

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

วงจรเรียงกระแสสามเฟสโดยใช้ไอจีบีทีสำหรับแรงดันสูงกระแสตรง
(THREE PHASE IGBT RECTIFIER FOR HV.DC.)



เลขหมึก.....
เลขทะเบียน..... 36987
วัน, เดือน, ปี...จ.ด.ศ.ค. 2543

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2542

วงจรเรียงกระแสสามเฟสโดยใช้ไอจีบีทีสำหรับแรงดันสูงกระแสตรง
(THREE PHASE IGBT RECTIFIER FOR HV.DC.)



อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2542

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง วจกรเรียงกระแสสามเฟสโดยใช้ไอจีบีทีสำหรับแรงดันสูงกระแสตรง

ผู้จัดทำ



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรีแรงกระแสสามเฟสโดยใช้ไอจีบีทีสำหรับแรงดันสูงกระแสตรง

นาย วีระพันธ์ สมสีมี
นาย วีระยุทธ บุตรชัชงาม
นาย ศักดิ์ชาย ชังเรือง
นาย สราวุฒิ กองอนันต์เดช
รศ.ศิริวัฒน์ โทธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาการจำลองแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยการส่งผ่านด้วยสายส่งไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ซึ่งสามารถที่จะนำไปพัฒนาเชื่อมโยงกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสองแหล่งจ่ายที่มีความถี่ต่างกันได้ในอนาคต

โดยโครงการนี้จะศึกษาในส่วนของคอนเวอร์เตอร์ (Converter) ในสถานะที่เป็นวงจรรีแรงกระแส (Rectifier) ของระบบที่มีพิกัด 3 kVA 1000 Vdc โดยทำการรับแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส 380V (Line to Line) 50 Hz แล้วทำการขยกระดัดแรงดันด้วยหม้อแปลงออโตทรานส์ฟอร์มเมอร์ โดยในวงจรถูกำลังจะใช้ ไอจีบีที เป็นอุปกรณ์สวิตซิ่ง ซึ่งควบคุมการทำงานโดยสัญญาณที่ได้จากการมอดดูเลชันตามความกว้างของพัลส์แบบไซน์ (SPWM)

โดยในแต่ละระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะทำการปรับค่า มอดดูเลชันอินเด็กซ์ ที่ค่าต่างๆเพื่อทำการวิเคราะห์ คุณภาพไฟฟ้า โดยผลของฮาร์โมนิกส์พบว่าที่ค่ามอดดูเลชันอินเด็กซ์ น้อยกว่าหนึ่งฮาร์โมนิกอันดับต้นๆ จะมีค่าน้อย แต่เมื่อค่ามอดดูเลชันอินเด็กซ์ มีค่ามากกว่าหนึ่งแล้ว ผลของฮาร์โมนิกอันดับต้นๆ จะมีค่ามาก แรงดันกระแสเพิ่มจะมีค่าคงที่เมื่อเพิ่มค่ามอดดูเลชันอินเด็กซ์ ประสิทธิภาพของระบบจะมีค่าน้อยกว่า 70% เมื่อค่ามอดดูเลชันอินเด็กซ์น้อยกว่าหนึ่ง แต่เมื่อปรับให้มีค่า มากกว่าหนึ่งแล้วประสิทธิภาพของระบบจะมีค่ามากกว่า 70% ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์นี้ จะสามารถนำไปปรับปรุง และประยุกต์ใช้งานต่อไป

Three Phase IGBT Rectifier for HV.DC.

Weeraphun Somseemee
Weerayuth Butrchaingam
Sakchai Changruang
Sarawut Gonganantdech
Assoc.Prof. Siriwat Potivejkul

ABSTRACT

This project is the studying of High Voltage Direct Current transmission line simulator of alternative voltage that it can be develop for connecting between two difference frequency voltage source.

This paper is studying of converter in Rectifier mode at rated 3kVA ,1000 Vdc from step up auto transformer at three phase alternated voltage 380 V(Line to Line) ,50 Hz. In power circuit IGBT is the switching device that it is controlled by sinusoidal pulse width modulation (SPWM) signal.

In any level of DC Voltage the variable of modulation index values are interested to analysis the quality of DC current for modulation index less than 1 low order harmonics is eliminated but low order harmonics increase when modulation index more than 1 , ripple voltage nearly constant for modulation index increase and efficiency of system less than 70% for modulation index less than 1 but for modulation index more than 1 then efficiency of system more than 70% the analysis of this can be to improve and apply in the future.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์โครงการ	1
1.2 ขอบเขตของโครงการ	2
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 รูปแบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง	3
2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์	4
2.3 คุณลักษณะเด่นของไอจีบีที	7
บทที่ 3 วงจรและการคำนวณออกแบบวงจรกำลังและวงจรควบคุม	9
3.1 แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ	9
3.2 วงจรเปรียบเทียบแรงดันเป็นศูนย์	9
3.3 Phase lock loop (PLL)	10
3.4 วงจรชดเชยแรงดัน	12
3.5 วงจรสร้างสามเหลี่ยม	13
3.6 วงจรกลับเฟส	14
3.7 วงจรหน่วงเวลา	14
3.8 วงจรเปรียบเทียบเฟส	15
3.9 วงจรขับเกท	15
3.10 หม้อแปลงชนิดออโต้ทรานสฟอร์มเมอร์	16
3.11 รูปสัญญาณของวงจรควบคุมที่ได้จากการทดลอง	21
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 การทดลอง	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ตารางแสดงผลการทดลองที่ระดับแรงดัน 220 V, 380 V, 500V, 741V	29
4.3 รูปภาพของกระแสอินพุทและแรงดันไฟตรงเอาท์พุทที่ได้จาก การทดลองที่ระดับแรงดัน 220V, 380V, 500V, 741V	33
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการปรับมอดูละชั้นอินเด็กซ์กับ ประสิทธิภาพของชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ระดับแรงดัน 220V, 380V, 500V, 741V	44
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการปรับมอดูละชั้นอินเด็กซ์กับ แรงดันไฟตรงที่เอาท์พุทที่ระดับแรงดัน 220V, 380V, 500V, 741V	46
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการปรับมอดูละชั้นอินเด็กซ์กับค่า PF และ DPF ที่ระดับแรงดัน 220V, 380V, 500V, 741V	47
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการปรับมอดูละชั้นอินเด็กซ์กับค่า VAR ที่ระดับแรงดัน 220V, 380V, 500V, 741V	49
4.8 รูปสัญญาณแสดงสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของกระแสระหว่างการปรับ มอดูละชั้นอินเด็กซ์ที่ระดับแรงดัน 220V, 380 V, 500, 741 V	51
4.9 สรุปผลการทดลอง	59
บทที่ 5 สรุปผลและวิจารณ์	60
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 วงจรส่งกำลังไฟฟ้าแบบขั้วเดียว	3
รูปที่ 2.2 วงจรส่งกำลังไฟฟ้าแบบ 2 ขั้ว	3
รูปที่ 2.3 วงจรส่งกำลังไฟฟ้าแบบขั้วเดียวร่วมกัน	4
รูปที่ 2.4 แสดงรูปคลื่นพีคดับทิวเอ็ม	5
รูปที่ 2.5 สัญญาณพีคดับทิวเอ็ม	6
รูปที่ 2.6 สเปกตรัมฮาร์มอนิกซ์ของกระแสอินพุท	7
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงวงจรควบคุม	9
รูปที่ 3.2 ชุดจ่ายไฟกระแสกลับแรงดันต่ำ	9
รูปที่ 3.3 วงจรเปรียบเทียบแรงดันสูง	10
รูปที่ 3.4 วงจรการทำงานของเฟลต็อกกลูป	10
รูปที่ 3.5 สัญญาณแรงดันเอาต์พุท (PLL)	11
รูปที่ 3.6 วงจร low pass filter	12
รูปที่ 3.7 วงจรชดเชยแรงดัน	13
รูปที่ 3.8 วงจรสร้างรูปสามเหลี่ยม	13
รูปที่ 3.9 วงจรกลับเฟส	14
รูปที่ 3.10 วงจรหน่วงเวลา	14
รูปที่ 3.11 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	15
รูปที่ 3.12 วงจรขั้วเกท	15
รูปที่ 3.13 หม้อแปลงชนิดคอคอโต้ทรานส์ฟอร์มเมอร์	16
รูปที่ 3.14 ลักษณะการต่อหม้อแปลงชนิดคอคอโต้ทรานส์ฟอร์มเมอร์	16
รูปที่ 3.15 วงจรสร้างสัญญาณ PWM รวมสามเฟส	18
รูปที่ 3.16 วงจรเคทไทม์รวมสามเฟส	19
รูปที่ 3.17 วงจรขั้วเกทรวมสามเฟส	20
รูปที่ 3.18 วงจรกำลัง	21
รูปที่ 4.1 การต่อหม้อแปลงและอุปกรณ์การวัด	24
รูปที่ 4.2 การต่อหม้อแปลงและอุปกรณ์การวัดขณะทดสอบโดยการ ลัดวงจร	25
รูปที่ 4.3 การต่อหม้อแปลงและอุปกรณ์การวัดขณะทดสอบโดยไม่มีโหลด	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 การต่อชุดคอนเวอร์เตอร์และอุปกรณ์ในการวัด	27
รูปที่ 4.5 ที่ $V=220$, $Ma= 0.2$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น	33
รูปที่ 4.6 ที่ $V=220$, $Ma= 0.4$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น	33
รูปที่ 4.7ที่ $V=220$, $Ma= 0.6$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น	33
รูปที่ 4.8ที่ $V=220$, $Ma= 0.8$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น	34
รูปที่ 4.9ที่ $V=220$, $Ma= 1.0$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น	34
รูปที่ 4.10ที่ $V=220$, $Ma= 1.2$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น	34
รูปที่ 4.11ที่ $V=220$, $Ma= 1.4$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น	35
รูปที่ 4.12ที่ $V=220$, $Ma= 1.6$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น	35
รูปที่ 4.13ที่ $V=380$, $Ma= 0.2$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น	35
รูปที่ 4.14ที่ $V=380$, $Ma= 0.4$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น	36
รูปที่ 4.15ที่ $V=380$, $Ma= 0.6$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น	36
รูปที่ 4.16ที่ $V=380$, $Ma= 0.8$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น30	36
รูปที่ 4.17ที่ $V=380$, $Ma= 1.0$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น	37
รูปที่ 4.18ที่ $V=380$, $Ma= 1.2$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น	37
รูปที่ 4.19ที่ $V=380$, $Ma= 1.4$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) สัญญาณแรงดัน ไฟตรงที่เกิดขึ้น	37
รูปที่ 4.20 ที่ $V=380$, $Ma= 1.6$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดัน ไฟตรงที่เกิดขึ้น	38
รูปที่ 4.21 ที่ $V=500$, $Ma= 0.2$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดัน ไฟตรงที่เกิดขึ้น	38
รูปที่ 4.22 ที่ $V=500$, $Ma= 0.4$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดัน ไฟตรงที่เกิดขึ้น	38
รูปที่ 4.23 ที่ $V=500$, $Ma= 0.6$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดัน ไฟตรงที่เกิดขึ้น	39
รูปที่ 4.24 ที่ $V=500$, $Ma= 0.8$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดัน ไฟตรงที่เกิดขึ้น	39
รูปที่ 4.25 ที่ $V=500$, $Ma= 1.0$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดัน ไฟตรงที่เกิดขึ้น	39
รูปที่ 4.26 ที่ $V=500$, $Ma= 1.2$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดัน ไฟตรงที่เกิดขึ้น	40
รูปที่ 4.27 ที่ $V=500$, $Ma= 1.4$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดัน ไฟตรงที่เกิดขึ้น	40
รูปที่ 4.28 ที่ $V=500$, $Ma= 1.6$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดัน ไฟตรงที่เกิดขึ้น	40
รูปที่ 4.29 ที่ $V=741$, $Ma= 0.2$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดัน ไฟตรงที่เกิดขึ้น	41
รูปที่ 4.30 ที่ $V=741$, $Ma= 0.4$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดัน ไฟตรงที่เกิดขึ้น	41
รูปที่ 4.31 ที่ $V=741$, $Ma= 0.6$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดัน ไฟตรงที่เกิดขึ้น	41
รูปที่ 4.32 ที่ $V=741$, $Ma= 0.8$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดัน ไฟตรงที่เกิดขึ้น	42
รูปที่ 4.33 ที่ $V=741$, $Ma= 1.0$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดัน ไฟตรงที่เกิดขึ้น	42
รูปที่ 4.34 ที่ $V=741$, $Ma= 1.2$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	

(ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น	42
รูปที่ 4.35 ที่ $V=741$, $Ma= 1.4$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น	43
รูปที่ 4.36 ที่ $V=741$, $Ma= 1.6$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น	
(ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น	43
รูปที่ 4.37 แสดงกราฟการเปรียบเทียบระหว่าง Ma กับ % η ที่ระดับแรงดัน (ก) 220V (ข) 380V (ค) 500V (ง) 741V	44
รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการปรับมอดคูเลชันอินเด็กซ์กับแรงดันไฟตรงที่เอาท์พุทที่ระดับแรงดัน (ก)220V , (ข)380V , (ค)500V , (ง)741V	46
รูปที่ 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการปรับมอดคูเลชันอินเด็กซ์กับค่า PF และ DPF ระดับแรงดัน (ก)220V , (ข)380V , (ค)500V , (ง)741V	47
รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการปรับมอดคูเลชันอินเด็กซ์กับค่า VAR ระดับแรงดัน (ก)220V , (ข)380V , (ค)500V , (ง)741V	49
รูปที่ 4.41 รูปสัญญาณแสดงสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของกระแสที่ระดับแรงดัน 220V เมื่อปรับ Ma ที่ (ก) 0.2 (ข) 0.4 (ค) 0.6 (ง) 0.8 (จ) 1.0 (ฉ) 1.2 (ช) 1.4 (ซ) 1.6	51
รูปที่ 4.42 รูปสัญญาณแสดงสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของกระแสที่ระดับแรงดัน 380V เมื่อปรับ Ma ที่ (ก) 0.2 (ข) 0.4 (ค) 0.6 (ง) 0.8 (จ) 1.0 (ฉ) 1.2 (ช) 1.4 (ซ) 1.6	53
รูปที่ 4.43 รูปสัญญาณแสดงสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของกระแสที่ระดับแรงดัน 500V เมื่อปรับ Ma ที่ (ก) 0.2 (ข) 0.4 (ค) 0.6 (ง) 0.8 (จ) 1.0 (ฉ) 1.2 (ช) 1.4 (ซ) 1.6	55
รูปที่ 4.44 รูปสัญญาณแสดงสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของกระแสที่ระดับแรงดัน 741V เมื่อปรับ Ma ที่ (ก) 0.2 (ข) 0.4 (ค) 0.6 (ง) 0.8 (จ) 1.0 (ฉ) 1.2 (ช) 1.4 (ซ) 1.6	57

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ตารางผลการทดลองชุดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดเรกติไฟายเออร์รูปที่ 4.4 การทดลองที่ระดับแรงดันอินพุท 220 โวลต์ (V_H)	29
ตารางที่ 4.2 ตารางผลการทดลองชุดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดเรกติไฟายเออร์รูปที่ 4.4 การทดลองที่ระดับแรงดันอินพุท 380 โวลต์ (V_H)	30
ตารางที่ 4.3 ตารางผลการทดลองชุดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดเรกติไฟายเออร์รูปที่ 4.4 การทดลองที่ระดับแรงดันอินพุท 500 โวลต์ (V_H)	31
ตารางที่ 4.4 ตารางผลการทดลองชุดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดเรกติไฟายเออร์รูปที่ 4.4 การทดลองที่ระดับแรงดันอินพุท 741 โวลต์ (V_H)	32



บทที่ 1

บทนำ

โครงการฉบับนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนา คุณภาพของไฟฟ้า กระแสตรงแรงดันสูงโดยวงจรเรียงกระแส เพื่อกำเนิดเอาต์พุตที่คุณภาพโดยการใช้ไอจีบีทีเป็นอุปกรณ์สวิตชิง ซึ่งจะทำให้สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมีคุณภาพมากกว่า วงจรเรียงกระแสโดยไดโอดบริคจ์, เอสซีอาร์ และมอสเฟต ดังที่นิยมกันในปัจจุบัน ซึ่ง ไอจีบีทีมีจุดเด่นของการทำงาน ในการสวิตชิงที่ความถี่สูง และเกิดการสูญเสียน้อย ในการใช้งาน อีกทั้งความปลอดภัยในการทำงานสูง ทำให้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงที่ได้ออกมา มีค่าเปอร์เซ็นต์การกระเพื่อมและแรงดันตกน้อยกว่าการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ข้างต้น อีกทั้งหากพิจารณาผลของฮาร์โมนิกส์ยังพบว่าเกิดขึ้นน้อยกว่าอีกด้วยซึ่งในปัจจุบันฮาร์โมนิกส์เป็นเรื่องที่ทางการไฟฟ้า ให้ความสำคัญเป็นอันมากต่อโรงงานต่าง ๆ ในประเทศไทย ซึ่งปัจจุบันได้มีกฎควบคุมต่อฮาร์โมนิกส์ที่เกิดออกมา ซึ่งจะไปก่อผลต่อระบบรวมของการไฟฟ้า ดังนั้นโครงการนี้ก็เป็ทางเลือกที่ดีอีกทางหนึ่งที่จะนำไปพัฒนาระบบของโรงงานและหน่วยงานบริษัทเพื่อจำกัดฮาร์โมนิกส์ให้น้อยที่สุด

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นเป็นความสำคัญของการวิจัยโครงการนี้ ดังนั้นเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ทางผู้จัดทำจึงได้วางแนวทางศึกษาโครงการ ซึ่งเป็นการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงาน ในเงื่อนไขต่างกันคือ เปรียบเทียบและวิเคราะห์การทำงานของวงจรเรียงกระแสสามเฟส โดยจะศึกษาถึงประสิทธิภาพ และวิเคราะห์แสดงค่าฮาร์โมนิกส์ ที่เกิดขึ้นโดยการปรับเปลี่ยนค่ามอดดูเลชันอินเด็กซ์ค่าต่างๆ

1.1 วัตถุประสงค์โครงการ

1. ศึกษาคุณสมบัติของ ไอจีบีทีเพื่อนำไปใช้งาน
2. ศึกษาประสิทธิภาพของวงจรเรียงกระแส 3 เฟสในด้านของ การส่งถ่ายพลังงาน และการสูญเสียที่เกิดขึ้น ณ ค่า มอดดูเลชันอินเด็กซ์ของสัญญาณ เอสพีดับบลิวเอ็ม ต่างๆกัน
3. วิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นของชุดคอนเวอร์เตอร์
4. ศึกษาการนำวงจรเรียงกระแส 3 เฟสไปประยุกต์ใช้ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง

1.2 ขอบเขตของโครงการงาน

สร้างชุดคอนเวอร์เตอร์ซึ่งทำงานในโหมดของวงจรเรียงกระแสสามเฟส สามารถทำงานได้เต็มที่ที่พิกัด 3 kVA , 1000 V_{DC} และชุดควบคุมสัญญาณทริกแบบ เอสพีดับบลิวเอ็ม โดยการปรับเปลี่ยนค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์ของสัญญาณทริกแบบ เอสพีดับบลิวเอ็ม ที่ค่าต่างๆโดยศึกษาผลทางด้านประสิทธิภาพการส่งถ่ายพลังงาน และผลของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้น โดยทั้งนี้ผลเอาท์พุทที่ได้จะต้องมี ค่าประสิทธิภาพไม่ต่ำกว่า 70 เปอร์เซ็นต์

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการงาน

1. สามารถนำชุดต้นแบบเอสพีดับบลิวเอ็มคอนเวอร์เตอร์ มาพัฒนาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม
2. สามารถนำความรู้ด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังมาประยุกต์ใช้งานกับระบบไฟฟ้ากำลัง
3. รู้จักการแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นขณะทำโครงการวิศวกรรม
4. รู้จักการใช้เครื่องมือทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ได้ถูกต้อง
5. นำความรู้ที่ได้จากการทำวิจัยไปพัฒนาต่อไปในอนาคต เพื่อให้ใช้งานได้จริง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาและออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของ ไอจีบีที
2. ศึกษาและออกแบบระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง
3. ทำการทดสอบวงจรและเชื่อมต่อส่วนของวงจรควบคุมและวงจรกำลังเป็นวงจรเรียงกระแสสามเฟส
4. ทดลองจ่ายโหลด โดยการปรับเปลี่ยนค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์ที่ค่าต่างๆ
5. บันทึกผลการทดลองและนำผลการทดลองไปวิเคราะห์
6. สรุปผลการทดลองพร้อมระบุปัญหาและข้อเสนอแนะ ในการพัฒนาระบบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 รูปแบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง (Kind of DC Link)

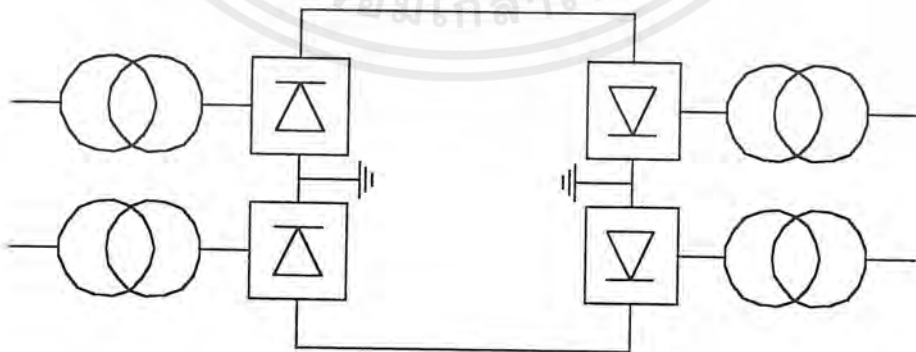
มีลักษณะของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 3 แบบ คือ

2.1.1. ระบบขั้วเดียว (Monopolar Link) ระบบนี้จะมีสายตัวนำ 1 เส้น ซึ่งส่วนใหญ่มีศักดาไฟฟ้าเป็นลบและใช้พื้นดินหรือทะเลในการส่งกลับ ถ้าเกิดฟอลต์ (Fault) ก็จะไม่สามารถจ่ายโหลดได้เลย ดังรูปที่ 2.1



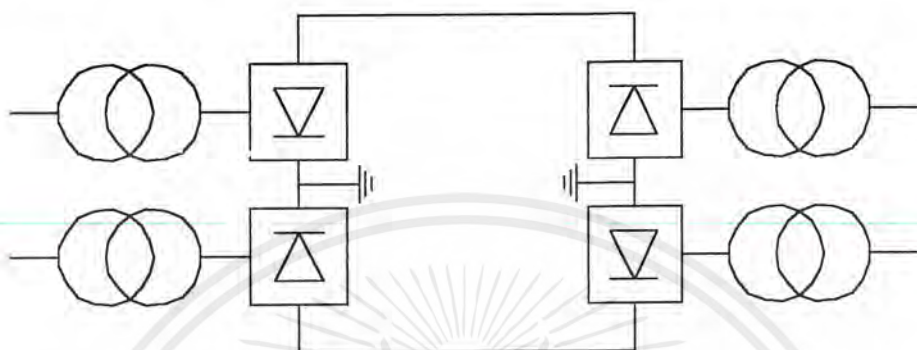
รูปที่ 2.1 วงจรส่งกำลังไฟฟ้าแบบขั้วเดียว

2.1.2. ระบบสองขั้ว (Bipolar Link) ระบบนี้จะมีตัวนำ 2 ตัวนำ โดยแต่ละตัวมีศักดาไฟฟ้าเป็นบวกและลบ ซึ่งแต่ละขั้วจะมีคอนเวอร์เตอร์ 2 ชุด โดยแต่ละชุดใช้ระบบกราวด์ร่วมกัน คอนเวอร์เตอร์แต่ละชุดจะทำงานอิสระต่อกัน ถ้าเกิดฟอลต์ (Fault) บนตัวนำตัวใดตัวหนึ่งดึงนำที่เหลือจะจ่ายโหลดเป็นครึ่งหนึ่งของพิกัด ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วงจรส่งกำลังไฟฟ้าแบบ 2 ขั้ว

2.1.3. ระบบขั้วเดียวร่วมกัน (Homopolar Link) ระบบนี้จะมีตัวนำ 2 ตัวนำ และตัวนำทั้ง 2 มีศักดาไฟฟ้าเป็นลบและใช้พื้นดินเป็นทางเดินกลับ ถ้าเกิดฟอลต์ (Fault) บนตัวนำใด ตัวนำที่เหลือจะจ่ายโหลดเต็มพิกัดแทนตัวนำที่เสียไป ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วงจรส่งกำลังไฟฟ้าแบบขั้วเดียวร่วมกัน

2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Modulation :PWM)

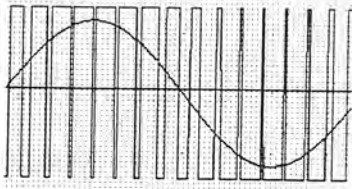
สัญญาณพีดับบลิวเอ็มเป็นสัญญาณที่มีความถี่คงที่ และสามารถเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์ได้ตามต้องการ โดยการทำให้ค่า คิวดีไซเคิล เปลี่ยนแปลงทำให้จังหวะการ ออน และ ออฟ เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย การมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์เป็นเทคนิคการแบ่งรูปคลื่นใน 1 คาบ ออกเป็นพัลส์โดยที่แต่ละพัลส์อาจมีความกว้างพัลส์ไม่เท่ากัน

รูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มมีด้วยกันหลายชนิดแต่ชนิดที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้มากที่สุดและเป็นชนิดพื้นฐานที่สุด ได้แก่แบบ 2 ระดับ (2 level PWM) และแบบ 3 ระดับ (3 level PWM)

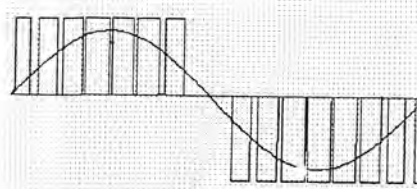
รูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มแบบ 2 ระดับ เป็นรูปคลื่นที่มีการสวิทช์ระหว่างระดับอ้างอิง 2 ระดับ คือ $+E$ และ $-E$

รูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มแบบ 3 ระดับ เป็นรูปคลื่นที่มีการสวิทช์ระหว่างระดับอ้างอิง 3 ระดับ คือ $+E$, 0 และ $-E$

รูปคลื่นทั้งสองแบบมีลักษณะดังรูปที่ 2.4 โดยการแสดงรูปคลื่นแบบพีดับบลิวเอ็มเปรียบเทียบกับความถี่มูลฐานของรูปคลื่นพีดับบลิวเอ็มนั้น



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.4 แสดงรูปคลื่นพีดีดับลิวเอ็ม (ก) แบบ 2 ระดับ (ข) แบบ 3 ระดับ

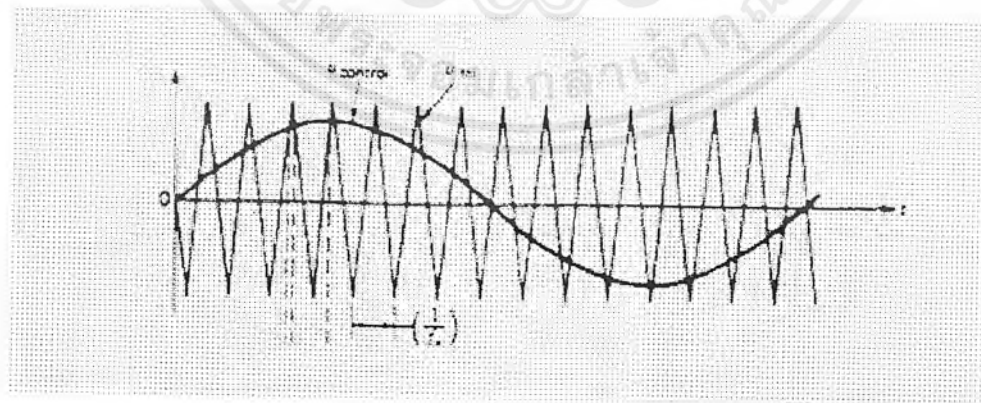
รูปแบบในการมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบ่งได้ 3 แบบ คือ

1. การมอดูเลตตามความกว้างพัลส์แบบเดี่ยว (Single-Pulse Width Modulation)
2. การมอดูเลตตามความกว้างพัลส์แบบหลายพัลส์ (Multiple-Pulse Width Modulation)
3. การมอดูเลตตามความกว้างพัลส์แบบไซน์ (Sinusoidal Pulse Width Modulation)

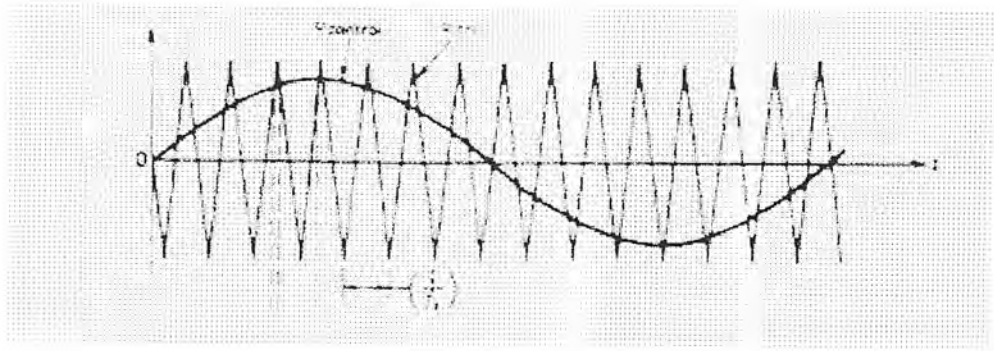
ซึ่งโครงการนี้จะใช้วิธีการควบคุมโดยการมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบไซน์ ดังนั้นจะกล่าวรายละเอียดเฉพาะวิธีนี้

2.2.1 การมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบไซน์ (Sinusoidal Pulse Width Modulation)

เป็นการนำเอาสัญญาณสามเหลี่ยมที่มีทั้งซีกบวกและซีกลบซึ่งเป็นสัญญาณพาหะ มาเปรียบเทียบกับสัญญาณไซน์ซึ่งเป็นสัญญาณอ้างอิง ซึ่งจุดตัดของสัญญาณทั้งสองจะทำให้เกิดช่วงเวลา ออน-ออฟ ดังรูปที่ 2.5



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.5 สัญญาณพีคดับลิวเอ็ม (ก) สัญญาณสามเหลี่ยมเปรียบเทียบกับสัญญาณไซน์
(ข) สัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบ

องค์ประกอบที่เป็นตัวกำหนดลักษณะรูปคลื่นพีคดับลิวเอ็ม ได้แก่

1. มีอัตรากว้างอินเด็กซ์ (Modulation Index, m_a)

$$m_a = \frac{V_{control}}{V_{tri}} \quad (2.1)$$

m_a คือ มีอัตรากว้างอินเด็กซ์

$V_{control}$ คือ ค่าสูงสุดของอ้างอิง (สัญญาณไซน์)

V_{tri} คือ ค่าสูงสุดของสัญญาณพาหะ (สัญญาณสามเหลี่ยม)

2. อัตราส่วนการมีอัตรากว้างของความถี่ (Frequency Modulation Ratio: m_f)

$$m_f = \frac{f_s}{f_1} \quad (2.2)$$

m_f คือ อัตราส่วนการมีอัตรากว้างของความถี่

f_s คือ ความถี่ของสัญญาณพาหะ (สัญญาณสามเหลี่ยม)

f_1 คือ ความถี่ของสัญญาณอ้างอิง (สัญญาณไซน์)

ความกว้างของพัลส์จะขึ้นอยู่กับค่า m_a ซึ่งเมื่อ m_a มีค่าเพิ่มขึ้นค่าแรงดันเอาต์พุตจะมีค่ามากขึ้นด้วยโดยแรงดันเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นที่ m_a ไม่เกิน 1

ฮาร์โมนิคส์ที่เกิดจากกระแสเอซีไลน์จะเกิดที่ $m_f, 2m_f, 3m_f \dots$ จากสมการ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_h = (jm_r \pm k)f_1 \quad (2.3)$$

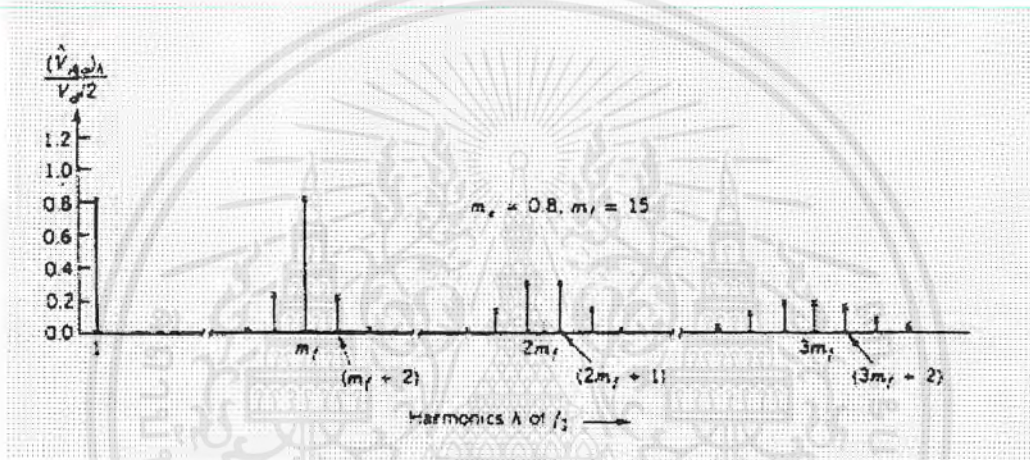
h คือ ฮาร์โมนิกส้อร์เคอร์ (harmonic order)

j คือ ออร์เคอร์ไซน์แบนด์ (order sideband)

เมื่อ j เป็นคี่ k จะเป็นคู่

j เป็นคู่ k จะเป็นคี่

อาร์โมนิกส์ของกระแสอินพุทแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 สเปกตรัมฮาร์โมนิกส์ของกระแสอินพุท

2.3 คุณลักษณะเด่นของไอจีบีที

ไอจีบีทีนั้นมีแรงดันตกคร่อมใกล้เคียงกับทรานซิสเตอร์ ในขณะที่มีความต้านทานด้านอินพุทสูงและมีความเร็วในการนำกระแสเหมือน มอสเฟท ในการใช้งานที่ย่านความถี่ปานกลางสามารถนำ ไอจีบีที ไปใช้งาน แทนมอสเฟท ทรานซิสเตอร์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับไทรสเตอร์ทั่วไป ไอจีบีทีมีความเร็วในการสวิตซ์ที่สูงกว่า และมีความต้านทานอินพุทสูงกว่า สามารถทนต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ (Dv/dt) สูงกว่าและมีวงจรรีบที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ในขณะที่ไทรสเตอร์บางประเภท เช่น จีทีโอ ก็สามารถควบคุมการนำและหยุดนำกระแสได้ด้วยสัญญาณควบคุมที่ป้อนเข้าขาเกต แต่ก็ต้องการกระแสไหลกลับทิศในการหยุดนำกระแส

ในการเปรียบเทียบความง่ายของวงจรรีบสมมติว่า ต้องการให้อุปกรณ์รับกระแสได้ 10 แอมแปร์ถ้าต้องการให้ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์สวิตซ์ ซึ่งในการที่จะจ่ายกระแสคอลเลคเตอร์ได้จะควบคุมทรานซิสเตอร์ให้ทำงานตามต้องการได้เพราะว่าทรานซิสเตอร์มีค่า เบต้า คำนวณเช่นถ้าค่าเบต้าเท่ากับ 5 จะจ่ายกระแสคอลเลคเตอร์ได้ 10 แอมแปร์จะต้องป้อนกระแส 5 แอมแปร์ที่ขาเบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของทรานซิสเตอร์ ในขณะที่ไอจีบีทีควบคุมการทำงานด้วยความต่างศักย์ที่ป้อนเข้าขาเกต และขาซอร์ท ซึ่งต้องการกระแสจ่านวนน้อยมาก อยู่ในหน่วยนาโนแอมป์ ก็สามารถทำให้ไอจีบีทีทำงาน ซึ่งจะเห็นว่าวงจรับเกตของไอจีบีที มีความง่ายกว่าวงจรับเบสของทรานซิสเตอร์มาก

