

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดระบบไฟฟ้า

CONNECTED GRID INVERTER



โดย

นาย ทองเพียร พรหมบุตร
นาย วีรวุฒิ ศีพร้อม
นาย สรรมย์ บัวลังกา

รพ.
ร. 2548
2548

เลขหมู่..... 62393
เลขทะเบียน..... 17 ส.ศ. 2549
วัน,เดือน,ปี.....

b..... 1162288x
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดระบบไฟฟ้า
CONNECTED GRID INVERTER



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดระบบไฟฟ้า

ผู้จัดทำ



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระเชษฐ ชันเงิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดระบบไฟฟ้า

นาย ทองเพ็ชร	พรหมบุตร	
นาย วีรวุฒิ	ดีพร้อม	
นาย สรรพ์มย์	บัวลังกา	
รศ.ดร. วีระเชษฐ	ชั้นเงิน	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2548		

บทคัดย่อ

โครงงานฉบับนี้นำเสนอเรื่อง การเชื่อมต่อระบบไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับระบบการไฟฟ้า (grid) เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบของไฟฟ้าโดยใช้หลักการแบบรูปคลื่นไซน์พีดับลิวเอ็ม อินเวอร์เตอร์ซึ่งใช้การจำลองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากบริดจ์เรกติไฟร์ (bridge rectifier) จ่ายให้ วงจรเอสพีดับลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์เพื่อเปลี่ยนแรงดันฟ้ากระแสตรงเป็นไซน์หุซอยดัล (sinusoidal) ไปผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำและนำไปยกระดับแรงดันแรงดันให้สูงขึ้นเป็น 220 โวลท์

วิธีการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้ากับระบบการไฟฟ้า (grid) กระทำโดยการควบคุมมมเพาเวอร์แองเกิล ควบคุมแรงดันไฟฟ้าและความถี่เพื่อควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าให้อยู่ในพิคัดที่ชุดของอุปกรณ์สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้

CONNECTED GRID INVERTER

Tongpian Prombud

Werawut Deephom

Sorraram Bualangka

Assoc. Prof. Dr. Werachet Khan-ngern Advisor

2005

ABSTRACT

This thesis proposes the connected grid inverter such as power supply of power system which use PWM inverter method. Bridge rectifier transfer DC current to SPWM inverter for convert DC voltage and pass to lowpass filter and step up voltage to 220V. Connected Grid method can control power angle, voltage and frequency for transfer electric power to grid.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากมีบุคคลหลายท่านที่คอยช่วยเหลือ คอยให้คำปรึกษาอยู่ตลอดเวลาถ้าไม่มีบุคคลเหล่านี้อาจจะไม่มีปริญญาโทเล่มนี้ขึ้นมาก็ได้ ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบคุณบุคคลเหล่านี้เป็นอย่างสูง

รศ.ดร.วีระเชษฐ์ ชันเงิน ที่คอยให้คำปรึกษา และยังให้แรงจูงใจ แรงกระตุ้นให้เราได้ทำได้สำเร็จลุล่วง

พี่ประชา คำภักดี และ พี่ ป.โท คนอื่นๆ ที่เป็นคนให้ข้อมูลในการทำโครงการของที่พี่ให้ใช้ และคำปรึกษาตลอดการทำโครงการ

คุณพ่อ และ คุณแม่ ของผู้ร่วมทำโครงการทุกคนที่ให้กำลังใจและกำลังเงินมาทำโครงการครั้งนี้

และยังเพื่อนรุ่น 15 ทุกคนที่คอยช่วยเหลือหลายด้าน

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 บทนำ.....	1
1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขอบเขตของการศึกษาโครงการ.....	3
1.6 ขั้นตอนการทำโครงการ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ส่วนประกอบอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบไฟฟ้า.....	5
2.2 หลักการของอินเวอร์เตอร์.....	6
2.3 อุปกรณ์สวิตชิง.....	11
2.4 วงจรกรองความถี่.....	12
2.5 ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	15
2.6 ฮาร์มอนิกและตัวประกอบกำลัง.....	16
2.7 หลักการและทฤษฎีการต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับระบบไฟฟ้า.....	18
บทที่ 3 หลักการของระบบและรายละเอียดของวงจร.....	21
3.1 หลักการของระบบ.....	21
3.2 วงจรกำลัง.....	21
3.3 วงจรควบคุม.....	22
บทที่ 4 การคำนวณและออกแบบ.....	28
4.1 วงจรกำลังอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบไฟฟ้า.....	28
4.2 ขนาดพิกัดวงจรอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบไฟฟ้า.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3 การออกแบบวงจรกรองความถี่.....	31
4.4 การหาขนาดพิกัดหม้อแปลงกำลัง.....	34
4.5 การหาขนาดตัวเหนี่ยวนำเชื่อมโยง (L_g).....	34
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง.....	36
5.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดไฟฟ้า.....	36
5.2 วิธีการคำนวณ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพ.....	37
5.3 ผลการทดสอบจ่ายกำลังเอาต์พุตต่อกับโหลดความต้านทาน.....	38
5.4 ผลการทดสอบจ่ายกำลังเอาต์พุตต่อกับกริกระบบไฟฟ้า.....	40
5.5 สรุปผลการทดสอบจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบของการไฟฟ้า.....	62
บทที่ 6 บทวิจารณ์และสรุป.....	63
6.1 ข้อดีของวงจรที่ใช้.....	63
6.2 ข้อเสียของวงจรที่ใช้.....	63
6.3 ปัญหาในระหว่างการทำโครงการนี้.....	63
6.4 สิ่งที่ดีควรจะได้รับการพัฒนาต่อไปสำหรับโครงการนี้.....	64
เอกสารอ้างอิง.....	65
ภาคผนวก ก.....	66
รูปกราฟจากการทดลอง.....	66
ภาคผนวก ข.....	78
รูปวงจรจริง.....	78
ภาคผนวก ค.....	84
รายละเอียดบางส่วนของอุปกรณ์หลักที่ใช้.....	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	1
รูปที่ 1.2 บล็อกไดอะแกรมของวิธีการทำโครงการ.....	4
รูปที่ 2.1 แผนผังส่วนประกอบอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบไฟฟ้า.....	6
รูปที่ 2.2 การมอดูเลชันของรูปคลื่นไซน์และสามเหลี่ยม ที่ $m_a < 1$	7
รูปที่ 2.3 รูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มที่ได้จากการมอดูเลชัน ที่ $m_a < 1$	8
รูปที่ 2.4 สเปกตรากของรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็ม ที่ $m_a < 1$	8
รูปที่ 2.5 การมอดูเลชันของคลื่นซายน์และสามเหลี่ยม ที่ $m_a > 1$	9
รูปที่ 2.6 รูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มแบบโอเวอร์มอดูเลชัน ที่ $m_a > 1$	9
รูปที่ 2.7 สเปกตรากของรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มแบบโอเวอร์มอดูเลชัน ที่ $m_a > 1$	10
รูปที่ 2.8 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านในอุดมคติ.....	13
รูปที่ 2.9 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านทางปฏิบัติ.....	13
รูปที่ 2.10 วงจรกรองความถี่แบบแอล.....	14
รูปที่ 2.11 รูปวงจรสมมูลของหม้อแปลงแบบประมาณ.....	15
รูปที่ 2.12 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า.....	18
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงสัญญาณขับ SPWM อินเวอร์เตอร์.....	22
รูปที่ 3.2 วงจรเลื่อนเฟส (phase shift).....	22
รูปที่ 3.3 สัญญาณที่ปรับเฟสของวงจรเลื่อนเฟส.....	23
รูปที่ 3.4 วงจรวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม (triangle signal).....	23
รูปที่ 3.5 สัญญาณสามเหลี่ยมที่ความถี่ 25 kHz.....	24
รูปที่ 3.6 วงจรคอมพาราเตอร์ (comparater).....	24
รูปที่ 3.7 สัญญาณ SPWM ที่ความถี่ 25 kHz.....	25
รูปที่ 3.8 วงจรเดดไทม์ (deadtime)วงจรแยกกันทางแสง (opto isolator).....	25
รูปที่ 3.9 สัญญาณที่ขั้วเกต (high กับ low).....	26
รูปที่ 3.10 วงจรขั้วเกตของอุปกรณ์สวิตซ์ซิ่ง (gate driver).....	26
รูปที่ 3.11 สัญญาณที่ออกจากวงจรขั้วเกต.....	27
รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบของอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบไฟฟ้า.....	28
รูปที่ 4.2 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ได้จากการคำนวณ.....	32
รูปที่ 5.1 วงจรทดสอบอินเวอร์เตอร์ต่อกับโหลดความต้านทาน.....	38
รูปที่ 5.2 วงจรทดสอบอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.3 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 0.8$, ขณะไม่จ่ายกำลังไฟฟ้า).....	41
รูปที่ 5.4 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_a = 0.8$, ขณะไม่จ่ายกำลังไฟฟ้า).....	42
รูปที่ 5.5 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 0.8$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 10 w).....	42
รูปที่ 5.6 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_a = 0.8$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 10 w).....	43
รูปที่ 5.7 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 0.8$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 20 w).....	43
รูปที่ 5.8 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_a = 0.8$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 20 w).....	44
รูปที่ 5.9 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 0.8$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 30 w).....	44
รูปที่ 5.10 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_a = 0.8$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 30 w).....	45
รูปที่ 5.11 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 0.8$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 40 w).....	45
รูปที่ 5.12 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_a = 0.8$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 40 w).....	46
รูปที่ 5.13 กราฟอินพุต เอาต์พุต และประสิทธิภาพที่ $m_a = 0.8$	46
รูปที่ 5.14 กราฟตัวประกอบกำลังที่ $m_a = 0.8$	47
รูปที่ 5.15 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 0.9$, ขณะไม่จ่ายกำลังไฟฟ้า).....	49
รูปที่ 5.16 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_a = 0.9$, ขณะไม่จ่ายกำลังไฟฟ้า).....	49
รูปที่ 5.17 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 0.9$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 10 w).....	50
รูปที่ 5.18 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_a = 0.9$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 10 w).....	50
รูปที่ 5.19 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 0.9$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 20 w).....	51
รูปที่ 5.20 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_a = 0.9$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 20 w).....	51
รูปที่ 5.21 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 0.9$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 30 w).....	52
รูปที่ 5.22 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_a = 0.9$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 30 w).....	52
รูปที่ 5.23 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 0.9$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 40 w).....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.24 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_a = 0.9$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 40 w).....	53
รูปที่ 5.25 กราฟอินพุต เอาต์พุต และประสิทธิภาพที่ m_a 0.9.....	54
รูปที่ 5.26 กราฟตัวประกอบกำลังที่ m_a 0.9.....	54
รูปที่ 5.27 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 1.0$, ขณะไม่จ่ายกำลังไฟฟ้า).....	56
รูปที่ 5.28 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_a = 1.0$, ขณะไม่จ่ายกำลังไฟฟ้า).....	56
รูปที่ 5.29 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 1.0$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 10 w).....	57
รูปที่ 5.30 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_a = 1.0$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 10 w).....	57
รูปที่ 5.31 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 1.0$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 20 w).....	58
รูปที่ 5.32 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_a = 1.0$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 20 w).....	58
รูปที่ 5.33 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 1.0$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 30 w).....	59
รูปที่ 5.34 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_a = 1.0$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 30 w).....	59
รูปที่ 5.35 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 1.0$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 40 w).....	60
รูปที่ 5.36 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_a = 1.0$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 40 w).....	60
รูปที่ 5.37 กราฟอินพุต เอาต์พุต และประสิทธิภาพที่ m_a 1.0.....	61
รูปที่ 5.38 กราฟตัวประกอบกำลังที่ m_a 1.0.....	61

สารบัญตาราง

	หน้าที่	
ตารางที่ 2.1	เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวงจรรองความถี่แบบแอล.....	12
ตารางที่ 2.2	ค่าอัตราการลดทอนในหน่วย dB/decade.....	15
ตารางที่ 2.3	หลักการในการพิจารณาการไหลของกำลังไฟฟ้า.....	20
ตารางที่ 5.1	ผลการทดสอบที่ขณะไม่มีการภาระทางไฟฟ้า (no load).....	38
ตารางที่ 5.2	ผลการทดสอบจ่ายโหลดความต้านทาน ที่ m_a 0.8.....	39
ตารางที่ 5.3	ผลการทดสอบอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ที่ m_a 0.8.....	40
ตารางที่ 5.4	ผลการทดสอบอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ที่ m_a 0.9.....	48
ตารางที่ 5.5	ผลการทดสอบอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ที่ m_a 1.0.....	55



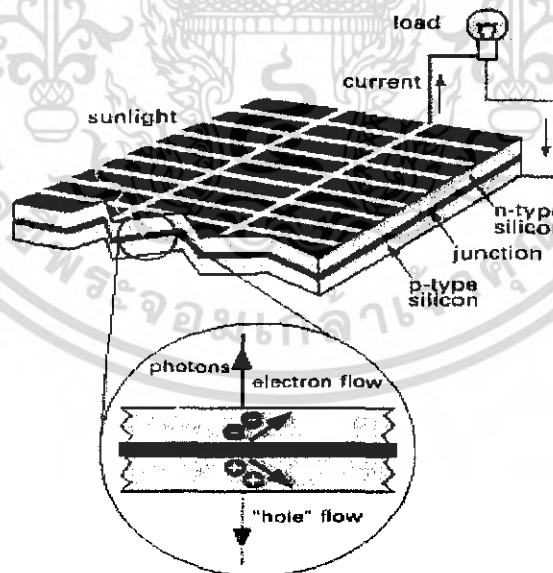
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ในปัจจุบันนี้ประเทศไทยใช้แหล่งพลังงานที่ใช้สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า คือพลังงานน้ำ และน้ำมันแต่พลังงานน้ำจากเขื่อนก็ไม่สามารถที่จะผลิตไฟฟ้าได้ตลอดเวลาเพราะต้องเก็บน้ำไว้ใช้สำหรับทำการเกษตรในช่วงฤดูร้อน จึงทำให้ต้องใช้พลังงานจากน้ำมันในการผลิตไฟฟ้าแต่เนื่องจากในปัจจุบันน้ำมันได้มีราคาสูงขึ้นมากทำให้ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยแพงขึ้น ดังนั้นจึงจะเป็นสิ่งที่ดีถ้าเราสามารถหาแหล่งพลังงานจากแหล่งพลังงานอื่นมาทดแทนเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าซึ่งก็มีหลายแหล่งพลังงานที่น่าสนใจเช่นพลังงานคลื่นน้ำได้ทะเล พลังงานแสงอาทิตย์ แต่ที่น่าสนใจน่าจะเป็นพลังงานแสงอาทิตย์เพราะว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ในเขตร้อน จึงมีแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปีและประกอบกับความต้องการใช้ไฟฟ้าในปริมาณที่มากขึ้นของประเทศ ส่งผลให้ต้องการพลังงานไฟฟ้าที่มากขึ้นถ้าจะสร้างเขื่อนต้องใช้พื้นที่มากซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพราะทำให้พื้นที่ป่าต้องสูญเสียไปเป็นจำนวนมาก แต่ถ้าเราสามารถใช้การสร้างไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์มาจ่ายให้กับระบบไฟฟ้า ฟังดูอาจจะดูเหมือนว่าเป็นระบบที่เล็กมีขนาดเพียงไม่กี่ วัตต์ แต่ถ้าเราสามารถรวมพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแต่ละบ้านแล้วก็จะได้ระบบไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจากแนวคิดนี้จะสามารถตอบสนองต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นนี้ได้



รูปที่ 1.1 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเป็นช่วงที่กำลังเกิดภาวะวิกฤตน้ำมันมีราคาแพงอยู่ในขณะนี้การหา"พลังงานทดแทน" จึงเป็นสิ่งที่หลายฝ่ายให้ความสนใจ เพื่อลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศที่ดูเหมือนราคาจะไต่ระดับขึ้นสูงโดยไม่มีทีท่าจะลดลง ดังนั้นทางเลือกในการแก้ปัญหาคือการหาแหล่งพลังงานแหล่งอื่น ซึ่งแหล่งพลังงานที่น่าสนใจคือแหล่งพลังงานจากแสงอาทิตย์ เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในภูมิประเทศเขตร้อน และเนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ไม่มีต้นทุนเชื้อเพลิง รวมทั้งยังเป็นหน่วยผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กสามารถกระจายไปได้ทุกพื้นที่ และราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวโน้มถูกลงไปเป็นลำดับ และในปัจจุบันได้มีการวิจัยพัฒนา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ของเซลล์แสงอาทิตย์ ให้สูงขึ้น เช่น การเคลือบวัสดุลดการสะท้อนแสงที่ผิวหน้า การทำพื้นผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ ให้ขรุขระเพื่อเพิ่มพื้นที่รับแสง และการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบซ้อนกัน (tandem solar cell) ซึ่งมีผลให้เซลล์แสงอาทิตย์ มีประสิทธิภาพขึ้นกว่าเดิมอีกร้อยละ 2-5 %

แนวทางการศึกษา

โครงการนี้นำเสนอการออกแบบสร้างอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบไฟฟ้ารวมถึงการทดสอบให้งานอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบไฟฟ้าได้ดังต่อไปนี้

1. ด้านอินพุตของอินเวอร์เตอร์ ออกแบบอินเวอร์เตอร์ให้มีคุณสมบัติสามารถรับไฟฟ้าได้โดยตรง กำหนดช่วงแรงดันอินพุต 36 โวลต์
2. ด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ ออกแบบให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าต่อกับระบบไฟฟ้าสามารถควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้มีค่าตัวประกอบกำลังสูงกว่า 0.8 ขนาดแรงดันที่ต่อกับระบบไฟฟ้าคือ 220 โวลต์ ± 5 เปอร์เซ็นต์ 50 เฮิรตซ์ ± 1 เปอร์เซ็นต์

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.3.1 เพื่อออกแบบสร้างวงจรกำลังและระบบควบคุมของ อินเวอร์เตอร์ให้มีคุณลักษณะต่อกับกริดระบบไฟฟ้าได้
- 1.3.2 เพื่อศึกษาการใช้อินเวอร์เตอร์จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด
- 1.3.3 เพื่อศึกษาการช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดร่วมกับกริดระบบไฟฟ้า
- 1.3.4 เพื่อศึกษาการจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับกริดระบบไฟฟ้า

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้เรียนรู้และเข้าใจถึงหลักการทำงานของทฤษฎีของ อินเวอร์เตอร์และอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์กำลัง
- 1.4.2 ได้เรียนรู้และเข้าใจถึงหลักการจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.3 อินเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นสามารถต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ใช้งานได้จริงและเป็นต้นแบบในการพัฒนาต่อไป

1.4.4 สามารถช่วยลดปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าจากระบบการไฟฟ้า และช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าได้

1.5 ขอบเขตของการศึกษาโครงการ

ออกแบบและพัฒนาสร้างอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบไฟฟ้า โดยสามารถเลือกแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ หรือ จำลองจากชุดบริดจ์เรกติไฟร์ ขนาดพิกัดไม่ต่ำกว่า 60 วัตต์ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ โดยมีข้อกำหนดคือ

1.5.1 ออกแบบและสร้างชุดคอนโทรลและชุดเพาเวอร์ ที่ใช้ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้าโดยใช้เอสพีดีบีบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์

1.5.2 วิเคราะห์ผลของเอชทีพูทที่ได้จากเอสพีดีบีบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์

1.5.3 วิเคราะห์ผลในการเชื่อมต่อของกำลังไฟฟ้าด้านนอกและของระบบการไฟฟ้า

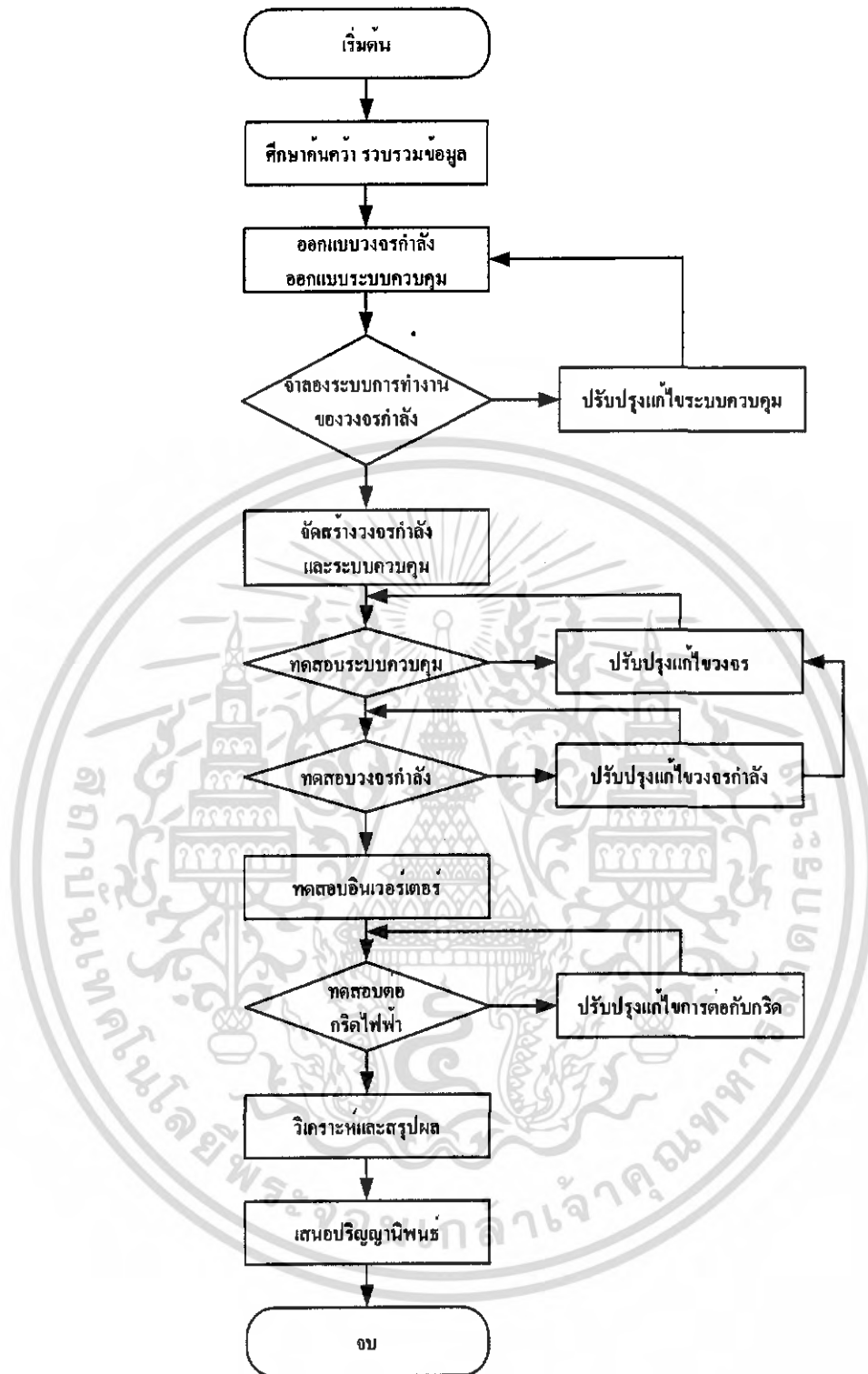
1.6 ขั้นตอนการทำโครงการ

1.6.1 ทดสอบการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่โหลดต่าง ๆ โดยใช้แรงดันกระแสตรงจากกระแสตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ หรือ จำลองจากชุดบริดจ์เรกติไฟร์ จ่ายโหลดที่พิกัด

1.6.2 ทดสอบการจ่ายกำลังไฟฟาร่วมกับระบบไฟฟ้า โดยการปรับแรงดัน ความถี่ และมุมเฟสของอินเวอร์เตอร์ให้เท่ากัน

1.6.3 ทดสอบการจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบไฟฟ้าโดยการต่อตัวเหนี่ยวนำเชื่อมโยงเพื่อให้เกิดมุมกำลังไฟฟ้า โดยแรงดันของอินเวอร์เตอร์นำหน้าแรงดันของระบบไฟฟ้า

1.6.4 นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ สรุปผล และเสนอโครงการ



รูปที่ 1.2 บล็อกไดอะแกรมของวิธีการทำโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

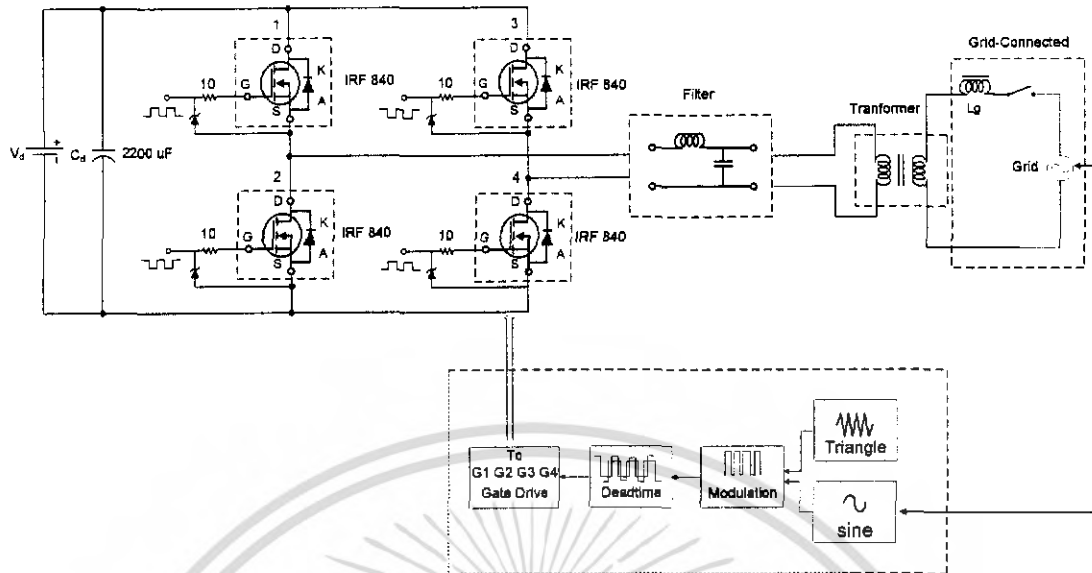
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แหล่งพลังงานไฟฟ้า ในที่นี้คือ เซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่สามารถจ่ายภาระทางไฟฟ้าที่กระแสสูงๆได้ ดังนั้นเราจึงใช้แรงดันที่จำลองจากชุดบริดจ์เร็กทูล์เลดที่ปรับแรงดันได้สูงแต่แรงดันที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้คือ 12 โวลต์จากลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เราใช้ เราจึงต้องใช้วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เพื่อยกระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่แบตเตอรี่ให้เป็น 36 โวลต์ แต่เมื่อภาระทางไฟฟ้าดึงกระแสไหลตมมากๆจะส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าตกลงแต่เราสามารถแก้ไขได้โดยการต่อตัวเก็บประจุ (C_d) เพื่อรักษาระดับแรงดันที่จ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อให้มีแรงดันไฟฟ้าที่คงที่ไม่ลดลงจนเกินไป ในส่วนของอินเวอร์เตอร์เราใช้ มอสเฟส ต่อแบบฟูลบริดจ์เฟสเดียวโดยรับแรงดันกระแสตรง (V_d) จากบริดจ์เร็กทูล์เลด เพื่อจะทำการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ แล้วผ่านชุดกรองความถี่ต่ำผ่านเพื่อทำการกรองฮาร์มอนิกก่อนที่จะทำการต่อเข้าระบบไฟฟ้า ในส่วนวงจรที่ต่อเข้าระบบไฟฟ้านั้น จะประกอบไปด้วยหม้อแปลงกำลังแบบเพิ่มแรงดันซึ่งจะทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งมีขนาดแรงดันต่ำให้สูงขึ้นเท่ากับแรงดันระบบไฟฟ้า (V_g) ผ่านตัวเหนี่ยวนำเชื่อมโยง (L_g) ซึ่งทำหน้าที่จำกัดกระแสและต่อกับระบบไฟฟ้าด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์

2.1 ส่วนประกอบของอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบไฟฟ้า

อินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบไฟฟ้ามีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ

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



รูปที่ 2.1 แผนผังส่วนประกอบอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบไฟฟ้า

2.2 หลักการของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ ที่เราใช้ในการแปลงผันกำลังไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับนี้จะใช้ อินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน (voltage source inverter : VSI) ซึ่งอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันนี้ จะเหมาะสำหรับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าไม่สูงมากนัก โดยอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันที่โครงการนี้ใช้คืออินเวอร์เตอร์แบบพีดับบลิวเอ็ม (pulse width-modulation inverter : PWM inverter) โดยในที่นี้เราจะใช้อินเวอร์เตอร์แบบพีดับบลิวเอ็ม เหตุผลเพื่อหลีกเลี่ยงฮาร์มอนิกอันดับต่ำๆ

การเปรียบเทียบสัญญาณสองสัญญาณในเงื่อนไขหาก $V_{control} > V_{tri}$ จะได้สัญญาณพัลส์เป็นบวก ในทำนองเดียวกันหาก $V_{control} < V_{tri}$ จะได้พัลส์เป็นลบ กรณีโอเวอร์มอดูเลชันในรูปที่ 2.5 ไซเคิลบวกของ $V_{control}$ จะมีช่วงยอดที่ $V_{control}$ มากกว่า V_{tri} จนถือว่าจะได้พัลส์บวกเป็นระยะเวลาหนึ่งเสมือนว่าไม่มีการสวิตชิง เช่นเดียวกับการเกิดขึ้นที่ครึ่งไซเคิลลบของ $V_{control}$ ช่วง V_{peak} ล่างจะทำให้ค่าพัลส์เป็นลบหรือศูนย์เป็นช่วงขณะที่ไม่มีการสวิตชิง

2.2.1 การสวิตชิงแบบพีดับบลิวเอ็ม

ในวงจรอินเวอร์เตอร์ ต้องการจะสร้างแรงดันไฟฟ้าด้านออกเป็นรูปไซน์ที่สามารถปรับขนาดและความถี่ตามต้องการได้ โดยจะใช้สัญญาณควบคุมรูปคลื่นไซน์ (sinusoidal control signal) ตามความถี่ที่ต้องการนำมาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นสามเหลี่ยม (triangular waveform) เอกส ดังในรูปที่ 2.2 ความถี่ของการสวิตชิง (f_s) จะเท่ากับความถี่ของรูปคลื่นสามเหลี่ยม ซึ่งด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและความหมายที่สำคัญของการสวิตชิงแบบพีดับบลิวเอ็ม มีดังต่อไปนี้

$\hat{V}_{control}$ สัญญาณควบคุมรูปไซน์ที่ต้องการนำมาสร้างแรงดันไฟฟ้าและความถี่ทางด้าน
ออก

\hat{V}_{tri} สัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่เป็นตัวกำหนดความถี่สวิตชิง

f_1 ความถี่หลักมูลทางด้านออกของอินเวอร์เตอร์

f_s ความถี่ของการสวิตชิงของอินเวอร์เตอร์

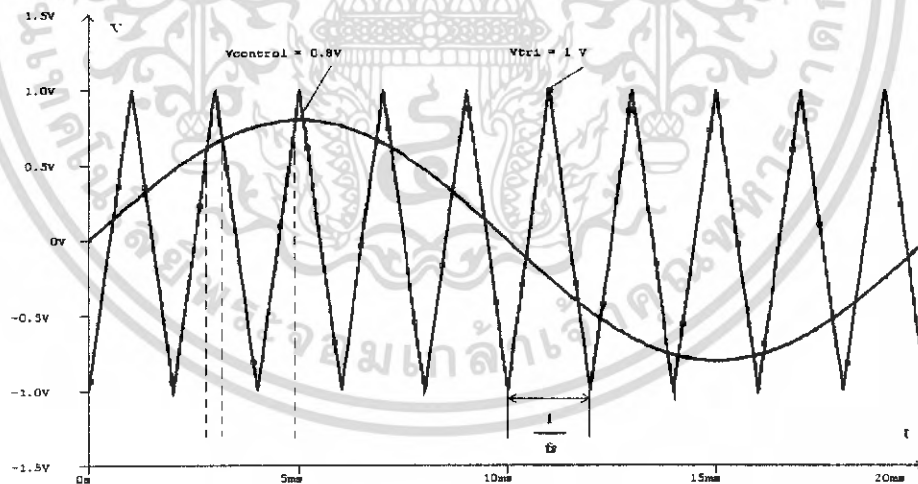
m_a อัตราการมอดูเลตด้านแอมพลิจูด

m_f อัตราการมอดูเลตด้านความถี่

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

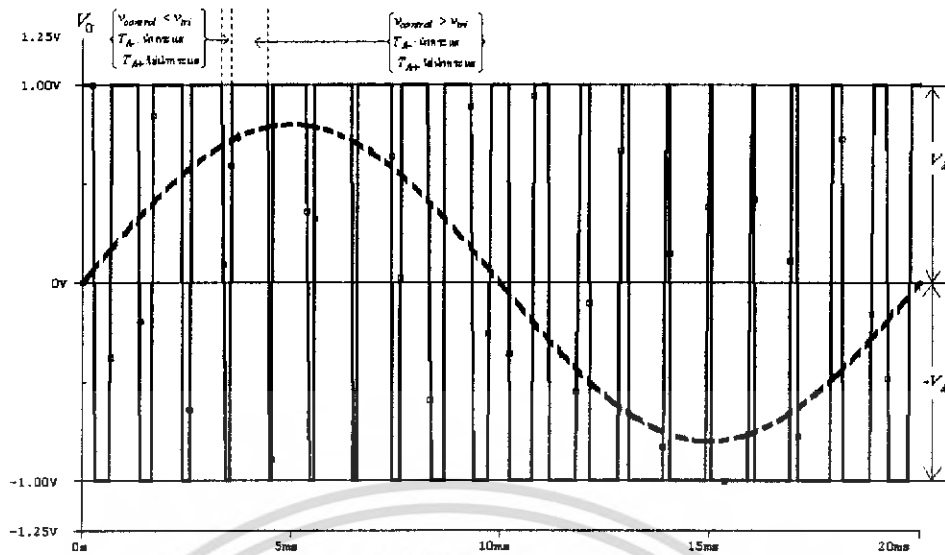
เมื่อ $\hat{V}_{control}$ คือค่ายอดของสัญญาณควบคุมรูปไซน์

\hat{V}_{tri} คือค่ายอดสัญญาณรูปสามเหลี่ยม

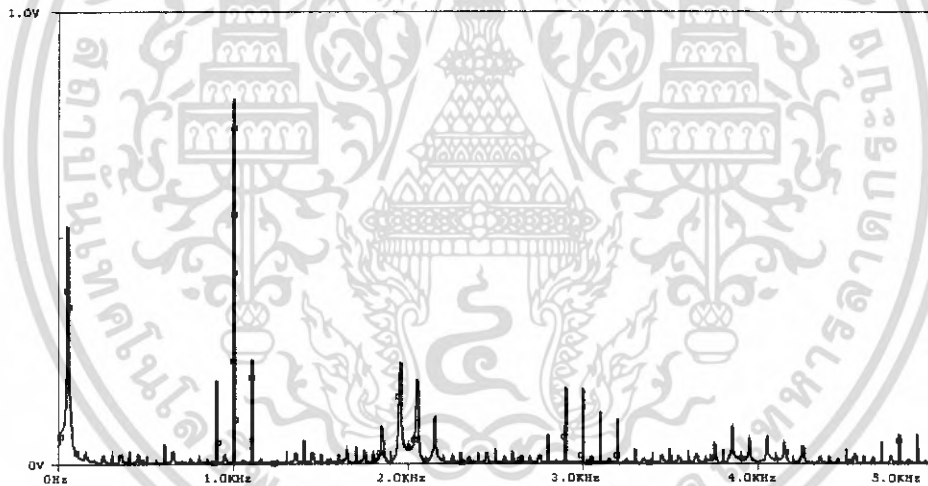


รูปที่ 2.2 การมอดูเลชันของรูปคลื่นไซน์และสามเหลี่ยมที่ $m_a < 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



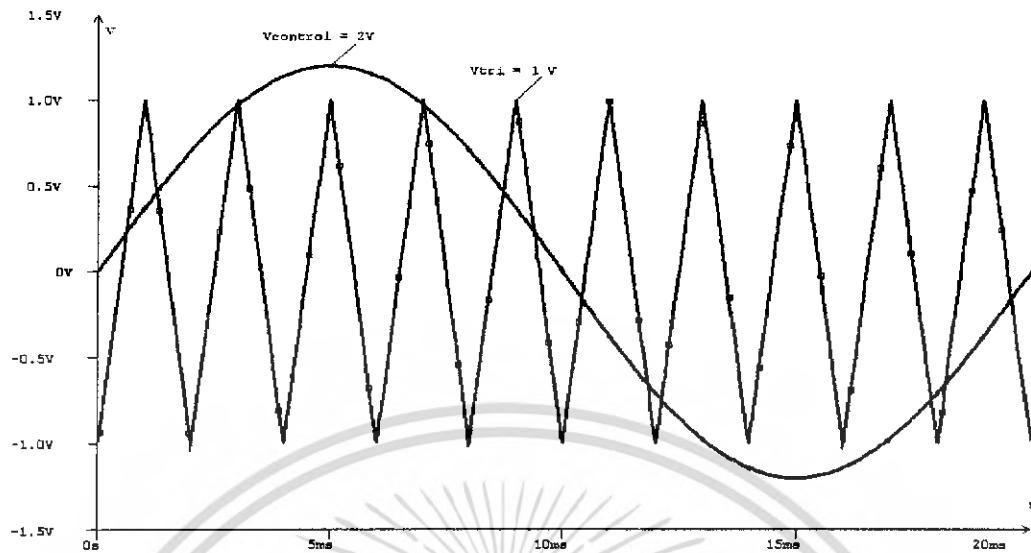
รูปที่ 2.3 รูปคลื่นพีคัลลิเวียมที่ได้จากการมอดูเลชันที่ $m_a < 1$



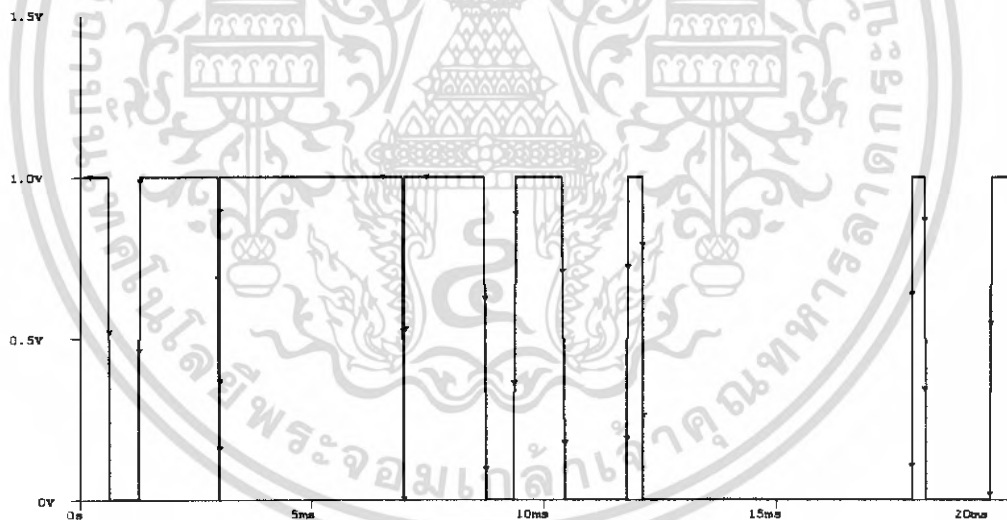
รูปที่ 2.4 สเปกตรามของรูปคลื่นพีคัลลิเวียม ที่ $m_a < 1$

สำหรับกรณีโอเวอร์มอดูเลชัน ($m_a > 1$) จะเกิดขึ้นเมื่อ $V_{\text{control}} > V_{\text{tri}}$ โดยค่ารูปคลื่นพีคัลลิเวียมจะมีช่วงที่เป็นบวกหรือลบกว้างกว่าหนึ่งคาบการสวิตซ์ ซึ่งแสดงดังในรูปที่ 2.6 โอเวอร์มอดูเลชันมีข้อดีคือขนาดแรงดันไฟฟ้าของความถี่หลักมูลจะมีค่าสูงกว่าในกรณี $m_a \leq 1$ แต่การเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าจะไม่เป็นเชิงเส้นจนถึงค่าคงที่ค่าหนึ่ง

