

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเชื่อมต่อระบบกริด

GRID CONNECTION



T104186



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104186
วัน,เดือน,ปี 30 ต.ค. 2552

b. 421019A1
i.....

ปฏิญานិพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2551

การเชื่อมต่อระบบกริด

GRID CONNECTION



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.วีระเชษฐ ชันเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การเชื่อมต่อระบบกริด

ผู้จัดทำ



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่อระบบกริด

นายภมร อรุณโรจนพรรณ
นายภัทรินทร์ ตีรเลิศพานิช
นายมานพ ชมชื่น
รศ.ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

ปฏิญานินพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการนำเสนอรูปแบบและโครงสร้างการทำงาน การเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์ขนาด 180 วัตต์ เข้ากับระบบการไฟฟ้า ซึ่งในระบบจะประกอบไปด้วยวงจรกำลังและระบบควบคุมการทำงาน โดยในระบบควบคุมนั้นได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC ในการประมวลผลการทำงาน ส่วนในการสร้างแรงดันจากอินเวอร์เตอร์ใช้หลักการการสร้างสัญญาณ SPWM ในการควบคุมการสร้างแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับแล้วผ่านวงจรรองความถี่ต่ำผ่านแล้วจึงนำไปยกระดับแรงดันให้สูงขึ้นเป็น 220 โวลต์ ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบการไฟฟ้าอาศัยหลักการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า ความถี่ และการควบคุมมูมเฟสให้อยู่ในพิภคที่สามารถทำการจ่ายได้ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบอินเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพการทำงานมากกว่า 75 %

GRID CONNECTION

Pamron Arunrotjanapun

Pattarin Teeralertpanich

Manop Chomchuen

Assoc. Prof. Dr. Werachet Khan-ngen Supervisor

2008

ABSTRACT

This thesis proposes the 180 W inverter grid connection system. The designed single phase system consists of a power circuit and control system. The control system uses dsPIC microcontroller to generate the SPWM signal feed through inverter for converting the DC to AC. The low pass filter is used to mitigate high frequency noises before boosting up the AC voltage to 220 V. To synchronize the power from the battery source to electrical power grid, the connecting method is used by microcontroller for controlling voltage, frequency and phase angle. The experimental result shows the good connection performance such as over 75% of inverter.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยบุคคลต่าง ๆ หลายท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือ คอยให้คำปรึกษาอยู่ตลอดเวลา ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบคุณบุคคลทุกท่านเป็นอย่างสูง

รศ.ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน ซึ่งเป็นท่านอาจารย์ผู้ควบคุมการทำงาน ที่คอยให้คำปรึกษา คอยให้ความเอาใจใส่แนะนำและคอยช่วยเหลือทำให้ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำตลอดมา

ขอขอบคุณ พี่ ดัน จำปีทอง ที่คอยให้คำปรึกษาและแก้ปัญหาทั้งในด้านทาง Software และ Hardware จนระบบทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

คณะพี่ ป.โท และพี่ ๆ ทุกคนที่ได้เข้ามาช่วยเหลือให้คำปรึกษาและแก้ปัญหา ให้ข้อมูลในการทำโครงการจนสำเร็จลุล่วงไปเป็นอย่างดี

รวมทั้งขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ได้มีส่วนร่วมการทำงาน และช่วยเหลือกันเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

และสุดท้ายนี้ผู้ที่คอยให้กำลังใจ และห่วงใยอยู่เสมอคือบิดา มารดา ที่ไม่ว่าจะทำอะไรก็จะอยู่เป็นร่มโพธิ์ร่มไทรของผู้จัดทำตลอดไป ขอให้คุณประโยชน์และกุศลอันพึงได้จากปริญญาโทฉบับนี้ ขอมอบแต่ท่านทั้งสองและผู้มีพระคุณทุกท่าน

ผู้จัดทำ

สารบัญ

หน้า

| | |
|---|------|
| บทคัดย่อ..... | I |
| ABSTRACT..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญรูป..... | VII |
| สารบัญตาราง..... | XIII |
| | |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 โครงการที่นำเสนอ..... | 1 |
| 1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ..... | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 2 |
| 1.5 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย..... | 2 |
| 1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... | 4 |
| 1.7 ระยะเวลาการดำเนินโครงการ..... | 5 |
| 1.8 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์..... | 6 |
| | |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... | 7 |
| 2.1 ทฤษฎีอินเวอร์เตอร์..... | 7 |
| 2.1.1 การสวิตชิงด้วยการมอดูเลตความกว้างพัลส์..... | 8 |
| 2.1.2 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฟลูบริดจ์ใช้เทคนิคการสวิตแรงดันแบบไบโพลาร์..... | 18 |
| 2.1.3 ผลของเดดไทม์ต่อแรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์..... | 20 |
| 2.2 ทฤษฎีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า..... | 23 |
| 2.2.1 กำลังไฟฟ้าในรูปคอมเพล็กซ์..... | 23 |
| 2.2.2 การควบคุมการจ่ายไฟฟาระหว่างบัสสองบัส..... | 25 |
| 2.3 หลักการของอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบการไฟฟ้า..... | 31 |
| 2.3.1 การควบคุมกำลังไฟฟ้าจริง..... | 36 |
| 2.3.2 การควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนและตัวประกอบกำลัง..... | 37 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 2.4 ทฤษฎีพื้นฐานวงจรรองความถี่ต่ำผ่านด้านนอก..... | 38 |
| 2.4.1 ลักษณะวงจรรองความถี่ต่ำผ่านแบบต่างๆ..... | 39 |
| 2.4.2 ลำดับขั้นตอนการออกแบบวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน..... | 40 |
| บทที่ 3 การออกแบบสร้างอินเวอร์เตอร์และวงจรรองความถี่ต่ำด้านนอก..... | 44 |
| 3.1 ส่วนประกอบของอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบไฟฟ้า..... | 44 |
| 3.2 ขนาดพิกัดของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อการไฟฟ้า..... | 45 |
| 3.2.1 การหาพิกัดกำลังของอินเวอร์เตอร์..... | 45 |
| 3.2.2 การหาขนาดพิกัดของตัวสวิตช์..... | 47 |
| 3.2.3 การหาขนาดพิกัดของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง..... | 47 |
| 3.2.4 การหาพิกัดขนาดของหม้อแปลง..... | 48 |
| 3.3 การออกแบบวงจรรองความถี่ต่ำผ่านด้านนอก..... | 49 |
| 3.4 ระบบควบคุม..... | 52 |
| 3.4.1 วงจรขั้วนำสวิตช์..... | 53 |
| 3.4.2 วงจรตรวจวัดแรงดันไฟตรง..... | 54 |
| 3.4.3 วงจรตรวจวัดกระแสไฟตรง..... | 54 |
| 3.4.4 วงจรตรวจวัดแรงดันระบบการไฟฟ้า..... | 55 |
| 3.4.5 วงจรตรวจวัดกระแสระบบการไฟฟ้า..... | 55 |
| 3.4.6 วงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์แรงดันระบบการไฟฟ้า..... | 56 |
| 3.4.7 การขั้วเบร็ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์..... | 56 |
| 3.4.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์..... | 58 |
| บทที่ 4 การจำลองระบบอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสเชื่อมต่อการไฟฟ้า..... | 66 |
| 4.1 การสร้างแบบจำลอง..... | 66 |
| 4.1.1 การสร้างแบบจำลองการทำงานของอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสโดยมีโหลด เป็นตัวต้านทาน..... | 68 |
| 4.1.2 การจำลองการทำงานของวงจรรองเพื่อหาประสิทธิภาพของวงจรรอง ที่ใช้งานจริง..... | 70 |
| 4.1.2.1 การจำลองการทำงานของวงจรรองแบบแอล..... | 70 |

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| 4.1.3 การจำลองการทำงานของระบบอินเวอร์เตอร์ร่วมกับ วงจรกรองต่อแบบหม้อแปลง | 74 |
| 4.1.4 การจำลองระบบอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส | 77 |
| บทที่ 5 การจำลองและผลการทดลอง | 80 |
| 5.1 การทดลองหาประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์จ่ายให้กับหลอดไฟ | 81 |
| 5.2 การจำลองการจ่ายโหลดที่พิกัดต่างๆรวมกับการไฟฟ้า | 95 |
| บทที่ 6 สรุปผลและวิจารณ์ | 105 |
| 6.1 ข้อดีของอินเวอร์เตอร์ที่ได้ออกแบบ | 105 |
| 6.2 ข้อเสียของอินเวอร์เตอร์ที่ได้ออกแบบ | 106 |
| 6.3 ปัญหาระหว่างทำโครงการ | 106 |
| 6.4 สิ่งสมควรได้รับการพัฒนาต่อไปสำหรับโครงการนี้ | 107 |
| เอกสารอ้างอิง | 108 |
| ภาคผนวก ก รูปถ่ายชิ้นงานและอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง | 109 |
| ภาคผนวก ข โปรแกรมควบคุมการทำงาน dsPIC | 119 |
| ภาคผนวก ค ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชุดทดลอง | 114 |

สารบัญรูป

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 1.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน..... | 4 |
| รูปที่ 2.1 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวหนึ่งกึ่ง..... | 8 |
| รูปที่ 2.2 การสร้างสัญญาณสวิตช์แบบพีดับเบิลยูเอ็ม..... | 11 |
| รูปที่ 2.3 พีดับเบิลยูเอ็มแบบไซน์..... | 12 |
| รูปที่ 2.4 รูปคลื่นพีดับเบิลยูเอ็มแบบโอเวอร์มอดูเลตชั้น..... | 14 |
| รูปที่ 2.5 สเปกตรากของรูปคลื่นพีดับเบิลยูเอ็มแบบโอเวอร์มอดูเลตชั้น..... | 15 |
| รูปที่ 2.6 การควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าทางอินเวอร์เตอร์พีดับเบิลยูเอ็ม โดยการปรับดัชนีมอดูเลตด้านแอมพลิจูด..... | 16 |
| รูปที่ 2.7 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฟลูบริดจ์..... | 18 |
| รูปที่ 2.8 การสวิตช์แรงดันแบบไบโพลาร์..... | 20 |
| รูปที่ 2.9 ผลของเดดไทม์ต่อแรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์..... | 22 |
| รูปที่ 2.10 ผลของเดดไทม์ต่อแรงดันด้านด้านออกรูปไซน์..... | 23 |
| รูปที่ 2.11 แรงดันไฟฟ้าและกระแสที่แก้อ้างอิงใดๆ..... | 23 |
| รูปที่ 2.12 การส่งกำลังไฟฟ้าระหว่างสองบัส..... | 25 |
| รูปที่ 2.13 กราฟแสดงการควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนในหน่วย เปอร์ยูนิตที่จ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่บัสสอง..... | 30 |
| รูปที่ 2.14 วงจรกำลังอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบการไฟฟ้า..... | 31 |
| รูปที่ 2.15 วงจรสมมูลของอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบการไฟฟ้า..... | 31 |
| รูปที่ 2.16 แผนภาพเฟสเซอร์แรงดันและกระแส..... | 34 |
| รูปที่ 2.17 ทิศทางและรูปคลื่นกระแส, แรงดันที่จุดเชื่อมต่อกับระบบการไฟฟ้า..... | 36 |
| รูปที่ 2.18 การกั้นสัญญาณของวงจรกรองแบบอุดมคติ..... | 38 |
| รูปที่ 2.19 การกั้นสัญญาณของวงจรกรองแบบปฏิบัติ..... | 39 |
| รูปที่ 3.1 แผนผังส่วนประกอบอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบการไฟฟ้า..... | 45 |
| รูปที่ 3.2 วงจรกรองที่ได้จากการออกแบบ..... | 51 |
| รูปที่ 3.3 วงจรขั้วนำสวิตช์..... | 53 |
| รูปที่ 3.4 วงจรตรวจวัดแรงดันไฟตรง..... | 54 |
| รูปที่ 3.5 วงจรตรวจวัดกระแสไฟตรง..... | 54 |
| รูปที่ 3.6 วงจรตรวจวัดแรงดันระบบการไฟฟ้า..... | 55 |
| รูปที่ 3.7 วงจรตรวจวัดกระแสไฟฟ้าของระบบการไฟฟ้า..... | 55 |

สารบัญรูป(ต่อ)

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 3.8 วงจรตรวจวัดจุดตัดศูนย์แรงดันระบบการไฟฟ้า | 56 |
| รูปที่ 3.9 วงจรรีเลย์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ | 57 |
| รูปที่ 3.10 ไตอะแกรมการทำงานและส่วนประกอบทั้งหมดของ dsPIC4011 | 59 |
| รูปที่ 3.11 โครงสร้างทางโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ | 65 |
| รูปที่ 4.1 ลำดับขั้นตอนการการจำลอง | 67 |
| รูปที่ 4.2 การจำลองการทำงานของอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส โดยมีโหลดเป็นตัวต้านทาน | 68 |
| รูปที่ 4.3 การจำลองการทำงานของอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสต่อกับวงจรกรองแบบแอล | 69 |
| รูปที่ 4.4 สเปคตร้าฮามอนิกของแรงดันต้านออกของอินเวอร์เตอร์ | 69 |
| รูปที่ 4.5 วงจรจำลองอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสต่อกับวงจรกรองความถี่แบบแอล | 70 |
| รูปที่ 4.6 ผลการจำลองแรงดันหลังผ่านวงจรกรองแบบแอล | 71 |
| รูปที่ 4.7 ผลการจำลองกระแสหลังผ่านวงจรกรองแบบแอล | 71 |
| รูปที่ 4.8 สเปคตร้าฮามอนิกของแรงดันต้านออกของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 20 kHz หลังผ่านวงจรกรองแบบแอลลดลง 0.2 โวลต์ | 72 |
| รูปที่ 4.9 ผลการจำลองวงจรกรองแบบ L มีค่า THD = 1.57% | 73 |
| รูปที่ 4.10 วงจรอินเวอร์เตอร์ร่วมกับวงจรกรองแบบแอลต่อกับหม้อแปลง | 74 |
| รูปที่ 4.11 ผลการจำลองแรงดันหลังผ่านหม้อแปลง | 74 |
| รูปที่ 4.12 ผลการจำลองกระแสหลังผ่านหม้อแปลง | 75 |
| รูปที่ 4.13 ผลการจำลองวงจรอินเวอร์เตอร์กับจรรกรองแบบ L ต่อกับหม้อแปลง THD = 36.35% | 75 |
| รูปที่ 4.14 ผลการจำลองวงจรอินเวอร์เตอร์กับจรรกรองแบบ L ต่อกับหม้อแปลง THD = 36.35% | 76 |
| รูปที่ 4.15 วงจรระบบอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส | 77 |
| รูปที่ 4.16 ผลการจำลองแรงดันเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส | 77 |
| รูปที่ 4.17 ผลการจำลองกระแสเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส | 78 |
| รูปที่ 4.18 ผลการจำลองระบบอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับ ระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส THD = 36.35% | 79 |
| รูป 5.1 แสดงวงจรที่ใช้ในการทดลองหาประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ | 81 |

VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| รูป 5.2 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเออาร์ฟุตของอินเวอร์เตอร์ ตอน No – Load | 82 |
| รูป 5.3 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดันอินเวอร์เตอร์ ตอน No – Load | 82 |
| รูป 5.4 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเออาร์ฟุตของอินเวอร์เตอร์เมื่อ จ่ายโหลด 40 W | 83 |
| รูป 5.5 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดันอินเวอร์เตอร์เมื่อ จ่ายโหลด 40 W | 83 |
| รูป 5.6 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเออาร์ฟุตของอินเวอร์เตอร์เมื่อ จ่ายโหลด 100 W | 84 |
| รูป 5.7 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดันอินเวอร์เตอร์เมื่อ จ่ายโหลด 100 W | 84 |
| รูป 5.8 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเออาร์ฟุตของอินเวอร์เตอร์เมื่อ จ่ายโหลด 200 W | 85 |
| รูป 5.9 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดันอินเวอร์เตอร์เมื่อ จ่ายโหลด 200 W | 85 |
| รูป 5.10 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเออาร์ฟุตของอินเวอร์เตอร์เมื่อ จ่ายโหลด 300 W | 86 |
| รูป 5.11 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดันอินเวอร์เตอร์เมื่อ จ่ายโหลด 300 W | 86 |
| รูป 5.12 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเออาร์ฟุตของอินเวอร์เตอร์เมื่อ จ่ายโหลด 400 W | 87 |
| รูป 5.13 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดันอินเวอร์เตอร์เมื่อ จ่ายโหลด 400 W | 87 |

| | |
|---|----|
| รูปที่ 5.14 แสดงวงจรการทดลองหาประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์..... | 88 |
| รูปที่ 5.15 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุตของ อินเวอร์เตอร์ตอน No – Load..... | 89 |
| รูป 5.16 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดัน อินเวอร์เตอร์ตอน No – Load..... | 89 |
| รูปที่ 5.17 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุตของ อินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 40 W..... | 90 |
| รูป 5.18 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดัน อินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 40 W..... | 90 |
| รูปที่ 5.19 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุตของ อินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 100 W..... | 91 |
| รูป 5.20 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดัน อินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 100 W..... | 91 |
| รูปที่ 5.21 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุตของ อินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 200 W..... | 92 |
| รูป 5.22 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดัน อินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 200 W..... | 92 |
| รูปที่ 5.23 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุตของ อินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 300 W..... | 93 |
| รูป 5.24 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดัน อินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 300 W..... | 93 |
| รูปที่ 5.25 แสดงวงจรที่ใช้ในการทดลองจ่ายโหลดหลอดไฟร่วมกับระบบการไฟฟ้า..... | 95 |
| รูปที่ 5.26 สัญญาณแรงดันอินเวอร์เตอร์ กับ สัญญาณแรงดันการไฟฟ้า..... | 95 |
| รูป 5.27 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดัน อินเวอร์เตอร์ ขณะ No - Load..... | 96 |
| รูปที่ 5.28 สัญญาณแรงดันอินเวอร์เตอร์ กับ แรงดันการไฟฟ้า ขณะต่อ Load พิกัด 80 W..... | 96 |

สารบัญญรูป(ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 5.29 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุตของ อินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 80 W | 97 |
| รูป 5.30 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดัน อินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 80 W | 97 |
| รูปที่ 5.31 สัญญาณแรงดันอินเวอร์เตอร์ กับ แรงดันการไฟฟ้า ขณะต่อ Load พิกัด 140 W | 98 |
| รูปที่ 5.32 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุตของ อินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 140 W | 98 |
| รูป 5.33 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดัน อินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 140W | 99 |
| รูปที่ 5.34 สัญญาณแรงดันที่ทำการซิงโครไนซ์กันแล้ว ขณะต่อกับโหลด 80 W | 99 |
| รูปที่ 5.35 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุตขณะเชื่อมต่อกับการไฟฟ้า ที่โหลด 80 W | 100 |
| รูป 5.36 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมขณะทำการเชื่อมต่อกับการไฟฟ้า ที่โหลด 80 W | 100 |
| รูป 5.37 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าขณะทำการเชื่อมต่อกับการไฟฟ้า ที่โหลด 80 W | 101 |
| รูปที่ 5.38 สัญญาณแรงดันและกระแสที่ทำการซิงโครไนซ์กันแล้ว ขณะต่อกับโหลด 80 W | 101 |
| รูปที่ 5.39 สัญญาณแรงดันที่ทำการซิงโครไนซ์กันแล้ว ขณะต่อกับโหลด 140 W | 102 |
| รูปที่ 5.40 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุตขณะเชื่อมต่อกับการไฟฟ้า ที่โหลด 140 W | 102 |
| รูป 5.41 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมขณะทำการเชื่อมต่อกับการไฟฟ้า ที่โหลด 140 W | 103 |

สารบัญรูป(ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| รูป 5.42 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าขณะทำการเชื่อมต่อการไฟฟ้า ที่โหลด 140 W | 103 |
| รูปที่ 5.43 สัญญาณแรงดันและกระแสที่ทำการซิงโครไนซ์กันแล้ว ขณะต่อกับโหลด 140 W | 104 |



XII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 1.1 คุณสมบัติอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงการ..... | 3 |
| ตารางที่ 1.2 แสดงผังเวลาดำเนินโครงการ..... | 5 |
| ตารางที่ 2.1 ฮาร์มอนิกของ $(\hat{V}_{Ao})_h / (V_d/2)$ | 17 |
| ตารางที่ 2.2 แสดงการใช้วงจรกรองอันดับหนึ่งและสอง ให้เหมาะกับอิมพีแดนซ์ ด้านแหล่งจ่ายและโหลด | 40 |
| ตารางที่ 2.3 แสดงการใช้วงจรกรองอันดับสามและสี่ให้เหมาะกับอิมพีแดนซ์ ด้านแหล่งจ่ายและโหลด | 41 |
| ตารางที่ 2.4 ค่าอัตราการลดทอน (Lss) ในหน่วย dB/Octave | 43 |
| ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบรวมทั้ง จ่ายโหลดหลอดไฟที่พิกัดต่างๆ | 88 |
| ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบรวมทั้งจ่ายโหลดหลอดไฟ ที่พิกัดต่างๆโดยมีการปรับค่าดัชนีมอดูเลตเพื่อรักษาระดับแรงดัน | 94 |
| ตารางที่ 5.3 แสดงเอาต์พุตของโหลด | 104 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการใช้พลังงานไฟฟ้ามีมากขึ้นเห็นได้จากการดำเนินชีวิตประจำวันล้วนเกี่ยวข้องกับพลังงานไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นการทำงาน เครื่องอำนวยความสะดวกต่าง ๆ โดยที่แหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้านั้นต้องใช้เชื้อเพลิง เชื้อเพลิงที่ใช้นั้นมีหลายอย่าง ในปัจจุบันเราใช้น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ซึ่งเชื้อเพลิงเหล่านี้เป็นเชื้อเพลิงที่มีวันหมด

จึงเกิดแนวความคิดพลังงานทดแทน เป็นพลังงานทางเลือก ตัวอย่างเช่น พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานลม สำหรับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ก่อนนำมาใช้งานจำเป็นต้องมีอุปกรณ์แปลงกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ ถ้าเราสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับกลับคืนให้กับระบบได้ จะเป็นการลดต้นทุนให้กับการใช้ไฟฟ้าได้ สำหรับการแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ และการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้า ต้องใช้อินเวอร์เตอร์โดยถ้าหากสามารถทำการควบคุมให้อินเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ จะทำให้การทำงานของอินเวอร์เตอร์มีความผิดพลาดน้อย การออกแบบให้อินเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้จากการสั่งงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถที่จะทำการพัฒนาโปรแกรมเพื่อไปใช้งานอย่างอื่นได้อีกเช่นกัน

1.2 โครงงานที่นำเสนอ

อินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสต่อการไฟฟ้า มีส่วนประกอบแบ่งเป็น 4 ส่วนหลักๆ คือ

1. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (V_d)
2. วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter circuit)
3. วงจรต่อกับระบบไฟฟ้า (Grid – connected circuit)
4. ระบบควบคุม (Control system)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ออกแบบและสร้างอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อกับระบบการไฟฟ้าหนึ่งเฟส
2. ออกแบบและสร้างวงจรรองความถี่ต่ำผ่านที่ด้านออกของอินเวอร์เตอร์เพื่อลดทอนสัญญาณรบกวน
3. ศึกษาเทคนิคการควบคุมการเลื่อนเฟสเพื่อปรับมุมกำลังการไหลของปริมาณไฟฟ้า
4. ศึกษาเทคนิคการควบคุมการแบ่งจ่ายกำลังไฟฟ้าระหว่างระบบการไฟฟ้ากับอินเวอร์เตอร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เรียนรู้และเข้าใจถึงหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์
2. เรียนรู้และเข้าใจถึงหลักการออกแบบวงจรรองความถี่ต่ำผ่านเพื่อลดทอนสัญญาณรบกวน
3. เรียนรู้และเข้าใจถึงหลักการจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้า
4. อินเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นมาสามารถเชื่อมต่อกับระบบการไฟฟ้าได้และเป็นต้นแบบในการพัฒนาต่อไป

1.5 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อกับระบบการไฟฟ้าหนึ่งเฟสควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์มีพิกัดตามตารางที่ 1.1
2. ทำการศึกษาและออกแบบวงจรรองความถี่ต่ำผ่านแบบพาสซีฟ

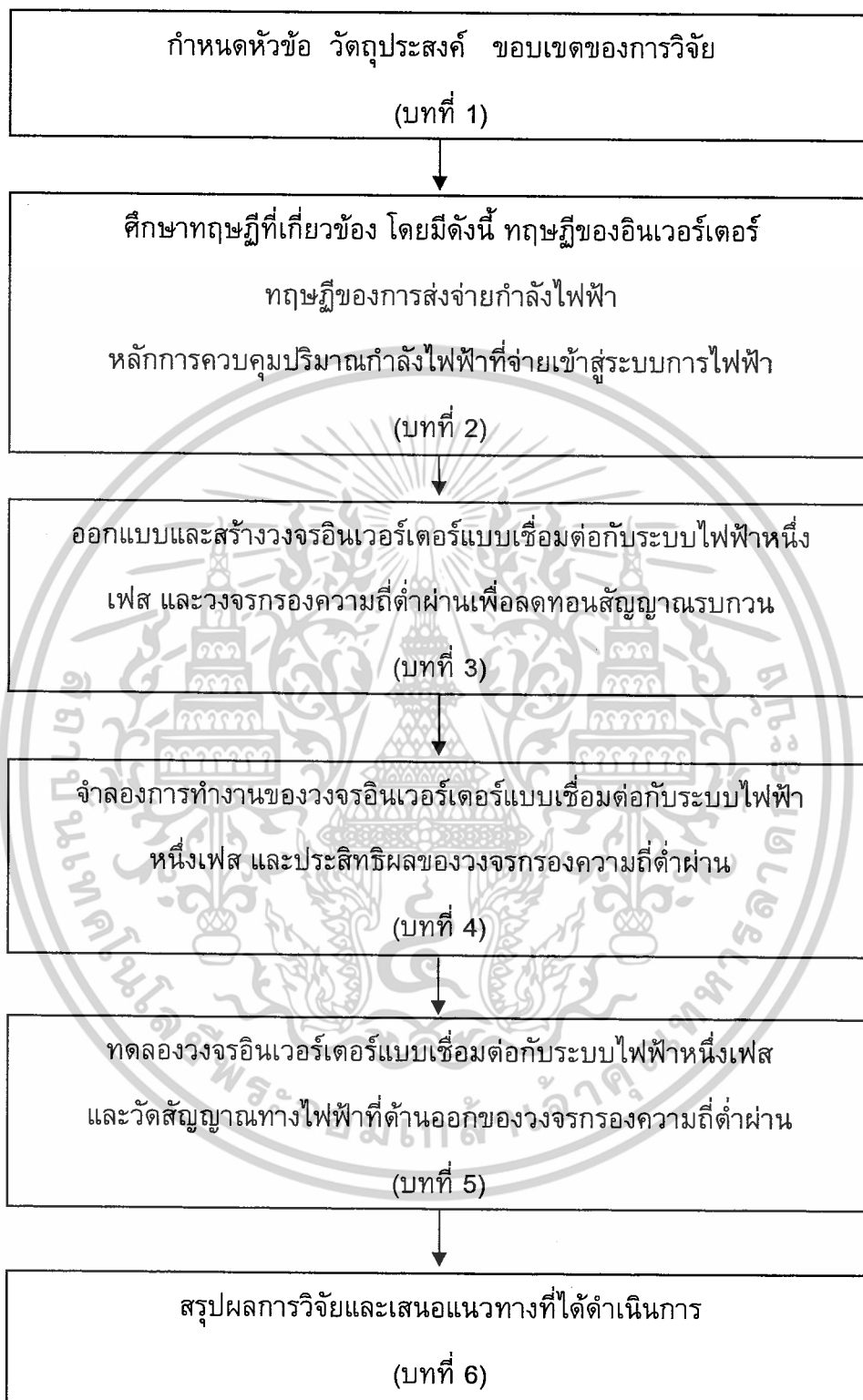
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 คุณสมบัติอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงการ

| รายการ | | ข้อกำหนด |
|-----------------------------------|--------------------------|---|
| พิกัดแรงดันด้านเข้า | ใช้แบตเตอรี่ | 48-60 V _{dc} , 48 V _{dc} (ปกติ) |
| พิกัดด้านออกที่ต่อกับระบบการไฟฟ้า | แรงดันไฟฟ้า | หนึ่งเฟส 220 V _{ac} ±5% |
| | ความถี่ | 50Hz, ±1% |
| | กำลังไฟฟ้า | 500 W |
| พิกัดอินเวอร์เตอร์ | เทคนิคการควบคุมสวิตช์ | SPWM |
| | ตัวสวิตช์ | IGBT |
| | ความถี่ในการสวิตช์ | 20 kHz |
| | ดัชนีมอดูเลต | 0.65-0.95, 0.8 (ปกติ) |
| | แรงดันไฟฟ้าด้านออก | 27 - 40 V _{ac} , 27 (ปกติ) |
| | การแยกกราวด์กับระบบไฟฟ้า | หม้อแปลงกำลัง 22/220 V _{ac} |
| | วงจรกรองด้านออก | Passive LC filter |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

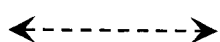
1.7 ฝั่งเวลาการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.2 แสดงฝั่งเวลาดำเนินโครงการ

| หัวข้อการดำเนินการ | 2551 | | | | | | | 2552 | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | ม.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | ส.ค. |
| 1.กำหนดหัวข้อ วัตถุประสงค์ ขอบเขตของการวิจัย | ↔ | | | | | | | | | |
| 2.ศึกษาทฤษฎี บทความ ปริยญาณิพนธ์ วิทยานิพนธ์ ที่เกี่ยวข้อง | ↔ | | | | | | | | | |
| 3.ออกแบบและจำลอง วงจรอินเวอร์เตอร์ วงจร กรอง ความถี่ต่ำผ่านการ เชื่อมต่อบริการ | | | ↔ | | | | | | | |
| 4.สร้างและทดลองวงจร ที่ออกแบบ ควบคุมการเชื่อมต่อกับ ระบบไฟฟ้า | | | | ↔ | | | | | | |
| 5.สรุปและจัดทำ ปริยญาณิพนธ์ | | | | | | | ↔ | | | |



แผนการดำเนินงานที่กำหนดไว้



แผนการดำเนินงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.8 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์

เนื้อหาที่จะได้กล่าวถึงภายในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง โครงการที่นำเสนอ
วัตถุประสงค์ของโครงการ ผลงานที่คาดว่าจะได้รับ ขอบเขต แผนการดำเนินโครงการ

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องอธิบายถึงหลักการและทฤษฎีที่สำคัญที่ใช้ในการอ้างอิงและ
ใช้จัดทำโครงการ

บทที่ 3 การออกแบบและสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อกับระบบการไฟฟ้าหนึ่ง
เฟส และวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเพื่อลดทอนสัญญาณรบกวน

บทที่ 4 การจำลองการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อกับการไฟฟ้าหนึ่งเฟส
และการหาประสิทธิภาพของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

บทที่ 5 ผลการทดลอง จากชิ้นโครงการที่ได้ทำการสร้างและทดลอง ตามขอบเขตที่
กำหนด เก็บข้อมูล บันทึกผลการทดลอง

บทที่ 6 บทสรุปและเสนอแนวทางที่จะดำเนินการ การสรุปผลที่ได้ ปัญหาที่เกิดขึ้น และ
แนวทางการแก้ไขปรับปรุงเพื่อการพัฒนาโครงการนี้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับระบบไฟฟ้า ก่อนที่จะทำการออกแบบอินเวอร์เตอร์ ในบทนี้จะกล่าวถึง ทฤษฎีของอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ทฤษฎีของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า หลักการควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้าทฤษฎีของวงจรกรองความถี่ต่ำด้านออก

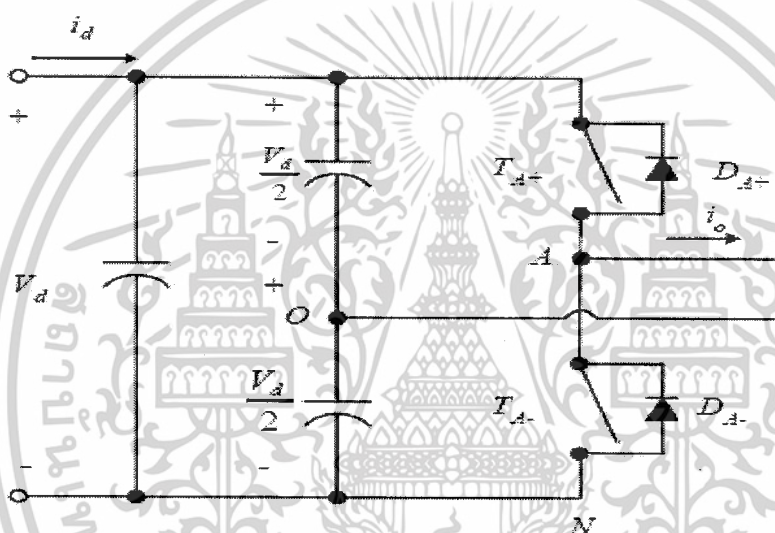
2.1 ทฤษฎีของอินเวอร์เตอร์ [1]

อินเวอร์เตอร์ที่ทำการแปลงผันกำลังไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับจะสามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มคือ อินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage Source Inverter : VIS) กับอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายกระแส (Current Source Inverter : CSI)

อินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน มักจะเหมาะสำหรับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าไม่สูงมากนัก แต่อินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายกระแสจะเหมาะสำหรับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูง อินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันอาจแบ่งเป็น 2 ประเภท ที่นิยมนำไปใช้งานคือ อินเวอร์เตอร์แบบพีดับเบิลยูเอ็ม (Pulse Width-Modulation : PWM inverter) ส่วนอีกประเภทที่นิยมคืออินเวอร์เตอร์แบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (square-wave inverter) ซึ่งมีโครงสร้างไม่ซับซ้อน แต่มีข้อเสียคือขนาดของฮาร์มอนิกอันดับต่ำๆจะมีค่าสูง

2.1.1 การสวิตช์ด้วยการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Sinusoidal Pulse Width Modulation : SPWM)

ในวงจรอินเวอร์เตอร์ ต้องการจะสร้างแรงดันไฟฟ้าด้านออกเป็นรูปไซน์ที่สามารถปรับขนาดและความถี่ตามต้องการได้ โดยจะใช้สัญญาณควบคุมรูปไซน์ (sinusoidal control signal) ตามความถี่ที่ต้องการนำมาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นสามเหลี่ยม (triangular waveform) เพื่อความเข้าใจการทำงานของอินเวอร์เตอร์ ในรูปที่ 2.1 จะแสดงเพียงหนึ่งกิ่งของวงจรอินเวอร์เตอร์คือกิ่ง A หรือ เฟส A ที่สมมติให้แรงดันไฟฟ้าด้านเข้ามีค่าคงที่และกำหนดให้การสวิตช์ทำงานเป็นแบบ พัดดับเบิลยูเอ็ม [1]



รูปที่ 2.1 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวที่หนึ่งกิ่ง [1]

คำย่อและความหมายที่สำคัญของการสวิตช์แบบพัดดับเบิลยูเอ็ม มีดังต่อไปนี้

- $V_{control}$ สัญญาณควบคุมรูปไซน์ที่ต้องการนำมาสร้างแรงดันไฟฟ้าและความถี่ทางด้านออก
- V_{tri} สัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่เป็นตัวกำหนดความถี่สวิตช์
- f_1 ความถี่หลักมูลทางด้านออกของอินเวอร์เตอร์
- f_s ความถี่ของการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์
- m_a อัตราการมอดูเลตด้านแอมพลิจูด
- m_f อัตราการมอดูเลตด้านความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า m_a และ m_f จะนิยามจากสมการที่ (2.1ก) และ (2.1ข) ตามลำดับ

$$m_a = \frac{\hat{V}_{control}}{\hat{V}_{tri}} \quad (2.1ก)$$

$$m_f = \frac{f_s}{f_1} \quad (2.1ข)$$

เมื่อ $\hat{V}_{control}$ คือค่ายอดควบคุมสัญญาณไซน์

\hat{V}_{tri} คือค่ายอดสัญญาณรูปสามเหลี่ยม

ถ้าค่า $0 \leq m_a \leq 1$ จะเป็นช่วงการมอดูเลตเชิงเส้น ซึ่งหมายถึงองค์ประกอบหลักมูลของแรงดันไฟฟ้าด้านออก (fundamental-frequency component of the output voltage) โดยจะแปรผันเชิงเส้นกับค่า m_a

ในกรณี $m_a > 1$ จะเป็นช่วงการควบคุมแบบโอเวอร์มอดูเลต ซึ่งผลของแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะมีองค์ประกอบฮาร์มอนิกสูงกว่าช่วงการมอดูเลตเชิงเส้นสำหรับเงื่อนไขของการสร้างสัญญาณสวิตชิงแบบพีดับเบิลยูเอ็ม คือ

$$v_{control} > v_{tri}, T_{A+} \text{ จะนำกระแส } v_{A0} = \frac{1}{2} v_d \quad (2.2)$$

$$v_{control} < v_{tri}, T_{A-} \text{ จะนำกระแส } v_{A0} = -\frac{1}{2} v_d \quad (2.3)$$

การทำงานของสวิตช์ T_{A+} และ T_{A-} จะขึ้นอยู่กับผลการเปรียบเทียบของ $v_{control}$ กับ v_{tri} โดยจะมีเงื่อนไขดังสมการที่ (2.2) และ (2.3) และจะไม่ขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแส รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างเมื่อกำหนดเงื่อนไขที่ $m_a = 0.8$ และ $m_f = 15$ ฮาร์มอนิกสเปคตรัม (harmonic spectrum) ของ v_{A0} โดยเขียนกราฟเทียบกับค่าแกนตั้ง $(\hat{V}_{A0})_h / (V_d/2)$ แสดงในรูปที่ 2.2 (ค) จะมีส่วนสำคัญสามส่วนคือ

1). ค่ายอดของแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่หลักมูล

$$(\hat{V}_{A0})_1 = m_a (V_d/2)$$

โดยมีความสัมพันธ์จาก

$$V_{A0} = \frac{v_{control}}{\hat{V}_{tri}} \cdot \frac{V_d}{2} , \quad v_{control} \leq \hat{V}_{tri} \quad (2.4)$$

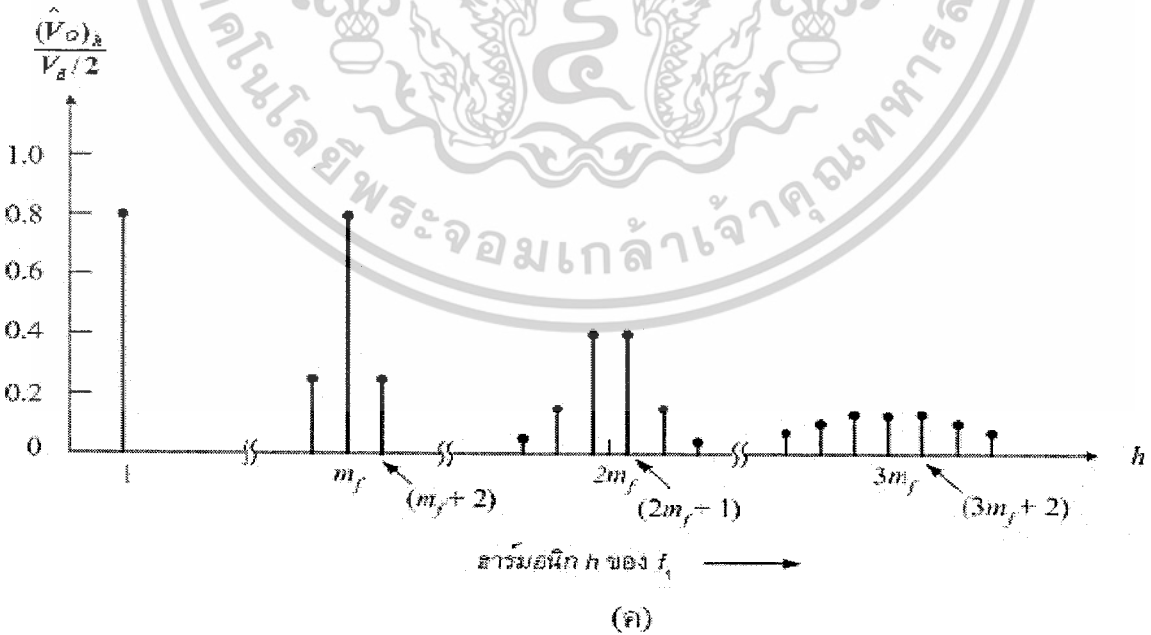
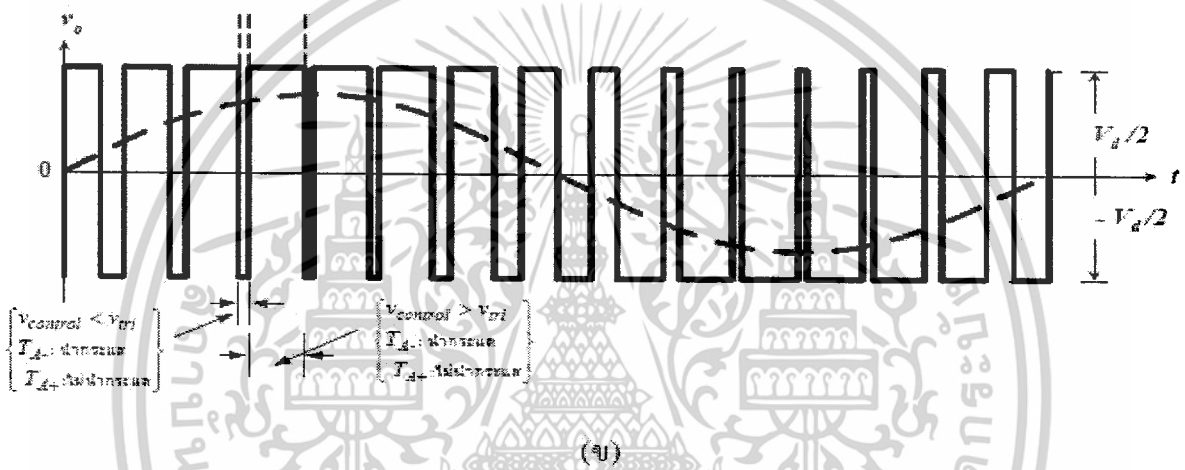
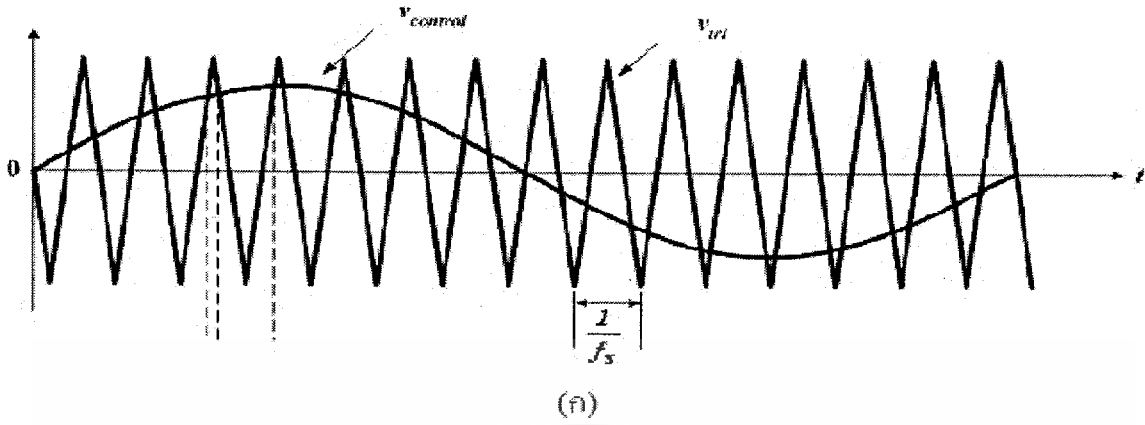
$$v_{control} = \hat{V}_{control} \sin \omega_1 t , \quad v_{control} \leq \hat{V}_{tri}$$

$$(v_{A0})_1 = \left(\frac{\hat{V}_{control}}{\hat{V}_{tri}} \cdot \frac{V_d}{2} \right) \sin(\omega_1 t) , \quad m_a \leq 1.0$$

$$(v_{A0})_1 = m_a \cdot (V_d/2) \sin \omega_1 t , \quad m_a \leq 1.0$$

$$(\hat{V}_{A0})_1 = m_a (V_d/2) , \quad m_a \leq 1.0 \quad (2.5)$$

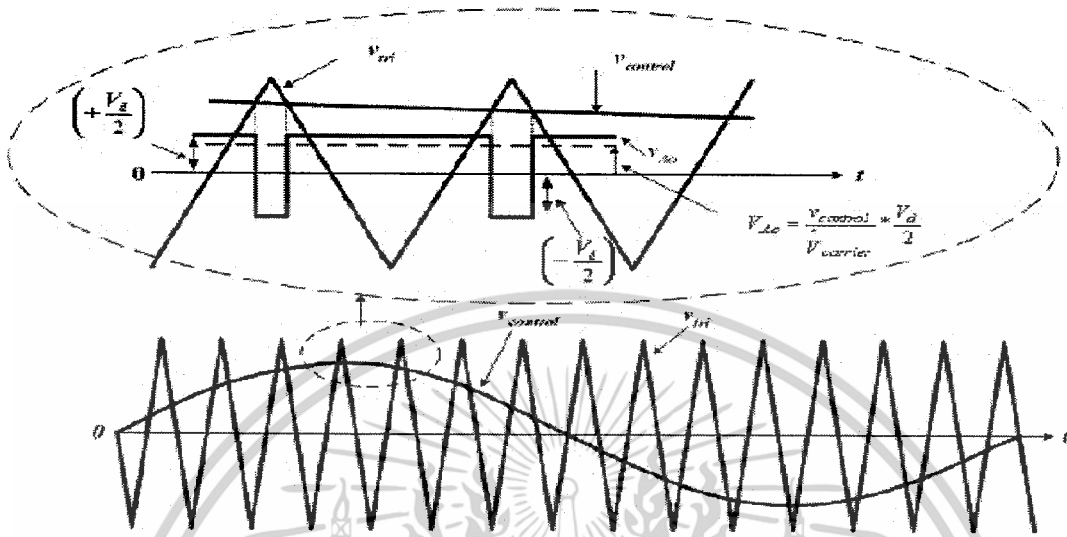
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การสร้างสัญญาณสวิตชิงแบบพีดับเบิลยูเอ็ม [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (2.5) พิจารณาประกอบรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าแรงดันไฟฟ้าที่ความถี่หลักมูลจะแปรผันเป็นเชิงเส้นกับค่า m_a ซึ่ง m_a จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1



รูปที่ 2.3 พีดับเบิลยูเอ็มแบบไซน์ (Sinusoidal Pulse Width Modulation: SPWM) [1]

2). ค่าไซด์แบนด์ฮาร์โมนิก (sideband harmonic) จะเกิดขึ้นรอบๆ $1m_f, 2m_f, 3m_f, \dots$ ดังแสดงในสมการที่ (2.6) หรือ (2.7)

$$f_h = (jm_f \pm k)f_1 \quad (2.6)$$

$$h = j(m_f) \pm k \quad (2.7)$$

เมื่อ $h = 1$ คือ ความถี่หลักมูล (fundamental frequency)

ถ้าค่า j เป็นเลขคี่ ค่าฮาร์โมนิกจะเท่ากับค่า K ที่เป็นเลขคู่

ถ้าค่า j เป็นเลขคู่ ค่าฮาร์โมนิกจะเท่ากับค่า K ที่เป็นเลขคี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3). ค่า m_f ฮาร์มอนิกควรจะเป็นเลขคี่ เพราะถ้ากำหนดให้ค่า m_f เป็นเลขคี่ก็จะทำให้เกิดการสมมาตรเลขคี่ ซึ่งแสดงได้จากสมการ $f(-t) = -f(t)$ ผลที่ได้คือจะมีเพียงฮาร์มอนิกเลขคี่เท่านั้นที่ยังปรากฏอยู่ใน v_{AO} ส่วนฮาร์มอนิกเลขคู่จะหักล้างกัน โดยที่ช่วง $m_f > 21$ จะถือว่า m_f มีค่ามากโดยที่ขนาดของฮาร์มอนิกย่อย (sub-harmonics) จะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่า m_f

สำหรับขนาดกรณีโอเวอร์มอดูเลชัน ($m_a > 1$) จะเกิดขึ้นเมื่อ $\hat{V}_{control} > \hat{V}_{tri}$ โดยค่ารูปคลื่นพีคดับเบิลยูเอ็มจะมีช่วงที่เป็นบวกหรือลบกว้างกว่าหนึ่งคาบการสวิตซึ่งแสดงดังในรูปที่ 2.4 โอเวอร์มอดูเลชัน มีข้อดีคือ ขนาดแรงดันไฟฟ้าของความถี่หลักมูลจะมีค่าสูงกว่าในกรณี $m_a \leq 1$ แต่การเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าจะไม่เป็นเชิงเส้นจนถึงค่าคงที่ค่าหนึ่ง และช่วงแรงดันยอดทางด้านออกของความถี่หลักมูลจะมีค่าอยู่ระหว่าง $V_d/2$ ถึง $4V_d/2\pi$ เขียนสมการได้ดังนี้

$$\frac{V_d}{2} < (\hat{V}_{AO})_1 < \frac{4V_d}{\pi} \quad (2.8)$$

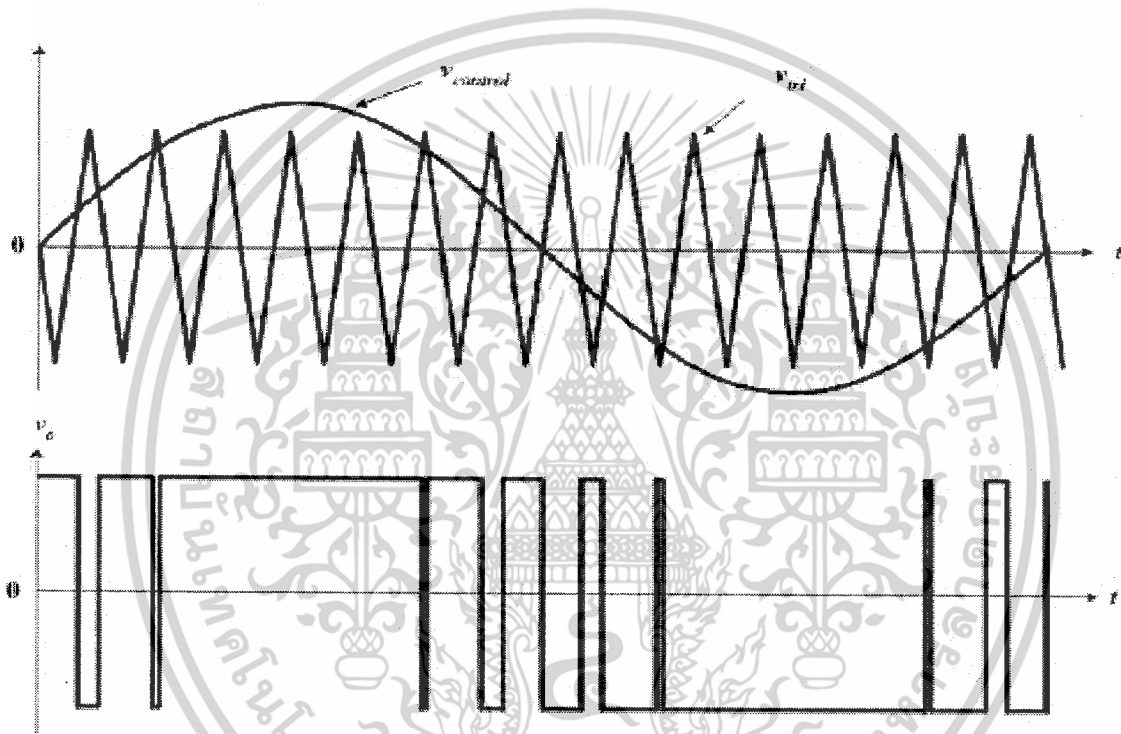
จากสมการที่ (2.8) ค่า $(\hat{V}_{AO})_1$ จะอยู่ระหว่างค่าที่ทำงานในโหมดเชิงเส้นและโหมดรูปคลื่นสี่เหลี่ยม กรณีโหมดสี่เหลี่ยมจะเกิดจากการที่ $m_a \gg 1$ และต้องมีค่ามากพอในการที่จะบอกว่ามากพอเท่าใดจะขึ้นอยู่กับค่า m_f ด้วยหากค่า m_f มีค่ามากพอ m_a ก็จะต้องมีค่ามากไปด้วยที่จะทำให้ $v_{control}$ ไม่ตัดยอดของปลายสามเหลี่ยมของสัญญาณอ้างอิงเลย

การเปรียบเทียบสัญญาณสองสัญญาณในเงื่อนไขหาก $v_{control} > v_{tri}$ จะได้สัญญาณพัลส์เป็นบวก ในทำนองเดียวกันหาก $v_{control} < v_{tri}$ จะได้พัลส์เป็นลบ กรณีโอเวอร์มอดูเลชันในรูปที่ 2.4 ไซเคิลบวกของ $v_{control}$ จะมีช่วงยอดที่ $v_{control}$ มากกว่า v_{tri} จนถือว่าจะได้พัลส์บวกเป็นระยะเวลาหนึ่งเสมือนว่าไม่มีการสวิตซึ่งเช่นเดียวกับการเกิดขึ้นที่ครึ่งไซเคิลลบของ $v_{control}$ ช่วงล่างจะทำให้ค่าพัลส์เป็นลบหรือศูนย์เป็นช่วงขณะที่ไม่มีการสวิตซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

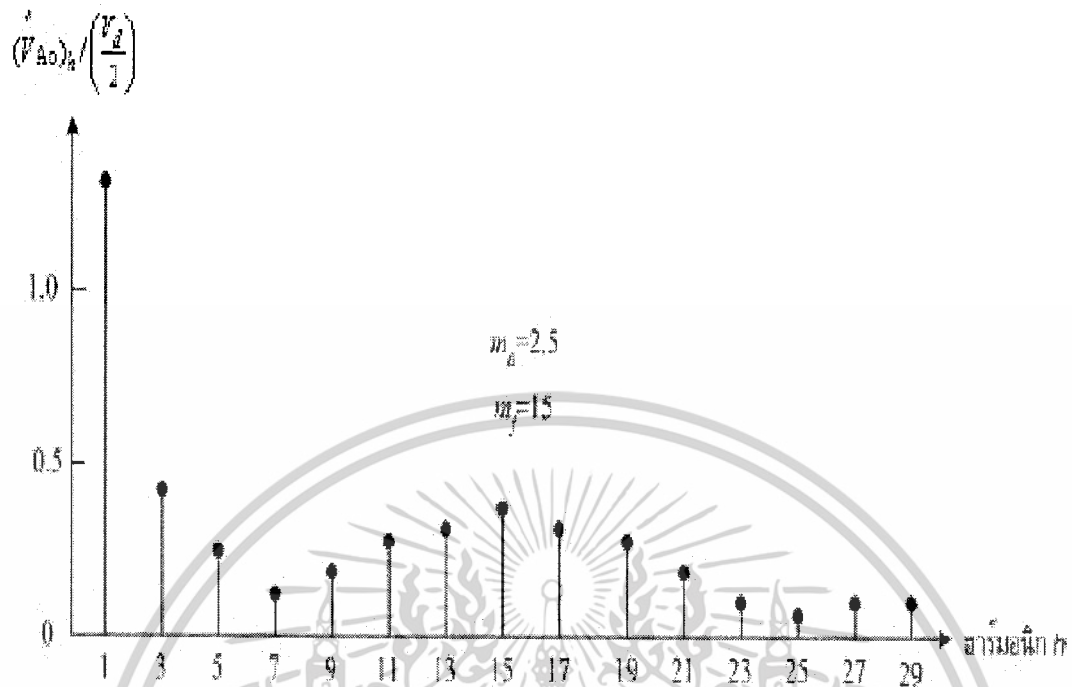
อย่างไรก็ตามข้อเสียของกรณีโอเวอร์มอดูเลชันก็คือทำให้เกิดฮาร์โมนิกอันดับต่ำ ๆ ที่อยู่ใกล้กับฮาร์โมนิกอันดับที่หนึ่งหรือความถี่หลักมูล เช่นฮาร์โมนิกอันดับที่ 3, 5, 7 เป็นต้น เช่นในรูป 2.5 ซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดผลเสียมากหากนำไปใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปขับมอเตอร์เหนี่ยวนำ เพราะฮาร์โมนิกอันดับที่ 3, 5, 7 จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียและทำให้เกิดความเร็วหลายความเร็วในเวลาเดียวกันทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าหมุนไม่สม่ำเสมอ

ผลเสียที่จะเกิดเช่นในรูปที่ 2.5 คือเกิดฮาร์โมนิกที่ใกล้ ๆ กับความถี่หลักมูลหรือฮาร์โมนิกอันดับหนึ่งและเกิดฮาร์โมนิกรอบ ๆ ความถี่ f_s



