

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า

VOLTAGE STABILIZER



นายปฏิพจน์ บัวแก้ว  
นายณัฐวุฒิ พลชะติน  
นายณัฐวุฒิ โสพลพันธ์  
นาย ไตรรงค์ แก้วประสิทธิ์  
นายสุพจน์ แซ่ลิ่ม

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **61722**  
วัน,เดือน,ปี **21 ก.ค. 2549**

b.....  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า  
VOLTAGE STABILIZER

โดย

นายปฏิพจน์ บัวแก้ว  
นายณัฐวุฒิ พลชะติบ  
นายณัฐวุฒิ โสพลพันธุ์  
นายไตรรงค์ แก้วประสิทธิ์  
นายสุพจน์ แซ่ลิ่ม

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วีระยะ พิเศษจำเริญ  
ดร. สมภาพ ผลไม้

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2547

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

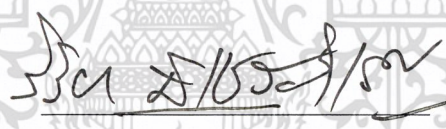
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า

VOLTAGE STABILIZER

ผู้จัดทำ

- |                              |              |          |
|------------------------------|--------------|----------|
| 1. นาย ปฏิพจน์ บัวแก้ว       | รหัสประจำตัว | 45015108 |
| 2. นาย ณัฐวุฒิ พลชะติน       | รหัสประจำตัว | 45015145 |
| 3. นาย ณัฐวุฒิ โสพลพันธุ์    | รหัสประจำตัว | 45015146 |
| 4. นาย ไตรรงค์ แก้วประสิทธิ์ | รหัสประจำตัว | 45015147 |
| 5. นาย สุพจน์ แซ่ลิ้ม        | รหัสประจำตัว | 45015174 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. สมภพ ผลไม้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า

1. นาย ปฏิพจน์ บัวแก้ว	รหัส	45015108
2. นาย ณัฐวุฒิ พลชะติน	รหัส	45015145
3. นาย ณัฐวุฒิ โสพลพันธุ์	รหัส	45015146
4. นาย ไตรรงค์ แก้วประสิทธิ์	รหัส	45015147
5. นาย สุพจน์ แซ่ลิ่ม	รหัส	45015174

รศ.ดร.วิริยะ พิเชฐจำเริญ อาจารย์ที่ปรึกษา  
ดร.สมภพ ผลไม้ ปีการศึกษา 2547

### บทคัดย่อ

โครงการชิ้นนี้เป็นการนำเสนอเครื่องต้นแบบของเครื่องรักษาระดับแรงดัน ซึ่งสามารถดับชั่วคราว ชดเชยแรงดันในกรณีที่แรงดันตกและหักล้างแรงดันในกรณีที่แรงดันเกินโดยอัตโนมัติ โดยใช้ความรู้ในด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังร่วมกับวงจรเอช-ช็อปเปอร์ ( AC Chopper ) และหลักการของหม้อแปลงชดเชยแรงดัน ซึ่งมีการป้องกันจากวงจรตรวจจับแรงดันที่โหลด โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งหมด เพื่อนำไปใช้ในการรักษาระดับแรงดันของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการให้ระดับแรงดันคงที่

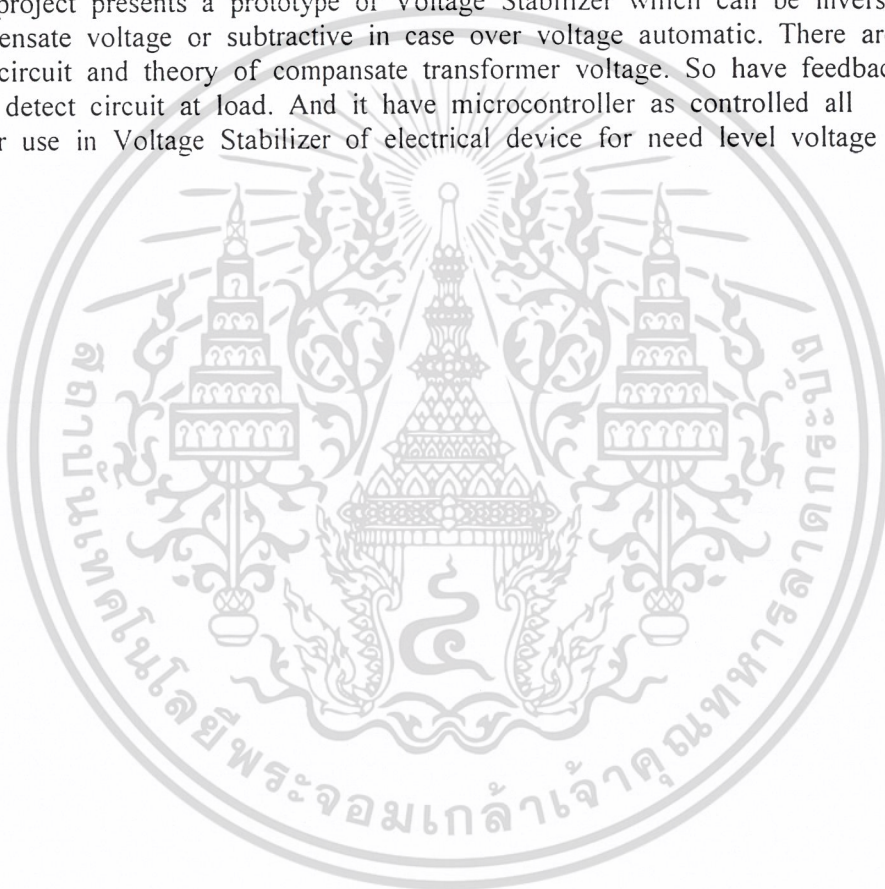
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# VOLTAGE STABILIZER

