

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ไอจีบีทีอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสสำหรับระบบไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง

Three Phase IGBT Inverter For HV.DC.



โดย

นายธนาวุช สายอุคตะ

นายศรวุฑ ชัยเรืองวิทย์

นายอรรถพงษ์ อสุนี ฦ อุษรยา

นายเอกสิทธิ์ เหลืองทองคำ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหม.....
เลขทะเบียน 37016
วัน, เดือน, ปี ๑๐ ต.ค. 25๔๒

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2542

ไอจีบีทีอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสสำหรับระบบไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง

Three Phase IGBT Inverter For HV.DC.



โดย

นายธนาวุช สายอุดมดี
นายศราวุธ ชัยเรืองวิทย์
นายอรรถพงษ์ อุดิน ญ อยุธยา
นายเอกสิทธิ์ เหลืองทองคำ

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ปริญญาโท ปีการศึกษา 2542

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ไอจีบีที อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส สำหรับระบบไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง

ผู้จัดทำ

- 
1. นายธนาวุช สายอุคตะ
 2. นายศราวุธ ชัยเรืองวิทย์
 3. นายอรรณพ อสุณี ณ อยุธยา
 4. นายเอกสิทธิ์ เหลืองทองคำ



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอจีบีทีอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสสำหรับระบบไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง

นาย ธนาวุธ สายอุดมดี

นาย ศราวุธ ชัยเรืองวิทย์

นาย อรรถนพ อสุนี ณ อยุธยา

นาย เอกสิทธิ์ เหลืองทองคำ

รศ. ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับหลักการทำงาน และคุณสมบัติต่าง ๆ ของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ที่จะนำไปพัฒนาใช้กับการส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรง โดยโครงการจะประกอบไปด้วยวงจรไดโอดเรกติไฟเออร์ 3 เฟส ซึ่งใช้แปลงแรงดันกระแสสลับเป็นแรงดันกระแสตรงส่งให้วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสชนิดควบคุมด้วยการมอดูเลตความกว้างของพัลส์แบบ SPWM ที่พิกัดกำลังไฟฟ้า 1 KVA โดยจะทำการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้า (P) ประสิทธิภาพของระบบ (% η) และผลของฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้นในวงจรอินเวอร์เตอร์ที่โหลดแบบ R

การทดลองนี้ใช้ Insulated Gate Bipolar Transistors (IGBTs) เป็นอุปกรณ์ในการเปิด-ปิดในอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส โดยมี frequency modulation ratio (m_f) = 100 ควบคุมแรงดันเอาต์พุตโดยการปรับค่า modulation index (m_a) และการปรับแรงดันกระแสตรงที่ป้อนเข้า โดยจุดที่เหมาะสมในการใช้งานของไอจีบีทีอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ในการทดลองนี้อยู่ที่ค่า $m_a = 0.8$ และระดับแรงดันกระแสตรงป้อนเข้าที่ 300 โวลต์ โดยมีประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ และประสิทธิภาพของระบบเท่ากับ 67.7% และ 66.6% ตามลำดับ

Three Phase IGBT Inverter For HV.DC

Thanawut Saiudtha
 Sarawut Chairuangwit
 Annop Asunee Na Ayudhaya
 Ekasit Leungtongkum
 Assc.Prof. Siriwat Potivejkul Advisor
 1999

ABSTRACT

The purpose of this paper is to determine operating, condition and properties of the 3 phase inverter that can improve for use in HVDC power transmissions. In this system, component with 3 phase diode bridge rectifier sends power to 3 phase inverter controlled by Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) in the rate of 1 KVA. We analyze system of power (P), Efficiency (% η) and the result of harmonics created by inverter on load R.

This experiment use Insulated Gate Bipolar Transistors (IGBTs) to switch in 3 phase inverter which has frequency modulation ratio (m_f) = 100 and output voltage was controlled by adjustable modulation index (m_a) and input dc voltage. In this experiment, the suitable operating point of 3 phase IGBTs inverter was $m_a = 0.8$ and input dc voltage = 300 V. Its efficiency and system efficiency were 67.7% and 67.6% respectively .

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	VI
บทที่ 1 บทนำ	I
1.1 วัตถุประสงค์ และขอบเขตของโครงการ	I
1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยโครงการ	2
1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ระบบการส่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรง	3
2.2 ไอจีบีที (Insulated Gate Bipolar Transistor : IGBT)	4
2.3 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)	4
บทที่ 3 การออกแบบ	8
3.1 วงจรเรกติไฟเออร์ (Rectifier)	8
3.2 วงจรอินเวอร์เตอร์	9
บทที่ 4 การทดลอง	15
4.1 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการหาค่ากำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพของการส่งกำลังไฟฟ้า	15
4.2 ขั้นตอนการทดสอบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า	16
4.3 การทดสอบส่งจ่ายพลังงานกำลังไฟฟ้าโดยการปรับค่ามอดูเลชันอินเดกซ์	17
4.4 การทดสอบการส่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าโดยการปรับค่าแรงดันกระแสตรง	29
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผล	38
5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง	38
5.2 สรุปการออกแบบ	38
5.3 เงื่อนไขในการทดลอง	39
5.4 ผลที่ได้จากการทดลอง	39
5.5 สรุปผลที่ได้จากการทดลอง	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 ปัญหาในการทดลอง	40
5.7 แนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต	40

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง	3
รูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบทั้งหมดของชุดจำลองระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง	8
รูปที่ 3.2 วงจรสร้างสัญญาณพีคดับบิวเอ็ม	9
รูปที่ 3.3 สัญญาณไซน์ และสัญญาณสามเหลี่ยมที่ใช้นำมาเปรียบเทียบจากวงจรจริง	10
รูปที่ 3.4 สัญญาณพีคดับบิวเอ็มที่ได้จากวงจรจริง	11
รูปที่ 3.5 วงจรล๊อคเอาท์	11
รูปที่ 3.6 สัญญาณเอาท์พุทของวงจรล๊อคเอาท์จากวงจรจริง	12
รูปที่ 3.7 วงจรขับเกท	12
รูปที่ 3.8 เอาท์พุทของวงจรขับเกทจากวงจรจริง	13
รูปที่ 3.9 แสดงการทำงานของชุด SPWM Control	13
รูปที่ 3.10 วงจรกำลัง	14
รูปที่ 4.1 รูปแสดงการทดสอบการทำงาน	17
รูปที่ 4.2 รูปแสดงการต่อโหลดแบบสตาร์ของโหลด R ในวงจรทดสอบ	17
รูปที่ 4.3 สัญญาณแรงดัน V_{an} ที่ $V_{DC} = 250 \text{ V}$, $m_a = 0.4$ โหลดแบบ R	19
รูปที่ 4.4 สัญญาณกระแส V_{ab} ที่ $V_{DC} = 250 \text{ V}$, $m_a = 0.4$ โหลดแบบ R	19
รูปที่ 4.5 สัญญาณแรงดัน I_{an} ที่ $V_{DC} = 250 \text{ V}$, $m_a = 0.4$ โหลดแบบ R	19
รูปที่ 4.6 สัญญาณกระแส V_{an} ที่ $V_{DC} = 250 \text{ V}$, $m_a = 0.6$ โหลดแบบ R	19
รูปที่ 4.7 สัญญาณแรงดัน V_{ab} ที่ $V_{DC} = 250 \text{ V}$, $m_a = 0.6$ โหลดแบบ R	19
รูปที่ 4.8 สัญญาณกระแส I_{an} ที่ $V_{DC} = 250 \text{ V}$, $m_a = 0.6$ โหลดแบบ R	19
รูปที่ 4.9 สัญญาณแรงดัน V_{an} ที่ $V_{DC} = 250 \text{ V}$, $m_a = 0.8$ โหลดแบบ R	20
รูปที่ 4.10 สัญญาณกระแส V_{ab} ที่ $V_{DC} = 250 \text{ V}$, $m_a = 0.8$ โหลดแบบ R	20
รูปที่ 4.11 สัญญาณแรงดัน I_{an} ที่ $V_{DC} = 250 \text{ V}$, $m_a = 0.8$ โหลดแบบ R	20
รูปที่ 4.12 สัญญาณกระแส V_{an} ที่ $V_{DC} = 250 \text{ V}$, $m_a = 1.0$ โหลดแบบ R	20
รูปที่ 4.13 สัญญาณแรงดัน V_{ab} ที่ $V_{DC} = 250 \text{ V}$, $m_a = 1.0$ โหลดแบบ R	20
รูปที่ 4.14 สัญญาณกระแส I_{an} ที่ $V_{DC} = 250 \text{ V}$, $m_a = 1.0$ โหลดแบบ R	20
รูปที่ 4.15 สัญญาณแรงดัน V_{an} ที่ $V_{DC} = 250 \text{ V}$, $m_a = 1.2$ โหลดแบบ R	21
รูปที่ 4.16 สัญญาณกระแส V_{ab} ที่ $V_{DC} = 250 \text{ V}$, $m_a = 1.2$ โหลดแบบ R	21
รูปที่ 4.17 สัญญาณกระแส I_{an} ที่ $V_{DC} = 250 \text{ V}$, $m_a = 1.2$ โหลดแบบ R	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.18 สัญญาณกระแส V_{in} ที่ $V_{\text{DC}} = 250 \text{ V}$, $m_a = 1.4$ โหลดแบบ R	21
รูปที่ 4.19 สัญญาณกระแส V_{ab} ที่ $V_{\text{DC}} = 250 \text{ V}$, $m_a = 1.4$ โหลดแบบ R	21
รูปที่ 4.20 สัญญาณกระแส I_{in} ที่ $V_{\text{DC}} = 250 \text{ V}$, $m_a = 1.4$ โหลดแบบ R	21
รูปที่ 4.21 สัญญาณกระแส V_{in} ที่ $V_{\text{DC}} = 250 \text{ V}$, $m_a = 1.6$ โหลดแบบ R	22
รูปที่ 4.22 สัญญาณกระแส V_{ab} ที่ $V_{\text{DC}} = 250 \text{ V}$, $m_a = 1.6$ โหลดแบบ R	22
รูปที่ 4.23 สัญญาณกระแส I_{in} ที่ $V_{\text{DC}} = 250 \text{ V}$, $m_a = 1.6$ โหลดแบบ R	22
รูปที่ 4.24 สเปกตรัมของกระแสที่ $V_{\text{DC}} = 250 \text{ V}$, $m_a = 0.4$	22
รูปที่ 4.25 สเปกตรัมของกระแสที่ $V_{\text{DC}} = 250 \text{ V}$, $m_a = 0.6$	23
รูปที่ 4.26 สเปกตรัมของกระแสที่ $V_{\text{DC}} = 250 \text{ V}$, $m_a = 0.8$	23
รูปที่ 4.27 สเปกตรัมของกระแสที่ $V_{\text{DC}} = 250 \text{ V}$, $m_a = 1.0$	23
รูปที่ 4.28 สเปกตรัมของกระแสที่ $V_{\text{DC}} = 250 \text{ V}$, $m_a = 1.2$	24
รูปที่ 4.29 สเปกตรัมของกระแสที่ $V_{\text{DC}} = 250 \text{ V}$, $m_a = 1.4$	24
รูปที่ 4.30 สเปกตรัมของกระแสที่ $V_{\text{DC}} = 250 \text{ V}$, $m_a = 1.6$	24
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์เอาท์พุทกับค่า m_a	27
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่ $V_{\text{DC}} = 250 \text{ V}$	28
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงประสิทธิภาพของระบบที่ค่า $V_{\text{DC}} = 250 \text{ V}$	28
รูปที่ 4.34 รูปแสดงการทดสอบการทำงาน	29
รูปที่ 4.35 รูปแสดงการต่อโหลดแบบสตาร์ของโหลด R ในวงจรทดสอบ	29
รูปที่ 4.36 รูปสัญญาณแรงดัน V_{in} ที่ $m_a = 0.8$, $V_{\text{DC}} = 50 \text{ V}$	30
รูปที่ 4.37 รูปสัญญาณแรงดัน V_{ab} ที่ $m_a = 0.8$, $V_{\text{DC}} = 50 \text{ V}$	30
รูปที่ 4.38 รูปสัญญาณแรงดัน I_{in} ที่ $m_a = 0.8$, $V_{\text{DC}} = 50 \text{ V}$	30
รูปที่ 4.39 รูปสัญญาณแรงดัน V_{in} ที่ $m_a = 0.8$, $V_{\text{DC}} = 100 \text{ V}$	30
รูปที่ 4.40 รูปสัญญาณแรงดัน V_{ab} ที่ $m_a = 0.8$, $V_{\text{DC}} = 100 \text{ V}$	30
รูปที่ 4.41 รูปสัญญาณแรงดัน I_{in} ที่ $m_a = 0.8$, $V_{\text{DC}} = 100 \text{ V}$	30
รูปที่ 4.42 รูปสัญญาณแรงดัน V_{in} ที่ $m_a = 0.8$, $V_{\text{DC}} = 150 \text{ V}$	31
รูปที่ 4.43 รูปสัญญาณแรงดัน V_{ab} ที่ $m_a = 0.8$, $V_{\text{DC}} = 150 \text{ V}$	31
รูปที่ 4.44 รูปสัญญาณแรงดัน I_{in} ที่ $m_a = 0.8$, $V_{\text{DC}} = 150 \text{ V}$	31
รูปที่ 4.45 รูปสัญญาณแรงดัน V_{in} ที่ $m_a = 0.8$, $V_{\text{DC}} = 200 \text{ V}$	31
รูปที่ 4.46 รูปสัญญาณแรงดัน V_{ab} ที่ $m_a = 0.8$, $V_{\text{DC}} = 200 \text{ V}$	31
รูปที่ 4.47 รูปสัญญาณแรงดัน I_{in} ที่ $m_a = 0.8$, $V_{\text{DC}} = 200 \text{ V}$	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.48 รูปสัญญาณแรงดัน V_{an} ที่ $m_a = 0.8$, $V_{DC} = 250$ V	32
รูปที่ 4.49 รูปสัญญาณแรงดัน V_{ab} ที่ $m_a = 0.8$, $V_{DC} = 250$ V	32
รูปที่ 4.50 รูปสัญญาณแรงดัน I_{an} ที่ $m_a = 0.8$, $V_{DC} = 250$ V	32
รูปที่ 4.51 รูปสัญญาณแรงดัน V_{an} ที่ $m_a = 0.8$, $V_{DC} = 300$ V	32
รูปที่ 4.52 รูปสัญญาณแรงดัน V_{ab} ที่ $m_a = 0.8$, $V_{DC} = 300$ V	32
รูปที่ 4.53 รูปสัญญาณแรงดัน I_{an} ที่ $m_a = 0.8$, $V_{DC} = 300$ V	32
รูปที่ 4.54 สเปกตรัมของกระแสที่ $V_{DC} = 50$ V, $m_a = 0.8$	33
รูปที่ 4.55 สเปกตรัมของกระแสที่ $V_{DC} = 100$ V, $m_a = 0.8$	33
รูปที่ 4.56 สเปกตรัมของกระแสที่ $V_{DC} = 150$ V, $m_a = 0.8$	33
รูปที่ 4.57 สเปกตรัมของกระแสที่ $V_{DC} = 200$ V, $m_a = 0.8$	34
รูปที่ 4.58 สเปกตรัมของกระแสที่ $V_{DC} = 250$ V, $m_a = 0.8$	34
รูปที่ 4.59 สเปกตรัมของกระแสที่ $V_{DC} = 300$ V, $m_a = 0.8$	34
รูปที่ 4.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับ V_{DC}	36
รูปที่ 4.61 กราฟแสดงประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่ค่า $m_a = 0.8$	37
รูปที่ 4.62 กราฟแสดงประสิทธิภาพประสิทธิภาพของระบบที่ค่า $m_a = 0.8$	37

สารบัญตาราง

		หน้า
ตาราง 4.1	ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้ทางด้านเรกติไฟเออร์ที่ค่า $V_{DC} = 250 \text{ V}$	25
ตาราง 4.2	ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้ทางด้านอินเวอร์เตอร์ที่ค่า $V_{DC} = 250 \text{ V}$	26
ตาราง 4.3	ประสิทธิภาพของเรกติไฟเออร์ อินเวอร์เตอร์ และของระบบที่ค่า $V_{DC} = 250 \text{ V}$	27
ตาราง 4.4	ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้ทางด้านเรกติไฟเออร์ที่ค่า $m_u = 0.8$	35
ตาราง 4.5	ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้ทางด้านอินเวอร์เตอร์ที่ค่า $m_u = 0.8$	35
ตาราง 4.6	ประสิทธิภาพของเรกติไฟเออร์ อินเวอร์เตอร์ และของระบบที่ค่า $m_u = 0.8$	27



บทที่ 1

บทนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่ถูกผลิตขึ้นมาเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ ซึ่งอุปกรณ์อำนวยความสะดวก อุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม และอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์หรือทางด้านวิศวกรรมล้วนต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าด้วยกันทั้งสิ้น สาเหตุที่พลังงานไฟฟ้ามีบทบาทขึ้นมา ก็เพราะว่าพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่มีความสะอาด และปราศจากมลภาวะต่อมวลมนุษย์

ความต้องการพลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มที่จะเพิ่มทุกปีในขณะที่ทรัพยากรต่าง ๆ ที่เรานำมาแปรรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าก็ร่อยหรอหมดลงไปซึ่งเป็นไปตามสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานไฟฟ้าก็คือการพยายามที่จะใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ให้มีประโยชน์สูงสุด หรือให้เกิดประโยชน์สูงสุดนั่นเอง

การส่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าด้วยระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ตอบสนองความต้องการตรงจุดนี้เนื่องจากถ้าเรานำไปเปรียบเทียบกับ การส่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าที่พิกัดกำลังสูงและมีระยะทางไกลมาก ๆ การส่งจ่ายด้วยระบบส่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจะมีคุณสมบัติที่ดีว่าการส่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้ากระแสสลับอยู่หลายประการไม่ว่าจะเป็นเรื่องค่าสูญเสียในสายส่ง ประสิทธิภาพของการส่งพลังงานในระบบตลอดจนการทำการต่อเชื่อมโยงระบบที่มีความดีต่างกัน

1.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยใช้ระบบแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง
2. เพื่อศึกษาการทำงาน และจำลองอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งใช้ ไอจีบีทีเป็นตัวสวิตช์
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบ และผลของฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้นในระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง
4. เพื่อศึกษาผลดี และผลเสียของการส่งกำลังไฟฟ้าโดยใช้ระบบแรงดันสูงกระแสตรง

1.2 ขอบเขตโครงการ

สร้างชุดเรกติฟายเออร์ 3 เฟส เพื่อจำลองเป็นคอนเวอร์เตอร์ด้านส่ง และสร้างชุดอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ควบคุมการทำงานด้วยการมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์ เป็นการจำลองคอนเวอร์เตอร์ด้านรับ นำคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 2 ส่วน มาสร้างเป็นแบบจำลองการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ 1 KVA 50 เฮิรตซ์ หาประสิทธิภาพการส่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้า และผลของฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยโครงการ

1. เป็นการนำเอาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics) มาประยุกต์ใช้งานกับระบบไฟฟ้ากำลัง
2. เป็นแนวทางที่จะส่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
3. เป็นแนวทางให้ผู้ที่สนใจในเรื่องการส่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรง ได้พัฒนาระบบต่อไป
4. รู้จักการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นขณะทำโครงการวิศวกรรม

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีของระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง
2. ศึกษาทฤษฎี และการทำงานของชุดอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ (Inverter)
3. ออกแบบ และสร้างชุดอินเวอร์เตอร์โดยใช้ไอจีบีที (IGBT) เป็นอุปกรณ์ในการสวิตช์ (Switching)
4. ออกแบบ และสร้างชุดทดสอบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า
5. ทำการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของระบบ และของอินเวอร์เตอร์
6. ทำการวัดเพื่อศึกษาถึงฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้น และผลของฮาร์โมนิกที่มีต่อระบบ
7. ทำการวิเคราะห์ และสรุปผลที่ได้จากการทดสอบ พร้อมทั้งเสนอให้เห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้น และความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาระบบอีกต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบการส่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรง

2.1.1 ลักษณะของการส่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (Kind of DC Link)

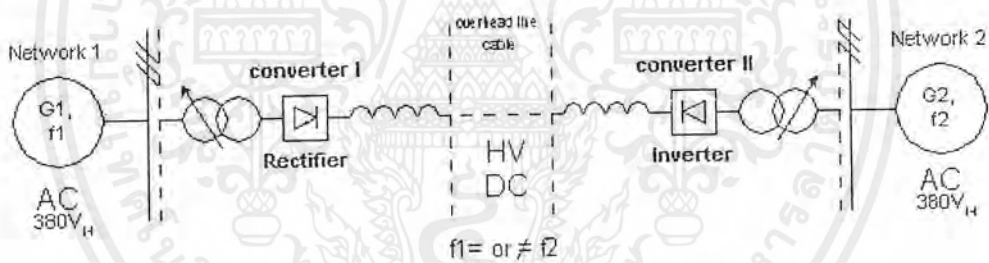
การส่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรงสามารถแบ่งรูปแบบการส่งได้เป็น 3 ระบบ คือ

2.1.1.1 ระบบขั้วเดียว (Monopolar Link)

2.1.1.2 ระบบขั้วเดียวร่วมกัน (Homopolar Link)

2.1.1.3 ระบบสองขั้ว (Bipolar Link)

จาก 3 ระบบดังกล่าวข้างต้นได้กล่าวมาแล้วเป็นการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งแต่ถ้าเราต้องการส่งพลังงานระหว่างหลายจุดก็สามารถที่จะทำได้ ซึ่งเราเรียกระบบนี้ว่า ระบบหลายขั้ว (Multiterminal System) ซึ่งการเชื่อมโยงอาจจะเป็นแบบขนาน หรือแบบอนุกรมก็ได้



รูปที่ 2.1 ระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง

2.1.2 การเปรียบเทียบระหว่างการส่งจ่ายพลังงานด้วยระบบไฟฟ้ากระแสตรงและระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

- 1) เมื่อใช้สายตัวนำรวมเท่ากัน ระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะสามารถส่งจ่ายพิกัดกำลังไฟฟ้าได้สูงกว่าระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ
- 2) การส่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรง จะมีผลประสิทธิภาพ และค่าแรงดันแรงครุจรขึ้น (Voltage Regulation) ดีกว่าระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ
- 3) ระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะมีความน่าเชื่อถือสูงทางด้านความมั่นคงของการส่งกำลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง จะสามารถเชื่อมโยงระบบที่มีความถี่แตกต่างกันได้ เนื่องจากไม่มีระบบการซิงโครไนซ์ (Synchronous)

5) ถึงแม้ว่าราคาของอุปกรณ์ชุดคอนเวอร์เตอร์ยังมีราคาแพงแต่เมื่อมีการส่งจ่ายด้วยระยะทางไกล ๆ ค่าใช้จ่ายโดยรวมของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงจะมีราคาถูกกว่า

6) ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง ยังไม่มีอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าระดับแรงดันได้เหมือนระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งในปัจจุบันได้พยายามแก้ไขตรงจุดนี้โดยการพัฒนานำเอาสารกึ่งตัวนำมาใช้เป็นสวิตช์

2.2 ไอจีบีที (Insulated Gate Bipolar Transistor : IGBT)

อุปกรณ์เพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลที่พอจะคุ้นเคยและใช้งานกันอย่างกว้างขวางโดยทั่วไปได้แก่ เอสซีอาร์ (SCR) , ไตรแอค (TRIAC) , ทรานซิสเตอร์ (Transistor) และ มอสเฟต (MOSFET) โดยเฉพาะทรานซิสเตอร์ และมอสเฟต ซึ่งอุปกรณ์ทั้งสองชนิด ก็มีคุณสมบัติที่ต่างกันออกไป กล่าวคือ ทรานซิสเตอร์ขณะอยู่ในสภาวะนำกระแสจะมีอัตราการสูญเสียกำลังงานต่ำ มีอัตราทนแรงดัน และขยายกระแสได้สูงแต่ความเร็วในการสวิตช์ยังต่ำอยู่ โดยเฉพาะช่วงหยุดนำกระแสจะมีช่วงเวลาที่ยาวกว่า ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ตรงข้ามกับมอสเฟต ที่มีความเร็วในการสวิตช์ทำงานนำกระแส และหยุดนำกระแสได้เร็วกว่ามาก แต่ก็มีอัตราการสูญเสียกำลังงานสูงมากเช่นกัน จากข้อดี และข้อเสียที่กล่าวมาของทรานซิสเตอร์ และมอสเฟต จึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ทางเพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดใหม่ขึ้นมาโดยได้รวมเอาข้อดีของทั้งทรานซิสเตอร์และมอสเฟต เข้าไว้ด้วยกัน และเรียกอุปกรณ์ชนิดนี้ว่า ไอจีบีที

2.3 อินเวอร์เตอร์ (INVERTER)

วงจรอินเวอร์เตอร์ คือวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ โดยสามารถควบคุมได้ทั้งขนาดและความถี่ที่ต้องการ นั่นคือแรงดันเอาต์พุตอาจคงที่ หรือแปรค่าได้ที่ความถี่ที่คงที่หรือความถี่แปรค่าได้

2.3.1 ประเภทของอินเวอร์เตอร์

แบ่งได้เป็นสองประเภทคือ

1. อินเวอร์เตอร์แบบจ่ายกระแส (Current – Source Inverter : CSI)
2. อินเวอร์เตอร์แบบแรงดัน (Voltage – Source Inverter : VSI)

โดยอินเวอร์เตอร์ทั้งสองแบบนี้จะมีคุณสมบัติ และลักษณะรูปคลื่นของแรงดัน และกระแส

ที่แตกต่างกัน และเหมาะสมกับการใช้งานที่แตกต่างกันออกไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. อินเวอร์เตอร์แบบจ่ายกระแส

มีข้อดีคือ ลักษณะของแรงดันเอาต์พุตจะมีรูปร่างเข้าใกล้รูปไซน์ แต่จะมีข้อจำกัดทางด้านช่วงความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่สามารถปรับได้ค่อนข้างต่ำ และไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะไร้โหลด นอกจากนี้ขนาดของดีซีลิงค์อินดักเตอร์ และตัวเก็บประจุจะใหญ่ ทำให้อินเวอร์เตอร์แบบนี้ค่อนข้างมีขนาดใหญ่ ราคาแพง การตอบสนองของไดรฟ์นี้ค่อนข้างช้า และมีแนวโน้มที่จะมีปัญหาของการมีเสถียรภาพที่โหลดต่ำ

2. อินเวอร์เตอร์แบบจ่ายแรงดัน

โครงสร้างแรงดันดีซีลิงค์มีขนาดตัวเก็บประจุที่มีค่ามาก อาจกล่าวได้ว่าแรงดันอินพุตของอินเวอร์เตอร์มีค่าคงที่ ทำให้แรงดันอินพุตของอินเวอร์เตอร์คงที่ไม่ขึ้นอยู่กับโหลด และโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ 6-step อินเวอร์เตอร์ และ ฟีดแบ็คบิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ (ซึ่งใช้ในโครงงานนี้) ข้อดีของอินเวอร์เตอร์แบบจ่ายแรงดันคือสามารถควบคุมแรงดัน และความถี่ได้ง่าย ปรับความถี่ได้ในย่านกว้าง ส่วนข้อเสียคือมักมีปัญหาในเรื่องการกักตวงจรของอุปกรณ์สวิตชิงในกิ่งเดียวกันของอินเวอร์เตอร์ ในทางปฏิบัติใช้ วงจรล็อกเอาท์ (Lock Out Circuit) ที่มีการสร้างเดด ไทม์ (Dead Time) เป็นส่วนช่วยในการป้องกัน

2.3.2 ฟีดแบ็คบิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ (PWM Inverter)

ฟีดแบ็คบิวเอ็ม (Pulse Width Modulation : PWM) คือ สัญญาณที่มีความถี่คงที่ และสามารถเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์ (Pulse) ได้ตามต้องการ ซึ่งทำให้จึงหวะเปิด (on) และปิด (off) ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสวิตชิง (switching) เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ฟีดแบ็คบิวเอ็มเป็นเทคนิคการแบ่งรูปคลื่นใน 1 คาบ ออกเป็นพัลส์โดยที่แต่ละพัลส์อาจมีความกว้างพัลส์ไม่เท่ากัน แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