อย่างไรก็ตามข้อเสียของกรณีโอเวอร์มอดูเลชันก็คือทำให้เกิดฮาร์โมนิกอันดับต่างๆ ที่อยู่ใกล้กับฮาร์โมนิกอันดับที่หนึ่งหรือความถี่หลักมูล เช่นฮาร์โมนิกอันดับที่ 3, 5, 7 เป็นต้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

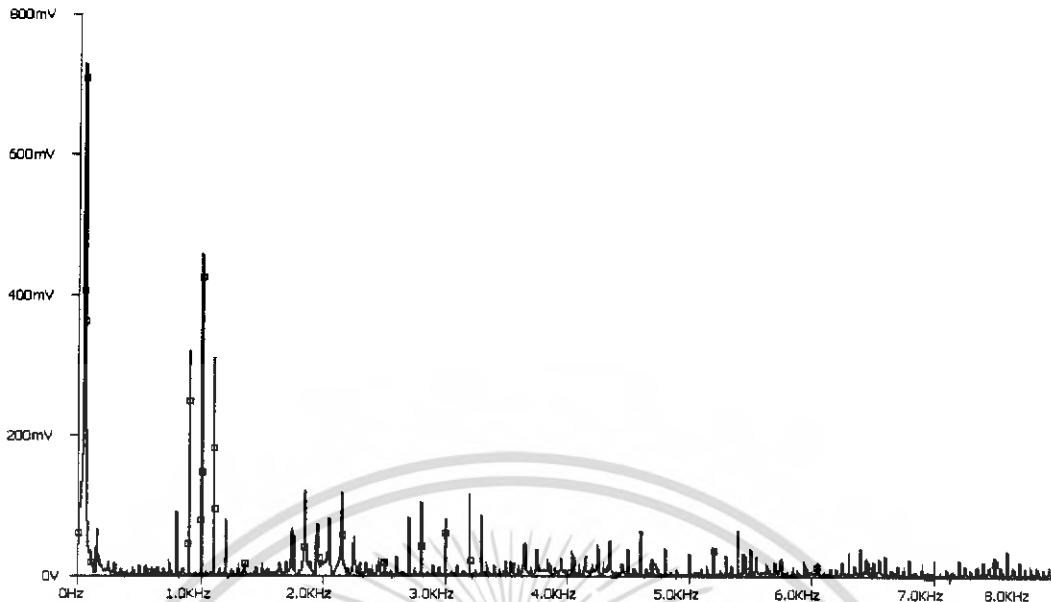


รูปที่ 2.5 การมอดูเลชันของรูปคลื่นไซน์และสามเหลี่ยมที่ $m_a > 1$



รูปที่ 2.6 รูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มแบบโอเวอร์มอดูเลชันที่ $m_a > 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 สเปกตร้าของรูปคลื่นพีดับลิวเอ็มแบบโอเวอร์มอดูเลชั่นที่ $m_a > 1$

ผลเสียที่จะเกิดเช่นในรูปที่ 2.7 คือเกิดฮาร์โมนิกที่ใกล้ๆ กับความถี่หลักมูลหรือฮาร์โมนิกอันดับหนึ่งและเกิดฮาร์โมนิกรอบๆ ความถี่ f_s

2.2.2 การสวิตซ์แรงดันไฟฟ้าแบบไบโพลาร์

สิ่งที่ระบุว่าเป็นการสวิตซ์แบบไบโพลาร์ คือ

1. มีการสวิตซ์ของแรงดันระหว่างสาย V_o ระหว่างขั้วบัสบวกกับบัสลบ
2. ความถี่ของพัลส์ที่โหลดจะเท่ากับความถี่ของ V_{tri}
3. จะเกิดความถี่ จากสเปกตร้าคือ เริ่มตันที่รอบ ๆ f_s และจำนวนเท่าของ f_s

2.2.3 ผลของเดดไทม์ต่อแรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์

ในทางปฏิบัติ กิ่งใดๆของอินเวอร์เตอร์ สวิตซ์ตัวบนและตัวล่างต้องไม่นำกระแสพร้อมกัน ดังนั้นจึงต้องการช่วงเวลาสวิตซ์ทั้งคู่หยุดนำกระแสก่อนที่สวิตซ์จะเปลี่ยนสถานะ เพื่อป้องกันการลัดวงจรระหว่าง บัสบวกกับบัสลบ ช่วงเวลานี้จะเรียกว่า เดดไทม์ (dead time) ซึ่งเวลาเดดไทม์ดังกล่าวจะต้องมีความเหมาะสม คือหากมีค่าน้อยเกินไปอาจทำให้มีโอกาสลัดวงจรได้ง่ายหรือถ้าหากมีค่ามากเกินไปก็อาจจะทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ผิดเพี้ยนไป สวิตซ์ที่เป็นมอสเฟตจะมีค่าเดดไทม์น้อยๆ เช่น 1-2 ไมโครวินาที ดังนั้นเดดไทม์จะขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งที่เลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของเดดไทม์คือการทำหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรระหว่างบัสบวกกับบัสลบ แต่หากมีค่าเดดไทม์มากเกินไป ก็จะมีผลต่อรูปคลื่นสัญญาณทางด้านออก โดยขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไหล

จึงสรุปข้อเสียของเดดไทม์คือทำให้เกิดฮาร์โมนิกส์ที่ความถี่รอบข้างความถี่สวิตชิ่งและเกิดความถี่ที่ฮาร์โมนิกลำดับต่ำ ๆ อันจะบั่นผลเสียต่อสมรรถนะของอินเวอร์เตอร์ [1]

2.3 อุปกรณ์สวิตชิ่ง

อุปกรณ์สวิตชิ่งที่เราใช้ในโปรเจกต์นี้คือ อุปกรณ์สวิตชิ่งแบบมอสเฟตเพราะมีคุณสมบัติตรงตามความต้องการ เพราะมอสเฟตกำลังเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานที่ความถี่สูงและไม่ต้องการกำลังสูง แต่ถ้าหากต้องการกำลังสูง อาจจะออกแบบโดยการใช้มอสเฟตกำลังมาต่อขนานกันเพื่อเพิ่มพิกัดของขนาดกระแสไฟฟ้า แต่มอสเฟตกำลังจะมีข้อจำกัดอยู่ด้วยคือ มอสเฟตกำลังจะไม่สามารถทนแรงดันไฟฟ้าด้านลบได้มากนัก มอสเฟตกำลัง (metal-oxide semiconductor field-effect transistor) ที่ใช้ในงานโปรเจกต์นี้คือมอสเฟตกำลังชนิดเอ็นชาแนล (N-channel) ดังนั้นจึงจะอธิบายเฉพาะคุณสมบัติของมอสเฟตกำลังชนิดเอ็นชาแนล (N-channel) ได้ดังนี้คือ

2.3.1 มอสเฟตกำลัง (metal-oxide semiconductor field-effect transistor)

มอสเฟตกำลัง (metal-oxide semiconductor field-effect transistor) กรณีที่เป็นมอสเฟตกำลังชนิดเอ็นชาแนล (N-channel) เพาเวอร์มอสเฟตสามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงตั้งแต่ 50 kHz ไปจนถึงประมาณ 200 หรือ 400 kHz เนื่องจากมอสเฟตกำลังสามารถใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้นและการพัฒนาในปัจจุบัน ก็มีแนวโน้มที่จะทำให้มอสเฟตกำลังสามารถทำงานที่ความถี่สูงขึ้นไปอีก

2.3.2 เงื่อนไขของการขับเพาเวอร์มอสเฟต

เพาเวอร์มอสเฟตจะมีกระแสไหลผ่านเดรนและซอร์ซได้ก็ต่อเมื่อ มีแรงดันดกคร่อมที่ขาเกต และ ขาซอร์ซมีขนาดอย่างน้อยที่สุดต้องเท่ากับค่าแรงดันขีดเริ่ม (threshold voltage) ของมอสเฟต แต่จะใช้กระแสต่ำ จึงทำให้การขับมอสเฟตให้น้ำกระแสทำได้โดยง่าย เมื่อต้องการให้มอสเฟตกำลังนำกระแสอย่างต่อเนื่อง จะต้องมีการบิอนแรงดันไฟฟาระหว่างขาเกตกับขาซอร์ซ (V_{GS}) อย่างต่อเนื่องช่วงเวลาการสวิตชิ่งของมอสเฟตกำลังจะมีค่าอยู่ระหว่างหลักสิบของนาโนวินาทีถึงหลักร้อยนาโนวินาที ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดพิกัดของมอสเฟตกำลังความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอร์ซ $R_{DS(on)}$ จะขึ้นอยู่กับพิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้า หากทนแรงดันไฟฟ้าได้สูง ยิ่งทำให้ค่าความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอร์ซมีค่ามากขึ้นซึ่งจะมีผลต่อกำลังสูญเสียจากการนำกระแส (conduction losses) เช่น มอสเฟตกำลังมีค่าพิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้า 1,000 โวลต์ จะมีค่าความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชอร์ช มากกว่ามอสเฟตกำลังมีค่าพิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ ดังนั้นการสูญเสียจากการนำกระแสของมอสเฟตกำลังที่ทนได้ 1,000 โวลต์ จะมีกำลังสูญเสียที่เกิดจากการนำกระแสมากกว่าของมอสเฟตกำลังที่ทนแรงดันไฟฟ้าได้ 200 โวลต์

ความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาชอร์ชของมอสเฟตกำลัง จะมีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นบวก คือเมื่ออุณหภูมิมากขึ้นความต้านทานก็จะมากขึ้น มอสเฟตกำลังจะสามารถนำมาต่อขนานกันได้ง่ายหากต้องการใช้งานที่ต้องการกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น ทั้งนี้มอสเฟตกำลังจะต้องมีคุณสมบัติต่าง ๆ เหมือนกันมากที่สุดจึงจะสามารถนำมาต่อขนานกันได้

2.4 วงจรกรองความถี่

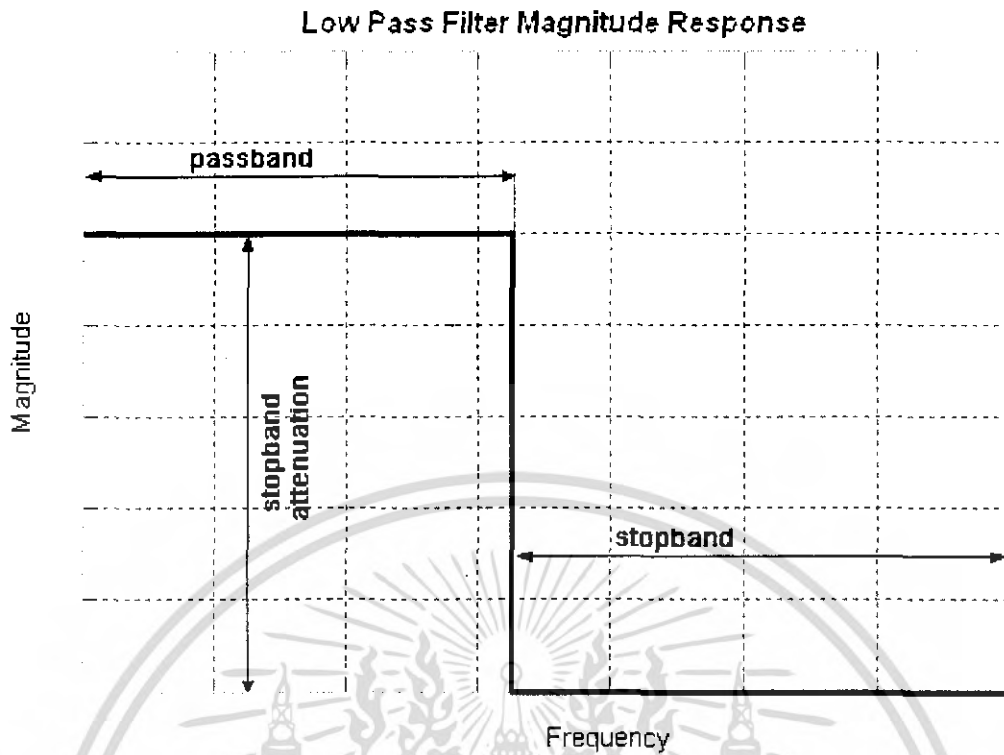
ในที่นี้เราจะใช้วงจรกรองความถี่แบบความถี่ต่ำผ่าน (low pass filter) ซึ่งเป็นวงจรกรองที่สามารถกำจัดฮาร์โมนิกที่มีค่าความถี่เหนือความถี่เรโซแนนซ์ของตัววงจรกรองเองซึ่งสามารถสรุปเป็นข้อดีข้อเสียได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวงจรกรองความถี่แบบแอล

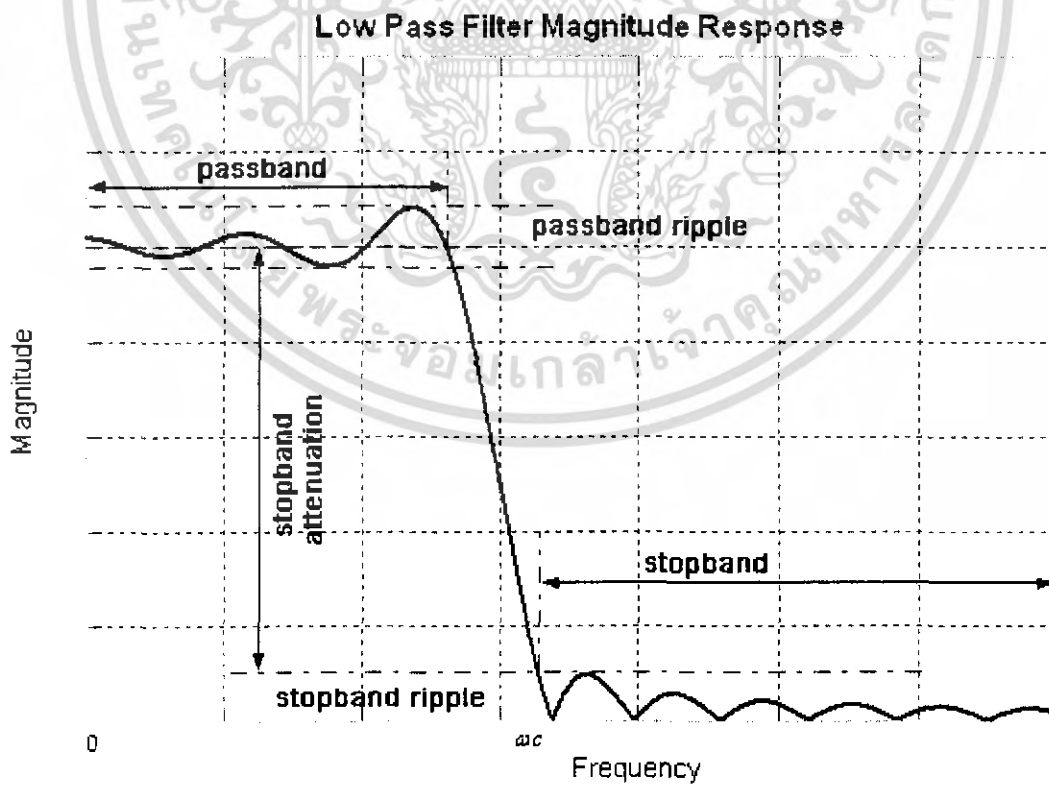
ข้อดี	ข้อเสีย
1.สามารถลดทอนสัญญาณฮาร์โมนิกได้หลายความถี่ 2.สามารถปรับปรุงค่า PF ให้ดีขึ้นได้	1. จะทำงานได้ดีเฉพาะที่กระแสโหลดพิกัด 2. สามารถใช้งานได้เฉพาะกับโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น

ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (low pass filter)

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน คือวงจรที่ยอมให้สัญญาณความถี่ต่ำผ่าน แต่จะกั้นสัญญาณความถี่สูงไว้ จากรูปที่ 2.8 แสดงผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านในอุดมคติโดยนิยามเราเรียกย่านความถี่ที่วงจรยอมให้ผ่านว่าย่านความถี่ต่ำผ่าน (passband) หรือแบนด์วิดท์ (bandwidth : BW) ของวงจรสายนานที่วงจรไม่ยอมให้ผ่านไปเรียกว่าย่านความถี่หยุด (stopband) จากรูปที่ 2.8 จะเห็นได้ว่าย่านความถี่ผ่านจะอยู่ระหว่าง 0 และ ω_c ว่าความถี่คัทออฟ (cut off frequency) ในทางปฏิบัติเราจะไม่สามารถสร้างวงจรกรองที่มีผลตอบสนองเป็นดังรูปที่ 2.8 ได้จะได้ดังรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่าในทางปฏิบัติแล้วค่าความถี่คัทออฟ จะหมายถึง ค่าความถี่ที่ขนาดของสัญญาณด้านนอกของวงจรซึ่งโดยทั่วไปที่นิยมใช้กันคือ มีค่าเท่ากับ 0.707 เท่า (หรือประมาณ -3 dB) ของขนาดสัญญาณสูงสุด



รูปที่ 2.8 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านในอุดมคติ



รูปที่ 2.9 ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านทางปฏิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นตอนการออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

2.4.1 จะต้องทราบคุณลักษณะของแหล่งจ่ายหรือแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน และลักษณะของโหลดว่ามีลักษณะแบบใด เช่น

- ก) มีความถี่สายกำลังเท่าไร (power line frequency) เช่น 50 Hz หรือ 60 Hz
- ข) ค่าแรงดันของแหล่งจ่ายกี่โวลต์ ($V_{\min, rms}$)
- ค) ค่ากระแสสูงสุดที่พิกัดโหลด ($I_{\max, rms}$)
- ง) ลักษณะของโหลดว่าเป็นอย่างไร มีอิมพีแดนซ์ต่ำหรือสูง เมื่อเทียบกับแหล่งจ่าย
- จ) ย่านความถี่ของสัญญาณรบกวนที่ต้องการลดทอน

2.4.2 คำนวณหาค่า R_d จาก

$$R_d = \frac{V_{\min, rms}}{I_{\max, rms}} \quad (2.2)$$

โดยที่ $V_{\min, rms}$ คือค่าแรงดันไฟฟ้ต่ำสุดที่ใช้งาน

$I_{\max, rms}$ คือค่ากระแสไฟฟ้สูงสุดที่ใช้งาน

ถ้ามองจากสมการแล้ว R_d ก็คือค่าความต้านทานหรือโหลดสูงสุดที่ใช้งานนั่นเอง

2.4.3. การหาความถี่ค้ทอของวงจรกรรอง

โดยเริ่มต้นต้องทราบความถี่ที่ต้องการก้าจัด และขนาดของมัน (F) สามารถหาได้จาก การวัดโดยใช้ฮอสซิลโลสโคป ที่สามารถแตก FFT ได้ โดยมีตัวแปรที่กำหนดดังต่อไปนี้

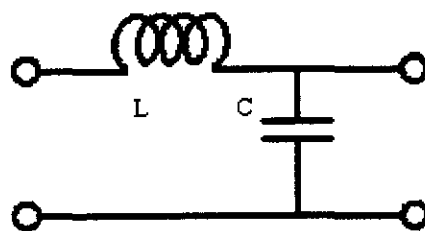
F คือ ความถี่ของสัญญาณที่ต้องการก้าจัด

dB คือ ค่าการลดทอนที่ต้องการ ณ ความถี่ที่ต้องการก้าจัด

l คือ ค่าความสูญเสีย (loss) หรือค่าอัตราการลดทอนในหน่วย dB/decade

วงจรกรรองความถี่ที่เลือกใช้ตามตาราง แบบแอล มีค่า $l = 12N$

N คือ จำนวนขุดของวงจรกรรองแต่ละแบบที่มาต่ออนุกรมกัน ตัวอย่างเช่น ในกรณีของวงจรกรรองแบบแอลจะประกอบด้วยตัวเหนียวนำและตัวเก็บประจุอย่างละหนึ่งตัว ถือว่าเป็นหนึ่งขุด จะได้ $N = 1$ ถ้ามีการต่อคาสเคดกันไปอีกขุดจะได้ $N = 2$ เป็นต้น



รูปที่ 2.10 วงจรกรรองความถี่แบบแอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ค่าอัตราการลดทอนในหน่วย dB/decade

filter	number of filter in tandem						
	1	2	3	4	5	6	7
L	12	24	36	48	60	72	84

เมื่อได้ค่าที่ต้องการกำจัดและขนาดของมัน พร้อมทั้งค่าอัตราการลดทอนของรูปแบบวงจรกรองก็จะสามารถหาความถี่ ณ จุดคัทออฟได้ดังนี้

F_0 คือ ความถี่คัทออฟ

โดยที่

$$F_0 = \frac{F}{\frac{dB}{2L}} \tag{2.3}$$

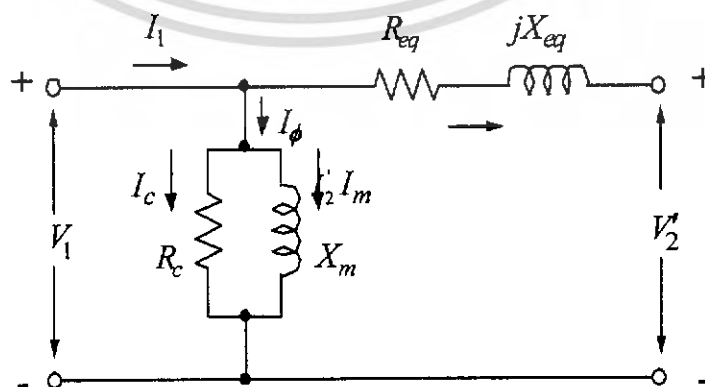
2.4.4 คำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ โดยนำค่า R_d และค่า F_0 ที่ได้มาแทนในสมการได้ดังนี้คือ

$$L = \frac{R_d}{\pi F_0} \tag{2.4}$$

$$C = \frac{1}{\pi F_0 R_d} \tag{2.5}$$

2.5 ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าขณะที่ใช้งานอยู่จะเกิดค่าการสูญเสียใน 2 ลักษณะคือ ค่าสูญเสียในแกนเหล็ก P_c และค่าสูญเสียจากลวดทองแดง P_{cu}



รูปที่ 2.11 รูปวงจรสมมูลของหม้อแปลงแบบประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้าไม่มีการจ่ายภาระไฟฟ้า (no-load) จะเกิดการสูญเสียเฉพาะค่าสูญเสียในแกนเหล็กเท่านั้น เนื่องจากค่าสูญเสียจากลวดทองแดง $I_0^2 R_1$ จะมีค่าน้อยมาก เพราะค่ากระแสกระตุ้นมีค่าต่ำ (ค่าไม่เกิน 5% ของกระแสพิกัด) และค่าความต้านทานไฟฟ้าของขดลวดด้านปฐมภูมิ R_1 มีค่าน้อย แต่ในขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายภาระไฟฟ้า (on-load) จะเกิดการสูญเสียทั้ง 2 ลักษณะกล่าวคือ ค่าสูญเสียในแกนเหล็กยังคงเกิดขึ้นเท่าเดิมเนื่องจากค่าสนามแม่เหล็กในแกนเหล็กไม่มีการเปลี่ยนแปลงและค่าสูญเสียจากลวดทองแดงเนื่องจากมีกระแสไหลผ่านขดลวดทางด้านปฐมภูมิ I_1 และด้านทุติยภูมิ I_2 จะทำให้เกิดค่าสูญเสียทางไฟฟ้าในรูปของความร้อนดังสมการ

$$P_{cu} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2, \quad P_{cu} = I_2^2 R_{eq} \quad (2.6)$$

ดังนั้นค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าที่พิกัดกำลังไฟฟ้าจะสามารถคำนวณหาได้จากความสัมพันธ์ของค่าสูญเสียต่างๆ ดังนี้

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{output}}{P_{input}} = \frac{P_{output}}{P_{output} + P_c + P_{cu}} = \frac{P_{input} - P_c - P_{cu}}{P_{input}} \quad (2.7)$$

จะเห็นว่าขณะที่ไม่มีภาระไฟฟ้าค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีค่าเป็นศูนย์ แต่เมื่อมีภาระไฟฟ้าค่าประสิทธิภาพนี้ จะขึ้นอยู่กับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของภาระไฟฟ้า ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าให้ดีขึ้นสามารถทำได้โดย การลดค่าสูญเสียต่างๆ เช่น การออกแบบให้หม้อแปลงไฟฟ้ามีผลของ ความสูญเสียในแกนเหล็ก และ ความสูญเสียในลวดตัวนำมีค่าน้อย ก็จะส่งผลให้หม้อแปลงไฟฟ้ามีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น รวมทั้ง การแก้เพาเวอร์แฟกเตอร์ก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าดีขึ้นด้วย

2.6 ฮาร์มอนิกและตัวประกอบกำลัง

อินเวอร์เตอร์ หรือ ตัวผันกลับ เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันไฟตรง ให้เป็นแรงดันไฟสลับเทียม ที่ใช้คำว่า “ เทียม ” เนื่องจากว่ารูปคลื่นของแรงดันไฟสลับที่ได้จากตัวอินเวอร์เตอร์นั้นจะไม่เรียบเหมือนกับสัญญาณไซน์จริงๆ เพราะการทำงานของตัวอินเวอร์เตอร์จะใช้วิธีการ เปิด/ปิด ค่าของแรงดันไฟตรงให้มาปรากฏที่ด้านขาออก (Output) ด้วยช่วงเวลาสั้นๆและมีความไวสูง เพื่อทำการปรับระดับของแรงดันขาออกให้ใกล้เคียงกับไฟสลับรูปไซน์ให้มากที่สุด ซึ่งในกระบวนการสร้างสัญญาณไฟสลับด้านขาออกนี้จะมีฮาร์มอนิกปะปนมาด้วย ซึ่งเป็นผลทำให้รูปคลื่นกระแสระบบไฟฟ้าผิดเพี้ยนด้วยดังนั้นในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาฮาร์มอนิกและผลกระทบของฮาร์มอนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 ฮาร์โมนิกและความเพี้ยนฮาร์โมนิกรวม

ฮาร์โมนิก (harmonics) หมายถึง ส่วนประกอบในรูปคลื่นไซน์ของสัญญาณ หรือ ปริมาณเป็นคาบใดๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล ตัวอย่างเช่น ส่วนประกอบที่มีความถี่เป็น 2 เท่าของความถี่หลักมูลจะเรียกว่า ฮาร์โมนิกลำดับที่ 2 (second harmonics) เป็นต้นดังนั้นเราสามารถสรุปได้ว่ารูปคลื่นของกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าที่เป็นรูปไซน์ โดยสมบูรณ์ จะไม่มีฮาร์โมนิกรวมอยู่ด้วยในขณะที่รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าที่ ผิดเพี้ยนไปจากไซน์จะมีฮาร์โมนิกรวมอยู่ด้วยเสมอ การที่จะบอกว่ารูปคลื่นนั้นๆ ผิดเพี้ยนมาก หรือน้อยไปจากรูปคลื่นไซน์จะต้องพิจารณาจากค่า ความเพี้ยนฮาร์โมนิกรวม (total harmonic distortion : *THD*)

ความเพี้ยนฮาร์โมนิกรวม (total harmonic distortion : *THD*) หมายถึง อัตราส่วน ระหว่างค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสองของค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (rms) ของส่วนประกอบ ฮาร์โมนิก กับค่ากำลังสองเฉลี่ยของส่วนประกอบความถี่หลักมูล ดังแสดงในสมการที่ (2.8) และ (2.9) ค่า *THD* มีค่าน้อยจะหมายถึง สัญญาณฮาร์โมนิกรวมขนาดไม่มากปนกับความถี่หลัก มูล [1]

$$THD_v = \left[\left(\frac{V_{rms}}{V_1} \right)^2 - 1 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.8)$$

$$THD_i = \left[\left(\frac{I_{rms}}{I_1} \right)^2 - 1 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.9)$$

2.6.2 ผลกระทบของฮาร์โมนิกต่อระบบจ่ายไฟฟ้ากำลังหรือการไฟฟ้า

ผลกระทบที่เกิดจากฮาร์โมนิกต่อการไฟฟ้า สามารถแบ่งออกได้สองแบบด้วยกันคือ แบบระยะสั้นและแบบระยะยาว โดยแบบระยะสั้นผลกระทบจะสามารถเห็นได้ชัดและโดยมาก มักจะอยู่ในรูปของความเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่วนแบบระยะยาวจะตรวจสอบไม่ค่อย พบและมักจะอยู่ในรูปของความสูญเสียตัวต้านทานหรือแรงดันตก

ผลกระทบแบบระยะสั้นสามารถทำให้โหลดที่มีความไวสูงเกิดการทริปขึ้นได้เช่นโหลดที่ ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์จะไวต่อค่าความเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้าเป็นต้น

ในขณะที่ผลของฮาร์โมนิก จะทำให้ความเที่ยงตรงของเครื่องวัดไฟฟ้าลดลงและ นอกจากนั้นยังทำให้ฟิวส์ขาดและ อาจจะทำให้ตัวเก็บประจุทำงานผิดพลาดเพราะแรงดันไฟฟ้า ฮาร์โมนิกจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าฮาร์โมนิกส์เกินที่ตัวเก็บประจุ ซึ่งค่าความเพี้ยนของ แรงดันไฟฟ้าประมาณ 5% - 10% อาจมีผลทำให้ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสเพิ่มขึ้น 10% - 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ **62393** และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

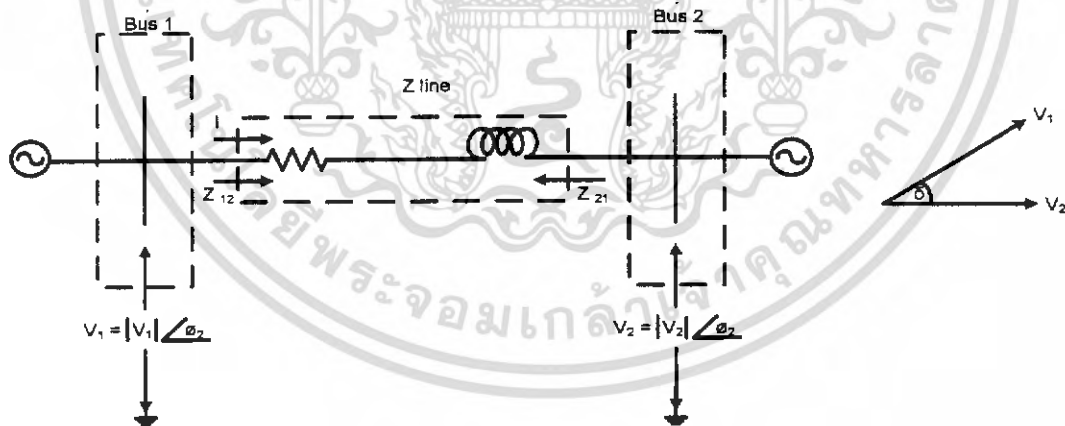
และนอกจากนั้นยังอาจจะเกิดค่าแรงดันเกินที่ไดอิเล็กทริก (dielectric) ของตัวเก็บประจุอีกด้วย ฮาร์โมนิกยังอาจจะทำให้เกิดความร้อนเกิน (overheating) ที่หม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งจะพบบ่อยในกรณีที่หม้อแปลงจ่ายโหลดแบบไม่เชิงเส้นเป็นจำนวนมาก โดยที่ในกรณีดังกล่าวการคิดพิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยทั่วไปจะนิยมคิดที่ค่าเท่ากับ 0.9 ของค่าที่พิกัดของกำลังไฟฟ้าปรากฏ (kVA) และยังทำให้เกิดกระแสเกินที่สายนิวทรอล (neutral) อีกด้วย

2.7 หลักการและทฤษฎีการต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับระบบไฟฟ้า

จากหลักการในทฤษฎีที่ได้กล่าวมาแล้ว ถ้าเราสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันไฟฟ้า ปริมาณเฟสและปรับความถี่ได้ เราก็สามารถที่จะทำให้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ที่เราสร้างขึ้นมาใช้ในการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าให้เป็นไปตามที่เราต้องการได้โดยใช้ ทฤษฎีการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟาระหว่างบัสสองบัสซึ่งเราสามารถต่อแรงดันอินเวอร์เตอร์เข้ากับแรงดันของระบบไฟฟ้า ได้โดยจะมีข้อกำหนดสามประการ คือ

- ขนาดแรงดันเท่ากัน
- ความถี่แรงดันเท่ากัน
- มุมเฟสแรงดันเท่ากัน

การควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟาระหว่างบัสสองบัส



รูปที่ 2.12 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า

ในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าโดยมีทิศทางไหลของกระแสและกำลังไฟฟ้าตามรูปซึ่งเป็นวงไลน์ไดอะแกรมแทนระบบส่งกำลังไฟฟาระหว่างบัส 1 กับบัส 2 และมีค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งเป็น $Z = R + jX$ ต่ออยู่ระหว่างบัสทั้งสอง ซึ่งมีสมการในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S_{12} = P_{12} + jQ_{12} = V_1 (I^*) \quad (2.10)$$

$$S_{21} = P_{21} + jQ_{21} = V_2 (-I^*) \quad (2.11)$$

$$I = \frac{V_1 - V_2}{Z} \quad (2.12)$$

โดยที่

S_{12} คือ กำลังไฟฟ้ายรวมที่ไหลจากบัส 1 ไปบัส 2

S_{21} คือ กำลังไฟฟ้ายรวมที่ไหลจากบัส 2 ไปบัส 1

P_{12} คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัส 1 ไปบัส 2

P_{21} คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัส 2 ไปบัส 1

Q_{12} คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ไหลจากบัส 1 ไปบัส 2

Q_{21} คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ไหลจากบัส 2 ไปบัส 1

V_1, V_2 คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส 1 และบัส 2 ตามลำดับ

I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากบัส 1 ไปบัส 2

Z คือ อิมพีแดนซ์ของสายส่ง

δ คือ มุมเฟาเวอร์แองเกิล (power angle) ซึ่งเป็นมุมต่างกัน

ระหว่างแรงดันไฟฟ้าทั้งสอง

$$P_{12} = \frac{|V_1||V_2|\sin\delta}{X} \quad (2.13)$$

$$Q_{12} = \frac{1}{X} (|V_1|^2 - |V_1||V_2|\cos\delta) \quad (2.14)$$

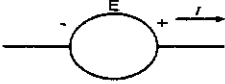
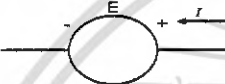
$$P_{21} = -\frac{|V_1||V_2|\sin\delta}{X} = -P_{12} \quad (2.15)$$

$$Q_{21} = \frac{1}{X} (|V_2|^2 - |V_1||V_2|\cos\delta) \quad (2.16)$$

เมื่อพิจารณาสมการ จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าจะแปรตามมุมเฟาเวอร์แองเกิล (power angle) โดยการคงที่แรงดันไฟฟ้าที่บัสทั้งสองและปรับค่ามุมเฟาเวอร์แองเกิลตั้งแต่ 0 ถึง 180 องศา ซึ่งจะทำให้กำลังไฟฟ้าไหลจากบัส 1 ไปบัส 2 โดยกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และจะสูงสุดที่มุมเฟาเวอร์แองเกิลเท่ากับ 90 องศาและจะลดลงเรื่อยๆเมื่อมุมเฟาเวอร์แองเกิลมากกว่า 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 หลักการในการพิจารณาการไหลของกำลังไฟฟ้าได้จากตารางดังต่อไปนี้

วงจร	ค่ากำลังไฟฟ้า
<p>แหล่งจ่าย</p> 	<p>เมื่อ P เป็น + ; จ่ายกำลังไฟฟ้าจริง P เป็น - ; รับกำลังไฟฟ้าจริง Q เป็น + ; จ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือน Q เป็น - ; รับกำลังไฟฟ้าเสมือน</p>
<p>แหล่งรับ</p> 	<p>เมื่อ P เป็น + ; รับกำลังไฟฟ้าจริง P เป็น - ; จ่ายกำลังไฟฟ้าจริง Q เป็น + ; รับกำลังไฟฟ้าเสมือน Q เป็น - ; จ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือน</p>

การควบคุมกำลังไฟฟ้าจากรูปที่ 2.12 สมมุติว่าแรงดัน (V_1) เป็นแรงดันที่ออกจากวงจรอินเวอร์เตอร์ และ (V_2) เป็นแรงดันของกริดระบบไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามมุมกำลัง (δ) กล่าวคือ ถ้ามุมกำลังเป็นบวกหรือมุมเฟสของอินเวอร์เตอร์ (V_1) ล้าหลังแรงดันของ กริดระบบไฟฟ้า (V_2) กำลังไฟฟ้าจะไหลจากระบบไฟฟ้าไปสู่อินเวอร์เตอร์ แต่ถ้ามุมกำลังมีค่าเป็นลบหรือมุมเฟสของแรงดันที่อินเวอร์เตอร์นำหน้าแรงดันของระบบไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าก็จะไหลจากอินเวอร์เตอร์ไปสู่ระบบไฟฟ้า

บทที่ 3

หลักการของระบบและรายละเอียดของวงจร

3.1 หลักการของระบบ

จากรูปที่ 2.1 การทำงานของระบบเริ่มต้นจากที่เราจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (V_d) มีค่าประมาณ 36 ถึง 60 โวลต์ ซึ่งจะเป็นช่วงการรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้ได้ 220 โวลต์ที่โหลดต่างๆ และมาผ่านวงจรเอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์และฟิลเตอร์เพื่อกรองฮาร์มอนิกในลำดับที่ 3,5,7,9,... ให้เหลือแต่ฮาร์มอนิกลำดับที่ 1 ได้เอาต์พุตที่มีขนาดของแรงดันประมาณ 220 โวลต์ การเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับระบบการไฟฟ้า สามารถเชื่อมโยงได้โดยใช้วงจรเอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ และสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ไปยังระบบการไฟฟ้าและโหลดที่อยู่ทางต้นระบบการไฟฟ้าโดยการปรับมุมเพาเวอร์แองเกิล ซึ่งเป็นการปรับมุมแรงดันเอาต์พุตของเอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ให้เลื่อนหน้าหน้าแรงดันของการไฟฟ้า เป็นหลักการของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าระหว่างบัส 2 บัส ซึ่งได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 2.7 ซึ่งก็คือการจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้า และช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดร่วมกับระบบการไฟฟ้านั่นเอง

3.2 วงจรกำลัง

ระบบที่ใช้ในการเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับระบบการไฟฟ้า และจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้าและโหลด มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 วงจรเอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์เป็นส่วนที่ใช้แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ที่เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมแบบพีดับบลิวเอ็ม เป็นการนำหลักการนำสัญญาณไซน์และสัญญาณสามเหลี่ยมมาเปรียบเทียบกัน โดยให้สัญญาณทั้งสองลอคไปด้วยกัน โดยใช้เฟสลอคลูป ซึ่งสัญญาณไซน์นำมาเปรียบเทียบสัญญาณสามเหลี่ยมสามารถเลื่อนไปข้างหน้าได้

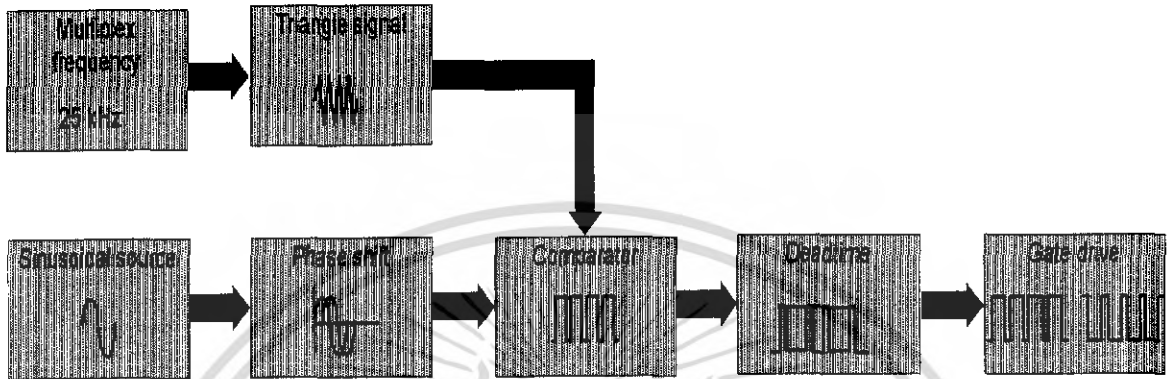
3.2.2 หม้อแปลงเพิ่มแรงดัน เป็นส่วนที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ออกจากวงจรเอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ให้สูงขึ้น เป็น 220 โวลต์

3.2.3 ตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านซึ่งเป็นวงจรแอลซี ฟิลเตอร์ใช้กรองสัญญาณเอสพีดับบลิวเอ็มให้เป็นสัญญาณไซน์

3.2.4 ตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในการเชื่อมโยงระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากชุดเอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์กับระบบการไฟฟ้าเพื่อให้ส่งกำลังไฟฟ้าได้

3.3 วงจรควบคุม

วงจรควบคุมของระบบจะมีส่วนหลักๆ คือ วงจรที่ใช้สร้างสัญญาณขับมอสเฟทของวงจรเอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์การสร้างสัญญาณขับของเอสพีดับบลิวเอ็มเป็นการสร้างสัญญาณแบบซิงโคไนท์ คือ สัญญาณไซน์กับสัญญาณสามเหลี่ยมลอคไปด้วยกัน

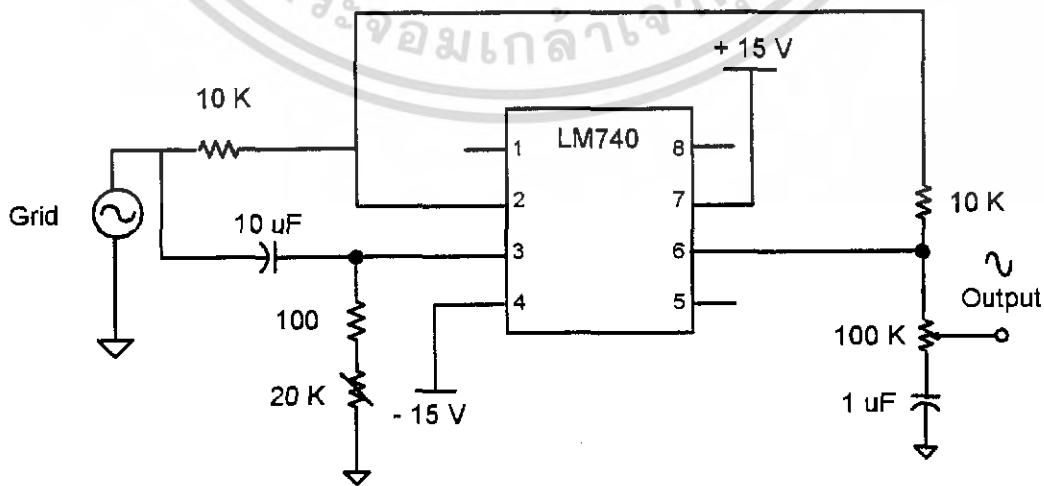


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงสัญญาณขับ SPWM อินเวอร์เตอร์

ซึ่งมีส่วนต่าง ๆ ของวงจรดังนี้

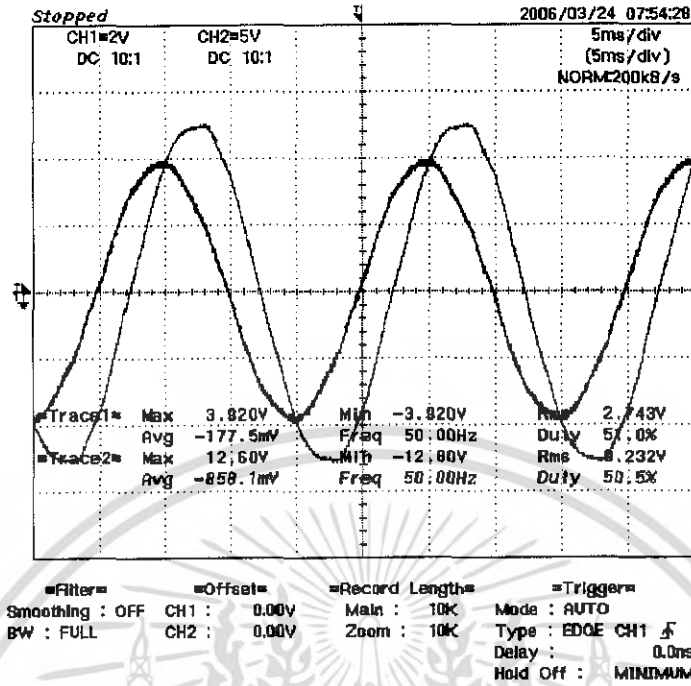
3.3.1 วงจรเลื่อนเฟส (phase shift)

ทำหน้าที่ปรับมุมกำลัง (δ) ให้ได้องศาที่ต้องการ โดยรับสัญญาณต้านเข้าคือแรงดันระบบการไฟฟ้าแล้วทำการเลื่อนเฟสให้แรงดันต้านออก นำหน้าแรงดันการไฟฟ้าซึ่งสามารถปรับค่ามุมเฟสและค่าขนาดแรงดันได้ด้วย โดยมุมเฟสสามารถปรับนำหน้าได้ตั้งแต่ 0-180 องศา แต่จากการออกแบบมุมกำลังจะทำการปรับได้ตั้งแต่ 0 -10 องศาเท่านั้น ส่วนความถี่ที่ได้จะมีค่าตรงกับค่าแรงดันการไฟฟ้า (50 Hz) โดยสัญญาณที่ได้จะนำไปเปรียบกับสัญญาณสามเหลี่ยมอีกที เพื่อทำการมอดูเลต รายละเอียดของการทำงานของ LM741 สามารถดูได้ที่ภาคผนวก ค.