Patipot	Buakaew	
Nuttawut	Polchatin	
Nuttawut	Sopolpun	
Trirong	Kaewprasit	
Supot	Saelim	
Assc.Prof.Dr.Viriya	Pichetchumroen	Advisor
Dr.Sompob	Ponlamai	Advisor
Year 2547		

## ABSTRACT

This project presents a prototype of Voltage Stabilizer which can be inverse pole in compensate voltage or subtractive in case over voltage automatic. There are AC chopper circuit and theory of compensate transformer voltage. So have feedback from voltage detect circuit at load. And it have microcontroller as controlled all operation. For use in Voltage Stabilizer of electrical device for need level voltage constant.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตโครงการ	1
1.4 หลักการทำงานของโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์	3
2.1.1 หน่วยประมวลผลกลาง	4
2.1.2 หน่วยความจำ	4
2.1.2.1 หน่วยความจำโปรแกรม	5
2.1.2.2 หน่วยความจำข้อมูลแรม	6
2.1.2.3 หน่วยความจำข้อมูลอีพีรอม	6
2.1.3 รีจิสเตอร์ (Register)	6
2.1.4 รีจิสเตอร์คั่วนับโปรแกรมหรือโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC)	7
2.1.5 สเต็ทในไมโครคอนโทรลเลอร์	7
2.1.6 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์	9
2.1.7 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	10
2.1.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16f877)	11
2.2 วงจรซีออปเปอร์เรสเสสลับ (AC Chopper)	13
2.2.1 โหมดแอคทีฟ (Active Mode)	14
2.2.2 โหมดฟรีวีลลิ่ง ( Freewheeling Mode )	15
2.2.3 โหมดเดดไทม์ ( Dead time Mode )	16
2.3 ทฤษฎีมอสเฟตพื้นฐาน	18
2.3.1 มอสเฟตกำลัง (Power MOSFET)	18
2.3.2 ลักษณะสมบัติที่ Stead State ของมอสเฟต	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3	ลักษณะสมบัติการสวิตซ์ซิ่ง	22
2.3.4	พารามิเตอร์ในการทำงานของมอสเฟต	24
2.3.4.1	ลักษณะสมบัติเชิงเส้น ( Linear Characteristic )	24
2.3.4.2	ความต้านทานขณะทำงาน ( On-stage resistance, $R_{DS}$ )	27
2.4	การออกแบบฟีดแบ็คกรองผ่านความถี่ต่ำ	30
2.5	การมอดูเลตความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Modulation ; PWM)	35
บทที่ 3	หลักการการทำงานและการออกแบบ	
3.1	บทนำ	37
3.2	ส่วนวงจรสวิตซ์กำลัง	38
3.2.1	การทำงานของชุดเสริมหรือหักล้างแรงดัน	38
3.2.1.1	Active Mode	39
3.2.1.2	Freewheeling Mode	40
3.2.1.3	Bypass Mode	41
3.2.2	การทำงานของชุดกลับขั้ว	43
3.2.2.1	การทำงานสภาวะเสริมแรงดัน	43
3.2.2.2	การทำงานสภาวะหักล้างแรงดัน	44
3.3	ส่วนวงจรควบคุม	45
3.3.1	การสร้างสัญญาณที่เปลี่ยนความถี่ 20 HKz ที่สามารถปรับ Duty cycle ได้	45
3.3.2	วงจรถัดค่าเวลาตายของสัญญาณ ( Dead time )	46
3.3.3	วงจรถัดสัญญาณที่เปลี่ยนที่มีความถี่ 50 เฮิรท์ และมีเฟสตรงกับแหล่งจ่าย	48
3.3.4	วงจรมผสมสัญญาณความถี่ 20 กิโลเฮิรท์ กับ ความถี่ 50 เฮิรท์	49
3.3.5	วงจรถูกคุมการทำงานสวิตซ์	50
3.3.5.1	วงจรถูกคุมการสลับขั้วเสริมหรือหักล้างแรงดัน	50
3.3.5.2	วงจรถูกคุมการทำงานชุดเปลี่ยนแปลงแรงดัน	50
3.3.6	หม้อแปลงชดเชยแรงดัน ( Transformer compensate )	50
บทที่ 4	ผลการทดลอง	53
4.1	การทดลองวงจรถัดสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ 20 KHz	53
4.2	การทดลองวงจร Zero Crossing	54
4.3	การทดลองวงจร Dead Time	55
4.4	การทดลองวงจรรวมสัญญาณ	56
4.5	การทดลองวงจร Drive & Isolate	57
4.6	การทดลองวงจรชดเชยแรงดัน	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปลงและวิจารณ์โครงการ	73
5.1 สรุปลงโครงการ	73
5.2 วิจารณ์โครงการ	73
5.3 แนวทางการพัฒนา	73
เอกสารอ้างอิง	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจร	2
รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบหลักเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ 4	3
รูปที่ 2.2 แสดงกลไกการทำงานของสแต็กอย่างง่าย	8
รูปที่ 2.3 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบพริ้นต์ตันหรือฟอน นิวแมน	9
รูปที่ 2.4 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์วาร์ด	5