1. Pulse Width Modulation

เป็นการนำเอาเทคนิคการควบคุมความกว้างของพัลส์ นำมาใช้เปิดปิดสวิตซ์หลาย ๆ ครั้งในครึ่งคาบทำให้ฮาร์โมนิคอันดับต่ำสูงขึ้นซึ่งสามารถกรองออกได้ง่าย การควบคุมระดับแรงดันเอาต์พุตทำได้โดยการควบคุมความกว้างของพัลส์โดยสัญญาณที่จะนำไปควบคุมการเปิดปิดสวิตซ์จะสร้างจากการเปรียบเทียบสัญญาณสามเหลี่ยมกับสัญญาณไฟตรง ฮาร์โมนิคที่มีระดับต่ำกว่าจำนวนพัลส์ในครึ่งคาบจะถูกกำจัดหรือลดทอนลง แม้การเพิ่มจำนวนพัลส์ในครึ่งคาบจะเป็นการเพิ่มขนาดของฮาร์โมนิคอันดับต้น ๆ ก็ตามแต่สามารถกรองฮาร์โมนิคดังกล่าวออกได้ง่าย

2. Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)

วิธีการสร้างสัญญาณควบคุมแบบพีดับบิวเอ็มจะทำให้ความกว้างของพัลส์มีค่าเท่ากันซึ่งมีข้อจำกัดในการกำจัดฮาร์โมนิกที่ความถี่ต่าง ๆ เพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าวจึงใช้วิธีสร้างสัญญาณให้มีความกว้างของพัลส์แต่ละพัลส์ไม่เท่ากัน เทคนิคที่เป็นที่นิยมมากได้แก่ Sinusoidal Pulse Width Modulation ซึ่งจะสร้างสัญญาณควบคุมโดยการเปรียบเทียบสัญญาณสามเหลี่ยมกับสัญญาณรูปไซน์ โดยที่

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

m_a = amplitude modulation ratio หรือ modulation index

$V_{control}$ = ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณควบคุม (สัญญาณ ไซน์)

V_{tri} = ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณสามเหลี่ยม

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

m_f = frequency modulation ratio

f_s = ความถี่ของสัญญาณสามเหลี่ยม

f_1 = ความถี่ fundamental ของสัญญาณ ไซน์ (50 Hz)

โครงสร้างของพีดับบิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ในส่วนของแรงดันดีซีลิงค์สามารถใช้รีคตีไฟเออร์ที่เป็นไดโอดทำให้แรงดันของดีซีลิงค์มีค่าคงที่ ซึ่งไม่อาจควบคุมแรงดันดีซีได้ และลดขนาด LC ฟิลเตอร์ให้เล็กลง ดังนั้นความถี่และแรงดันเอาต์พุทของแรงดันมูลฐาน สามารถควบคุมได้โดยใช้เทคนิคของพีดับบิวเอ็มซึ่งอยู่ในส่วนของอินเวอร์เตอร์ เทคนิคพีดับบิวเอ็มนี้จะให้แรงดันเอาต์พุทที่มีองค์ประกอบฮาร์โมนิกอันดับต่ำน้อยลง แต่จำนวนครั้งของการสวิตชิ่งสูงขึ้น ดังนั้นจึงมีปัญหาของการสูญเสียของการสวิตชิ่ง แต่จะใช้งานได้ดีในย่านความถี่ต่ำ

2.3.3 การมอดคูเลชัน (Modulation)

2.3.3.1 การมอดคูเลชันเชิงเส้น ($m_a \leq 1.0$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในย่านที่เป็นเส้นตรง ($ma \leq 1.0$) แรงดันเอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลงเป็นเชิงเส้นกับ ma (amplitude modulation ratio) ค่ายอดของความถี่มูลฐานที่ประกอบอยู่ในหนึ่งขาของอินเวอร์เตอร์คือ

$$\hat{V}_{an1} = ma \frac{V_d}{2} \quad (2.3)$$

ดังนั้นแรงดัน line-line (rms) ที่ความถี่ฐาน เฟสจะเลื่อนไป 120° ระหว่างแรงดันเฟสซึ่งจะสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} V_{LL_{rms}} &= \frac{\sqrt{2}}{3} \hat{V}_{an1} \\ &= \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} ma V_d \\ &= 0.612 ma V_d \end{aligned} \quad (2.4)$$

องค์ประกอบฮาร์โมนิกของแรงดัน line-line สามารถที่จะคำนวณในลักษณะเดียวกันกับแบบหนึ่งเฟส บางฮาร์โมนิกถูกกำจัดออกไปจากแรงดัน line-line

2.3.3.2 การมอดูเลชันที่ไม่เป็นเชิงเส้น ($ma \geq 1.0$)

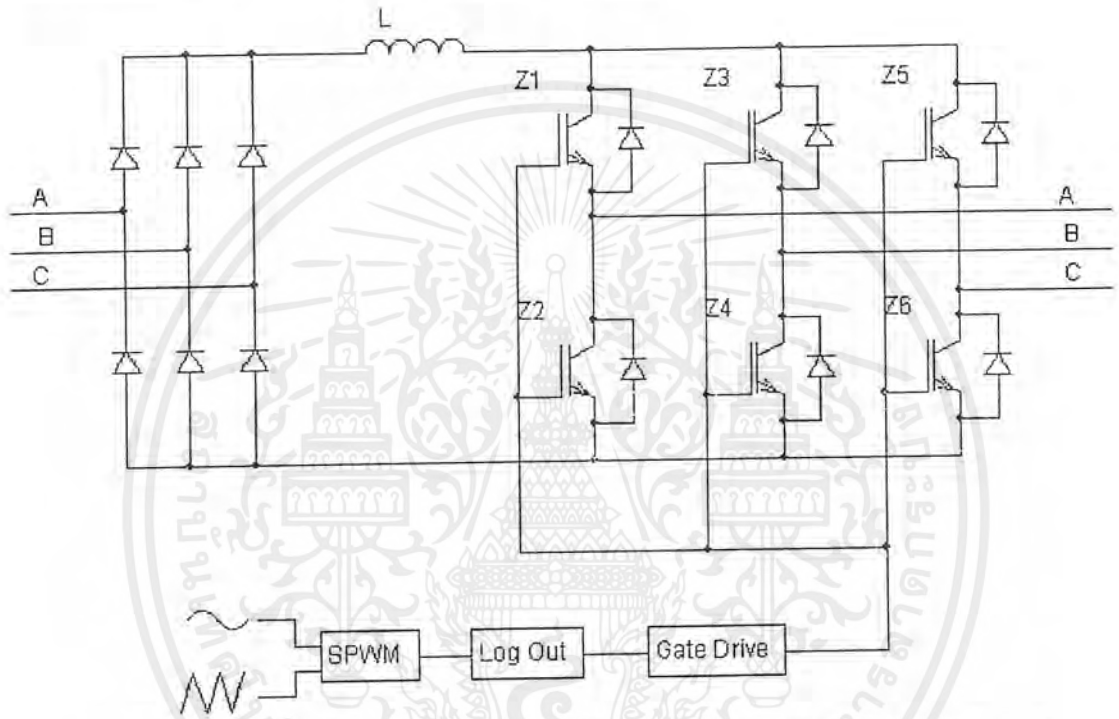
ใน พีคดับลิวิตีเอ็ม ที่โอเวอร์มอดูเลชัน ค่ายอดของแรงดันควบคุมยอมให้เกินค่ายอดของสัญญาณสามเหลี่ยม ในโหมดของการทำงานนี้ขนาดของแรงดันที่ความถี่มูลฐานจะไม่เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับ ma ที่ค่าแรงดัน line-line (rms) ของความถี่มูลฐาน (V_{LL}) เขียนโดยฟังก์ชันของ ma เหมือนกันกับ พีคดับลิวิตีเอ็มหนึ่งเฟสสำหรับค่า ma ที่มีค่ามากจะเข้าสู่รูปสัญญาณ Square-wave inverter ค่ามากที่สุดของ $V_{LL} = 0.78V_d$

ในย่าน โอเวอร์มอดูเลชันเปรียบเทียบกับย่าน $ma \leq 1.0$ ฮาร์โมนิกส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นรอบๆ จุดศูนย์กลางความถี่ของฮาร์โมนิก mf และจะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ฮาร์โมนิกที่สำคัญอาจจะไม่มีแอมพลิจูดมากเมื่อเทียบกับที่ $ma \leq 1.0$ ดังนั้นกำลังงานสูญเสียในโพลระหว่างความถี่ฮาร์โมนิกอาจจะไม่สูงในโอเวอร์มอดูเลชัน ดังที่แสดงค่าของไซด์แบน (side band) ฮาร์โมนิกเพิ่มเติมตามที่แนะนำจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของโพลและความถี่สวิทช์ การสูญเสียระหว่างฮาร์โมนิกนี้ในโอเวอร์มอดูเลชันอาจจะน้อยกว่าในระดับเดียวกันในเชิงเส้นของ พีคดับลิวิตีเอ็ม

บทที่ 3

การออกแบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสร้างส่วนต่าง ๆ ของอุปกรณ์ประกอบชุดจำลองระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง โดยแสดงเป็นส่วนใหญ่ ๆ ได้ดังรูป



รูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบทั้งหมดของชุดจำลองระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปเป็นส่วนประกอบ และวงจรต่าง ๆ ของโครงงานนี้ ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญดังนี้

3.1 วงจรเรกติฟายเออร์ (Rectifier)

เป็นวงจรที่ใช้สำหรับแปลงไฟกระแสสลับให้เป็นไฟกระแสตรง โดยในโครงงานนี้จะใช้บริดจ์ 3 เฟสสำเร็จรูปเบอร์ DF20AA ซึ่งประกอบด้วยไดโอด 6 ตัว แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อผ่านวงจรบริดจ์เรกติฟายเออร์หาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} V_{(dc)} &= \frac{2}{2\pi/6} \int_0^{\pi/6} V_m \cos(\omega t) d(\omega t) \\ &= \frac{3}{\pi} V_m = 0.955 V_m \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$= 0.955 \sqrt{2} V_{rms} = 1.35 V_{rms} \quad (3.2)$$

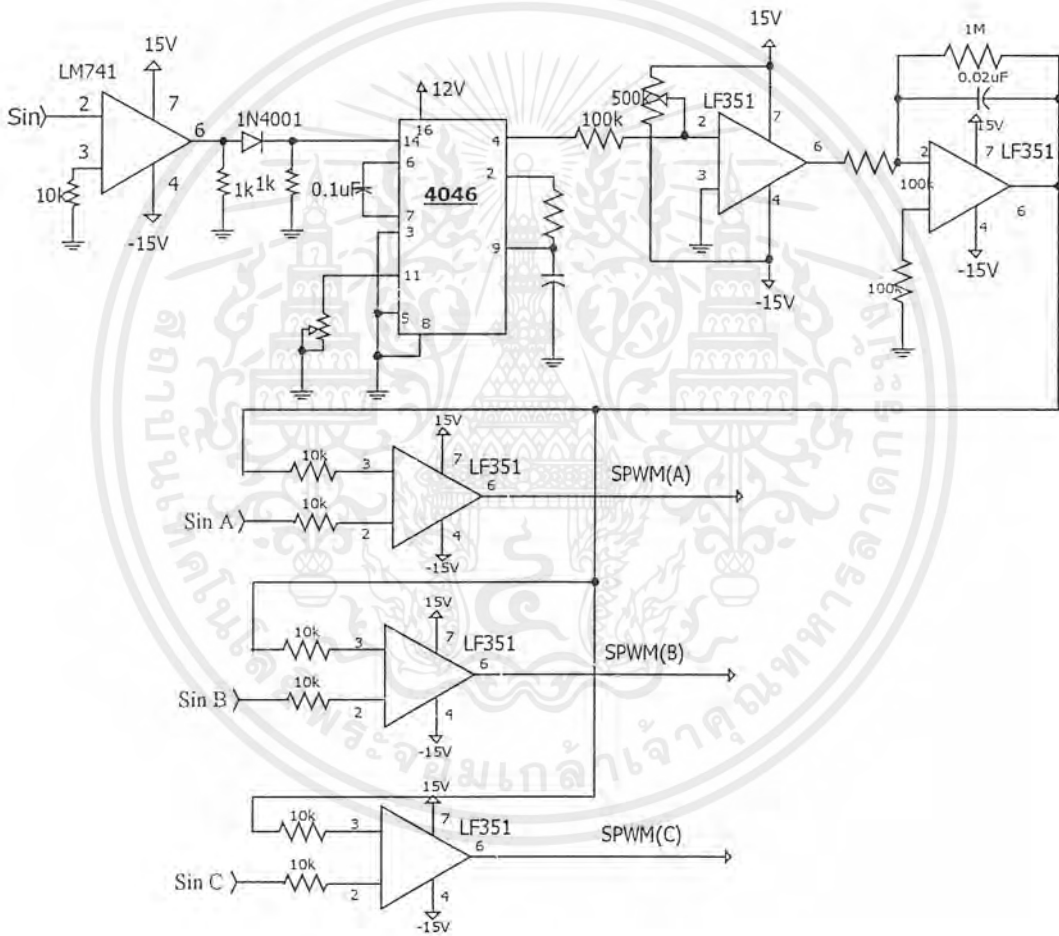
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจรอินเวอร์เตอร์

ทำหน้าที่รับสัญญาณไฟกระแสตรงเข้ามาแล้วแปลงให้เป็นสัญญาณไฟกระแสสลับ โดยในโครงงานนี้จะใช้อินเวอร์เตอร์แบบจ่ายแรงดันโดยใช้ไอจีบีทีเป็นอุปกรณ์ในการสวิตช์ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ดังนี้

3.2.1 ส่วนของวงจรควบคุม แบ่งได้เป็นส่วนประกอบดังนี้

- 1) วงจรสร้างสัญญาณพีคดับบีวเอ็ม วงจรที่ใช้สร้างสัญญาณพีคดับบีวเอ็มในโครงงานนี้ แสดงได้ดังรูปที่ 3.2



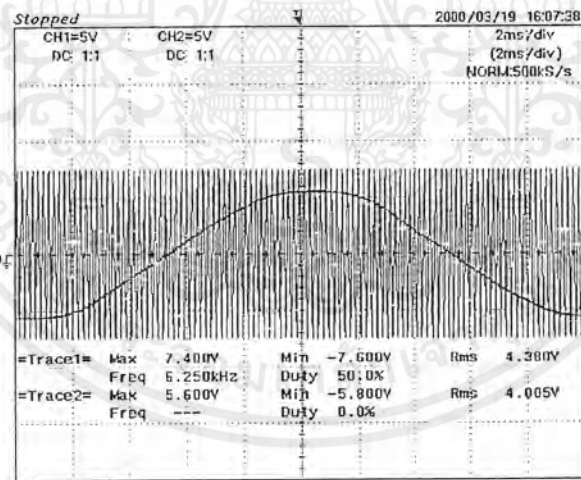
รูปที่ 3.2 วงจรสร้างสัญญาณพีคดับบีวเอ็ม

โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

- 1.1) วงจรเฟสล็อกคูล (Phase Lock Loop) จะรับสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมขนาด + 15 โวลต์ ความถี่ 50 Hz แล้วนำมาสร้างเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 5 kHz

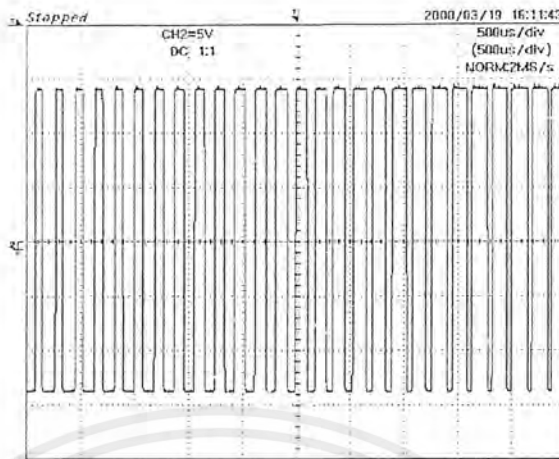
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.2) วงจรอินทิเกรท (Integrated Circuit) วงจรนี้จะทำหน้าที่รับสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 5 kHz จากส่วนของวงจรเฟสล็อกคูลูป แล้วทำการอินทิเกรทสัญญาณ ซึ่งจะได้สัญญาณเอาต์พุตที่มีลักษณะเป็นสัญญาณสามเหลี่ยม (TriangleWave) แล้วนำสัญญาณที่ได้นี้ไปเป็นอินพุตของวงจรเปรียบเทียบสัญญาณต่อไป
- 1.3) วงจรปรับระดับสัญญาณรูปไซน์ วงจรนี้จะรับไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 380 V_{L-L} 50 Hz จากแหล่งจ่ายแล้วนำมาผ่านหม้อแปลง 3 เฟสที่ต่อแบบสตาร์ – สตาร์ (Y – Y) เพื่อปรับลดระดับแรงดันลงมา แล้วนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้จากวงจรอินทิเกรท
- 1.4) วงจรเปรียบเทียบ (Comparator Circuit) วงจรนี้จะทำหน้าที่รับสัญญาณจากวงจรอินทิเกรทซึ่งเป็นสัญญาณสามเหลี่ยม นำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณไซน์ที่ได้จากการลดแรงดันของแหล่งจ่าย โดยใช้ไอซีเบอร์ LF 351 เป็นตัวเปรียบเทียบสัญญาณ เพื่อสร้างเอาต์พุตที่เป็นสัญญาณพีคดับบิวเอ็ม



รูปที่ 3.3 สัญญาณไซน์และสัญญาณสามเหลี่ยมที่ใช้นำมาเปรียบเทียบจากวงจรจริง

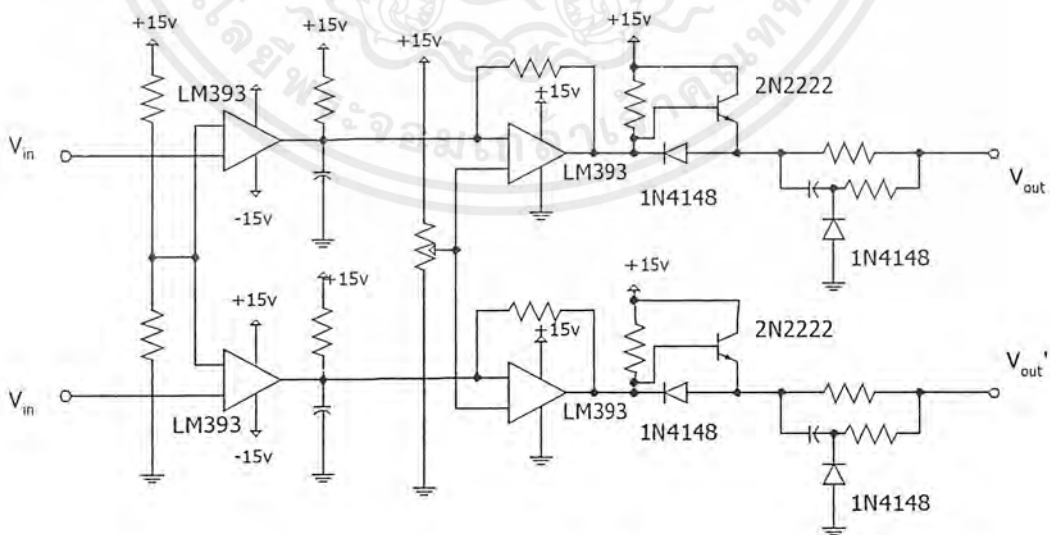
โดยในการเปรียบเทียบ ถ้าสัญญาณสามเหลี่ยมมีค่ามากกว่าสัญญาณไซน์จะให้สัญญาณเอาต์พุตมีค่าเป็นบวก และในทางกลับกันถ้าสัญญาณสามเหลี่ยมมีค่าน้อยกว่าสัญญาณไซน์จะได้สัญญาณเอาต์พุตมีค่าเป็นลบ ดังนั้นจึงได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นพีคดับบิวเอ็มแล้วนำสัญญาณที่ได้ไปเข้าวงจรล็อกเอาต์พุตเพื่อสร้างเดดไทม์ต่อไป



รูปที่ 3.4 สัญญาณพีคดับนิวเอมที่ได้จากวงจรจริง

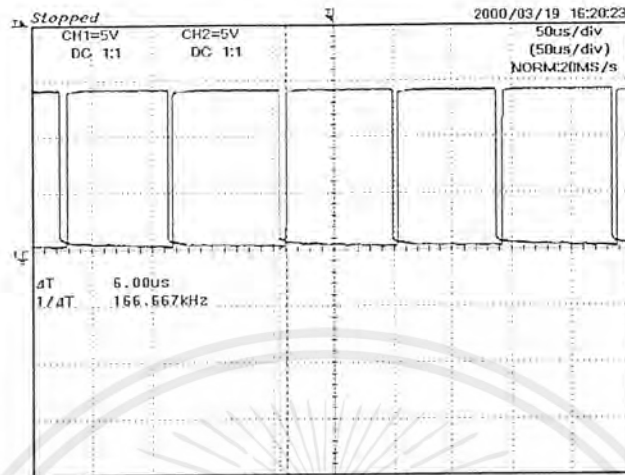
2) วงจรล็อคเอาท์ (Lock Out Circuit)

จะรับสัญญาณพีคดับนิวเอมจากวงจรเปรียบเทียบ เป็นวงจรที่จะแยกสัญญาณที่จะนำไปควบคุม ไอจีบีทีตัวบนและตัวล่างในกิ่งเดียวกันของบริดจ์อินเวอร์เตอร์ โดยสัญญาณที่จะไปควบคุม ไอจีบีทีแต่ละตัวในกิ่งเดียวกันนั้นเปิด-ปิด (on-off) ไม่พร้อมกัน เพื่อให้ไอจีบีทีแต่ละตัวนั้นทำงาน สลับกันไป ซึ่งสัญญาณที่ไปควบคุม ไอจีบีทีแต่ละตัวนั้นต้องมีการสร้างเดดไทม์ (Dead Time) เพื่อไม่ให้ไอจีบีทีเกิดการช็อตทROUGH (Short Through) สำหรับสัญญาณแต่ละเฟสจะใช้วงจรล็อคเอาท์ที่ 1 ชุด ดังนั้นจึงใช้วงจรล็อคเอาท์ทั้งหมด 3 ชุด ซึ่งวงจรล็อคเอาท์ที่ใช้ในโครงงานนี้แสดงได้ดังรูป



รูปที่ 3.5 วงจรล็อคเอาท์

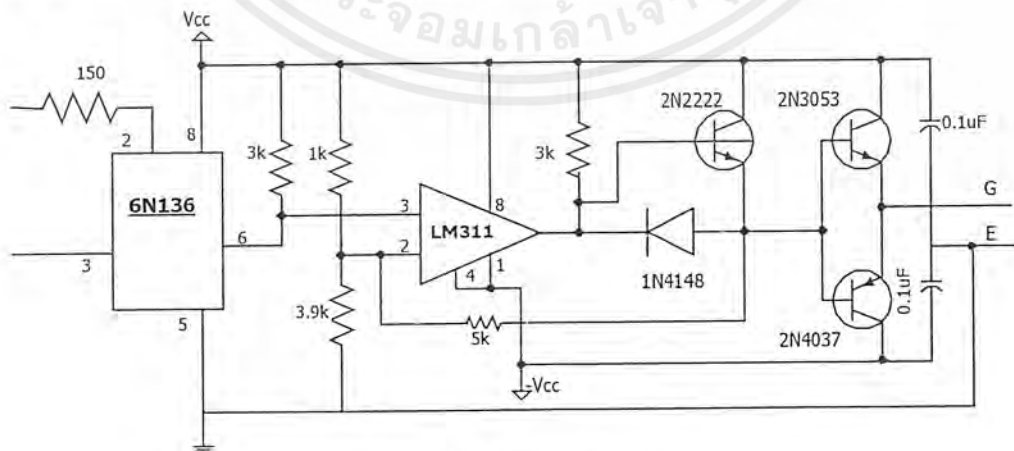
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.6 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรถูกเอาที่จากวงจรจริง

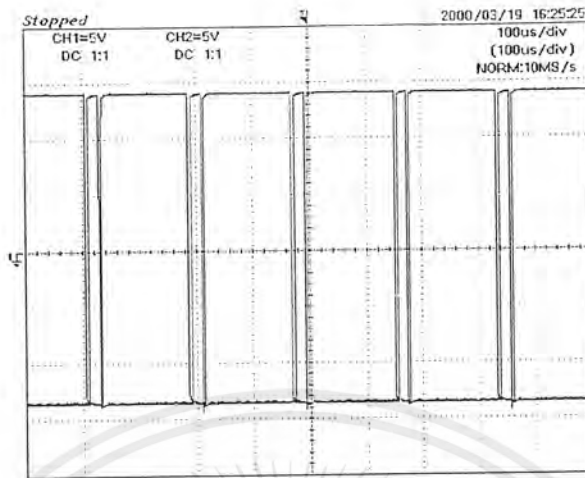
3) วงจรขับเกท (Gate Drive Circuit)

วงจรถับเกทจะใช้ในการขับให้ไอจีบีทีในส่วนของวงจรถักัง 3 เฟสอินเวอร์เตอร์สวิตซ์ตามที่เรากำลังต้องการ ซึ่งจะใช้ทั้งหมด 6 ชุด โดยวงจรถับเกทแต่ละชุดจะรับสัญญาณจากวงจรถักังเอาต์แล้วนำมาขยายระดับสัญญาณเพื่อนำไปขับไอจีบีทีต่อไป ซึ่งโดยปกติแล้ววงจรถับเกทจะต้องจ่ายกระแสได้เหมาะสม และเพียงพอกับความเร็วของการสวิตซ์ซึ่งที่ต้องการ นอกจากนี้วงจรถับเกทจะทำหน้าที่แยกกราวด์ระหว่างส่วนของวงจรถักังกับวงจรถักัง ทั้งนี้เพื่อป้องกันการรบกวนและเป็นอันตรายจากไฟแรงดันสูงจากวงจรถักัง โดยใช้ออปโตไอโซเลเตอร์ (Opto Isolator) ทำหน้าที่ในการแยกกราวด์ ในรูปข้างล่างจะแสดงวงจรถับเกทที่ใช้ในโครงการนี้ขับเกท

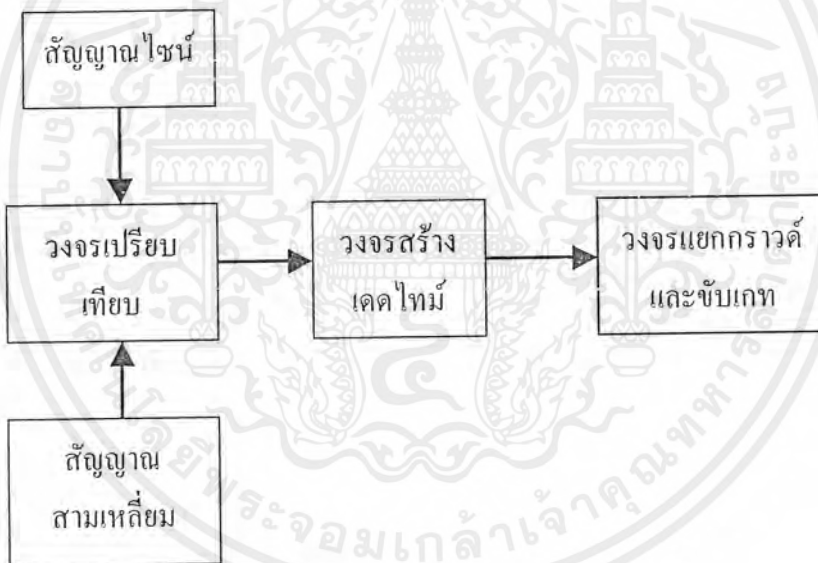


รูปที่ 3.7 วงจรถับเกท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 เอาท์พุทของวงจรขับเกทจากวงจรจริง



รูปที่ 3.9 แสดงการทำงานของชุด SPWM Control

4) วงจรไฟเลี้ยง

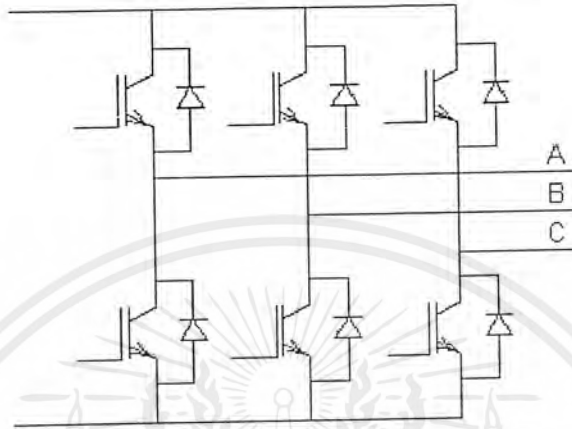
วงจรไฟเลี้ยงที่ใช้ในโครงงานนี้มีดังนี้

- วงจรไฟเลี้ยงขนาด 12 โวลต์ 1 ชุด ใช้เป็นไฟเลี้ยงสำหรับวงจรเฟสล็อกคูล
- วงจรไฟเลี้ยงขนาด ± 15 โวลต์ 5 ชุด โดยใช้ป้อนให้กับวงจรต่างๆ
 - วงจรขับเกทใช้ 4 ชุด
 - วงจรสร้าง PWM 1 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 วงจรกำลัง