รูปที่ 3.2 วงจรเลื่อนเฟส (phase shift)

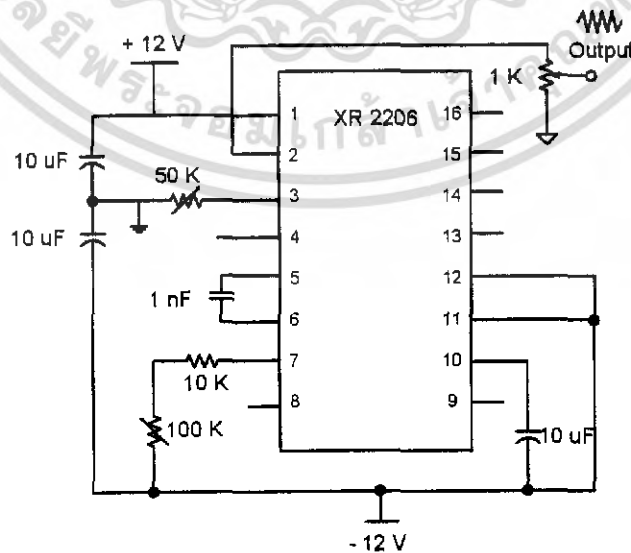
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 สัญญาณที่ปรับเฟสของวงจรเลื่อนเฟส

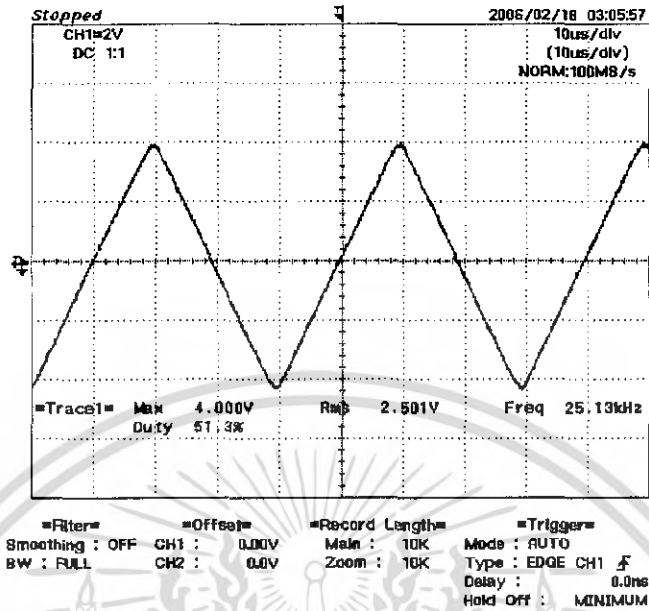
3.3.2 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม (triangle signal)

ทำหน้าที่สร้างสัญญาณสามเหลี่ยมซึ่งค่าความถี่เป็นความถี่ของการสวิตช์นั่นเอง โดยสามารถปรับความถี่และขนาดได้ด้วย ความถี่สามารถปรับได้ตั้งแต่ 10 -100 KHz ในที่นี้เลือกใช้ความถี่สวิตซ์ที่ 25 kHz เป็นหลักในการควบคุม สัญญาณที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณไซน์อีกทีเพื่อทำการมอดูเลต รายละเอียดของ XR-2206 สามารถดูได้ที่ภาคผนวก ค.



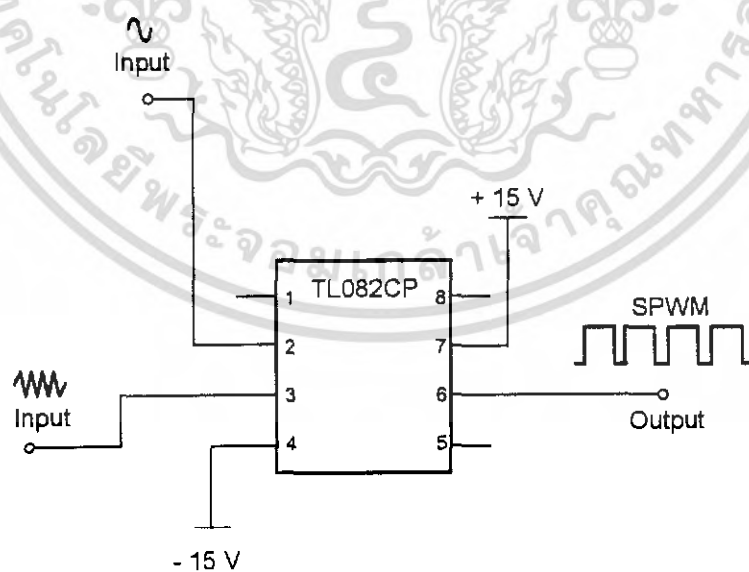
รูปที่ 3.4 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม (triangle signal)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



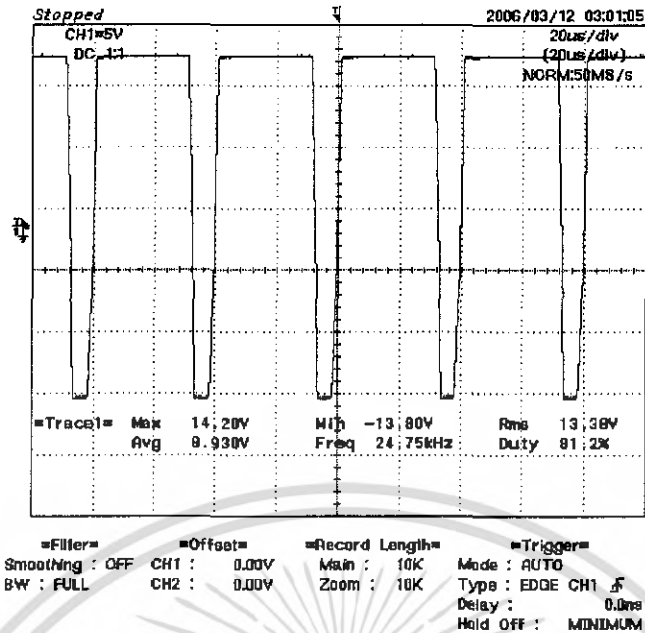
รูปที่ 3.5 สัญญาณสามเหลี่ยมที่มีความถี่ 25 kHz

3.3.3 คอมพาราเตอร์ (comparator) เป็นวงจรมีหน้าที่นำสัญญาณของ triangle และ sine ที่สามารถปรับ phase shift ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบเพื่อสร้างสัญญาณ SPWM



รูปที่ 3.6 วงจรคอมพาราเตอร์ (comparator)

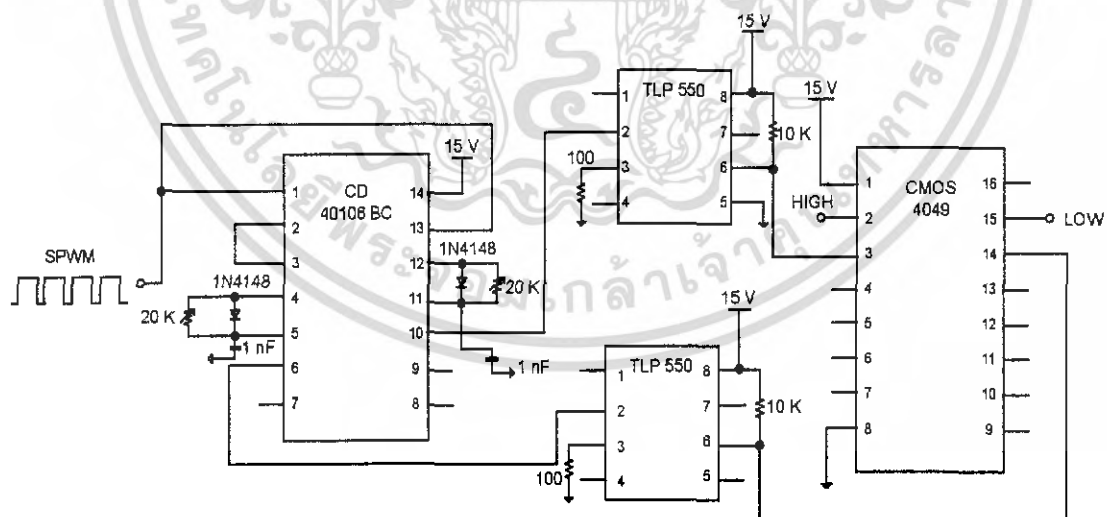
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



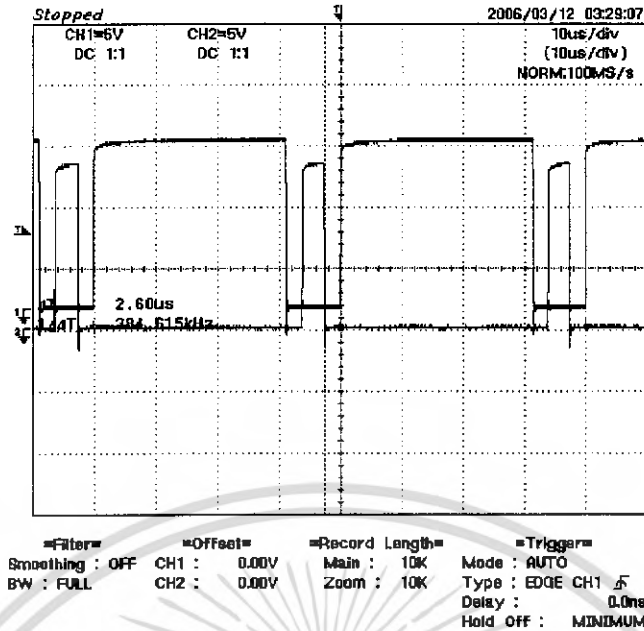
รูปที่ 3.7 สัญญาณ SPWM ที่ความถี่ 25 kHz

3.3.4 วงจรเดดไทม์ (dead time) และวงจรแยกกันทางแสง (opto isolator)

ทำหน้าที่ปรับสัญญาณ SPWM ให้แยกเป็นสองสัญญาณที่มีลักษณะของสัญญาณตรงกันข้ามกัน และมีช่วงเดดไทม์ แล้วจึงสัญญาณ ดังกล่าวไปยังวงจรแยกกันทางแสง เข้าวงจรขับนำสวิตซ์ต่อไป โดยงานวิจัยนี้ปรับไว้ที่ 2.6 μ s รายละเอียด TLP550 และ CD40106 แสดงไว้ในภาคผนวก



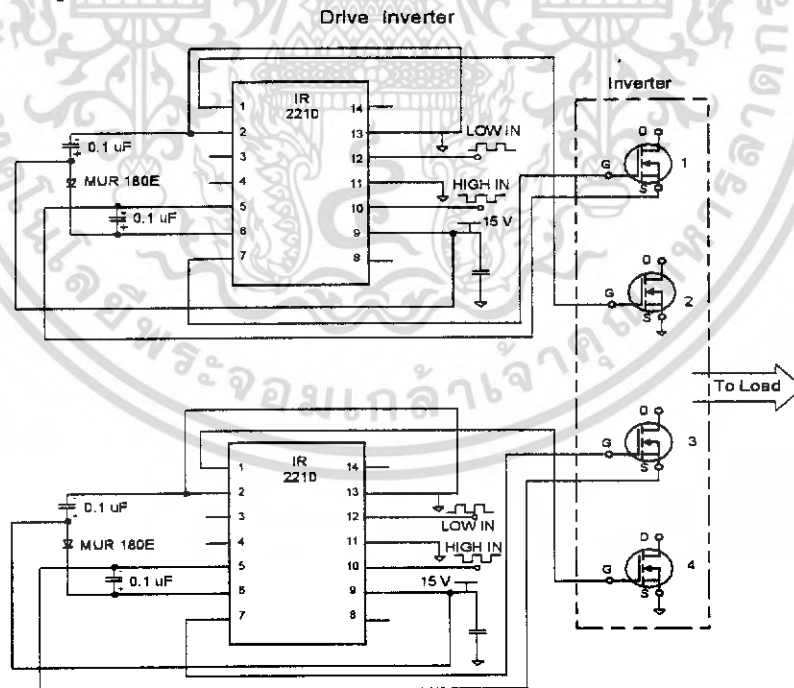
รูปที่ 3.8 วงจรเดดไทม์ (deadtime) วงจรแยกกันทางแสง (opto isolator)



รูปที่ 3.9 สัญญาณที่ขั้วเกต (high กับ low)

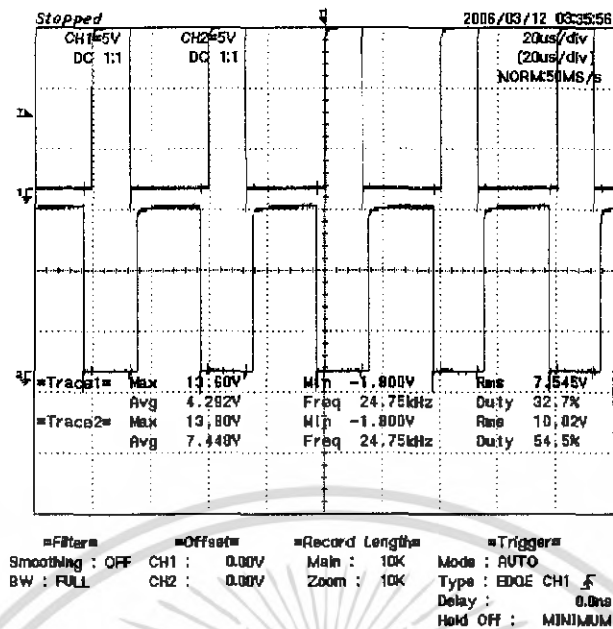
3.3.5 วงจรขับนำสวิตช์ (gate driver)

ทำหน้าที่นำสัญญาณที่ผ่านจากวงแยกกันทางแสงยกระดับให้สูงขึ้นพอที่จะขับนำสวิตช์ ทั้งด้านบัสบวก และ บัสลบ เป็นโครงสร้างของวงจรเรียกว่า booststrap โดยใช้ IR2110 หรือ IR2113 รายละเอียดดูได้ในภาคผนวก ก.



รูปที่ 3.10 วงจรขับเกตของอุปกรณ์สวิตช์ซิ่ง (gate driver)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 สัญญาณที่ออกจากวงจรขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

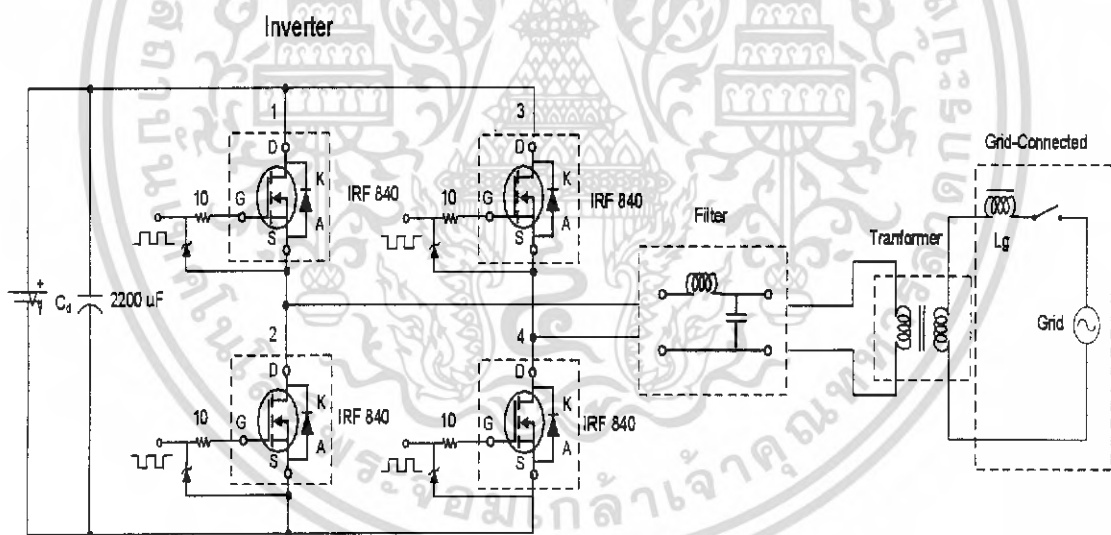
การคำนวณและออกแบบ

ในบทที่ 2 ได้กล่าวถึงคุณลักษณะอินเวอร์เตอร์สำหรับเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าแล้วนำมาซึ่งการออกแบบและสร้างอินเวอร์เตอร์ ที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าได้ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการคำนวณ พิกัด ของวงจรกำลังอินเวอร์เตอร์ รวมถึงการออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านต้านออกของอินเวอร์เตอร์เพื่อลดทอนสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าทางสายตัวนำ

4.1 วงจรกำลังอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบไฟฟ้า

4.1.1 อินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แสดงในรูปที่ 4.1

1. ชุดวงจรอินเวอร์เตอร์ (inverter circuit)
2. ชุดวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (low pass filter)
3. หม้อแปลงกำลัง (power transformer)
4. ตัวเหนี่ยวนำเชื่อมโยง



รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบของอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบไฟฟ้า

4.2 ขนาดพิกัดวงจรอินเวอร์เตอร์ต่อกับระบบไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้ ใช้ต้นแบบอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบบฟูลบริดจ์ โดยมีขั้นตอนการออกแบบดังต่อไปนี้

4.2.1 การหาขนาดพิกัดกำลังของอินเวอร์เตอร์

1.) หาพิกัดแรงดันต้านทานออกของอินเวอร์เตอร์

เมื่อกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้า (V_d) = 36 V และค่ามอดูเลชันที่สภาวะเอกสปกติ $m_a = 0.8$ สามารถคำนวณหาค่าแรงดันต้านทานออกของอินเวอร์เตอร์ได้ดังสมการที่ (4.1) งานการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\hat{I}_{ol} = ค่ายอดของกระแสต้านออกของอินเวอร์เตอร์

I_{ol} = ค่า rms ของกระแสต้านออกของอินเวอร์เตอร์

V_d = แรงดันด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์

\hat{V}_{ol} = ค่ายอดของแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์

V_{ol} = ค่า rms ของแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์

m_a = modulation index

$$\hat{V}_{ol} = V_{inv} = m_a V_d \quad (4.1)$$

$$\hat{V}_{ol} = 0.8 \times 36 = 28.8 \text{ V}$$

$$V_{ol} = \frac{\hat{V}_{ol}}{\sqrt{2}} = \frac{28.8}{\sqrt{2}} = 20.36 \text{ V}$$

สำหรับเงื่อนไขการแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าต่ำสุด ที่จะไม่ทำให้เกิดการทำงานในโหมดโอเวอร์มอดูเลชัน $m_a > 1.0$ โดยที่ค่าแรงดันด้านออกยังคงเดิมนั้น สามารถหาได้ดังนี้

$$V_d = \frac{\hat{V}_{ol}}{m_a} = \frac{28.8}{1} = 28.8 \text{ V}$$

ดังนั้นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์ต้องไม่ต่ำกว่า 28.8 โวลต์ เพื่อไม่ให้เกิดการโอเวอร์มอดูเลชัน ส่วนข้อเสียของการทำโอเวอร์มอดูเลชันนั้นได้กล่าวไว้แล้ว

2.) หาพิกัดกระแสต้านออกของอินเวอร์เตอร์

โดยกำหนด พิกัดกำลังด้านออก 40 w และค่าตัวประกอบกำลัง 0.9 จะได้

$$P_{ol} = V_{ol} \times I_{ol} \times \cos \theta \quad (4.2)$$

$$I_{ol} = \frac{P_{ol}}{V_{ol} \times \cos \theta} = \frac{40}{20.36 \times 0.9} = 3.1883 \text{ A}$$

$$\hat{I}_{ol} = \sqrt{2} \times I_{ol} = \sqrt{2} \times 3.1883 = 3.087 \text{ A}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) หาขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าด้านเข้า

โดยในที่นี้กำหนดค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าด้านออก เท่ากับ 40 w และ ประสิทธิภาพของ อินเวอร์เตอร์ไว้ 80% จากสูตร

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (4.3)$$

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta} \times 100\% = \frac{40}{80} \times 100\% = 50 \text{ w}$$

4.) หาพิกัดของกระแสตรงด้านเข้า โดยมีแรงดันกระแสตรงด้านเข้า 36 v หาค่าได้ดังนี้

$$P_d = I_d \times V_d \quad (4.4)$$

$$I_d = \frac{50}{36} = 1.38 \text{ A}$$

จากการคำนวณเบื้องต้น สามารถสรุปพิกัดกำลังของอินเวอร์เตอร์ได้ดังนี้

กระแสด้านเข้า (I_d)	1.38	แอมแปร์ (เฉลี่ย)
กระแสด้านออก (I_{ol})	3.087	แอมแปร์ (ด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลงกำลัง)
แรงดันกระแสตรงด้านเข้า (V_d)	36 - 60	โวลต์ (เฉลี่ย) (ปกติใช้ 36V)
แรงดันด้านออก (V_{ol})	20.365	โวลต์ (ด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลงกำลัง)
กำลังไฟฟ้าจริงด้านเข้า (P_d)	50	วัตต์
กำลังไฟฟ้าจริงด้านออก (P_o)	40	วัตต์
ประสิทธิภาพ	80%	(โดยประมาณ)
ค่าตัวประกอบกำลัง (PF)	0.9	(โดยประมาณ)

4.2.2 การหาขนาดพิกัดของตัวสวิตช์

จากการคำนวณพิกัดกระแสด้านออกสูงสุดเท่ากับ 3.087 A และแรงดันด้านเข้าสูงสุดที่กำหนดเท่ากับ 36V ตัวสวิตช์ที่ใช้ต้องมีขนาดพิกัดมากกว่า สองเท่าของกระแสแรงดันที่คำนวณได้ โดยมีพิกัดกระแส $2 \times 3.087 = 6.174$ แอมป์ และแรงดัน $2 \times 36 = 72$ โวลต์ ดังนั้นจึงเลือกใช้ MOSFET เบอร์ IRF 840 ของบริษัท international rectifier ซึ่งมีพิกัดกระแส 8 แอมแปร์ และมีพิกัดแรงดัน 500 โวลต์ รายละเอียดคุณสมบัติอื่นๆแสดงในภาคผนวก ค.

4.3 การออกแบบวงจรกรองความถี่

จากขั้นตอนการออกแบบ ต่อไปจะเป็นการออกแบบจริงที่ใช้ในโครงการนี้เพื่อเป็นตัวอย่างในการออกแบบ มีทั้งหมด 4 ขั้นตอนดังนี้

1) โครงการนี้ต้องการออกแบบวงจรกรองความถี่ที่ต้านออกของอินเวอร์เตอร์แบบ 1 เฟส ที่เชื่อมต่อกับระบบการไฟฟ้า พิกัด 40 วัตต์ ความถี่ต้านออกที่ต้องการคือ 50 เฮิร์ต โดยมีแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนคือ อินเวอร์เตอร์เอง และมีพิกัดต้านออกของอินเวอร์เตอร์ที่พิกัดดังต่อไปนี้

แรงดันต้านออกต่ำสุด = 20.36 V, กระแสต้านออกสูงสุด = 3 A

2) หาค่า

$$R_d = \frac{V_{\min}}{I_{\max}} \quad (4.5)$$

$$R_d = \frac{20.36}{3} = 6.78 \, \Omega$$

3) หาค่าความถี่คัทออฟ

$$F_0 = \frac{F}{2^{\frac{dB}{L}}} \quad (4.6)$$

$$F_0 = \frac{F}{2^{\frac{32}{12}}} = \frac{25000}{6.3} = 3,968 \, \text{Hz}$$

4) คำนวณหาค่า

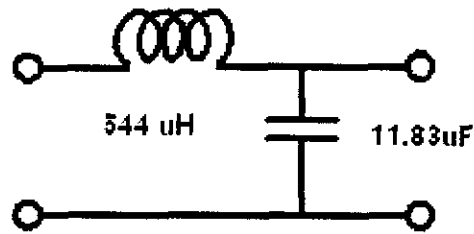
$$L = \frac{R_d}{\pi F_0} \quad (4.7)$$

$$L = \frac{6.78}{3.14(3,968)} = 544 \, \mu\text{H}$$

$$C = \frac{1}{\pi F_0 R_d} \quad (4.8)$$

$$C = \frac{1}{(3.14)(3,968)(6.78)} = 11.83 \, \mu\text{F}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ได้จากการคำนวณ

ส่วนของการออกแบบตัวเหนี่ยวนำเพื่อใช้ในวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านสามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้คือ

(ก) จากการคำนวณค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องการคือ 544 μH

(ข) คำนวณหาผลคูณพื้นที่ (A_p)

$$E = \frac{1}{2} LI_m^2 \quad (4.9)$$

$$E = \frac{1}{2} (544 \times 10^{-6}) (\sqrt{2} \times 3)^2 = 0.004896 \text{ J}$$

$$A_p = A_w A_c = \frac{2E}{K_w K_c J B_m} \quad (4.10)$$

$$A_p = \frac{2(0.004896)}{0.6 \times 1 \times (5 \times 10^6) (0.2)} = 1.632 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$A_p = 16,320 \text{ mm}^4$$

แทนค่า $B_m = 0.2$ เทสลา, $J = 5 \text{ A/m}^2$, $K_c = 1$ (สำหรับกรณีรูปคลื่นสัญญาณสี่เหลี่ยม) และ $K_w = 0.6$ (window utilization factor)

เลือกขนาดแกนแม่เหล็กจาก data sheet โดยเลือกค่าให้มากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ ในที่นี้ได้เลือกแกนเฟอร์ไรต์เบอร์ EE42/42/20 โดยมีขนาด

$$A_p = A_c \times A_w = 235 \times 270 = 63,450 \text{ mm}^4$$

ต้องทำการเลือกขนาดเฟื่อเพราะต้องมีการปรับเปลี่ยนค่าความเหนี่ยวนำให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงของวงจรกรอง

(ค) คำนวณหาจำนวนรอบในการพันตัวเหนี่ยวนำ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N = \frac{LI_m}{A_c B_m} \quad (4.11)$$

$$N = \frac{(544 \times 10^{-6})(3)}{235 \times 10^{-6} \times 0.2} = 34.723 \approx 35 \text{ รอบ}$$

(ง) คำนวณหาขนาดของขดลวดตัวนำ

$$a = \frac{I}{J} \quad (4.12)$$

$$a = \frac{3}{5} = 0.6 \text{ mm}^2$$

$$\Delta = \frac{75}{\sqrt{f}} = \frac{75}{\sqrt{25k}} = 0.47 \text{ mm}^2$$

เปิดตารางขดลวดเพื่อเลือกเบอร์ที่ใกล้เคียง คือ เบอร์ AWG 27 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.46 mm พื้นที่หน้าตัด 0.136 mm^2 นำมาตีเกลียวเท่ากับ $\frac{0.6}{0.136} = 5$ เส้น

(จ) การตรวจสอบสามารถทำได้โดยอาศัยเงื่อนไข

$$A_w K_w > a \cdot N$$

$$(270)(0.6) > (0.6)(35)$$

$$162 > 21 \quad \text{แสดงว่าเงื่อนไขเป็นจริง}$$

(ฉ) ช่องอากาศ

$$l_g = \frac{\mu_0 N^2 A_c}{L} \quad (4.13)$$

$$l_g = \frac{(4\pi \times 10^{-7})(35)^2 (235 \times 10^{-6})}{544 \times 10^{-6}} = 0.665 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การหาขนาดพิกัดหม้อแปลงกำลัง

พิกัดกำลังด้านออกที่กำหนดไว้ คือ 40 W แต่เนื่องจากการทดสอบพบว่ากระแสและกำลังไฟฟ้ามีโอกาสเกินพิกัดอยู่เสมอ จึงใช้หม้อแปลงกำลังมีพิกัดดังต่อไปนี้

พิกัดกำลังไฟฟ้าขนาด	40	วัตต์
พิกัดด้านแรงดันต่ำ(V_1)	12	โวลต์ 3 แอมแปร์
พิกัดด้านแรงดันสูง(V_2)	220	โวลต์ 0.3 แอมแปร์

สาเหตุที่เลือกพิกัดแรงดันด้านต่ำไว้ 12 โวลต์ ทั้งที่แรงดันด้านต่ำน่าจะเป็น 20.36 โวลต์ ตามแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์ เนื่องจากการทดสอบ จะมีแรงดันที่ตกคร่อมวงจรกรอง ประมาณ 9 โวลต์ จึงต้องออกแบบเผื่อไว้

4.5 การหาขนาดตัวเหนี่ยวนำเชื่อมโยง (L_g)

หน้าที่ของตัวเหนี่ยวนำ L_g นั้นมีหน้าที่หลักอยู่สองประการคือ

1. ทำหน้าที่จำกัดกำลังด้านออก โดยการควบคุมกระแสให้มีการไหลอย่างต่อเนื่องไม่เกินพิกัดที่กำหนด และยังส่งผลต่อมุมกำลังด้วยดังสมการที่ (4.5)
2. ทำหน้าที่ลดความผิดเพี้ยนของกระแสที่ส่งไปยังระบบการไฟฟ้า

แต่ถ้าหากตัวเหนี่ยวนำมีพิกัดที่ใหญ่เกินไป ทำให้มีแรงดันตกคร่อมที่ตัวเหนี่ยวนำมากเกินไป ทำให้แรงดันด้านออกไม่ได้ตามที่กำหนด อีกทั้งอาจมีผลต่อค่าตัวประกอบกำลัง โดยทำให้ค่าของ $\cos \phi$ ลดลง แต่อาจจะลดค่าความผิดเพี้ยนของกระแส $\left(\frac{I_{s1}}{I_s}\right)$ ด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบตัวเหนี่ยวนำให้เหมาะสมกับพิกัดกำลังที่ใช้งาน โดยกำหนดค่าเริ่มต้นดังต่อไปนี้

แรงดันระบบการไฟฟ้า (V_g)	220	โวลต์
แรงดันอินเวอร์เตอร์ (V_{INV})	220	โวลต์
ความถี่ (f_1)	50	เฮิรตซ์
กำลังเอาต์พุต (P_g)	40	วัตต์
มุมกำลังสูงสุด (δ)	10	องศา

จากสมการที่ (3.31) คำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำ ได้ดังนี้

$$P_g = \frac{V_g \cdot (V_{inv}) \cdot \sin \delta}{\omega L_g} \quad (4.14)$$

$$\omega L_g = \frac{V_g \cdot (V_{inv}) \cdot \sin \delta}{P_g} \quad (4.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าพิกัดต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$\omega L_g = \frac{(220 \times 220) \sin 10^\circ}{40}$$

$$L_g = \frac{\omega L_g}{2\pi f_1} = \frac{210.114}{2\pi \times 50} = 669 \text{ mH}$$

ผลจากการคำนวณ ได้ค่าตัวเหนี่ยวนำเชื่อมโยง ประมาณ 669 mH

หาขนาดของกระแสที่ไหลในตัวเหนี่ยวนำ จากสมการ (4.7) โดยกำหนดให้ขนาดของแรงดันมูลฐานด้านออกของอินเวอร์เตอร์นำหน้าแรงดันระบบการไฟฟ้า อยู่ 10 องศา เพื่อให้อินเวอร์เตอร์สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังระบบการไฟฟ้าได้ จะได้ดังสมการนี้

$$I_{g1} = \frac{V_g \angle 0^\circ - V_{inv} \angle \delta}{j\omega L_g} = \frac{220 \cos \theta - j220 \angle 10^\circ}{j210.114} \quad (4.16)$$

$$I_{g1} = \frac{(220 \cos 0^\circ + j220 \sin 0^\circ) - (220 \cos 0^\circ + j220 \sin 10^\circ)}{j210.114}$$

$$I_{g1} = \frac{3.34 - j38.2}{j210.114} = \frac{38.35 \angle -85^\circ}{210.114 \angle 90^\circ} = 0.1825 \angle -175^\circ \text{ A}$$

จะเห็นได้ว่ามุมของกระแสจะติดลบ แสดงว่ากระแสมีการไหลกลับทิศที่กำหนด โดยสมการ(4.7) นี้กำหนดให้กระแสไหลจากระบบการไฟฟ้าไปยังอินเวอร์เตอร์ ดังนั้นทิศทางกระแสนี้จึงไหลจากอินเวอร์เตอร์ไปยังระบบการไฟฟ้า โดยมีขนาดของกระแส คือ $|I_{g1}| = 0.1825 \text{ A}$

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

บทนำ

ต้นแบบอินเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นมามีขนาดกำลังไฟฟ้าด้านออก 40 วัตต์ ใช้ตัวเหนี่ยวนำ L_s ที่มีขนาด 669 mH การทดสอบอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ขนาดแรงดัน 230 - 240 โวลต์ ความถี่ (frequency) 50 เฮิรตซ์ และขนาดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 50 – 60 โวลต์ เพื่อจะนำไปหาค่ากำลังไฟฟ้าด้านออก ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ประสิทธิภาพ ของอินเวอร์เตอร์

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในที่นี้ จะเป็นแรงดันไฟฟ้าจากวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์เพื่อจำลองแรงดันที่เปลี่ยนแปลงระหว่าง 50 – 60 โวลต์ ผลการทดสอบแบ่งเป็นส่วนๆดังนี้

1. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์
2. ผลการทดสอบจ่ายกำลังเอาต์พุตต่อกับกริดระบบไฟฟ้า

5.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดไฟฟ้า

เครื่องมือวัดไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบประกอบด้วยเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า และเครื่องวัดแรงดันและกระแส มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ดิจิตอลออสซิลโลสโคปรุ่น DL 1520 8 bit 200 Ms/s 150 MHz YOKOGAWA ใช้ในการวัดรูปคลื่นสัญญาณการทดลอง
2. FLUKE 43 POWER ใช้ในการบันทึกค่า กระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้าและค่าตัวประกอบกำลังในส่วนของไฟฟ้ากระแสสลับและรูปคลื่นที่ได้จากอินเวอร์เตอร์
3. MULTIMETER รุ่น 973 A ของ HEWLETT PACKARD ใช้ในการวัดแรงดันไฟฟ้าด้านไฟตรง
4. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับปรับค่าได้ (voltage regulator) stendal SD 16 capacity 4 kVA max 16 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 วิธีการคำนวณ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพ

ค่ากำลังไฟฟ้า แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากการทดสอบมีดังต่อไปนี้

V_d = แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (โวลต์ , ค่าเฉลี่ย)

I_d = กระแสอินพุต (แอมแปร์ , ค่าเฉลี่ย)

V_g = แรงดันกริดระบบไฟฟ้า (โวลต์ , ค่าอาร์เอ็มเอส)

I_g = กระแสเอาต์พุต (แอมแปร์ , ค่าอาร์เอ็มเอส)

P_d = กำลังไฟฟ้าอินพุต (W)

P_g = กำลังไฟฟ้าเอาต์พุต (W)

S_g = กำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA)

Q_g = กำลังไฟฟ้าเสมือน (VAR)

η = ประสิทธิภาพ (เปอร์เซ็นต์)