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการจับขาของ PIC16F877	11
รูปที่ 2-6 แสดง Block Diagram วงจรควบคุมและวงจรกำลัง	13
รูปที่ 2-7 แสดงการทำงานของมอสเฟตเมื่อ $V_s > 0$ , $I_L > 0$	14
รูปที่ 2-8 แสดงการทำงานของมอสเฟตเมื่อ $V_s < 0$ , $I_L < 0$	14
รูปที่ 2-9 แสดงการทำงานของมอสเฟตเมื่อ $I_L > 0$	15
รูปที่ 2-10 แสดงการทำงานของมอสเฟตเมื่อ $I_L < 0$	15
รูปที่ 2-11 แสดงการทำงานของมอสเฟตเมื่อ $V_s > 0$ , $I_L > 0$	16
รูปที่ 2-12 แสดงการทำงานของมอสเฟตเมื่อ $V_s > 0$ , $I_L < 0$	16
รูปที่ 2-13 แสดงการทำงานของมอสเฟตเมื่อ $V_s < 0$ , $I_L > 0$	17
รูปที่ 2-14 แสดงการทำงานของมอสเฟตเมื่อ $V_s < 0$ , $I_L < 0$	17
รูปที่ 2-15 มอสเฟตกำลัง	18
รูปที่ 2-16 a) N-channel depletion - type MOSFETs b) P-channel depletion - type MOSFETs	19
รูปที่ 2-17 a) N-channel depletion - type MOSFETs b) P-channel depletion - type MOSFETs	20
รูปที่ 2-18 ลักษณะสมบัติไอออนย้ายของมอสเฟตแบบ N-channel และ P-channel	21
รูปที่ 2-19 ลักษณะสมบัติทางเอาท์พุทของ Enhancement - type MOSFET	21
รูปที่ 2-20 โมเดลการสวิตช์ซึ่งที่ steady state ของมอสเฟต	22
รูปที่ 2-21 โมเดลแฝงของ Enhancement - type MOSFET	22
รูปที่ 2-22 โมเดลสวิตช์ซึ่งของมอสเฟต	23
รูปที่ 2-23 รูปสัญญาณในการสวิตช์ซึ่งของมอสเฟต	23
รูปที่ 2-24 ลักษณะสมบัติทางเอาท์พุท	24
รูปที่ 2-25 ลักษณะสมบัติไอออนย้าย	24
รูปที่ 2-26 ค่าทรานส์คอนดักแตนซ์เทียบกับกระแสเดรน	25
รูปที่ 2-27 ลักษณะสมบัติอิมพัลส์	25
รูปที่ 2-28 ค่าความต้านทานขณะทำงานเทียบกับอุณหภูมิรอยต่อ	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2-29	ค่าความต้านทานขณะทำงานเทียบกับกระแสครน	26
รูปที่ 2-30	ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียเทียบกับอุณหภูมิที่ตัวถัง	27
รูปที่ 2-31	พื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยสูงสุด	27
รูปที่ 2-32	ค่าความจุไฟฟ้าเทียบกับแรงดัน $V_{DS}$	28
รูปที่ 2-33	ค่าความจุไฟฟ้าเกทเทียบกับแรงดัน	29
รูปที่ 2-34	รูปวงจรมูลของวงจรถออปเปอร์	31
รูปที่ 2-35	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคิวรีเร โซกับค่า $TH_1$ และ $TH_2$	33
รูปที่ 2-36	วิธีการมอดูเลตความกว้างของพัลส์แบบความถี่คงที่	35
รูปที่ 2-37	(ก) $t_{on}$ คงที่ แปรเปลี่ยน $t_{off}$	35
	(ข) $t_{off}$ คงที่ แปรเปลี่ยน $t_{on}$	36
	(ค) แปรเปลี่ยนทั้ง $t_{on}$ และ $t_{off}$	36
รูปที่ 3-1	บล็อกการทำงานของวงจรถออปเปอร์	37
รูปที่ 3-2	วงจรถออปเปอร์กำลังแบบสวิทช์สองทางและสัญญาณขับเกท	38
รูปที่ 3-3	การทำงานของมอสเฟตเมื่อ $V_s$ เป็นบวกและ $I_L > 0$	39
รูปที่ 3-4	การทำงานของมอสเฟตเมื่อ $V_s$ เป็นบวกและ $I_L < 0$	39
รูปที่ 3-5	การทำงานของมอสเฟตเมื่อ $I_L > 0$	40
รูปที่ 3-6	การทำงานของมอสเฟตเมื่อ $I_L < 0$	40
รูปที่ 3-7	การทำงานของมอสเฟตเมื่อ $V_s$ เป็นบวกและ $I_L$ เป็นบวก	41
รูปที่ 3-8	การทำงานของมอสเฟตเมื่อ $V_s$ เป็นบวกและ $I_L$ เป็นลบ	42
รูปที่ 3-9	การทำงานของมอสเฟตเมื่อ $V_s$ เป็นลบและ $I_L$ เป็นบวก	42
รูปที่ 3-10	การทำงานของมอสเฟตเมื่อ $V_s$ เป็นลบและ $I_L$ เป็นลบ	43
รูปที่ 3-11	ชุดวงจรถออปเปอร์กำลังกลับขั้วเสริมและหักล้างแรงดัน	43
รูปที่ 3-12	การทำงานของวงจรถออปเปอร์กำลังเพื่อเสริมแรงดัน	44
รูปที่ 3-13	การทำงานของวงจรถออปเปอร์กำลังเพื่อหักล้างแรงดัน	44
รูปที่ 3-14	วงจรถออปเปอร์	45
รูปที่ 3-15	แสดงลักษณะการจัดขาของ PIC16F877	45
รูปที่ 3-16	สัญญาณเอาต์พุตจากไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC16F877) สามารถปรับ Duty cycle ได้	46
รูปที่ 3-17	การลัดวงจรเมื่อ G1 กับ G3 ทำงานพร้อมกันโดยไม่มีเวลาตาย	46
รูปที่ 3-18	การลัดวงจรเมื่อ G2 กับ G4 ทำงานพร้อมกันโดยไม่มีเวลาตาย	47
รูปที่ 3-19	การลัดวงจรกำหนดเวลาตายของสัญญาณ	47
รูปที่ 3-20	สัญญาณอินพุตของวงจรถออปเปอร์กำหนดเวลาตายของสัญญาณ	48
รูปที่ 3-21	การลัดวงจรสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 50 เฮิรตซ์ และมีเฟสตรงกับแหล่งจ่าย	48