ประกอบด้วยไอจีบีทีที่ใช้ในการสวิตช์ทั้งหมด 6 ตัว ต่อกันดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 วงจรกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพในการทำงานของวงจร เราสามารถที่จะแบ่งการทำการทดลองออกได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนของเรกติไฟเออร์ โดยทำการทดสอบหาประสิทธิภาพในการแปลงไฟฟ้าจากกระแสสลับเป็นกระแสตรงของไดโอดบริดจ์เรกติไฟเออร์
2. ส่วนของอินเวอร์เตอร์ โดยทำการทดสอบหาประสิทธิภาพในการแปลงไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับของไอจีบีทีอินเวอร์เตอร์ โดยทำการทดลองที่โหลดแบบ R และทำการวิเคราะห์ผลเอาท์พุทที่ได้

4.1 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการหาค่ากำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพของการส่งกำลังไฟฟ้า

1. ด้านเรกติไฟเออร์

V_p (input) = แรงดันไฟฟ้าต่อเฟสของแหล่งจ่ายด้านเรกติไฟเออร์

I_p (input) = กระแสไฟฟ้าต่อเฟสของแหล่งจ่ายด้านเรกติไฟเออร์

$\cos \theta$ = ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ของแหล่งจ่ายด้านเรกติไฟเออร์

P_{IN} = กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับส่วนของเรกติไฟเออร์ โดยที่

$$P_{IN} = 3V_p I_p \cos \theta \quad (4.1)$$

และประสิทธิภาพของเรกติไฟเออร์ (η_{REC}) หาได้จาก

$$\eta_{REC} = \frac{P_{dc}}{P_{IN}} \times 100 \quad (4.2)$$

2. ส่วนของสายส่งไฟฟ้ากระแสตรง (DC LINK)

V_{DC} = แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

I_{DC} = กระแสไฟตรง

P_{DC} = กำลังไฟฟ้าบนสายส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรง โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{DC} = V_{DC} \times I_{DC} \quad (4.3)$$

3. ด้านอินเวอร์เตอร์

$V_p(\text{output}) =$ แรงดันไฟฟ้าต่อเฟสที่จ่ายให้กับ โหลดของอินเวอร์เตอร์

$I_p(\text{output}) =$ กระแสไฟฟ้าต่อเฟสที่จ่ายให้กับ โหลดของอินเวอร์เตอร์

$\cos \phi =$ ค่าตัวประกอบกำลังของโหลดด้านอินเวอร์เตอร์

$P_{out} =$ กำลังไฟฟ้าที่ได้จากอินเวอร์เตอร์ โดยที่

$$P_{OUT} = 3V_p I_p \cos \phi \quad (4.4)$$

และประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ (η_{INV}) หาได้จาก

$$\eta_{INV} = \frac{P_{OUT}}{P_{DC}} \times 100 \quad (4.5)$$

4. ประสิทธิภาพของการส่งกำลังไฟฟ้าทั้งระบบ (η_{total}) หาได้จาก

$$\eta_{total} = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100 \quad (4.6)$$

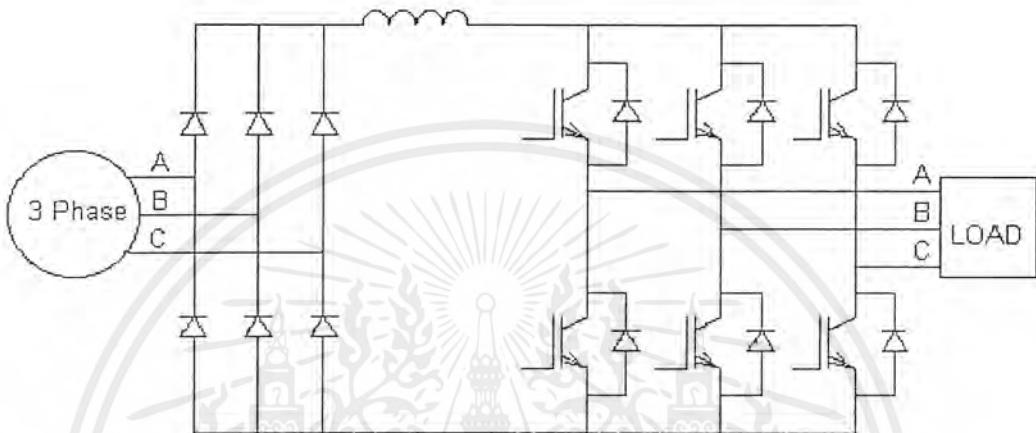
4.2 ขั้นตอนการทดสอบการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้า

1. ใช้้อโตทรานสฟอร์มเมอร์ (Auto Transformer) 3 เฟส ความถี่ 50 Hz. เป็นชุดจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับส่วนของเรกติไฟเออร์ เพื่อที่จะแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง
2. จ่ายไฟกระแสสลับ 3 เฟส ความถี่ 50 Hz. ขนาด 380 V_{L-L} ผ่านหม้อแปลงแบบ Y-Y ให้กับชุดของวงจรสร้างสัญญาณพีคดับเบิลในส่วนของวงจรควบคุม เพื่อที่จะนำไปควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์
3. ต่อโหลด 3 เฟสแบบ R เข้ากับชุดอินเวอร์เตอร์ และทำการปรับค่ามอดูเลชันอินดิเคซ์ และค่าแรงดันกระแสตรงที่ค่าต่างๆ กัน เพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพ การส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าของชุดเรกติไฟเออร์ อินเวอร์เตอร์ และของระบบ
4. ทำการต่อโหลด 3 เฟสแบบ R และใช้เครื่องวัดฮาร์โมนิกทำการบันทึกสัญญาณเอาท์พุทของโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบส่งถ่ายพลังงานกำลังไฟฟ้าโดยการปรับค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์

ทำการต่อวงจรตามรูปที่ 4.1 ทดสอบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ 250 โวลท์ และปรับค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์ที่ควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ค่าต่าง ๆ ตั้งแต่ 0.4-1.6 ทำการวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในด้านเรกติไฟเออร์และด้านอินเวอร์เตอร์ที่มีโหลด R ต่อแบบ Y ดังรูป 4.2



รูปที่ 4.1 รูปแสดงการทดสอบการทำงาน



รูปที่ 4.2 รูปแสดงการต่อโหลดแบบสตาร์ของโหลด R ในวงจรทดสอบ

ในการทดลองเราได้กำหนดสัญลักษณ์แทนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากรวัด ดังนี้

- V_{AN} = ค่าแรงดันไฟฟ้าในเฟส A ที่จ่ายให้กับเรกติไฟเออร์
- V_{BN} = ค่าแรงดันไฟฟ้าในเฟส B ที่จ่ายให้กับเรกติไฟเออร์
- V_{CN} = ค่าแรงดันไฟฟ้าในเฟส C ที่จ่ายให้กับเรกติไฟเออร์
- I_{AN} = ค่ากระแสไฟฟ้าในเฟส A ที่จ่ายให้กับเรกติไฟเออร์
- I_{BN} = ค่ากระแสไฟฟ้าในเฟส B ที่จ่ายให้กับเรกติไฟเออร์
- I_{CN} = ค่ากระแสไฟฟ้าในเฟส C ที่จ่ายให้กับเรกติไฟเออร์
- P_A = กำลังไฟฟ้าในเฟส A ที่จ่ายให้กับเรกติไฟเออร์
- P_B = กำลังไฟฟ้าในเฟส B ที่จ่ายให้กับเรกติไฟเออร์
- P_C = กำลังไฟฟ้าในเฟส C ที่จ่ายให้กับเรกติไฟเออร์

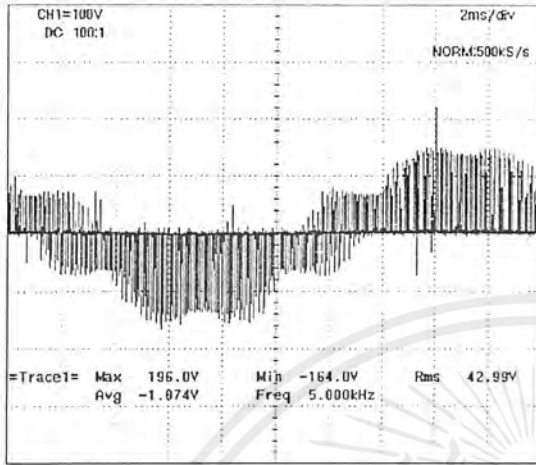
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- V_{an} = ค่าแรงดันไฟฟ้าในเฟส A ที่จ่ายให้กับโหลดของอินเวอร์เตอร์
 V_{bn} = ค่าแรงดันไฟฟ้าในเฟส B ที่จ่ายให้กับโหลดของอินเวอร์เตอร์
 V_{cn} = ค่าแรงดันไฟฟ้าในเฟส C ที่จ่ายให้กับโหลดของอินเวอร์เตอร์
 I_{an} = ค่ากระแสไฟฟ้าในเฟส A ที่จ่ายให้กับโหลดของอินเวอร์เตอร์
 I_{bn} = ค่ากระแสไฟฟ้าในเฟส B ที่จ่ายให้กับโหลดของอินเวอร์เตอร์
 I_{cn} = ค่ากระแสไฟฟ้าในเฟส C ที่จ่ายให้กับโหลดของอินเวอร์เตอร์
 P_a = กำลังไฟฟ้าในเฟส A ที่ได้จากอินเวอร์เตอร์
 P_b = กำลังไฟฟ้าในเฟส B ที่ได้จากอินเวอร์เตอร์
 P_c = กำลังไฟฟ้าในเฟส C ที่ได้จากอินเวอร์เตอร์

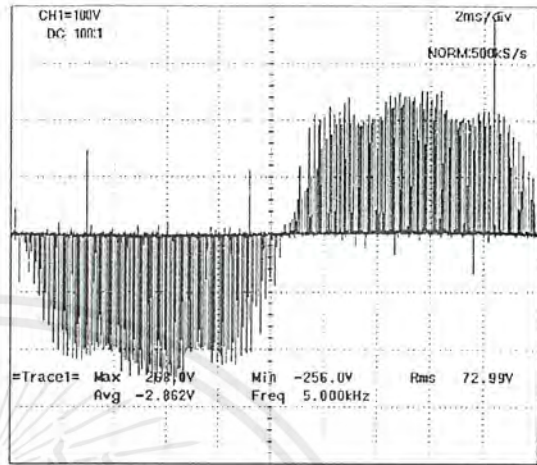


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

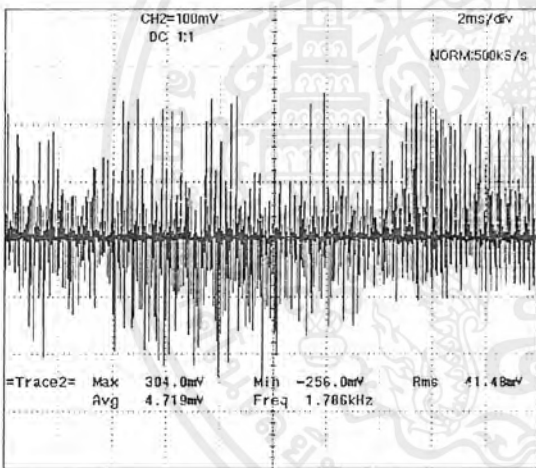
รูปสัญญาณของแรงดันและกระแสที่ $V_{DC} = 250\text{ V}$ และ m_a ค่าต่าง ๆ กัน



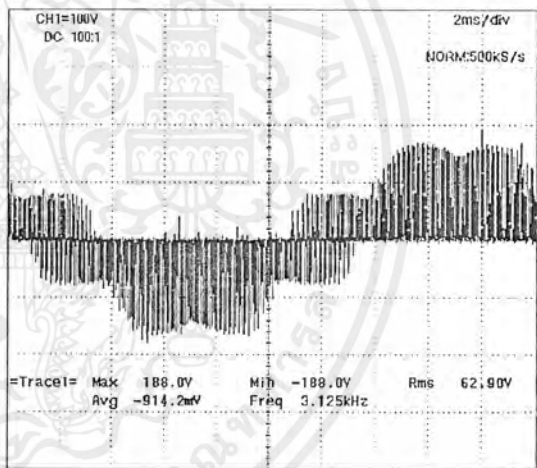
รูปที่ 4.3 สัญญาณแรงดัน V_{an} ที่ $m_a = 0.4$



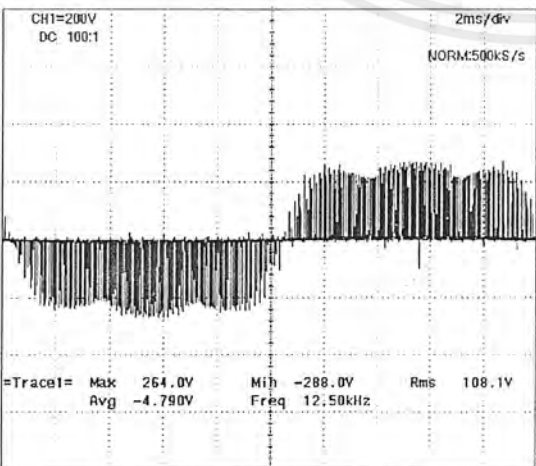
รูปที่ 4.4 สัญญาณแรงดัน V_{ab} ที่ $m_a = 0.4$



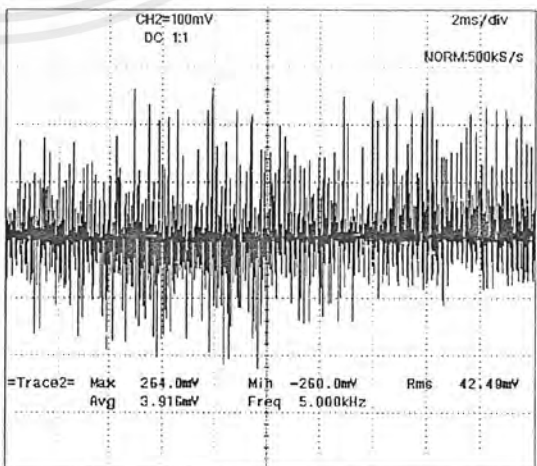
รูปที่ 4.5 สัญญาณกระแส I_a ที่ $m_a = 0.4$



รูปที่ 4.6 สัญญาณแรงดัน V_{an} ที่ $m_a = 0.6$

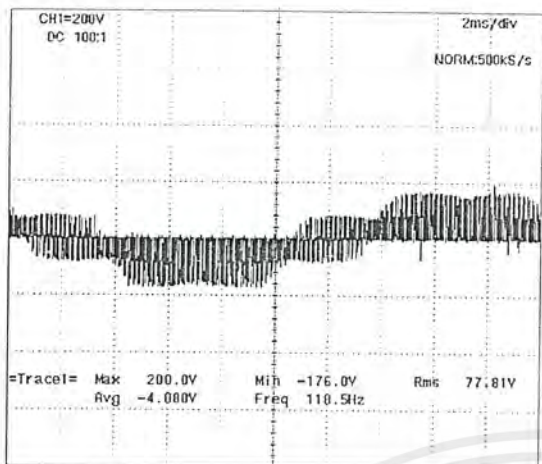


รูปที่ 4.7 สัญญาณแรงดัน V_{ab} ที่ $m_a = 0.6$

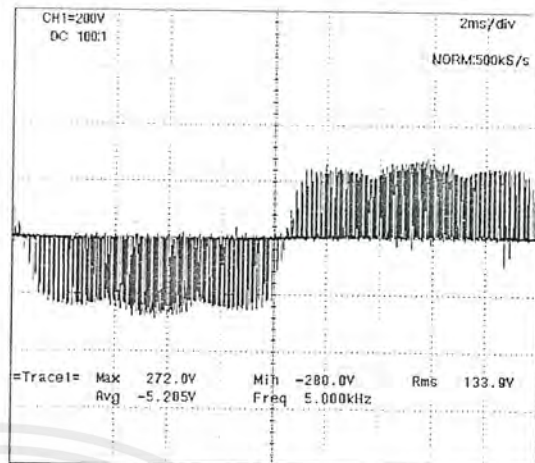


รูปที่ 4.8 สัญญาณกระแส I_a ที่ $m_a = 0.6$

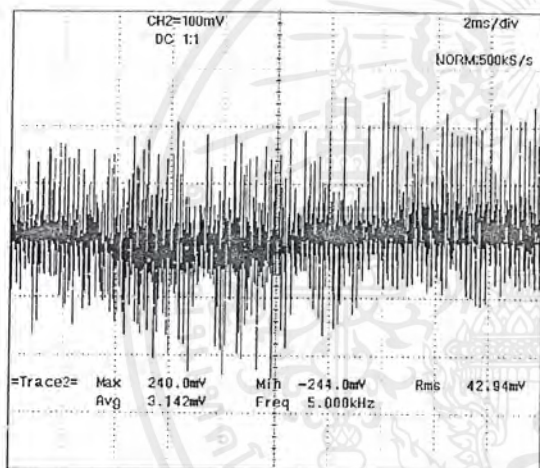
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



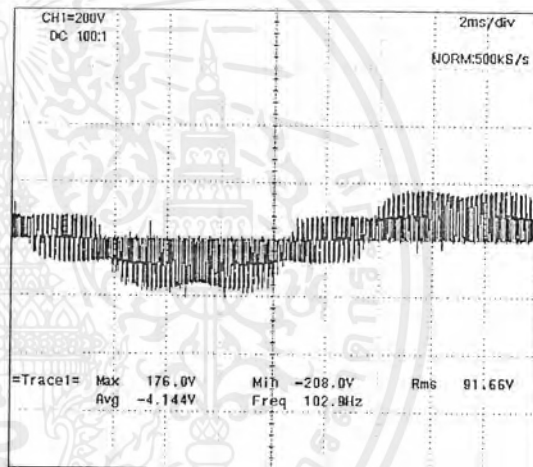
รูปที่ 4.9 สัญญาณแรงดัน V_{an} ที่ $m_a = 0.8$



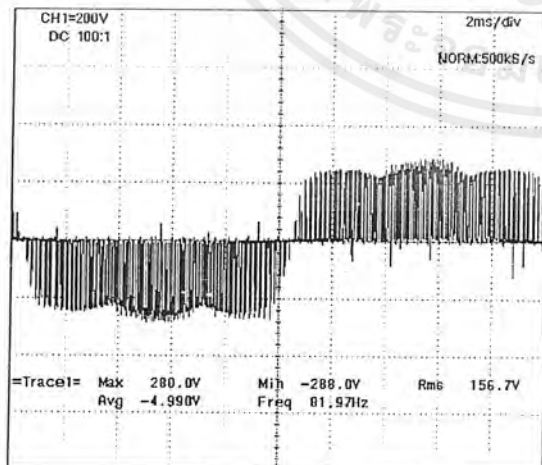
รูปที่ 4.10 สัญญาณแรงดัน V_{ab} ที่ $m_a = 0.8$



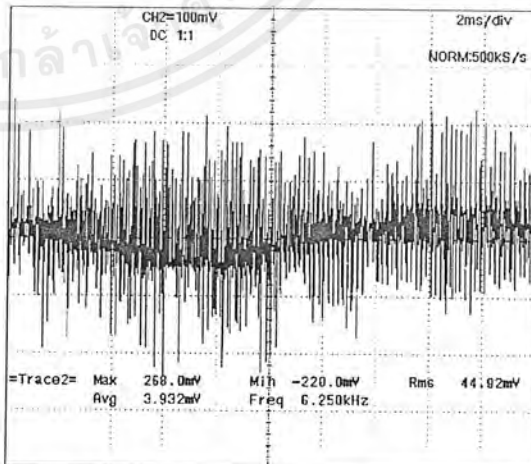
รูปที่ 4.11 สัญญาณกระแส I_a ที่ $m_a = 0.8$



รูปที่ 4.12 สัญญาณแรงดัน V_{an} ที่ $m_a = 1.0$

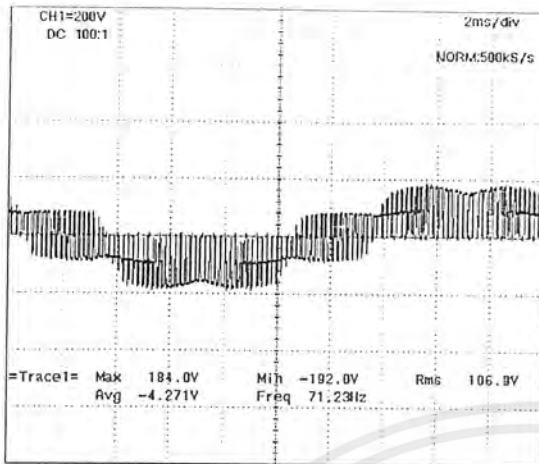


รูปที่ 4.13 สัญญาณแรงดัน V_{ab} ที่ $m_a = 1.0$

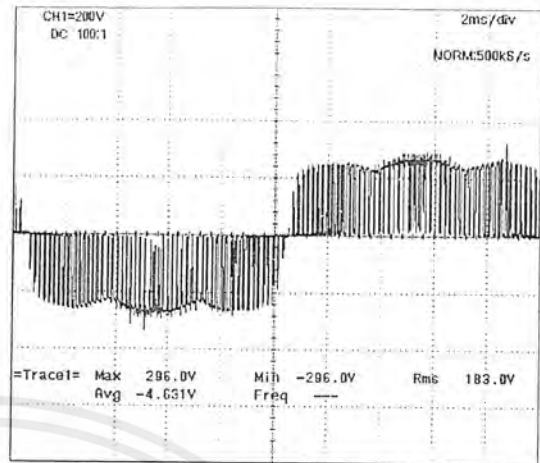


รูปที่ 4.14 สัญญาณกระแส I_a ที่ $m_a = 1.0$

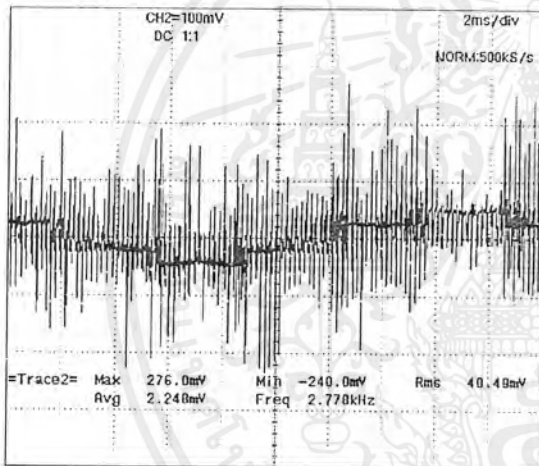
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



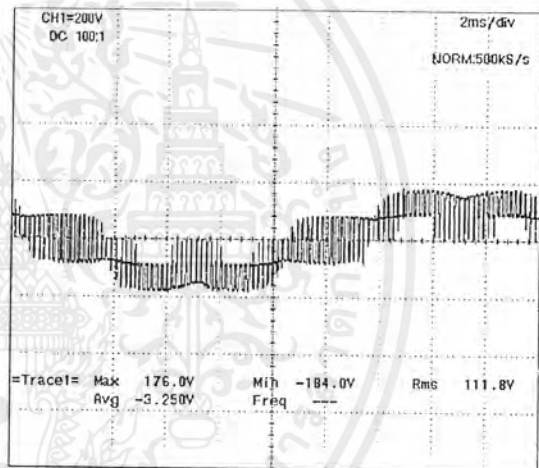
รูปที่ 4.15 สัญญาณแรงดัน V_{an} ที่ $m_a = 1.2$



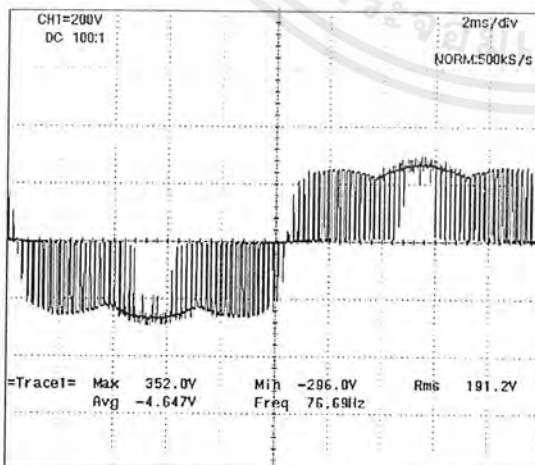
รูปที่ 4.16 สัญญาณแรงดัน V_{ab} ที่ $m_a = 1.2$



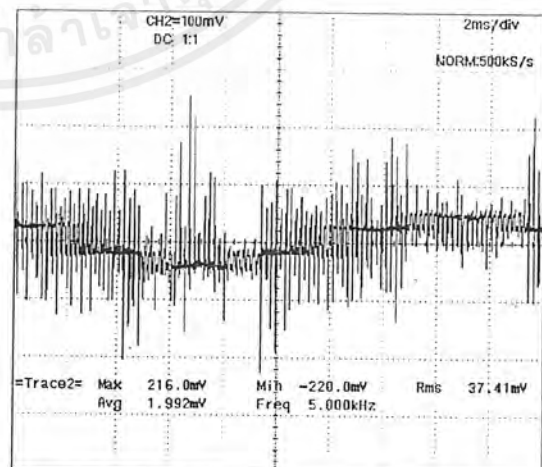
รูปที่ 4.17 สัญญาณกระแส I_a ที่ $m_a = 1.2$



รูปที่ 4.18 สัญญาณแรงดัน V_{an} ที่ $m_a = 1.4$

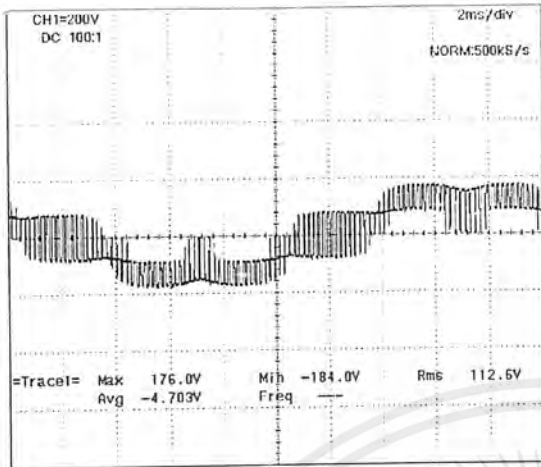


รูปที่ 4.19 สัญญาณแรงดัน V_{ab} ที่ $m_a = 1.4$

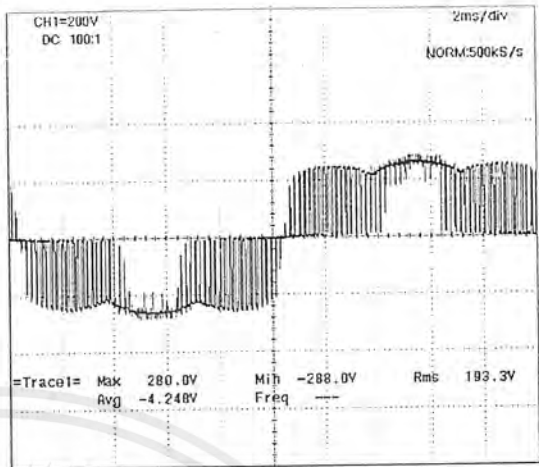


รูปที่ 4.20 สัญญาณกระแส I_a ที่ $m_a = 1.4$

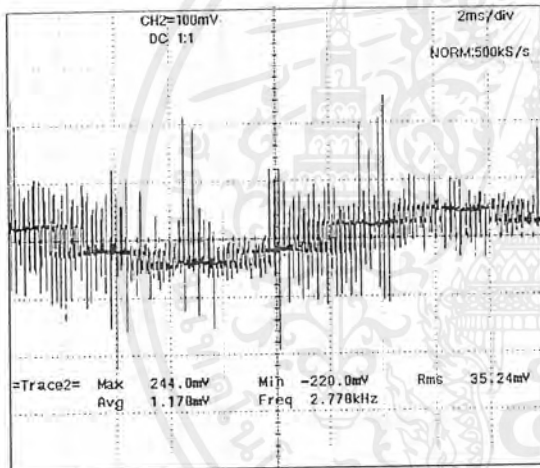
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 สัญญาณแรงดัน V_{an} ที่ $m_a = 1.6$