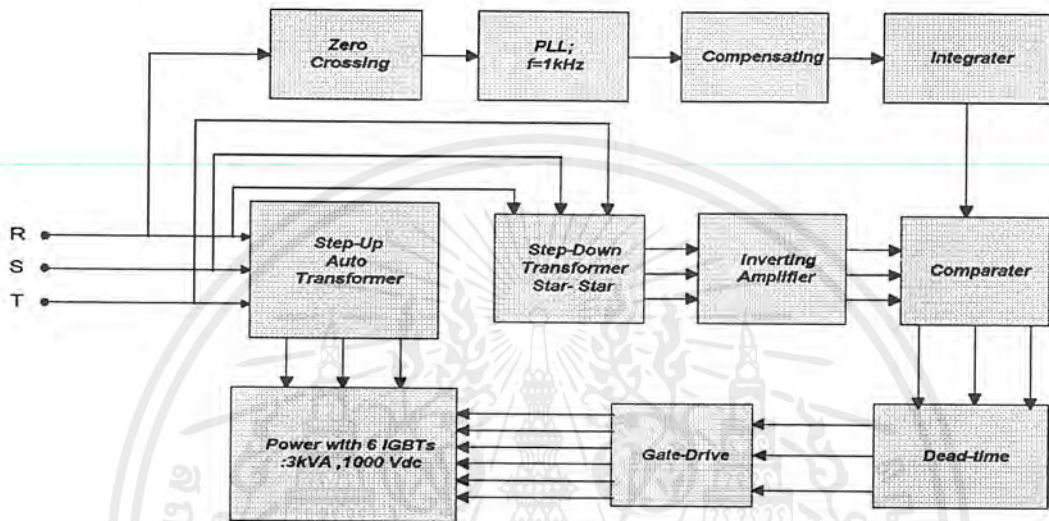
ทรานซิสเตอร์อาจใช้วงจรคาร์ลิงตัน (Darlington) ในการขยายค่า เบต้าเพื่อให้วงจรับง่ายขึ้นแต่ความต่างศักย์ตกคร่อมในสถานะหยุดนำกระแสจะสูงขึ้น

ส่วนวงจรับเกตของไอจีบีที กับมอสเฟท มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันมากจนสามารถใช้แทนกันได้ แต่ถ้าในการทำงานที่ความถี่ปานกลาง ที่พิกัดกระแส และความต่างศักย์สูงแล้ว ควรเลือกใช้ไอจีบีที ในการทำงานแทนมอสเฟท เนื่องจากมีความต่างศักย์ตกคร่อมในสถานะนำกระแสต่ำกว่า



บทที่ 3 วงจรและการคำนวณออกแบบวงจรกำลังและวงจรควบคุม

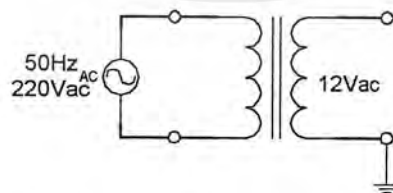
คอนเวอร์เตอร์นับเป็นส่วนสำคัญที่สุดในการสร้างสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย คอนเวอร์เตอร์มีหลาย แบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจัตุวงจรภายใน แต่คอนเวอร์เตอร์มีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่สองส่วนคือ ภาคกำลัง และภาคควบคุม



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงวงจรควบคุม

3.1 แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ (AC SOURCE)

คือแหล่งจ่ายไฟสลับชุดเดียวกับแหล่งจ่ายไฟสลับที่จ่ายไฟฟ้าให้กับวงจรกำลังที่ไอจีบีทีนั้นทำงาน แต่แหล่งจ่ายไฟสลับที่จ่ายให้กับวงจรควบคุมต้องเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันต่ำ เช่น 24 Vac, 18 Vac หรือ 12 Vac โดยใช้หม้อแปลงแรงดันเป็นตัวลดระดับแรงดัน เพื่อจ่ายให้กับวงจร ดังรูป 3.2

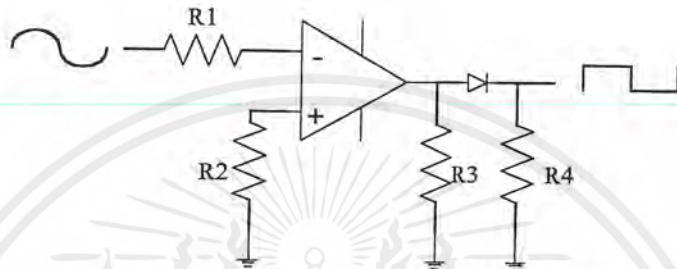


รูปที่ 3.2 ชุดจ่ายไฟกระแสสลับแรงดันต่ำ

3.2 วงจรเปรียบเทียบแรงดันเป็นศูนย์ (Zero voltage comparator)

คือวงจรเปรียบเทียบแรงดันเป็นศูนย์ หรือวงจร Zero crossing detector มีหน้าที่รับระดับ

แรงดันไฟฟ้าสลับ 12 Vac เข้ามาทางขาลบของออปแอมป์ เปรียบเทียบกับแรงดันศูนย์โวลต์ที่เข้ามาทางขาบวกของออปแอมป์ สำหรับ R2ทำหน้าที่ลดแรงดันออปเซคที่ด้านขาเข้าของออปแอมป์ ซึ่งรูปวงจรแรงดันขาออกของออปแอมป์ จะเป็นรูปสี่เหลี่ยมที่มีระดับแรงดัน Vcc ขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงที่ไบแอสออปแอมป์

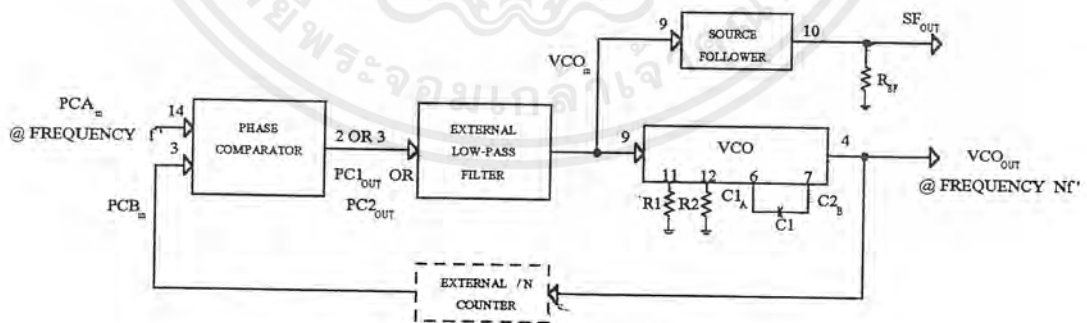


รูปที่ 3.3 วงจรเปรียบเทียบแรงดันเป็นศูนย์

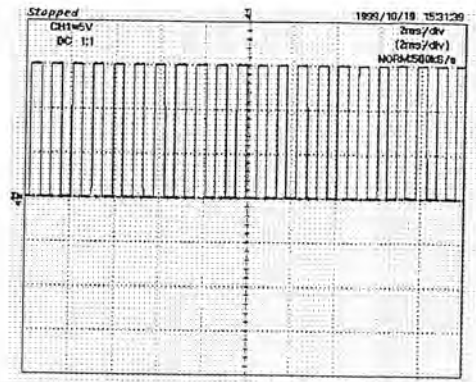
3.3 Phase locked loop (PLL)

เป็นหลักการป้อนกลับ ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ในวงจรต่างๆมากมาย ซึ่งในโครงงานนี้ได้นำคุณสมบัติของ เฟสล็อกกลูป มาใช้ใน พัลส์ซิงโครไนเซชัน (pulse synchronization) ที่ความถี่ 1 kHz เนื่องจากปัจจุบัน PLL จะอยู่ในรูปของวงจรรวม ที่หาซื้อได้ในตลาดทั่วไป

PLL มีองค์ประกอบพื้นฐาน คือ เฟสดีเทกเตอร์ (Phase detector : PD) , Voltage Controller Oscillator (VCO) และ Low pass filter (LPF) และวงจรต่อรวมคือวงจรรหาคความถี่ การทำงานของ PLL จะเริ่มที่



รูปที่ 3.4 วงจรการทำงานเฟสล็อกกลูป



รูปที่ 3.5 สัญญาณแรงดันเอาต์พุต (PLL)

PD เป็นส่วนเปรียบเทียบความถี่ของสัญญาณเข้า (ซึ่งเราถือว่าเป็นความถี่อ้างอิง) กับความถี่ของสัญญาณ VCO ซึ่งจะได้เอาต์พุตอยู่ในรูปของความแตกต่างทางเฟส ซึ่งจะถูกรอง และขยายสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อนำไปใช้ควบคุมการผลิตความถี่ของ VCO จนกระทั่ง VCO ทำการล็อก สัญญาณขาเข้า นั่นคือความถี่ VCO เท่ากับความถี่ขาเข้าด้วยความแตกต่างทางเฟสค่าหนึ่งใน PLL จะมี PD ใช้กันสองแบบ มาเพื่อทำการตรวจจับคลื่นสี่เหลี่ยม (square wave) ต่างๆทั้งทางอนาล็อก หรือทางดิจิทัล ในขณะที่ PD แบบสอง ทำการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงสถานะหรือขอบขาขึ้นของสัญญาณ

VCO ก็จะเป็น ออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) ที่ผลิตความถี่ที่สามารถควบคุมได้จากเอาต์พุตของ เฟสดีเท็คเตอร์ หรือในทางทฤษฎีแล้ว VCO ก็คือวงจรมอดูเลเตอร์นั่นเอง VCO ที่ใช้ใน PLL ไม่จำเป็นต้องมีความสัมพันธ์กับแรงดันที่มาควบคุมมากนัก ดังนั้นต้องคำนึงถึงเสถียรภาพของอุปกรณ์

จะพบว่าเมื่อเรานำ PD แบบที่หนึ่งมาใช้ความถี่ที่ผลิตจาก VCO (และการตรวจสอบของเฟส) จะมีความคลาดเคลื่อนมาก ปัญหานี้ลดไปได้ด้วยการเพิ่มองค์ประกอบของ LPF ลงไปในรูป นอกจากนี้ยังช่วงลatching แคลปเจอร์เรนจ์ (capture range) และเพิ่มแคลปเจอร์ไทม์ (capture time) โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าใช้ PD แบบสองแล้วการล็อกของเฟสจะเกิดขึ้นเมื่อค่าความแตกต่างทางเฟสเป็นศูนย์จริงๆ

จากคุณสมบัติของ PLL เบอร์ 4046 จะต้องกำหนดค่า R1 R2 เพื่อกำหนดค่าความถี่ที่ต้องการ ดังสูตรต่อไปนี้

ความถี่ต่ำสุด

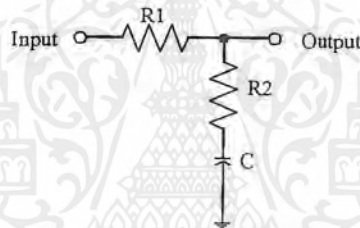
$$f_{\min} = \frac{1}{R_2(C_1 + 32pF)} \quad (3.1)$$

ความถี่สูงสุด

$$f_{\max} = \frac{1}{R_1(C_1 + 32pF)} \quad (3.2)$$

ซึ่ง $10K < R1 < 1M$
 $10K < R2 < 1M$
 $100Pf < C1 < 0.01 \mu F$

Low pass filter

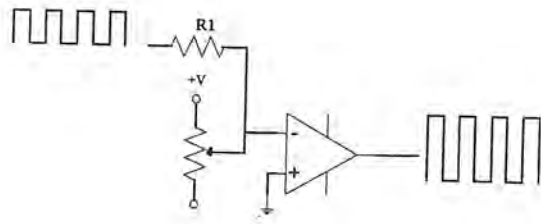


รูปที่ 3.6 วงจร Low Pass Filter

วงจรหารความถี่ วงจรนี้ได้นำเอาที่พุดของ VCO มาทำการหารความถี่ที่ VCO ผลิตขึ้นมา ซึ่งเราจะใช้ IC 4018 เป็นตัวหารซึ่งโครงงานวิศวกรรมได้กำหนดการหารไว้ที่ $n = 20$ หรือที่ ความถี่ 1 kHz และนำความถี่ที่หารแล้ว กับเข้าไปยังวงจรเปรียบเทียบ (Comparator) ของ PLL ซึ่งความถี่ที่เข้านี้ จะเท่ากับความถี่ 50 Hz ซึ่งวงจรหารความถี่ก็คือวงจรมับ (Counter) นั้นเอง ดังนั้นการต่อต้องคำนึงถึง ขาของไอซีซึ่งจะมีการหารที่แตกต่าง

3.4 วงจรชดเชยแรงดัน (Compensating)

การชดเชยระดับแรงดัน วงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่ รักษาสมดุลด้านบวกและด้านลบ ของสัญญาณขาเข้าโดยใช้โอปแอมป์ต่อเป็นวงจรซัมมิง (Summing) ซึ่งสัญญาณขาเข้าจะถูกลดระดับแรงดัน โดยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในขณะที่แอมป์จูดและความถี่ของสัญญาณทั้งสองแบบยังคงที่ วงจรนี้มีความจำเป็นมาก เพื่อจะได้เอาที่พุดไปสร้างสัญญาณรูปสามเหลี่ยม



รูปที่ 3.7 วงจรชดเชยแรงดัน

3.5 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม (Integrator)

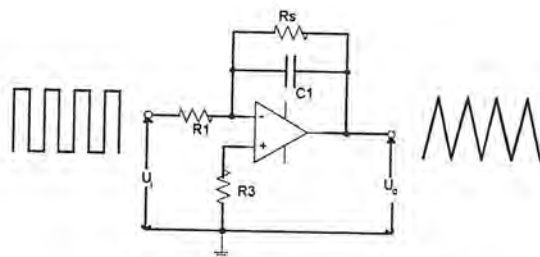
เป็นวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมซึ่งจะใช้โอปแอมป์เป็นตัวสร้างสัญญาณ โดย R_1 จะเป็นตัวต้านทานอินพุต และ C จะเป็นตัวเก็บประจุป้อนกลับ ดังสมการของแรงดันเอาต์พุตคือ

$$V_o = \left(\frac{1}{R_1 C} \right) \int_0^{\infty} V_i dt \quad (3.3)$$

ถึงอย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ วงจรอินทิเกรเตอร์นิยม ต่อตัวต้านทาน R_s คร่อมตัวเก็บประจุ C ซึ่งเรียกตัวต้านทานนี้ว่า ตัวต้านทานชั๊นท์ (Shunt resistor) เพื่อลดอัตราขยายแรงดันขณะที่ความถี่มีค่าต่ำๆ และถ้าหากไม่ได้ต่อความต้านทาน R_s เพื่อลดอัตราขยายแรงดันในขณะที่สัญญาณอินพุตมีค่าต่ำๆ ถูกป้อนเข้ามา (รวมถึงแรงดันออฟเซตด้วย) แม้ว่าจะมีค่าน้อยมากๆ แต่ก็อาจถูกวงจรมินิโมกรเตอร์ขยายจนกระทั่งแรงดันอินพุตถึงจุดอิ่มตัวก่อนที่จะครบคาบเวลาและแรงดันออฟเซตสามารถลดลงได้เมื่อเราต่อตัวต้านทาน R_2 เข้าที่ขาอินพุตบวกของโอปแอมป์ และมีค่าเท่ากับผลรวมทางขนานของตัวต้านทานอินพุต R_1 และ R_2 จะได้สมการ

$$R_2 = \frac{(R_1 R_s)}{(R_1 + R_2)} \quad (3.4)$$

ซึ่งในทางปฏิบัติ ตัวต้านทาน R_s จะถูกกำหนดค่าประมาณ 10 เท่าของ R_1 จากรูป 3.8



รูปที่ 3.8 วงจรสร้างรูปสามเหลี่ยม

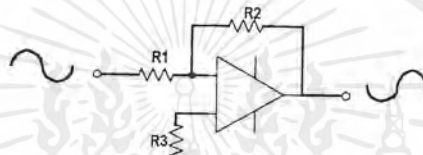
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วงจรกลับเฟส (Inverting Amplifier)

วงจรรขยายกลับเฟสทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าที่ขาอินพุตลบ ของออปแอมป์ โดยผ่านตัวต้านทาน R_1 คือตัวต้านทานที่ป้อนกลับ (Feedback Element) ส่วนค่าแรงดันอินพุต พุทของวงจรได้สมการ

$$V_o = -\frac{R_2 V_i}{R_1} \quad (3.5)$$

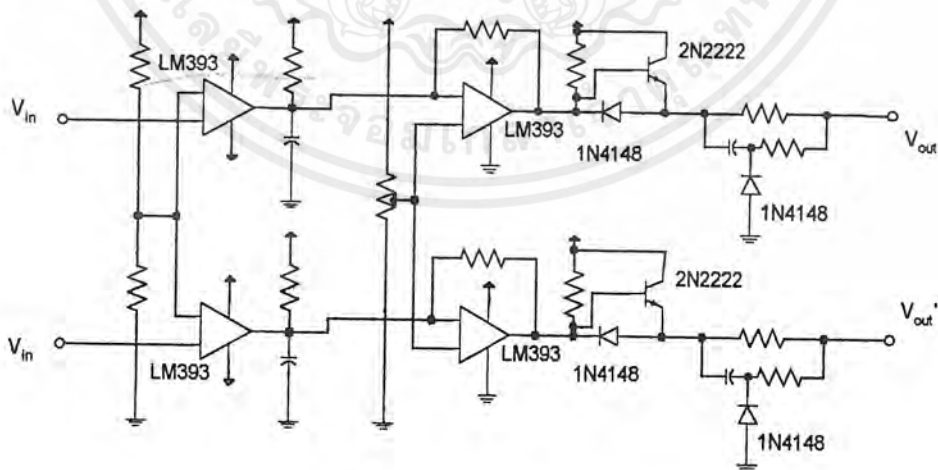
จากสมการจะพบว่า อัตราขยายแรงดันของวงจรรขยายกลับเฟส สามารถทำให้มีค่าน้อยกว่าหรือมากกว่า 1 ได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้านทาน R_1 และ R_2 จากรูป 3.9



รูปที่ 3.9 วงจรกลับเฟส

3.7 วงจรหน่วงเวลา (Dead time)

เนื่องจากการขับ ไอจีบีที ในภาคกำลังนั้น จำเป็นต้องมีการหน่วงเวลาของสัญญาณที่จะขับ เกตของ ไอจีบีทีก่อนเพราะถ้ามีคาบเวลาในขณะที่นำกระแสช้อนกันจะทำให้ไอจีบีทีเสียหายได้ โดยทั่วไปจะหน่วงสัญญาณขับเกตไปประมาณ 5-12 ไมโครวินาที ซึ่งคาบเวลาที่ใช้ ควรมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งจะได้แรงดันขาออกใกล้เคียงกับขาเข้ามากที่สุด



รูปที่ 3.10 วงจรหน่วงเวลา

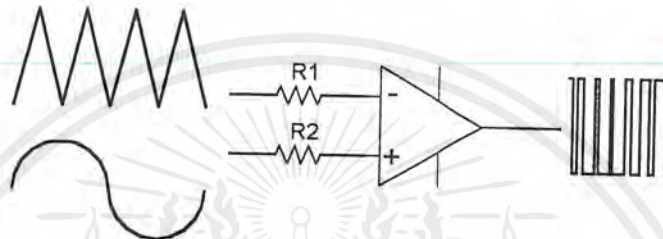
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 วงจรเปรียบเทียบเฟส (Comparator)

เป็นวงจรที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบสัญญาณอินพุทที่เข้ามา กับค่าแรงดันอ้างอิง (Reference voltage) V_{ref}

$$V_1 > V_2 : V_2 = +V$$

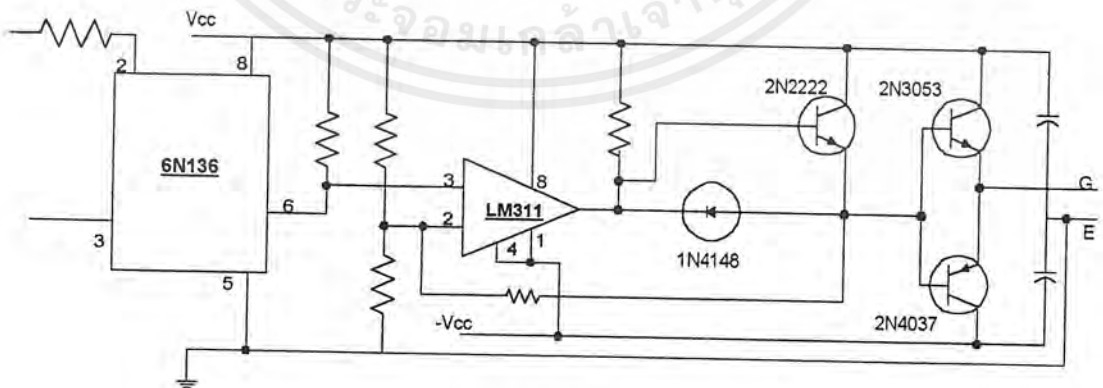
$$V_1 < V_2 : V_2 = -V$$



รูปที่ 3.11 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

3.9 วงจรขับเกท (Gate drive circuit)

วงจรถักเฟสเป็นวงจรที่สำคัญวงจรหนึ่งใช้ป็นจุดเชื่อมโยงระหว่างวงจรควบคุมและวงจรถักเพื่อใช้ขับ ไอจีบีที อีกทีหนึ่งวงจรถักเกทจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณ จากวงจรถักผ่านตัวแยกสัญญาณ (Isolate) โดยตัวแยกสัญญาณจะทำหน้าที่ป้องกันสัญญาณรบกวนที่จะผ่านเข้ามาในวงจรถักจึงใช้ออปโตคัปเปลอร์ (Opto coupler) ทำหน้าที่เป็นตัวแยกสัญญาณไฟฟ้าออกจากกันระหว่างวงจรถักกับวงจรถัก

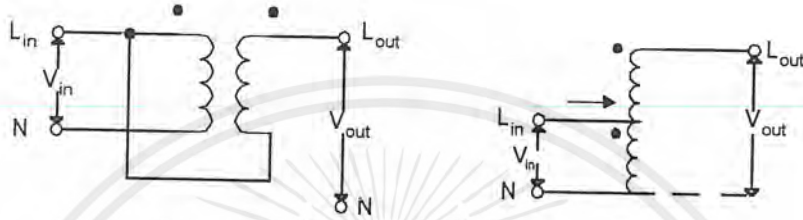


รูปที่ 3.12 วงจรขับเกท

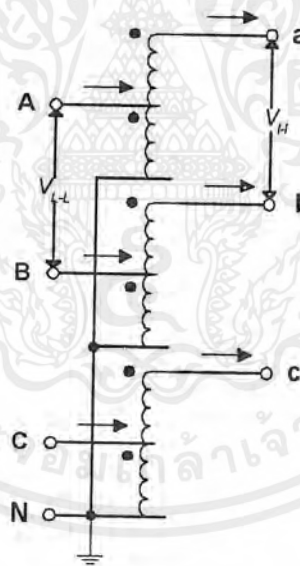
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 หม้อแปลงชนิดออโตทรานสฟอร์มเมอร์ (Auto Transformer)

นำมาใช้ในการแปลงแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสขึ้น (Step-up) เพื่อใช้เป็นอินพุทของวงจรกำลัง โดยใช้หลักการของหม้อแปลงชนิดออโตทรานสฟอร์มเมอร์ ซึ่งใช้ขดลวดพัน (Winding) ทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิร่วมกันดังรูป



รูปที่ 3.13 หม้อแปลงชนิดออโตทรานสฟอร์มเมอร์



รูปที่ 3.14 ลักษณะการต่อหม้อแปลงชนิดออโตทรานสฟอร์มเมอร์ที่ใช้ในโครงการการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า สำหรับโครงการที่ต้องการใช้แรงดันเอาต์พุทจากชุดคอนเวอร์เตอร์ 1000 โวลต์ดีซี จาก สมการ

$$V_d = 1.35V_{L-L} \tag{3.8}$$

เมื่อ V_d คือแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

$V_{(L-L)}$ คือแรงดันอาร์เอ็มเอสไลน์ทูไลน์ทางด้านทุติยภูมิ

$V_{(L-L)}$ คือแรงดันอาร์เอ็มเอสไลน์ทูไลน์ทางด้านปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

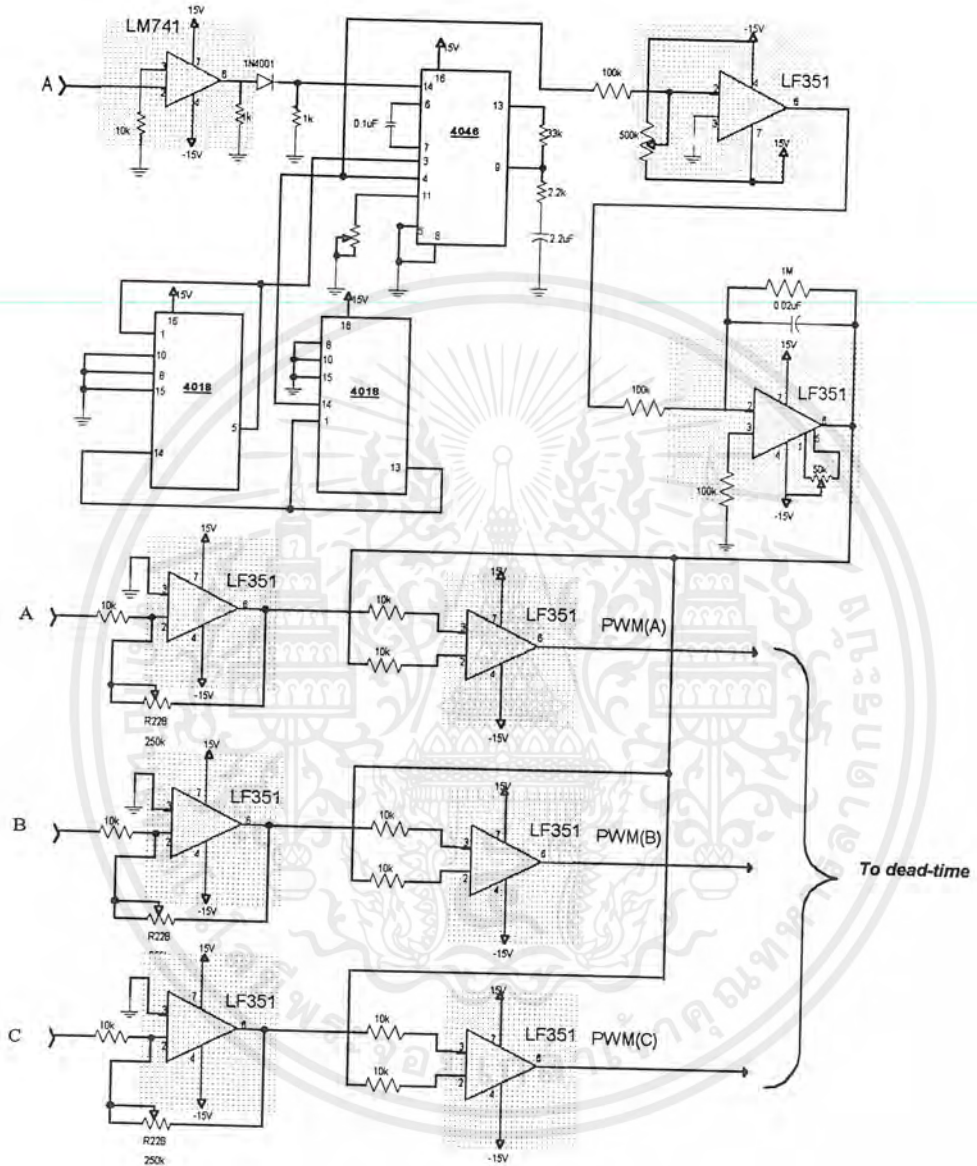
จะได้

$$V_{i-1} = \frac{1000}{1.35} = 741V \quad (3.9)$$

ในการออกแบบหม้อแปลงจะใช้หม้อแปลงหนึ่งเฟส สามตัว ต่อแบบ สตาร์ / สตาร์ แต่ละตัวมี พิกัด 1kVA ; 118 / 400 V โดยต่อในลักษณะของออโตทรานสฟอร์มเมอร์ (Auto Transformer) ดัง รูป3.14

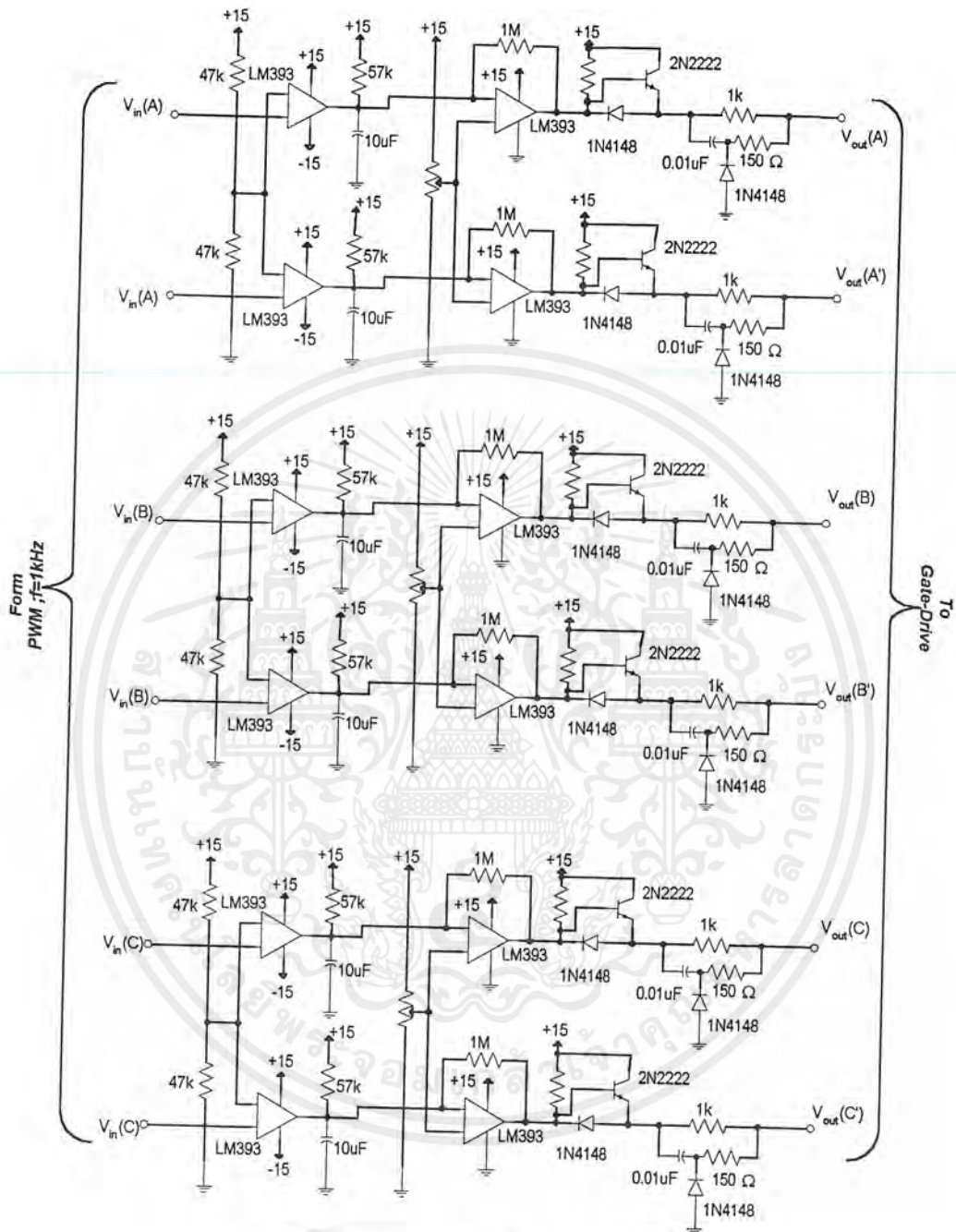
จะได้หม้อแปลงสามเฟสต่อแบบ สตาร์ / สตาร์ , ออโตทรานสฟอร์มเมอร์ พิกัด 3.5 kVA , 200 / 900 (V_{i-1} , rms)





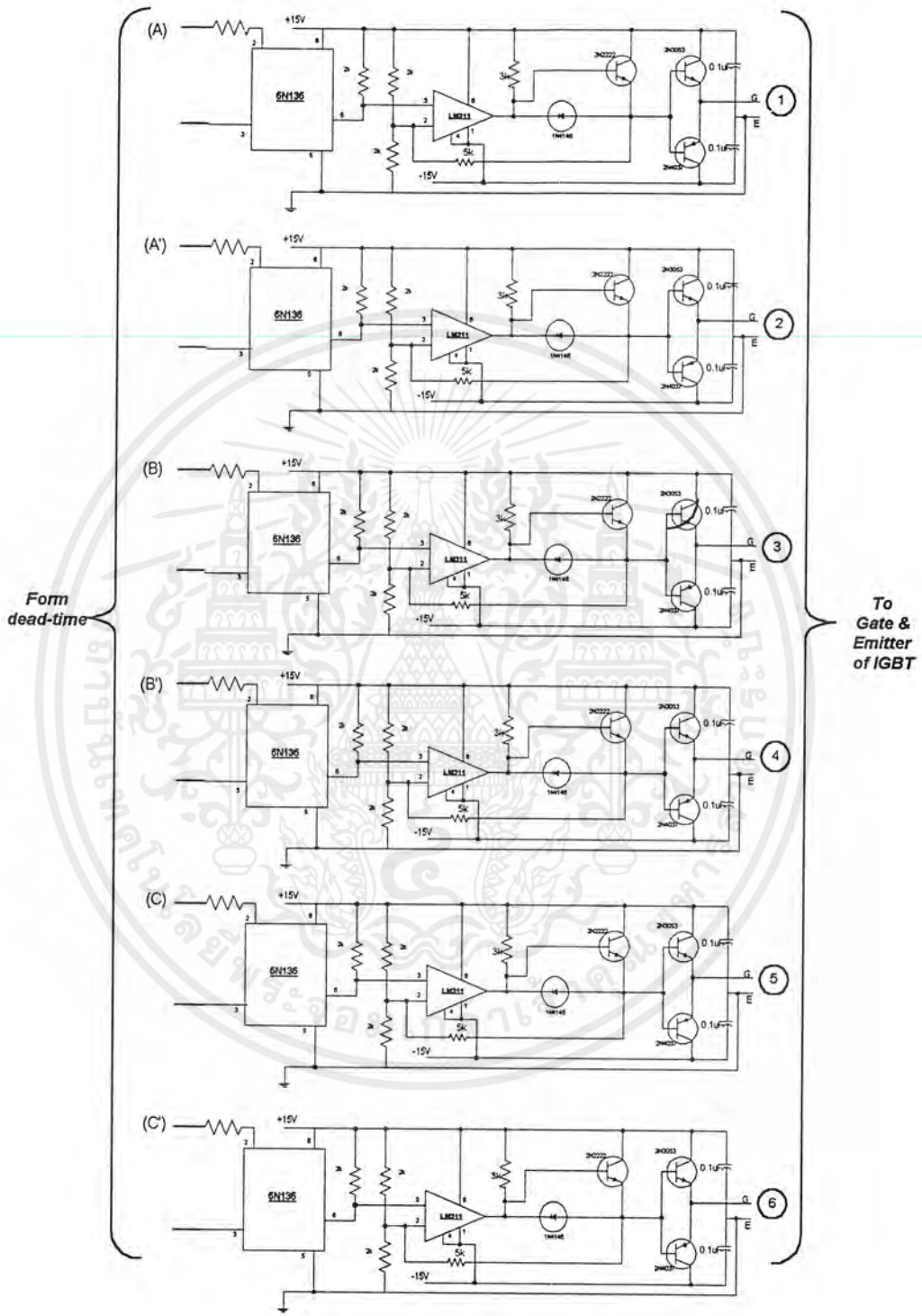
รูปที่ 3.15 วงจรสร้างสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มรวมสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



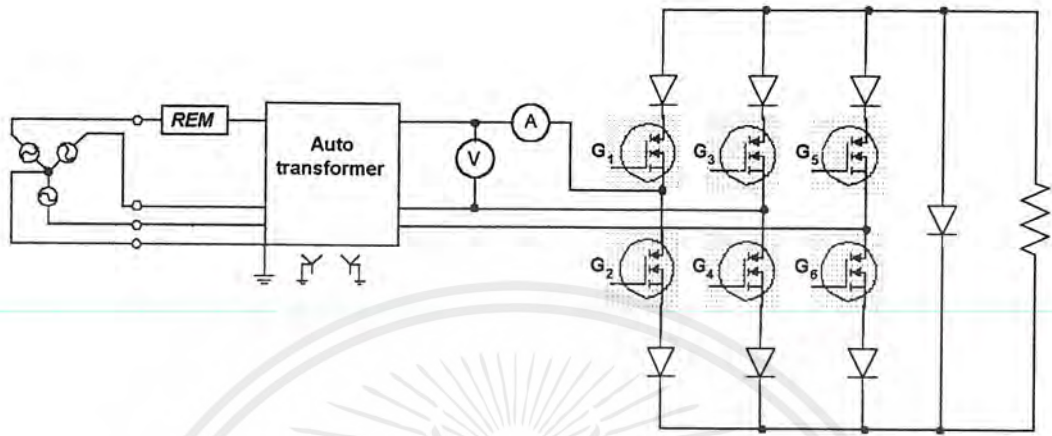
รูปที่ 3.16 วงจรเคทโทมรวมสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



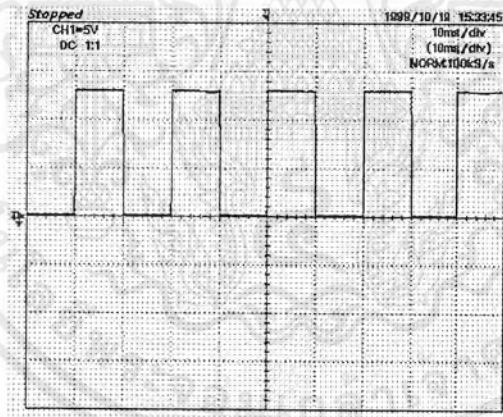
รูปที่ 3.17 วงจรขับเกตรวมสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