รูปที่ 3-22	เอาต์พุตจากวงจรสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 50 Hz และมีเฟสตรงกับแหล่งจ่าย ซึ่งสัญญาณนี้จะนำไปรวมกับสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 20 kHz ต่อไป	49
รูปที่ 3-23	เอาต์พุตที่ได้จากวงจรรวมสัญญาณความถี่ 20 kHz กับ ความถี่ 50 Hz	49
รูปที่ 3-24	วงจรควบคุมการทำงานชุดเปลี่ยนแปลงแรงดัน	50
รูปที่ 3-25	รูปแสดงการกำหนดเฟสของหม้อแปลงเมื่อกระแสไหลเข้าค็ือท	51
รูปที่ 3-26	รูปแสดงการกำหนดเฟสของหม้อแปลงเมื่อกระแสไหลออกจากค็ือท	51
รูปที่ 3-27	การต่อหม้อแปลงชดเชยร่วมในวงจร	51
รูปที่ 3-28	ทิศทางของเวกเตอร์เมื่อมีการจ่ายแรงดันเสริม	52
รูปที่ 3-29	ทิศทางของเวกเตอร์เมื่อมีการจ่ายแรงดันหักล้าง	52
รูป 4.1	แสดงสัญญาณ PWM ความถี่ 20 KHz มีค่าดิวิตีไซเคิลเท่ากับ 64.7 %	53
รูป 4.2	แสดงสัญญาณ PWM ความถี่ 20 KHz มีค่าดิวิตีไซเคิลสูงสุด เท่ากับ 98 %	54
รูป 4.3	แสดงสัญญาณอินพุตของชุด zero crossing	54
รูปที่ 4-4	สัญญาณจากชุด zero crossing	55
รูปที่ 4-5	สัญญาณจากชุด Dead time	55
รูป 4-6	แสดงการรวมสัญญาณของสัญญาณสี่เหลี่ยม 50 Hz และสัญญาณ PWM 20KHz เพื่อใช้ขับเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 1 และ 3	56
รูป 4-7	แสดงการรวมสัญญาณของสัญญาณสี่เหลี่ยม 50 Hz และสัญญาณ PWM 20KHz เพื่อใช้ขับเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 2 และ 4	56
รูป 4-8	แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณขับเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 1 และ 2	57
รูป 4-9	แสดงสัญญาณขับเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 1 และ 3	57
รูป 4-10	แสดงสัญญาณขับเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 2 และ 4	58
รูป 4-11	แสดงสัญญาณขับเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 1 และ 2	58
รูป 4-12	แสดงสัญญาณขับเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 3 และ 4	59
รูป 4-13	แสดงสัญญาณไซน์ที่ออกจากชุดเอชซี - ซ็อบเปอร์ เทียบกับค่าดิวิตีไซเคิล	59
รูป 4-14	แสดงสัญญาณไซน์ที่ออกจากชุดเอชซี - ซ็อบเปอร์ เทียบกับค่าดิวิตีไซเคิลสูงสุด	60
รูป 4-15	แสดงสัญญาณที่ยังไม่ผ่านชุด LC – Filter	60
รูป 4-16	แสดงสัญญาณที่ผ่านชุด LC – Filter แล้ว	61
รูป 4-17	แสดงสัญญาณที่ผ่านชุด LC – Filter แล้ว เทียบกับ ตอนยังไม่ผ่านชุด LC – Filter	61
รูป 4-18	แสดงการขยายสัญญาณที่ยังไม่ผ่านชุด LC – Filter	62
รูป 4-19	แสดงสัญญาณช่วงบวกของสัญญาณที่ยังไม่ผ่านชุด LC – Filter	62
รูปที่ 4-20	สัญญาณระหว่างขาเดรน และขาซอร์สของเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 1 ( M1 )	63
รูปที่ 4-21	สัญญาณระหว่างขาเดรน และขาซอร์สของเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 2 ( M2 )	63
รูปที่ 4-22	สัญญาณระหว่างขาเดรน และขาซอร์สของเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 3 ( M3 )	64
รูปที่ 4-23	สัญญาณระหว่างขาเดรน และขาซอร์สของเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 4 ( M4 )	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4-24 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุท 140.3 V , $V_{LOAD} = 219.9V$	65
รูปที่ 4-25 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุท 161.0 V , $V_{LOAD} = 219.8V$	66
รูปที่ 4-26 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุท 180.2 V , $V_{LOAD} = 219.7$	66
รูปที่ 4-27 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุท 201.2 V , $V_{LOAD} = 220.0 V$	67
รูปที่ 4-28 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุท 219.6 V , $V_{LOAD} = 219.8 V$	67
รูปที่ 4-29 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุท 140.5 V , $V_{LOAD} = 219.8V$	68
รูปที่ 4-30 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุท 140.3 V , $V_{LOAD} = 219.4V$	68
รูปที่ 4-31 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุท 140.8 V , $V_{LOAD} = 220.0V$	69
รูปที่ 4-32 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุท 140.6 V , $V_{LOAD} = 220.0 V$	69
รูปที่ 4-33 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุท 140.6 V , $V_{LOAD} = 220.2V$	70
รูปที่ 4-34 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุท 220.0 V , $V_{LOAD} = 219.6V$	70
รูปที่ 4-35 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุท 220.7 V , $V_{LOAD} = 220.0V$	71
รูปที่ 4-36 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุท 220.5 V , $V_{LOAD} = 219.7 V$	71
รูปที่ 4-37 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุท 221.6 V , $V_{LOAD} = 220.7V$	72
รูปที่ 4-38 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุท 221.3 V , $V_{LOAD} = 220.6V$	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ในปัจจุบันนี้มีโหลดทางไฟฟ้าหลายชนิดที่ต้องการระดับแรงดันใช้งานลงที่เพื่อความแม่นยำในการทำงาน เช่น คอมพิวเตอร์ ระบบสื่อสาร หรือระบบควบคุม เป็นต้น ซึ่งการผิดปกติในระบบไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เช่น สภาวะไฟตก หรือไฟเกิน จะส่งผลโดยตรงต่อโหลดประเภทนี้ โดยจะส่งผลให้การทำงานของระบบผิดพลาด หรืออาจรุนแรงกว่านั้นถึงขั้นระบบเสียหาย ไม่สามารถทำงานได้