PF = ตัวประกอบกำลัง

การคำนวณเพิ่มเติมมีดังต่อไปนี้

$$P_d = V_d \times I_d \quad (5.1)$$

$$P_g = V_g \times I_g \times \cos \theta \quad (5.2)$$

$$S_g = V_g \times I_g \quad (5.3)$$

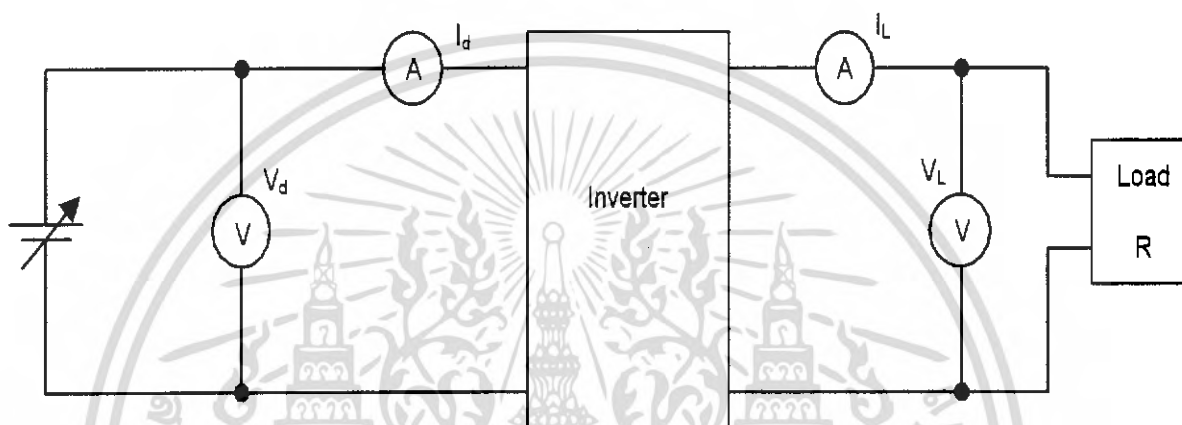
$$PF = \frac{P_g}{S_g} \quad (5.4)$$

$$\eta = \frac{P_g}{P_d} \times 100 \quad (5.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ผลการทดสอบจ่ายกำลังเอาต์พุตต่อกับโหลดความต้านทาน

การทดสอบวัดค่ากระแสแรงดัน และกำลังไฟฟ้าขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า (no load) และขณะจ่ายให้กับโหลดค่าความต้านทาน มีวงจรการทดลองดังแสดงในตามรูปที่ 5.1 และผลการทดลองดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.1 วงจรทดสอบอินเวอร์เตอร์ต่อกับโหลดความต้านทาน

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบที่ขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้า (no load)

m_a	power output						
	P (W)	S (VA)	Q (VAR)	PF	DPF	THD_i (%)	THD_o (%)
0.6	0	0	0	0.98	1.0	0	4.2
0.8	0	0	0	0.9	0.94	0	5.9
1.0	0	0	0	0.95	0.97	0	12.9
1.2	0	0	0	1.0	0.94	0	12.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

m_a	input			output	
	V_d (V)	I_d (A)	P_d (W)	V_L (V)	I_L (A)
0.6	64.5	0.07	4.51	224.6	0
0.8	53.2	0.12	6.38	225.2	0
1.0	36.21	0.48	17.38	222.7	0
1.2	34.32	0.67	22.98	226.7	0

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบจ่ายโหลดความต้านทาน ที่ $m_a = 0.8$

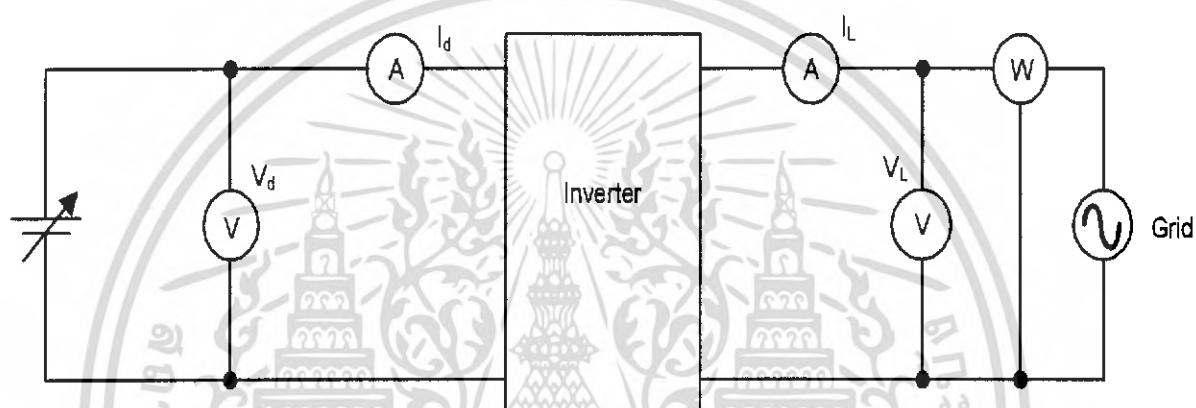
load (W)	power output						
	P (W)	S (VA)	Q (VAR)	PF	DPF	THD_i (%)	THD_v (%)
0	0	0	0	0.98	1.0	0	4.2
40	40	40	0	0.97	1.0	15.7	9.2
60	50	50	0	0.89	0.98	12.5	7.3

load	input			output		η (%)
	V_d (V)	V_d (V)	V_d (V)	V_L (V)	I_L (A)	
0	64.5	64.5	64.5	224.6	0	0
40	80.15	80.15	80.15	230.5	0.13	63.6
60	85.48	85.48	85.48	227.1	0.25	62.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ผลการทดสอบจ่ายกำลังเอาต์พุตต่อกับกริดระบบไฟฟ้า

การทดสอบอินเวอร์เตอร์จ่ายกำลังเอาต์พุตต่อกับกริดระบบไฟฟ้า กำหนดให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าคงที่ และปรับเปลี่ยนค่า m_u ที่ 0.8, 0.9 และ 1.0 เพื่อทดสอบหาค่ากำลังเอาต์พุตตัวประกอบกำลัง และประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ มีวงจรการทดลองดังแสดงในตามรูปที่ 5.2 และผลการทดสอบดังต่อไปนี้



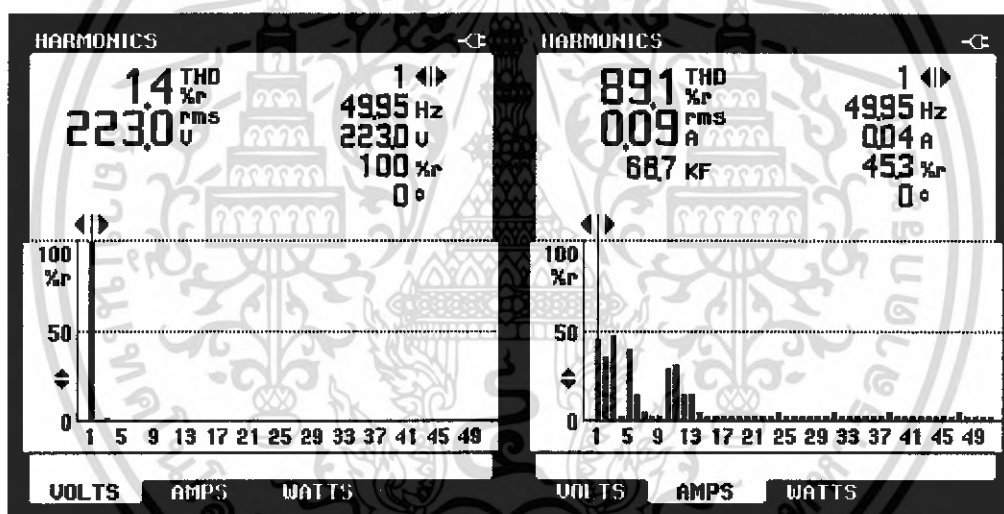
รูปที่ 5.2 วงจรทดสอบอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ที่ m_u 0.8

power flow (W)	power output						
	P (W)	S (VA)	Q (VAR)	PF	DPF	THD_i (%)	THD_v (%)
0	0	0	0	0	0	69.98	1.4
10	10	10	10	0.64	0.83	57.9	1.4
20	20	50	50	0.32	0.34	24.4	1.4
30	30	60	60	0.41	0.44	19.7	1.4
40	40	100	90	0.35	0.38	14.8	1.5

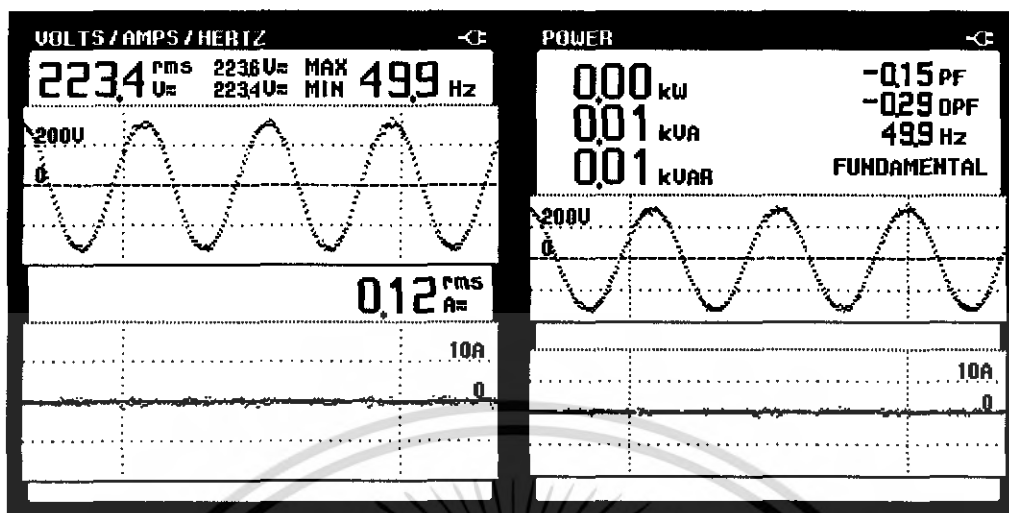
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

load (W)	input			output		η (%)
	V_d (V)	I_d (A)	P_d (W)	V_g (V)	I_g (A)	
0	60.1	0	0	224.6	0	0
10	60.4	0.28	16.91	224.0	0.05	59.11
20	60.5	0.58	35.09	224.0	0.25	56.9
30	60.6	0.87	52.72	224.2	0.33	56.9
40	61.3	1.18	72.33	224.4	0.45	55.3

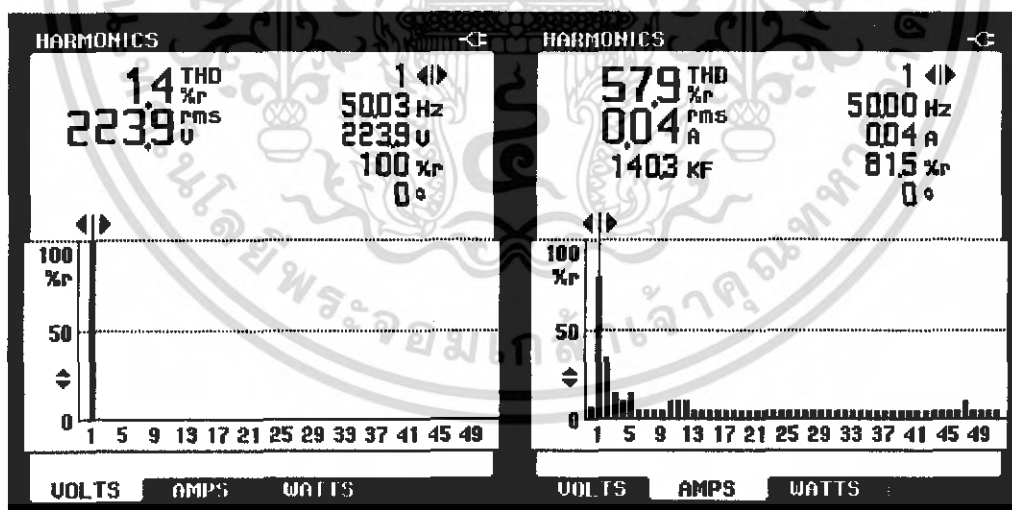


รูปที่ 5.3 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 0.8$, ขณะไม่จ่ายกำลังไฟฟ้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

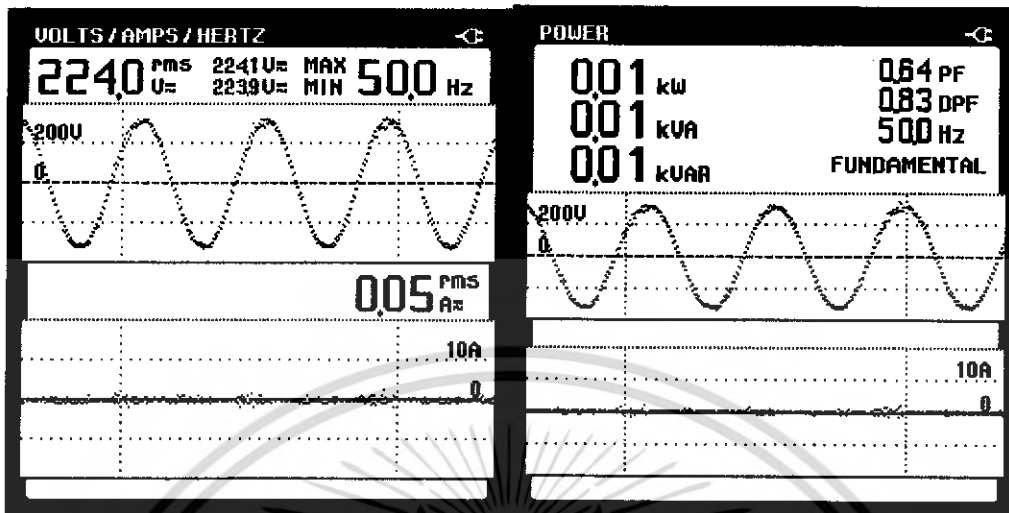


รูปที่ 5.4 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_a = 0.8$, ขณะไม่จ่ายกำลังไฟฟ้า)

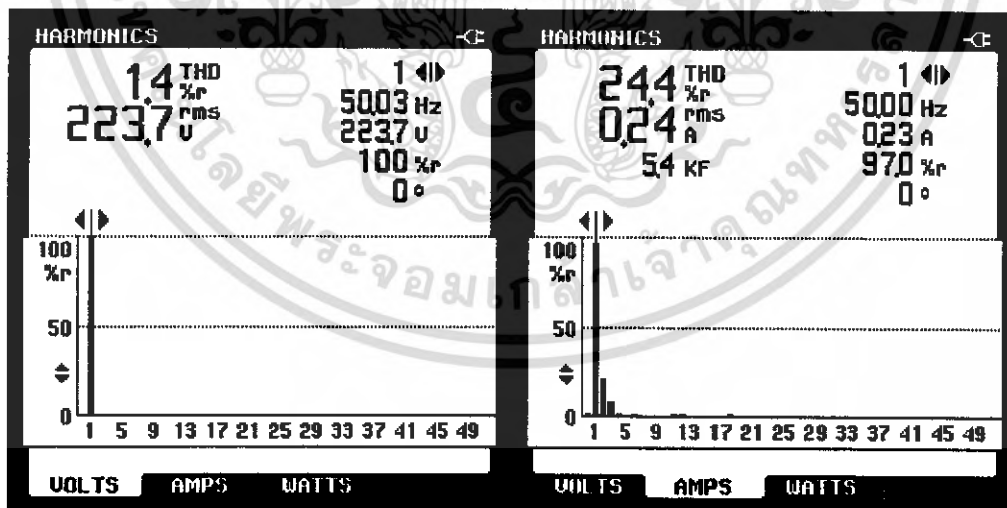


รูปที่ 5.5 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 0.8$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 10 w)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

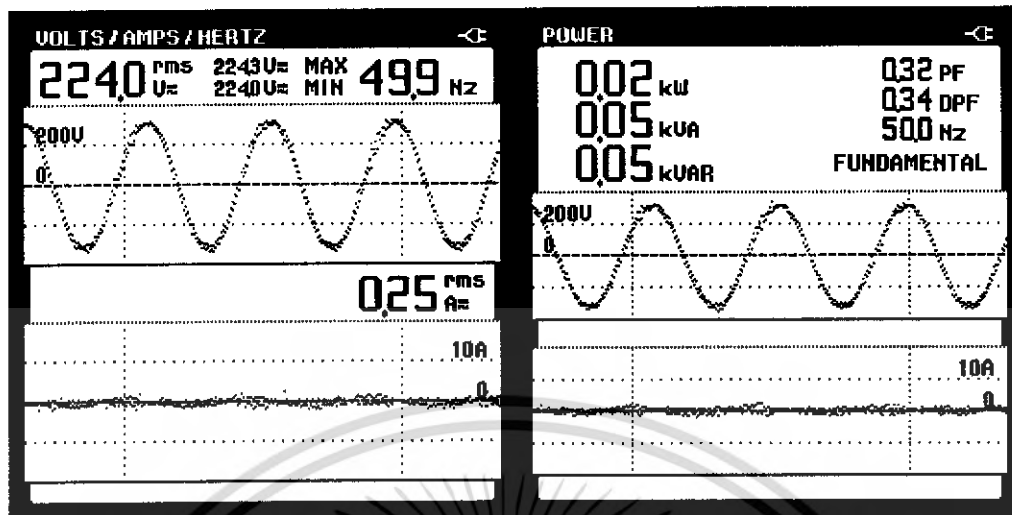


รูปที่ 5.6 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า
($m_a = 0.8$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 10 w)



รูปที่ 5.7 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 0.8$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 20 w)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

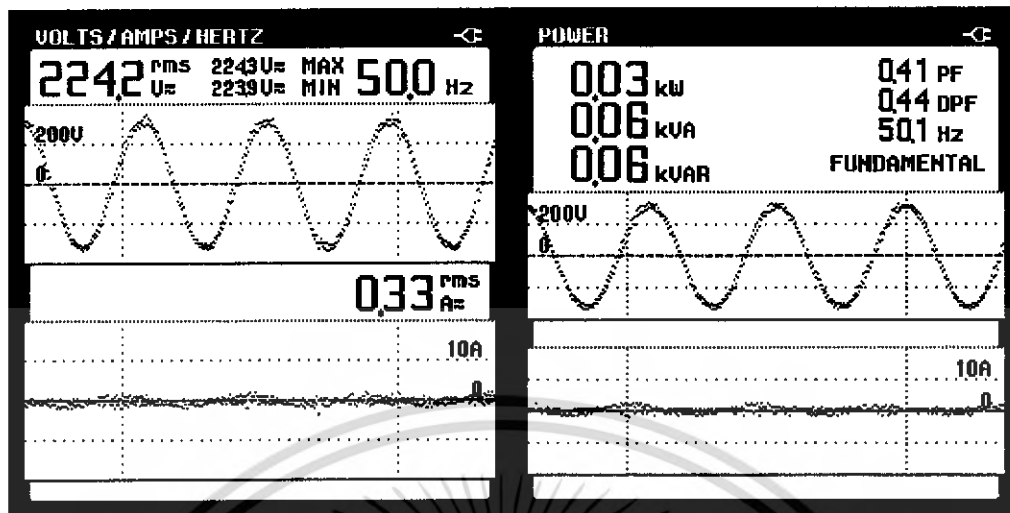


รูปที่ 5.8 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า
($m_a = 0.8$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 20 w)

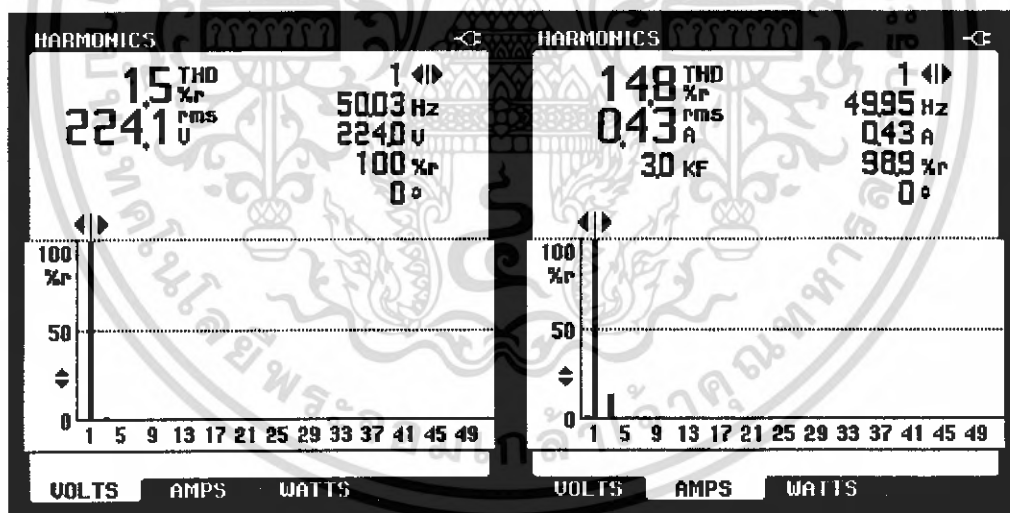


รูปที่ 5.9 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 0.8$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 30 w)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

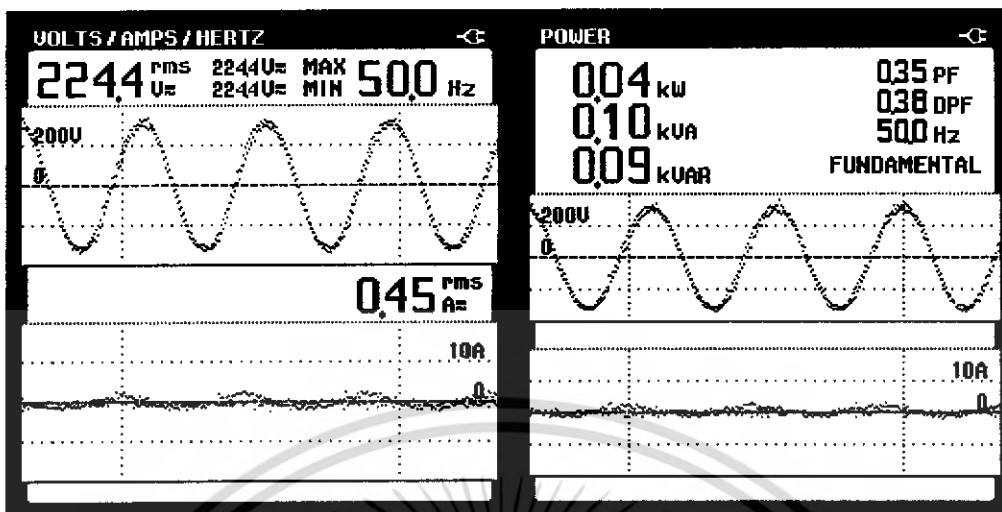


รูปที่ 5.10 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_d = 0.8$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 30 w)

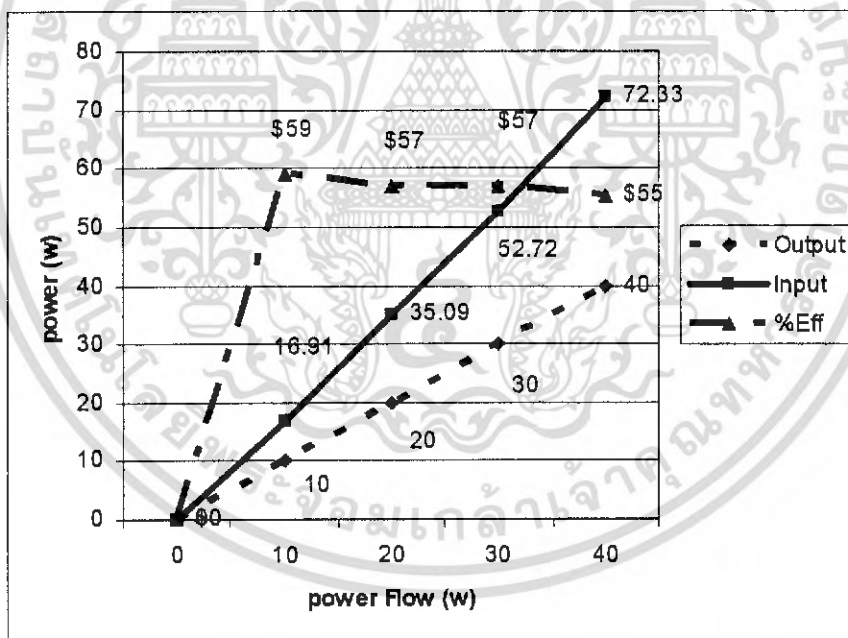


รูปที่ 5.11 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_d = 0.8$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 40 w)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

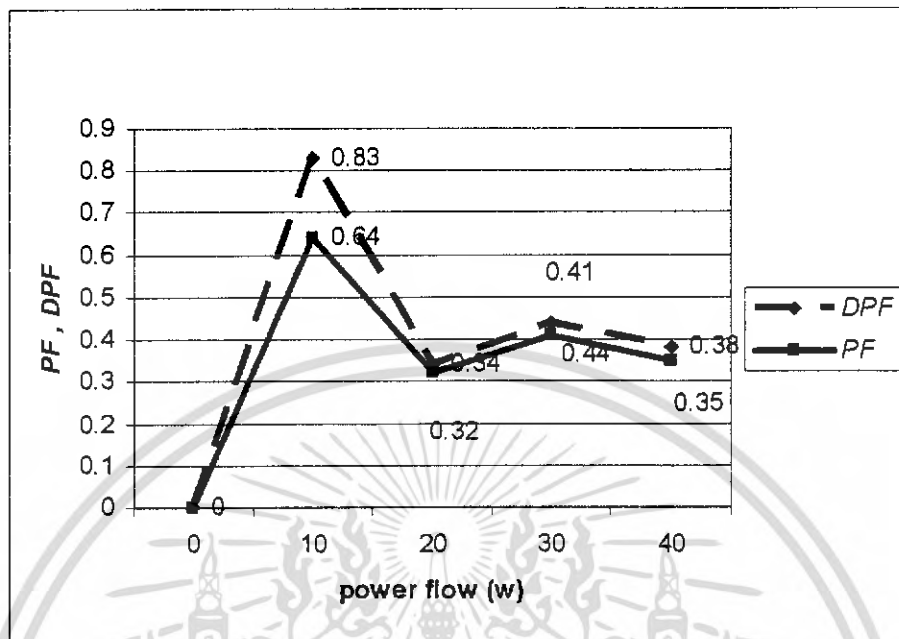


รูปที่ 5.12 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังแอดพทิฟของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_o = 0.8$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 40 w)



รูปที่ 5.13 กราฟอินพุต แอดพทิฟ และประสิทธิภาพที่ $m_o = 0.8$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 กราฟตัวประกอบกำลังที่ $m_d = 0.8$

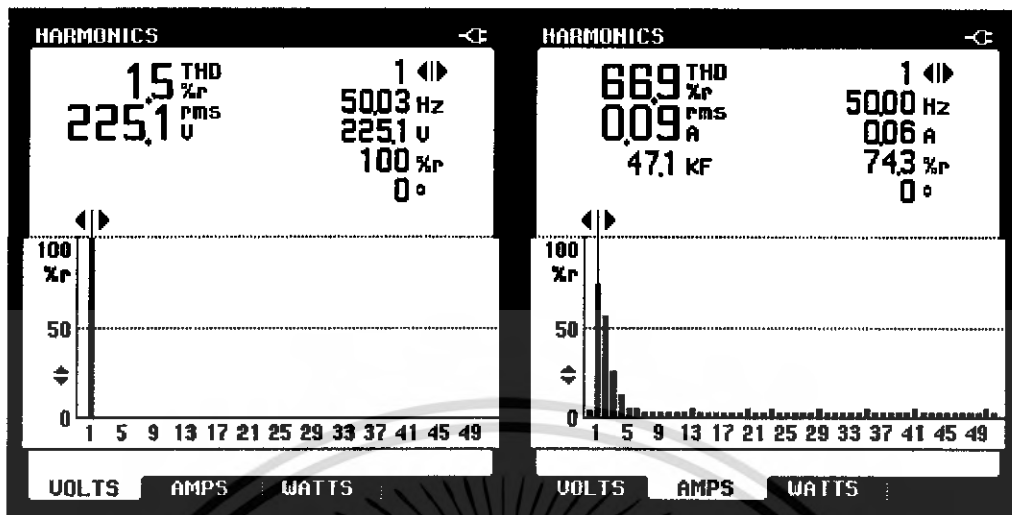
จากการทดสอบที่ในกรณีที่จ่าย power flow ให้กับระบบการไฟฟ้า เมื่อปรับ $m_d = 0.8$ ที่กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า 40 วัตต์ THD_i จะมีค่าสูงเนื่องจากวงจรกรองความถี่ยังทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ ที่กระแสพิกัดที่ออกแบบไว้เท่านั้น แต่ THD_i จะมีคุณภาพดีขึ้นเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ 40 วัตต์ ในส่วนของ PF และ DPF มีค่าต่ำลงเมื่อทำการกำลังไฟฟ้าไหลเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของการปรับมุมเฟาเวอร์เองเกิด ดังนั้นในการที่ PF และ DPF จะส่งผลให้ระบบของอินเวอร์เตอร์ต้องจ่ายค่ากำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ (VA) มากขึ้นเพราะอินเวอร์เตอร์มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือน (VAR) มากขึ้นนั่นเอง

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ที่ m_o 0.9

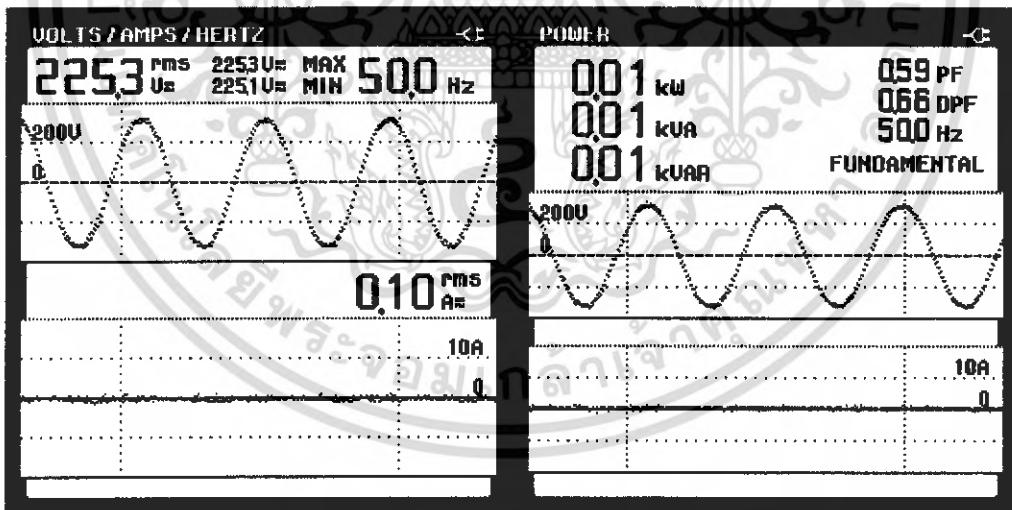
power flow (W)	power output						
	P (W)	S (VA)	Q (VAR)	PF	DPF	THD_i (%)	THD_v (%)
0	0	0	0	0	0	66.9	1.5
10	10	10	10	0.9	0.8	61.0	1.6
20	20	30	30	0.57	0.58	29.0	1.5
30	30	40	50	0.57	0.63	23.4	1.6
40	40	70	60	0.52	0.55	19.5	1.7

load (W)	input			output		η (%)
	V_d (V)	I_d (A)	P_d (W)	V_g (V)	I_g (A)	
0	54.3	0	0	225.3	0	0
10	55	0.32	17.6	225.6	0.1	56.81
20	55.5	0.65	36.07	225.2	0.19	55.45
30	55.8	0.98	54.68	224.8	0.25	54.86
40	55.5	1.4	77.7	224.9	0.35	51.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

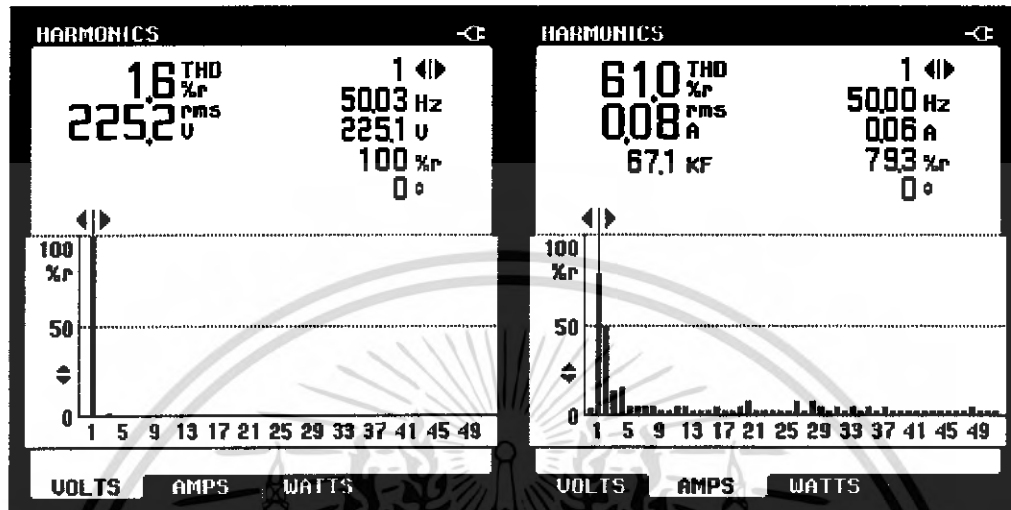


รูปที่ 5.15 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 0.9$, ขณะไม่จ่ายกำลังไฟฟ้า)

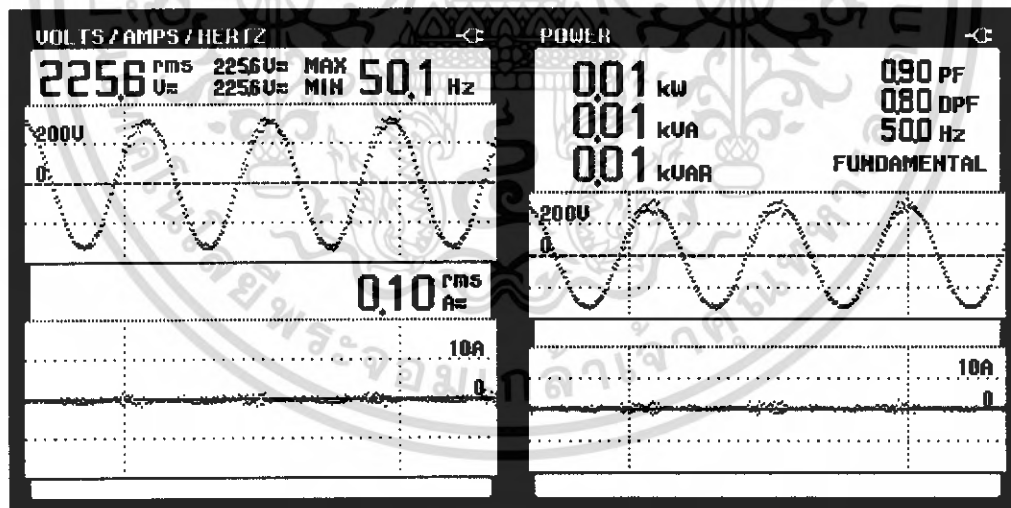


รูปที่ 5.16 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_a = 0.9$, ขณะไม่จ่ายกำลังไฟฟ้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

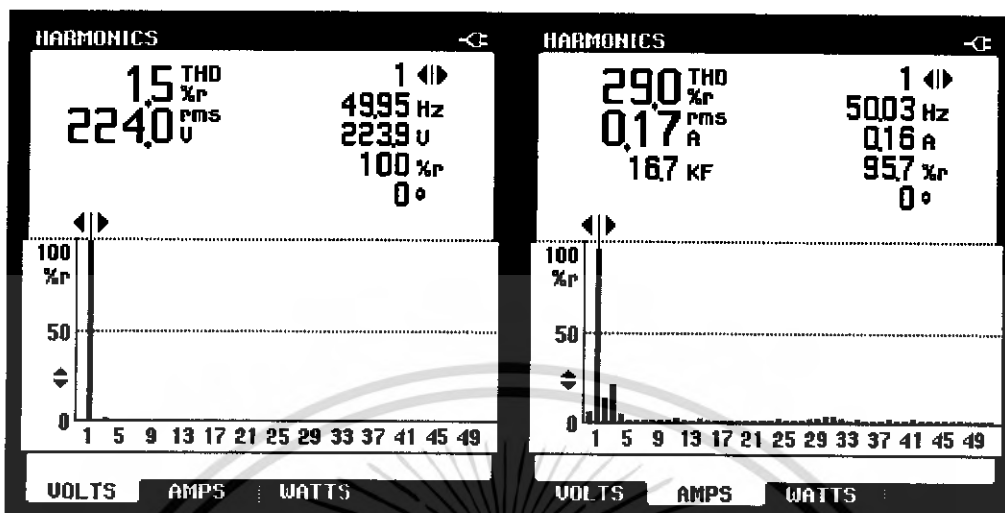


รูปที่ 5.17 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 0.9$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 10 w)

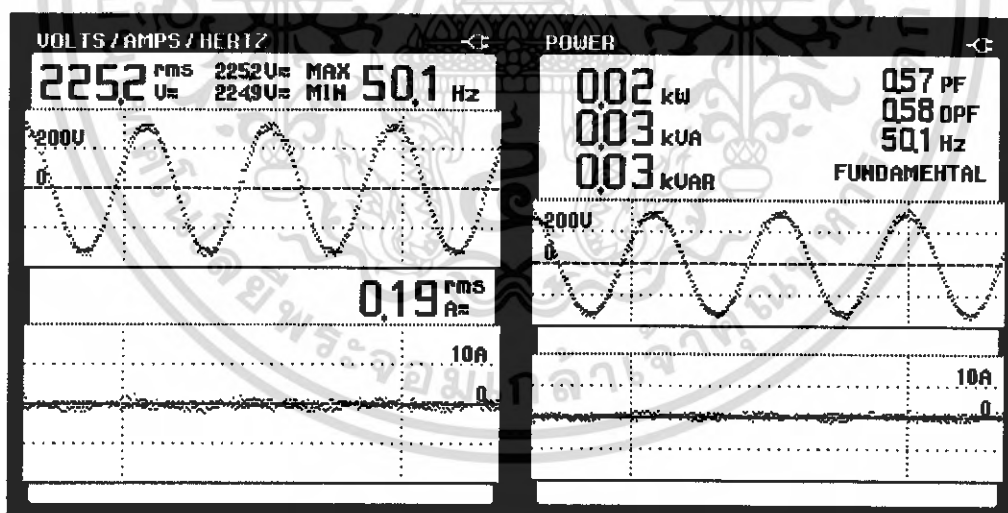


รูปที่ 5.18 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังแอมป์ของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_a = 0.9$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 10 w)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

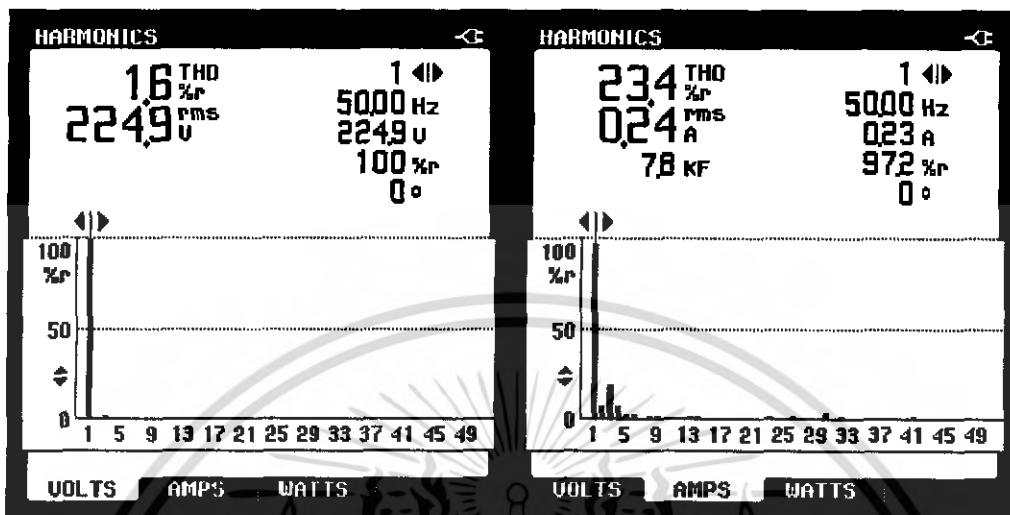


รูปที่ 5.19 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 0.9$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 20 w)