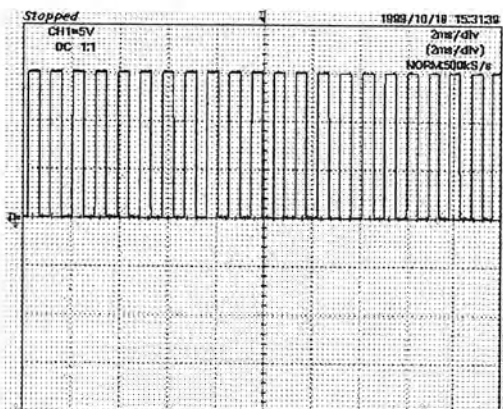


รูปที่ 3.18 วงจรกำลัง

3.11 รูปสัญญาณของวงจรควบคุมที่ได้จากการทดลอง
วงจรเปรียบเทียบแรงดันเป็นศูนย์ (Zero voltage comparator)

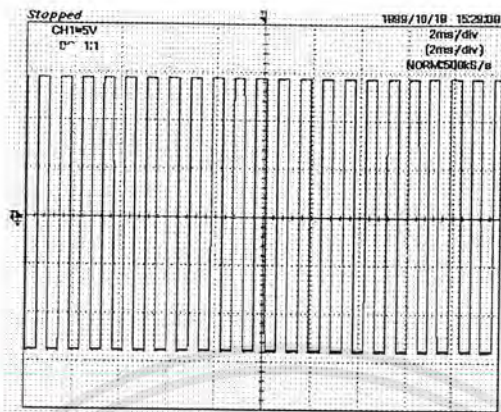


วงจรเฟสล็อก (PLL) : $f=1\text{kHz}$

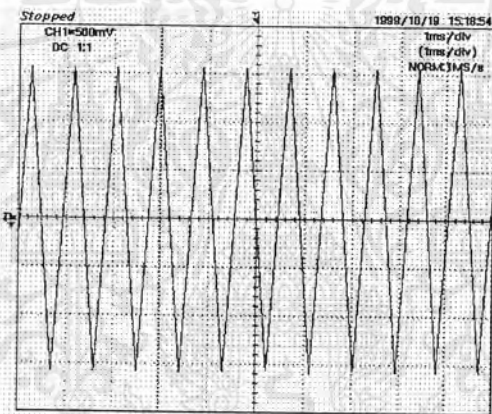


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

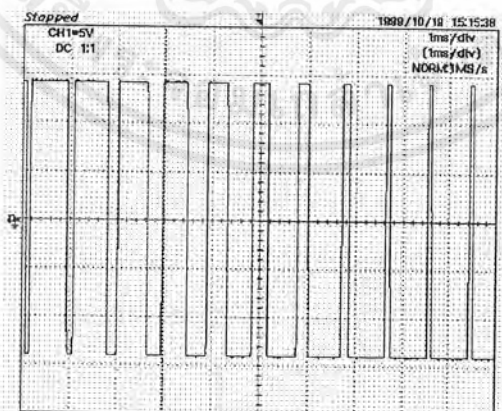
วงจรวงจรถดเชยแรงดัน (Compensating)



วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม (Integrator)

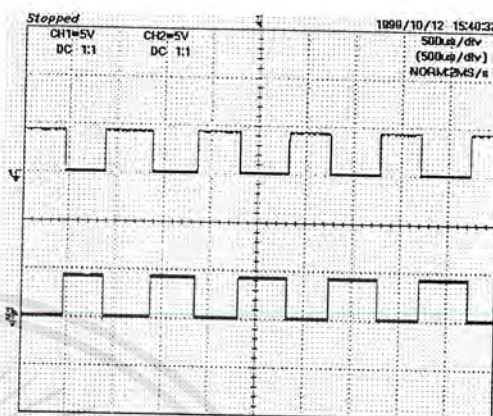
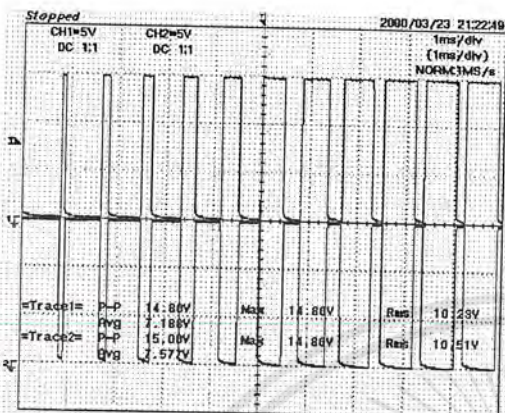


สัญญาณ SPWM

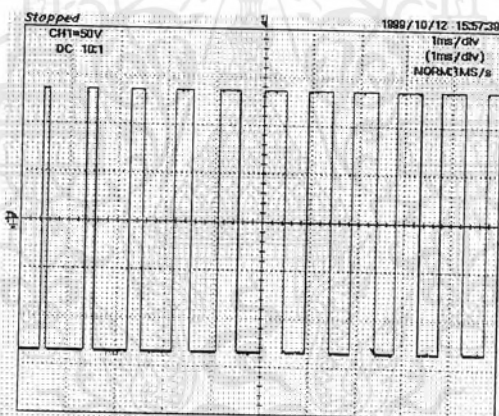


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรหน่วงเวลา (Dead time)



วงจรขับเกท (Gate drive circuit)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลอง

สำหรับการทดลองในโครงงานนี้แบ่งเป็น 2 การทดลอง ได้แก่

การทดลองที่ 1 การทดสอบหม้อแปลง

การทดลองที่ 2 การทดลองชุด คอนเวอร์เตอร์ ในโหมดเรกติไฟเออร์

มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การทดลองที่ 1 การทดสอบหม้อแปลง

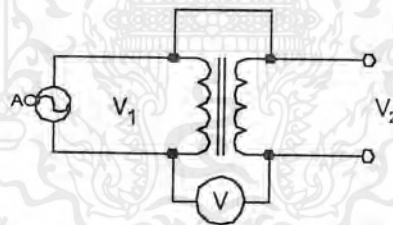
การทดลองที่ 1.1 การทดสอบขั้วของหม้อแปลง

จุดประสงค์ในการทดสอบ

1. เพื่อหาเครื่องหมายเพื่อบอกทิศทางการพันขดลวด (polarity marking) ของหม้อแปลงเฟสเดียว

อุปกรณ์ในการทดสอบ

1. หม้อแปลงปรับระดับแรงดัน แบบ 1 เฟส
2. มัลติมิเตอร์



รูปที่ 4.1 การต่อหม้อแปลงและอุปกรณ์การวัด สำหรับการทดสอบขั้วมอเตอร์
ขั้นตอนการทดสอบ

1. ต่อวงจรดังรูปที่ 4.1
2. ปรับแรงดันเข้าที่ 50 โวลต์ แล้วบันทึกผลการทดสอบ
3. ต่อวงจรดังรูปที่ 4.1 และ สลับสายปลายขดลวดค้ำนทุติยภูมิ
4. ปรับแรงดันเข้าที่ 50 โวลต์ แล้วบันทึกผลการทดสอบ

ผลการทดลอง

การทดสอบตามข้อ 2

$$V_1 = 50 \quad V_2 = 13 \quad V = 35$$

การทดสอบตามข้อ 4

$$V_1 = 50 \quad V_2 = 14 \quad V = 65$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองที่ 1.1

การทดสอบตามข้อ 2 ได้ V น้อยกว่า V_1 (input) แสดงว่าขั้วที่โวลต์มิเตอร์อยู่นั้นเป็นขั้วลบและ การทดสอบตามข้อ 4 ได้ V มากกว่า V_1 (input) แสดงว่าขั้วที่โวลต์มิเตอร์อยู่นั้นเป็นขั้วบวก (dot)

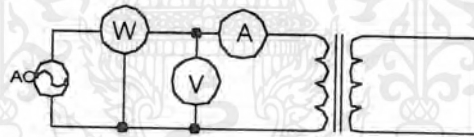
การทดลองที่ 1.2 การทดสอบขณะไม่มีโหลด (opencircuit test) และทดสอบโดยการลัดวงจร (short circuit test)

จุดประสงค์ในการทดสอบ

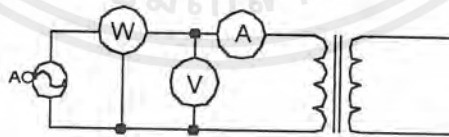
1. วิเคราะห์หาประสิทธิภาพหม้อแปลงเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

อุปกรณ์การทดสอบ

1. แอมป์มิเตอร์
2. โวลต์มิเตอร์
3. วัตต์มิเตอร์



รูปที่ 4.2 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าและอุปกรณ์การวัดขณะทดสอบโดยการลัดวงจร



รูปที่ 4.3 การต่อหม้อแปลงไฟฟ้าและอุปกรณ์การวัด ขณะทดสอบขณะไม่มีโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ต่อวงจรดังรูปที่ 4.2 โดยทำการลัดวงจรด้านแรงดันต่ำ และจ่ายแรงดัน (เล็กน้อย) ด้านแหล่งจ่าย หรือที่พิกัดกระแสของหม้อแปลงด้านแหล่งจ่าย บันทึกผลการทดสอบ
2. ต่อวงจรดังรูปที่ 4.3 โดยการเปิดวงจรด้านแรงดันสูงและจ่ายแรงดันที่พิกัดหม้อแปลงด้านแหล่งจ่าย บันทึกผลการทดสอบ

หม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟสขนาด 1 kVA , 118/400 V ,50Hz

ผลการทดสอบโดยการลัดวงจร

TR เฟส A : 30 V ,2.5A ,68 W

TR เฟส B : 29V ,2.5A, 64 W

TR เฟส C : 28V,2.5A,64 W

ผลการทดสอบขณะไม่มีโหลด

TR เฟส A : 118V ,0.28A ,18 W

TR เฟส B : 118V ,0.24A, 19 W

TR เฟส C : 118V,0.21A, 19 W

สรุปผลการทดลอง 1.2

หม้อแปลงหนึ่งเฟส สำหรับเฟส A การสูญเสียมีค่าเท่ากับ 86 W , ประสิทธิภาพ 90.29% ที่ full load 0.8 p.f. lagging

หม้อแปลงหนึ่งเฟส สำหรับเฟส B การสูญเสียมีค่าเท่ากับ 82 W , ประสิทธิภาพ 90.70% ที่ full load 0.8 p.f. lagging

หม้อแปลงหนึ่งเฟส สำหรับเฟส C การสูญเสียมีค่าเท่ากับ 83 W , ประสิทธิภาพ 90.29% ที่ full load 0.8 p.f. lagging

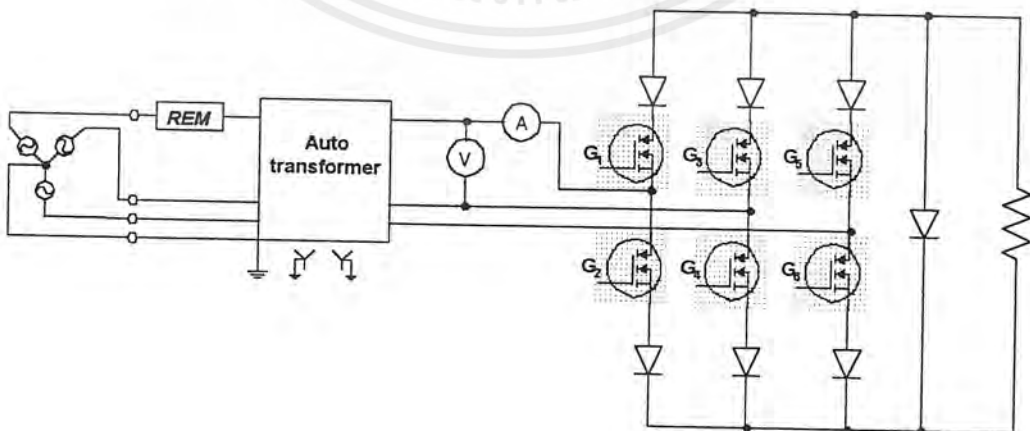
การทดลองที่ 2 การทดลอง ชุดคอนเวอร์เตอร์ ในโหมดเรกติไฟเออร์

จุดประสงค์การทดลอง

1. ศึกษาการทำงานการเปลี่ยนพลังงานจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยมีสัญญาณควบคุมแบบ SPWM และวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบ
2. เพื่อศึกษาการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้วยการปรับมอดดูเลชัน อินดิเคซ์ เมื่อจ่ายโหลดความต้านทาน
3. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากชุด คอนเวอร์เตอร์

อุปกรณ์ในการทดลอง

1. เครื่องต้นแบบคอนเวอร์เตอร์ ที่ใช้การควบคุมแบบ SPWM
2. ออสซิลโลสโคปแบบ save file ได้
3. สายโพรบ x 100
4. เครื่องวัด FLUKE รุ่น 41B
5. เครื่องมือช่วยในการวัดกระแส (REM)
6. หม้อแปลงแยกกราวด์
7. คอมพิวเตอร์โดยมีโปรแกรม Matlab
8. โวลต์มิเตอร์
9. แอมป์มิเตอร์
10. โหลด หลอดไฟ 100 วัตต์ จำนวน 6 หลอด

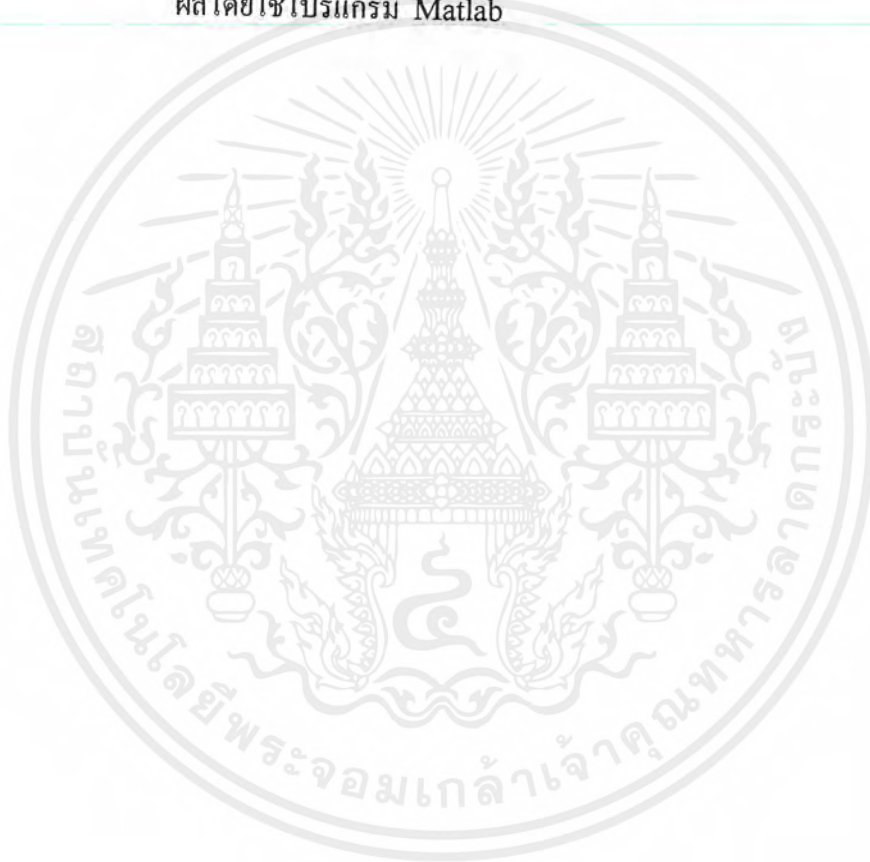


รูปที่ 4.4 การต่อชุดคอนเวอร์เตอร์ และอุปกรณ์ในการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อบางจรดังรูปที่ 4.4
2. ปรับระดับแรงดันอินพุทที่ $220 V_{rms}$, $380 V_{rms}$, $500V_{rms}$, $741V_{rms}$ และปรับค่ามือคดูละชั้นอินเต็กซ์ ที่ค่าต่าง ๆ และบันทึกผลการทดลอง
3. ใช้สายโพรบ CHI (x1) จับสัญญาณกระแสอินพุทที่ REM และใช้ CH2 (x 100) จับสัญญาณแรงดันเอาต์พุทและ save file ในรหัสแอสกี
4. เก็บผลการทดลอง และ save file สัญญาณแรงดัน , กระแส และนำไปวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Matlab



4.2 ตารางแสดงผลการทดลองที่ระดับแรงดัน 220 V , 380 V , 500V , 741 V

Ma	INPUT														OUTPUT												
	Va n	Vb n	Vc n	Ia	Ib	Ic	PF, a	PF, b	PF, c	DP F,a	DP F,b	DP F,c	Wa	Wb	Wc	Var ,a	Var ,b	Var ,c	Wa c	Var ac	Vdc max	Vdc min	Wd c	% pple	% η		
0.2	113	100	103	0.09	0.09	0.09	0.2	0.53	0.61	0.95	0.93	0.95	2.03	4.78	8.64	8.81	7.67	7.3	12.5	23.8	15.9	0.04	150	120	0.64	20	5.11
0.4	116	103	105	0.1	0.11	0.13	0.65	0.84	0.6	0.98	0.98	0.98	7.53	9.52	8.2	8.85	6.12	10.9	25.3	25.9	46.8	0.09	210	190	4.21	9.25	16.7
0.6	121	108	107	0.16	0.2	0.13	0.79	0.84	0.6	0.99	0.99	0.99	15.3	18.1	8.23	11.8	11.7	11.1	47.8	31.6	105	0.11	250	220	11.5	12	27.5
0.8	106	107	120	0.15	0.15	0.17	0.77	0.8	0.78	0.99	0.99	0.98	12.3	12.8	15.9	10.2	9.61	12.8	43	32.7	150	0.13	260	220	19.5	15.4	47.6
1	125	113	115	0.18	0.16	0.18	0.91	0.85	0.89	1	0.99	0.99	20.5	15.4	18.4	9.23	10.6	9.25	54.5	29.4	207	0.16	290	250	33.1	13.8	63.4
1.2	128	118	119	0.21	0.17	0.18	0.92	0.88	0.9	1	0.99	0.99	16.7	17.7	19.2	10.5	9.43	9.4	53.5	29.3	250	0.18	300	260	45	13.3	76
1.4	130	118	118	0.19	0.17	0.18	0.93	0.89	0.89	1	1	1	23	17.9	18.9	9.14	9.23	9.8	59.6	28.2	265	0.18	300	250	47.7	16.7	82.6
1.6	132	119	19.1	0.21	0.21	0.2	0.85	0.92	0.88	1	1	1	23.6	23.1	21	14.7	9.77	11.2	67.6	35.7	278	0.18	300	250	55.6	16.7	82.3

ตารางที่ 4.1 ตารางผลการทดลองชุดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดเรกติไฟเออร์รูปที่ 4.4 การทดลองที่ระดับแรงดันอินพุท 220 โวลต์ (VI-1)

Ma	INPUT														OUTPUT												
	Va n	Vb n	Vc n	Ia	Ib	Ic	PF, a	PF, b	PF, c	DP F,a	DP F,b	DP F,c	W a	W b	W c	Var, a	Var, b	Var, c	Wa c	Var ac	Vdc	Idc	Vdc max	Vdc ,min	Wd c	%ri pple	%η
0.2	271	268	268	0.1	0.1	0.1	0.55	0.63	0.63	0.98	0.98	0.97	15	17	18	22.8	20.9	22.3	49.8	66	69	0.09	300	260	6.21	13.3	12.5
0.4	281	274	274	0.2	0.2	0.1	0.5	0.73	0.6	0.98	0.99	0.99	22	34	23	39.1	31.7	30.4	79.3	96.8	115	0.11	440	380	12.7	13.6	16
0.6	280	282	282	0.2	0.2	0.2	0.85	0.87	0.82	1	1	0.99	48	56	37	29.7	31.8	26	141	87.4	251	0.17	460	400	42.7	13	42.1
0.8	282	273	273	0.2	0.2	0.2	0.91	0.81	0.85	1	1	0.99	56	40	48	25.4	29	29.8	144	84.3	364	0.21	495	420	76.4	15.2	53.1
1	285	278	278	0.2	0.2	0.2	0.9	0.91	0.9	1	1	0.99	62	58	55	30.1	26.2	27.1	175	83.4	487	0.25	500	440	122	12	70
1.2	286	279	279	0.2	0.2	0.2	0.93	0.91	0.93	1	1	1	64	61	61	25.4	27.5	24.4	186	77.3	585	0.28	520	450	164	13.5	88.1
1.4	290	283	283	0.3	0.3	0.3	0.92	0.94	0.92	1	1	1	72	72	64	30.5	26	27.3	208	83.8	616	0.39	530	460	179	13.2	85.8
1.6	291	283	283	0.3	0.3	0.3	0.9	0.94	0.92	1	1	1	73	67	67	35.9	30.2	28.3	207	94.3	637	0.3	520	450	191	13.5	92.4

ตารางที่ 4.2 ตารางผลการทดลองชุดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดเรกติไฟเออร์รูปที่ 4.4 การทดลองที่ระดับแรงดันอินพุต 380 โวลต์ (VI-D)

Ma	INPUT														OUTPUT												
	Va n	Vb n	Vc n	Ia	Ib	Ic	PF _a	PF _b	PF _c	DP _{F,a}	DP _{F,b}	DP _{F,c}	Wa	Wb	Wc	Var _a	Var _b	Var _c	Wa c	Var ac	Vdc	Idc	Vdc max	Vdc min	Wd c	%ori pple	%η
0.2	271	268	260	0.1	0.1	0.1	0.6	0.6	0.6	0.98	0.98	0.98	15	16.8	18	22.76	20.9	22.31	49.8	69.97	69	0.1	440	380	6.21	13.63	12.46
0.4	281	274	271	0.2	0.2	0.1	0.5	0.7	0.6	0.99	0.99	0.99	22.5	34	22.76	39.12	31.67	30.35	79.24	101.1	115	0.1	600	500	12.65	16.56	16
0.6	280	282	268	0.2	0.2	0.2	0.9	0.9	0.8	1	0.99	1	47.6	56.4	37.3	29.68	31.78	25.99	141.3	87.45	251	0.2	620	570	42.67	8.06	42.12
0.8	282	283	268	0.2	0.2	0.2	0.9	0.8	0.9	1	1	1	56.4	39.8	47.8	35.44	30.1	29.83	144	85.37	364	0.2	660	560	76.46	15.15	53.08
1	285	278	268	0.2	0.2	0.2	0.9	0.9	0.9	1	1	1	61.6	58.2	55.4	30.1	26.22	27.12	175.6	83.44	487	0.3	670	590	121.8	11.94	70
1.2	286	279	275	0.2	0.2	0.2	0.9	0.9	0.9	1	1	1	63.8	60.9	61.38	25.4	22.77	24.42	186.1	72.59	585	0.3	680	595	163.8	12.5	88.06
1.4	290	283	280	0.3	0.3	0.3	0.9	0.9	0.9	1	1	1	72	71.8	64.4	30.54	31.33	29.48	208.2	91.35	616	0.3	700	600	178.6	14.28	85.78
1.6	291	283	279	0.3	0.3	0.3	0.9	0.9	0.9	1	1	1	73.3	66.9	66.73	35.85	32.49	28.29	206.9	96.63	637	0.3	700	600	191.1	14.28	92.36

ตารางที่ 4.3 ตารางผลการทดลองชุดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดเรกติไฟเออร์รูปที่ 4.4 การทดลองที่ระดับแรงดันอินพุท 500 โวลต์ (VI-I)

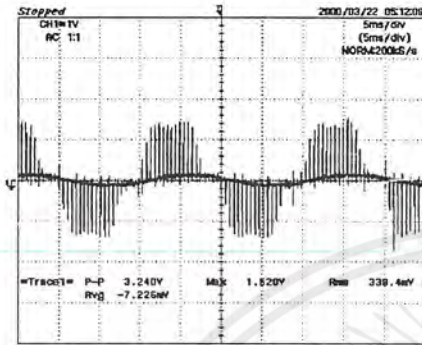
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ma	INPUT										OUTPUT							
	Van	Vbn	Vcn	Ia	PF,A	PF,B	PF,C	DPF, A	DPF, B	DPF, C	Wac	Vdc	Idc	Vdc,max	Vdc,min	Wdc	%rip	%n
0.2	429	426	417	0.21	0.77	0.76	0.75	0.99	0.99	0.99	269.52	210.00	0.18	660	580	37.80	12.12	14.02
0.4	429	426	419	0.23	0.75	0.75	0.74	1.00	1.00	1.00	295.18	340.00	0.20	880	760	68.00	13.63	23.08
0.6	432	428	421	0.26	0.80	0.80	0.80	1.00	1.00	1.00	338.82	414.00	0.24	960	800	99.36	16.66	29.32
0.8	432	4245	421	0.28	0.88	0.89	0.88	1.00	1.00	1.00	356.79	623.00	0.28	1000	840	174.00	16.00	48.89
1	430	425	425	0.29	0.94	0.94	0.93	1.00	1.00	1.00	369.62	750.00	0.32	1000	800	240.00	12.00	64.92
1.2	429	425	425	0.30	0.96	0.96	0.95	1.00	1.00	1.00	382.46	870.00	0.35	1040	900	304.00	13.46	79.01
1.4	431	425	420	0.31	0.96	0.96	0.96	1.00	1.00	1.00	397.86	930.00	0.36	1040	900	334.00	13.46	84.14
1.6	431	425	418	0.31	0.97	0.97	0.97	1.00	1.00	1.00	397.86	959.00	0.37	1040	900	354.83	10.00	89.18

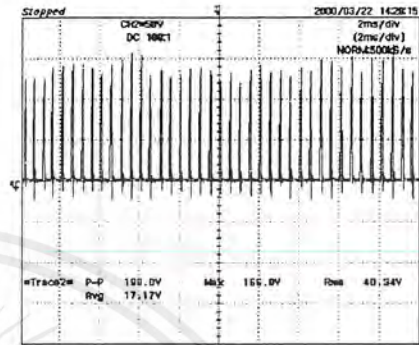
หมายเหตุ : เนื่องจากเครื่องวัด FRUKE รุ่น 41B วัดได้พิกัดแรงดัน 600 โวลต์ ดังนั้นข้อมูลในตารางนี้จึงได้ใช้เครื่องมือวัดที่ภาค
วิชาอยู่ซึ่งค่าจากตลาดเคลื่อนได้เต็มแนวโน้ตามทฤษฎี

ตารางที่ 4.4 ตารางผลการทดลองชุดคอนเวอร์เตอร์ในโหมดรีกติฟายเออร์รูปที่ 4.4 การทดลองที่ระดับแรงดันอินพุท 741 โวลต์ (VI-I)

4.3 รูปสัญญาณของกระแสอินพุทและแรงดันไฟตรงเอาต์พุตที่ได้จากการทดลองที่ระดับแรงดัน
220V , 380V , 500V , 741V

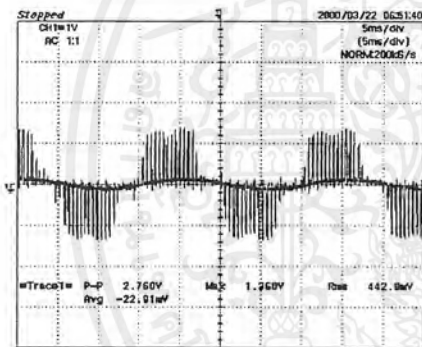


(ก)

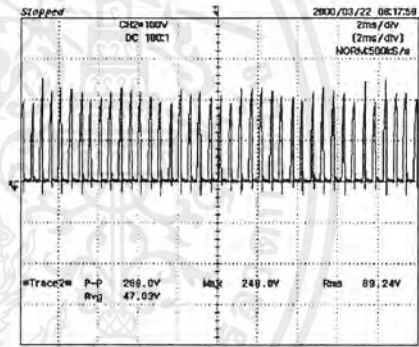


(ข)

รูปที่ 4.5 ที่ $V=220$, $Ma=0.2$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุตที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น

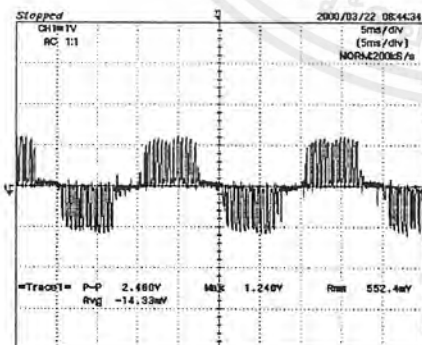


(ก)

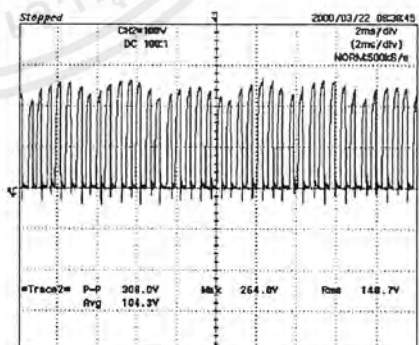


(ข)

รูปที่ 4.6 ที่ $V=220$, $Ma=0.4$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุตที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น

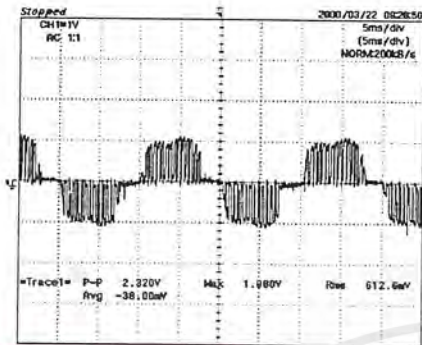


(ก)

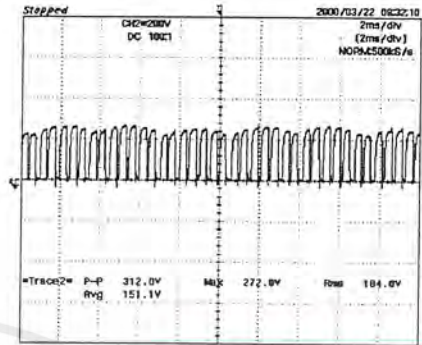


(ข)

รูปที่ 4.7 ที่ $V=220$, $Ma=0.6$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุตที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น

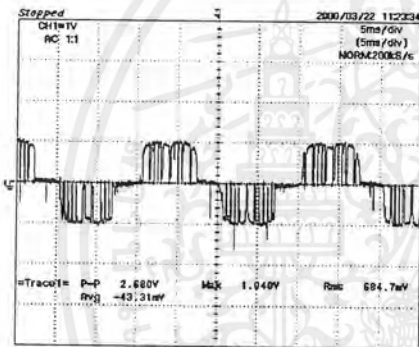


(ก)

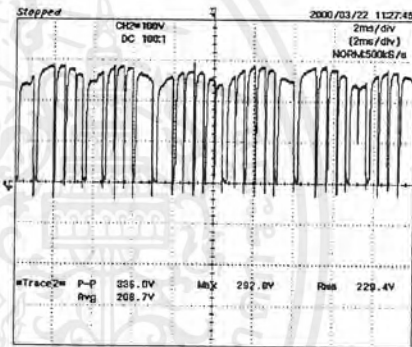


(ข)

รูปที่ 4.8 ที่ $V=220$, $Ma=0.8$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น

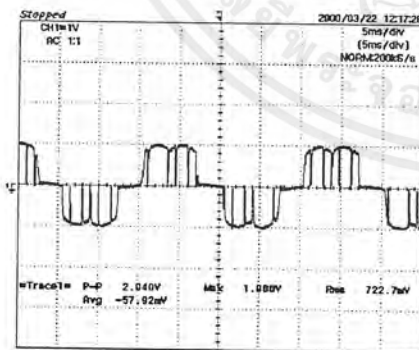


(ก)

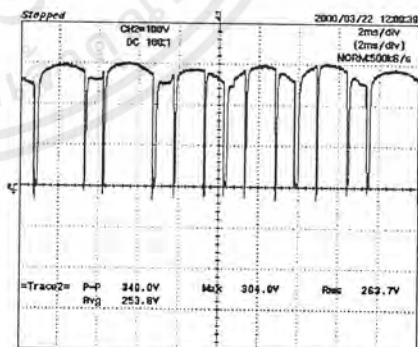


(ข)

รูปที่ 4.9 ที่ $V=220$, $Ma=1.0$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น



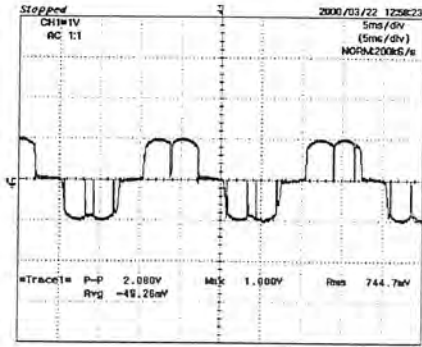
(ก)



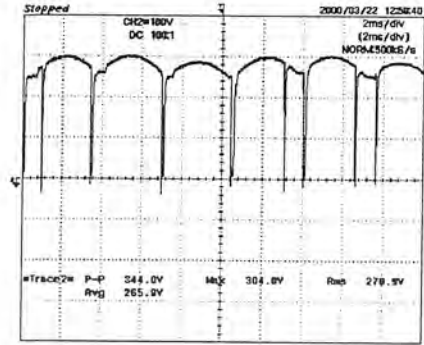
(ข)

รูปที่ 4.10 ที่ $V=220$, $Ma=1.2$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

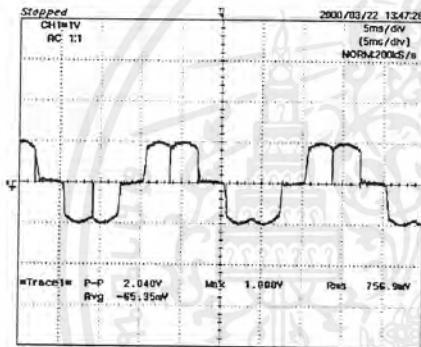


(ก)

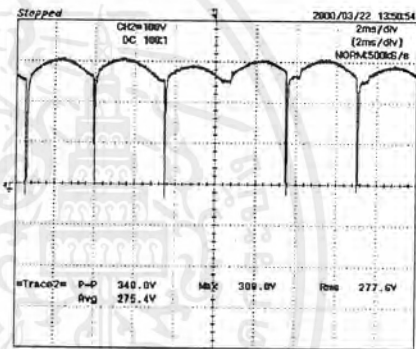


(ข)

รูปที่ 4.11 ที่ $V=220$, $Ma=1.4$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น

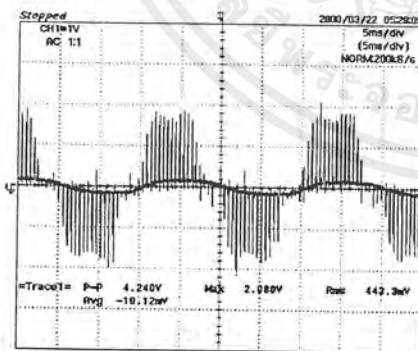


(ก)

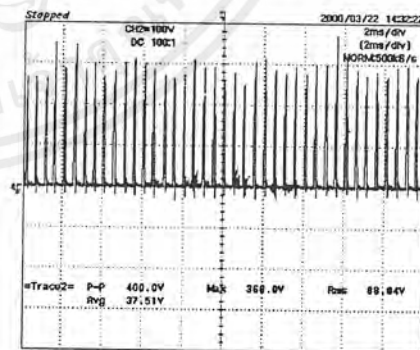


(ข)

รูปที่ 4.12 ที่ $V=220$, $Ma=1.6$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น



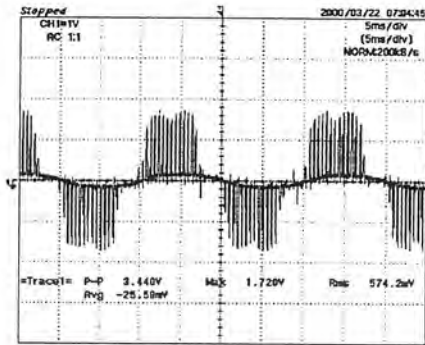
(ก)



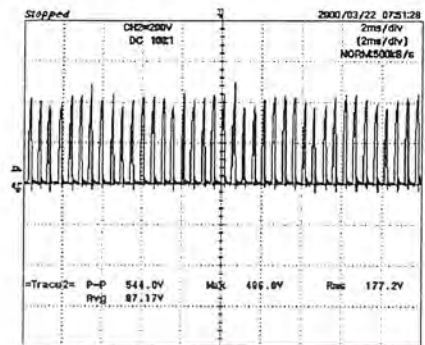
(ข)

รูปที่ 4.13 ที่ $V=380$, $Ma=0.2$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

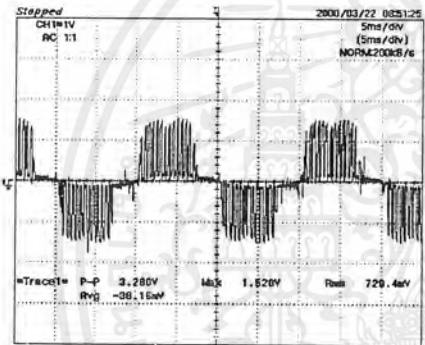


(ก)

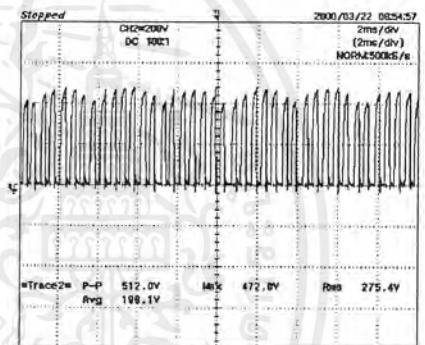


(ข)