ในปัจจุบันความก้าวหน้าทางด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังก้าวหน้ามาก จากโครงการของรุ่นพี่ที่ผ่านมาได้พัฒนาโดยใช้คุณสมบัติของอุปกรณ์สวิตช์ร่วมกับการควบคุมแบบอนาล็อก ซึ่งการชดเชยหรือหักล้างแรงดันยังทำได้น้อยและสามารถจ่ายโหลดได้ไม่สูงนัก ในโครงการนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์ร่วมกับหลักการของวงจรถอเอช-ช็อปเปอร์ ( AC Chopper ) และหลักการของหม้อแปลงชดเชยแรงดัน ซึ่งจะสามารถควบคุมระดับแรงดันได้ละเอียดกว่า สามารถเพิ่มแรงดันชดเชยหรือหักล้างและสามารถจ่ายโหลดได้มากกว่าการควบคุมแบบอนาล็อก ด้วยเหตุผลที่การรักษาระดับแรงดันมีความสำคัญพวกผมจึงทำการพัฒนาเครื่องรักษาระดับแรงดันต่อจากโครงการปีที่แล้วให้สามารถทำงานจากระบบอนาล็อกไปเป็นระบบดิจิทัล โดยตรวจสอบแรงดันทางด้านขาออกแล้วป้อนกลับมาให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมขนาดของแรงดันเพื่อไปเสริมหรือหักล้างแรงดันที่โหลดให้คงที่

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.ศึกษาหลักการทำงานของวงจร AC Chopper
- 2.ศึกษาและทดลองการเขียนโปรแกรมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- 3.ประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมอุปกรณ์สวิตช์
- 4.พัฒนาอุปกรณ์รักษาระดับแรงดันให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