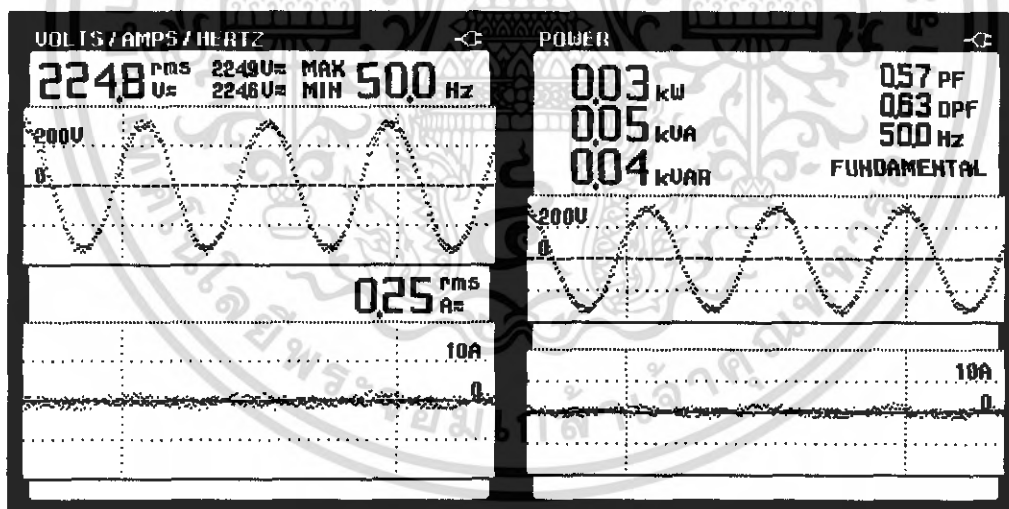


รูปที่ 5.20 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า
($m_a = 0.9$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 20 w)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

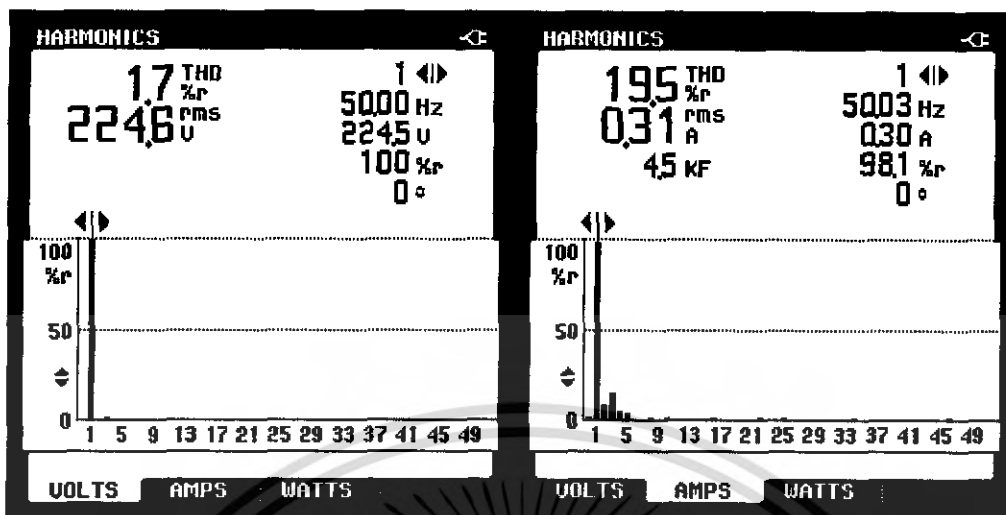


รูปที่ 5.21 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 0.9$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 30 w)

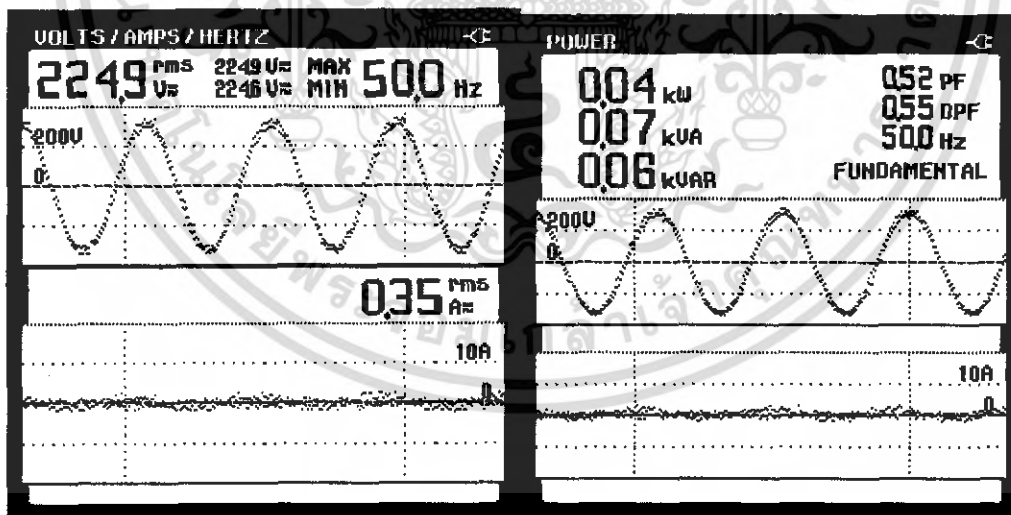


รูปที่ 5.22 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า
($m_a = 0.9$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 30 w)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

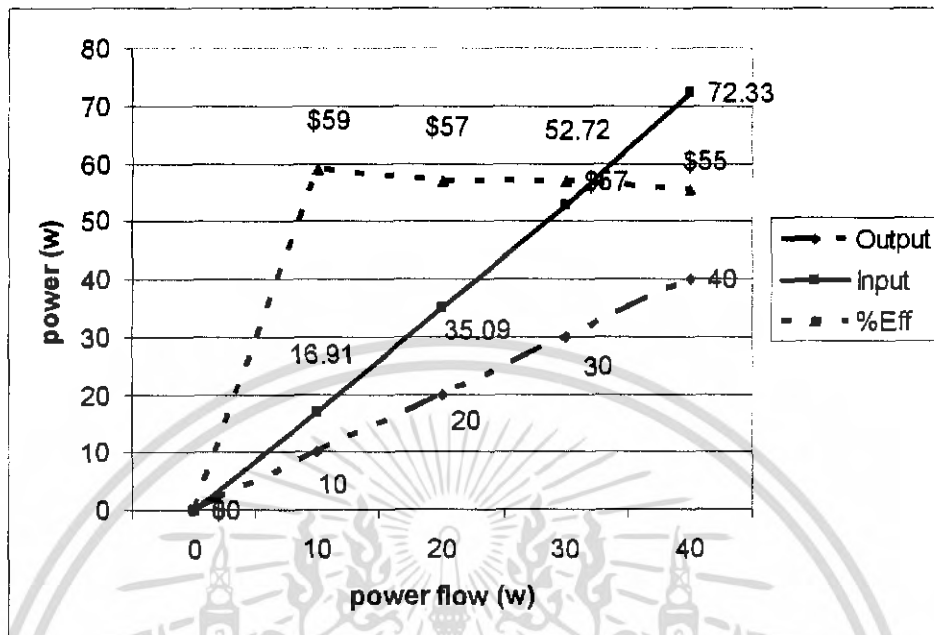


รูปที่ 5.23 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_o = 0.9$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 40 w)

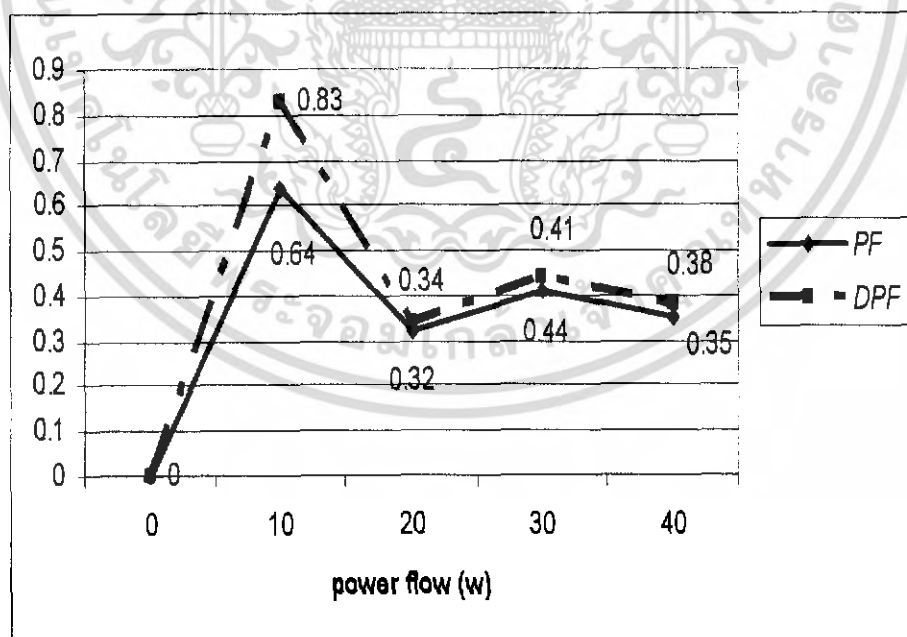


รูปที่ 5.24 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_o = 0.9$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 40 w)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.25 กราฟอินพุต เอาต์พุต และประสิทธิภาพที่ $m_a = 0.9$



รูปที่ 5.26 กราฟตัวประกอบกำลังที่ $m_a = 0.9$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

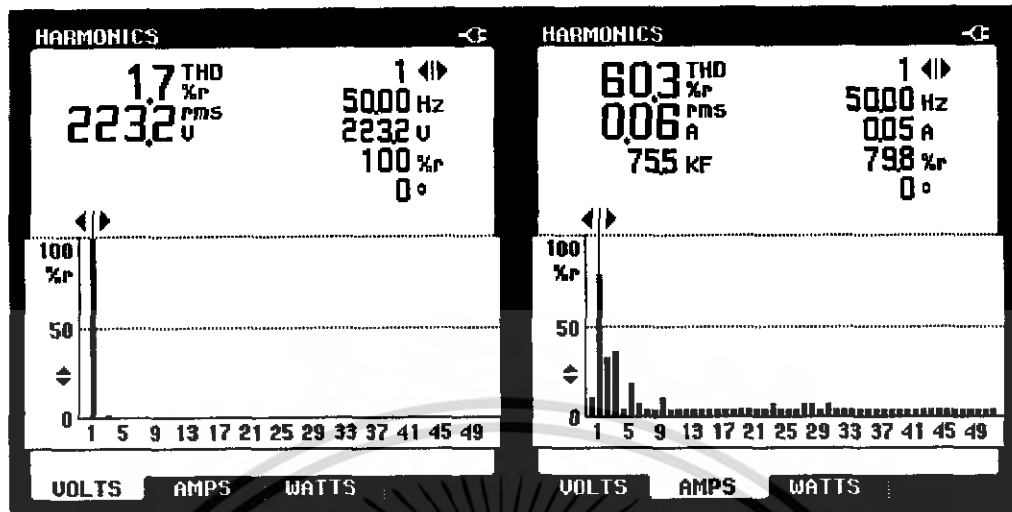
จากผลการทดสอบที่ $m_a = 0.9$ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ปรับ $m_a = 0.8$ ต้องใช้แรงดันอินพุตกระแสตรงประมาณ 54 - 55 V_{dc} คือแรงดันอินพุตจะจ่ายให้วงจรอินเวอร์เตอร์มีค่าน้อยลง และจะได้ *PF* และ *DPF* ที่มีค่าสูงขึ้นกว่าเดิม ส่งผลต่อการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ (*VA*) แต่การปรับค่าที่ $m_a = 0.9$ ก็จะมีข้อเสียอยู่คือจะทำให้เกิดฮาร์มอนิกเพิ่มขึ้นในระบบทำให้ค่า *THD_v* และ *THD_i* มีค่าสูงขึ้นตามลำดับ ก็จะทำให้ค่ากระแสต้านเข้า (*I_d*) สูงตามไปด้วย จากค่าฮาร์มอนิกที่เพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดค่าความสูญเสียในระบบเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้ประสิทธิภาพที่ได้ลดน้อยลง

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ที่ m_a 1.0

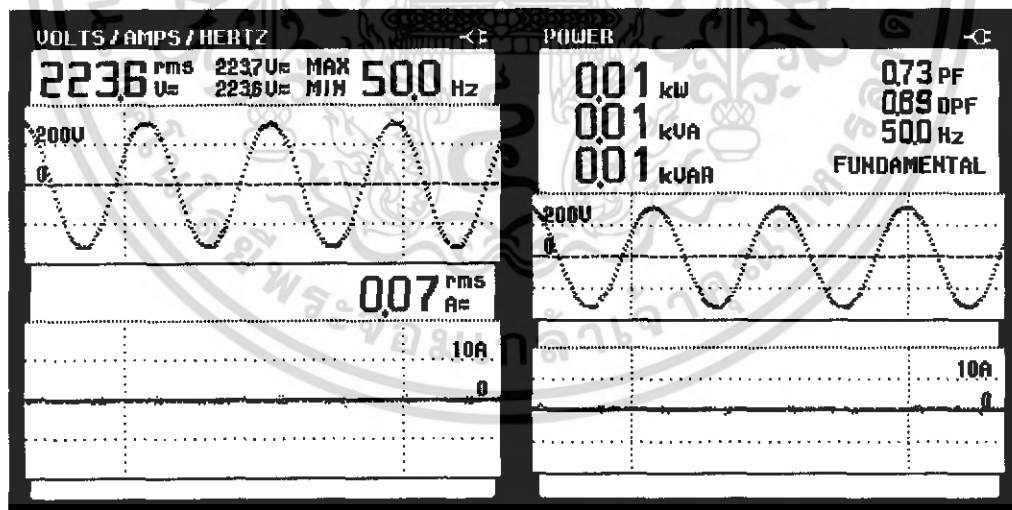
power flow	power output						
	<i>P</i> (W)	<i>S</i> (VA)	<i>Q</i> (VAR)	<i>PF</i>	<i>DPF</i>	<i>THD_v</i> (%)	<i>THD_i</i> (%)
0	0	0	0	0	0	60.3	1.7
10	10	10	10	0.52	0.78	54.7	1.7
20	20	40	30	0.59	0.61	26.4	1.7
30	30	60	60	0.46	0.44	19.8	1.6
40	40	60	50	0.51	0.57	17.2	1.7

load (W)	input			output		η (%)
	<i>V_d</i> (V)	<i>I_d</i> (A)	<i>P_d</i> (W)	<i>V_g</i> (V)	<i>I_g</i> (A)	
0	40.9	0	0	223.6	0	0
10	40.9	0.45	18.41	223.5	0.07	54.33
20	40.6	0.96	38.97	223.2	0.19	51.31
30	41.1	1.43	58.77	224.3	0.3	51.04
40	43.9	1.78	78.14	224.1	0.31	51.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

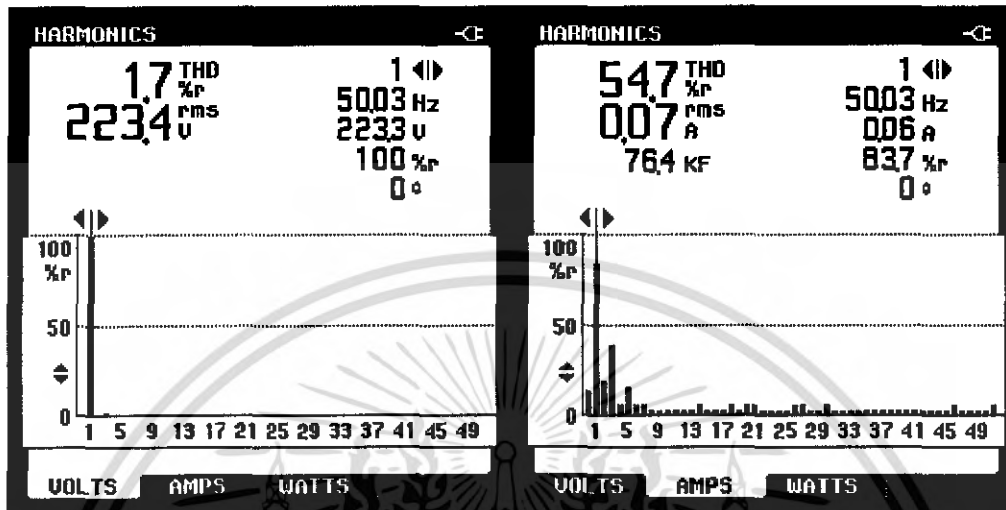


รูปที่ 5.27 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 1.0$, ขณะไม่จ่ายกำลังไฟฟ้า)

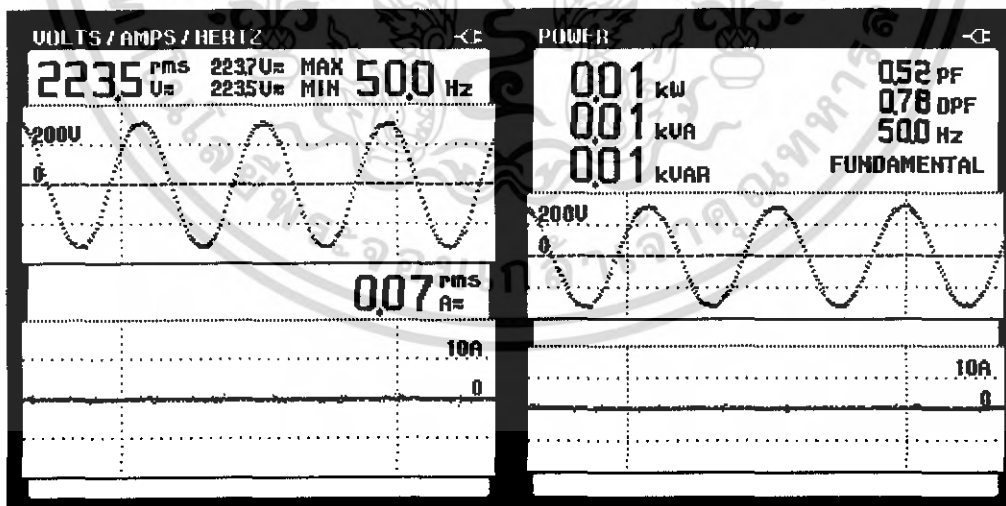


รูปที่ 5.28 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_a = 1.0$, ขณะไม่จ่ายกำลังไฟฟ้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

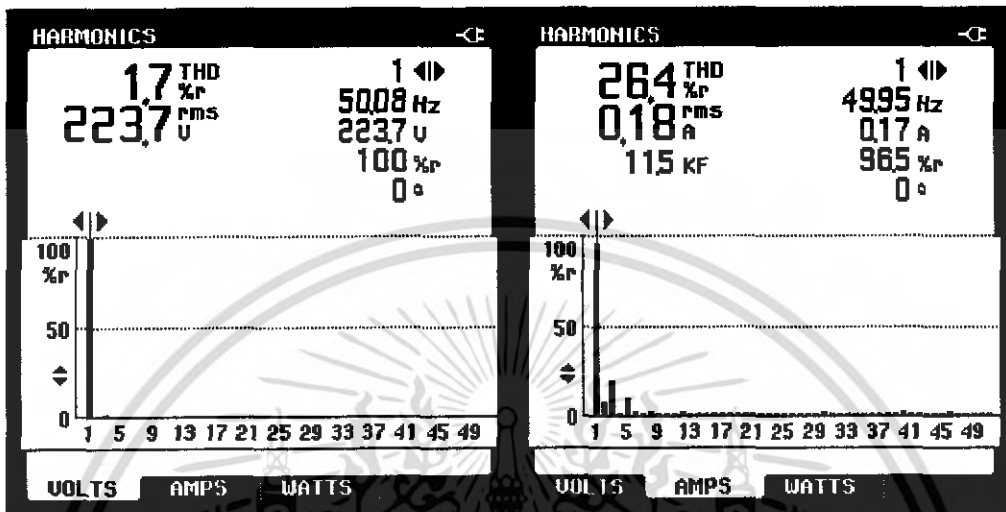


รูปที่ 5.29 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_a = 1.0$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 10 w)

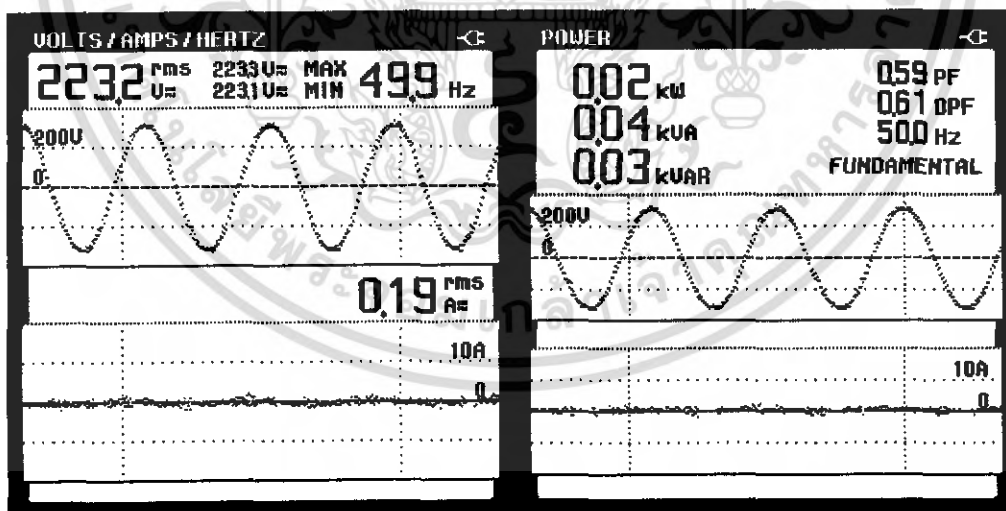


รูปที่ 5.30 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า
($m_a = 1.0$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 10 w)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

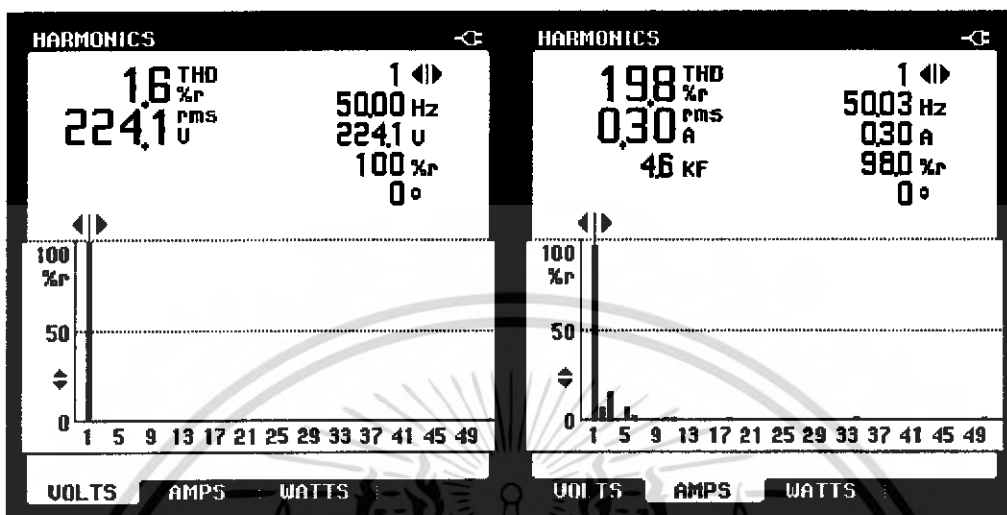


รูปที่ 5.31 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_d = 1.0$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 20 w)

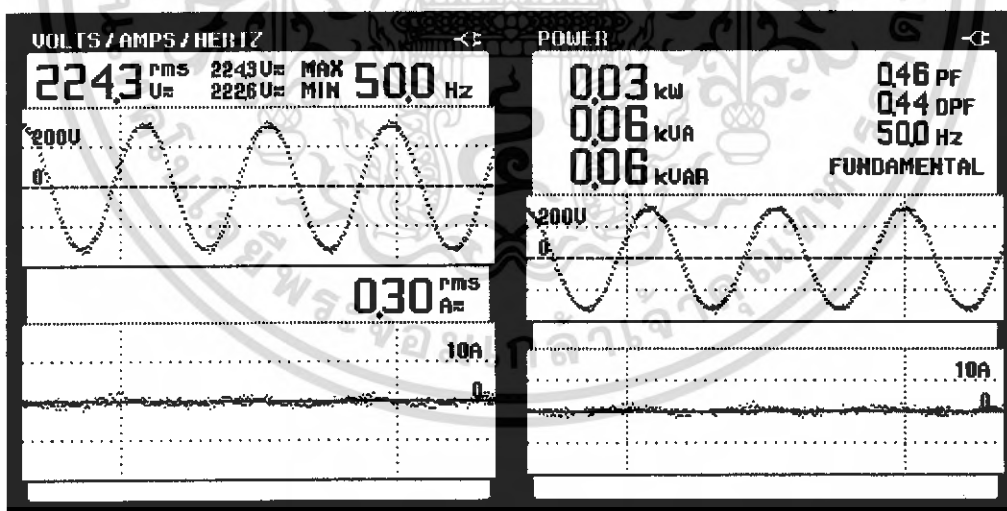


รูปที่ 5.32 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_d = 1.0$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 20 w)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

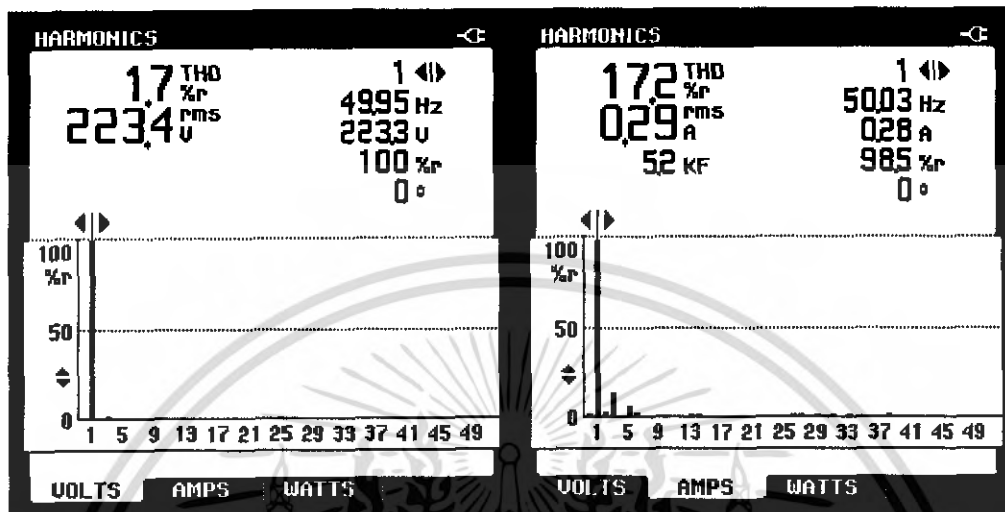


รูปที่ 5.33 สเปกตรัมของค่า THD, และ THD, ($m_a = 1.0$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 30 w)

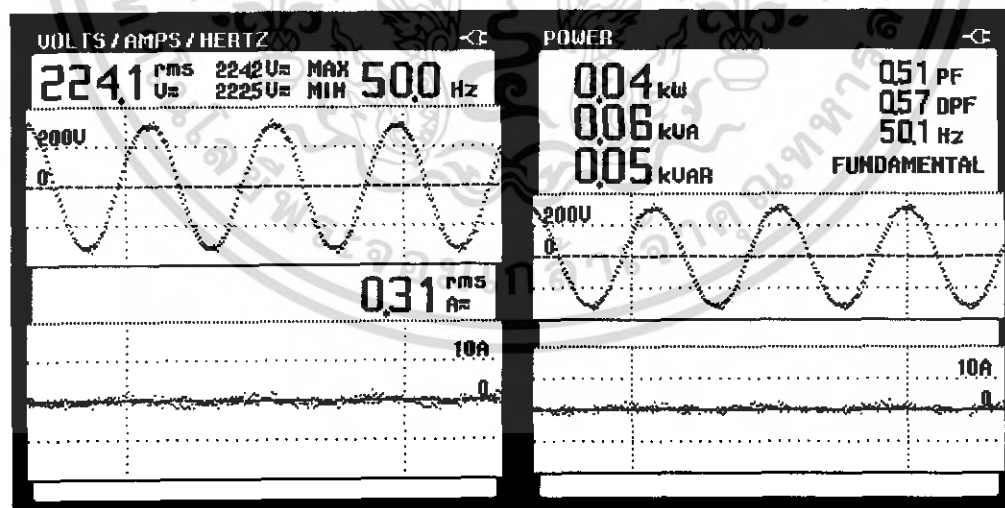


รูปที่ 5.34 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_a = 1.0$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 30 w)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

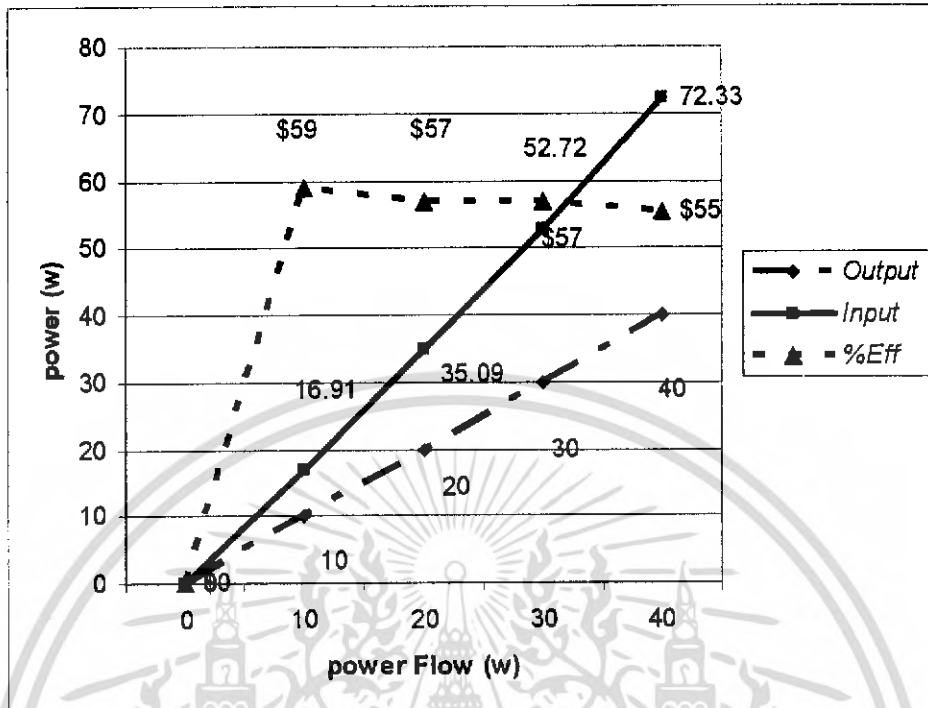


รูปที่ 5.35 สเปกตรัมของค่า THD_v และ THD_i ($m_p = 1.0$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 40 w)

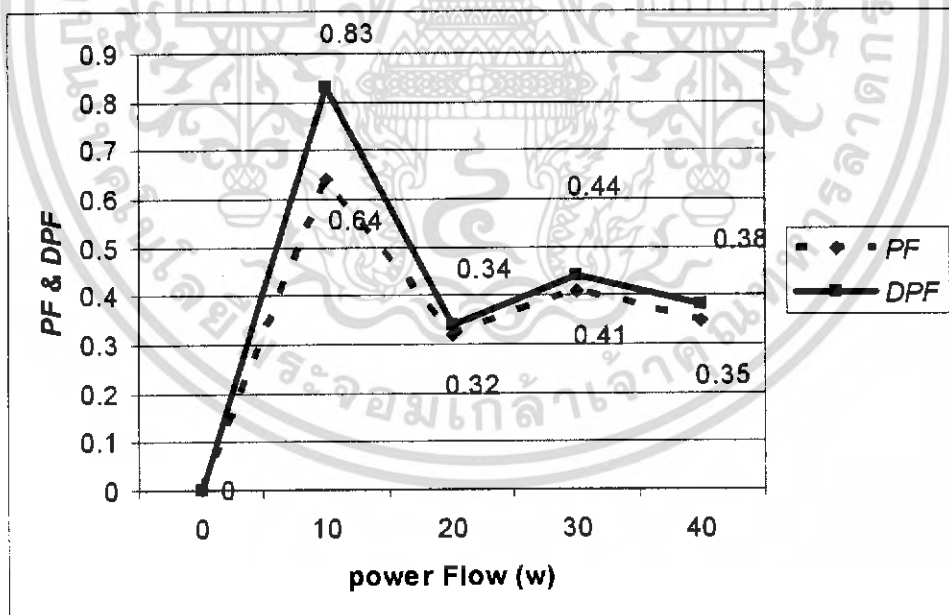


รูปที่ 5.36 รูปคลื่นแรงดันและค่ากำลังเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้า ($m_p = 1.0$, ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้า 40 w)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.37 กราฟอินพุต เอาต์พุต และประสิทธิภาพที่ m_a 1.0



รูปที่ 5.38 กราฟตัวประกอบกำลังที่ m_a 1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบในกรณีนี้ $m_d = 1.0$ สิ่งที่เห็นได้ชัดเจนในการทดสอบคือ แรงดันด้านเข้าที่จ่ายให้อินเวอร์เตอร์จะมีค่าลดลง ส่วนกระแสด้านเข้าจะมีค่าสูงขึ้น กว่ากรณีที่ปรับ $m_d = 0.8$ และ $m_d = 0.9$ ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบมีค่าที่ต่ำลง เพราะค่าความสูญเสียในระบบที่สูงขึ้นอันเนื่องมาจาก การปรับ m_d ที่สูงขึ้นทำให้ฮาร์มอนิกสูงขึ้นด้วย ในการทดสอบแบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบไฟฟ้า 40 วัตต์ ค่า THD_v ที่ได้จะมีค่าที่ต่ำกว่าการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ค่าอื่นๆ เนื่องจาก วงจรกรองความถี่ทำงานเต็มประสิทธิภาพตามกระแสพิกัดที่ออกแบบไว้ ทำให้กระแสด้านออกมีค่าต่ำ แต่ค่าการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ปรากฏจะต่ำลง

5.5 สรุปผลการทดสอบจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบของการไฟฟ้า

จากผลการทดสอบที่ได้ทั้งหมด คือ เราสามารถปรับค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบของการไฟฟ้าได้จากการปรับค่ามุมเฟาเวอร์แองเกิล (δ) ซึ่งทำได้โดยการปรับจากส่วนของวงจรชิฟเฟส (phase shift) ในส่วนของวงจรควบคุม ค่าที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เมื่อเราปรับเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบของการไฟฟ้านั้น ในการที่จะให้ได้กำลังไฟฟ้าจริงนั้นออกมาตามพิกัดที่ต้องการนั้น อินเวอร์เตอร์จะต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนและกำลังไฟฟ้าปรากฏด้วย เนื่องจากในระบบจริงนั้นโหลดไม่ได้มีแต่ค่าความต้านทานเพียงอย่างเดียว จึงทำให้ค่าตัวประกอบกำลังลดลง เมื่อเราเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการจ่ายให้กับระบบไฟฟ้า และเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้ามากขึ้นก็จะทำให้ค่า THD_v เพิ่มมากขึ้นด้วย แต่ในทางกลับกัน ค่า THD_v จะลดลง และจากการปรับค่ามอดูเลชันอินเด็ก (m_d) ที่ค่าต่างๆ จะเห็นว่ามีผลคือ ถ้าที่ m_d เพิ่มมากขึ้นจะมีผลทำให้สามารถลดค่าแรงดันอินพุตที่จ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ได้ ขณะที่แรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์เท่าเดิม แต่ผลที่ตามมาคือ ค่าฮาร์มอนิกของแรงดันจะเพิ่มขึ้น ส่วนทางด้านของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบของการไฟฟ้าเมื่อเพิ่มค่ามอดูเลชันอินเด็ก จะทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าแฉงนั้นลดลง เมื่อเทียบกับค่ามอดูเลชันอินเด็กที่ต่ำกว่า และในการต่อเข้ากับระบบของการไฟฟ้า ค่าฮาร์มอนิก ที่ออกจากอินเวอร์เตอร์นั้นเมื่อต่อกับระบบแล้วค่าฮาร์มอนิกของอินเวอร์เตอร์จะมีผลก็คือ ถ้าผู้ผลิตไฟฟ้าที่จ่ายคืนให้กับระบบแต่ละคนนั้นมีค่าฮาร์มอนิกมากๆ เมื่อรวมกันมากๆ เข้าจะทำให้ระบบของการไฟฟ้าผิดเพี้ยนได้

จากการทดสอบนี้ ค่าที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่วัดได้นั้นมีค่าน้อย แต่เครื่องมือวัดนั้นมีย่านการวัดอยู่ที่กิโลวัตต์ ทำให้ค่าที่ได้ออกมานั้นไม่ละเอียดเพียงพอ

บทที่ 6

บทวิจารณ์และสรุป

จากวัตถุประสงค์และทฤษฎีเบื้องต้นได้ทำการออกแบบระบบที่ใช้ในการเชื่อมโยง แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เข้ากับระบบการไฟฟ้า 1 เฟส 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ได้ โดยสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบของการไฟฟ้าได้อยู่ในช่วง 0 - 40 วัตต์

สิ่งสำคัญในการสร้างอินเวอร์เตอร์ที่ต่อกับกริดระบบไฟฟ้าได้ นั้นคือความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ และความรู้ทางด้านไฟฟ้ากำลัง ผู้ที่จะทำโครงการควรมีพื้นฐานทางด้านนี้มาบ้าง เพื่อความเข้าใจและความรวดเร็วในการพัฒนาโครงการนี้ให้มีประสิทธิภาพ และควรจะต้องศึกษาเกี่ยวกับการต่อกับกริดระบบไฟฟ้าว่ามีเงื่อนไขอะไรบ้าง เช่น แรงดันไฟฟ้า ความถี่ และมุมเฟสของแรงดันนั้น จะต้องมีความเท่ากัน เป็นต้น และยังมีอีกปัจจัยคือ การจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ คือ จะต้องทราบว่าควรปรับมุมเฟสแอมพลิฟายเออร์เองเกิดอย่างไร ถึงจะสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด

6.1 ข้อดีของวงจรที่ใช้

6.1.1 จากการทดสอบอินเวอร์เตอร์กับ วงจรกรองความถี่ ได้ผลสรุปก็คือ เมื่อทำการปรับค่ามอดูเลชันอินดิคเตอร์ (m_a) ให้เพิ่มมากขึ้น ในส่วนของ THD_v จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่วนของค่า THD_i จะมีค่าลดลง

6.1.2 ค่า THD_v อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

6.1.3 สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบของการไฟฟ้าที่พิกัด 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ และรับกำลังไฟฟ้า ได้ที่ 0 - 40 วัตต์

6.2 ข้อเสียของวงจรที่ใช้

6.2.1 ในส่วนของค่า THD_i นั้นยังมีค่ามากเกินไป

6.2.2 ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าที่พิกัดกำลังไฟฟ้าสูงๆได้

6.2.3 การปรับค่ามอดูเลชันอินดิคเตอร์นั้นค่อนข้างจะยุ่งยากเนื่องจากต้องวัดค่าจากออสซิลโลสโคป ไม่เหมือนกับการสร้างสัญญาณ PWM จากไมโครคอนโทรลเลอร์

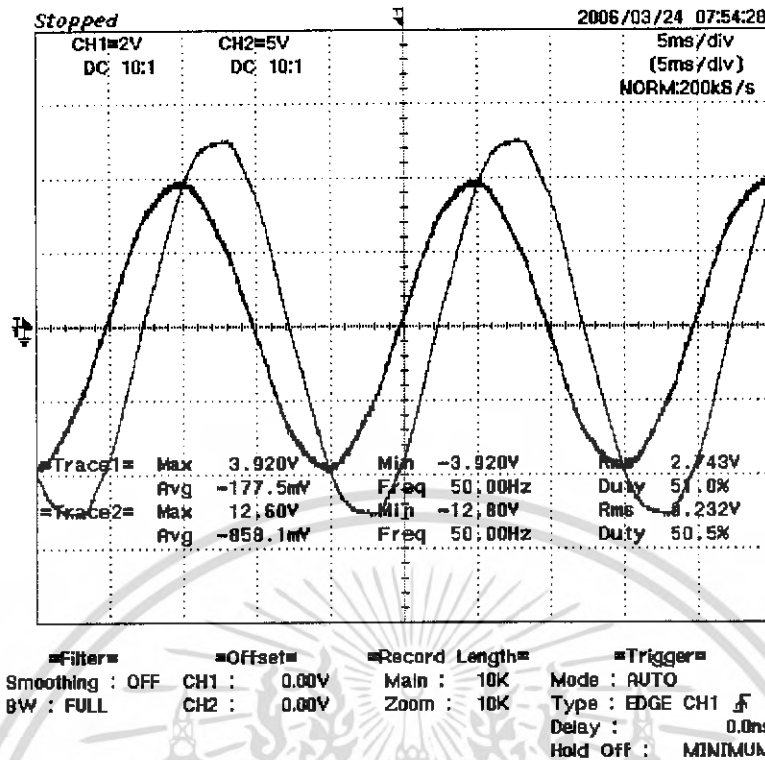
เอกสารอ้างอิง

- [1] วีระเชษฐ์ ชันเงิน., วุฒิพล ธาราธิระเศรษฐ์ “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics)” พิมพ์ครั้งที่ 1 , 2547.
- [2] Ned mohan, Tore M. Undeland and William P. Robbin, “ Power Electronics ”, second edition , John Willey & Sons , INC ,1995.
- [3] จิรายุทย์ มัทธนกุล, “ อิเล็กทรอนิกส์ (electronic) ” บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, 2546.
- [4] สุรศักดิ์ อยู่สวัสดิ์, “ การพัฒนาอินเวอร์เตอร์ต่อกับกริดระบบไฟฟ้าสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก ”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2542.
- [5] พีรศรี ลัตตาวรากรณ์, พีระพจน์ ตั้งทรัพย์ไพบูลย์, ฤทธิพงศ์ ยอดดี และ สมฤกษ์ เจริญระบิล, “ การเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับระบบการไฟฟ้าโดยใช้เอสพีดับ-บลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ ”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต , สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.

