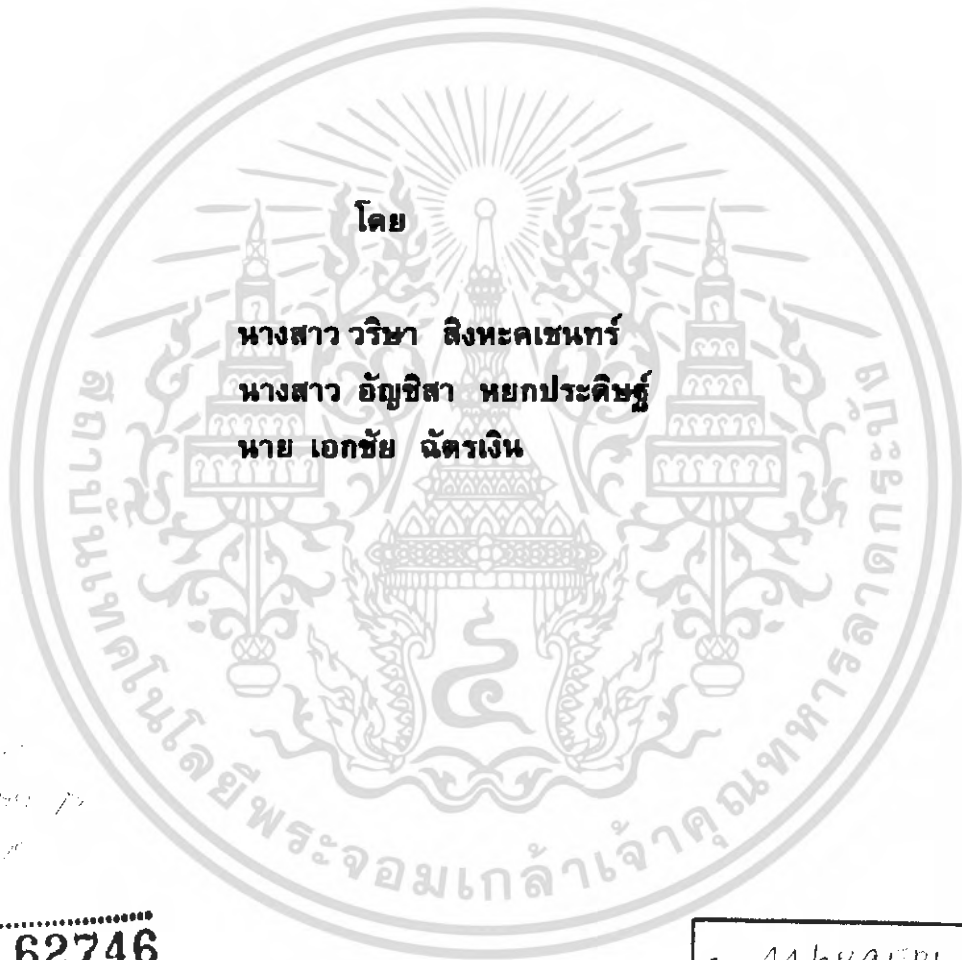


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการทำงานและควบคุมอินเวอร์เตอร์ชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์
STUDIES ON OPERATION AND CONTROL OF
FLYING CAPACITOR INVERTER



โดย

นางสาว วริษา สิงหะเชนทร์

นางสาว อัญชิสา หยกประดิษฐ์

นาย เอกชัย ฉัตรเงิน

๒๕๔๘
๒๕๔๘/๗
๑๗

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **62746**
วัน,เดือน,ปี. **21 ส.ค. 2549**

b. 1162952r
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2548

การศึกษาการทำงานและการควบคุมอินเวอร์เตอร์ชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์

STUDIES ON OPERATION AND CONTROL OF
FLYING CAPACITOR INVERTER



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. สมภพ ผลไม้

ผศ.ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาการทำงานและการควบคุมอินเวอร์เตอร์ชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์

ผู้จัดทำ

1. นางสาว วริษา สิงหะคเชนทร์
2. นางสาว อัญชิสรา หยกประดิษฐ์
3. นาย เอกชัย ฉัตรเงิน

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร. สมภาพ ผลไม้)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตนสัจจา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการทำงานและการควบคุมอินเวอร์เตอร์ชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์

นางสาว วริษา สิงหะเกษนทร์

นางสาว อัญชิสา หยกประดิษฐ์

นาย เอกชัย ฉัตรเงิน

ดร. สมภาพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้กล่าวถึงโครงสร้าง การทำงาน การสร้างสัญญาณขับขาเกทของอุปกรณ์ สวิตซ์ซิ่งของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์โดยใช้เทคนิคชาน์นุไฮดอล พัลส์วิดมอดูเลชัน ซึ่งได้อธิบายถึงหลักการทำงานและเงื่อนไขในการออกแบบ รวมถึงทำการ จำลอง วิเคราะห์ส่วนต่างๆ ของวงจรโดยอาศัยการสร้างแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ ด้วย โปรแกรม PSCAD วงจรสร้างสัญญาณ ถูกออกแบบและสร้างบน FPGA และใช้ ไมโครคอมพิวเตอร์ในการควบคุมการมอดูเลชัน ผลการทดลองกับอินเวอร์เตอร์ต้นแบบได้ผล สอดคล้องกับผลการจำลองจากคอมพิวเตอร์เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDIES ON OPERATION AND CONTROL OF FLYING CAPACITOR INVERTER

Warisa Singhakachen

Anchisa Yokpradit

Aekkachai Chutngeon

Dr. Sompob Polmai Advisor

Assist. Prof. Dr. Supat Kittiratsatcha Advisor

2006

ABSTRACT

This thesis presents structure and operation of a flying capacitor multilevel inverter which uses carrier phase – shift sinusoidal pulse - width modulation technique to generate gate-drive signal for each switching device in the inverter. The principle and condition of the circuits are described in details and PSCAD/EMTDC is used for simulating. Gate signals generation is designed and implement on FPGA and the microcomputer is used for modulation control. The experimental results obtained from the prototype inverter show good agreement with the results from the simulation.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบิดามารดาของคณะผู้จัดทำทุกๆท่าน ขอขอบคุณท่านอาจารย์สมภาพ ผลไม้ และท่านอาจารย์ สุพัฒน์ กิติรัตน์สัจจา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการ ขอขอบคุณทุกๆ ท่านที่มีส่วนร่วมในการทำให้โครงการนี้เสร็จสมบูรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
สารบัญรูป.....	III
สารบัญตาราง.....	IV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 โครงสร้างพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์.....	4
2.1.1 โครงสร้างพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์หลายระดับ ชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์.....	4
2.2 ทฤษฎีการสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของสวิตช์ซิงกำลัง.....	8
2.2.1 รูปแบบการสวิตช์ซิง.....	8
บทที่ 3 การทดลองสร้างจริง.....	10
3.1 การสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์.....	10
3.1.1 วงจรหลักของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์.....	10
3.1.2 ส่วนของแหล่งจ่ายกำลัง.....	12
3.2 การสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของสวิตช์ IGBT.....	13
3.2.1 การควบคุมการทำงานจากโปรแกรม Visual Basic.....	13
3.2.2 การ์ด 8255.....	15
3.2.3 วงจรสร้างสัญญาณขับขาเกตในบอร์ด FPGA.....	15
3.2.4 วงจรขับเกต.....	22
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง.....	23
4.1 ส่วนของวงจรควบคุม.....	23
4.2 ส่วนของวงจรกำลัง.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การวัดค่า Fast Fourier Transform: FFT ของแรงดันขาออก.....45

บทที่ 5 บทสรุปและเสนอแนวทางที่จะดำเนินการ.....49

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงอินเวอร์เตอร์ (ก) แบบ 2 ระดับ (ข) แบบ 3 ระดับ (ค) แบบ n ระดับ.....	1
2.1 แสดงวงจรพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์หลาย 5 ระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์.....	4
2.2 แสดงตัวอย่างสถานะของสวิตช์ที่แรงดันขาออกเป็น V_{dc}	6
2.3 แสดงตัวอย่างสถานะของสวิตช์ที่แรงดันขาออกเป็น $3V_{dc}/4$	6
2.4 แสดงตัวอย่างสถานะของสวิตช์ที่แรงดันขาออกเป็น $V_{dc}/2$	7
2.5 แสดงตัวอย่างสถานะของสวิตช์ที่แรงดันขาออกเป็น $V_{dc}/4$	7
2.6 แสดงรูปแบบการสวิตช์ซิง.....	8
2.7 แสดงวิธีเลื่อนเฟส (Phase Shifted).....	9
3.1 แสดงวงจรจริงของวงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์หลายระดับ ชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์.....	10
3.2 แสดงวงจรจำลองของอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ ในโปรแกรม PSCAD.....	11
3.3 แสดงส่วนของสวิตช์ IGBT.....	11
3.4 แสดงส่วนของแหล่งจ่ายกำลังของวงจรหลัก.....	12
3.5 แสดงส่วนของวงจรจ่ายกำลังของวงจรขับเคลื่อน.....	12
3.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุมการสร้างสัญญาณควบคุม การทำงานของสวิตช์โดยรวม.....	13
3.7 แสดงรูปแบบโปรแกรม Visual Basic ที่ใช้.....	13
3.8 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมใน Visual Basic.....	14
3.9 แสดงรูปบอร์ด 8255.....	15
3.10 แสดงรูปส่วนประกอบทั้งหมดของวงจรสร้างสัญญาณควบคุม ในโปรแกรม Quartus.....	15
3.11 แสดงรูปจำลองส่วนประกอบของวงจรสร้างสัญญาณขับเคลื่อน ในโปรแกรม Quartus.....	16
3.12 แสดงรูปจำลองส่วนประกอบของวงจรสร้างสัญญาณขับเคลื่อน 1 กิ่ง จากโปรแกรม PSCAD.....	16
3.13 แสดงส่วนของวงจร Decoder.....	17
3.14 แสดงส่วนของวงจร Counter.....	17
3.15 แสดงส่วนของวงจร Latch.....	18
3.16 แสดงส่วนของวงจร Comparator.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.17	แสดงส่วนของบอร์ด FPGA.....	18
3.18	แสดงส่วนของวงจร Dead time ในโปรแกรม Quartus.....	19
3.19	แสดงช่วงของสัญญาณประวิงเวลาของสัญญาณคู่ใดๆ.....	20
3.20	แสดงสัญญาณที่ผ่านวงจรประวิงเวลา โดยมีค่าประวิงเวลาประมาณ $2.6 \mu s$ ของสัญญาณของสวิตช์ S_1 และ S_1'	21
3.21	แสดงวงจรขับเกทจำลอง.....	22
3.22	แสดงวงจรขับเกทจริง.....	22
4.1	แสดงผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 1.0 โดยรูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง.....	24
4.2	แสดงผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.9 โดยรูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง.....	25
4.3	แสดงผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.8 โดยรูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง.....	26
4.4	แสดงผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.7 โดยรูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง.....	27
4.5	แสดงผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.6 โดยรูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง.....	28
4.6	แสดงผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.5 โดยรูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง.....	29
4.7	แสดงผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.4 โดยรูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง.....	30
4.8	แสดงผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.3 โดยรูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง.....	31
4.9	แสดงผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.2 โดยรูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง.....	32
4.10	แสดงผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.1 โดยรูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง.....	33
4.11	แสดงผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 1.0 โดยรูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง.....	35
4.12	แสดงผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.9 โดยรูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง.....	36
4.13	แสดงผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.8 โดยรูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง.....	37
4.14	แสดงผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยรูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง.....	38
4.15 แสดงผลการทดลองที่ m_0 เท่ากับ 0.6	
โดยรูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง.....	39
4.16 แสดงผลการทดลองที่ m_0 เท่ากับ 0.5	
โดยรูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง.....	40
4.17 แสดงผลการทดลองที่ m_0 เท่ากับ 0.4	
โดยรูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง.....	41
4.18 แสดงผลการทดลองที่ m_0 เท่ากับ 0.3	
โดยรูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง.....	42
4.19 แสดงผลการทดลองที่ m_0 เท่ากับ 0.2	
โดยรูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง.....	43
4.20 แสดงผลการทดลองที่ m_0 เท่ากับ 0.1	
โดยรูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง.....	44
4.21 แสดงผลการทดลองที่ m_0 เท่ากับ 1.0	
โดยรูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง.....	45
4.22 แสดงผลการทดลองที่ m_0 เท่ากับ 0.8	
โดยรูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง.....	46

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการทำงานของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งกำลัง และแรงดัน.....	5
4.1 แสดงค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลอง และการจำลอง.....	23

ตารางหมายเลขเรียงตามบทที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

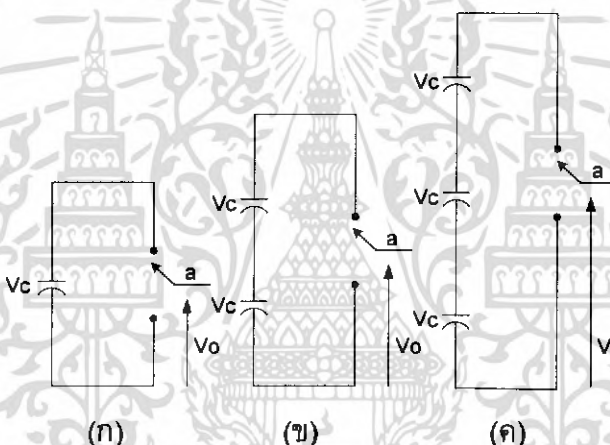
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในช่วงระยะที่ผ่านมา อุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีความต้องการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าระดับแรงดันสูง ที่ระดับเมกกะวัตต์ ในการควบคุมวงจรขับเคลื่อนกระแสสลับ (AC Drive) ในย่านเมกกะวัตต์ ปกติแล้วจะต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าแรงดันปานกลาง ซึ่งเป็นการยากที่จะนำอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งกำลัง (Power Semiconductor) เพียงตัวเดียวมาต่อโดยตรงกับระบบ (2.3, 3.3, หรือ 6.9 กิโลโวลต์) ด้วยเหตุผลนี้จึงเกิดอินเวอร์เตอร์หลายระดับเพื่อใช้งานในย่านแรงดันสูงนี้

อินเวอร์เตอร์หลายระดับจะประกอบด้วยชุดของอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งกำลังและตัวเก็บประจุแรงดันที่ได้จะเป็นรูปคลื่นขั้นบันไดโดยการจัดเรียงแรงดันของตัวเก็บประจุทำให้ได้แรงดันที่สูงขึ้น



รูปที่ 1.1 อินเวอร์เตอร์ (ก) แบบ 2 ระดับ (ข) แบบ 3 ระดับ (ค) แบบ n ระดับ

จากรูปที่ 1.1 แสดงแผนภาพของอินเวอร์เตอร์ ซึ่งมีหลายระดับโดยในที่นี้ อุปกรณ์สวิตช์ซึ่งกำลังถูกสมมุติให้เป็นสวิตช์ในอุดมคติ อินเวอร์เตอร์ 2 ระดับ จะสามารถสร้างแรงดันได้ 2 ค่า เมื่อเทียบกับจุดอ้างอิงซึ่งในที่นี้ คือ ขาลบของตัวเก็บประจุ ขณะที่อินเวอร์เตอร์ 3 ระดับก็สามารถสร้างแรงดันได้ 3 ค่า เมื่อเทียบกับจุดอ้างอิงซึ่งในที่นี้ คือ ขาลบของตัวเก็บประจุ ขณะที่อินเวอร์เตอร์ 3 ระดับก็สามารถสร้างแรงดันได้ 3 ค่า

กำหนดให้ m คือ จำนวนระดับของแรงดันเมื่อเทียบกับขาลบของตัวเก็บประจุ

k คือ จำนวนระดับของแรงดันระหว่างภาวะ

$$k = 2m - 1 \quad 1.1$$

p คือ จำนวนระดับของแรงดันเฟสของภาวะไฟฟ้า 3 เฟส

$$p = 2k - 1 \quad 1.2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์นี้ เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของวงจรใน 1 กิ่ง สามารถสรุปได้ดังนี้

$$\text{จำนวนระดับขั้น} = (\text{จำนวน switch} / 2) + 1 \quad 1.3$$

ในการสร้างอินเวอร์เตอร์ในครั้งแรกถูกสร้างเป็นแบบอินเวอร์เตอร์ 3 ระดับ ต่อมา มีการเพิ่มจำนวนระดับของอินเวอร์เตอร์ แรงดันที่ได้จะมีระดับขั้นบันไดมากขึ้น ซึ่งจะเป็นการช่วยลดฮาร์มอนิกส์ แต่อย่างไรก็ตามการควบคุมก็ทำได้ยากขึ้นเช่นกัน

อินเวอร์เตอร์หลายระดับจะมีโครงสร้างที่แตกต่างกันหลายชนิด เช่น ไดโอด- แคลมป์ (Diode-Clamped), คาสเคดมัลติเซลล์ (Cascaded Multicell) และฟลายอิงคาปาซิเตอร์ (Flying Capacitor) ซึ่งการควบคุมได้พัฒนาขึ้นและถูกนำมาใช้ในอินเวอร์เตอร์ ประกอบด้วย มัลติเลเวลชายนูนุไซดอลพัลส์วิตท์มอดูเลชัน (Multilevel Sinusoidal Pulse Width Modulation, SPWM), มัลติเลเวลซีเลคทีฟฮาร์มอนิกส์อีลิมีเนชัน (Multilevel Selective Harmonic Elimination) และสเปซเวกเตอร์มอดูเลชัน (Space Vector Modulation, SVM)

คุณสมบัติที่น่าสนใจของอินเวอร์เตอร์หลายระดับ

1. แรงดันที่สร้างขึ้นมีความผิดเพี้ยนน้อย และ dv/dt ต่ำ
2. กระแสมีความผิดเพี้ยนน้อย
3. สามารถทำงานได้ด้วยสวิตช์ซึ่งความถี่ต่ำ

การประยุกต์ใช้อินเวอร์เตอร์มีหลากหลายรูปแบบทั้งใช้เป็นตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ แก้วค่าฮาร์มอนิกส์ และปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า ซึ่งในปริยัตินิพนธ์ได้นำเสนอถึงการนำไปใช้ในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยใช้เป็นตัวจ่ายค่ากำลังไฟฟ้รีแอคทีฟให้กับภาระทางไฟฟ้าแทนระบบ โดยเลือกศึกษาอินเวอร์เตอร์ ชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ ในการควบคุมอินเวอร์เตอร์ใช้แบบมัลติเลเวลชายนูนุไซดอลพัลส์วิตท์มอดูเลชัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาโครงสร้าง และหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย

เป็นการศึกษาการทำงานของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ รวมทั้งสัญญาณควบคุมขาเกทของ Insulated Gate Bipolar Transistor; IGBT และนำไปทดลองจ่ายภาระทางไฟฟ้า

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาโครงสร้าง และหลักการทํางานของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ ว่ามีหลักการทํางานอย่างไร
2. ศึกษาแบบจำลองของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ด้วยโปรแกรม PSCAD
3. ศึกษาแบบจำลองของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ด้วยโปรแกรม Quartus
4. นำแบบจำลองที่ได้มาสร้างเป็นชิ้นงาน
5. นำผลการทดลองจากชิ้นงานมาเปรียบเทียบกับการจำลองในโปรแกรม PSCAD

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

เข้าใจถึงหลักการทํางาน, โครงสร้าง และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์

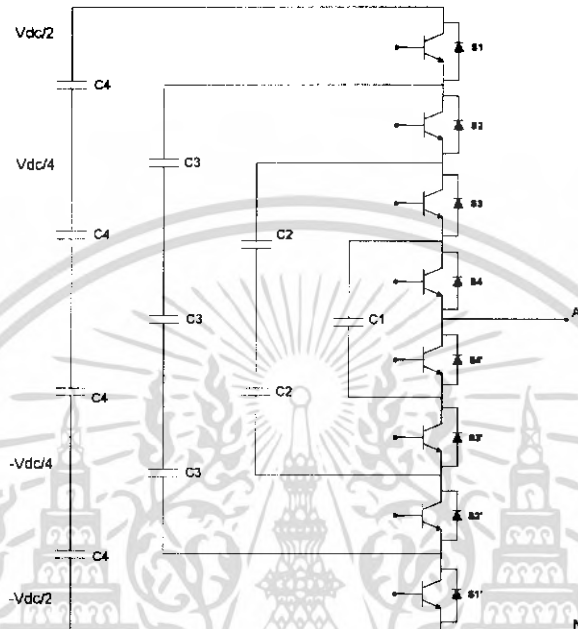


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีโครงสร้างพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์



รูปที่ 2.1 วงจรพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์หลาย 5 ระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์

2.1.1 โครงสร้างพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์

อินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์หรือ เรียกว่า คาปาซิเตอร์แคลมป์ (capacitor-clamped) มีโครงสร้างหลัก คือ

1. ตัวเก็บประจุ (Capacitor)
2. อุปกรณ์สวิตช์ซึ่งกำลัง (Power Semiconductor)

จากรูปที่ 2.1 ตัวเก็บประจุนอกสุดเรียกว่า คอมมอนดีซีลิงค์ (Common DC Link) เป็นตัวสะสมพลังงาน ขณะที่ตัวเก็บประจุนั้นๆ เรียกว่า ฟลายอิงคาปาซิเตอร์ ซึ่งจะสร้างแรงดันระดับต่างๆ จากแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ โดยให้มีแรงดันตกคร่อมเท่ากันแต่ละตัวเก็บประจุ ในรูปที่ 2.1 (ก) เป็นแบบ 3 ระดับ โดยแรงดันขาออก (V_{an}) ที่ได้จะมีอยู่สามสถานะคือ $V_{an} = V_{dc}/2, 0, -V_{dc}/2$ หากสวิตช์ S1a และ S2a ทำงาน จะได้แรงดัน $V_{dc}/2$ หากสวิตช์ S'1a และ S'2a ทำงาน จะได้แรงดัน $-V_{dc}/2$ และหาสวิตช์ S1a และ S'2a ทำงาน หรือ S2a และ S'1a ทำงาน จะได้แรงดันเป็นศูนย์ ส่วนในรูปที่ 2.1 (ข) เป็นแบบ 5 ระดับ นั้นจะมีรูปแบบการทำงานของสวิตช์เพิ่มมากขึ้นซึ่งจะมีการสร้างระดับของแรงดัน ดังต่อไปนี้

เมื่อทำการพิจารณาจากรูปของวงจรฟลายอิงคาปาซิเตอร์แบบ 5 ระดับแรงดันใน 1 เฟส ซึ่งจะมีโครงสร้างตามในรูป โดยจะทำการศึกษาการทำงานในส่วนที่ฟลายอิงคาปาซิเตอร์ ทั้งหมดนั้นก็คือ เมื่อเราทำการกำหนดแหล่งจ่ายไฟ DC ให้มีค่าเท่ากับ V_{DC} โดยที่ตัวเก็บประจุ C1, C2, C3, จะมีแรงดันตกคร่อมที่ตัวเท่ากับ $V_{DC}/4$, $V_{DC}/2$, $3V_{DC}/4$ ตามลำดับ โดยเราสามารถนำข้อมูล มาเขียนความสัมพันธ์ของระดับแรงดันขาออกได้ดังตาราง

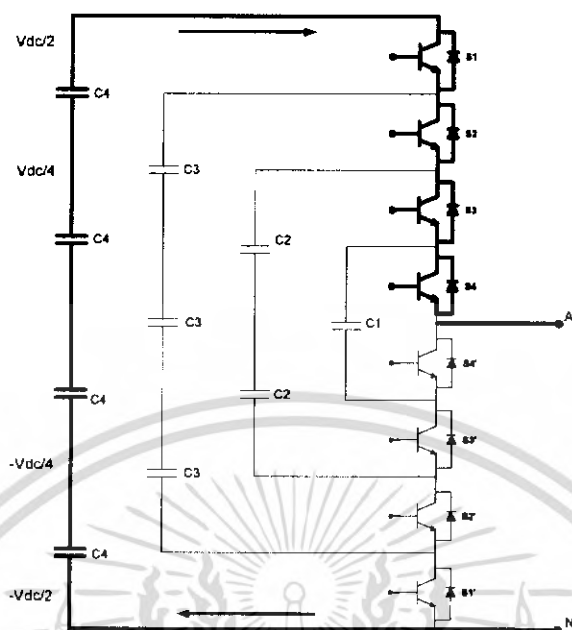
ตารางที่ 2.1 แสดงการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งกำลัง และแรงดัน

Switching States				Output Voltage related to Capacitor	Output Voltage
S1	S2	S3	S4		
1	1	1	1	$V_{dc} - 0$	V_{dc}
1	1	1	0	$V_{dc} - V_{dc}/4$	$3V_{dc}/4$
1	1	0	1	$V_{dc} - V_{dc}/2 + V_{dc}/4$	
1	0	1	1	$V_{dc} - 3V_{dc}/4 + V_{dc}/2$	
0	1	1	1	$3V_{dc}/4$	
1	1	0	0	$V_{dc} - V_{dc}/2$	$V_{dc}/2$
1	0	1	0	$V_{dc} - 3V_{dc}/4 + V_{dc}/2 - V_{dc}/4$	
0	1	1	0	$3V_{dc}/4 - V_{dc}/4$	
1	0	0	1	$V_{dc} - 3V_{dc}/4 + V_{dc}/4$	
0	1	0	1	$3V_{dc}/4 - V_{dc}/2 + V_{dc}/4$	$V_{dc}/4$
0	0	1	1	$V_{dc}/2$	
1	0	0	0	$V_{dc} - 3V_{dc}/4$	
0	1	0	0	$3V_{dc}/4 - V_{dc}/2$	
0	0	1	0	$V_{dc}/2 - V_{dc}/4$	0
0	0	0	1	$V_{dc}/4$	
0	0	0	0	0	0

โดยสามารถนำค่าระดับแรงดันต่างๆ มาอธิบายในบางสถานการณ์ทำงานของสวิตช์ดังนี้

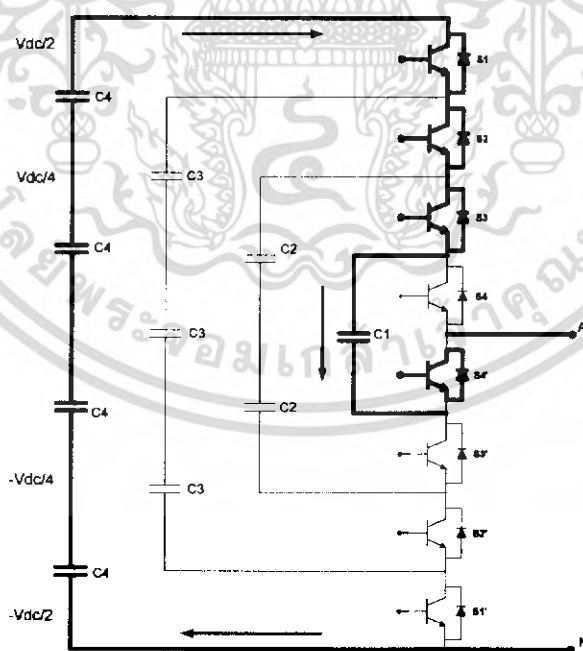
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ระดับแรงดันขาออกเป็น V_{dc}



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างสถานะของสวิตช์ที่แรงดันขาออกเป็น V_{dc}

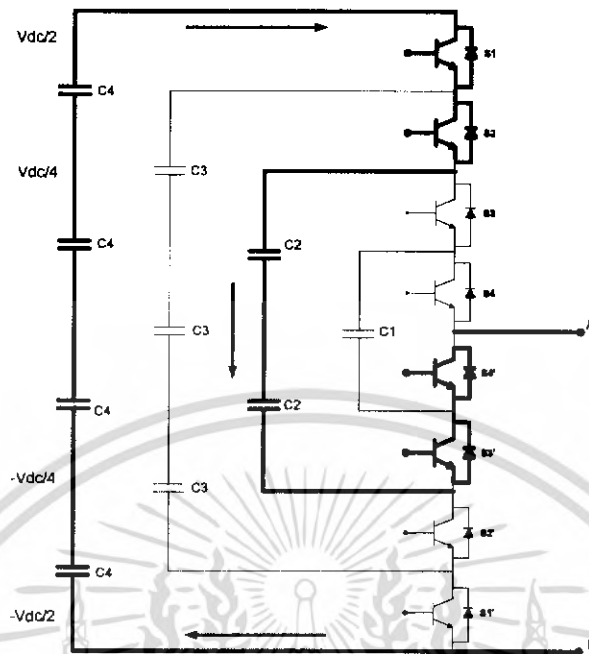
ที่ระดับแรงดันขาออกเป็น $3V_{dc}/4$



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างสถานะของสวิตช์ที่แรงดันขาออกเป็น $3V_{dc}/4$

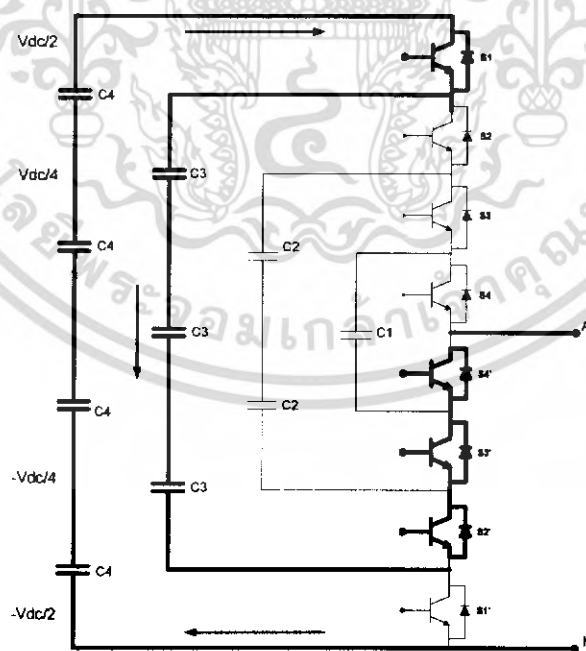
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ระดับแรงดันขาออกเป็น $V_{dc}/2$



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างสถานะของสวิตช์ที่แรงดันขาออกเป็น $V_{dc}/2$

ที่ระดับแรงดันขาออกเป็น $V_{dc}/4$



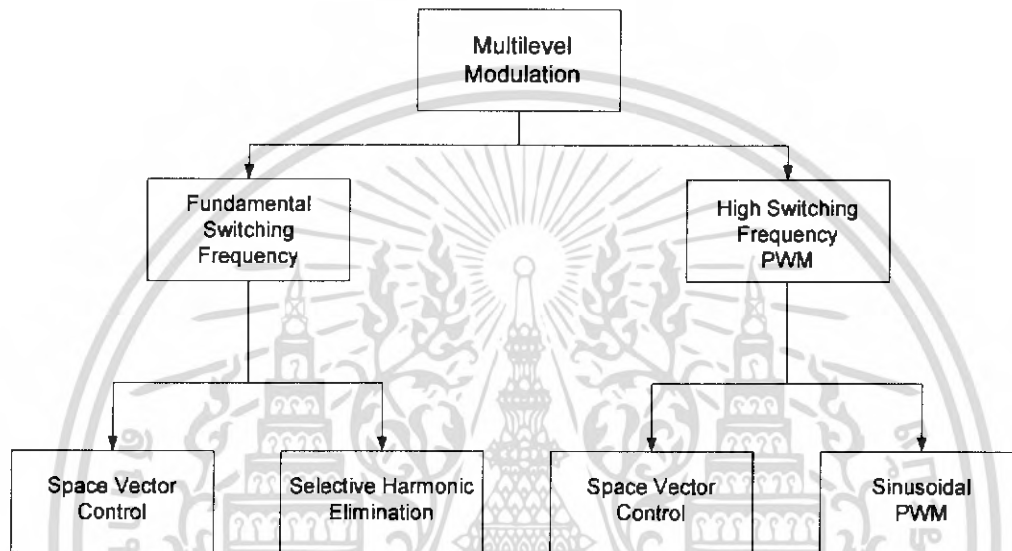
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างสถานะของสวิตช์ที่แรงดันขาออกเป็น $V_{dc}/4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีการสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของสวิตช์ซึ่งกำลัง

2.2.1 รูปแบบการสวิตช์ซึ่ง

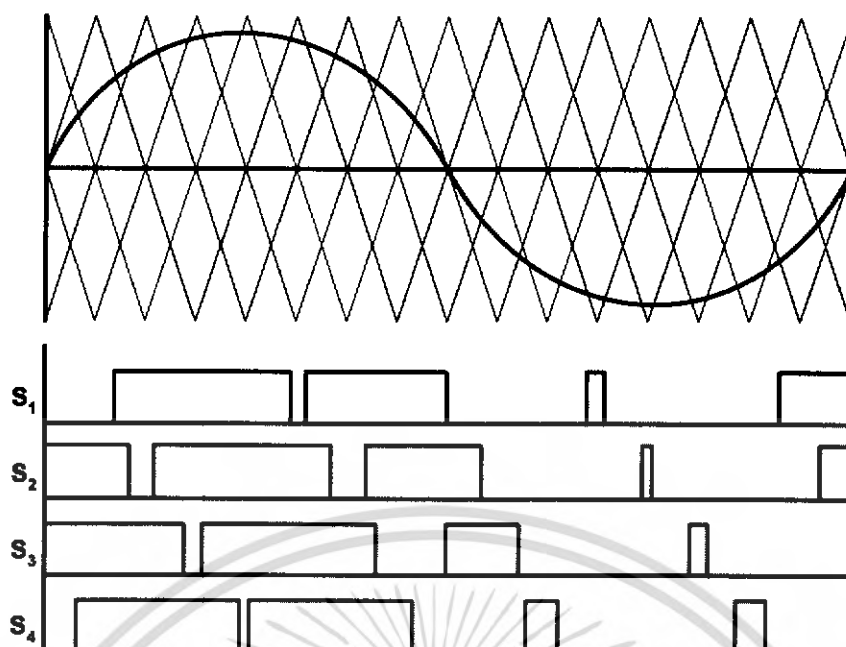
ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งกำลังในอินเวอร์เตอร์นั้นสามารถแยกตามความถี่ของการสวิตช์ซึ่งรูปที่ 2.6 การทำงานแบบสวิตช์ซึ่งความถี่สูงนั้นอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งกำลังจะมีการเปลี่ยนแปลงการทำงานที่หลากหลายในการทำงานหนึ่งคาบแรงดันขาออก ส่วนการสวิตช์ซึ่งที่ความถี่มูลฐานอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งกำลังจะมีการเปลี่ยนแปลงการทำงานเพียงหนึ่งหรือสองครั้งในหนึ่งคาบแรงดันขาออก