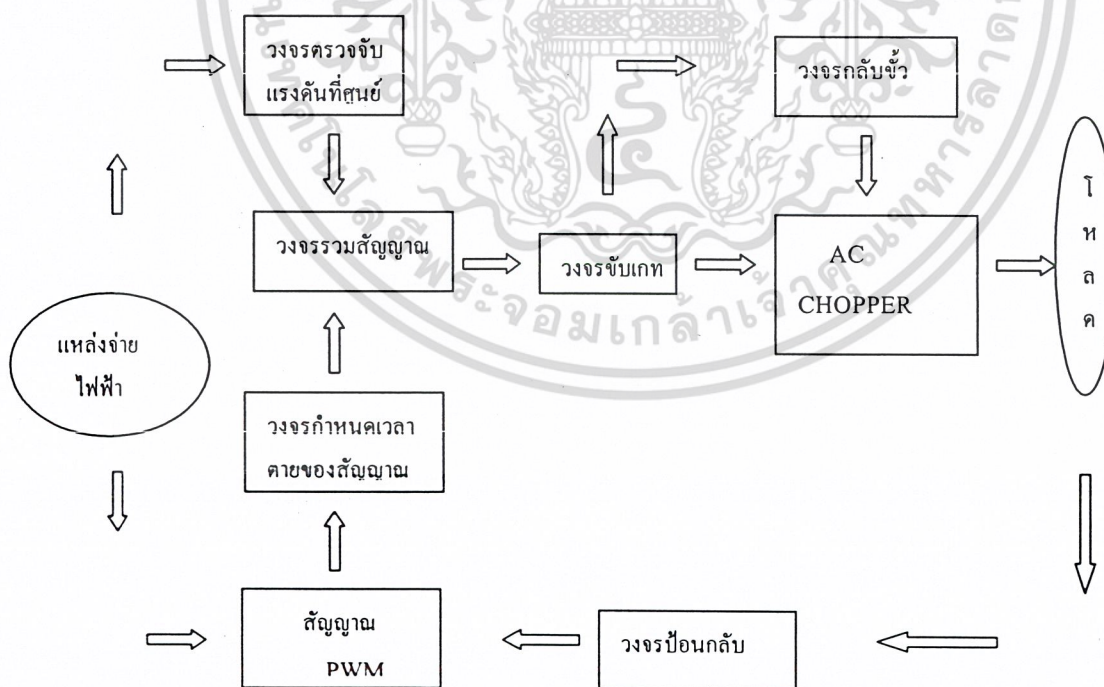
เนื่องจากเป็นโครงการที่นำมาพัฒนาต่อจากโครงการปีที่แล้ว โดยการพัฒนาชุดสร้างสัญญาณ PWM ( Pulse Width Modulation ) ที่สามารถปรับ Duty cycle ได้โดยอัตโนมัติโดยอาศัยการป้อนกลับ (Feedback) จากโหลด เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่อ้างอิงไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบจะมีความ

ละเอียดกว่าโครงการเดิมและในส่วนของชุดกลับขั้วก็ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์โดยมีชุดตรวจจับแรงดันเกินและแรงดันตกที่โหลดโดยค่าที่ได้นี้จะนำไปทำการเปรียบเทียบกับค่าที่อ้างอิงไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้การรักษาระดับแรงดันมีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถที่จะชดเชยหรือหักล้างแรงดันได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4. หลักการทำงานของโครงการ

ในโครงการนี้ได้ใช้หลักการของ AC Chopper ร่วมกับการชดเชยแรงดันด้วยหม้อแปลงที่มีวงจรควบคุมทำ หน้าที่สร้างสัญญาณขับเกทในรูปของ PWM ( Pulse Width Modulation ) ความถี่ 20 kHz ที่สามารถปรับ Duty cycle ได้แล้วทำการนำสัญญาณนี้ไปทำเป็นสัญญาณ 2 สัญญาณที่มีเฟสตรงข้ามกันและมีช่วงเวลาตายของสัญญาณ(Dead time) ซึ่งกันและกันก่อน สัญญาณที่ได้นี้จะไปรวมกับสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 50 Hz ที่มีเฟสตรงกันกับแหล่งจ่ายจากการไฟฟ้าเพื่อให้ได้สัญญาณออกมาและนำสัญญาณนี้ไปเข้าวงจรขับเกท ซึ่งสัญญาณขับเกทนี้จะไปสั่งงานให้วงจรสวิตช์กำลังที่ใช้หม้อแปลงกำลังเป็นอุปกรณ์สวิตช์ และมีการต่อวงจรสวิตช์แบบสวิตช์สองทางซึ่งจะทำให้กระแสไหลผ่านได้ทั้งสองบวกและลบ จากนั้นแรงดันที่ผ่านวงจร AC Chopper และผ่านวงจรกรองความถี่สูงออกไป ( Low-pass Filter ) และให้ผ่านแต่ความถี่ต่ำ ( ที่ 50 Hz ) ซึ่งแรงดันนี้จะนำไปจ่ายให้กับขดปฐมภูมิของหม้อแปลงชดเชยแรงดันซึ่งเป็นแบบหม้อแปลงลดระดับแรงดัน ( Step Down ) โดยที่ด้านทุติยภูมิต่ออนุกรมอยู่กับแหล่งจ่ายและโหลดทางไฟฟ้า แรงดันที่จะไปจ่ายให้เสริมหรือหักล้างแรงดันจะถูกวงจรกลับขั้วกลับทิศทางการไหลของกระแสทีไปเข้าขั้ว Dot กับ Bank ของหม้อแปลงชดเชยแรงดันซึ่งจะถูกควบคุมแบบบอดี้ได้จากวงจรคอนโทรล ดังนั้นการควบคุมแรงดันที่โหลดจึงสามารถทำได้โดยการให้หม้อแปลงชดเชยแรงดันจ่ายแรงเสริมหรือหักล้างแรงดันกับแหล่งจ่าย เพื่อรักษาระดับแรงดันที่จ่ายให้กับ โหลดคงที่ โดยการควบคุมแรงดันที่นำไปชดเชยจะขึ้นอยู่กับสัญญาณควบคุมป้อนกลับที่นำมาจากชุดตรวจจิบระดับแรงดันที่วัดได้จากแรงดันของโหลด และทำให้ทราบว่าแรงดันตกหรือแรงดันเกินและจะสั่งงานให้หม้อแปลงชดเชยแรงดันจนแรงดันที่โหลดมีค่าคงที่