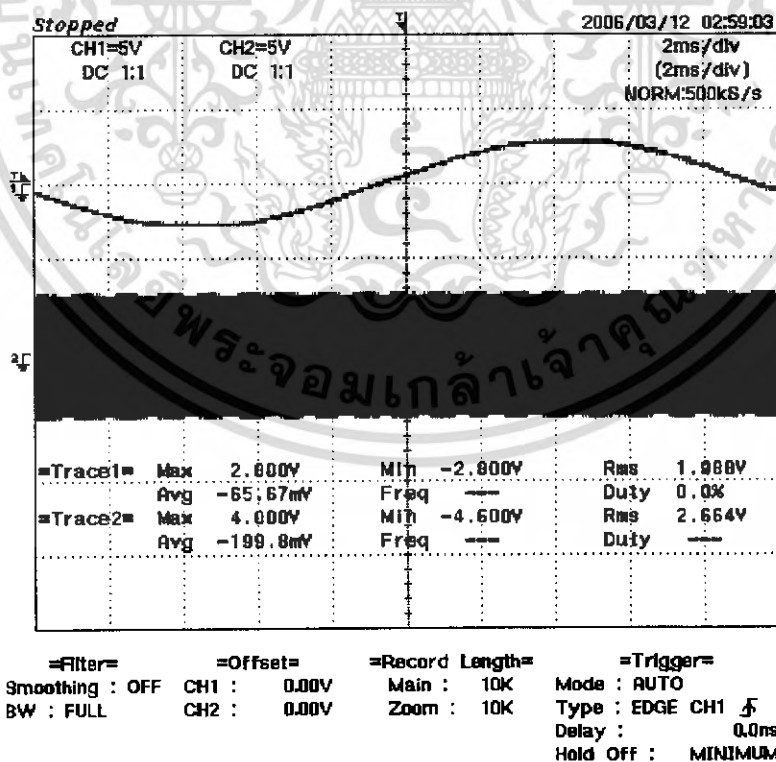
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

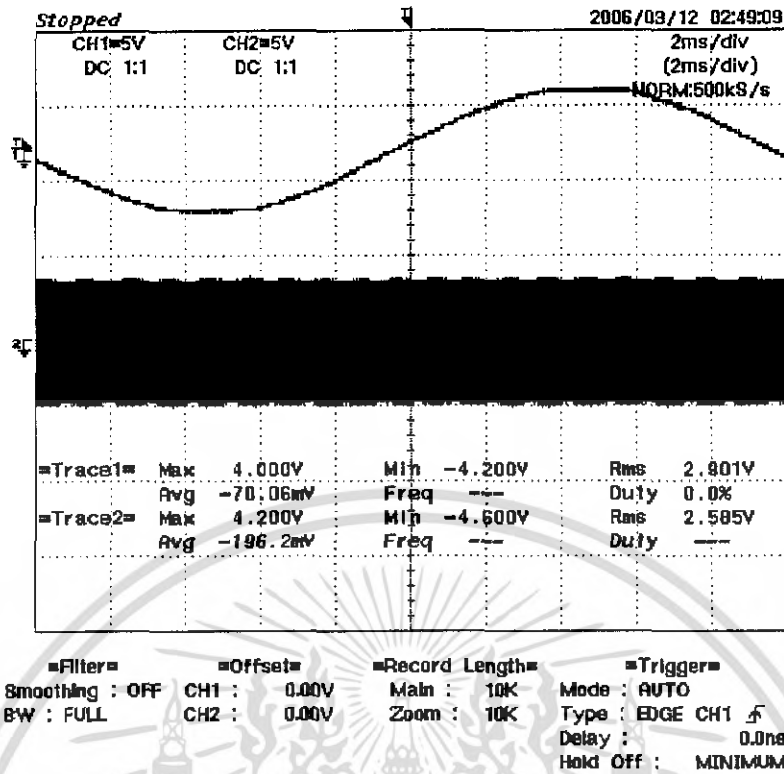


รูปที่ ก-1 สัญญาณไซน์ของกริดและสัญญาณไซน์ที่ออกจากวงจรปรับเลี่ยนเฟส

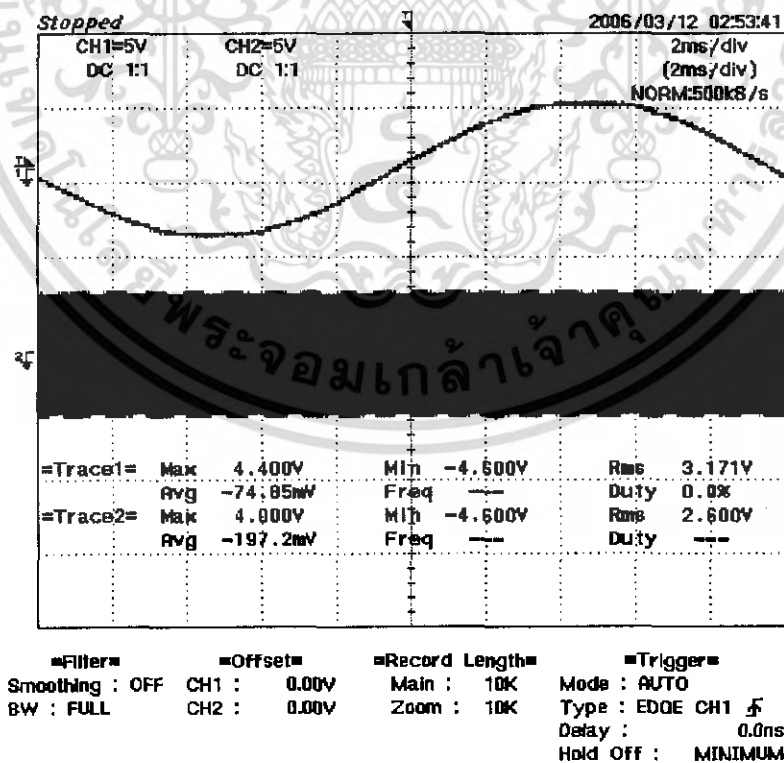


รูปที่ ก-2 การมอดูเลตระหว่างสัญญาณไซน์และสัญญาณสามเหลี่ยม ($m_a=0.7$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

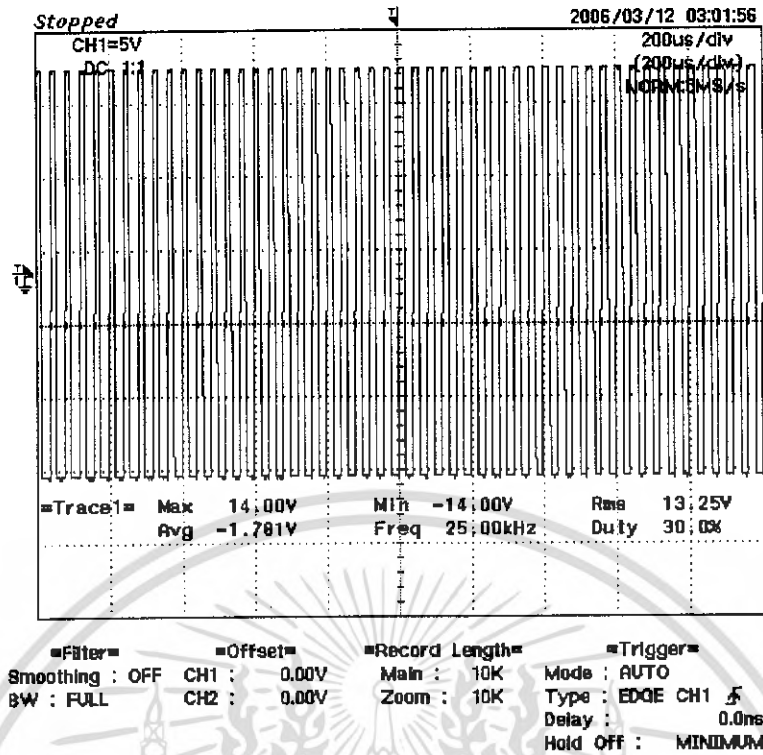
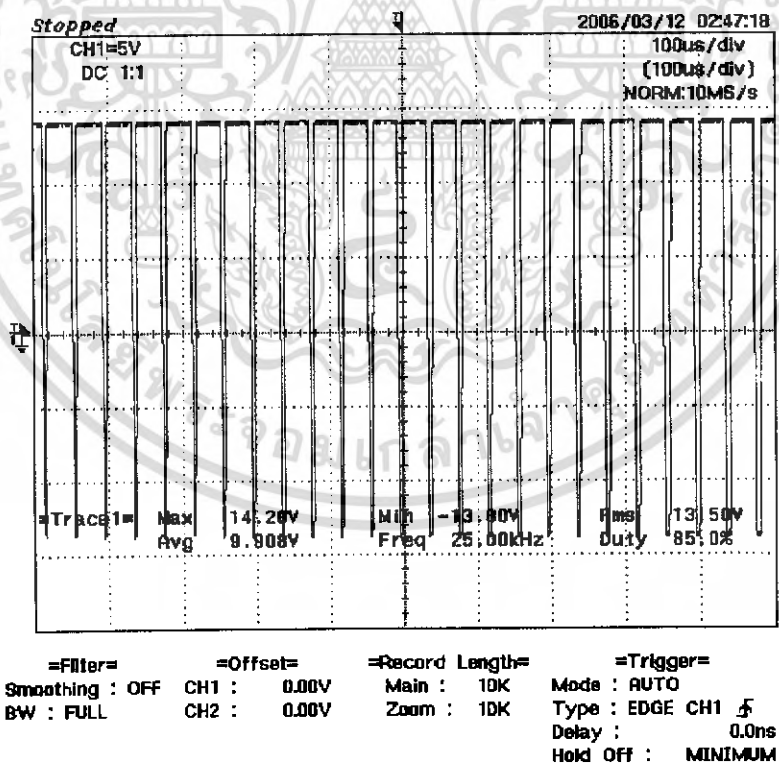


รูปที่ ก-5 การมอดูเลตระหว่างสัญญาณไซน์และสัญญาณสามเหลี่ยม ($m_a=1.0$)

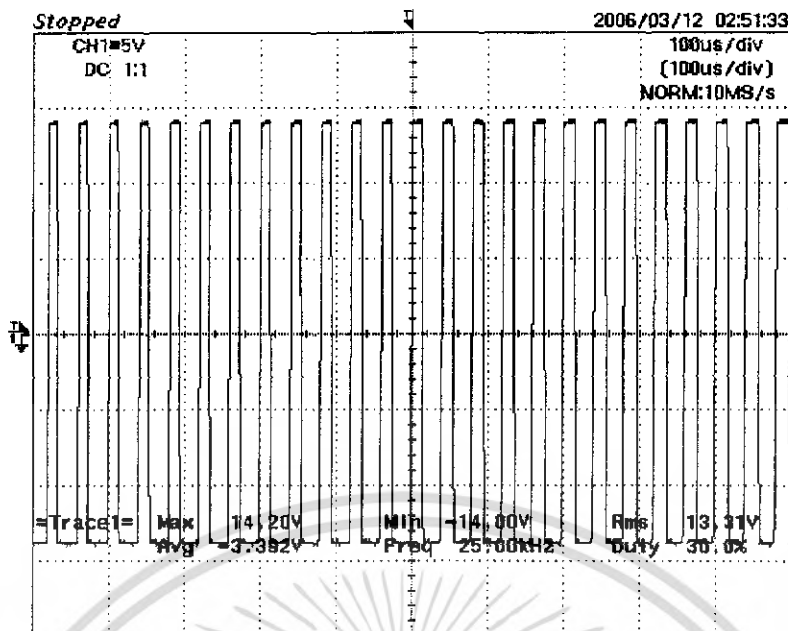


รูปที่ ก-6 การมอดูเลตระหว่างสัญญาณไซน์และสัญญาณสามเหลี่ยม ($m_a=1.1$)

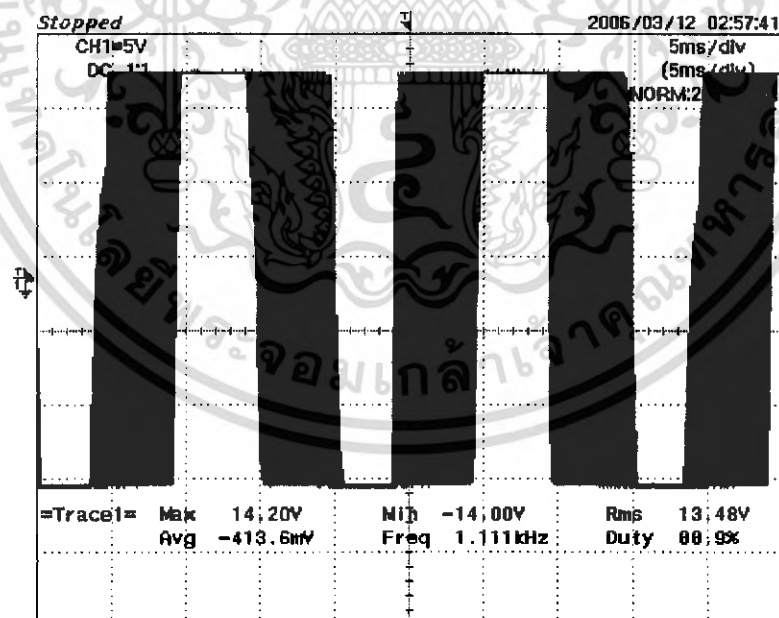
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก-7 สัญญาณ SPWM ($m_a = 0.7$)รูปที่ ก-8 สัญญาณ SPWM ($m_a = 0.9$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



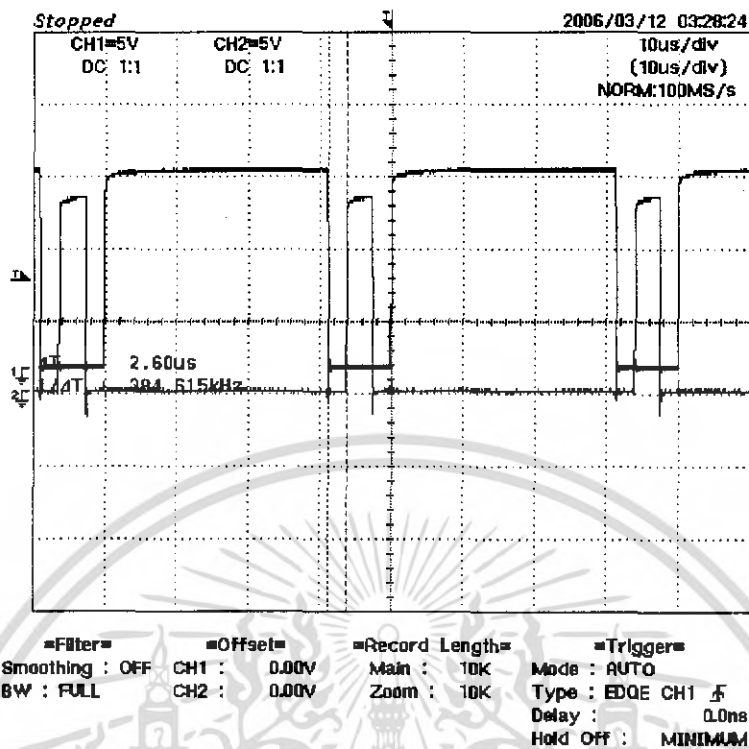
=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : OFF CH1 : 0.00V Main : 10K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 10K Type : EDGE CH1 \uparrow
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM

รูปที่ ก-9 สัญญาณ SPWM ($m_a = 1.0$)

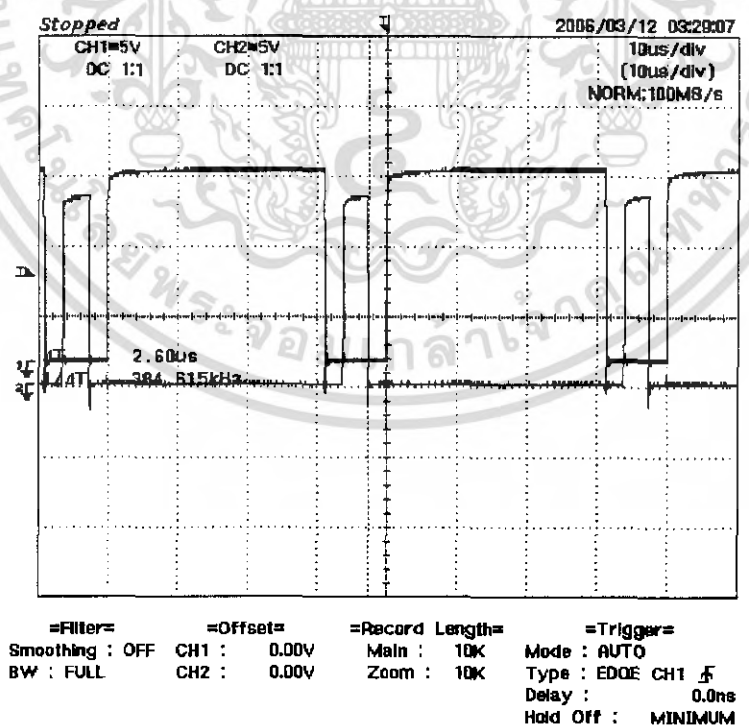
=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=
Smoothing : OFF CH1 : 0.00V Main : 10K Mode : AUTO
BW : FULL CH2 : 0.00V Zoom : 10K Type : EDGE CH1 \uparrow
Delay : 0.0ns
Hold Off : MINIMUM

รูปที่ ก-10 สัญญาณ SPWM ($m_a = 1.1$)

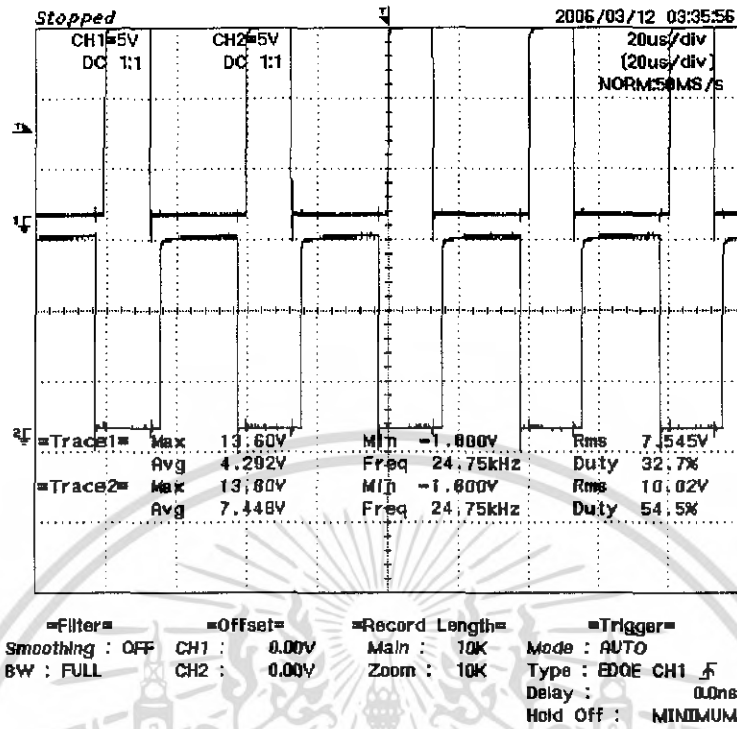
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



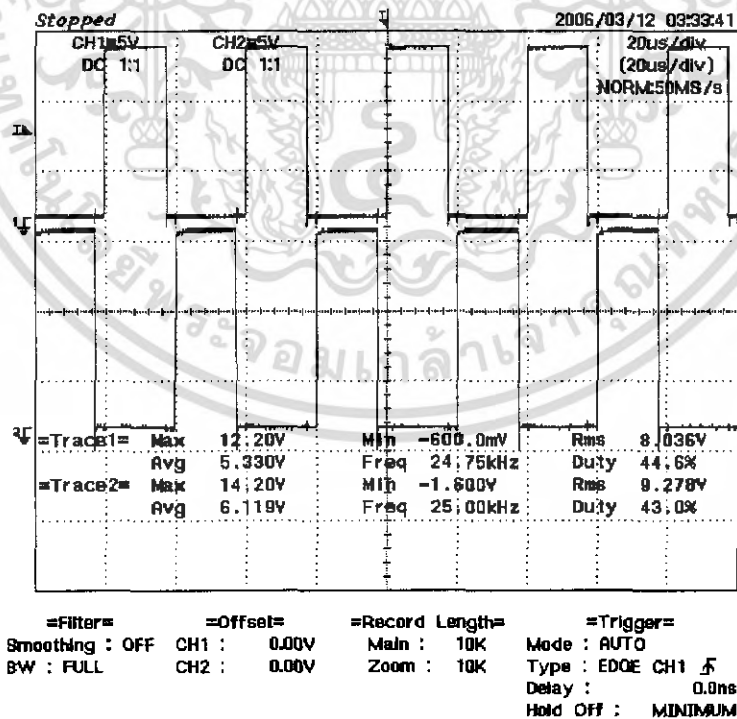
รูปที่ ก-11 สัญญาณที่ปรับ Deadtime

รูปที่ ก-12 สัญญาณที่มีปรับ deadtime ที่ 2.6 μ s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

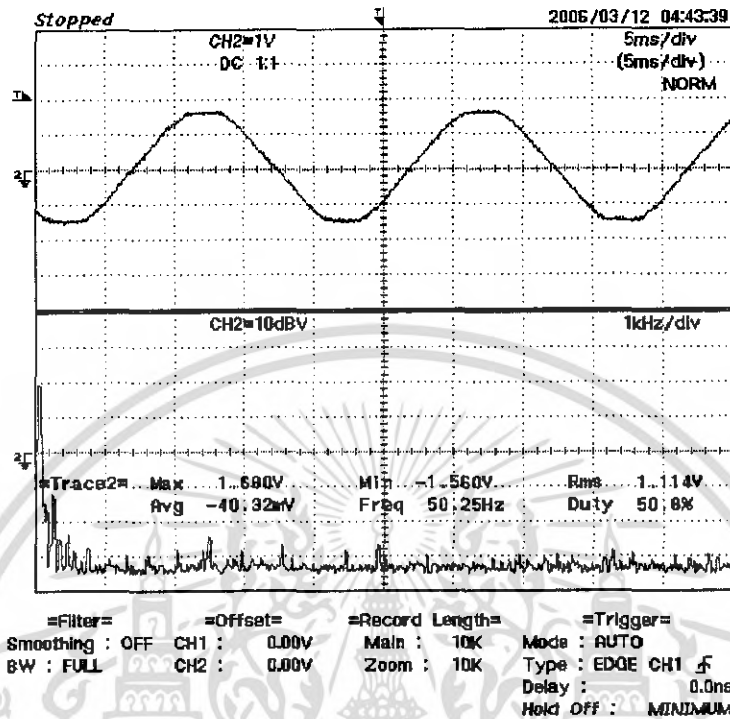


รูปที่ ก-13 สัญญาณขับเคลื่อนของมอสเฟต ตัวที่ 1 และ 3

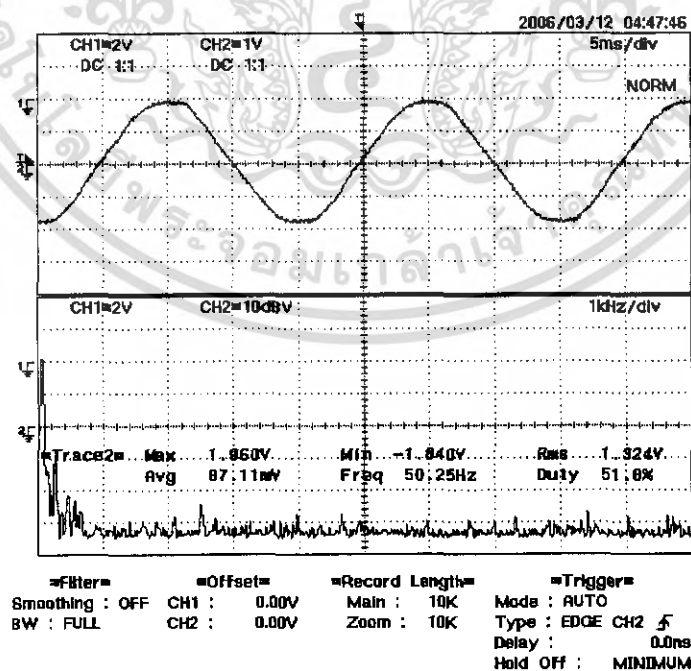


รูปที่ ก-14 สัญญาณขับเคลื่อนของมอสเฟต ตัวที่ 2 และ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

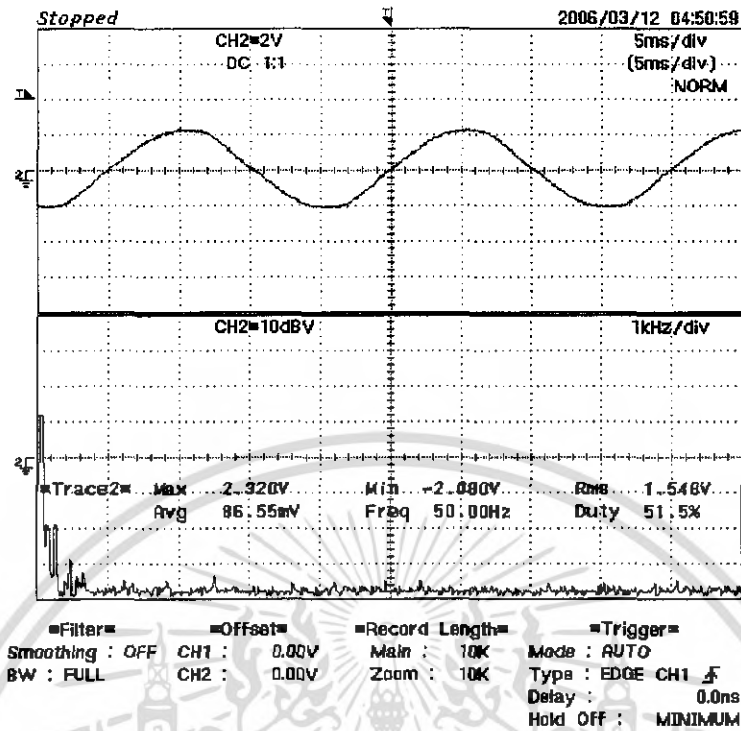


รูปที่ ก-15 สัญญาณไซน์ที่ผ่านวงจรกรองความถี่ที่ ($m_a = 0.6$)

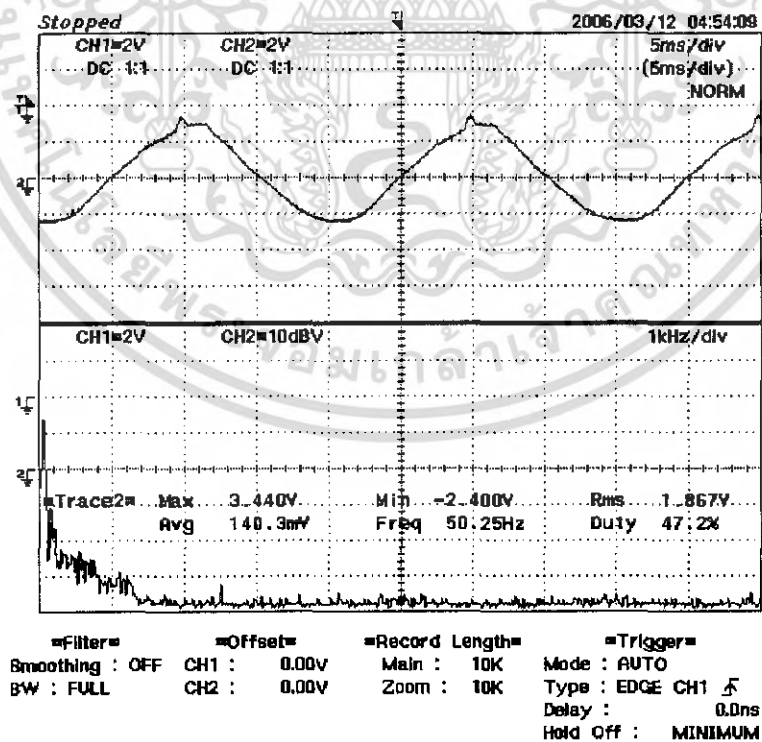


รูปที่ ก-16 สัญญาณไซน์ที่ผ่านวงจรกรองความถี่ที่ ($m_a = 0.7$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

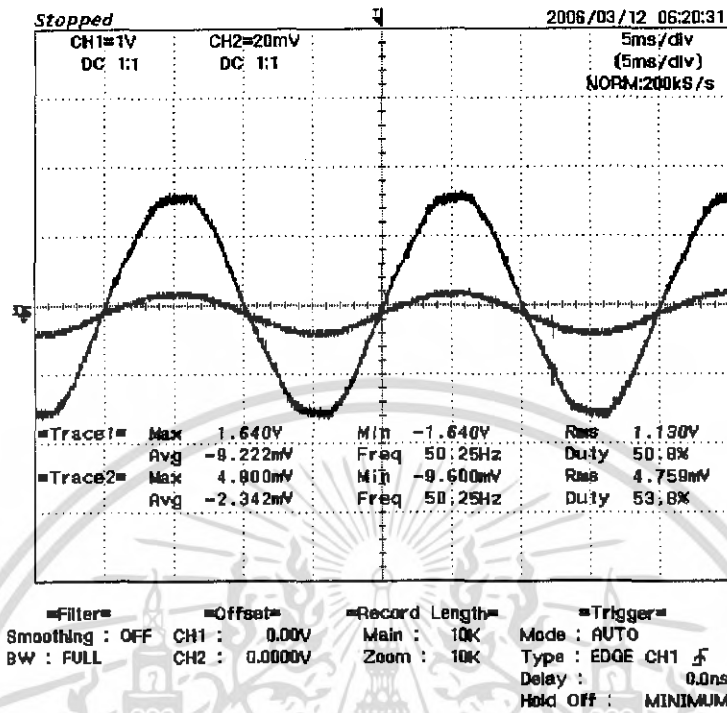


รูปที่ ก-17 สัญญาณไซน์ที่ผ่านวงจรกรองความถี่ ที่ ($m_a = 0.8$)

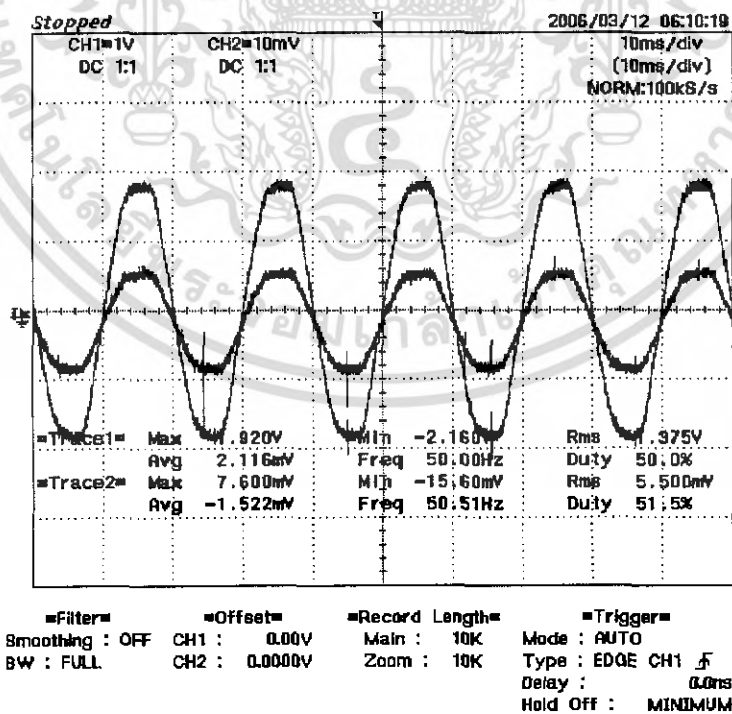


รูปที่ ก-18 สัญญาณไซน์ที่ผ่านวงจรกรองความถี่ ที่ ($m_a = 0.9$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

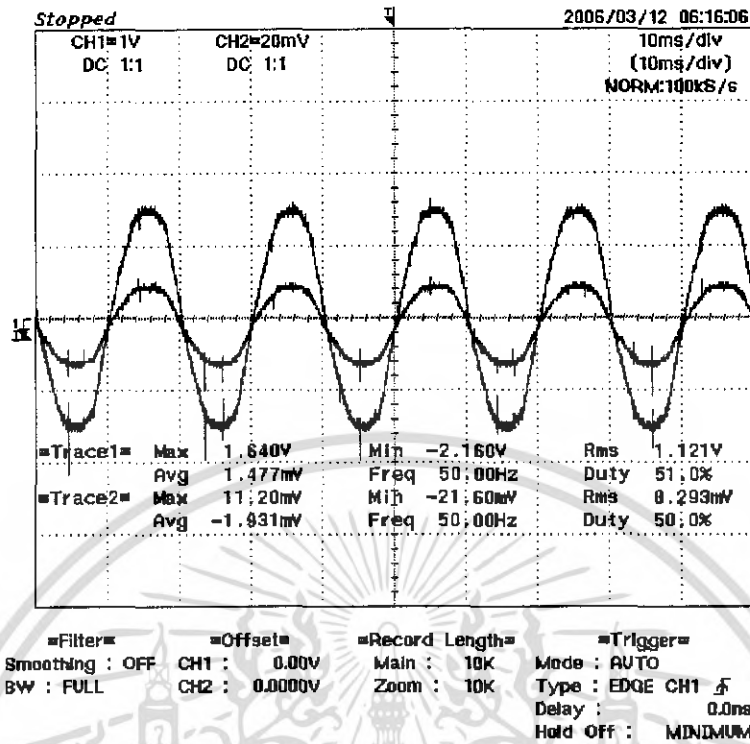


รูปที่ ก-19 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ผ่านวงจรกรองความถี่ ที่ ($m_a = 0.6$)

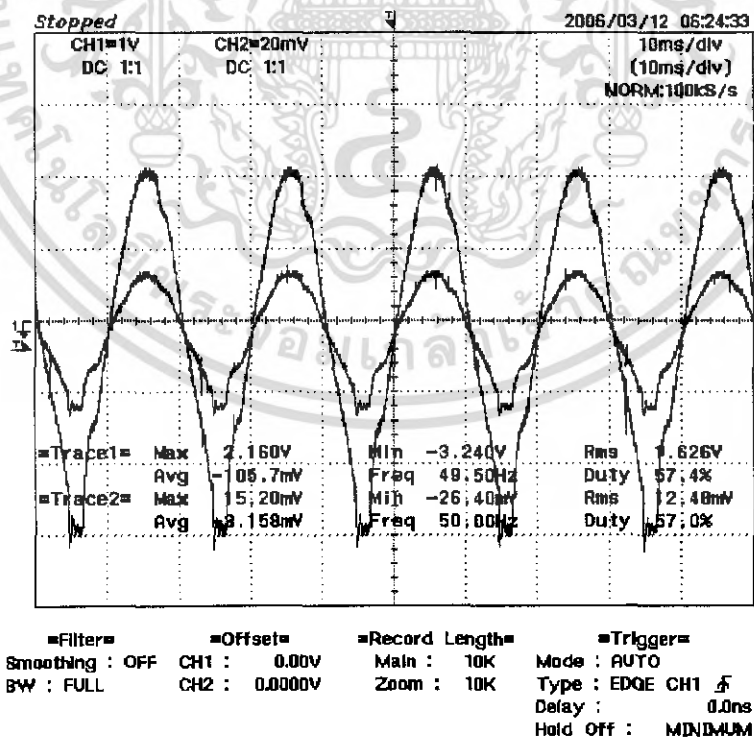


รูปที่ ก-20 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ผ่านวงจรกรองความถี่ ที่ ($m_a = 0.7$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-21 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ผ่านวงจรกรองความถี่ ที่ ($m_a = 0.8$)



รูปที่ ก-22 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ผ่านวงจรกรองความถี่ ที่ ($m_a = 0.9$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



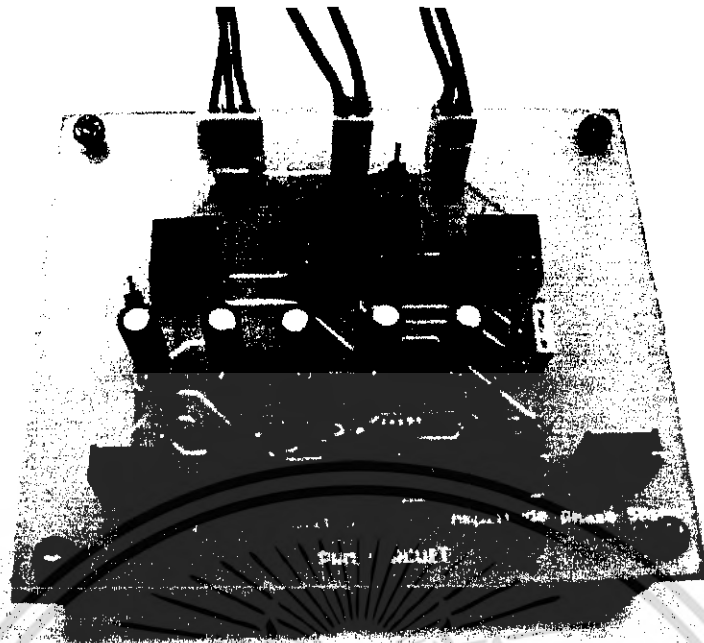
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



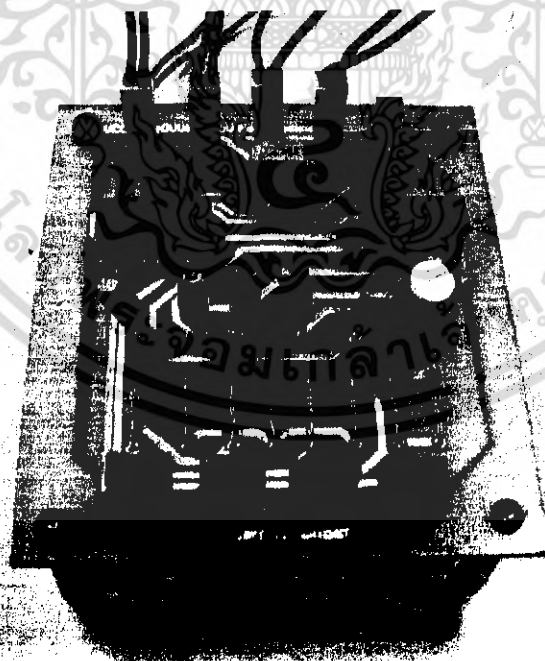
รูปที่ ข-1 ชุดจำลอง DC Voltage



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ ข-2 แหล่งจ่าย DC voltage 9 v , 12 v , 15 v , ± 15 v
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

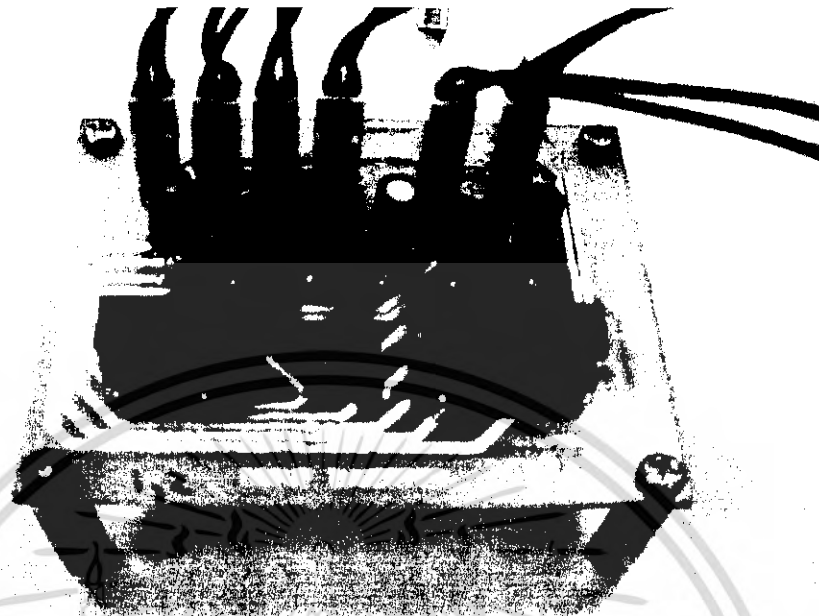


รูปที่ ข-3 ชุดวงจรสร้างสัญญาณ SPWM



รูปที่ ข-4 ชุดวงจรที่ใช้ปรับ deadtime

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

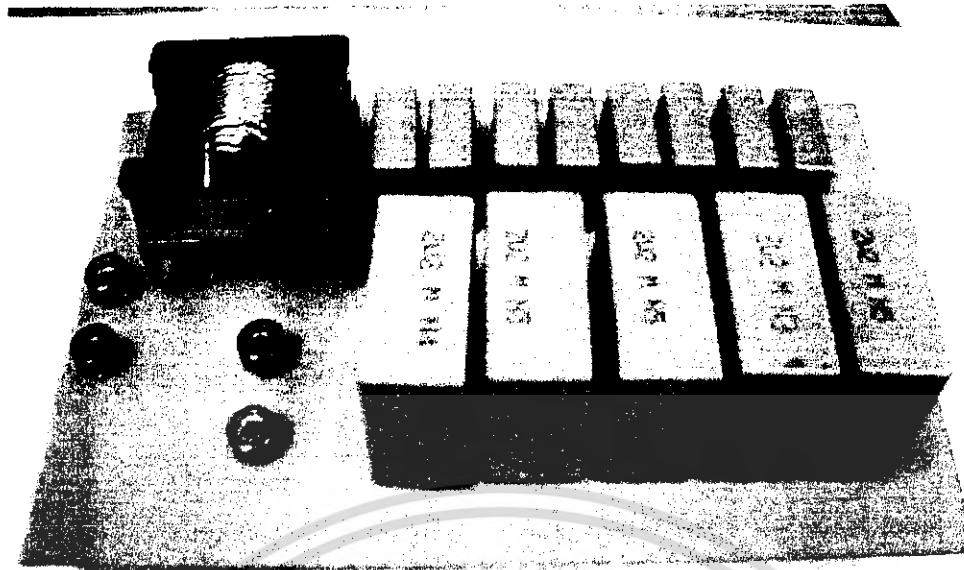


รูปที่ ข-5 ชุดวงจรสัญญาณขับเคลื่อน



รูปที่ ข-6 ชุด inverter

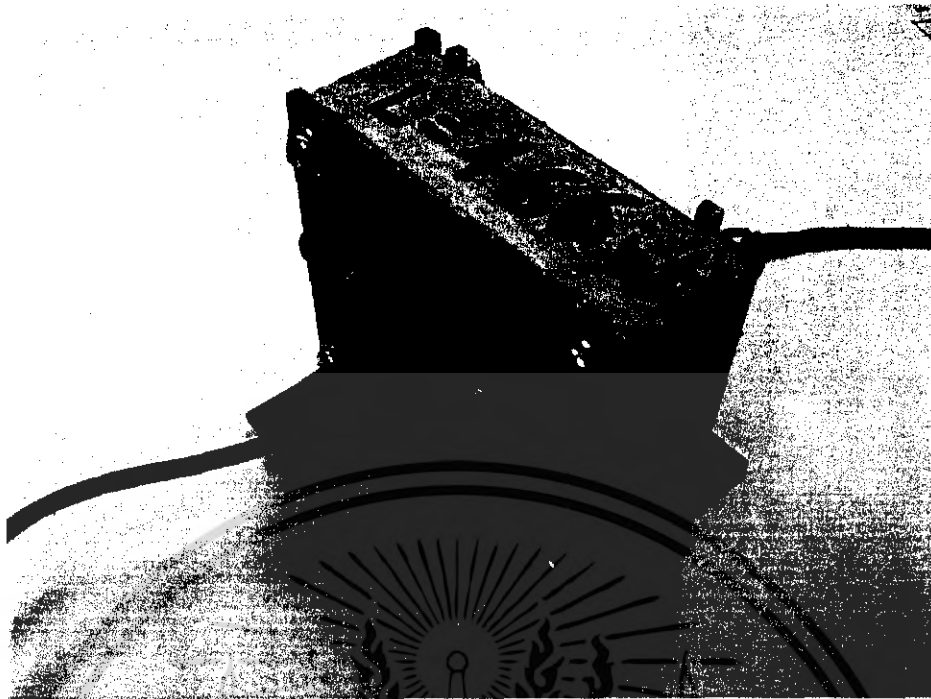
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-7 ชุดวงจรกรองความถี่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่อผู้เอาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-9 ตัวเหนี่ยวนาเชื่อมโยง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค
รายละเอียดบางส่วนของอุปกรณ์หลักที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

November 2001

IRF840B/IRFS840B

500V N-Channel MOSFET

General Description

These N-Channel enhancement mode power field effect transistors are produced using Fairchild's proprietary, planar, DMOS technology.