รูปที่ 2.6 รูปแบบการสวิตช์ซึ่ง

ในการทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ เลือกใช้วิธีชาน์นุไฮตอลพัลส์วิตช์มอดูเลชัน แบบเลื่อนเฟส (Phase Shifted) มาควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งกำลังชนิด IGBT เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายต่อการควบคุม และการศึกษา โดยวิธีเลื่อนเฟสมีหลักการดังนี้

วิธีการเลื่อนเฟส สัญญาณพาหะทุกสัญญาณจะมีการเลื่อนเฟสเป็นมุมเท่ากัน



รูปที่ 2.7 วิธีเลื่อนเฟส (Phase Shifted)

โดยในรูปที่ 2.7 แสดงสัญญาณของอินเวอร์เตอร์ แบบ 5 ระดับ ซึ่งความถี่ของการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์ซึ่ง จะเท่ากับความถี่ของสัญญาณพาหะ และมีฮาร์มอนิกส์ปรากฏอยู่ที่รอบ $(M-1)$ เท่าของสัญญาณพาหะ และหากเพิ่มระดับมากขึ้นก็จะเกิดช่องว่างระหว่างแรงดันมูลฐาน และฮาร์มอนิกส์นั้นมากขึ้น ซึ่งจะเห็นว่าฮาร์มอนิกส์ปรากฏที่ความถี่สูง $(4f_c)$ จึงสามารถกรองฮาร์มอนิกส์ลำดับเหล่านี้ได้ง่าย โดยที่อินเวอร์เตอร์เป็นแบบสามเฟส มีสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณแบบซายน์ นำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยมซึ่งก็คือสัญญาณพาหะ แล้วนำผล (สัญญาณพัลส์) ที่ได้ไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งกำลังในแต่ละเฟส โดยเลือกใช้สัญญาณพาหะ 4 สัญญาณ ซึ่งแต่ละสัญญาณมีมุมเลื่อนเฟส 90 องศา ซึ่งจากการทดลองหาค่า %THD ค่าที่สุด แสดงในผลการทดลองที่ได้อ้างอิงมาจากปริญญาณิพนธ์เรื่องการศึกษางานและการควบคุมอินเวอร์ตอร์ชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์[4] ซึ่งผลการทดลองได้ถูกนำเสนอไว้ในภาคผนวก ก

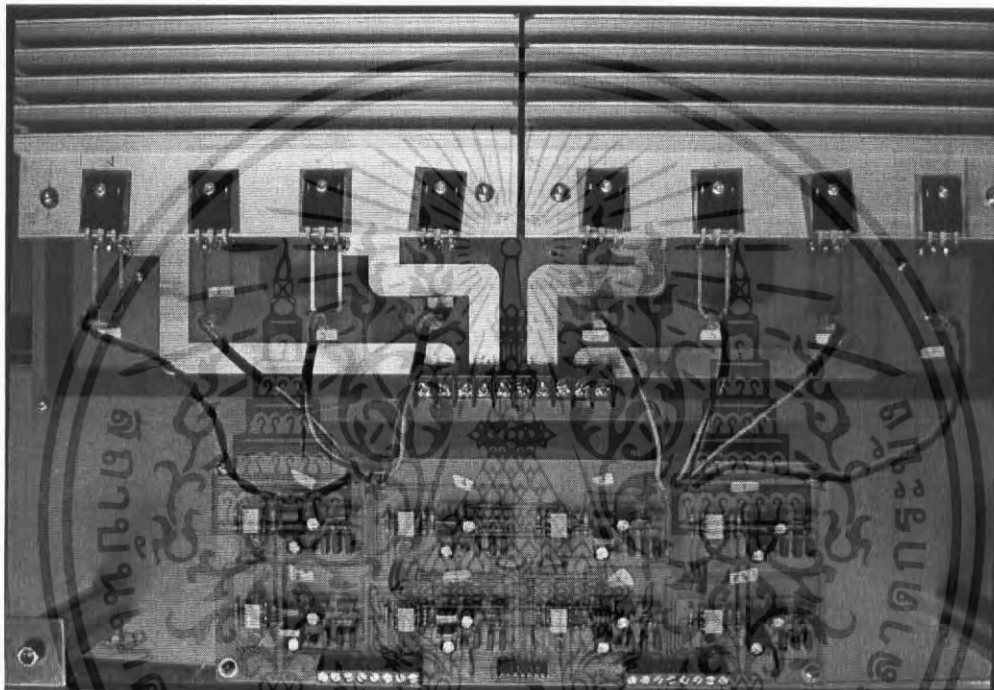
บทที่ 3

การทดลองสร้างจริง

3.1 การสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์

ส่วนประกอบของวงจรอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ โดยแยกอธิบายเป็นส่วนๆ ดังนี้

3.1.1 วงจรหลักของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์



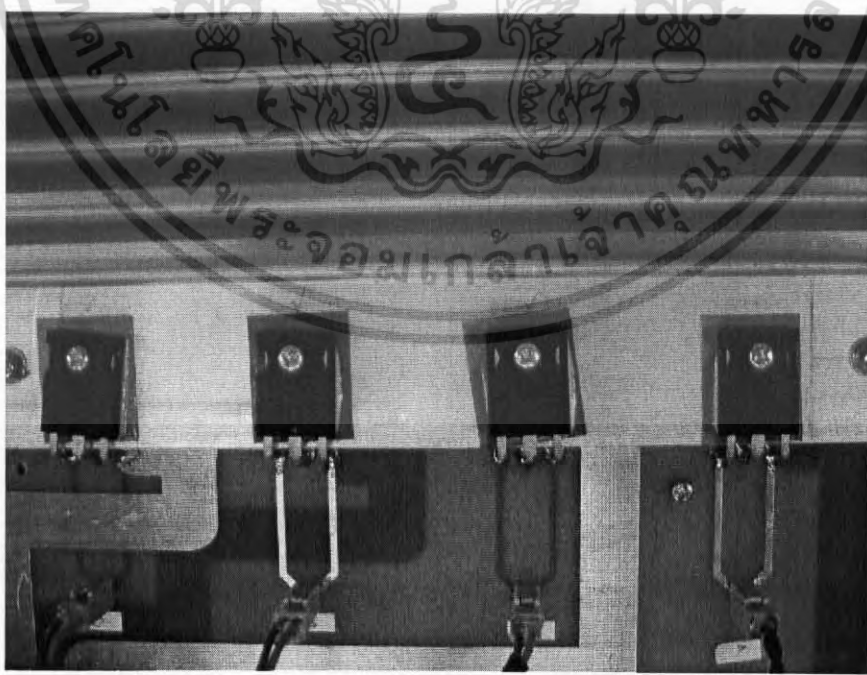
รูปที่ 3.1 แสดงวงจรจริงของวงจรกำลังของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรจำลองของอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับ 1 เฟส
ชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ในโปรแกรม PSCAD

วงจรหลักของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ประกอบด้วย
- ส่วนของสวิตช์ IGBT

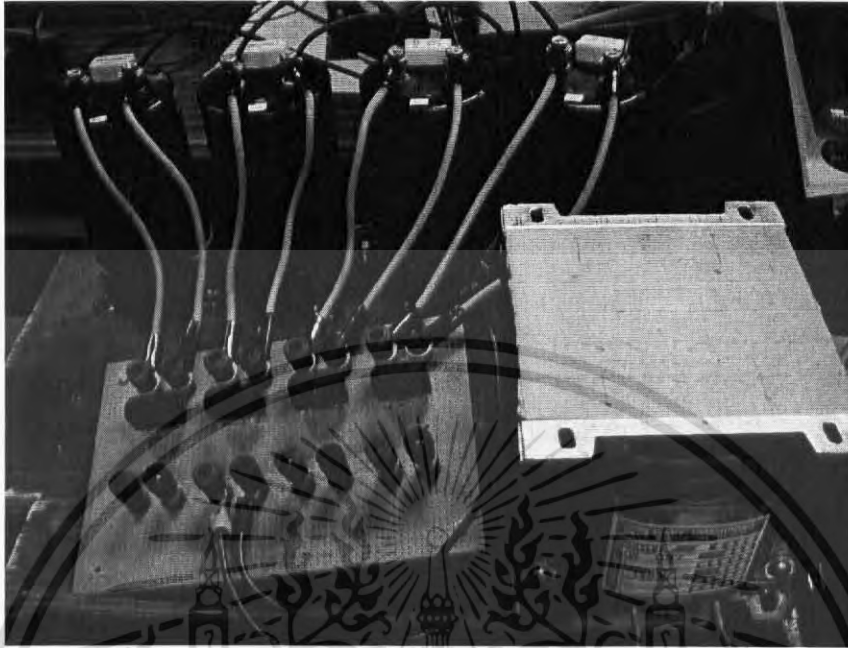


รูปที่ 3.3 แสดงส่วนของสวิตช์ IGBT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

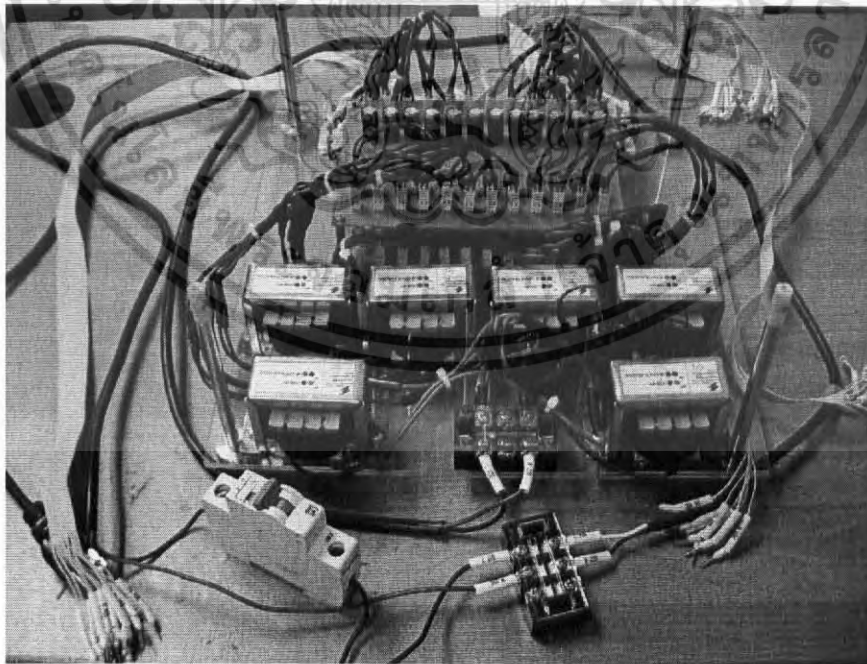
3.1.2 ส่วนของแหล่งจ่ายกำลัง

- ส่วนของแหล่งจ่ายกำลังของวงจรหลัก



รูปที่ 3.4 แสดงส่วนของแหล่งจ่ายกำลังของวงจรหลัก

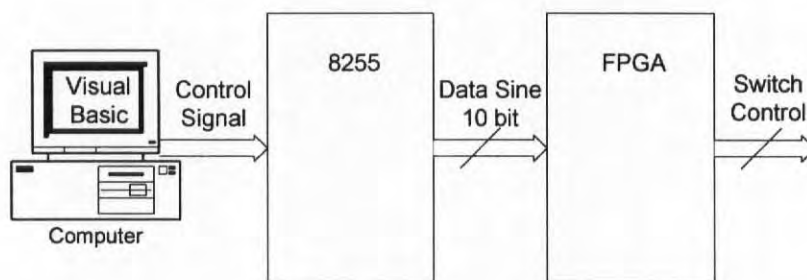
- ส่วนของแหล่งจ่ายกำลังของวงจรขับเกท



รูปที่ 3.5 แสดงส่วนของวงจรจ่ายกำลังของวงจรขับเกท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

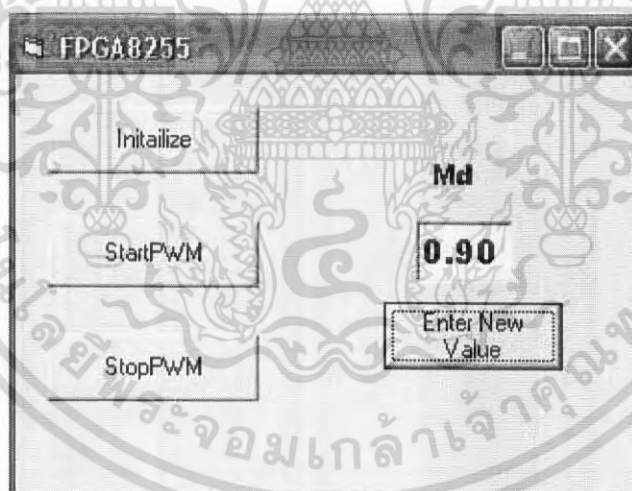
3.2 การสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของสวิตช์ IGBT



รูปที่ 3.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุมการสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของสวิตช์โดยรวม

สัญญาณควบคุมที่สร้างจากบอร์ด FPGA (FPGA: Field Programmable Gate Array) จะถูกควบคุมโดยบอร์ด 8255 แล้วจึงนำมาผ่านวงจรขับเกท และนำไปควบคุมการทำงานของสวิตช์ IGBT เพื่อควบคุมการสร้างแรงดันขาออกต่อไป โดยแยกอธิบายเป็นส่วนๆ ดังนี้

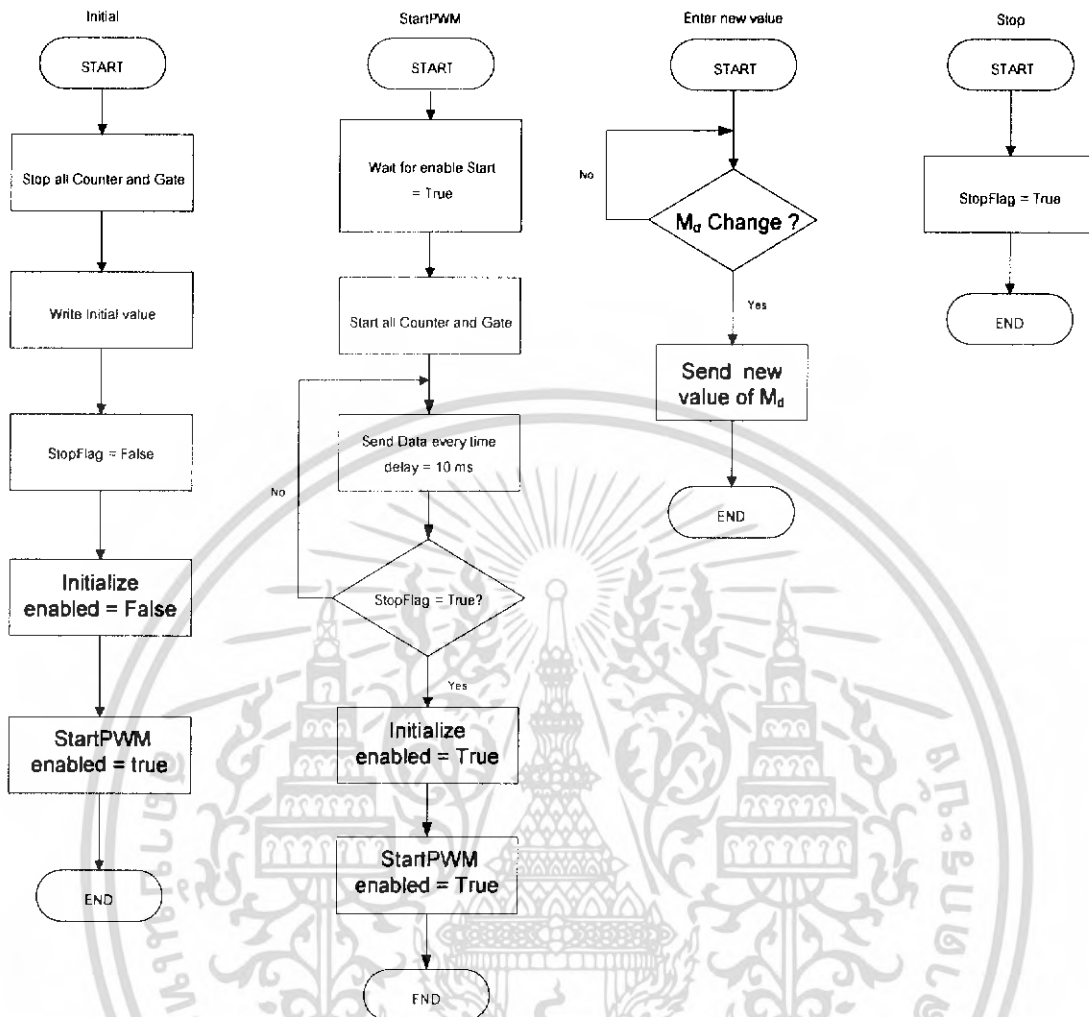
3.2.1 การควบคุมการทำงานจากโปรแกรม Visual Basic



รูปที่ 3.7 รูปแบบโปรแกรม Visual Basic ที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม Visual Basic ด้วย Flow Chart



รูปที่ 3.8 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมใน Visual Basic

การทำงานของโปรแกรม

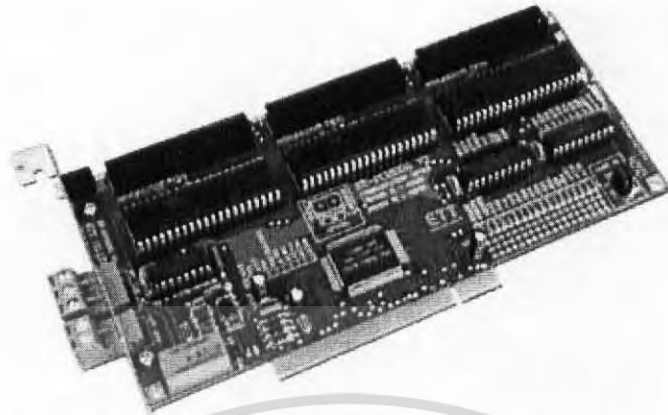
ปุ่มกด Initial: กดก่อนเริ่มทำงาน เพื่อทำการใส่ค่าเริ่มต้นให้กับอุปกรณ์ส่วนต่างๆ ในบอร์ด FPGA

ปุ่มกด StartPWM: เริ่มให้วงจรสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานโดยส่งสัญญาณ enable ให้อุปกรณ์ต่างๆ ในบอร์ด FPGA

ปุ่มกด StopPWM: หยุดการทำงานของวงจรสร้างสัญญาณควบคุมโดยป้อนสัญญาณ false ให้กับส่วนโปรแกรมควบคุมการทำงานของบอร์ด FPGA

ปุ่มกด Enter New Value: เป็นการป้อนค่า M_d ค่าใหม่ให้กับวงจรควบคุมเพื่อนำไปสร้างสัญญาณชายนค่าใหม่เพื่อส่งให้บอร์ด FPGA สร้างสัญญาณควบคุมใหม่ส่งออกมา

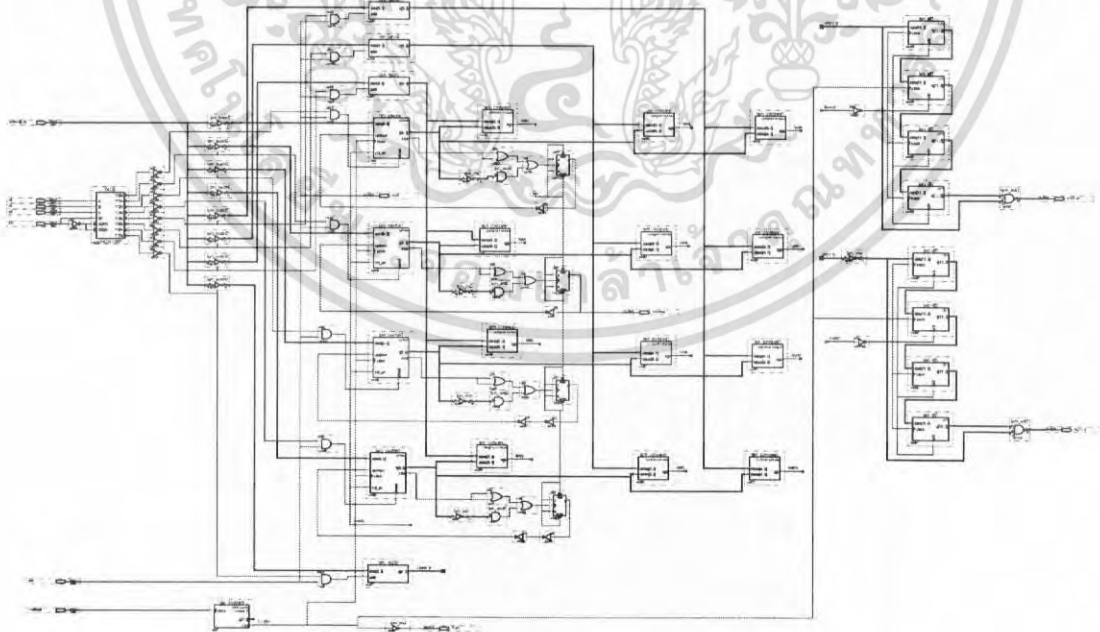
3.2.2 การ์ด 8255



รูปที่ 3.9 แสดงรูปบอร์ด 8255

การ์ดใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ PC ในระบบ PCI BUS โดยใช้ชิปไอซี ที่เชื่อมต่อกับระบบ PCI BUS สามารถเขียนและพัฒนาโปรแกรมบน Visual Basic และ DELPHI และสามารถใช้งานการ์ดนี้ได้กับระบบ Operating System บน WINDOWS 98/ME/XP/2000/NT

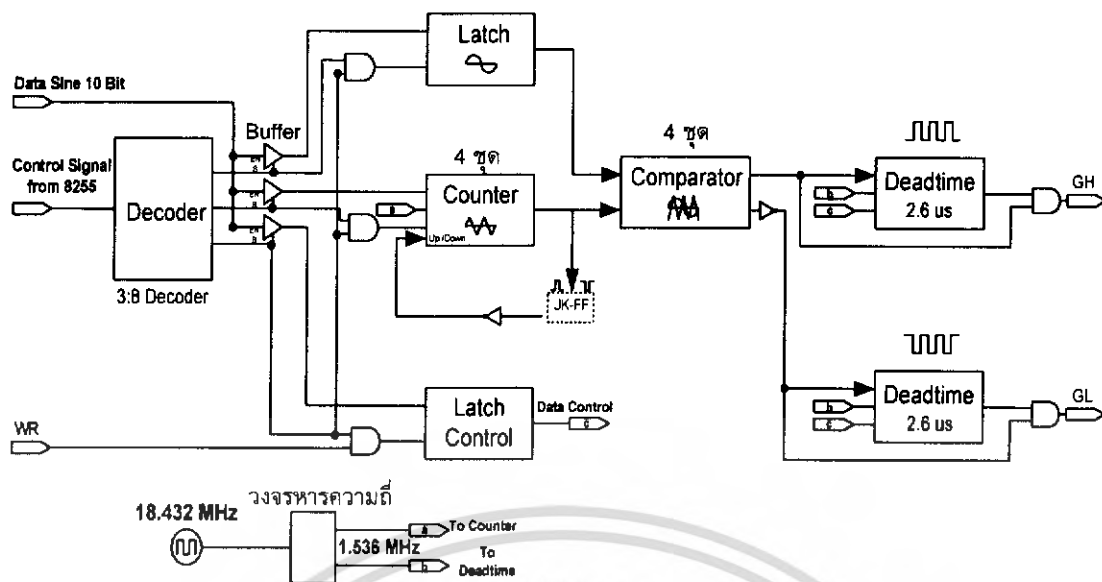
3.2.3 วงจรสร้างสัญญาณชับขาเกตในบอร์ด FPGA



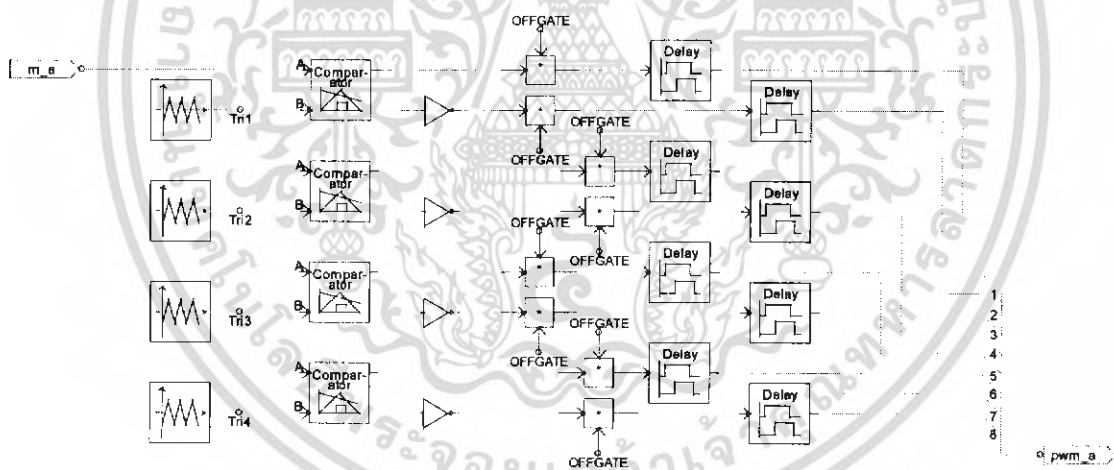
รูปที่ 3.10 แสดงรูปส่วนประกอบทั้งหมดของวงจรสร้างสัญญาณ

ควบคุมในโปรแกรม Quartus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงรูปจำลองส่วนประกอบของวงจรสร้างสัญญาณ
 ขั้วขาเทคโนโลยีโปรแกรม Quartus

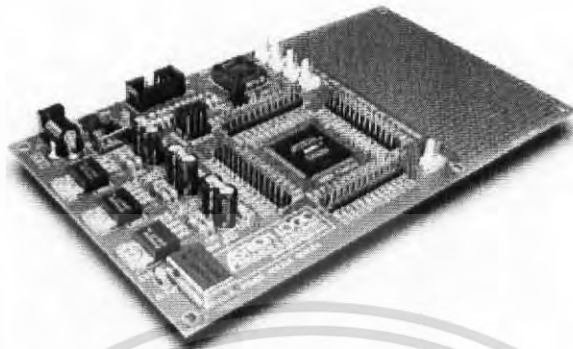


รูปที่ 3.12 แสดงรูปจำลองส่วนประกอบของวงจรสร้างสัญญาณ
 ขั้วขาเทคโนโลยีโปรแกรม PSCAD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแยกเป็นการทำงานของส่วนต่างๆ ดังนี้

3.2.3.1 ส่วนของบอร์ด FPGA

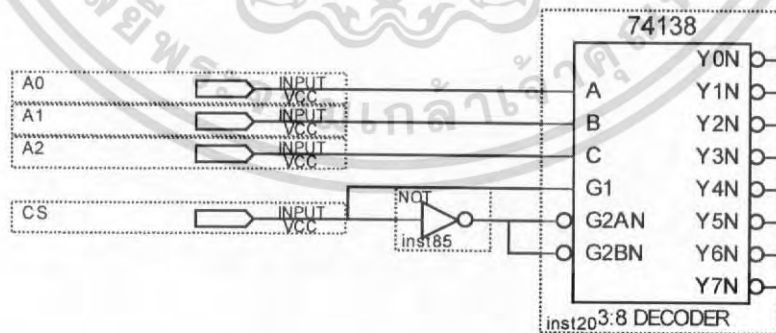


รูปที่ 3.13 แสดงส่วนของบอร์ด FPGA

จากรูป 3.13 แสดงบอร์ดทดลอง FPGA ของ Altera ACEX1K เบอร์ EP1K10TC144-3 จำนวนเกต 10,000 เกต Logic elements 576 LEs และ RAM 12,288 Bits ซึ่งนำมาใช้ในโครงการนี้

3.2.3.2 ส่วนวงจร Decoder

เป็นวงจรที่ใช้ในการถอดรหัสเพื่อกำหนดการส่งข้อมูลเข้าส่วนของอุปกรณ์ใดๆ ที่ตรงกับรหัสที่ได้รับมาจากสัญญาณควบคุมการทำงานจากโปรแกรม Visual Basic



รูปที่ 3.13 แสดงส่วนของวงจร Decoder

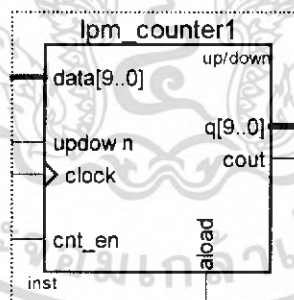
ตารางที่ 3.1 แสดง Address ภายในของ FPGA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดทอนไปลงนิตยสาร และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Address Bus			Device	Function
A2	A1	A0		
0	0	0	Tri1	Load initial value of Tri1
0	0	1	Tri2	Load initial value of Tri2
0	1	0	Tri3	Load initial value of Tri3
0	1	1	Tri4	Load initial value of Tri4
1	0	0	Mc	Load modulation of phase c
1	0	1	Mb	Load modulation of phase b
1	1	0	Ma	Load modulation of phase a
1	1	1	Control	On/off Gate Signal (Bit 1) On/off Counter (Bit 0)

3.2.3.3 ส่วนวงจร Counter

เป็นวงจรที่ใช้งานเพื่อนับค่าเพื่อใช้สร้างสัญญาณสามเหลี่ยม 10 บิต เพื่อนำมาทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณขาอินพุตที่ส่งมาจากโปรแกรม Visual Basic ซึ่งก็คือค่าของช่วงเวลาในการสร้างสัญญาณควบคุม 1 คาบโดยความถี่ที่ต้องนำมาป้อนให้กับวงจร Counter ในการสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม 1 คาบเท่ากับ 1.536 MHz ($1024\text{Byte} \cdot 750\text{Hz} \cdot 2$) ซึ่งจะได้สัญญาณสามเหลี่ยมที่มีความถี่ 750 Hz

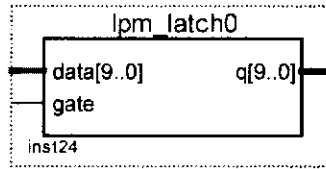


รูปที่ 3.15 แสดงส่วนของวงจร Counter

3.2.3.4 ส่วนวงจร Latch

ส่วนแรกทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำเก็บข้อมูลของสัญญาณขาอินพุตที่ส่งมาจากโปรแกรม Visual Basic และส่วนที่สองทำหน้าที่ป้อนสัญญาณควบคุมสถานะของอุปกรณ์ตัวที่ถูกถอดรหัสอยู่

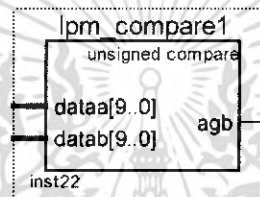
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงส่วนของวงจร Latch

3.2.3.5 ส่วนวงจร Comparator

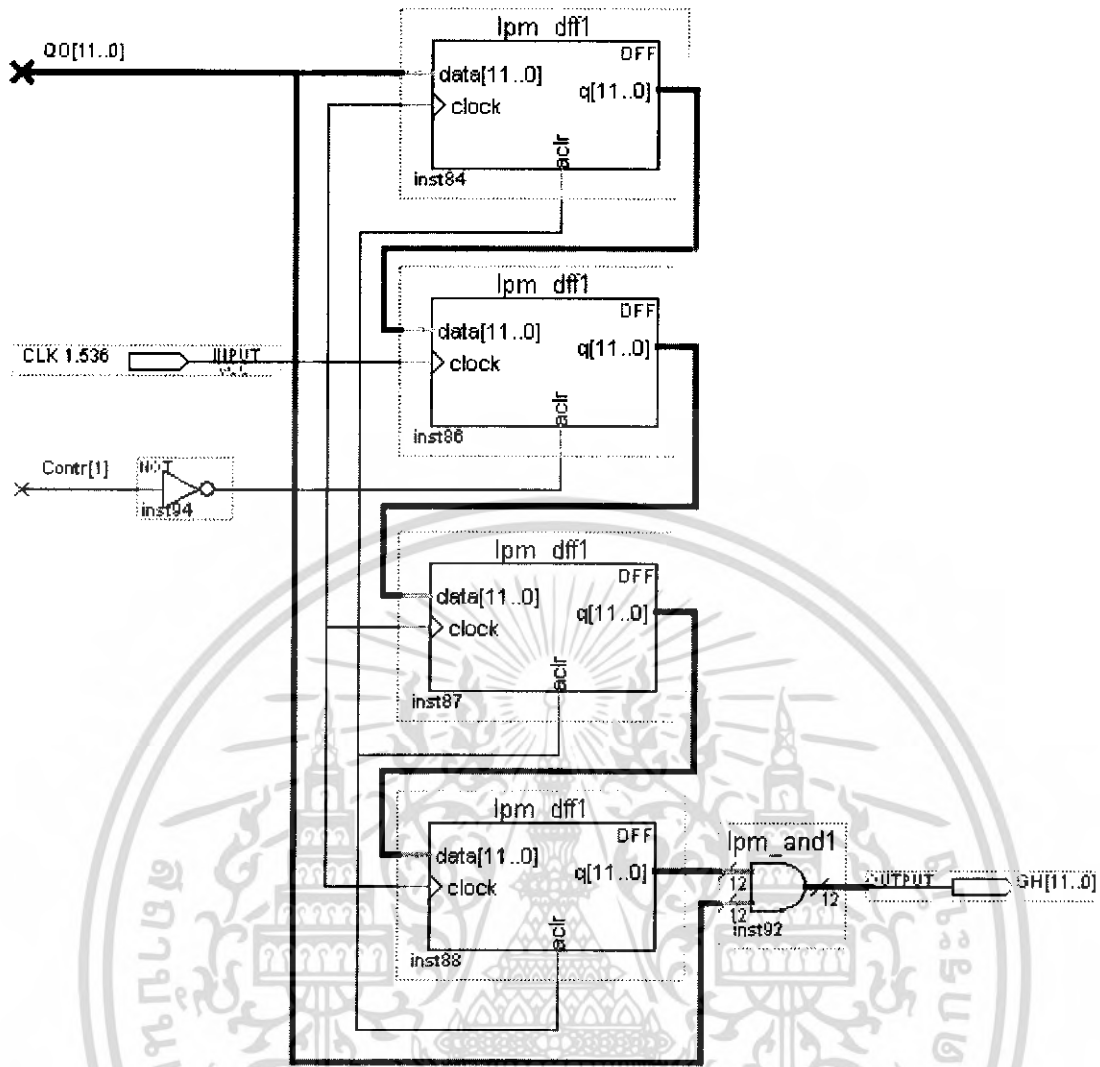
ทำหน้าที่เปรียบเทียบข้อมูลของสัญญาณสามเหลี่ยมที่ส่งมาจากวงจร Counter และสัญญาณซายน์ที่ส่งมาจากวงจร Latch