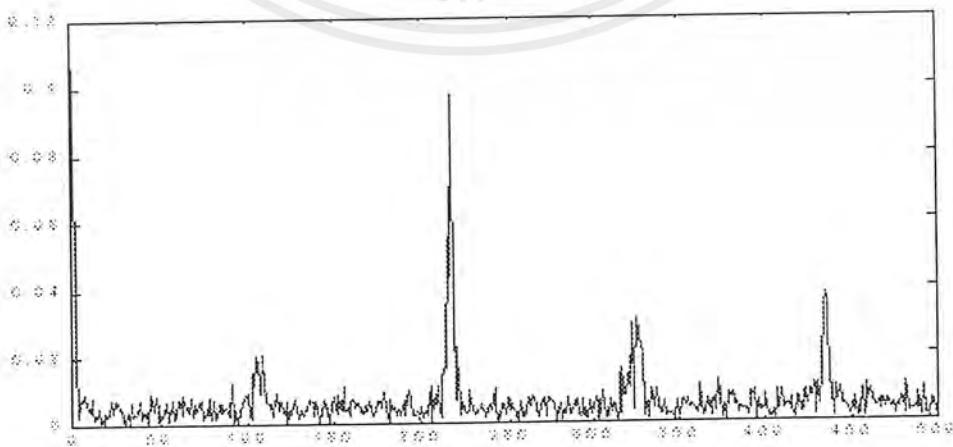


รูปที่ 4.22 สัญญาณแรงดัน V_{ab} ที่ $m_a = 1.6$



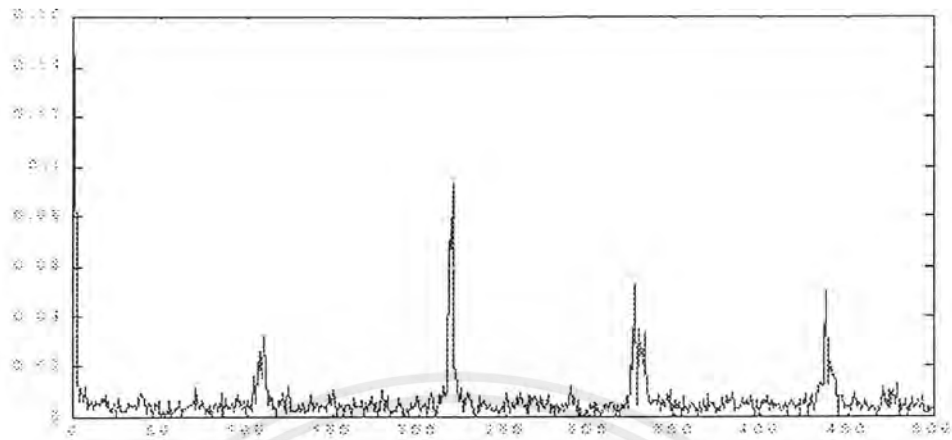
รูปที่ 4.23 สัญญาณกระแส I_a ที่ $m_a = 1.6$

รูปสเปกตรัมของกระแสที่แรงดันคงที่ 250 Vdc และปรับค่า M_a

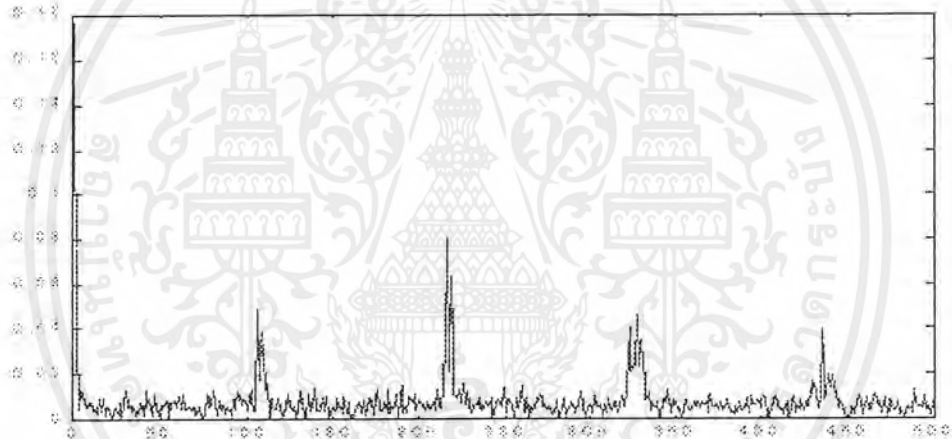


รูปที่ 4.24 สเปกตรัมของกระแสที่ 250 V_{dc} $M_a=0.4$

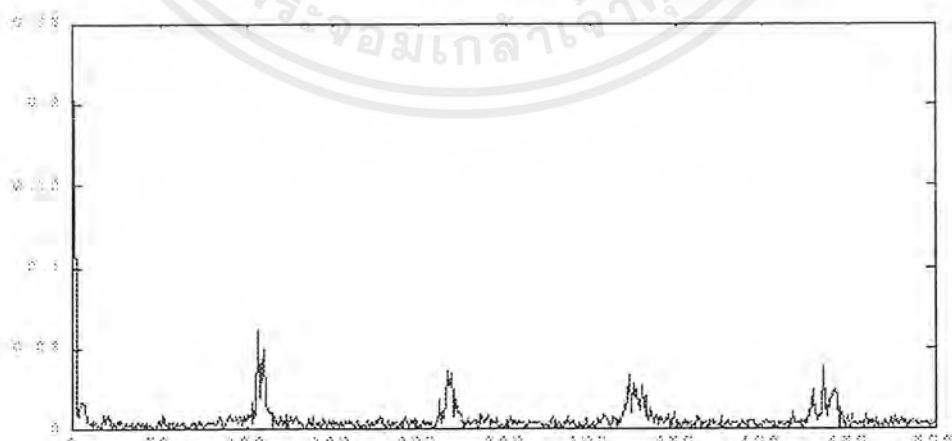
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 สเปกตรัมของกระแสที่ 250 V_{dc} Ma=0.6

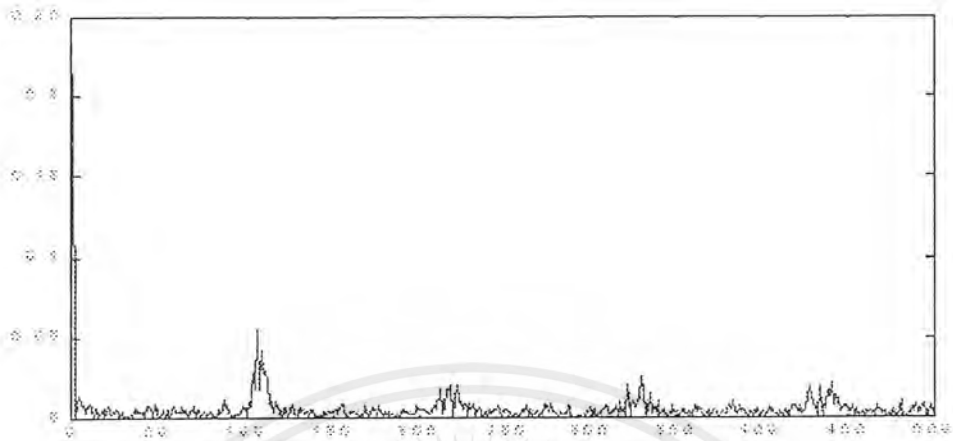


รูปที่ 4.26 สเปกตรัมของกระแสที่ 250 V_{dc} Ma=0.8

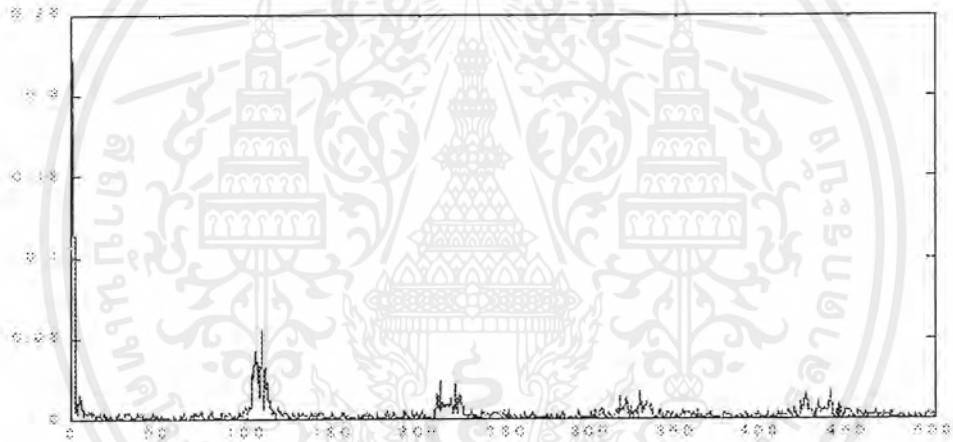


รูปที่ 4.27 สเปกตรัมของกระแสที่ 250 V_{dc} Ma=1.0

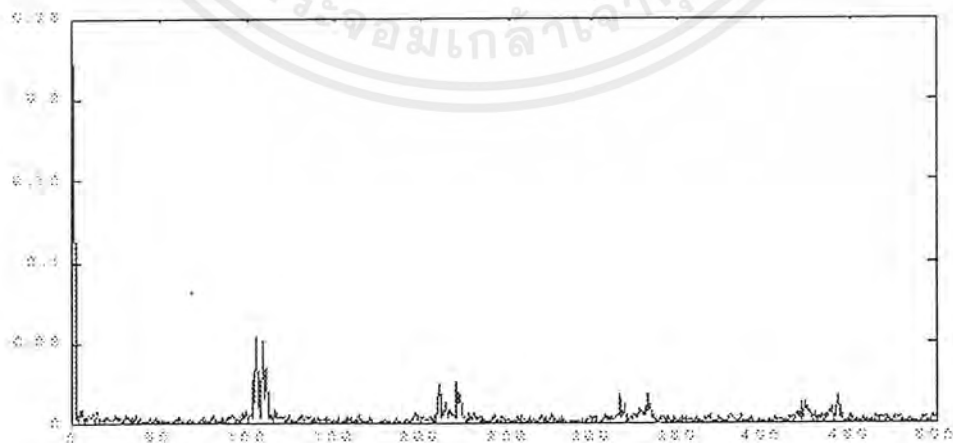
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 สเปกตรัมของกระแสที่ $250 V_{dc}$ $Ma=1.2$



รูปที่ 4.29 สเปกตรัมของกระแสที่ $250 V_{dc}$ $Ma=1.4$



รูปที่ 4.30 สเปกตรัมของกระแสที่ $250 V_{dc}$ $Ma=1.6$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่วัดได้ทางด้านเรกติไฟเออร์ ที่ค่า $V_{DC} = 250\text{ V}$

m_a	V_{AN}	V_{BN}	V_{CN}	I_{AN}	I_{BN}	I_{CN}	P_A	P_B	P_C	P_{TOTAL}	$\cos\theta_A$	$\cos\theta_B$	$\cos\theta_C$
0.4	108.3	107.7	112.3	0.18	0.18	0.18	17.35	17.25	18.39	53.00	0.89	0.89	0.91
0.6	108.4	108.8	113.1	0.22	0.22	0.23	21.22	21.54	23.67	66.44	0.89	0.90	0.91
0.8	107.8	108.2	112.7	0.25	0.26	0.27	24.52	25.60	28.30	78.42	0.91	0.91	0.93
1.0	108.8	108.6	113.3	0.29	0.29	0.31	28.71	28.97	32.66	90.35	0.91	0.92	0.93
1.2	110.0	110.0	115.0	0.33	0.33	0.33	33.40	33.40	35.29	102.09	0.92	0.92	0.93
1.4	109.0	108.6	113.2	0.34	0.35	0.35	34.10	35.35	37.24	106.69	0.92	0.93	0.94
1.6	106.7	106.5	111.3	0.35	0.35	0.35	34.36	34.29	36.62	105.27	0.92	0.92	0.94

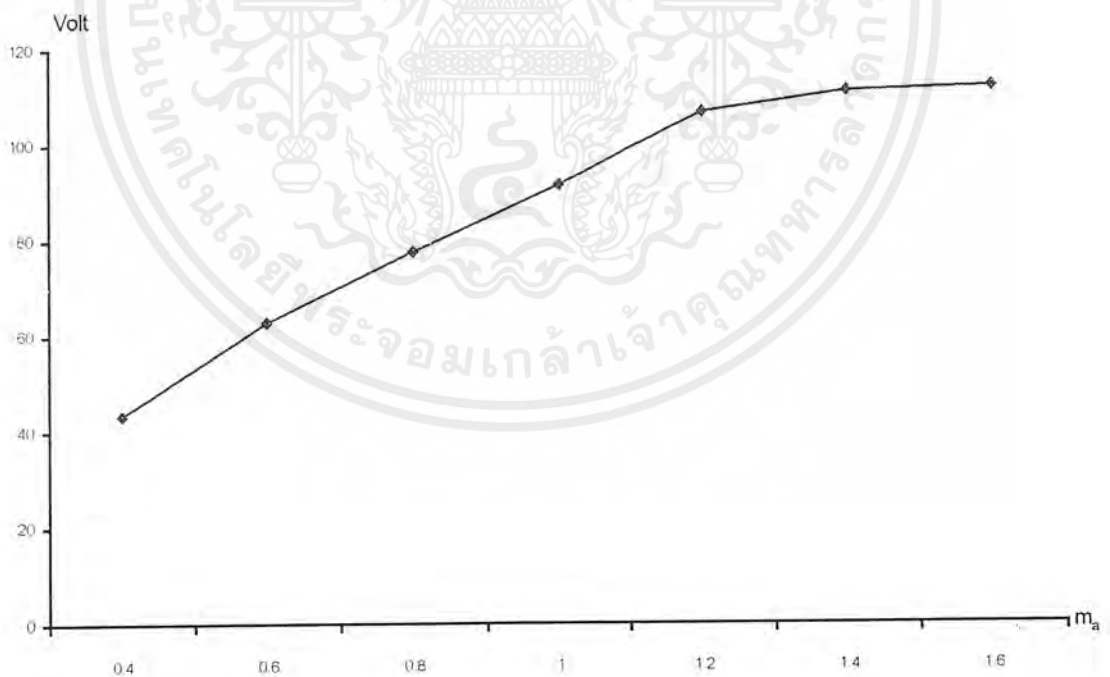
ตารางที่ 4. 2 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้ทางด้านอินเวอร์เตอร์ ที่ค่า $V_{DC} = 250 \text{ V}$

m_a	V_{an}	V_{bn}	V_{cn}	I_{an}	I_{bn}	I_{cn}	P_{total}
0.4	43.4	40.7	41.3	0.290	0.252	0.217	31.80
0.6	62.9	61.4	60.7	0.337	0.289	0.259	54.66
0.8	77.7	75.5	75.5	0.352	0.313	0.299	73.56
1.0	91.6	89.4	88.8	0.351	0.309	0.299	86.33
1.2	106.7	104.9	104.0	0.327	0.299	0.295	96.94
1.4	111.1	109.1	109.0	0.305	0.288	0.288	96.70
1.6	112.0	110.5	109.9	0.292	0.272	0.272	92.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

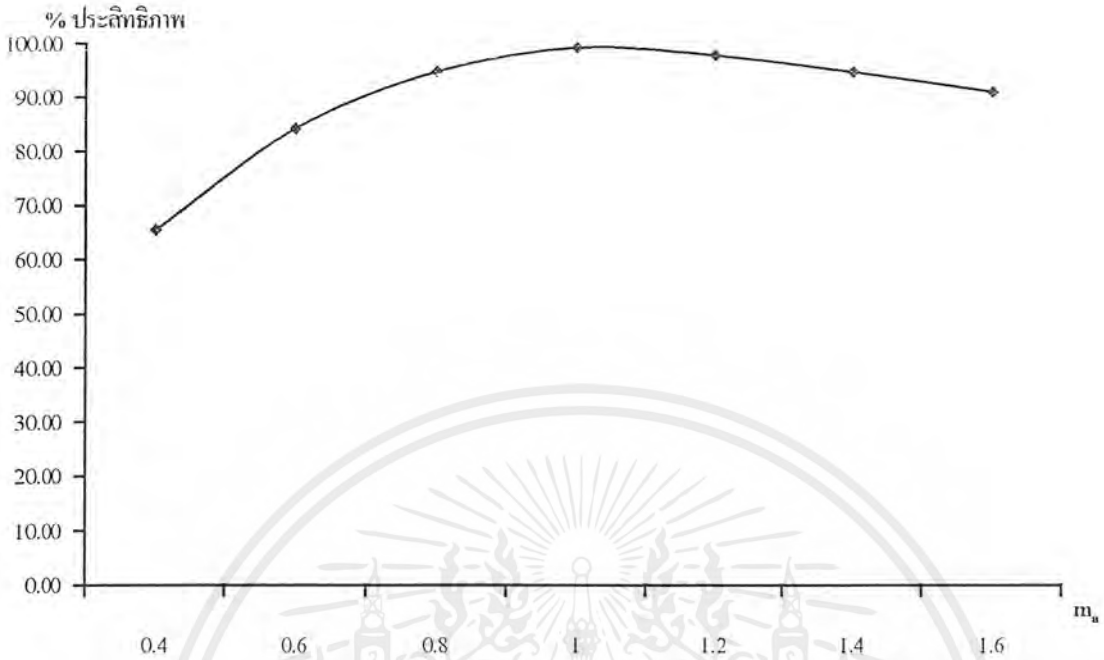
ตาราง 4.3 ประสิทธิภาพของเรกติไฟเออร์ อินเวอร์เตอร์ และของระบบที่ค่า $V_{DC} = 250$ V

m_a	P_{REC}	DC LINK			P_{INV}	% η_{REC}	% η_{INV}	% η_{TOTAL}
		V_{DC}	I_{DC}	P_{DC}				
0.4	53.00	250	0.194	48.50	31.80	91.51	65.57	60.00
0.6	66.44	250	0.252	63.00	54.66	94.82	86.76	82.27
0.8	78.42	250	0.300	75.00	73.56	95.64	98.08	93.80
1.0	90.35	250	0.347	86.75	86.33	96.02	99.52	95.55
1.2	102.09	250	0.400	100.00	96.94	97.95	96.94	94.96
1.4	106.69	250	0.410	102.50	96.70	96.07	94.34	90.64
1.6	105.27	250	0.411	102.75	92.65	97.61	90.17	88.01

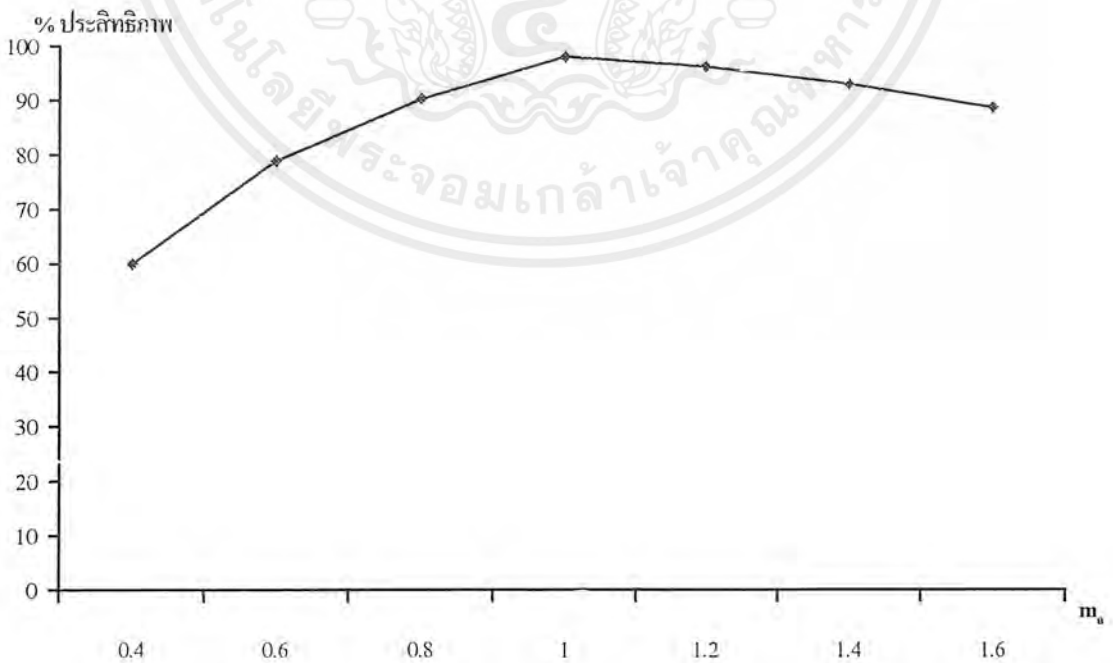


รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันเอาพุทกับค่า m_a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่ค่า $V_{DC} = 250\text{ V}$

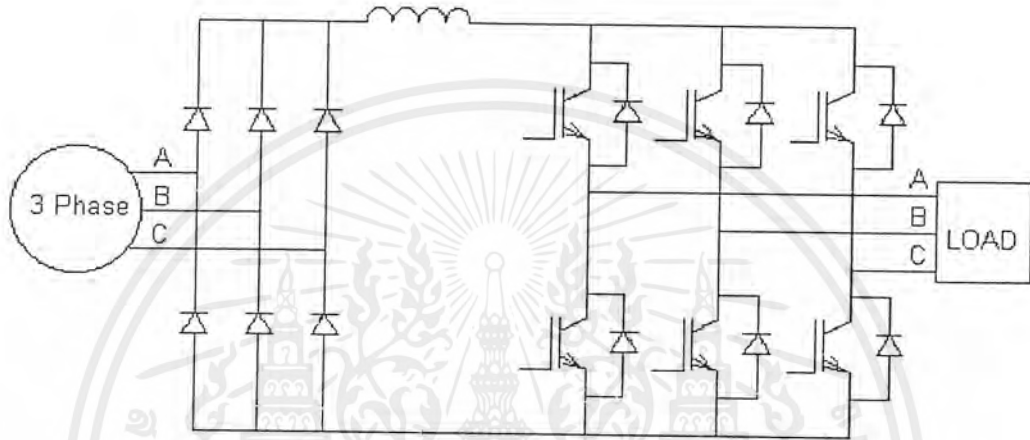


รูปที่ 4.33 ประสิทธิภาพของระบบ ที่ค่า $V_{DC} = 250\text{ V}$

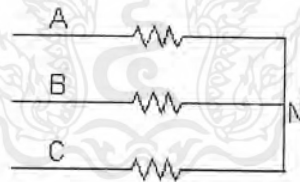
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดสอบการส่งถ่ายกำลังงานไฟฟ้าโดยการปรับค่าแรงดันกระแสตรง

ทำการต่อวงจรตามรูปที่ 4.34 ทำการทดสอบการส่งกำลังไฟฟ้าที่ค่ามอดุลชันอินดิเคชันที่ ($M_a = 0.8$) และทำการทดสอบโดยการปรับค่าแรงดันกระแสตรงที่ค่าต่างกัน หาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในด้านเรกติไฟเออร์และด้านอินเวอร์เตอร์ที่มีโหลด R ต่อแบบ Y ดังรูปที่ 4.35



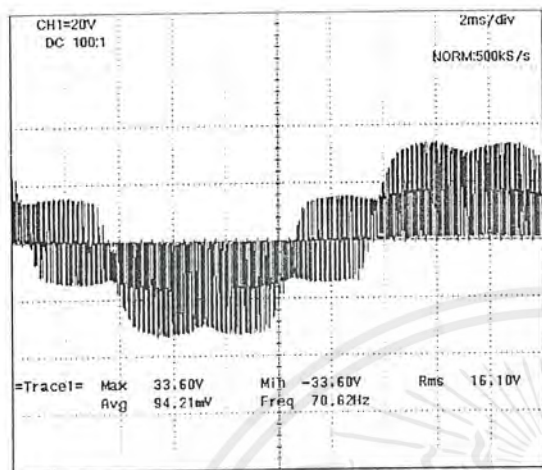
รูปที่ 4.34 รูปแสดงการทดสอบการทำงาน



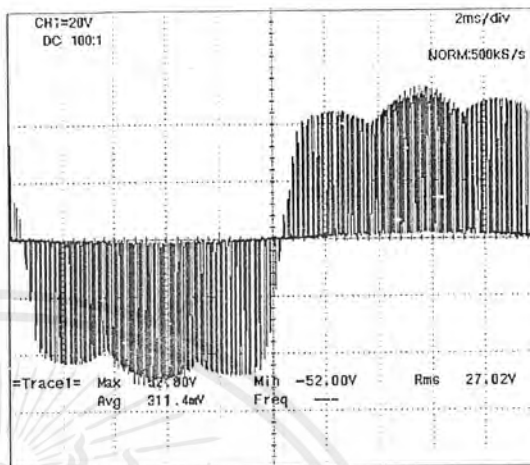
รูปที่ 4.35 รูปแสดงการต่อโหลดแบบสตาร์ของโหลด R ในวงจรทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

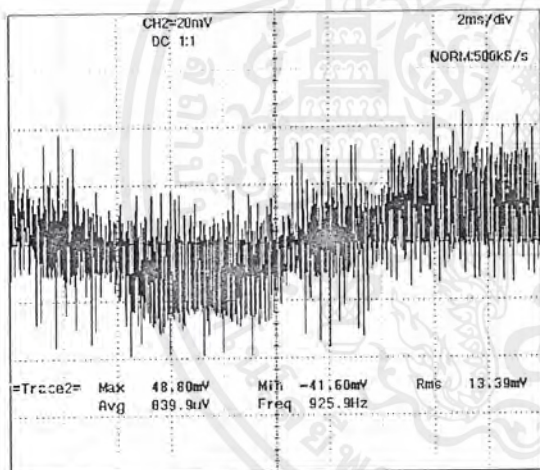
รูปสัญญาณของแรงดันและกระแสที่ $m_a = 0.8$ และ V_{DC} ที่ค่าต่าง ๆ กัน



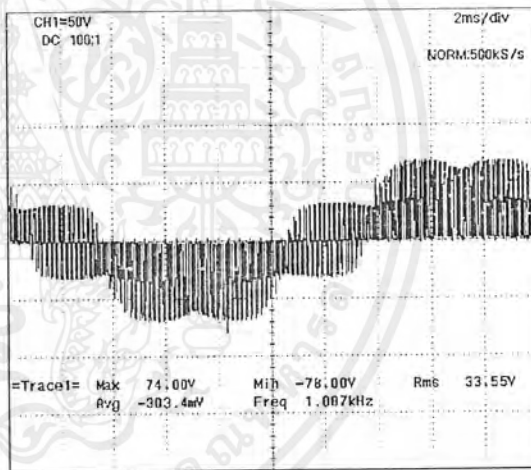
รูปที่ 4.36 สัญญาณแรงดัน V_{an} ที่ $V_{DC} = 50 V$



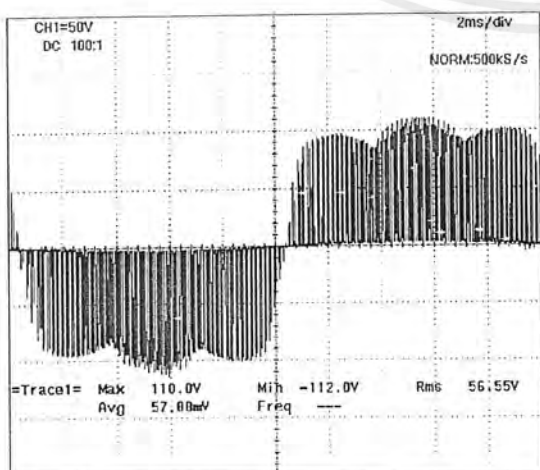
รูปที่ 4.37 สัญญาณแรงดัน V_{ab} ที่ $V_{DC} = 50 V$



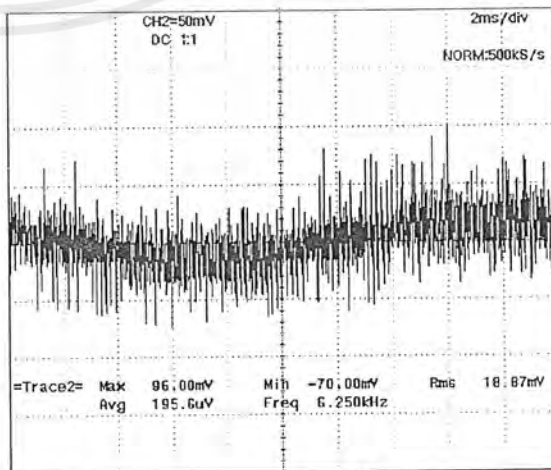
รูปที่ 4.38 สัญญาณกระแส I_a ที่ $V_{DC} = 50 V$