This advanced technology has been especially tailored to minimize on-state resistance, provide superior switching performance, and withstand high energy pulse in the avalanche and commutation mode. These devices are well suited for high efficiency switch mode power supplies, power factor correction and electronic lamp ballasts based on half bridge.

Features

- 8.0A, 500V, $R_{DS(on)} = 0.8\Omega @ V_{GS} = 10V$
- Low gate charge (typical 41 nC)
- Low C_{rss} (typical 35 pF)
- Fast switching
- 100% avalanche tested
- Improved dv/dt capability



Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	IRF840B	IRFS840B	Units
V_{DSS}	Drain-Source Voltage	500		V
I_D	Drain Current - Continuous ($T_C = 25^\circ\text{C}$)	8.0	8.0	A
		5.1	5.1	A
I_{DM}	Drain Current - Pulsed (Note 1)	32	32	A
V_{GSS}	Gate-Source Voltage	± 30		V
E_{AS}	Single Pulsed Avalanche Energy (Note 2)	320		mJ
I_{AR}	Avalanche Current (Note 1)	8.0		A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy (Note 1)	13.4		mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt (Note 3)	3.5		V/ns
P_D	Power Dissipation ($T_C = 25^\circ\text{C}$)	134	44	W
		1.08	0.35	W/°C
T_J, T_{STG}	Operating and Storage Temperature Range	-55 to +150		°C
T_L	Maximum lead temperature for soldering purposes, 1/8" from case for 5 seconds	300		°C

* Drain current limited by maximum junction temperature.

Thermal Characteristics

Symbol	Parameter	IRF840B	IRFS840B	Units
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction-to-Case Max.	0.93	2.86	°C/W
$R_{\theta CS}$	Thermal Resistance, Case-to-Sink Typ.	0.5	--	°C/W
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction-to-Ambient Max.	62.5	62.5	°C/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics <small>T_C = 25°C unless otherwise noted</small>						
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min	Typ	Max	Units
Off Characteristics						
BV _{DSS}	Drain-Source Breakdown Voltage	V _{GS} = 0 V, I _D = 250 μA	500	--	--	V
ΔBV _{DSS} / ΔT _J	Breakdown Voltage Temperature Coefficient	I _D = 250 μA, Referenced to 25°C	--	0.55	--	V/°C
I _{DSS}	Zero Gate Voltage Drain Current	V _{DS} = 500 V, V _{GS} = 0 V	--	--	10	μA
		V _{DS} = 400 V, T _C = 125°C	--	--	100	μA
I _{GSSF}	Gate-Body Leakage Current, Forward	V _{GS} = 30 V, V _{DS} = 0 V	--	--	100	nA
I _{GSSR}	Gate-Body Leakage Current, Reverse	V _{GS} = -30 V, V _{DS} = 0 V	--	--	-100	nA
On Characteristics						
V _{GS(th)}	Gate Threshold Voltage	V _{DS} = V _{GS} , I _D = 250 μA	2.0	--	4.0	V
R _{DS(on)}	Static Drain-Source On-Resistance	V _{GS} = 10 V, I _D = 4.0 A	--	0.65	0.8	Ω
g _{FS}	Forward Transconductance	V _{DS} = 40 V, I _D = 4.0 A (Note 4)	--	7.3	--	S
Dynamic Characteristics						
C _{iss}	Input Capacitance	V _{DS} = 25 V, V _{GS} = 0 V, f = 1.0 MHz	--	1400	1800	pF
C _{oss}	Output Capacitance		--	145	190	pF
C _{rss}	Reverse Transfer Capacitance		--	35	45	pF
Switching Characteristics						
t _{d(on)}	Turn-On Delay Time	V _{DD} = 250 V, I _D = 8.0 A, R _G = 25 Ω	--	22	55	ns
t _r	Turn-On Rise Time		--	65	140	ns
t _{d(off)}	Turn-Off Delay Time	(Note 4, 5)	--	125	260	ns
t _f	Turn-Off Fall Time		--	75	160	ns
Q _g	Total Gate Charge	V _{DS} = 400 V, I _D = 8.0 A,	--	41	53	nC
Q _{gs}	Gate-Source Charge	V _{GS} = 10 V	--	6.5	--	nC
Q _{gd}	Gate-Drain Charge	(Note 4, 5)	--	17	--	nC
Drain-Source Diode Characteristics and Maximum Ratings						
I _S	Maximum Continuous Drain-Source Diode Forward Current		--	--	8.0	A
I _{SM}	Maximum Pulsed Drain-Source Diode Forward Current		--	--	32	A
V _{SD}	Drain-Source Diode Forward Voltage	V _{GS} = 0 V, I _S = 8.0 A	--	--	1.4	V
t _{rr}	Reverse Recovery Time	V _{GS} = 0 V, I _S = 8.0 A,	--	390	--	ns
Q _{rr}	Reverse Recovery Charge	dI _F / dt = 100 A/μs (Note 4)	--	4.2	--	μC
Notes: 1. Repetitive Rating: Pulse width limited by maximum junction temperature 2. L = 9.0mH, I _{AS} = 8.0A, V _{DD} = 50V, R _G = 25 Ω, Starting T _J = 25°C 3. I _{SD} ≤ 8.0A, dI _D / dt ≤ 200A/μs, V _{DD} ≤ BV _{DSS} , Starting T _J = 25°C 4. Pulse Test: Pulse width ≤ 300μs, Duty cycle ≤ 2% 5. Essentially independent of operating temperature						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



XR-2206

Monolithic
Function Generator

June 1997-3

FEATURES

- Low-Sine Wave Distortion, 0.5%, Typical
- Excellent Temperature Stability, 20ppm/°C, Typ.
- Wide Sweep Range, 2000:1, Typical
- Low-Supply Sensitivity, 0.01%V, Typ.
- Linear Amplitude Modulation
- TTL Compatible FSK Controls
- Wide Supply Range, 10V to 26V
- Adjustable Duty Cycle, 1% TO 99%

APPLICATIONS

- Waveform Generation
- Sweep Generation
- AM/FM Generation
- V/F Conversion
- FSK Generation
- Phase-Locked Loops (VCO)

GENERAL DESCRIPTION

The XR-2206 is a monolithic function generator integrated circuit capable of producing high quality sine, square, triangle, ramp, and pulse waveforms of high-stability and accuracy. The output waveforms can be both amplitude and frequency modulated by an external voltage. Frequency of operation can be selected externally over a range of 0.01Hz to more than 1MHz.

The circuit is ideally suited for communications, instrumentation, and function generator applications requiring sinusoidal tone, AM, FM, or FSK generation. It has a typical drift specification of 20ppm/°C. The oscillator frequency can be linearly swept over a 2000:1 frequency range with an external control voltage, while maintaining low distortion.

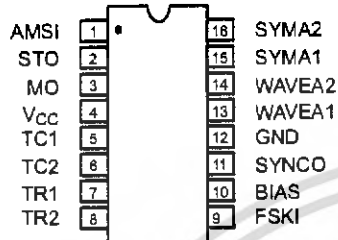
ORDERING INFORMATION

Part No.	Package	Operating Temperature Range
XR-2206M	16 Lead 300 Mil CDIP	-55°C to +125°C
XR-2206P	16 Lead 300 Mil PDIP	-40°C to +85°C
XR-2206CP	16 Lead 300 Mil PDIP	0°C to +70°C
XR-2206D	16 Lead 300 Mil JEDEC SOIC	0°C to +70°C

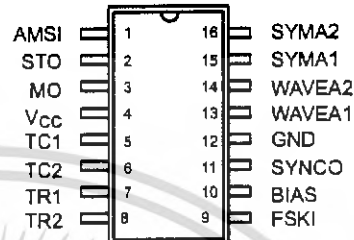
Rev 1.03
©1972

EXAR Corporation, 48720 Kato Road, Fremont, CA 94538 ♦ (510) 668-7000 ♦ (510) 668-7017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



16 Lead PDIP, CDIP (0.300")



16 Lead SOIC (Jedec, 0.300")

PIN DESCRIPTION

Pin #	Symbol	Type	Description
1	AMSI	I	Amplitude Modulating Signal Input.
2	STO	O	Sine or Triangle Wave Output.
3	MO	O	Multiplier Output.
4	V _{cc}		Positive Power Supply.
5	TC1	I	Timing Capacitor Input.
6	TC2	I	Timing Capacitor Input.
7	TR1	O	Timing Resistor 1 Output.
8	TR2	O	Timing Resistor 2 Output.
9	FSKI	I	Frequency Shift Keying Input.
10	BIAS	O	Internal Voltage Reference.
11	SYNCO	O	Sync Output. This output is a open collector and needs a pull up resistor to V _{cc} .
12	GND		Ground pin.
13	WAVEA1	I	Wave Form Adjust Input 1.
14	WAVEA2	I	Wave Form Adjust Input 2.
15	SYMA1	I	Wave Symetry Adjust 1.
16	SYMA2	I	Wave Symetry Adjust 2.

XR-2206



DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: Test Circuit of Figure 2 $V_{CC} = 12V$, $T_A = 25^\circ C$, $C = 0.01\mu F$, $R_1 = 100k\Omega$, $R_2 = 10k\Omega$, $R_3 = 25k\Omega$
Unless Otherwise Specified. S_1 open for triangle, closed for sine wave.

Parameters	XR-2206M/P			XR-2206CP/D			Units	Conditions
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
General Characteristics								
Single Supply Voltage	10		26	10		26	V	
Split-Supply Voltage	± 5		± 13	± 5		± 13	V	
Supply Current		12	17		14	20	mA	$R_1 \geq 10k\Omega$
Oscillator Section								
Max. Operating Frequency	0.5	1		0.5	1		MHz	$C = 1000pF$, $R_1 = 1k\Omega$
Lowest Practical Frequency		0.01			0.01		Hz	$C = 50\mu F$, $R_1 = 2M\Omega$
Frequency Accuracy		± 1	± 4		± 2		% of f_0	$f_0 = 1/R_1C$
Temperature Stability Frequency		± 10	± 50		± 20		ppm/ $^\circ C$	$0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$ $R_1 = R_2 = 20k\Omega$
Sine Wave Amplitude Stability ²		4800			4800		ppm/ $^\circ C$	
Supply Sensitivity		0.01	0.1		0.01		%/V	$V_{Low} = 10V$, $V_{High} = 20V$, $R_1 = R_2 = 20k\Omega$
Sweep Range	1000:1	2000:1			2000:1		$f_H = f_L$	$f_H @ R_1 = 1k\Omega$ $f_L @ R_1 = 2M\Omega$
Sweep Linearity								
10:1 Sweep		2			2		%	$f_L = 1kHz$, $f_H = 10kHz$
1000:1 Sweep		8			8		%	$f_L = 100Hz$, $f_H = 100kHz$
FM Distortion		0.1			0.1		%	$\pm 10\%$ Deviation
Recommended Timing Components								
Timing Capacitor: C	0.001		100	0.001		100	μF	Figure 5
Timing Resistors: R_1 & R_2	1		2000	1		2000	k Ω	
Triangle Sine Wave Output¹								
Triangle Amplitude		160			160		mV/k Ω	Figure 2, S_1 Open
Sine Wave Amplitude	40	60	80		60		mV/k Ω	Figure 2, S_1 Closed
Max. Output Swing		6			6		Vp-p	
Output Impedance		600			600		Ω	
Triangle Linearity		1			1		%	
Amplitude Stability		0.5			0.5		dB	For 1000:1 Sweep
Sine Wave Distortion								
Without Adjustment		2.5			2.5		%	$R_1 = 30k\Omega$
With Adjustment		0.4	1.0		0.5	1.5	%	See Figure 7 and Figure 8

Notes

¹ Output amplitude is directly proportional to the resistance, R_3 , on Pin 3. See Figure 3.

² For maximum amplitude stability, R_3 should be a positive temperature coefficient resistor.

Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.



XR-2206

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONT'D)

Parameters	XR-2206M/P			XR-2206CP/D			Units	Conditions
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Amplitude Modulation								
Input Impedance	50	100		50	100		k Ω	
Modulation Range		100			100		%	
Carrier Suppression		55			55		dB	
Linearity		2			2		%	For 95% modulation
Square-Wave Output								
Amplitude		12			12		Vp-p	Measured at Pin 11.
Rise Time		250			250		ns	C _L = 10pF
Fall Time		50			50		ns	C _L = 10pF
Saturation Voltage		0.2	0.4		0.2	0.6	V	I _L = 2mA
Leakage Current		0.1	20		0.1	100	μ A	V _{CC} = 26V
FSK Keying Level (Pin 9)	0.8	1.4	2.4	0.8	1.4	2.4	V	See section on circuit controls
Reference Bypass Voltage	2.9	3.1	3.3	2.5	3	3.5	V	Measured at Pin 10.

Notes

¹ Output amplitude is directly proportional to the resistance, R₃, on Pin 3. See Figure 3.

² For maximum amplitude stability, R₃ should be a positive temperature coefficient resistor.

Bold face parameters are covered by production test and guaranteed over operating temperature range.

Specifications are subject to change without notice

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Power Supply	26V	Total Timing Current	6mA
Power Dissipation	750mW	Storage Temperature	-65°C to +150°C
Derate Above 25°C	5mW/°C		

SYSTEM DESCRIPTION

The XR-2206 is comprised of four functional blocks; a voltage-controlled oscillator (VCO), an analog multiplier and sine-shaper; a unity gain buffer amplifier; and a set of current switches.

The VCO produces an output frequency proportional to an input current, which is set by a resistor from the timing

terminals to ground. With two timing pins, two discrete output frequencies can be independently produced for FSK generation applications by using the FSK input control pin. This input controls the current switches which select one of the timing resistor currents, and routes it to the VCO.

Rev. 1.03

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

SLOS081G – FEBRUARY 1977 – REVISED SEPTEMBER 2004

description/ordering information (continued)

ORDERING INFORMATION

T _J	V _{I(O)max} AT 25°C	PACKAGE†	ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING	
0°C to 70°C	6 mV	PDIP (P)	Tube of 50	TL081ACP	TL081ACP
			Tube of 50	TL082ACP	TL082ACP
		PDIP (N)	Tube of 25	TL084ACN	TL084ACN
		SOIC (D)	Tube of 75	TL081ACD	081AC
			Reel of 2500	TL081ACDR	
			Tube of 75	TL082ACD	082AC
			Reel of 2500	TL082ACDR	
		Tube of 50	TL084ACD	TL084AC	
	Reel of 2500	TL084ACDR			
	SOP (PS)	Reel of 2000	TL082ACPSR	T082A	
	SOP (NS)	Reel of 2000	TL084ACNSR	TL084A	
	3 mV	PDIP (P)	Tube of 50	TL081BCP	TL081BCP
			Tube of 50	TL082BCP	TL082BCP
		PDIP (N)	Tube of 25	TL084BCN	TL084BCN
SOIC (D)		Tube of 75	TL081BCD	081BC	
		Reel of 2500	TL081BCDR		
		Tube of 75	TL082BCD	082BC	
		Reel of 2500	TL082BCDR		
Tube of 50		TL084BCD	TL084BC		
Reel of 2500	TL084BCDR				
-40°C to 85°C	6 mV	PDIP (P)	Tube of 50	TL081IP	TL081IP
			Tube of 50	TL082IP	TL082IP
		PDIP (N)	Tube of 25	TL084IN	TL081IN
		SOIC (D)	Tube of 75	TL081ID	TL081I
			Reel of 2500	TL081IDR	
			Tube of 75	TL082ID	TL082I
	Reel of 2500		TL082IDR		
	Tube of 50	TL084ID	TL084I		
	Reel of 2500	TL084IDR			
	TSSOP (PW)	Reel of 2000	TL082IPWR	Z082	
-40°C to 125°C	9 mV	SOIC (D)	Tube of 50	TL084QD	TL084QD
			Reel of 2500	TL084QDR	
-55°C to 125°C	9 mV	CDIP (J)	Tube of 25	TL084MJ	TL084MJ
		LCCC (FK)	Reel of 55	TL084FK	TL084FK
	6 mV	CDIP (JG)	Tube of 50	TL082MJG	TL082MJG
		LCCC (FK)	Tube of 55	TL082MFK	TL082MFK

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265 นั้น ไม่นอญญาตให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

SLOS081G – FEBRUARY 1977 – REVISED SEPTEMBER 2004

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

description/ordering information

The TL08x 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 TL08x family.

The C-suffix devices are characterized for operation from 0°C to 70°C. The I-suffix devices are characterized for operation from -40°C to 85°C. The Q-suffix devices are characterized for operation from -40°C to 125°C. The M-suffix devices are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C.

ORDERING INFORMATION

T _J	V _{IOmax} AT 25°C	PACKAGE†	ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING	
0°C to 70°C	15 mV	PDIP (P)	Tube of 50	TL081CP	TL081CP
			Tube of 50	TL082CP	TL082CP
		PDIP (N)	Tube of 25	TL084CN	TL084CN
			Tube of 75	TL081CD	TL081C
		SOIC (D)	Reel of 2500	TL081CDR	
			Tube of 75	TL082CD	TL082C
			Reel of 2500	TL082CDR	
			Tube of 50	TL084CD	TL084C
			Reel of 2500	TL084CDR	
			SOP (PS)	Reel of 2000	TL081CPSR
		Reel of 2000		TL082CPSR	T082
		SOP (NS)	Reel of 2000	TL084CNSR	TL084
		TSSOP (PW)	Tube of 150	TL082CPW	T082
			Reel of 2000	TL082CPWR	
			Tube of 90	TL084CPW	T084
			Reel of 2000	TL084CPWR	

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



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

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

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated. On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

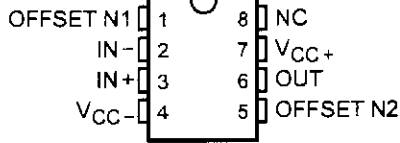
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75285 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า¹

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

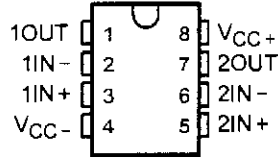
SLOS081G - FEBRUARY 1977 - REVISED SEPTEMBER 2004

**TL081, TL081A, TL081B
D, P, OR PS PACKAGE
(TOP VIEW)**

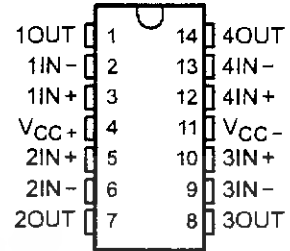


NC - No internal connection

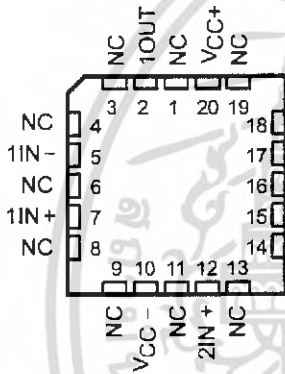
**TL082, TL082A, TL082B
D, JG, P, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)**



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

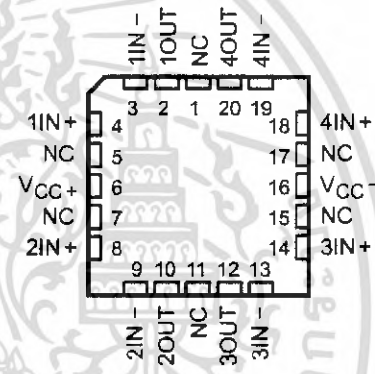


**TL082M ... FK PACKAGE
(TOP VIEW)**



NC - No internal connection

**TL084M ... FK PACKAGE
(TOP VIEW)**



NC - No internal connection

symbols

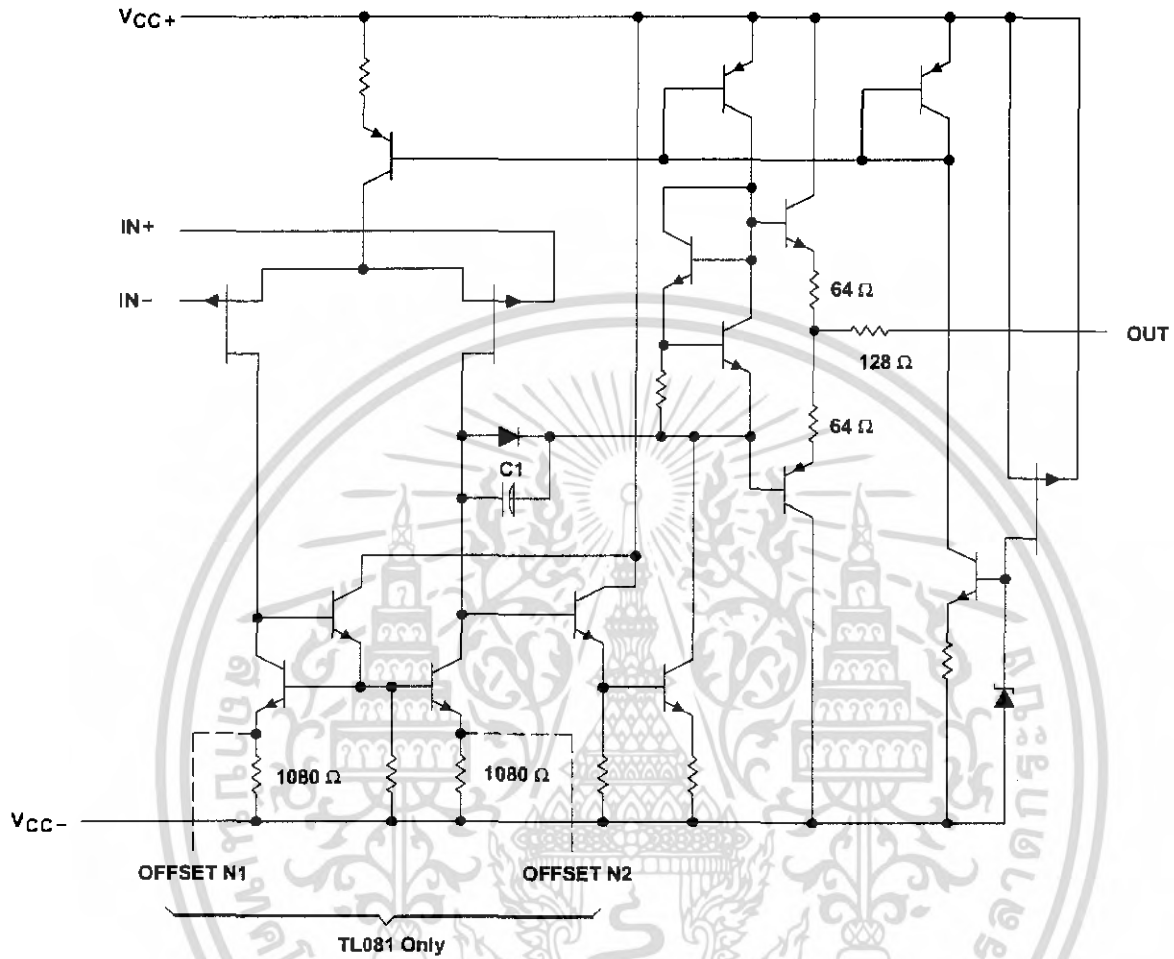


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B
TL084, TL084A, TL084B
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS
 SLOS081G - FEBRUARY 1977 - REVISED SEPTEMBER 2004

schematic (each amplifier)



Component values shown are nominal.



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

SLOS081G - FEBRUARY 1977 - REVISED SEPTEMBER 2004

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

	TL08_C TL08_AC TL08_BC	TL08_I	TL084Q	TL08_M	UNIT
Supply voltage, V_{CC+} (see Note 1)	18	18	18	18	V
Supply voltage V_{CC-} (see Note 1)	-18	-18	-18	-18	V
Differential input voltage, V_{ID} (see Note 2)	± 30	± 30	± 30	± 30	V
Input voltage, V_I (see Notes 1 and 3)	± 15	± 15	± 15	± 15	V
Duration of output short circuit (see Note 4)	Unlimited	Unlimited	Unlimited	Unlimited	
Continuous total power dissipation	See Dissipation Rating Table				
Operating free-air temperature range, T_A	0 to 70	-40 to 85	-40 to 125	-55 to 125	$^{\circ}\text{C}$
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Notes 5 and 6)	D package (8-pin)	97	97		$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
	D package (14-pin)	86	86		
	N package (14-pin)	76	76		
	NS package (14-pin)	80			
	P package (8-pin)	85	85		
	PS package (8-pin)	95	95		
	PW package (14-pin)	113	113		
Operating virtual junction temperature	150	150	150	150	$^{\circ}\text{C}$
Case temperature for 60 seconds, T_C	FK package			260	$^{\circ}\text{C}$
Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds	J or JG package			300	$^{\circ}\text{C}$
Storage temperature range, T_{stg}	-65 to 150	-65 to 150	-65 to 150	-65 to 150	$^{\circ}\text{C}$

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

- NOTES:
- All voltage values, except differential voltages, are with respect to the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-} .
 - Differential voltages are at $IN+$ with respect to $IN-$.
 - The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 V, whichever is less.
 - 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.
 - Maximum power dissipation is a function of $T_J(\text{max})$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\text{max}) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150 $^{\circ}\text{C}$ can affect reliability.
 - The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

DISSIPATION RATING TABLE

PACKAGE	$T_A \leq 25^{\circ}\text{C}$ POWER RATING	DERATING FACTOR	DERATE ABOVE T_A	$T_A = 70^{\circ}\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 85^{\circ}\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 125^{\circ}\text{C}$ POWER RATING
D (14 pin)	680 mW	7.6 mW/ $^{\circ}\text{C}$	60 $^{\circ}\text{C}$	604 mW	490 mW	186 mW
FK	680 mW	11.0 mW/ $^{\circ}\text{C}$	88 $^{\circ}\text{C}$	680 mW	680 mW	273 mW
J	680 mW	11.0 mW/ $^{\circ}\text{C}$	88 $^{\circ}\text{C}$	680 mW	680 mW	273 mW
JG	680 mW	8.4 mW/ $^{\circ}\text{C}$	69 $^{\circ}\text{C}$	672 mW	546 mW	210 mW



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265 ...ไปอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

SLOS081G - FEBRUARY 1977 - REVISED SEPTEMBER 2004

electrical characteristics, $V_{CC} \pm = \pm 15\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T _A †	TL081C TL082C TL084C			TL081AC TL082AC TL084AC			TL081BC TL082BC TL084BC			TL081I TL082I TL084I			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V _{IO}	V _O = 0 R _S = 50 Ω	25°C Full range	3	15	20	3	6	6	2	3	3	6	6	mV	
αV _{IO}	V _O = 0 R _S = 50 Ω	Full range	18			18			18			18		μV/°C	
I _{IO}	V _O = 0	25°C Full range	5	200	2	5	100	2	5	100	5	100	10	pA	
I _{IB}	V _O = 0	25°C Full range	30	400	10	30	200	7	30	200	30	200	20	nA	
V _{ICR}	Common-mode input voltage range	25°C	±11	to 15		±12	to 15		±11	to 15	±12	to 15		V	
V _{OM}	Maximum peak output voltage swing	25°C	±12	±13.5		±12	±13.5		±12	±13.5	±12	±13.5		V	
A _{VD}	Large-signal differential voltage amplification	25°C	±10	±12		±10	±12		±10	±12	±10	±12		V/mV	
B ₁	Unity-gain bandwidth	25°C	25	200		25	200		25	200	25	200		MHz	
r _i	Input resistance	25°C	10 ¹²			10 ¹²			10 ¹²		10 ¹²			Ω	
CMRR	Common-mode rejection ratio	25°C	70	86		75	86		75	86	75	86		dB	
kSVR	Supply-voltage rejection ratio (ΔV _{CC±} /ΔV _{IO})	25°C	70	86		80	86		80	86	80	86		dB	
I _{CC}	Supply current (per amplifier)	25°C	1.4	2.8		1.4	2.8		1.4	2.8	1.4	2.8		mA	
V _{O1} /V _{O2}	Crosstalk attenuation	25°C	120			120			120		120			dB	

† All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode voltage, unless otherwise specified. Full range for T_A is 0°C to 70°C for TL08_C, TL08_AC, TL08_BC and -40°C to 85°C for TL08_I.

‡ Input bias currents of an FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive, as shown in Figure 17. Pulse techniques must be used that maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265 ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

SLOS081G - FEBRUARY 1977 - REVISED SEPTEMBER 2004

electrical characteristics, $V_{CC\pm} = \pm 15$ V (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	T _A	TL081M, TL082M			TL084Q, TL084M			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V _{IO}	Input offset voltage V _O = 0, R _S = 50 Ω	25°C		3	6		3	9	mV
		Full range			9		15		
α _{VIO}	Temperature coefficient of input offset voltage V _O = 0, R _S = 50 Ω	Full range		18			18		μV/°C
I _{IO}	Input offset current‡ V _O = 0	25°C		5	100		5	100	pA
		125°C			20		20	nA	
I _{IB}	Input bias current‡ V _O = 0	25°C		30	200		30	200	pA
		125°C			50		50	nA	
V _{ICR}	Common-mode input voltage range	25°C	±11	-12 to 15		±11	-12 to 15		V
V _{OM}	Maximum peak output voltage swing	R _L = 10 kΩ	25°C	±12	±13.5		±12	±13.5	V
		R _L ≥ 10 kΩ	Full range	±12		±12			
		R _L ≥ 2 kΩ		±10	±12	±10	±12		
A _{VD}	Large-signal differential voltage amplification V _O = ±10 V, R _L ≥ 2 kΩ	25°C	25	200		25	200	V/mV	
		Full range	15			15			
B ₁	Unity-gain bandwidth	25°C		3			3	MHz	
r _i	Input resistance	25°C		10 ¹²			10 ¹²	Ω	
CMRR	Common-mode rejection ratio V _{IC} = V _{ICRmin} , V _O = 0, R _S = 50 Ω	25°C	80	86		80	86	dB	
k _{SVR}	Supply-voltage rejection ratio (ΔV _{CC±} /ΔV _{IO}) V _{CC} = ±15 V to ±9 V, V _O = 0, R _S = 50 Ω	25°C	80	86		80	86	dB	
I _{CC}	Supply current (per amplifier) V _O = 0, No load	25°C		1.4	2.8		1.4	2.8	mA
V _{O1} /V _{O2}	Crosstalk attenuation A _{VD} = 100	25°C		120			120	dB	

† All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified.

‡ Input bias currents of a FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive, as shown in Figure 17. Pulse techniques must be used that maintain the junction temperatures as close to the ambient temperature as possible.

operating characteristics, $V_{CC\pm} = \pm 15$ V, T_A = 25°C (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
SR	Slew rate at unity gain V _I = 10 V, R _L = 2 kΩ, C _L = 100 pF, See Figure 1 V _I = 10 V, R _L = 2 kΩ, C _L = 100 pF, T _A = -55°C to 125°C, See Figure 1	8*	13		V/μs
		5*			
t _r	Rise time V _I = 20 mV, R _L = 2 kΩ, C _L = 100 pF, See Figure 1		0.05		μs
	Overshoot factor		20		%
V _n	Equivalent input noise voltage R _S = 20 Ω	f = 1 kHz	18		nV/√Hz
		f = 10 Hz to 10 kHz	4		μV
I _n	Equivalent input noise current R _S = 20 Ω, f = 1 kHz		0.01		pA/√Hz
THD	Total harmonic distortion V _{I(rms)} = 6 V, f = 1 kHz, A _{VD} = 1, R _S ≤ 1 kΩ, R _L ≥ 2 kΩ		0.003		%

*On products compliant to MIL-PRF-38535, this parameter is not production tested.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับองค์กรที่ได้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75285

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B TL084, TL084A, TL084B

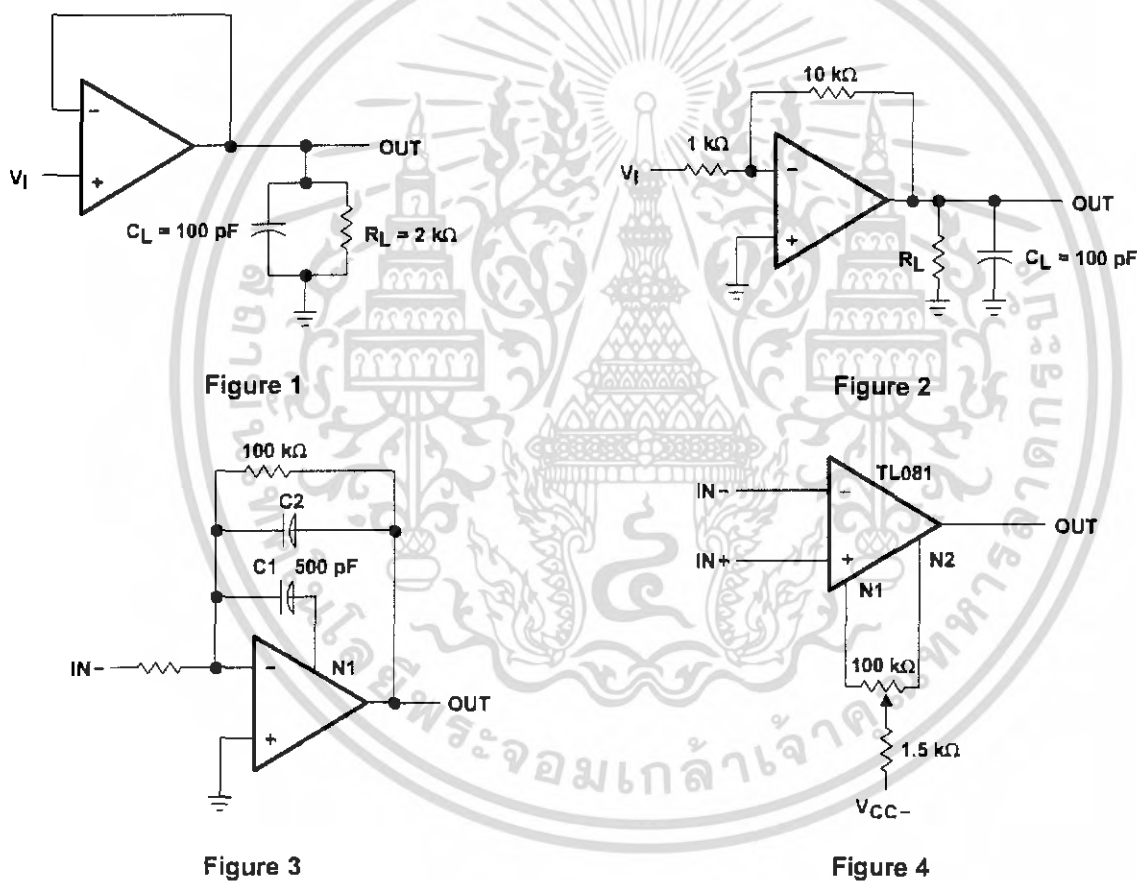
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS081G - FEBRUARY 1977 - REVISED SEPTEMBER 2004

operating characteristics, $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS			MIN	TYP	MAX	UNIT
SR Slew rate at unity gain	$V_I = 10\text{ V}$,	$R_L = 2\text{ k}\Omega$,	$C_L = 100\text{ pF}$,	See Figure 1	8	13	$\text{V}/\mu\text{s}$
t_r Rise time	$V_I = 20\text{ mV}$,	$R_L = 2\text{ k}\Omega$,	$C_L = 100\text{ pF}$,	See Figure 1	0.05		μs
Overshoot factor					20		%
V_n Equivalent input noise voltage	$R_S = 20\ \Omega$	$f = 1\text{ kHz}$		18		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$	
		$f = 10\text{ Hz to } 10\text{ kHz}$		4		μV	
I_n Equivalent input noise current	$R_S = 20\ \Omega$,	$f = 1\text{ kHz}$		0.01		$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$	
THD Total harmonic distortion	$V_{I\text{rms}} = 6\text{ V}$,	$A_{VD} = 1$,	$R_S \leq 1\text{ k}\Omega$,	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$,	0.003		%
	$f = 1\text{ kHz}$						

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75285

TL081, TL081A, TL081B, TL082, TL082A, TL082B
 TL084, TL084A, TL084B
JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS
 SLOS081G - FEBRUARY 1977 - REVISED SEPTEMBER 2004

TYPICAL CHARACTERISTICS

Table of Graphs

		FIGURE
V _{OM}	Maximum peak output voltage	vs Frequency
		vs Free-air temperature
		vs Load resistance
		vs Supply voltage
A _{VD}	Large-signal differential voltage amplification	vs Free-air temperature
		vs Frequency
	Differential voltage amplification	vs Frequency with feed-forward compensation
P _D	Total power dissipation	vs Free-air temperature
I _{CC}	Supply current	vs Free-air temperature
		vs Supply voltage
I _{IB}	Input bias current	vs Free-air temperature
	Large-signal pulse response	vs Time
V _O	Output voltage	vs Elapsed time
CMRR	Common-mode rejection ratio	vs Free-air temperature
V _n	Equivalent input noise voltage	vs Frequency
THD	Total harmonic distortion	vs Frequency

**MAXIMUM PEAK OUTPUT VOLTAGE
 VS
 FREQUENCY**

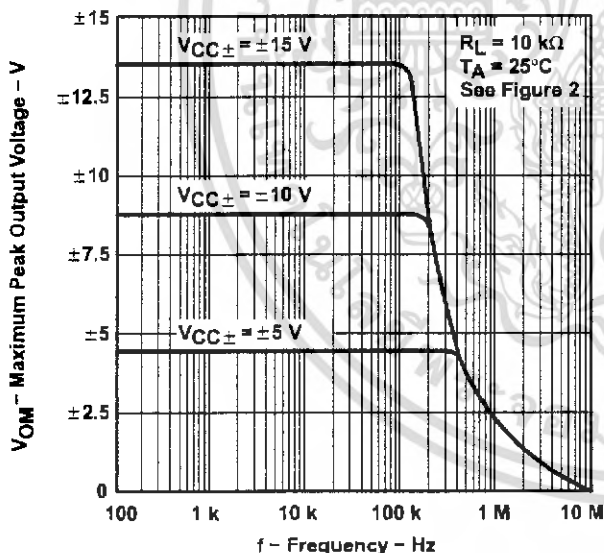


Figure 5

**MAXIMUM PEAK OUTPUT VOLTAGE
 VS
 FREQUENCY**

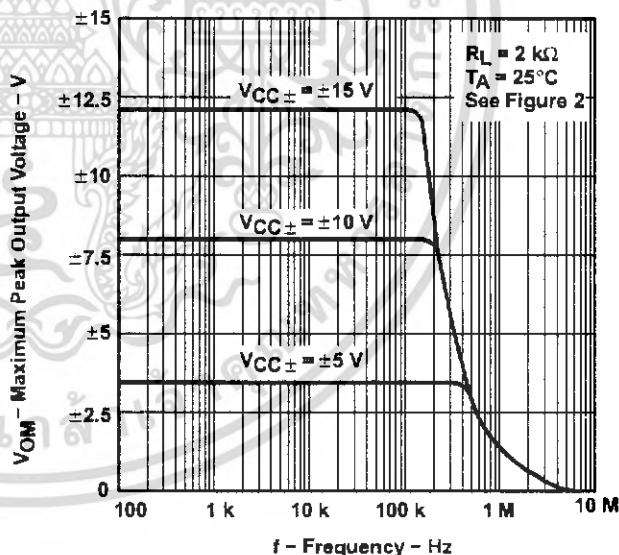


Figure 6



HA17741/PS

General-Purpose Operational Amplifier
(Frequency Compensated)

HITACHI

Description

The HA17741/PS is an internal phase compensation high-performance operational amplifier, that is appropriate for use in a wide range of applications in the test and control fields.