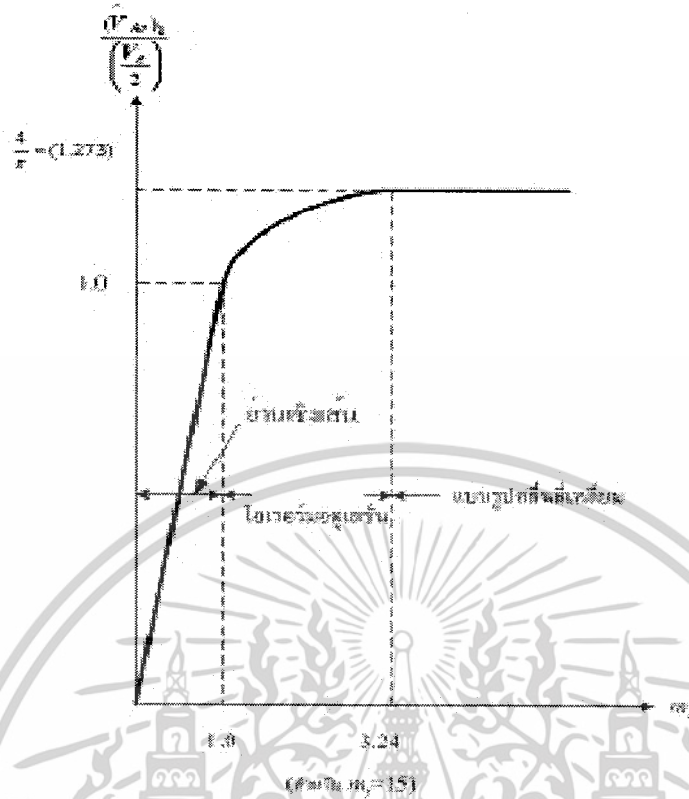
รูปที่ 2.4 รูปคลื่นพัลส์เบิลยูเอมแบบโอเวอร์มอดูเลชัน [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 สเปกตรัมของรูปคลื่นพีคดับเบิลยูเอ็มแบบโอเวอร์มอดูเลชัน เมื่อ $m_a = 2.5$, $m_f = 15$ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การควบคุมแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกของอินเวอร์เตอร์พีดับเบิลยูเอ็มโดยการปรับค่า
ดัชนีการมอดูเลตด้านแอมพลิจูด [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

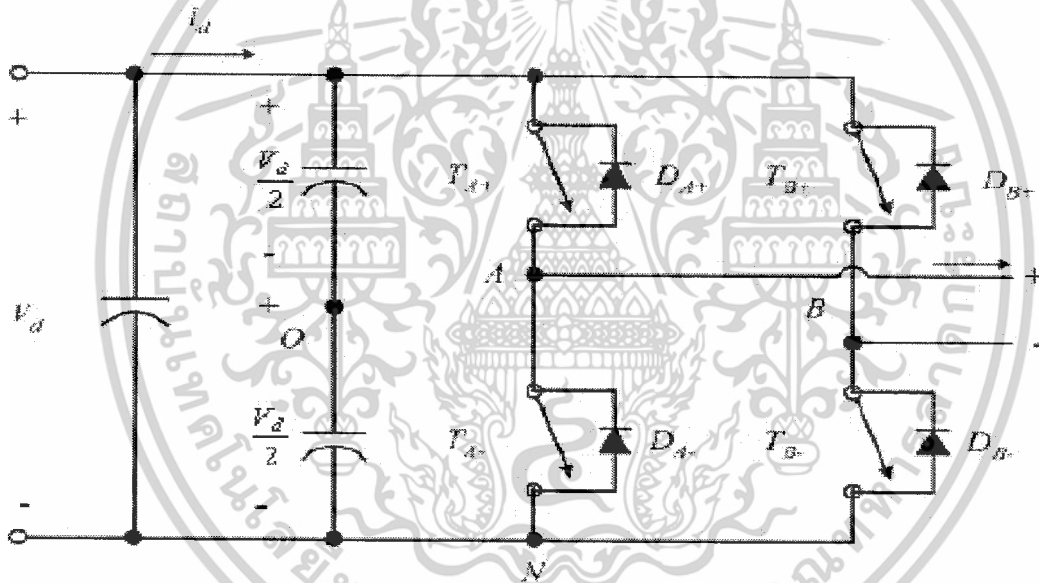
ตารางที่ 2.1 ฮาร์มอนิกของ $(\hat{V}_{A0})_h / (V_d/2) [1]$

| ma h | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 องค์ประกอบ ความถี่หลักมูล | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 |
| m_f | 1.42 | 1.150 | 1.006 | 0.818 | 0.601 |
| $m_f \pm 2$ | 0.016 | 0.061 | 0.131 | 0.220 | 0.318 |
| $m_f \pm 4$ | | | | | |
| $2m_f \pm 1$ | 0.190 | 0.326 | 0.370 | 0.314 | 0.181 |
| $2m_f \pm 3$ | | 0.024 | 0.071 | 0.139 | 0.212 |
| $2m_f \pm 5$ | | | | 0.013 | 0.033 |
| $3m_f$ | 0.335 | 0.123 | 0.083 | 0.171 | 0.113 |
| $3m_f \pm 2$ | 0.044 | 0.139 | 0.203 | 0.176 | 0.062 |
| $3m_f \pm 4$ | | 0.012 | 0.047 | 0.104 | 0.157 |
| $3m_f \pm 6$ | | | | 0.016 | 0.44 |
| $4m_f \pm 1$ | 0.163 | 0.157 | 0.008 | 0.105 | 0.068 |
| $4m_f \pm 3$ | 0.012 | 0.070 | 0.132 | 0.115 | 0.009 |
| $4m_f \pm 5$ | | | 0.034 | 0.084 | 0.119 |
| $4m_f \pm 7$ | | | | 0.017 | 0.050 |
| หมายเหตุ : $(\hat{V}_{A0})_h / (V_d/2) [= (\hat{V}_{A0})_h / \frac{1}{2} V_d]$ เป็นฟังก์ชันของ m_a | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฟูลบริดจ์ใช้เทคนิคการสวิตช์แรงดันไฟฟ้าไบโพลาร์

วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์เฟสเดียวจะประกอบด้วยสองกึ่ง คือ กึ่ง A และ กึ่ง B ในรูปที่ 2.7 โดยแบบฟูลบริดจ์จะมีกำลังไฟฟ้าสูงกว่าแบบฮาร์ฟบริดจ์สองเท่าที่เงื่อนไขแรงดันด้านเข้า (V_d) เท่ากัน จึงเหมาะที่จะเลือกใช้เมื่อต้องการจ่ายกำลังไฟฟ้าโหลดสูงขึ้นเงื่อนไขสำคัญที่อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฟูลบริดจ์ คือการทำงานของสวิตช์ T_{A+} และ T_{A-} ต้องไม่ทำงานพร้อมกันในทุกช่วงเวลา มิฉะนั้นแล้วจะเกิดการลัดวงจรระหว่างบัสบวกกับบัสลบ ในอุดมคติเวลาการสวิตช์ของ T_{A+} และ T_{A-} จะตรงข้ามกัน แต่ในทางปฏิบัติจะต้องการช่วงเวลาที่ยกสวิตช์ทั้งคู่ไม่นำกระแส ซึ่งจะเรียกว่า เดดไทม์ (deadtime) โดยเดดไทม์จะอยู่ในช่วงเวลาก่อนจะเปลี่ยนสถานะการณีสวิตช์จากนำกระแสเป็นไม่นำกระแส หรือจากไม่นำกระแสเป็นนำกระแส



รูปที่ 2.7 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฟูลบริดจ์ [1]

การสวิตช์แรงดันไฟฟ้าแบบไบโพลาร์ (bipolar voltage switching) คือการควบคุมให้สวิตช์แบบบริดจ์ทำงานพร้อมกันเป็นคู่ เช่น ในรูปที่ 2.7 การทำงานของสวิตช์ T_{A+} และ T_{B-} จะถูกควบคุมให้ทำงานพร้อมกันในแต่ละช่วงเวลา อีกคู่หนึ่งคือการทำงานของสวิตช์ T_{A-} และ T_{B+} ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าด้านออกของกึ่ง A จะเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_{A0} = \frac{1}{2} V_d \quad \text{เมื่อ } v_{control} > v_{tri}, \text{ สวิตช์ } T_{A+} \text{ และ } T_{B-} \text{ จะนำกระแส} \quad (2.9)$$

$$v_{A0} = -\frac{1}{2} V_d \quad \text{เมื่อ } v_{control} < v_{tri}, \text{ สวิตช์ } T_{A-} \text{ และ } T_{B+} \text{ จะนำกระแส} \quad (2.10)$$

โดยอาศัยหลักการตามรูปที่ 2.1 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบหนึ่งกึ่งจะได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกของกึ่ง B จะเท่ากับค่าลบของแรงดันไฟฟ้าออกของกึ่ง A คือ $v_{B0} = -v_{A0}$ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์หรือแรงดันไฟฟ้าระหว่างกึ่ง A กับกึ่ง B คือ

$$v_0 = v_{A0} - v_{B0} = v_{A0} - (-v_{A0}) = 2v_{A0} = 2\left(\frac{1}{2} V_d\right) = V_d$$

เทียบเคียงกับสมการที่ (2.5) จะได้

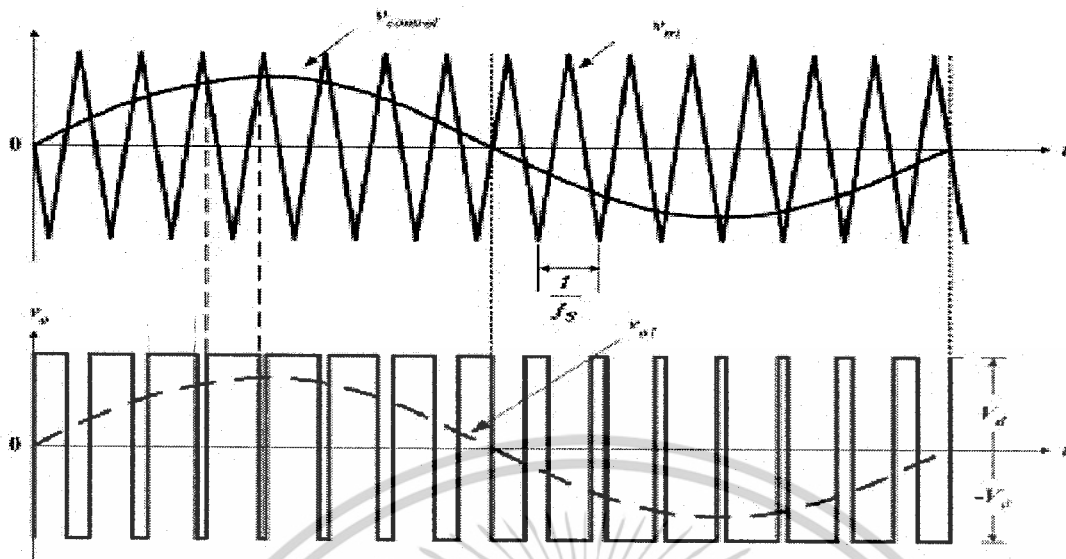
$$\hat{V}_{01} = m_a V_d \quad \text{เมื่อ } m_a \leq 1.0 \quad (2.11)$$

และเทียบเคียงกับสมการที่ (2.8) จะได้

$$V_d < \hat{V}_{01} < \frac{4}{\pi} V_d \quad \text{เมื่อ } m_a > 1.0 \quad (2.12)$$

หรืออาจจะสรุปได้ว่าแรงดันไฟฟ้ายอดด้านออกจะเท่ากับสมการที่ (2.11) เมื่อ m_a อยู่ในย่านเชิงเส้น และแรงดันไฟฟ้ายอดด้านออกจะเท่ากับสมการที่ (2.12) อยู่ในช่วงโอเวอร์มอดูเลชัน

โดยที่แรงดันไฟฟ้าด้านออกจะสวิตช์อยู่ระหว่าง $+V_d$ กับ $-V_d$ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ส่วนไซด์แบนฮาร์มอนิกจะเกิดขึ้นรอบ ๆ $m_f, 2m_f, 3m_f, \dots$ เช่น หากความถี่สวิตช์เท่ากับ 20 kHz และ 60 kHz เป็นต้น ดังเช่นที่ได้อธิบายในสมการ (2.6)



รูปที่ 2.8 การสวิตซ์แรงดันแบบไบโพลาร์ [1]

สิ่งที่ระบุว่าเป็นการสวิตซ์แบบไบโพลาร์ คือ

1. มีการสวิตซ์ของแรงดันระหว่างสาย V_0 ระหว่างขั้วบัสบวกกับบัสลบ
2. ความถี่ของพัลส์ที่ไหลจะเท่ากับความถี่ของ v_{tri}
3. จะเกิดความถี่จากสเปคตราคือ เริ่มต้นที่รอบ ๆ f_s และจำนวนเท่าของ f_s

2.1.3 ผลของเดดไทม์ต่อแรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์

ในทางปฏิบัติ กิ่งใด ๆ ของอินเวอร์เตอร์ สวิตซ์ตัวบนและตัวล่างไม่นำกระแสพร้อมกัน ดังนั้นจึงต้องการช่วงเวลาที่ยกสวิตซ์ทั้งคู่หยุดนำกระแสก่อนที่สวิตซ์จะเปลี่ยนสถานะ เพื่อป้องกันการลัดวงจรระหว่าง บัสบวกกับบัสลบ ช่วงเวลานี้เรียกว่า เดดไทม์ (dead time หรือ blanking time) ซึ่งเวลาเดดไทม์ดังกล่าวจะต้องมีความเหมาะสม คือ หากมีค่าน้อยเกินไป อาจทำให้มีโอกาสลัดวงจรได้ง่าย หรือถ้าหากมีค่ามากเกินไปก็อาจจะทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ผิดเพี้ยนไป

สวิตซ์ที่มีความเร็วในการเปลี่ยนสถานะคือมีช่วงเวลาเริ่มนำกระแส และเริ่มหยุดนำกระแสสั้น ๆ (เป็นหลักสิบของนาโนวินาที) เช่น สวิตซ์ที่เป็นมอสเฟตจะมีค่าเดดไทม์น้อย ๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 1-2 ไมโครวินาทีส่วนสวิตช์ที่เป็นทรานซิสเตอร์มักจะต้องการค่าเดดไทม์ที่มากกว่าทั้งนี้ เพราะช่วงเวลาเริ่มนำกระแส และเริ่มหยุดนำกระแสที่มากกว่า ดังนั้นเดดไทม์จะขึ้นอยู่กับชนิดของสวิตช์สารกึ่งตัวนำที่เลือกใช้

ผลของเดดไทม์ต่อแรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ ดังที่แสดงอยู่ในรูปที่ 2.9 โดยรูปที่ 2.9 (ก) เป็นวงจรพูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์หนึ่งกึ่ง รูปที่ 2.9 (ข) เป็นแรงดันควบคุมเกตในอุดมคติ รูปที่ 2.9 (ค) แรงดันควบคุมเกตของสวิตช์ที่ได้ซัดเซยผลของเดดไทม์แล้ว โดยมีหลักการง่าย ๆ คือ ทุก ๆ ขาลงและขาขึ้นของแรงดันควบคุมเกต ให้นำช่วงเวลาไปเท่ากับเดดไทม์เพื่อไม่ให้สวิตช์ในกึ่งเดียวกันทำงานพร้อมกัน แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาเดดไทม์จะขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสไหลลด กล่าวคือ

เมื่อกระแสไหลลดไฟฟ้าที่ไหลเป็นบวก (i_0) มีทิศทางไหลออกจากจุด A ในรูปที่ 2.9 (ง) หากไหลเป็นไหลลดความเหนี่ยวนำและตัวต้านทานรวมกัน เมื่อ $i_0 > 0$ ในช่วงเวลาเดดไทม์แรงดันไฟฟ้าด้านออกจะมีค่าลดลงเพราะไดโอด D_{A-} จะนำกระแส ทำให้ v_{AN} ลดลงเป็นศูนย์เฉพาะในช่วงเวลาเดดไทม์ ทำให้ค่าแรงดันเฉลี่ยของ v_{AN} ลดลง

เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลเป็นลบ (i_0) มีทิศทางไหลเข้าจุด A ในรูปที่ 2.9 (จ) เมื่อ $i_0 < 1$ ในช่วงเวลาเดดไทม์ แรงดันไฟฟ้าด้านออกจะมีค่าเพิ่มขึ้นเพราะไดโอด D_{A+} จะนำกระแสทำให้ v_{AN} มีค่าเป็น $+v_d$ เฉพาะในช่วงเวลาเดดไทม์ ทำให้แรงดันเฉลี่ยของ v_{AN} มีค่าเพิ่มมากขึ้น

ค่าแรงดันผิดเพี้ยนจะเท่ากับแรงดันไฟฟ้าในอุดมคติลบด้วยแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริง เช่นที่เกิดขึ้นในรูปที่ 2.10 มีค่าดังสมการที่ (2.13) และ (2.14) สรุปได้ว่าเดดไทม์มากมีผลให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ผิดเพี้ยนไปด้วย

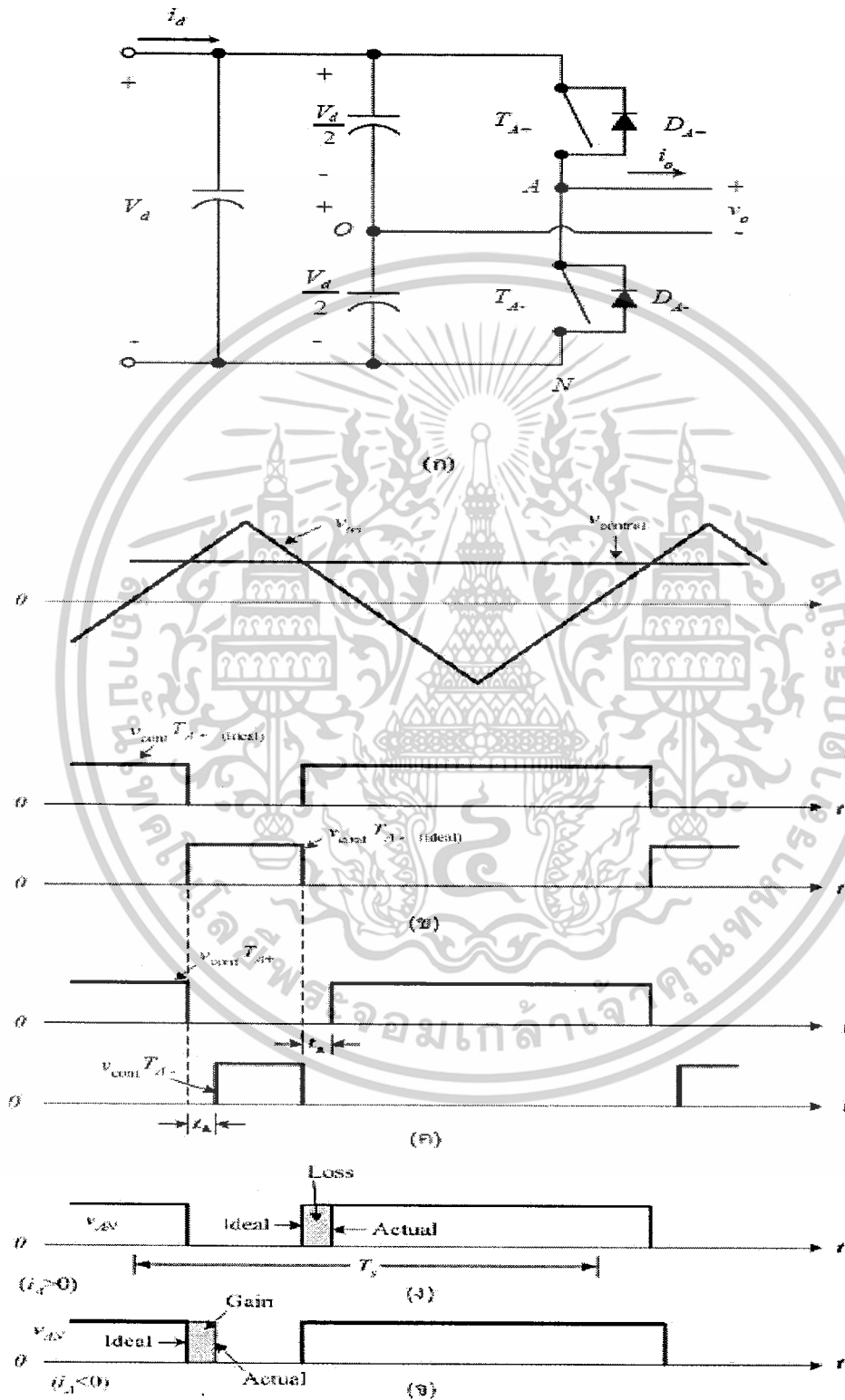
$$v_e = (v_{A0})_{ideal} - (v_{A0})_{actual} \quad (2.13)$$

$$v_e = \pm \frac{2 \cdot (\text{deadtime})}{T_s} \cdot V_d \quad (2.14)$$

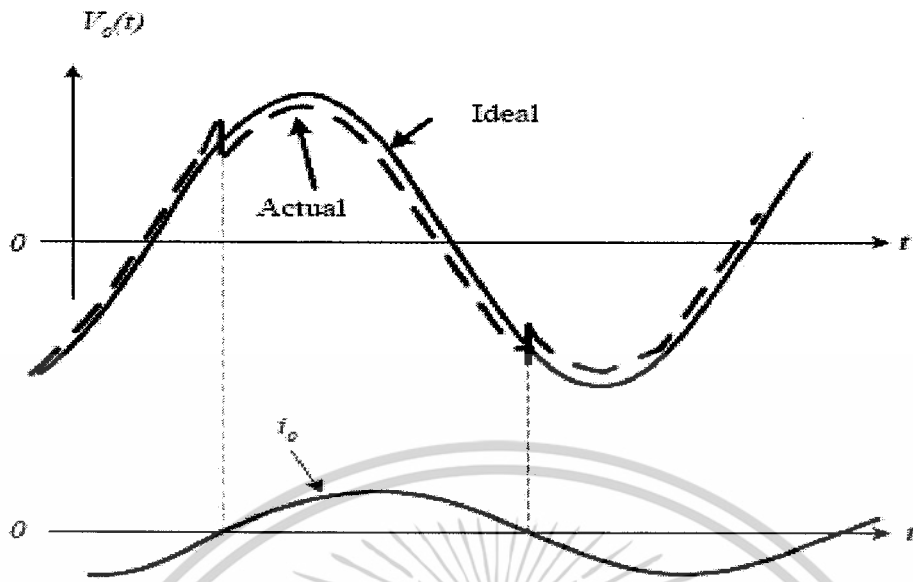
ข้อดีของเดดไทม์คือการทำหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรระหว่างบัสบวกกับบัสลบแต่หากมีค่าเดดไทม์มากเกินไป ก็จะมีผลต่อรูปคลื่นสัญญาณทางด้านออก โดยขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไหลลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียของเดทใหม่คือการเกิดฮาร์มอนิกที่ความถี่รอบข้างความถี่สวิตซิ่งและเกิดความถี่ที่ฮาร์มอนิกลำดับต่ำ ๆ อันจะเป็นผลเสียต่อสมรรถนะของอินเวอร์เตอร์



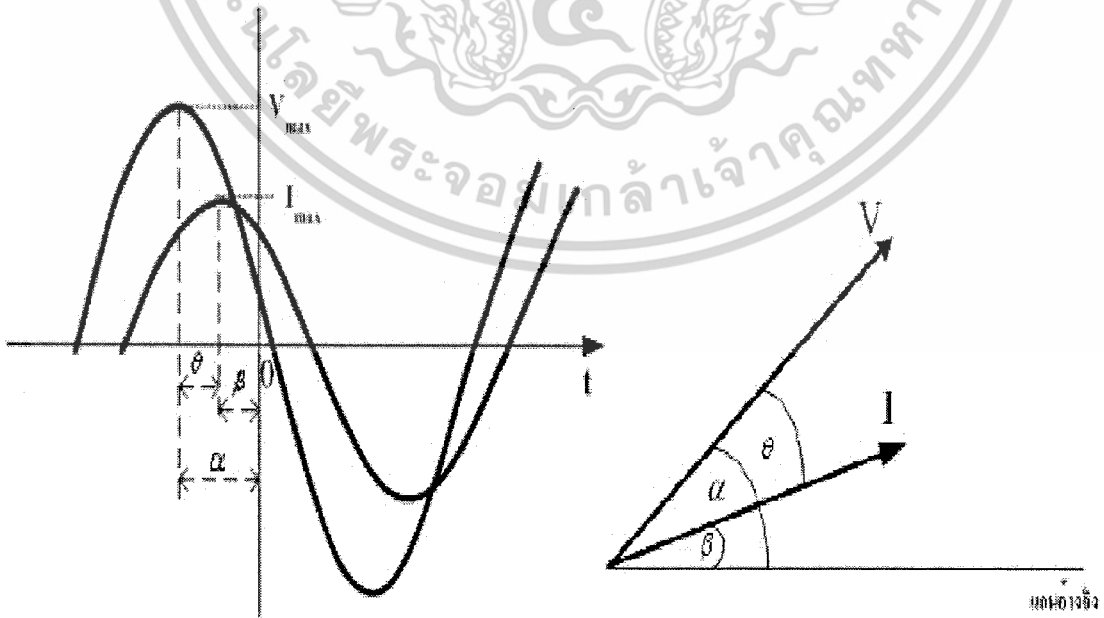
รูปที่ 2.9 ผลของเดทใหม่ต่อแรงดันไฟฟ้าต้านออกของอินเวอร์เตอร์ [1]
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ผลของเดดไทม์ต่อแรงดันด้านออกรูปไซน์

2.2 ทฤษฎีของการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้า

2.2.1 กำลังไฟฟ้าในรูปคอมเพล็กซ์ (Complex Power) [2]



รูปที่ 2.11 แรงแดันไฟฟ้าและกระแสที่แกนอ้างอิงได้ๆ ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสในรูปเฟสเซอร์ที่บอกทั้งขนาดและมุมมอม ของวงจรหนึ่ง ๆ เมื่อเทียบกับแกนอ้างอิงใด ๆ โดยอาศัยฟังก์ชันของ cosine สามารถเขียนเป็นสัญลักษณ์ได้ดังนี้ คือ

$$V = |V|\angle\alpha \text{ และ } I = |I|\angle\beta$$

$|V|, |I|$ คือ แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่เป็นค่า rms ตามลำดับ

ทำให้สามารถคำนวณหากำลังไฟฟ้าโดยรวมของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน ในรูปของค่ากำลังคอมเพล็กซ์ได้จากผลคูณของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสคอนจูเกต (conjugate of the current) จะได้ค่ากำลังไฟฟ้ารวม (complex power (S)) ที่มีหน่วยเป็น โวลต์-แอมป์ (VA) เมื่อ I^* : conjugate of the current

$$I^* = |I|\angle -\beta$$

$$S = VI^* = |V|\angle\alpha \times |I|\angle -\beta$$

$$S = |V||I|\angle(\alpha - \beta)$$

(2.15)

โดยที่ $\alpha - \beta = \theta$ คือ power factor angle นั้นเอง

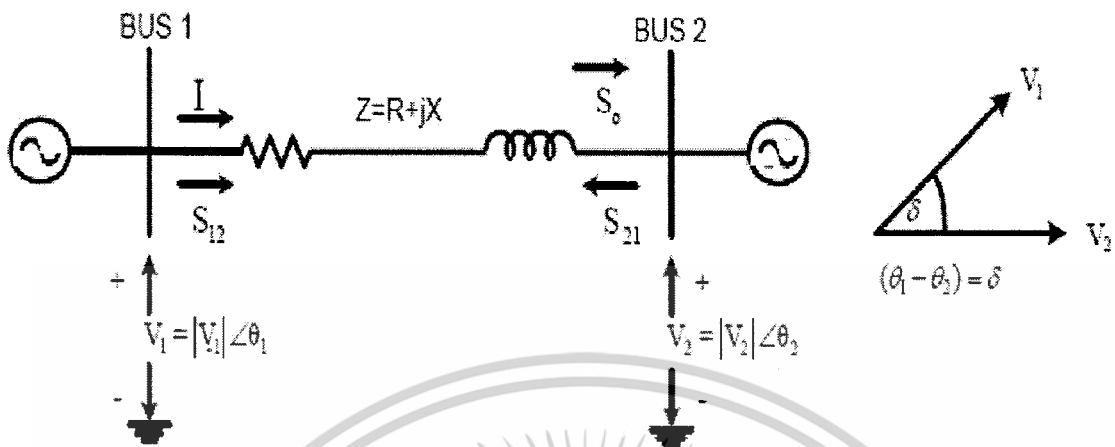
ทำให้อยู่ในรูป rectangular form จะได้

$$S = |V||I|\cos\theta + j|V||I|\sin\theta \quad (2.16ก)$$

$$S = P + jQ \quad (2.16ข)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าระหว่างบัสสองบัส [3]



รูปที่ 2.12 การส่งกำลังไฟฟ้าระหว่าง 2 บัส

ในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า ทิศทางการไหลของกระแสและกำลังไฟฟ้าตามรูปที่ 2.12 ซึ่งเป็นวินไลน์ไดอะแกรมแทนระบบส่งกำลังไฟฟ้าระหว่างบัส 1 กับบัส 2 และมีค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งเป็น $Z = R + jX$ อยู่ระหว่างบัส ซึ่งมีสมการในการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

$$S_{12} = P_{12} + jQ_{12} = V_1(I^*) \quad (2.17)$$

$$S_{21} = P_{21} + jQ_{21} = V_2(-I^*) \quad (2.18)$$

$$I = \frac{V_1 - V_2}{Z} \quad (2.19)$$

$$S_0 = P_0 + jQ_0 \quad (2.20)$$

โดยที่ S_{12} คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลจากบัส 1 ไป บัส 2

S_{21} คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลจากบัส 2 ไป บัส 1

S_0 คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลเข้าสู่บัส 2

P_{12} คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัส 1 ไปบัส 2

P_{21} คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัส 2 ไปบัส 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- P_0 คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลเข้าสู่บัส 2
- Q_{12} คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ไหลจากบัส 1 ไปบัส 2
- Q_{21} คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ไหลจากบัส 2 ไปบัส 1
- Q_0 คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ไหลเข้าสู่บัส 2
- V_1, V_2 คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส 1 และบัส 2 ตามลำดับ
- I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากบัส 1 ไปบัส 2
- Z คือ อิมพีแดนซ์ของสายส่ง

นำสมการที่ (2.17) ไปแทนสมการที่ (2.19)

$$S_{12} = V_1 \frac{V_2^* - V_1^*}{Z^*}$$

$$S_{12} = \frac{|V_1|^2 - |V_1||V_2|\angle\theta_1 - \theta_2}{R - jX} \quad (2.21)$$

นำสมการที่ (2.18) ไปแทนในสมการที่ (2.19)

$$S_{21} = V_2 \frac{V_1^* - V_2^*}{Z^*}$$

$$S_{21} = \frac{|V_2|^2 - |V_1||V_2|\angle\theta_2 - \theta_1}{R - jX} \quad (2.22)$$

กำหนดให้ $\theta_1 - \theta_2 = \delta$

เมื่อ δ คือ มุมเฟาเวอร์แองเกิล (Power angle) ซึ่งเป็นมุมเฟสที่ต่างกันระหว่างแรงดันไฟฟ้าทั้งสอง จากสมการที่ (2.21) ตัวเศษเป็นสมการเชิงขั้ว สามารถแปลงเป็นสมการเชิงซ้อนได้ดังนี้

$$S_{21} = \frac{|V_1|^2 - |V_1||V_2|\cos\delta + j|V_1||V_2|\sin\delta}{R - jX} \quad (2.22n)$$

คูณด้วยคอนจูเกตของตัวส่วน จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S_{21} = \frac{|V_1|^2 - |V_1||V_2|\cos\delta + j|V_1||V_2|\sin\delta}{R - jX} \times \frac{R + jX}{R + jX} \quad (2.22\text{ข})$$

$$S_{12} = \frac{R|V_1|^2 - R|V_1||V_2|\cos\delta + X|V_1||V_2|\sin\delta + j(X|V_1|^2 - X|V_1||V_2|\cos\delta - R|V_1||V_2|\sin\delta)}{R^2 + X^2} \quad (2.22\text{ค})$$

ดังนั้นจะได้สมการ

$$P_{12} = \frac{1}{R^2 + X^2} (R|V_1|^2 - R|V_1||V_2|\cos\delta + X|V_1||V_2|\sin\delta) \quad (2.23)$$

$$Q_{12} = \frac{1}{R^2 + X^2} (X|V_1|^2 - X|V_1||V_2|\cos\delta + R|V_1||V_2|\sin\delta) \quad (2.24)$$

ในทำนองเดียวกัน จากสมการที่ (2.22) จะได้

$$P_{21} = \frac{1}{R^2 + X^2} (R|V_2|^2 - R|V_1||V_2|\cos\delta - X|V_1||V_2|\sin\delta) \quad (2.25)$$

$$Q_{21} = \frac{1}{R^2 + X^2} (X|V_2|^2 - X|V_1||V_2|\cos\delta + R|V_1||V_2|\sin\delta) \quad (2.26)$$

ซึ่งโดยทั่วไป $X \gg R$ จะทำให้ได้สมการใหม่โดยประมาณดังนี้

$$P_{12} = \frac{|V_1||V_2|}{X} \sin\delta = P_0(\delta) \quad (2.27)$$

$$Q_{12} = \frac{1}{X} (|V_1|^2 - |V_1||V_2|\cos\delta) = Q_0(\delta) \quad (2.28)$$

$$P_{21} = -\frac{|V_1||V_2|}{X} \sin\delta = -P_0(\delta) \quad (2.29)$$

$$Q_{21} = \frac{1}{X} (|V_2|^2 - |V_1||V_2|\cos\delta) = -Q_0(\delta) \quad (2.30)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$P_0(\delta)$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่มีการส่งจ่ายในรูปฟังก์ชันของมุมกำลัง

$Q_0(\delta)$ คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่มีการส่งจ่ายในรูปฟังก์ชันของมุมกำลัง

สำหรับค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าเสมือน จากสมการที่ (2.28) และ (2.30) จะได้

$$Q_{av} = \frac{Q_{12} - Q_{21}}{2} = \frac{|V_1|^2 |V_2|^2}{2X} \quad (2.31)$$

จากสมการที่ (2.27) จะเห็นได้ว่า ถ้าต้องการเพิ่มปริมาณกำลังไฟฟ้าจริง สามารถทำได้ด้วยวิธีการ ดังต่อไปนี้ [3]

1. ทำการเพิ่มขนาดแรงดันไฟฟ้า วิธีนี้เรียกว่า Voltage support
2. ทำการลดค่ารีแอกแตนซ์ของสายส่ง วิธีนี้เรียกว่า Line compensation

ถ้าหากต้องการให้ปริมาณกำลังไฟฟ้าไหลจากบัสที่ 2 ไปยัง บัสที่ 1 ก็ทำได้โดยการทำให้มุมกำลังเป็นลบ หรือ $\theta_2 > \theta_1$ นั่นเอง

จากสมการที่ (2.31) จะเห็นได้ว่า ขนาดของแรงดันไฟฟ้าและค่ารีแอกแตนซ์ของสายส่งจะมีผลต่อค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนด้วย ในกรณีที่มุมกำลังถูกคงค่าไว้เป็นศูนย์ ($\delta = 0$) ถ้าหากว่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าของบัสที่จ่าย กับ บัสที่รับ มีค่าเท่ากัน ($V_1 = V_2$) กำลังไฟฟ้าเสมือนจะถูกส่งจากบัสที่จ่ายและส่งจากบัสที่รับ เข้าไปในสายส่งอย่างละครึ่งเท่า ๆ กันและจะทำให้ค่าเฉลี่ยของกำลังเสมือนเป็นศูนย์ ส่วนของการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าจริงก็จะมีค่าเป็นศูนย์ด้วยตามสมการที่ (2.27) และ (2.29)

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า จะมี 4 ตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน ได้แก่ และ V_1, V_2, X, δ เพื่อความเข้าใจความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้ง 4 ยิงขึ้นจากสมการที่ (2.30)

$$Q_0(\delta) = -\frac{|V_1|^2}{X} + \frac{|V_1||V_2|\cos\delta}{X} \quad (2.32)$$

$$Q_0(\delta) = +\frac{|V_1|^2}{X} = \frac{|V_1||V_2|\cos\delta}{X} \quad (2.33)$$

และจากสมการที่ (2.27) จะได้

$$P_0(\delta) = \frac{|V_1||V_2|}{X} \sin\delta \quad (2.34)$$

นำสมการที่ (2.33) และสมการที่ (2.34) มายกกำลังสอง แล้วนำมาบวกกันจะได้

$$(P_0(\delta))^2 + \left(Q_0(\delta) + \frac{|V_2|^2}{X}\right)^2 = \left(\frac{|V_1||V_2|}{X}\right)^2 ((\sin\delta)^2 + (\cos\delta)^2) \quad (2.35)$$

$$(P_0(\delta))^2 + \left(Q_0(\delta) + \frac{|V_2|^2}{X}\right)^2 = \left(\frac{|V_1||V_2|}{X}\right)^2 \quad (2.36)$$

จากสมการที่(2.36) นำไปเทียบเคียงกับสมการวงกลมมาตรฐานในทางคณิตศาสตร์คือ

$$(x - h)^2 + (y - k)^2 = r^2 \quad \text{โดยมีจุดศูนย์กลางคือ } (h, k) \text{ และ มีขนาดรัศมี คือ } r$$

ดังนั้น สมการที่ (2.36) จะได้จุดศูนย์กลางของกราฟวงกลมอยู่ที่ จุด $\left(0, -\frac{|V_2|^2}{X}\right)$ และ

มีขนาดรัศมีคือ $\frac{|V_1||V_2|}{X}$

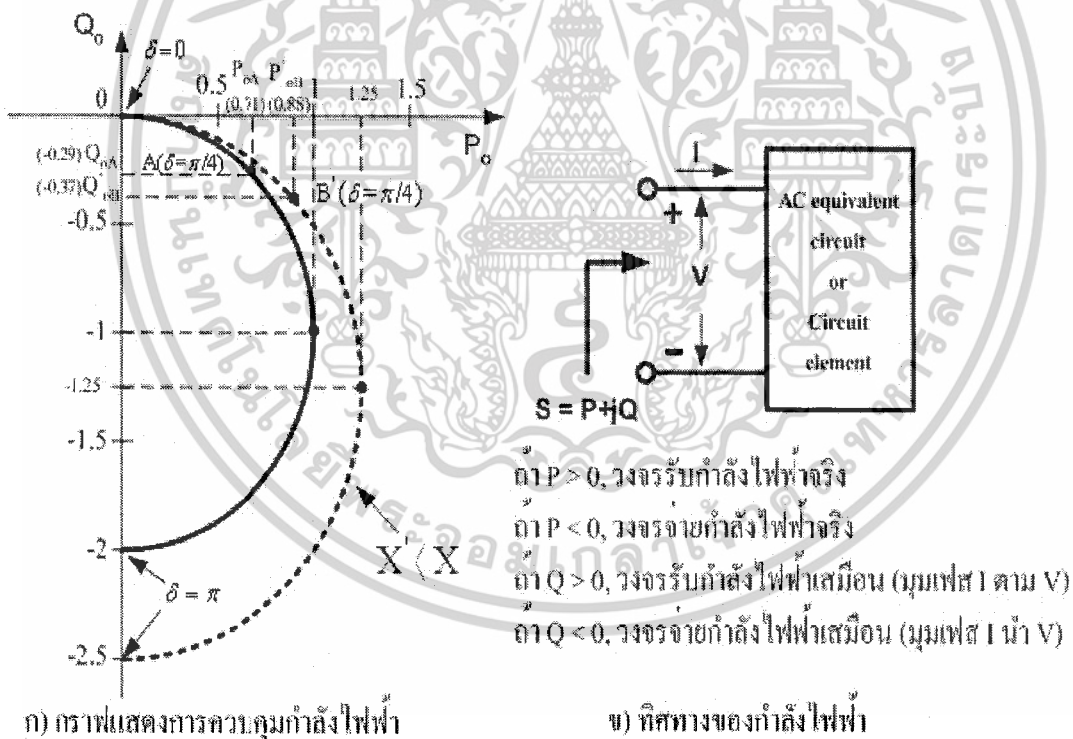
ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนที่จ่ายไปยังบัสที่ 2

ประกอบด้วยตัวแปรที่สำคัญสี่ตัว ได้แก่ V_1, V_2, X, δ สามารถไปวาดเป็นกราฟวงกลม ดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 1 ถ้าสมมติให้ค่าแรงดันเท่ากัน $V_1 = V_2 = 1$, $\delta = \frac{\pi}{4}$ และกำหนดให้ค่า $X = 1$ เมื่อนำไปแทนค่าในสมการที่ (2.32) จะได้ $Q_{0A} = -0.29$ และแทนค่าในสมการที่ (2.34) จะได้ $P_{0A} = 0.71$ ดังรูปที่ 2.13 กราฟเส้นทึบ ถ้าหากเพิ่มค่ามุมกำลังมากขึ้น โดยที่ $0 < \delta < \frac{\pi}{2}$ จะสามารถจ่าย $P_0 > Q_0$ แต่ถ้าหากเพิ่มมุมกำลังมากขึ้นอีก คือ $\frac{\pi}{2} < \delta < \pi$ จะทำให้สามารถจ่าย $Q_0 > P_0$

กรณีที่ 2 ถ้าสมมติว่าลดค่ารีแอกแตนซ์ $X' = 0.8$ ในขณะที่ $V_1 = V_2 = 1$ และ $\delta = \frac{\pi}{4}$ ตามเดิม เมื่อนำไปแทนค่าในสมการที่ (2.32) จะได้ $Q'_{0B} = -0.37$ และสมการที่ (2.34) จะได้ $P'_{0B} = 0.88$ ดังรูปที่ 2.13 กราฟเส้นประ หรือ ถ้าหากพิจารณาตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.36) เมื่อลด ค่า X ลง จะทำให้รัศมีของวงกลมขยายใหญ่ขึ้น คือ $X' < X$ นั่นเอง (X' คือกราฟเส้นประ, X คือกราฟเส้นทึบ) จึงกล่าวได้ว่า ถ้าลดค่ารีแอกแตนซ์ของสายส่งลงก็จะทำให้สามารถส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้น

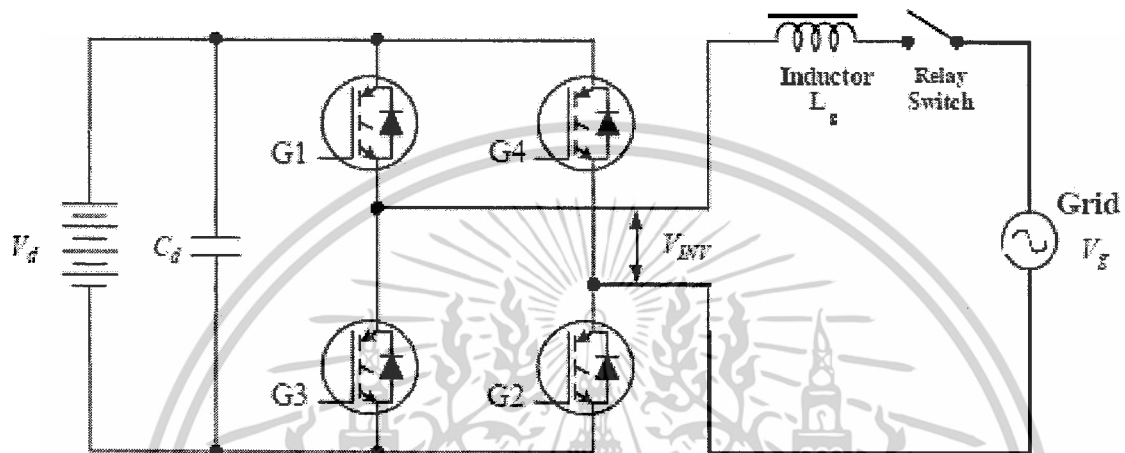


รูปที่ 2.13 กราฟแสดงการควบคุมกำลังไฟฟ้าจริง (P_0) และกำลังไฟฟ้าเสมือน (Q_0) ในหน่วยเปอร์ยูนิต ที่จ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่บัส 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

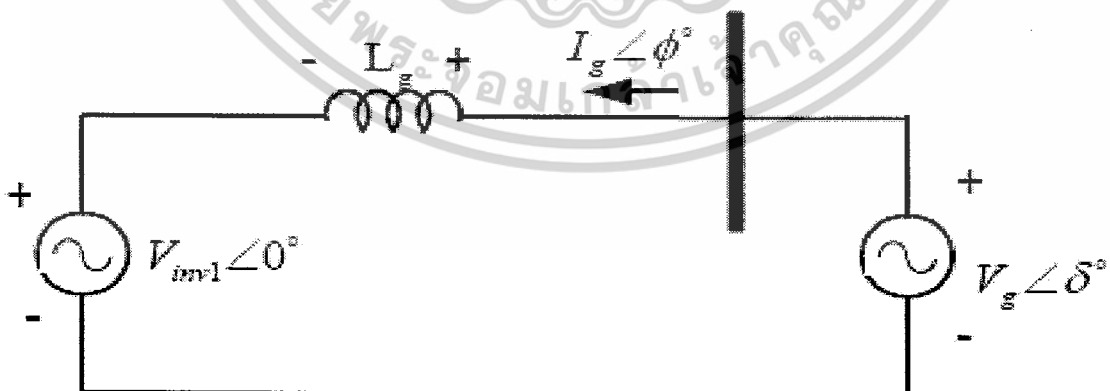
2.3 หลักการของอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบการไฟฟ้า

วงจรกำลังอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบไฟฟ้าอย่างง่ายแสดงดังรูปที่ 2.14 มีส่วนประกอบดังนี้ แหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง (V_d) ตัวเก็บประจุ (C_d) สวิตช์กำลังในที่นี่เลือกใช้ไอจีบีทีตัวเหนี่ยวนำเชื่อมโยง (L_g) และระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส (V_2)



รูปที่ 2.14 วงจรกำลังอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบการไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.14 ใช้หลักการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าระหว่าง 2 บัสที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ผ่านมาแล้วในข้างต้น สามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลอย่างง่าย ซึ่งประกอบด้วยแหล่งจ่ายสองแหล่งได้แก่ แหล่งจ่ายอินเวอร์เตอร์ (V_{inv}) และแหล่งจ่ายการไฟฟ้า (V_g) ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 วงจรสมมูลของอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.15 วงจรสมมูลของอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อการไฟฟ้า ใช้หลักการควบคุมการไหลของพลังงานไฟฟ้า (bidirectional power flow) [4] โดยกำหนดให้กระแสไฟฟ้าถูกจ่ายจากระบบการไฟฟ้า เข้าสู่ระบบอินเวอร์เตอร์ ซึ่งมุมเฟสแรงดันของการไฟฟ้านำหน้าแรงดันอินเวอร์เตอร์เป็นมุม δ เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางเวกเตอร์นั้นสามารถเขียนได้ดังรูปที่ 2.16 ซึ่งเป็นเฟสเซอร์ไดอะแกรม แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแส โดยกำหนดให้ V_g เป็นจุดอ้างอิงเฟสเซอร์ วิเคราะห์หาความสัมพันธ์กระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้า ดังต่อไปนี้

โดยกำหนดให้

| | | |
|------------|---|--|
| V_d | = | แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง |
| I_d | = | กระแสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง |
| V_{inv} | = | แรงดันด้านออกอินเวอร์เตอร์ |
| L_g | = | ตัวเหนี่ยวนำเชื่อมโยง |
| V_g | = | แรงดันระบบไฟฟ้า |
| I_g | = | กระแสรบบไฟฟ้า |
| V_{Lg} | = | แรงดันตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำเชื่อมโยง L_g |
| f_1 | = | ความถี่แรงดันระบบไฟฟ้า (ความถี่หลักมูล) |
| V_{Lg1} | = | แรงดันตัวเหนี่ยวนำที่ความถี่หลักมูล |
| I_{g1} | = | กระแสรบบไฟฟ้าที่องค์ประกอบความถี่หลักมูล |
| V_{inv1} | = | แรงดันอินเวอร์เตอร์ที่องค์ประกอบความถี่หลักมูล |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_g = V_{g,max} \sin(\omega t) \quad (2.37)$$

$$v_{inv} = V_{inv,max} \sin(\omega t + \delta) \quad (2.38)$$

$$\omega = 2\pi f_1 \quad (2.39)$$

$$v_g = v_{inv} + v_{Lg} \quad (2.40)$$

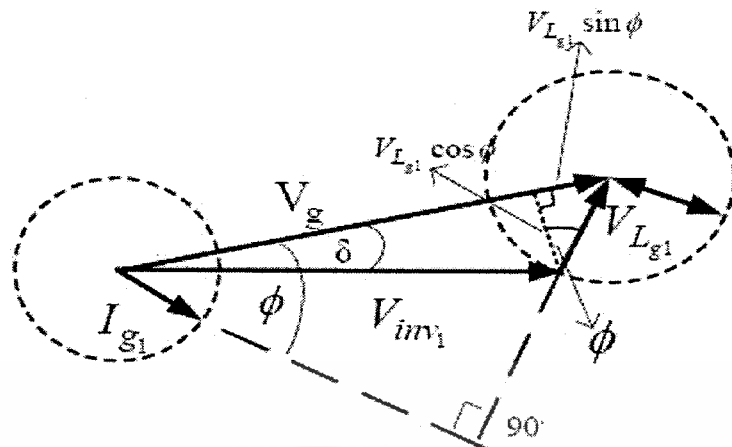
$$v_{Lg} = L_g \left(\frac{di_g}{dt} \right) \quad (2.41)$$

เมื่อกำหนดให้ V_g เป็นรูปคลื่นไซน์ พิจารณาที่องค์ประกอบมูลฐานจะได้ว่า

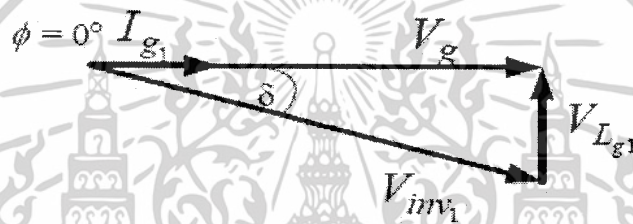
$$V_g = V_{inv1} + V_{Lg1} \quad (2.42)$$

$$V_{Lg1} = j\omega L_g I_{g1} \quad (2.43)$$

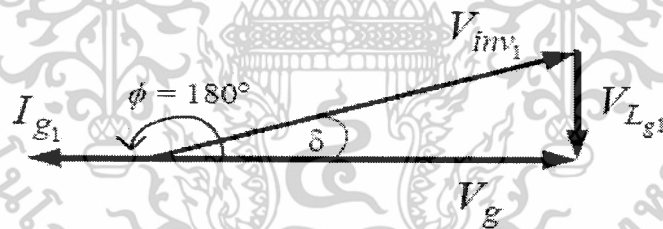
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



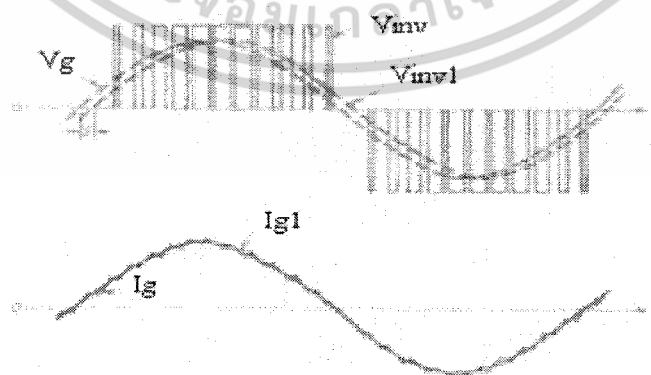
(ก) เฟสเซอร์คุณลักษณะการทำงานทั่วไป



(ข) เฟสเซอร์แสดงมุมกำลังเป็นบวก ตัวประกอบกำลังเป็นหนึ่ง



(ค) เฟสเซอร์แสดงมุมกำลังเป็นลบ ตัวประกอบกำลังเป็นหนึ่ง



(ง) ตัวอย่างรูปคลื่นแรงดันและกระแส ในกรณีที่มีมุมกำลังเป็นบวก ตัวประกอบกำลังเป็นหนึ่ง

รูปที่ 2.16 แผนภาพเฟสเซอร์แรงดันและกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสมการที่ (2.43) ไปแทนในสมการที่ (2.42) จะได้กระแสที่ไหลเข้าระบบการไฟฟ้า คือ

$$\frac{V_g \angle 0 - V_{inv1} \angle \delta}{j\omega L_g} = I_{g1} \quad (2.43ก)$$

จากรูปที่ 2.16 (ก) อาศัยทฤษฎีทางด้านตรีโกณมิติและสมการที่ (2.43) สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$V_{inv1} \sin \delta = V_{Lg1} \cos \phi = \omega L_g (I_{g1} \cos \phi) \quad (2.44)$$

$$V_{inv1} \cos \delta = V_g - V_{Lg1} \sin \phi = V_g - \omega L_g (I_{g1} \sin \phi) \quad (2.45)$$

จากสมการที่ (2.44) จะได้

$$I_{g1} \cos \phi = \frac{V_{inv1} \sin \delta}{\omega L_g} \quad (2.46)$$

จากสมการที่ (2.45) จะได้

$$I_{g1} \sin \phi = \frac{V_g - V_{inv1} \cos \delta}{\omega L_g} \quad (2.47)$$

จากสมการที่ (2.46) จะได้

$$P_g = V_g I_{g1} \cos \phi = \frac{V_g \times V_{inv1}}{\omega L_g} \sin \delta \quad (2.48)$$

จากสมการที่ (2.47) จะได้

$$Q_g = V_g I_{g1} \sin \phi = \frac{[V_g^2 - (V_g V_{inv1}) \cos \delta]}{\omega L_g} \quad (2.49)$$

หรือ

$$Q_g = V_g I_{g1} \sin \phi = \frac{V_g^2}{\omega L_g} \left[1 - \frac{V_{inv1}}{V_g} \cos \delta \right] \quad (2.49ก)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้

δ = มุมกำลัง (Power angle) คือมุมระหว่างแรงดันระบบไฟฟ้ากับ
อินเวอร์เตอร์

ϕ = มุมระหว่างแรงดันและกระแสระบบไฟฟ้า (V_g, I_{g1})

S_g = กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent power) ระบบไฟฟ้า

P_g = กำลังไฟฟ้าจริง (Active power) ระบบไฟฟ้า

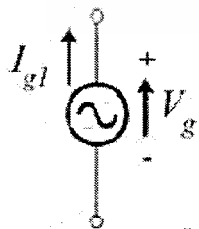
Q_g = กำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive power) ระบบไฟฟ้า

2.3.1 การควบคุมกำลังไฟฟ้าจริง

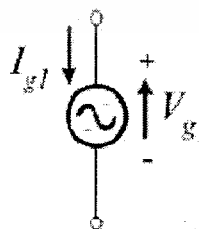
จากสมการที่ 2.48 สมมติว่าแรงดันระบบไฟฟ้าและแรงดันอินเวอร์เตอร์มีค่าคงที่ ถ้า
มุมกำลังเป็นบวกหรือมุมเฟส V_{inv1} ตามหลัง V_g ตามรูปที่ 2.16 (ข) I_{g1} ซึ่งแสดงได้ดัง
รูปที่ 2.17 (ก) อธิบายได้ว่ากำลังไฟฟ้าจริงจะไหลจากระบบการไฟฟ้าไปยังอินเวอร์เตอร์

ในกรณีตรงกันข้าม ถ้ามุมกำลังมีค่าเป็นลบ คือมุมเฟสแรงดัน V_{inv1} นำหน้า V_g
รูปที่ 2.16 (ค)

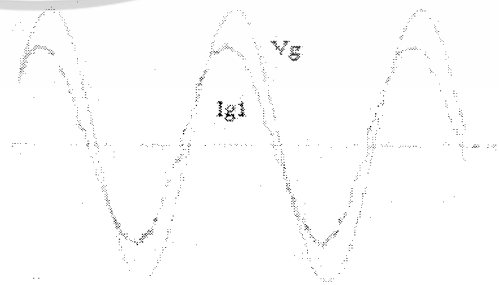
I_{g1} จะมีเฟสตรงข้ามกับ V_g ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.17 (ข) อธิบายได้ว่า กำลังไฟฟ้าจริงจะ
ไหลจากอินเวอร์เตอร์ไปยังระบบการไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริงที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามค่าไซน์ของ
มุมกำลัง เป็นไปตามสมการที่ (2.50)



(ก) ข่ายพลังงานไฟฟ้า



(ข) รับพลังงานไฟฟ้า



(ค) รูปคลื่นแรงดันและกระแส ในกรณีที่กริดรับพลังงานไฟฟ้า

รูปที่ 2.17 ทิศทางและรูปคลื่นกระแส, แรงดันที่จะเชื่อมต่อกับระบบการไฟฟ้า
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_g \propto \sin \delta \quad (2.50)$$

ดังนั้นในการควบคุมกำลังไฟฟ้าเพื่อให้อินเวอร์เตอร์จ่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบการไฟฟ้าจึงต้องทำให้มุมเฟสแรงดันอินเวอร์เตอร์นำหน้าแรงดันระบบการไฟฟ้าโดยปริมาณของกำลังไฟฟ้าขึ้นอยู่กับมุมกำลังนั่นเอง

2.3.2 การควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนและตัวประกอบกำลัง

จากสมการที่ (2.49ก) สมมติว่าแรงดันระบบการไฟฟ้า (V_S) มุมกำลัง (δ) และค่ารีแอกแตนซ์ของตัวเหนี่ยวนำเชื่อมโยง (ωL_g) มีค่าคงที่ กำลังไฟฟ้าเสมือนจะแปรผันตามแรงอินเวอร์เตอร์ เป็นไปตามสมการที่ (2.51)

$$Q_g \propto \frac{1}{V_{inv1}} \quad (2.51)$$

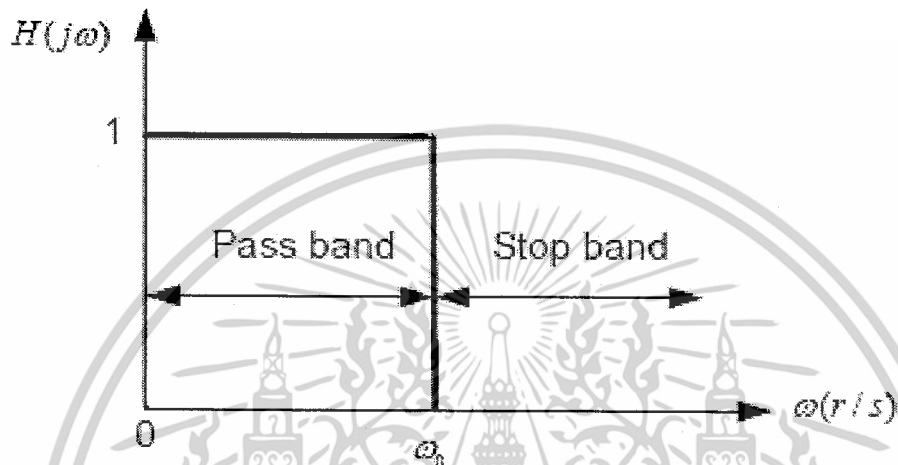
ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ถ้าหากเราคงค่าแรงดันของอินเวอร์เตอร์มีค่าเท่ากับค่าแรงดันของการไฟฟ้าพิจารณาตามสมการที่ (2.49ก) $\frac{V_{inv1}}{V_g} = 1$ ก็จะทำให้ Q_g ขึ้นอยู่กับ $\cos \delta$

โดยสรุปเป้าหมายของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์จะต้องควบคุมให้กำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) มีค่าน้อยที่สุดและกำลังไฟฟ้าจริง (P) ค่ามากที่สุด ซึ่งจะเป็นผลทำให้ตัวประกอบกำลังมีค่าใกล้เคียงมากที่สุด

กล่าวคือ กำลังไฟฟ้าจริงนั้นควบคุมด้วยการปรับมุมกำลัง ส่วนกำลังเสมือนควบคุมด้วยเทคนิคการปรับดัชนีมอดูเลต เพื่อให้แรงดันอินเวอร์เตอร์มีค่าเท่ากับแรงดันระบบไฟฟ้าเสมอ ประโยชน์ของการควบคุมตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงใกล้เคียงหนึ่งจะทำให้ ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์มีค่าสูงขึ้นด้วย

2.4 ทฤษฎีพื้นฐานวงจรกรองความถี่ต่ำด้านออก [5]

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน คือ วงจรที่ยอมให้สัญญาณความถี่ต่ำผ่าน แต่จะกั้นสัญญาณความถี่สูงเอาไว้



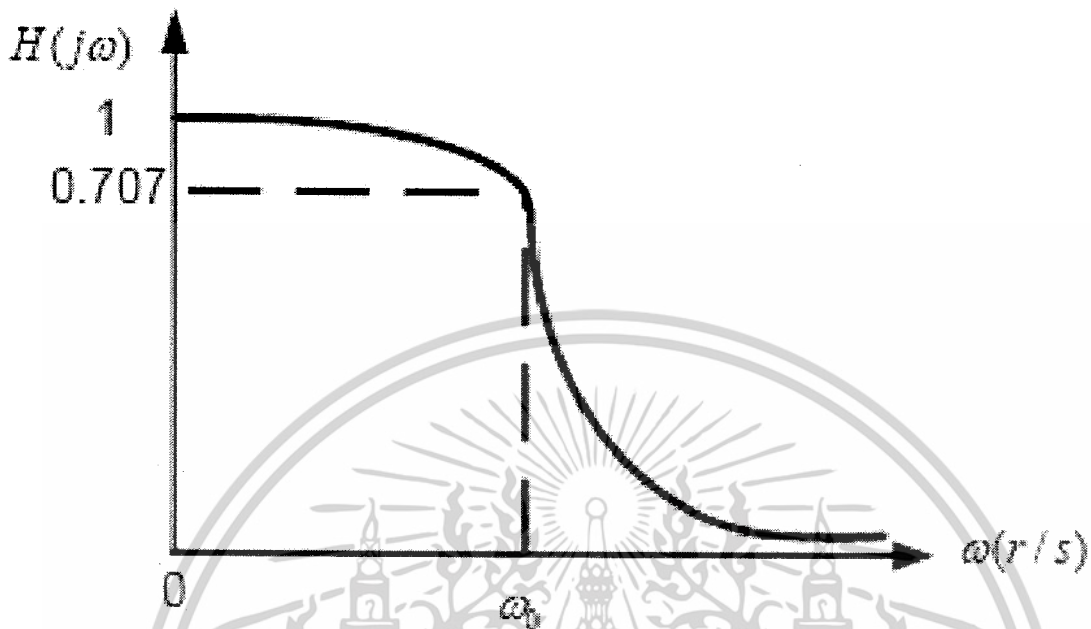
รูปที่ 2.18 การกั้นสัญญาณของวงจรกรองแบบอุดมคติ

จากรูปแสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านในอุดมคติ โดยนิยามเราจะเรียกย่านความถี่ที่วงจรยอมให้ผ่านว่า ย่านความถี่ผ่าน (pass band) หรือ แบนด์วิดท์ (bandwidth : BW)

ของวงจรส่วนย่านความถี่ที่วงจรไม่ยอมให้ผ่านไปจะเรียกว่า ย่านความถี่หยุด (stop band) ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าย่านความถี่ผ่านจะอยู่ระหว่าง 0 และ ω_0 โดยเราจะเรียกความถี่ ω_0 ว่าความถี่คัทออฟ

(Cut-off frequency)

ในทางปฏิบัติเราไม่สามารถสร้างวงจรกรองที่มีผลตอบสนองในแบบอุดมคติได้



รูปที่ 2.19 การกั้นสัญญาณของวงจรกรองแบบปฏิบัติ

จากรูปแสดงผลตอบสนองทางความถี่ที่สามารถสังเคราะห์ได้ในทางปฏิบัติ จะเห็นว่าในทางปฏิบัติแล้วค่าความถี่คutoffจะหมายถึง ค่าความถี่ที่ขนาดที่ขนาดของสัญญาณด้านออกของวงจรซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้กันคือ มีค่าเท่ากับ 0.707 เท่า (หรือประมาณ -3 dB) ของขนาดสัญญาณสูงสุด

2.4.1 ลักษณะวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบต่าง ๆ

โดยทั่วไปแล้ววงจรความถี่ต่ำผ่านจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบสำคัญสองส่วนคือ ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุซึ่งมีหลายรูปแบบด้วยกัน ถ้าหากแบ่งตามสมการโครงข่ายไฟฟ้าของวงจรกรอง ได้แก่

1. วงจรกรองอันดับหนึ่ง (first order) ประกอบด้วย วงจรกรองที่มีตัวเหนี่ยวนำ หรือ ตัวเก็บประจุเพียง 1 ตัว
2. วงจรกรองอันดับสูงขึ้นไป (higher order) คือวงจรกรองที่ประกอบไปด้วย ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุมารวมกัน ตั้งแต่สองตัวขึ้นไป ได้แก่ วงจรกรองแบบแอล

แบบที่ และแบบพาสซีฟเป็นต้น
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ลำดับขั้นตอนการออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

การออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเพื่อลดทอนผลของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถสรุปเป็นลำดับขั้นตอนได้ดังนี้

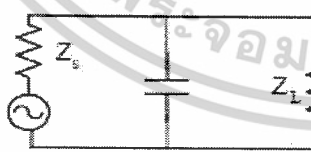
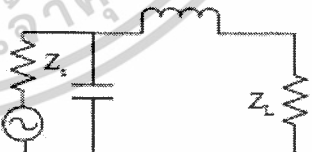
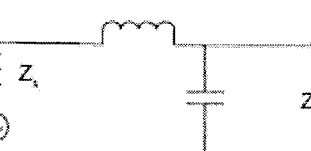
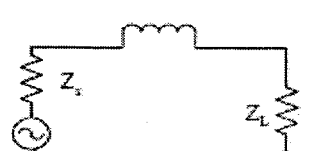
1). จะต้องทราบคุณลักษณะของแหล่งจ่ายหรือแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนและลักษณะของโหลดว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร เช่น

- มีความถี่สายกำลังเท่าไร (power line frequency) เช่น 50 Hz หรือ 60 Hz
- ค่าแรงดันของแหล่งจ่ายก็โวลต์ ($V_{S,rms}$)
- ค่ากระแสสูงสุดที่พิกัดโหลด ($I_{S,rms}$)
- ลักษณะของโหลด ว่าเป็นอย่างไร มีอิมพีแดนซ์ต่ำหรือสูงเมื่อเทียบกับแหล่งจ่าย
- ย่านความถี่ของสัญญาณรบกวนที่ต้องการลดทอน

2.) เลือกรูปแบบของวงจรกรองความถี่ผ่านที่จะนำมาใช้งาน

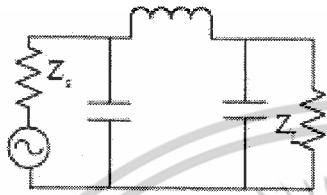
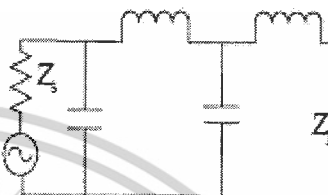
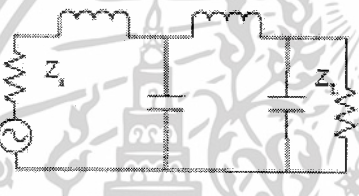
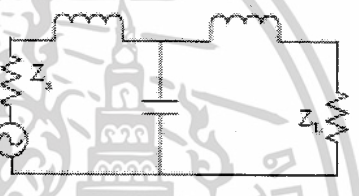
เลือกรูปแบบวงจรกรองตามตาราง โดยดูที่อิมพีแดนซ์ของโหลดและแหล่งจ่าย และดูว่าจะต้องเลือกวงจรกรองอันดับใด ต้องดูถึงความจำเป็น และขนาดของสัญญาณรบกวนที่ต้องการลดทอน ว่ามีค่ามากหรือน้อยเพียงใด ตามมาตรฐาน เพราะถ้าหากเลือกวงจรกรองที่มีอุปกรณ์มากผลที่ตามมาคือราคาและน้ำหนักที่มากตามไปด้วย

ตารางที่ 2.2 แสดงการใช้วงจรกรองอันดับหนึ่งและสอง ให้เหมาะกับอิมพีแดนซ์ด้านแหล่งจ่ายและโหลด

| Z_L \ Z_S | High | Low |
|---------------|--|--|
| High |  <p>(first order capacitor filter type)</p> |  <p>(second order L-filter type)</p> |
| Low |  <p>(second order L- filter type)</p> |  <p>(first order inductor filter type)</p> |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงการใช้วงจรกรองอันดับสามและสี่ให้เหมาะกับอิมพีแดนซ์ด้านแหล่งจ่ายและโหลด

| Z_s \ Z_L | High | Low |
|---------------|---|---|
| High |  <p>(third order π - filter type)</p> |  <p>(cascade filter Type)</p> |
| Low |  <p>(cascade filter Type)</p> |  <p>(third order T- filter type)</p> |

3). คำนวณหาค่า R_d

จากสมการ $\frac{V_1}{I_1} = R = \frac{V_2}{I_2}$ และ $R_d \sqrt{\frac{L}{C}}$ จะได้ $R_d = \frac{V}{I} = \sqrt{\frac{L}{C}}$ เนื่องจากใน
ที่นี้ค่าความเหนี่ยวนำ และความจุไฟฟ้าเป็นตัวแปรที่ยังไม่ทราบค่า จึงต้องใช้สมการ

$$\frac{V_1}{I_1} = R = \frac{V_2}{I_2}$$

จะได้ว่า

$$R_d = \frac{V_{min,rms}}{I_{max,rms}} \quad (2.52)$$

โดยที่ $V_{min,rms}$ คือค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ใช้งาน

$I_{max,rms}$ คือค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าหากมองจากสมการนี้แล้วก็คือ ค่าความต้านทานต่ำที่สุด หรือโหลดสูงสุดที่ใช้งานนั่นเอง ซึ่งถ้าหากต้องการกรองสัญญาณรบกวนด้านเข้าหรือด้านออกก็ใช้แรงดันและกระแสของด้านนั้น

4). หาค่าความถี่คัทออฟของวงจรกรอง

โดยเริ่มต้นต้องทราบความถี่ที่ต้องการกำจัด (F) และขนาดของมัน (dB) สามารถได้จากการวัด โดยใช้ออสซิลโลสโคปที่สามารถแตก FFT ได้หรือจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

โดยมีตัวแปรที่กำหนดดังต่อไปนี้

- F** คือความถี่ของสัญญาณที่ต้องการกำจัด
- dB** คือค่าการลดทอนที่ต้องการ ณ ความถี่ที่ต้องการกำจัด
- Lss** คือค่าความสูญเสีย (loss) หรือค่าอัตราการลดทอนในหน่วย $dB/decade$ ของวงจรกรองที่เลือกใช้ตามตารางแบบไพน์และที่มีค่า
- $$Lss = (2N + 1)6 \text{ และวงจรกรองแบบแอลมีค่า } Lss = 12N$$
- N** คือจำนวนชุดวงจรกรองแต่ละแบบที่นำมาต่ออนุกรมกัน (number of filters in tandem) ยกตัวอย่างเช่นในกรณีของวงจรกรองแบบแอลประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุอย่างละหนึ่งตัว ถือว่าเป็น 1 ชุด จะได้ $N = 1$ ถ้ามีการต่อต้านคาสเคดกันไปอีกชุด จะได้ $N = 2$ เป็นต้น

ในกรณีของวงจรกรองแบบที่ กก็กล่าวในทำนองเดียวกัน โดยสรุปเป็นได้ดังนี้

ตารางที่ 2.4 ค่าอัตราการลดทอน (Lss) ในหน่วย dB/Octave

| Filter | Number of filters in tandem | | | | | | |
|--------|-----------------------------|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| L | 12 | 24 | 36 | 48 | 60 | 72 | 84 |
| T | 18 | 30 | 42 | 54 | 66 | 78 | 90 |

เมื่อได้ค่าความถี่ที่ต้องการกำจัด และขนาดของมันพร้อมทั้งค่าอัตราการลดทอนของรูปแบบวงจรกรองที่เลือกใช้ ในที่สุดก็สามารถหาค่า ความถี่ ณ จุด คัทออฟ ได้ดังนี้
จะได้

$$F_0 = \frac{F}{2^x} = \frac{F}{2^{\frac{dB}{2L_{ss}}}} \quad (2.53)$$

5). คำนวณค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ

โดยนำค่า R_d และค่า F_0 ที่ได้มา ไปแทนในสมการ (3.9) และ (3.10) ได้ดังนี้

$$L = \frac{R_d}{\pi F_0 R_d} \quad (2.54)$$

$$C = \frac{1}{\pi F_0 R_d} \quad (2.55)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบสร้างอินเวอร์เตอร์ และวงจรรองความถี่ต่ำด้านออก

ในบทที่ 2 ได้กล่าวถึงคุณลักษณะอินเวอร์เตอร์สำหรับเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าแล้ว จากหลักการดังกล่าวนำมาซึ่งการออกแบบและสร้างอินเวอร์เตอร์ ที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าได้สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงการคำนวณพิกัดของกำลังอินเวอร์เตอร์ วงจรและเทคนิคการควบคุมอินเวอร์เตอร์ รวมถึงการออกแบบค่าตัวเก็บประจุกับค่าความเหนี่ยวนำของวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน และการจำลองอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า

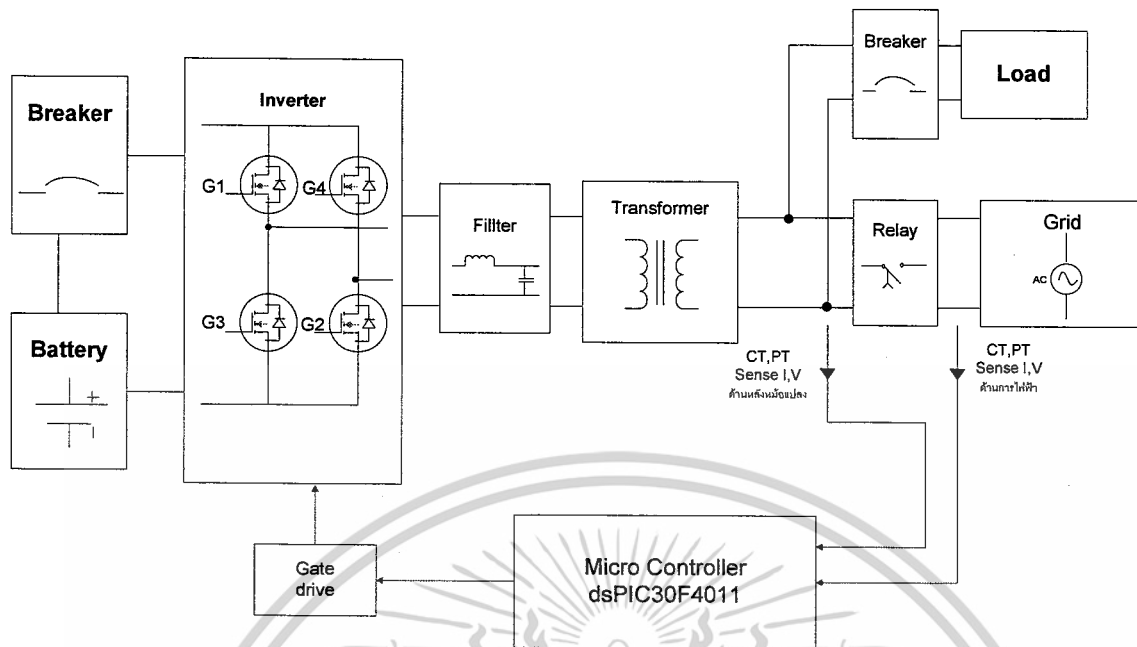
3.1 ส่วนประกอบของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า

อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าใช้ แสดงในรูปที่ 3.1 มีส่วนประกอบที่สำคัญแบ่งเป็น 4 ส่วนหลักๆคือ

- 1).แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง
- 2).วงจรอินเวอร์เตอร์
- 3).วงจรต่อกับระบบไฟฟ้า
- 4).ระบบควบคุม

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงในที่นี้ใช้แบตเตอรี่ในส่วนของวงจรอินเวอร์เตอร์ประกอบด้วยตัวเก็บประจุ เพื่อรักษาระดับแรงดันกระแสตรงให้คงที่ และตัวสวิตช์ใช้ไอจีบีที ต่อแบบฟูลบริดจ์เฟสเดียว แปลงแรงดันกระแสตรงเป็นกระแสสลับ ผ่านชุดกรองความถี่ต่ำผ่าน ส่วนวงจรต่อกับระบบไฟฟ้า ประกอบด้วยหม้อแปลงกำลังแบบเพื่อแรงดันมีหน้าที่แปลงแรงดันกระแสสลับจากวงจรอินเวอร์เตอร์ซึ่งมีขนาดแรงดันที่สูงขึ้นเท่ากับแรงดันระบบไฟฟ้า และต่อกับระบบไฟฟ้าด้วยสวิตช์รีเลย์ ตรวจสอบสัญญาณแรงดัน กระแสที่แบตเตอรี่ ตรวจสอบสัญญาณแรงดันกระแสของการไฟฟ้า ตรวจสอบจุดตัดต้นตุนัยแรงดันไฟฟ้าและควบคุมมุมกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แผนผังส่วนประกอบของอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อบattery

3.2 ขนาดพิกัดของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อบattery

ในการสร้างต้นแบบอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบบฟูลบริดจ์ สามารถทำได้โดยมีขั้นตอนการออกแบบดังต่อไปนี้

3.2.1 การคำนวณหาขนาดพิกัดกำลังของอินเวอร์เตอร์

1). หาขนาดแรงดันพิกัดแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์

เมื่อกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้า $V_d = 48$ โวลต์ และค่ามอดูเลชันที่สามารถปกติ $m_a = 0.8$ สามารถคำนวณแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์ได้ดังสมการที่ (3.1)

$$\hat{V}_{ol} = \hat{V}_{INV} = m_a V_d \quad (3.1)$$

$$\hat{V}_{ol} = 0.8 \times 48 = 38.4 V_d$$

$$\hat{V}_{ol} = \frac{\hat{V}_{ol}}{\sqrt{2}} = \frac{38.4}{\sqrt{2}} = 27.153 V$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเงื่อนไขแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าต่ำสุด ที่จะไม่ทำให้เกิดการทำงานในโหมดโอเวอร์มอดูเลชัน 1.0 โดยที่ค่าแรงดันด้านออกยังคงเท่าเดิมนั้น สามารถหาได้ดังนี้

$$V_d = \frac{\hat{V}_{ol}}{m_a} = \frac{38.4}{1} = 38.4 \text{ V}$$

ดังนั้นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้าของ อินเวอร์เตอร์ต้องไม่ต่ำกว่า 38.4 โวลต์ เพื่อไม่ให้เกิดโอเวอร์มอดูเลชัน ส่วนข้อเสียของการทำโอเวอร์มอดูเลชันนั้นได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ

2.1.2

2). หาพิกัดกระแสด้านออกของอินเวอร์เตอร์

โดยกำหนดพิกัดแรงดันด้านออก 500 W และ ค่าตัวประกอบกำลัง 0.90 จะได้

$$P_{ol} = V_{ol} \times I_{ol} \cos \phi \quad (3.2)$$

$$I_{ol} = \frac{P_{ol}}{V_{ol} \times \cos \phi} = \frac{500}{27.153 \times 0.9} = 20.16 \text{ A}$$

$$\hat{I}_{ol} = \sqrt{2} I_{ol} = \sqrt{2} \times 20.16 = 28.93 \text{ A}$$

3). หาขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าด้านเข้า

โดยในที่นี้กำหนดค่ากำลังไฟฟ้าพิกัดด้านออก เท่ากับ 500 W และ ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ไว้ 80%

จากสูตร

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta} \times 100\% = \frac{500}{80\%} \times 100$$

$$P_{in} = 625 \text{ W}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4). หาขนาดพิกัดกระแสต้านเข้า โดยมีแรงดันกระแสตรงต้านเข้า 48 V

$$P_d = I_d V_d$$

$$I_d = \frac{625}{48} = 13.02$$

| | |
|--|--|
| จากการคำนวณเบื้องต้น สามารถสรุปพิกัดกำลังของอินเวอร์เตอร์ได้ดังนี้ | |
| แรงดันกระแสตรงต้านเข้า (V_d) | 48-60 โวลต์ (เฉลี่ย)(ปกติใช้ 48 โวลต์) |
| กระแสต้านเข้า (I_d) | 13.02 แอมแปร์(เฉลี่ย) |
| กำลังไฟฟ้าจริงต้านเข้า (P_d) | 625 วัตต์ |
| แรงดันต้านออก (V_o) | 27.53 โวลต์(ต้านแรงดันต่ำของหม้อแปลงกำลัง) |
| กระแสต้านออก (I_o) | 20.16 แอมแปร์(ต้านแรงดันต่ำของหม้อแปลงกำลัง) |
| กำลังไฟฟ้าจริงต้านออก (P_o) | 500 วัตต์ |
| ประสิทธิภาพ (η) | 80% (โดยประมาณ) |
| ค่าตัวประกอบกำลัง (P.F.) | 0.90 (โดยประมาณ) |

3.2.2 การหาขนาดพิกัดตัวสวิตช์

การหาขนาดพิกัดกระแสต้านออกสูงสุดเท่ากับ 28.93 แอมแปร์และแรงดันต้านออกสูงสุดที่กำหนดเท่ากับ โวลต์ตัวสวิตช์ที่ใช้ต้องมีพิกัดมากกว่าสองเท่าของกระแสและแรงดันที่คำนวณได้ โดยมีพิกัดกระแส $2 \times 28.93 = 57.86$ โวลต์ ดังนั้นจึงเลือกใช้ IGBT เบอร์ HGTG20N60B3D ของบริษัท FAIRCHILD SEMICONDUCTOR ซึ่งมีพิกัดกระแส 40 แอมแปร์ และมีพิกัด แรงดัน 600 โวลต์

3.2.3 การหาขนาดพิกัดแหล่งจ่ายแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

| | | |
|--|-----|---------------------|
| การเลือกขนาดพิกัดของแบตเตอรี่ สามารถคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ได้ดังนี้ | | |
| ระยะเวลาที่จ่ายไฟให้กับระบบไฟฟ้า | 1 | ชั่วโมง (โดยประมาณ) |
| กำลังไฟฟ้าจ่ายโหลดสูงสุด (P_d) | 500 | วัตต์ |
| ใช้แบตเตอรี่ระบบแรงดัน (V_d) | 48 | โวลต์ |
| ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ (η) | 80 | เปอร์เซ็นต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{กระแสที่จ่ายโหลด} \quad I_d = \left(\frac{P_d}{V_d} \right) \times \left(\frac{100\%}{\eta} \right) = \left(\frac{500}{48} \right) \left(\frac{100\%}{80\%} \right) = 13.02$$

ดังนั้นขนาดความจุแบตเตอรี่ 13.02 แอมแปร์ - ชั่วโมง

เนื่องจากความจุแบตเตอรี่คงที่ตลอดอายุการใช้งานดังนั้นจึงจำเป็นต้องคิดการสำรองกำลังงานของแบตเตอรี่ไว้ 25 เปอร์เซ็นต์ (IEEE 1884-1994) เพื่อรักษาเสถียรภาพของค่าความจุแบตเตอรี่ไว้

ในส่วนของการจ่ายกำลังงานให้กับวงจรควบคุม การสำรองกำลังงานจะถูกตั้งไว้ 10 เปอร์เซ็นต์สำหรับหลักการเลื่อนขึ้นในส่วนที่ไม่ถูกคาดการณ์ไว้ในระบบทำงานของของวงจรเพื่อชดเชยกรณีตัวแปรที่มีอยู่ในกรณีทำงานต่ำลงหรือเปลี่ยนแปลงไปจากส่วนที่คาดการณ์ไว้และสำหรับการจ่ายกำลังงานซ้ำหลังจากระบบจ่ายกำลังงานถึงจุดแรงดันต่ำสุด (End voltage) (IEEE std 485-1983) และเพื่อชดเชยอุณหภูมิในการใช้งานของแบตเตอรี่ที่เปลี่ยนไปจากการคำนวณ (25 องศาเซลเซียส)

ดังนั้นค่าเพื่อไว้สำหรับการสำรองกำลังของทั้งสองส่วนนี้จึงคิดที่ 25 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นค่าที่เพื่อไว้สำหรับการสูญเสีย loss Factor = 35 เปอร์เซ็นต์

เพราะฉะนั้นความจุของแบตเตอรี่ที่ใช้งาน $13.02 \times 13.35 = 17.57$ แอมแปร์

ดังนั้นเลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 12 AH จำนวน 4 ลูก ต่ออนุกรมกัน

3.2.4 การหาขนาดพิกัดของหม้อแปลงกำลัง

พิกัดกำลังด้านออกที่กำหนดไว้ คือ 500 วัตต์ แต่เนื่องจากการทดสอบพบว่ากระแสและกำลัง มีโอกาสเกินพิกัด จึงใช้หม้อแปลงที่พิกัดดังนี้

| | |
|--|-------------------------|
| พิกัดกำลังไฟฟ้าขนาด | 600 โวลต์-แอมแปร์ |
| พิกัดกำลังไฟฟ้าต่ำ (V_1) และ (I_1) กระแส | 22 โวลต์ 17.72 แอมแปร์ |
| พิกัดกำลังไฟฟ้าสูง (V_2) และ (I_2) กระแส | 220 โวลต์ 17.72 แอมแปร์ |

สาเหตุที่เลือกพิกัดแรงดันด้านต่ำไว้ 22 โวลต์ ทั้งที่แรงดันด้านต่ำน่าจะเป็น 27 โวลต์ตามแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์ เนื่องจากจะมีแรงดันตกคร่อมวงจรกรอง ประมาณ 5 โวลต์ จึงต้องออกแบบเพื่อไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำต้านออก

จากขั้นตอนการออกแบบในบทที่ 2 ต่อไปจะเป็นการออกแบบจริงที่ใช้ในโครงงานนี้ มีขั้นตอนการออกแบบ 5 ขั้นตอนดังนี้

1). ในโครงงานนี้ต้องออกแบบวงจรกรองความถี่ต้านออกของอินเวอร์เตอร์แบบ 1 เฟสที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า พิกัด 500 วัตต์ ความถี่ออกที่ต้องการคือ 50 Hz โดยมีแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนอินเวอร์เตอร์เอง และมีพิกัดต้านออกของอินเวอร์เตอร์ที่พิกัดดังต่อไปนี้ แรงดันต้านออกต่ำสุดคือ $(V_{o1,rms}) = 27 \text{ V}$ และกระแสต้านออกสูงสุด $(I_{o1,rms}) = 20.16 \text{ A}$

2). วงจรกรองที่เลือกใช้ในช่วงต้นจะเลือกวงจรกรองแบบแฉว 1 ชุด โดยมีอัตราการลดทอนตามตารางที่ 2.4 คือ

3). หาค่า R_d

$$R_d = \frac{V_{\min,rms}}{I_{\min,rms}} \quad (3.7)$$

$$R_d = \frac{28}{20.06} = 1.39 \Omega$$

4). ความถี่คัตออฟคือ

$$F_0 = \frac{F}{2^{L_{ss}}} \quad (3.8)$$

$$F_0 = \frac{20k}{\frac{32}{2^{12}}} = \frac{20,000}{6.3} = 3,150 \text{ Hz}$$

5) คำนวณหาค่า

$$L = \frac{R_d}{\pi F_0} \quad (3.9)$$

$$L = \frac{1.39}{3.14(3,150)} = 140 \mu\text{H}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C = \frac{1}{\pi F_0 R_d} \quad (3.10)$$

$$C = \frac{1}{(3.14)(3,150)(1.39)} = 72.7 \mu\text{F}$$

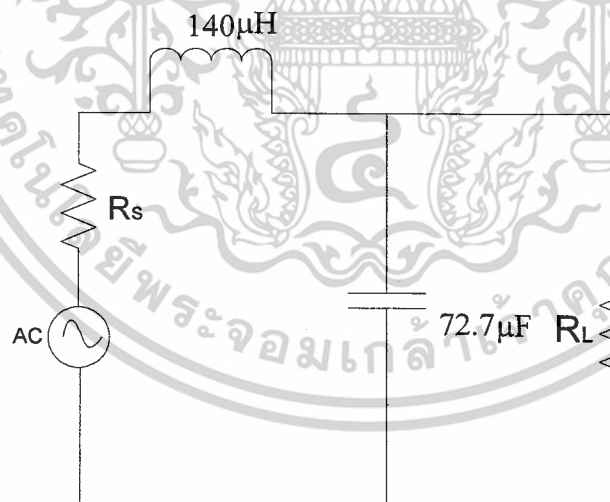
จากวิธีดังกล่าวสามารถนำไปออกแบบวงจรกรองแบบที่ได้ค่าดังนี้

ความถี่คัตออฟคือ

$$F_0 = \frac{F}{\frac{dB}{2^L}} = \frac{20\text{k}}{\frac{32}{2^{18}}} = \frac{20,000}{3.4} = 5,832.65\text{Hz}$$

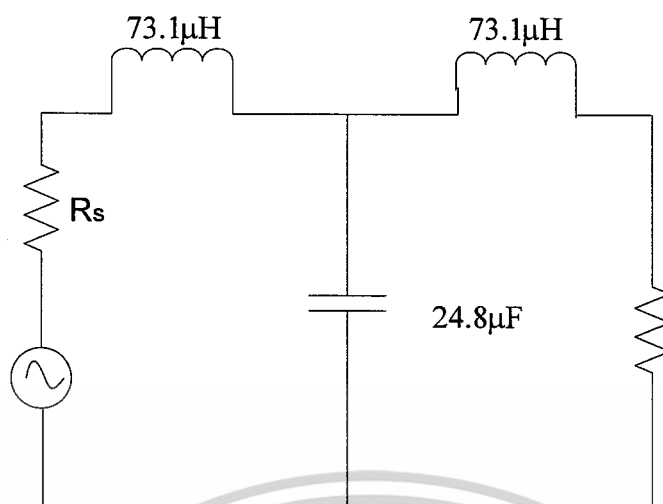
$$L = \frac{R_d}{\pi F_0} = \frac{1.34}{3.14(5,832)} = 73.1 \mu\text{F}$$

$$C = \frac{1}{\pi F_0 R_d} = \frac{1}{(3.14)(5,832)(2.2)} = 24.81 \mu\text{F}$$



ก) วงจรกรองแบบแอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข) วงจรกรองแบบที่

รูปที่ 3.2 วงจรกรองที่ได้จากการออกแบบ

ส่วนของการออกแบบตัวเหนี่ยวนำเพื่อใช้ในวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านสามารถสรุปเป็นขั้นตอนดังนี้คือ

การออกแบบตัวเหนี่ยวนำขนาด $140\ \mu\text{H}$

ก) จากการคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องการคือ $L = 140\ \mu\text{H}$

ข) คำนวณหาพลังงานสะสม

$$E = \frac{1}{2}LI_m^2$$

$$E = \frac{1}{2}(140 \times 10^{-6})(\sqrt{2} \times 12.3)^2 = 56,899\ \mu\text{J}$$

ค) เลือกขนาดและชนิดแกนเหล็กให้มีค่าพลังงานสะสมมากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณจากตารางภาคผนวก ข ได้เป็นแกน T - 250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง) หาจำนวนรอบในการพันตัวเหนี่ยวนำ

พิจารณาภาคผนวก ข ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานสะสมกับแกนแม่เหล็ก จะทราบค่า Ampere-Turns คำนวณหาค่า N

$$NI = 600$$

$$N = 34.49$$

จ) จงหาขนาดของขดลวดตัวนำ

พิจารณาจากตารางภาคผนวก ข winding table

จากขั้นตอนที่ผ่านมา ขนาดแกนเหล็กเท่ากับ T - 250 จำนวนรอบเท่ากับ 30 ก็จะได้ขนาดของขดลวดตัวนำคือ awg-11

ส่วนตัวเหนี่ยวนำขนาด 140 μH สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

ก) จากการคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องการคือ $L = 140\mu\text{H}$

ข) คำนวณหากำลังงานสะสม

$$E = \frac{1}{2} LI_m^2$$

$$E = \frac{1}{2} (140 \times 10^{-6}) (\sqrt{2} \times 20.16)^2 = 14,451.5 \mu\text{J}$$

ค) เลือกขนาดและชนิดแกนเหล็กให้มีค่าพลังงานสะสมมากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณจากตารางภาคผนวก ข ได้เป็นแกน T-250

ง) หาจำนวนรอบในการพันตัวเหนี่ยวนำ

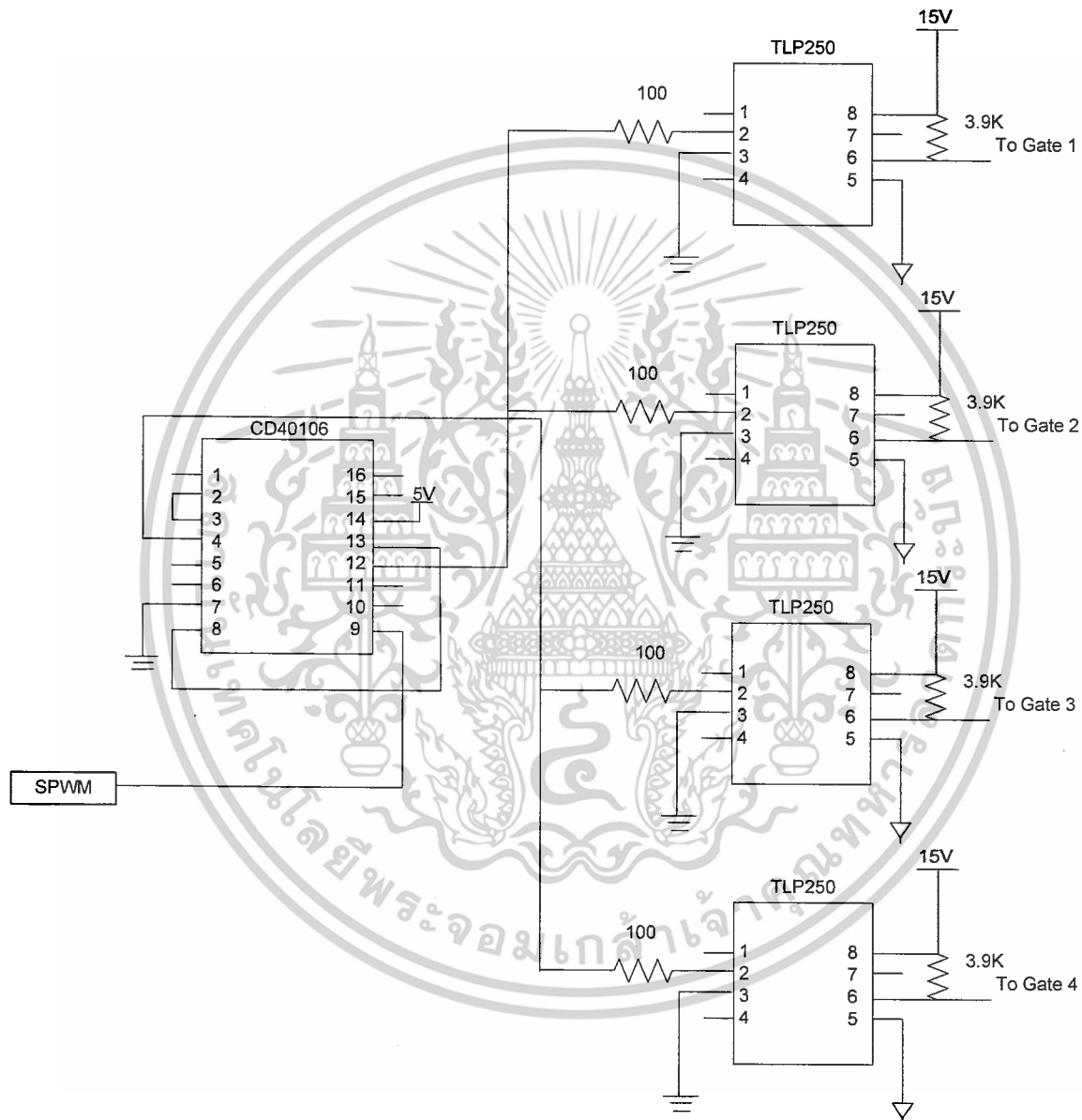
พิจารณาภาคผนวก ข ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานสะสมกับแกนแม่เหล็ก จะทราบค่า Ampere - turns คำนวณหาค่า N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ระบบควบคุม

3.4.1 วงจรขับนำสวิตช์ (Gate driver)

ทำหน้าที่รับสัญญาณ SWM จากไมโครคอนโทรลเลอร์ มาผ่านวงจรบัฟเฟอร์ แล้วจึงนำสัญญาณดังกล่าวไปยังวงจรแยกสัญญาณทางแสง จากนั้นจึงส่งสัญญาณเข้าทางขาเกตของไอจีบีทีที่แสดงวงจรในรูปที่ 3.3

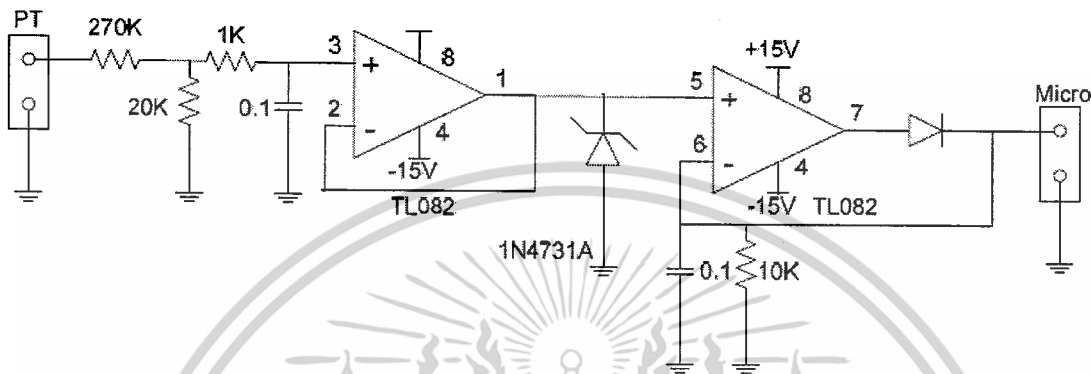


รูปที่ 3.3 วงจรขับนำสวิตช์ (gate driver)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 วงจรตรวจวัดแรงดันไฟตรง

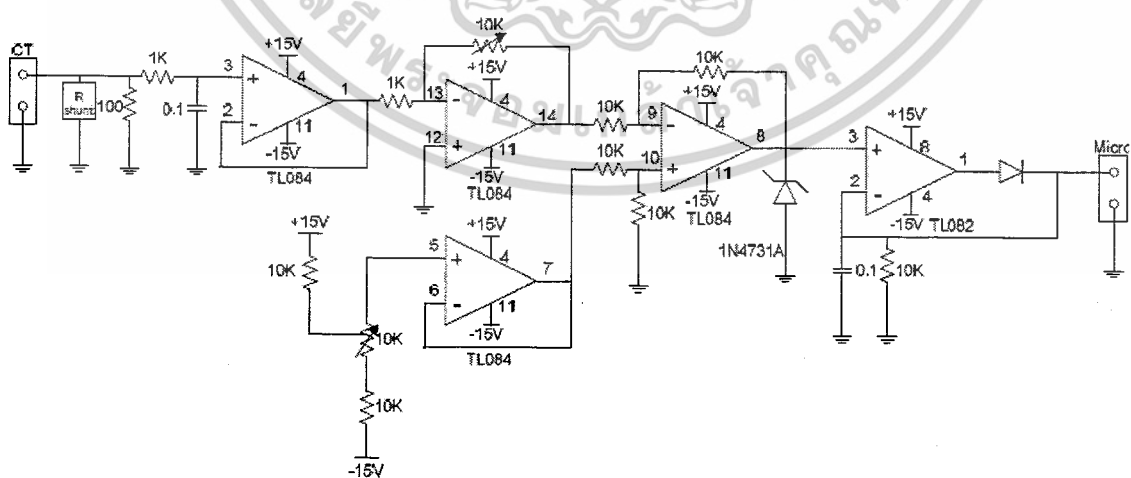
ซึ่งเป็นแรงดันอินพุต ออกแบบโดยลดทอนแรงดันด้วยตัวต้านทานจากแรงดัน 46 - 48 โวลต์ลดทอนเป็น 2 - 4.5 โวลต์ แล้วผ่านวงจรลงความถี่ต่ำผ่านและวงจขยายสัญญาณ ออปแอมป์ แล้วเชื่อมโยงกับไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรตรวจวัดแรงดันไฟตรง

3.4.3 วงจรตรวจวัดกระแสไฟตรง

ใช้หลักการแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน แปรผันกระแสที่ไหลผ่าน ผ่านวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน และขยายสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์ แล้วเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงในรูปที่ 3.5

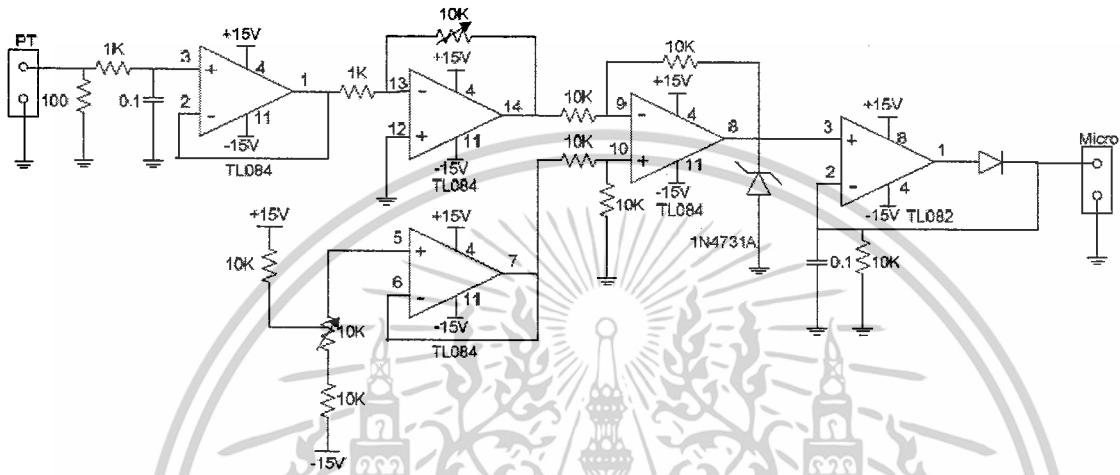


รูปที่ 3.5 วงจรตรวจวัดกระแสไฟตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 วงจรตรวจวัดแรงดันระบบไฟฟ้า

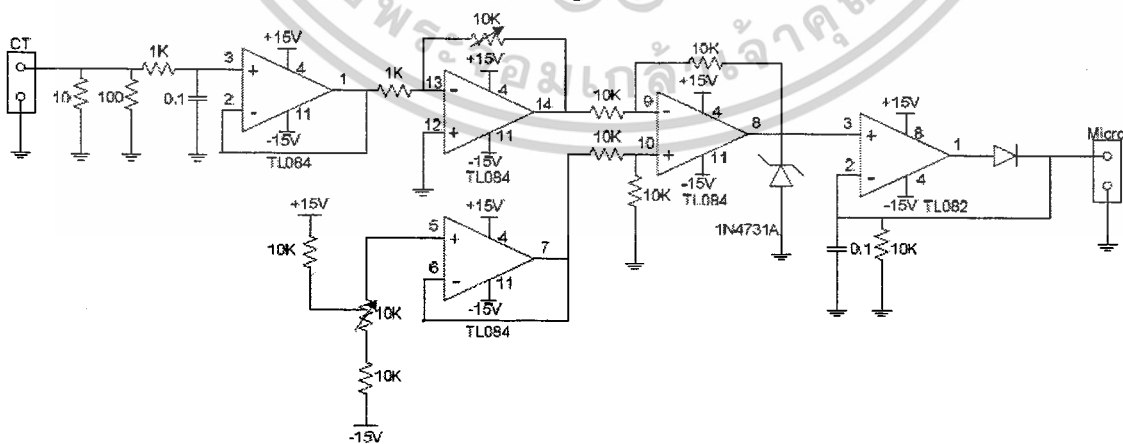
วงจรตรวจวัดแรงดันระบบไฟฟ้า ซึ่งตรวจวัดแรงดันกระแสสลับที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ออกแบบโดยใช้หม้อแปลงลดแรงดันจาก 220 โวลต์ เป็นแรงดัน 2 โวลต์ ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน และขยายสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์ แล้วเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงในวงจรรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรตรวจวัดแรงดันระบบไฟฟ้า

3.4.5 วงจรตรวจวัดกระแสระบบไฟฟ้า

วงจรตรวจวัดกระแสระบบไฟฟ้า ซึ่งเป็นกระแสทางด้านอินพุต โดยใช้หลักการของ Current Transducer ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน และขยายสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์ แล้วเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงในวงจรรูปที่ 3.7

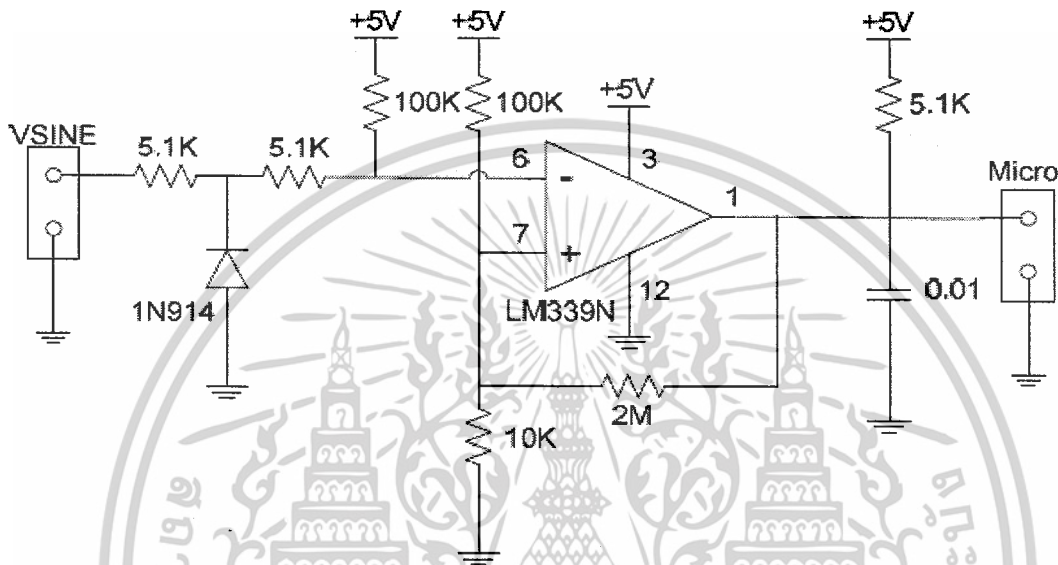


รูปที่ 3.7 วงจรตรวจวัดกระแสระบบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.6 วงจรตรวจวัดจุดตัดสัญญาณแรงดันระบบไฟฟ้า

วงจรตรวจวัดจุดตัดสัญญาณแรงดันระบบไฟฟ้า จะถูกตรวจวัดจุดตัดสัญญาณ เพื่อเป็นมุมเฟสอ้างอิงที่ศูนย์องศา สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ จุดตัดสัญญาณจะถูกตัดเข้ากับขา RF6 (INPUT) ของไมโครคอนโทรลเลอร์วงจรตรวจวัดจุดตัดสัญญาณออกแบบโดยใช้ LM339N เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดันแสดงในวงจรรูปที่ 3.8

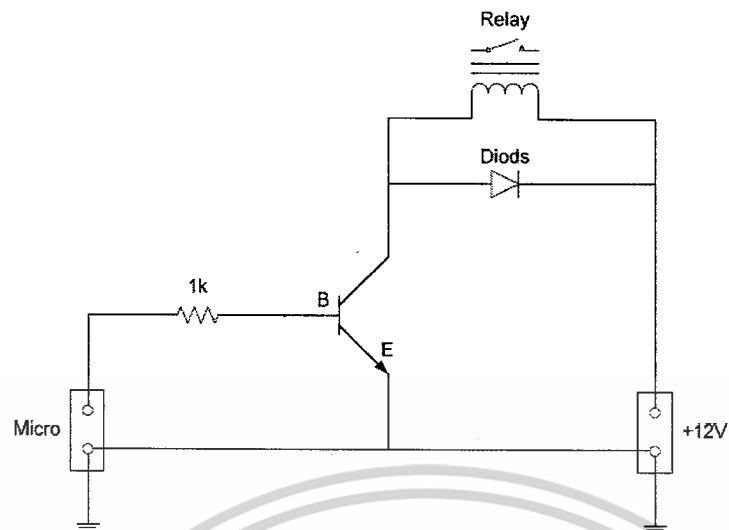


รูปที่ 3.8 วงจรตรวจวัดจุดตัดสัญญาณแรงดันระบบไฟฟ้า

3.4.7 การขับรีเลย์ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

หลักการขับรีเลย์แบบแม่เหล็กไฟฟ้าคือ ใช้กระแสต่ำไม่กี่ไมโครแอมป์หรือมิลลิแอมป์มาควบคุมเปิด-ปิดต่อเหมือนสวิตช์ตัวหนึ่ง เพื่อให้โหลดสามารถใช้กระแสสูงๆเป็นแอมแปร์ได้ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของรีเลย์นั้น ว่าทนแรงดันขนาดเท่าใดโดยรีเลย์ต้องการกระแสเท่าไรและมีความต้านทานมากน้อยขนาดไหนซึ่งค่าเหล่านี้ต้องให้ความสนใจ เพราะเป็นเรื่องสำคัญในการใช้รีเลย์

วงจรคอนโทรลหรือวงจรควบคุมที่เป็นดิจิทัล โดยใช้ฟันจากเอาพุตที่ออกมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมรีเลย์ให้ทำงานแต่กระแสจ่ายออกมาน้อยจึงต้องมีทรานซิสเตอร์มาขยายกระแส เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของรีเลย์



รูปที่ 3.9 การขับรีเลย์ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

ทั้งนี้เพื่อป้องกันแรงดันย้อนกลับจึงมีไดโอดต่อคร่อมคอนรีเลย์ ไดโอดใช้กันส่วนมากจะเป็นไดโอดที่ใช้ในวงจรเรกติไฟร์ทั่วไปคือเบอร์ 1N4001 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ที่ใช้ในการเรียนรู้และทดลองของโครงการนี้คือเบอร์ dsPIC30F4011 ซึ่งมีขาต่อใช้งาน 40 ขาในรูปที่ 3.10 แสดงไดอะแกรมการทำงานและส่วนประกอบของ dsPIC30F4011 และการจัดขาสำหรับหน้าที่ของแต่ละขา ได้อธิบายโดยสรุปไว้ในตาราง คุณสมบัติเทคนิคของ dsPIC30F4011 ดังนี้

40-Pin PDIP



รูปที่ 3.10 (ก) การจัดขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1). คุณสมบัติของ CPU

- มี 84 คำสั่งมาตรฐาน สามารถรองรับรูปแบบการอ้างแอดเดรสได้อย่างอิสระ
- ชุดคำสั่งมีขนาด 24 บิต สามารถประมวลผลข้อมูลได้ 16 บิต
- มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟรต ความจุ 12 กิโลไบต์ ลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 100,000 ครั้ง สามารถป้องกันการอ่านได้
- สามารถโปรแกรมหน่วยความจำได้ด้วยตัวเอง โดยใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์
- มีหน่วยความจำข้อมูลอีพรอม 1 กิโลไบต์ ลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 1,000,000 ครั้ง
- มีหน่วยความจำข้อมูลแรม 512 ไบต์
- รีจิสเตอร์ W จัดในรูปของอะเรย์ มีขนาด 16 บิต จำนวน 16 ตัว
- ความเร็วในการทำงานสูงถึง 30 ล้านคำสั่งต่อวินาที
- ความถี่สัญญาณนาฬิกาภายนอกในกรณีใช้งานร่วมกับวงจรมัลติเพล็กซ์ภายใน ตั้งแต่ 4MHz ถึง 10MHz เลือกได้ 3 ระดับ คือ 4,8 หรือ 16 เท่า
- รองรับแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์สูงสุด 62 แหล่ง รวมทั้งการอินเตอร์รัปต์จากภายนอก 3 แหล่ง
- สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ได้ 8 ระดับ
- มีอินเตอร์รัปต์ 48 ตำแหน่ง
- มีวงจรตรวจจับแรงดันไฟเลี้ยงต่ำกว่ากำหนดแบบโปรแกรมได้
- มีพาเวอร์-อนรีเซต, เพาเวอร์-อับไทเมอร์ และออสซิลเลเตอร์สตาร์ทอับไทเมอร์
- มีวอตช์ด็อกไทเมอร์แบบโปรแกรมได้
- มีวงจรตรวจสอบการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณนาฬิกา หากผิดพลาดจะเข้าสู่โหมดสัญญาณนาฬิกา RC พลังงานต่ำทันที
- รองรับการโปรแกรมในวงจรมินิชิป
- สามารถเลือกโหมดการใช้พลังงานได้
- ย่านไฟเลี้ยง 2.5 ถึง 5.5 V กระแสไฟฟ้า 2.6 ถึง 44 mA ที่ไฟเลี้ยง +5 ขึ้นอยู่กับการกำหนดความเร็วการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2). คุณสมบัติด้านการประมวลสัญญาณดิจิทัล

- มีแอดคิวิตีแอมพลิจูดขนาด 40 บิต 2 ตัวรองรับการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ได้เป็นอย่างดี
- มีหน่วยประมวลผลด้านการคูณและการหารเลข 17 บิตในรูปแบบของฮาร์ดแวร์ จึงทำให้สามารถทำการคูณและหารได้อย่างรวดเร็ว
- ทำการคูณเลข 16 บิตได้ภายในสัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ไซเคิล
- มีตัวเลื่อนมัลติเพล็กซ์ 40 สเลจ ช่วยให้การประมวลผลข้อมูลได้จำนวนมากๆและรวดเร็ว
- มีวงจรเฟดแบ็กข้อมูล จึงทำให้สามารถประมวลผลได้รวดเร็ว