รูปที่ 4.39 สัญญาณแรงดัน V_{an} ที่ $V_{DC} = 100 V$

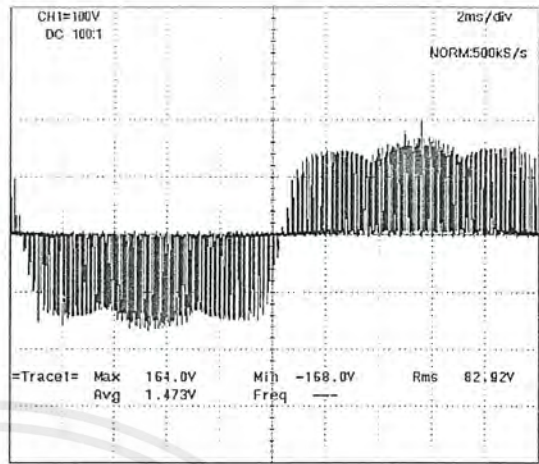
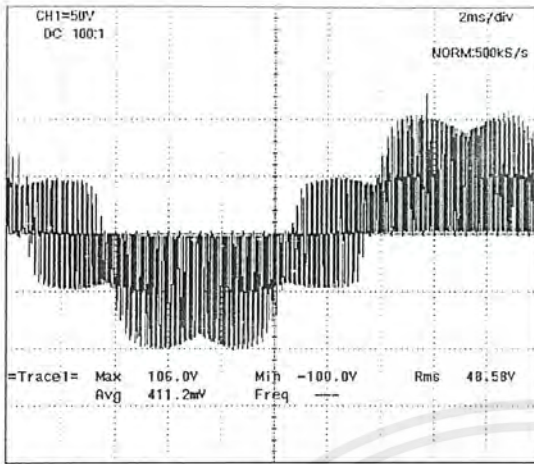


รูปที่ 4.40 สัญญาณแรงดัน V_{ab} ที่ $V_{DC} = 100 V$

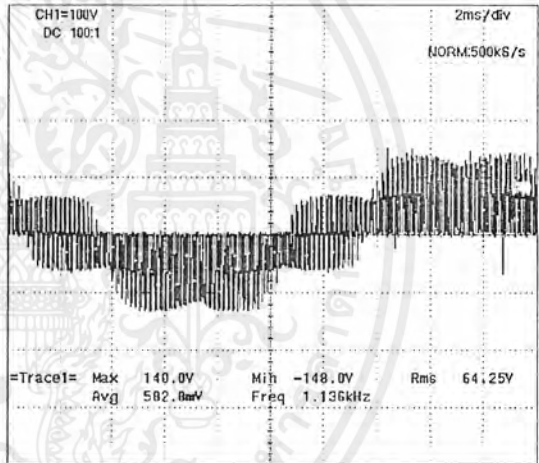
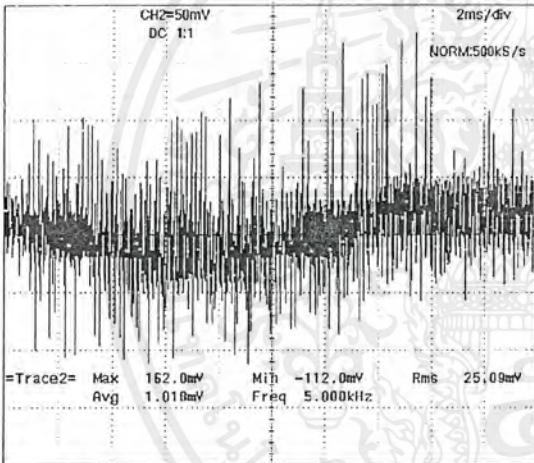


รูปที่ 4.41 สัญญาณกระแส I_a ที่ $V_{DC} = 100 V$

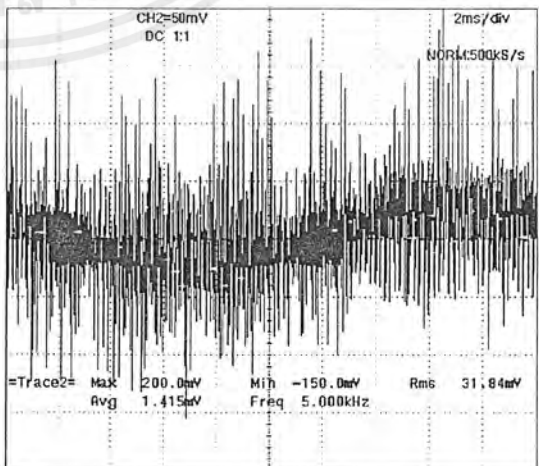
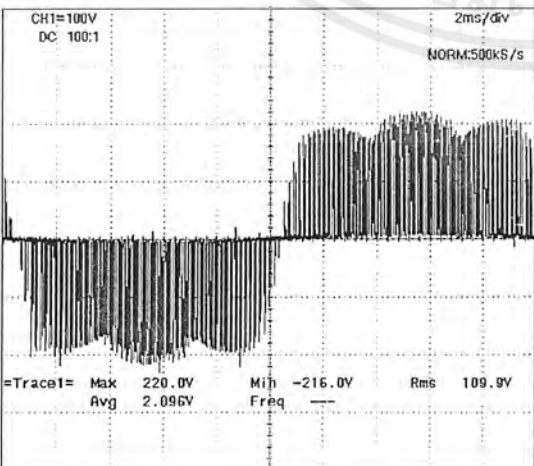
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.42 สัญญาณแรงดัน V_{an} ที่ $V_{DC} = 150$ V รูปที่ 4.43 สัญญาณแรงดัน V_{ab} ที่ $V_{DC} = 150$ V

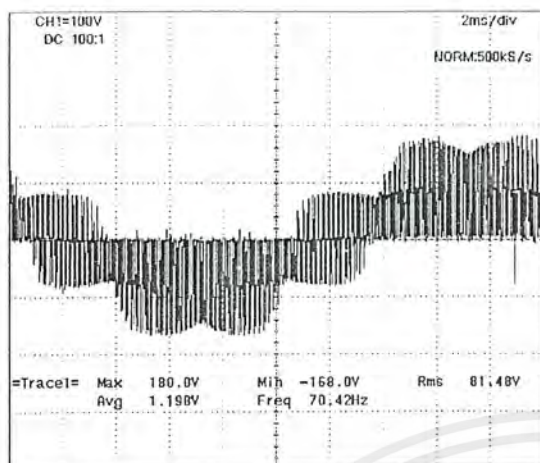


รูปที่ 4.44 สัญญาณกระแส I_a ที่ $V_{DC} = 150$ V รูปที่ 4.45 สัญญาณแรงดัน V_{an} ที่ $V_{DC} = 200$ V

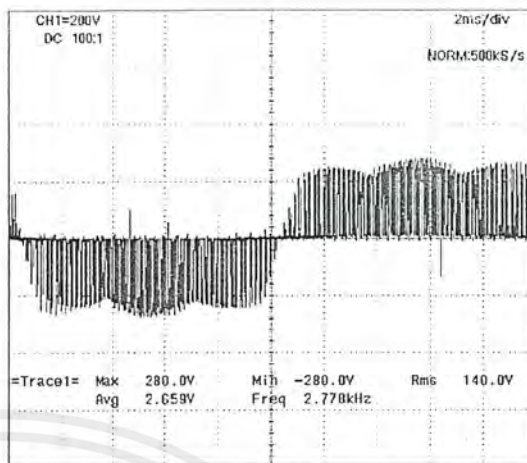


รูปที่ 4.46 สัญญาณแรงดัน V_{ab} ที่ $V_{DC} = 200$ V รูปที่ 4.47 สัญญาณกระแส I_a ที่ $V_{DC} = 200$ V

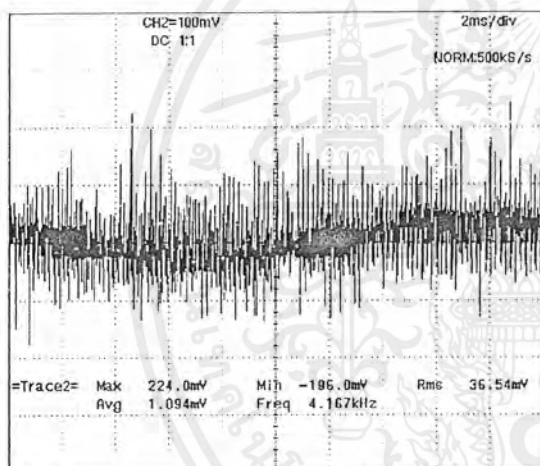
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



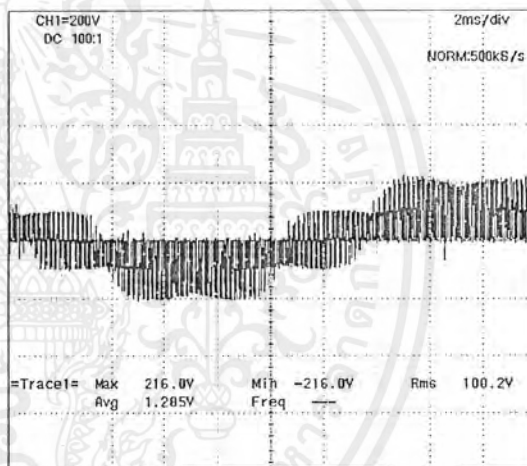
รูปที่ 4.48 สัญญาณแรงดัน V_{an} ที่ $V_{DC} = 250 V$



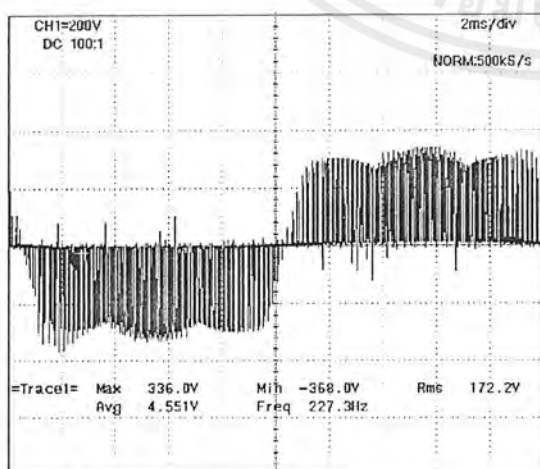
รูปที่ 4.49 สัญญาณแรงดัน V_{ab} ที่ $V_{DC} = 250 V$



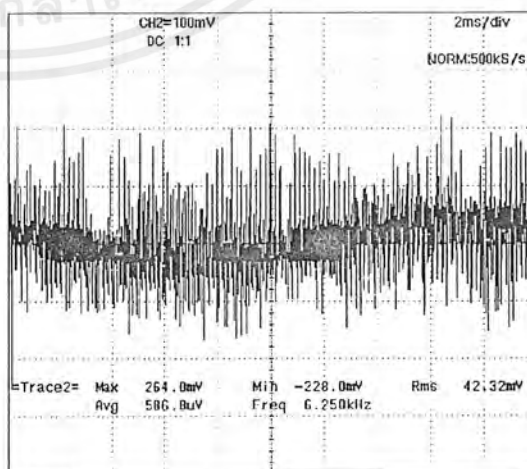
รูปที่ 4.50 สัญญาณกระแส I_a ที่ $V_{DC} = 250 V$



รูปที่ 4.51 สัญญาณแรงดัน V_{an} ที่ $V_{DC} = 300 V$



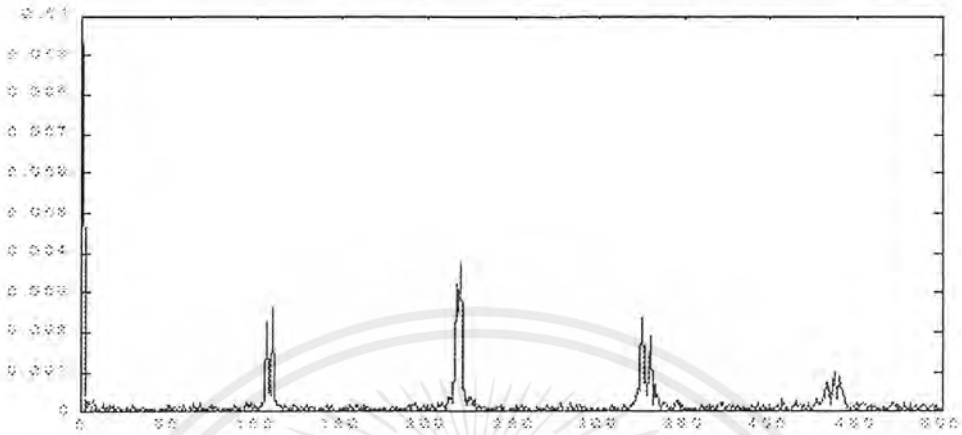
รูปที่ 4.52 สัญญาณแรงดัน V_{ab} ที่ $V_{DC} = 300 V$



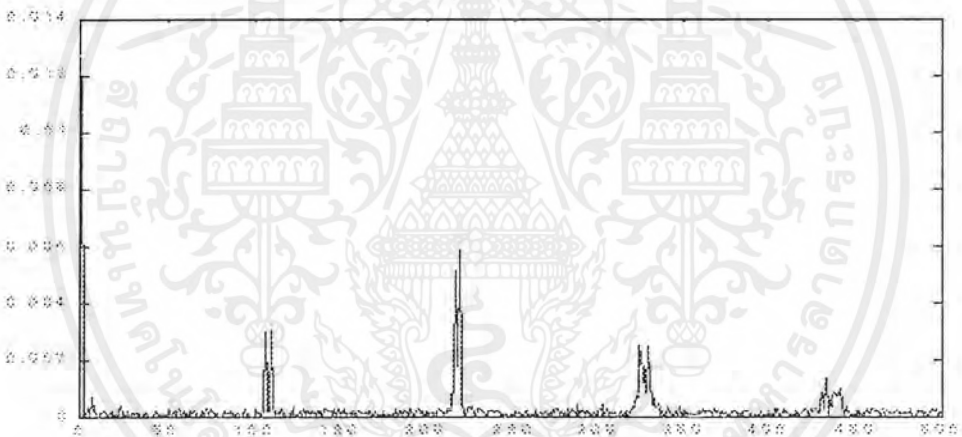
รูปที่ 4.53 สัญญาณกระแส I_a ที่ $V_{DC} = 300 V$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

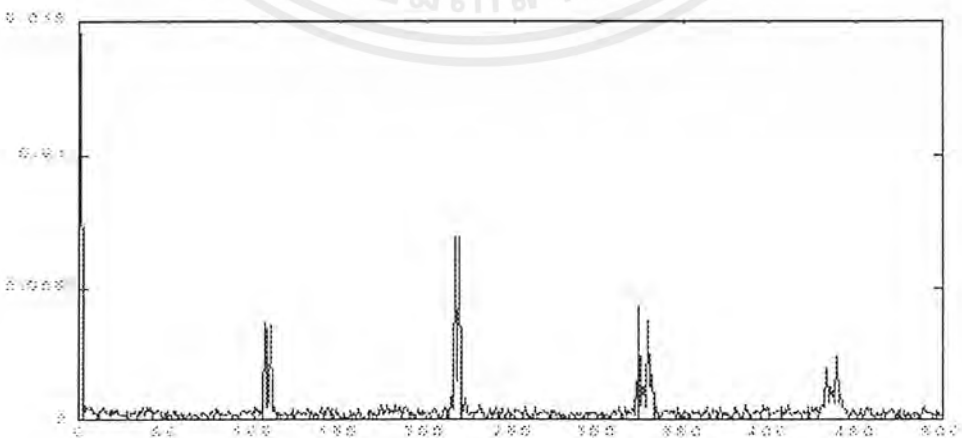
รูปสเปกตรัมของกระแสที่ค่ามอดูเลชันอินเด็กซ์คงที่ $m_a = 0.8$ และปรับค่าแรงดัน



รูปที่ 4.54 สเปกตรัมของกระแสที่ $V_{dc} = 50$ V

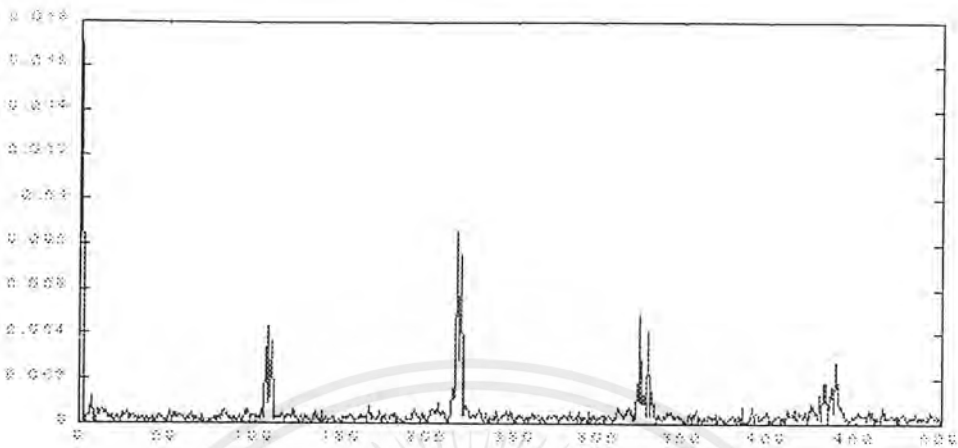


รูปที่ 4.55 สเปกตรัมของกระแสที่ $V_{dc} = 100$ V

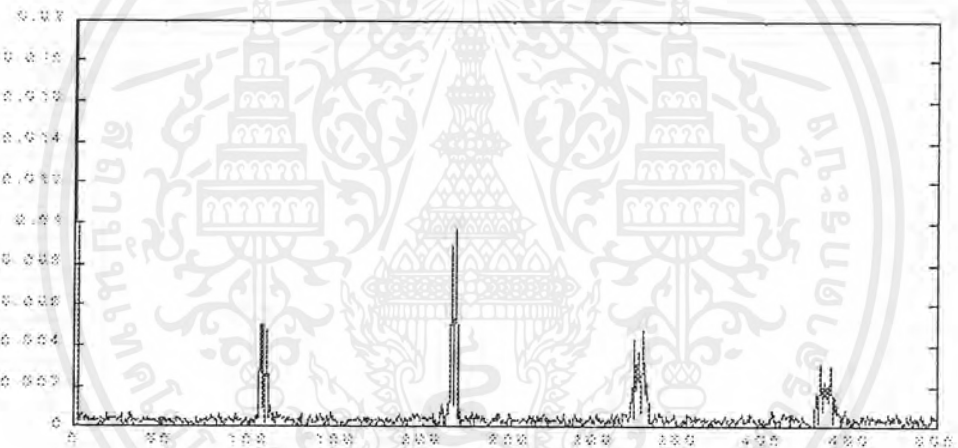


รูปที่ 4.56 สเปกตรัมของกระแสที่ $V_{dc} = 150$ V

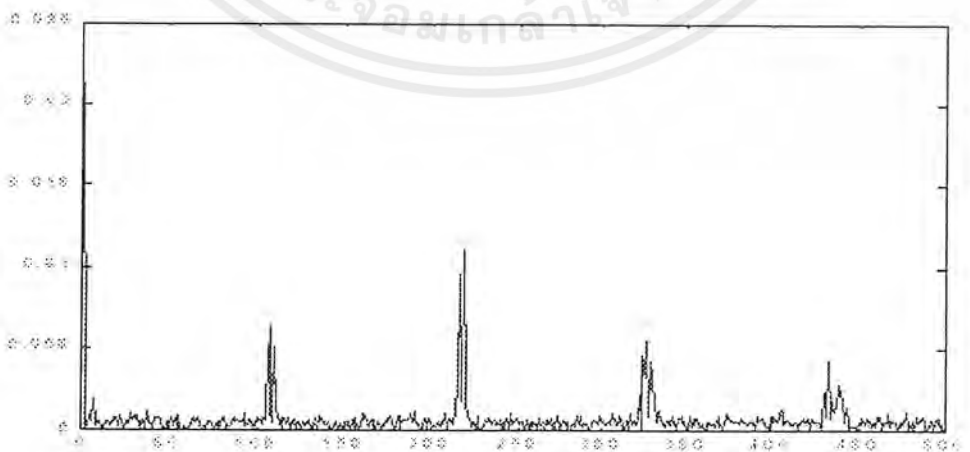
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.57 สเปกตรัมของกระแสที่ $V_{dc} = 200 \text{ V}$



รูปที่ 4.58 สเปกตรัมของกระแสที่ $V_{dc} = 250 \text{ V}$



รูปที่ 4.59 สเปกตรัมของกระแสที่ $V_{dc} = 300 \text{ V}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่วัดได้ทางด้านเรกติไฟเออร์ ที่ค่า $m_u = 0.8$

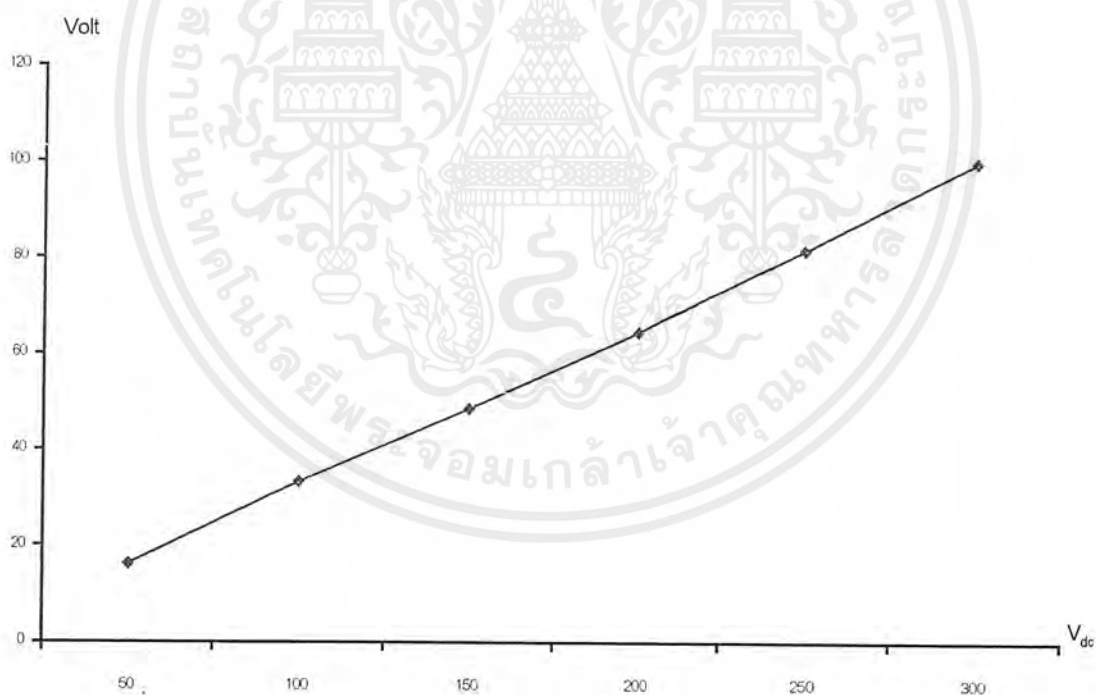
V_{DC}	V_{AN}	V_{BN}	V_{CN}	I_{AN}	I_{BN}	I_{CN}	P_A	P_B	P_C	P_{TOTAL}	$\cos\theta_A$	$\cos\theta_B$	$\cos\theta_C$
50	20.4	20.3	24	0.15	0.15	0.16	2.69	2.65	3.42	8.76	0.88	0.87	0.89
100	43.3	43.8	47.5	0.18	0.18	0.19	6.94	6.94	8.03	21.91	0.89	0.88	0.89
150	63.9	63.6	68.2	0.20	0.21	0.21	11.63	12.15	13.03	36.81	0.91	0.91	0.91
200	85.3	85.4	89.9	0.23	0.24	0.24	18.05	18.86	19.85	56.76	0.92	0.92	0.92
250	108.9	107.9	113	0.26	0.27	0.28	26.33	27.09	29.43	82.85	0.93	0.93	0.93
300	131.6	132.1	136.7	0.29	0.30	0.31	35.49	36.86	39.41	111.76	0.93	0.93	0.93

ตารางที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่วัดได้ทางด้านอินเวอร์เตอร์ ที่ค่า $m_u = 0.8$

V_{DC}	V_{an}	V_{bn}	V_{cn}	I_{an}	I_{bn}	I_{cn}	P_{total}
50	16.1	15.3	15.1	0.086	0.082	0.081	3.87
100	33.3	32.5	32.0	0.124	0.117	0.114	11.60
150	48.6	47.8	47.0	0.160	0.153	0.150	22.15
200	64.5	63.4	62.6	0.189	0.182	0.176	34.77
250	81.6	80.3	79.8	0.233	0.218	0.205	52.89
300	100.0	99.3	98.5	0.274	0.248	0.239	75.50

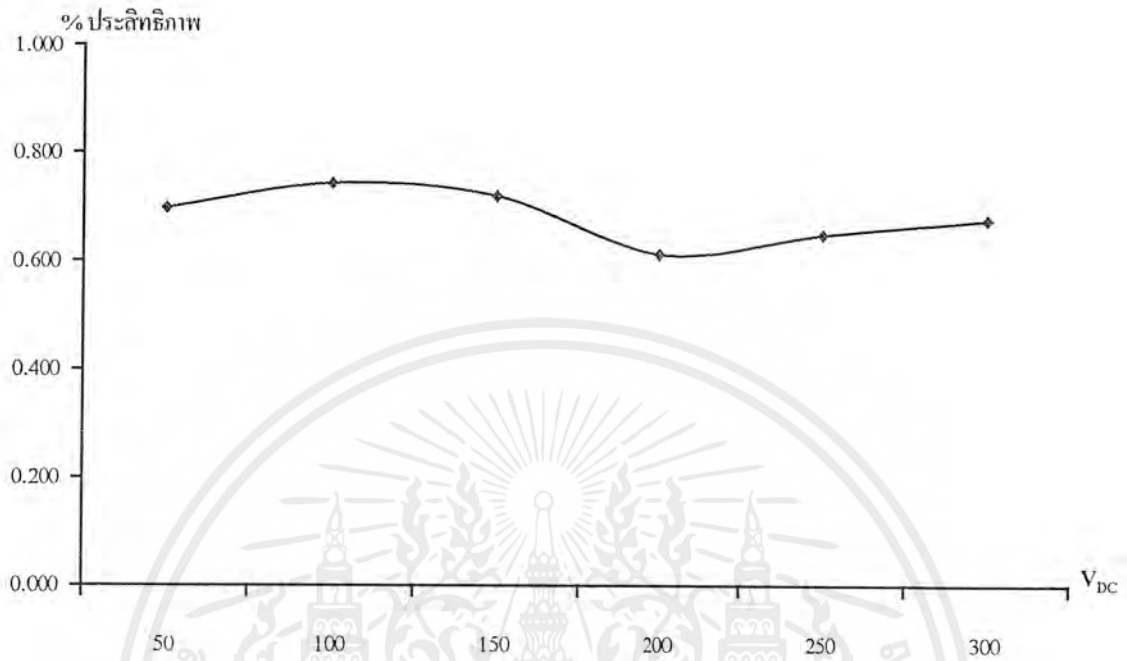
ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพของเรกติไฟเออร์ อินเวอร์เตอร์ และของระบบที่ค่า $m_s = 0.8$

P_{REC}	DC LINK			P_{INV}	$\% \eta_{REC}$	$\% \eta_{INV}$	$\% \eta_{TOTAL}$
	V_{DC}	I_{DC}	W_{DC}				
8.76	50	0.111	5.55	3.87	63.4	69.7	44.2
21.91	100	0.156	15.60	11.60	71.2	74.4	52.9
36.81	150	0.205	30.75	22.15	83.5	72.0	60.2
56.76	200	0.284	56.80	34.77	99.5	61.2	61.3
82.85	250	0.326	81.50	52.89	98.4	64.9	63.8
111.76	300	0.372	111.60	75.50	99.9	67.7	67.6

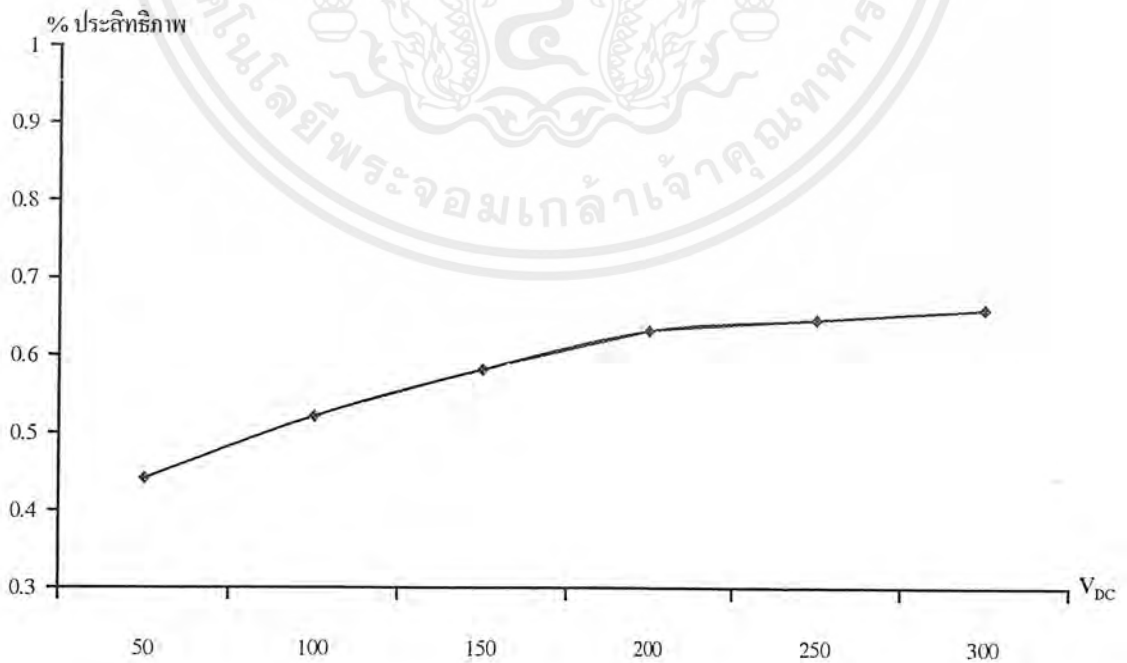


รูปที่ 4.60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับ V_{dc}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.61 ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่ค่า $m_u = 0.8$