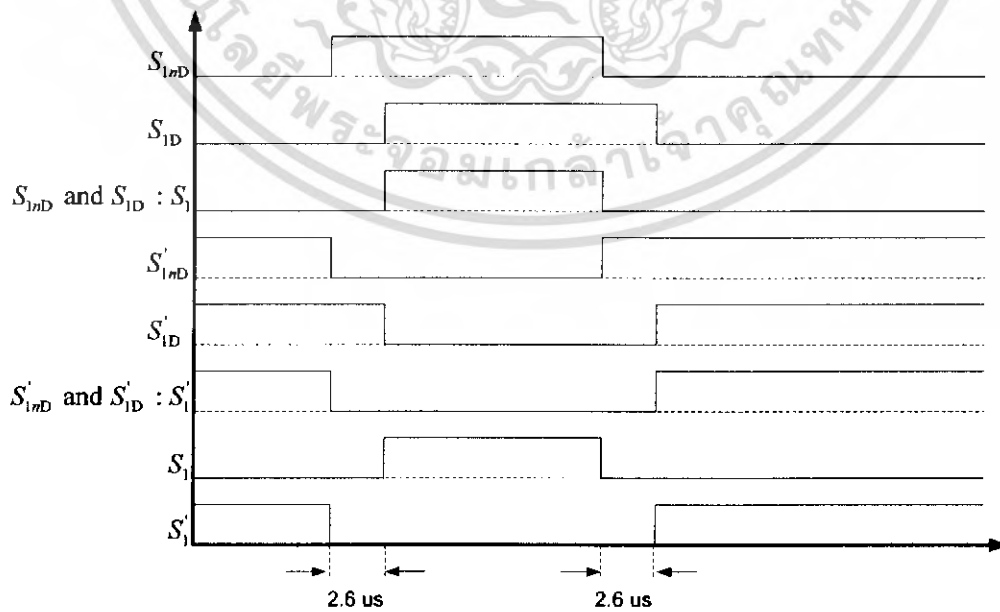
รูปที่ 3.17 แสดงส่วนของวงจร Comparator

3.2.3.6 ส่วนวงจร Deadtime

ทำหน้าที่สร้างสัญญาณประวิงเวลาให้กับสัญญาณที่จะนำไปสั่งการทำงานของสวิตช์ เนื่องมาจากการสร้างแรงดันที่เวลาใดๆ จะพบว่าสัญญาณของสวิตช์ของสวิตช์กึ่งบน (สวิตช์ S_1 , S_2 , S_3 และ S_4) และสวิตช์กึ่งล่าง (สวิตช์ S_1 , S_2 , S_3 และ S_4) มีการทำงานในลักษณะที่ตรงข้ามกันตลอดเวลา ในช่วงที่สวิตช์กำลังจะเปลี่ยนแปลงสถานะของการทำงาน หากมีสวิตช์คู่ใดคู่หนึ่งทำงานพร้อมกันจะทำให้เกิดการลัดวงจรที่ตัวเก็บประจุ โดยจะต้องมีวงจรนี้เพื่อป้องกันการลัดวงจรโดยการใส่ค่าประวิงเวลาให้สัญญาณ โดยจะใช้ช่วงเวลาของวงจรประวิงเวลาเท่ากับ $2.6 \mu\text{s}$ ($DFF4/\text{Clock}1.536\text{MHz}$)



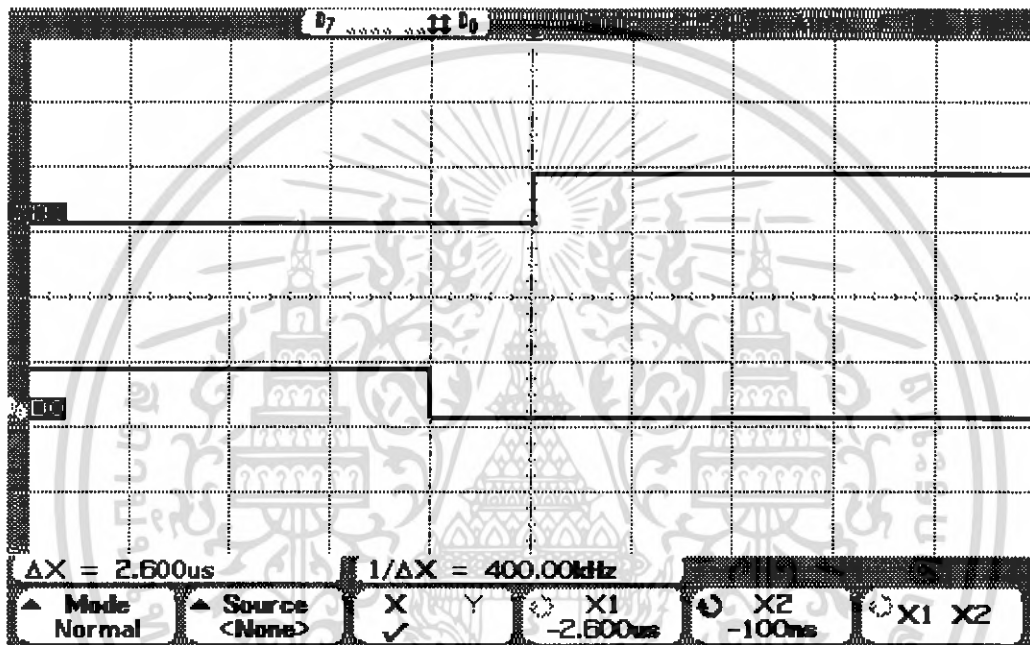
รูปที่ 3.18 แสดงส่วนของวงจร Dead time ในโปรแกรม Quartus



รูปที่ 3.19 แสดงช่วงของสัญญาณประวิงเวลาของสัญญาณคู่ใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.19 อธิบายได้ดังนี้ สัญญาณ S_{1nD} คือ สัญญาณที่ยังไม่ผ่านวงจรประวิงเวลา สัญญาณ S_{1D} คือ สัญญาณ S_{1nD} ที่ผ่านวงจรประวิงเวลา และมีค่าประวิงเวลาเท่ากับ $2.6 \mu s$ นำทั้งสองสัญญาณมาทำการแอนด์ (AND) ทางลอจิก ซึ่งจะได้สัญญาณ S_1 ซึ่งสัญญาณ S_1 นี้จะมีค่าประวิงเวลาเท่ากับ $2.6 \mu s$ เมื่อเทียบกับสัญญาณ S_{1nD} ส่วนสัญญาณ S'_{1nD} คือสัญญาณส่วนกลับของสัญญาณ S_{1nD} สัญญาณ S'_{1D} คือ สัญญาณ S_{1nD} ที่ผ่านวงจรประวิงเวลา และมีค่าประวิงเวลาเท่ากับ $2.6 \mu s$ นำทั้งสองสัญญาณมาทำการแอนด์ (AND) ทางลอจิก ซึ่งจะได้สัญญาณ S'_1 ซึ่งมีค่าประวิงเวลาเท่ากับ $2.6 \mu s$ เมื่อเทียบกับสัญญาณ S'_{1nD} และสัญญาณ S_1 และนำสัญญาณ S_1 และ S'_1 ไปทำการควบคุมสวิตช์

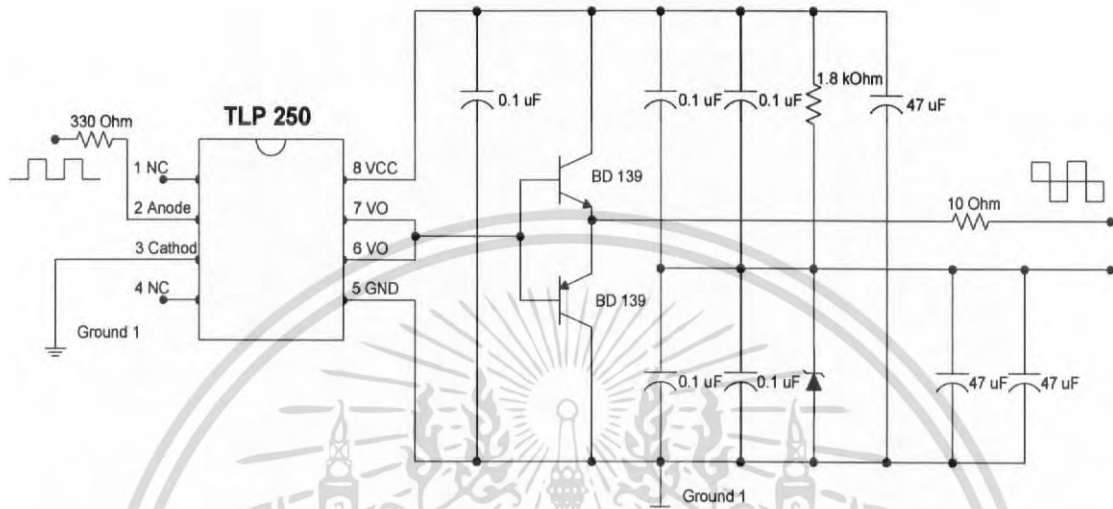


รูปที่ 3.20 แสดงสัญญาณที่ผ่านวงจรประวิงเวลา โดยมีค่าประวิงเวลาประมาณ $2.6 \mu s$ ของสัญญาณของสวิตช์ S_1 และ S'_1

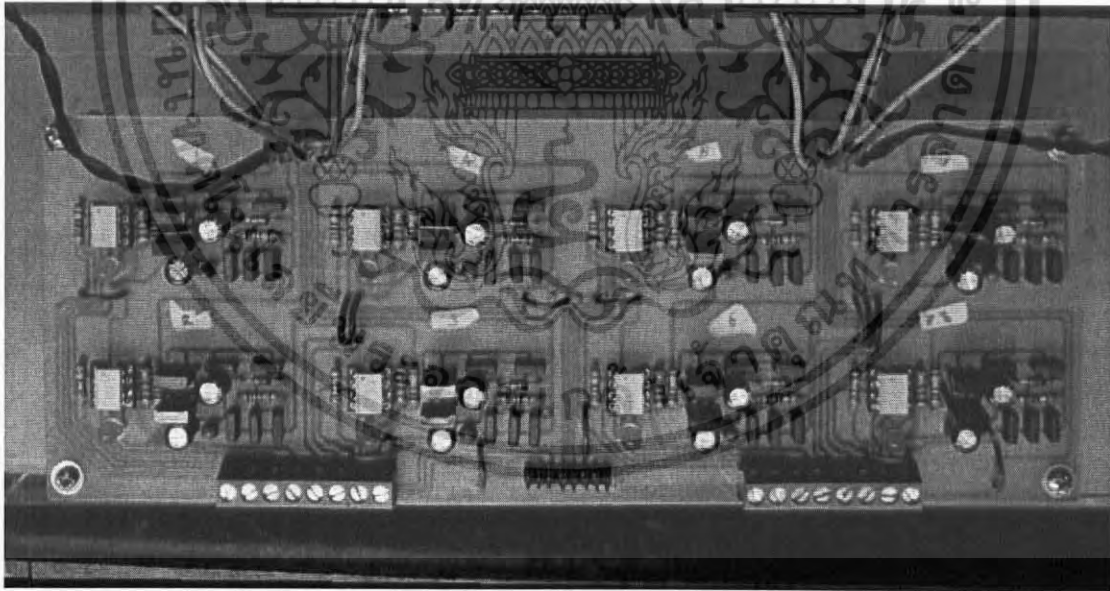
โดยสามารถสรุปการทำงานของวงจรสร้างสัญญาณควบคุมได้ดังนี้ เริ่มต้นการทำงานโดยทำการรีเซตค่าต่างๆ ในบอร์ด FPGA จากนั้นป้อนค่าเริ่มต้นทำงานให้กับส่วนของวงจร Counter และวงจร Latch จากนั้นจะส่งสัญญาณให้วงจร Deadtime เริ่มทำงาน โดยจะสร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์ออกมาเรื่อยๆ ตามค่า m_a ที่กำหนดซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ และจะหยุดทำงานเมื่อได้รับสัญญาณหยุดทำงานจากโปรแกรม Visual Basic

3.2.4 วงจรขับเกท

วงจรขับเกทเป็นวงจรที่สร้างสัญญาณเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของ IGBT ตามค่าสัญญาณที่สร้างจากบอร์ด FPGA ซึ่งสัญญาณที่ออกจากวงจรขับเกทจะมีขนาดแรงดัน -5 โวลต์ และ +5 โวลต์



รูปที่ 3.21 แสดงวงจรขับเกท



รูปที่ 3.22 แสดงภาพถ่ายวงจรขับเกท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง และผลการทดลอง

เงื่อนไขการทดลองและค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง และการจำลอง

แรงดันระบบ	220 V
แรงดันคอมมอนดีซีลิงค์	200 V
ความถี่ในการสวิตช์ซิ่ง	750 Hz

ส่วนของวงจรกำลังโดยในการทดลองจริงจะใช้แหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงแทนตัวเก็บประจุ

4.1 ส่วนของวงจรควบคุม

การทดลองวัดค่าวงจรสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของสวิตช์ที่ค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์ต่างๆ โดย m_a คือค่า มอดูเลชันอินเด็กซ์

4.1.1 ที่ $m_a = 1.0$

4.1.2 ที่ $m_a = 0.9$

4.1.3 ที่ $m_a = 0.8$

4.1.4 ที่ $m_a = 0.7$

4.1.5 ที่ $m_a = 0.6$

4.1.6 ที่ $m_a = 0.5$

4.1.7 ที่ $m_a = 0.4$

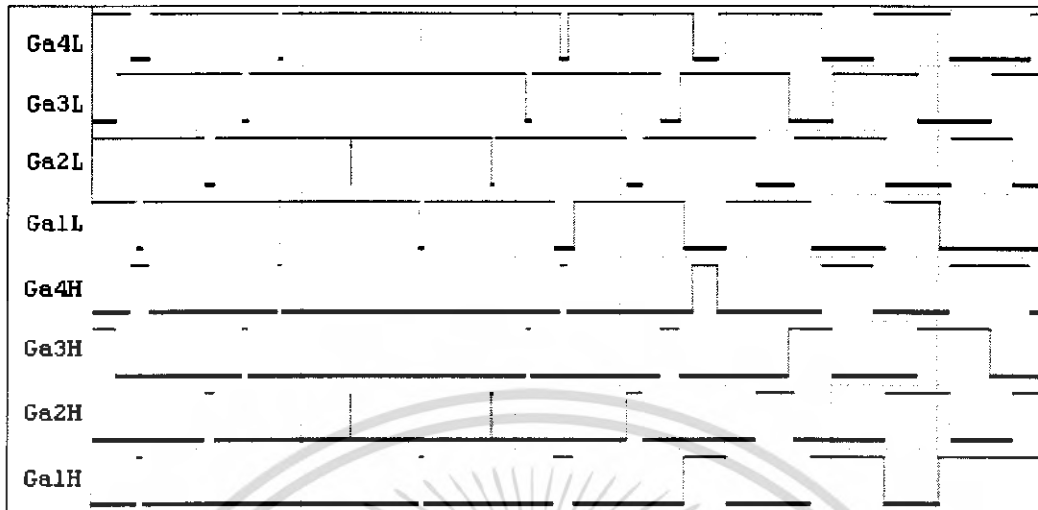
4.1.8 ที่ $m_a = 0.3$

4.1.9 ที่ $m_a = 0.2$

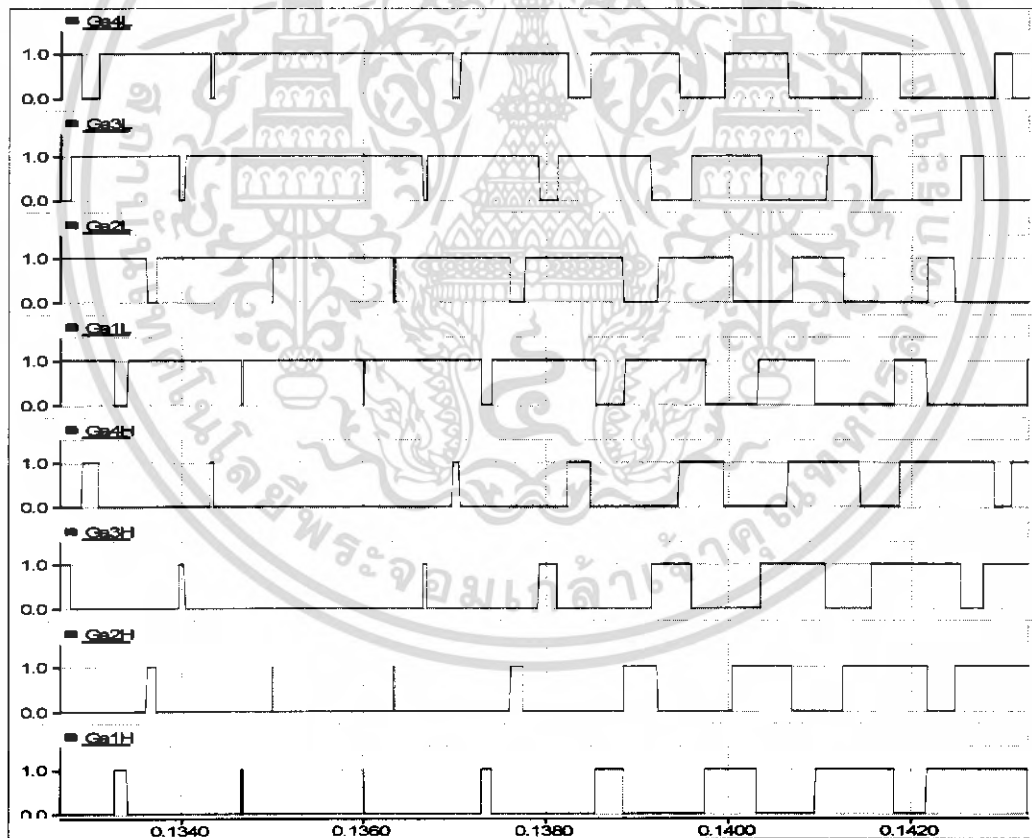
4.1.10 ที่ $m_a = 0.1$

ผลการทดลองวงจรสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของสวิตช์ที่ค่า มอดูเลชันอินเด็กซ์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 ที่ $m_a = 1.0$ 

(ก)

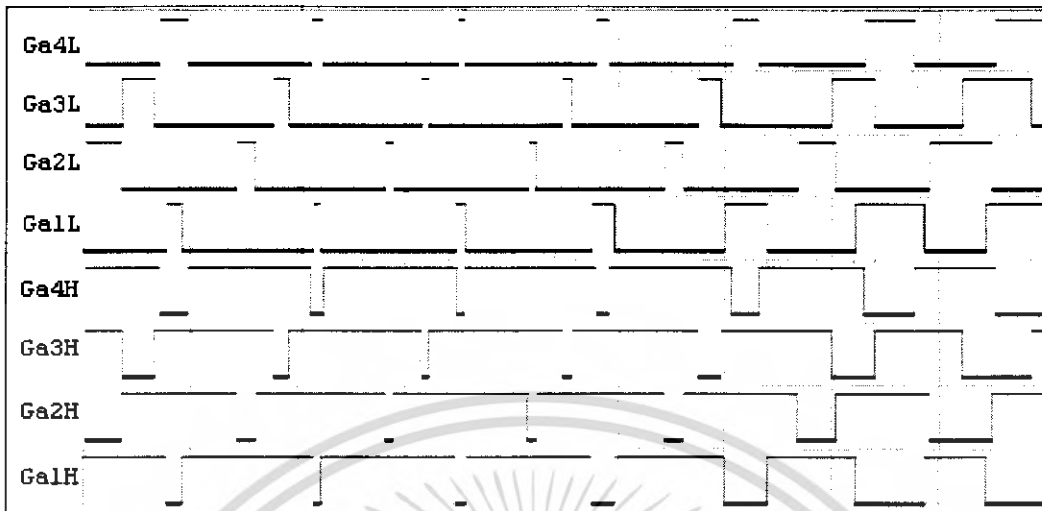


(ข)

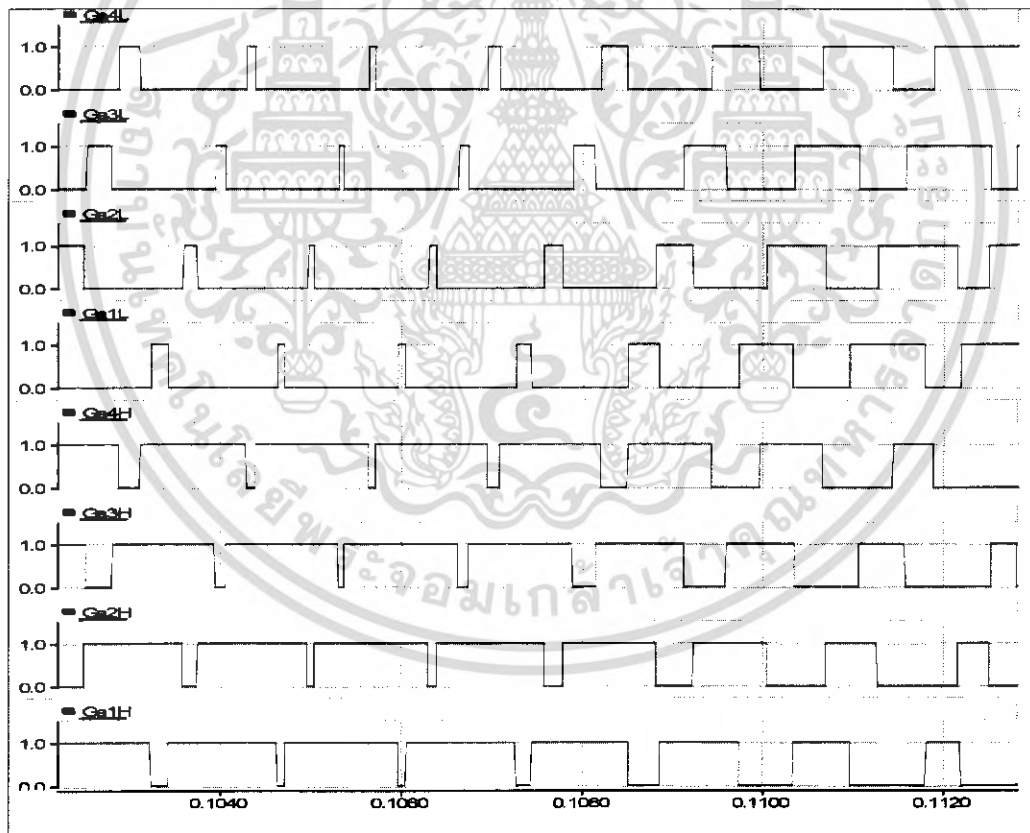
รูปที่ 4.1 ผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 1.0 โดย

รูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ที่ $m_a = 0.9$ 

(ก)

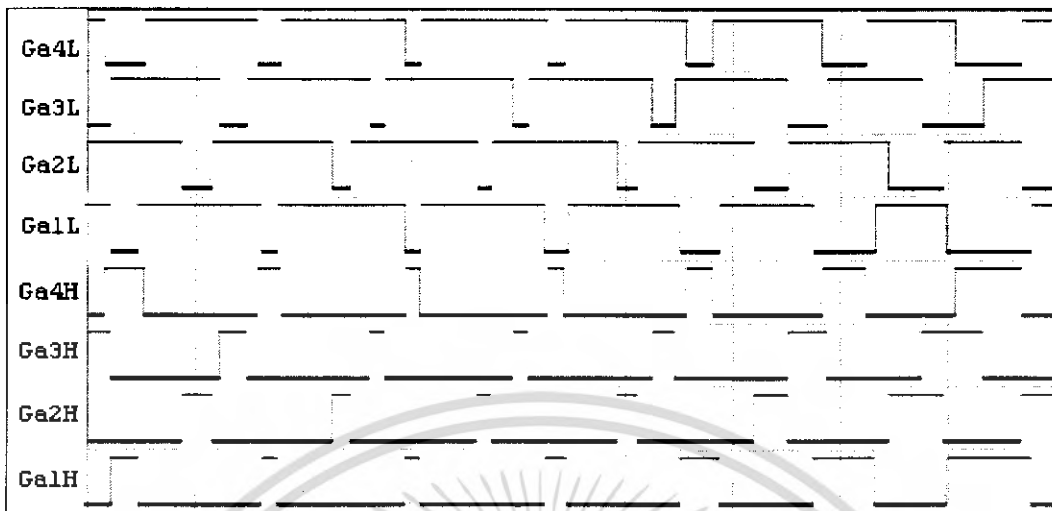


(ข)

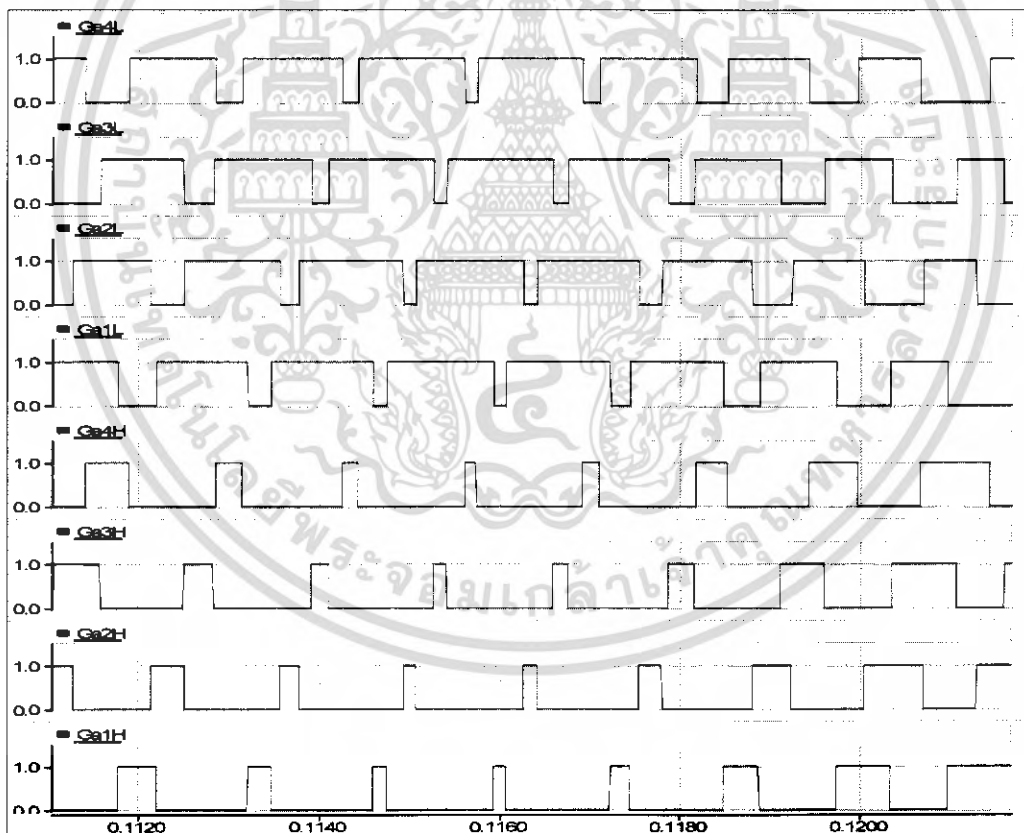
รูปที่ 4.2 ผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.9 โดย

รูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ที่ $m_a = 0.8$ 

(ก)

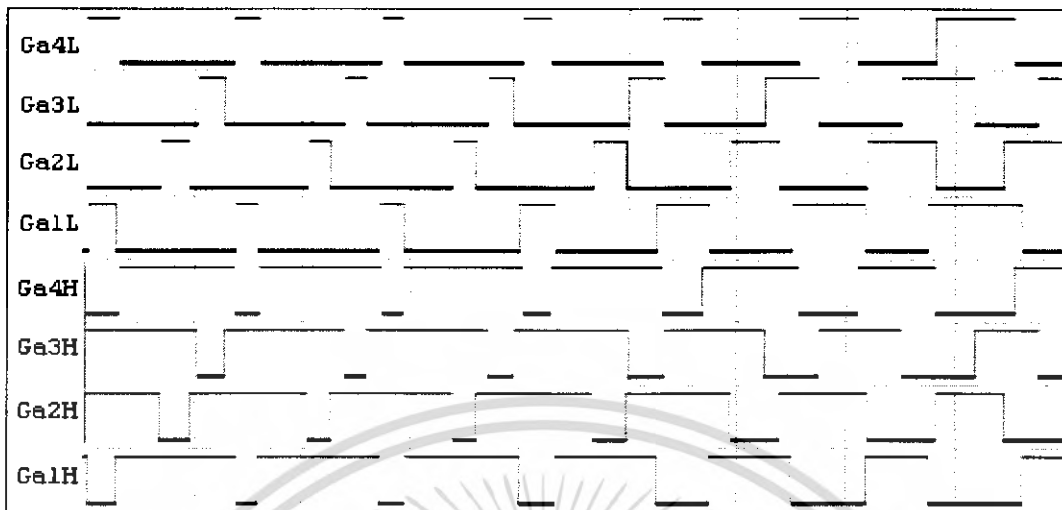


(ข)

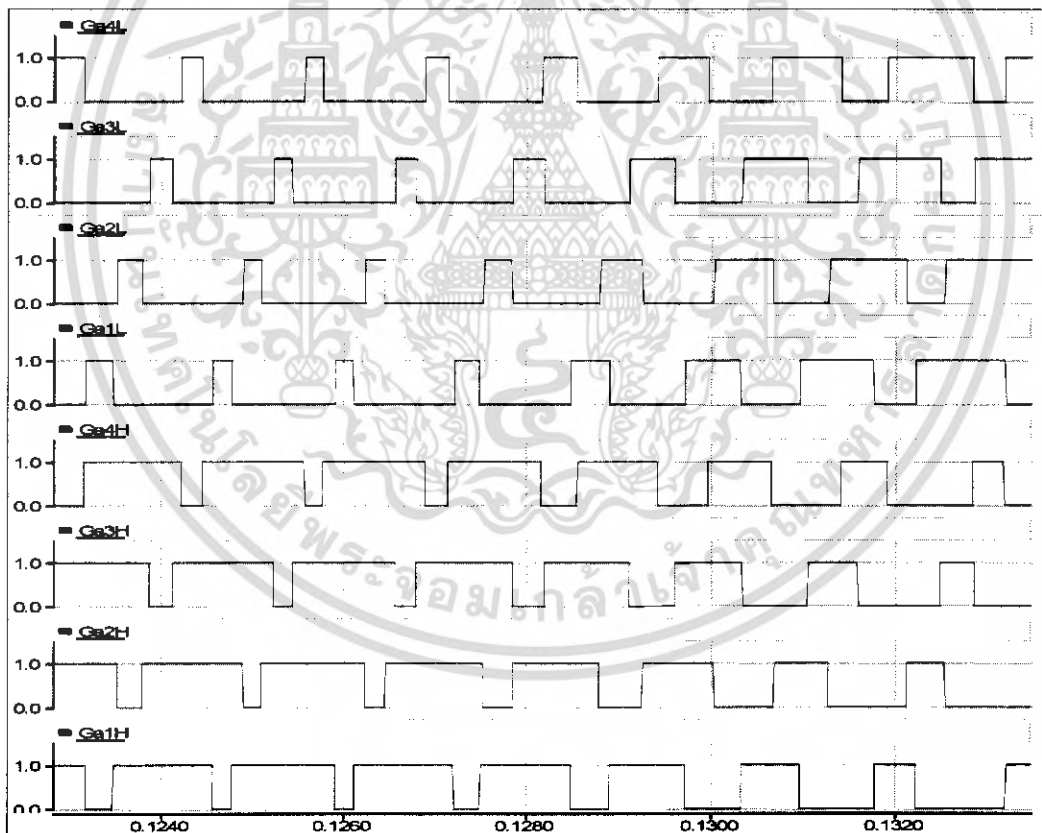
รูปที่ 4.3 ผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.8 โดย

รูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ที่ $m_a = 0.7$ 

(ก)

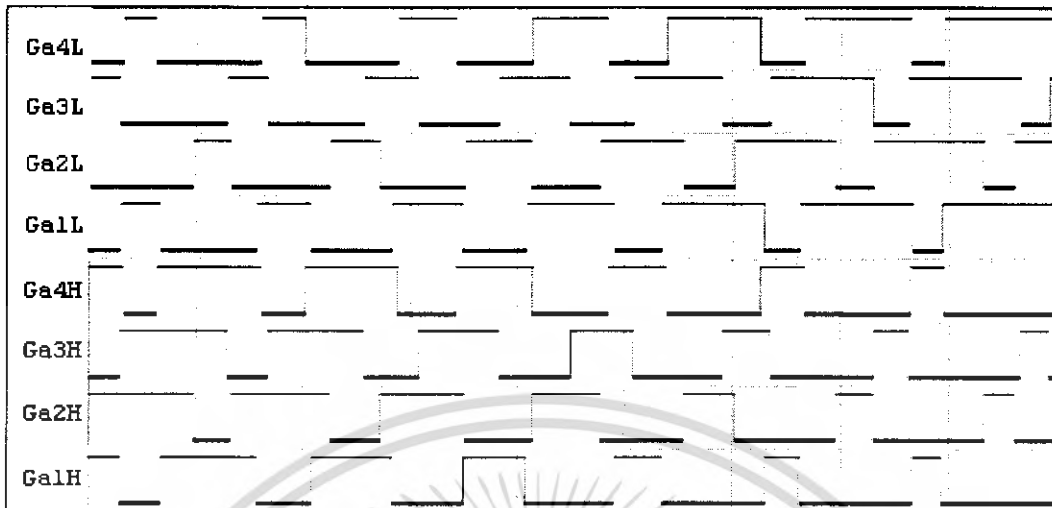


(ข)