รูปที่ 4.14 ที่ $V=380$, $Ma=0.4$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุตที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น

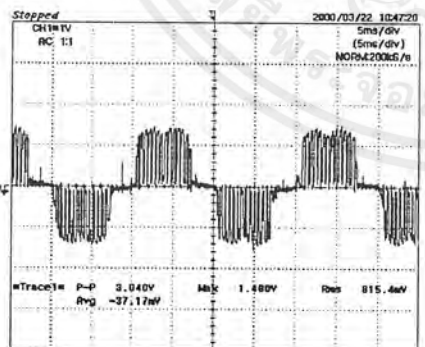


(ก)

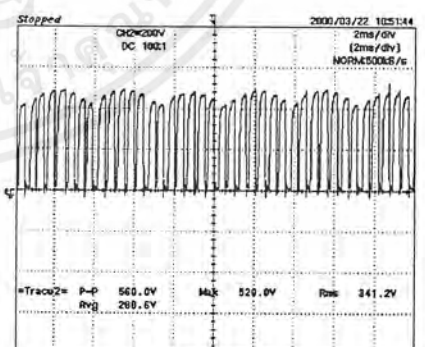


(ข)

รูปที่ 4.15 ที่ $V=380$, $Ma=0.6$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุตที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น



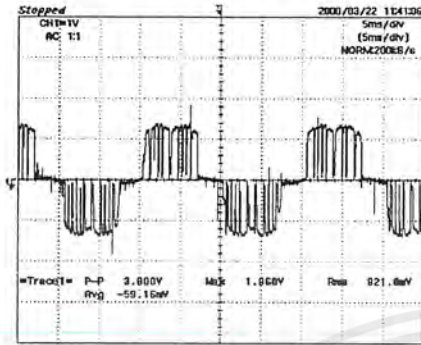
(ก)



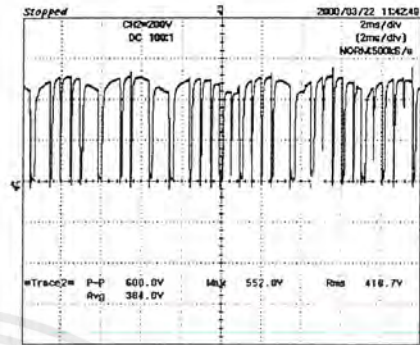
(ข)

รูปที่ 4.16 ที่ $V=380$, $Ma=0.8$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุตที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

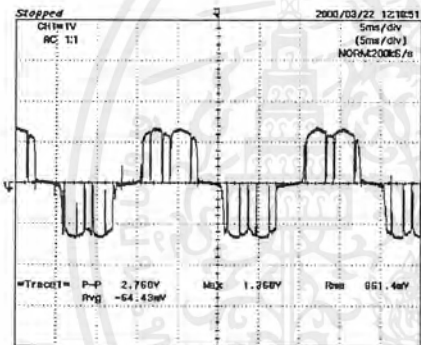


(ก)

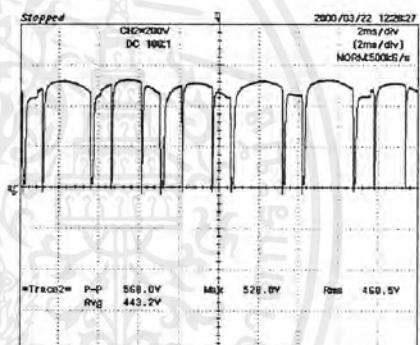


(ข)

รูปที่ 4.17 ที่ $V=380$, $Ma=1.0$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น

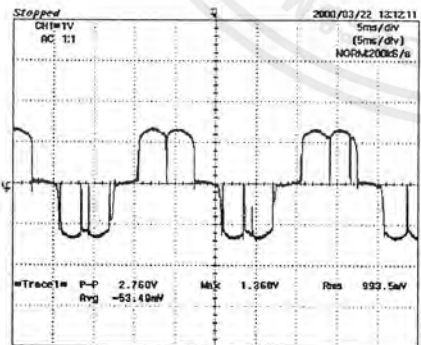


(ก)

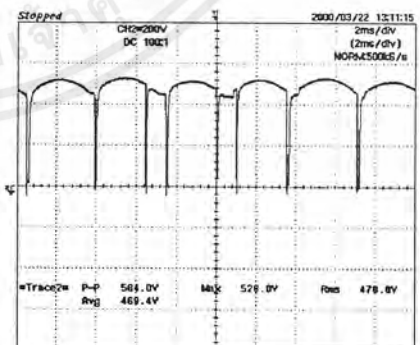


(ข)

รูปที่ 4.18 ที่ $V=380$, $Ma=1.2$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น



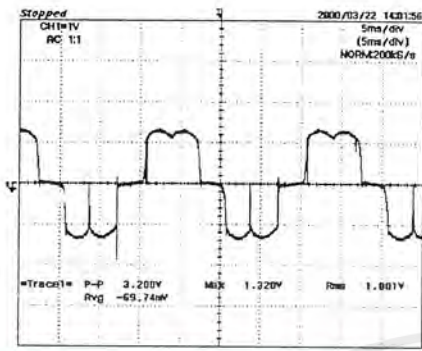
(ก)



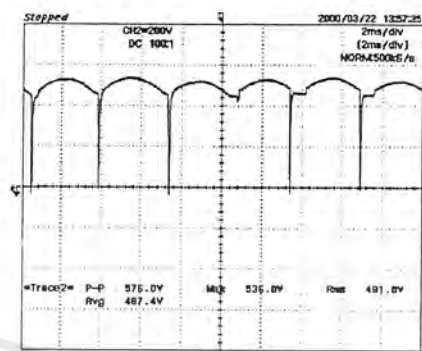
(ข)

รูปที่ 4.19 ที่ $V=380$, $Ma=1.4$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

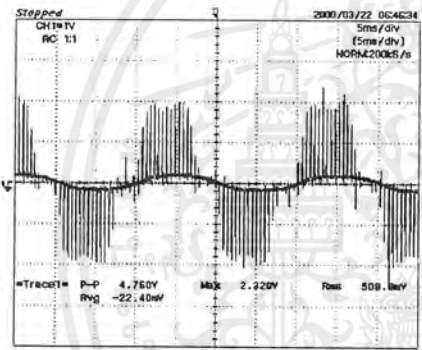


(ก)

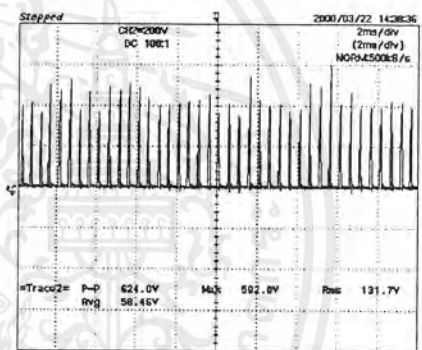


(ข)

รูปที่ 4.20 ที่ $V=380$, $Ma=1.6$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุตที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น

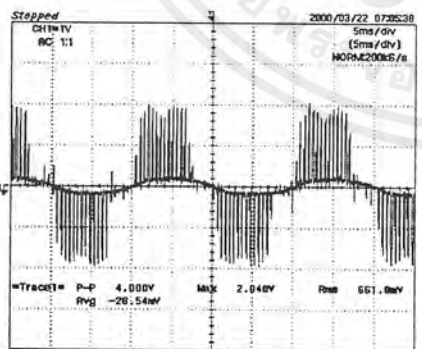


(ก)

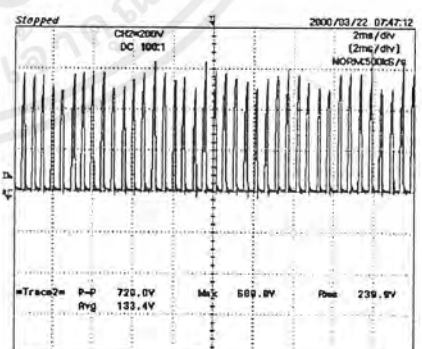


(ข)

รูปที่ 4.21 ที่ $V=500$, $Ma=0.2$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุตที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น



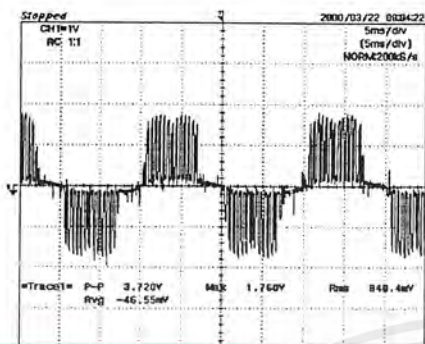
(ก)



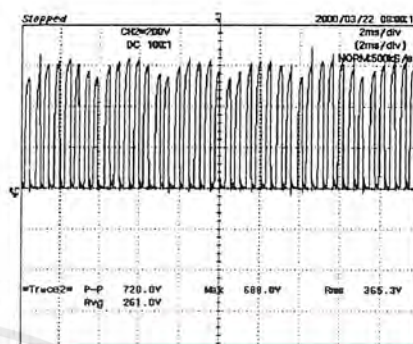
(ข)

รูปที่ 4.22 ที่ $V=500$, $Ma=0.4$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุตที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

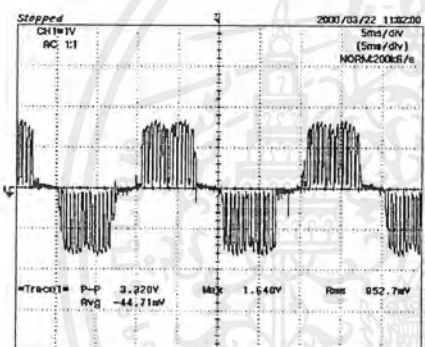


(ก)

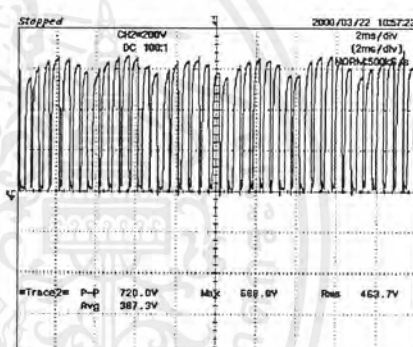


(ข)

รูปที่ 4.23 ที่ $V=500$, $Ma=0.6$ (ก) สัญญาณของกระแสน้ำวนที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น

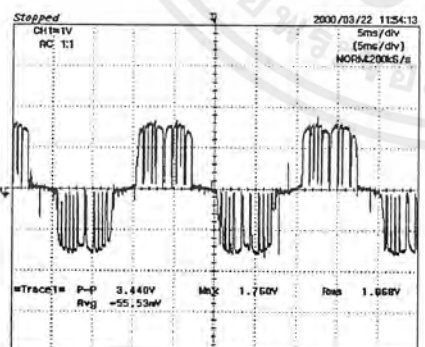


(ก)

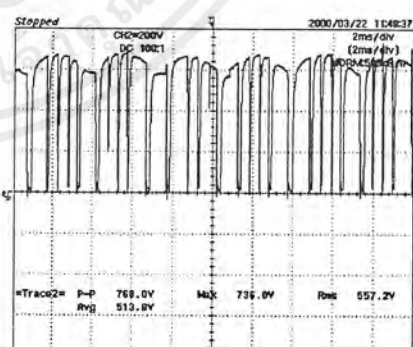


(ข)

รูปที่ 4.24 ที่ $V=500$, $Ma=0.8$ (ก) สัญญาณของกระแสน้ำวนที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น



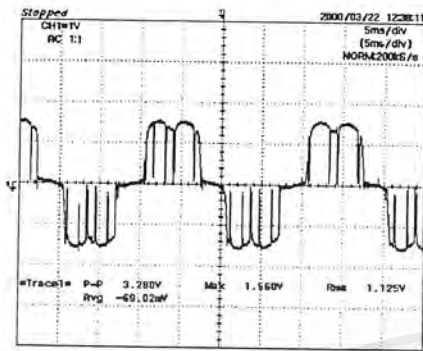
(ก)



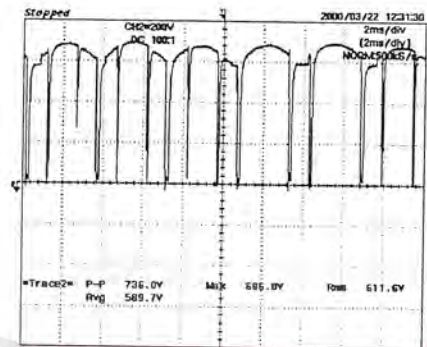
(ข)

รูปที่ 4.25 ที่ $V=500$, $Ma=1.0$ (ก) สัญญาณของกระแสน้ำวนที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

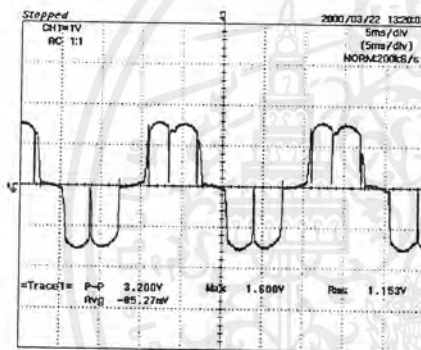


(ก)

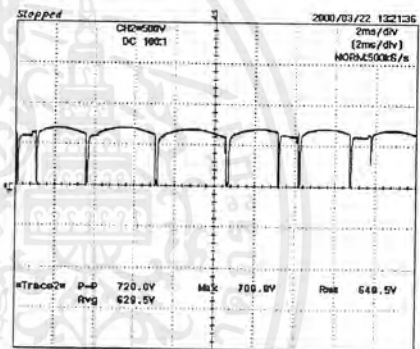


(ข)

รูปที่ 4.26 ที่ $V=500$, $Ma= 1.2$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุตที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น

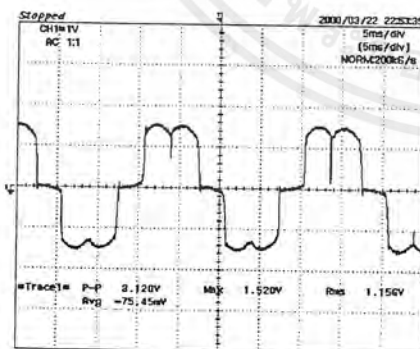


(ก)

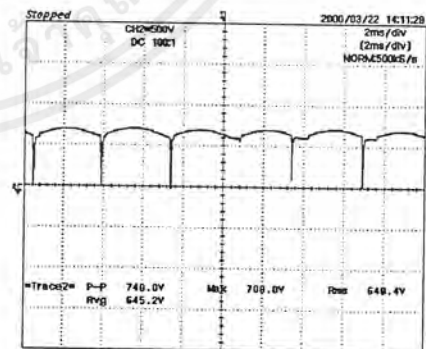


(ข)

รูปที่ 4.27 ที่ $V=500$, $Ma= 1.4$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุตที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น



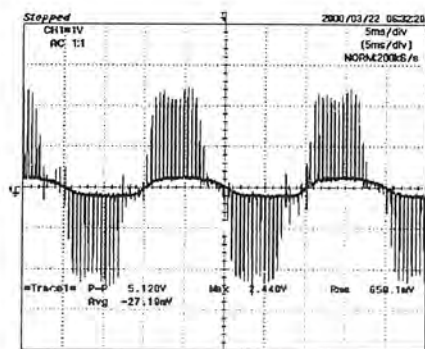
(ก)



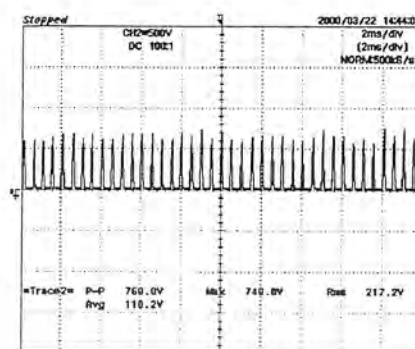
(ข)

รูปที่ 4.28 ที่ $V=500$, $Ma= 1.6$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุตที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

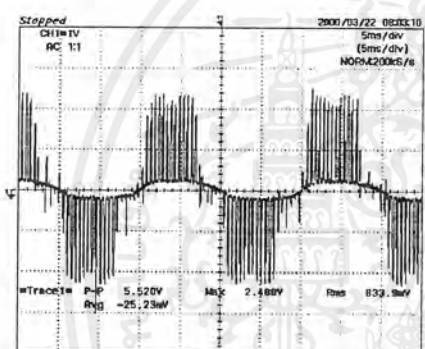


(ก)

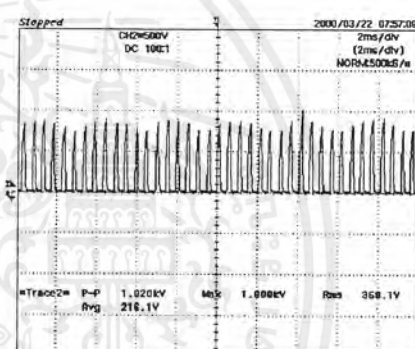


(ข)

รูปที่ 4.29 ที่ $V=741$, $Ma=0.2$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุตที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น

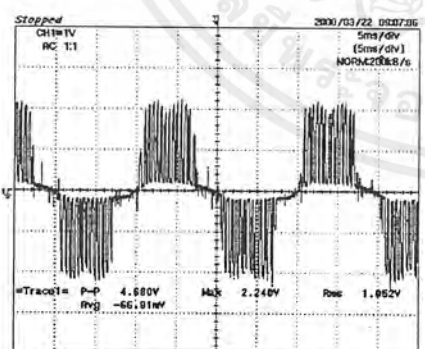


(ก)

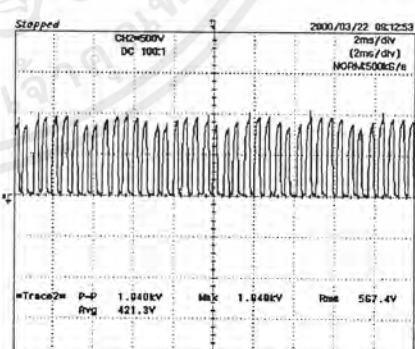


(ข)

รูปที่ 4.30 ที่ $V=741$, $Ma=0.4$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุตที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น



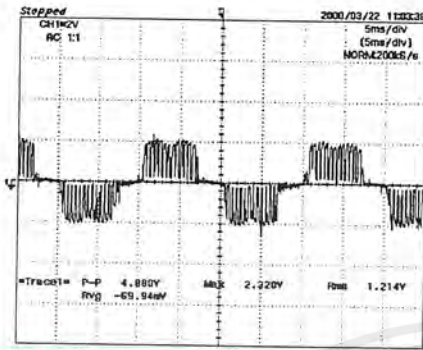
(ก)



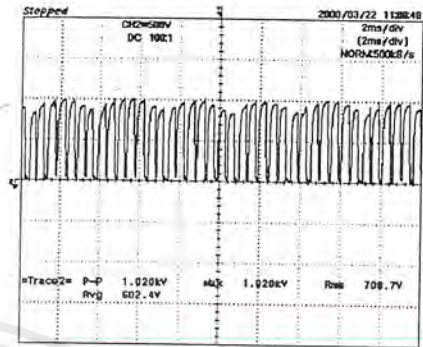
(ข)

รูปที่ 4.31 ที่ $V=741$, $Ma=0.6$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุตที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

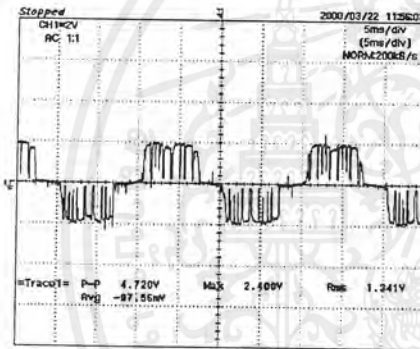


(ก)

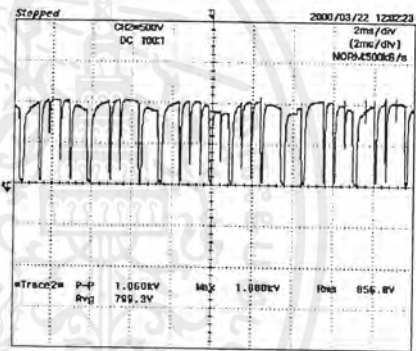


(ข)

รูปที่ 4.32 ที่ $V=741$, $Ma=0.8$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น

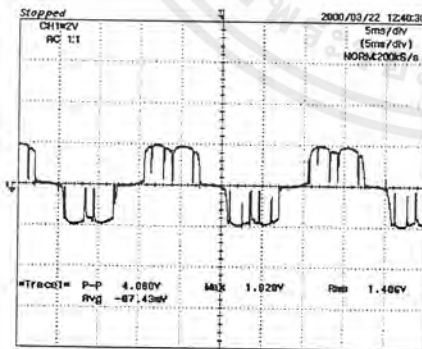


(ก)

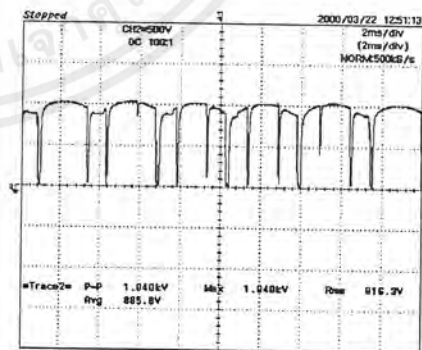


(ข)

รูปที่ 4.33 ที่ $V=741$, $Ma=1.0$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น



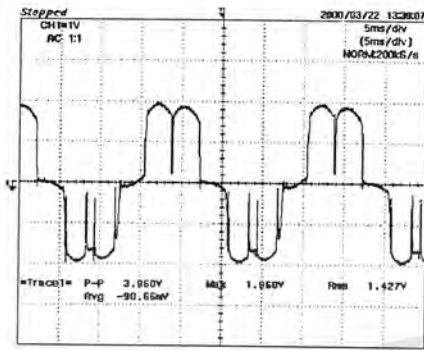
(ก)



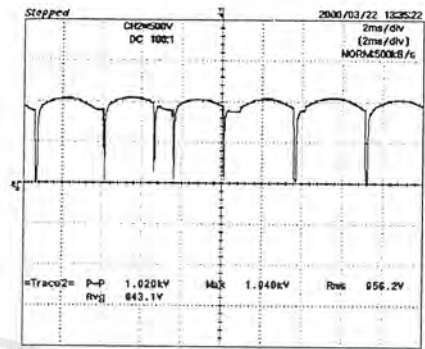
(ข)

รูปที่ 4.34 ที่ $V=741$, $Ma=1.2$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุทที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

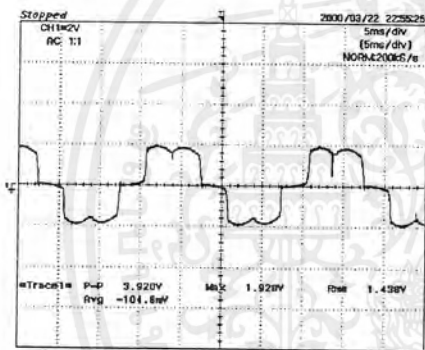


(ก)

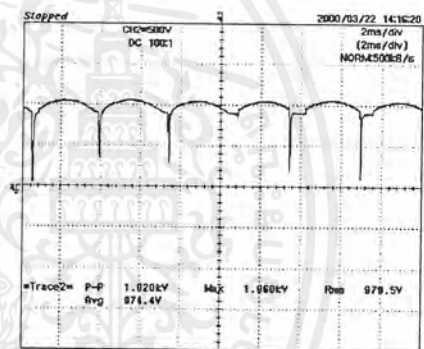


(ข)

รูปที่ 4.35 ที่ $V=741$, $Ma=1.4$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุตที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น



(ก)

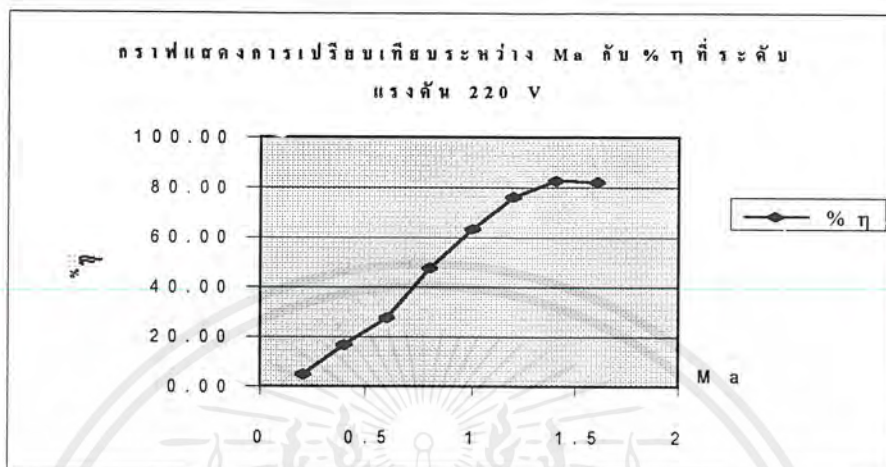


(ข)

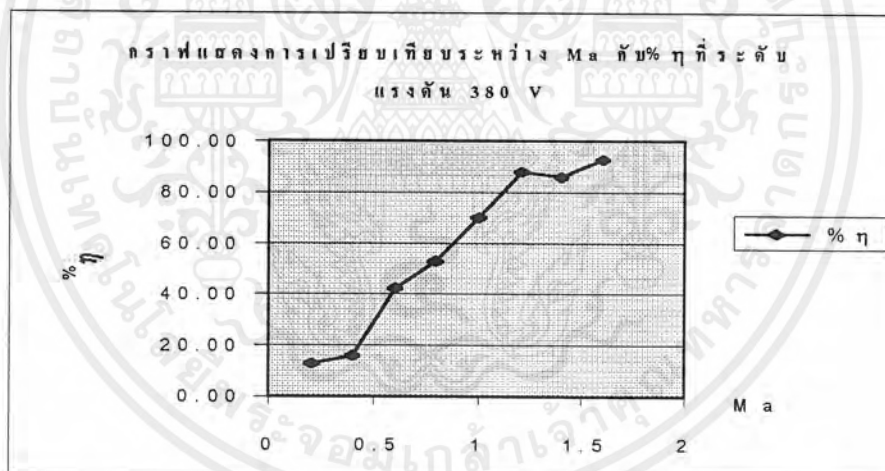
รูปที่ 4.36 ที่ $V=741$, $Ma=1.6$ (ก) สัญญาณของกระแสอินพุตที่เกิดขึ้น (ข) สัญญาณแรงดันไฟตรงที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการปรับมอดูละชันอินเดกซ์ กับประสิทธิภาพของชุดคอนเวอร์เตอร์ที่ระดับแรงดัน 220V , 380V , 500V , 741V

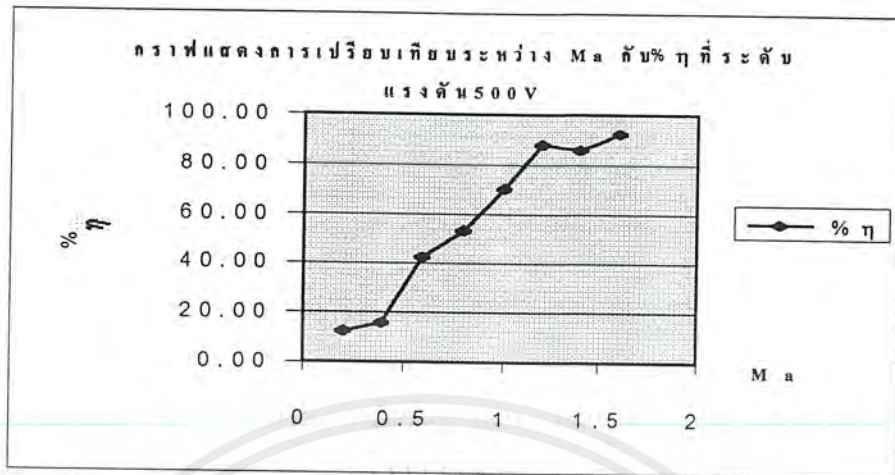


(ก)

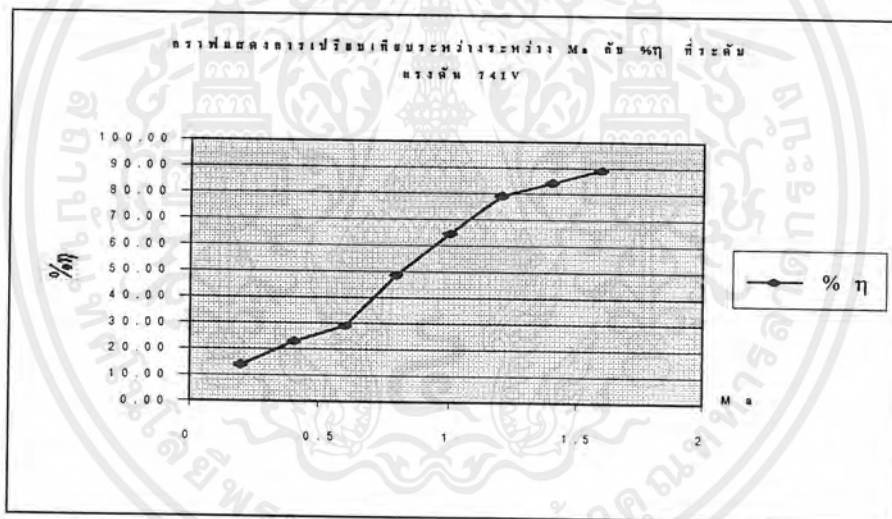


(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

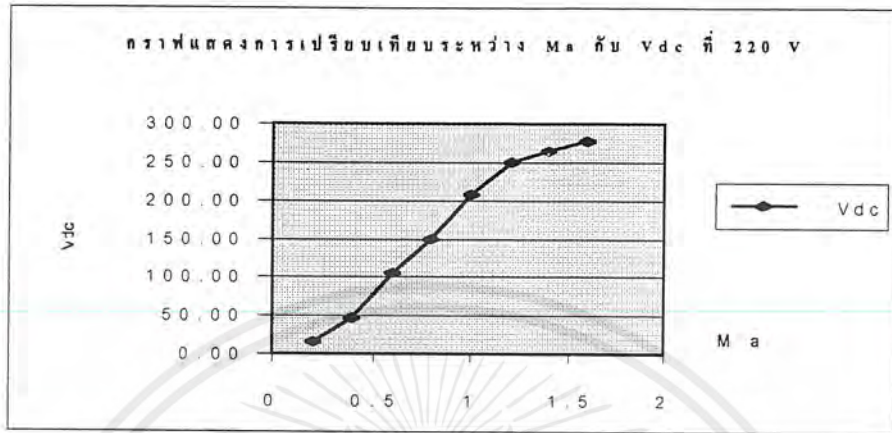


(ง)

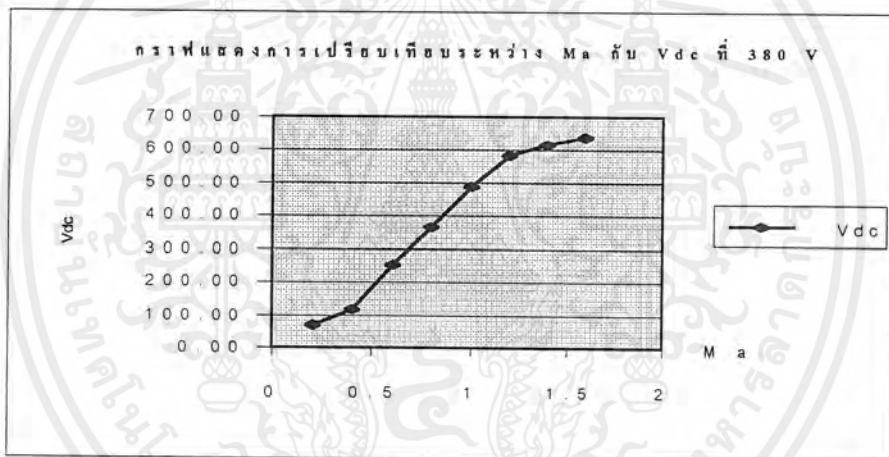
รูปที่ 4.37 แสดงกราฟการเปรียบเทียบระหว่าง Ma กับ $\% \eta$ ที่ระดับแรงดัน (ข) 220V (ค) 380V (ค) 500V (ง) 741V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

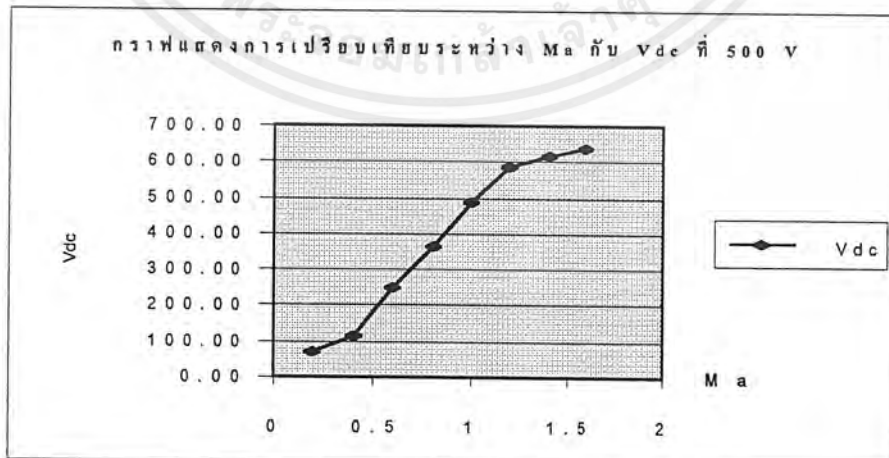
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการปรับมอดูเลชันอินเด็กซ์กับแรงดันไฟตรงที่เอาต์พุตที่
ระดับแรงดัน 220V , 380V , 500V , 741V



(ก)

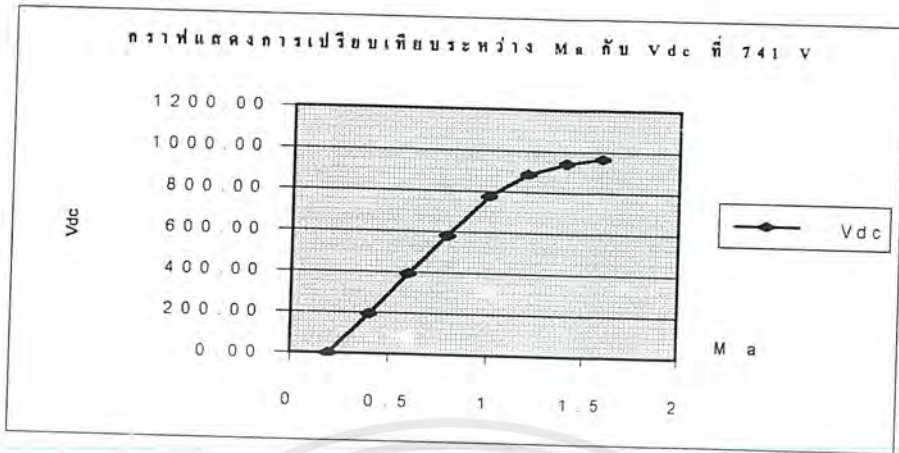


(ข)



(ค)

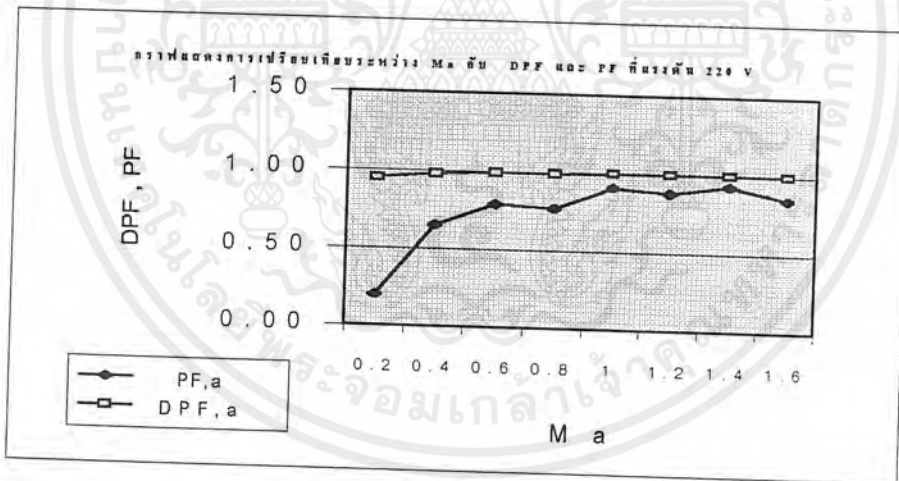
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง)