รูปที่ 4.62 ประสิทธิภาพของระบบที่ค่า $m_u = 0.8$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิเคราะห์ผล

5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1. จากการทดลองการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าโดยการปรับค่ามอดูเลชันอินดิเคซ์ (m_u) โดยคงค่าของ V_{dc} ที่ 250 โวลต์ จะเห็นได้ว่ายิ่งเราปรับค่า m_u มากขึ้น แรงดันเอาต์พุตที่ออกจากอินเวอร์เตอร์ก็จะมากขึ้นตาม โดยเฉพาะในช่วง $m_u \leq 1.0$ อัตราการเพิ่มของแรงดันเอาต์พุตจะเป็นลักษณะเชิงเส้นมากขึ้นมีค่าความชันสูง แต่ที่ $m_u > 1.0$ อัตราการเปลี่ยนแปลงจะลดลง โดยเกือบจะคงที่ที่แรงดันเอาต์พุต
2. จากการทดลองจะพบได้ว่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ และประสิทธิภาพของระบบจะมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ค่า $m_u = 1.0$ เนื่องจากช่วงที่ค่า $m_u > 1.0$ พบว่าฮาร์โมนิกในช่วงความถี่สูง ๆ ลดลง แต่จะมีฮาร์โมนิกในอันดับต่ำ ๆ เกิดขึ้นโดยที่ฮาร์โมนิกอันดับต่ำจะทำให้ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ลดลง
3. จากการทดลองการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าโดยการปรับค่าแรงดันกระแสตรงมีอนเข้าโดยคงค่าของ m_u ที่ 0.8 จะเห็นได้ว่ายิ่งเราปรับแรงดันกระแสตรงเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ และประสิทธิภาพของระบบจะเพิ่มขึ้นตามโดยประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่ 300 V_{dc} มีค่าเท่ากับ 67.7% และประสิทธิภาพของระบบเท่ากับ 67.6%

5.2 สรุปการออกแบบ

ในการออกแบบระบบสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกคือส่วนของชุดเรกติไฟเออร์ และส่วนที่สองคือส่วนของชุดอินเวอร์เตอร์

ในส่วนแรกคือส่วนของชุดเรกติไฟเออร์ โดยชุดเรกติไฟเออร์ที่ใช้ในโครงงานนี้ใช้บริดจ์ไดโอดซึ่งสามารถนำกระแสได้ทางเดียวเป็นอุปกรณ์ในการควบคุมกระแส

ในส่วนที่สองคือส่วนของชุดอินเวอร์เตอร์ จะประกอบไปด้วยส่วนของวงจรควบคุมและส่วนของวงจรกำลัง ซึ่งในส่วนของวงจรควบคุมนั้นจะทำหน้าที่สร้างสัญญาณแบบ 3 เฟส SPWM โดยสัญญาณ SPWM ได้จากการนำสัญญาณรูปไซน์ (ได้จากการใช้หม้อแปลง 3 เฟสที่ต่อแบบสตาร์ – สตาร์ ลดระดับแรงดันของแหล่งจ่ายลงมา) มาทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณตามเหลี่ยม จากนั้นจะนำสัญญาณ SPWM ที่ได้มาผ่านวงจรถอดเอาต์เพื่อทำการสร้างเดคโคม แล้วนำไปผ่านวงจรขับเพื่อทำการขยายสัญญาณและแยกกราวด์ระหว่างส่วนของวงจรควบคุมและวงจรกำลังออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกันก่อนที่จะนำไปใช้ในการขับวงจรกำลังต่อไป โดยส่วนของวงจรกำลัง 3 เฟสจะใช้ไอจีบีทีที่มี พิกัดแรงดัน 1200 โวลต์และพิกัดกระแส 20 แอมป์เป็นอุปกรณ์ในการสวิตซ์

5.3 เงื่อนไขในการทดลอง

ในการทดสอบได้ทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของอินเวอร์เตอร์ดังนี้

1. ทำการคงค่าแรงดันกระแสตรงที่ 300 V_{DC} และปรับค่ามอดูเลชันอินเด็กที่ค่าต่าง ๆ กัน ทำการวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ทั้งทางด้านเรกติไฟเออร์และด้านอินเวอร์เตอร์ เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของเรกติไฟเออร์ อินเวอร์เตอร์ และระบบ
2. ทำการคงค่ามอดูเลชันอินเด็กที่ $Ma=0.8$ แล้วทำการปรับค่าแรงดันกระแสตรงระหว่าง 50 – 300 V_{DC} ทำการวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ทั้งทางด้านเรกติไฟเออร์และด้านอินเวอร์เตอร์ เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของเรกติไฟเออร์ อินเวอร์เตอร์ และระบบ

5.4 ผลที่ได้จากการทดลอง

ในโครงการนี้ได้ศึกษาการปรับแรงดันเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ในสองรูปแบบคือ การปรับแรงดันกระแสตรงที่อินพุทของอินเวอร์เตอร์ และการปรับค่ามอดูเลชันอินเด็ก

ในส่วนของ การปรับแรงดันแรงดันกระแสตรงที่ป้อนให้กับอินเวอร์เตอร์ พบว่าจะมีผลให้แรงดันเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์เปลี่ยนแปลงตามแรงดันอินพุท

ในส่วนของ การปรับค่ามอดูเลชันอินเด็กที่ค่าต่าง ๆ ระหว่าง 0.4 – 1.6 โดยโหลดที่ต่อทางด้านเอาท์พุทเป็นโหลดความต้านทาน ต่อแบบสตาร์-สตาร์ โดยเปรียบเทียบที่แรงดันกระแสตรงค่าเดียวกันจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง ช่วงแรกคือที่ค่ามอดูเลชันอินเด็กอยู่ระหว่าง 0.4 -1.0 จะพบว่าค่าของแรงดันเอาท์พุทที่ความถี่มูลฐานเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นเชิงเส้นกับค่ามอดูเลชันอินเด็ก โดยเมื่อค่ามอดูเลชันอินเด็กเพิ่มขึ้นค่าแรงดันก็จะเพิ่มขึ้นด้วย และจะเกิดฮาร์โมนิกในช่วงความถี่สูง ๆ ช่วงที่สองคือ ช่วงที่ค่ามอดูเลชันอินเด็กมีค่ามากกว่า 1 พบว่าค่าของแรงดันจะเปลี่ยนแปลงอย่างไม่เป็นอัตราส่วนกับค่ามอดูเลชันอินเด็ก โดยค่าแรงดันจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อค่ามอดูเลชันอินเด็กเพิ่มขึ้น โดยค่าฮาร์โมนิกในช่วงความถี่สูง ๆ จะลดลง แต่จะมีฮาร์โมนิกในอันดับต่ำ ๆ เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ว่าเราควรเลือกใช้งานในช่วงที่ค่าของแรงดันแปรผันอย่างเป็นเชิงเส้นกับค่ามอดูลูล์ชันอินเด็ก เนื่องจากจะไม่มีฮาร์โมนิคอันดับต่ำเกิดขึ้น โดยที่ฮาร์โมนิคอันดับต่ำนี้จะทำให้ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ลดลง

5.5 สรุปผลการทดลอง

1. แรงดันเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์จะแปรผันตรงกับการปรับค่าแรงดันกระแสตรงป้อนเข้า และการปรับค่า m_a
2. ควรเลือกใช้งานอินเวอร์เตอร์ที่ค่า m_a ต่ำกว่า 1.0 เล็กน้อยเนื่องจากเป็นช่วงที่ค่าแรงดันเอาต์พุทแปรผันอย่างเป็นเชิงเส้นกับค่า m_a และไม่มีฮาร์โมนิคอันดับต่ำเกิดขึ้นอีกทั้งจะสามารถปรับชดเชยแรงดันเอาต์พุทที่ตกลงเนื่องจากการรับโหลดได้
3. การส่งกำลังไฟฟ้าโดยระบบแรงดันไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงควรจะต้องเลือกกระดัดแรงดันกระแสตรงที่ระดับสูง ๆ ในการส่งจ่าย เนื่องจากประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ และประสิทธิภาพของระบบจะแปรผันตรงกับแรงดันกระแสตรงที่ป้อนเข้า

5.6 ปัญหาในการทดลอง

1. ในการวัดรูปคลื่นสัญญาณต้องใช้เครื่องมือวัดที่สามารถเก็บบันทึกข้อมูลได้ โดยเครื่องมือดังกล่าวมีน้อย แต่กลุ่มโครงการที่ต้องใช้มีมาก ต้องผลัดกันใช้ทำให้ต้องเสียเวลาในการเก็บผลมาก
2. เครื่องมือที่ใช้วัดฮาร์โมนิคไม่สามารถวัดฮาร์โมนิคในอันดับสูง ๆ ได้ ต้องใช้การบันทึกรูปคลื่นของกระแสแล้วนำมาวิเคราะห์หาสเปกตรัมของฮาร์โมนิคโดยใช้โปรแกรม Matlab
3. ในส่วนของอุปกรณ์สวิทซ์ที่ใช้ในวงจรกำลังได้รับความเสียหายบ่อยมาก เนื่องจากมีสัญญาณรบกวน ทางกลุ่มโครงการได้ทำการแก้ไขโดยการต่อวงจร snubber เบอร์ (Snubber) เพื่อป้องกันไอจีบีทีจากสัญญาณรบกวน ซึ่งทำให้สัญญาณรบกวนลดลงบ้าง

5.7 แนวทางการพัฒนาต่อไปในอนาคต

1. ทำการเชื่อมโยงและถ่ายเทพลังงานกับระบบของการไฟฟ้าได้ สามารถนำอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสนี้ไปใช้ในการส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรง โดยพัฒนาให้สามารถที่จะควบคุมแรงดัน และกระแสเอาต์พุทให้ได้ตามต้องการ ก็จะสามารถควบคุมทิศทางการไหลของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังไฟฟ้าได้ โดยจะต้องศึกษาเรื่องของการซิงโครนัส (Synchronous) ให้ดีเป็นพิเศษ

2. มีวงจรป้อนกลับซึ่งสามารถที่จะควบคุมค่ามอดูลุเลชันอินเด็กเพื่อที่จะได้แรงดันเอาต์พุตตามต้องการ ประสิทธิภาพของระบบที่ได้จะดีขึ้น หรืออาจจะนำระบบคอมพิวเตอร์มาควบคุมการทำงานของชุดวงจรสร้างสัญญาณพีดีบีวีเอ็ม ก็จะทำให้การควบคุมมีความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น เสถียรภาพของระบบก็จะดีขึ้น

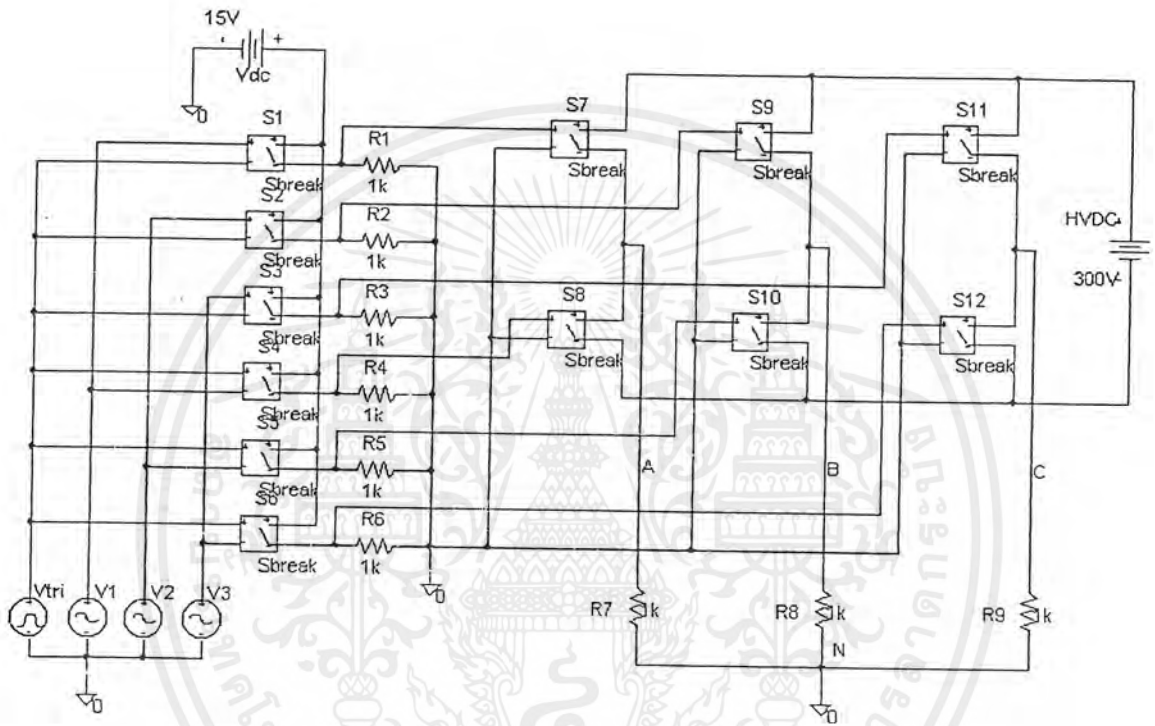




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

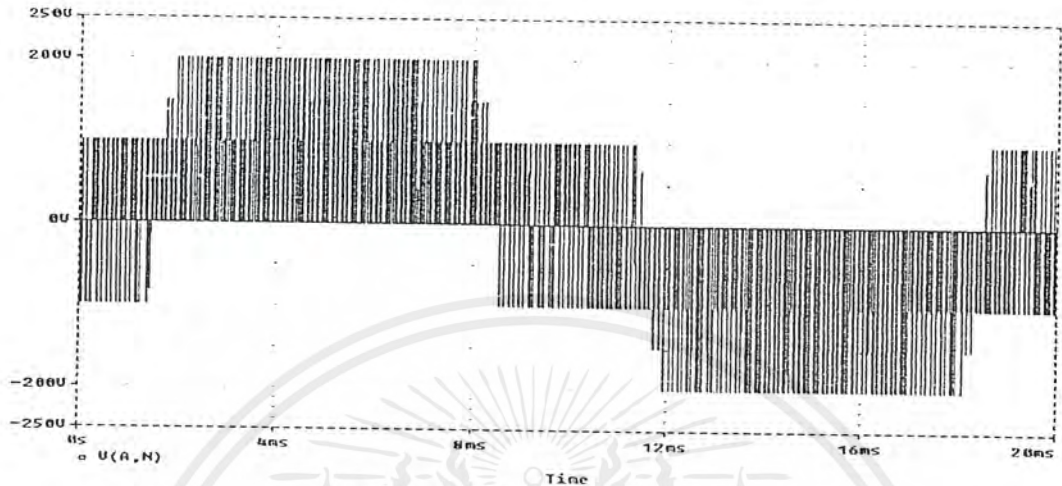
สัญญาณจากการซิมูเลชันของโปรแกรม Pspice



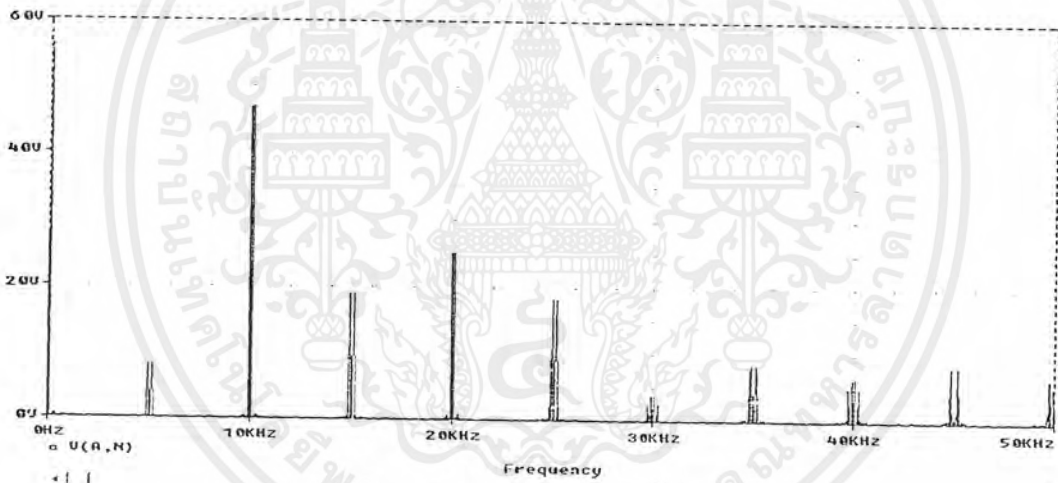
รูปที่ ก-1. วงจรที่ใช้ซิมูเลชันใน โปรแกรม PSpice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

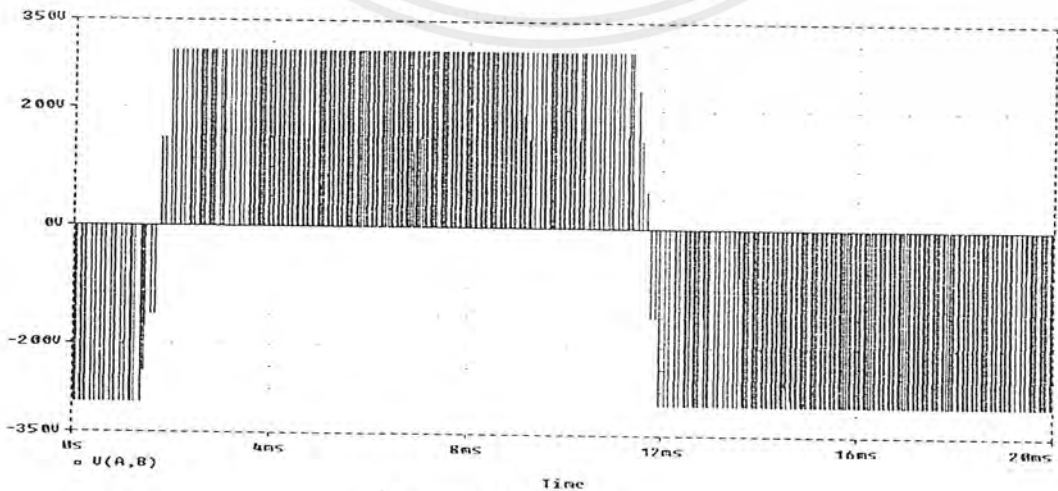
ก.1 รูปสัญญาณที่ได้จากการซิมูเลชันของรูปที่ ก-1 ที่ $m_a = 0.4$ และ $m_f = 750$



รูปที่ ก-2 รูปคลื่นของแรงดัน V_{AN}

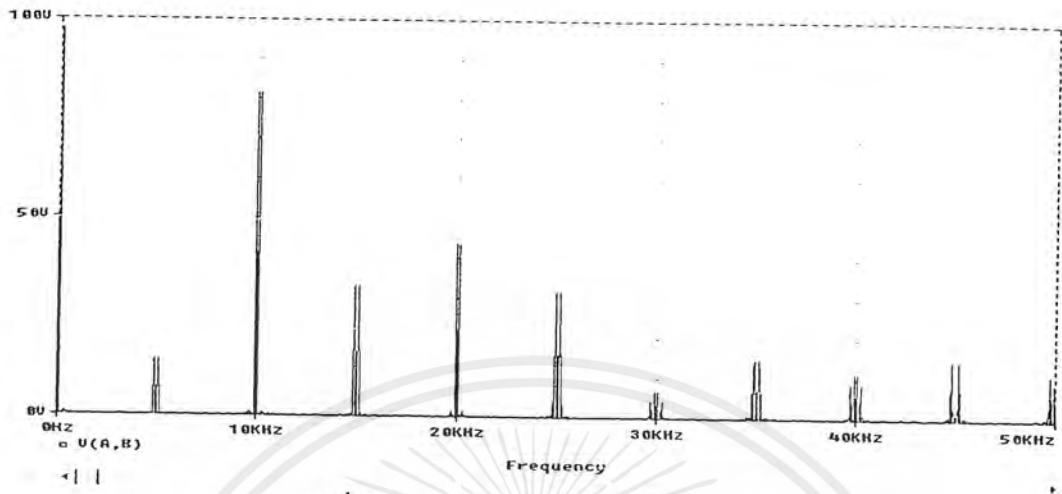


รูปที่ ก-3 รูปสเปกตรัมของแรงดัน V_{AN}

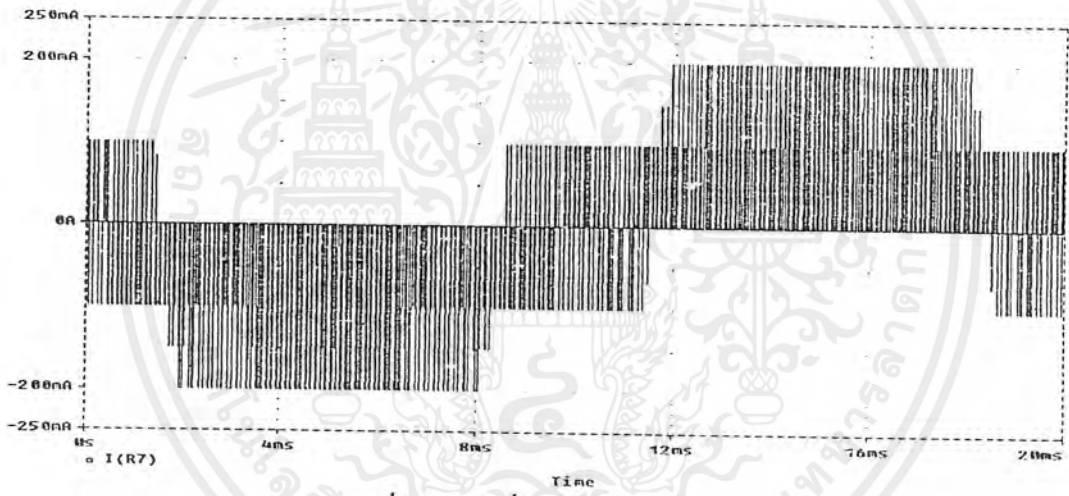


รูปที่ ก-4 รูปคลื่นของแรงดัน V_{AB}

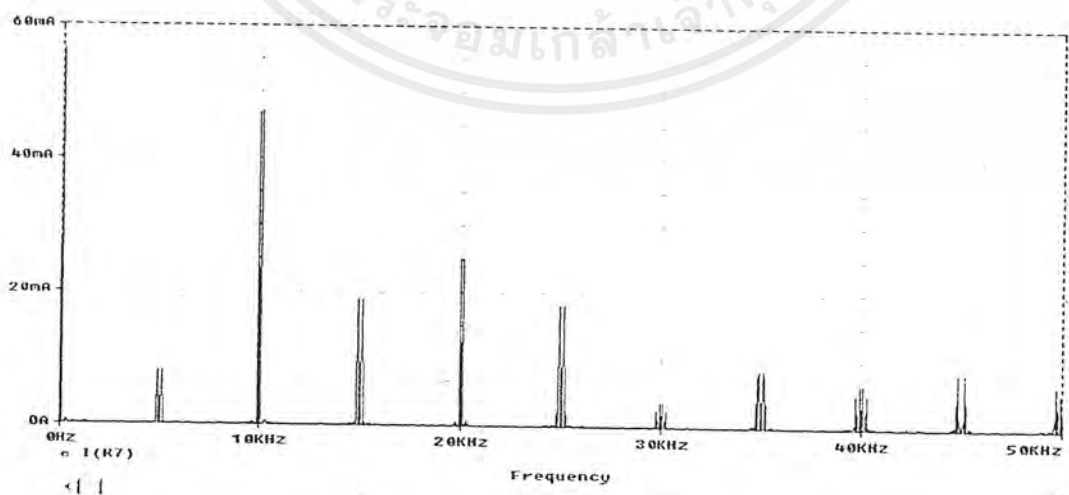
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-5 รูปสเปกตรัมของแรงดัน V_{AB}



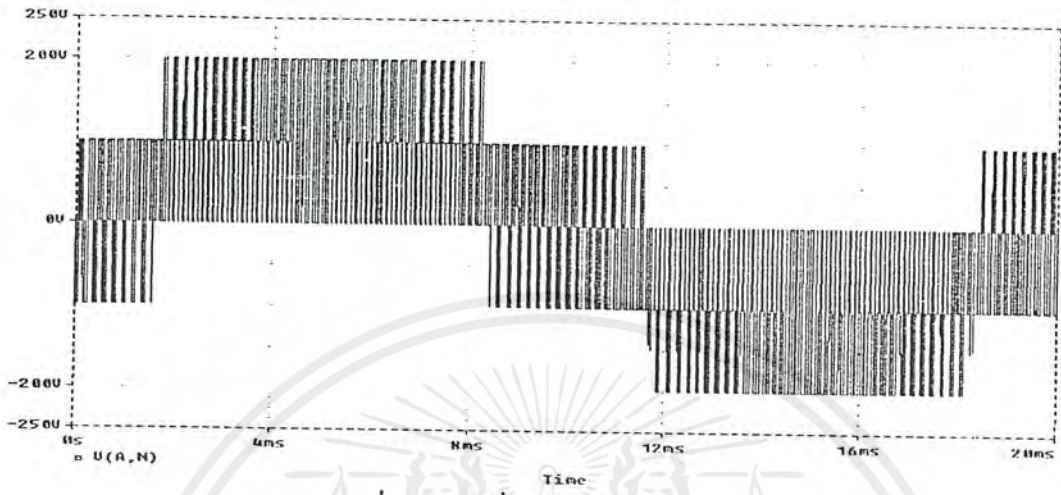
รูปที่ ก-6 รูปคลื่นของกระแส I_A



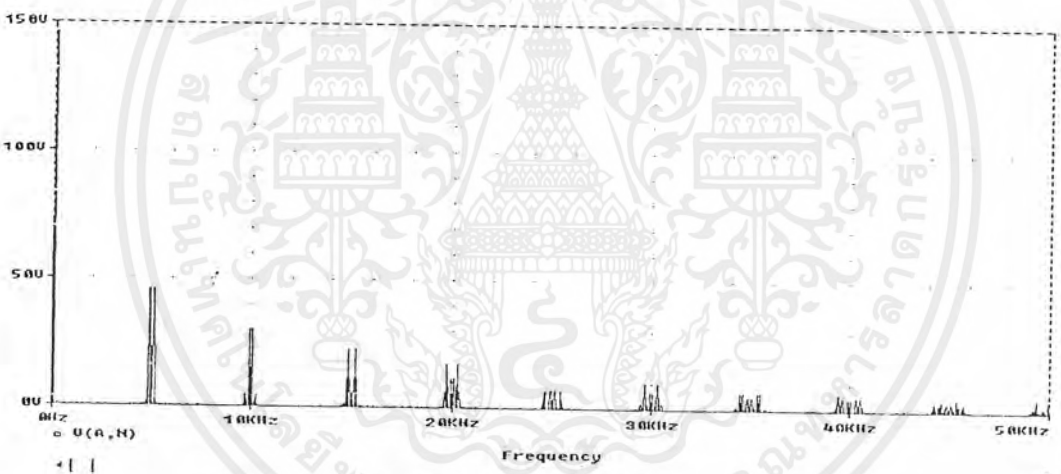
รูปที่ ก-7 รูปสเปกตรัมของกระแส I_A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

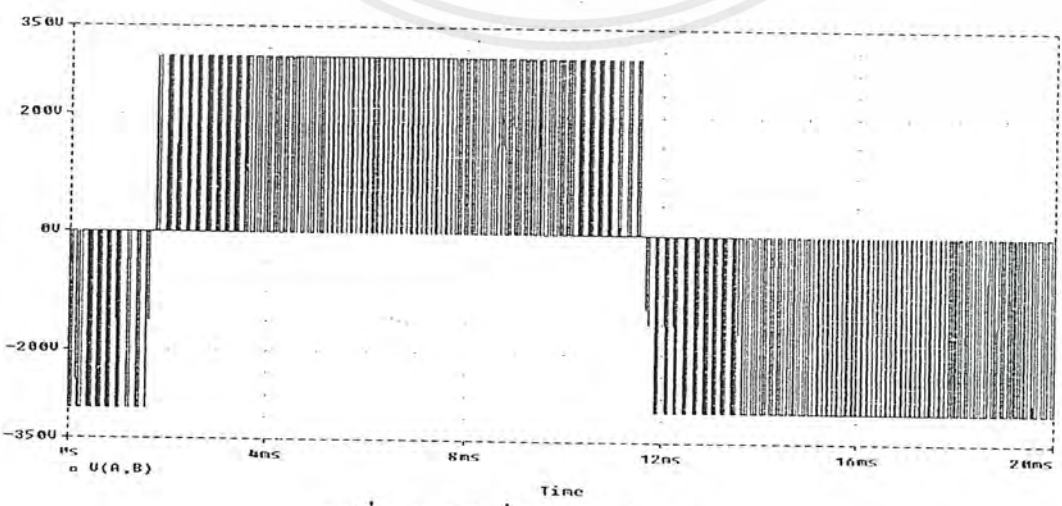
ก.2 รูปสัญญาณที่ได้จากการซิมูเลชันของรูปที่ ก-1 ที่ $m_a = 1.0$ และ $m_f = 750$