3). คุณสมบัติของไมโครพินซ์พิเศษ

- สามารถจ่ายกระแสออกทางขาพอร์ตได้ 25 mA ทั้งแบบแสงและซอล์ก
- ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต 3 ตัว สามารถต่อใช้งานเป็นไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 32 บิตได้
- มีไมโครตรวจจับสัญญาณดิจิทัลขนาด 16 บิต 4 ชุด
- มีไมโครเปรียบเทียบข้อมูลและกำเนิดสัญญาณ PWM ความละเอียด 16 บิต 2 ชุด ในการเปรียบเทียบข้อมูลทางเลือกการทำงานได้ 2 โหมด
- มีตัวเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมแบบ SPI
- มีตัวเชื่อมต่ออุปกรณ์ผ่านระบบบัส i2c ทั้ง 7 และ 10 บิตหรือสลาฟได้
- มีมอดูลสื่อสารข้อมูล UART พร้อมบัฟเฟอร์แบบ FIFO
- มีมอดูลสร้างสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมมอเตอร์ 6 ช่อง
 - เลือกรูปแบบเอาต์พุตได้ทั้งแบบพลีเมนต์และอิสระ
 - มีโหมดสำหรับตำแหน่งการหมุนทั้งแบบปรับขอบสัญญาณและกึ่งกลาง
 - มีส่วนกำเนิดดีวีดีไซเคิล 4 ชุด
 - กำหนดฐานเวลาได้ 4 โหมด
 - สามารถเลือกขั้วของสัญญาณทางเอาต์พุตได้
 - มีสัญญาณกระตุ้นเพื่อให้ทำงาน สัมพันธ์กับวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลในไมโครคอนโทรลเลอร์
 - สามารถควบคุมสัญญาณเอาต์พุตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีโมดูลเชื่อมต่อเข้ารหัสแบบควอดตราเจอร์
 - มีอินพุต Phase A, Phase B และรับสัญญาณพัลส์เพื่อกำหนดตำแหน่ง
 - มีตัวรับตำแหน่งขนาด 16 บิต นับได้ขึ้นและลง
 - แสดงสถานะของทิศทางการนับได้
 - กำหนดโหมดของการวัดตำแหน่งได้ 2 โหมด x2 และ x4
 - มีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบดิจิตอลแบบโปรแกรมได้
 - สำหรับกำหนดให้ทำงานเป็นไทมเมอร์/เคาท์เตอร์ขนาด 16 บิตได้
 - กำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากตำแหน่งที่นับเกิน (rollover) หรือนับขนาด (underflow)
- มีวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลความละเอียด 10 บิต 9 ช่อง
 - อัตราการสุ่มแปลงสัญญาณ 500 กิโลแซมเปิลต่อวินาที
 - สามารถแปลงสัญญาณเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานในโหมดสลีปและไอเดิลได้

สถาปัตยกรรมโดยสรุปของ dsPIC30F4011

1). หน่วยประมวลผลกลาง

หน่วยประมวลผลของ dsPIC30F4011 ใช้คำสั่งที่ความยาว 1 เวิร์ด ขนาด 24 บิต โดยมี โปรแกรมเคาท์เตอร์ขนาด 23 บิต (จริงๆแล้วโดยโครงสร้างมี 24 บิต แต่ไม่สนใจบิต MSB ซึ่งก็คือบิต 23 และบิต LSB หรือ 0 กำหนดเป็น 0 จึงทำให้สามารถติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 4 เมกะเวิร์ด) เพื่อแจ้งแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมที่เข้าไปประมวลผล dsPIC30F4011 มีความจุของหน่วยความจำโปรแกรม 12 กิโลไบต์

เมื่อคำสั่งมีความยาว 24 บิตจึงบรรจุคำสั่งได้จริง 4 กิโลเวิร์ด

รีจิสเตอร์หลักที่ใช้ในการทำงานคือ รีจิสเตอร์ W (Working register) สำหรับใช้งานใน dsPIC จะแตกต่างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC อย่างมากโดยรีจิสเตอร์ W ได้รับการจัดโครงสร้างเป็นอาร์เรย์ขนาด 16 บิต จึงทำให้สามารถรองรับข้อมูลทั้งข้อมูลค่าแอดเดรส หรือค่าของรีจิสเตอร์ใดๆที่ต้องนำมาประมวลผลโดยใน dsPIC มีรีจิสเตอร์ W ให้ใช้งานถึง 16 ตัว ส่วนใหญ่ใช้ในการประมวลผลหลัก ส่วนอีกตัวหนึ่งก็คือ รีจิสเตอร์ W 15 จะใช้ทำงานร่วมกับซีสติกในการทำงานของโปรแกรมย่อยและปรกการอินเตอร์รัปต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านการตอบสนองอินเทอร์พิร์ตนั้น dsPIC30F4011 มีการจัดสรรพื้นที่เก็บค่าอินเทอร์พิร์ตเวกเตอร์ได้มากถึง 54 ตำแหน่ง และยังสามารถกำหนดลำดับความสำคัญได้อีก 8 ระดับ อีกด้วย

2). หน่วยความจำ

dsPIC30F4011 มีหน่วยความจำโปรแกรม 4 กิโลเวิร์ด แออสอยู่ในช่วง 0x000100 ถึง 0x001FEEE สามารถโปรแกรมหรือเขียนข้อมูลได้ 2 วิธีคือ

1. โดยใช้การโปรแกรมในวงจรอนุกรมหรือ ICSP ผ่าน ทางขา PDG และ PDC (ขาที่ 17 และ 18) แล้วให้สัญญาณพัลส์แรงดันสูงสำหรับโปรแกรมผ่านเข้ามาทางขา MCLR

2. โปรแกรมตัวเองในขณะที่ทำงานหรือ RTSP (RUN Time self-Programming) ส่วนหน่วยความจำข้อมูลแรมนั้น dsPIC30F4011 ได้จัดสรรเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูลแรม X และ Y แต่ละส่วนมีขนาด 16 บิต ความจุ 256 ไบต์ รวมเป็น 512 ไบต์ โดยแต่ละส่วนมีตัวกำหนดแอดเดรสแยกออกจากกันเรียกว่า AGU (Address Generation Unit) ในขณะที่หน่วยความจำข้อมูลอีพรอม dsPIC30F4011 จัดสรรไว้ที่แอดเดรส 0x7FFFFFFE มีความจุ 1 กิโลไบต์

3. ส่วนประมวลผลสัญญาณดิจิตอล (DSP Engine) นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างยิ่งของ dsPIC เนื่องจาก dsPIC ได้รับการออกแบบมาให้ทำงานในด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิตอลเป็นหลัก ดังนั้นจึงต้องมีการเพิ่ม ความสามารถในการคำนวณ ทางคณิตศาสตร์และลอจิกอย่างมาก โดยในส่วนประมวลผลสัญญาณดิจิตอลมีหน่วยจัดการคูณเลขขนาด 17x17 บิต ความเร็วสูงหน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์และลอจิกหรือ ALU ขนาด 40 บิตอีก 2 ตัว และตัวเลื่อนข้อมูล 2 ทิศทางแบบบาร์เรล (barrel sniffer) ขนาด 40 บิต จึงคำนวณให้สามารถจัดการข้อมูลขนาด 116 บิตได้เสร็จสิ้นภายในสัญญาณนาฬิกาเพียงไซเคิลเดียว

4. โมดูลฟังก์ชันพิเศษ dsPIC30F4011 ได้รวมเอาโมดูลสำหรับทำงานเฉพาะทางไว้อยู่มากมาย ไม่ว่าจะเป็นโมดูลแปลงสัญญาณ อนุภาคเป็นดิจิตอล ความละเอียด 10 บิต, โมดูลเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมหรือ SPI, โมดูลสื่อสารข้อมูลบนระบบบัส i2c, โมดูลสื่อสารข้อมูลผ่านระพอดร็อนุกรมหรือ UART ไทเมอร์ขนาด 16 บิตถึง 3 ตัวและที่เป็นพิเศษอีก 2 โมดูลคือ โมดูลสร้างสัญญาณ PWM เพื่อการควบคุม มอเตอร์และโมดูลเข้ารหัสแบบควอดราเบอร์โดยสามารถใช้งานร่วมกันเพื่อสร้างระบบควบคุมมอเตอร์แบบปิดประสิทธิภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. พอร์ตอินพุตเอาต์พุต dsPIC30F4011 มีพอร์ตให้ใช้งานมากถึง 5 พอร์ต รวม 40 ขาดังนี้

พอร์ต B มี 9 ขา คือ RB0-RB8

พอร์ต C มี 2 ขา คือ RC13-RC14

พอร์ต D มี 3 ขา คือ RD0-RD3

พอร์ต E มี 7 ขา คือ RE0-RE5,RE8

พอร์ต F มี 7 ขา คือ RF0-RF6

โครงสร้างทางโปรแกรมที่ควรทราบ

ในรูปที่ 3.12 แสดงโครงสร้างทางโปรแกรมหรือ Program model ของ dsPIC ที่พัฒนา ซึ่งประกอบด้วย

ก) รีจิสเตอร์ W ขนาด 16 บิตถึง 16 ตัวโดยตัวที่ใช้งานหลักคือ W0 ส่วนตัวที่ใช้ในส่วนประมวลผลสัญญาณดิจิทัลมี 10 ตัวคือ W4 - W13 ส่วน W14 ถูกนำไปรวมเป็นตัวซีเฟรมและ W15 ถูกนำไปใช้ร่วมเป็นตัวซีสแต็ก

ข) แอ็กคิวมูเลเตอร์ 40 บิตจำนวน 2 ลูกใช้ในส่วนประมวลผลสัญญาณดิจิทัลหลัก

ค) โปรแกรมเคาน์เตอร์ขนาด 24 บิตนำมาใช้ในการแจ้งแอดเดรส 24 บิตโดยไม่สนใจ บิต MSB และบิต LSB ต้องเป็น 0

ง) รีจิสเตอร์หลัก อันประกอบด้วย

STAUS ซึ่งใช้แสดงสถานะการทำงานมีขนาด 16 บิต

CORCON ใช้ควบคุมการทำงานของหน่วยประมวลผลกลาง 8 บิต

TBLPAG เป็นรีจิสเตอร์กำหนดเพ็จของตารางข้อมูลในหน่วยความจำมีขนาด 8 บิต

PAVPAG เป็นรีจิสเตอร์แสดงแอดเดรสของพื้นที่โปรแกรมมีขนาด 8 บิต

RCOUNT เป็นรีจิสเตอร์เก็บค่าตัวนับรอบของลูปที่ทำงานซ้ำ

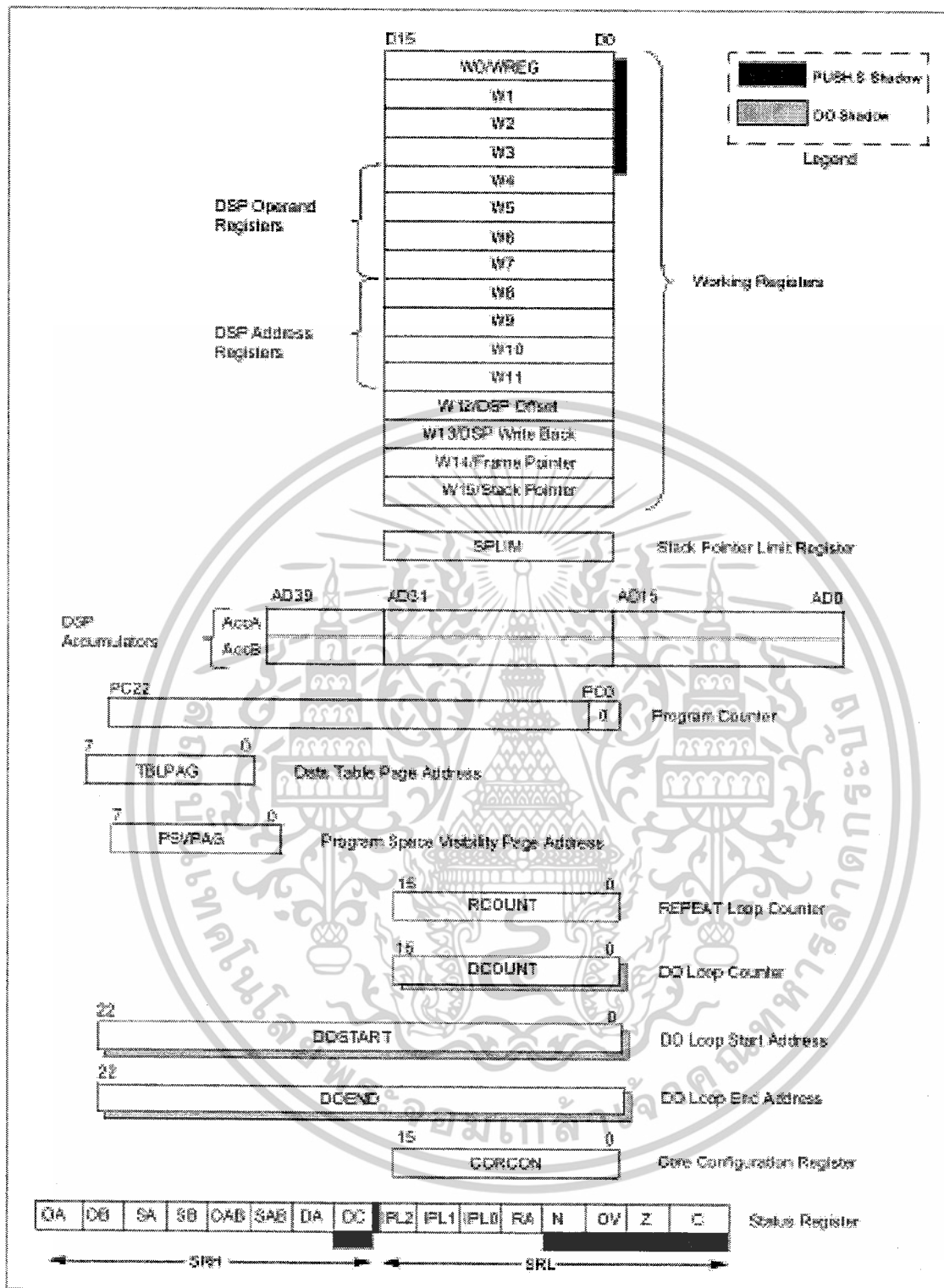
DCOUNT เป็นรีจิสเตอร์เก็บค่าตัวนับรอบของลูปที่ทำงาน

DOSTART เป็นรีจิสเตอร์กำหนดแอดเดรสเริ่มต้นทำงานของโปรแกรมลูป

DOEND เป็นรีจิสเตอร์กำหนดแอดเดรสปลายทางที่การทำโปรแกรมลูป

สำหรับรีจิสเตอร์ DCOUNT, DOSTART และ DOEND เป็นรีจิสเตอร์เงา (shadow register) หมายความว่า เป็นรีจิสเตอร์ที่ถูกสร้างขึ้นชั่วคราวเพื่อเก็บค่าก่อนที่จะมีการถ่ายทอดออกไปทำงาน จึงไม่สามารถเข้าถึงรีจิสเตอร์เหล่านี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 โครงสร้างทางโปรแกรม (Program model) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การจำลองอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า

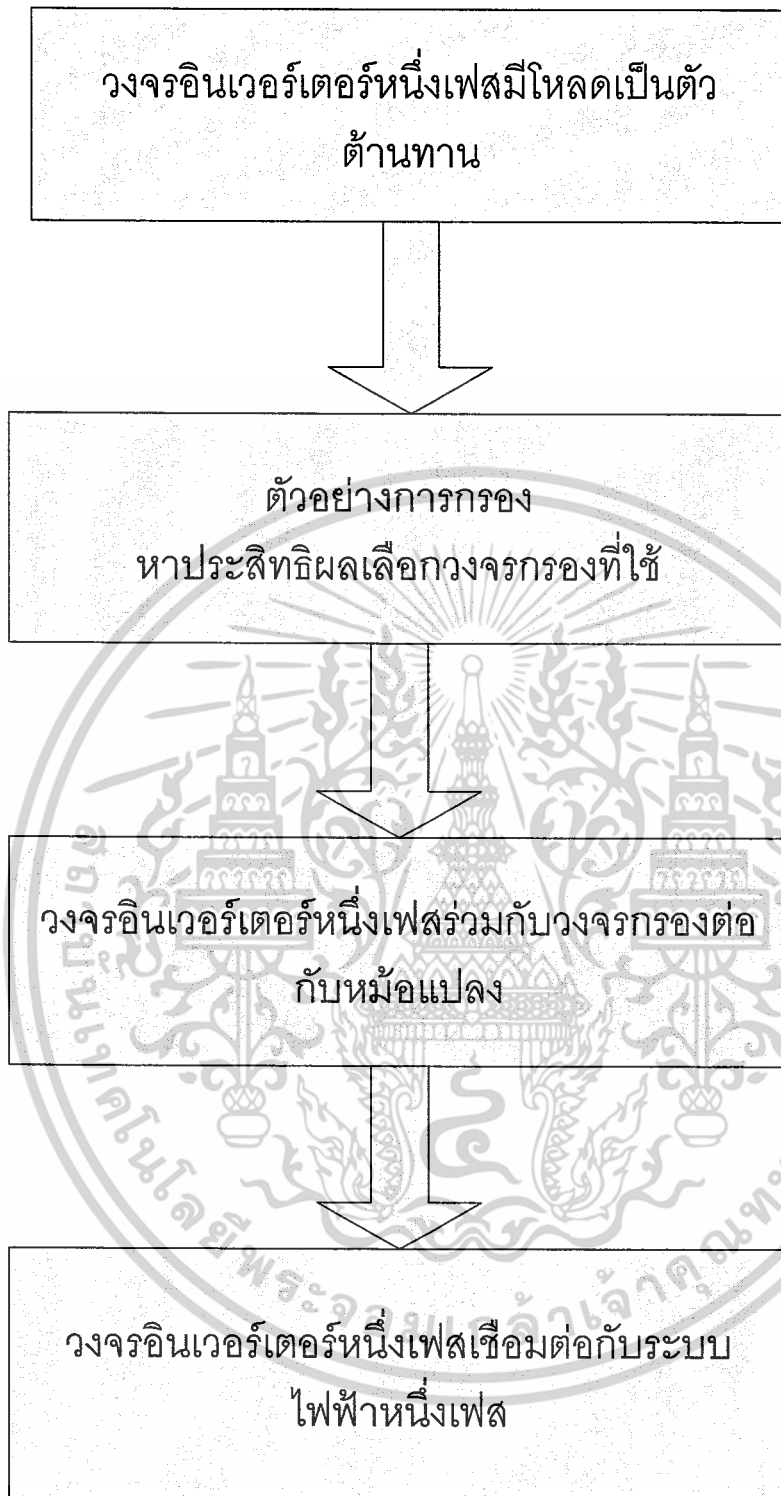
บทนี้เป็นการจำลองด้วยโปรแกรม Math lad เพื่อการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า หนึ่งเฟส หลังจากที้ออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์จากบทที่แล้ว

4.1 การสร้างแบบจำลอง

จะแบ่งการสร้างแบบจำลองออกเป็น 4 ส่วนหลัก ๆ ด้วยกันคือ

1. การจำลองการทำงานของอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส โดยมีโหลดเป็นตัวต้านทาน
2. การจำลองการทำงานของวงจรกรองเพื่อหาประสิทธิภาพของวงจรกรองที่ใช้งานจริง
3. การจำลองการทำงานของอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสร่วมกับวงจรกรองต่อกับหม้อแปลง
4. การจำลองระบบอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

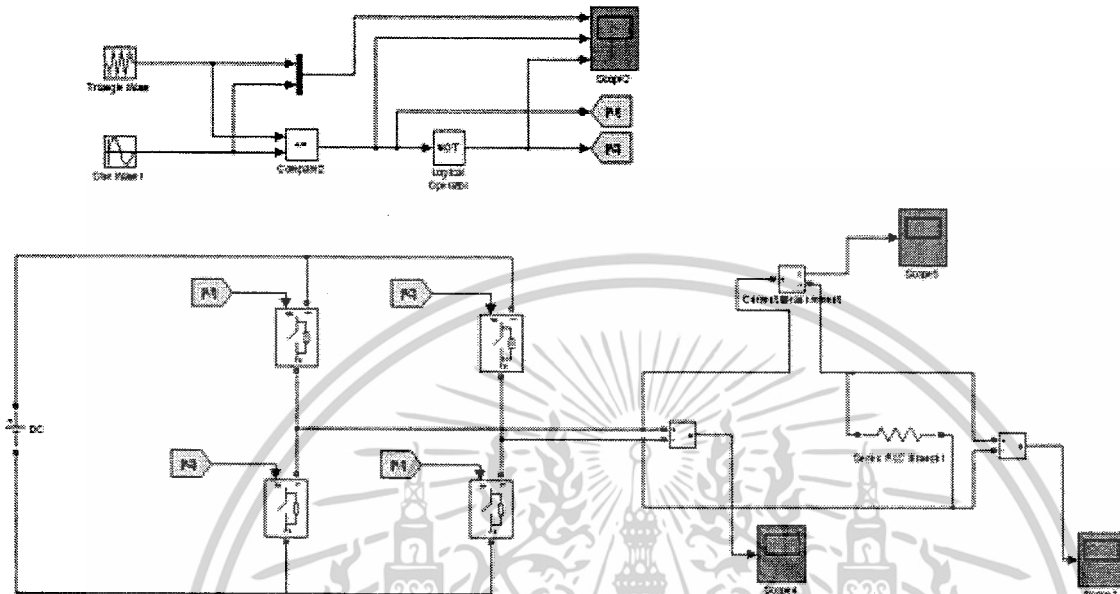


รูปที่ 4.1 ลำดับขั้นตอนการการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

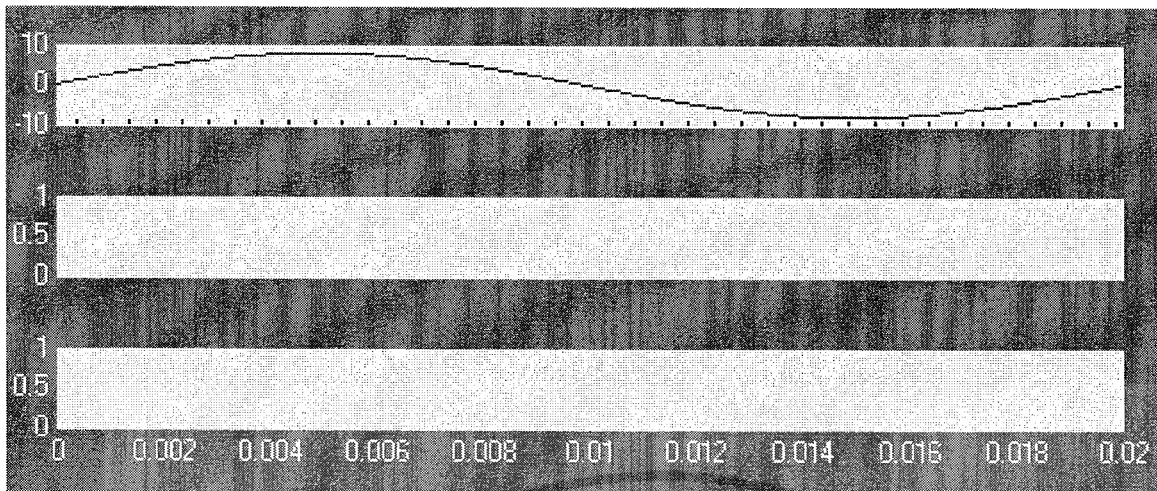
4.1.1 ลำดับขั้นตอนการจำลอง

4.1.1 การจำลองของโหมตอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสโดยมีโหลดเป็นตัวต้านทาน

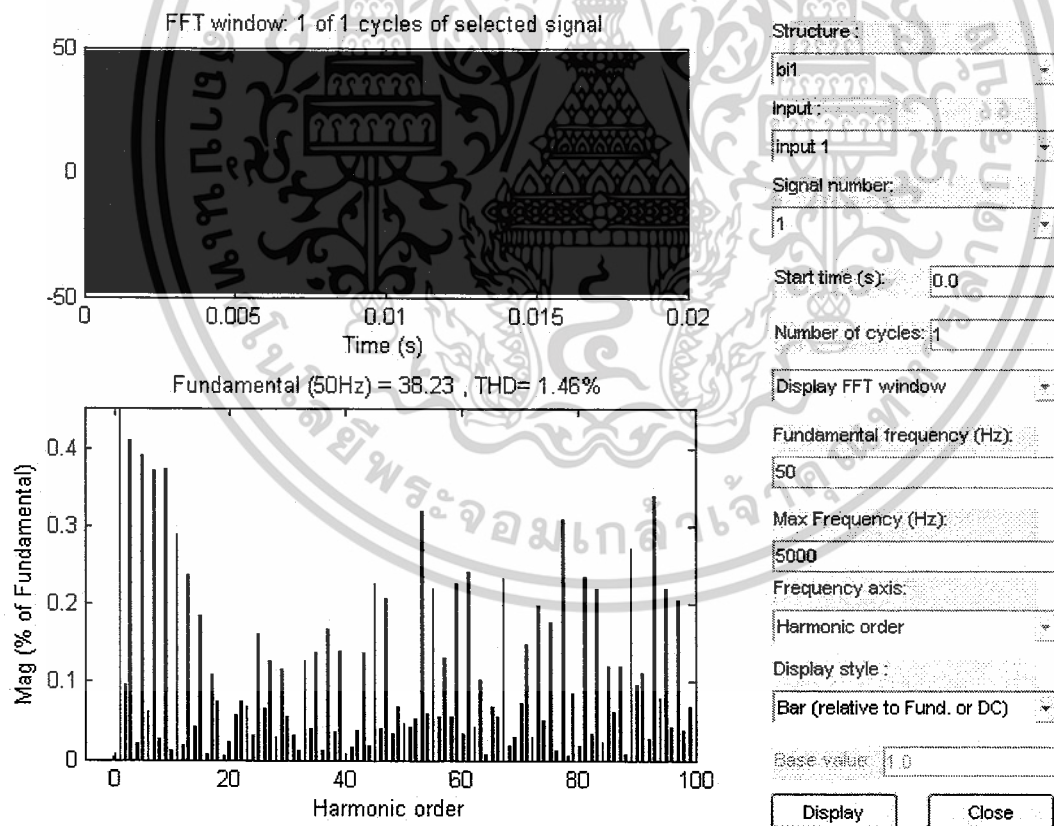


รูปที่ 4.2 วงจรจำลองอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสเชื่อมต่อกับโหลดความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 รูปสัญญาณด้านออก SPWM ของอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส



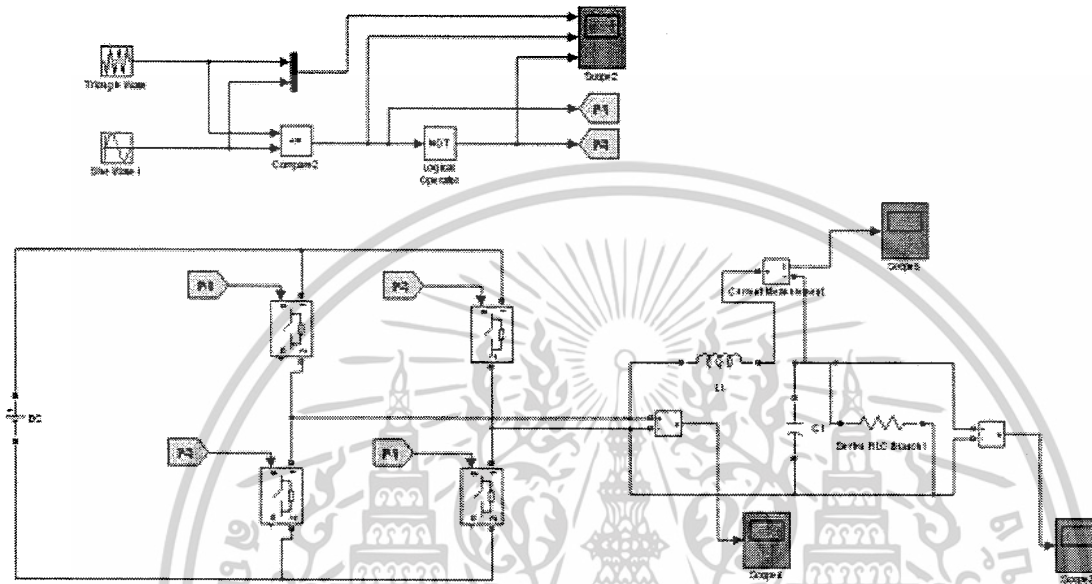
รูปที่ 4.4 สเปกตร้าฮามอนิกของแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การจำลองการทำงานของวงจรกรองเพื่อหาประสิทธิภาพของวงจรกรองที่ใช้งานจริง

โดยมีวงจรกรองความถี่ที่เลือกมาพิจารณาคือวงจรกรองแบบ L และแบบ T

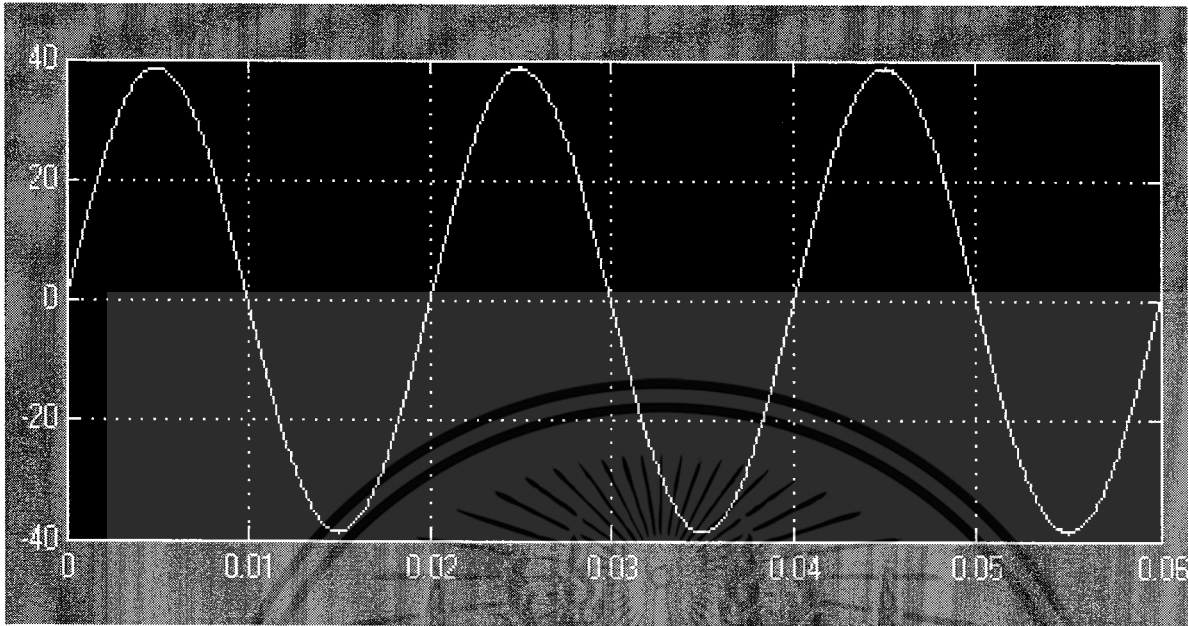
4.1.2.1 การจำลองการทำงานของวงจรกรองแบบแอล



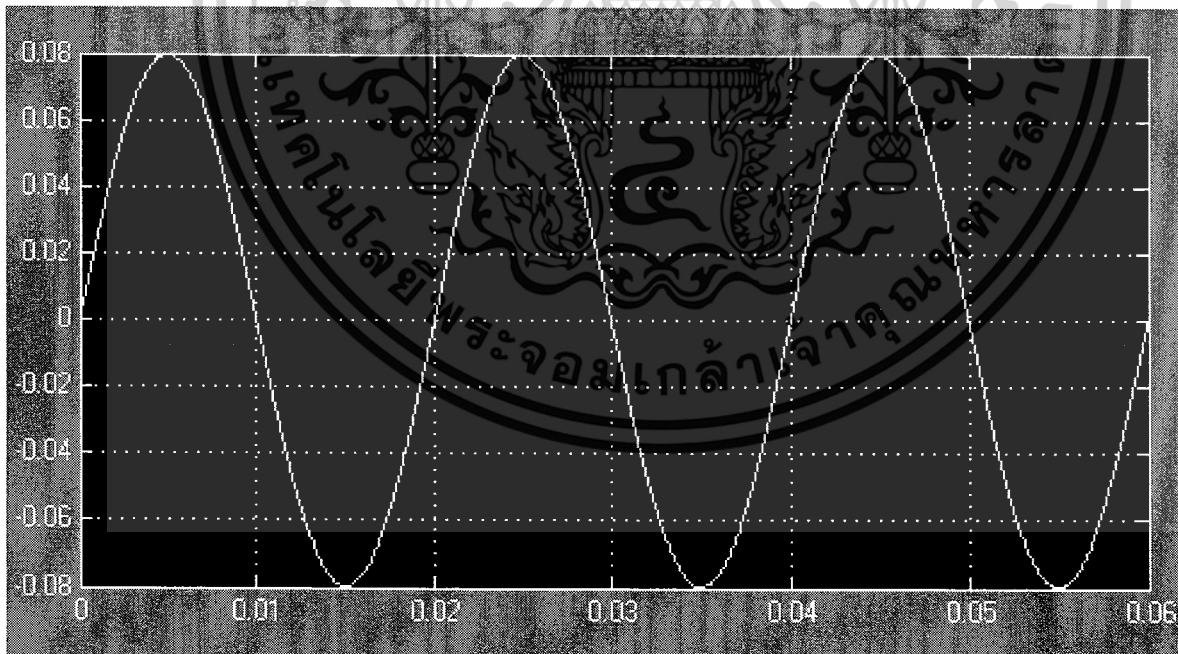
รูปที่ 4.5 วงจรจำลองอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสต่อกับวงจรกรองความถี่แบบแอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการทำงานของวงจรถืออินเวอร์เตอร์กับวงจรกรองแบบแอล

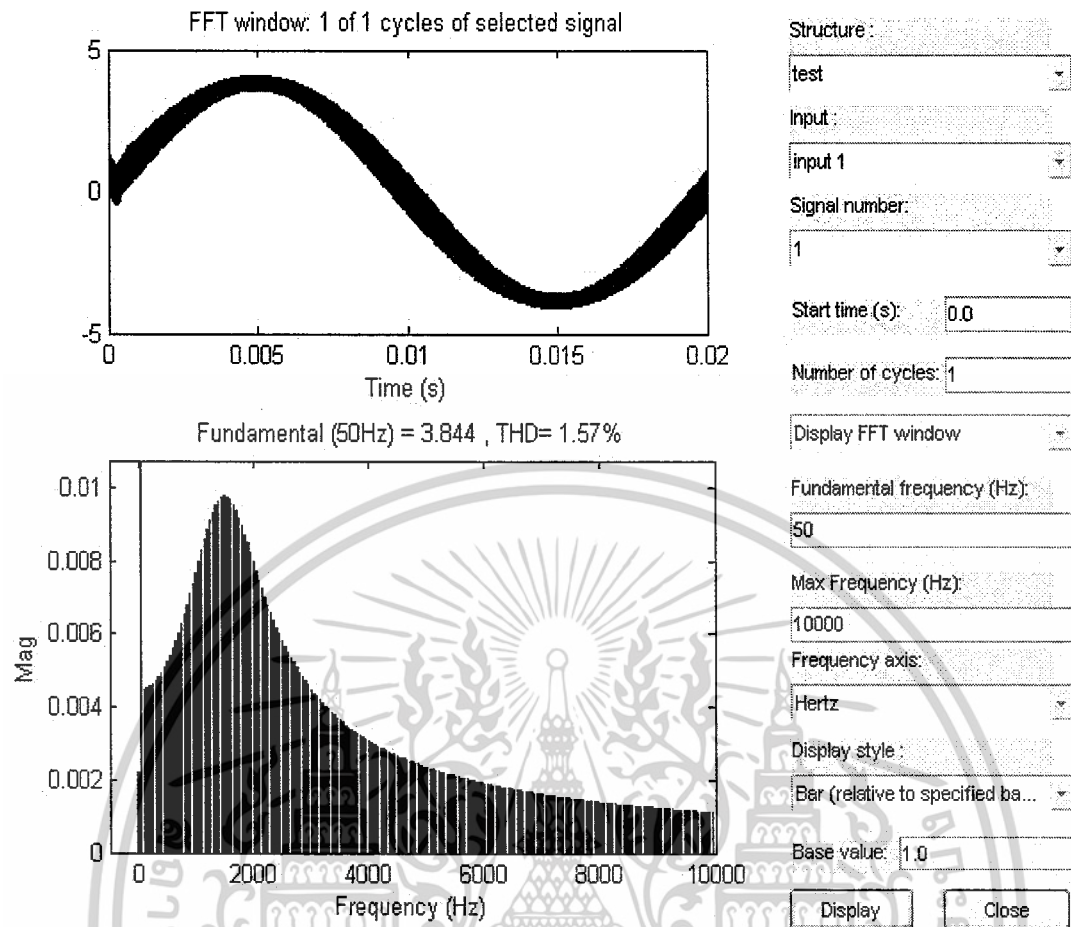


รูปที่ 4.6 ผลการจำลองแรงดันหลังผ่านวงจรกรองแบบแอล



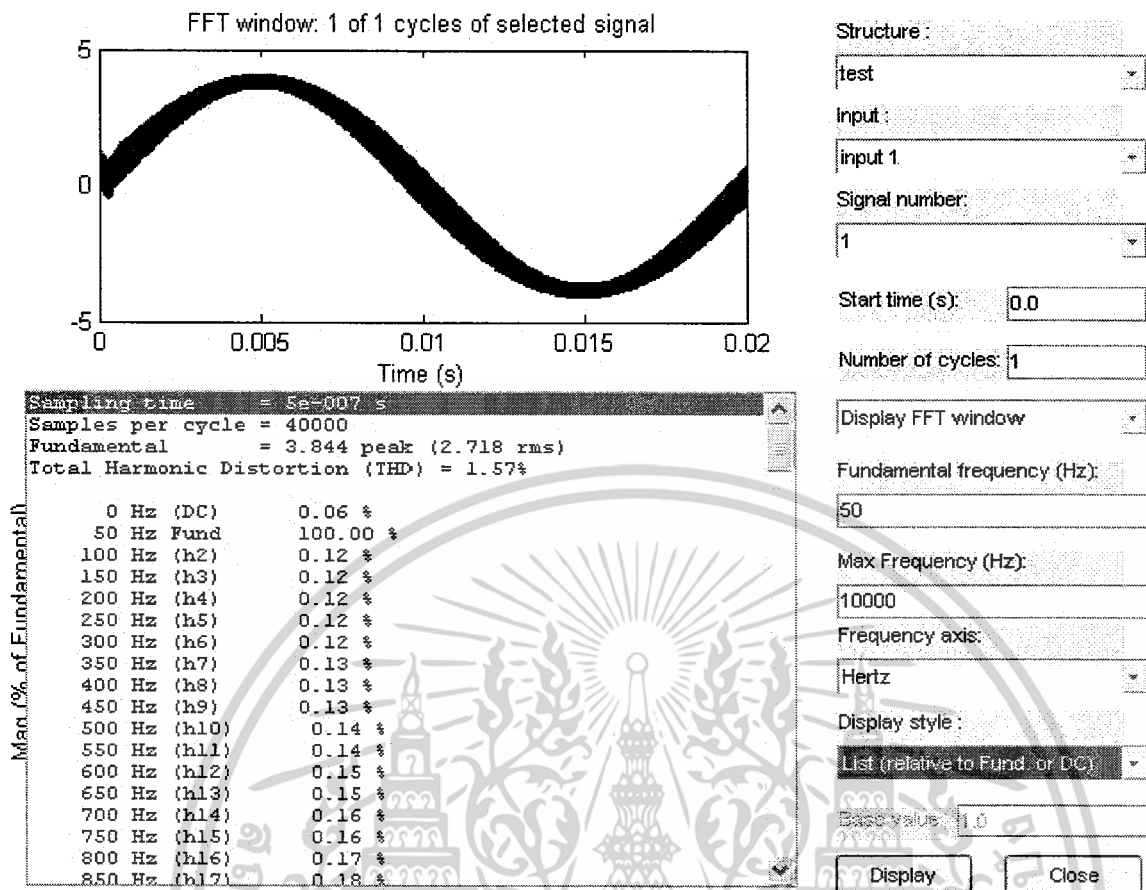
รูปที่ 4.7 ผลการจำลองกระแส หลังผ่านวงจรกรองแบบแอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 สเปกตร้าฮาร์โมนิกของแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 20 kHz หลังผ่านวงจรกรองแบบแอลลดลง 0.2 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ผลการจำลองวงจรแบบ L มีค่า THD = 1.57%

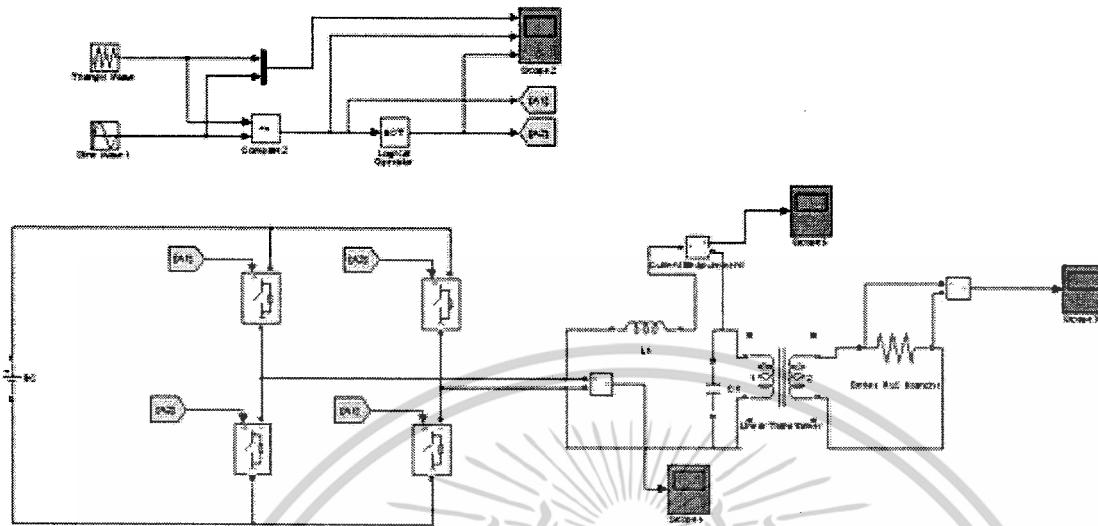
วิเคราะห์ผลการจำลองประสิทธิภาพผลของวงจร

จากการจำลองที่ผ่านมา ในตอนแรกวงจรอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสต่อกับโหลดความต้านทาน พบว่าแรงดันและกระแสที่ได้ออกมาจะไม่ใช่รูปคลื่นไซน์ จำเป็นจะต้องมีวงจรกรองเข้ามาช่วย จากการออกแบบในบทที่ 3 วงจรกรองคือ วงจรแบบแอล

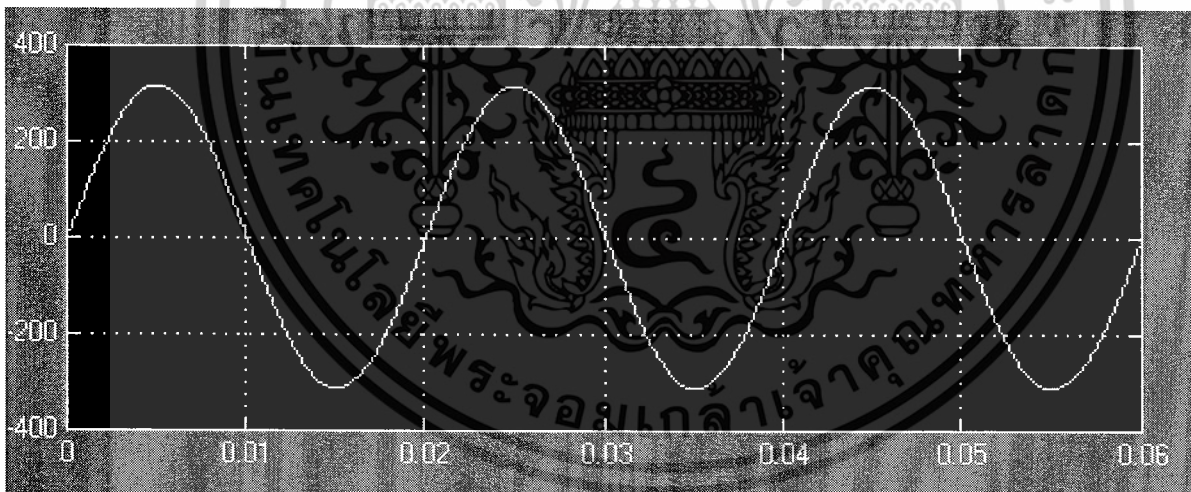
เมื่อพิจารณาที่วงจรกรองแบบแอลจะได้สัญญาณด้วยกันทั้งคู่ จึงพิจารณาที่วงจรลดทอน สัญญาณลบจาก วงจรกรองแบบแอมมีสเปคตรัมฮาโมนิก ของแรงดันต้านออกของอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่ความถี่ 20 kHz เหลือ 0.242 V ตามตารางของ IEEE 519 std จะกำหนดขีดจำกัดระดับความผิดเพี้ยนของฮาร์โมนิกรวมของแรงดัน จึงพิจารณา THDv ของวงจรกรองแบบแอม พบว่า THDv ของวงจรกรองแบบแอมมีค่าเท่ากับ 1.57 % ซึ่งมาตรฐานกำหนดไว้ 5 % จึงสามารถใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การจำลองการทำงานของระบบอินเวอร์เตอร์ร่วมกับวงจรกรองต่อกับหม้อแปลง

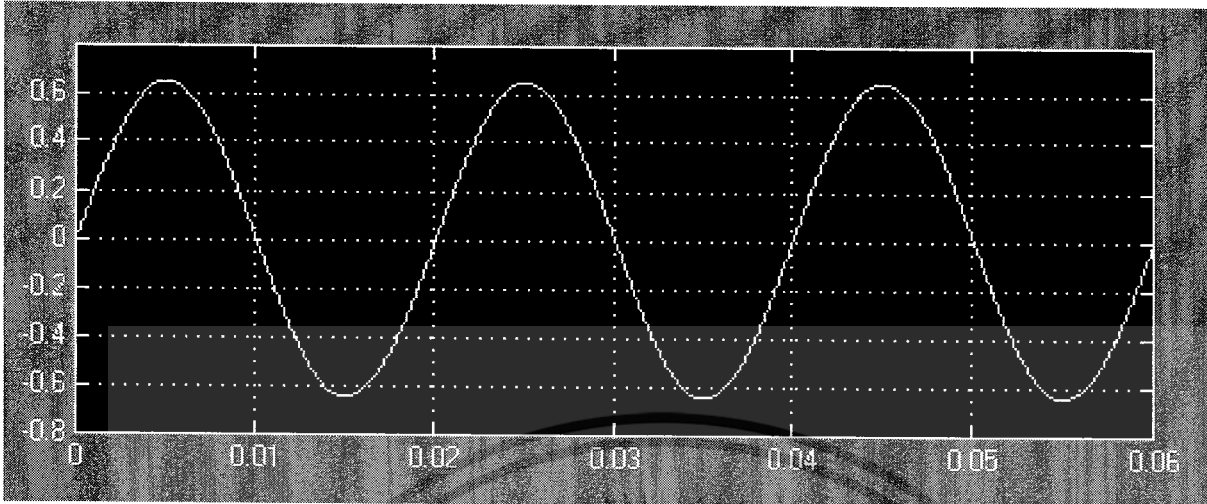


รูปที่ 4.10 วงจรอินเวอร์เตอร์ร่วมกับวงจรกรองแบบแอลต่อกับหม้อแปลง

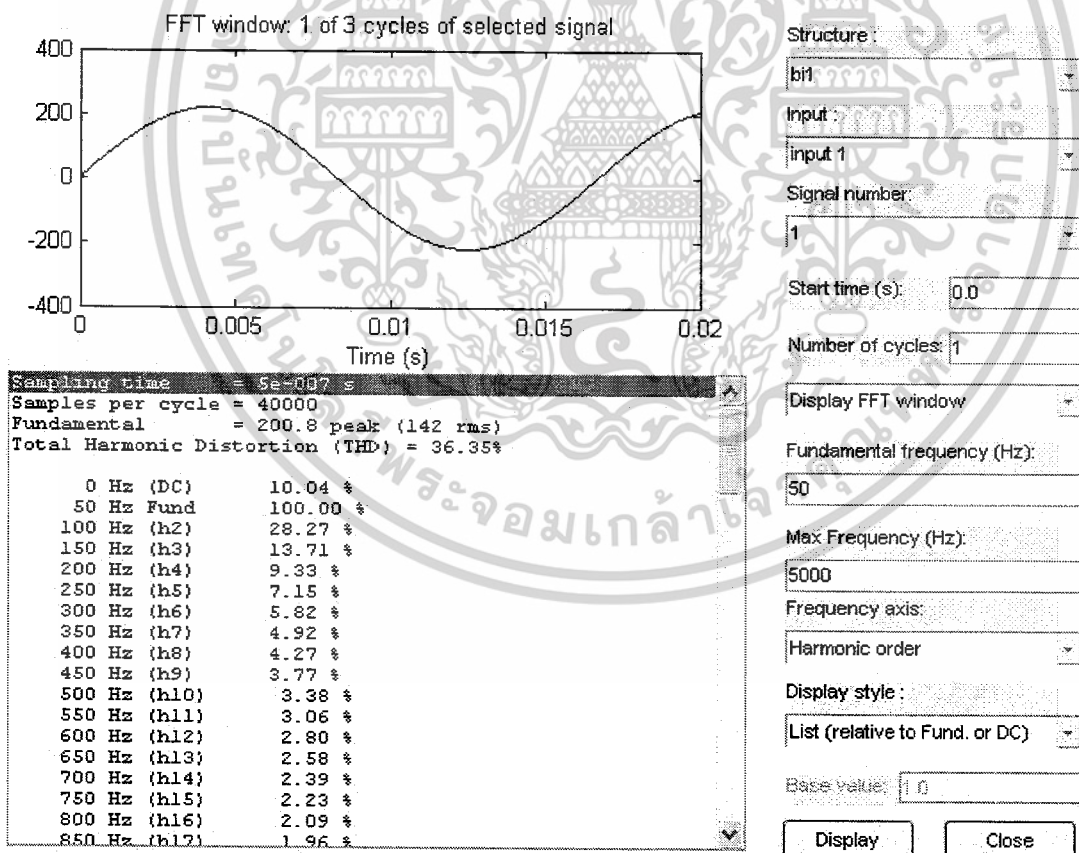


รูปที่ 4.11 ผลการจำลองแรงดันหลังผ่านหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

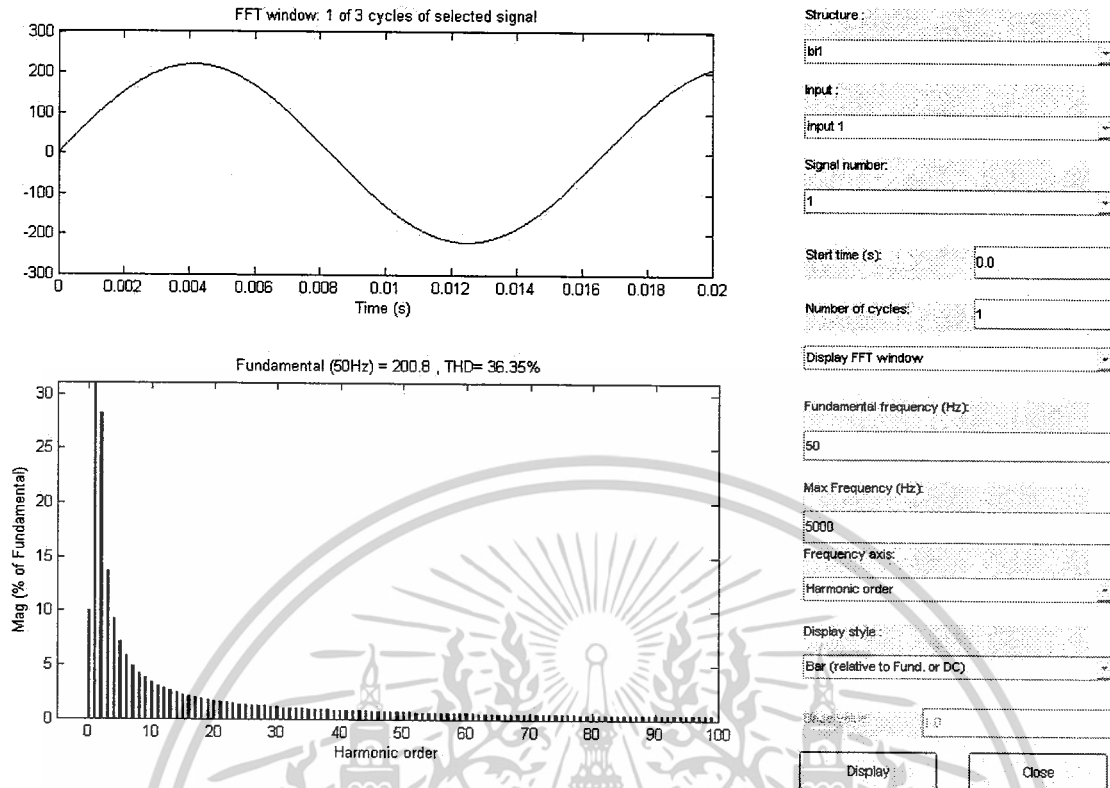


รูปที่ 4.12 ผลการจำลองกระแสหลังผ่านหม้อแปลง



รูปที่ 4.13 (ก) ผลการจำลองวงจรอินเวอร์เตอร์กับจรรยาแบบ L ต่อกับหม้อแปลง THD = 36.35 %

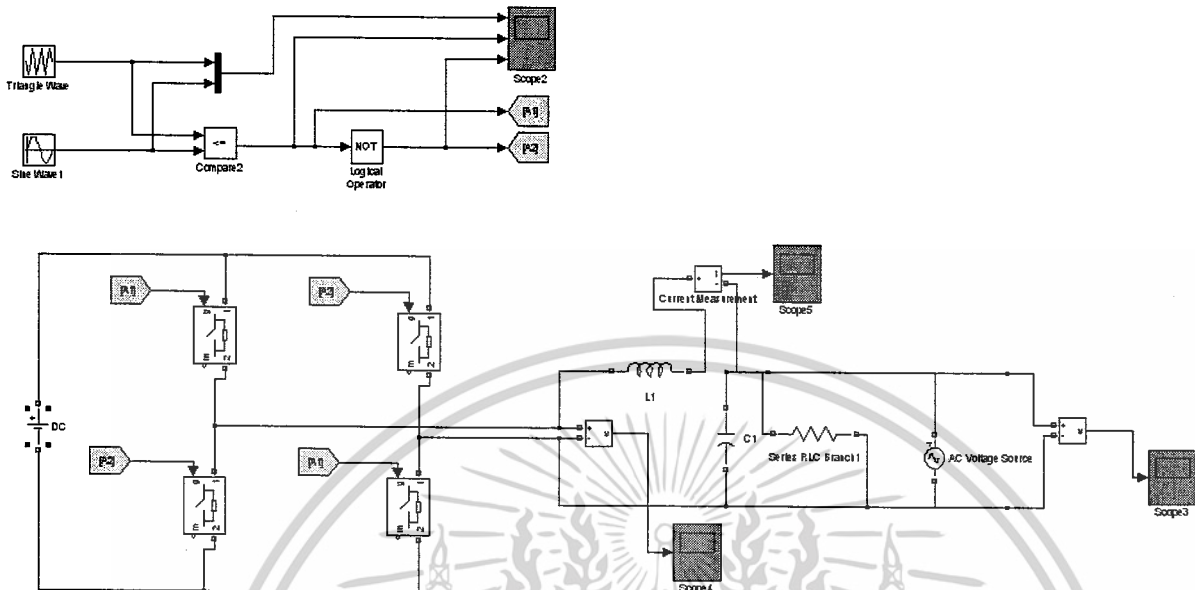
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



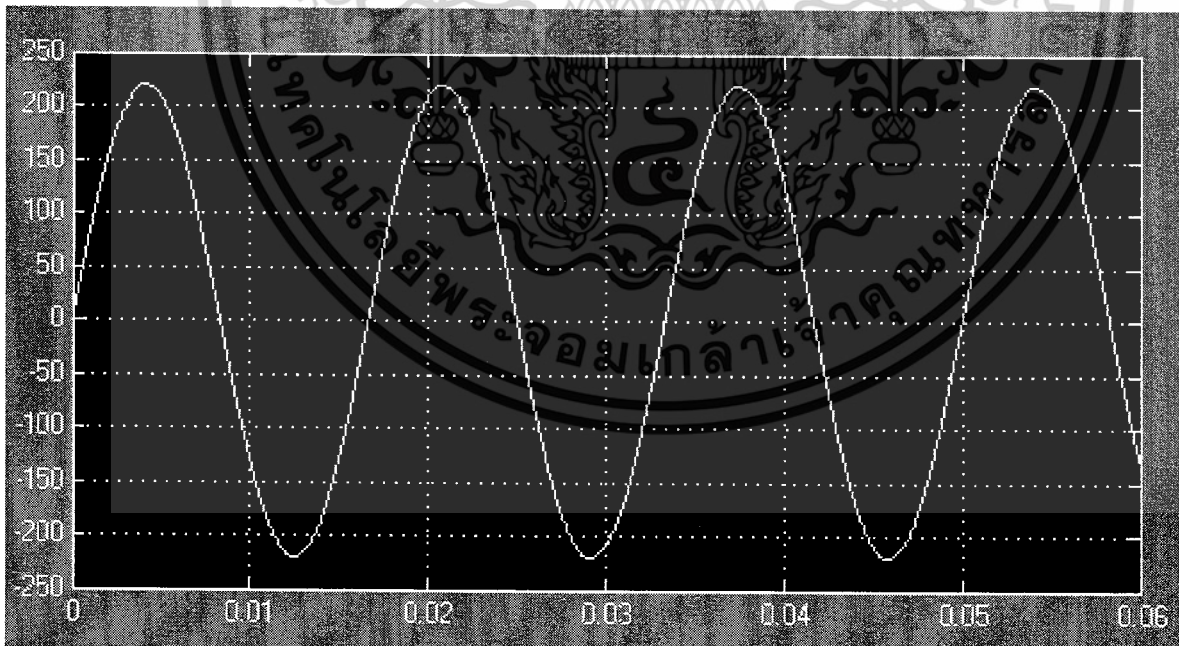
รูปที่ 4.14 ผลการจำลองวงจรอินเวอร์เตอร์กับจกรองแบบ L ต่อกับหม้อแปลง THD = 36.35 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การจำลองระบบอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส

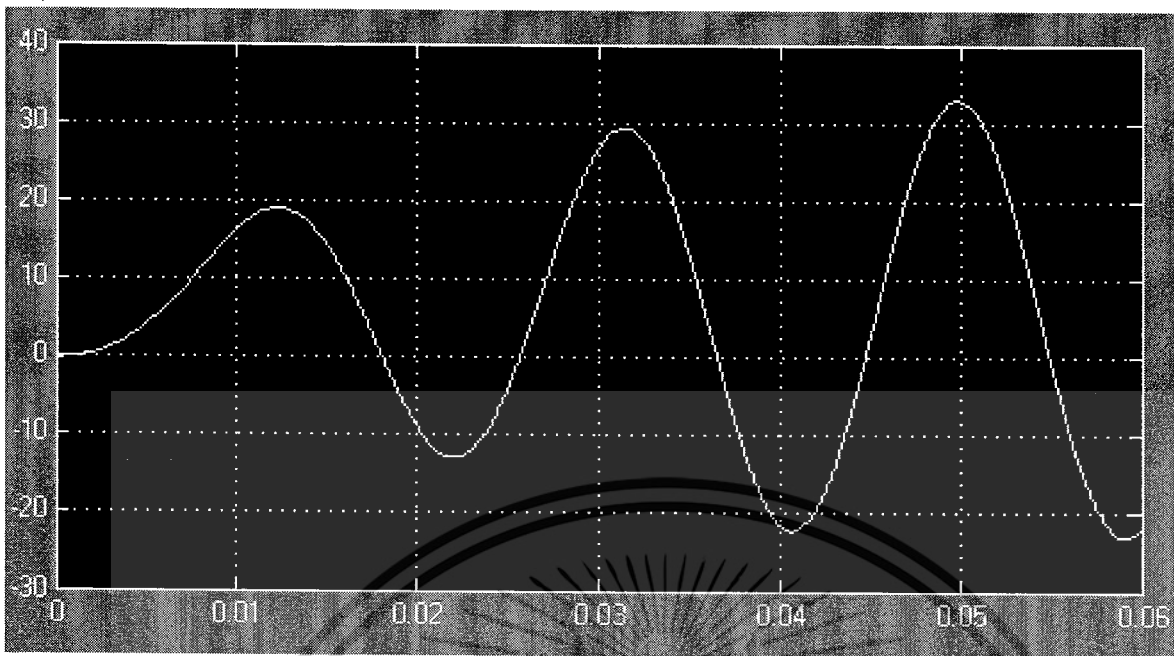


รูปที่ 4.15 วงจรระบบอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส

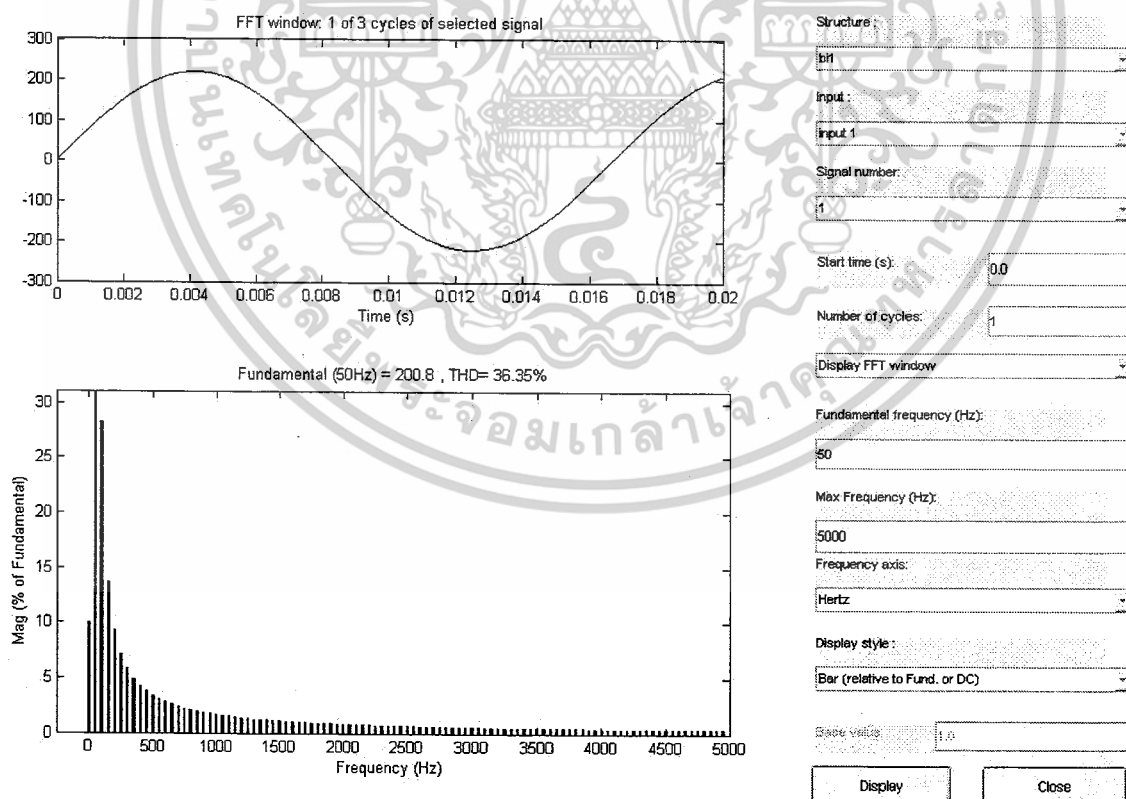


รูปที่ 4.16 ผลการจำลองแรงดันเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส

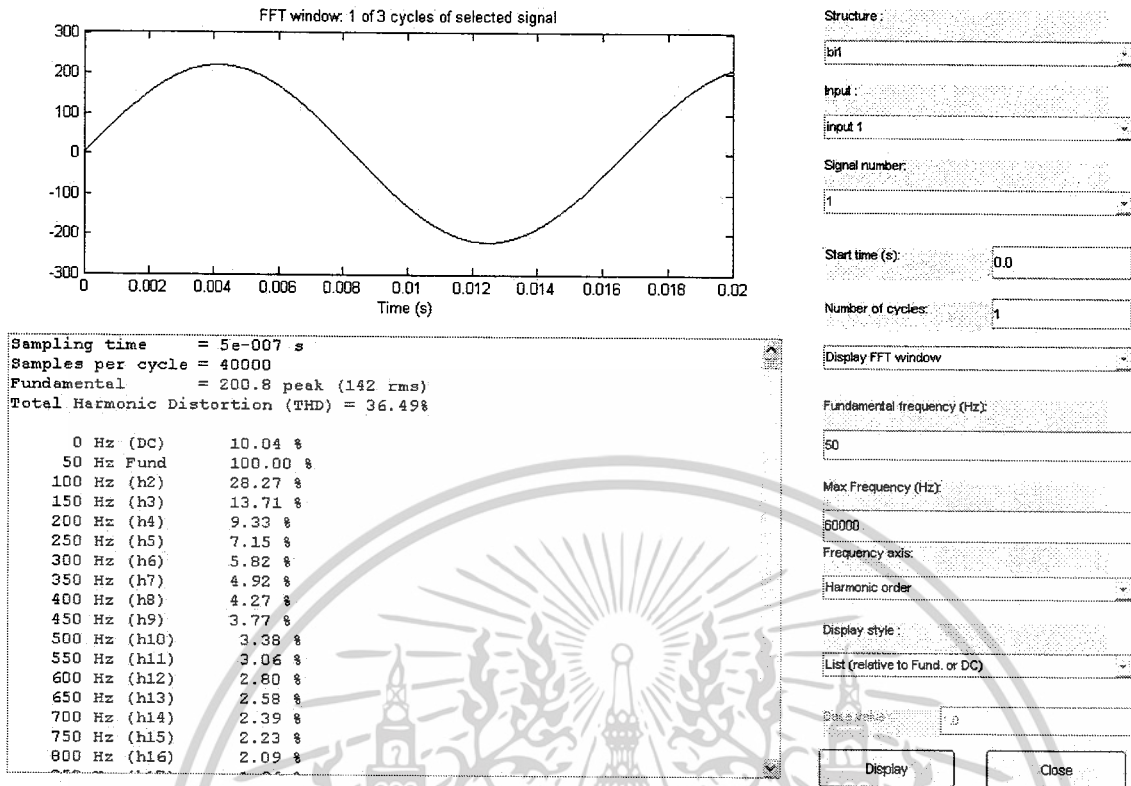
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ผลการจำลองกระแสเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ผลการจำลองระบบอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส THD = 36.35 %

วิเคราะห์ผลการจำลองระบบอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส แรงดัน 220 V

จะพบว่ากระแสที่จำลองได้จะลดยต่ำกว่าระดับอ้างอิง ซึ่งสาเหตุมาจากปัญหาทางด้านเทคนิคการจำลอง ดังนั้นในส่วนของการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟสนั้น จะศึกษาผลที่ได้จากการทดลองจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

ระบบที่ใช้ในการเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับระบบไฟฟ้า คือ อินเวอร์เตอร์โดยใช้สัญญาณควบคุมแบบพีดับเบิ้ลยูเอ็มที่ได้ออกแบบไว้เป็นการเชื่อมโยงชุด แบตเตอรี่ 48 โวลต์ 12 แอมแปร์-ชั่วโมง เข้ากับระบบการไฟฟ้า 1 เฟส 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ เพื่อทำการช่วยจ่ายพลังงานไฟฟ้ากับโหลดร่วมกับระบบการไฟฟ้า ซึ่งในการทดลองจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน

1. การทดลองหาประสิทธิภาพของระบบรวมที่จ่ายโหลดหลอดไฟที่พิกัดต่างๆ
2. การทดลองจ่ายโหลดหลอดไฟที่พิกัดต่างๆ ร่วมกับระบบการไฟฟ้า

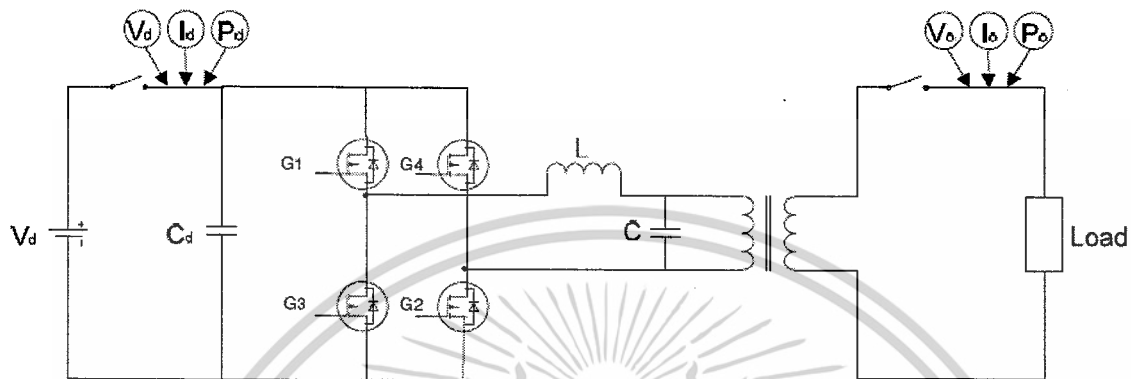
ในการทดลองนี้ใช้อุปกรณ์

1. ดิจิตอลอสซิลโลสโคปรุ่น DL 8 bit 200 Ms/s 150 MHz YOKOGAWA ใช้ในการวัดสัญญาณการทดลอง
2. FLUKE 43 Power Quality Analyzer ใช้ในการบันทึกค่า กระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลังในส่วนของกรไฟฟ้ากระแสสลับและรูปคลื่นที่ได้จากอินเวอร์เตอร์
3. MULTIMETER ใช้ในการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทั้งกระแสตรงและกระแสสลับ
4. Digital Clamp-on Tester รุ่น 234302 YOKOGAWA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

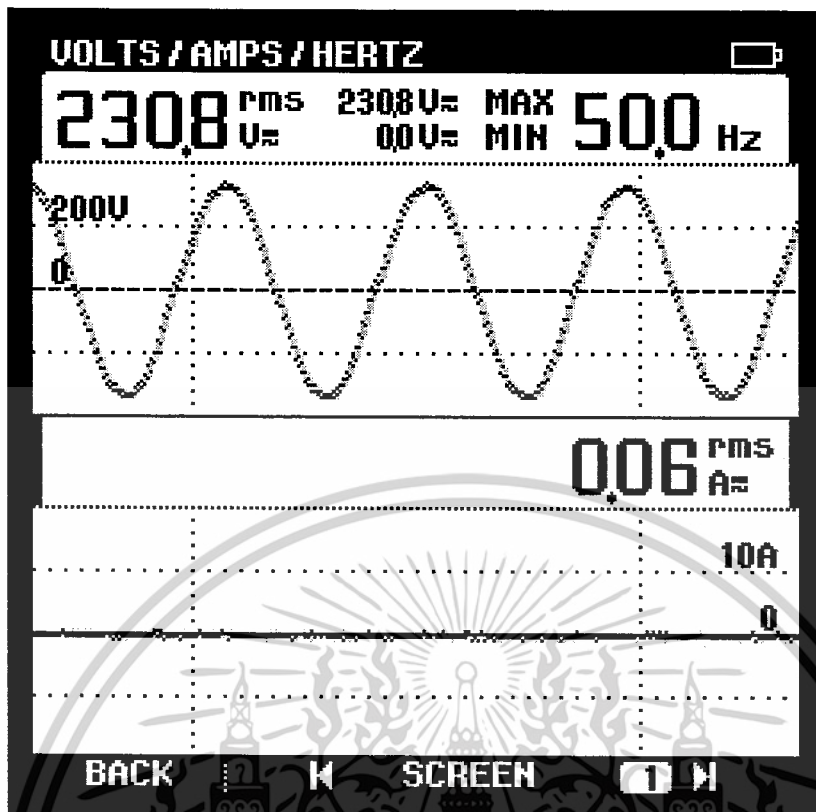
5.1 การทดลองหาประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่จ่ายโหลดหลอดไฟฟ้า

5.1.1 การทดลองหาประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่จ่ายโหลดหลอดไฟฟ้าที่พิกัด 40 W, 100 W, 200 W, 300 W และ 400 W อัตราอมดูละ (m_a) มีค่าคงที่ซึ่งมีวงจรการทดลองดังรูป

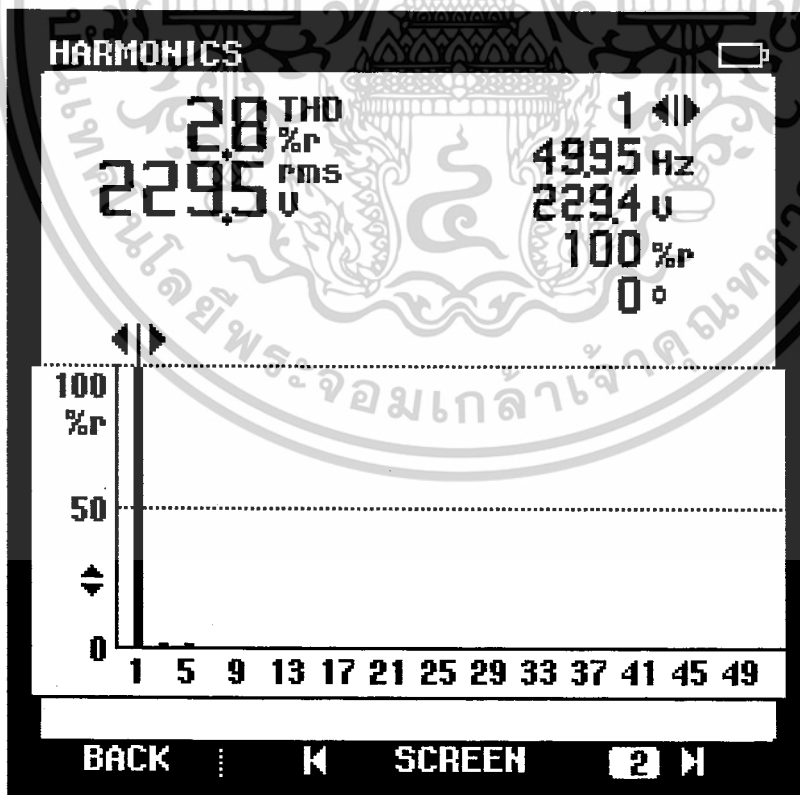


รูป 5.1 แสดงวงจรที่ใช้ในการทดลองหาประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

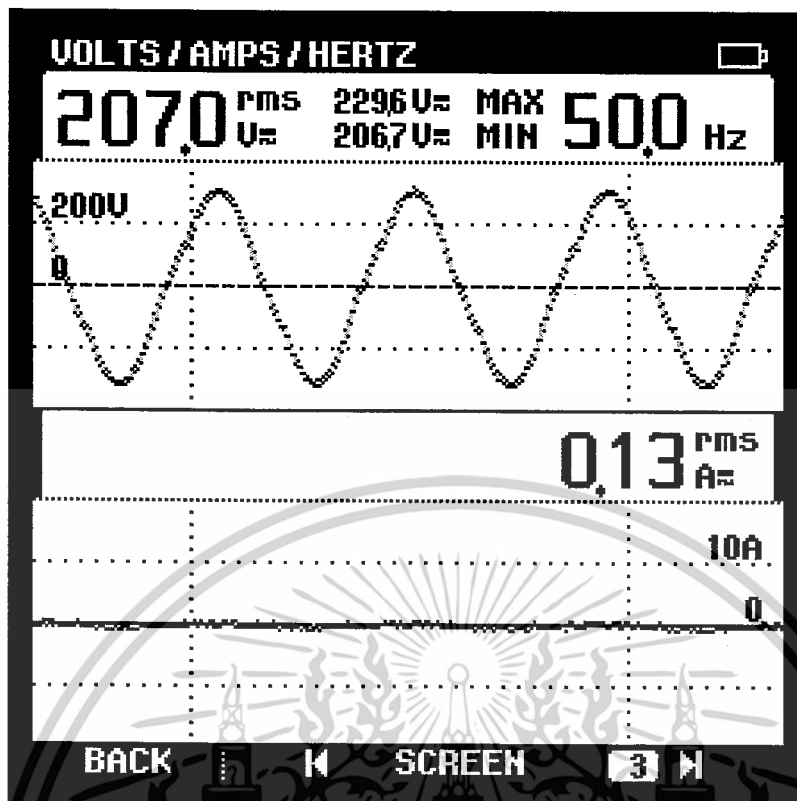


รูป 5.2 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสอาร์พุดของอินเวอร์เตอร์ตอน No – Load

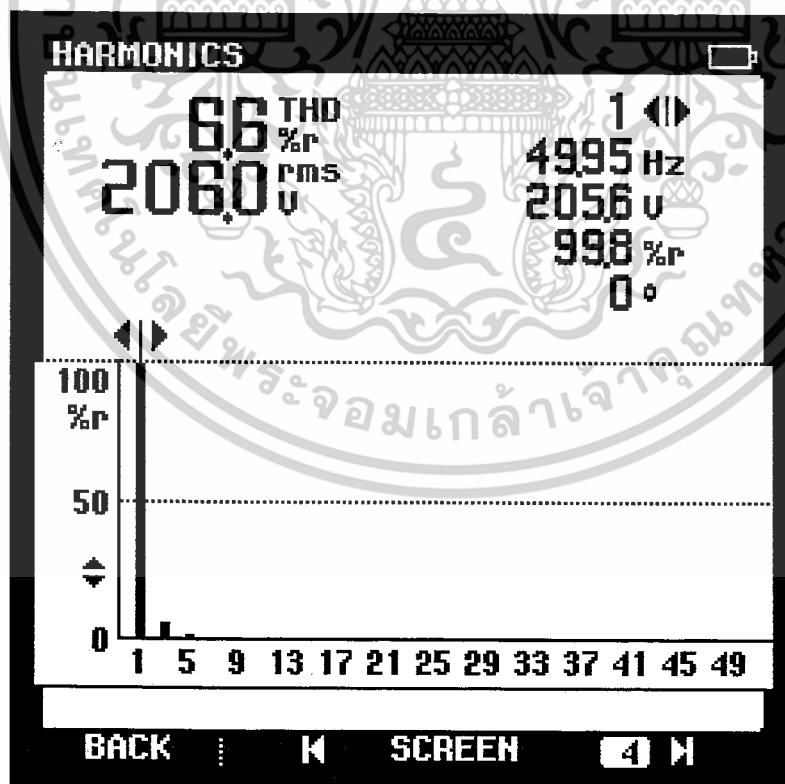


รูป 5.3 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกรวมของแรงดันอินเวอร์เตอร์ตอน No - Load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

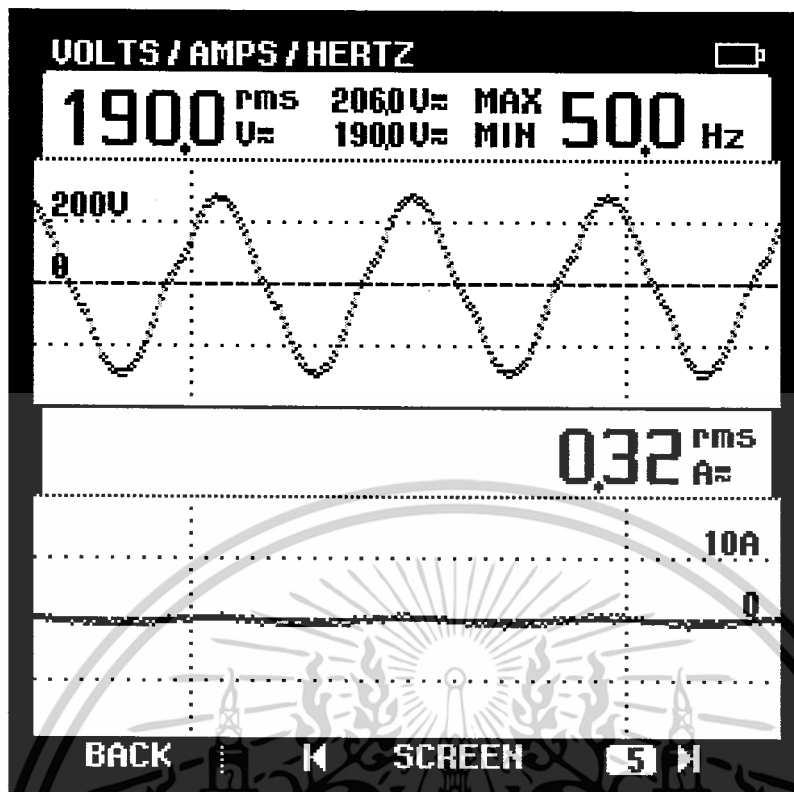


รูป 5.4 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสอาร์พุดของอินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 40 W

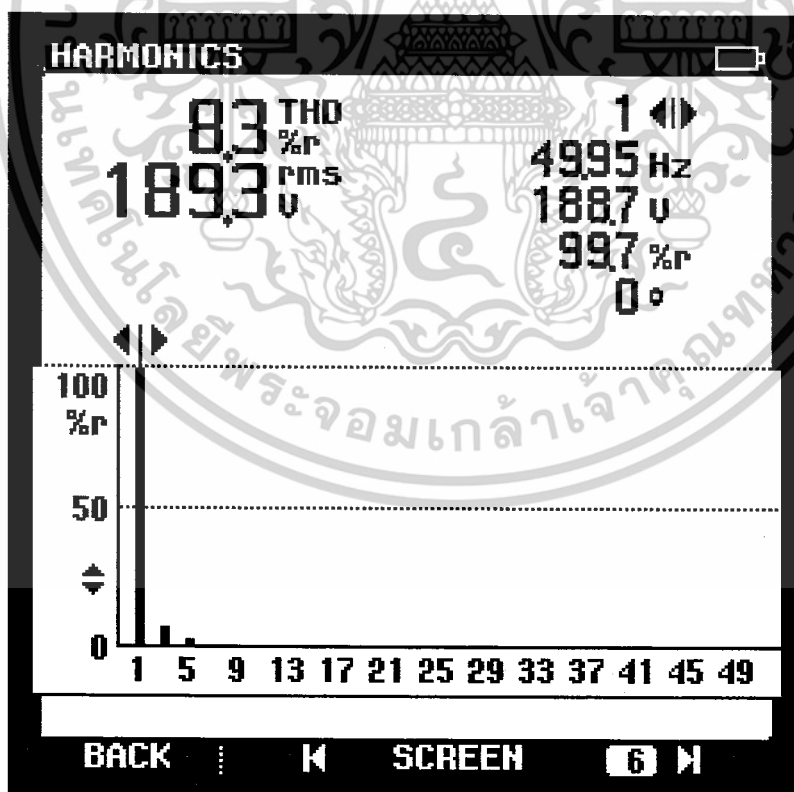


รูป 5.5 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกรวมของแรงดันอินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 40 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

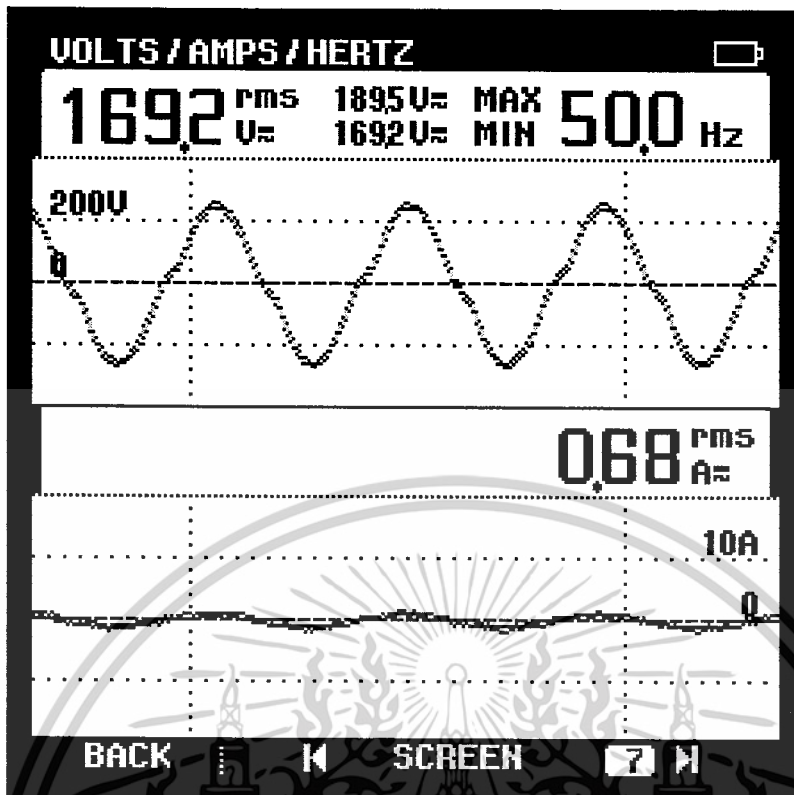


รูป 5.6 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสอาร์พุดของอินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 100 W

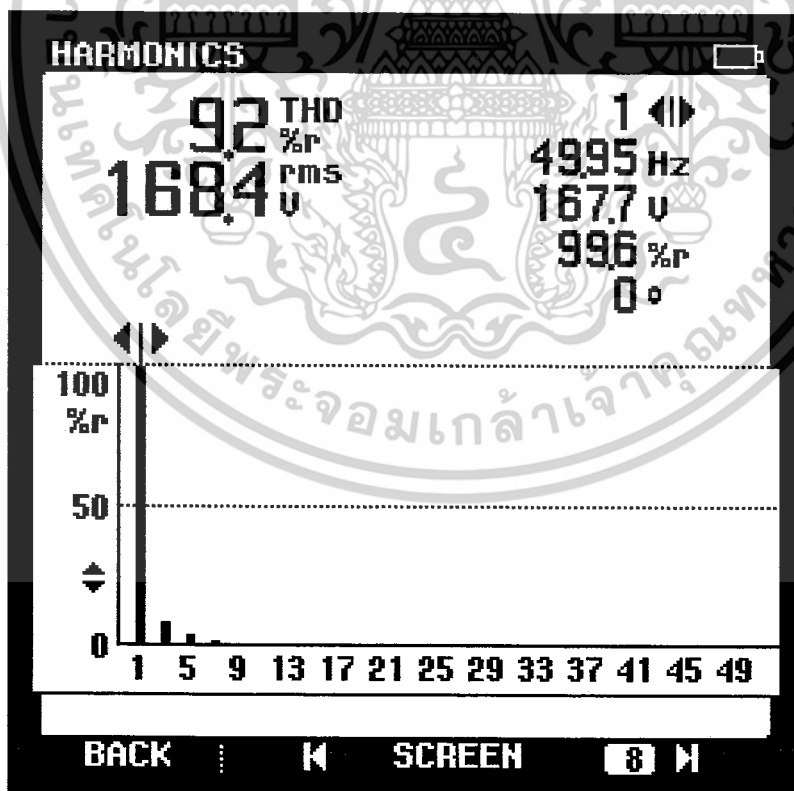


รูป 5.7 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกรวมของแรงดันอินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 100 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

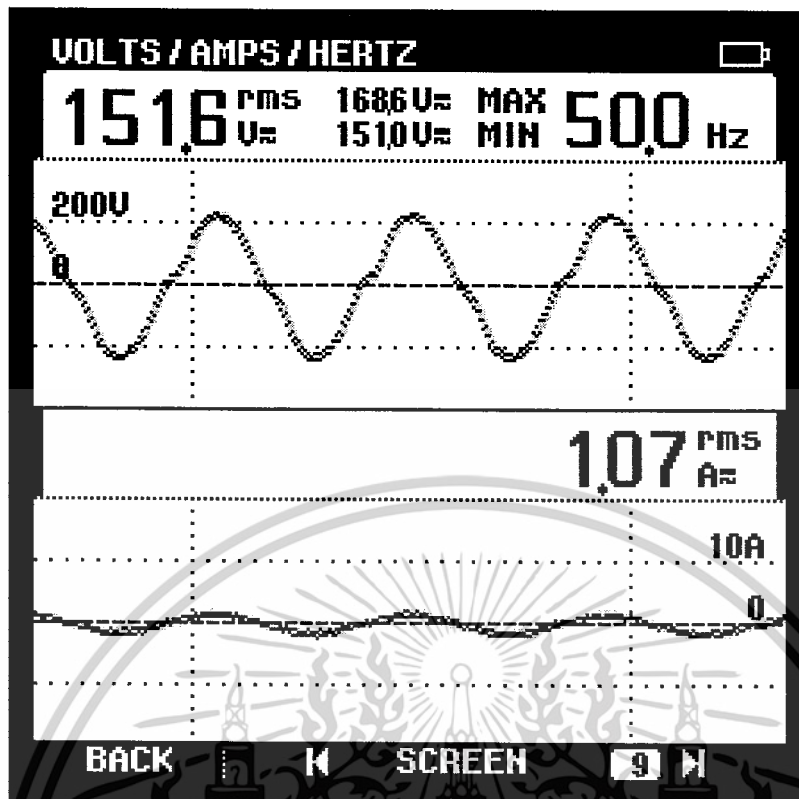


รูป 5.8 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสอาร์ฟุดของอินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 200 W

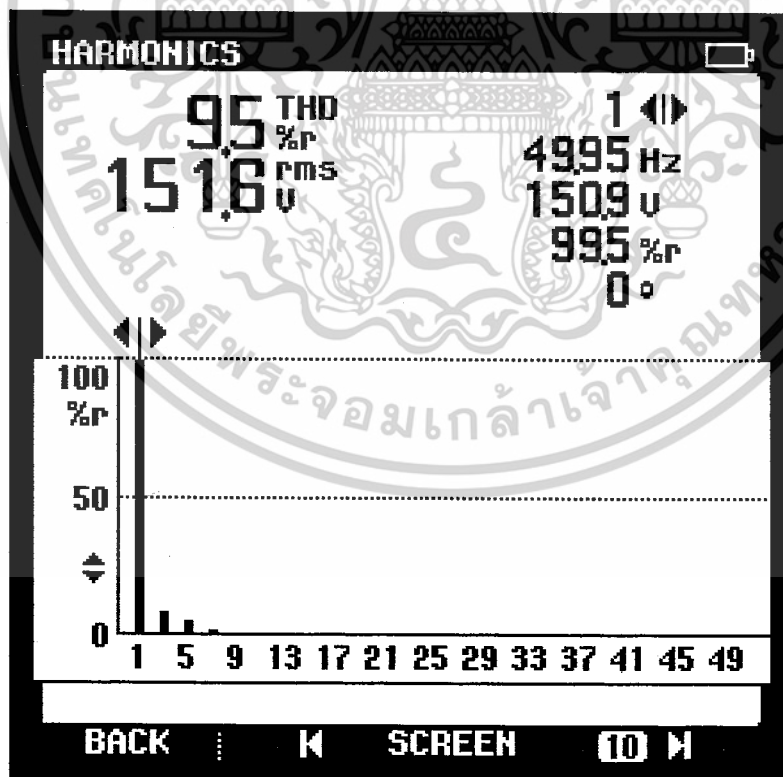


รูป 5.9 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกรวมของแรงดันอินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 200 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

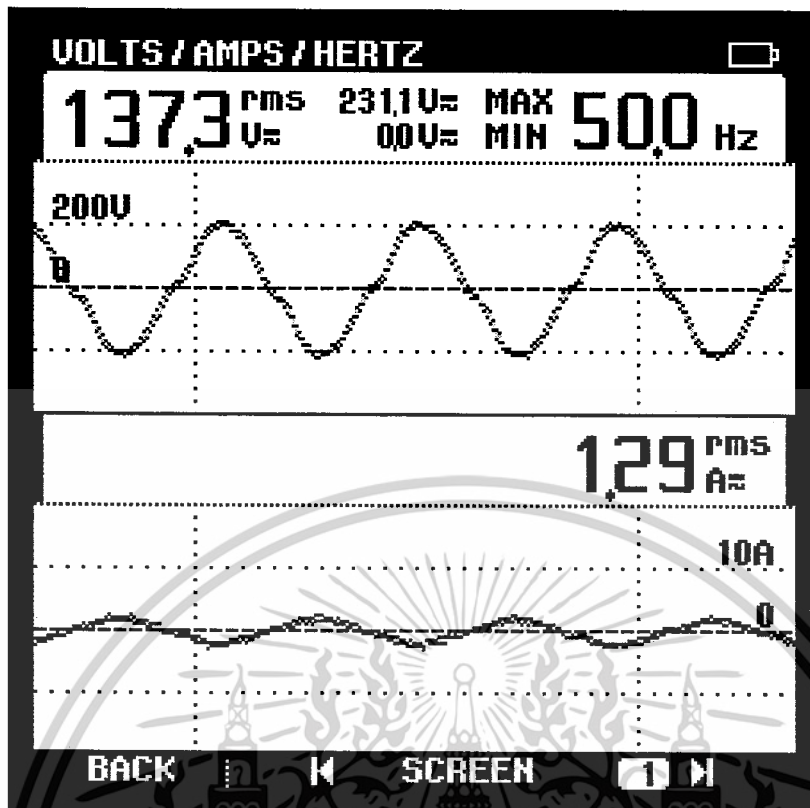


รูป 5.10 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสอาร์ฟุดของอินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 300 W

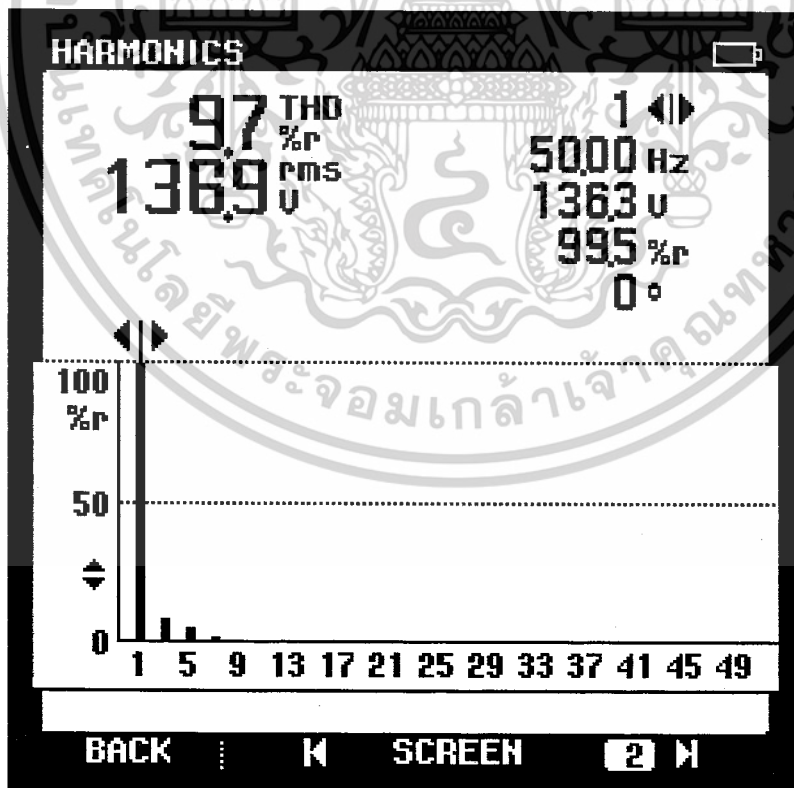


รูป 5.11 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดันอินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 300 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 5.12 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสแอมป์ฟุตของอินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 400 W



รูป 5.13 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดันอินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 400 W

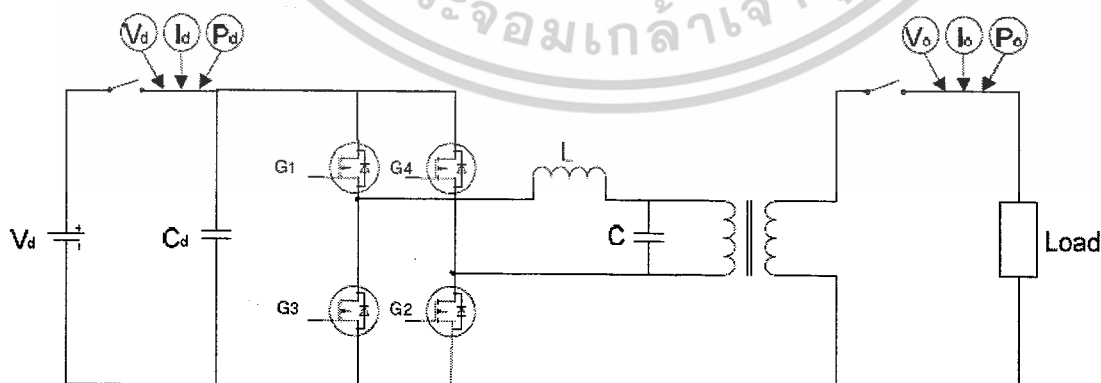
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบที่จ่ายโหลดหลอดไฟที่พิกัดต่าง ๆ

| โหลด | No-load | 40 W | 100W | 200W | 300W | 400W |
|-------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $V_d(V)$ | 52.3 | 51.4 | 50.7 | 49.9 | 49.5 | 49.1 |
| $I_d(A)$ | - | 0.58 | 1.4 | 2.77 | 4.4 | 4.8 |
| $P_d(W)$ | - | 29.8 | 71.0 | 138.2 | 217.4 | 240.6 |
| $V_o(V)$ | 230.8 | 207.0 | 190.0 | 169.2 | 151.6 | 137.3 |
| $I_o(A)$ | - | 0.13 | 0.32 | 0.68 | 1.07 | 1.29 |
| $P_o(W)$ | - | 26.9 | 60.8 | 115.1 | 162.2 | 177.1 |
| $THD_v(\%)$ | 2.8 | 6.6 | 8.3 | 9.2 | 9.5 | 9.7 |
| $THD_i(\%)$ | - | 20.3 | 14.8 | 14.3 | 14.1 | 13.0 |
| PF | - | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| $\eta(\%)$ | - | 90.26 | 85.63 | 83.28 | 74.62 | 73.61 |

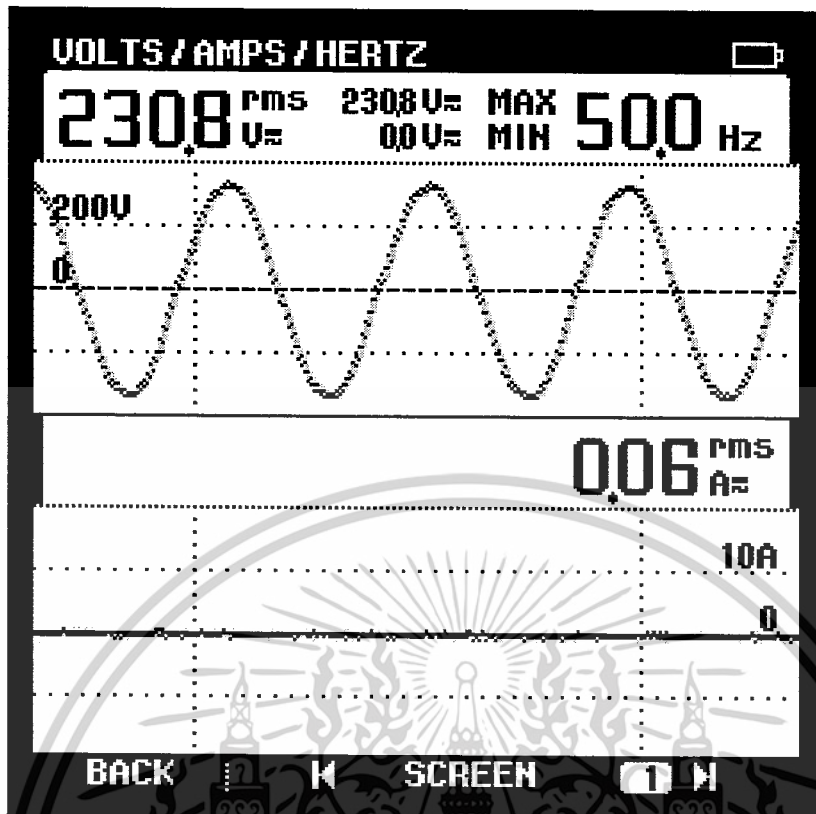
จากการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบรวม ที่พิกัดโหลดต่างๆ กำหนดให้อัตรามอดูเลตมีค่าคงที่การทดลองสรุปได้ว่า จะพบว่าแรงดันต้นเอาต์พุตและประสิทธิภาพของระบบรวมมีค่าลดลงเมื่อพิกัดโหลดมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของระบบจะมีค่ามากขึ้น เราจึงทำการทดลองรักษาระดับแรงดัน โดยการปรับค่ามอดูเลตในการทดลอง

5.1.2 การทดลองหาค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่จ่ายโหลดหลอดไฟที่พิกัด 40W, 100W, 200W และ 300W ซึ่งมีการปรับค่าดัชนีมอดูเลตเพื่อรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตซึ่งมีวงจรการทดลองดังรูป 5.6

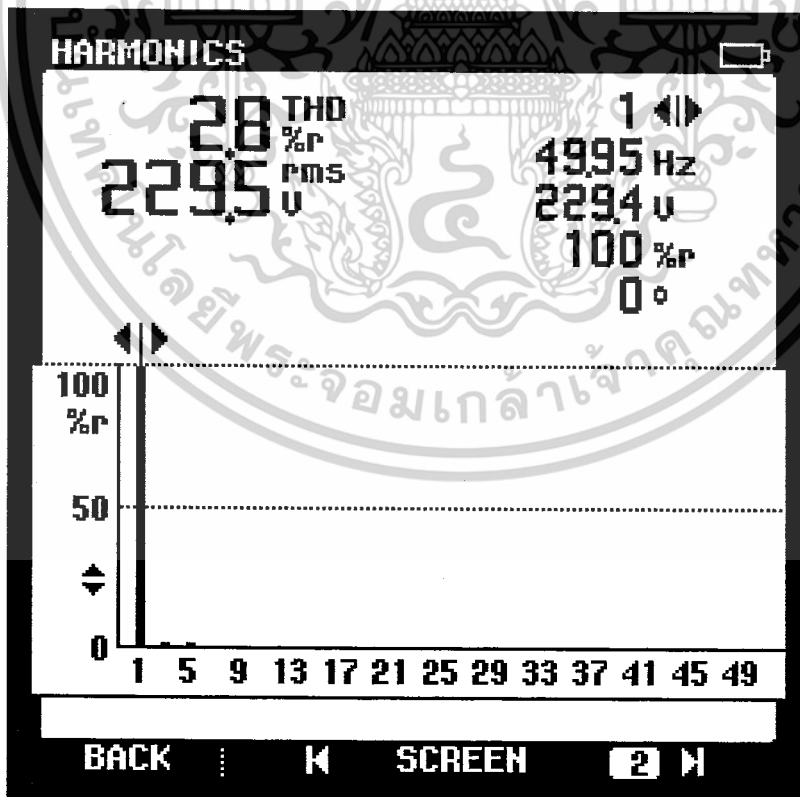


รูปที่ 5.14 แสดงวงจรการทดลองหาประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

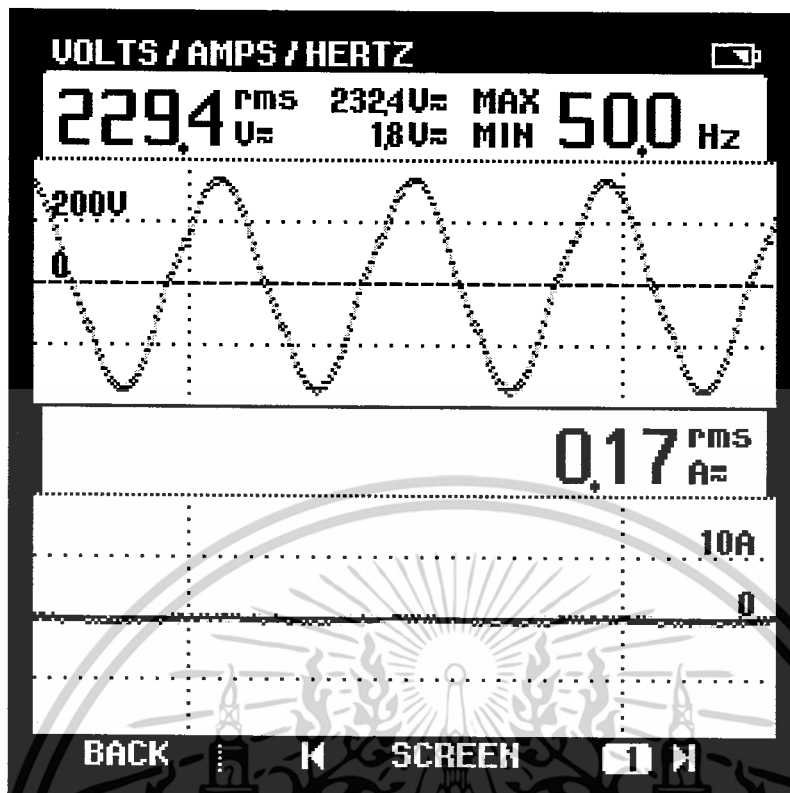


รูปที่ 5.15 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ตอน No – Load

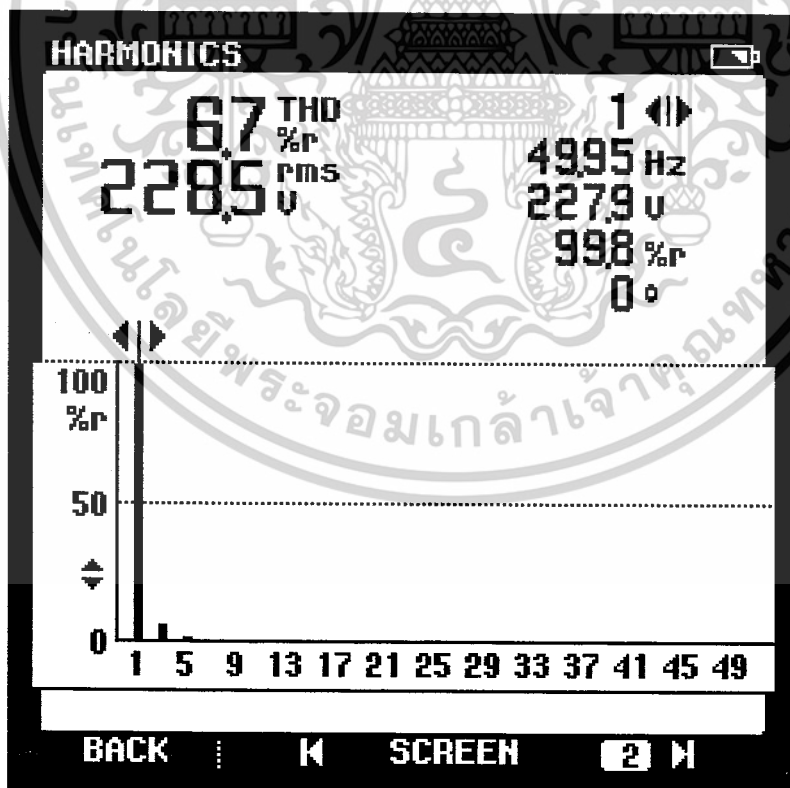


รูป 5.16 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกรวมของแรงดันอินเวอร์เตอร์ตอน No – Load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

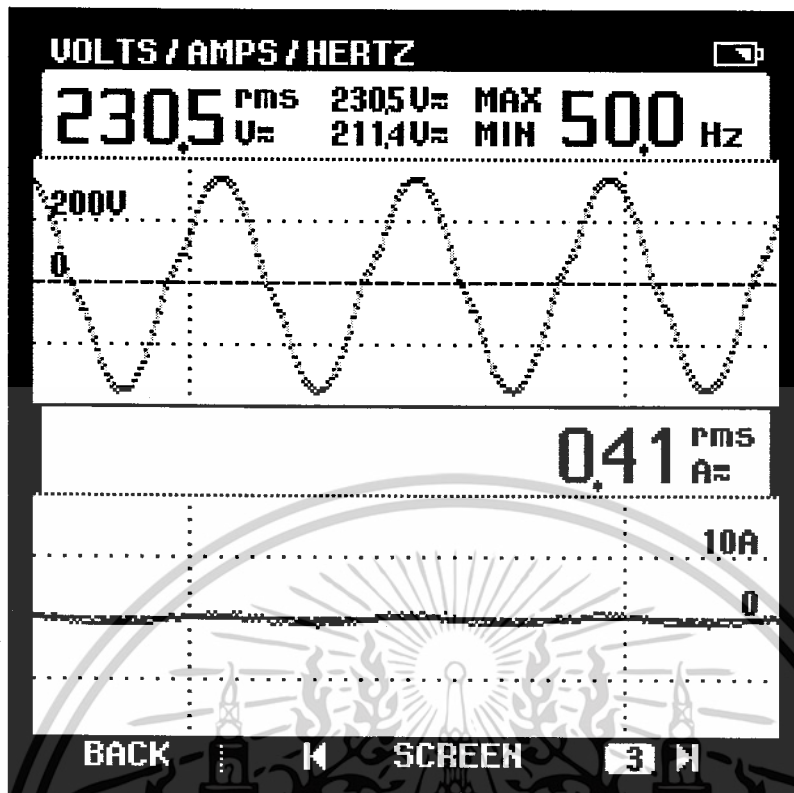


รูปที่ 5.17 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 40 W

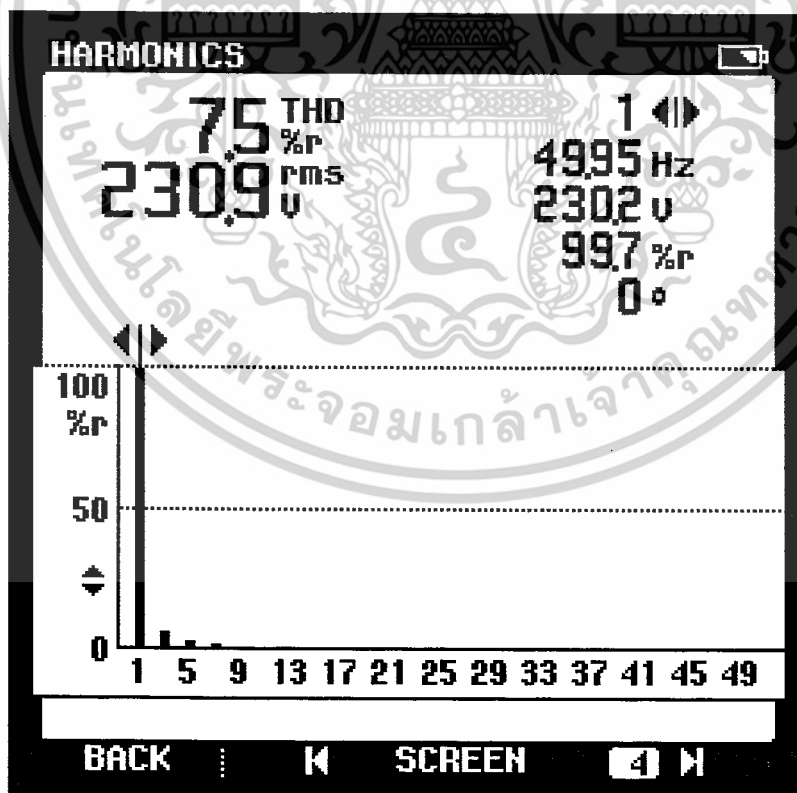


รูป 5.18 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดันอินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 40 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

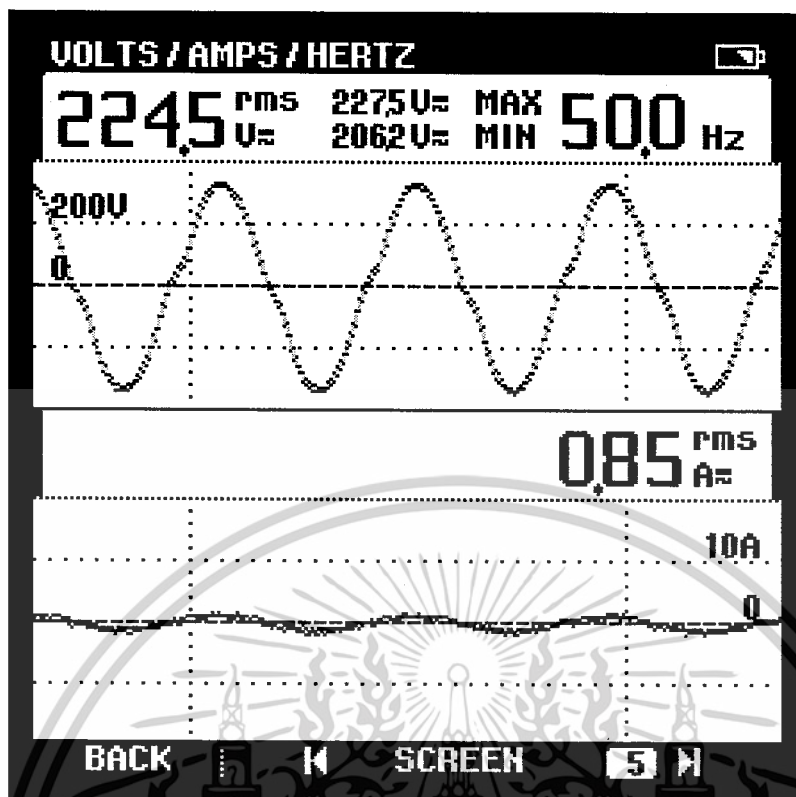


รูปที่ 5.19 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 100 W

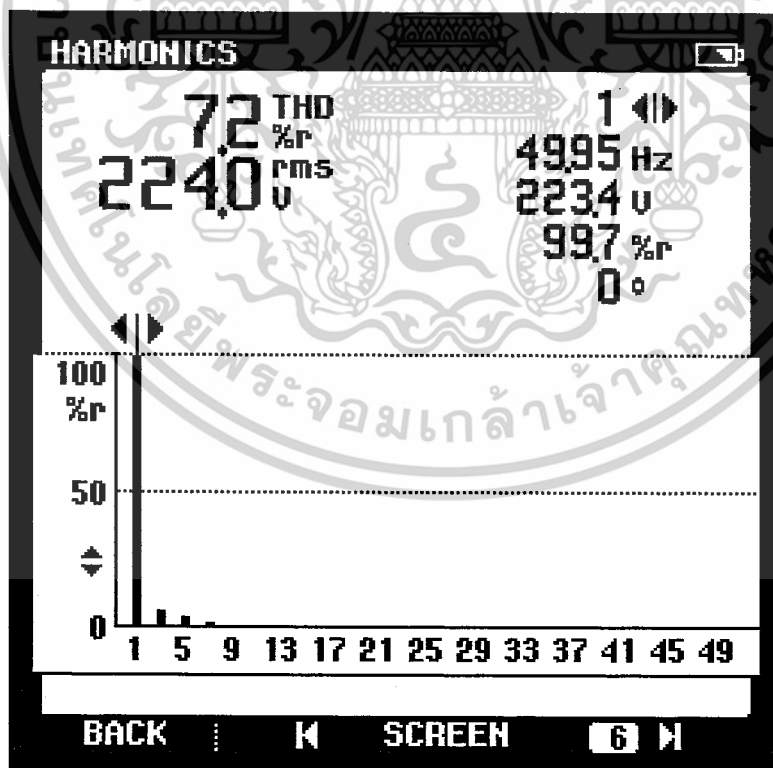


รูป 5.20 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดันอินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 100 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

