซื่อ
 เขตบางซื่อ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10800
 มัธยมปลาย โรงเรียนสามเสนวิทยาลัย



ชื่อ-นามสกุล นาย เปรม กาญจนธำกูร
 วัน เดือน ปีเกิด 18 พฤศจิกายน 2535
 ที่อยู่ 355/738 ตำบลคูคต อำเภอลำลูกกา
 จังหวัด ปทุมธานี 12130
 มัธยมปลาย โรงเรียนเซนต์ฟรังซิสเซเวียร์



ชื่อ-นามสกุล นาย บุญยชัย โยธา
 วัน เดือน ปีเกิด 15 ตุลาคม 2535
 ที่อยู่ 165/1 ตำบลแม่ต๋ำ อำเภอเมือง
 จังหวัด พะเยา 56000
 มัธยมปลาย โรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรี
 นครินทร์ พะเยา