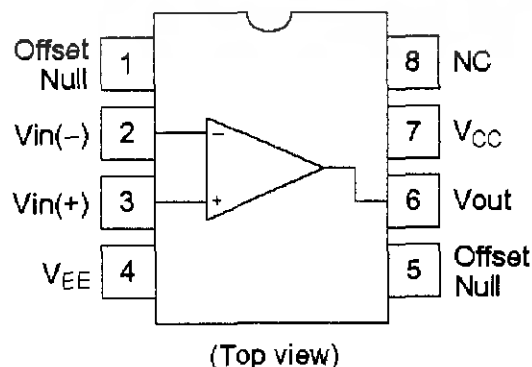
Features

- High voltage gain : 106 dB (Typ)
- Wide output amplitude : ± 13 V (Typ) (at $R_L \geq 2$ k Ω)
- Shorted output protection
- Adjustable offset voltage
- Internal phase compensation

Ordering Information

Application	Type No.	Package
Industrial use	HA17741PS	DP-8
Commercial use	HA17741	

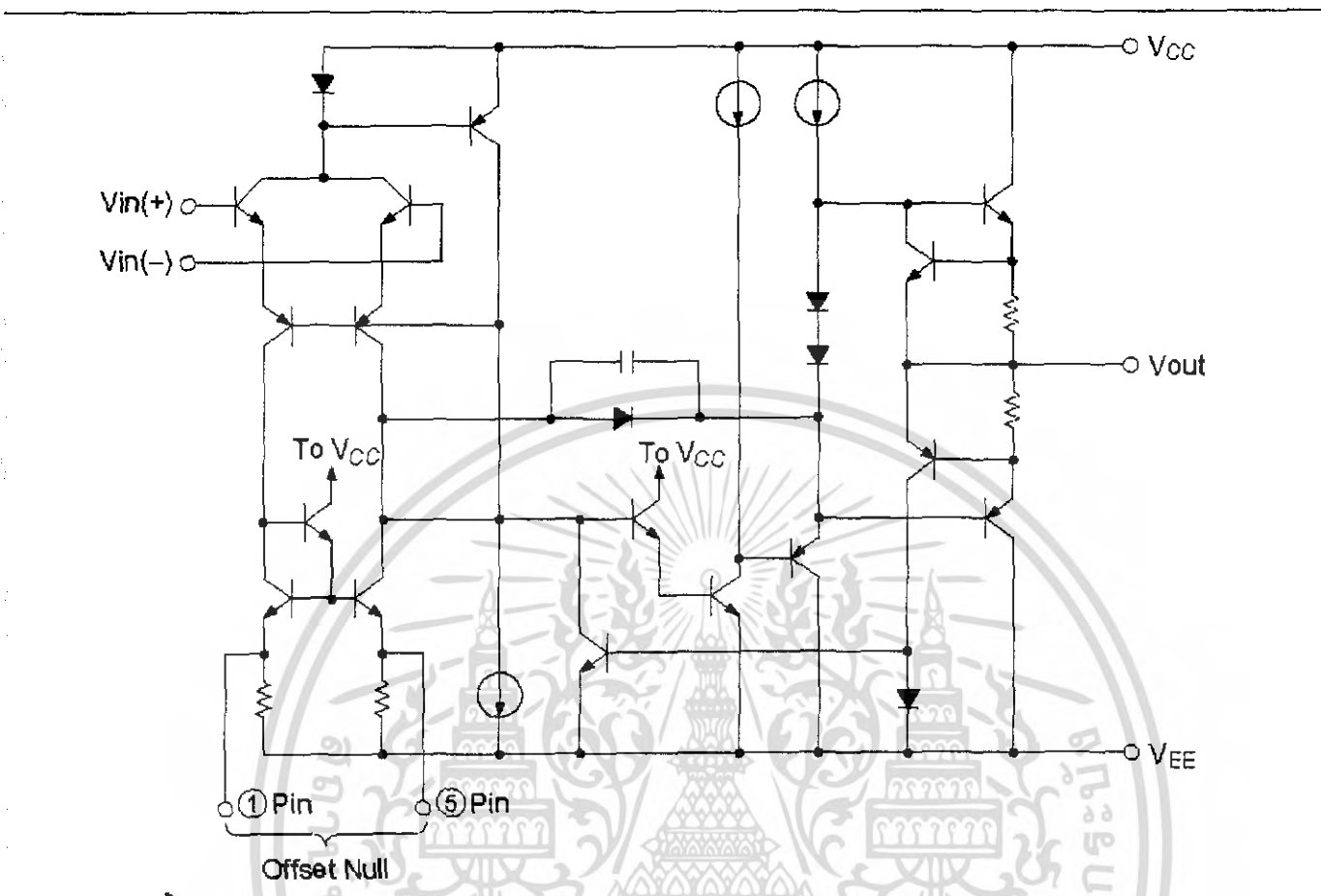
Pin Arrangement



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HA17741/PS

Circuit Structure



Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Item	Symbol	Ratings		Unit
		HA17741PS	HA17741	
Power-supply voltage	V _{CC}	+18	+18	V
	V _{EE}	-18	-18	V
Input voltage	V _{in}	±15	±15	V
Differential input voltage	V _{in(diff)}	±30	±30	V
Allowable power dissipation	P _T	670 *	670 *	mW
Operating temperature	T _{opr}	-20 to +75	-20 to +75	°C
Storage temperature	T _{stg}	-55 to +125	-55 to +125	°C

Note: These are the allowable values up to Ta = 45°C. Derate by 8.3 mW/°C above that temperature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตอย่างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics

Electrical Characteristics-1 ($V_{CC} = -V_{EE} = 15\text{ V}$, $T_a = 25^\circ\text{C}$)

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test Condition
Input offset voltage	V_{IO}	—	1.0	6.0	mV	$R_s \leq 10\text{ k}\Omega$
Input offset current	I_{IO}	—	18	200	nA	
Input bias current	I_{IB}	—	75	500	nA	
Power-supply rejection ratio	$\Delta V_{IO}/\Delta V_{CC}$	—	30	150	$\mu\text{V/V}$	$R_s \leq 10\text{ k}\Omega$
Common-mode rejection ratio	$\Delta V_{IO}/\Delta V_{EE}$	—	30	150	$\mu\text{V/V}$	$R_s \leq 10\text{ k}\Omega$
Voltage gain	A_{VD}	86	106	—	dB	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, $V_{out} = \pm 10\text{ V}$
Common-mode rejection ratio	CMR	70	90	—	dB	$R_s \leq 10\text{ k}\Omega$
Common-mode input voltage range	V_{CM}	± 12	± 13	—	V	$R_s \leq 10\text{ k}\Omega$
Maximum output voltage amplitude	V_{OP-P}	± 12	± 14	—	V	$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$
Output voltage amplitude		± 10	± 13	—	V	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$
Power dissipation	P_d	—	65	100	mW	No load
Slew rate	SR	—	1.0	—	V/ μs	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$
Rise time	t_r	—	0.3	—	μs	$V_{in} = 20\text{ mV}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$
Overshoot	V_{over}	—	5.0	—	%	$C_L = 100\text{ pF}$
Input resistance	R_{in}	0.3	1.0	—	M Ω	

Electrical Characteristics-2 ($V_{CC} = -V_{EE} = 15\text{ V}$, $T_a = -20\text{ to }+75^\circ\text{C}$)

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test Condition
Input offset voltage	V_{IO}	—	—	9.0	mV	$R_s \leq 10\text{ k}\Omega$
Input offset current	I_{IO}	—	—	400	nA	
Input bias current	I_{IB}	—	—	1,100	nA	
Voltage gain	A_{VD}	80	—	—	dB	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, $V_{out} = \pm 10\text{ V}$
Maximum output voltage amplitude	V_{OP-P}	± 10	—	—	V	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจาก Hitachi. ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HITACHI

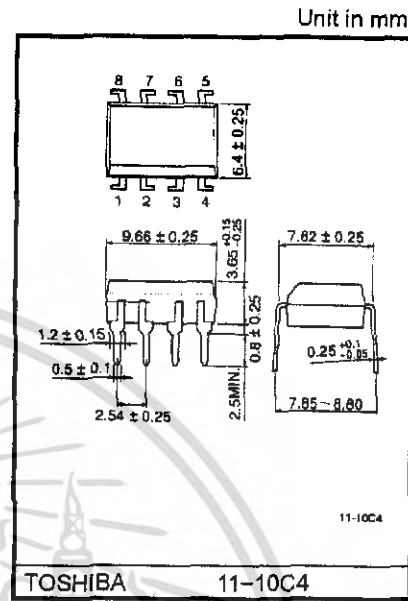
TOSHIBA Photocoupler Infrared LED + Photo IC

TLP550

- Digital Logic Isolation
- Line Receiver Feedback Control
- Power Supply Control
- Switching Power Supply
- Transistor Inverter

TLP550 constructs a high emitting diode and a one chip photo diode-transistor.
 TLP550 has no base connection, and is suitable for application at noisy environmental condition.
 This unit is 8-lead DIP package.

- Isolation voltage: 2500 Vrms (min.)
- Switching speed: $t_{pHL}, t_{pLH} = 0.5\mu s$ (typ.) ($R_L = 1.9 k\Omega$)
- TTL compatible
- UL recognized: UL1577, file No. E67349

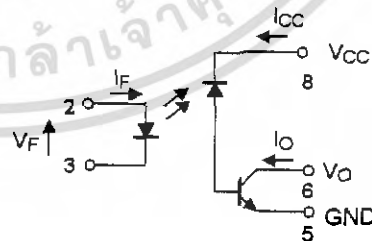


Weight: 0.54 g

Pin Configuration (top view)



Schematic



Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristic		Symbol	Rating	Unit
LED	Forward current (Note 1)	I _F	25	mA
	Pulse forward current (Note 2)	I _{FP}	50	mA
	Peak transient forward current (Note 3)	I _{FPT}	1	A
	Reverse voltage	V _R	5	V
	Diode power dissipation (Note 4)	P _D	45	mW
Detector	Output current	I _O	8	mA
	Peak output current	I _{OP}	16	mA
	Supply voltage	V _{CC}	-0.5~15	V
	Output voltage	V _O	-0.5~15	V
	Output power dissipation (Note 5)	P _O	100	mW
Operating temperature range		T _{opr}	-55~100	°C
Storage temperature range		T _{stg}	-55~125	°C
Lead solder temperature (10s)		T _{sol}	260	°C
Isolation voltage (AC, 1min., R.H. = 40~60%) (Note 6)		BVs	2500	Vrms

(Note 1) Derate 0.8mA above 70°C.

(Note 2) 50% duty cycle, 1ms pulse width.

Derate 1.6mA / °C above 70°C.

(Note 3) Pulse width 1μs, 300pps.

(Note 4) Derate 0.9mW / °C above 70°C.

(Note 5) Derate 2mW / °C above 70°C.

Electrical Characteristics (Ta = 25°C)

Characteristic		Symbol	Test condition	Min.	Typ.	Max.	Unit	
LED	Forward voltage	V _F	I _F = 16 mA	1.45	1.65	1.85	V	
	Forward voltage temperature coefficient	ΔV _F / ΔTa	I _F = 16 mA	—	-2	—	mV / °C	
	Reverse current	I _R	V _R = 5 V	—	—	10	μA	
	Capacitance between terminal	C _T	V _F = 0, f = 1 MHz	—	60	—	pF	
Detector	High level output current	I _{OH} (1)	I _F = 0 mA, V _{CC} = V _O = 5.5 V	—	3	500	nA	
		I _{OH} (2)	I _F = 0 mA, V _{CC} = V _O = 15 V	—	—	5	μA	
		I _{OH}	I _F = 0 mA, V _{CC} = V _O = 15 V Ta = 70°C	—	—	50	μA	
	High level supply voltage	I _{COH}	I _F = 0 mA, V _{CC} = 15 V	—	0.01	1	μA	
Coupled	Current transfer ratio	I _O / I _F	I _F = 16 mA V _{CC} = 4.5 V V _O = 0.4 V	Ta = 25°C	10	30	—	%
				Rank : 0	19	30	—	
				Ta = 0~70°C	5	—	—	
				Rank : 0	15	—	—	
	Low level output voltage	V _{OL}	I _F = 16 mA, V _{CC} = 4.5 V I _O = 1.1 mA (rank 0: I _O = 2.4 mA)	—	—	0.4	V	
Isolation resistance	R _S	R.H. = 40~60%, V = 1kV DC (Note 6)	—	10 ¹²	—	Ω		
Capacitance between input to output	C _S	V = 0, f = 1 MHz	—	0.8	—	pF		

Switching Characteristics (Ta = 25°C)

Characteristic	Symbol	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Propagation delay time (H → L)	t _{pHL}	I _F = 0 → 16 mA, V _{CC} = 5V, R _L = 4.1 kΩ	—	0.3	0.8	μs
		(Note 7) Rank 0: R _L = 1.9 kΩ	—	0.5	0.8	
Propagation delay time (L → H)	t _{pLH}	I _F = 16 → 0 mA, V _{CC} = 5V, R _L = 4.1 kΩ	—	1.0	2.0	μs
		(Note 7) Rank 0: R _L = 1.9 kΩ	—	0.6	1.2	
Common mode transient immunity at high output level	C _{MH}	I _F = 0 mA, V _{CM} = 200 V _{p-p} R _L = 4.1 kΩ (rank 0: R _L = 1.9 kΩ) (Note 8)	—	1500	—	V / μs
Common mode transient immunity at low output level	C _{ML}	I _F = 16 mA, V _{CM} = 200 V _{p-p} R _L = 4.1 kΩ (rank 0: R _L = 1.9 kΩ) (Note 8)	—	-1500	—	V / μs

International
IR Rectifier

Data Sheet No. PD60147 rev.U

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
Fully operational to +500V or +600V
Tolerant to negative transient voltage
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible
Separate logic supply range from 3.3V to 20V
Logic and power ground $\pm 5V$ offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

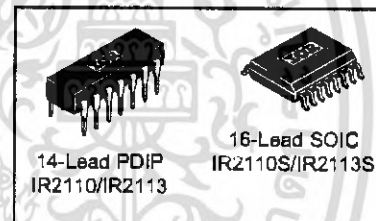
Product Summary

V_{OFFSET} (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
$I_{\text{O+/-}}$	2A / 2A
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{\text{on/off}}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

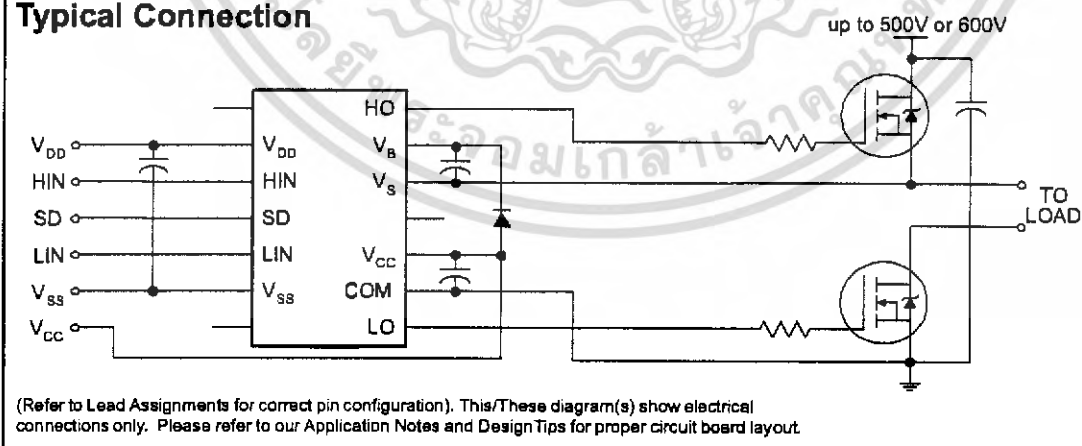
Description

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

Packages



Typical Connection



IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IOR Rectifier

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V_B	High side floating supply voltage (IR2110)	-0.3	525	V	
	(IR2113)	-0.3	625		
V_S	High side floating supply offset voltage	$V_B - 25$	$V_B + 0.3$		
V_{HO}	High side floating output voltage	$V_S - 0.3$	$V_B + 0.3$		
V_{CC}	Low side fixed supply voltage	-0.3	25		
V_{LO}	Low side output voltage	-0.3	$V_{CC} + 0.3$		
V_{DD}	Logic supply voltage	-0.3	$V_{SS} + 25$		
V_{SS}	Logic supply offset voltage	$V_{CC} - 25$	$V_{CC} + 0.3$		
V_{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	$V_{SS} - 0.3$	$V_{DD} + 0.3$		
dV_S/dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50		V/ns
P_D	Package power dissipation @ $T_A \leq +25^\circ\text{C}$	(14 lead DIP)	—	1.6	W
		(16 lead SOIC)	—	1.25	
R_{THJA}	Thermal resistance, junction to ambient	(14 lead DIP)	—	75	$^\circ\text{C/W}$
		(16 lead SOIC)	—	100	
T_J	Junction temperature	—	150	$^\circ\text{C}$	
T_S	Storage temperature	-55	150		
T_L	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300		

Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V_S and V_{SS} offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V_B	High side floating supply absolute voltage	$V_S + 10$	$V_S + 20$	V
V_S	High side floating supply offset voltage (IR2110)	Note 1	500	
	(IR2113)	Note 1	600	
V_{HO}	High side floating output voltage	V_S	V_B	
V_{CC}	Low side fixed supply voltage	10	20	
V_{LO}	Low side output voltage	0	V_{CC}	
V_{DD}	Logic supply voltage	$V_{SS} + 3$	$V_{SS} + 20$	
V_{SS}	Logic supply offset voltage	-5 (Note 2)	5	
V_{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V_{SS}	V_{DD}	
T_A	Ambient temperature	-40	125	$^\circ\text{C}$

Note 1: Logic operational for V_S of -4 to +500V. Logic state held for V_S of -4V to $-V_{SS}$. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

Note 2: When $V_{DD} < 5V$, the minimum V_{SS} offset is limited to $-V_{DD}$.

International
IR Rectifier

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

Dynamic Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, C_L = 1000 pF, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
t_{on}	Turn-on propagation delay	7	—	120	150	ns	$V_S = 0V$
t_{off}	Turn-off propagation delay	8	—	94	125		$V_S = 500V/600V$
t_{sd}	Shutdown propagation delay	9	—	110	140		$V_S = 500V/600V$
t_r	Turn-on rise time	10	—	25	35		
t_f	Turn-off fall time	11	—	17	25		
MT	Delay matching, HS & LS turn-on/off	(IR2110) (IR2113)	— —	— —	— —		10 20

Static Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The V_{IH} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The V_O and I_O parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V_{IH}	Logic "1" input voltage	12	9.5	—	—	V	
V_{IL}	Logic "0" input voltage	13	—	—	6.0		
V_{OH}	High level output voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	1.2		$I_O = 0A$
V_{OL}	Low level output voltage, V_O	15	—	—	0.1		$I_O = 0A$
I_{LK}	Offset supply leakage current	16	—	—	50	μA	$V_B = V_S = 500V/600V$
I_{QBS}	Quiescent V_{BS} supply current	17	—	125	230		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QCC}	Quiescent V_{CC} supply current	18	—	180	340		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QDD}	Quiescent V_{DD} supply current	19	—	15	30		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{IN+}	Logic "1" input bias current	20	—	20	40	V	$V_{IN} = V_{DD}$
I_{IN-}	Logic "0" input bias current	21	—	—	1.0		$V_{IN} = 0V$
V_{BSUV+}	V_{BS} supply undervoltage positive going threshold	22	7.5	8.6	9.7		
V_{BSUV-}	V_{BS} supply undervoltage negative going threshold	23	7.0	8.2	9.4		
V_{CCUV+}	V_{CC} supply undervoltage positive going threshold	24	7.4	8.5	9.6	A	
V_{CCUV-}	V_{CC} supply undervoltage negative going threshold	25	7.0	8.2	9.4		
I_{O+}	Output high short circuit pulsed current	26	2.0	2.5	—	A	$V_O = 0V$, $V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu s$
I_{O-}	Output low short circuit pulsed current	27	2.0	2.5	—		$V_O = 15V$, $V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR™

October 1987
Revised January 1999

CD40106BC Hex Schmitt Trigger

General Description

The CD40106BC Hex Schmitt Trigger is a monolithic complementary MOS (CMOS) integrated circuit constructed with N and P-channel enhancement transistors. The positive and negative-going threshold voltages, V_{T+} and V_{T-} , show low variation with respect to temperature (typ 0.0005V/°C at $V_{DD} = 10V$), and hysteresis, $V_{T+} - V_{T-} \geq 0.2 V_{DD}$ is guaranteed.

All inputs are protected from damage due to static discharge by diode clamps to V_{DD} and V_{SS} .

Features

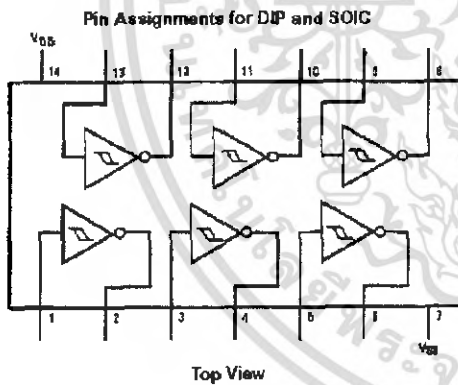
- Wide supply voltage range: 3V to 15V
- High noise immunity: $0.7 V_{DD}$ (typ.)
- Low power TTL compatibility:
Fan out of 2 driving 74L or 1 driving 74LS
- Hysteresis: $0.4 V_{DD}$ (typ.),
 $0.2 V_{DD}$ guaranteed
- Equivalent to MM74C14
- Equivalent to MC14584B

Ordering Code:

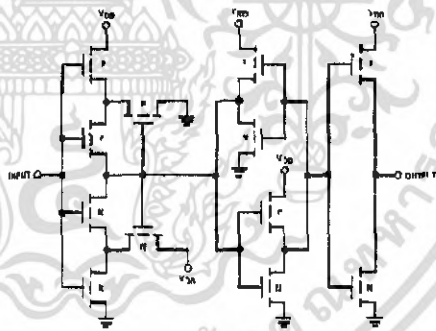
Order Number	Package Number	Package Description
CD40106BCM	M14A	14-Lead Small Outline integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150" Narrow Body
CD40106BCN	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram



Schematic Diagram



CD40106BC Hex Schmitt Trigger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CD40106BC

Absolute Maximum Ratings(Note 1)

(Note 2)

DC Supply Voltage (V_{DD})	-0.5 to +18 V_{DC}
Input Voltage (V_{IN})	-0.5 to V_{DD} + 0.5 V_{DC}
Storage Temperature Range (T_S)	-65°C to +150°C
Power Dissipation (P_D)	
Dual-In-Line	700 mW
Small Outline	500 mW
Lead Temperature (T_L)	
(Soldering, 10 seconds)	260°C

Recommended Operating Conditions (Note 2)

DC Supply Voltage (V_{DD})	3 to 15 V_{DC}
Input Voltage (V_{IN})	0 to V_{DD} V_{DC}
Operating Temperature Range (T_A)	-40°C to +85°C

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. They are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

Note 2: $V_{SS} = 0V$ unless otherwise specified.

DC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	-40°C		+25°C			+85°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
I_{DD}	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V$		4.0			4.0		30	μA
		$V_{DD} = 10V$		8.0			8.0		60	μA
		$V_{DD} = 15V$		16.0			16.0		120	μA
V_{OL}	LOW Level Output Voltage	$ I_O < 1 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V$		0.05			0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 10V$		0.05			0.05		0.05	V
V_{OH}	HIGH Level Output Voltage	$ I_O < 1 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V$	4.95	4.95	5		4.95			V
		$V_{DD} = 10V$	9.95	9.95	10		9.95			V
V_{T-}	Negative-Going Threshold Voltage	$V_{DD} = 5V, V_O = 4.5V$	0.7	2.0	0.7	1.4	2.0	0.7	2.0	V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9V$	1.4	4.0	1.4	3.2	4.0	1.4	4.0	V
		$V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$	2.1	6.0	2.1	5.0	6.0	2.1	6.0	V
V_{T+}	Positive-Going Threshold Voltage	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$	3.0	4.3	3.0	3.6	4.3	3.0	4.3	V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1V$	6.0	8.6	6.0	6.8	8.6	6.0	8.6	V
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$	9.0	12.9	9.0	10.0	12.9	9.0	12.9	V
V_H	Hysteresis ($V_{T+} - V_{T-}$) Voltage	$V_{DD} = 5V$	1.0	3.6	1.0	2.2	3.6	1.0	3.6	V
		$V_{DD} = 10V$	2.0	7.2	2.0	3.6	7.2	2.0	7.2	V
		$V_{DD} = 15V$	3.0	10.8	3.0	5.0	10.8	3.0	10.8	V
I_{OL}	LOW Level Output Current (Note 3)	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.4V$	0.62		0.44	0.88		0.36		mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 0.6V$	1.3		1.1	2.25		0.9		mA
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$	3.6		3.0	6.8		2.4		mA
I_{OH}	HIGH Level Output Current (Note 3)	$V_{DD} = 5V, V_O = 4.6V$	-0.52		-0.44	-0.88		-0.36		mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9.5V$	-1.3		-1.1	-2.25		-0.9		mA
		$V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$	-3.6		-3.0	-6.8		-2.4		mA
I_{IN}	Input Current	$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 0V$		-0.30		-10 ⁻⁵		-0.30		μA
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.30		10 ⁻⁵		0.30		μA

Note 3: I_{OH} and I_{OL} are tested one output at a time.

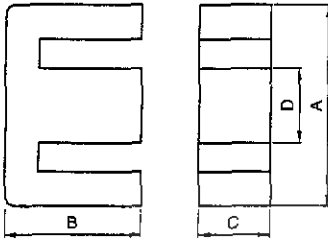
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ferrite Cores

EE, EF Series

For Power Supply
EE, EF Cores

CORE SHAPES AND DIMENSIONS/CHARACTERISTICS



Type	Dimensions (mm)				Ae (mm ²)	le (mm)	Weight (g)
	A	B	C	D			
EE8	8.3±0.2	4±0.1	3.6±0.2	1.85±0.15	7	19.2	0.7
EE10/11	10.2±0.2	5.5±0.1	4.75±0.15	2.45±0.15	12.1	26.1	1.5
EF12.6	12.7±0.4	6.4±0.1	3.6±0.2	3.65±0.15	13	29.6	2
EE13	13±0.2	6±0.15	6.15±0.15	2.75±0.15	17.1	30.2	2.7
EE16	16±0.3	7.2±0.1	4.8±0.2	4±0.2	19.2	35	3.3
SEE16	16±0.3	7.15±0.15	6.8±0.2	3.175±0.175	21.7	36.6	4.1
EF16	16.1±0.6	8.05±0.15	4.8±0.2	4.55±0.15	20.1	37.6	3.9
EE19	19.1±0.3	7.95±0.15	5±0.2	4.55±0.15	23	39.4	4.8
EE19/16	19.29±0.32	8.1±0.18	4.75±0.13	4.75±0.08	22.4	39.1	4.8
EE20/20/5	20.15±0.55	10±0.2	5.1±0.2	5±0.2	31	43	7.5
EF20	20±0.4	9.9±0.2	5.65±0.25	5.7±0.2	33.5	44.9	7.4
EE22	22±0.3	9.35±0.16	5.75±0.25	5.75±0.25	41	39.6	8.8
EE25/19	25.4±0.5	9.46±0.19	6.29±0.19	6.35±0.25	40	48.7	9.1
EF25	25.05±0.75	12.55±0.25	7.2±0.3	7.25±0.25	51.8	57.8	15
EE25.4	25.4±0.76	9.66±0.15	6.35±0.25	6.35±0.25	40.3	48.7	10
EE30	30±0.5	13.15±0.15	10.7±0.3	10.7±0.3	109	57.7	32
EE30/30/7	30.1±0.7	15±0.2	7.05±0.25	6.95±0.25	59.7	66.9	22
EF32	32.1±0.8	16.1±0.3	9.15±0.35	9.2±0.3	83.2	74.3	32
EE35	34.54±1	14.33±0.35	9.53±0.38	9.39±0.27	89.4	69.2	33
EE35/28B	34.6±0.5	14.27±0.3	9.31±0.3	9.4±0.3	84.9	69.6	28
EE40	40±0.5	17±0.3	10.7±0.3	10.7±0.3	127	77	50
EE41/33C	41.07±0.81	16.78±0.13	12.57±0.38	12.64±0.25	158.7	77.6	64
EE42/42/15	42.15±0.85	21±0.2	14.95±0.25	11.95±0.25	182	97	80
EE42/42/20	42.15±0.85	21±0.2	19.7±0.3	11.95±0.25	235	97.4	116
EE47/39	47.12±0.76	19.63±0.2	15.62±0.25	15.62±0.25	242	90.6	108
EE50	50±0.7	21.3±0.3	14.6±0.4	14.6±0.4	226	95.8	116
EE50.3/51/6	50.3±0.8	25.6±0.25	6.1±0.2	19.9±0.35	121	105	68
EE55/55/21	55.15±1.05	27.5±0.3	20.7±0.3	16.95±0.25	354	123	234
EE57/47	56.57±1	23.6±0.23	18.8±0.25	18.8±0.25	344	102	190
EE60	60±0.8	22.3±0.3	15.6±0.4	15.6±0.4	247	110	135
EE62.3/62/6	62.3±1.2	31±0.25	6.1±0.2	25.3±0.5	153	126	102

△ Specifications which provide more details for the proper and safe use of the described product are available upon request.

TDK

All specifications are subject to change without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ferrite Cores

For Power Supply
EE, EF Cores

EE, EF Series

ELECTRICAL CHARACTERISTICS WITHOUT AIR GAP

Part No.	AL-value* (nH/N ²) [1kHz, 0.5mA, 100Ts]	Calculated out- put power* (W) [100kHz]
PC40EE8-Z	610±25%	
PC40EE10/11-Z	850±25%	9.4
PC40EF12.8-Z	810±25%	
PC40EE13-Z	1130±25%	17
PC40EE16-Z	1140±25%	
PC40SEE16-Z	1240±25%	32
PC40EF16-Z	1100±25%	
PC40EE19-Z	1250±25%	
H5C2EE19/16-Z	5830±30%	
PC40EE19/16-Z	1350±25%	
PC40EE20/20/5-Z	1460±25%	41
PC40EF20-Z	1570±25%	
PC40EE22-Z	2180±25%	
H5C2EE25/19-Z	8520±30%	
PC40EE25/19-Z	2000±25%	70
PC40EF25-Z	2000±25%	
PC40EE25.4-Z	2000±25%	
PC40EE30-Z	4690±25%	
PC40EE30/30/7-Z	2100±25%	133
PC40EF32-Z	2590±25%	
PC40EF35-Z	3170±25%	
PC40EE35/28B-Z	2950±25%	
PC40EE40-Z	4150±25%	
PC40EE41/33C-Z	5060±25%	
PC40EE42/42/15-Z	4700±25%	419
PC40EE42/42/20-Z	6100±25%	
PC40EE47/39-Z	6660±25%	
PC40EE50-Z	6110±25%	
PC40EE50.3/51/6-Z	2900±25%	213
PC40EE55/55/21-Z	7100±25%	814
PC40EE57/47-Z	8530±25%	
PC40EE60-Z	5670±25%	
PC40EE62.3/62/6-Z	3100±25%	250

*The values were obtained with forward converter mode.

WITH AIR GAP

Part No.	AL-value (nH/N ²) [1kHz, 0.5mA, 100Ts]
PC40EE8AXXX*	40±7%, 63±10%
PC40EE10/11AXXX	40±7%, 63±10%
PC40EF12.6AXXX	63±7%, 100±10%
PC40EE13AXXX	63±7%, 100±10%
PC40EE16AXXX	80±7%, 160±10%
PC40SEE16AXXX	80±7%, 160±10%
PC40EF16AXXX	63±7%, 100±10%
PC40EE19AXXX	80±7%, 160±10%
PC40EE19/18AXXX	80±7%, 160±10%
PC40EE20/20/5AXXX	100±7%, 160±10%
PC40EF20AXXX	100±7%, 160±10%
PC40EE22AXXX	125±7%, 250±10%
PC40EE25/19AXXX	100±7%, 200±10%
PC40EF25AXXX	100±7%, 160±10%
PC40EE25.4AXXX	125±7%, 250±10%
PC40EE30AXXX	200±5%, 400±7%
PC40EE30/30/7AXXX	160±5%, 250±7%
PC40EF32AXXX	160±5%, 250±7%
PC40EE35AXXX	200±5%, 400±7%
PC40EE35/28BAXXX	200±5%, 400±7%
PC40EE40AXXX	200±5%, 400±7%
PC40EE41/33CAXXX	200±5%, 400±7%
PC40EE42/42/15AXXX	250±5%, 400±7%
PC40EE42/42/20AXXX	250±5%, 400±7%
PC40EE47/39AXXX	250±5%, 400±7%
PC40EE50AXXX	250±5%, 500±7%
PC40EE50.3/51/6AXXX	200±5%, 400±7%
PC40EE55/55/21AXXX	250±5%, 400±7%
PC40EE57/47AXXX	250±5%, 400±7%
PC40EE60AXXX	250±5%, 500±7%
PC40EE62.3/62/6AXXX	200±5%, 400±7%

*XXX: AL-value

△ Specifications which provide more details for the proper and safe use of the described product are available upon request.
All specifications are subject to change without notice.

 TDK.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ferrite Cores

For Power Supply
EE, EF Cores

EE, EF Series

EE BOBBINS

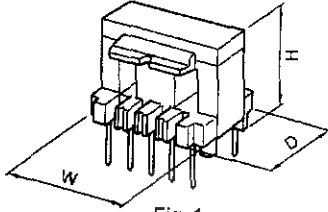


Fig. 1

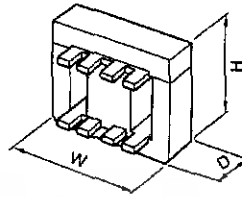


Fig. 2

WITH PIN TERMINAL (Fig. 1)

Part No.	No. of pin terminal	Dimensions (mm)			Clamp
		W	D	H	
BE-8-116CPH	6	8.3	8	8	
BE-10-118CPS	8	10.4	10.2	11.2	
BE-13-1110CPS	10	13.2	12.7	12.3	
BE-16-118CP	8	16.3	13.1	14.8	
BE-16-1110CPN	10	16.3	13.1	15.6	
BE-16-118CPH	8	16.5	14.6	13.6	
BES-16-1110CPS	10	16.3	14.1	16.3	
BE-19-116CP	6	20.3	16.7	16.2	
BE-19-118CPH	8	20.3	16.2	18.8	
BE-22-118CP	8	22.3	17.1	20.1	
BE-30-1110CP	10	30.4	25.1	28.6	FE-30-F
BE-30-1112CP	12	30.4	25.1	28.6	FE-30-G
BE-40-1112CP	12	40.5	30.2	35.8	FE-40-F, FE-40-G
BE-40-1112CPN	12	40.5	30.2	35.7	
BE-50-1112CP	12	50.7	36.2	43.6	FE-50-F, FE-50-G
BE-60.3/51/6-1112CPH	12	52	77	16.2	
BE-60-1112CP	12	60.8	45.2	45.1	FE-60-F, FE-60-G
BE-62.3/62/6-1112CPH	12	64	88	16.2	

• Material: FR phenol, UL Grade: 94V-0, Pin material: Steel wire (Solder plated)

WITHOUT PIN TERMINAL (Fig. 2)

Part No.	Dimensions (mm)			Material [UL Grade]	Clamp
	W	D	H		
BE-19-5116	20.3	14.9	16.2	6-Nylon[94V-0]	
BE-22-5116	22.3	13.1	19.5	6-Nylon[94V-0]	
BE-25-5116	25.8	19.2	18.7	6-Nylon[94V-0]	
BE-30-5112	30.4	21.1	27.2	6-Nylon[94V-0]	FE-30-F, FE-30-G
BE-40-5112	40.5	29.4	35.3	6-Nylon[94V-0]	FE-40-F, FE-40-G
BE-50-5112	50.7	35.8	43	6-Nylon[94V-0]	FE-50-F, FE-50-G
BE-60-5112	60.8	46	45	6-Nylon[94V-0]	FE-60-F, FE-60-G

• Material: 6-Nylon, UL Grade: 94V-0

△ Specifications which provide more details for the proper and safe use of the described product are available upon request.
All specifications are subject to change without notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้