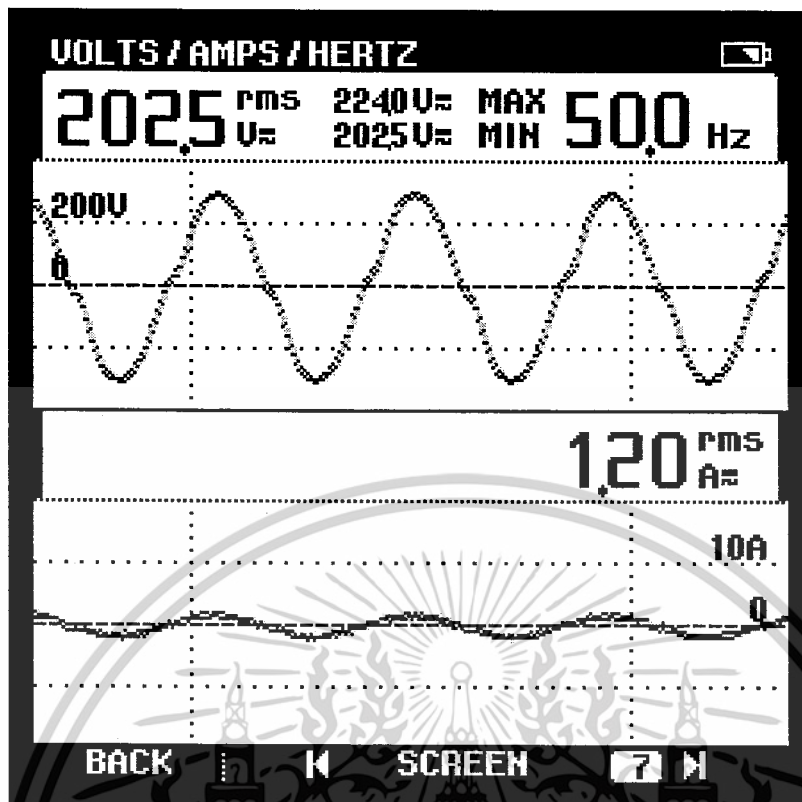


รูปที่ 5.21 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 200 W

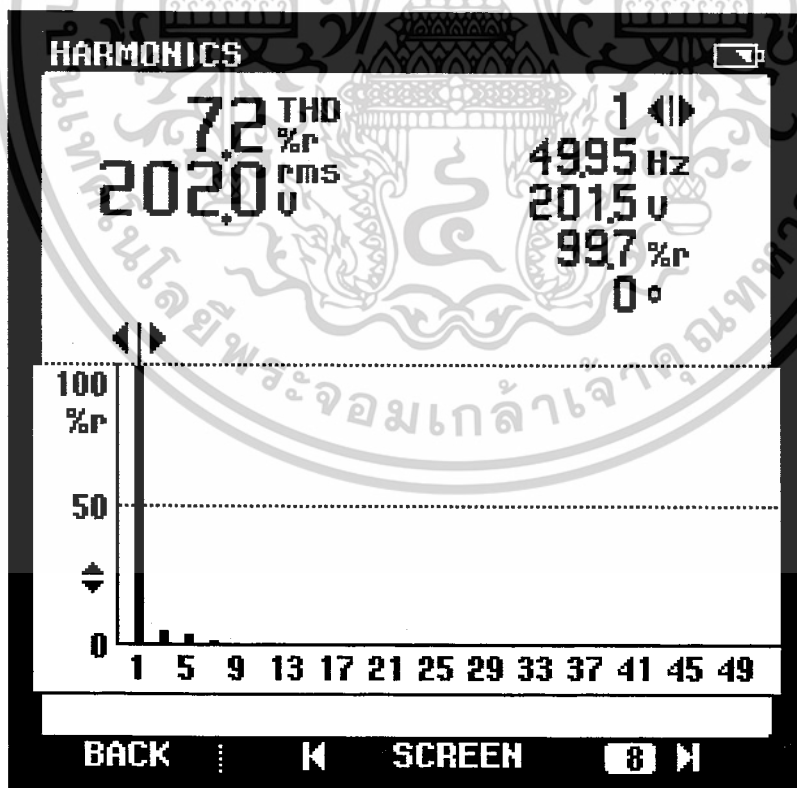


รูป 5.22 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดันอินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 200 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.23 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 300 W



รูป 5.24 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดันอินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 300 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบรวมที่จ่ายโหลดหลอดไฟที่พิกัด
ต่างๆ โดยมีการปรับค่าดัชนีมอดูเลตเพื่อรักษาระดับแรงดัน

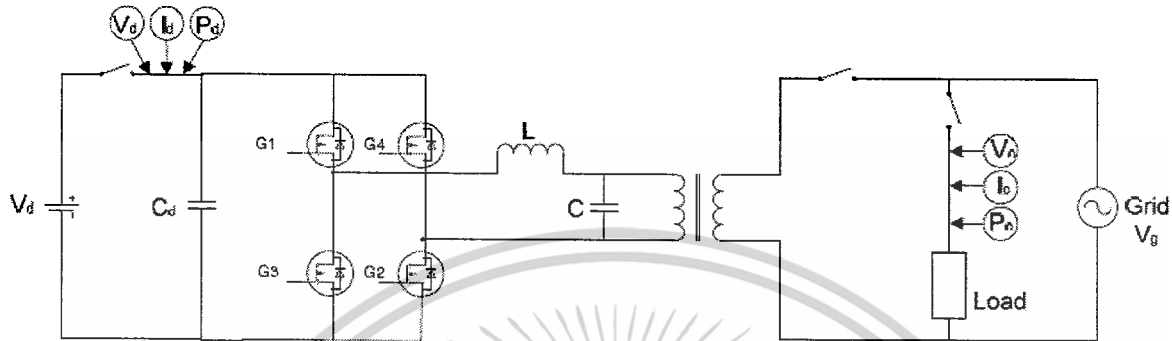
| โหลด | No-load | 40 W | 100W | 200W | 300W |
|-------------|---------|-------|--------|--------|--------|
| ma | 0.75 | 0.82 | 0.89 | 0.95 | 0.95 |
| $V_d(V)$ | 50.7 | 49.6 | 48.9 | 47.9 | 47.3 |
| $I_d(A)$ | - | 0.84 | 2.08 | 4.61 | 6.87 |
| $P_d(W)$ | - | 41.66 | 101.71 | 220.82 | 324.95 |
| $V_0(V)$ | 230.8 | 229.4 | 230.5 | 224.5 | 202.5 |
| $I_0(A)$ | - | 0.17 | 0.41 | 0.85 | 1.20 |
| $P_0(w)$ | - | 39.11 | 93.46 | 193.04 | 274.55 |
| $THD_v(\%)$ | 2.8 | 6.7 | 7.5 | 7.2 | 7.2 |
| $THD_i(\%)$ | - | 17.5 | 14.5 | 12.8 | 12.2 |
| PF | - | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| $\eta(\%)$ | - | 94.3 | 91.89 | 87.42 | 84.5 |

จากการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบรวม ที่พิกัดโหลดต่างๆ เมื่อให้ค่าอัตรามอดูเลตมีการปรับค่าได้เพื่อรักษาระดับแรงดันจากการทดลองสรุปได้ว่า แรงดันเอาต์พุตสามารถรักษาระดับแรงดันได้และประสิทธิภาพของระบบมีค่ามากเมื่อเปรียบขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองค่าอัตรามอดูเลตแบบคงที่

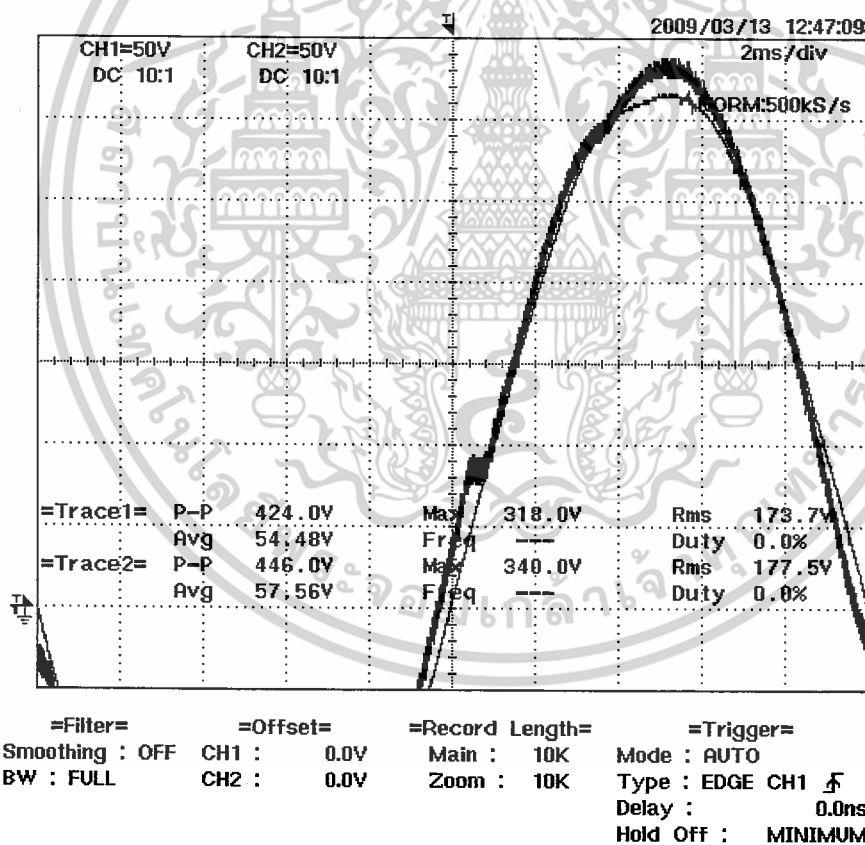
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การทดลองจ่ายโหลดที่พิกัดต่าง ๆ ร่วมกับระบบการไฟฟ้า

การทดลองจ่ายโหลดหลอดไฟที่พิกัด 80 W และ 140 W วัดด้ร่วมกับระบบการไฟฟ้า แสดงเอาต์พุตของโหลดซึ่งมีวงจรการทดลองดังรูปที่ 5.25

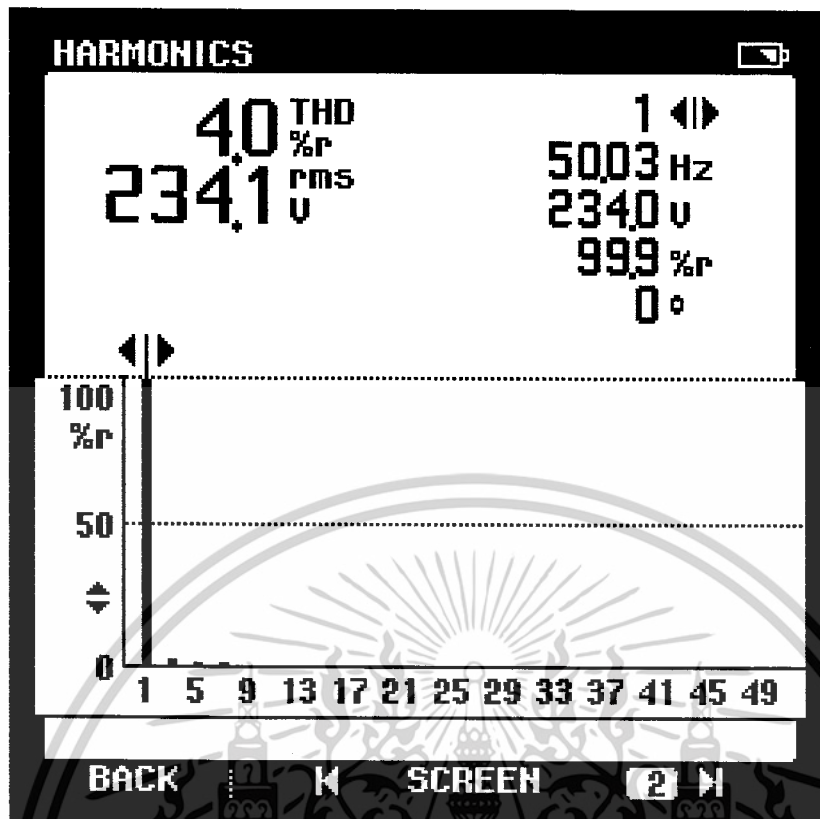


รูปที่ 5.25 แสดงวงจรที่ใช้ในการทดลองจ่ายโหลดหลอดไฟร่วมกับระบบการไฟฟ้า

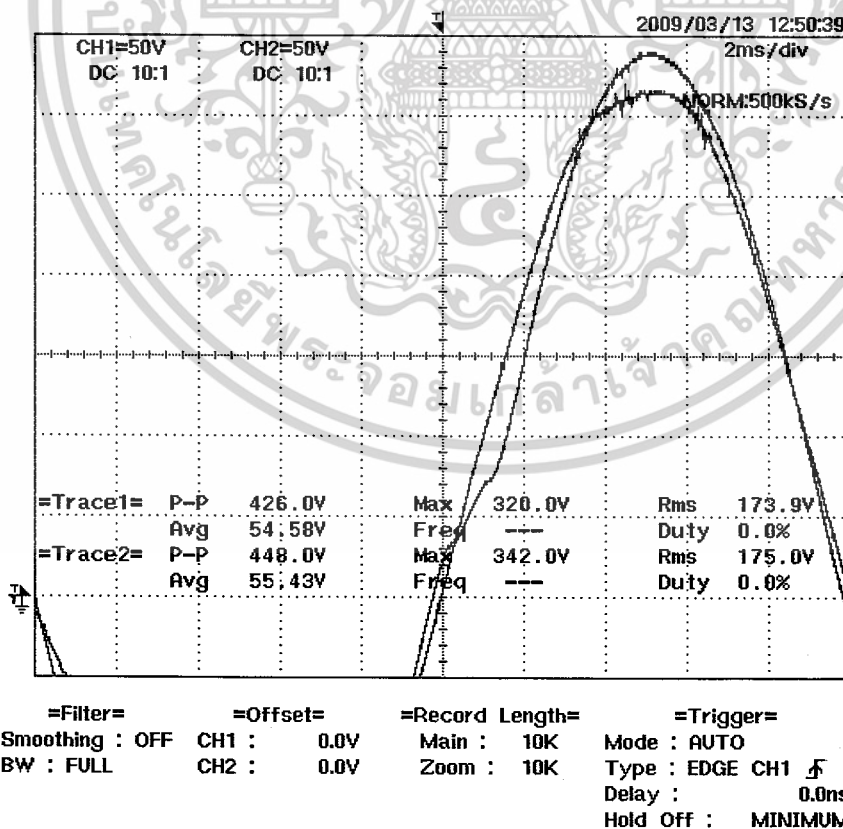


รูปที่ 5.26 สัญญาณแรงดันอินเวอร์เตอร์ กับ สัญญาณแรงดันการไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

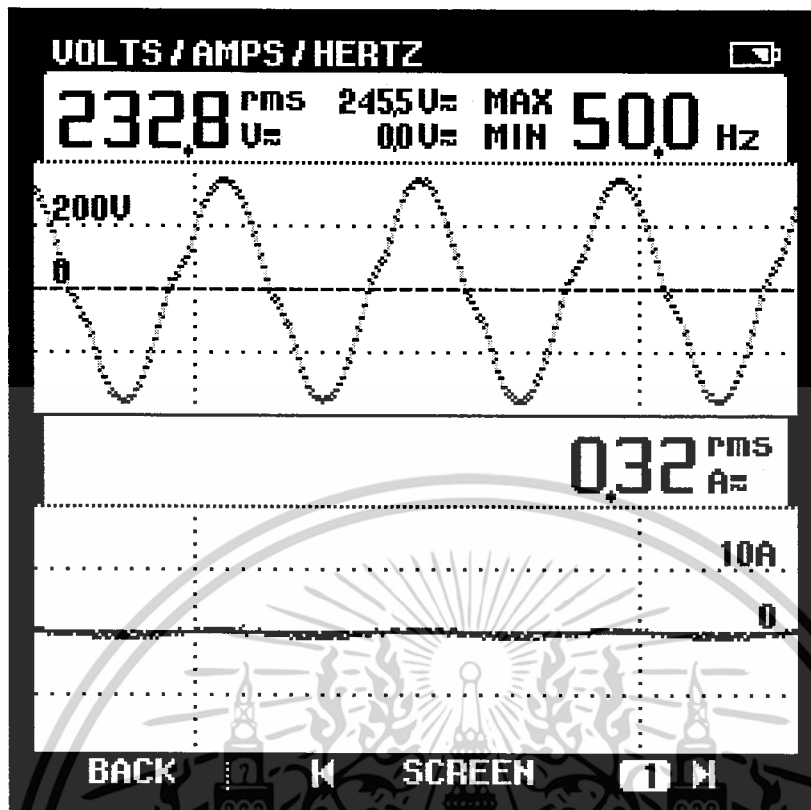


รูป 5.27 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกรวมของแรงดันอินเวอร์เตอร์ ขณะ No - Load

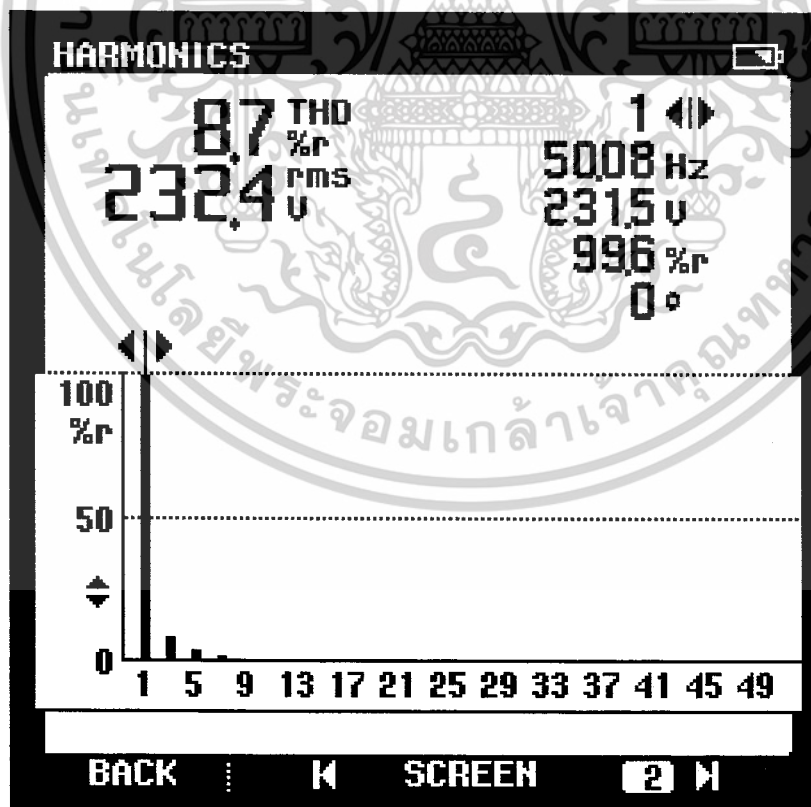


รูปที่ 5.28 สัญญาณแรงดันอินเวอร์เตอร์ กับ แรงดันการไฟฟ้า ขณะต่อ Load พิกัด 80 W
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในทางอื่น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

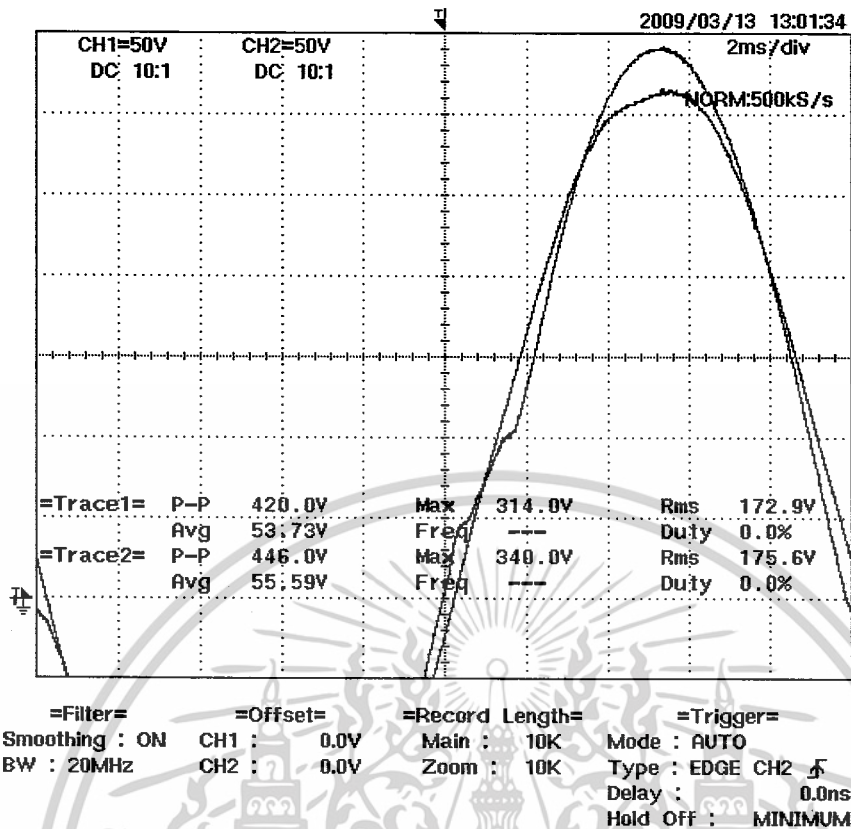


รูปที่ 5.29 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 80 W

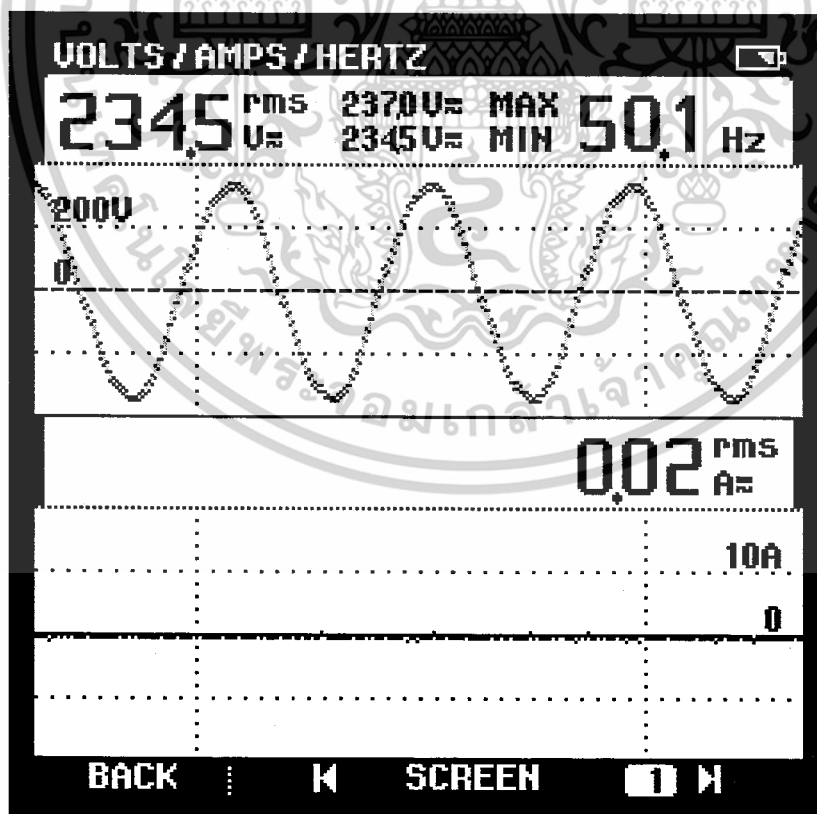


รูป 5.30 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดันอินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 80 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

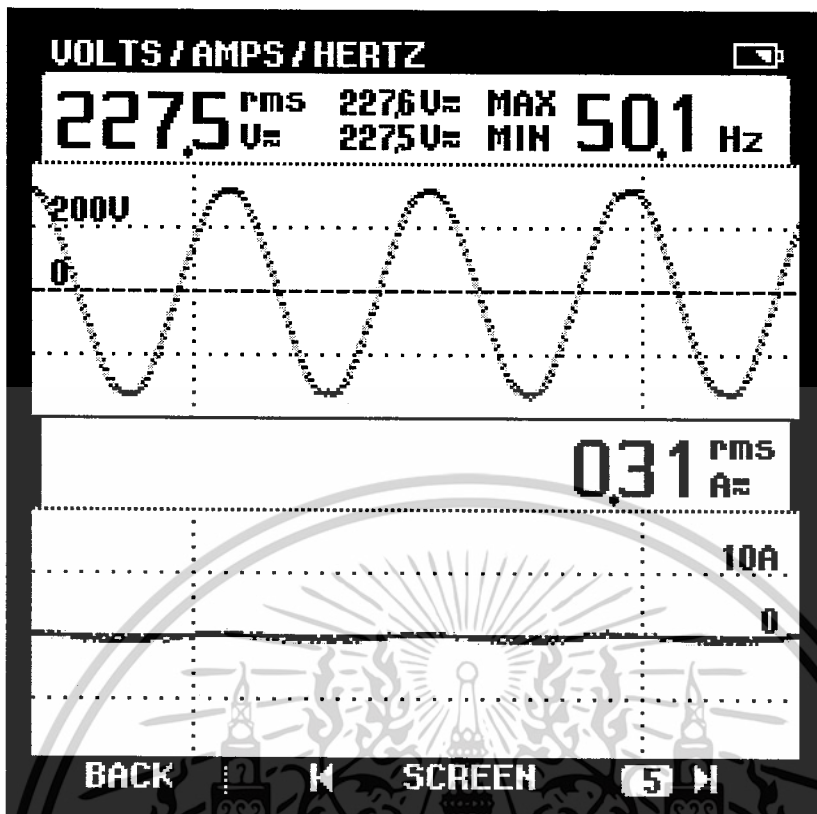


รูปที่ 5.31 สัญญาณแรงดันอินเวอร์เตอร์ กับ แรงดันการไฟฟ้า ขณะต่อ Load พิกัด 140 W

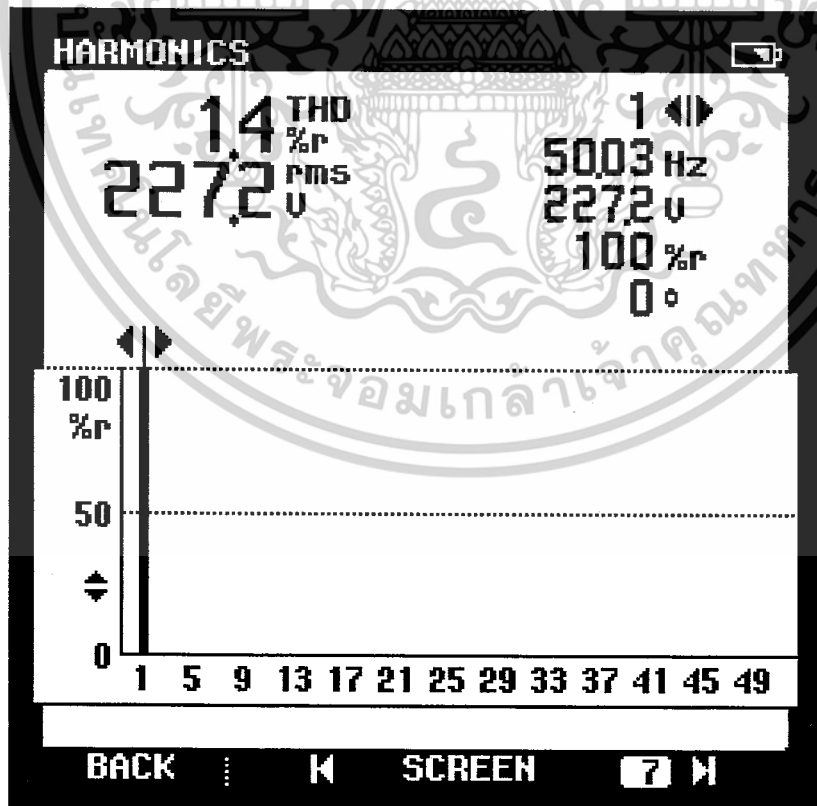


รูปที่ 5.32 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์เมื่อจ่ายโหลด 140 W

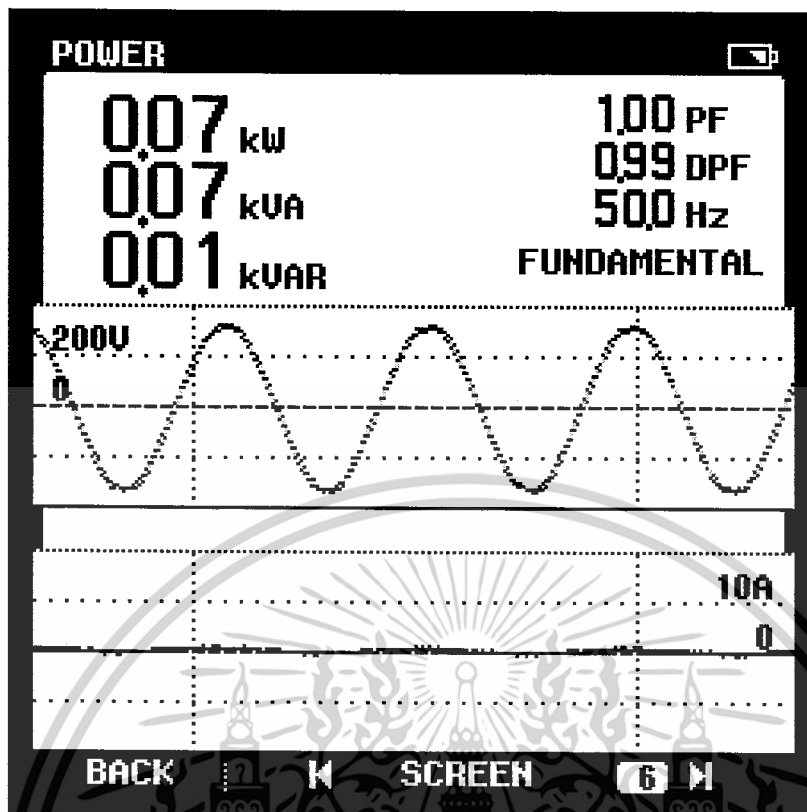
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



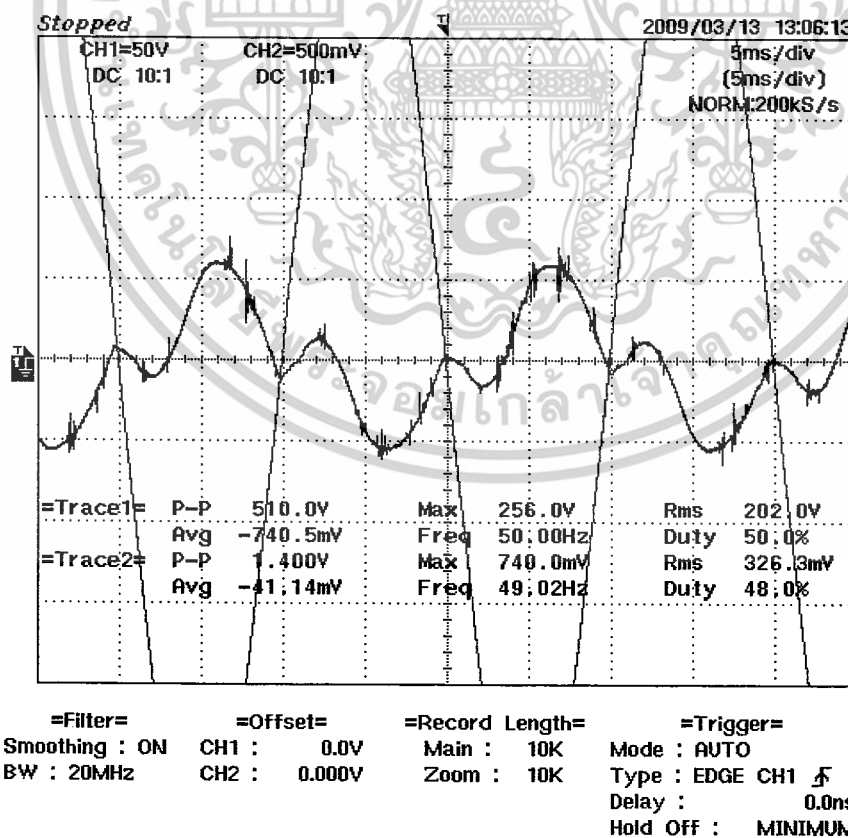
รูปที่ 5.35 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุต ขณะเชื่อมต่อกับการไฟฟ้า ที่โหลด 80 W



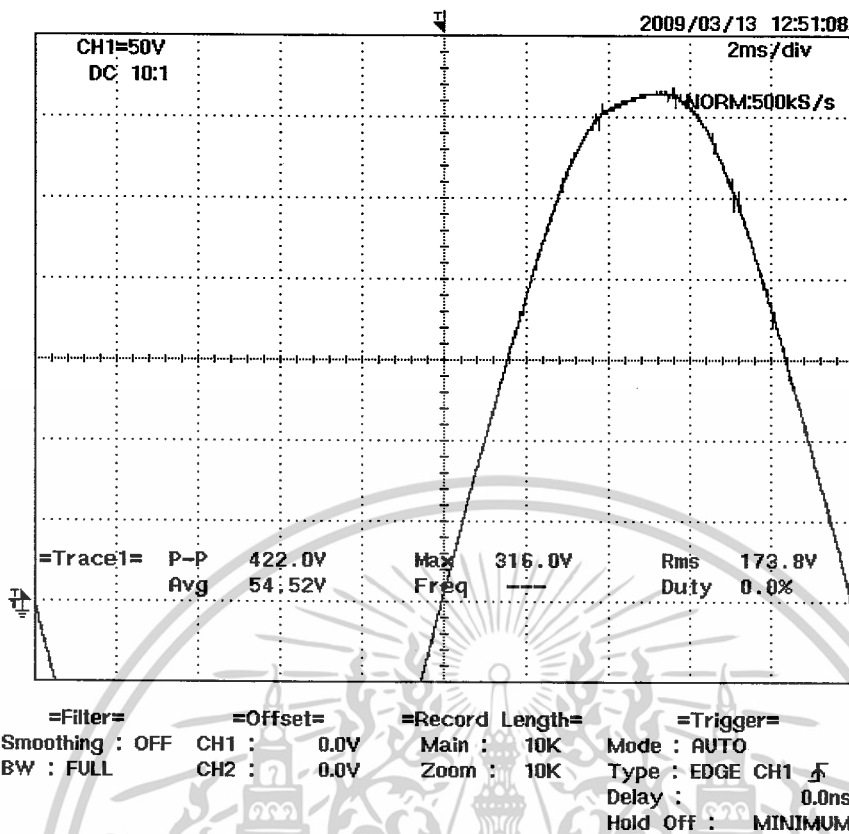
รูป 5.36 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิรวมขณะทำการเชื่อมต่อกับการไฟฟ้า ที่โหลด 80 W
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



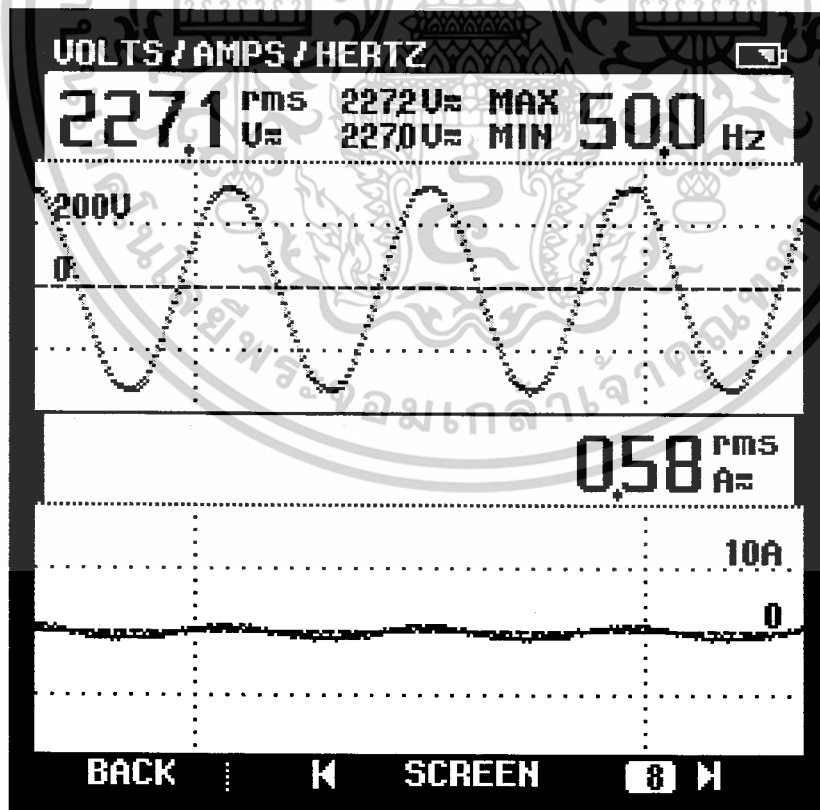
รูป 5.37 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าขณะทำการเชื่อมต่อการไฟฟ้า ที่โหลด 80 W



รูปที่ 5.38 สัญญาณแรงดันและกระแสที่ทำการซิงโครไนซ์กันแล้ว ขณะต่อกับโหลด 80 W เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

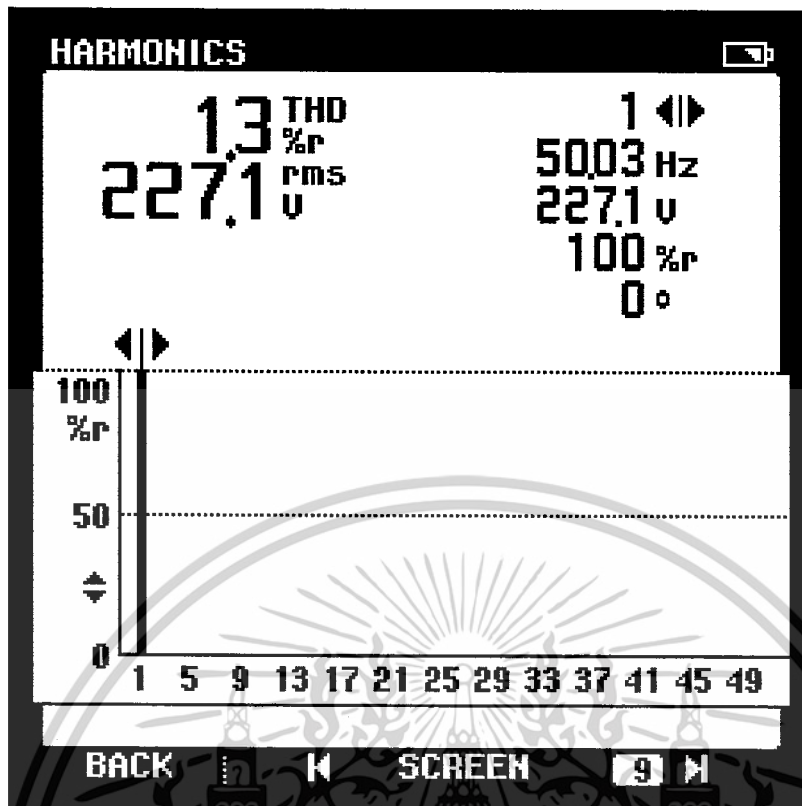


รูปที่ 5.39 สัญญาณแรงดันที่ทำการซิงโครไนซ์กันแล้ว ขณะต่อกับโหลด 140 W

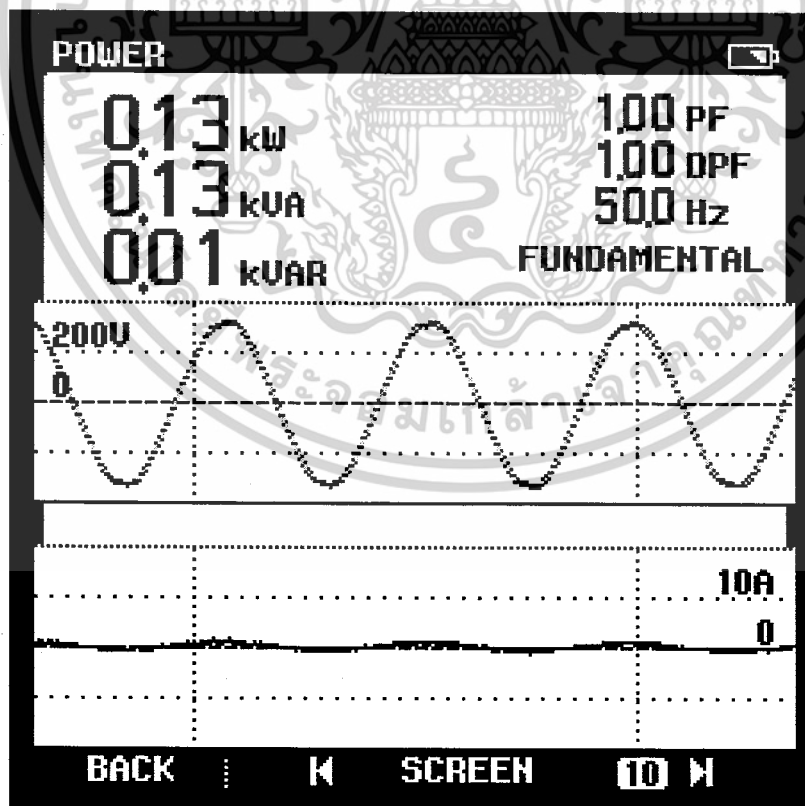


รูปที่ 5.40 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสเอาต์พุตขณะเชื่อมต่อการไฟฟ้า ที่โหลด 140 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

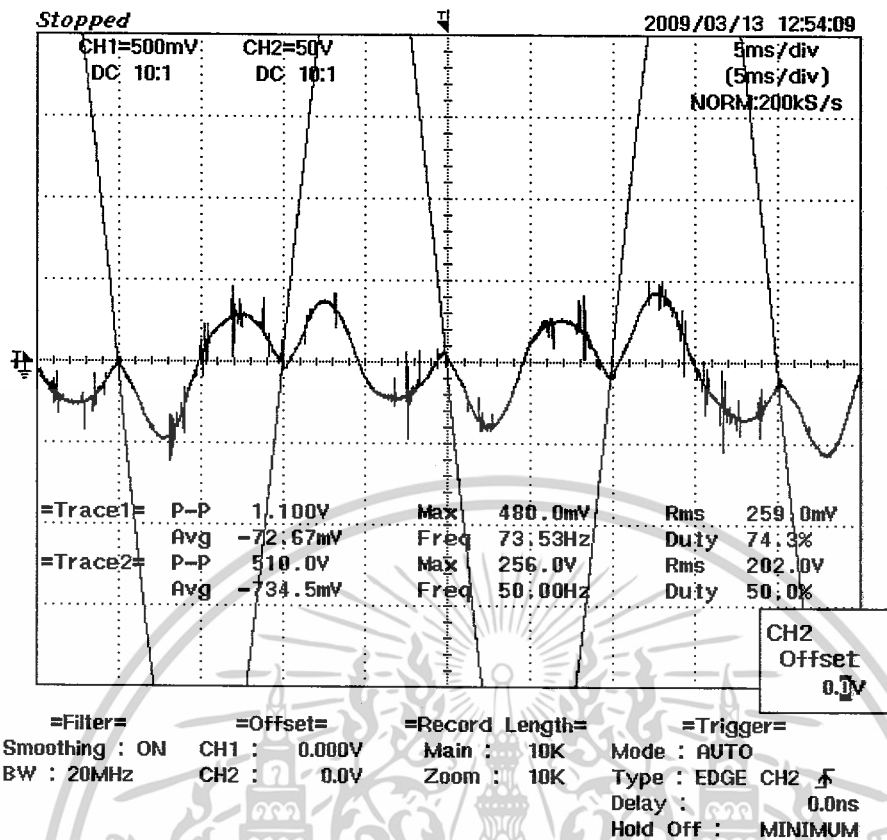


รูป 5.41 แสดงค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกรวมขณะทำการเชื่อมต่อการไฟฟ้าที่โหลด 140 W



รูป 5.42 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าขณะทำการเชื่อมต่อการไฟฟ้า ที่โหลด 140 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.43 สัญญาณแรงดันและกระแสที่ทำการซิงโครไนซ์กันแล้ว ขณะต่อกับโหลด 140 W

ตารางที่ 5.3 แสดงเอาต์พุตของโหลด

| โหลด | 80 วัตต์ | 140 วัตต์ |
|-------------|----------|-----------|
| V_L (V) | 227.5 | 227.1 |
| I_L (A) | 0.31 | 0.58 |
| PF | 1.00 | 1.00 |
| P_L (W) | 70.53 | 131.72 |
| Q_L (VAR) | 0 | 0 |
| S_L (VA) | 70.53 | 131.72 |
| THD_V (%) | 1.4 | 1.3 |
| THD_i (%) | 4.2 | 4.6 |

สรุปผลการทดลองจ่ายโหลดที่พิกัดต่างๆ ร่วมกับระบบการไฟฟ้าสามารถทำการเชื่อมต่อได้จริงและสามารถร่วมกันจ่ายโหลดที่พิกัด 80, 140 วัตต์โดยค่าความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันและกระแสมีค่าต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ [7] ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ในการทำการเชื่อมต่อกับระบบการไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทวิจารณ์และสรุป

จากวัตถุประสงค์และทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้น สามารถทำการออกแบบระบบที่ใช้ในการเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ 48 โวลต์ เข้ากับระบบการไฟฟ้า 1 เฟส 220 เฮอร์ตซ์ เพื่อช่วยในการจ่ายโหลด ผลการทดลองและผลการดำเนินงานสรุปได้ว่า ในส่วนของโปรแกรมสามารถสร้างสัญญาณ SPWM เพื่อไปขับสวิตช์ IGBT 4 ตัวได้โดยมีเดดไทม์ $2 \mu\text{s}$ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด dsPIC ผ่านวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน จากนั้นทำการเพิ่มแรงดันโดยผ่านหม้อแปลงความถี่ต่ำที่พิกัดด้านอินพุต 22 โวลต์ ด้านเอาต์พุต 220 โวลต์ 50 เฮอร์ตซ์ แล้วทำการจ่ายโหลดที่พิกัดต่าง ๆ จากนั้นจะทำการเชื่อมต่อกับระบบการไฟฟ้าโดยการตรวจสอบก่อนการเชื่อมต่อั้นจะใช้วงจร ซีโรคลอสซึ่ง เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการตรวจจับเฟสเพื่อทำการเชื่อมต่อกับระบบการไฟฟ้าเมื่อเชื่อมต่อกับการไฟฟ้าแล้วจะเห็นได้จากรูปคลื่นของกระแสที่เราสามารถช่วยจ่ายโหลดได้จริงคือช่วงแรงดันเป็นลบกระแสจะเป็นบวก

สิ่งสำคัญในการสร้างอินเวอร์เตอร์เพื่อเชื่อมต่อกับระบบการไฟฟ้านั้น คือความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การเลือกอุปกรณ์ ความรู้เกี่ยวกับการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้า และความรู้ทางด้านไฟฟ้ากำลัง ในส่วนของผู้ทำโครงการ ควรจะต้องมีความรู้พื้นฐานในทางด้านไฟฟ้ากำลัง การเขียนโปรแกรม ความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ และเงื่อนไขต่างๆ ในการเชื่อมต่อบระบบการไฟฟ้าเพื่อความรวดเร็วในการพัฒนาและทำการทดลองได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพที่สุด

6.1 ข้อดีของอินเวอร์เตอร์ที่ออกแบบเอง

- 1). สามารถควบคุมการจ่ายระดับแรงดันได้โดยการควบคุมอัตรามอดูเลตอัตโนมัติ
- 2). สามารถควบคุมความถี่ และมุมทางไฟฟ้าได้
- 3). สามารถทำการเชื่อมต่อบระบบการไฟฟ้าได้
- 4). สามารถควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ข้อเสียของอินเวอร์เตอร์ที่ออกแบบเอง

- 1). ประสิทธิภาพที่ได้จากอินเวอร์เตอร์ยังมีความไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับวงจรรองความถี่ที่ออกแบบ และแหล่งจ่ายไฟ DC Link
- 2). พิกัดกำลังไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ยังไม่สูงมากนัก
- 3). มีการสูญเสียในอุปกรณ์สวิตซ์ต่างๆ
- 4). ความผิดเพี้ยนอันเนื่องมาจากผลรวมของฮาร์มอนิกยังมีค่าที่สูง
- 5). อุปกรณ์ที่ใช้สร้างชุดอินเวอร์เตอร์มีราคาแพงเมื่อเทียบกับอินเวอร์เตอร์ในท้องตลาด

6.3 ปัญหาในระหว่างการดำเนินโครงการ

- 1). ในช่วงแรกยังขาดประสบการณ์ในทางด้าน การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ และการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานจึงต้องใช้เวลาในการเรียนรู้มากในตอนแรก แต่ก็สามารถศึกษาและแก้ไขได้ไปด้วยดี
- 2). ในทางด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ยังมีความรู้ไปมากพอในการเลือกใช้งานและการต่อวงจรการทำงาน จึงต้องอาศัยเวลาในการศึกษาในช่วงแรก แต่ก็สามารถแก้ไขได้ไปด้วยดี
- 3). เกิดปัญหาสัญญาณรบกวนในระบบควบคุมการทำงานในบางส่วนทำให้เกิดความเสียหายไปบางในช่วงแรก แต่ก็ทำการป้องกันสัญญาณต่างๆ ได้ในภายหลังจนการทำงานเป็นปกติตามที่ทำการโปรแกรมไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 สิ่งที่ต้องได้รับการพัฒนาต่อไปสำหรับโครงการนี้

- 1). ควรทำการออกแบบในส่วนกำลังของอินเวอร์เตอร์ให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นและเพิ่มพิกัดกำลังของอินเวอร์เตอร์ให้มีค่าที่สูงขึ้น
- 2). ในการป้องกันการลัดวงจรควรทำการออกแบบให้มีความปลอดภัยมากขึ้นเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับชีวิตและตัวอุปกรณ์
- 3). ควรทำการออกแบบทั้งระบบให้มีความเล็กมากขึ้นเพื่อความสะดวกในด้านต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] วีระเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ชาราธิรเศรษฐ์, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง, พิมพ์ครั้งที่ 4 กทม.โรงพิมพ์ ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ.พรินต์ติ้ง, 2549
- [2] ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล, **พื้นฐานระบบไฟฟ้า เล่ม 1**, วศ.สจล. 135, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [3] Ali Feliachi, "Unified Power Flow Controllers", CRC Press LLC, 2002.
- [4] Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins," Power Electronics
- [5] ประชา คำภักดี, "การวิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำด้วยวงจรกรองต้านออกของอินเวอร์เตอร์สำหรับเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส", **วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549
- [6] ศิริวัฒน์ ปอกเพชร และคณะ, "อินเวอร์เตอร์สำหรับจ่ายไฟฟ้าแบบผสมผสาน", **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547
- [7] IEEE Std 519 – 1992 IEEE Recommended Practices and Requirement for Harmonic Control in Electrical Power Systems
- [8] อนุศักดิ์ พลอยงาม และ คณะ, "การขนาดอินเวอร์เตอร์อัตโนมัติ", **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550
- [9] อลงกรณ์ บั้นเจริญ และ คณะ, "การเชื่อมต่อระบบกริด", **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550

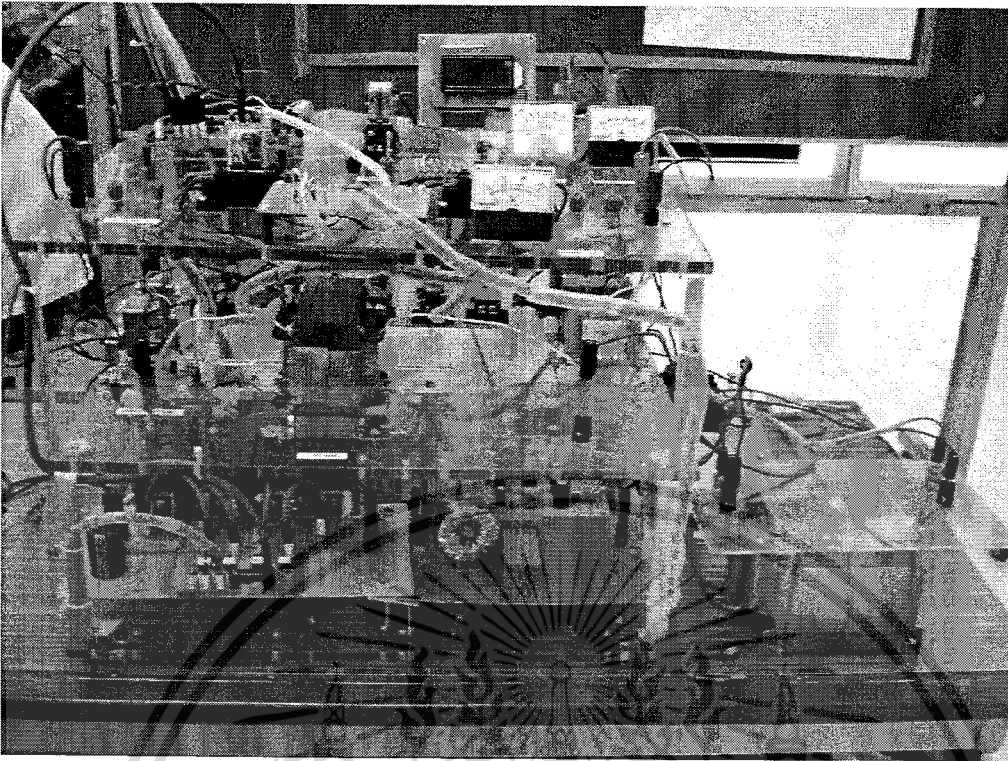
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



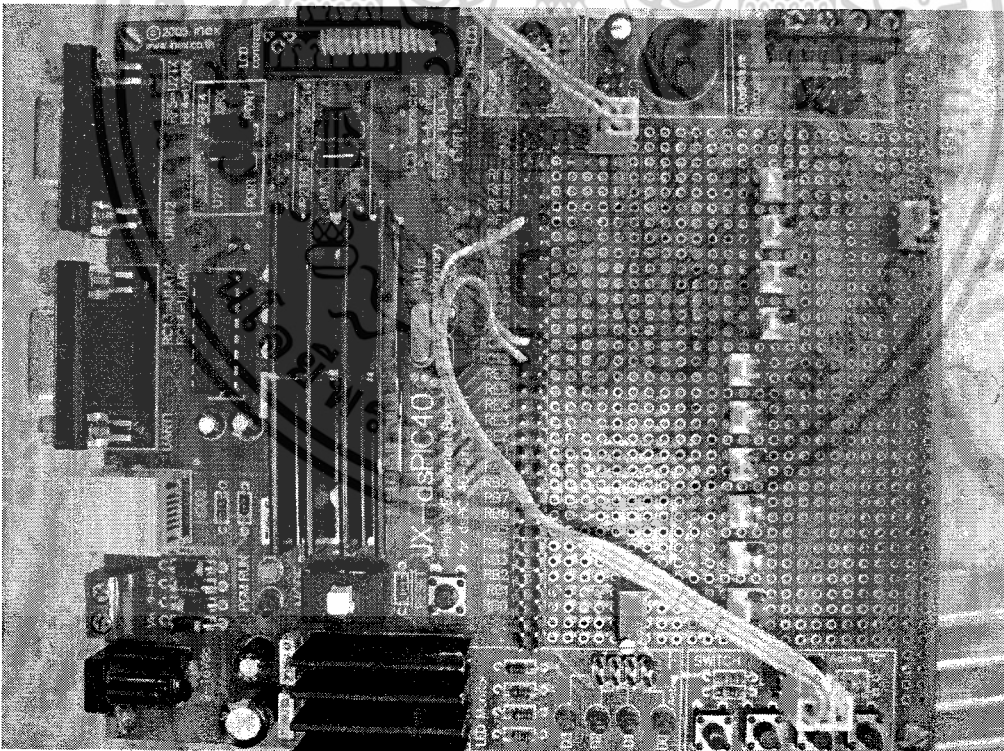
ภาคผนวก ก.