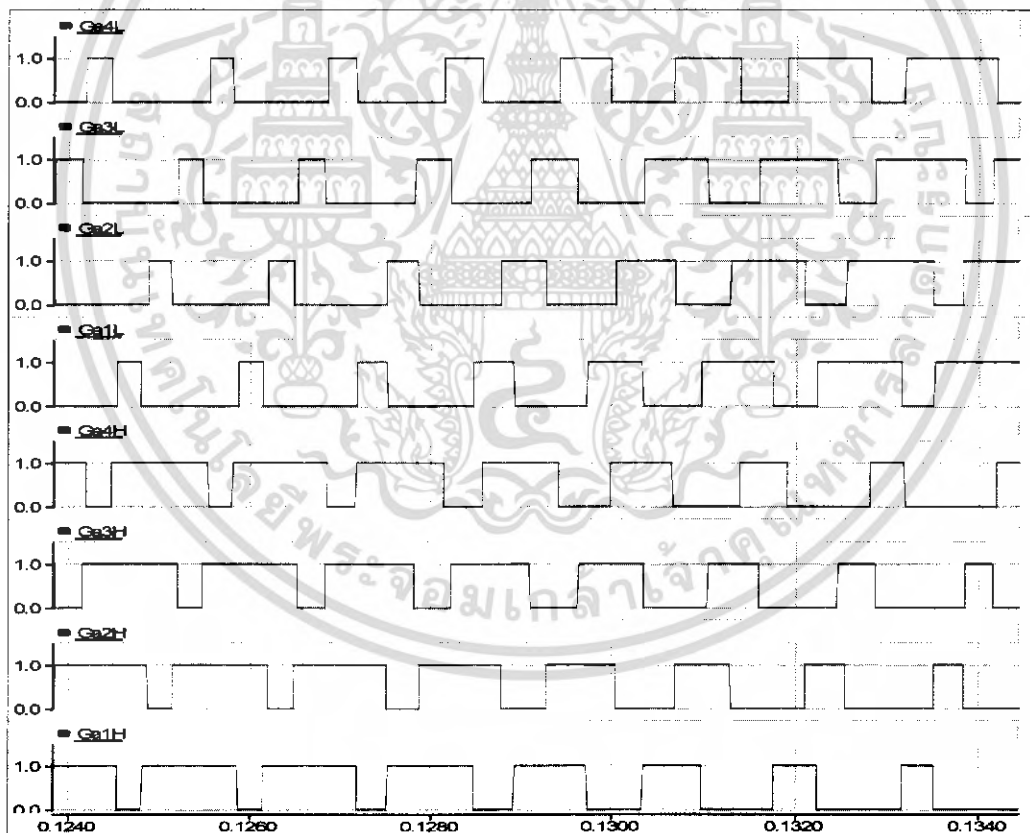
รูปที่ 4.4 ผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.7 โดย

รูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 ที่ $m_a = 0.6$ 

(ก)

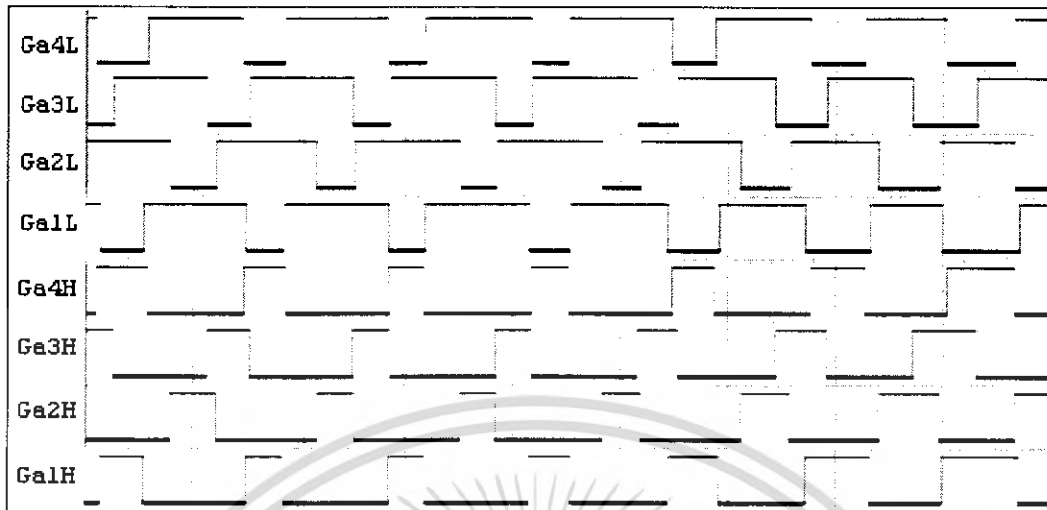


(ข)

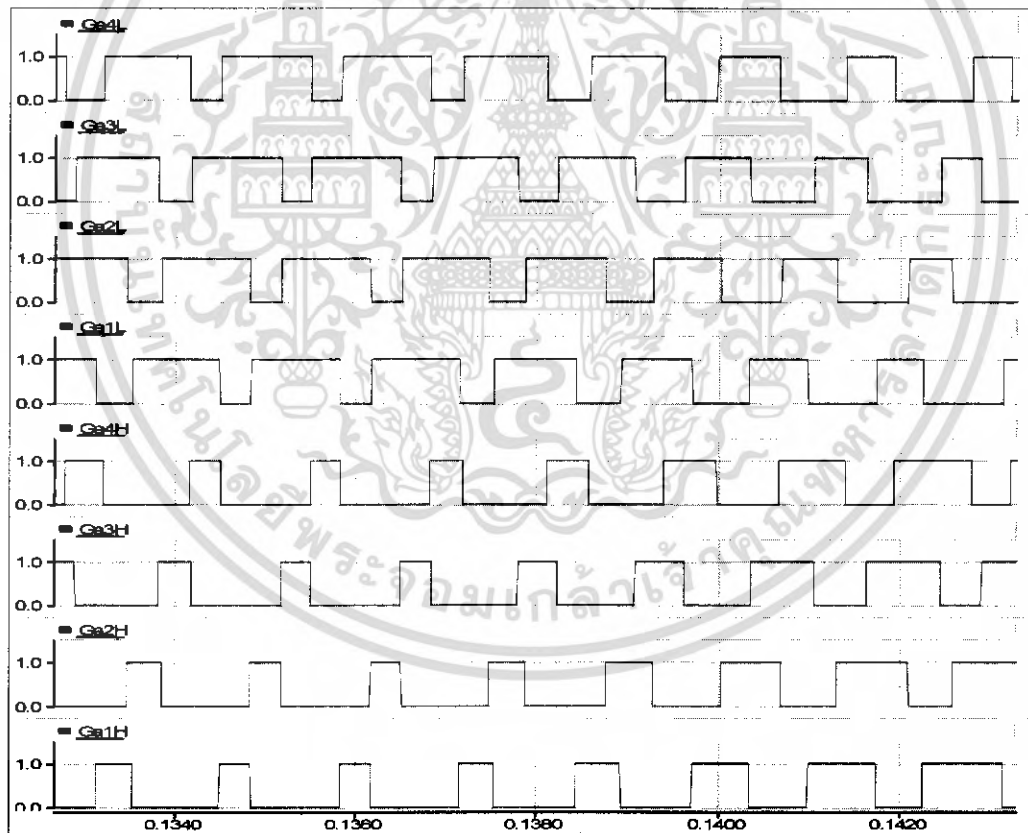
รูปที่ 4.5 ผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.6 โดย

รูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 ที่ $m_a = 0.5$ 

(ก)

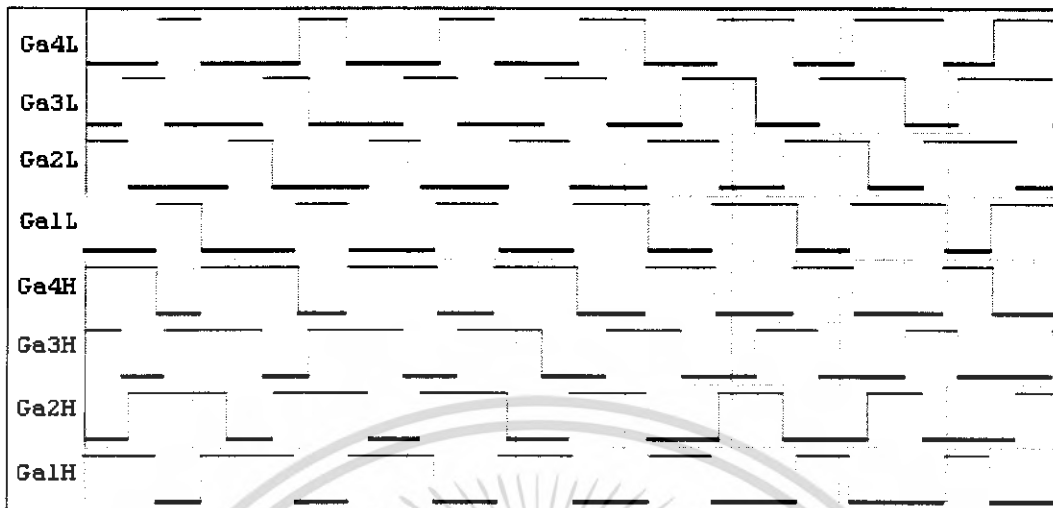


(ข)

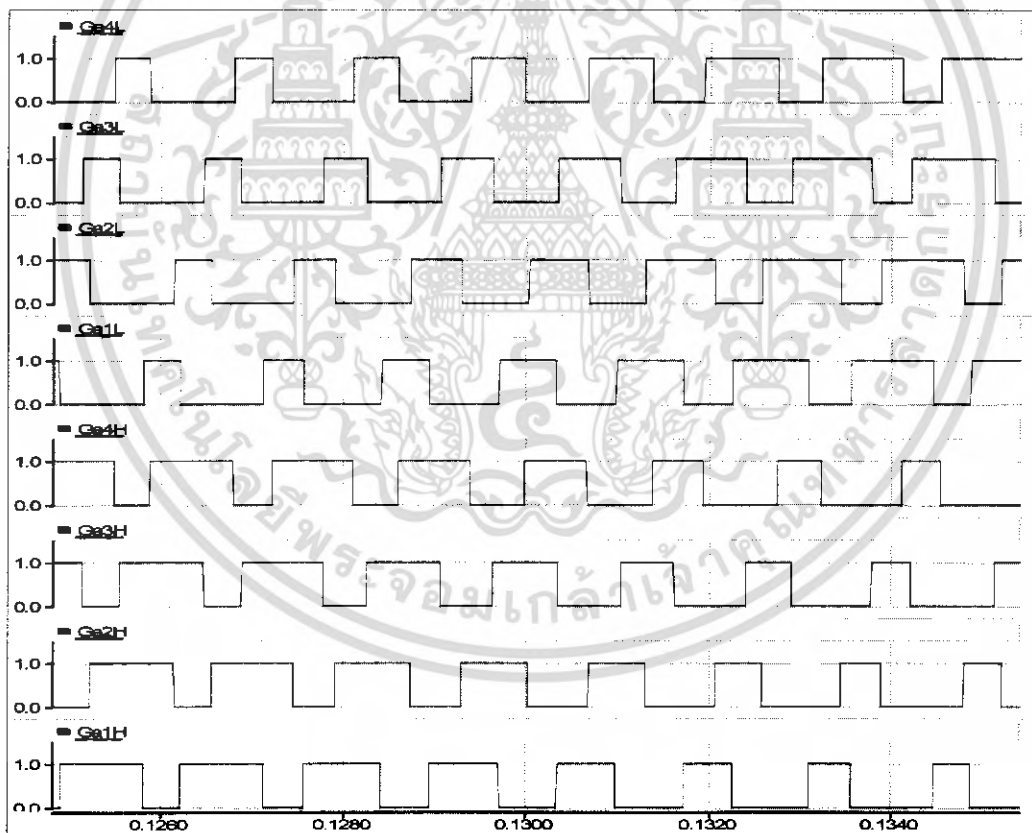
รูปที่ 4.6 ผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.5 โดย

รูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.7 ที่ $m_a = 0.4$ 

(ก)

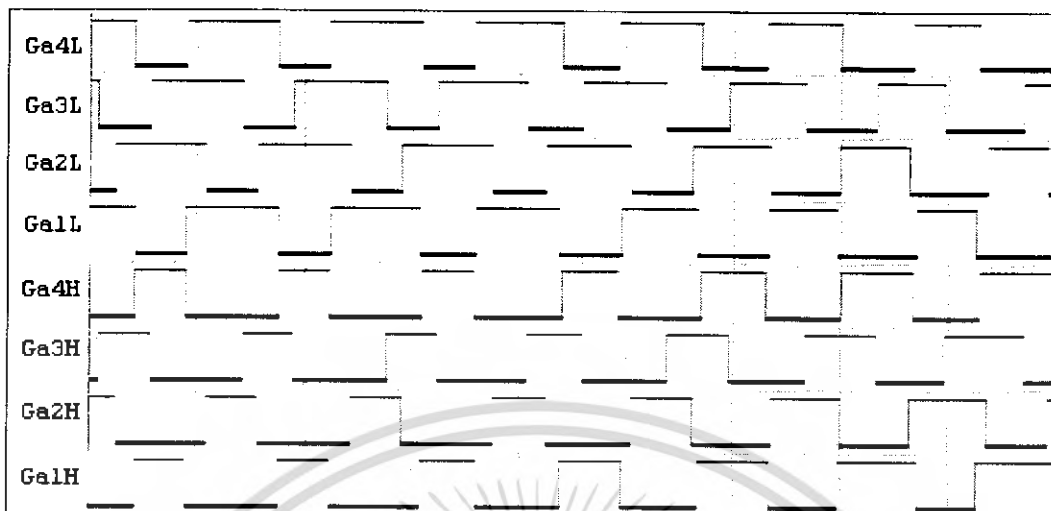


(ข)

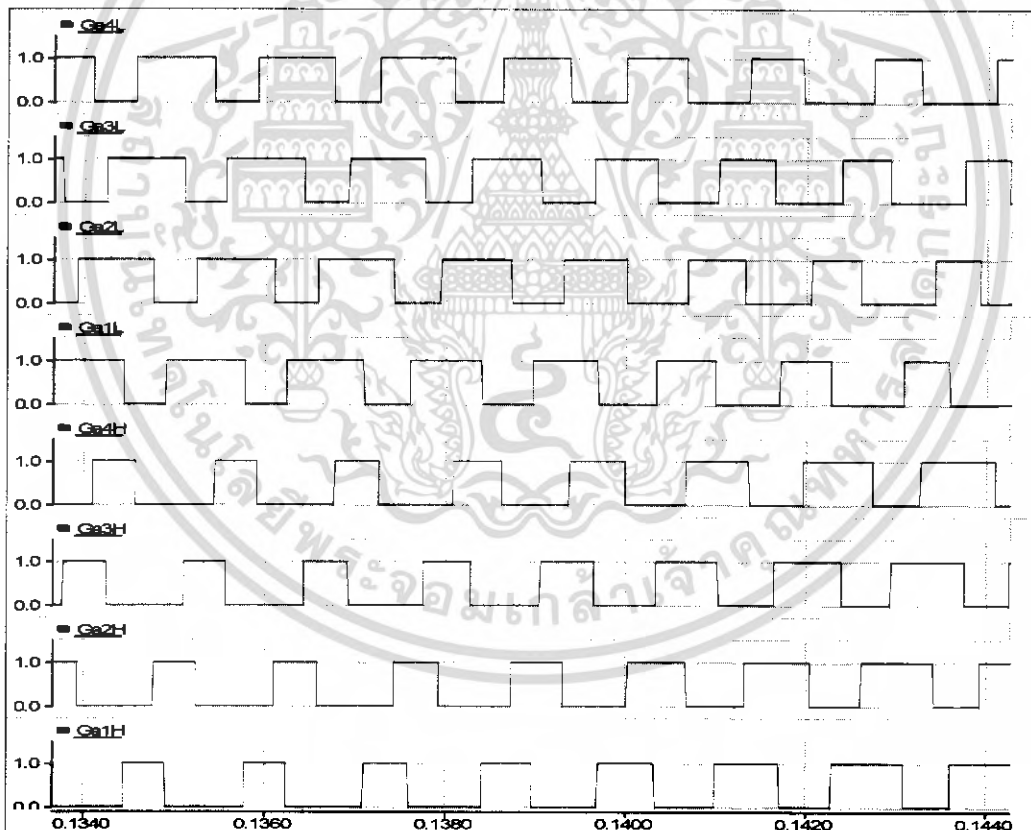
รูปที่ 4.7 ผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.4 โดย

รูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.8 ที่ $m_a = 0.3$ 

(ก)

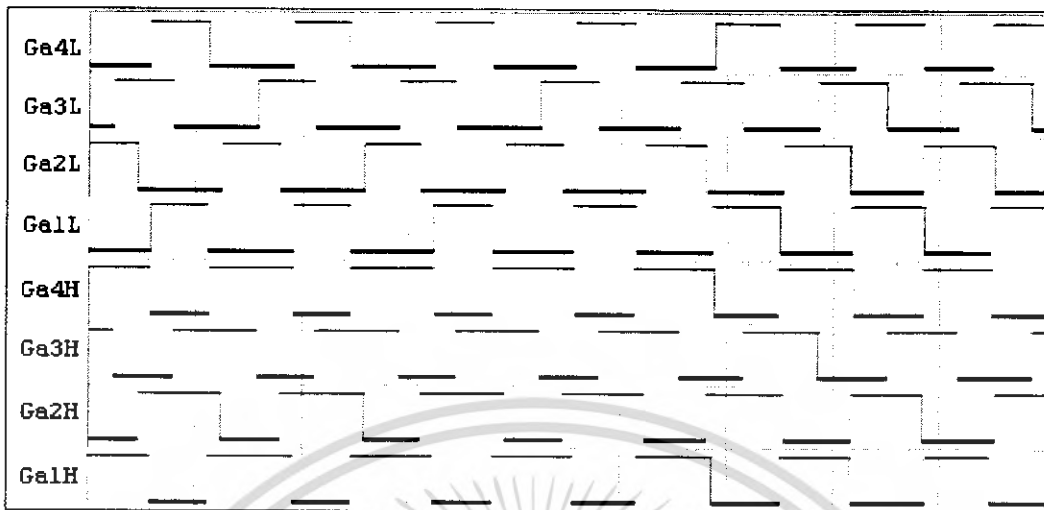


(ข)

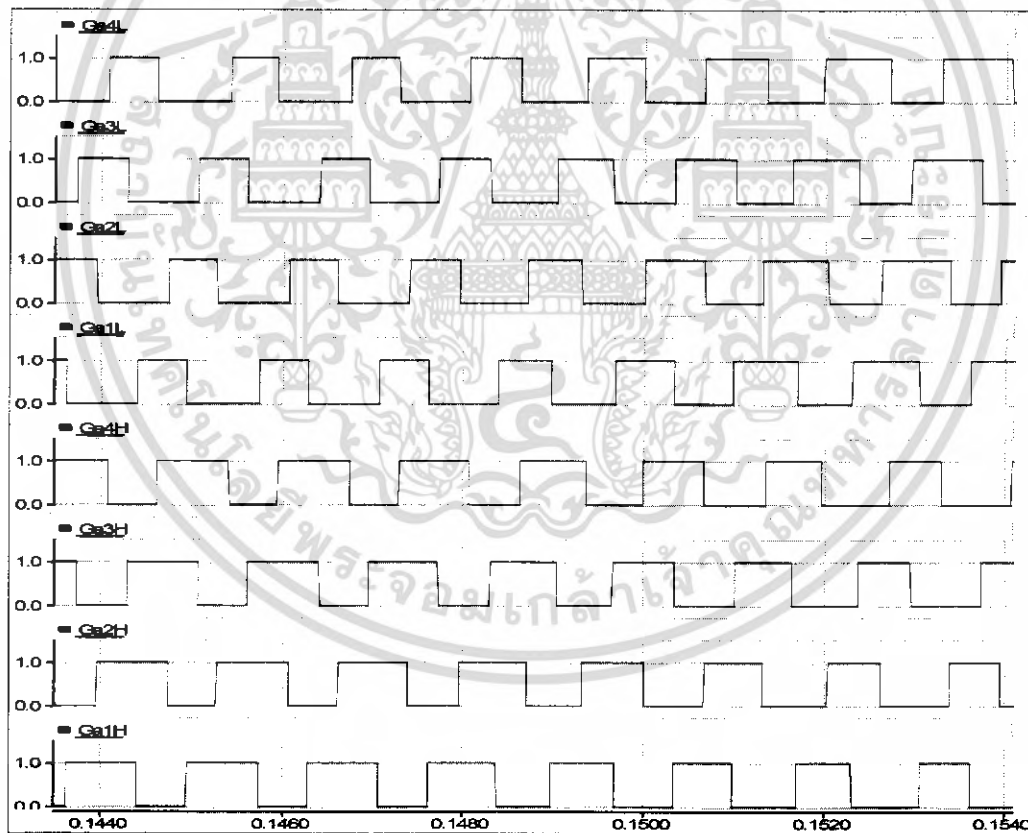
รูปที่ 4.8 ผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.3 โดย

รูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.9 ที่ $m_a = 0.2$ 

(ก)

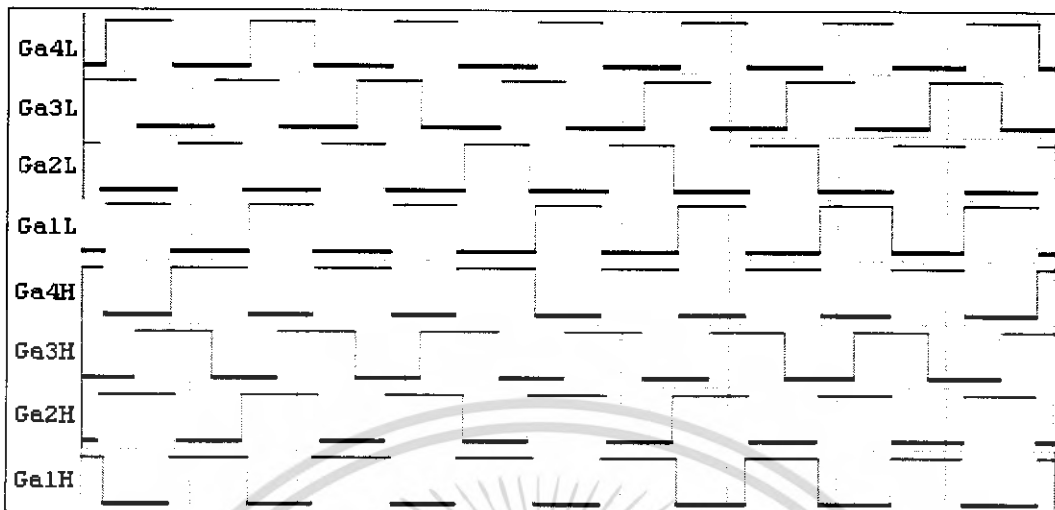


(ข)

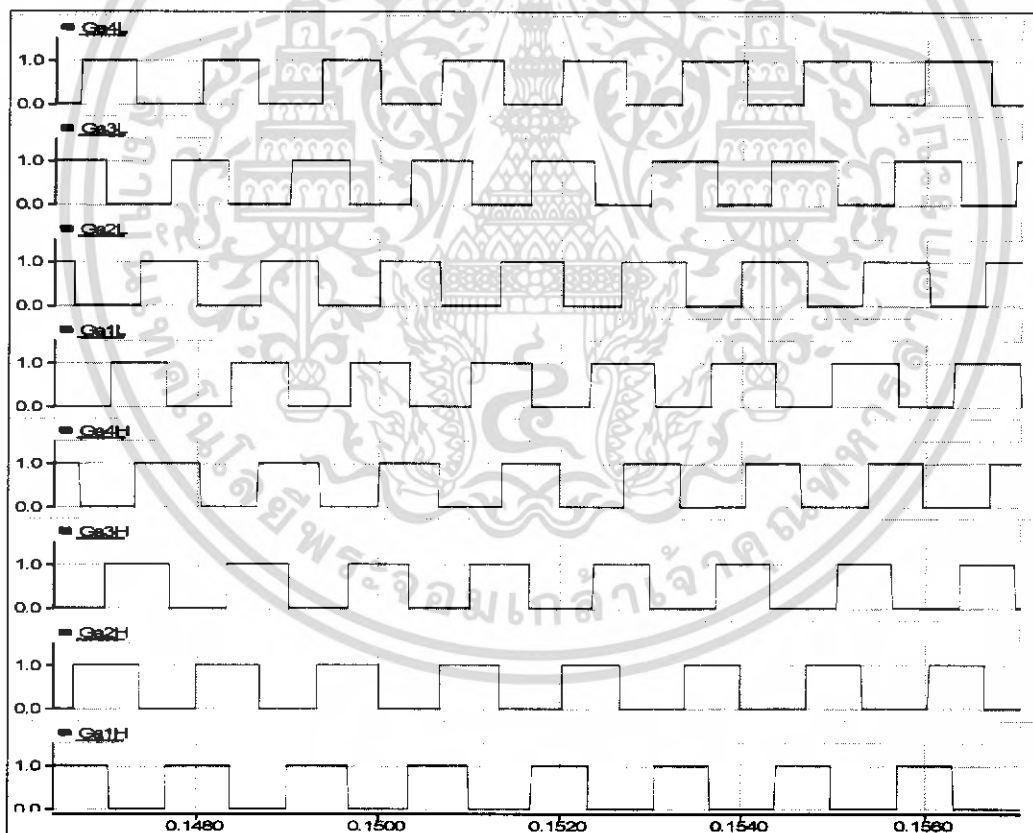
รูปที่ 4.9 ผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.2 โดย

รูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.10 ที่ $m_a = 0.1$ 

(ก)



(ข)

รูปที่ 4.10 ผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.1 โดย

รูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ส่วนของวงจรถ่วง

4.2.1 การทดลองวัดค่าแรงดันขาออกของวงจรถ่วงอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์ที่ระดับค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์ต่างๆ โดย m_a คือค่า มอดูเลชันอินเด็กซ์

4.2.1.1 ที่ $m_a = 1.0$

4.2.1.2 ที่ $m_a = 0.9$

4.2.1.3 ที่ $m_a = 0.8$

4.2.1.4 ที่ $m_a = 0.7$

4.2.1.5 ที่ $m_a = 0.6$

4.2.1.6 ที่ $m_a = 0.5$

4.2.1.7 ที่ $m_a = 0.4$

4.2.1.8 ที่ $m_a = 0.3$

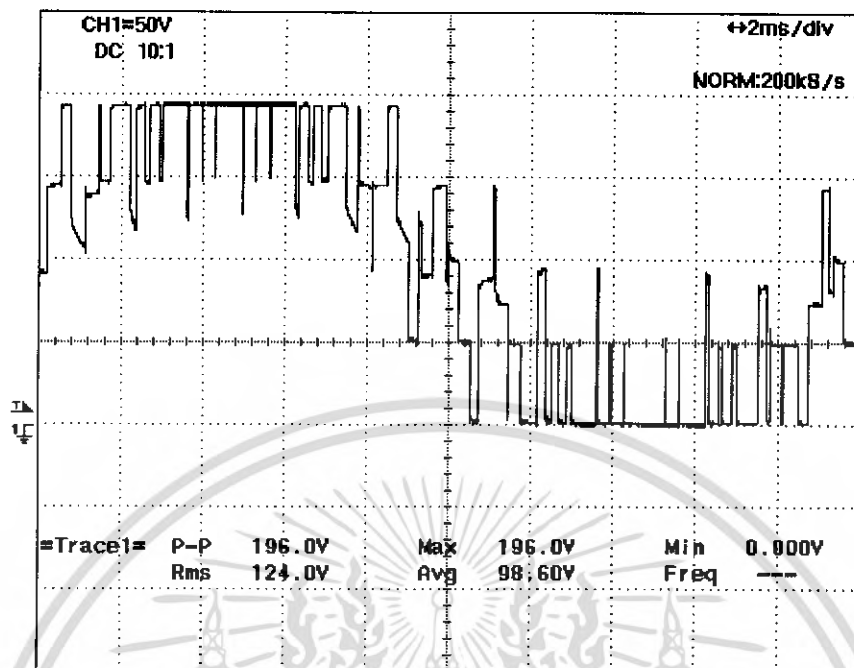
4.2.1.9 ที่ $m_a = 0.2$

4.2.1.10 ที่ $m_a = 0.1$

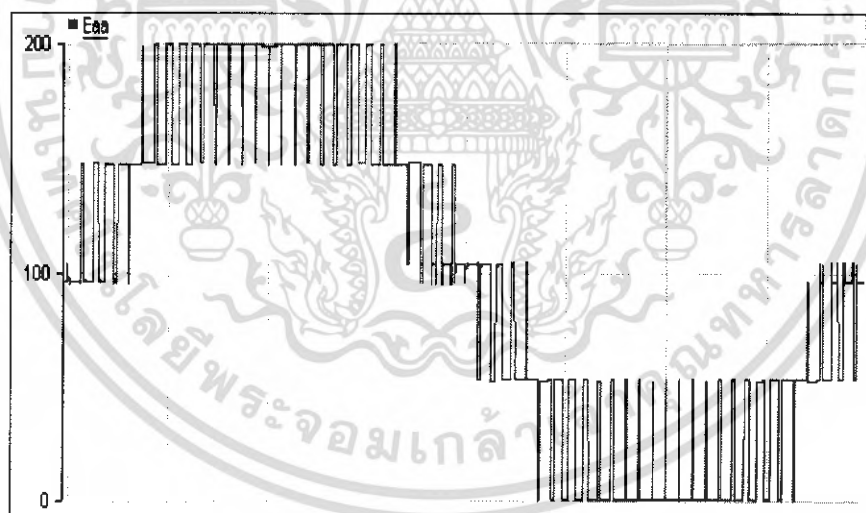
ผลการทดลองวัดแรงดันขาออกที่ค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์ต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.1 ที่ $m_a = 1.0$ 

(ก)

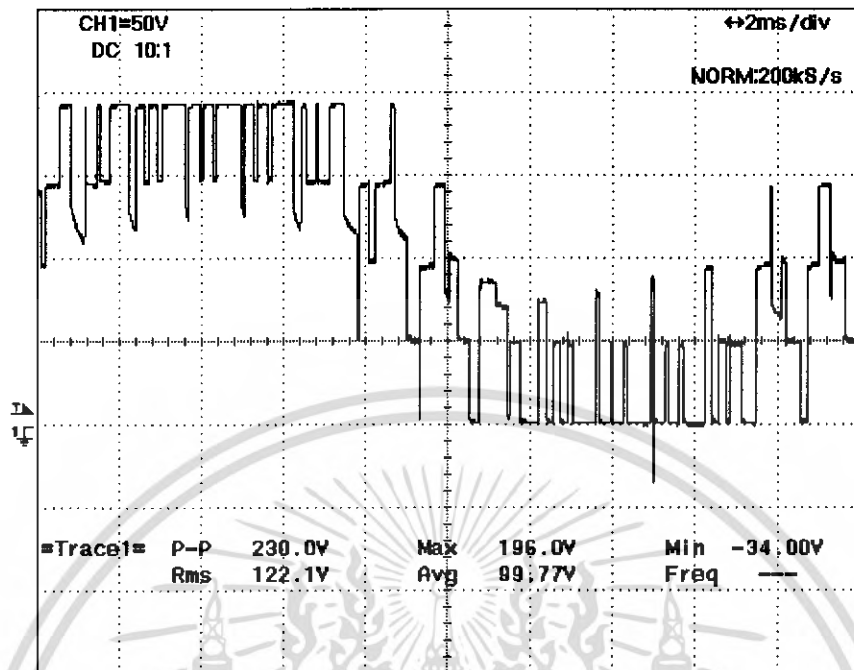


(ข)

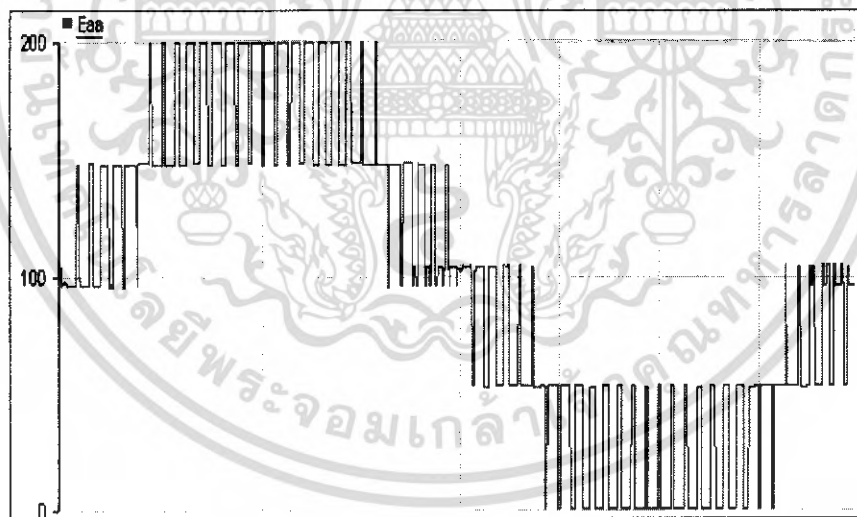
รูปที่ 4.11 ผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 1.0 โดย

รูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2 ที่ $m_a = 0.9$ 

(ก)