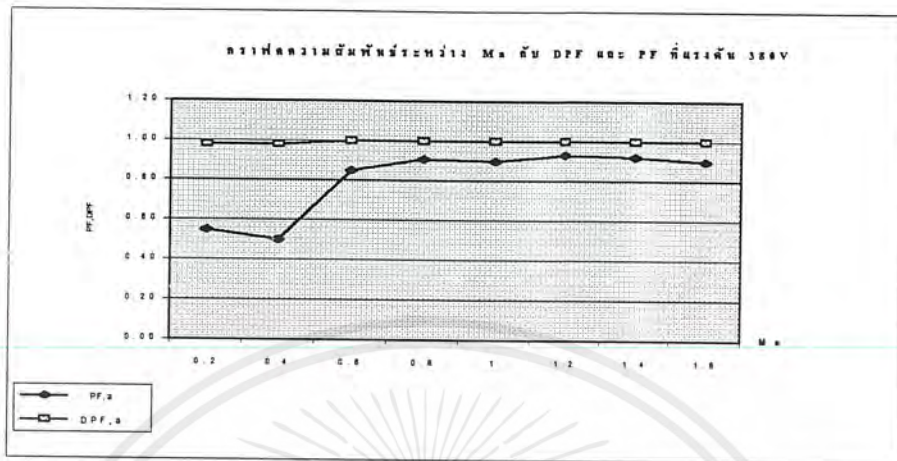
รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการปรับมอดดูเลชั่นอินเด็กซ์กับแรงดันไฟตรงที่เอาท์พุทที่ระดับแรงดัน (ก)220V , (ข)380V , (ค)500V , (ง)741V

4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการปรับมอดดูเลชั่นอินเด็กซ์กับค่า PF และ DPF ระดับแรงดัน 220V , 380V , 500V , 741V

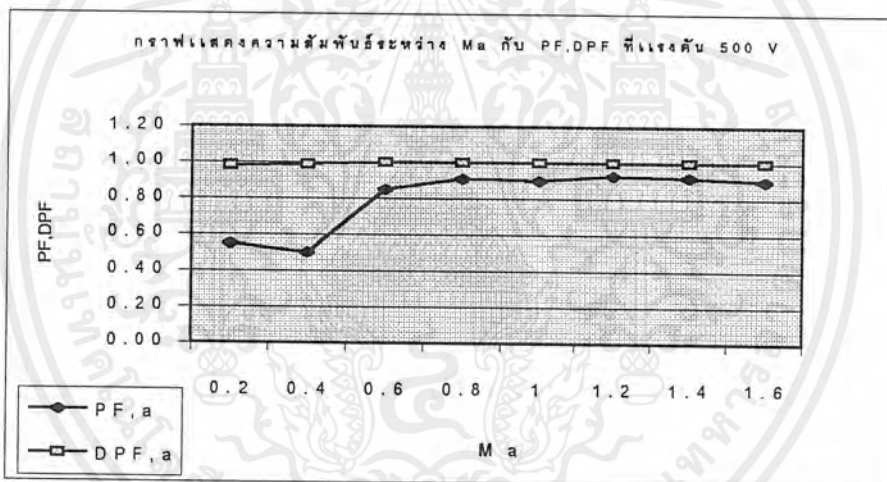


(ก)

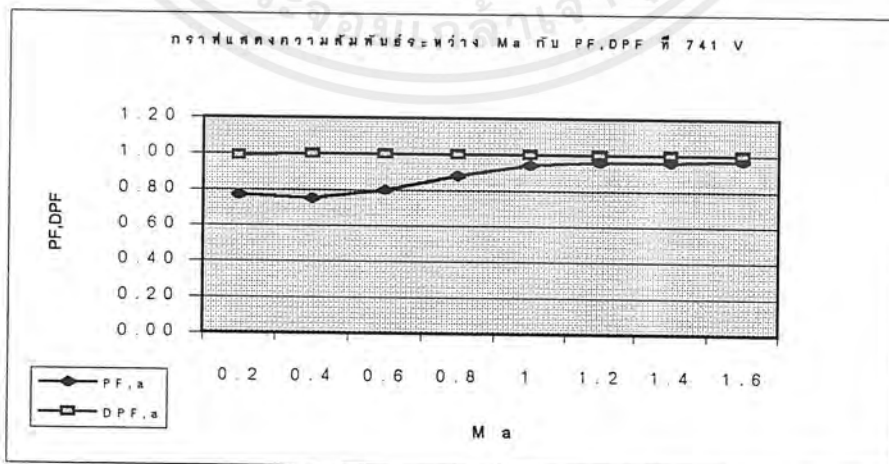
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)



(ค)

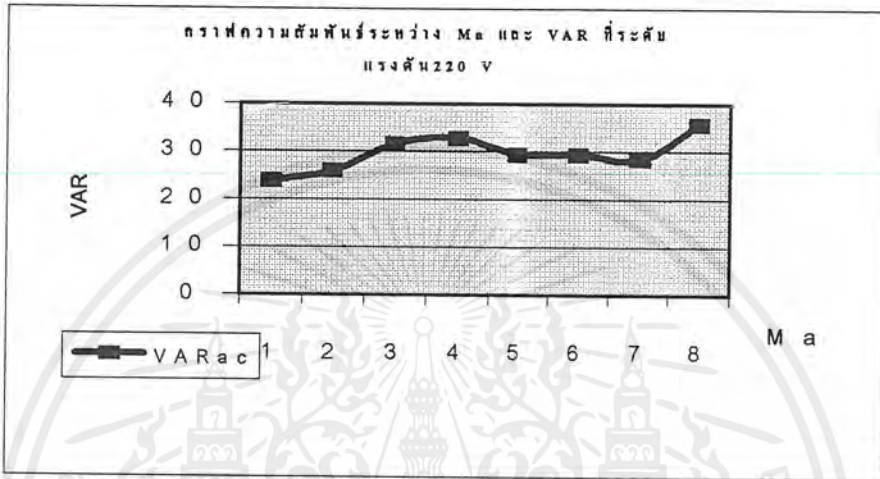


(ง)

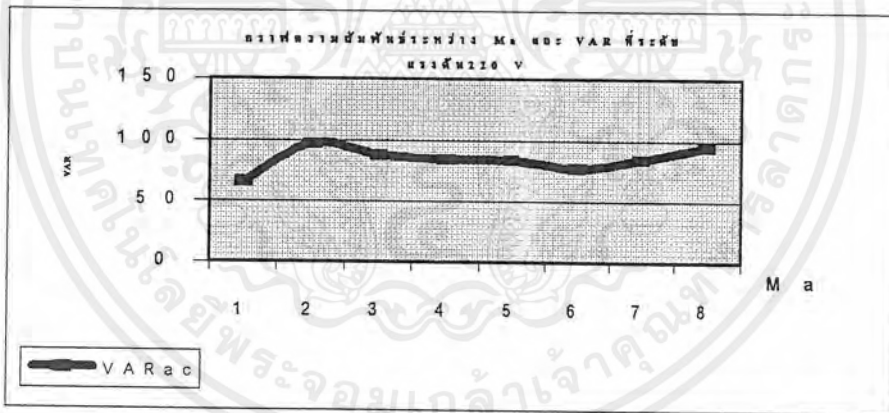
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการปรับมอดูละชั้นอินเด็กซ์กับค่า PF และ PDF ระดับแรงดัน (ก)220V , (ข)380V , (ค)500V , (ง)741V

4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการปรับมอดูละชั้นอินเด็กซ์กับค่า VAR ระดับแรงดัน 220V , 380V , 500V , 741V

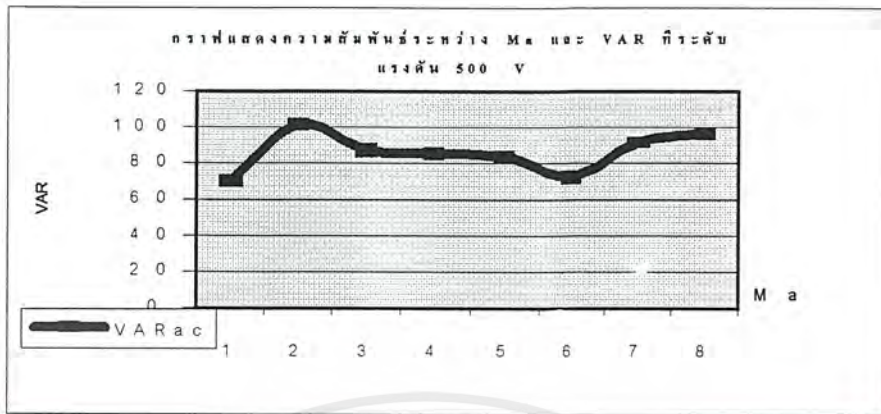


(ก)

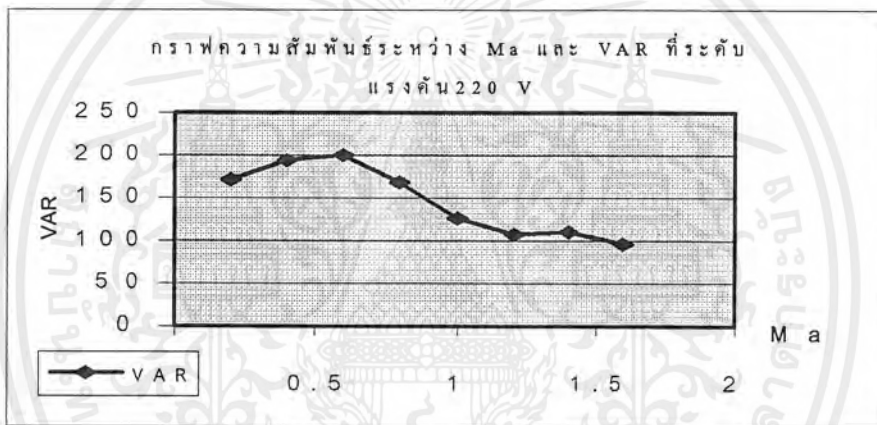


(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

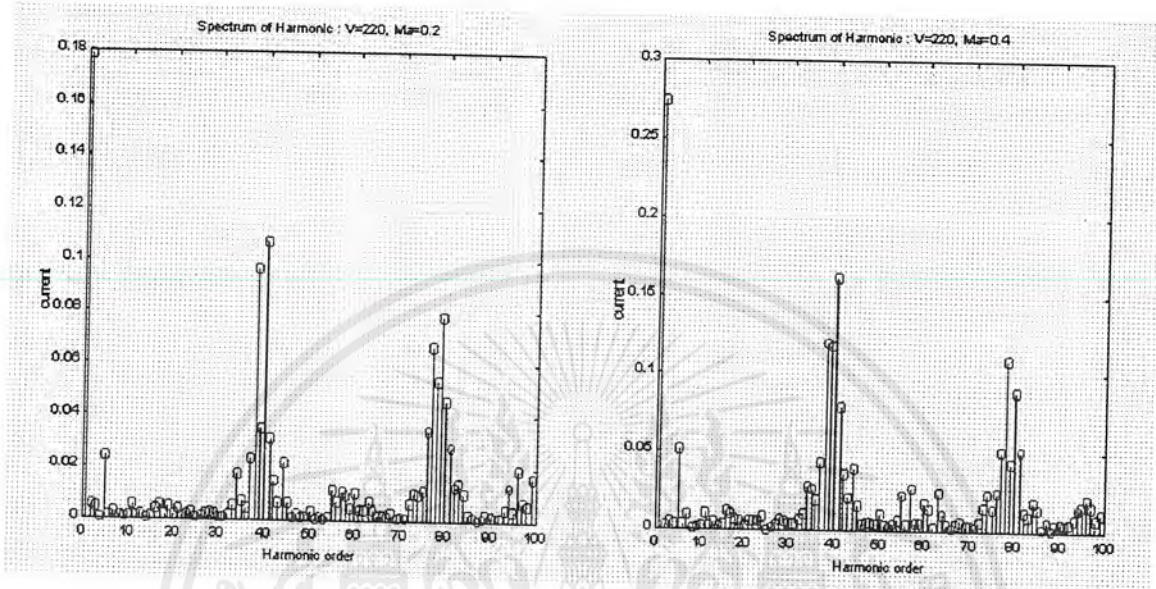


(ง)

รูป 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการปรับมอดดูชั้นอินเด็กซ์กับค่า VAR ระดับแรงดัน (ก)220V , (ข)380V , (ค)500V , (ง)741V

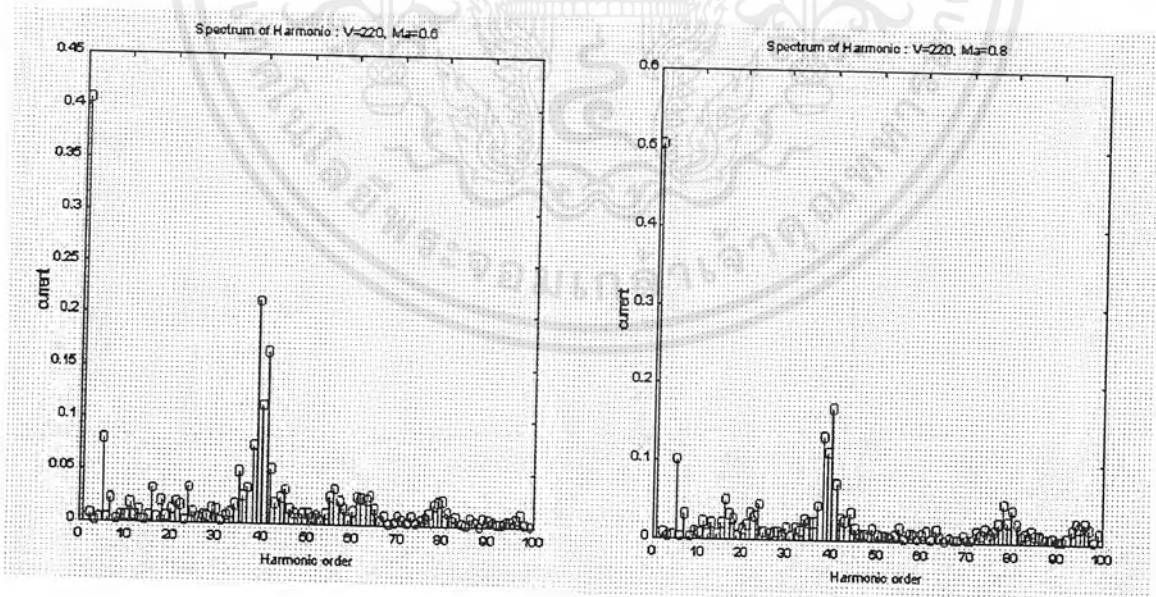
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 รูปสัญญาณแสดงสเปกตรัมฮาร์โมนิกของกระแสระหว่างการปรับมอดดูเลชันอินเด็กซ์ที่ระดับแรงดัน 220V, 380 V, 500, 741 V



(ก)

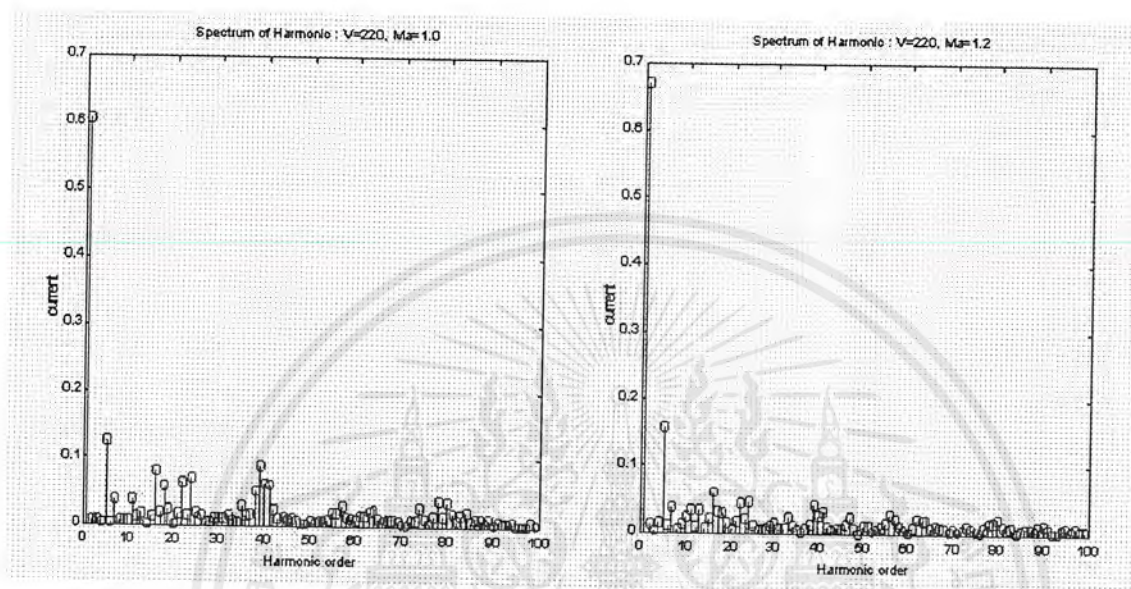
(ข)



(ค)

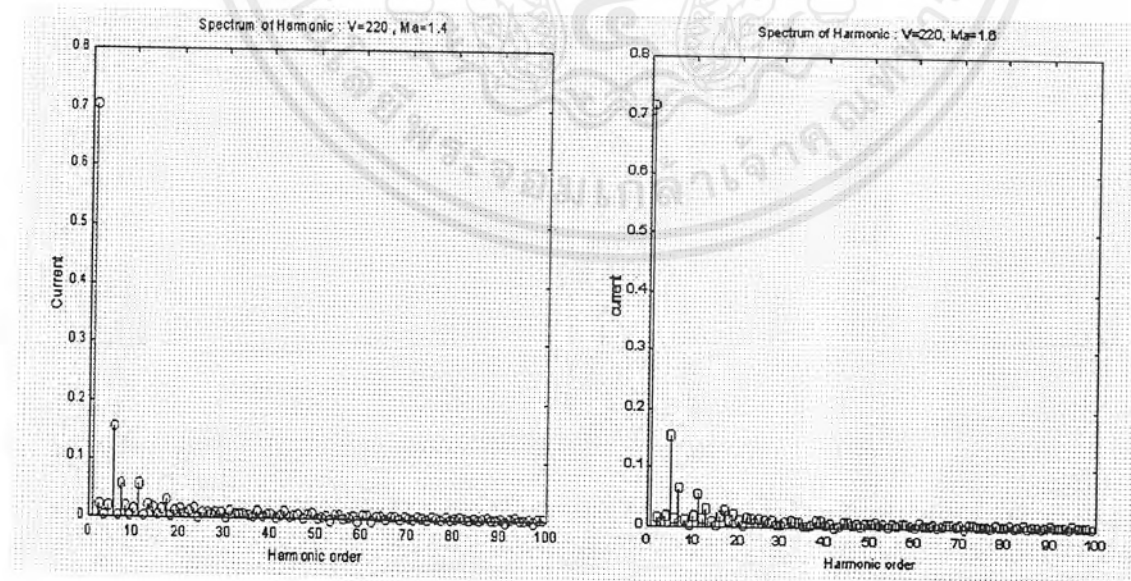
(ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)

(ฉ)

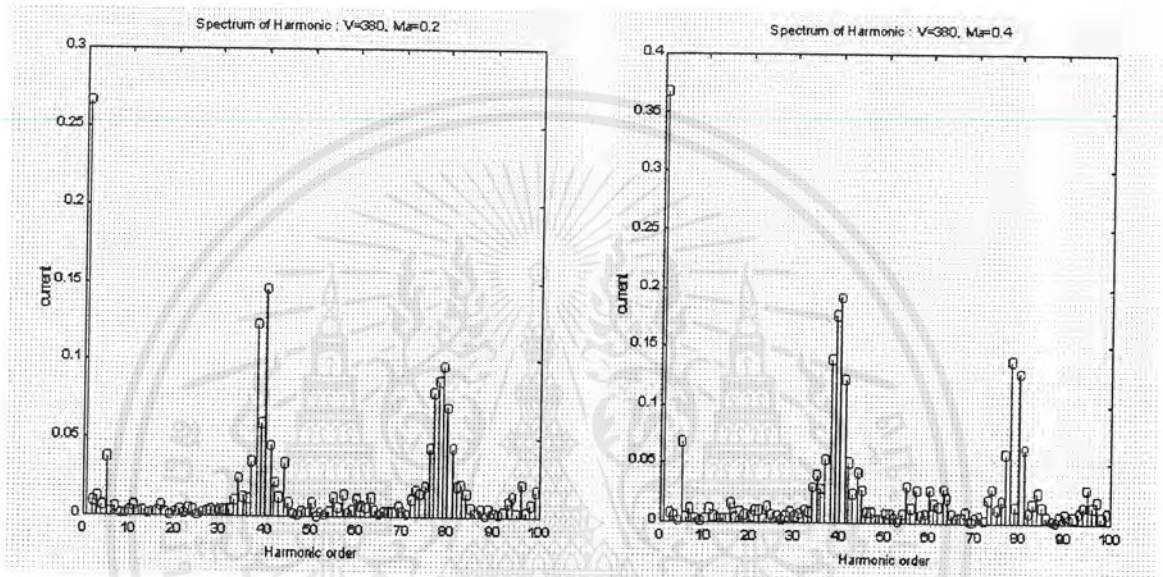


(ช)

(ซ)

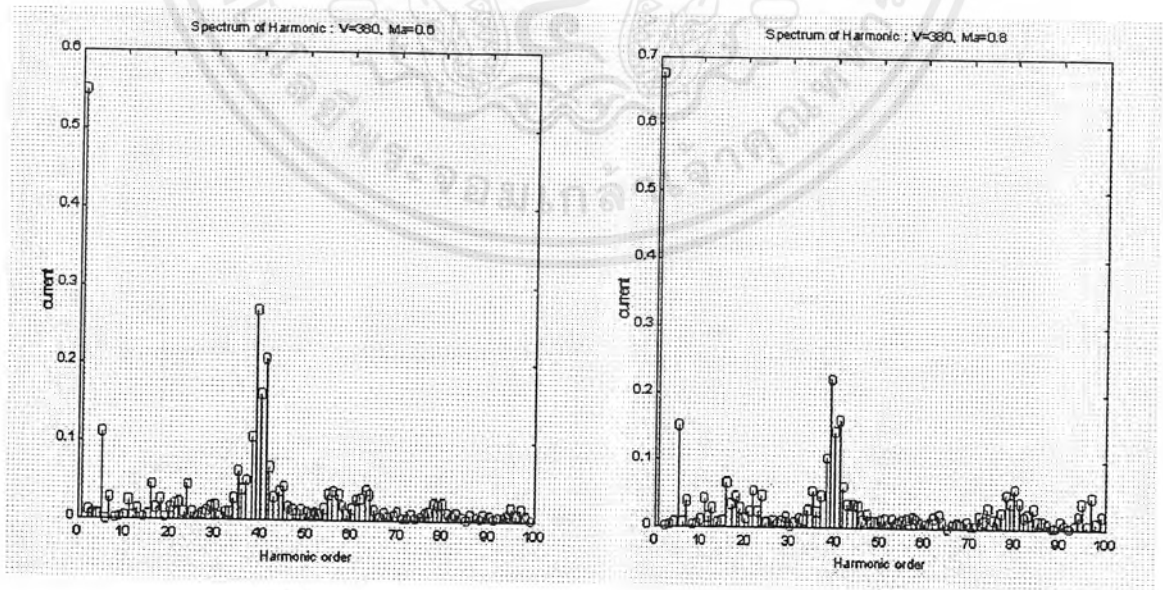
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.47 รูปสเปกตรัมแสดงสเปกตรัมฮาร์โมนิกของกระแสที่ระดับแรงดัน 220 โวลต์ เมื่อปรับมอดูละชั้นอินเด็คส์ที่ (ก) $Ma = 0.2$ (ข) $Ma = 0.4$ (ค) $Ma = 0.6$ (ง) $Ma = 0.8$ (จ) $Ma = 1.0$ (ฉ) $Ma = 1.2$ (ช) $Ma = 1.4$ (ซ) $Ma = 1.6$



(ก)

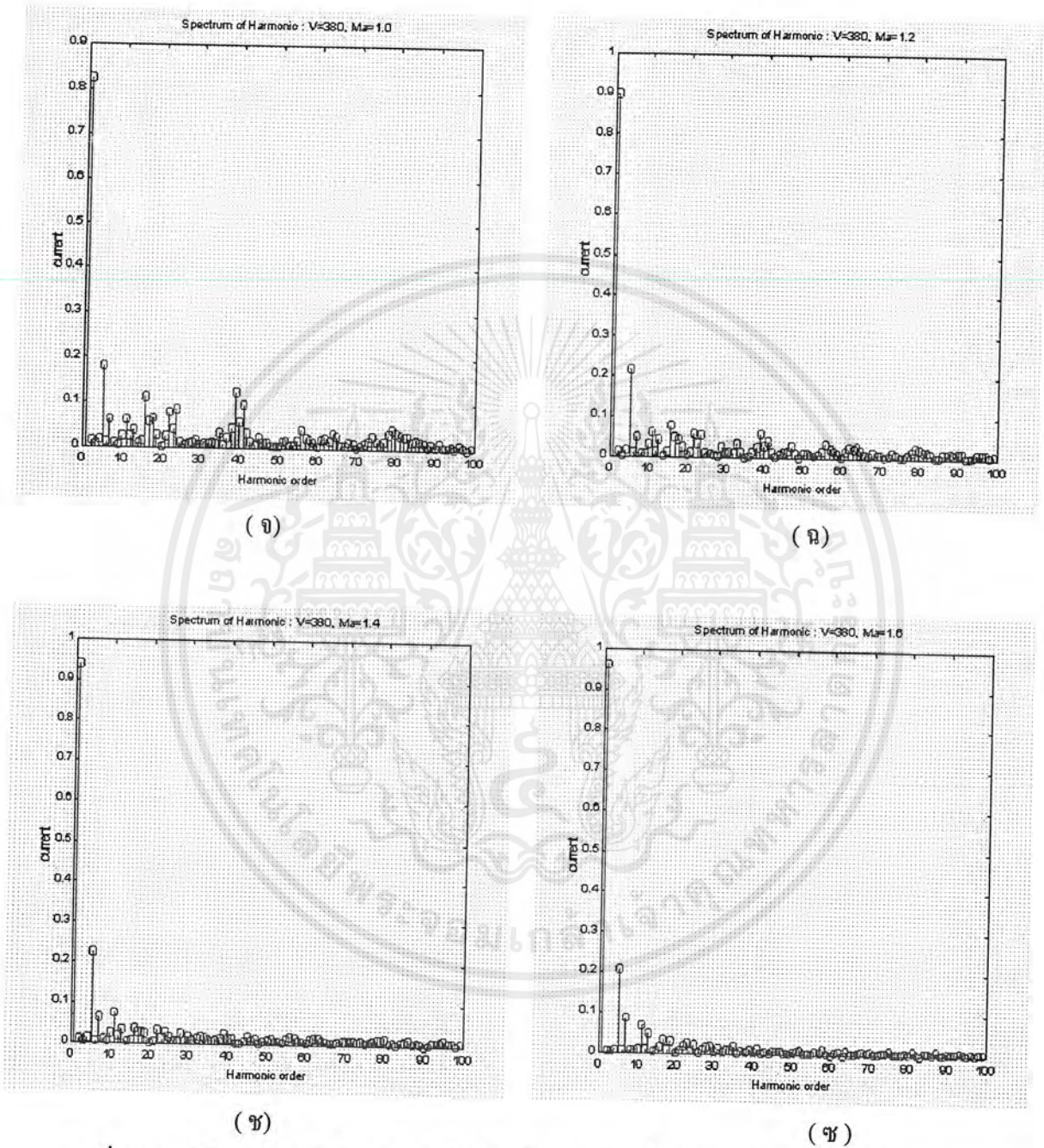
(ข)



(ค)

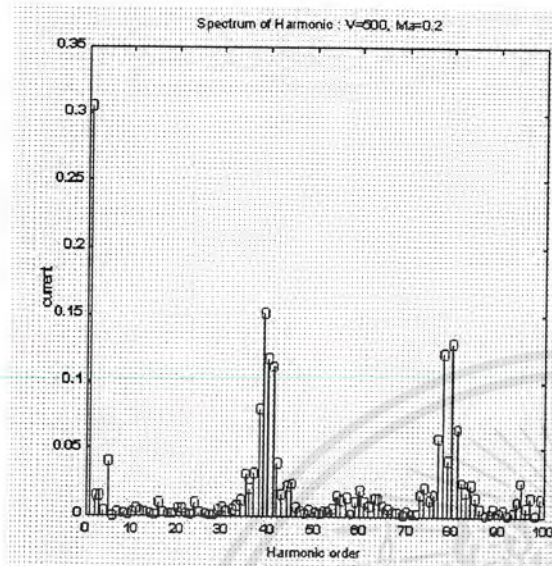
(ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

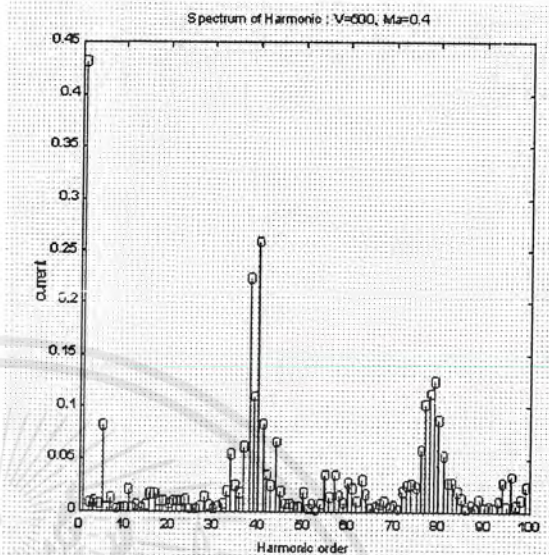


รูปที่ 4.41 รูปสัญญาณแสดงสเปกตรัมฮาร์มอนิกส์ของกระแสที่ระดับแรงดัน 380 โวลต์ เมื่อปรับมอดดูเลขชั้นอินเด็กส์ที่ (ก) $Ma=0.2$ (ข) $Ma=0.4$ (ค) $Ma=0.6$ (ง) $Ma=0.8$ (จ) $Ma=1.0$ (ฉ) $Ma=1.2$ (ช) $Ma=1.4$ (ซ) $Ma=1.6$

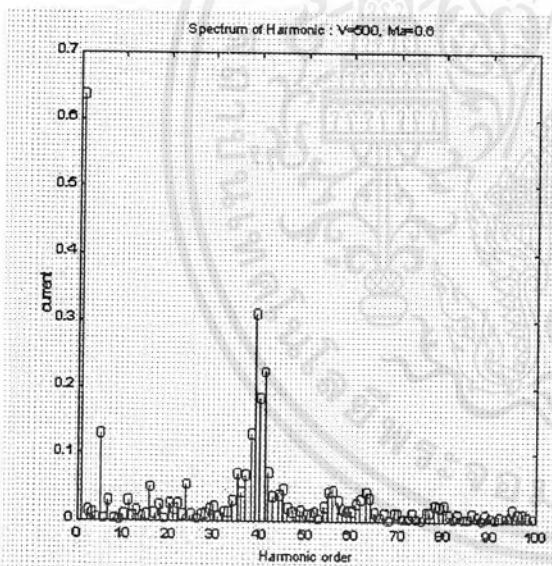
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



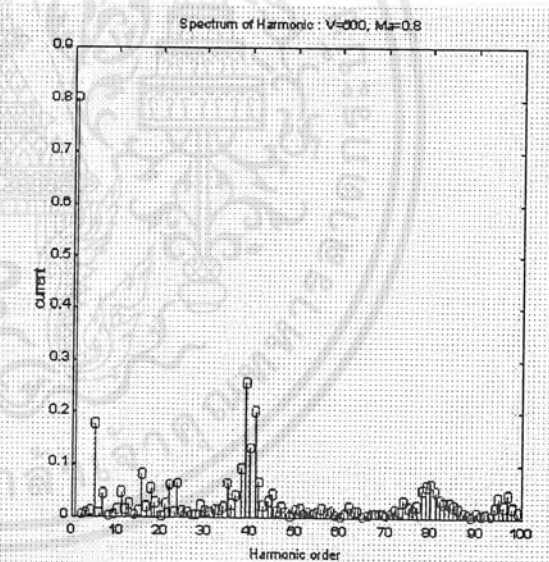
(ก)



(ข)

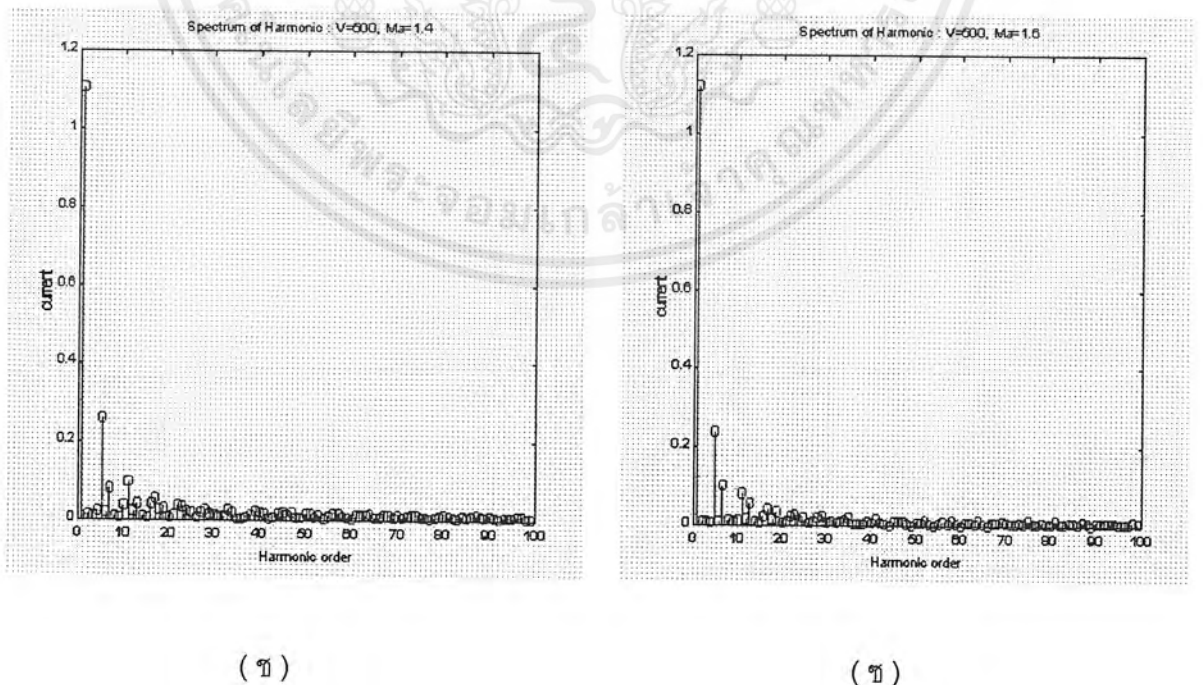
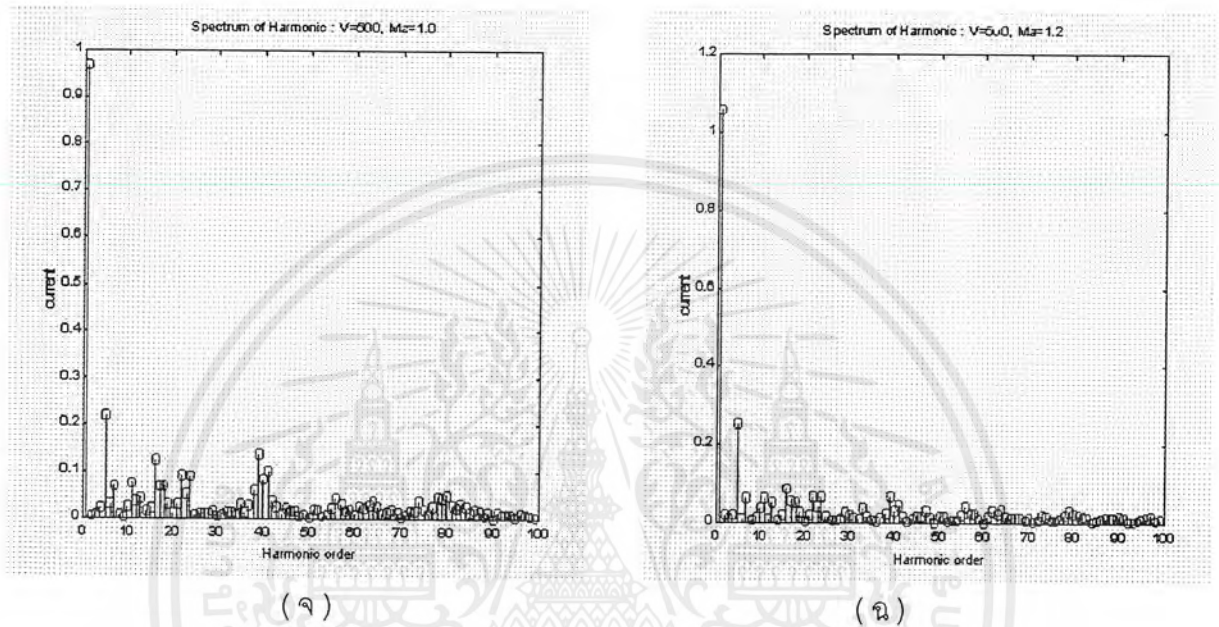


(ค)