รูปถ่ายชิ้นงานและอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

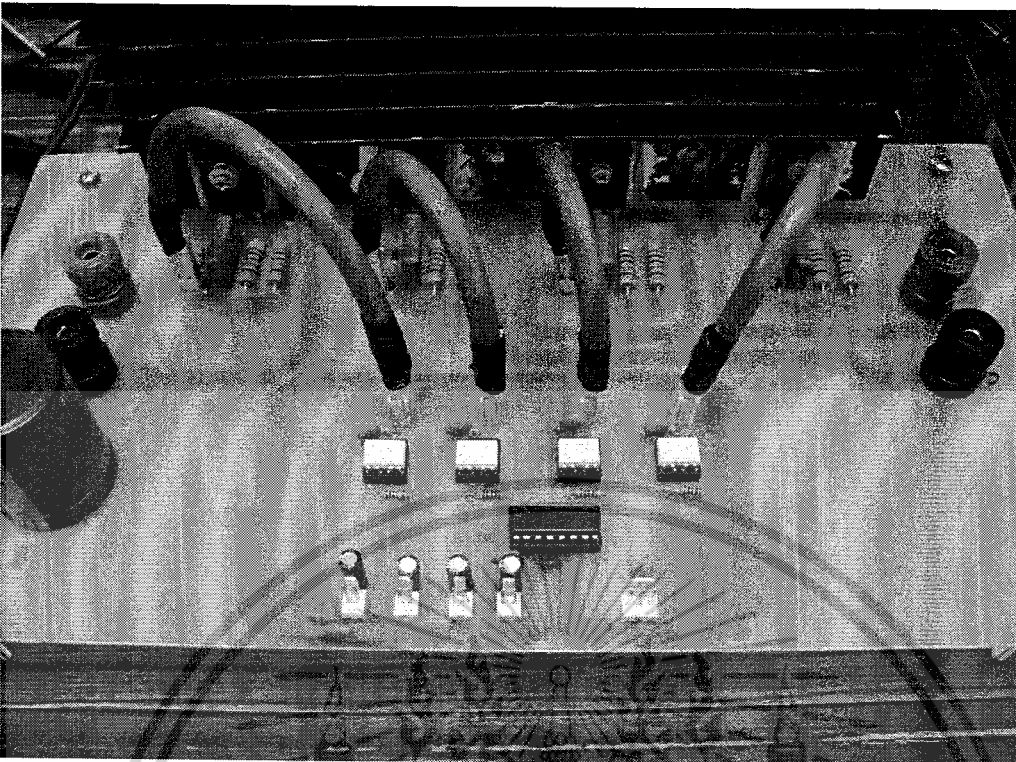


รูปที่ ก-1 ชุดทดลองการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้า

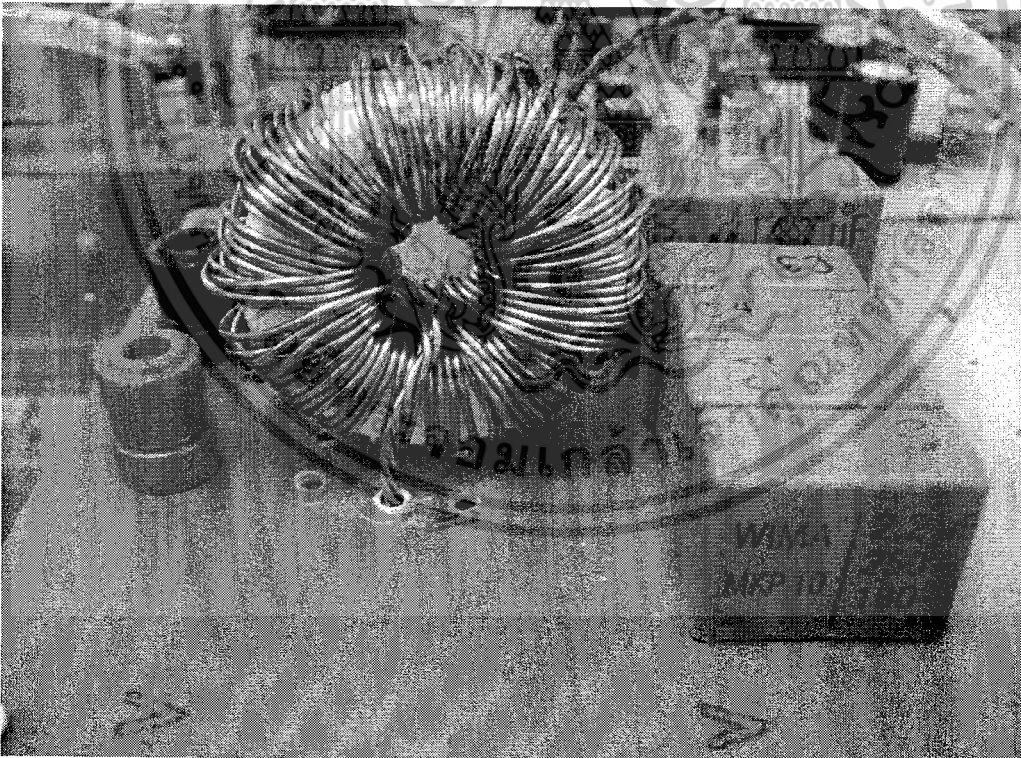


รูปที่ ก-2 ชุดทดลอง dsPIC30F4011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

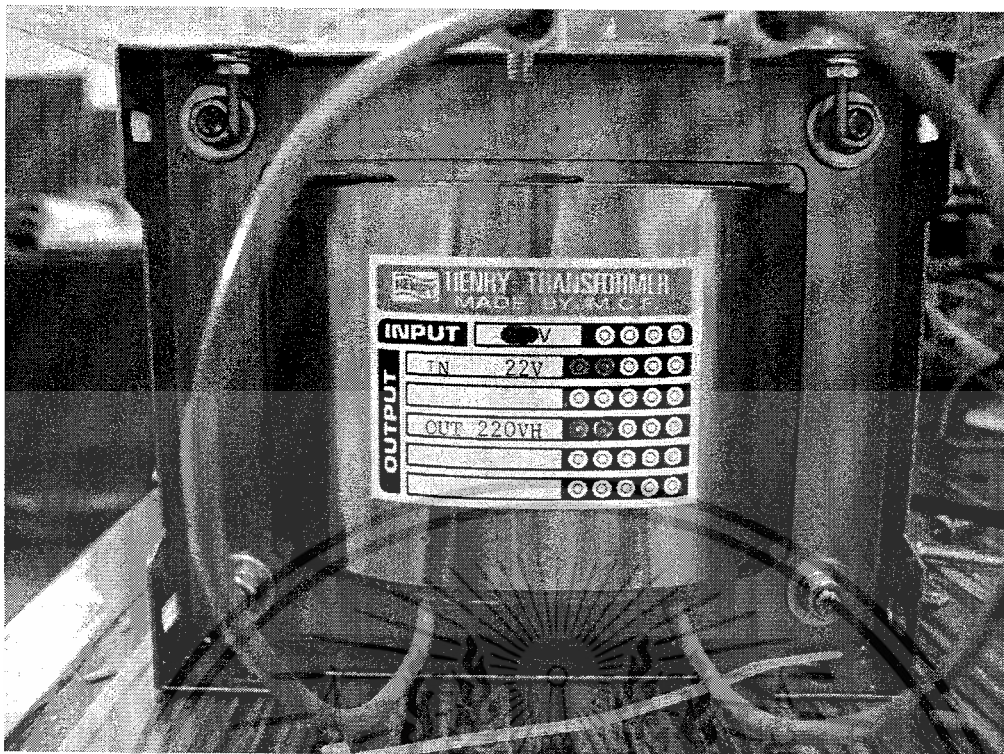


รูปที่ ก-3 ชุดอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส



รูปที่ ก-4 วงจรกรองความถี่แบบต่ำผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

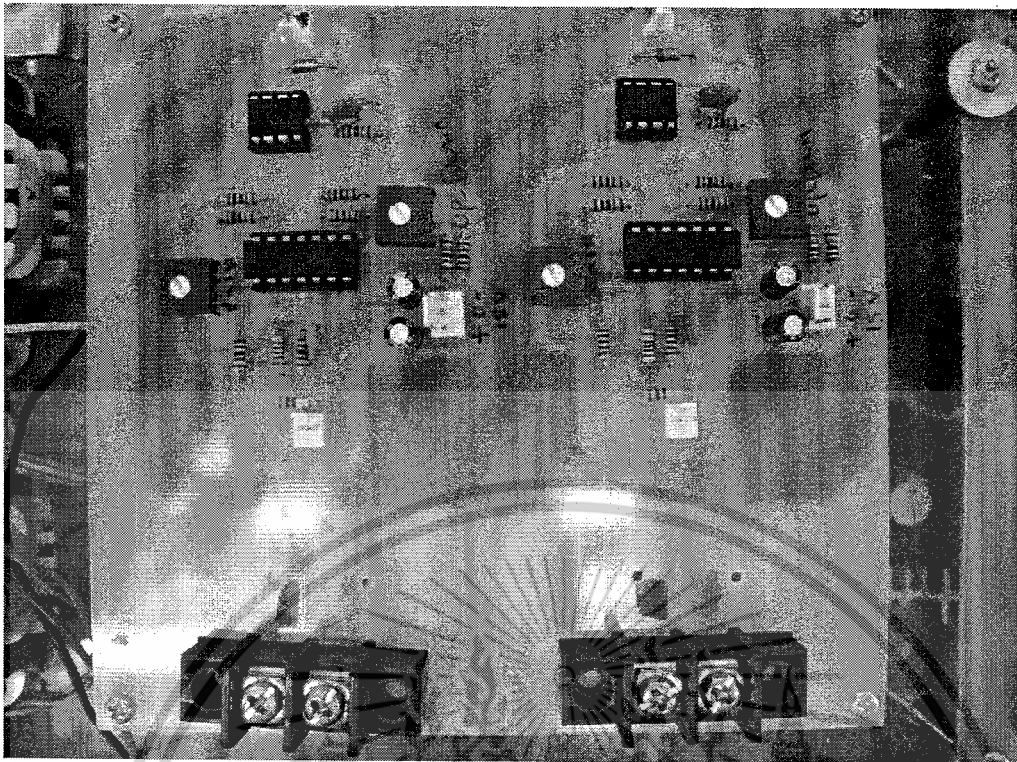


รูปที่ ก-5 หม้อแปลงยกระดับแรงดันไฟฟ้า

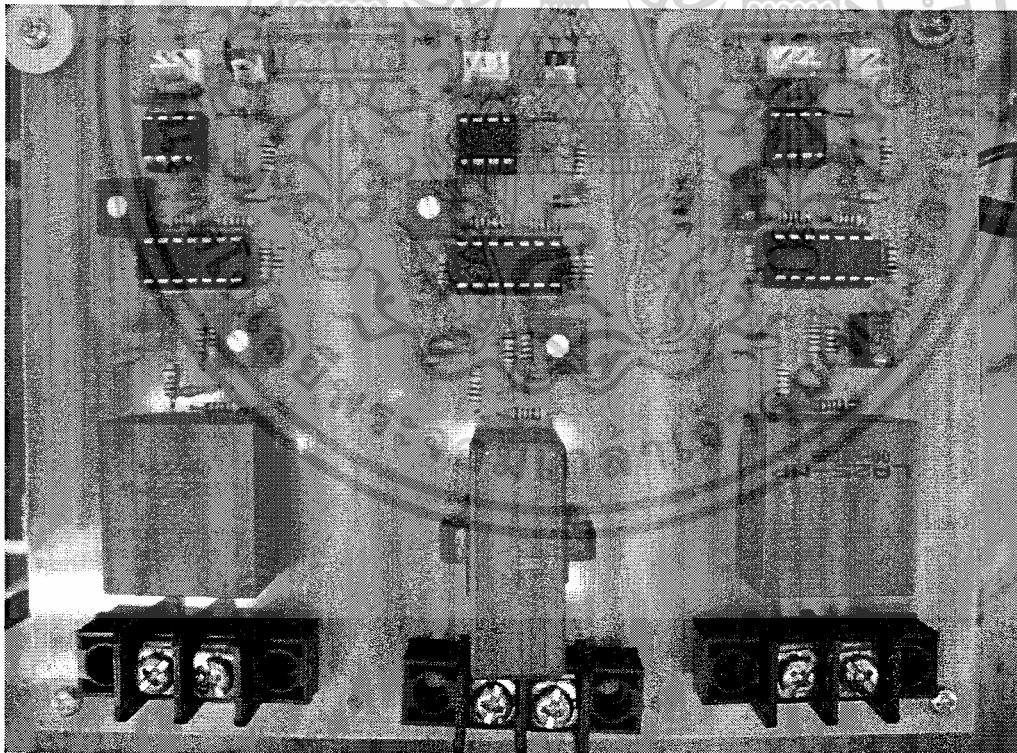


รูปที่ ก-6 แบตเตอรี่ขนาด 12 V 12 AH 4 ลูกต่ออนุกรม เป็น 48 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

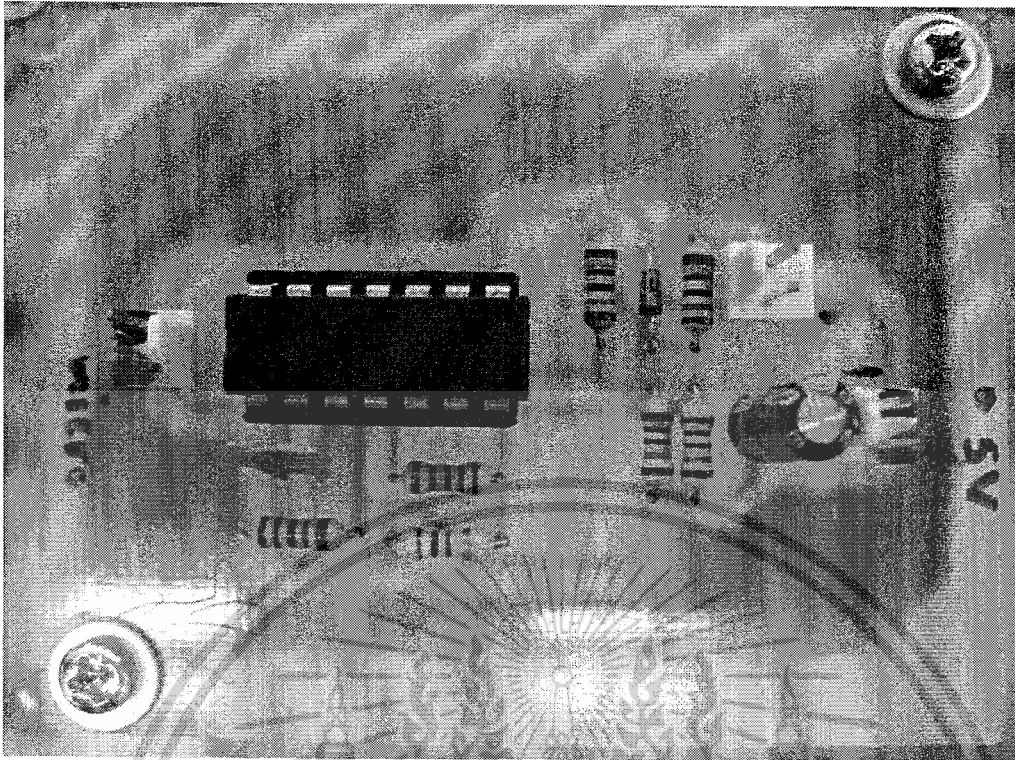


รูปที่ ก-7 วงจรตรวจจับแรงดัน

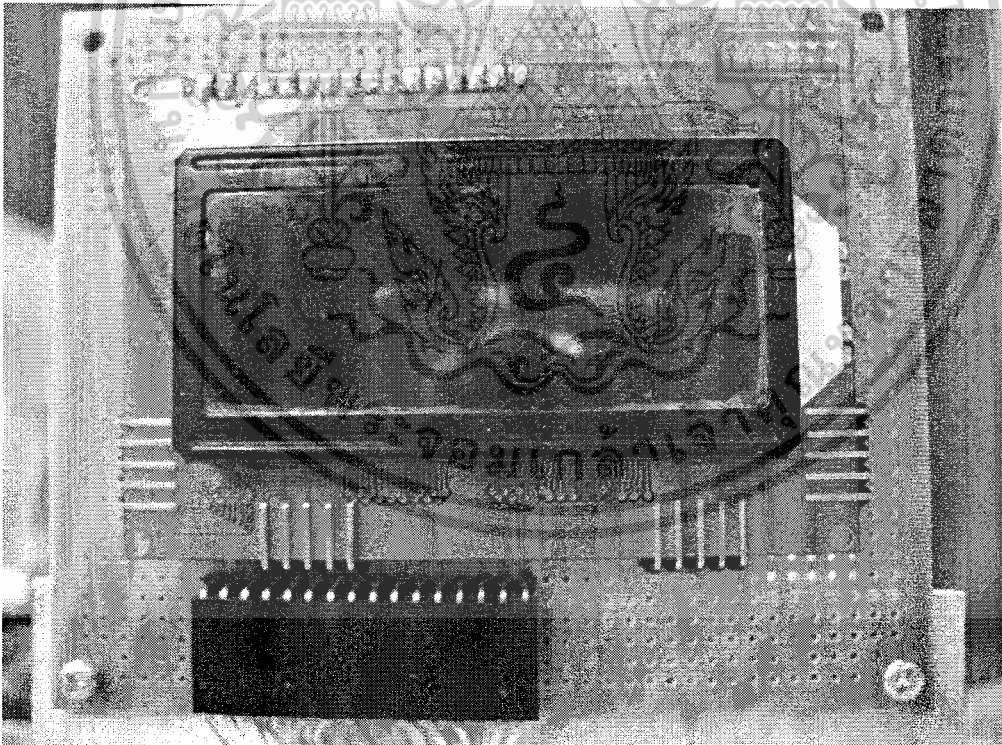


รูปที่ ก-8 วงจรตรวจจับกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

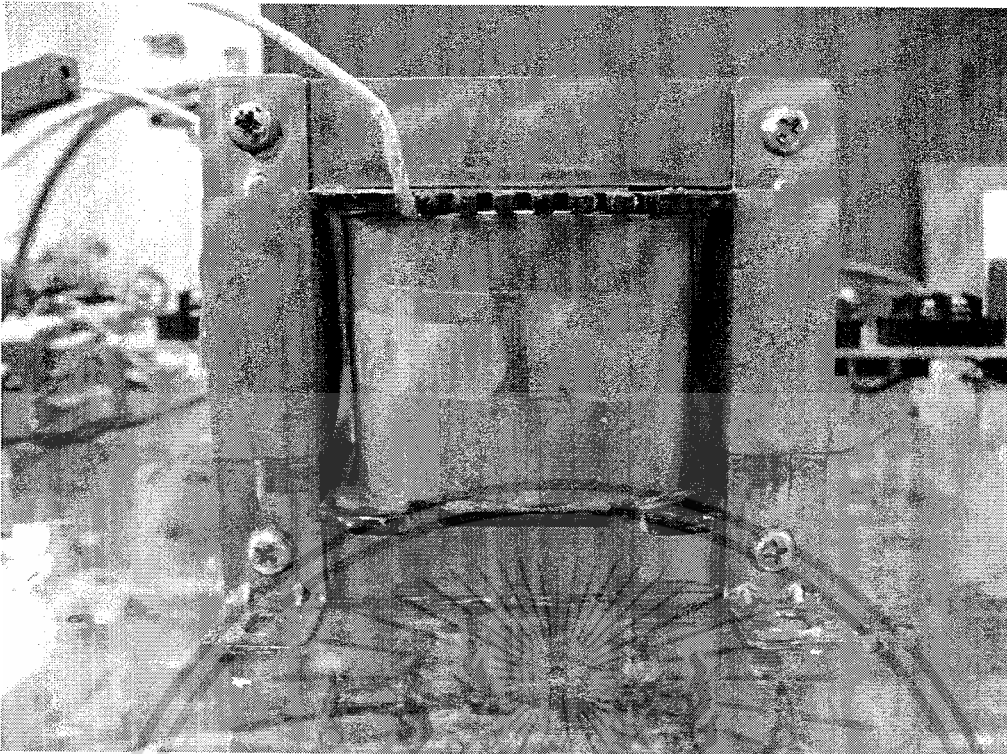


รูปที่ ก-9 วงจรตรวจจับศูนย์ระบบแรงดันการไฟฟ้า



รูปที่ ก-10 หน้าจอ LCD 4 X 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

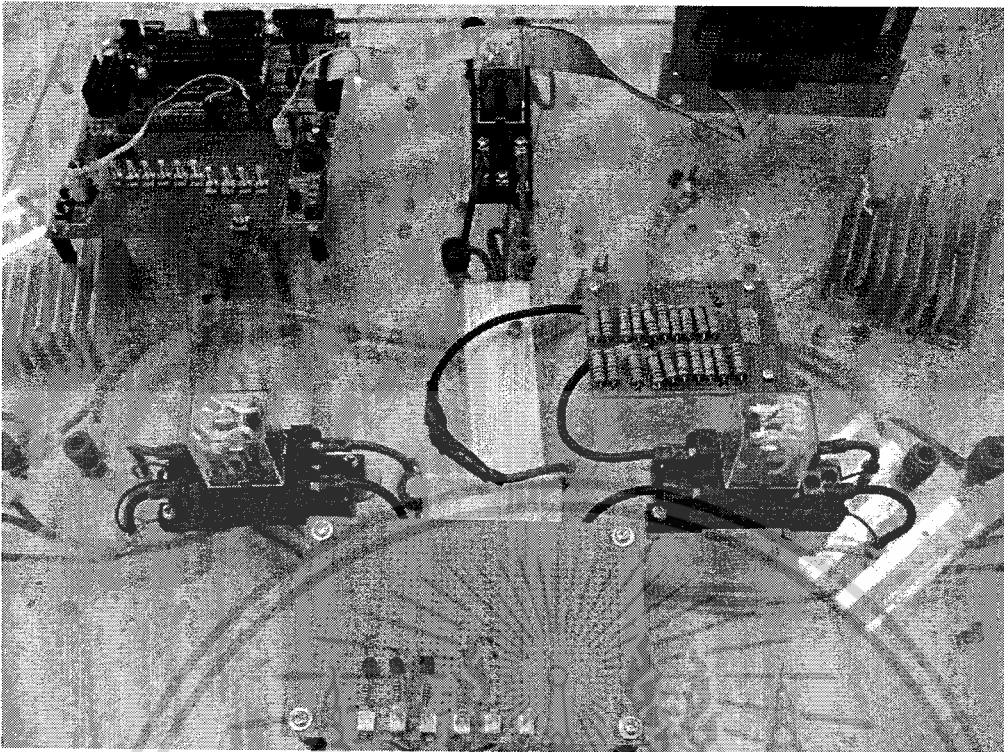


รูปที่ ก-11 ค่าเหนี่ยวนำจำกัดการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า $L = 97 \text{ mH}$

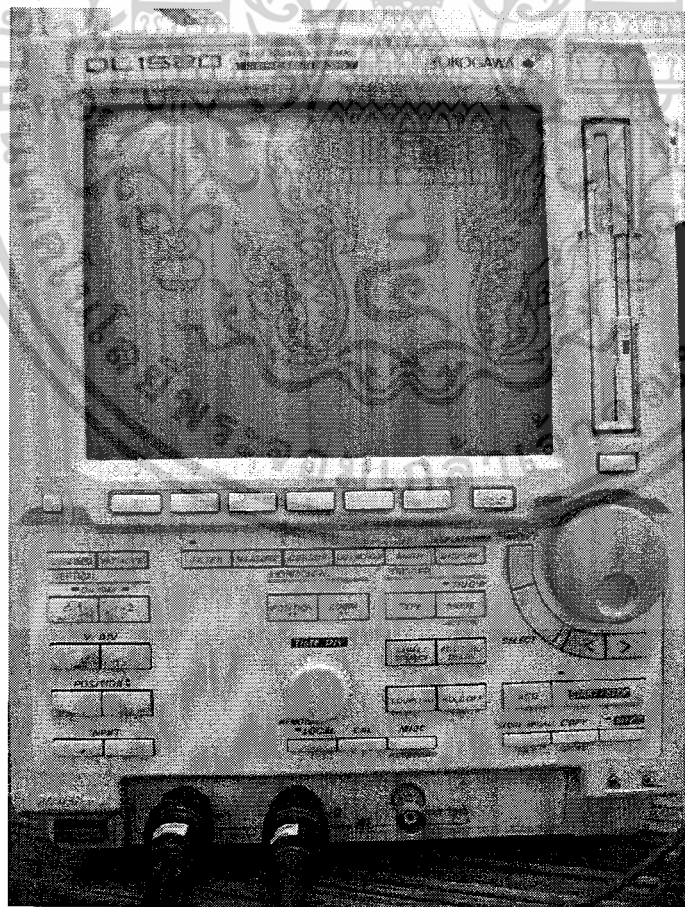


รูปที่ ก-12 ชุดโหลดหลอดไฟ

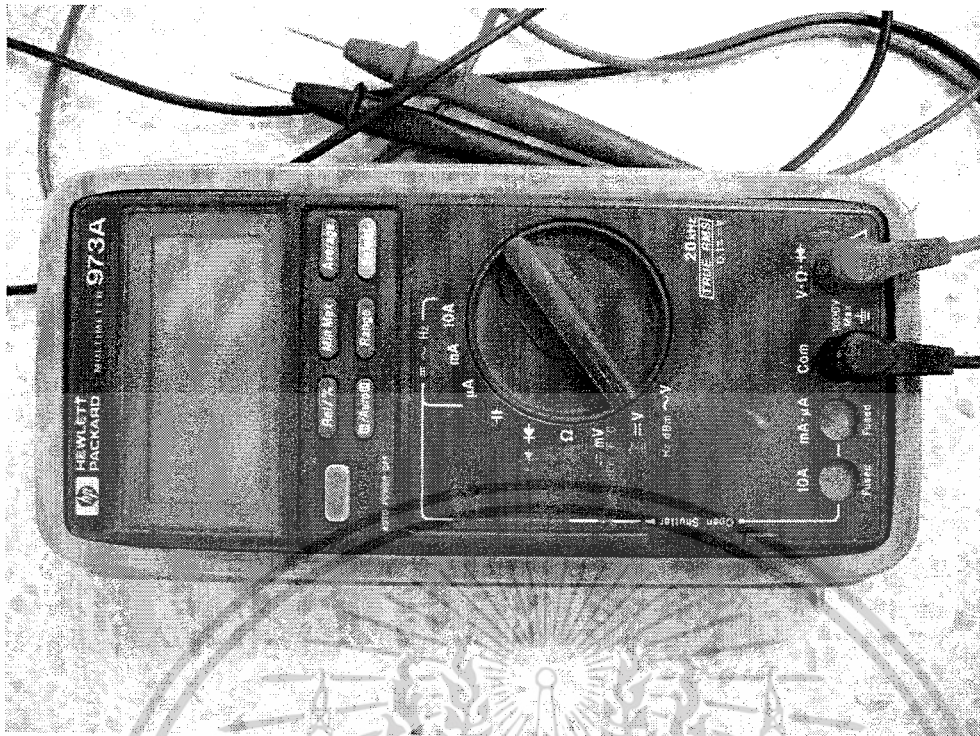
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



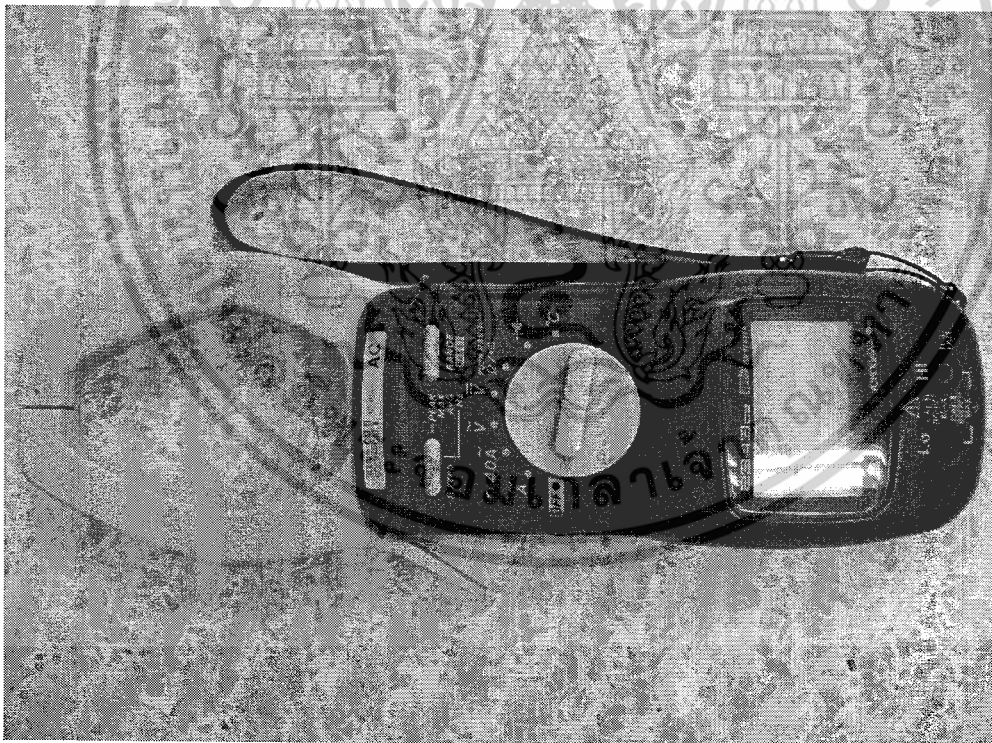
รูปที่ ก-13 ชุดรีเลย์เชื่อมต่อระบบ



รูปที่ ก-14 ดิจิตอลออสซิลโลสโคปรุ่น DL 1520 8 bit 200 Ms/s 150 YOKOGAWA
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

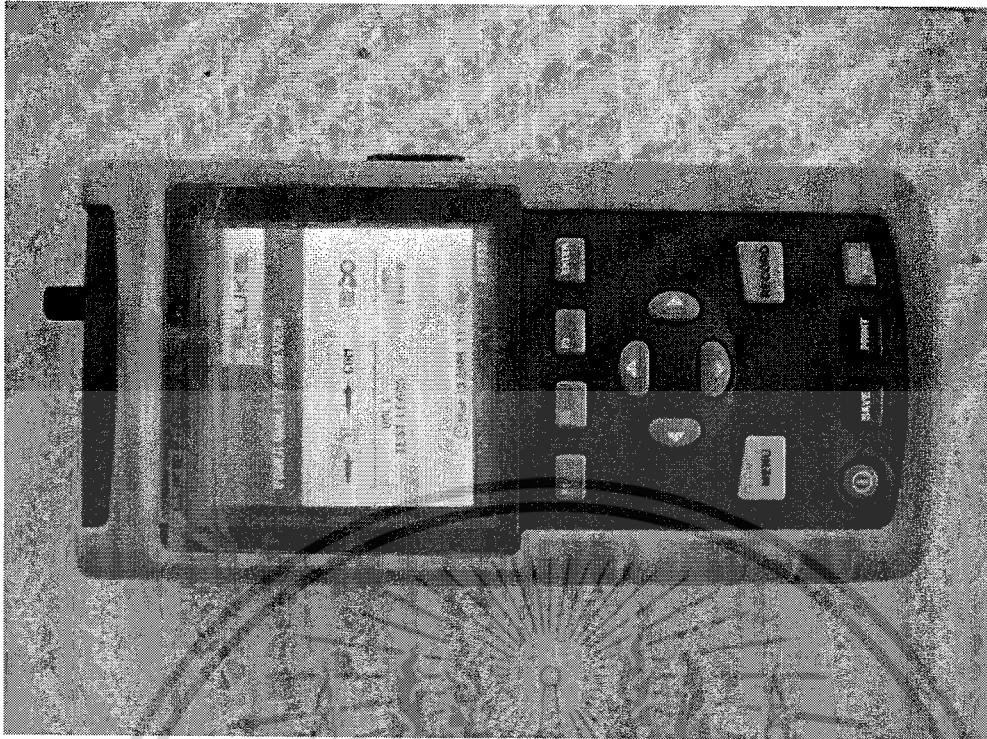


รูปที่ ก-15 ดิจิตอล Multimeter รุ่น HP 973A



รูปที่ ก-16 ดิจิตอล Meter Clamp-on 2343₀₂ YOKOGAWA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-17 FLUKE 43 Power Quality Analyzer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

โปรแกรมควบคุมการทำงาน dsPIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include<p30F4011.h>           //header file for dsPIC30F4011 Use 7.3728 MHz
#include<adc10.h>             //use analog to digital converter
#include<lcd4011.h>          //use lcd display
#include<ports.h>
#include<stdio.h>
#include<timer.h>
#include <pwm.h>

#define      Sw_Up           PORTCbits.RC13
#define      Sw_Down        PORTCbits.RC14
#define      Sw_Grid        PORTFbits.RF2
#define      ConnectInverter LATFbits.LATF3
#define      ConnectGrid    LATFbits.LATF4
#define      ConnectLoad    LATFbits.LATF5
#define      ZeroCrossing   PORTFbits.RF6

#define      I_set_over 2.0
#define      Vbatt_set_Low 46.0

_FBORPOR(PBOR_ON&BORV_20&PWRT_64&MCLR_EN&PWMxH_ACT_LO&PWMxL
_ACT_LO&RST_PWMPIN);
_FWDT(WDT_OFF);
_FOSC(CSW_ON_FSCM_OFF & XT_PLL16);
_FGS(CODE_PROT_OFF);

unsigned int  t100us,t20ms,
              t100us_dummy,t20ms_dummy,
              t100us_count,t20ms_count;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

unsigned int  ADC_Vg,ADC_Ig,ADC_Vinv,ADC_linv,ADC_Vbatt,ADC_Ibatt,
ADC_Vg_Max,ADC_Ig_Max,ADC_Vinv_Max,ADC_linv_Max,ADC_Vbatt_Max,ADC_Ibatt
_Max,
ADC_Vg_dummy_Max,ADC_Ig_dummy_Max,ADC_Vinv_dummy_Max,ADC_linv
_dummy_Max,ADC_Vbatt_dummy_Max,ADC_Ibatt_dummy_Max,
ADC_Vg_Avg_Max,ADC_Ig_Avg_Max,ADC_Vinv_Avg_Max,ADC_linv_Avg_Max,
ADC_Vbatt_Avg_Max,ADC_Ibatt_Avg_Max,
ADC_Vg_Use_Max,ADC_Ig_Use_Max,ADC_Vinv_Use_Max,ADC_linv_Use_Max
,ADC_Vbatt_Use_Max,ADC_Ibatt_Use_Max,
MAX,
div_count_V = 0,div_count_I = 0;
float  Vg_Use,Ig_Use,Vinv_Use,linv_Use,Vbatt_Use,Ibatt_Use;
int    cap_run_cyc,RE_PWM,cap_count,cap_run,Low,High,cap_up,Active;
int    MA = 0,Over_Load = 0,Battery_Low = 0;

float pdc1,v;
unsigned int sine_n;
float ma = 0.65;
unsigned int sine_addr_p = 0;

```

```

static float sine_table[400]={
0,12,23,35,46,58,69,81,92,104,115,127,138,149,161,172,183,194,206,217,228,239,250,
261,271,282,293,303,314,324,335,345,355,365,375,385,395,405,414,424,433,443,452,4
61,470,479,487,496,505,513,521,529,537,545,553,560,568,575,582,589,596,603,610,61
6,622,628,634,640,646,651,657,662,667,672,676,681,685,689,693,697,701,704,708,711
,714,717,719,722,724,726,728,730,731,733,734,735,736,736,737,737,737,737,736,
736,735,734,733,731,730,728,726,724,722,719,717,714,711,708,704,701,697,693,689,6

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

85,681,676,672,667,662,657,651,646,640,634,628,622,616,610,603,596,589,582,575,56
8,560,553,545,537,529,521,513,505,496,487,479,470,461,452,443,433,424,414,405,395
,385,375,365,355,345,335,324,314,303,293,282,271,261,250,239,228,217,206,194,183,
172,161,149,138,127,115,104,92,81,69,58,46,35,23,12,0,-12,-23,-35,-46,-58,-69,-81,-92,-
104,-115,-127,-138,-149,-161,-172,-183,-194,-206,-217,-228,-239,-250,-261,-271,-282,-
293,-303,-314,-324,-335,-345,-355,-365,-375,-385,-395,-405,-414,-424,-433,-443,-452,-
461,-470,-479,-487,-496,-505,-513,-521,-529,-537,-545,-553,-560,-568,-575,-582,-589,-
596,-603,-610,-616,-622,-628,-634,-640,-646,-651,-657,-662,-667,-672,-676,-681,-685,-
689,-693,-697,-701,-704,-708,-711,-714,-717,-719,-722,-724,-726,-728,-730,-731,-733,
-734,-735,-736,-736,-737,-737,-737,-737,-737,-736,-736,-735,-734,-733,-731,-730,-728,-
726,-724,-722,-719,-717,-714,-711,-708,-704,-701,-697,-693,-689,-685,-681,-676,-672,-
667,-662,-657,-651,-646,-640,-634,-628,-622,-616,-610,-603,-596,-589,-582,-575,-568,-
560,-553,-545,-537,-529,-521,-513,-505,-496,-487,-479,-470,-461,-452,-443,-433,-424,-
414,-405,-395,-385,-375,-365,-355,-345,-335,-324,-314,-303,-293,-282,-271,-261,-250,-
239,-228,-217,-206,-194,-183,-172,-161,-149,-138,-127,-115,-104,-92,-81,-69,-58,-46,-
35,-23,-12  };

```

```

****function display adc value****
void display_adc_value(unsigned char addr, float val)
{
    char i;                               //counter for send character
    lcd_command(2);                        //set origin of lcd
    lcd_command(addr);                    //set address of lcd
    for(i=0;i<4;i++);
    {
        lcd_text(0x20);                   //send character to lcd
    }
    inttolcd(addr,val);                   //display integer
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void _ISR_FLTAInterrupt(void)
```

```
{
    IFS2bits.FLTAIF = 0;
    return;
}
```

```
void pwm_int()
```

```
{
    IEC2bits.PWMIE = 1; // PWM interrupt enable
    IPC9 = 0xd000 ;
    DTCON1 = (PWM_DTAPS8 & PWM_DTA8); //PWM dead time config
    FLTACON = (PWM_OVA1H_ACTIVE &
               PWM_OVA2H_ACTIVE &
               PWM_FLTA_MODE_LATCH &
               PWM_FLTA1_DIS &
               PWM_FLTA2_DIS );
    PTCON = (PWM_EN &
              PWM_OP_SCALE1 &
              PWM_IPCLK_SCALE1 &
              PWM_MOD_UPDN);
    PWMCON1 = (PWM_MOD1_COMP &
               PWM_MOD2_COMP &
               PWM_PEN1H &
               PWM_PEN1L );
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void PWM()
{
    pdc1= 737 + (float)(ma*(sine_table[sine_addr_p]));
    sine_addr_p++;
    if (sine_addr_p>399) {sine_addr_p = 0;}
    return;
}

```

```

void _ISR _PWMInterrupt(void)

```

```

{
    PDC1 = pdc1;
    PWM();
    IFS2bits.PWMIF = 0;
}

```

```

//****function timer1 interrupt****//

```

```

void int_t1_init()

```

```

{
    IEC0bits.T1IE = 1;
    int match_value;
    ConfigIntTimer1(T1_INT_PRIOR_7 & //timer1 interrupt priority 7
                   T1_INT_ON);      //enable interrupt for timer 1
    WriteTimer1(0);                  //clear count value at TMR1 register
    match_value = 2949;              //load value interval 10 uS = 295,100 uS = 2949
    OpenTimer1(T1_ON &               //start timer1
               T1_GATE_OFF &        //disable gate pin for timer 1
               T1_IDLE_STOP &      //stop timer in idle mode
               T1_PS_1_1 &         //prescaler 1:1
               T1_SYNC_EXT_OFF &   //disable sync external source
               T1_SOURCE_INT, match_value); //wait till the timer match with the

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

period value

```

}

void _ISR_T1Interrupt(void)
{
    IFS0bits.T1IF = 0;
    WriteTimer1(0);

    cap_count++;
    t100us_count++;
    t20ms_count++;

    if(cap_count >= 1) // = t100us_count
    {
        Capture();
        cap_count = 0;
    }
    if(t100us_count >= 1)
    {
        MAX_ADC();
        t100us_count = 0;
    }
    if(t20ms_count >= 200)
    {
        Use_ADC();
        t20ms_count = 0;
    }
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****function initialize for adc module*****/
void adc_init()
{
    ADCON1bits.ADON = 0;    //turn off A/D
    ADPCFG = 0x0000;       //run in analog mode 0000 0000 0000 0000
    ADCON1 = 0x00E4;       // 0000 0000 1110 0100
    ADCON2 = 0x0410;       // 0000 0100 0001 0000
    ADCON3 = 0x0505;       //time sampling 5 Tad , time to convert = 3Tcy
                           // 0000 0101 0000 0101
    ADCHS = 0x0000;       // 0000 0000 0000 0000
    ADCSSL = 0x001F;      //A/D input scan select register 0000 0000 0001
                           // 1111
    ADCON1bits.ADON = 1;   //start A/D
}

/*****function analog to digital converter*****/
void MAX_ADC()
{
    ADC_Vg = (ADCBUF0);
    ADC_Ig = (ADCBUF1+1);
    ADC_Vinv = (ADCBUF2);
    ADC_linv = (ADCBUF3+1);
    ADC_Vbatt = (ADCBUF4);
    // ADC_lbatt = (ADCBUF5+1);

    if(ADC_Vg > ADC_Vg_Max)
    {
        ADC_Vg_Max = ADC_Vg;
        if(ADC_Vg_Max == ADC_Vg) ADC_Vg_dummy_Max =
            ADC_Vg_Max ;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}

if(ADC_Ig > ADC_Ig_Max)
{
    ADC_Ig_Max = ADC_Ig;
    if(ADC_Ig_Max == ADC_Ig)    ADC_Ig_dummy_Max =
                                ADC_Ig_Max ;
}

if(ADC_Vinv > ADC_Vinv_Max)
{
    ADC_Vinv_Max = ADC_Vinv;
    if(ADC_Vinv_Max == ADC_Vinv)    ADC_Vinv_dummy_Max =
                                    ADC_Vinv_Max ;
}

if(ADC_linv > ADC_linv_Max)
{
    ADC_linv_Max = ADC_linv;
    if(ADC_linv_Max == ADC_linv)
        ADC_linv_dummy_Max = ADC_linv_Max ;
}

if(ADC_Vbatt > ADC_Vbatt_Max)
{
    ADC_Vbatt_Max = ADC_Vbatt;
    if(ADC_Vbatt_Max == ADC_Vbatt)    ADC_Vbatt_dummy_Max
                                        = ADC_Vbatt_Max ;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*      if(ADC_Ibatt > ADC_Ibatt_Max)
{
    ADC_Ibatt_Max = ADC_Ibatt;
    if(ADC_Ibatt_Max == ADC_Ibatt)      ADC_Ibatt_dummy_Max =
                                         ADC_Ibatt_Max ;
}

*/
}

void Use_ADC()                               //t20ms
{
    div_count_V++;
    div_count_I++;
    ADC_Vg_Avg_Max += ADC_Vg_dummy_Max;
    ADC_Ig_Avg_Max += ADC_Ig_dummy_Max;
    ADC_Vinv_Avg_Max += ADC_Vinv_dummy_Max;
    ADC_linv_Avg_Max += ADC_linv_dummy_Max;
    ADC_Vbatt_Avg_Max += ADC_Vbatt_dummy_Max;
//    ADC_Ibatt_Avg_Max +=ADC_Ibatt_dummy_Max;

    ADC_Vg_Max = 0;
    ADC_Vg_dummy_Max = 0;
    ADC_Ig_Max = 0;
    ADC_Ig_dummy_Max = 0;
    ADC_Vinv_Max = 0;
    ADC_Vinv_dummy_Max = 0;
    ADC_linv_Max = 0;
    ADC_linv_dummy_Max = 0;
    ADC_Vbatt_Max = 0;
    ADC_Vbatt_dummy_Max = 0;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//      ADC_Ibatt_Max = 0;
//      ADC_Ibatt_dummy_Max = 0;

if(div_count_V >= 5)
{
    ADC_Vg_Use_Max = ADC_Vg_Avg_Max/div_count_V;
    ADC_Vinv_Use_Max = ADC_Vinv_Avg_Max/div_count_V;
    ADC_Vbatt_Use_Max = ADC_Vbatt_Avg_Max/div_count_V;

    div_count_V = 0;
    ADC_Vg_Avg_Max = 0;
    ADC_Vinv_Avg_Max = 0;
    ADC_Vbatt_Avg_Max = 0;
    Vg_Use = ((float)ADC_Vg_Use_Max*1.0);
    Vinv_Use = ((float)ADC_Vinv_Use_Max*1.1);
    Vbatt_Use = ((float)ADC_Vbatt_Use_Max*53.0)/810;
}
if(div_count_I >= 5)
{
    ADC_Ig_Use_Max = ADC_Ig_Avg_Max/div_count_I;
    ADC_linv_Use_Max = ADC_linv_Avg_Max/div_count_I;
//      ADC_Ibatt_Use_Max = ADC_Ibatt_Avg_Max/div_count_I;

    div_count_I = 0;
    ADC_Ig_Avg_Max = 0;
    ADC_linv_Avg_Max = 0;
//      ADC_Ibatt_Avg_Max = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lg_Use = ((float)ADC_lg_Use_Max*2.4)/510.0;
linv_Use = ((float)ADC_linv_Use_Max*2.4)/510.0;
//
lbatt_Use = ((float)ADC_lbatt_Use_Max*230.0)/850.0;
}

//*****//
if(ADC_Vinv_dummy_Max > MAX)
    MAX = ADC_Vinv_dummy_Max;
//*****//
}

void Capture()
{
    if((linv_Use >= 0) && (linv_Use < 0.3))
    {
        if(ZeroCrossing == 1)
        {
            cap_up++;
            cap_run = 0;
        }
        if(ZeroCrossing == 0)
        {
            cap_run++;
            cap_up = 0;
            Active = 0;
        }
    }

    if(cap_up >= 3)
    {
        Active = 1;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(cap_up >= 4)
{
    cap_up = 0;
}
if(cap_run >= 99)
{
    cap_run_cyc = 1;
}
if(cap_run >= 100)
{
    cap_run = 0;
}
if((cap_run_cyc >= 1) && (Active >= 1))
{
    sine_addr_p = 0;
    cap_run_cyc = 0;
}
}

if((linv_Use >= 0.30) && (linv_Use <= 0.75)) // Load 100W
{
    if(ZeroCrossing == 1)
    {
        cap_up = 1;
        cap_run = 0;
    }
    if((ZeroCrossing == 0) && (cap_up == 1))
    {
        cap_run++;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }

    if(cap_run >= 100)
    {
        sine_addr_p = 0;
        cap_up = 0;
    }
}

if(linv_Use >= 0.75) // Load 200W
{
    if(ZeroCrossing == 1)
    {
        cap_up = 1;
        cap_run = 0;
    }
    if((ZeroCrossing == 0) && (cap_up == 1))
    {
        cap_run++;
    }

    if(cap_run >= 97)
    {
        sine_addr_p = 0;
        cap_up = 0;
    }
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/*******//
```

```
void display_title()
```

```
{
/*    lcd_puts(0x80,"Grid Connection");
      delay_ms(500);
      lcd_puts(0xc0," Design Program");
      delay_ms(500);
      lcd_puts(0x90," By ArtOfDoom");
      delay_ms(500);
      lcd_puts(0xd0,"Tel. 084-1733205");
      delay_ms(1500);
*/
      lcd_puts(0x80," Welcome to");
      delay_ms(500);
      lcd_puts(0xc0,"Grid Connection");
      delay_ms(500);
      lcd_puts(0x90," System ");
      delay_ms(1500);
      lcd_clear();
      lcd_puts(0x80," System Ready");
      lcd_puts(0xc0," To Use");
      lcd_puts(0xd0,"Push S1 To Start");
}
```

```
void display_OverLoad()
```

```
{
      lcd_clear();
      do
      {
          lcd_puts(0xc0," System ");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        lcd_puts(0x90," OverLoad !");

        delay_ms(700);

        lcd_clear();

        delay_ms(700);

    }

    while(Over_Load = 1);

}

```

```

void display_BattLow()
{
    lcd_clear();
    do
    {
        lcd_puts(0xc0," Battery ");
        lcd_puts(0x90," Low !");
        delay_ms(700);
        lcd_clear();
        delay_ms(700);
    }
    while(Battery_Low = 1);
}