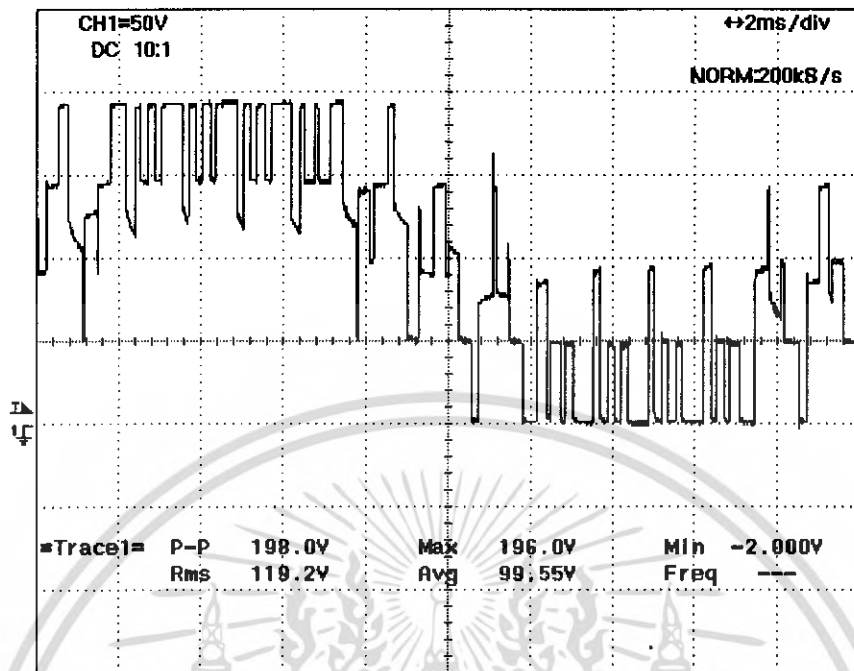


(ข)

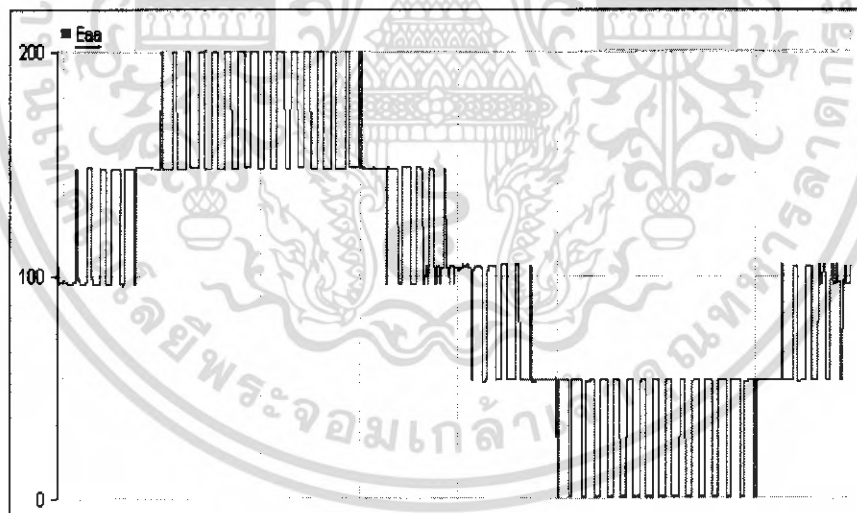
รูปที่ 4.12 ผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.9 โดย

รูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.3 ที่ $m_a = 0.8$ 

(ก)

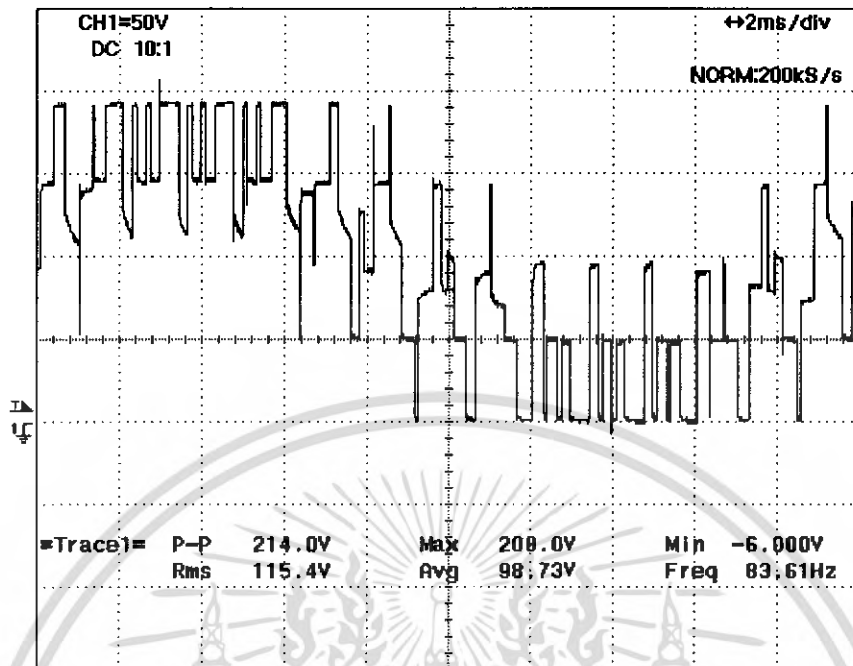


(ข)

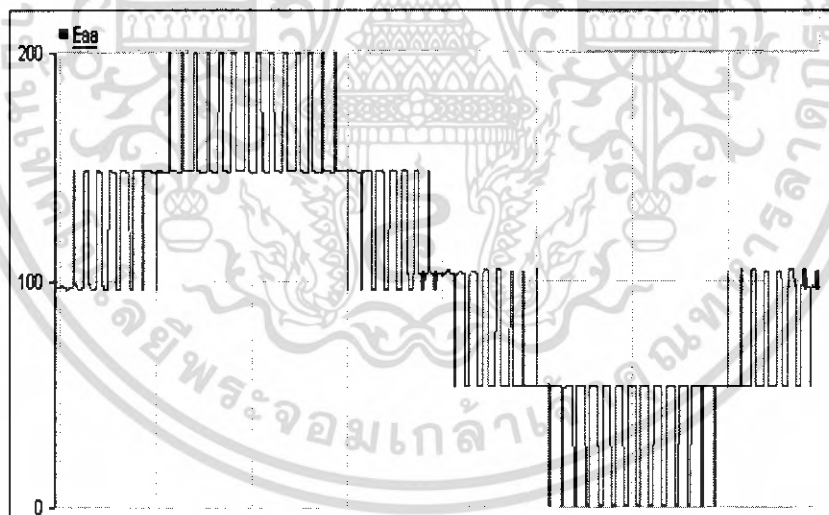
รูปที่ 4.13 ผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.8 โดย

รูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.4 ที่ $m_a = 0.7$ 

(ก)

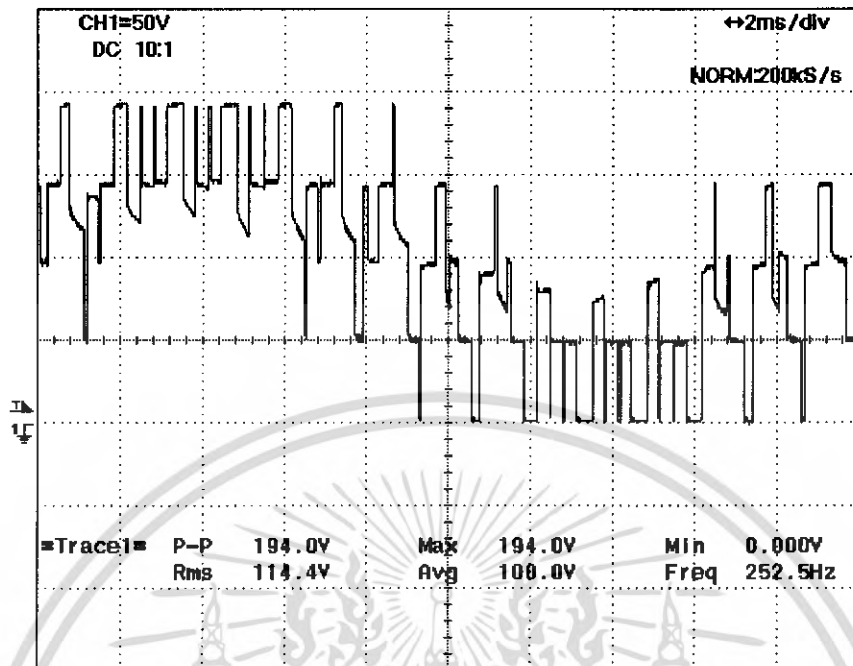


(ข)

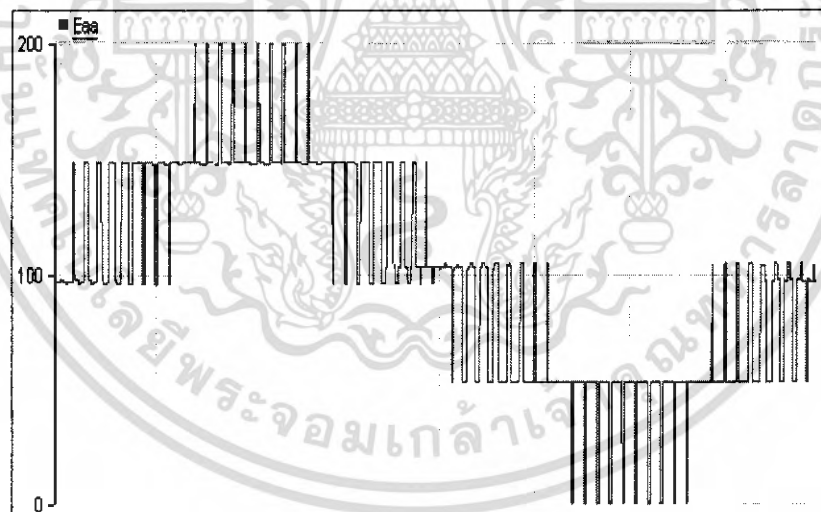
รูปที่ 4.14 ผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.7 โดย

รูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.5 ที่ $m_a = 0.6$ 

(ก)

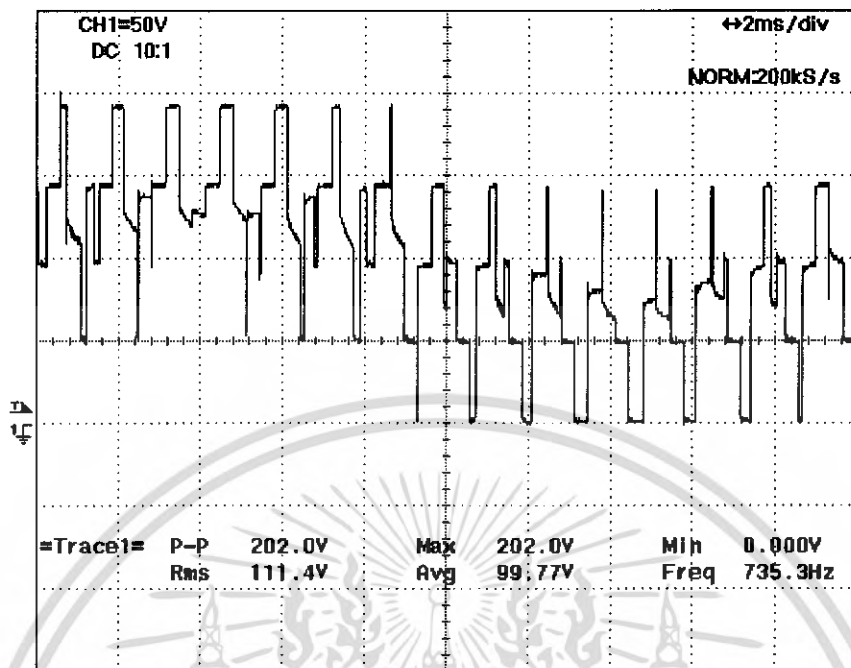


(ข)

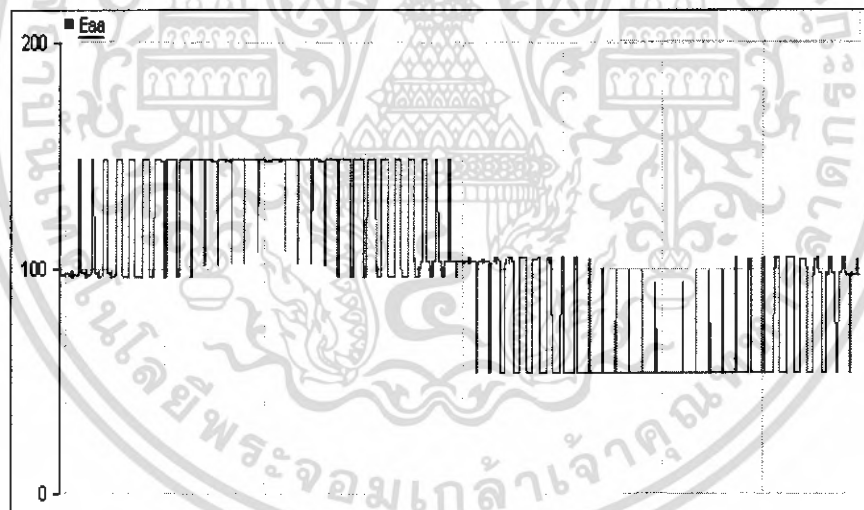
รูปที่ 4.15 ผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.6 โดย

รูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.6 ที่ $m_a = 0.5$ 

(ก)

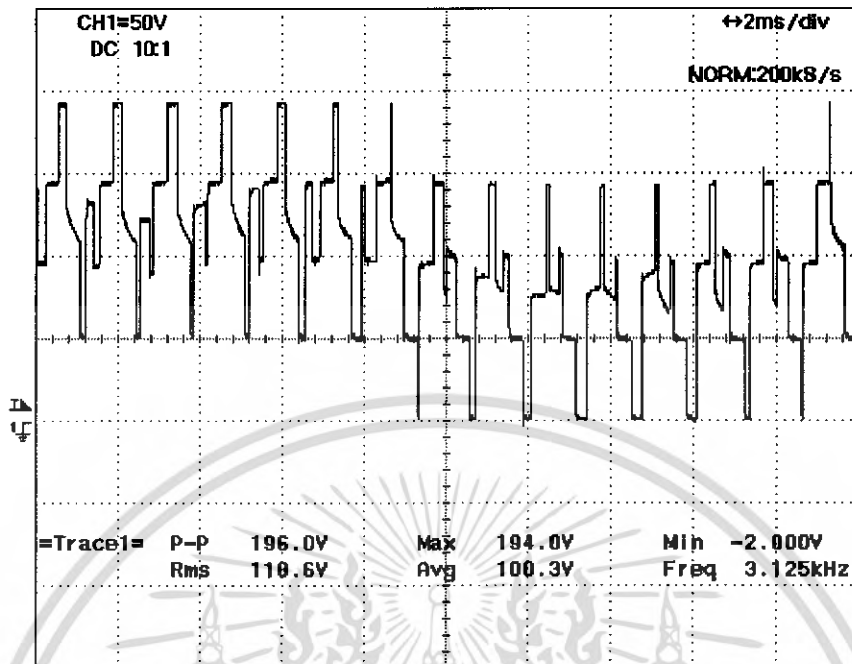


(ข)

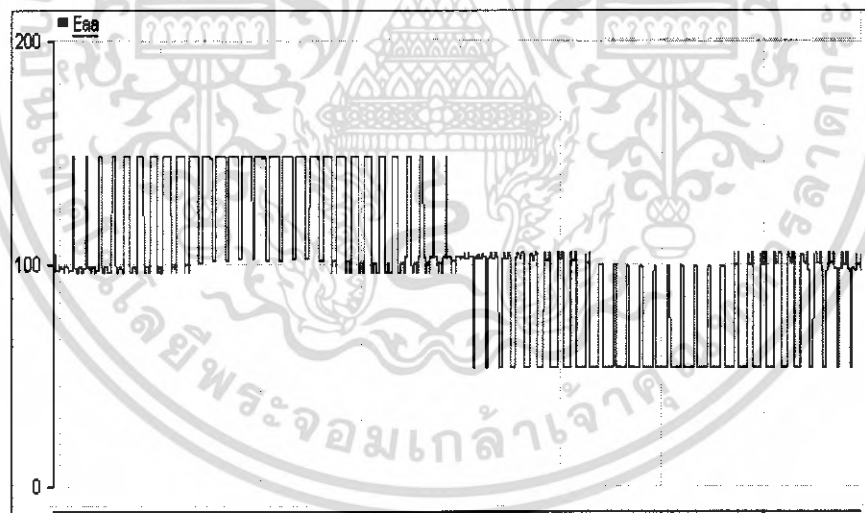
รูปที่ 4.16 ผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.5 โดย

รูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.7 ที่ $m_a = 0.4$ 

(ก)

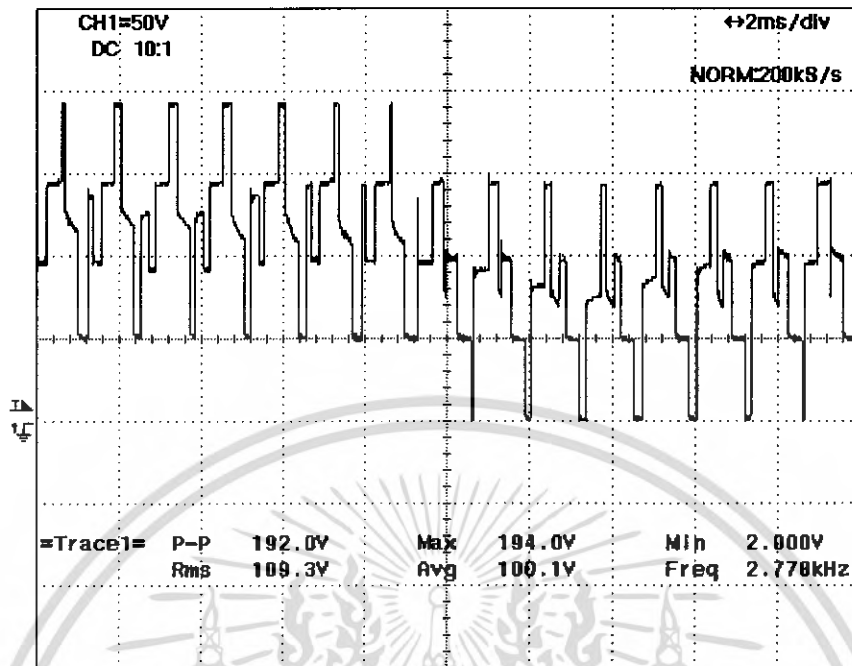


(ข)

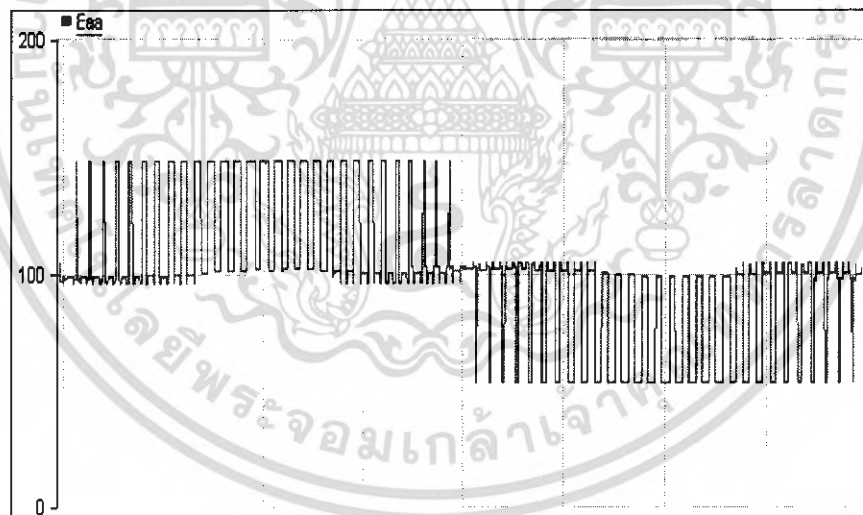
รูปที่ 4.17 ผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.4 โดย

รูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.8 ที่ $m_a = 0.3$ 

(ก)

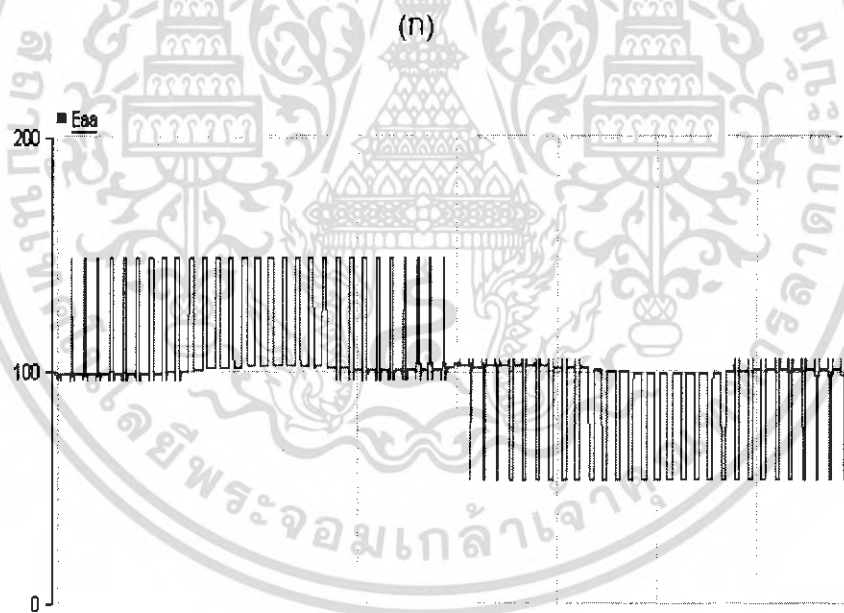
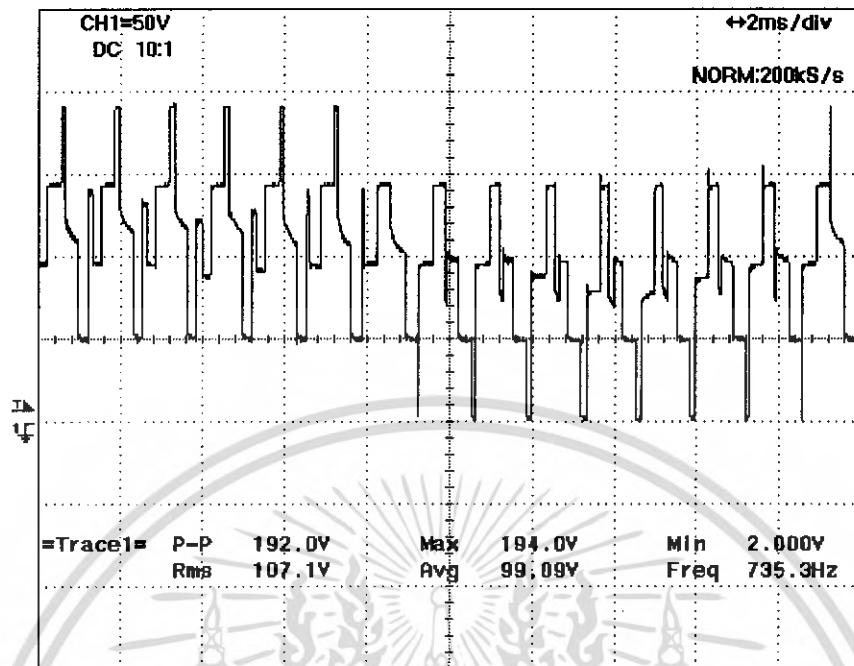


(ข)

รูปที่ 4.18 ผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.3 โดย

รูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง

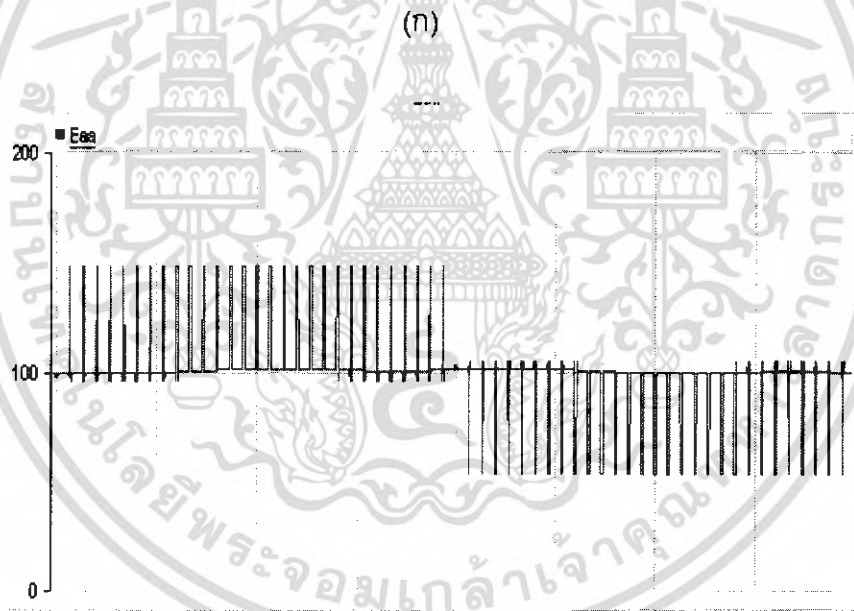
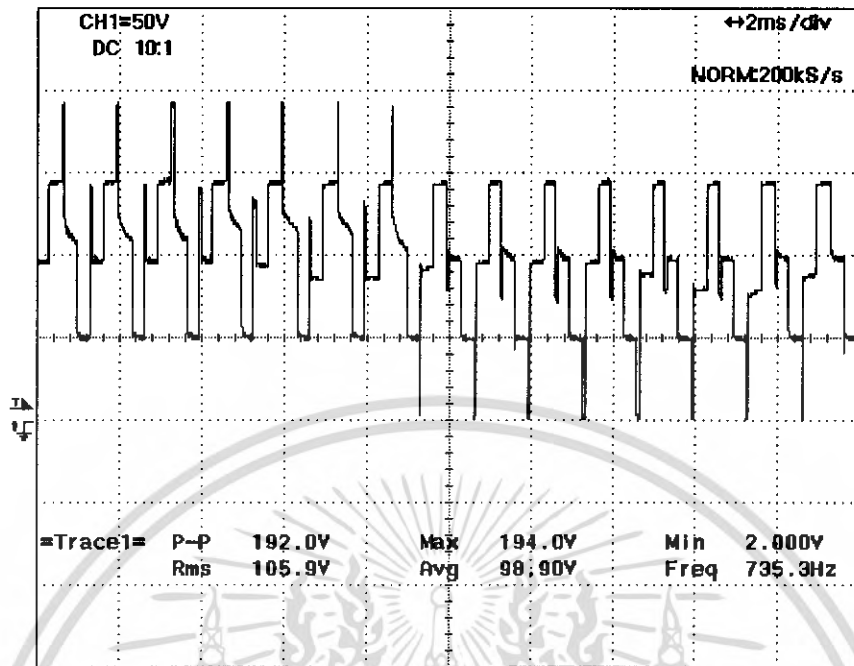
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.9 ที่ $m_a = 0.2$ 

(ข)

รูปที่ 4.19 ผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.2 โดย
รูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.10 ที่ $m_a = 0.1$ รูปที่ 4.20 ผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.1 โดย

รูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง

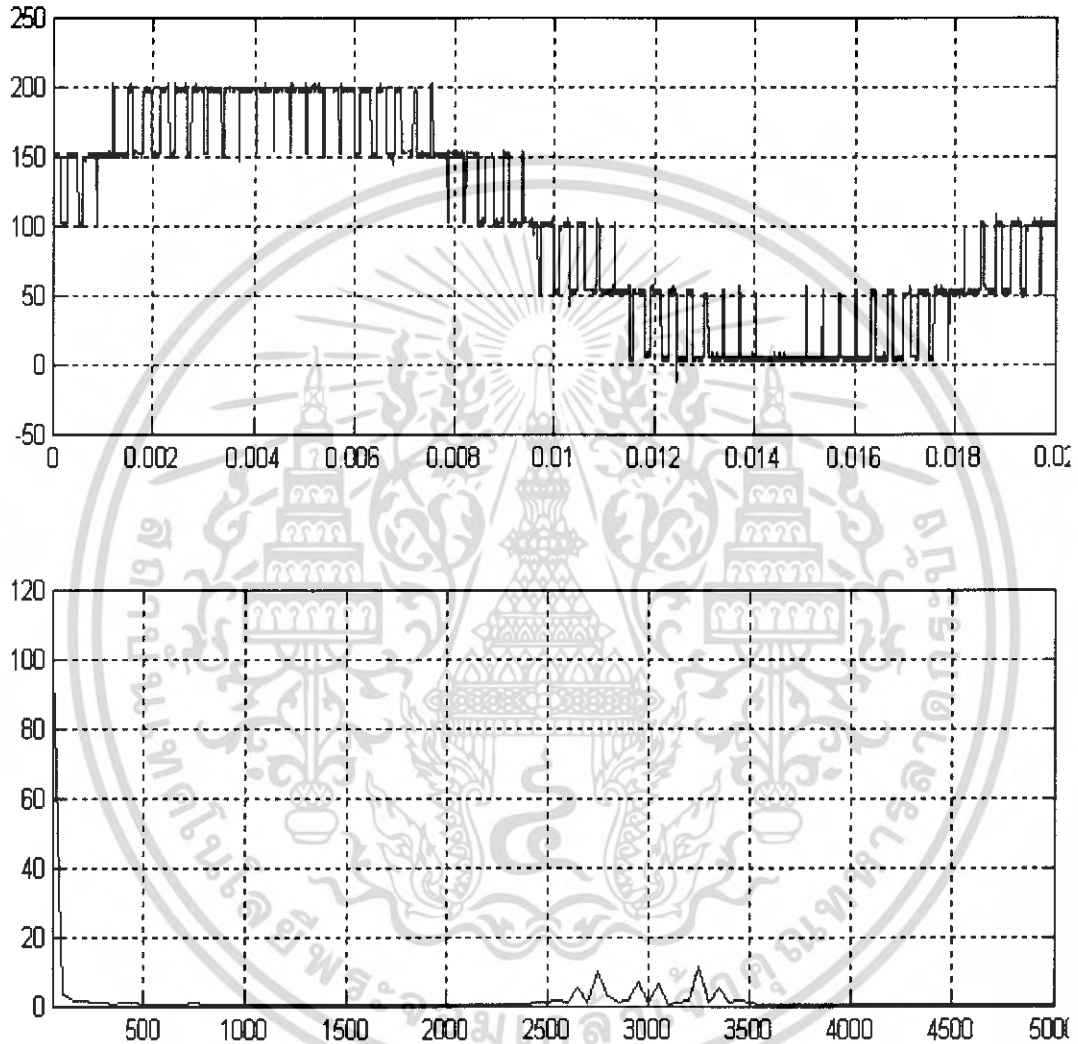
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การวัดค่า Fast Fourier Transform: FFT ของแรงดันขาออก

โดยทำการวัดที่แรงดันที่มีค่ามอดูเลชันอินเด็กส์ 0.8 และ 1.0

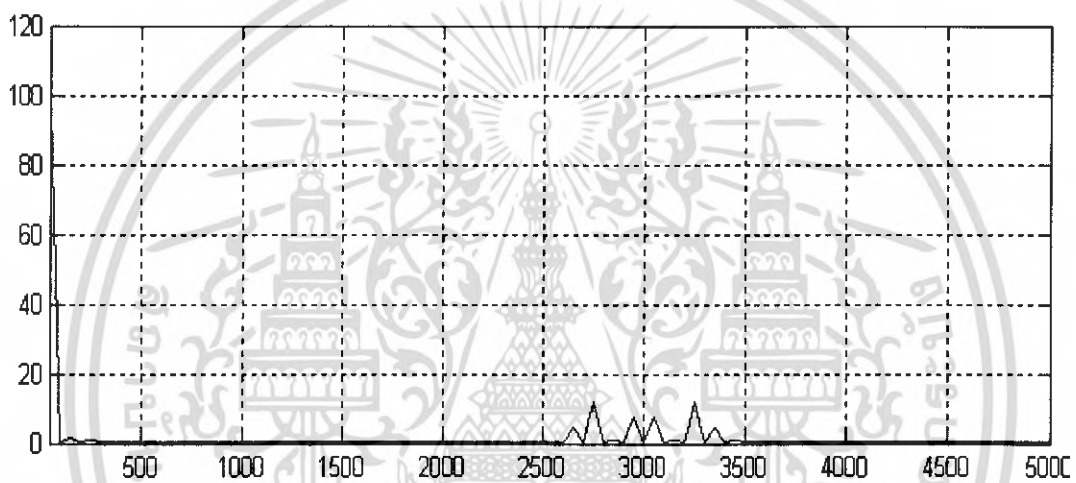
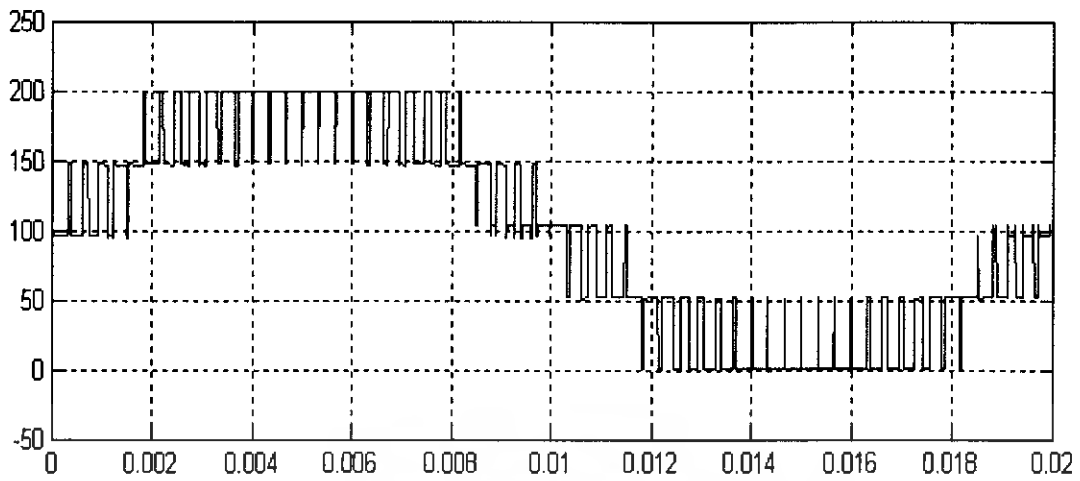
โดยผลการวัดจะนำสัญญาณ Ga1H, Ga2H, Ga3H, Ga4H ที่วัดได้มาบวกกัน