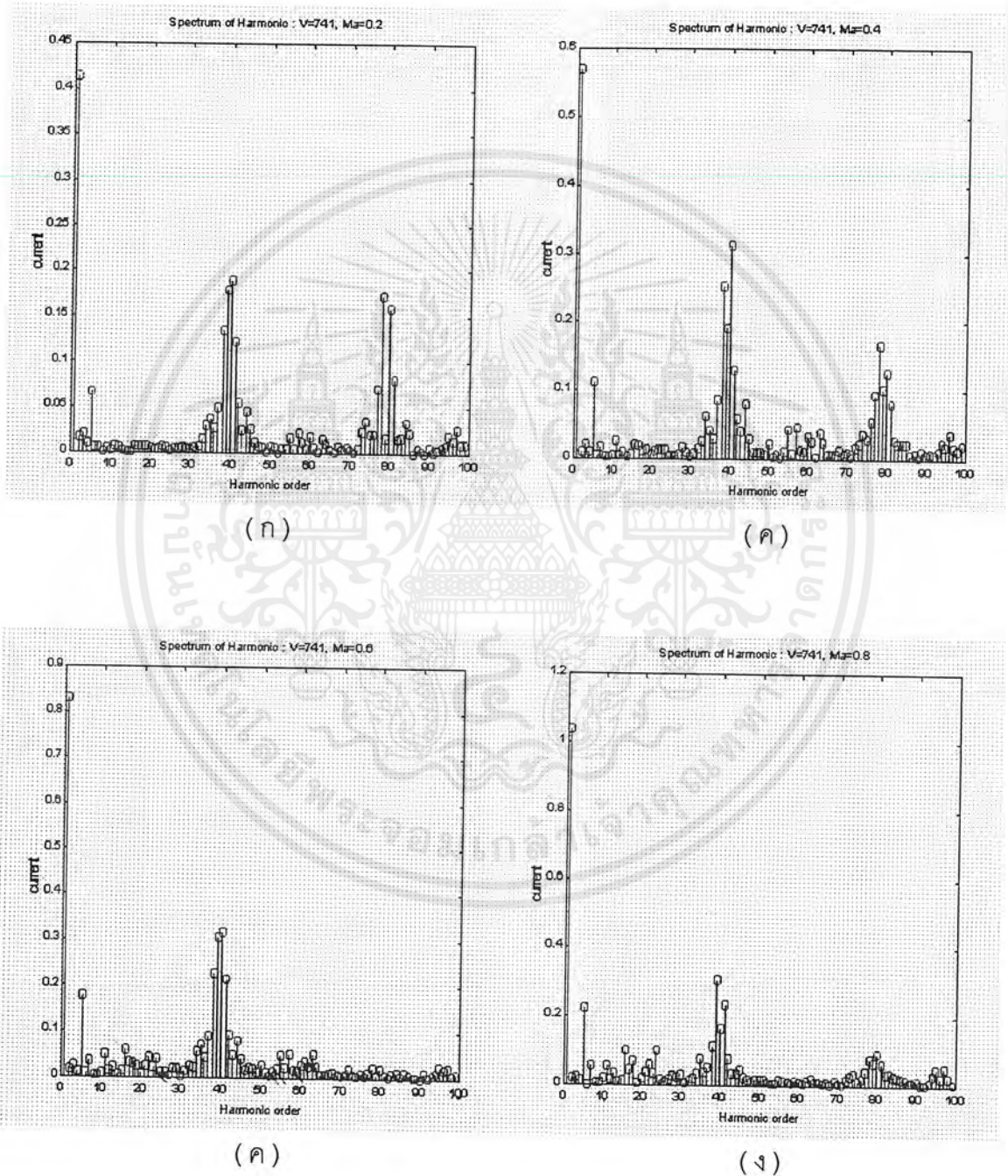
(ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

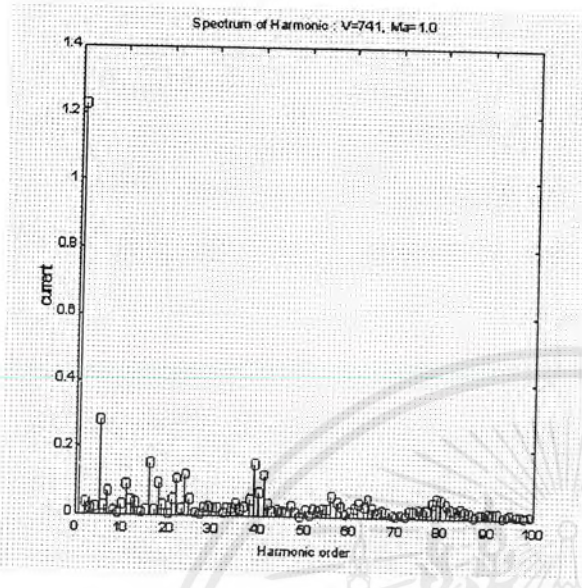


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

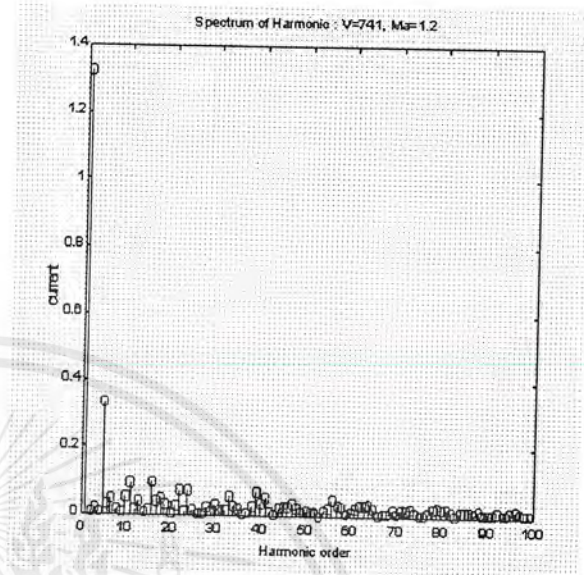
รูปที่ 4.42 รูปสัญญาณแสดงสเปกตรัมฮาร์มอนิกของกระแสที่ระดับแรงดัน 500 โวลต์ เมื่อปรับมอดดูเลชันอินเด็กส์ที่ (ก) $Ma = 0.2$ (ข) $Ma = 0.4$ (ค) $Ma = 0.6$ (ง) $Ma = 0.8$ (จ) $Ma = 1.0$ (ฉ) $Ma = 1.2$ (ช) $Ma = 1.4$ (ซ) $Ma = 1.6$



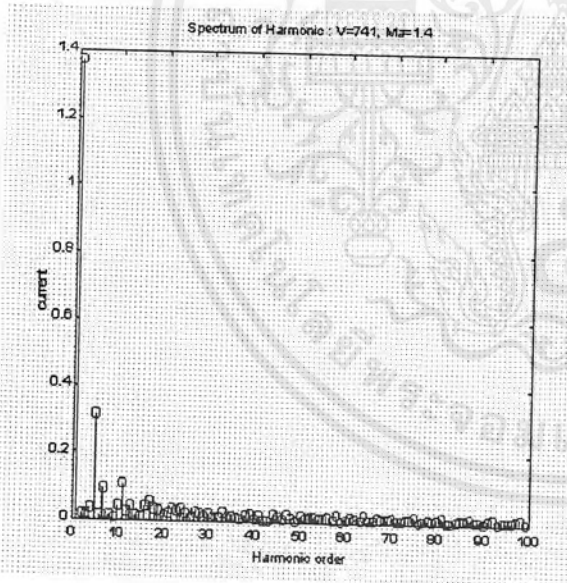
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



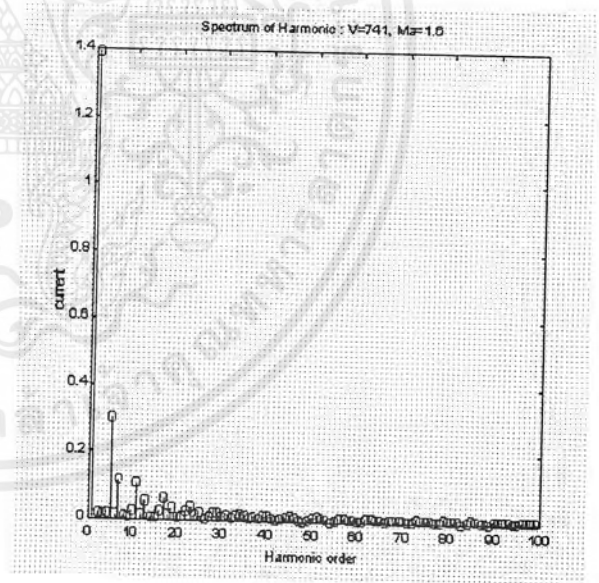
(จ)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.43 รูปสัณฐานแสดงสเปกตรัมฮาร์มอนิกของกระแสที่ระดับแรงดัน 741 โวลต์ เมื่อปรับมอดูละชั้นอินเด็กส์ที่ (ก) $Ma = 0.2$ (ข) $Ma = 0.4$ (ค) $Ma = 0.6$ (ง) $Ma = 0.8$ (จ) $Ma = 1.0$ (ฉ) $Ma = 1.2$ (ช) $Ma = 1.4$ (ซ) $Ma = 1.6$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองชุดคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งควบคุมด้วยสัญญาณมอดดูเลชันตามความกว้างของพัลส์ โดยการปรับค่า มอดดูเลชันอินเด็กซ์ (Ma) ที่ค่าต่างๆคือ 0.2,0.4,0.6,0.8,1.0,1.2,1.4,1.6 พบว่าแรงดัน ดีซี (Vdc)มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นในช่วงของค่า มอดดูเลชันอินเด็กซ์มีค่าระหว่าง 0.2-1.0 และแรงดันดีซี จะเพิ่มขึ้นอย่างไม่เป็นเชิงเส้น ในช่วงที่ค่า มอดดูเลชันอินเด็กซ์มีค่ามากกว่า 1 (Overmodulation)

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางด้านฮาร์โมนิก พบว่าเมื่อค่ามอดดูเลชันอินเด็กซ์ มีค่าไม่เกิน 1 ผลของฮาร์โมนิกอันดับต่างๆจะมีค่าคงที่หรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบไม่ลดลง และเมื่อค่า มอดดูเลชันอินเด็กซ์มีค่ามากกว่า 1 พบว่าค่าฮาร์โมนิกอันดับสูงๆ จะมีค่าลดลง แต่ค่าฮาร์โมนิกอันดับต่างๆจะมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้คุณภาพไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าลดลง

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางด้านค่า เพาเวอร์แฟคเตอร์ และค่าดิสเพนสมেন্ট(DPF) พบว่าจากการปรับค่า มอดดูเลชันอินเด็กซ์ เพิ่มขึ้นพบว่า ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ จะมีค่าเข้าใกล้ 1 เนื่องจากในขณะที่ค่า มอดดูเลชันอินเด็กซ์มีค่ามากกว่า 1 สัญญาณจะเข้าใกล้สแควร์เวฟ ซึ่งมีมุมเข้าใกล้ ศูนย์องศาทำให้เพาเวอร์แฟคเตอร์ มีค่าเข้าใกล้ 1 นั่นเอง ส่วนมุมดิสเพนสมেন্টซึ่งเป็นมุมระหว่างกระแสฟลักซ์คัท (Is1) กับแรงดันจะมีค่า เข้าใกล้ศูนย์องศา ดังนั้นค่าที่ได้จึงมีค่าเท่ากับ 1

บทที่ 5

สรุปผลและวิจารณ์

5.1 สรุป

การทำโครงการวิศวกรรม ได้ศึกษาถึงพฤติกรรมของเอาท์พุท , ประสิทธิภาพ ตลอดจนการกระจายสเปกตรัมของฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นจากวงจรคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยการปรับเปลี่ยนค่ามอดดูเลชันอินเด็กซ์ของสัญญาณควบคุมแบบ เอสพีดับบลิวเอ็ม ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. วงจรมีรูปแบบการสวิทช์ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและความถี่ที่ได้มีการล็อกกับการไฟฟ้ามียุคแน่นอน เป็นข้อได้เปรียบที่ดีกว่าวงจร ไอซีสำเร็จรูปที่นิยมใช้กันทั่วไป
2. เป็นการทำงานในรูปแบบไฟฟ้าสามเฟส ซึ่งได้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบหนึ่งเฟส และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้กว้างขวางกว่า
3. มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนพัลส์ เอสพีดับบลิวเอ็ม ในการสวิทช์และสามารถควบคุมแรงดันเอาท์พุทที่แตกต่างกันและลดการสูญเสียการสวิทช์อื่นของอุปกรณ์
4. มีการใช้สัญญาณควบคุมแบบ เอสพีดับบลิวเอ็ม โดยมีจำนวนพัลส์ในแต่ละไซเคิลมีจำนวนมากกว่า พีดับบลิวเอ็ม ธรรมดา ซึ่งช่วยลดฮาร์โมนิกในคลื่นแรงดัน
5. มีการปรับเปลี่ยนค่าของมอดดูเลชันอินเด็กซ์ ทำให้สามารถปรับเปลี่ยนค่าแรงดันอาร์เอ็มเอส ของเอาท์พุทตามที่ต้องการได้โดยค่าอินพุทคงที่

การวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์มีประโยชน์มากในการทำโครงการนี้เพราะสามารถออกแบบวงจรควบคุมและกำลังเพื่อทำการทดสอบความเป็นไปได้ของวงจร ก่อนที่จะลงมือทำการทดสอบกับวงจรจริงทำให้มีความมั่นใจในวงจรที่ได้ออกแบบและสามารถกำหนดค่าอุปกรณ์ต่างๆได้อย่างถูกต้อง ทำให้ไม่เสียเวลาในการต่อวงจรผิดพลาดได้

5.2 วิจารณ์

ปัญหาดำคัญอย่างหนึ่งของการทดสอบ คือการขาดแคลนเครื่องมือในการทดสอบ คือขาดแคลนเครื่องมือในการวัดที่มีคุณภาพและทันสมัย เช่น เครื่องวัดฮาร์โมนิกส์ และมีไม่เพียงพอ เช่น ดิจิตอลออสซิลโลสโคป ตลอดจนปัญหางบประมาณสนับสนุนที่มีให้มีอยู่อย่างจำกัด

ในโครงการนี้ยังมีข้อเสียคือวงจรควบคุมไม่ได้อาศัยการป้อนกลับกลับของกระแสหรือแรงดันทางด้านเอาท์พุทของคอนเวอร์เตอร์ ทำให้การควบคุมและผลตอบสนองทางการปรับมอดดูเลชันอินเด็กซ์ผิดเพี้ยนได้ง่าย

5.3 ข้อเสนอแนะแนวทางที่จะพัฒนาต่อไป

1. ตัวยูธยานควบคุมและการปรับมอดูเลชันอินเด็กซ์ของ เอสพีดับบลิวเอ็ม ควรเปลี่ยนมาเป็นแบบ ดิจิตอลโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งจะมีความแน่นอน และมีความไว้วางใจได้มากกว่า
2. ปรับเปลี่ยนค่าความถี่ของคลื่นพาหะให้สูงขึ้นกว่า 1 kHz ซึ่งจะมีส่วนช่วยลดคทอนฮาร์โมนิกส์มากขึ้น
3. ควรพัฒนาชุดคอนเวอร์เตอร์ให้ทำงานได้ในพิกัดสูงๆ และมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อให้สามารถนำไปเชื่อมโยงกับส่วนอินเวอร์เตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต





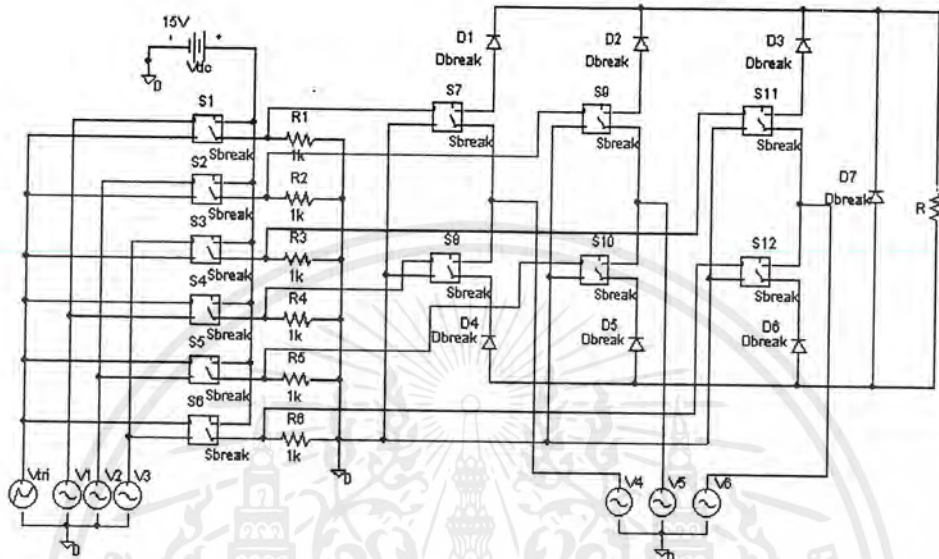
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

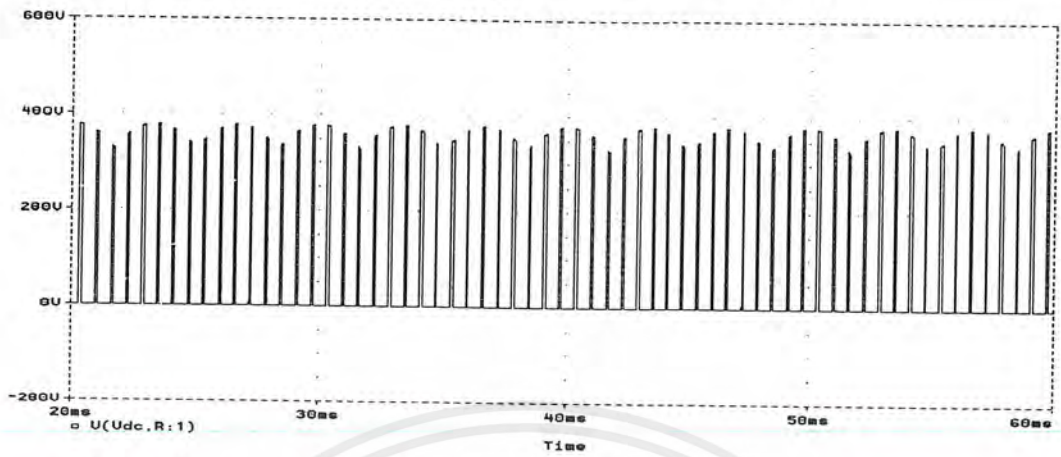
สัญญาณจากโปรแกรม PSPICE



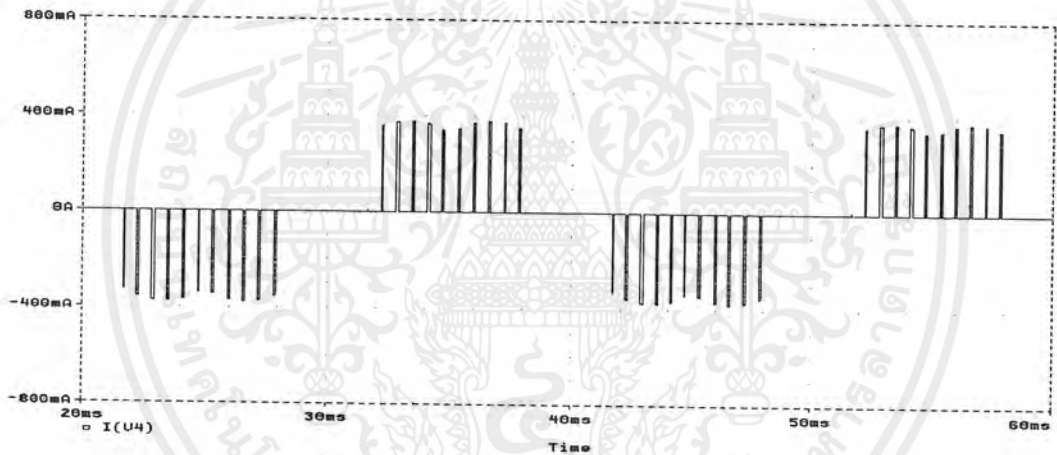
รูปที่ ก-1 วงจรที่ใช้ใน โปรแกรม PSPICE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

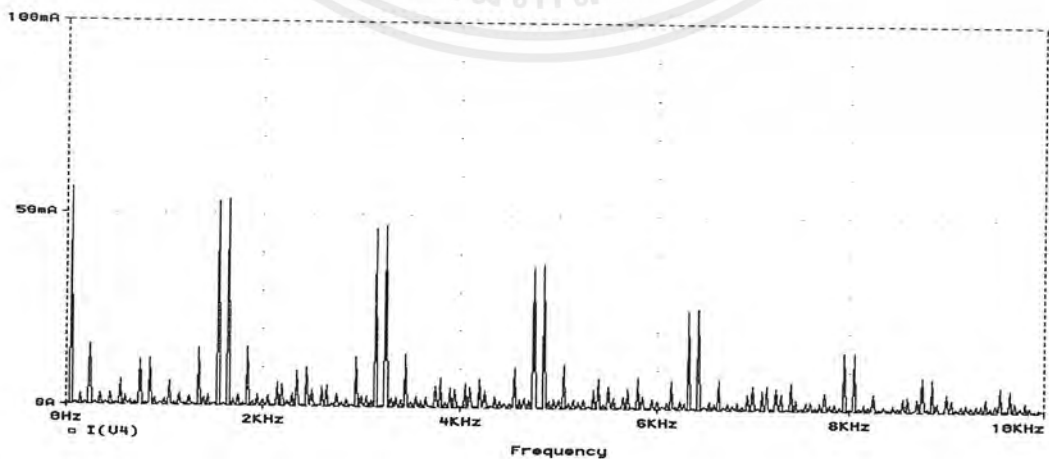
รูปสัญญาณที่ได้จากการซิมูเลชันของรูปที่ ก-1 ที่ $Ma=0.2$ $Mf=20$



รูปที่ ก-2 สัญญาณแรงดันเอาต์พุต $Ma = 0.2$



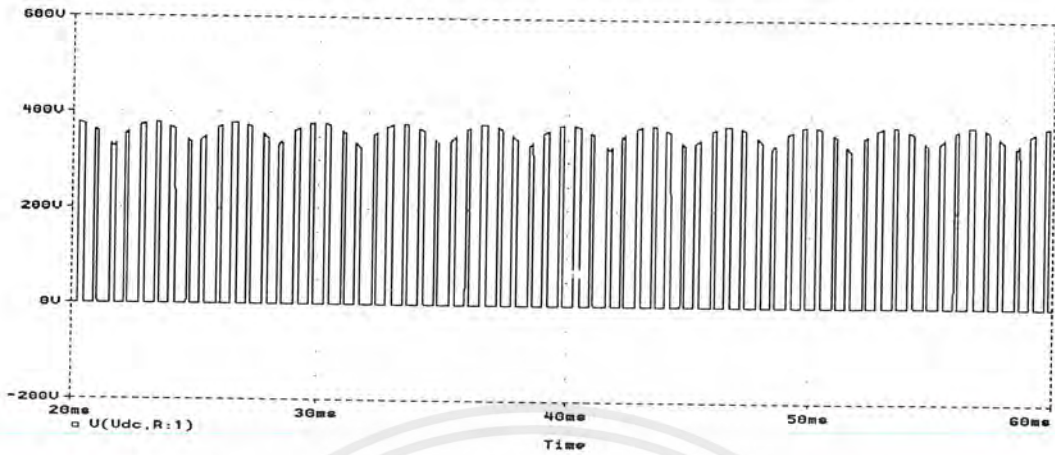
รูปที่ ก-3 สัญญาณกระแสอินพุต $Ma = 0.2$



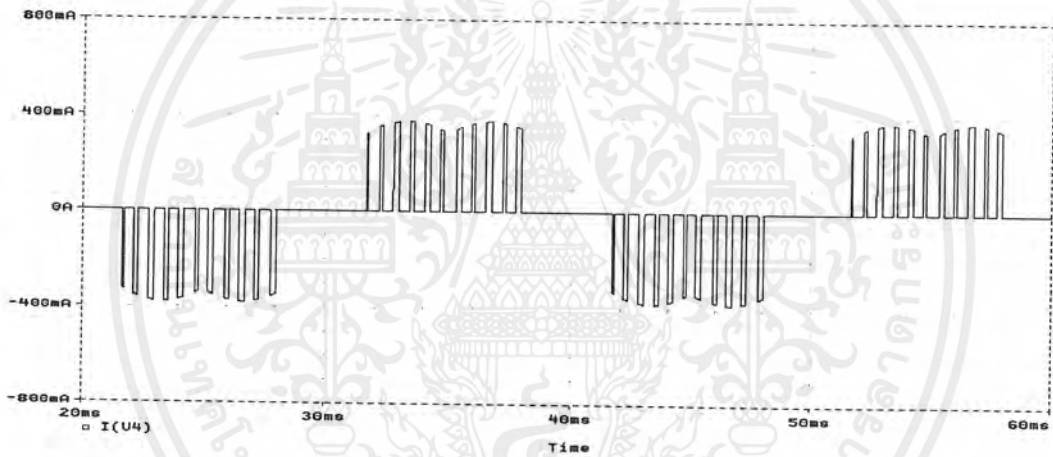
รูปที่ ก-4 สเปกตรัมของกระแสอินพุต $Ma = 0.2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

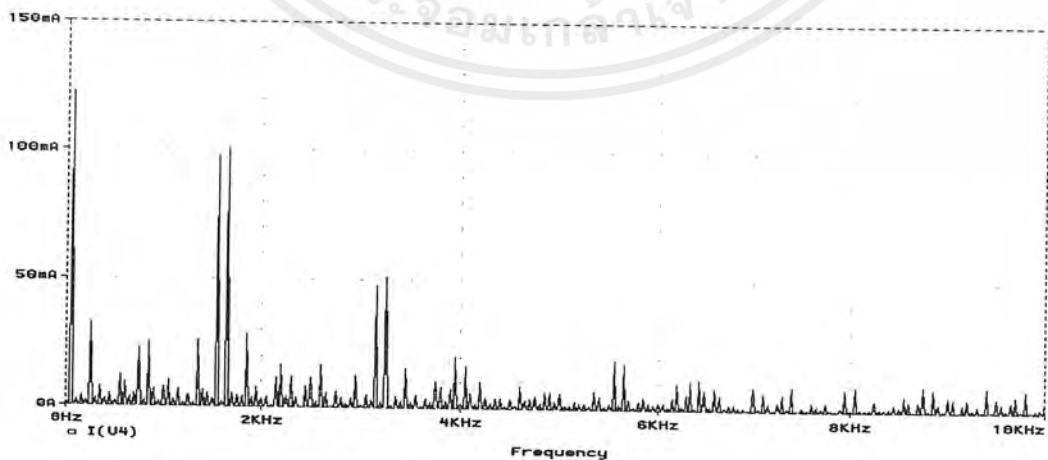
รูปสัญญาณที่ได้จากการซิมูเลชันของรูปที่ ก-1 ที่ $Ma=0.4$ $Mf=20$



รูปที่ ก-5 สัญญาณแรงดันเอาต์พุต $Ma = 0.4$



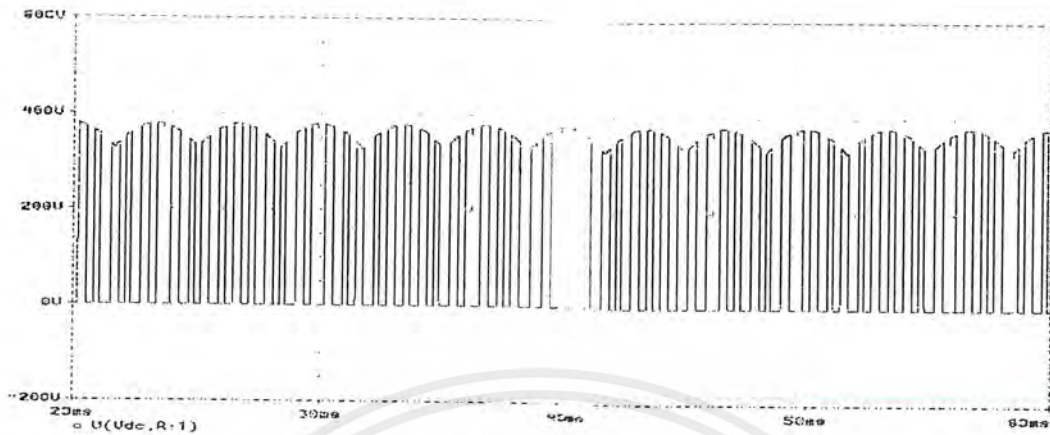
รูปที่ ก-6 สัญญาณกระแสอินพุต $Ma = 0.4$



รูปที่ ก-7 สเปกตรัมของกระแสอินพุต $Ma = 0.4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

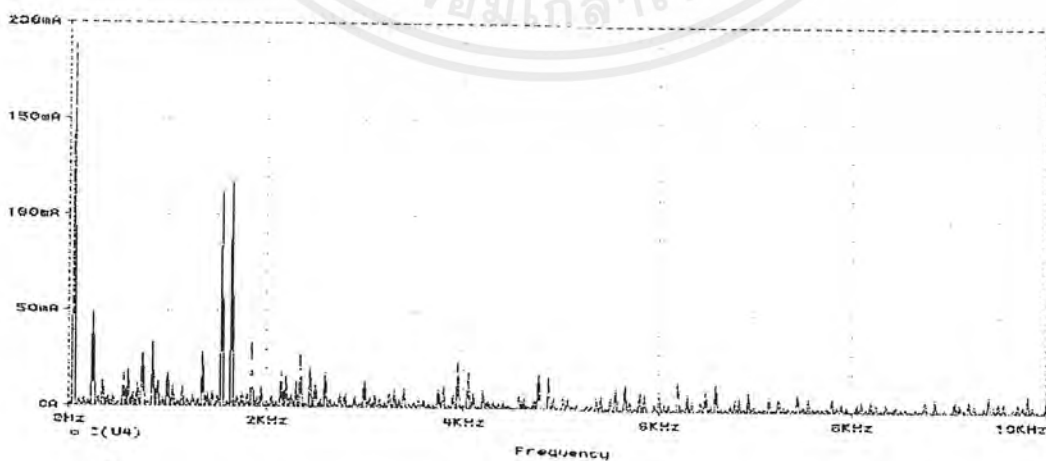
รูปสัญญาณที่ได้จากการซิมูเลชันของรูปที่ ๕-๖ ที่ $Ma=0.6$ $Mf=20$



รูปที่ ก-8 สัญญาณแรงดันเอาต์พุต $Ma = 0.6$



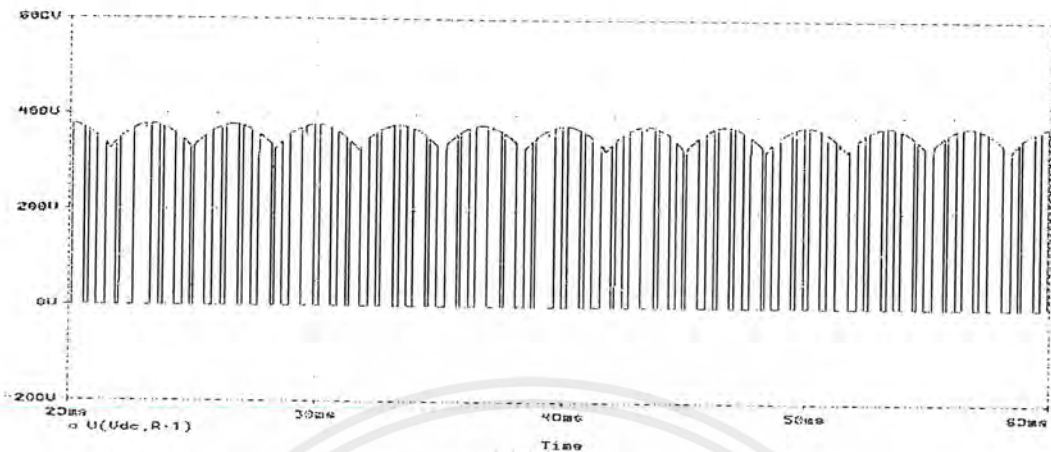
รูปที่ ก-9 สัญญาณกระแสอินพุต $Ma = 0.6$



รูปที่ ก-10 สเปกตรัมของกระแสอินพุต $Ma = 0.6$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

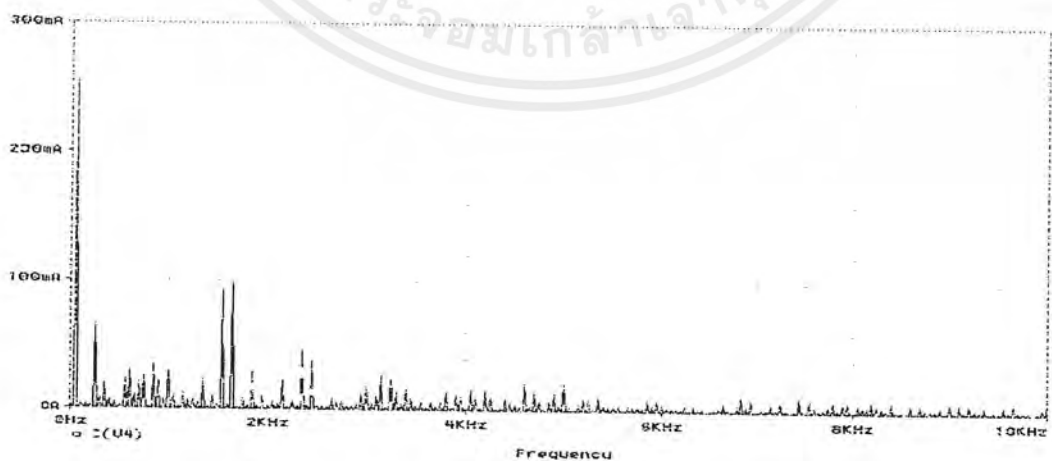
รูปสัญญาณที่ได้จากการซิมูเลชันของรูปที่ ก-1 ที่ $Ma=0.8$ $Mf=20$



รูปที่ ก-11 สัญญาณแรงดันเอาต์พุต $Ma = 0.8$



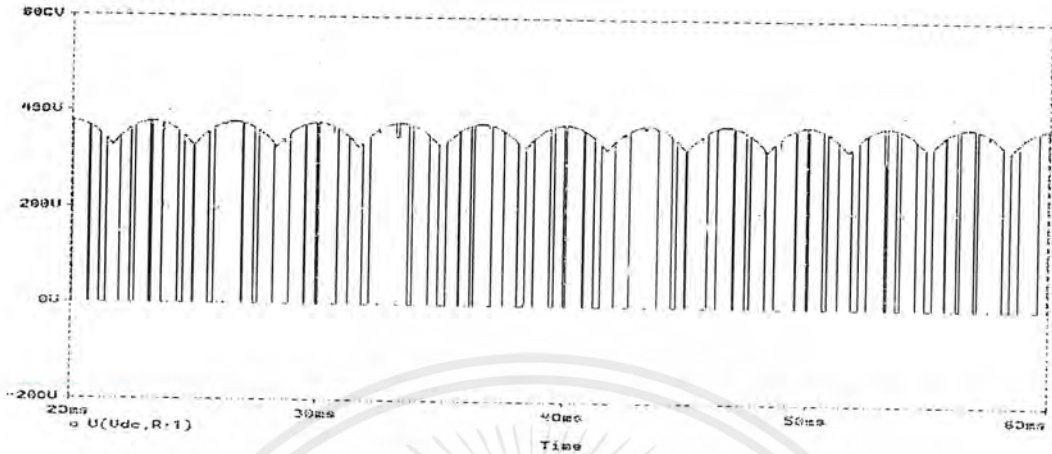
รูปที่ ก-12 สัญญาณกระแสอินพุต $Ma = 0.8$



รูปที่ ก-13 สเปกตรัมของกระแสอินพุต $Ma = 0.8$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

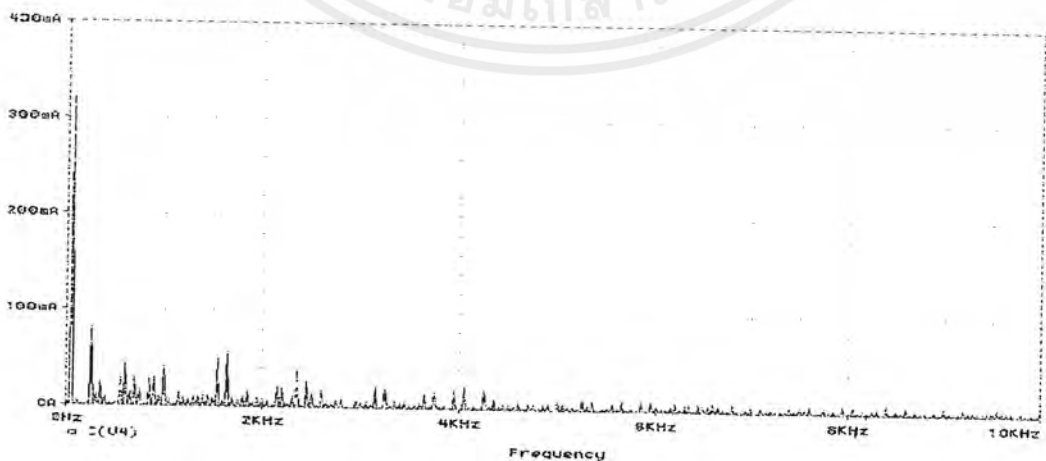
รูปสัญญาณที่ได้จากการซิมูเลชันของรูปที่ ก-1 ที่ $Ma=1.0$ $Mf=20$