รูปที่ ก-8 รูปคลื่นของแรงดัน V_{AN}

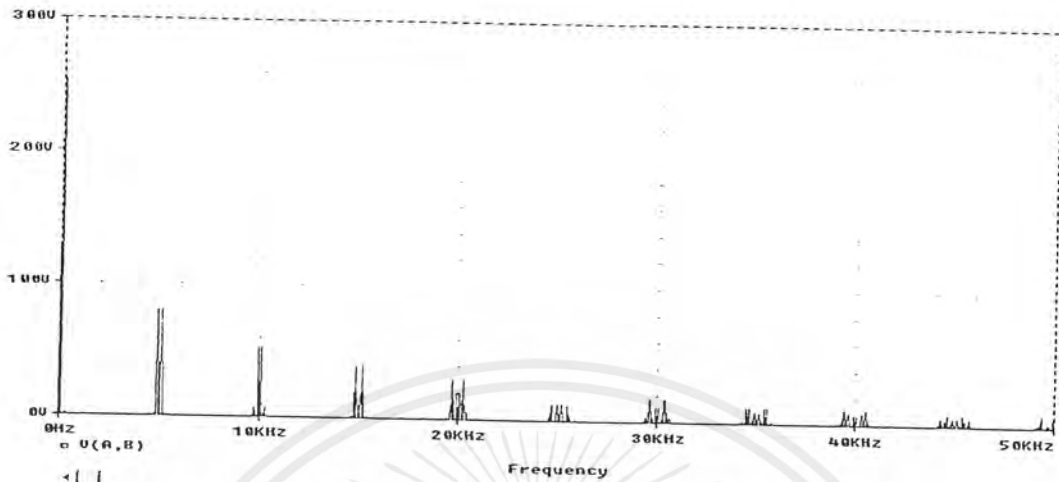


รูปที่ ก-9 รูปสเปกตรัมของแรงดัน V_{AN}

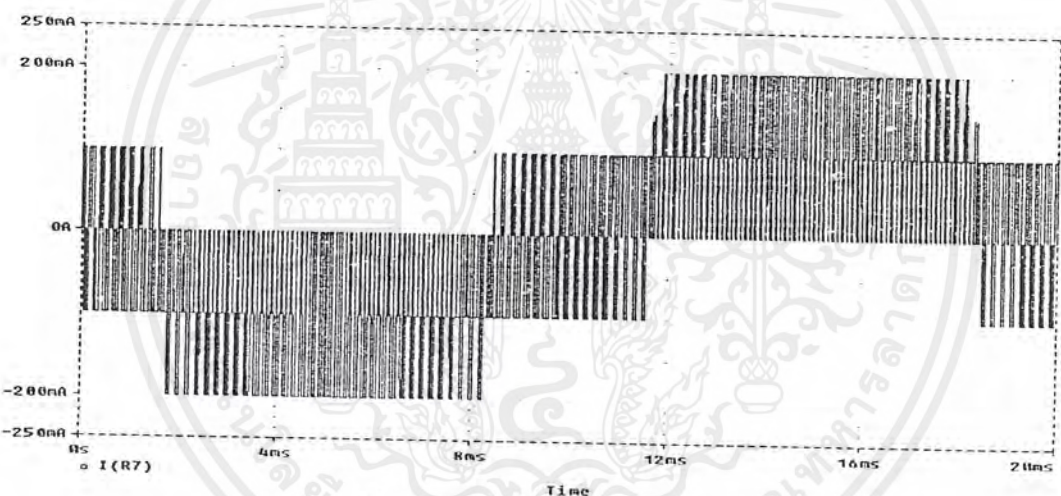


รูปที่ ก-10 รูปคลื่นของแรงดัน V_{AB}

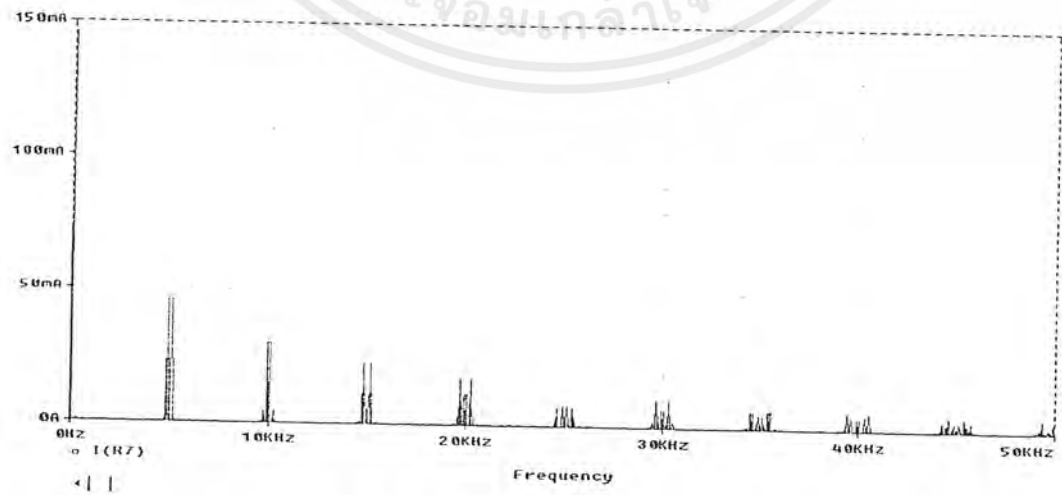
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-11 รูปสเปกตรัมของแรงดัน V_{AB}



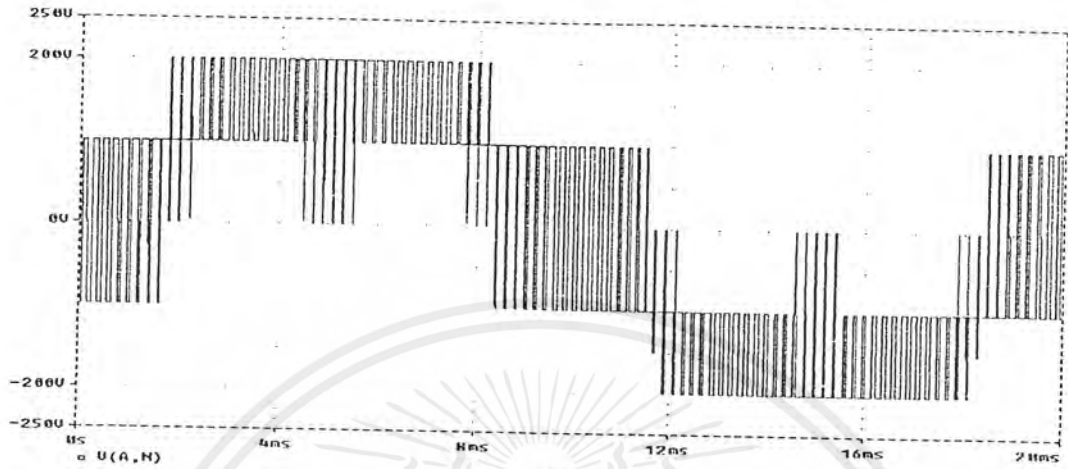
รูปที่ ก-12 รูปคลื่นของกระแส I_A



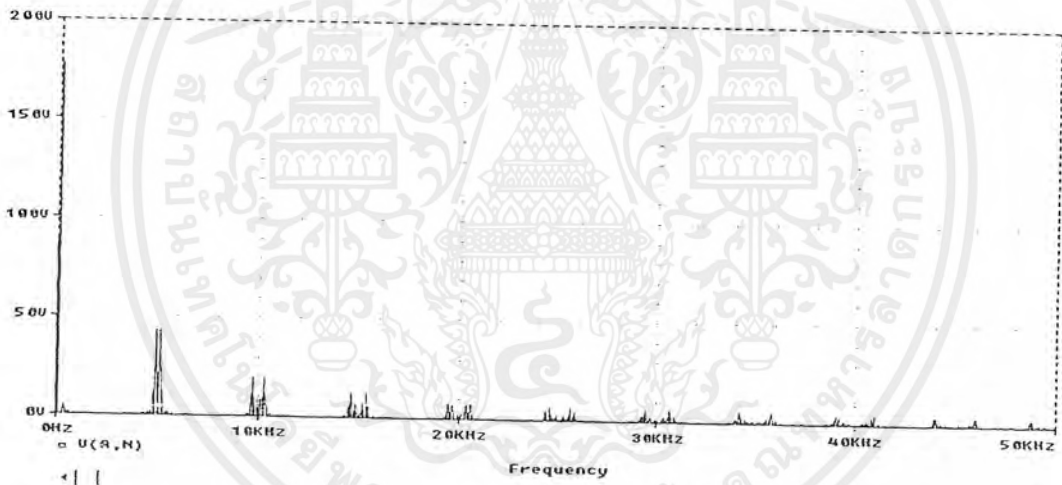
รูปที่ ก-13 รูปสเปกตรัมของกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

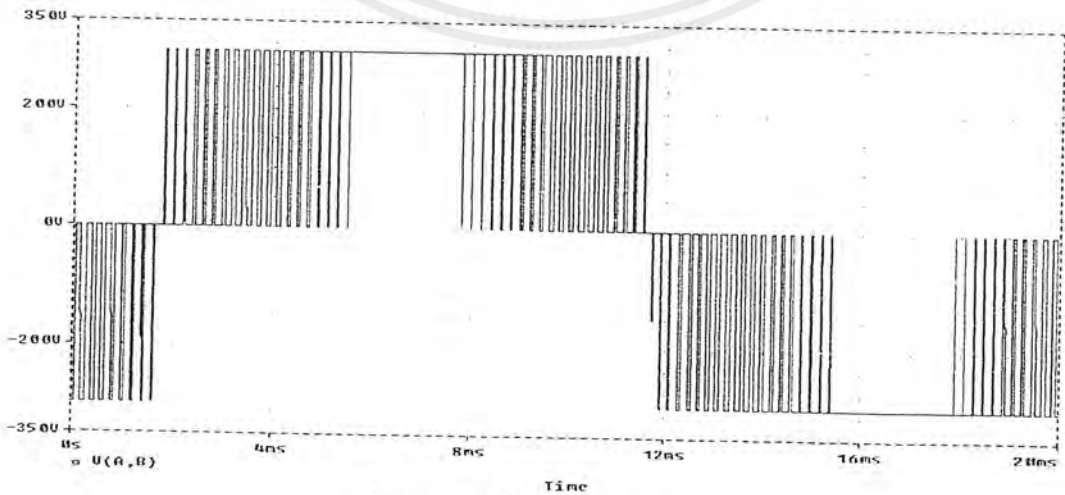
ก.3 รูปสัญญาณที่ได้จากการซิมูเลชันของรูปที่ ก-1 ที่ $m_a = 1.6$ และ $m_f = 750$



รูปที่ ก-14 รูปคลื่นของแรงดัน V_{AN}

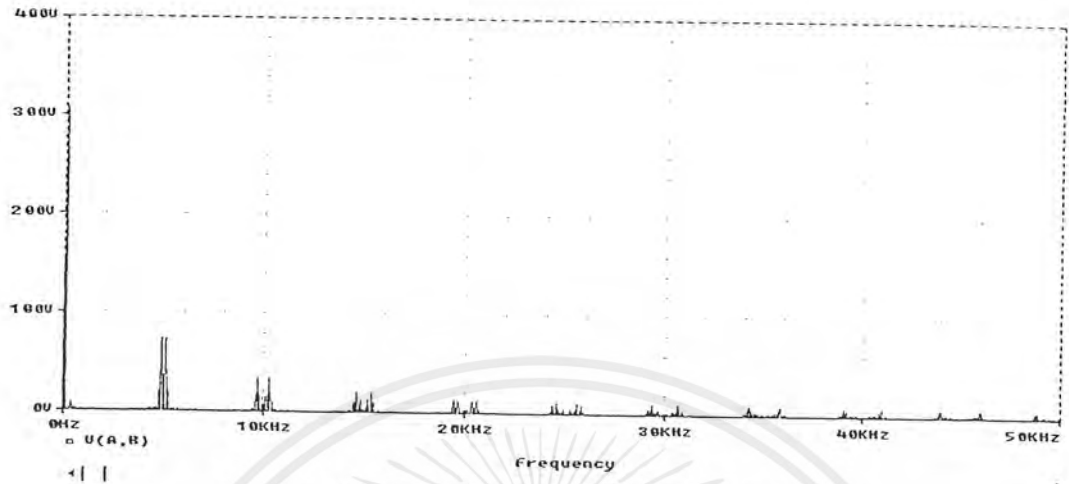


รูปที่ ก-15 รูปสเปกตรัมของแรงดัน V_{AN}

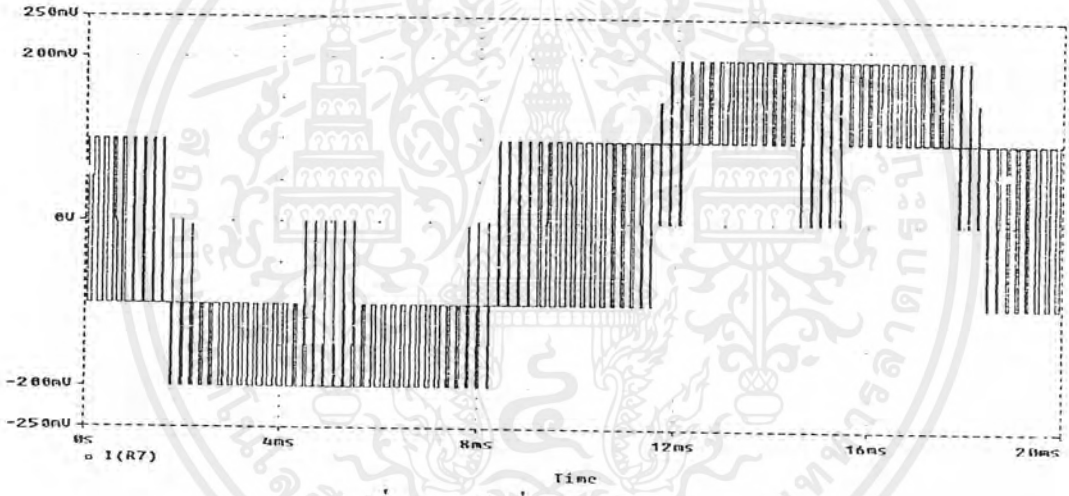


รูปที่ ก-16 รูปคลื่นของแรงดัน V_{AB}

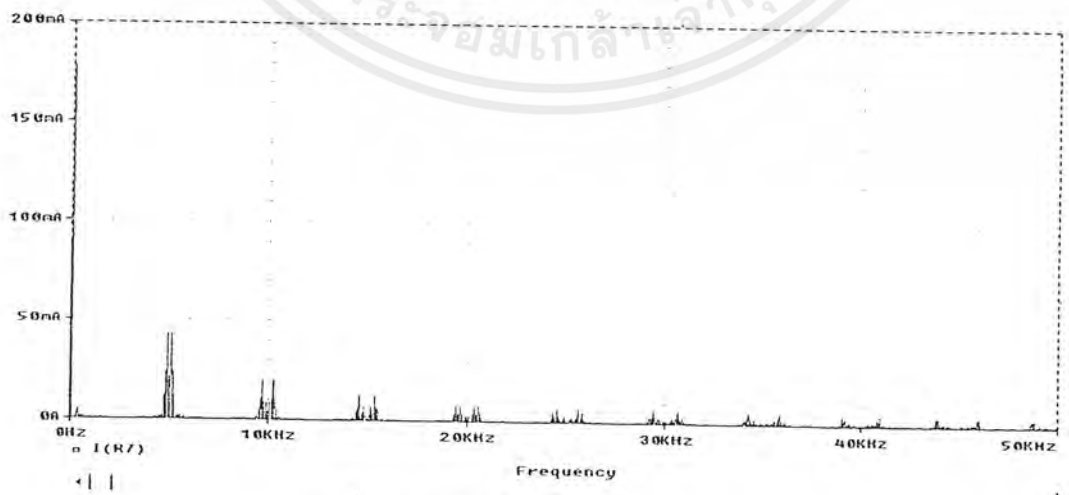
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-17 รูปสเปกตรัมของแรงดัน V_{AB}