ที่แรงดันที่มีค่ามอดูเลชันอินเด็กส์ 1.0



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

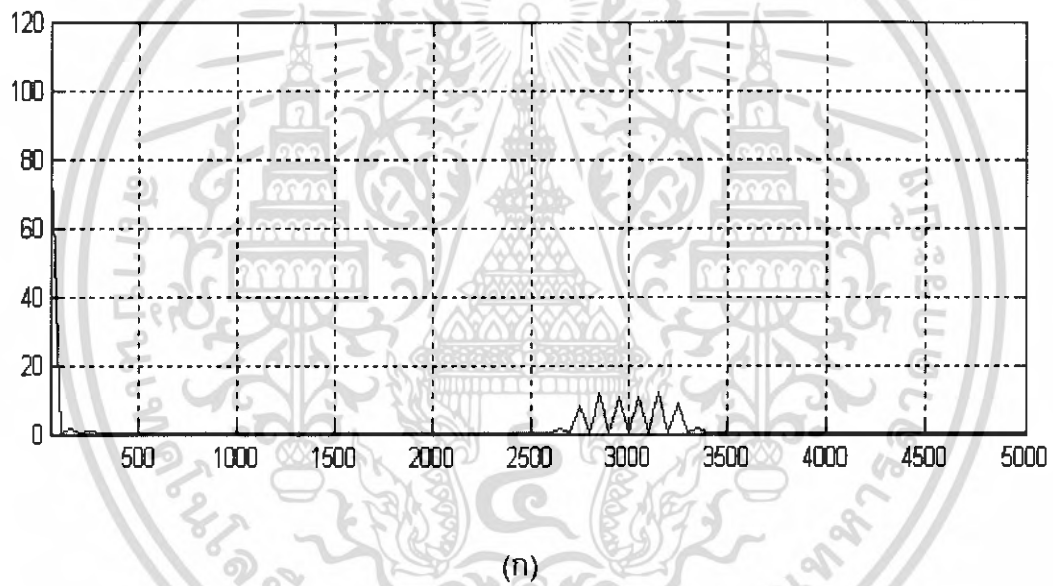
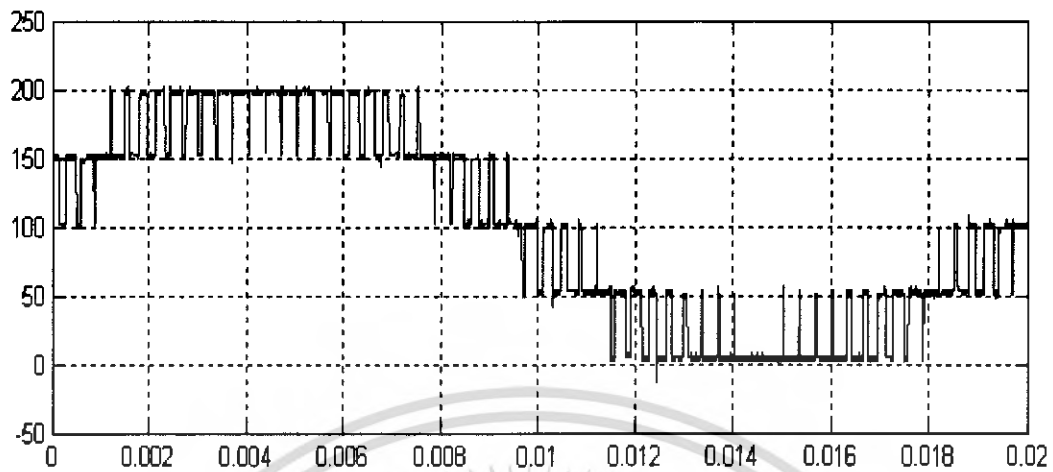


(ข)

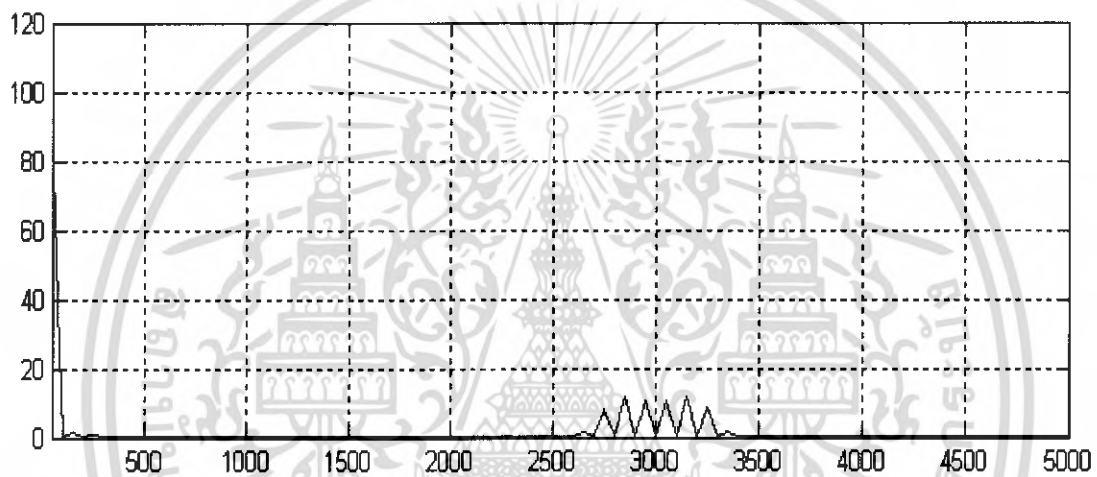
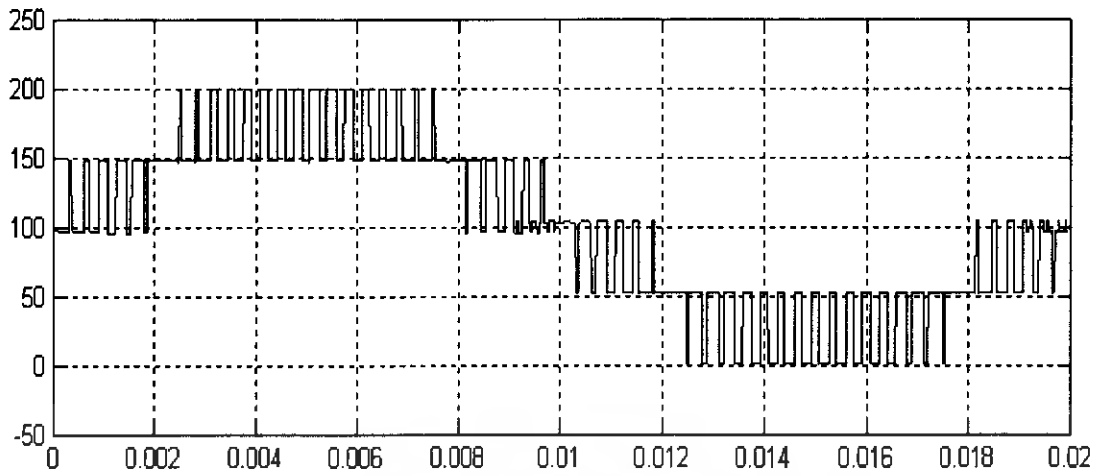
รูป 4.21 ผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 1.0 โดย
รูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่แรงดันที่มีค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์ 0.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูป 4.22 ผลการทดลองที่ m_a เท่ากับ 0.8 โดย
รูป (ก) จากผลการวัด (ข) จากผลการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและเสนอแนวทางที่จะดำเนินการ

จากการศึกษาหลักการทํางานและโครงสร้างของอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับชนิด ฟลายอิงคาปาซิเตอร์ พบว่าอินเวอร์เตอร์จะสร้างแรงดันขาออกตามจำนวนสวิตช์ซึ่งกำลัง การสร้างสัญญาณควบคุมขาเกทของ IGBT ใช้เลือกใช่วิธีชาน์นุไฮดอลพัลส์วิตท์มอดูเลชัน แบบ เลื่อนเฟส (Phase Shifted) ซึ่งใช้สัญญาณพาหะเป็นสัญญาณสามเหลี่ยม และมีสัญญาณอ้างอิง คือสัญญาณชาน์นุ และมีมุมเลื่อนเฟสของสัญญาณพาหะเท่ากับ 90 องศาเนื่องจากที่มุมนี้จะให้ ค่า %THD ของแรงดันขาออกต่ำ และในการใช้งานจริงจะมีการใส่ค่าประวิงเวลาจากวงจรประวิง เวลาเพื่อป้องกันการลัดวงจรขณะสวิตช์กำลังเปลี่ยนสถานะ ซึ่งเวลาที่ใส่จะต้องคำนึงถึง คุณสมบัติของสวิตช์กำลังที่นำมาใช้ด้วย ซึ่งในโครงการนี้ได้เลือกค่าประวิงเวลาที่ 2.6 μs ในการสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์ 5 ระดับชนิด ฟลายอิงคาปาซิเตอร์นี้ได้ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้า กระแสตรงแทนตัวเก็บประจุเพื่อลดขั้นตอนการสร้างวงจรเริ่มต้นการทํางาน โดยใช้ระดับ แรงดันไฟฟ้าเป็นขั้นเช่นเดียวกับในทฤษฎีคือ V_{DC} , $3/4V_{DC}$, $1/2V_{DC}$ และ $1/4V_{DC}$ ตามลำดับ

แนวทางการพัฒนาต่อ

1. ใช้ตัวเก็บประจุแทนแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง
2. พัฒนาต่อเพื่อให้สามารถนำไปชดเชยกระแสรีแอกทีฟภายในระบบได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] F. Zheng Peng, J. Rodriguze, and J. Sheng Lai, **Multilevel Inverter: A Survey of Topologies, Control and Application**, IEEE Trans. Ind. Applicat., Vol. 49, No. 4, August 2002.
- [2] M. L. Crow, and Y. Cheng, **A Diode-Clamped Multi-level Inverter For the StatCom/BESS**, Power Engineering Society Winter Meeting, 2002
- [3] S. Brown, and Z. Vranosic, **Fundamentals of Digital Logic with VHDL Design**, Singapore, Mc Graw Hill, 2005
- [4] โกเมน ทิพย์สารโรจน์, จักรพงษ์ แสงคำสุข, และ ชยานันท์ เจริญครบุรี, **การศึกษาการทำงานและการควบคุมอินเวอร์เตอร์ชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์, ปรียญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.**
- [5] กิตติ ภัคดีวิวัฒนะกุล, และ จำลอง ครูอุตสาหะ, **Visual Basic 6 ฉบับโปรแกรมเมอร์**, กรุงเทพฯ, สนพ. เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์ จำกัด, 2546.
- [6] คู่มือใช้งานการ์ด ET-PCI8255 V3, www.ett.co.th
- [7] คู่มือใช้งาน ACEX1K, www.astronlogic.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การจำลองเพื่อหามุมเลื่อนเฟสที่เหมาะสม

ก.1 การจำลองเบื้องต้น

ในการจำลองเพื่อหามุมเลื่อนเฟสที่เหมาะสม ในการสร้างสัญญาณควบคุมขาเกทของ IGBT เพื่อให้ได้ค่าของแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ดีโดยพิจารณาจากค่า %THD ของแรงดันขาออก ค่าตัวแปรที่ทำการแปรค่าในการจำลองมี 2 ตัวคือ ค่ามุมที่ทำการเลื่อนเฟส และค่ามอดูเลชันอินดิเคกซ์ (m_a) ของสัญญาณควบคุมซึ่งเปลี่ยนค่าโดยการปรับค่าสูงสุดของสัญญาณแบบซายน์ โดยเปลี่ยนมุมที่ต้องการเลื่อนเฟสตั้งแต่ 45 องศาจนถึง 115 องศา และค่ามอดูเลชันอินดิเคกซ์ ตั้งแต่ 0.1 – 1.4 ค่าที่แสดงจากการจำลอง คือ ค่าแรงดันขาออกอาร์เอ็มเอสไลน์ทูไลน์ (V_{Lrms}) และ ค่า %THD ของแรงดันขาออกได้ผลจากการจำลองดังนี้

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าแรงดันขาออกและค่า %THD ที่มุมเลื่อนเฟสและค่ามอดูเลชันอินดิเคกซ์ต่าง ๆ

มุม	45		50		55		60		65	
	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD
0.1	22.86	55.85	22.89	41.37	22.94	19.83	26.44	26.18	22.83	22
0.2	33.06	27.86	33.26	22.29	36.95	14.59	37.63	18.93	36.75	22.22
0.3	41.28	9.365	44.2	9.54	45.6	8.94	46.19	13.95	45.81	21.5
0.4	54.05	13.29	54.62	10.25	54.14	5.23	54.78	11.17	56.82	18.71
0.5	66.4	11.15	66	8.75	67.02	4.93	67.25	8.88	68.49	13.98
0.6	78.27	8.5	78.55	6.98	78.83	4.57	79.7	6.99	80.62	10.22
0.7	90.76	7.18	90.42	5.65	90.47	3.5	91.07	5.96	91.42	9.02
0.8	103.4	5.83	103	4.72	103.3	3.21	103.1	5.31	103.1	8.26
0.9	116.5	5.54	116.6	4.56	116	3.12	115.2	4.31	114.3	6.18
1.0	129.4	5.14	128.4	4.04	128	2.45	126.8	3.32	126.1	4.36
1.1	137.3	5.13	136.2	4.13	135.2	3.1	134.4	4.16	133.8	5.61
1.2	141.2	5.02	140.3	4.43	139.6	3.93	139	4.89	138.5	6.27
1.3	144.9	4.57	143.9	4.26	143.2	4	142.7	4.75	142.1	6.06
1.4	147.9	4.3	147.1	4.03	146.2	3.78	145.4	4.37	144.5	5.3

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าแรงดันขาออกและค่า %THD ที่มุมเลื่อนเฟสและค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์
ต่างๆ (ต่อ)

มุม	70		75		80		85		90	
m_a	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD
0.1	22.83	19.45	22.84	20.89	23.5	20.31	26.97	42.33	29.58	57.44
0.2	33.5	24.44	33.6	23.64	38.37	19.9	41.14	24.41	41.75	29.54
0.3	46.47	26.27	47.48	25.7	49.77	20.98	50.75	13.67	51.11	10.32
0.4	58.68	23.32	59.28	23.24	58.69	17.96	58.63	13.24	58.88	12.66
0.5	69.33	17.42	68.36	17.31	67.82	13.25	66.37	10.17	65.91	10.31
0.6	80.24	12.63	79.03	12.11	77.6	9.44	76.35	7.33	75.59	7.55
0.7	91.01	11.07	91.19	10.81	90.31	8.4	89.32	6.4	88.85	6.7
0.8	103.1	9.98	103.1	9.98	102.3	7.71	102.4	5.52	101.9	5.09
0.9	114.4	7.48	114	7.43	114.1	5.8	114.8	4.95	114.5	5.16
1.0	125.6	5.1	125.2	5.12	125.8	4.18	126.4	4.46	126.5	5.19
1.1	133.6	6.62	133.4	6.7	133.4	5.36	133.3	4.73	133.3	4.96
1.2	138.3	7.26	138.2	7.21	138	6.01	137.6	4.91	137.4	4.64
1.3	141.6	6.73	141.2	6.62	140.7	5.55	140.6	4.56	140.5	4.22
1.4	143.9	9.95	143.4	5.93	143	5.02	142.9	4.23	142.6	4.02

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าแรงดันขาออกและค่า %THD ที่มุมเลื่อนเฟสและค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์
ต่างๆ (ต่อ)

มุม	95		100		105		110		115	
m_a	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD
0.1	26.99	42.07	23.48	18.06	22.87	17.33	22.87	15.29	23.13	21.13
0.2	41.2	23.81	38.34	14.25	33.49	12.63	33.35	10.81	35.8	15.18
0.3	50.83	11.67	49.71	12.18	46.95	10.17	45.21	9.1	45.74	11.91
0.4	58.67	11.52	57.96	9.45	58.39	9.01	57.76	8.9	57.91	11.22
0.5	66.03	8.95	67.29	7.44	69.36	8.12	71.36	9.02	72.75	10.88
0.6	76.78	6.58	78.88	6.05	80.99	7.08	83.39	8.33	85.72	9.97
0.7	89.03	6.02	90.29	5.2	91.56	6.16	94.58	7.36	96.93	8.77
0.8	102	4.98	103	4.83	104.1	5.4	105.3	6.21	106.9	7.49
0.9	114.5	4.59	115.3	4.17	115.6	4.76	116.1	5.07	117.3	5.84

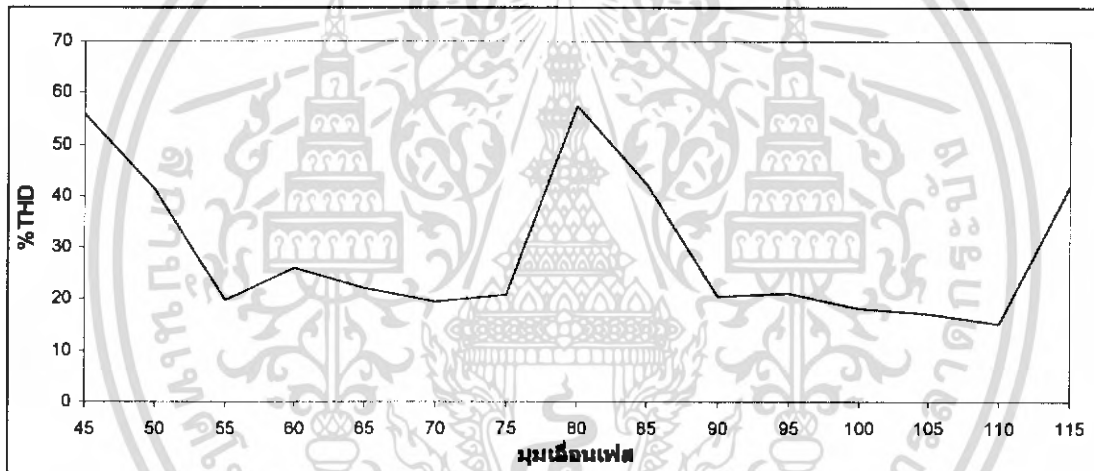
ตารางที่ ก.1 แสดงค่าแรงดันขาออกและค่า %THD ที่มุมเลื่อนเฟสและค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์
ต่างๆ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

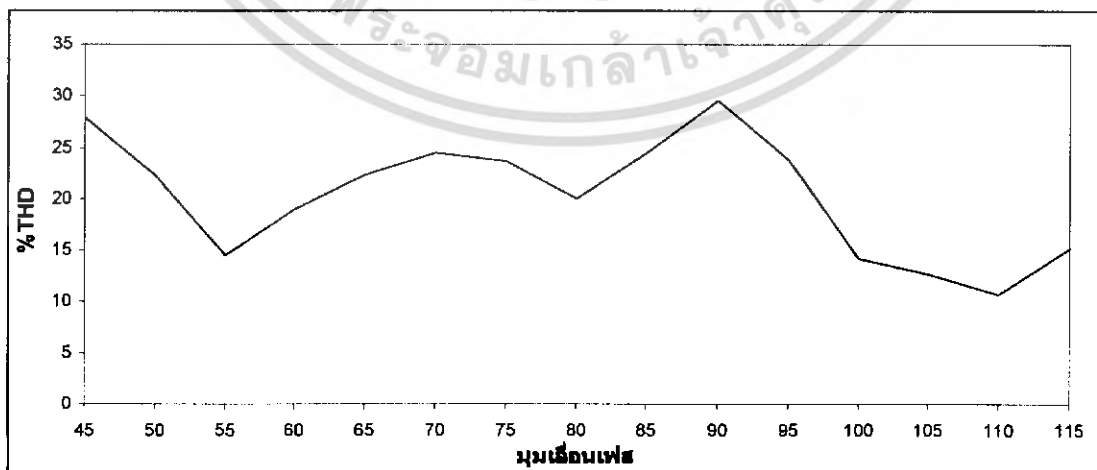
มุม	95		100		105		110		115	
m_a	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD
1.0	126.3	4.2	126.4	3.17	126.3	3.7	127.1	4.14	128	4.49
1.1	133.2	4.32	133.1	3.69	133.3	3.76	133.7	3.99	134.5	4.65
1.2	137.6	4.5	137.5	4.2	137.4	4.21	137.8	4.42	138.5	4.92
1.3	140.7	4.16	140.7	4.14	140.8	4.14	141.1	4.29	141.7	4.76
1.4	143.2	3.99	143.2	3.91	143.4	3.95	143.7	4.05	144.2	4.45

จากตารางที่ 2.2.1 จะเห็นว่าไม่ว่ามุมเลื่อนเฟสจะเป็นกี่องศา ค่าแรงดันที่ได้ที่ค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์เดียวกันจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ค่า %THD จะต่างกัน ดังนั้นจะต้องพิจารณาต่อไปว่าที่มุมเลื่อนเฟสเท่าใดที่ให้ค่า %THD และมุมเลื่อนเฟสที่ค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์ต่างๆ มาพล็อตกราฟได้ดังนี้

มอดูเลชันอินเด็กซ์ = 0.1



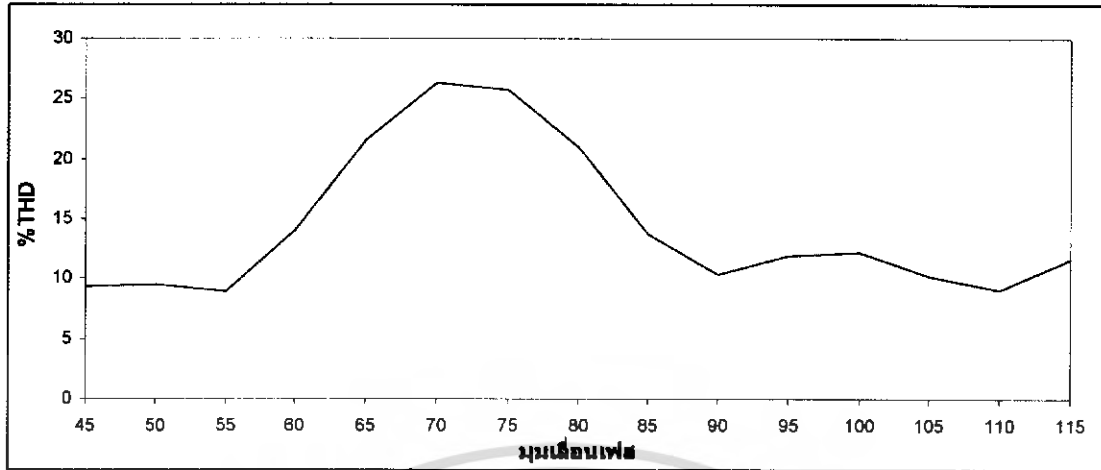
มอดูเลชันอินเด็กซ์ = 0.2



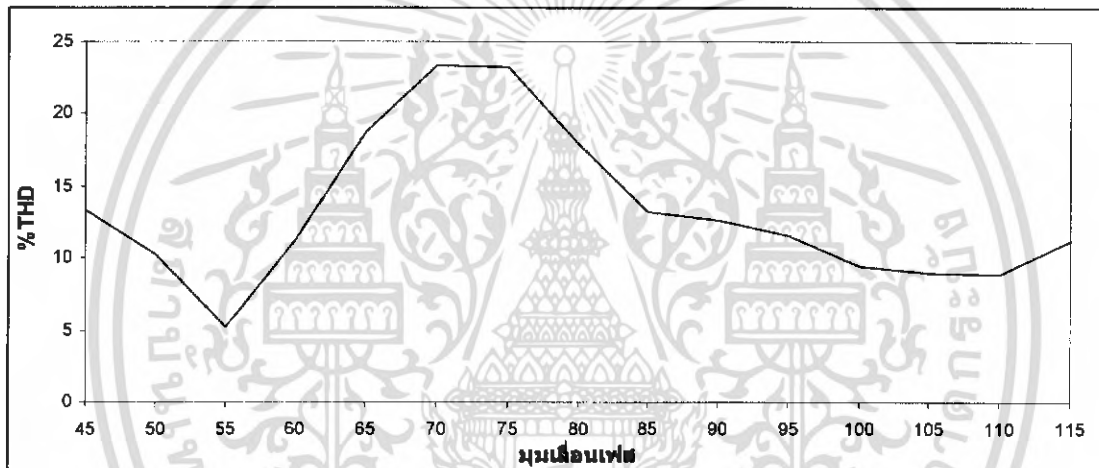
รูป ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า %THD กับมุมเลื่อนเฟสที่ค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

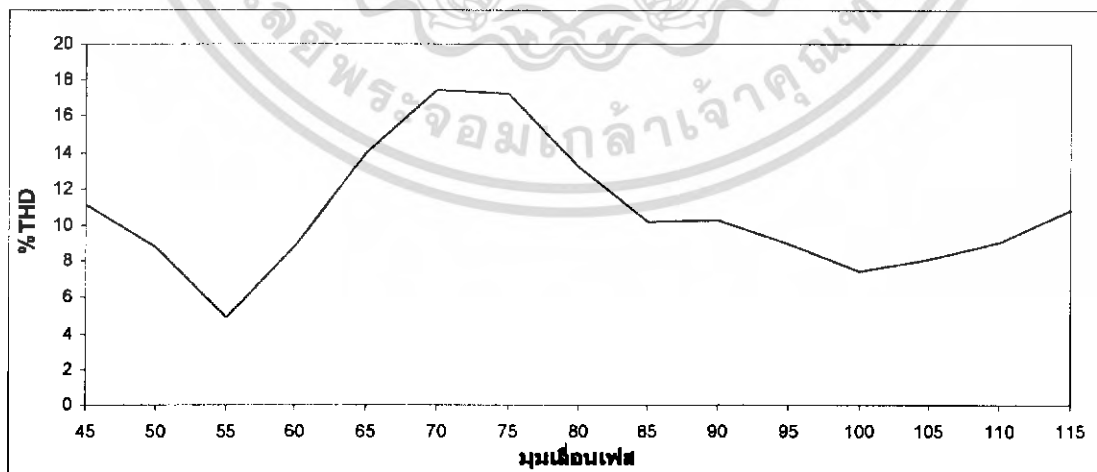
มอดูละชันอินเด็กส์ = 0.3



มอดูละชันอินเด็กส์ = 0.4



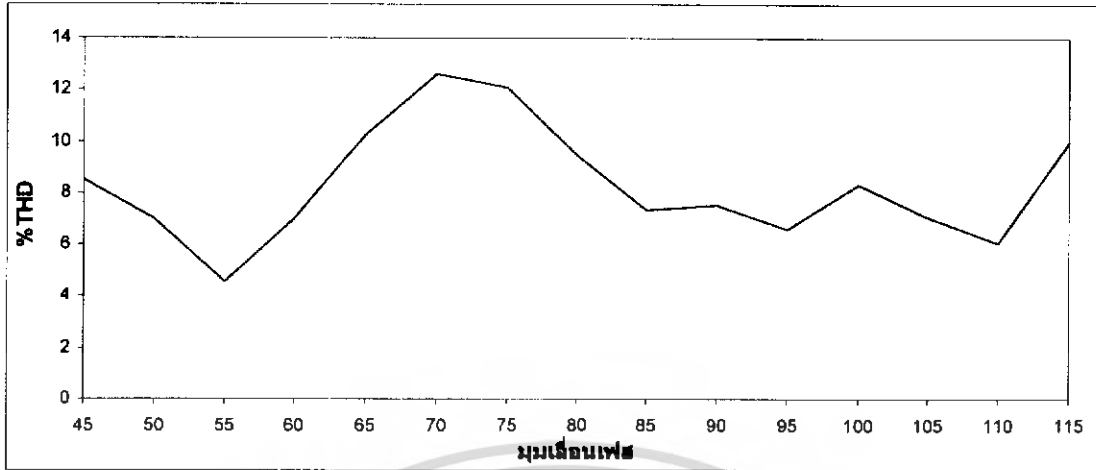
มอดูละชันอินเด็กส์ = 0.5



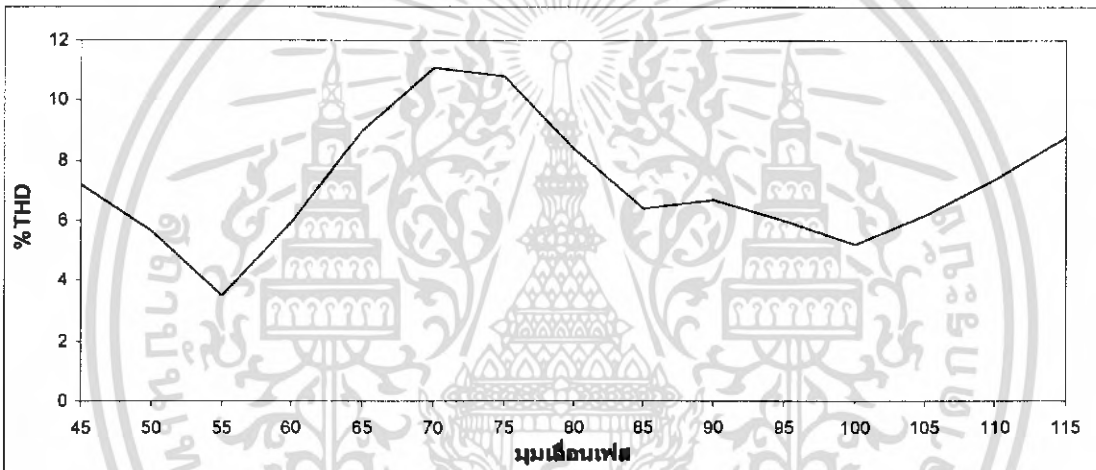
รูป ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า %THD กับมุมเดือนเฟสที่ค่ามอดูละชันอินเด็กส์ต่างๆ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

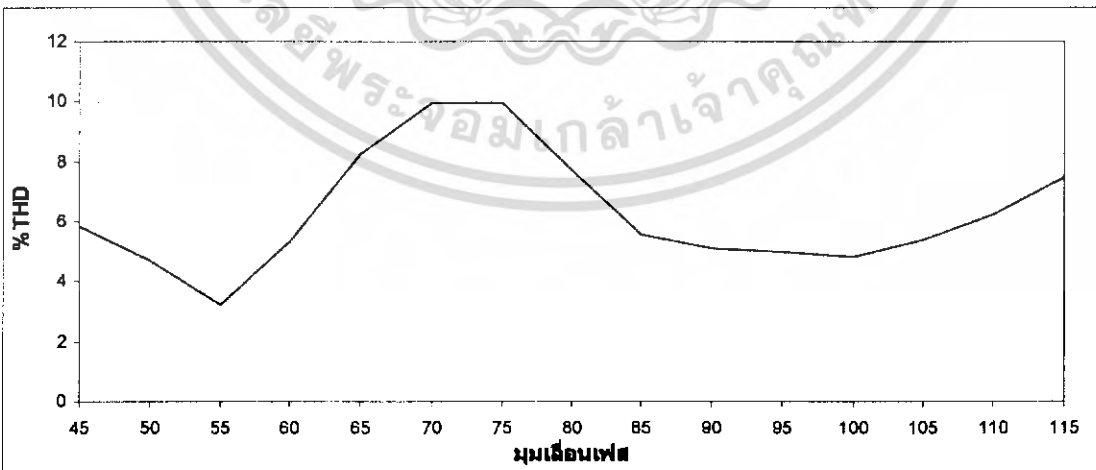
มอดูลชันอินเด็กส์ = 0.6



มอดูลชันอินเด็กส์ = 0.7



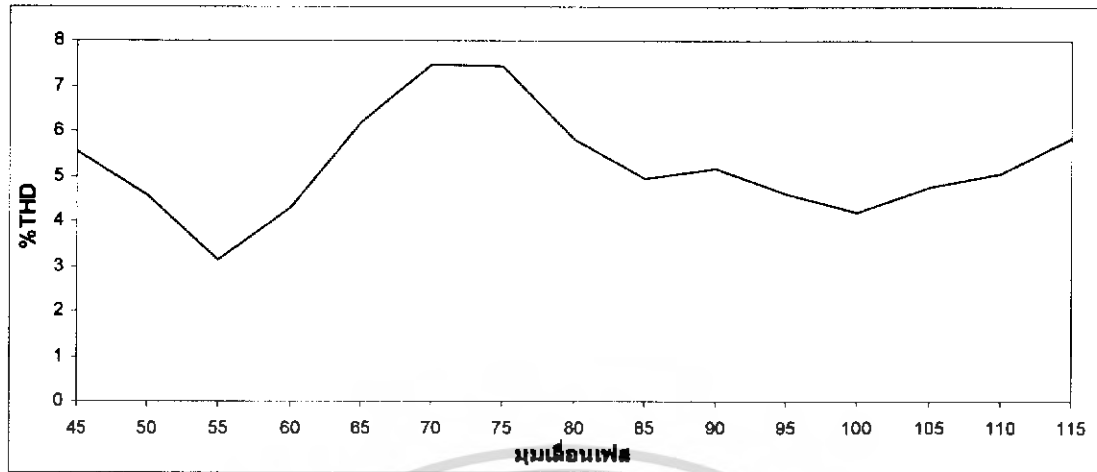
มอดูลชันอินเด็กส์ = 0.8



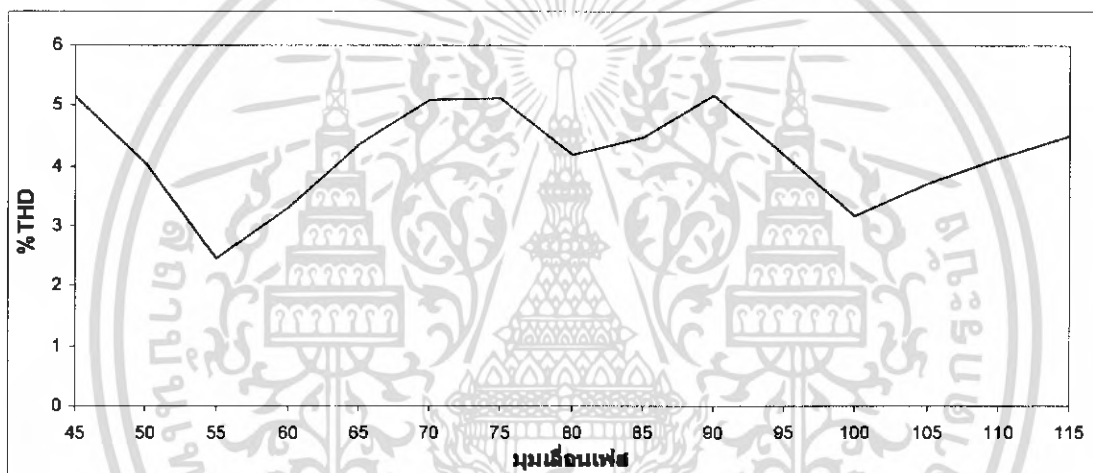
รูป ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า %THD กับมุมเดือนเฟสที่ค่ามอดูลชันอินเด็กส์ต่างๆ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