รูปที่ ก-14 สัญญาณแรงดันเอาต์พุต $Ma = 1.0$



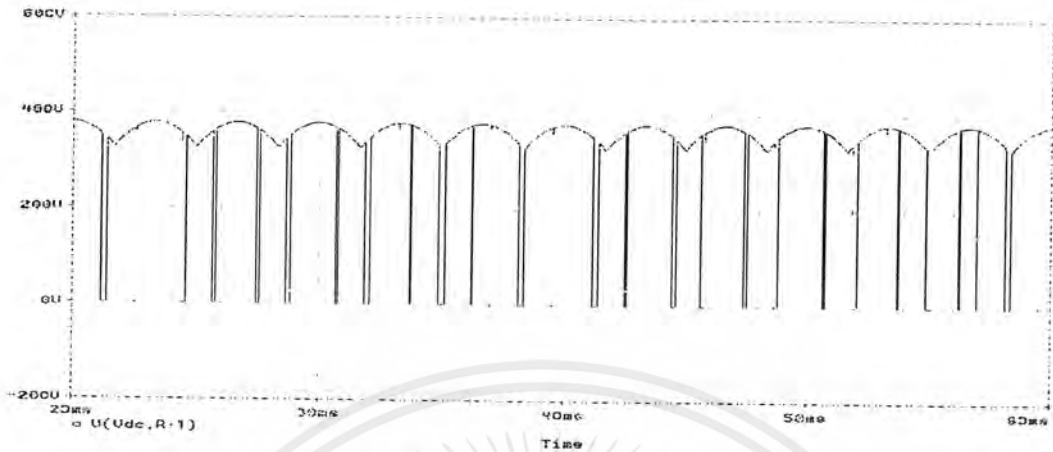
รูปที่ ก-15 สัญญาณกระแสอินพุต $Ma = 1.0$



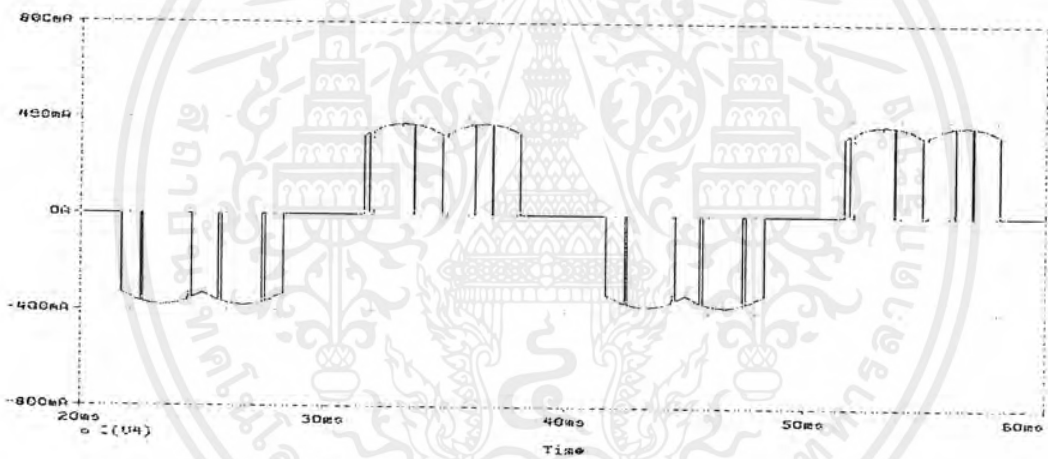
รูปที่ ก-16 สเปกตรัมของกระแสอินพุต $Ma = 1.0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

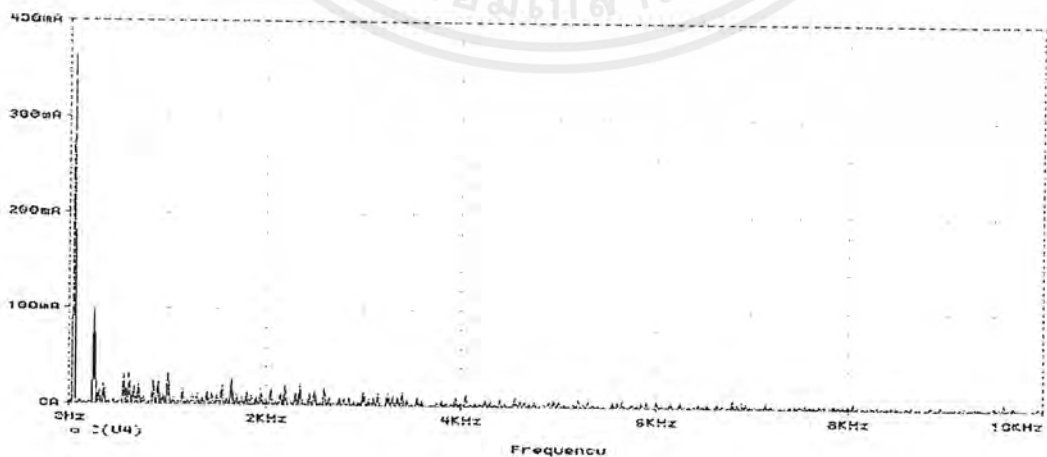
รูปสัญญาณที่ได้จากการซิมูเลชันของรูปที่ ก-1 ที่ $Ma=1.2$ $Mf=20$



รูปที่ ก-17 สัญญาณแรงดันเอาต์พุต $Ma = 1.2$



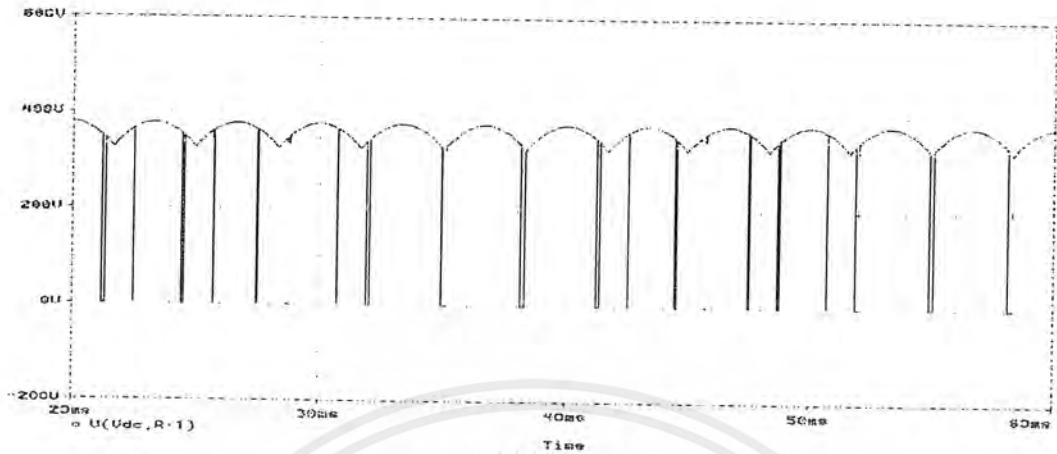
รูปที่ ก-18 สัญญาณกระแสอินพุต $Ma = 1.2$



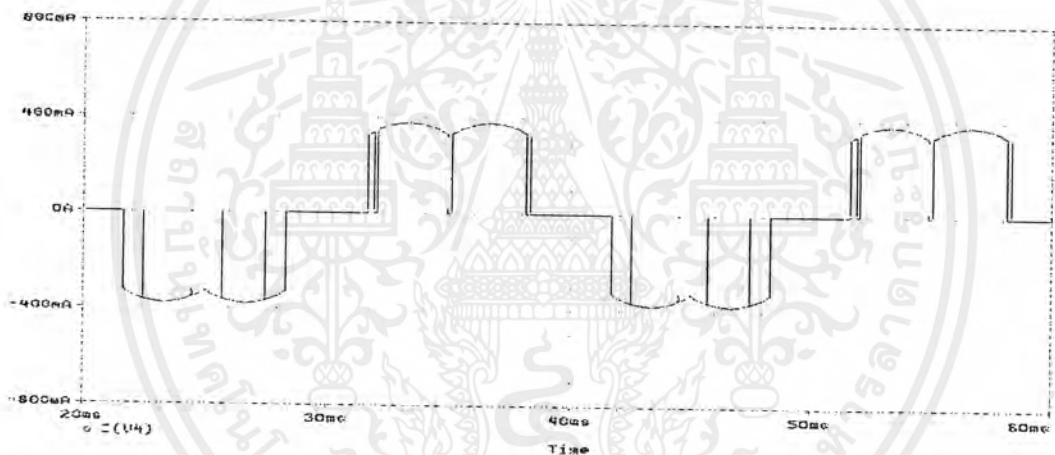
รูปที่ ก-19 สเปกตรัมของกระแสอินพุต $Ma = 1.2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

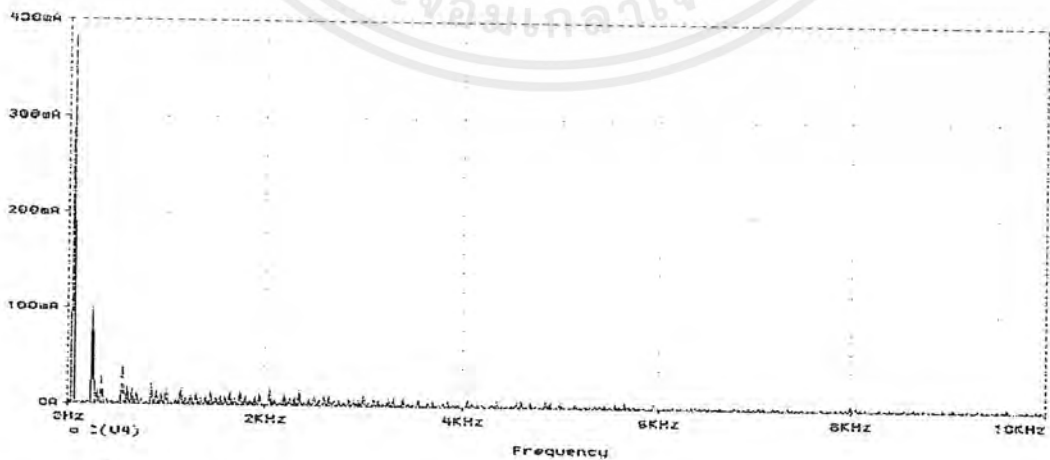
รูปสัญญาณที่ได้จากการซิมูเลชันของรูปที่ ก-1 ที่ $Ma=1.4$ $Mf=20$



รูปที่ ก-20 สัญญาณแรงดันเอาต์พุต $Ma = 1.4$



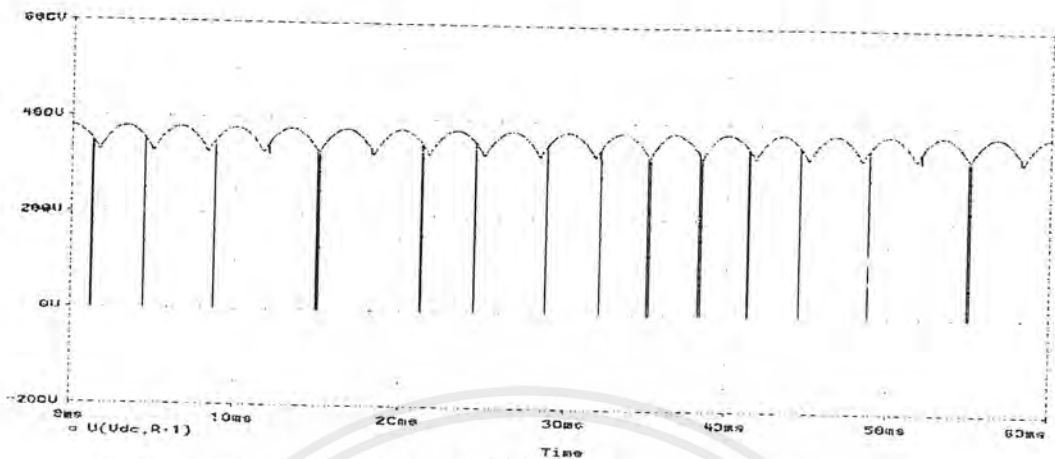
รูปที่ ก-21 สัญญาณกระแสอินพุต $Ma = 1.4$



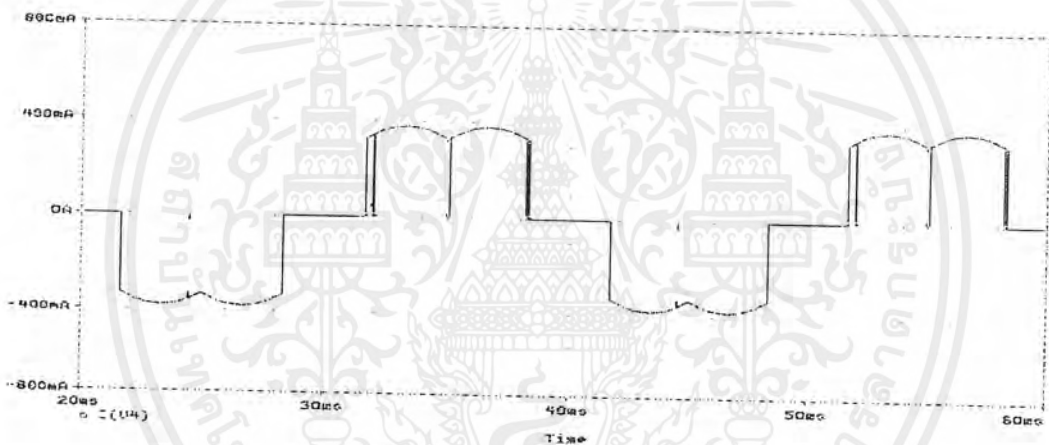
รูปที่ ก-22 สเปกตรัมของกระแสอินพุต $Ma = 1.4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

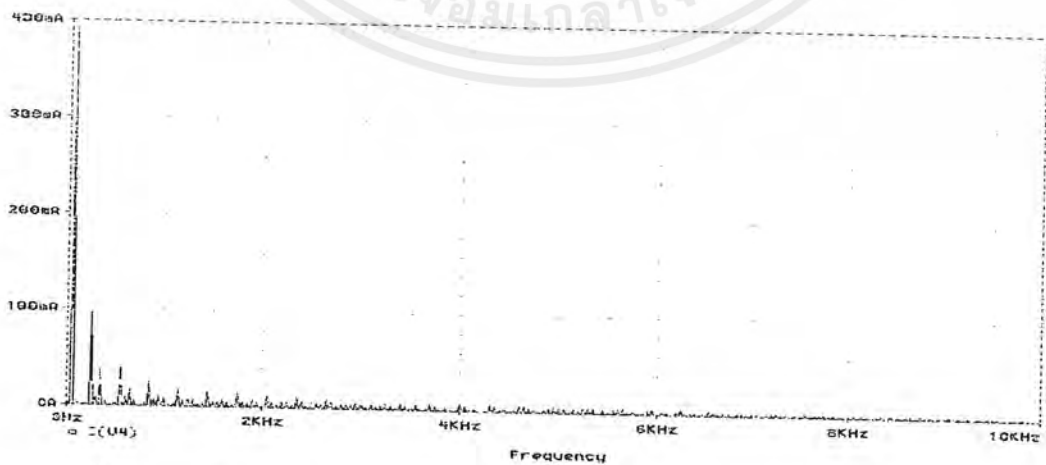
รูปสัญญาณที่ได้จากการซิมูเลชันของรูปที่ ก-1 ที่ $Ma=1.6$ $Mf=20$



รูปที่ ก-23 สัญญาณแรงดันเอาต์พุต $Ma = 1.6$



รูปที่ ก-24 สัญญาณกระแสอินพุต $Ma = 1.6$

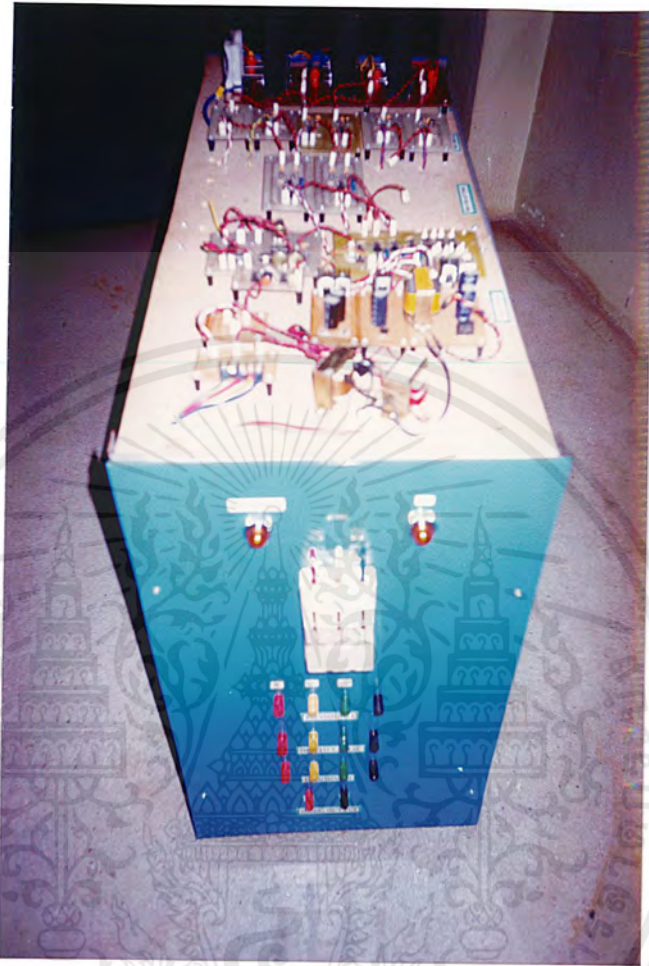


รูปที่ ก-25 สเปกตรัมของกระแสอินพุต $Ma = 1.6$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

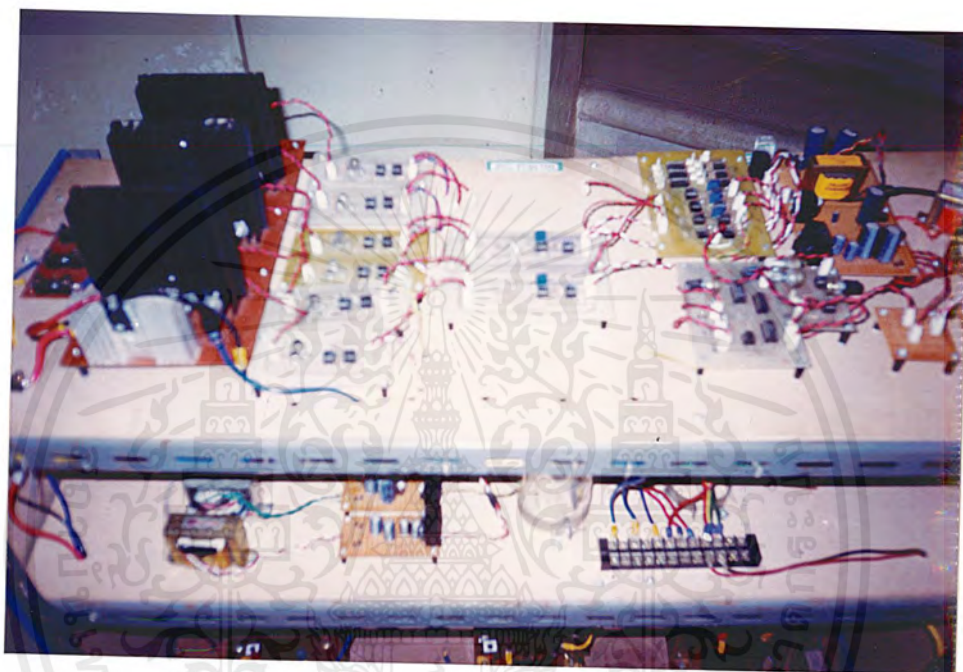


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-1 รูปภาพแสดงชิ้นงานด้านเมนบอร์ดสวิทช์และวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-2 รูปภาพแสดงชิ้นงานวงจรรวมของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International IR Rectifier

INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR

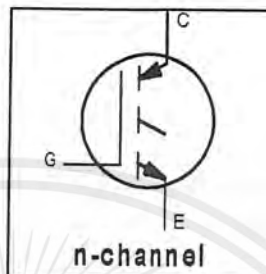
PD - 9.1576

IRG4PH50K

Short Circuit Rated
UltraFast IGBT

Features

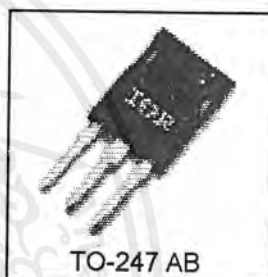
- High short circuit rating optimized for motor control, $t_{sc} = 10\mu s$, $V_{CC} = 720V$, $T_J = 125^\circ C$, $V_{GE} = 15V$
- Combines low conduction losses with high switching speed
- Latest generation design provides tighter parameter distribution and higher efficiency than previous generations



$V_{CES} = 1200V$
$V_{CE(on) typ.} = 2.77V$
@ $V_{GE} = 15V$, $I_C = 24A$

Benefits

- As a Freewheeling Diode we recommend our HEXFRED™ ultrafast, ultrasoft recovery diodes for minimum EMI/Noise and switching losses in the Diode and IGBT
- Latest generation 4 IGBTs offer highest power density motor controls possible
- This part replaces the IRGPH50K and IRGPH50M devices



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
V_{CES}	Collector-to-Emitter Voltage	1200	V
$I_C @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Collector Current	45	A
$I_C @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Collector Current	24	
I_{CM}	Pulsed Collector Current ①	90	
I_{LM}	Clamped Inductive Load Current ②	90	
t_{sc}	Short Circuit Withstand Time	10	μs
V_{GE}	Gate-to-Emitter Voltage	± 20	V
E_{ARV}	Reverse Voltage Avalanche Energy ③	190	mJ
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Maximum Power Dissipation	200	W
$P_D @ T_C = 100^\circ C$	Maximum Power Dissipation	78	
T_J	Operating Junction and	-55 to +150	$^\circ C$
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 sec.		
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw.	10 lbf·in (1.1N·m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.64	$^\circ C/W$
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient, typical socket mount	—	40	
Wt	Weight	6 (0.21)	—	g (oz)

www.irf.com

C-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
V _{(BR)CES}	Collector-to-Emitter Breakdown Voltage	1200	—	—	V	V _{GE} = 0V, I _C = 250μA
V _{(BR)ECS}	Emitter-to-Collector Breakdown Voltage	18	—	—	V	V _{GE} = 0V, I _C = 1.0A
ΔV _{(BR)CES/ΔT_J}	Temperature Coeff. of Breakdown Voltage	—	0.91	—	V/°C	V _{GE} = 0V, I _C = 2.0mA
V _{CE(ON)}	Collector-to-Emitter Saturation Voltage	—	2.77	3.5	V	I _C = 24A, V _{GE} = 15V
		—	3.28	—		I _C = 45A, see figures 2, 5
		—	2.54	—		I _C = 24A, T _J = 150°C
V _{GE(th)}	Gate Threshold Voltage	3.0	—	6.0		V _{CE} = V _{GE} , I _C = 250μA
ΔV _{GE(th)/ΔT_J}	Temperature Coeff. of Threshold Voltage	—	-10	—	mV/°C	V _{CE} = V _{GE} , I _C = 2.0mA
g _{fe}	Forward Transconductance	13	19	—	S	V _{CE} = 100V, I _C = 24A
I _{CES}	Zero Gate Voltage Collector Current	—	—	250	μA	V _{GE} = 0V, V _{CE} = 1200V
		—	—	2.0		V _{GE} = 0V, V _{CE} = 10V, T _J = 25°C
		—	—	5000		V _{GE} = 0V, V _{CE} = 1200V, T _J = 150°C
I _{GES}	Gate-to-Emitter Leakage Current	—	—	±100	nA	V _{GE} = ±20V

Switching Characteristics @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Q _g	Total Gate Charge (turn-on)	—	180	270	nC	I _C = 24A
Q _{ge}	Gate - Emitter Charge (turn-on)	—	25	38		V _{CC} = 400V, see figure 8
Q _{gc}	Gate - Collector Charge (turn-on)	—	70	110		V _{GE} = 15V
t _{d(on)}	Turn-On Delay Time	—	36	—	ns	T _J = 25°C I _C = 24A, V _{CC} = 960V V _{GE} = 15V, R _θ = 5.0Ω
t _r	Rise Time	—	27	—		
t _{d(off)}	Turn-Off Delay Time	—	200	300		
t _f	Fall Time	—	130	190	mJ	Energy losses include "tail" see figures 9,10,14
E _{on}	Turn-On Switching Loss	—	1.21	—		
E _{off}	Turn-Off Switching Loss	—	2.25	—		
E _{ts}	Total Switching Loss	—	3.46	4.1	μs	V _{CC} = 720V, T _J = 125°C V _{GE} = 15V, R _θ = 5.0Ω
t _{sc}	Short Circuit Withstand Time	10	—	—		
t _{d(on)}	Turn-On Delay Time	—	35	—	ns	T _J = 150°C, I _C = 24A, V _{CC} = 960V V _{GE} = 15V, R _θ = 5.0Ω Energy losses include "tail" see figures 10,11,14
t _r	Rise Time	—	29	—		
t _{d(off)}	Turn-Off Delay Time	—	380	—		
t _f	Fall Time	—	280	—	mJ	Measured 5mm from package
E _{ts}	Total Switching Loss	—	7.80	—		
L _E	Internal Emitter Inductance	—	13	—	pF	V _{GE} = 0V V _{CC} = 30V, see figure 7 f = 1.0MHz
C _{ies}	Input Capacitance	—	2800	—		
C _{oes}	Output Capacitance	—	140	—		
C _{res}	Reverse Transfer Capacitance	—	53	—		

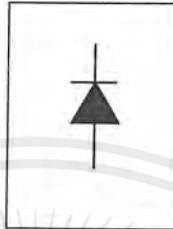
Notes:

- ① Repetitive rating; V_{GE} = 20V, pulse width limited by max. junction temperature. (see figure 13b)
- ② V_{CC} = 80% (V_{CES}), V_{GE} = 20V, L = 10μH, R_G = 5.0Ω, (see figure 13a)
- ③ Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature.
- ④ Pulse width ≤ 80μs; duty factor ≤ 0.1%.
- ⑤ Pulse width 5.0μs, single shot.

International
IOR Rectifier

SAFEIR Series
40EPS..

INPUT RECTIFIER DIODE



$$V_F < 1V @ 20A$$

$$I_{FSM} = 475A$$

$$V_{RRM} 800 \text{ to } 1600V$$

Description/Features

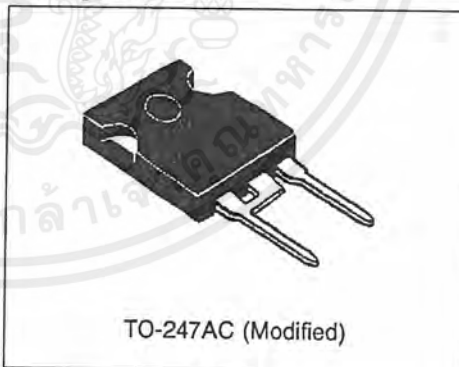
The 40EPS rectifier **SAFEIR** series has been optimized for very low forward voltage drop, with moderate leakage. The glass passivation technology used has reliable operation up to 150° C junction temperature.

Typical applications are in input rectification and these products are designed to be used with International Rectifier Switches and Output Rectifiers which are available in identical package outlines.

Major Ratings and Characteristics

Characteristics	40EPS..	Units
$I_{F(AV)}$ Sinusoidal waveform	40	A
V_{RRM}	800 to 1600	V
I_{FSM}	475	A
$V_F @ 20A, T_J = 25^\circ C$	1.0	V
T_J	-40 to 150	°C

Package Outline



Voltage Ratings

Part Number	V_{RRM} , maximum peak reverse voltage V	V_{RSM} , maximum non repetitive peak reverse voltage V	I_{RRM} 150°C mA
40EPS08	800	900	1
40EPS12	1200	1300	
40EPS16	1600	1700	

Absolute Maximum Ratings

Parameters	40EPS..	Units	Conditions
$I_{F(AV)}$ Max. Average Forward Current	40	A	@ $T_C = 105^\circ\text{C}$, 180° conduction half sine wave
I_{FSM} Max. Peak One Cycle Non-Repetitive Surge Current	400	A	10ms Sine pulse, rated V_{RRM} applied
	475		10ms Sine pulse, no voltage reapplied
I^2t Max. I^2t for fusing	800	A^2s	10ms Sine pulse, rated V_{RRM} applied
	1131		10ms Sine pulse, no voltage reapplied
$I^2\sqrt{t}$ Max. $I^2\sqrt{t}$ for fusing	11310	$A^2\sqrt{s}$	$t = 0.1$ to 10ms, no voltage reapplied

Electrical Specifications

Parameters	40EPS..	Units	Conditions
V_{FM} Max. Forward Voltage Drop	1.1	V	@ 40A, $T_J = 25^\circ\text{C}$
r_t Forward slope resistance	7.16	$m\Omega$	$T_J = 150^\circ\text{C}$
$V_{F(TO)}$ Threshold voltage	0.74	V	
I_{RM} Max. Reverse Leakage Current	0.1	mA	$T_J = 25^\circ\text{C}$
	1.0		$T_J = 150^\circ\text{C}$

$V_R = \text{rated } V_{RRM}$

Thermal-Mechanical Specifications

Parameters	40EPS..	Units	Conditions
T_J Max. Junction Temperature Range	-40 to 150	$^\circ\text{C}$	
T_{stg} Max. Storage Temperature Range	-40 to 150	$^\circ\text{C}$	
R_{thJC} Max. Thermal Resistance Junction to Case	0.6	$^\circ\text{C/W}$	DC operation
R_{thJA} Max. Thermal Resistance Junction to Ambient	40	$^\circ\text{C/W}$	
R_{thCS} Typical Thermal Resistance, Case to Heatsink	0.2	$^\circ\text{C/W}$	Mounting surface, smooth and greased
wt Approximate Weight	6 (0.21)	g (oz.)	
T Mounting Torque	Min.	6 (5)	Kg-cm (lbf-in)
	Max.	12 (10)	
Case Style	TO-247AC		JEDEC (Modified)

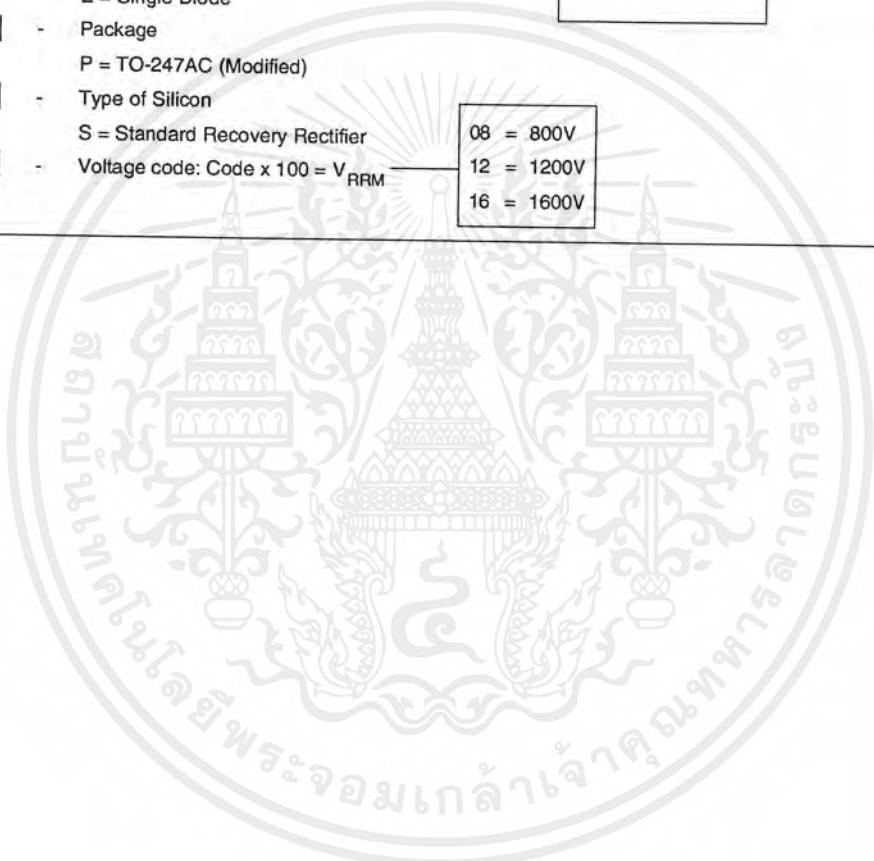
Ordering Information Table

Device Code				
40	E	P	S	16
①	②	③	④	⑤

<ul style="list-style-type: none"> 1 - Current Rating 2 - Circuit Configuration E = Single Diode 3 - Package P = TO-247AC (Modified) 4 - Type of Silicon S = Standard Recovery Rectifier 5 - Voltage code: Code x 100 = V_{RRM} 	<table border="1"> <tr> <td>08</td> <td>= 800V</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>= 1200V</td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>= 1600V</td> </tr> </table>	08	= 800V	12	= 1200V	16	= 1600V
08	= 800V						
12	= 1200V						
16	= 1600V						

BASE
CATHODE

CATHODE ANODE



SINGLE-CHANNEL
6N135, 6N136
HCPL-2503
HCPL-4502

DUAL-CHANNEL
HCPL-2530
HCPL-2531

DESCRIPTION

The HCPL-4502/HCPL-2503, 6N135/6 and HCPL-2530/HCPL-2531 optocouplers consist of an AlGaAs LED optically coupled to a high speed photodetector transistor.

A separate connection for the bias of the photodiode improves the speed by several orders of magnitude over conventional phototransistor optocouplers by reducing the base-collector capacitance of the input transistor.

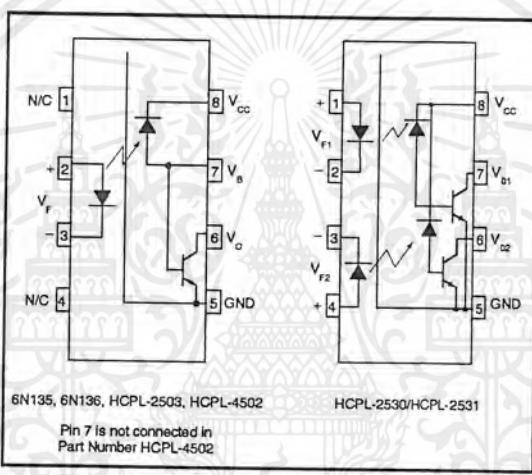
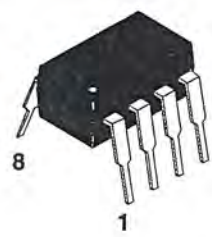
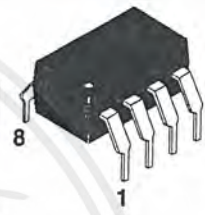
An internal noise shield provides superior common mode rejection of 10kV/μs. An improved package allows superior insulation permitting a 480 V working voltage compared to industry standard of 220 V.

FEATURES

- High speed-1 MBit/s
- Superior CMR-10 kV/μs
- Dual-Channel
 HCPL-2530/HCPL-2531
- Double working voltage-480V RMS
- CTR guaranteed 0-70°C
- U.L. recognized (File # E90700)

APPLICATIONS

- Line receivers
- Pulse transformer replacement
- Output interface to CMOS-LSTTL-TTL
- Wide bandwidth analog coupling



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T_A = 25°C unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Value	Units
Storage Temperature	T _{STG}	-55 to +125	°C
Operating Temperature	T _{OPR}	-55 to +100	°C
Lead Solder Temperature	T _{SOL}	260 for 10 sec	°C
EMITTER			
DC/Average Forward Input Current Each Channel (Note 1)	I _F (avg)	25	mA
Peak Forward Input Current (50% duty cycle, 1 ms P.W.) Each Channel (Note 2)	I _F (pk)	50	mA
Peak Transient Input Current - (≤ 1 μs P.W., 300 pps) Each Channel	I _F (trans)	1.0	A
Reverse Input Voltage Each Channel	V _R	5	V
Input Power Dissipation (6N135/6N136 and HCPL-2503/4502) (HCPL-2530/2531) Each Channel (Note 3)	P _D	100 45	mW
DETECTOR			
Average Output Current Each Channel	I _O (avg)	8	mA
Peak Output Current Each Channel	I _O (pk)	16	mA
Emitter-Base Reverse Voltage (6N135, 6N136 and HCPL-2503 only)	V _{EBR}	5	V
Supply Voltage	V _{CC}	-0.5 to 30	V
Output Voltage	V _O	-0.5 to 20	V
Base Current (6N135, 6N136 and HCPL-2503 only)	I _B	5	mA
Output power (6N135, 6N136, HCPL-2503, HCPL-4502) (Note 4)	P _D	100	mW
dissipation (HCPL-2530, HCPL-2531) Each Channel		35	mW

SINGLE-CHANNEL
6N135, 6N136
HCPL-2503
HCPL-4502

DUAL-CHANNEL
HCPL-2530
HCPL-2531

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 0$ to 70°C Unless otherwise specified)

INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS

Parameter	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ**	Max	Unit
EMITTER							
Input Forward Voltage	($I_F = 16 \text{ mA}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	V_F			1.45	1.7	V
	($I_F = 16 \text{ mA}$)				1.8		
	Input Reverse Breakdown Voltage	($I_R = 10 \mu\text{A}$)	B_{VR}		5.0		V
Temperature coefficient of forward voltage	($I_F = 16 \text{ mA}$)	$(\Delta V_F / \Delta T_A)$			-1.6		mV/ $^\circ\text{C}$
DETECTOR							
Logic high output current	($I_F = 0 \text{ mA}$, $V_O = V_{CC} = 5.5 \text{ V}$) ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	I_{OH}	All		0.001	0.5	μA
	($I_F = 0 \text{ mA}$, $V_O = V_{CC} = 15 \text{ V}$) ($T_A = 25^\circ\text{C}$)		6N135 6N136 HCPL-4502 HCPL-2503		0.005	1	
	($I_F = 0 \text{ mA}$, $V_O = V_{CC} = 15 \text{ V}$)		All			50	
Logic low supply current	($I_F = 16 \text{ mA}$, $V_O = \text{Open}$) ($V_{CC} = 15 \text{ V}$)	I_{CCL}	6N135 6N136 HCPL-4502 HCPL-2503		120	200	μA
	($I_{F1} = I_{F2} = 16 \text{ mA}$, $V_O = \text{Open}$) ($V_{CC} = 15 \text{ V}$)		HCPL-2530 HCPL-2531		200	400	
Logic high supply current	($I_F = 0 \text{ mA}$, $V_O = \text{Open}$, $V_{CC} = 15 \text{ V}$) ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	I_{CCH}	6N135 6N136 HCPL-4502 HCPL-2503			1	μA
	($I_F = 0 \text{ mA}$, $V_O = \text{Open}$) ($V_{CC} = 15 \text{ V}$)		6N135 6N136 HCPL-4502 HCPL-2503			2	
	($I_F = 0 \text{ mA}$, $V_O = \text{Open}$) ($V_{CC} = 15 \text{ V}$)		HCPL-2530 HCPL-2531		0.02	4	

* All typicals at $T_A = 25^\circ\text{C}$

Phase-Locked Loop High-Performance Silicon-Gate CMOS

The MC574HC4046A is similar in function to the MC14046 Metal gate CMOS device. The device inputs are compatible with standard CMOS outputs; with pullup resistors, they are compatible with LSTTL outputs.