```

```

void Inverter_Run()
{
    int s = 5;
    while(!Sw_Up);
    int_t1_init();
    adc_init();
    pwm_int();

    PTPER = 737;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

lcd_puts(0xc0,"Wait For Operate");
lcd_puts(0x90," in Second");
do
{
    inttolcd(0x95,s);
    delay_ms(700);
    s--;
    if(s == 3)        ConnectLoad = 1;
    if(s == 0)        ConnectInverter = 1;
}
while(s >= 0);

    lcd_clear();
    lcd_puts(0x80,"Vg=  V lg=  A ");
    lcd_puts(0xc0,"Vi=  V li=  A ");
    lcd_puts(0x90,"Inv: ON Ma:  %");
    lcd_puts(0xd0,"Grid: OFF");
do
{
    if( Vinv_Use < Vg_Use )
    {
        ma = ma + 0.005;
        if(ma>=0.95)  ma = 0.95;
    }

    if((Vinv_Use >= Vg_Use) && (Vinv_Use <= (Vg_Use + 5)))
        ma=ma;

    if(Vinv_Use > (Vg_Use + 5))
    {
        ma = ma - 0.005;
        if(ma<=0.50) ma = 0.50;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MA = ma*100;
```

```
if(Ig_Use > I_set_over)
{
    ConnectInverter = 0;
    ConnectLoad = 0;
    ma = 0;
    Over_Load = 1;
    display_OverLoad();
}
if(linv_Use > I_set_over)
{
    ConnectInverter = 0;
    ConnectLoad = 0;
    ma = 0;
    Over_Load = 1;
    display_OverLoad();
}
if(Vbatt_Use < Vbatt_set_Low)
{
    ConnectInverter = 0;
    ConnectLoad = 0;
    ma = 0;
    Battery_Low = 1;
    display_BattLow();
}
}
```

```
display_adc_value(0x83,Vg_Use);
```

```
display_adc_value(0x8b,Ig_Use);
```

```
display_adc_value(0xc3,Vinv_Use);
```

```
display_adc_value(0xcb,linv_Use);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

display_adc_value(0x9b,MA);
} //End do - while(Sw_Grid)
while(Sw_Grid);

while(!Sw_Grid);
Connect_Grid();
}

void Connect_Grid()
{
int ss = 3;
lcd_clear();
lcd_puts(0xc0,"Connect To Grid");
lcd_puts(0x90," in Second");
do
{
inttolcd(0x95,ss);
delay_ms(700);
ss--;
if(ss == 0) ConnectGrid = 1;
}
while(ss >= 0);

lcd_clear();
lcd_puts(0x80,"Vg= V lg= A ");
lcd_puts(0xc0,"Vi= V li= A ");
lcd_puts(0x90,"Inv: ON Ma: %");
lcd_puts(0xd0,"Grid: ON");

do
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(!Sw_Up)
{
    while(!Sw_Up);
    // delay_ms(100);
    if(Vinv_Use >= (Vg_Use+10)) ma = ma;
    ma = ma + 0.001;
    if(ma >= 0.95) ma = 0.95;
}
if(!Sw_Down)
{
    while(!Sw_Down);
    // delay_ms(100);
    if(Vinv_Use <= Vg_Use) ma = ma;
    ma = ma - 0.001;
    if(ma <= 0.50) ma = 0.50;
}
if((!Sw_Down) && (!Sw_Up)) ma = ma;
if(Vinv_Use < Vg_Use)
{
    ma = ma + 0.005;
    if(ma>=0.95) ma = 0.95;
}
if((Vinv_Use >= Vg_Use) && (Vinv_Use <= (Vg_Use + 10)))
    ma = ma;
if(Vinv_Use > (Vg_Use + 10))
{
    ma = ma - 0.005;
    if(ma<=0.50) ma = 0.50;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MA = ma*100;

if(Ig_Use > I_set_over)
{
    ConnectGrid = 0;
    ConnectInverter = 0;
    ConnectLoad = 0;
    ma = 0;
    Over_Load = 1;
    display_OverLoad();
}
if(Iinv_Use > I_set_over)
{
    ConnectGrid = 0;
    ConnectInverter = 0;
    ConnectLoad = 0;
    ma = 0;
    Over_Load = 1;
    display_OverLoad();
}
if(Vbatt_Use < Vbatt_set_Low)
{
    ConnectGrid = 0;
    ConnectInverter = 0;
    ConnectLoad = 0;
    ma = 0;
    Battery_Low = 1;
    display_BattLow();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

display_adc_value(0x83,Vg_Use);
display_adc_value(0x8b,Ig_Use);
display_adc_value(0xc3,Vinv_Use);
display_adc_value(0xcb,Iinv_Use);
display_adc_value(0x9b,MA);
} //End do - while(Sw_Grid)
while(Sw_Grid);

while(!Sw_Grid);
Disconnect_Grid();
}

void Disconnect_Grid()
{
int sss = 3;
lcd_clear();
lcd_puts(0xc0," Grid Shut Down");
lcd_puts(0x90," in Second");
do
{
inttolcd(0x95,sss);
delay_ms(700);
sss--;
if(sss == 0) ConnectGrid = 0;
}
while(sss >= 0);

lcd_clear();
lcd_puts(0x80,"Vg= V Ig= A ");
lcd_puts(0xc0,"Vi= V Ii= A ");
lcd_puts(0x90,"Inv: ON Ma: %");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        lcd_puts(0xd0,"Grid: OFF");

do
{
    if( Vinv_Use < Vg_Use )
    {
        ma = ma + 0.005;
        if(ma>=0.95)    ma = 0.95;
    }

    if((Vinv_Use >= Vg_Use) && (Vinv_Use <= (Vg_Use + 5)))
        ma=ma;

    if(Vinv_Use > (Vg_Use + 5))
    {
        ma = ma - 0.005;
        if(ma<=0.50) ma = 0.50;
    }
    MA = ma*100;

    if(Ig_Use > I_set_over)
    {
        ConnectInverter = 0;
        ConnectLoad = 0;
        ma = 0;
        Over_Load = 1;
        display_OverLoad();
    }

    if(Iinv_Use > I_set_over)
    {
        ConnectInverter = 0;
        ConnectLoad = 0;
        ma = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        Over_Load = 1;
        display_OverLoad();
    }
    if(Vbatt_Use < Vbatt_set_Low)
    {
        ConnectInverter = 0;
        ConnectLoad = 0;
        ma = 0;
        Battery_Low = 1;
        display_BattLow();
    }

    display_adc_value(0x83,Vg_Use);
    display_adc_value(0x8b,Ig_Use);
    display_adc_value(0xc3,Vinv_Use);
    display_adc_value(0xcb,Iinv_Use);
    display_adc_value(0x9b,MA);
} //End do - while(Sw_Grid)
while(Sw_Grid);

while(!Sw_Grid);
Connect_Grid();
}

int main(void)
{
    TRISCbits.TRISC13 = 1;           //set to input #define sw_mode
    PORTCbits.RC13
    TRISCbits.TRISC14 = 1;           //set to input #define sw_enter
    PORTCbits.RC14

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

TRISFbits.TRISF2 = 1;    //set to input #define sw_stop PORTFbits.RF2
TRISFbits.TRISF3 = 0;    //set to output #define ConnectInverter
LATFbits.LATF3
TRISFbits.TRISF4 = 0;    //set to output #define ConnectGrid
LATFbits.LATF4
TRISFbits.TRISF5 = 0;    //set to output #define ConnectLoad
LATFbits.LATF5
TRISFbits.TRISF6 = 1;    //set to input #define ZeroCrossing
PORTFbits.RF6

lcd_init();
lcd_clear();
display_title();

while (1)
{
    if(Sw_Up == 0)
    {
        while(!Sw_Up);
        lcd_clear();
        Inverter_Run();
    }
}

// End While
// return 0;
} // End main

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

40A, 600V, UFS Series N-Channel IGBT with Anti-Parallel Hyperfast Diode

The HGTG20N60B3D is a MOS gated high voltage switching device combining the best features of MOSFETs and bipolar transistors. The device has the high input impedance of a MOSFET and the low on-state conduction loss of a bipolar transistor. The much lower on-state voltage drop varies only moderately between 25°C and 150°C. The diode used in anti-parallel with the IGBT is the RHRP3060.

The IGBT is ideal for many high voltage switching applications operating at moderate frequencies where low conduction losses are essential.

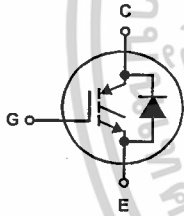
Formerly developmental type TA49016.

Ordering Information

| PART NUMBER | PACKAGE | BRAND |
|--------------|---------|-----------|
| HGTG20N60B3D | TO-247 | G20N60B3D |

NOTE: When ordering, use the entire part number.

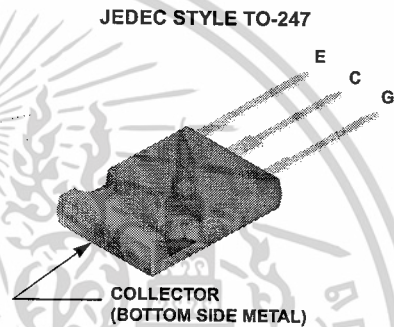
Symbol



Features

- 40A, 600V at $T_C = 25^\circ\text{C}$
- Typical Fall Time. 140ns at 150°C
- Short Circuit Rated
- Low Conduction Loss
- Hyperfast Anti-Parallel Diode

Packaging



FAIRCHILD SEMICONDUCTOR IGBT PRODUCT IS COVERED BY ONE OR MORE OF THE FOLLOWING U.S. PATENTS

| | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 4,364,073 | 4,417,385 | 4,430,792 | 4,443,931 | 4,466,176 | 4,516,143 | 4,532,534 | 4,587,713 |
| 4,598,461 | 4,605,948 | 4,620,211 | 4,631,564 | 4,639,754 | 4,639,762 | 4,641,162 | 4,644,637 |
| 4,682,195 | 4,684,413 | 4,694,313 | 4,717,679 | 4,743,952 | 4,783,690 | 4,794,432 | 4,801,986 |
| 4,803,533 | 4,809,045 | 4,809,047 | 4,810,665 | 4,823,176 | 4,837,606 | 4,860,080 | 4,883,767 |
| 4,888,627 | 4,890,143 | 4,901,127 | 4,904,609 | 4,933,740 | 4,963,951 | 4,969,027 | |

HGTG20N60B3D

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

| | HGTG20N60B3D | UNITS |
|--|----------------|---------------------|
| Collector to Emitter Voltage | 600 | V |
| Collector to Gate Voltage, $R_{GE} = 1\text{M}\Omega$ | 600 | V |
| Collector Current Continuous | 40 | A |
| At $T_C = 110^\circ\text{C}$ | 20 | A |
| Average Diode Forward Current at 110°C | 20 | A |
| Collector Current Pulsed (Note 1) | 160 | A |
| Gate to Emitter Voltage Continuous | ± 20 | V |
| Gate to Emitter Voltage Pulsed | ± 30 | V |
| Switching Safe Operating Area at $T_C = 150^\circ\text{C}$ | 30A at 600V | |
| Power Dissipation Total at $T_C = 25^\circ\text{C}$ | 165 | W |
| Power Dissipation Derating $T_C > 25^\circ\text{C}$ | 1.32 | W/ $^\circ\text{C}$ |
| Operating and Storage Junction Temperature Range | T_J, T_{STG} | -40 to 150 |
| Maximum Lead Temperature for Soldering | T_L | 260 |
| Short Circuit Withstand Time (Note 2) at $V_{GE} = 15\text{V}$ | t_{SC} | 4 |
| Short Circuit Withstand Time (Note 2) at $V_{GE} = 10\text{V}$ | t_{SC} | 10 |

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

NOTES:

1. Repetitive Rating: Pulse width limited by maximum junction temperature.
2. $V_{CE} = 360\text{V}$, $T_C = 125^\circ\text{C}$, $R_G = 25\Omega$.

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

| PARAMETER | SYMBOL | TEST CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS | |
|---|-----------------|---|---------------------------|------|-----------|---------------------------|---------------|
| Collector to Emitter Breakdown Voltage | BV_{CES} | $I_C = 250\mu\text{A}$, $V_{GE} = 0\text{V}$ | 600 | - | - | V | |
| Collector to Emitter Leakage Current | I_{CES} | $V_{CE} = BV_{CES}$ | $T_C = 25^\circ\text{C}$ | - | - | 250 | μA |
| | | | $T_C = 150^\circ\text{C}$ | - | - | 2.0 | mA |
| Collector to Emitter Saturation Voltage | $V_{CE(SAT)}$ | $I_C = I_{C110}$, $V_{GE} = 15\text{V}$ | $T_C = 25^\circ\text{C}$ | - | 1.8 | 2.0 | V |
| | | | $T_C = 150^\circ\text{C}$ | - | 2.1 | 2.5 | V |
| Gate to Emitter Threshold Voltage | $V_{GE(TH)}$ | $I_C = 250\mu\text{A}$, $V_{CE} = V_{GE}$ | 3.0 | 5.0 | 6.0 | V | |
| Gate to Emitter Leakage Current | I_{GES} | $V_{GE} = \pm 20\text{V}$ | - | - | ± 100 | nA | |
| Switching SOA | SSOA | $T_C = 150^\circ\text{C}$, $V_{GE} = 15\text{V}$, $R_G = 10\Omega$, $L = 45\mu\text{H}$ | $V_{CE} = 480\text{V}$ | 100 | - | - | A |
| | | | $V_{CE} = 600\text{V}$ | 30 | - | - | A |
| Gate to Emitter Plateau Voltage | V_{GEP} | $I_C = I_{C110}$, $V_{CE} = 0.5 BV_{CES}$ | - | 8.0 | - | V | |
| On-State Gate Charge | $Q_{G(ON)}$ | $I_C = I_{C110}$, $V_{CE} = 0.5 BV_{CES}$ | $V_{GE} = 15\text{V}$ | - | 80 | 105 | nC |
| | | | $V_{GE} = 20\text{V}$ | - | 105 | 135 | nC |
| Current Turn-On Delay Time | $t_{d(ON)I}$ | $T_C = 150^\circ\text{C}$, $I_{CE} = I_{C110}$ | - | 25 | - | ns | |
| Current Rise Time | t_{ri} | $V_{CE} = 0.8 BV_{CES}$, $V_{GE} = 15\text{V}$ | - | 20 | - | ns | |
| Current Turn-Off Delay Time | $t_{d(OFF)I}$ | $R_G = 10\Omega$, $L = 100\mu\text{H}$ | - | 220 | 275 | ns | |
| Current Fall Time | t_{fi} | | - | 140 | 175 | ns | |
| Turn-On Energy | E_{ON} | | - | 475 | - | μJ | |
| Turn-Off Energy (Note 3) | E_{OFF} | | - | 1050 | - | μJ | |
| Diode Forward Voltage | V_{EC} | $I_{EC} = 20\text{A}$ | - | 1.5 | 1.9 | V | |
| Diode Reverse Recovery Time | t_{rr} | $I_{EC} = 20\text{A}$, $dI_{EC}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$ | - | - | 55 | ns | |
| | | $I_{EC} = 1\text{A}$, $dI_{EC}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$ | - | - | 45 | ns | |
| Thermal Resistance | $R_{\theta JC}$ | IGBT | - | - | 0.76 | $^\circ\text{C}/\text{W}$ | |
| | | Diode | - | - | 1.2 | $^\circ\text{C}/\text{W}$ | |

NOTE:

3. Turn-Off Energy Loss (E_{OFF}) is defined as the integral of the instantaneous power loss starting at the trailing edge of the input pulse and ending at the point where the collector current equals zero ($I_{CE} = 0\text{A}$). The HGTG20N60B3D was tested per JEDEC standard No. 24-1 Method for Measurement of Power Device Turn-Off Switching Loss. This test method produces the true total Turn-Off Energy Loss. Turn-On losses include diode losses.

Switching diode

1N4148 / 1N4150 / 1N4448 / 1N914B

*This product is available only outside of Japan.

●Applications

High-speed switching

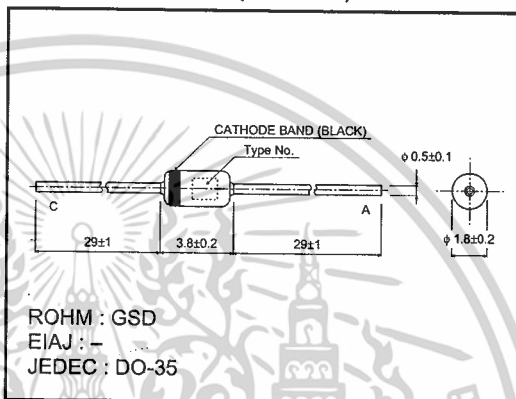
●Features

- 1) Glass sealed envelope. (GSD)
- 2) High speed.
- 3) High reliability.

●Construction

Silicon epitaxial planar

●External dimensions (Units : mm)



●Absolute maximum ratings (Ta = 25°C)

| Type | V _{RM} (V) | V _R (V) | I _{FM} (mA) | I _o (mA) | I _F (mA) | I _{FSM} 1μs (A) | P (mW) | T _j (°C) | T _{opr} (°C) | T _{stg} (°C) |
|-----------------|---------------------|--------------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|--------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1N4148 | 100 | 75 | 450 | 150 | 200 | 2 | 500 | 200 | -65~+200 | -65~+200 |
| 1N4150 | 50 | 50 | 600 | 200 | 250 | 4 | 500 | 200 | -65~+200 | -65~+200 |
| 1N4448 (1N914B) | 100 | 75 | 450 | 150 | 200 | 2 | 500 | 200 | -65~+200 | -65~+200 |

●Electrical characteristics (Ta = 25°C)

| Type | V _F (V) | | | | | | | | | | | | BV (V) Min. | | I _r (μA) Max. | | C _r (pF) | I _r (ns) | | |
|-----------------|--------------------|----------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|-------------|---------|-----------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|--|
| | @ 0.1mA | @ 0.25mA | @ 1mA | @ 2mA | @ 5mA | @ 10mA | @ 20mA | @ 30mA | @ 50mA | @ 100mA | @ 200mA | @ 250mA | @ 5μA | @ 100μA | @25°C V _R (V) | @150°C V _R (V) | | | V _R =0 f=1MHz | V _R =6V I _F =10mA R _L =100Ω |
| 1N4148 | / | / | / | / | / | 1.0 | / | / | / | / | / | / | 75 | 100 | 0.025 5.0 | 20 75 | 50.0 | 20 | 4 | 4 |
| 1N4150 | / | / | 0.54 | / | / | 0.66 | / | / | 0.76 | 0.82 | 0.87 | / | - | 50 | 0.1 | 50 | 100.0 | 50 | 2.5 | 4 |
| 1N4448 (1N914B) | / | / | 0.62 | / | 0.62 | / | / | / | 0.86 | 0.92 | 1.0 | / | - | 100 | 0.025 5.0 | 20 75 | 50.0 | 20 | 4 | 4 |

The upper figure is the minimum V_F and the lower figure is the maximum V_F value.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JQX-13F

MINIATURE INTERMEDIATE POWER RELAY



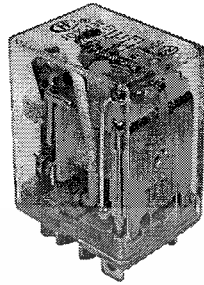
File No.:E133481



File No.:R9857445



File No.:CQC02001001941



Features

- * 15A switching capabilities
- * 1&2 pole configurations
- * 1.5KV dielectric between coil to contacts
- * Various terminals available
- * Various sockets available
- * Conform to the CE low voltage directive

CONTACT DATA

| | | |
|---------------------------------|-------------------------|----------------------|
| Contact Arrangement | 1C | 2C |
| Initial Contact Resistance Max. | 50mΩ(at 1A 24VDC) | |
| Contact Material | Silver Alloy | |
| Contact Rating (Res. Load) | 1C: 15A 220VAC/28VDC | 2C: 10A 220VAC/28VDC |
| Max. switching voltage | 250VAC/28VDC | |
| Max. switching current | 15A | 10A |
| Max. switching power | 3750VAC/450W | 2200VAC/280W |
| Mechanical life | 2 x 10 ⁷ OPS | |
| Electrical life | 1 x 10 ⁵ OPS | |

COIL

Coil power DC:0.9W AC:1.2VA

COIL DATA

| Nominal Voltage VDC | Pick-up Voltage VDC | Drop-out Voltage VDC | Coil Resistance Ω |
|---------------------|---------------------|----------------------|-------------------|
| 5 | 4.0 | 0.5 | 27.5 ± 10% |
| 6 | 4.8 | 0.6 | 40 ± 10% |
| 12 | 9.6 | 1.2 | 160 ± 10% |
| 24 | 19.2 | 2.4 | 650 ± 10% |
| 48 | 38.4 | 4.8 | 2600 ± 15% |
| 110 | 88.0 | 11.0 | 11000 ± 15% |

CHARACTERISTICS

| | | |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Initial Insulation Resistance | 500MΩ, 500VAC | |
| Dielectric Strength | Between coil and Contacts | 1500VAC 1min. |
| | Between open contacts | 1000VAC 1min. |
| | Between contact sets | 1500VAC 1min. |
| Operate time (at nomi. Volt.) | 25ms | |
| Release time (at nomi. Volt.) | 25ms | |
| Shock Resistance | Functional | 100 m/s ² |
| | Destructive | 1000 m/s ² |
| Vibration Resistance | 1 mm, 10 to 55Hz | |
| Humidity | 98%RH, +40°C | |
| Ambient temperature | -40°C to +70°C | |
| Termination | PCB & Plug-in | |
| Unit weight | 37g | |
| Construction | Dust cover | |

| Nominal Voltage VAC | Pick-up Voltage VAC | Drop-out Voltage VAC | Coil Resistance Ω |
|---------------------|---------------------|----------------------|-------------------|
| 6 | 4.80 | 1.8 | 11.5 ± 10% |
| 12 | 9.60 | 3.6 | 46 ± 10% |
| 24 | 19.2 | 7.2 | 184 ± 10% |
| 48 | 38.4 | 14.4 | 735 ± 10% |
| 120 | 96.0 | 36.0 | 4550 ± 15% |
| 220/240 | 176.0 | 66.0 | 14400 ± 15% |

SAFETY APPROVAL RATINGS

| | | |
|-----|----------------------|---|
| UL | 1C: | 15A 250VAC/30VDC |
| | 2C: | 10A 250VAC/30VDC 1/3 HP, 240VAC/120VAC |
| TÜV | 2C: 10A 250VAC/30VDC | |

General Purpose Power Relays JQX-13F



HONGFA RELAY

ISO9001*ISO/TS16949 *ISO14001 CERTIFIED

VERSION: EN02-20040601

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CMOS Hex Buffer/Converters

The CD4049UB and CD4050B devices are inverting and non-inverting hex buffers, respectively, and feature logic-level conversion using only one supply voltage (V_{CC}). The input-signal high level (V_{IH}) can exceed the V_{CC} supply voltage when these devices are used for logic-level conversions. These devices are intended for use as CMOS to DTL/TTL converters and can drive directly two DTL/TTL loads. ($V_{CC} = 5V$, $V_{OL} \leq 0.4V$, and $I_{OL} \geq 3.3mA$.)

The CD4049UB and CD4050B are designated as replacements for CD4009UB and CD4010B, respectively. Because the CD4049UB and CD4050B require only one power supply, they are preferred over the CD4009UB and CD4010B and should be used in place of the CD4009UB and CD4010B in all inverter, current driver, or logic-level conversion applications. In these applications the CD4049UB and CD4050B are pin compatible with the CD4009UB and CD4010B respectively, and can be substituted for these devices in existing as well as in new designs. Terminal No. 16 is not connected internally on the CD4049UB or CD4050B, therefore, connection to this terminal is of no consequence to circuit operation. For applications not requiring high sink-current or voltage conversion, the CD4069UB Hex Inverter is recommended.

Features

- CD4049UB Inverting
- CD4050B Non-Inverting
- High Sink Current for Driving 2 TTL Loads
- High-To-Low Level Logic Conversion
- 100% Tested for Quiescent Current at 20V
- Maximum Input Current of $1\mu A$ at 18V Over Full Package Temperature Range; $100nA$ at 18V and $25^\circ C$
- 5V, 10V and 15V Parametric Ratings

Applications

- CMOS to DTL/TTL Hex Converter
- CMOS Current "Sink" or "Source" Driver
- CMOS High-To-Low Logic Level Converter

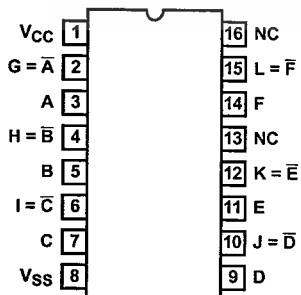
Ordering Information

| PART NUMBER | TEMP. RANGE ($^\circ C$) | PACKAGE |
|-------------|----------------------------|--------------|
| CD4049UBF3A | -55 to 125 | 16 Ld CERDIP |
| CD4050BF3A | -55 to 125 | 16 Ld CERDIP |
| CD4049UBD | -55 to 125 | 16 Ld SOIC |
| CD4049UBDR | -55 to 125 | 16 Ld SOIC |
| CD4049UBDT | -55 to 125 | 16 Ld SOIC |
| CD4049UBDW | -55 to 125 | 16 Ld SOIC |
| CD4049UBDWR | -55 to 125 | 16 Ld SOIC |
| CD4049UBE | -55 to 125 | 16 Ld PDIP |
| CD4049UBNSR | -55 to 125 | 16 Ld SOP |
| CD4049BPW | -55 to 125 | 16 Ld TSSOP |
| CD4049BPWR | -55 to 125 | 16 Ld TSSOP |
| CD4050BD | -55 to 125 | 16 Ld SOIC |
| CD4050BDR | -55 to 125 | 16 Ld SOIC |
| CD4050BDT | -55 to 125 | 16 Ld SOIC |
| CD4050BDW | -55 to 125 | 16 Ld SOIC |
| CD4050BDWR | -55 to 125 | 16 Ld SOIC |
| CD4050BE | -55 to 125 | 16 Ld PDIP |
| CD4050NSR | -55 to 125 | 16 Ld SOP |
| CD4050BPW | -55 to 125 | 16 Ld TSSOP |
| CD4050BPWR | -55 to 125 | 16 Ld TSSOP |

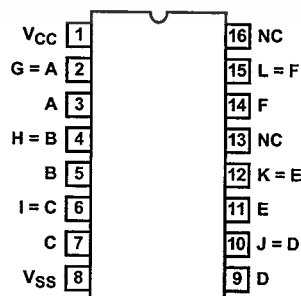
NOTE: When ordering, use the entire part number. The suffix R denotes tape and reel. The suffix T denotes a small-quantity reel of 250.

Pinouts

CD4049UB (PDIP, CERDIP, SOIC, SOP, TSSOP)
TOP VIEW

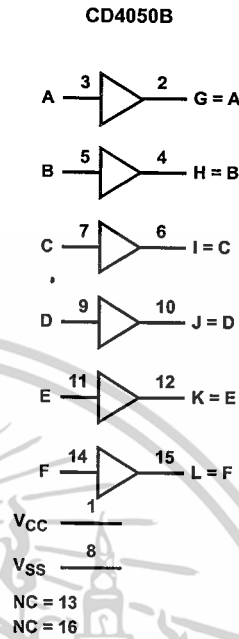
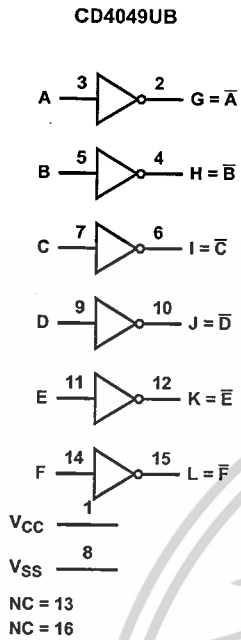


CD4050B (PDIP, CERDIP, SOIC, SOP)
TOP VIEW



CD4049UB, CD4050B

Functional Block Diagrams



Schematic Diagrams

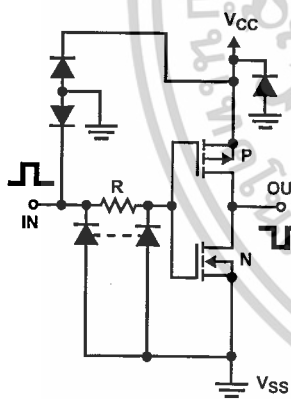


FIGURE 1A. SCHEMATIC DIAGRAM OF CD4049UB, 1 OF 6 IDENTICAL UNITS

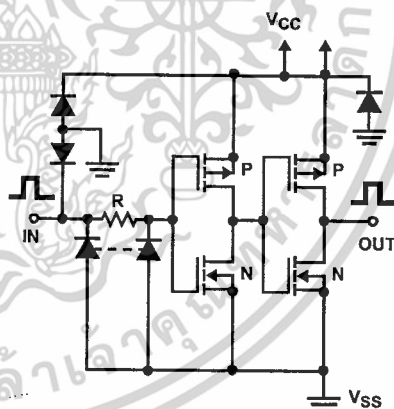


FIGURE 1B. SCHEMATIC DIAGRAM OF CD4050B, 1 OF 6 IDENTICAL UNITS

BC546B, BC547A, B, C, BC548B, C

Amplifier Transistors

NPN Silicon

Features

- Pb-Free Packages are Available*



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

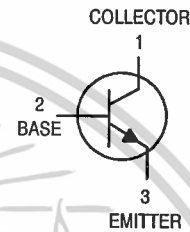
MAXIMUM RATINGS

| Rating | Symbol | Value | Unit |
|---|-----------------------------------|-------------|------------------|
| Collector - Emitter Voltage | V _{CEO} | 65 | V _{dc} |
| | | 45 | |
| | | 30 | |
| Collector - Base Voltage | V _{CBO} | 80 | V _{dc} |
| | | 50 | |
| | | 30 | |
| Emitter - Base Voltage | V _{EBO} | 6.0 | V _{dc} |
| Collector Current - Continuous | I _C | 100 | mA _{dc} |
| Total Device Dissipation @ T _A = 25°C Derate above 25°C | P _D | 625 | mW |
| | | 5.0 | mW/°C |
| Total Device Dissipation @ T _C = 25°C Derate above 25°C | P _D | 1.5 | W |
| | | 12 | mW/°C |
| Operating and Storage Junction Temperature Range | T _J , T _{stg} | -55 to +150 | °C |

THERMAL CHARACTERISTICS

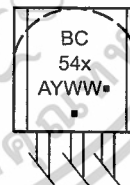
| Characteristic | Symbol | Max | Unit |
|--|------------------|------|------|
| Thermal Resistance, Junction-to-Ambient | R _{θJA} | 200 | °C/W |
| Thermal Resistance, Junction-to-Case | R _{θJC} | 83.3 | °C/W |

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



TO-92
CASE 29
STYLE 17

MARKING DIAGRAM



BC54x = Device Code
x = 6, 7, or 8
A = Assembly Location
Y = Year
WW = Work Week
▪ = Pb-Free Package

(Note: Microdot may be in either location)

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 5 of this data sheet.

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

BC546B, BC547A, B, C, BC548B, C

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

| Characteristic | | Symbol | Min | Typ | Max | Unit |
|---|-------------------------|---------------|-------------------|-------------|-------------|------|
| OFF CHARACTERISTICS | | | | | | |
| Collector - Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 1.0\text{ mA}$, $I_B = 0$) | BC546 | $V_{(BR)CEO}$ | 65 | - | - | V |
| | BC547 | | 45 | - | - | |
| | BC548 | | 30 | - | - | |
| Collector - Base Breakdown Voltage ($I_C = 100\ \mu\text{A}$) | BC546 | $V_{(BR)CBO}$ | 80 | - | - | V |
| | BC547 | | 50 | - | - | |
| | BC548 | | 30 | - | - | |
| Emitter - Base Breakdown Voltage ($I_E = 10\ \mu\text{A}$, $I_C = 0$) | BC546 BC547 BC548 | $V_{(BR)EBO}$ | 6.0 6.0 6.0 | - - - | - - - | V |
| Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 70\text{ V}$, $V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 50\text{ V}$, $V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 35\text{ V}$, $V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 30\text{ V}$, $T_A = 125^\circ\text{C}$) | BC546 | I_{CES} | - | 0.2 | 15 | nA |
| | BC547 | | - | 0.2 | 15 | |
| | BC548 | | - | 0.2 | 15 | |
| | BC546/547/548 | | - | - | 4.0 | |
| ON CHARACTERISTICS | | | | | | |
| DC Current Gain ($I_C = 10\ \mu\text{A}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$) ($I_C = 2.0\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$) ($I_C = 100\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$) | BC547A | h_{FE} | - | 90 | - | - |
| | BC546B/547B/548B | | - | 150 | - | |
| | BC548C | | - | 270 | - | |
| | BC546 | | 110 | - | 450 | |
| | BC547 | | 110 | - | 800 | |
| | BC548 | | 110 | - | 800 | |
| | BC547A | | 110 | 180 | 220 | |
| | BC546B/547B/548B | | 200 | 290 | 450 | |
| | BC547C/BC548C | | 420 | 520 | 800 | |
| | BC547A/548A | | - | 120 | - | |
| BC546B/547B/548B | - | 180 | - | | | |
| BC548C | - | 300 | - | | | |
| Collector - Emitter Saturation Voltage ($I_C = 10\text{ mA}$, $I_B = 0.5\text{ mA}$) ($I_C = 100\text{ mA}$, $I_B = 5.0\text{ mA}$) ($I_C = 10\text{ mA}$, $I_B = \text{See Note 1}$) | | $V_{CE(sat)}$ | - | 0.09 | 0.25 | V |
| | | | - | 0.2 | 0.6 | |
| | | | - | 0.3 | 0.6 | |
| Base - Emitter Saturation Voltage ($I_C = 10\text{ mA}$, $I_B = 0.5\text{ mA}$) | | $V_{BE(sat)}$ | - | 0.7 | - | V |
| Base - Emitter On Voltage ($I_C = 2.0\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$) ($I_C = 10\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$) | | $V_{BE(on)}$ | 0.55 | - | 0.7 | V |
| | | | - | - | 0.77 | |
| SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS | | | | | | |
| Current - Gain - Bandwidth Product ($I_C = 10\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$, $f = 100\text{ MHz}$) | BC546 | f_T | 150 | 300 | - | MHz |
| | BC547 | | 150 | 300 | - | |
| | BC548 | | 150 | 300 | - | |
| Output Capacitance ($V_{CB} = 10\text{ V}$, $I_C = 0$, $f = 1.0\text{ MHz}$) | | C_{obo} | - | 1.7 | 4.5 | pF |
| Input Capacitance ($V_{EB} = 0.5\text{ V}$, $I_C = 0$, $f = 1.0\text{ MHz}$) | | C_{ibo} | - | 10 | - | pF |
| Small - Signal Current Gain ($I_C = 2.0\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$, $f = 1.0\text{ kHz}$) | BC546 | h_{fe} | 125 | - | 500 | - |
| | BC547/548 | | 125 | - | 900 | |
| | BC547A | | 125 | 220 | 260 | |
| | BC546B/547B/548B | | 240 | 330 | 500 | |
| | BC547C/548C | | 450 | 600 | 900 | |
| Noise Figure ($I_C = 0.2\text{ mA}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$, $R_S = 2\text{ k}\Omega$, $f = 1.0\text{ kHz}$, $\Delta f = 200\text{ Hz}$) | BC546 | NF | - | 2.0 | 10 | dB |
| | BC547 | | - | 2.0 | 10 | |
| | BC548 | | - | 2.0 | 10 | |

1. I_B is value for which $I_C = 11\text{ mA}$ at $V_{CE} = 1.0\text{ V}$.

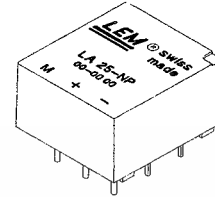
<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current Transducer LA 25-NP

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

For the electronic measurement of currents : DC, AC, pulsed, mixed, with a galvanic isolation between the primary circuit (high power) and the secondary circuit (electronic circuit).



Electrical data

| | | | | |
|----------|---|------------------|------------------------------|--------------|
| I_{PN} | Primary nominal r.m.s. current | 25 | At | |
| I_P | Primary current, measuring range | $0 \dots \pm 36$ | At | |
| R_M | Measuring resistance with $\pm 15 \text{ V}$ | $R_{M \min}$ | $R_{M \max}$ | |
| | | | $R_{M \min}$ | $R_{M \max}$ |
| | | | @ $\pm 25 \text{ At}_{\max}$ | 100 |
| | @ $\pm 36 \text{ At}_{\max}$ | 100 | 190 | Ω |
| I_{SN} | Secondary nominal r.m.s. current | 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 | |
| V_d | R.m.s. voltage for AC isolation test, 50 Hz, 1 mn | 2.5 | kV | |
| V_b | R.m.s. rated voltage ¹⁾ , safe separation basic isolation | 600 | V | |
| | | 1700 | V | |

Features

- Closed loop (compensated) multi-range current transducer using the Hall effect
- Insulated 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 | % |
| E_L | Linearity | < 0.2 | % |
| I_o | Offset current ²⁾ @ $I_p = 0, T_A = 25^\circ\text{C}$ | Typ | Max |
| | | ± 0.05 | ± 0.15 |
| I_{OM} | Residual current ³⁾ @ $I_p = 0$, after an overload of $3 \times I_{PN}$ | ± 0.05 | ± 0.15 |
| I_{OT} | Thermal drift of I_o | $0^\circ\text{C} \dots + 25^\circ\text{C}$ | ± 0.06 ± 0.25 |
| | | $+ 25^\circ\text{C} \dots + 70^\circ\text{C}$ | ± 0.10 ± 0.35 |
| t_r | Response time ⁴⁾ @ 90 % of $I_{P \max}$ | < 1 | μs |
| di/dt | di/dt accurately followed | > 50 | A/ μs |
| f | 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 | $0 \dots + 70$ | $^\circ\text{C}$ |
| T_S | Ambient storage temperature | $- 25 \dots + 85$ | $^\circ\text{C}$ |
| R_P | Primary 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 |
| R_{IS} | Isolation resistance @ 500 V, $T_A = 25^\circ\text{C}$ | > 1500 | M Ω |
| m | Mass | 22 | g |
| | Standards ⁵⁾ | EN 50178 | |

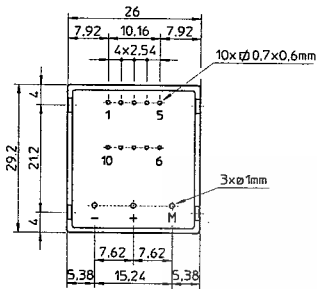
- Notes : ¹⁾ Pollution class 2
²⁾ Measurement carried out after 15 mn functioning
³⁾ The result of the coercive field of the magnetic circuit
⁴⁾ With a di/dt of 100 A/ μs
⁵⁾ A list of corresponding tests is available

980909/8

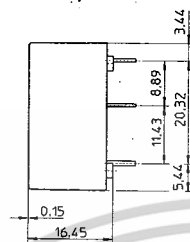
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Dimensions LA 25-NP (in mm. 1 mm = 0.0394 inch)

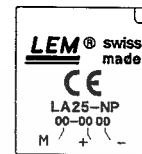
Bottom view



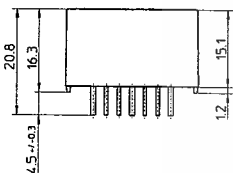
Right view



Top view



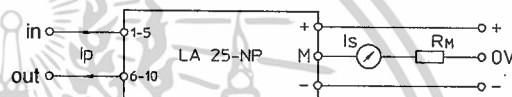
Standard 00 Year Week
or N° SP..



Secondary terminals

Terminal + : supply voltage + 15 V
Terminal M : measure
Terminal - : supply voltage - 15 V

Connection



| 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 | 5 4 3 2 1 IN OUT 6 7 8 9 10 |
| 2 | 12 | 18 | 24 | 2/1000 | 1.1 | 0.09 | 5 4 3 2 1 IN OUT 6 7 8 9 10 |
| 3 | 8 | 12 | 24 | 3/1000 | 2.5 | 0.21 | 5 4 3 2 1 IN OUT 6 7 8 9 10 |
| 4 | 6 | 9 | 24 | 4/1000 | 4.4 | 0.37 | 5 4 3 2 1 IN OUT 6 7 8 9 10 |
| 5 | 5 | 7 | 25 | 5/1000 | 6.3 | 0.58 | 5 4 3 2 1 IN OUT 6 7 8 9 10 |

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 Ø 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.

LEM reserves the right to carry out modifications on its transducers, in order to improve them, without previous notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM139/LM239/LM339/LM2901/LM3302

Low Power Low Offset Voltage Quad Comparators

General Description

The LM139 series consists of four independent precision voltage comparators with an offset voltage specification as low as 2 mV max for all four comparators. These were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. These comparators also have a unique characteristic in that the input common-mode voltage range includes ground, even though operated from a single power supply voltage.

Application areas include limit comparators, simple analog to digital converters; pulse, squarewave and time delay generators; wide range VCO; MOS clock timers; multivibrators and high voltage digital logic gates. The LM139 series was designed to directly interface with TTL and CMOS. When operated from both plus and minus power supplies, they will directly interface with MOS logic — where the low power drain of the LM339 is a distinct advantage over standard comparators.

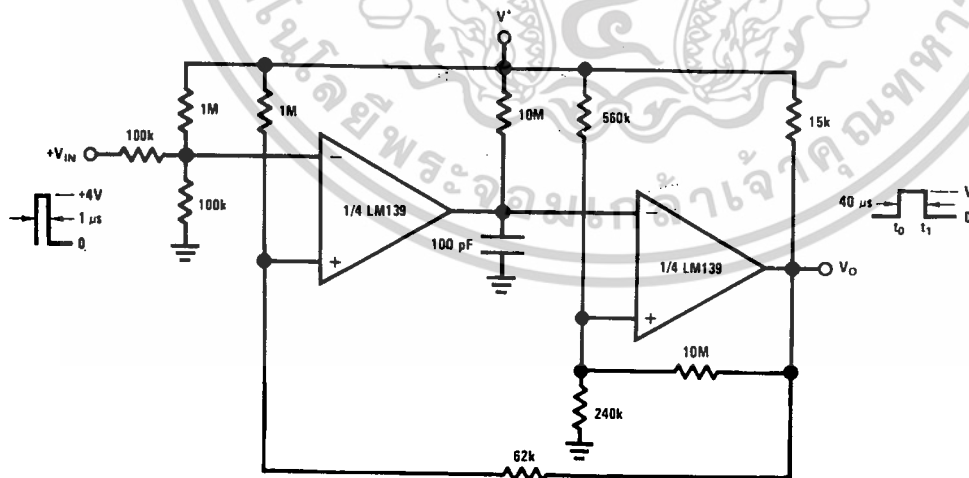
Features

- Wide supply voltage range
- LM139/139A Series 2 to 36 V_{DC} or ± 1 to $\pm 18 V_{DC}$
- LM2901: 2 to 36 V_{DC} or ± 1 to $\pm 18 V_{DC}$
- LM3302: 2 to 28 V_{DC} or ± 1 to $\pm 14 V_{DC}$
- Very low supply current drain (0.8 mA) — independent of supply voltage
- Low input biasing current: 25 nA
- Low input offset current: ± 5 nA
- Offset voltage: ± 3 mV
- Input common-mode voltage range includes GND
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Low output saturation voltage: 250 mV at 4 mA
- Output voltage compatible with TTL, DTL, ECL, MOS and CMOS logic systems

Advantages

- High precision comparators
- Reduced V_{OS} drift over temperature
- Eliminates need for dual supplies
- Allows sensing near GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

One-Shot Multivibrator with Input Lock Out



00570612

LM139/LM239/LM339/LM2901/LM3302 Low Power Low Offset Voltage Quad Comparators

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

Distributors for availability and specifications.

If Military/Aerospace specified devices are required,
please contact the National Semiconductor Sales Office/

| | LM139/LM239/LM339 LM139A/LM239A/LM339A LM2901 | LM3302 |
|---|---|---|
| Supply Voltage, V^+ | 36 V_{DC} or $\pm 18 V_{DC}$ | 28 V_{DC} or $\pm 14 V_{DC}$ |
| Differential Input Voltage (Note 8) | 36 V_{DC} | 28 V_{DC} |
| Input Voltage | $-0.3 V_{DC}$ to $+36 V_{DC}$ | $-0.3 V_{DC}$ to $+28 V_{DC}$ |
| Input Current ($V_{IN} < -0.3 V_{DC}$), (Note 3) | 50 mA | 50 mA |
| Power Dissipation (Note 1) | | |
| Molded DIP | 1050 mW | 1050 mW |
| Cavity DIP | 1190 mW | |
| Small Outline Package | 760 mW | |
| Output Short-Circuit to GND, (Note 2) | Continuous | Continuous |
| Storage Temperature Range | -65°C to $+150^\circ\text{C}$ | -65°C to $+150^\circ\text{C}$ |
| Lead Temperature (Soldering, 10 seconds) | 260 $^\circ\text{C}$ | 260 $^\circ\text{C}$ |
| Operating Temperature Range | | -40°C to $+85^\circ\text{C}$ |
| LM339/LM339A | 0°C to $+70^\circ\text{C}$ | |
| LM239/LM239A | -25°C to $+85^\circ\text{C}$ | |
| LM2901 | -40°C to $+85^\circ\text{C}$ | |
| LM139/LM139A | -55°C to $+125^\circ\text{C}$ | |
| Soldering Information | | |
| Dual-In-Line Package | | |
| Soldering (10 seconds) | 260 $^\circ\text{C}$ | 260 $^\circ\text{C}$ |
| Small Outline Package | | |
| Vapor Phase (60 seconds) | 215 $^\circ\text{C}$ | 215 $^\circ\text{C}$ |
| Infrared (15 seconds) | 220 $^\circ\text{C}$ | 220 $^\circ\text{C}$ |
| See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices. | | |
| ESD rating (1.5 k Ω in series with 100 pF) | 600V | 600V |

Electrical Characteristics $(V^+ = 5 V_{DC}, T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise stated)

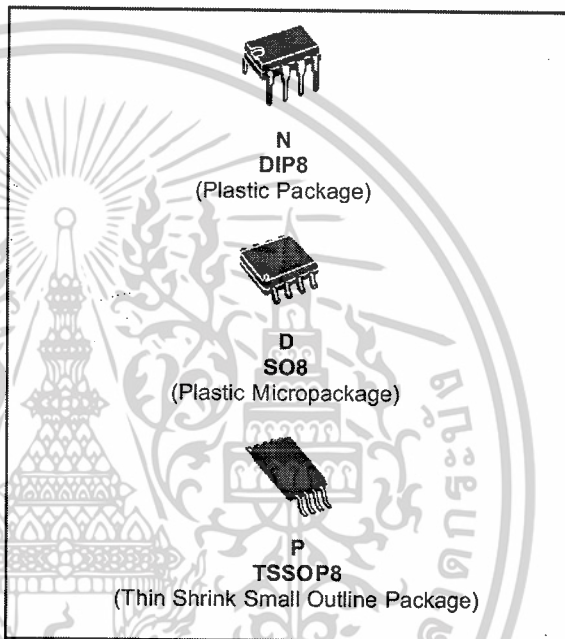
| Parameter | Conditions | LM139A | | | LM239A, LM339A | | | LM139 | | | Units |
|---------------------------------|--|--------|-----|-------------|----------------|-----|-------------|-------|-----|-------------|------------------------|
| | | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | Min | Typ | Max | |
| Input Offset Voltage | (Note 9) | | 1.0 | 2.0 | | 1.0 | 2.0 | | 2.0 | 5.0 | mV_{DC} |
| Input Bias Current | $I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$ with Output in Linear Range, (Note 5), $V_{CM} = 0V$ | | 25 | 100 | | 25 | 250 | | 25 | 100 | nA_{DC} |
| Input Offset Current | $I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0V$ | | 3.0 | 25 | | 5.0 | 50 | | 3.0 | 25 | nA_{DC} |
| Input Common-Mode Voltage Range | $V^+ = 30 V_{DC}$ (LM3302, $V^+ = 28 V_{DC}$) (Note 6) | | 0 | $V^+ - 1.5$ | | 0 | $V^+ - 1.5$ | | 0 | $V^+ - 1.5$ | V_{DC} |
| Supply Current | $R_L = \infty$ on all Comparators, $R_L = \infty$, $V^+ = 36V$, (LM3302, $V^+ = 28 V_{DC}$) | | 0.8 | 2.0 | | 0.8 | 2.0 | | 0.8 | 2.0 | mA_{DC} mA_{DC} |
| Voltage Gain | $R_L \geq 15 k\Omega$, $V^+ = 15 V_{DC}$ $V_O = 1 V_{DC}$ to $11 V_{DC}$ | | 50 | 200 | | 50 | 200 | | 50 | 200 | V/mV |
| Large Signal Response Time | $V_{IN} = \text{TTL Logic Swing}$, $V_{REF} = 1.4 V_{DC}$, $V_{RL} = 5 V_{DC}$ | | 300 | | | 300 | | | 300 | | ns |



TL082 TL082A - TL082B

GENERAL PURPOSE J-FET DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : $16V/\mu s$ (typ)



ORDER CODE

| Part Number | Temperature Range | Package | | |
|--------------|-------------------|---------|---|---|
| | | N | D | P |
| TL082M/AM/BM | -55°C, +125°C | • | • | • |
| TL082I/AI/BI | -40°C, +105°C | • | • | • |
| TL082C/AC/BC | 0°C, +70°C | • | • | • |

Example : TL082CD, TL082IN

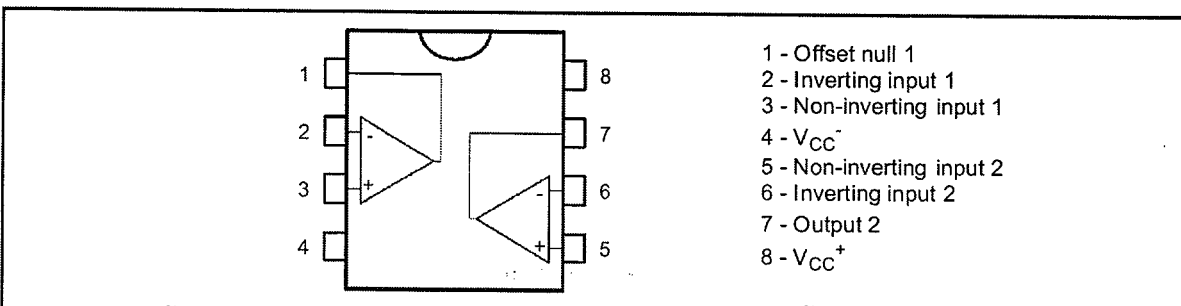
N = Dual in Line Package (DIP)
 D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)
 P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)

DESCRIPTION

The TL082, TL082A and TL082B are high speed J-FET input dual operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

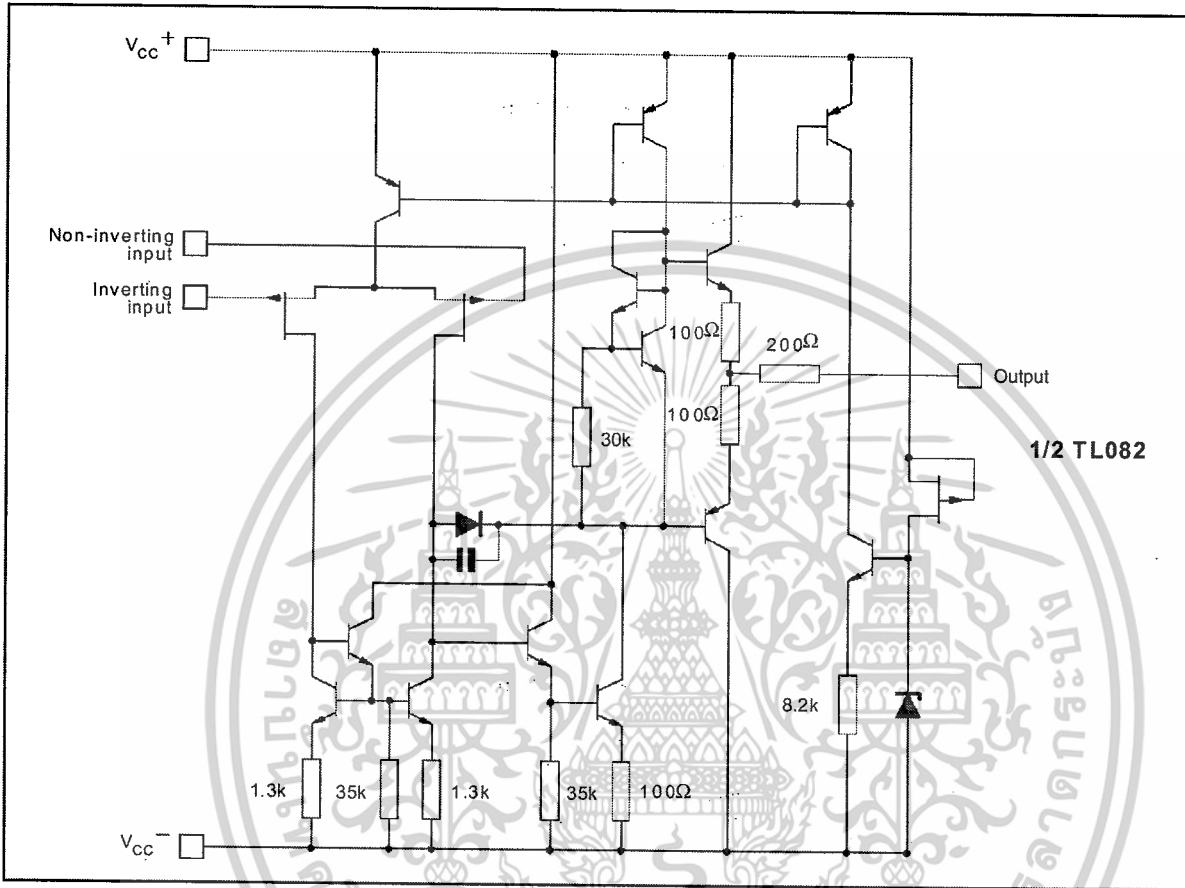
The devices feature high slew rates, low input bias and offset current, and low offset voltage temperature coefficient.

PIN CONNECTIONS (top view)



TL082 - TL082A - TL082B

SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

| Symbol | Parameter | TL082M, AM, BM | TL082I, AI, BI | TL082C, AC, BC | Unit |
|------------|---|----------------|----------------|----------------|-------------|
| V_{CC} | Supply voltage - note 1) | | ± 18 | | V |
| V_i | Input Voltage - note 2) | | ± 15 | | V |
| V_{id} | Differential Input Voltage - note 3) | | ± 30 | | V |
| P_{tot} | Power Dissipation | | 680 | | mW |
| | Output Short-circuit Duration - note 4) | | Infinite | | |
| T_{oper} | Operating Free-air Temperature Range | -55 to +125 | -40 to +105 | 0 to +70 | $^{\circ}C$ |
| T_{stg} | Storage Temperature Range | | -65 to +150 | | $^{\circ}C$ |

1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V_{CC}^+ and V_{CC}^- .
2. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
3. Differential voltages are the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

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

| Symbol | Parameter | TL082I,M,AC,AI,AM, BC,BI,BM | | | TL082C | | | Unit | |
|---------------|---|--------------------------------|------------|------|-----------|------------|-------------------|------|----|
| | | Min. | Typ. | Max. | Min. | Typ. | Max. | | |
| V_{io} | Input Offset Voltage ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ | TL082 | 3 | 10 | | 3 | 10 | mV | |
| | | TL082A | 3 | 6 | | | | | |
| | | TL082B | 1 | 3 | | | | | |
| | | TL082 | | | 13 | | | | 13 |
| | | TL082A | | | 7 | | | | |
| | | TL082B | | 5 | | | | | |
| DV_{io} | Input Offset Voltage Drift | | 10 | | 10 | | $\mu V/^{\circ}C$ | | |
| I_{io} | Input Offset Current - note 1) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ | | 5 | 100 | 5 | 100 | pA nA | | |
| | | | | 4 | | 10 | | | |
| I_{ib} | Input Bias Current -note 1 $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ | | 20 | 200 | 20 | 400 | pA nA | | |
| | | | | 20 | | 20 | | | |
| A_{vd} | Large Signal Voltage Gain ($R_L = 2k\Omega$, $V_o = \pm 10V$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ | | 50 | 200 | 25 | 200 | V/mV | | |
| | | | 25 | | 15 | | | | |
| SVR | Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ | | 80 | 86 | 70 | 86 | dB | | |
| | | | 80 | | 70 | | | | |
| I_{CC} | Supply Current, no load $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ | | 1.4 | 2.5 | 1.4 | 2.5 | mA | | |
| | | | | 2.5 | | 2.5 | | | |
| V_{icm} | Input Common Mode Voltage Range | ± 11 | +15 -12 | | ± 11 | +15 -12 | V | | |
| CMR | Common Mode Rejection Ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ | | 80 | 86 | 70 | 86 | dB | | |
| | | | 80 | | 70 | | | | |
| I_{os} | Output Short-circuit Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ | | 10 | 40 | 10 | 40 | mA | | |
| | | | 10 | 60 | 10 | 60 | | | |
| $\pm V_{opp}$ | Output Voltage Swing $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ | $R_L = 2k\Omega$ | 10 | 12 | 10 | 12 | V | | |
| | | $R_L = 10k\Omega$ | 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 | 16 | 8 | 16 | 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 ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 10mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $f = 100kHz$ | | 2.5 | 4 | 2.5 | 4 | MHz | | |
| R_i | Input Resistance | | 10^{12} | | 10^{12} | | Ω | | |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL082 - TL082A - TL082B

| Symbol | Parameter | TL082I,M,AC,AI,AM, BC,BI,BM | | | TL082C | | | Unit |
|-----------------|---|--------------------------------|------|------|--------|------|------|--------------------------------------|
| | | Min. | Typ. | Max. | Min. | Typ. | Max. | |
| THD | Total Harmonic Distortion ($T_{amb} = +25^{\circ}\text{C}$), $f = 1\text{kHz}$, $R_L = 2\text{k}\Omega$, $C_L = 100\text{pF}$, $A_v = 20\text{dB}$, $V_o = 2V_{pp}$ | | 0.01 | | | 0.01 | | % |
| e_n | Equivalent Input Noise Voltage $R_S = 100\Omega$, $f = 1\text{KHz}$ | | 15 | | | 15 | | $\frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}$ |
| ϕ_m | Phase Margin | | 45 | | | 45 | | degrees |
| V_{o1}/V_{o2} | Channel Separation $A_v = 100$ | | 120 | | | 120 | | dB |

1. The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature.



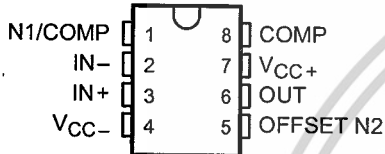
TL080, TL081, TL082, TL084, TL081A, TL082A, TL084A TL081B, TL082B, TL084B, TL082Y, TL084Y JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS081A-D2297, FEBRUARY 1977-REVISED NOVEMBER 1992

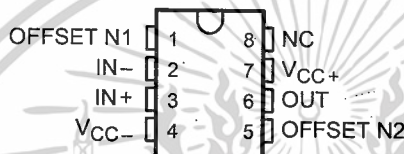
24 DEVICES COVER COMMERCIAL, INDUSTRIAL, AND MILITARY TEMPERATURE RANGES

- Low-Power Consumption
- High Input Impedance . . . JFET-Input Stage
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Internal Frequency Compensation (Except TL080, TL080A)
- Low Input Bias and Offset Currents
- Latch-Up-Free Operation
- Output Short-Circuit Protection
- High Slew Rate . . . 13 V/ μ s Typ
- Low Total Harmonic Distortion . . . 0.003% Typ
- Common-Mode Input Voltage Range Includes V_{CC+}

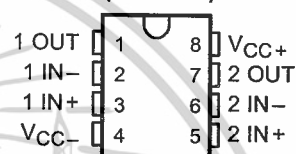
TL080
D, P, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



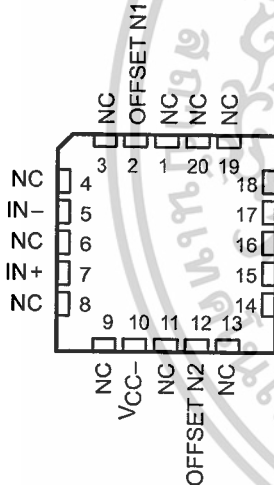
TL081, TL081A, TL081B
D, JG, P, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



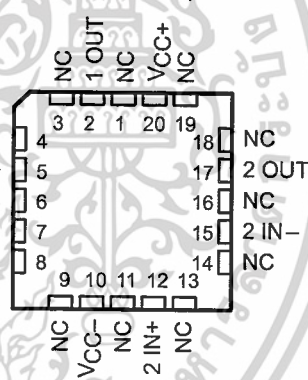
TL082, TL082A, TL082B
D, JG, P, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



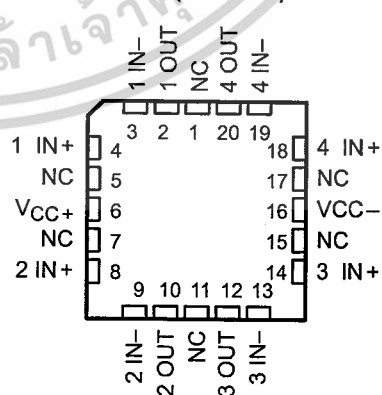
TL081M . . . FK PACKAGE
(TOP VIEW)



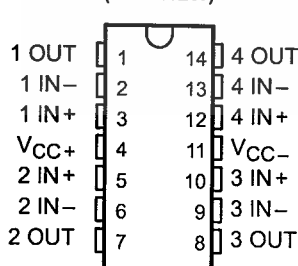
TL082M . . . FK PACKAGE
(TOP VIEW)



TL084M . . . FK PACKAGE
(TOP VIEW)



TL084, TL084A, TL084B
D, J, N, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



NC—No internal connection

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

TEXAS
INSTRUMENTS

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265
POST OFFICE BOX 1443 • HOUSTON, TEXAS
77251-1443

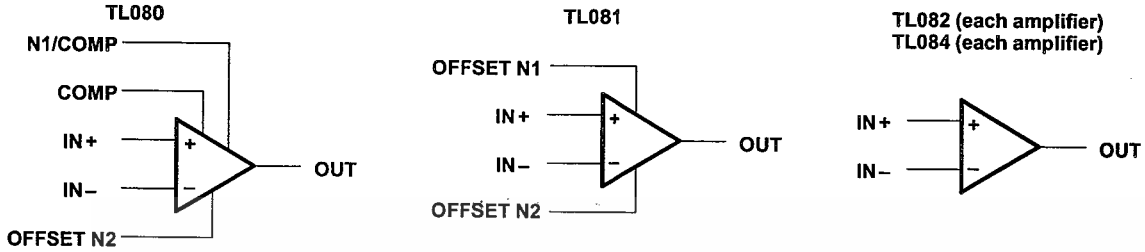
Copyright © 1992, Texas Instruments Incorporated
On products compliant to MIL-STD-883, Class B, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านนอกรั้ว
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TL080, TL081, TL082, TL084, TL081A, TL082A, TL084A
TL081B, TL082B, TL084B, TL082Y, TL084Y**
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS081A-D2297, FEBRUARY 1977-REVISED NOVEMBER 1992

symbols



description

The TL08_ JFET-input operational amplifier family is designed to offer a wider selection than any previously developed operational amplifier family. Each of these JFET-input operational amplifiers incorporates well-matched, high-voltage JFET 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. Offset adjustment and external compensation options are available within the TL08_ family.

Device types with a C suffix are characterized for operation from 0°C to 70°C, those with an I suffix are characterized for operation from -40°C to 85°C, and those with an M suffix are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C.

AVAILABLE OPTIONS

| TA | V _{IO} MAX at 25°C | PACKAGE | | | | | | | | CHIP FORM (Y) |
|----------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|---------------------|
| | | SMALL OUTLINE (D008) | SMALL OUTLINE (D014) | CHIP CARRIER (FK) | CERAMIC DIP (J) | CERAMIC DIP (JG) | PLASTIC DIP (N) | PLASTIC DIP (P) | TSSOP (PW) | |
| 0°C to 70°C | 15 mV | TL080CD | | | | | | TL080CP | TL080CPW | |
| | 15 mV | TL081CD | | | | | | TL081CP | TL081CPW | |
| | 6 mV | TL081ACD | | | | | | TL081ACP | | |
| | 3 mV | TL081BCD | | | | | | TL081BCP | | |
| | 15 mV | TL082CD | | | | | | TL082CP | TL082CPW | TL082Y |
| | 6 mV | TL082ACD | | | | | | TL082ACP | | |
| | 3 mV | TL082BCD | | | | | | TL082BCP | | |
| | 15 mV | | TL084CD | | | | TL084CN | | TL084CPW | TL084Y |
| | 6 mV | | TL084ACD | | | | TL084ACN | | | |
| 3 mV | | TL084BCD | | | | TL084BCN | | | | |
| -40°C to 85°C | 6 mV | TL081ID | | | | | | TL081IP | | |
| | 6 mV | TL082ID | | | | | | TL082IP | | |
| | 6 mV | TL084ID | | | | | TL084IN | | | |
| -55°C to 125°C | 6 mV | | | TL081MFK | | TL081MJG | | | | |
| | 6 mV | | | TL082MFK | | TL082MJG | | | | |
| | 9 mV | | | TL084MFK | TL084MJ | | | | | |

The D package is available taped and reeled. Add R suffix to device type, (e.g., TL080CDR).



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.

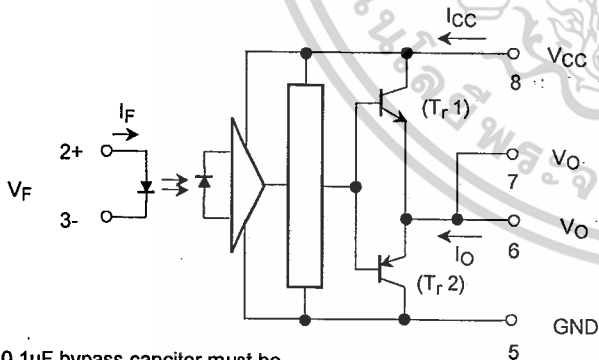
TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- 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}

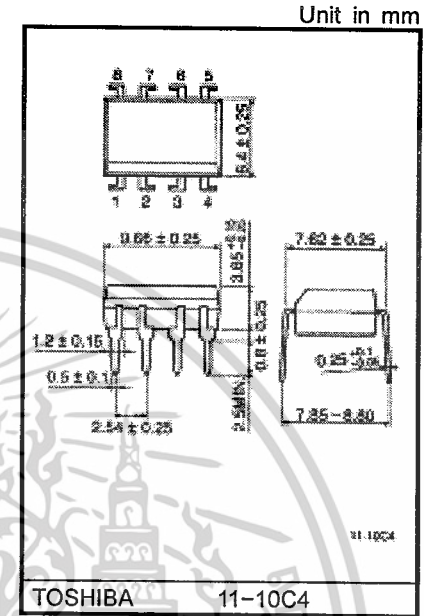
(Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "option (D4)"

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

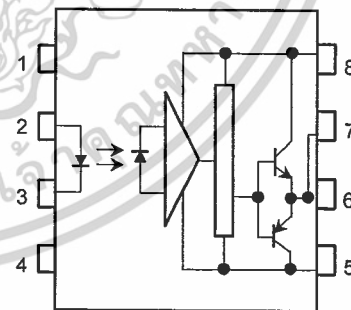
Schmatic



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



Pin Configuration (top view)



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

Truth Table

| | | Tr1 | Tr2 |
|-----------|-----|-----|-----|
| Input LED | On | On | Off |
| | Off | Off | On |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

| Characteristic | | Symbol | Rating | Unit | |
|---|--|------------------------------|----------|---------|---|
| LED | Forward current | I_F | 20 | mA | |
| | Forward current derating (Ta ≥ 70°C) | $\Delta I_F / \Delta T_a$ | -0.36 | mA / °C | |
| | Peak transient forward current (Note 1) | I_{FPT} | 1 | A | |
| | Reverse voltage | V_R | 5 | V | |
| | Junction temperature | T_J | 125 | °C | |
| Detector | "H" peak output current ($P_W \leq 2.5\mu s, f \leq 15kHz$) (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.

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

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

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

ประวัติผู้เขียน



นาย ภมร อรุณโรจนพรธรณ

ที่อยู่ 90/99 ม.1 ต.บ่อทอง อ.บ่อทอง จ.ชลบุรี 20270

Tel. 083 – 37855382 , 038 – 211123

Email bigee2@hotmail.com



นาย ภัทรินทร์ ตีรเลิศพานิช

ที่อยู่ 182/2 ม.4 ต.ป่าสัก อ.เมือง จ.ลำพูน 51000

Tel. 084 – 1733205 , 053 – 584911

Email Artofdoom123@hotmail.com



นาย มานพ ชมชื่น

ที่อยู่ 3/1 ม.2 ต.สุรศักดิ์ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110

Tel. 089 – 4697725

Email s9015112@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้