รูปที่ ก-18 รูปคลื่นของกระแส I_A



รูปที่ ก-19 รูปสเปกตรัมของกระแส I_A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
โปรแกรม Matlab

```
load file.csv;  
plot(file);  
a = abs(fft(file));  
b = a/(5016*sqrt(2));  
plot(b(2:500));
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Designer's™ Data Sheet

Insulated Gate Bipolar Transistor with Anti-Parallel Diode

N-Channel Enhancement-Mode Silicon Gate

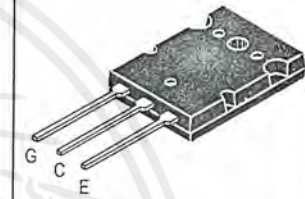
MGY20N120D

Motorola Preferred Device

IGBT & DIODE IN TO-264
20 A @ 90°C
28 A @ 25°C
1200 VOLTS
SHORT CIRCUIT RATED

This Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) is co-packaged with a soft recovery ultra-fast rectifier and uses an advanced termination scheme to provide an enhanced and reliable high voltage blocking capability. Short circuit rated IGBT's are specifically suited for applications requiring a guaranteed short circuit withstand time such as Motor Control Drives. Fast switching characteristics result in efficient operation at high frequencies. Co-packaged IGBT's save space, reduce assembly time and cost.

- Industry Standard High Power TO-264 Package (TO-3PBL)
- High Speed E_{off} : 160 μ J per Amp typical at 125°C
- High Short Circuit Capability – 10 μ s minimum
- Soft Recovery Free Wheeling Diode is included in the package
- Robust High Voltage Termination
- Robust RBSOA



CASE 340G-02
STYLE 5
TO-264

MAXIMUM RATINGS ($T_J = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CES}	1200	Vdc
Collector-Gate Voltage ($R_{GE} = 1.0 \text{ M}\Omega$)	V_{CGR}	1200	Vdc
Gate-Emitter Voltage — Continuous	V_{GE}	± 20	Vdc
Collector Current — Continuous @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ — Continuous @ $T_C = 90^\circ\text{C}$ — Repetitive Pulsed Current (1)	I_{C25} I_{C90} I_{CM}	28 20 56	Adc Adc Apk
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	174 1.39	Watts W/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to 150	°C
Short Circuit Withstand Time ($V_{CC} = 720 \text{ Vdc}$, $V_{GE} = 15 \text{ Vdc}$, $T_J = 125^\circ\text{C}$, $R_G = 20 \Omega$)	t_{sc}	10	μ s
Thermal Resistance — Junction to Case – IGBT — Junction to Case – Diode — Junction to Ambient	$R_{\theta JC}$ $R_{\theta JC}$ $R_{\theta JA}$	0.7 1.1 35	°C/W
Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes, 1/8" from case for 5 seconds	T_L	260	°C
Mounting Torque, 6-32 or M3 screw		10 lbf•in (1.13 N•m)	

(1) Pulse width is limited by maximum junction temperature. Repetitive rating.

Designer's Data for "Worst Case" Conditions — The Designer's Data Sheet permits the design of most circuits entirely from the information presented. SOA Limit curves — representing boundaries on device characteristics — are given to facilitate "worst case" design.

Designer's is a trademark of Motorola, Inc.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

REV 1

© Motorola, Inc. 1997



MOTOROLA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูคให้หน้าไปไซประยชนดานการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MGY20N120D

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_J = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS					
Collector-to-Emitter Breakdown Voltage (V _{GE} = 0 Vdc, I _C = 25 μAdc) Temperature Coefficient (Positive)	V _{(BR)CES}	1200	—	—	Vdc mV/°C
Zero Gate Voltage Collector Current (V _{CE} = 1200 Vdc, V _{GE} = 0 Vdc) (V _{CE} = 1200 Vdc, V _{GE} = 0 Vdc, T _J = 125°C)	I _{CES}	—	—	100 2500	μAdc
Gate-Body Leakage Current (V _{GE} = ± 20 Vdc, V _{CE} = 0 Vdc)	I _{GES}	—	—	250	nAdc

ON CHARACTERISTICS (1)

Collector-to-Emitter On-State Voltage (V _{GE} = 15 Vdc, I _C = 10 Adc) (V _{GE} = 15 Vdc, I _C = 10 Adc, T _J = 125°C) (V _{GE} = 15 Vdc, I _C = 20 Adc)	V _{CE(on)}	—	2.42 2.36 2.90	3.54 — 4.99	Vdc
Gate Threshold Voltage (V _{CE} = V _{GE} , I _C = 1.0 mAdc) Threshold Temperature Coefficient (Negative)	V _{GE(th)}	4.0	6.0 10	8.0	Vdc mV/°C
Forward Transconductance (V _{CE} = 10 Vdc, I _C = 20 Adc)	g _{fe}	—	12	—	Mhos

DYNAMIC CHARACTERISTICS

Input Capacitance	(V _{CE} = 25 Vdc, V _{GE} = 0 Vdc, f = 1.0 MHz)	C _{ies}	—	1876	—	pF
Output Capacitance		C _{oes}	—	208	—	
Transfer Capacitance		C _{res}	—	31	—	

SWITCHING CHARACTERISTICS (1)

Turn-On Delay Time	(V _{CC} = 720 Vdc, I _C = 20 Adc, V _{GE} = 15 Vdc, L = 300 μH R _G = 20 Ω) Energy losses include "tail"	t _{d(on)}	—	88	—	ns	
Rise Time		t _r	—	103	—		
Turn-Off Delay Time		t _{d(off)}	—	190	—		
Fall Time		t _f	—	284	—		
Turn-Off Switching Loss		E _{off}	—	1.65	2.75	mJ	
Turn-On Switching Loss		E _{on}	—	2.42	3.75		
Total Switching Loss		E _{ts}	—	4.07	6.50		
Turn-On Delay Time		(V _{CC} = 720 Vdc, I _C = 20 Adc, V _{GE} = 15 Vdc, L = 300 μH R _G = 20 Ω, T _J = 125°C) Energy losses include "tail"	t _{d(on)}	—	83	—	ns
Rise Time			t _r	—	107	—	
Turn-Off Delay Time			t _{d(off)}	—	216	—	
Fall Time	t _f		—	494	—		
Turn-Off Switching Loss	E _{off}		—	3.19	—	mJ	
Turn-On Switching Loss	E _{on}		—	4.26	—		
Total Switching Loss	E _{ts}		—	7.45	—		
Gate Charge	(V _{CC} = 720 Vdc, I _C = 20 Adc, V _{GE} = 15 Vdc)		Q _T	—	63	—	nC
			Q ₁	—	20	—	
			Q ₂	—	27	—	

DIODE CHARACTERISTICS

Diode Forward Voltage Drop (I _{EC} = 10 Adc) (I _{EC} = 10 Adc, T _J = 125°C) (I _{EC} = 20 Adc)	V _{FEC}	—	2.92 1.73 3.67	3.59 — 4.57	Vdc
--	------------------	---	----------------------	-------------------	-----

(1) Pulse Test: Pulse Width ≤ 300 μs, Duty Cycle ≤ 2%.

(continued)

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

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	
DIODE CHARACTERISTICS — continued						
Reverse Recovery Time	$(I_F = 20 \text{ A dc}, V_R = 720 \text{ V dc}, di_F/dt = 150 \text{ A}/\mu\text{s})$	t_{rr}	—	114	—	ns
		t_a	—	74	—	
		t_b	—	40	—	
Reverse Recovery Stored Charge	Q_{RR}	—	0.68	—	μC	
Reverse Recovery Time	$(I_F = 20 \text{ A dc}, V_R = 720 \text{ V dc}, di_F/dt = 150 \text{ A}/\mu\text{s}, T_J = 125^\circ\text{C})$	t_{rr}	—	224	—	ns
		t_a	—	149	—	
		t_b	—	75	—	
Reverse Recovery Stored Charge	Q_{RR}	—	2.40	—	μC	
INTERNAL PACKAGE INDUCTANCE						
Internal Emitter Inductance (Measured from the emitter lead 0.25" from package to emitter bond pad)	L_E	—	13	—	nH	

TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS

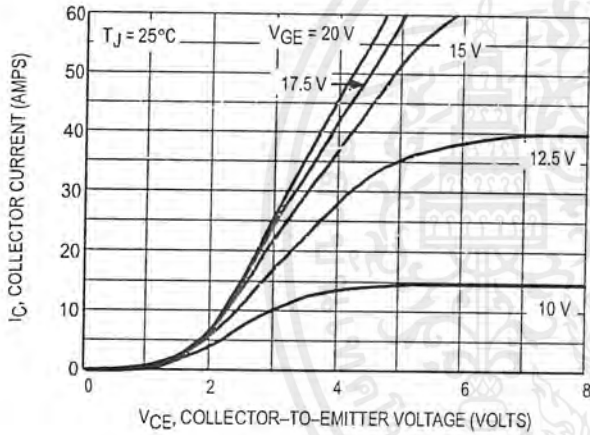


Figure 1. Output Characteristics

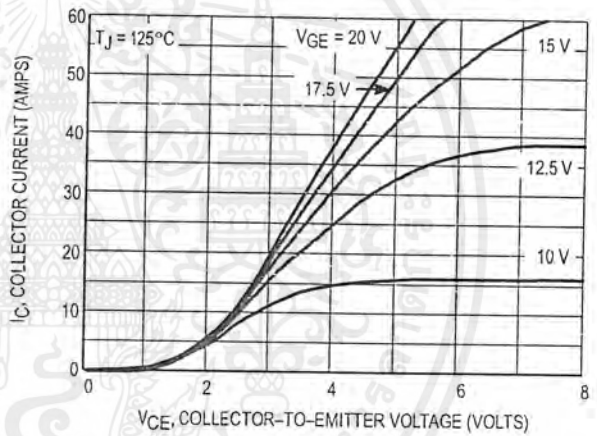


Figure 2. Output Characteristics

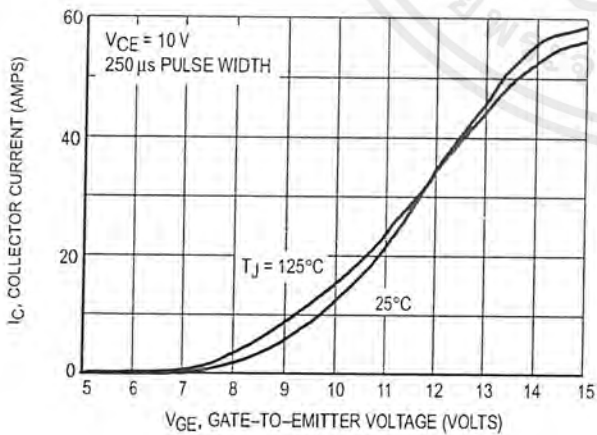


Figure 3. Transfer Characteristics

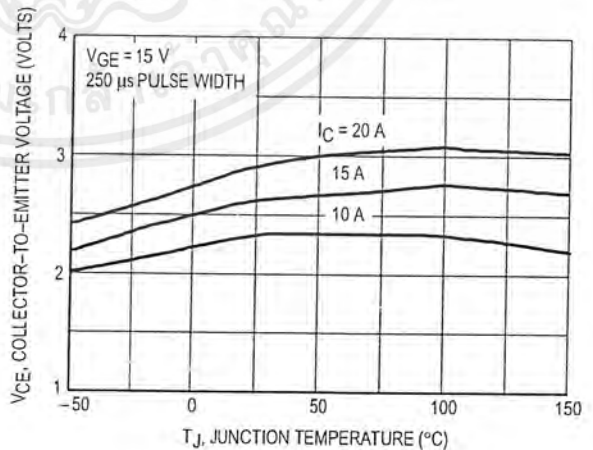


Figure 4. Collector-to-emitter Saturation Voltage versus Junction Temperature

MGY20N120D

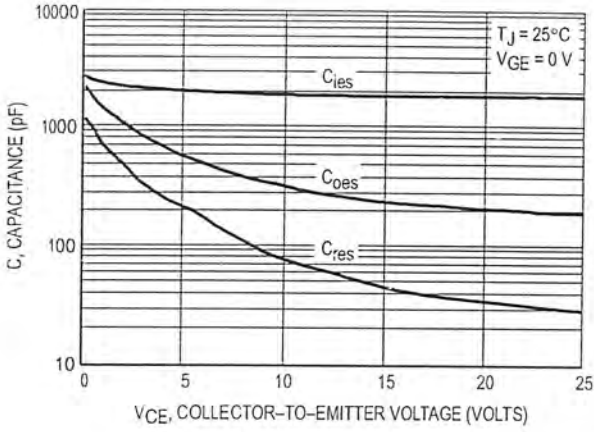


Figure 5. Capacitance Variation

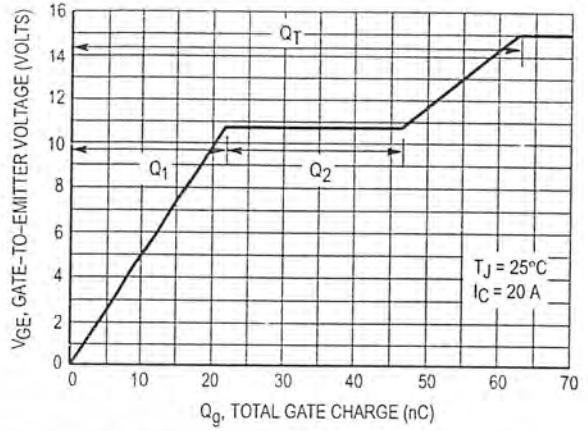


Figure 6. Gate-to-Emitter Voltage versus Total Charge

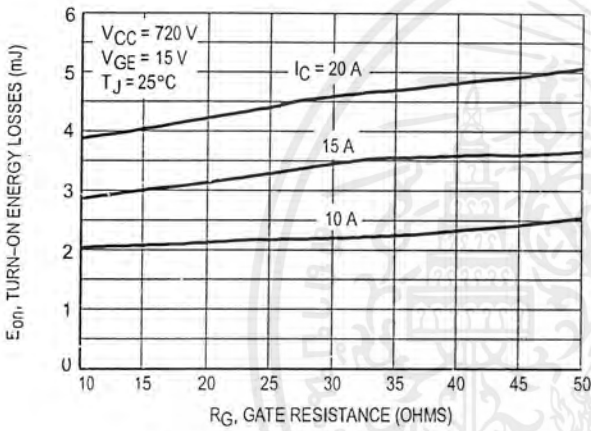


Figure 7. Turn-On Losses versus Gate Resistance

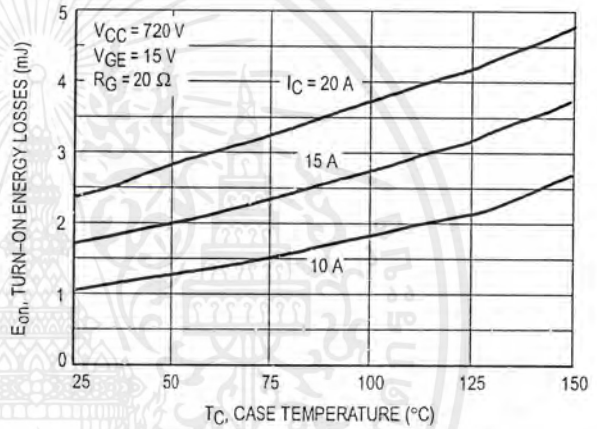


Figure 8. Turn-On Losses versus Case Temperature

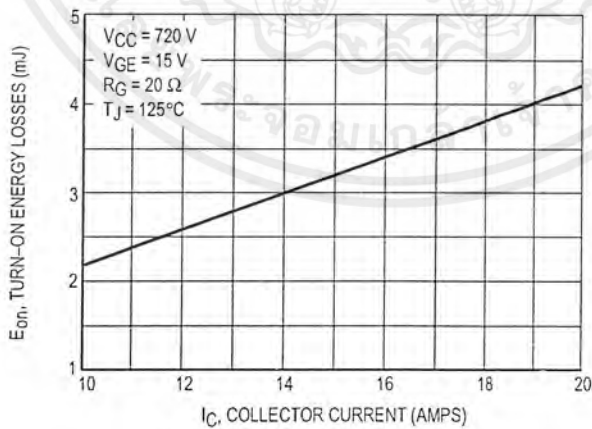


Figure 9. Turn-On Losses versus Collector Current

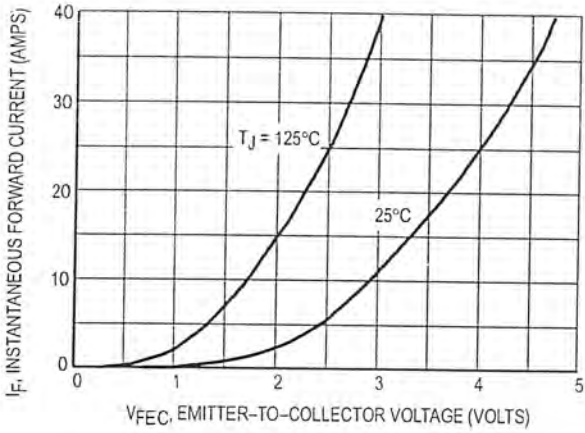


Figure 10. Diode Forward Voltage Drop

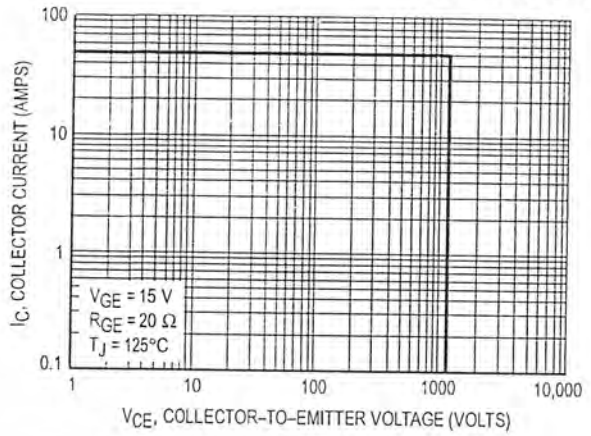


Figure 11. Reverse Biased Safe Operating Area

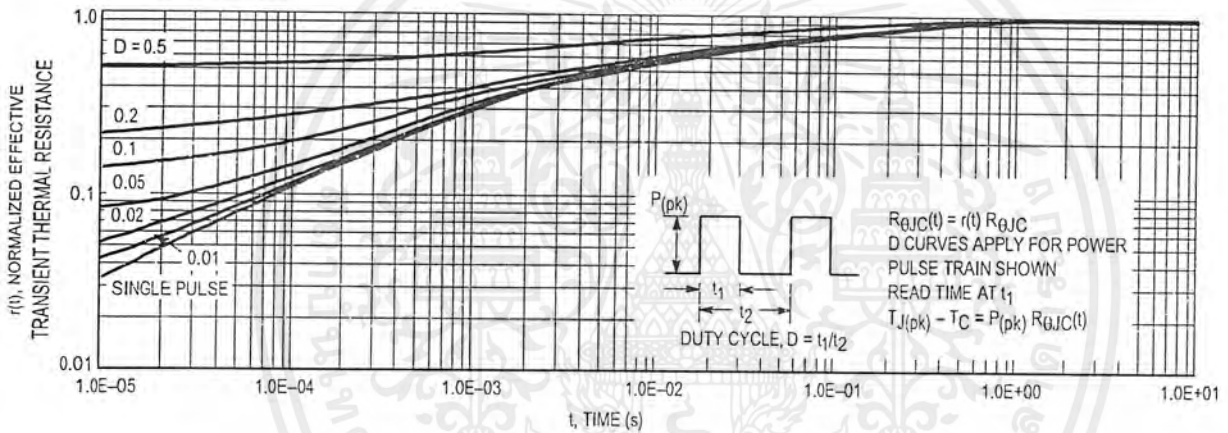
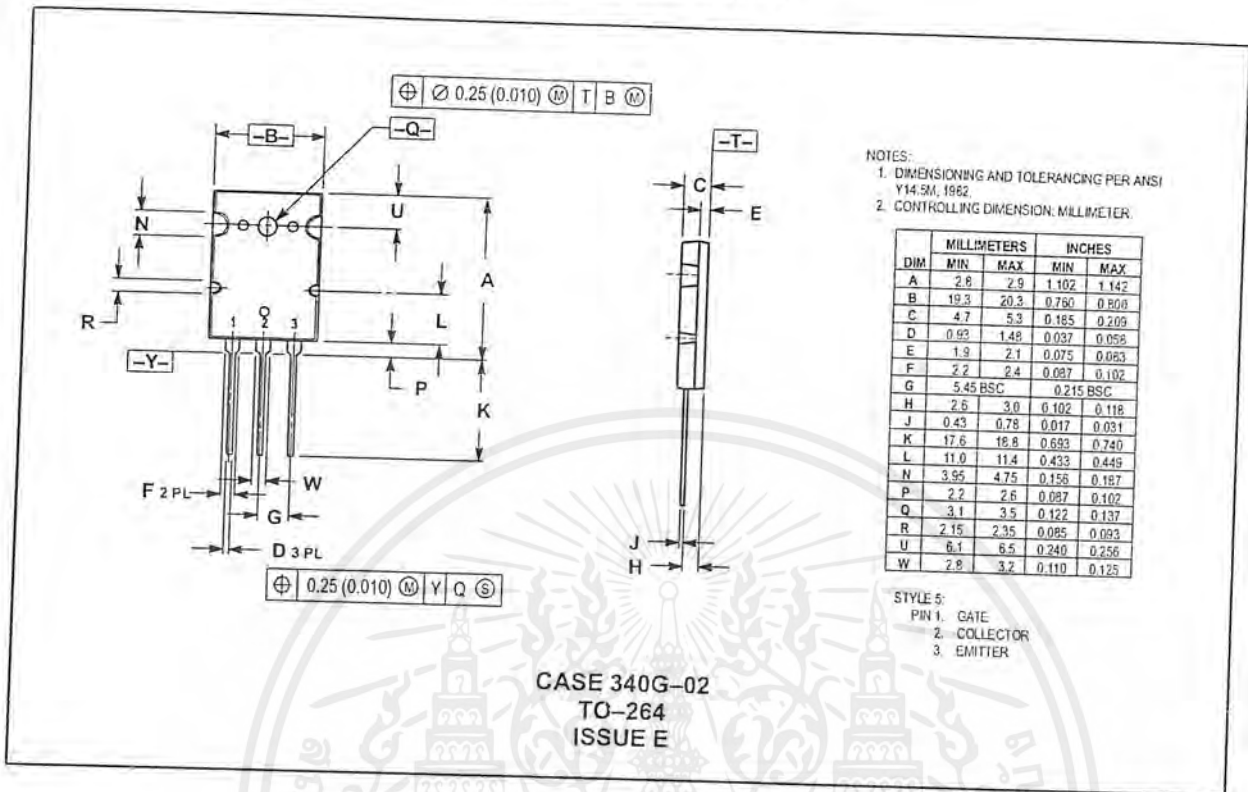


Figure 12. Thermal Response

PACKAGE DIMENSIONS



Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and M are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us: Mfax is a trademark of Motorola, Inc.
 USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution; JAPAN: Nippon Motorola Ltd.: SPD, Strategic Planning Office, 141,
 P.O. Box 5405, Denver, Colorado 80217. 1-303-675-2140 or 1-800-441-2447 4-32-1 Nishi-Gotanda, Shagawa-ku, Tokyo, Japan. 03-5487-8488

Customer Focus Center: 1-800-521-6274

Mfax™: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE 1-602-244-6609 ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
 Motorola Fax Back System - US & Canada ONLY 1-800-774-1848 51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298
 - http://sps.motorola.com/mfax/

HOME PAGE: http://motorola.com/sps/



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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, COMPIN, and SIGIN. Input SIGIN and COMPIN 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 PC1OUT and maintains 90 degrees phase shift at the center frequency between SIGIN and COMPIN signals (both at 50% duty cycle). Phase comparator 2 (with leading-edge sensing logic) provides digital error signals PC2OUT and PCPOUT and maintains a 0 degree phase shift between SIGIN and COMPIN signals (duty cycle is immaterial). The linear VCO produces an output signal VCOOUT whose frequency is determined by the voltage of input VCOIN signal and the capacitor and resistors connected to pins C1A, C1B, R1 and R2. The unity gain op-amp output DEMOUT with an external resistor is used where the VCOIN 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 SIGIN and COMPIN)
- 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

Pin No.	Symbol	Name and Function
1	PCPOUT	Phase Comparator Pulse Output
2	PC1OUT	Phase Comparator 1 Output
3	COMPIN	Comparator Input
4	VCOOUT	VCO Output
5	INH	Inhibit Input
6	C1A	Capacitor C1 Connection A
7	C1B	Capacitor C1 Connection B
8	GND	Ground (0 V) VSS
9	VCOIN	VCO Input
10	DEMOUT	Demodulator Output
11	R1	Resistor R1 Connection
12	R2	Resistor R2 Connection
13	PC2OUT	Phase Comparator 2 Output
14	SIGIN	Signal Input
15	PC3OUT	Phase Comparator 3 Output
16	VCC	Positive Supply Voltage

MC74HC4046A



N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 648-08



D SUFFIX
SOIC PACKAGE
CASE 751B-05

ORDERING INFORMATION

MC74HCXXXAN Plastic
MC74HCXXXAD SOIC

PIN ASSIGNMENT

PCP _{out}	1	16	V _{CC}
PC1 _{out}	2	15	PC3 _{out}
COMP _{in}	3	14	SIG _{in}
VCO _{out}	4	13	PC2 _{out}
INH	5	12	R2
C1A	6	11	R1
C1B	7	10	DEM _{out}
GND	8	9	VCO _{in}



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.

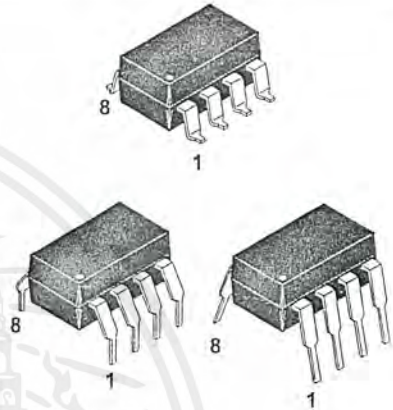
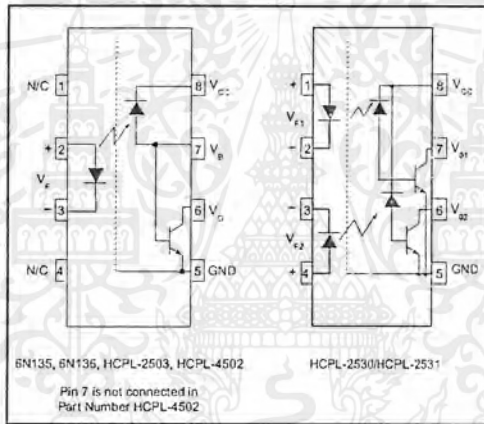
An internal noise shield provides superior common mode rejection of 10kV/ μ s. An improved package allows superior insulation permitting a 480 V working voltage compared to industry standard of 220 V.

FEATURES

- High speed-1 MBit/s
- Superior CMR-10 kV/ μ s
- 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	I _F (avg)	25	mA
Peak Forward Input Current (50% duty cycle, 1 ms P.W.)	I _F (pk)	50	mA
Peak Transient Input Current - ($\leq 1 \mu$ s P.W., 300 pps)	I _F (trans)	1.0	A
Reverse Input Voltage	V _R	5	V
Input Power Dissipation	P _D	100	mW
DETECTOR			
Average Output Current	I _O (avg)	8	mA
Peak Output Current	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 dissipation (6N135, 6N136, HCPL-2503, HCPL-4502) (Note 4)	P _D	100	mW
(HCPL-2530, HCPL-2531) Each Channel		35	mW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM111, LM211, LM311, LM311Y DIFFERENTIAL COMPARATORS WITH STROBES

SLCS007A - SEPTEMBER 1973 - REVISED FEBRUARY 1992

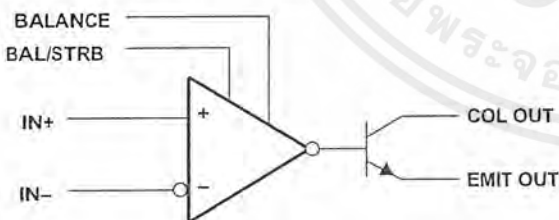
- Fast Response Times
- Strobe Capability
- Maximum Input Bias Current . . . 300 nA
- Maximum Input Offset Current . . . 70 nA
- Can Operate From Single 5-V Supply
- Designed to Be Interchangeable With National Semiconductor LM111, LM211, and LM311

description

The LM111, LM211, and LM311 are single high-speed voltage comparators. These devices are designed to operate from a wide range of power supply voltages, including ± 15 -V supplies for operational amplifiers and 5-V supplies for logic systems. The output levels are compatible with most TTL and MOS circuits. These comparators are capable of driving lamps or relays and switching voltages up to 50 V at 50 mA. All inputs and outputs can be isolated from system ground. The outputs can drive loads referenced to ground, V_{CC+} or V_{CC-} . Offset balancing and strobe capabilities are available, and the outputs can be wire-OR connected. If the strobe is low, the output will be in the off state regardless of the differential input.

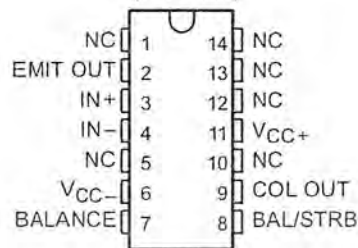
The LM111 is characterized for operation over the full military range of -55°C to 125°C . The LM211 is characterized for operation from -40°C to 85°C , and the LM311 is characterized for operation from 0°C to 70°C .

functional block diagram



LM111 . . . J PACKAGE

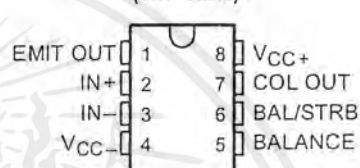
(TOP VIEW)



LM111 . . . JG PACKAGE

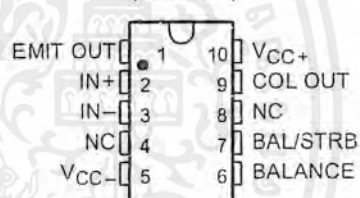
LM211, LM311 . . . D, DB, P, OR PW PACKAGE

(TOP VIEW)



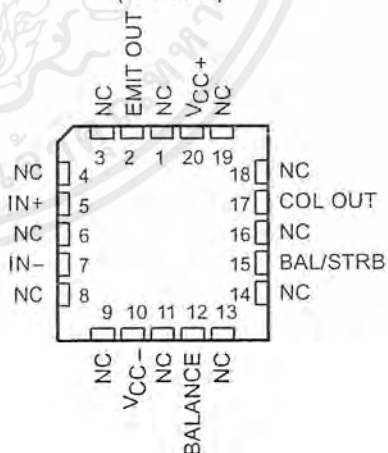
LM111 . . . U PACKAGE

(TOP VIEW)



LM111 . . . FK PACKAGE

(TOP VIEW)



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

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1992, Texas Instruments Incorporated

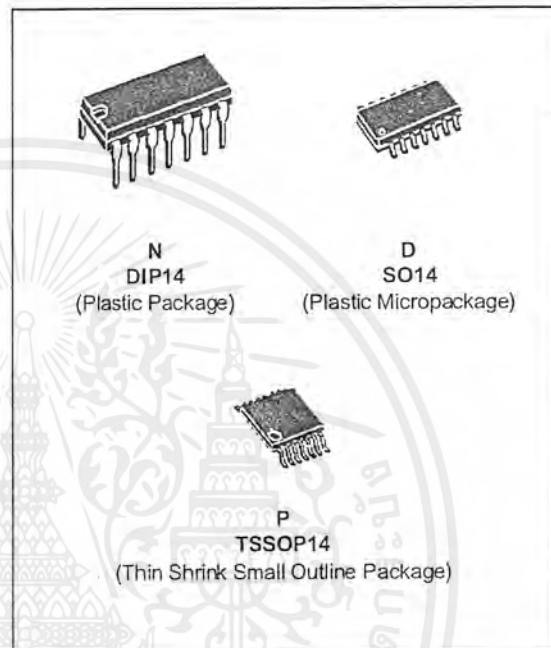
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LM139,A LM239,A-LM339,A

LOW POWER QUAD VOLTAGE COMPARATORS

- WIDE SINGLE SUPPLY VOLTAGE RANGE OR DUAL SUPPLIES FOR ALL DEVICES : +2V TO +36V OR $\pm 1V$ TO $\pm 18V$
- VERY LOW SUPPLY CURRENT (1.1mA) INDEPENDENT OF SUPPLY VOLTAGE (1.4mW/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 four independent precision voltage comparators with an offset voltage specifications as low as 2mV max for LM339A, LM239A and LM139A. All these comparators were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible.

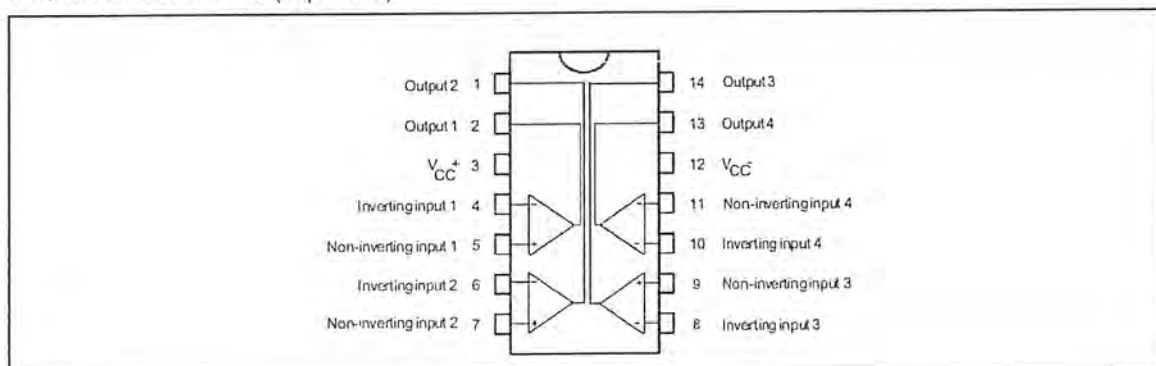
These comparators also have a unique characteristic in that the input common-mode voltage range includes ground even though operated from a single power supply voltage.

ORDER CODES

Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
LM139,A	-55, +125°C	-	-	-
LM239,A	-40, +105°C	-	-	-
LM339,A	0, +70°C	-	-	-

Example : LM139AN

PIN CONNECTIONS (top view)



LF351 Wide Bandwidth JFET Input Operational Amplifier

General Description

The LF351 is a low cost high speed JFET input operational amplifier with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET IIITM technology). The device requires a low supply current and yet maintains a large gain bandwidth product and a fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The LF351 is pin compatible with the standard LM741 and uses the same offset voltage adjustment circuitry. This feature allows designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM741 designs.

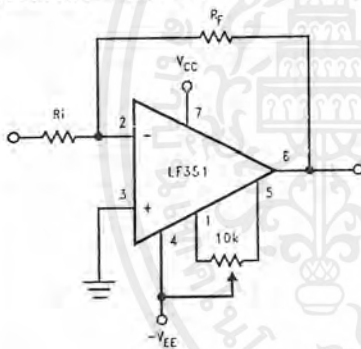
The LF351 may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample-and-hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The device has low noise and offset voltage drift, but for applications where these requirements are critical, the LF356 is recommended. If maximum supply

current is important, however, the LF351 is the better choice.

Features

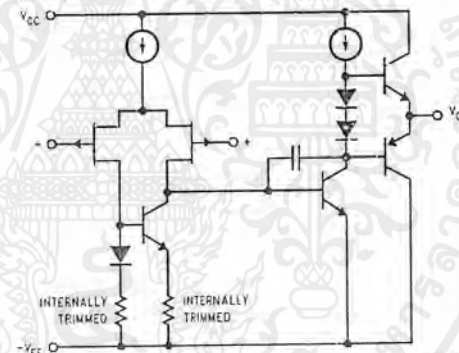
- Internally trimmed offset voltage 10 mV
- Low input bias current 50 pA
- Low input noise voltage 25 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
- Low input noise current 0.01 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
- Wide gain bandwidth 4 MHz
- High slew rate 13 V/ μs
- Low supply current 1.8 mA
- High input impedance $10^{12}\Omega$
- Low total harmonic distortion $A_V = 10$, $R_L = 10k$, $V_O = 20$ Vp-p, BW = 20 Hz–20 kHz < 0.02%
- Low 1/f noise corner 50 Hz
- Fast settling time to 0.01% 2 μs

Typical Connection



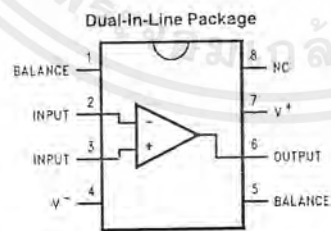
TL/H/5648-11

Simplified Schematic



TL/H/5648-12

Connection Diagrams



TL/H/5648-13

Order Number LF351M or LF351N
See NS Package Number M08A or N08E

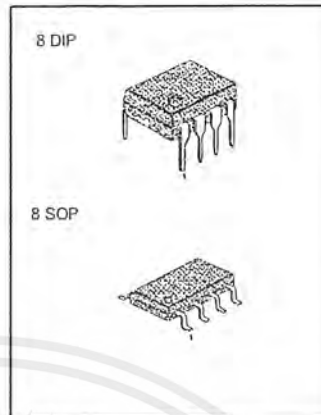
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SINGLE OPERATIONAL AMPLIFIERS

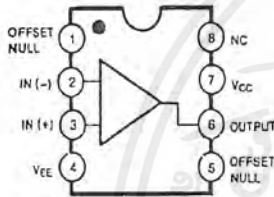
The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. It is intended for a wide range of analog applications. The high gain and wide range of operating voltage provide superior performance in integrator, summing amplifier, and general feedback applications.

FEATURES

- Short circuit protection
- Excellent temperature stability
- Internal frequency compensation
- High Input voltage range
- Null of offset



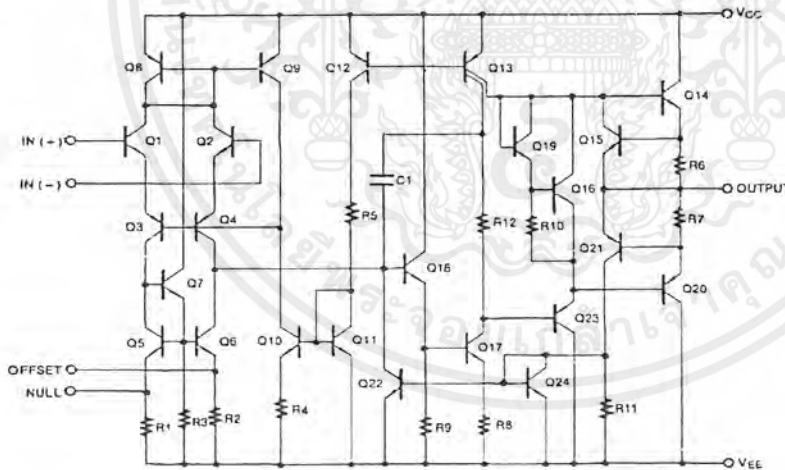
BLOCK DIAGRAM



ORDERING INFORMATION

Device	Package	Operating Temperature
LM741N	8 DIP	0 ~ +70°C
LM741EN	8 DIP	
LM741M	8 SOP	-40 ~ +85°C
LM741EM	8 SOP	

SCHEMATIC DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อท่าน รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒน์ โพธิ์เวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ตลอดจนท่านอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ให้คำปรึกษาแนะนำ ขอขอบคุณที่จักรพงษ์ จารุมิศรีที่ให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ

ขอขอบคุณ บิตามารดาที่คอยให้กำลังใจ นักศึกษาปริญญาตรี และปริญญาโทที่ช่วยเหลือในการบันทึกข้อมูลทดสอบ รวมทั้งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยเหลือด้านเครื่องมือทดสอบที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] MOHAN UNDELAND, "Power Electronics", New York ,John Wiley & Son ,Inc. 2nd Edition 1995
- [2] " คู่มือดูขาไอซี " บริษัทยุเคชั่น จำกัด พิมพ์ครั้งที่ 3 พ.ศ.2531
- [3] หนังสือวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง ของ ดร.สำรวย สังข์สะอาด
- [4] หนังสืออิเล็กทรอนิกส์กำลัง พิมพ์ที่:ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ.พี.รีนติ้ง
- [5] " ระบบไฟฟ้ากำลังเล่ม 2 " รศ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล "คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง ,2536
- [6] " วิทยานิพนธ์คอนเวอร์เตอร์ 12 พัลส์ ประยุกต์ใช้ในระบบส่งถ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง " นายจักรพงษ์ จารุมิศรี ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้