The HC4046A phase-locked loop contains three phase comparators, a voltage-controlled oscillator (VCO) and unity gain op-amp DEMOUT. The comparators have two common signal inputs, COMP_{IN}, and SIG_{IN}. Input SIG_{IN} and COMP_{IN} can be used directly coupled to large voltage signals, or indirectly coupled (with a series capacitor to small voltage signals). The self-bias circuit adjusts small voltage signals in the linear region of the amplifier. Phase comparator 1 (an exclusive OR gate) provides a digital error signal PC1_{OUT} and maintains 90 degrees phase shift at the center frequency between SIG_{IN} and COMP_{IN} signals (both at 50% duty cycle). Phase comparator 2 (with leading-edge sensing logic) provides digital error signals PC2_{OUT} and PC_{OUT} and maintains a 0 degree phase shift between SIG_{IN} and COMP_{IN} signals (duty cycle is immaterial). The linear VCO produces an output signal VCO_{OUT} whose frequency is determined by the voltage of input VCO_{IN} signal and the capacitor and resistors connected to pins C1A, C1B, R1 and R2. The unity gain op-amp output DEM_{OUT} with an external resistor is used where the VCO_{IN} signal is needed but no loading can be tolerated. The inhibit input, when high, disables the VCO and all op-amps to minimize standby power consumption.

Applications include FM and FSK modulation and demodulation, frequency synthesis and multiplication, frequency discrimination, tone decoding, data synchronization and conditioning, voltage-to-frequency conversion and motor speed control.

- Output Drive Capability: 10 LSTTL Loads
- Low Power Consumption Characteristic of CMOS Devices
- Operating Speeds Similar to LSTTL
- Wide Operating Voltage Range: 3.0 to 6.0 V
- Low Input Current: 1.0 μ A Maximum (except SIG_{IN} and COMP_{IN})
- In Compliance with the Requirements Defined by JEDEC Standard No. 7A
- Low Quiescent Current: 80 μ A Maximum (VCO disabled)
- High Noise Immunity Characteristic of CMOS Devices
- Diode Protection on all Inputs
- Chip Complexity: 279 FETs or 70 Equivalent Gates

MC74HC4046A



N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 648-08

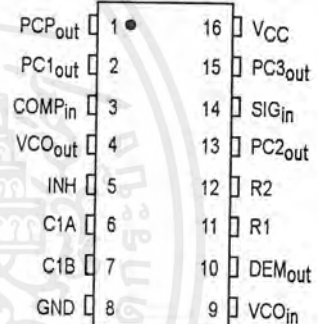


D SUFFIX
SOIC PACKAGE
CASE 751B-05

ORDERING INFORMATION

MC74HCXXXXAN Plastic
MC74HCXXXXAD SOIC

PIN ASSIGNMENT



Pin No.	Symbol	Name and Function
1	PCP _{OUT}	Phase Comparator Pulse Output
2	PC1 _{OUT}	Phase Comparator 1 Output
3	COMP _{IN}	Comparator Input
4	VCO _{OUT}	VCO Output
5	INH	Inhibit Input
6	C1A	Capacitor C1 Connection A
7	C1B	Capacitor C1 Connection B
8	GND	Ground (0 V) V _{SS}
9	VCO _{IN}	VCO Input
10	DEM _{OUT}	Demodulator Output
11	R1	Resistor R1 Connection
12	R2	Resistor R2 Connection
13	PC2 _{OUT}	Phase Comparator 2 Output
14	SIG _{IN}	Signal Input
15	PC3 _{OUT}	Phase Comparator 3 Output
16	VCC	Positive Supply Voltage



MAXIMUM RATINGS*

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CC}	DC Supply Voltage (Referenced to GND)	- 0.5 to + 7.0	V
V_{in}	DC Input Voltage (Referenced to GND)	- 1.5 to $V_{CC} + 1.5$	V
V_{out}	DC Output Voltage (Referenced to GND)	- 0.5 to $V_{CC} + 0.5$	V
I_{in}	DC Input Current, per Pin	± 20	mA
I_{out}	DC Output Current, per Pin	± 25	mA
I_{CC}	DC Supply Current, V_{CC} and GND Pins	± 50	mA
P_D	Power Dissipation in Still Air Plastic DIP† SOIC Package†	750 500	mW
T_{stg}	Storage Temperature	- 65 to + 150	°C
T_L	Lead Temperature, 1 mm from Case for 10 Seconds Plastic DIP and SOIC Package†	260	°C

This device contains protection circuitry to guard against damage due to high static voltages or electric fields. However, precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than maximum rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, V_{in} and V_{out} should be constrained to the range $GND \leq (V_{in} \text{ or } V_{out}) \leq V_{CC}$. Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either GND or V_{CC}). Unused outputs must be left open.

* Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation should be restricted to the Recommended Operating Conditions.

† Derating — Plastic DIP: - 10 mW/°C from 65° to 125°C

SOIC Package: - 7 mW/°C from 65° to 125°C

For high frequency or heavy load considerations, see Chapter 2 of the Motorola High-Speed CMOS Data Book (DL129/D).

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit	
V_{CC}	DC Supply Voltage (Referenced to GND)	3.0	6.0	V	
V_{CC}	DC Supply Voltage (Referenced to GND) NON-VCO	2.0	6.0	V	
V_{in}, V_{out}	DC Input Voltage, Output Voltage (Referenced to GND)	0	V_{CC}	V	
T_A	Operating Temperature, All Package Types	- 55	+ 125	°C	
t_r, t_f	Input Rise and Fall Time (Pin 5)	$V_{CC} = 2.0 \text{ V}$ $V_{CC} = 4.5 \text{ V}$ $V_{CC} = 6.0 \text{ V}$	0 0 0	1000 500 400	ns

[Phase Comparator Section]

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages Referenced to GND)

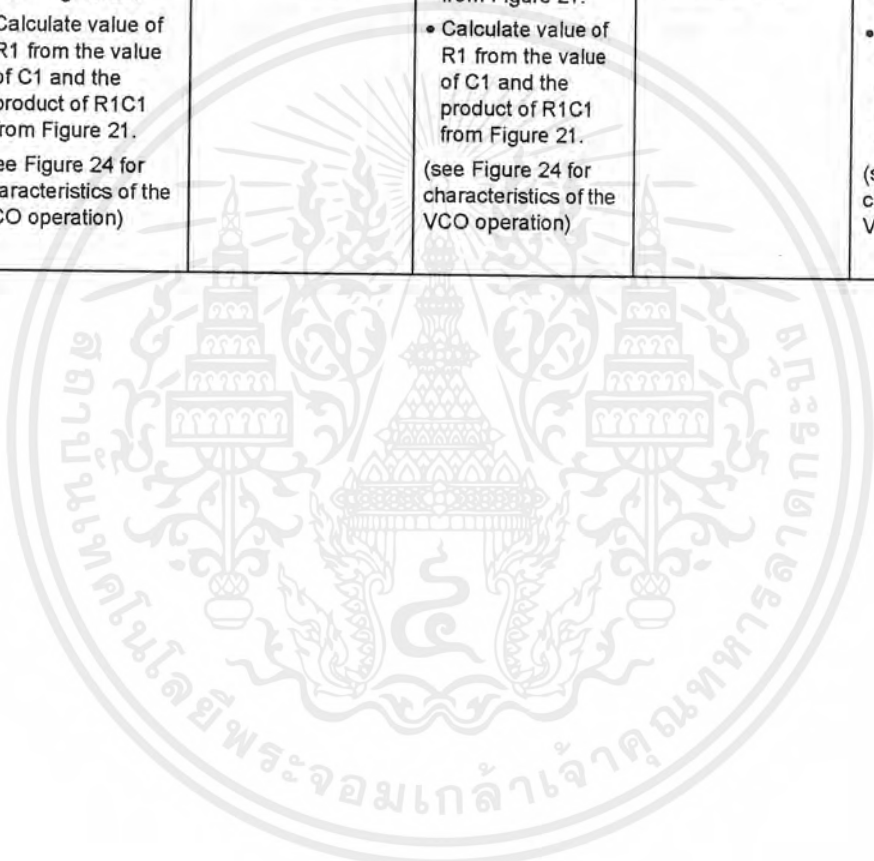
Symbol	Parameter	Test Conditions	V_{CC} Volts	Guaranteed Limit			Unit
				- 55 to 25°C	$\leq 85^\circ\text{C}$	$\leq 125^\circ\text{C}$	
V_{IH}	Minimum High-Level Input Voltage DC Coupled SIG _{IN} , COMP _{IN}	$V_{out} = 0.1 \text{ V or } V_{CC} - 0.1 \text{ V}$ $ I_{out} \leq 20 \mu\text{A}$	2.0	1.5	1.5	1.5	V
			4.5	3.15	3.15	3.15	
			6.0	4.2	4.2	4.2	
V_{IL}	Maximum Low-Level Input Voltage DC Coupled SIG _{IN} , COMP _{IN}	$V_{out} = 0.1 \text{ V or } V_{CC} - 0.1 \text{ V}$ $ I_{out} \leq 20 \mu\text{A}$	2.0	0.5	0.5	0.5	V
			4.5	1.35	1.35	1.35	
			6.0	1.8	1.8	1.8	
V_{OH}	Minimum High-Level Output Voltage PC _{OUT} , PC _{nOUT}	$V_{in} = V_{IH} \text{ or } V_{IL}$ $ I_{out} \leq 20 \mu\text{A}$	2.0	1.9	1.9	1.9	V
			4.5	4.4	4.4	4.4	
			6.0	5.9	5.9	5.9	
		$V_{in} = V_{IH} \text{ or } V_{IL}$ $ I_{out} \leq 4.0 \text{ mA}$ $ I_{out} \leq 5.2 \text{ mA}$	4.5	3.98	3.84	3.7	
			6.0	5.48	5.34	5.2	

(continued)

APPLICATION INFORMATION

The following information is a guide for approximate values of R1, R2, and C1. Figures 19, 20, and 21 should be used as references as indicated below, also the values of R1, R2, and C1 should not violate the Maximum values indicated in the DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS tables.

Phase Comparator 1		Phase Comparator 2		Phase Comparator 3	
R ₂ = ∞	R ₂ ≠ ∞	R ₂ = ∞	R ₂ ≠ ∞	R ₂ = ∞	R ₂ ≠ ∞
<ul style="list-style-type: none"> Given f₀ Use f₀ with Figure 19 to determine R1 and C1. (see Figure 23 for characteristics of the VCO operation) 	<ul style="list-style-type: none"> Given f₀ and f_L Calculate f_{min} f_{min} = f₀ - f_L Determine values of C1 and R2 from Figure 20. Determine R1-C1 from Figure 21. Calculate value of R1 from the value of C1 and the product of R1C1 from Figure 21. (see Figure 24 for characteristics of the VCO operation) 	<ul style="list-style-type: none"> Given f_{max} and f₀ Determine the value of R1 and C1 using Figure 19 and use Figure 21 to obtain 2f_L and then use this to calculate f_{min}. 	<ul style="list-style-type: none"> Given f₀ and f_L Calculate f_{min} f_{min} = f₀ - f_L Determine values of C1 and R2 from Figure 20. Determine R1-C1 from Figure 21. Calculate value of R1 from the value of C1 and the product of R1C1 from Figure 21. (see Figure 24 for characteristics of the VCO operation) 	<ul style="list-style-type: none"> Given f_{max} and f₀ Determine the value of R1 and C1 using Figure 19 and Figure 21 to obtain 2f_L and then use this to calculate f_{min}. 	<ul style="list-style-type: none"> Given f₀ and f_L Calculate f_{min}: f_{min} = f₀ - f_L Determine values of C1 and R2 from Figure 20. Determine R1-C1 from Figure 21. Calculate value of R1 from the value of C1 and the product of R1C1 from Figure 21. (see Figure 24 for characteristics of the VCO operation)



MC14018B

Presettable Divide-By-N Counter

The MC14018B contains five Johnson counter stages which are asynchronously presettable and resettable. The counters are synchronous, and increment on the positive going edge of the clock.

Presetting is accomplished by a logic 1 on the preset enable input. Data on the Jam inputs will then be transferred to their respective \bar{Q} outputs (inverted). A logic 1 on the reset input will cause all \bar{Q} outputs to go to a logic 1 state.

Division by any number from 2 to 10 can be accomplished by connecting appropriate \bar{Q} outputs to the data input, as shown in the Function Selection table. Anti-lock gating is included in the MC14018B to assure proper counting sequence.

- Fully Static Operation
- Schmitt Trigger on Clock Input
- Capable of Driving Two Low-power TTL Loads or One Low-power Schottky TTL Load Over the Rated Temperature Range
- Pin-for-Pin Replacement for CD4018B



L SUFFIX
CERAMIC
CASE 620



P SUFFIX
PLASTIC
CASE 648



D SUFFIX
SOIC
CASE 751B

ORDERING INFORMATION

MC14XXXBCP	Plastic
MC14XXXBCL	Ceramic
MC14XXXBD	SOIC

$T_A = -55^\circ$ to 125°C for all packages.

MAXIMUM RATINGS* (Voltages Referenced to V_{SS})

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{DD}	DC Supply Voltage	- 0.5 to + 18.0	V
V_{in}, V_{out}	Input or Output Voltage (DC or Transient)	- 0.5 to $V_{DD} + 0.5$	V
I_{in}, I_{out}	Input or Output Current (DC or Transient), per Pin	± 10	mA
P_D	Power Dissipation, per Package†	500	mW
T_{stg}	Storage Temperature	- 65 to + 150	$^\circ\text{C}$
T_L	Lead Temperature (8-Second Soldering)	260	$^\circ\text{C}$

* Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.

† Temperature Derating:

Plastic "P and D/DW" Packages: - 7.0 mW/ $^\circ\text{C}$ From 65°C To 125°C

Ceramic "L" Packages: - 12 mW/ $^\circ\text{C}$ From 100°C To 125°C

FUNCTIONAL TRUTH TABLE

Clock	Reset	Preset Enable	Jam Input	\bar{Q}_n
	0	0	X	\bar{Q}_n
	0	0	X	\bar{D}_n^*
X	0	1	0	1
X	0	1	1	0
X	1	X	X	1

* D_n is the Data input for that stage. Stage 1 has Data brought out to Pin 1.

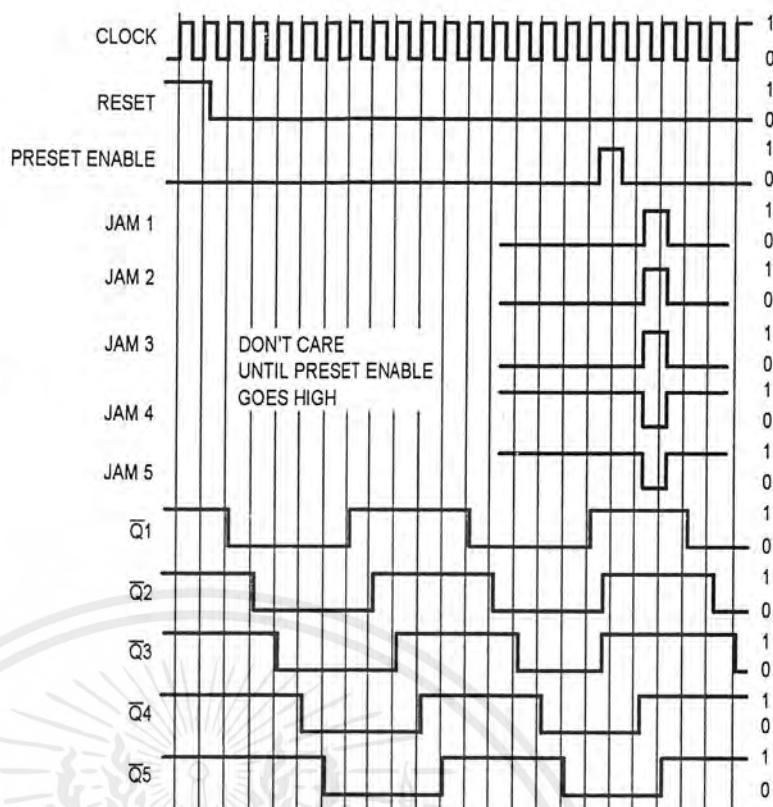
PIN ASSIGNMENT

D_{in}	1	16	V_{DD}
JAM 1	2	15	R
JAM 2	3	14	C
\bar{Q}_2	4	13	\bar{Q}_5
\bar{Q}_1	5	12	JAM 5
\bar{Q}_3	6	11	\bar{Q}_4
JAM 3	7	10	PE
V_{SS}	8	9	JAM 4

This device contains protection circuitry to guard against damage due to high static voltages or electric fields. However, precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than maximum rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, V_{in} and V_{out} should be constrained to the range $V_{SS} \leq (V_{in} \text{ or } V_{out}) \leq V_{DD}$.

Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either V_{SS} or V_{DD}). Unused outputs must be left open.

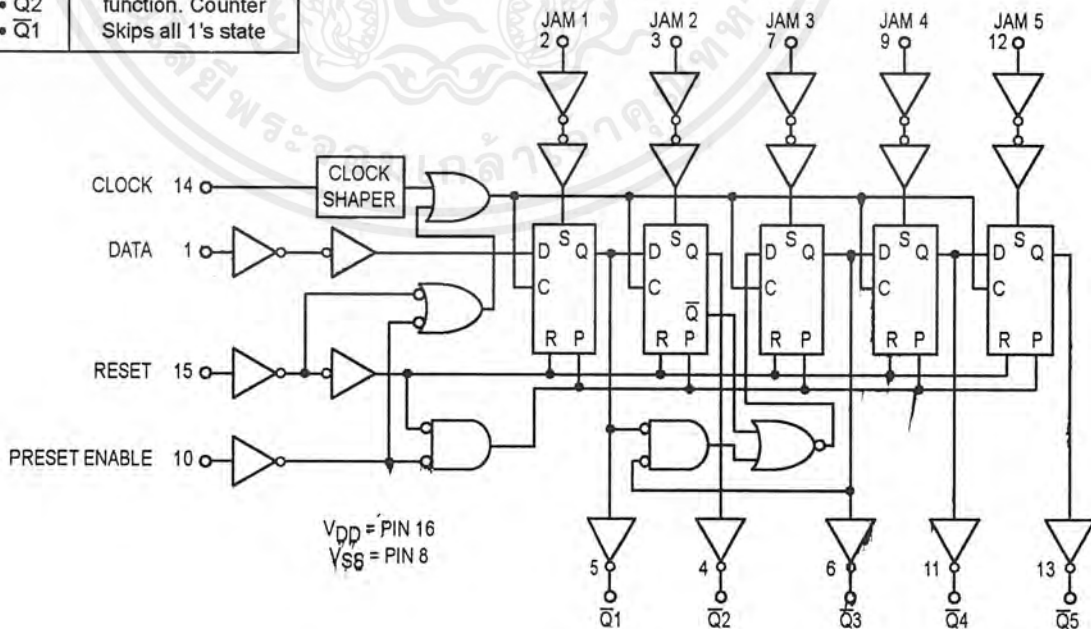
TIMING DIAGRAM
($\bar{Q}5$ Connected to Data Input)



FUNCTION SELECTION

Counter Mode	Connect Data Input (Pin 1) to:	Comments
Divide by 10 Divide by 8 Divide by 6 Divide by 4 Divide by 2	$\bar{Q}5$ $\bar{Q}4$ $\bar{Q}3$ $\bar{Q}2$ $\bar{Q}1$	No external components needed.
Divide by 9 Divide by 7 Divide by 5 Divide by 3	$\bar{Q}5 \cdot \bar{Q}4$ $\bar{Q}4 \cdot \bar{Q}3$ $\bar{Q}3 \cdot \bar{Q}2$ $\bar{Q}2 \cdot \bar{Q}1$	Gate package needed to provide AND function. Counter Skips all 1's state

LOGIC DIAGRAM

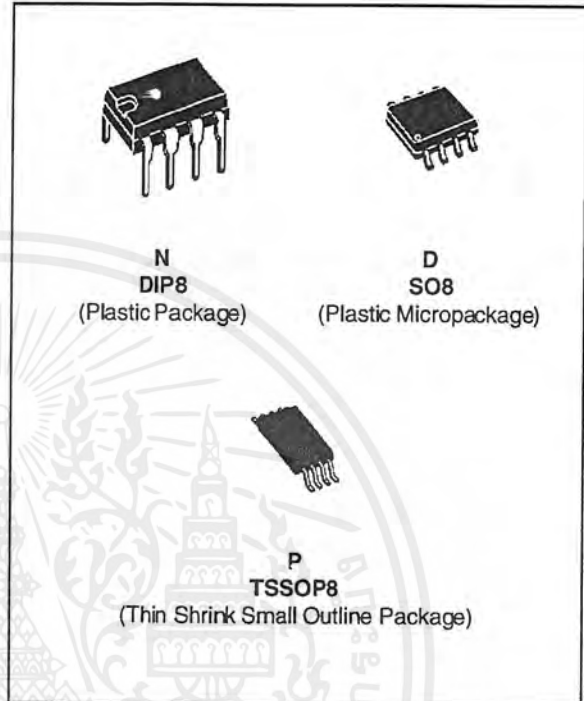




LM193 - LM293 LM393

LOW POWER DUAL VOLTAGE COMPARATORS

- WIDE SINGLE SUPPLY VOLTAGE RANGE OR DUAL SUPPLIES +2V TO +36V OR $\pm 1V$ TO $\pm 18V$
- VERY LOW SUPPLY CURRENT (0.4mA) INDEPENDENT OF SUPPLY VOLTAGE (1 mW/comparator at +5V)
- LOW INPUT BIAS CURRENT : 25nA TYP
- LOW INPUT OFFSET CURRENT : $\pm 5nA$ TYP
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE : $\pm 1mV$ TYP
- INPUT COMMON-MODE VOLTAGE RANGE INCLUDES GROUND
- LOW OUTPUT SATURATION VOLTAGE : 250mV TYP. ($I_o = 4mA$)
- DIFFERENTIAL INPUT VOLTAGE RANGE EQUAL TO THE SUPPLY VOLTAGE
- TTL, DTL, ECL, MOS, CMOS COMPATIBLE OUTPUTS



DESCRIPTION

These devices consist of two independent low power voltage comparators designed specifically to operate from a single supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible.

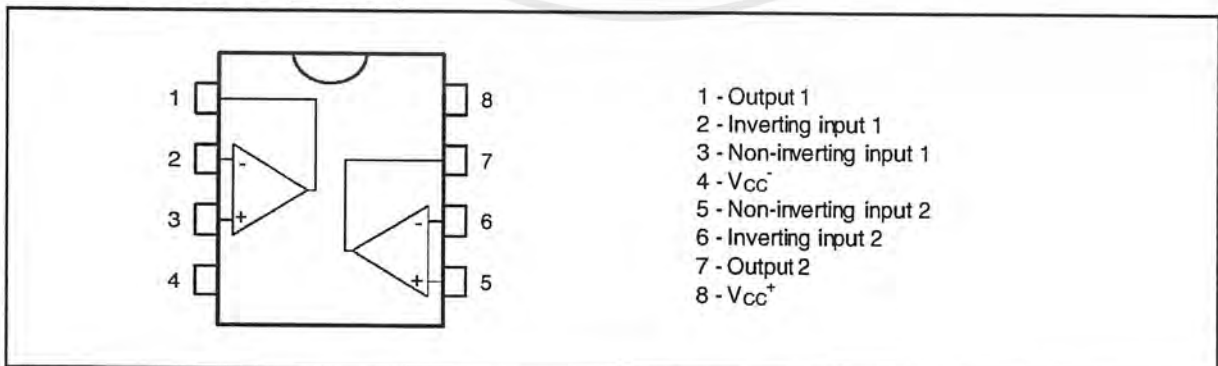
These comparators also have a unique characteristic in that the input common-mode voltage range includes ground even though operated from a single power supply voltage.

ORDER CODES

Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
LM193	-55, +125°C	•	•	•
LM293	-40, +105°C	•	•	•
LM393	0, +70°C	•	•	•

Example : LM393D

PIN CONNECTIONS (top view)



ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC}^+ = +5V$, $V_{CC}^- = 0V$, $T_{amb} = 25^\circ C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	LM193 - LM293 - LM393			Unit
		Min.	Typ.	Max.	
V_{io}	Input Offset Voltage – (note 2) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$		1	5 9	mV
I_{ib}	Input Bias Current – (note 3) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$		25	250 400	nA
I_{io}	Input Offset Current $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$		5	50 150	nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain $V_{CC} = 15V$, $R_L = 15k\Omega$, $V_O = 1$ to $11V$	50	200		V/mV
I_{CC}	Supply Current (all comparators) $V_{CC} = 5V$, no load $V_{CC} = 30V$, no load		0.4 1	1 2.5	mA
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range - (note 4) $T_{amb} = +25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$	0 0		$V_{CC}^+ - 1.5$ $V_{CC}^+ - 2$	V
V_{id}	Differential Input Voltage - (note 6)			V_{CC}^+	V
I_{sink}	Output Sink Current ($V_{id} = -1V$, $V_O = 1.5V$)	6	16		mA
V_{OL}	Low Level Output Voltage ($V_{id} = -1V$, $I_{sink} = 4mA$) $T_{amb} = 25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$		250	400 700	mV
I_{OH}	High Level Output Current ($V_{id} = 1V$, $V_{CC} = V_O = 30V$) $T_{amb} = 25^\circ C$ $T_{min.} \leq T_{amb} \leq T_{max.}$		0.1	1	nA μA
t_{re}	Response Time ($R_L = 5.1k\Omega$ to V_{CC}^+) – (note 5)		1.3		μs
t_{rel}	Large Signal Response Time ($V_i = TTL$, $V_{ref} = +1.4V$, $R_L = 5.1k\Omega$ to V_{CC}^+)		300		ns

- Notes :**
- At output switch point, $V_O = 1.4V$, $R_S = 0\Omega$ with V_{CC}^+ from 5V to 30V and over the full input common-mode range (0V to $V_{CC}^+ - 1.5V$).
 - The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output, so no loading charge exists on the reference or input lines.
 - The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is $V_{CC}^+ - 1.5V$, but either or both inputs can go to +30V without damage.
 - The response time specified is for a 100mV input step with 5mV overdrive. For larger overdrive signals 300ns can be obtained.
 - Positive excursions of input voltage may exceed the power supply level. As long as the other voltage remains within the common-mode range the comparator will provide a proper output state. The low input voltage state must not be less than $-0.3V$ (or 0.3V below the negative power supply, if used).

LM311 LM211

Highly Flexible Voltage Comparators

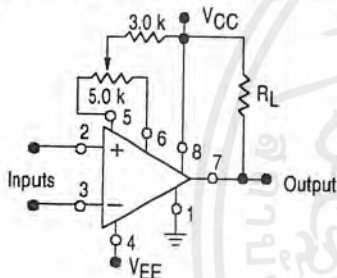
The ability to operate from a single power supply of 5.0 V to 30 V or ± 15 V split supplies, as commonly used with operational amplifiers, makes the LM211/LM311 a truly versatile comparator. Moreover, the inputs of the device can be isolated from system ground while the output can drive loads referenced either to ground, the V_{CC} or the V_{EE} supply. This flexibility makes it possible to drive DTL, RTL, TTL, or MOS logic. The output can also switch voltages to 50 V at currents to 50 mA. Thus the LM211/LM311 can be used to drive relays, lamps or solenoids.

HIGH PERFORMANCE VOLTAGE COMPARATORS

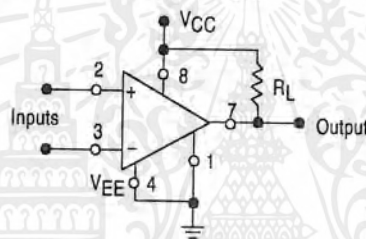
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Typical Comparator Design Configurations

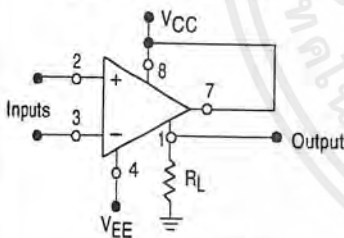
Split Power Supply with Offset Balance



Single Supply

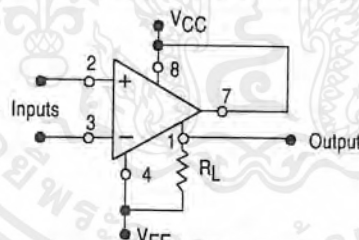


Ground-Referred Load



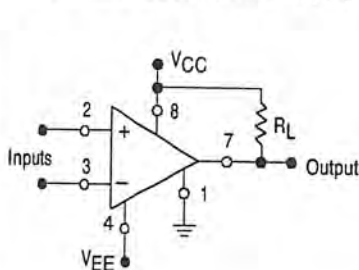
Input polarity is reversed when Gnd pin is used as an output.

Load Referred to Negative Supply

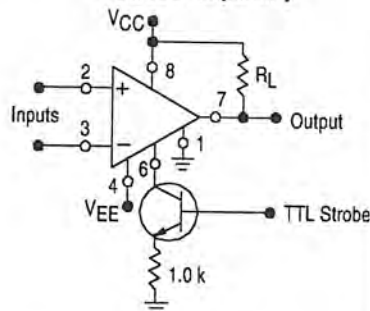


Input polarity is reversed when Gnd pin is used as an output.

Load Referred to Positive Supply



Strobe Capability

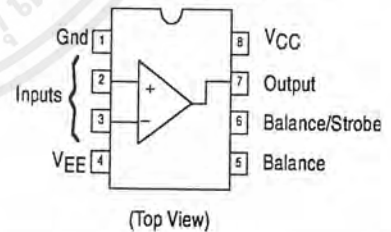


N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 626



D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751
(SO-8)

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
LM211D	$T_A = 25^\circ \text{ to } +85^\circ \text{C}$	SO-8
LM311D LM311N	$T_A = 0^\circ \text{ to } +70^\circ \text{C}$	SO-8 Plastic DIP

LM311 LM211

MAXIMUM RATINGS (T_A = +25°C, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	LM211	LM311	Unit
Total Supply Voltage	V _{CC} + V _{EE}	36	36	V _{dc}
Output to Negative Supply Voltage	V _O - V _{EE}	50	40	V _{dc}
Ground to Negative Supply Voltage	V _{EE}	30	30	V _{dc}
Input Differential Voltage	V _{ID}	±30	±30	V _{dc}
Input Voltage (Note 2)	V _{in}	±15	±15	V _{dc}
Voltage at Strobe Pin	-	V _{CC} to V _{CC} -5	V _{CC} to V _{CC} -5	V _{dc}
Power Dissipation and Thermal Characteristics Plastic DIP Derate Above T _A = +25°C	P _D 1/θ _{JA}	625 5.0		mW mW/°C
Operating Ambient Temperature Range	T _A	-25 to +85	0 to +70	°C
Operating Junction Temperature	T _{J(max)}	+150	+150	°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	-65 to +150	-65 to +150	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = +15 V, V_{EE} = -15 V, T_A = 25°C, unless otherwise noted [Note 1].)

Characteristic	Symbol	LM211			LM311			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage (Note 3) R _S ≤ 50 kΩ, T _A = +25°C R _S ≤ 50 kΩ, T _{low} ≤ T _A ≤ T _{high} *	V _{IO}	-	0.7	3.0	-	2.0	7.5	mV
Input Offset Current (Note 3) T _A = +25°C T _{low} ≤ T _A ≤ T _{high} *	I _{IO}	-	1.7	10	-	1.7	50	nA
Input Bias Current T _A = +25°C T _{low} ≤ T _A ≤ T _{high} *	I _{IB}	-	45	100	-	45	250	nA
Voltage Gain	A _V	40	200	-	40	200	-	V/mV
Response Time (Note 4)	-	-	200	-	-	200	-	ns
Saturation Voltage V _{ID} ≤ -5.0 mV, I _O = 50 mA, T _A = 25°C V _{ID} ≤ -10 mV, I _O = 50 mA, T _A = 25°C V _{CC} ≥ 4.5 V, V _{EE} = 0, T _{low} ≤ T _A ≤ T _{high} * V _{ID} ≤ 6.0 mV, I _{sink} ≤ 8.0 mA V _{ID} ≤ 10 mV, I _{sink} ≤ 8.0 mA	V _{OL}	-	0.75	1.5	-	0.75	1.5	V
Strobe "On" Current (Note 5)	I _S	-	3.0	-	-	3.0	-	mA
Output Leakage Current V _{ID} ≥ 5.0 mV, V _O = 35 V, T _A = 25°C, I _{strobe} = 3.0 mA V _{ID} ≥ 10 mV, V _O = 35 V, T _A = 25°C, I _{strobe} = 3.0 mA V _{ID} ≥ 5.0 mV, V _O = 35 V, T _{low} ≤ T _A ≤ T _{high} *	-	-	0.2	10	-	0.2	50	nA nA μA
Input Voltage Range (T _{low} ≤ T _A ≤ T _{high} *)	V _{ICR}	-14.5	-14.7 to 13.8	+13.0	-14.5	-14.7 to 13.8	+13.0	V
Positive Supply Current	I _{CC}	-	+2.4	+6.0	-	+2.4	+7.5	mA
Negative Supply Current	I _{EE}	-	-1.3	-5.0	-	-1.3	-5.0	mA

* T_{low} = -25°C for LM211
= 0°C for LM311

T_{high} = +85°C for LM211
= +70°C for LM311

- NOTES:**
- Offset voltage, offset current and bias current specifications apply for a supply voltage range from a single 5.0 V supply up to ±15 V supplies.
 - This rating applies for ±15 V supplies. The positive input voltage limit is 30 V above the negative supply. The negative input voltage limit is equal to the negative supply voltage or 30 V below the positive supply, whichever is less.
 - The offset voltages and offset currents given are the maximum values required to drive the output within a volt of either supply with a 1.0 mA load. Thus, these parameters define an error band and take into account the "worst case" effects of voltage gain and input impedance.
 - The response time specified is for a 100 mV input step with 5.0 mV overdrive.
 - Do not short the strobe pin to ground; it should be current driven at 3.0 mA to 5.0 mA.

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จของโครงการนี้ ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบคุณท่านอาจารย์ศิริวัฒน์ โปธิเวกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้คำปรึกษาดูแลเอาใจใส่ และต้องขอขอบคุณพระคุณอาจารย์จักรพงษ์ จารุมิศรี อาจารย์ประจำมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ที่ได้ช่วยแนะนำและเสนอแนะเทคนิคต่างๆ

ขอบคุณชุมชนอิเล็กทรอนิกส์ ที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเครื่องมือต่างๆ พี่ๆ ปริญาโท พี่ต๋อง พี่ต๊อง พี่เสบ พี่จ้อ และเพื่อนๆ 4B ที่ให้คำแนะนำและกำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบคุณบิดามารดา ที่ช่วยเหลือและอนุเคราะห์ทางการเงิน ตลอดจนได้ให้กำลังใจ จนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ
คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] MOHAN , UNDELAND , ROBBINS , “ Power Electronics ” , New York , John Wiley & Son , Inc., Second Edition , 1995
- [2] M.H. Rashid, “Power Electronics”, New Jersey , Prentic-Hall International, Inc.,1993
- [3] กำพล ทองเรือง, “ทฤษฎี และ การออกแบบวงจรพัลส์ ” บริษัทสกายบุ๊กส์ จำกัด , 2539
- [4] นรเศรษฐ พัฒนเดช , ธวัชชัย ศิริจันทร์พร และ สักดิ์ชาย แก้วสกุล, “ชุดจำลองระบบส่งกำลังไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง” วิทยานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2540
- [5] จักรพงษ์ จารุมิศรี , “คอนเวอร์เตอร์ 12 พัลส์ ประยุกต์ใช้ในในระบบส่งถ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง” วิทยานิพนธ์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้