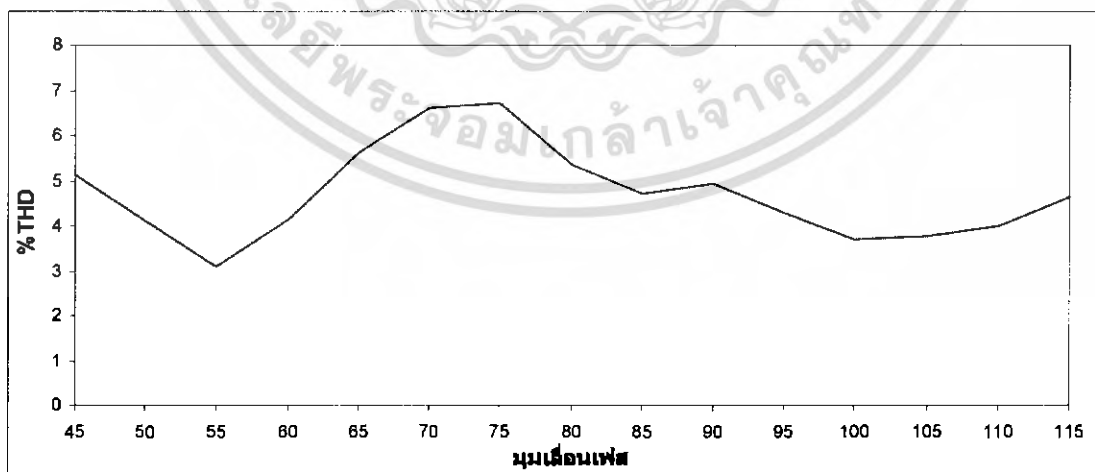
มอดูลเลขอินเด็กซ์ = 0.9



มอดูลเลขอินเด็กซ์ = 1.0



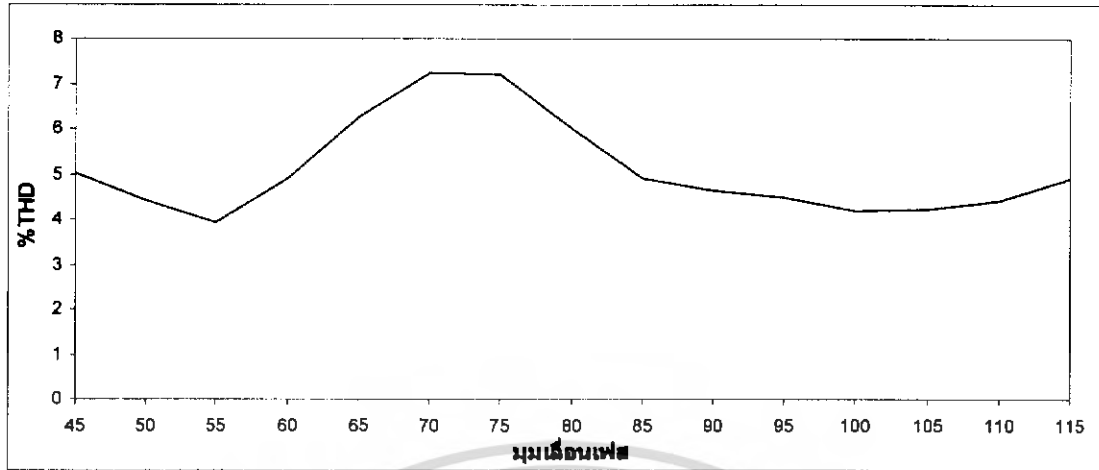
มอดูลเลขอินเด็กซ์ = 1.1



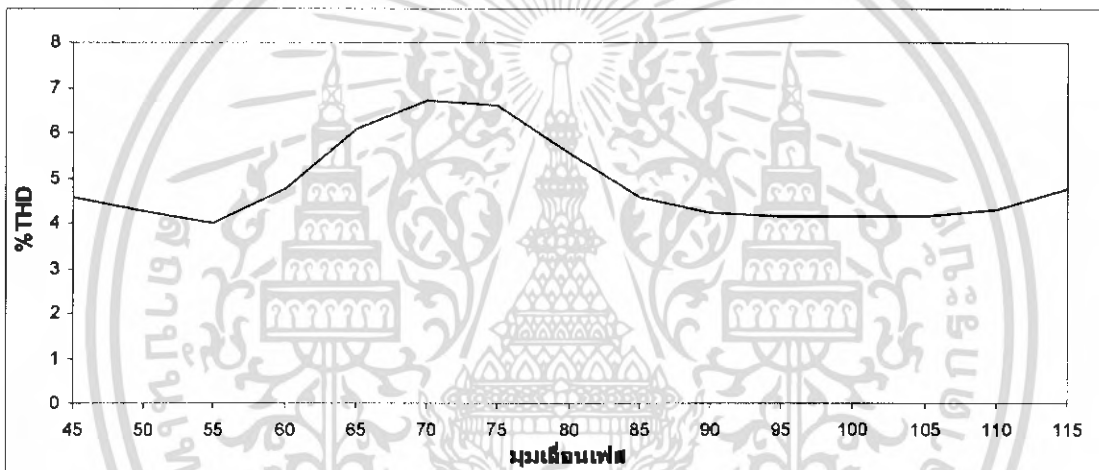
รูป ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า %THD กับมุมเดือนเฟสที่ค่ามอดูลเลขอินเด็กซ์ต่างๆ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

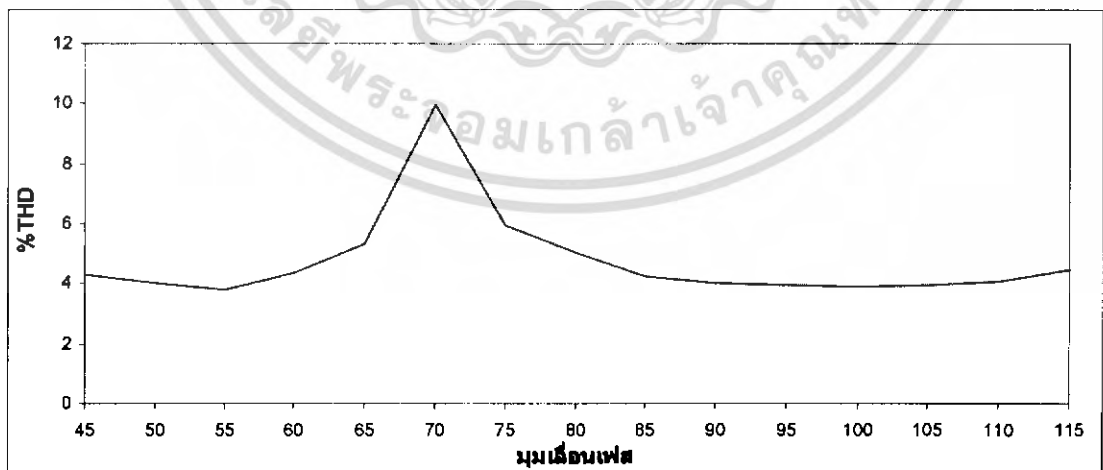
มอดูลเลขชั้นอินเด็กซ์ = 1.2



มอดูลเลขชั้นอินเด็กซ์ = 1.3



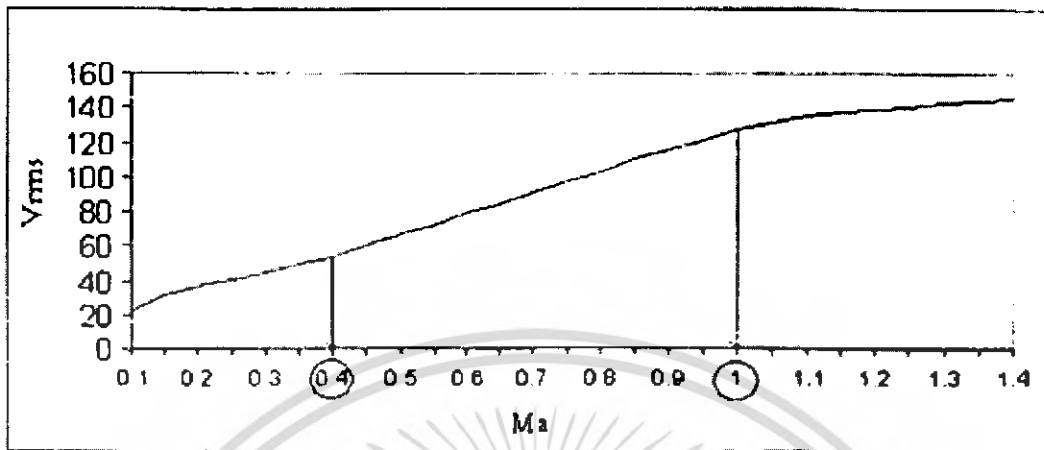
มอดูลเลขชั้นอินเด็กซ์ = 1.4



รูป ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า %THD กับมุมเดือนเฟสที่ค่ามอดูลเลขชั้นอินเด็กซ์ต่างๆ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่ามมเลื่อนเฟสที่ทำให้ค่า % THD ต่ำสุด ส่วนใหญ่ คือ มมเลื่อนเฟส 55 องศา นำค่าแรงดันขาออกกับมอดูเลชันอินเด็กซ์ ที่มมเลื่อนเฟส 55 องศา มาพล็อตกราฟได้ดังนี้

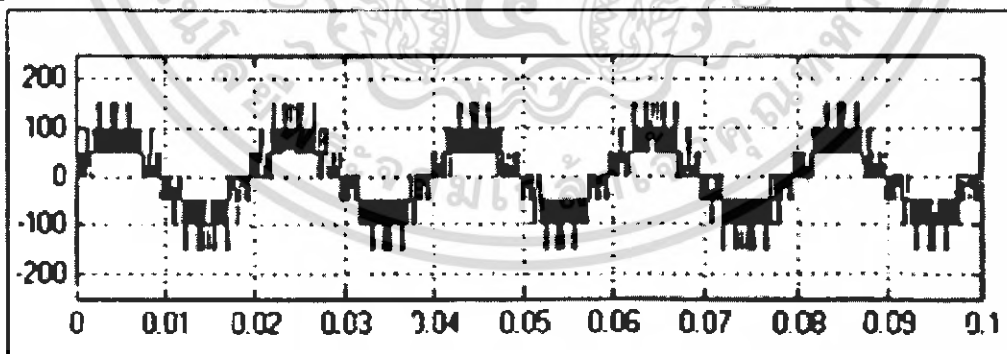


รูปที่ ก.4 แรงดันขาออกกับมอดูเลชันอินเด็กซ์ที่มมเลื่อนเฟส 55 องศา

จะพบว่าค่าแรงดันขาออกกับค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์สัมพันธ์เป็นเชิงเส้นที่ค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์ตั้งแต่ 0.4 - 1.0 ดังนั้นในการควบคุมแรงดันขาออกให้ได้ตามที่ต้องการ ควรจะปรับค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์ในช่วง 0.4 - 1.0

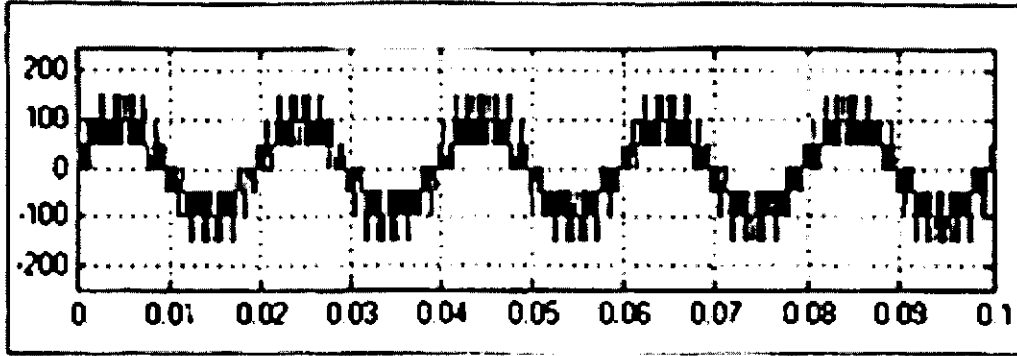
ต่อไปเป็นการแสดงค่าแรงดันขาออก (V_{Lrms}) ที่ได้จากการจำลองใน Matlab/simulink ที่ค่ามอดูชันอินเด็กซ์ตั้งแต่ 0.4 - 10

มอดูเลชันอินเด็กซ์ = 0.4

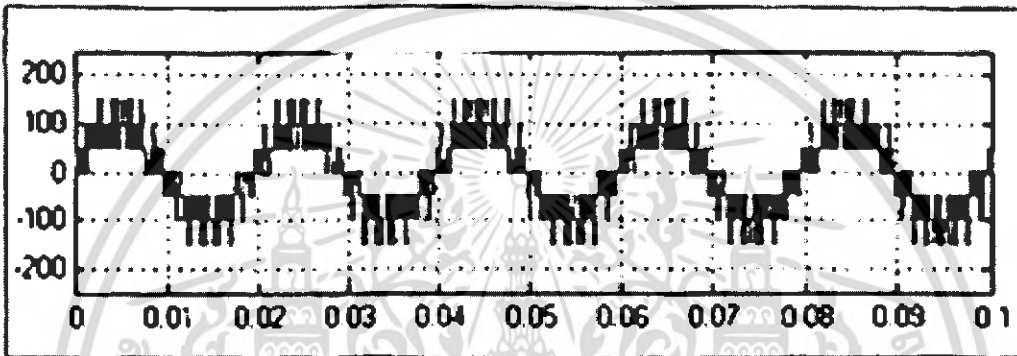


รูปที่ ก.5 แรงดันขาออกที่มอดูเลชันอินเด็กซ์ต่างๆ

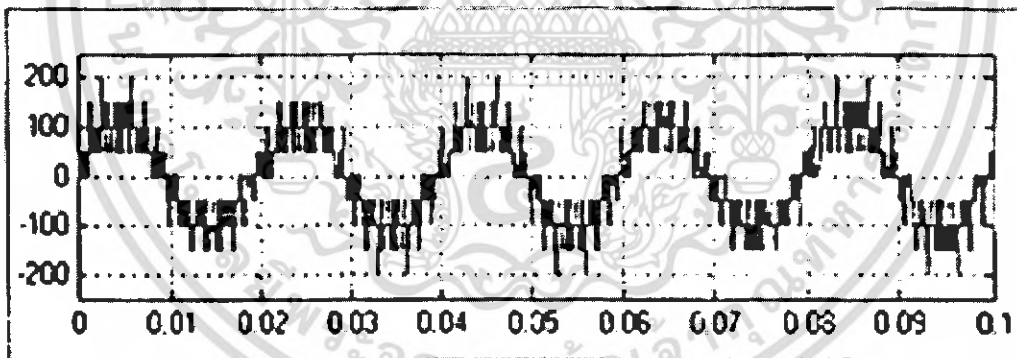
มอดูลเลขฐานอินเด็กซ์ = 0.5



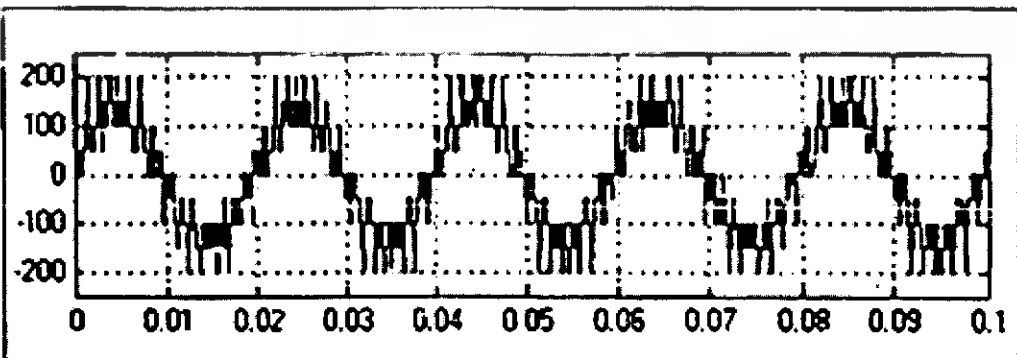
มอดูลเลขฐานอินเด็กซ์ = 0.6



มอดูลเลขฐานอินเด็กซ์ = 0.7

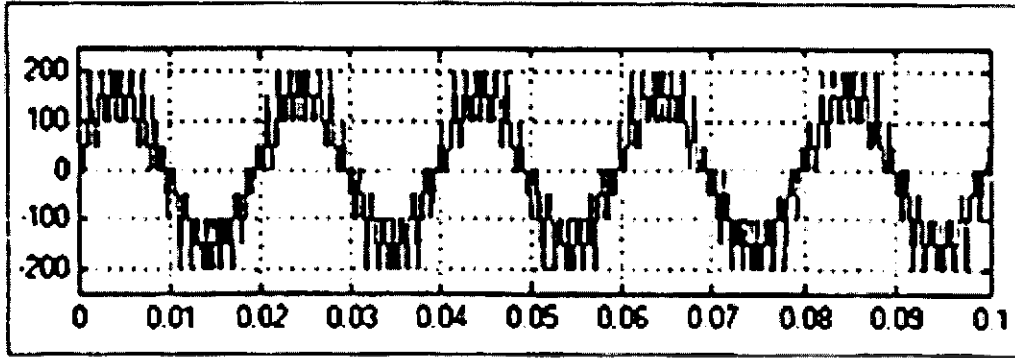


มอดูลเลขฐานอินเด็กซ์ = 0.8

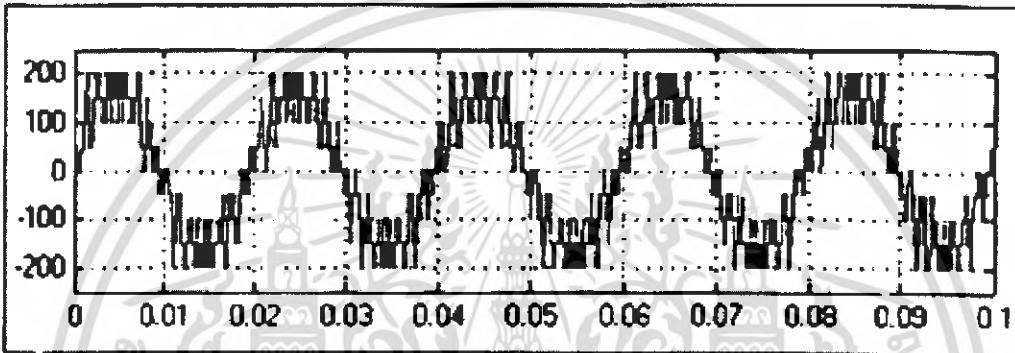


รูปที่ ก.5 แร่งต้นขาออกที่มอดูลเลขฐานอินเด็กซ์ต่างๆ (ต่อ)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอดูลชันอินเด็กซ์ = 0.9



มอดูลชันอินเด็กซ์ = 1.0



รูปที่ ก.5 แรงดันขาออกที่มอดูลชันอินเด็กซ์ต่างๆ (ต่อ)

ก.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกกับแรงดันตัวเก็บประจุคอมมอนด์รีลิ่งค์

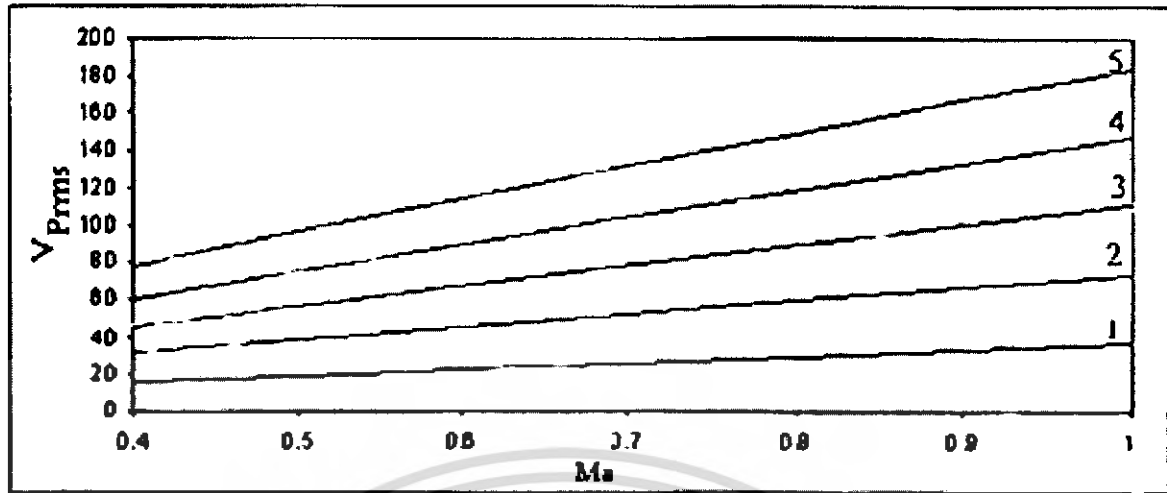
จำลองวงจรโดยเปลี่ยนค่าแหล่งจ่ายกระแสตรงวงนอกสุดตั้งแต่ 100 โวลต์ จนถึง 500 โวลต์ (แหล่งจ่ายกระแสตรงวงในลดลงเป็นสัดส่วน) ซึ่งได้ผลของแรงดันขาออกโดยการวัดเป็นค่าแรงดันเฟสอาร์เอ็มเอส ($V_{P_{rms}}$) ได้ผลการจำลอง ดังนี้

ตารางที่ ก.2 แรงดันขาออกที่มอดูลชันอินเด็กซ์ และแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุต่างๆ

V_{dc} \ M_a	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
100	15.65	19.32	22.80	26.17	29.88	33.54	36.89
200	31.29	38.64	45.59	52.31	59.76	67.09	73.78
300	46.94	57.97	68.39	78.49	89.64	100.60	110.7
400	62.58	77.29	91.19	104.60	119.50	134.2	147.8
500	78.23	96.61	114.00	130.80	149.40	167.7	184.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ ก.2 นำไปพล็อตกราฟได้ดังนี้



รูปที่ ก. 6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกกับมอดูเลชันอินเด็กซ์

(1: ที่ $V_{dc}=100$ V, 2: ที่ $V_{dc}=200$ V, 3: ที่ $V_{dc}=300$ V, 4: ที่ $V_{dc}=400$ V, 5: ที่ $V_{dc}=500$ V)

จากนั้นหาสมการของเส้นกราฟแต่ละเส้นได้ดังนี้

$$\text{ที่ } V_{dc}=100 \text{ Volt (เส้นที่ 1) ได้สมการคือ } V_{Prms} = 35.46m_a + 1.468 \quad (ก.1)$$

$$\text{ที่ } V_{dc}=200 \text{ Volt (เส้นที่ 2) ได้สมการคือ } V_{Prms} = 70.94m_a + 2.9153 \quad (ก.2)$$

$$\text{ที่ } V_{dc}=300 \text{ Volt (เส้นที่ 3) ได้สมการคือ } V_{Prms} = 106.39m_a + 4.392 \quad (ก.3)$$

$$\text{ที่ } V_{dc}=400 \text{ Volt (เส้นที่ 4) ได้สมการคือ } V_{Prms} = 142.13m_a + 5.6873 \quad (ก.4)$$

$$\text{ที่ } V_{dc}=500 \text{ Volt (เส้นที่ 5) ได้สมการคือ } V_{Prms} = 177.36m_a + 7.288 \quad (ก.5)$$

จากทั้ง 5 สมการ หาสมการรวมได้ดังนี้

$$V_{Prms} = (0.35515m_a + 0.0014538) V_{dc} \quad (ก.6)$$

ก.3 ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของอินเวอร์เตอร์เมื่อเปลี่ยนจากแหล่งจ่ายกระแสตรงเป็นตัวเก็บประจุ

ทำการจำลอง โดยเปลี่ยนจากแหล่งจ่ายกระแสตรงเป็นตัวเก็บประจุโดยที่คอมมอนดีซีลิงค์ยังเป็นแหล่งจ่ายกระแสตรงอยู่เพื่อให้ระดับแรงดันคงที่ และทำการอัดประจุให้ตัวเก็บประจุแต่ละตัว ให้มีแรงดันตามที่ต้องการ โดยใช้แหล่งจ่ายกระแสตรงที่พิกัดเท่าแรงดันที่ต้องการ จ่ายให้โดยตรงและตัดแหล่งจ่ายกระแสตรงออกหลังจากอัดประจุเสร็จ ทำการจำลองโดยพิจารณาในทำนองเดียวกับการจำลองในเบื้องต้นที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสตรงทั้งหมด เพื่อหาค่ามูเลชั่นเฟสที่เหมาะสมในการสร้างสัญญาณควบคุมขาเกทของ IGBT เพื่อให้ได้ค่าของแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ดี โดยพิจารณาจากค่า % THD ของแรงดันขาออกและสิ่งที่ต้องพิจารณาเพิ่มจากการจำลองในเบื้องต้นที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสตรงทั้งหมดคือ ค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวเมื่อวงจรทำงาน

โดยวงจรที่จำลองวงจรกำหนดค่าแหล่งจ่ายกระแสตรงที่ 800 โวลต์ ตัวเก็บประจุมีระดับแรงดัน 600 400 และ 200 โวลต์ ตามลำดับ และเปลี่ยนค่ามุมที่ทำการเลื่อนเฟสตั้งแต่ 45 องศาจนถึง 115 องศา และคามอดูละชันอินดิเคิ์กซ์ ตั้งแต่ 0.4 - 1.0 ซึ่งได้ผลดังนี้

ตาราง ก.3 ผลของแรงดันขาออกและค่า %THD ที่มุมเลื่อนเฟสต่างๆ

มุม	45		50		55		60		65	
	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD
0.4	217.1	5.17	217	4.13	217.6	4.24	212.4	11.62	222.9	18.4
0.5	264.6	4.65	262.5	3.83	263.8	3.94	265.2	8.54	270.1	13.68
0.6	313.1	3.88	311.8	3.37	312.5	3.75	314.9	6.18	318.1	10.16
0.7	362.6	3.4	359.7	2.98	360	3.21	362.3	5.86	363.2	8.85
0.8	413	3.02	412	2.67	412.4	2.61	411.2	5.39	410.1	8.11
0.9	466.4	2.38	467.5	2.31	464.2	2.32	460.4	4.1	457.4	6.06
1.0	520.6	1.97	515.2	2.08	512.9	2.09	508.1	3.26	505.4	4.03

ตาราง ก.3 ผลของแรงดันขาออกและค่า %THD ที่มุมเลื่อนเฟสต่างๆ (ต่อ)

มุม	70		75		80		85		90	
	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD
0.4	234.5	23	241.1	23.49	249.2	19.19	251.9	12.19	242.9	7.03
0.5	273	16.89	268.7	17.06	268.5	13.52	264.7	7.99	262.4	3.21
0.6	317	12.26	312	12.33	307.2	9.55	303.5	5.58	301.4	1.78
0.7	416.9	10.79	362.2	10.8	359.6	8.32	355.8	4.98	353.9	2.11
0.8	410.4	9.88	410.4	9.86	408.3	7.67	408.8	4.74	407	2.74
0.9	457.4	7.28	456	7.14	456.4	5.75	457.6	3.77	457.1	2.64
1.0	503.1	4.98	501.5	5.03	502.6	4.14	504.4	2.92	505.5	2.32

ตาราง ก.3 ผลของแรงดันขาออกและค่า %THD ที่มุมเลื่อนเฟสต่างๆ (ต่อ)

มุม	95		100		105		110		115	
	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD	V_{rms}	%THD
0.4	254.4	7.77	248.7	10.12	238.6	8.26	232	8.33	231.8	10.84
0.5	263.2	4.62	268.6	6.11	275.4	6.99	281.8	8.4	289.6	10.91
0.6	305.5	3.22	313	5.18	321.7	6.3	331.3	7.97	344.5	10.33
0.7	345.5	3.3	359.8	4.62	366.8	5.77	376.1	7.04	386.6	8.67
0.8	407.6	3.45	410.7	4.4	414.2	4.78	419.9	5.91	427.3	7.45

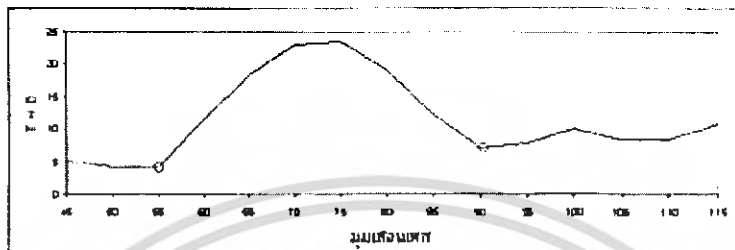
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

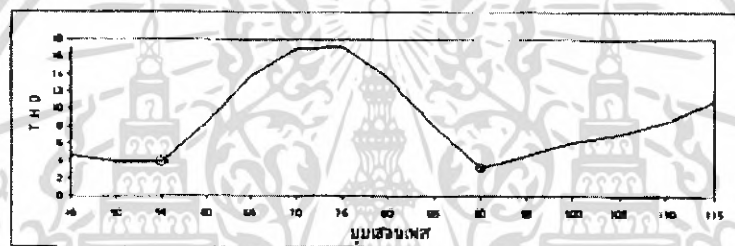
0.9	457.3	3.04	460.8	3.61	461.2	4.05	463.3	4.73	469.7	5.96
1.0	503.8	2.52	503.7	2.97	504.8	3.5	507.3	3.68	512.5	4.85

จากนั้นนำค่า %THD กับมุมเลื่อนเฟส ที่ค่ามอดูละชันอินเด็กซ์ต่างๆ มาพล็อตกราฟได้
ดังนี้

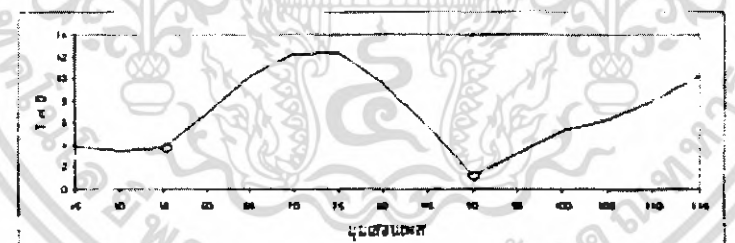
มอดูละชันอินเด็กซ์ = 0.4



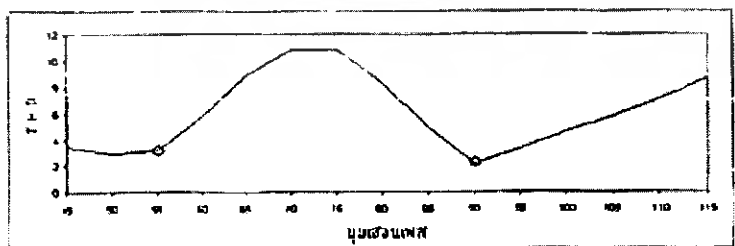
มอดูละชันอินเด็กซ์ = 0.5



มอดูละชันอินเด็กซ์ = 0.6



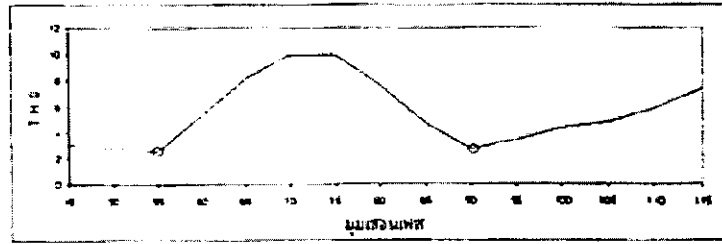
มอดูละชันอินเด็กซ์ = 0.7



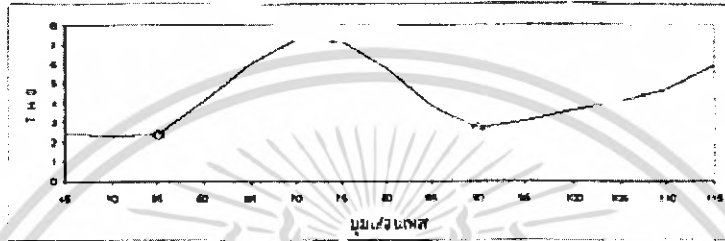
รูปที่ ก.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า %THD กับมุมเลื่อนเฟสที่ค่ามอดูละชันอินเด็กซ์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

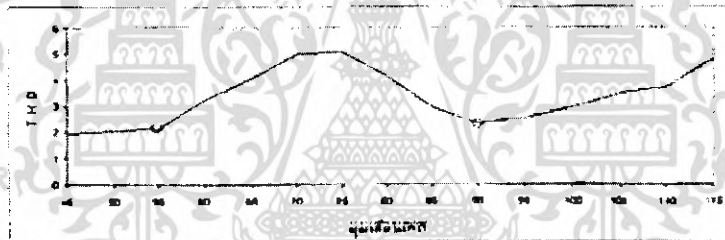
มอดูละชันอินเดกซ์ = 0.8



มอดูละชันอินเดกซ์ = 0.9

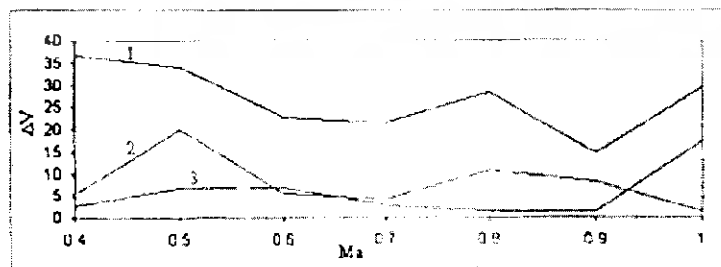


มอดูละชันอินเดกซ์ = 1.0



รูปที่ ก.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า %THD กับมุมเลื่อนเฟสที่ค่ามอดูละชันอินเดกซ์ต่างๆ (ต่อ)

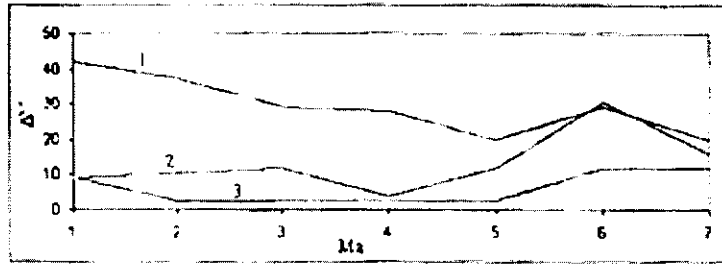
จะเห็นว่ามุมที่ทำให้ค่า %THD ต่ำ จะมีอยู่ 2 มุม คือ มุม 55 องศา และมุม 90 องศา ต่อมาพิจารณาเพิ่มค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุคงที่ ซึ่งจะเปรียบเทียบโดยมองเป็นค่าของผลต่างของแรงดันที่ตกคร่อมกับค่าแรงดันอ้างอิงที่ระดับนั้นๆ ได้ผลดังนี้
มุมเลื่อนเฟส 45 องศา



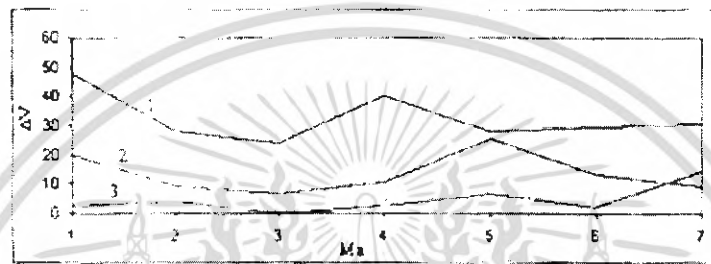
รูปที่ ก. 8 ผลต่างของแรงดันที่ตกคร่อมกับค่าแรงดันอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

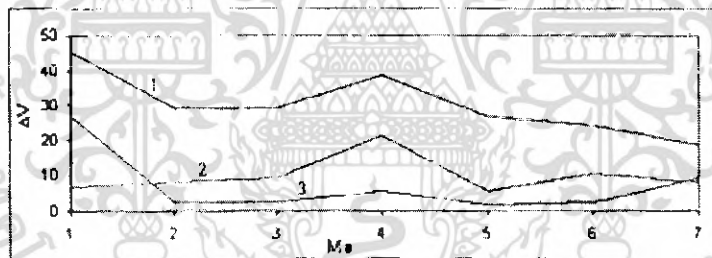
มุมเลือนเฟส 50 องศา



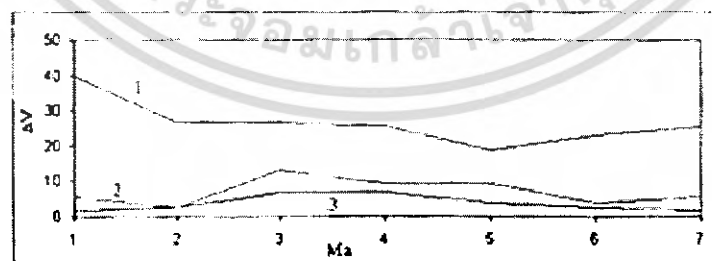
มุมเลือนเฟส 55 องศา



มุมเลือนเฟส 60 องศา



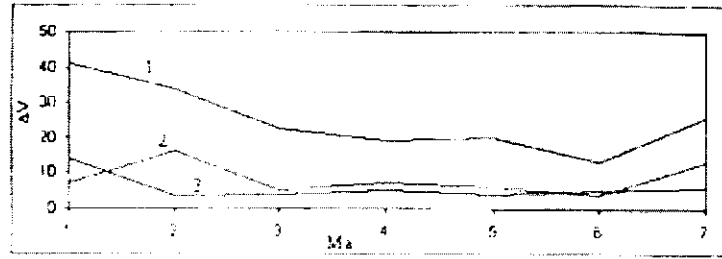
มุมเลือนเฟส 65 องศา



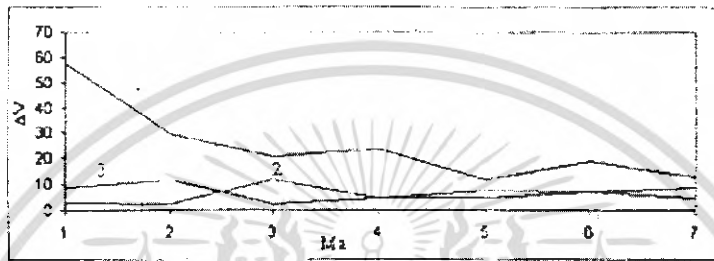
รูปที่ ก. 8 ผลต่างของแรงดันที่ตกคร่อมกับค่าแรงดันอ้างอิง (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

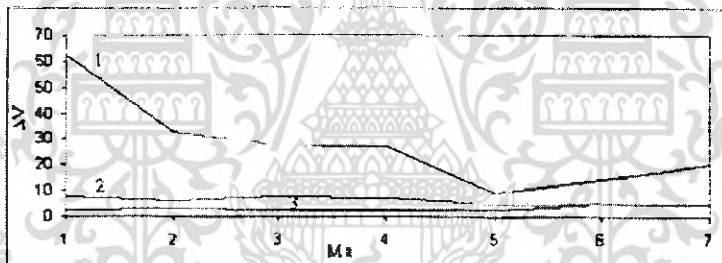
มุมเลี้ยวเฟส 70 องศา



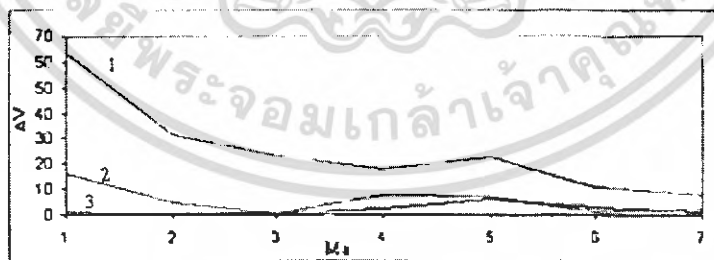
มุมเลี้ยวเฟส 75 องศา



มุมเลี้ยวเฟส 80 องศา



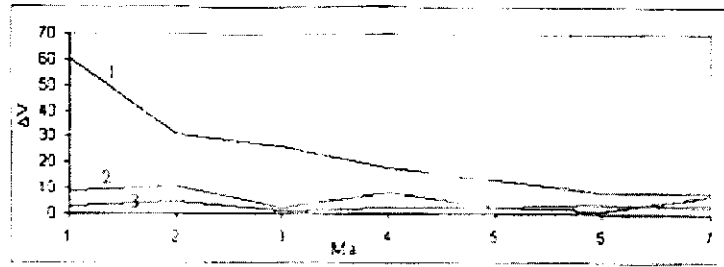
มุมเลี้ยวเฟส 85 องศา



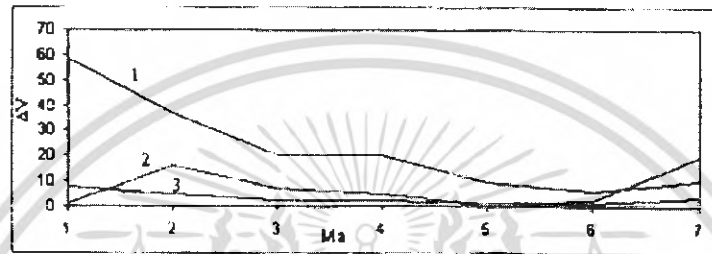
รูปที่ ก. 8 ผลต่างของแรงดันที่ตกคร่อมกับค่าแรงดันอ้างอิง (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

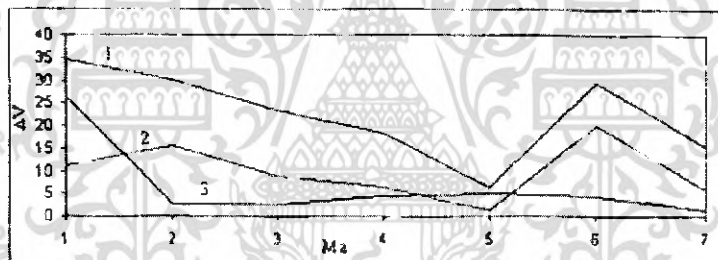
มุมเลือนเฟส 90 องศา



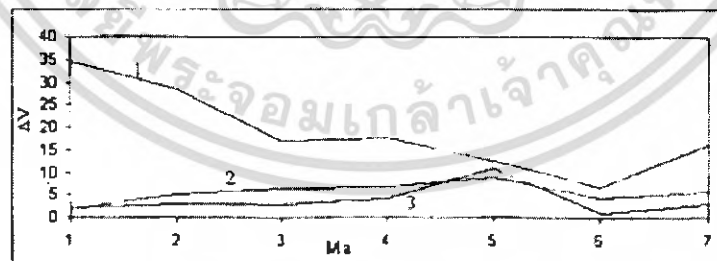
มุมเลือนเฟส 95 องศา



มุมเลือนเฟส 100 องศา



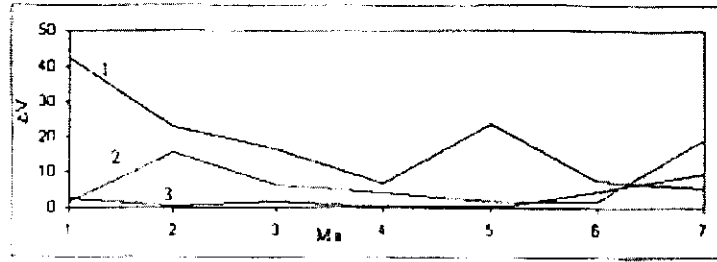
มุมเลือนเฟส 105 องศา



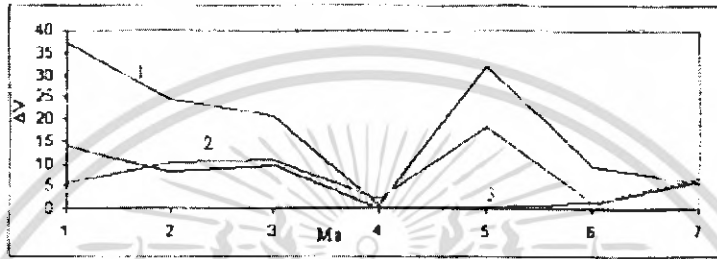
รูปที่ ก. 8 ผลต่างของแรงดันที่ตกคร่อมกับค่าแรงดันอ้างอิง (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มมเลื่อนเฟส 110 องศา



มมเลื่อนเฟส 115 องศา



รูปที่ ก. 8 ผลต่างของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุที่มีระดับแรงดันอ้างอิง (ต่อ)

เส้นที่ 1: ผลต่างของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุที่มีระดับแรงดัน 600 โวลต์

เส้นที่ 2: ผลต่างของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุที่มีระดับแรงดัน 400 โวลต์

เส้นที่ 3: ผลต่างของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุที่มีระดับแรงดัน 200 โวลต์

เมื่อพิจารณาผลของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุร่วมกับค่า %THD เห็นว่าควรเลือกใช้ มมเลื่อนเฟสเท่ากับ 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
ข้อมูลอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

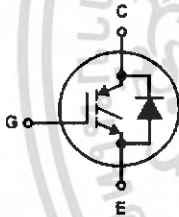
Formerly developmental type TA49016.

Ordering Information

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
HGTG20N60B3D	TO-247	G20N60B3D

NOTE: When ordering, use the entire part number.

Symbol

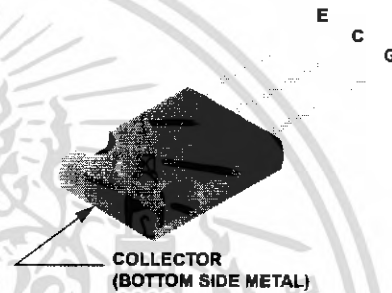


Features

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

Packaging

JEDEC STYLE TO-247



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

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

HGTG20N60B3D

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

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

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

NOTES:

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

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

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

NOTE:

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

Typical Performance Curves

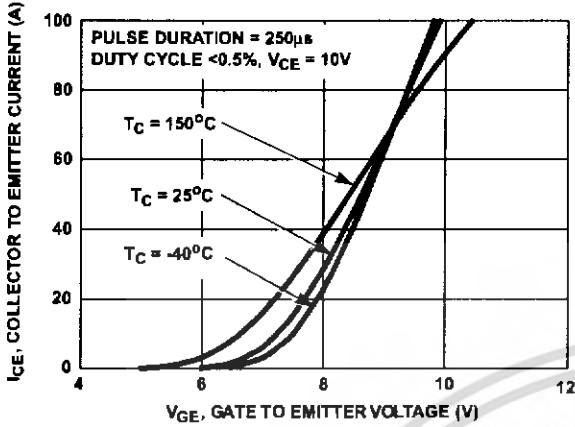


FIGURE 1. TRANSFER CHARACTERISTICS

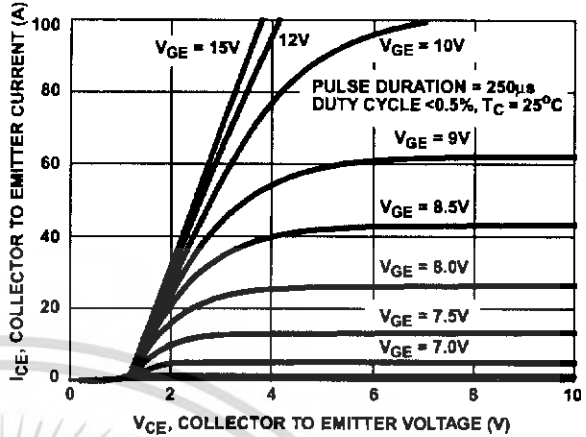


FIGURE 2. SATURATION CHARACTERISTICS

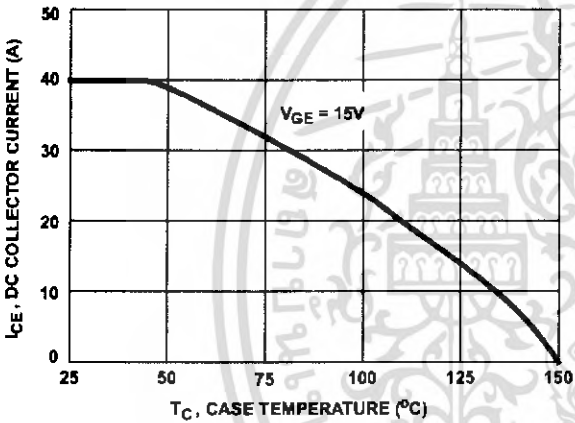


FIGURE 3. DC COLLECTOR CURRENT vs CASE TEMPERATURE

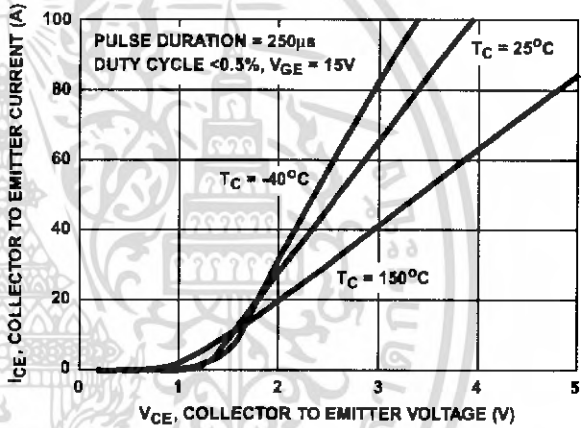


FIGURE 4. COLLECTOR TO EMITTER ON-STATE VOLTAGE

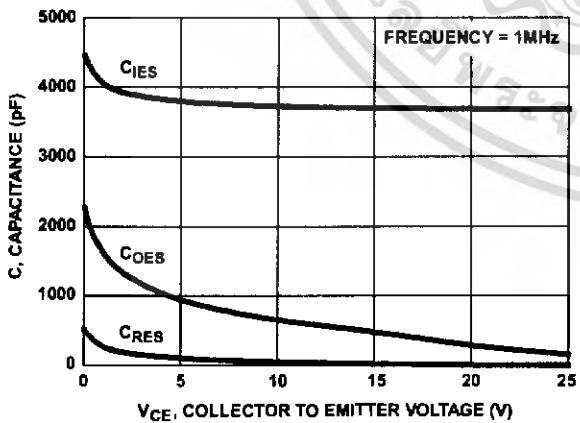


FIGURE 5. CAPACITANCE vs COLLECTOR TO EMITTER VOLTAGE

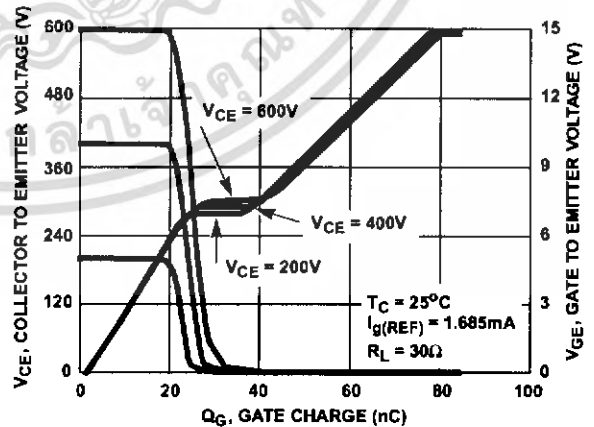


FIGURE 6. GATE CHARGE WAVEFORMS

Typical Performance Curves (Continued)

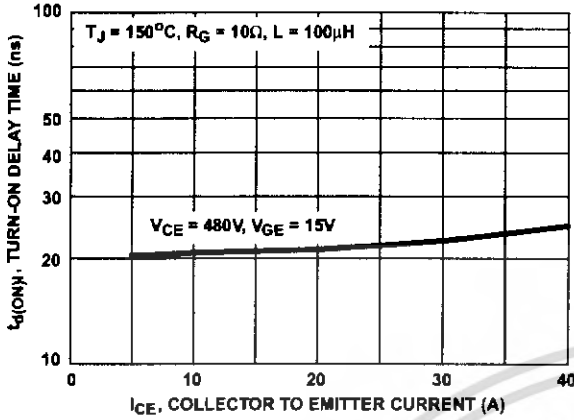


FIGURE 7. TURN-ON DELAY TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT T

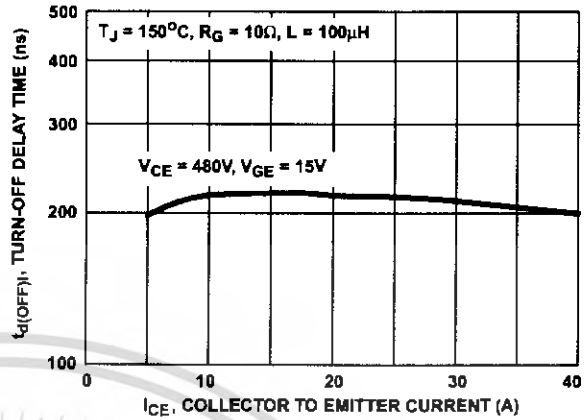


FIGURE 8. TURN-OFF DELAY TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

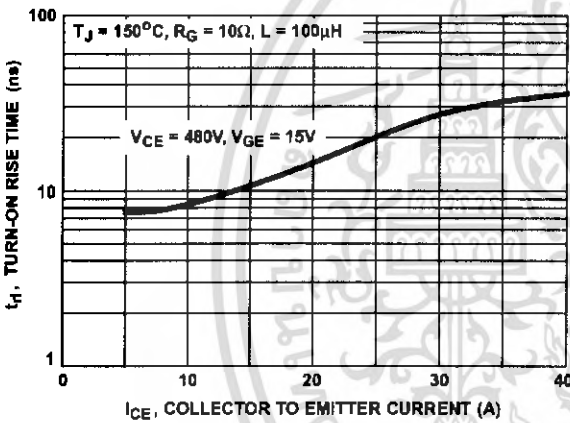


FIGURE 9. TURN-ON RISE TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

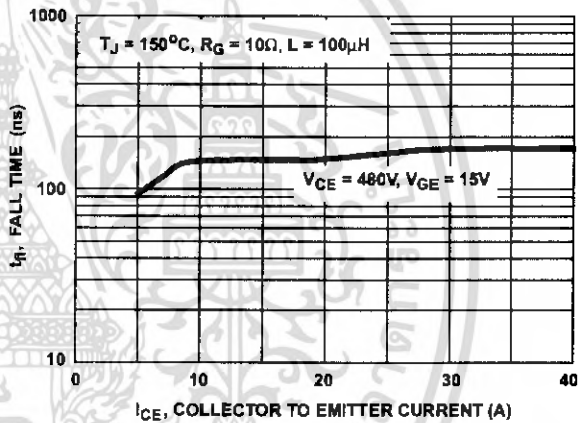


FIGURE 10. TURN-OFF FALL TIME vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

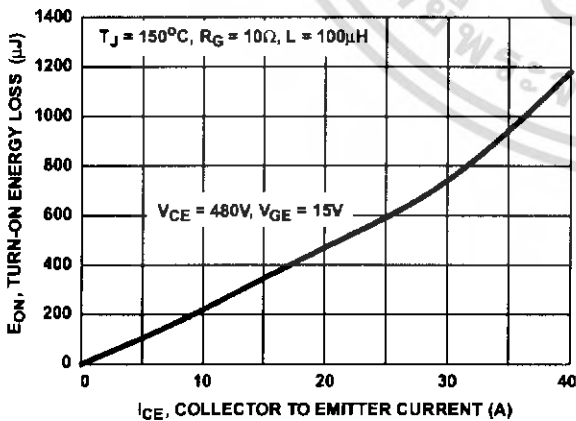


FIGURE 11. TURN-ON ENERGY LOSS vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

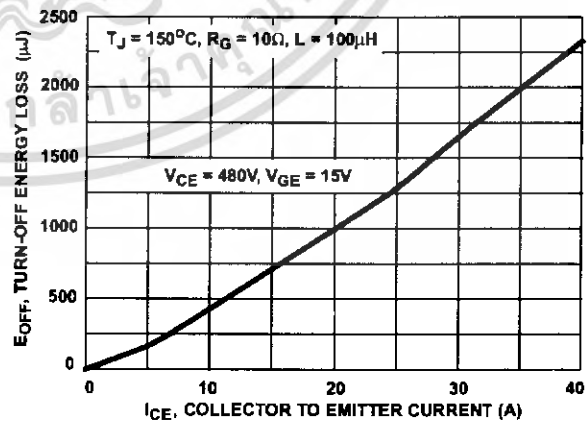


FIGURE 12. TURN-OFF ENERGY LOSS vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

HGTG20N60B3D

Typical Performance Curves (Continued)

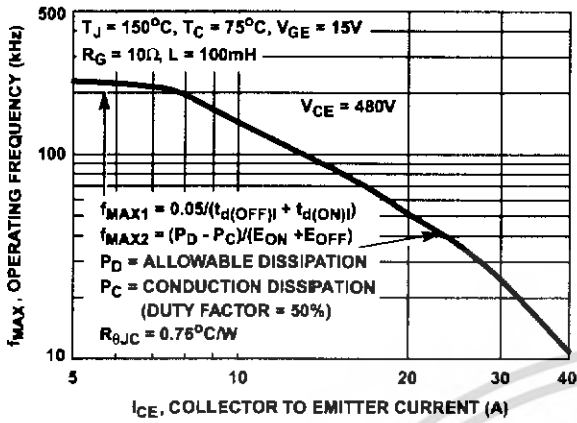


FIGURE 13. OPERATING FREQUENCY vs COLLECTOR TO EMITTER CURRENT

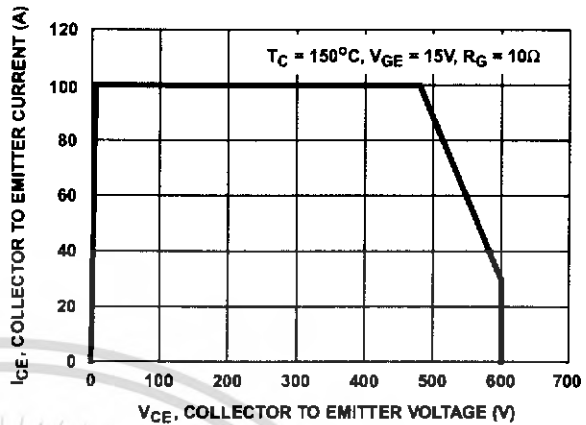


FIGURE 14. SWITCHING SAFE OPERATING AREA

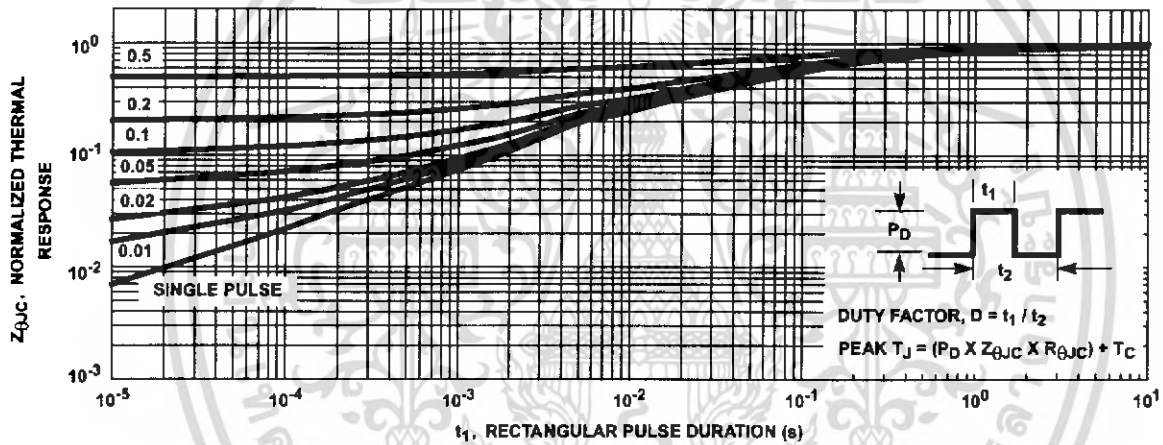


FIGURE 15. IGBT NORMALIZED TRANSIENT THERMAL RESPONSE, JUNCTION TO CASE

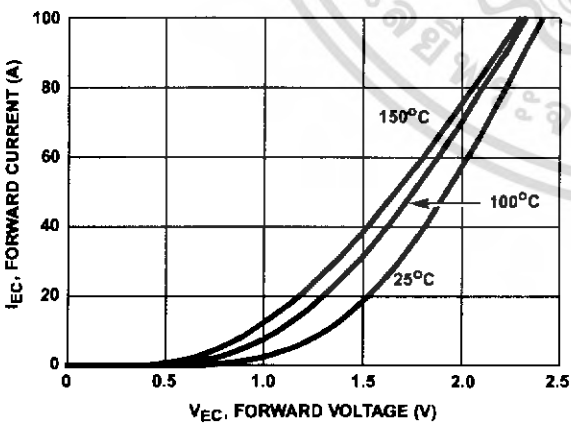


FIGURE 16. DIODE FORWARD CURRENT vs FORWARD VOLTAGE DROP

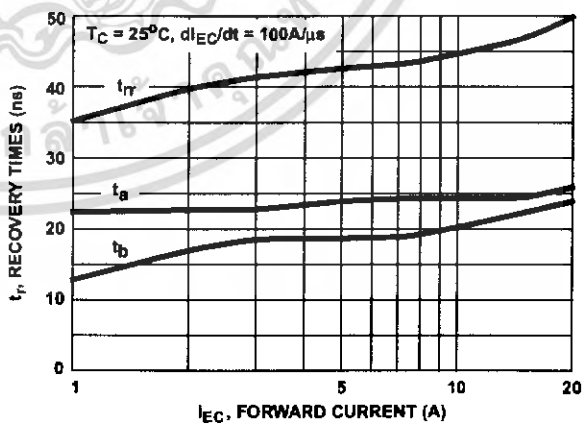


FIGURE 17. RECOVERY TIMES vs FORWARD CURRENT

Test Circuit and Waveform

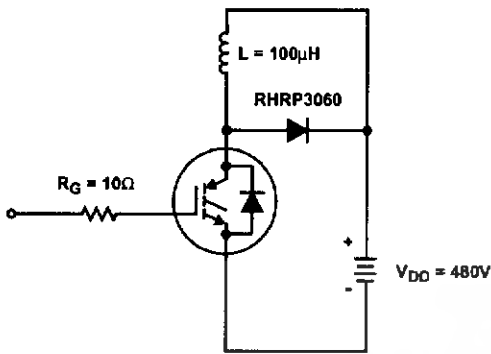


FIGURE 18. INDUCTIVE SWITCHING TEST CIRCUIT

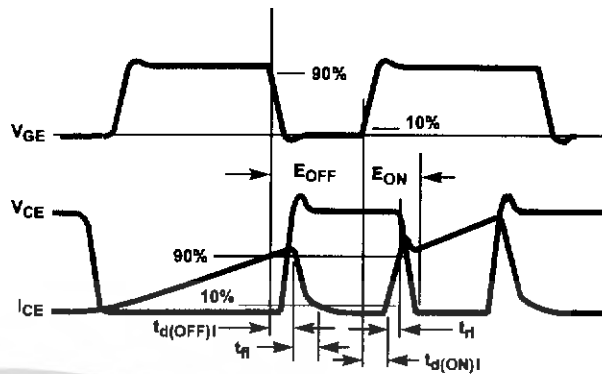


FIGURE 19. SWITCHING TEST WAVEFORMS

Handling Precautions for IGBTs

Insulated Gate Bipolar Transistors are susceptible to gate-insulation damage by the electrostatic discharge of energy through the devices. When handling these devices, care should be exercised to assure that the static charge built in the handler's body capacitance is not discharged through the device. With proper handling and discharge procedures, however, IGBTs are currently being extensively used in production by numerous equipment manufacturers in military, industrial and consumer applications, with virtually no damage problems due to electrostatic discharge. IGBTs can be handled safely if the following basic precautions are taken:

1. Prior to assembly into a circuit, all leads should be kept shorted together either by the use of metal shorting springs or by the insertion into conductive material such as "ECCOSORB™ LD26" or equivalent.
2. When devices are removed by hand from their carriers, the hand being used should be grounded by any suitable means - for example, with a metallic wristband.
3. Tips of soldering irons should be grounded.
4. Devices should never be inserted into or removed from circuits with power on.
5. **Gate Voltage Rating** - Never exceed the gate-voltage rating of V_{GEM} . Exceeding the rated V_{GE} can result in permanent damage to the oxide layer in the gate region.
6. **Gate Termination** - The gates of these devices are essentially capacitors. Circuits that leave the gate open-circuited or floating should be avoided. These conditions can result in turn-on of the device due to voltage buildup on the input capacitor due to leakage currents or pickup.
7. **Gate Protection** - These devices do not have an internal monolithic zener diode from gate to emitter. If gate protection is required an external zener is recommended.

Operating Frequency Information

Operating frequency information for a typical device (Figure 13) is presented as a guide for estimating device performance for a specific application. Other typical frequency vs collector current (I_{CE}) plots are possible using the information shown for a typical unit in Figures 4, 7, 8, 11 and 12. The operating frequency plot (Figure 13) of a typical device shows f_{MAX1} or f_{MAX2} whichever is smaller at each point. The information is based on measurements of a typical device and is bounded by the maximum rated junction temperature.

f_{MAX1} is defined by $f_{MAX1} = 0.05 / (t_{d(OFF)|} t_{d(ON)|})$. Deadtime (the denominator) has been arbitrarily held to 10% of the on- state time for a 50% duty factor. Other definitions are possible. $t_{d(OFF)|}$ and $t_{d(ON)|}$ are defined in Figure 19.

Device turn-off delay can establish an additional frequency limiting condition for an application other than T_{JM} . $t_{d(OFF)|}$ is important when controlling output ripple under a lightly loaded condition.

f_{MAX2} is defined by $f_{MAX2} = (P_D - P_C) / (E_{OFF} + E_{ON})$. The allowable dissipation (P_D) is defined by $P_D = (T_{JM} - T_C) / R_{\theta JC}$. The sum of device switching and conduction losses must not exceed P_D . A 50% duty factor was used (Figure 13) and the conduction losses (P_C) are approximated by $P_C = (V_{CE} \times I_{CE}) / 2$.

E_{ON} and E_{OFF} are defined in the switching waveforms shown in Figure 19. E_{ON} is the integral of the instantaneous power loss ($I_{CE} \times V_{CE}$) during turn-on and E_{OFF} is the integral of the instantaneous power loss during turn-off. All tail losses are included in the calculation for E_{OFF} ; i.e. the collector current equals zero ($I_{CE} = 0$).

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACE ^x ™	FAST [®]	OPTOLOGIC™	SMART START™	VCX™
Bottomless™	FASTr™	OPTOPLANAR™	STAR*POWER™	
CoolFET™	FRFET™	PACMAN™	Stealth™	
CROSSVOLT™	GlobalOptoisolator™	POP™	SuperSOT™-3	
DenseTrench™	GTO™	Power247™	SuperSOT™-6	
DOME™	HiSeC™	PowerTrench [®]	SuperSOT™-8	
EcoSPARK™	ISOPLANAR™	QFET™	SyncFET™	
E ² CMOS™	LittleFET™	QS™	TinyLogic™	
EnSigna™	MicroFET™	QT Optoelectronics™	TruTranslation™	
FACT™	MicroPak™	Quiet Series™	UHC™	
FACT Quiet Series™	MICROWIRE™	SILENT SWITCHER [®]	UltraFET [®]	

STAR*POWER is used under license

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.

2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

Rev. H4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้