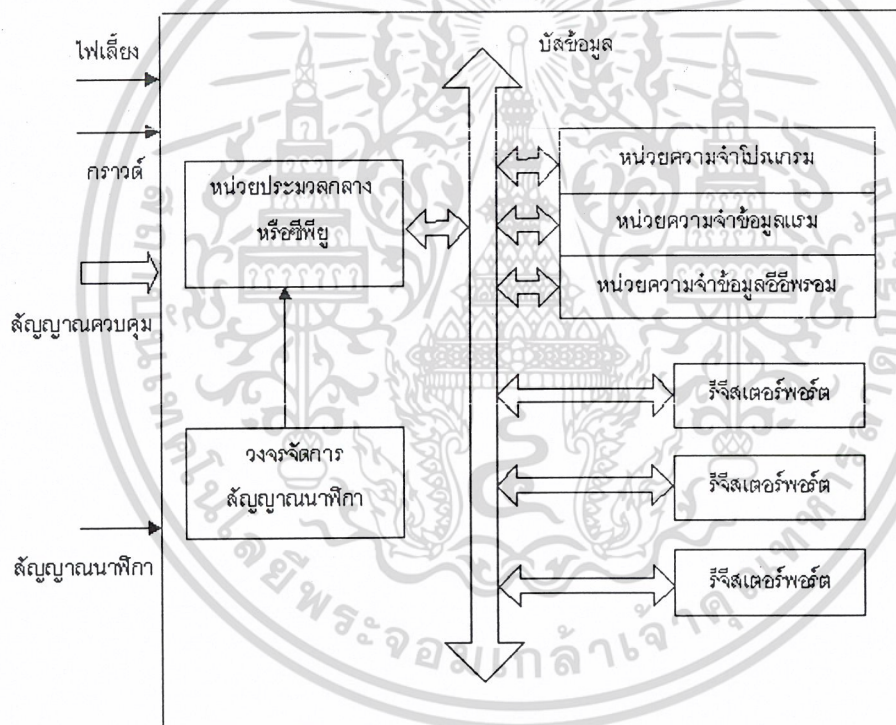
รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) หมายถึงอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก แต่ในตัวอุปกรณ์ขนาดเล็กนี้ได้บรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ ที่คนโดยส่วนใหญ่คุ้นเคย กล่าวคือ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เอาไว้ด้วยกัน โดยบรรจุรวมกันอยู่ภายใต้ตัวถังเดียวกัน ในรูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบหลักที่สำคัญและกลไกการทำงานเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบหลักเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์

ซีพียูจะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรม เพื่ออ่านคำสั่งที่ระบุไว้ โดยต้องทำการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำผ่านสายสัญญาณที่เรียกว่า บัสแอดเดรส (address bus) แล้วทำการอ่านข้อมูลคำสั่งออกมาจากหน่วยความจำโปรแกรมในแอดเดรสนั้น ๆ จากนั้นทำการประมวลผล โดยมีหน่วยความจำข้อมูลแรมเป็นที่พักของข้อมูลที่อยู่ในระหว่างการประมวลผล หรืออาจมองว่าหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรมเป็นเสมือนกระดาดทอดในการคำนวณก็ได้ ข้อมูลในการประมวลผลจะส่งผ่านสายสัญญาณที่เรียกว่า บัสข้อมูล (data bus) แล้วส่งต่อไปยังอุปกรณ์ภายนอกผ่านทางขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต

### 2.1.1 หน่วยประมวลผลกลาง

เป็นเสมือนมันสมองของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยซีพียูนี้ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลที่เข้ามาในระบบ แล้วทำการส่งต่อไปยังส่วนต่าง ๆ เพื่อควบคุมการทำงานต่อไปหัวใจหลักของซีพียูคือหน่วยคำนวณคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU : Arithmetic and logic unit) ซึ่งได้รับการกำหนดจังหวะการทำงานจากส่วนควบคุมลำดับการทำงาน โดยจังหวะการทำงานนั้นจะสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา เมื่อซีพียูทำการติดต่อกับหน่วยความจำ สิ่งที่ปรากฏขึ้นบนบัสข้อมูลภายในซีพียูคือ รหัสคำสั่ง (instruction code) ต้องผ่านการทำงานของส่วนถอดรหัสคำสั่ง (instruction decoder) เสียก่อน จะได้เป็นข้อมูลคำสั่งที่ซีพียูเข้าใจและสามารถดำเนินการต่อได้ หลังจากที่หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิกประมวลผลแล้วก็จะส่งข้อมูลมายังส่วนเชื่อมต่อรีจิสเตอร์ภายในซีพียูเพื่อติดต่อกับส่วนอื่น ๆ ต่อไป

การทำงานของซีพียูมีด้วยกัน 2 จังหวะคือ เฟตช์ (fetch) และเอ็กซีคิวต์ (executed) โดยการทำงานจะเริ่มจากการเฟตช์ ซึ่งก็คือการเรียกหรือการเข้าถึงคำสั่ง แล้วทำการถอดรหัสเป็นภาษาเครื่องเพื่อเตรียมประมวลผล จากนั้นจะเป็นจังหวะของการเอ็กซีคิวต์ ซึ่งก็คือการกระทำตามคำสั่งที่กำหนดให้จนเสร็จสิ้น

การที่จะระบุว่าไมโครคอนโทรลเลอร์มีขีดความสามารถในการประมวลผลเป็นอย่างไรจะพิจารณาที่ความสามารถในการประมวลผลข้อมูลของซีพียู หากซีพียูสามารถประมวลผลข้อมูลได้สูงสุด 8 บิต นั่นคือไมโครคอนโทรลเลอร์นี้เป็นแบบ 8 บิต (8-bit core) แต่ซีพียูในไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่บางตัวมีขนาด 8 บิตแต่สามารถประมวลผลกับข้อมูล 16 บิตได้ ทำให้ในบางครั้งผู้ผลิตจึงระบุออกมาว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนี้ทำงานกับข้อมูล 16 บิต อาจกล่าวได้ว่าเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิตเทียม เพราะถ้าหากเป็นแบบ 16 บิตแท้ ซีพียูต้องรองรับข้อมูลได้เต็ม 16 บิตหรือถ้าอ่านในเอกสารข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนั้น ๆ จะต้องระบุว่าเป็น 16-bit core ดังนั้นจึงต้องพิจารณารายละเอียดตรงส่วนนี้ให้ดี

### 2.1.2 หน่วยความจำ

ในไมโครคอนโทรลเลอร์จะประกอบด้วยหน่วยความจำ 3 แบบคือ หน่วยความจำโปรแกรม(program memory) , หน่วยความจำข้อมูลแรม (RAM data memory) และหน่วยความจำข้อมูลอีพรอม (EEPROM data memory)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2.1 หน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรมเป็นที่สำหรับเก็บข้อมูลคำสั่งของ โปรแกรมควบคุมที่ผู้พัฒนาเขียนขึ้น หรือเรียกว่า โปรแกรมมอนิเตอร์ (monitor program) ซึ่พียูจะเข้ามาติดต่อก็อ่านข้อมูลรหัสคำสั่งจาก หน่วยความจำในส่วนนี้แล้วนำไปประมวลผลเพื่อควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมดต่อไป เรียกได้ว่ามีความสำคัญเท่า ๆ กับซีพียูเลยทีเดียว หน่วยความจำโปรแกรมนี้นักมีขนาดใหญ่ และถ้ายังมีขนาดมากเท่าใด ก็จะสามารถบรรจุโปรแกรมที่มีความซับซ้อนหรือสามารถเก็บตารางข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลได้มากตาม โดยทั่วไปมีความจุไม่น้อยกว่า 512 ไบต์ แต่จะให้ดีควรมีความจุ 1 กิโลไบต์ขึ้นไป จึงจะช่วยให้การเขียนโปรแกรมควบคุมอิสระเพิ่มมากขึ้น ขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมจะแปรตามความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี มีการพัฒนาให้ไมโครคอนโทรลเลอร์มีความจุของหน่วยความจำโปรแกรมสูงขึ้นเรื่อย ๆ เป็น 4 , 8 , 16 , 32 และ 64 กิโลไบต์ และยังไม่สิ้นสุดเท่านี้ เชื่อแน่ว่าต้องมีการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ให้มีความจุของหน่วยความจำโปรแกรมสูงเป็นหลักร้อยกิโลไบต์หรือหลักเมกะไบต์ในที่สุด

ชนิดของหน่วยความจำโปรแกรมที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์(นับถึงปี 2002) มีอยู่ 3 แบบที่นิยมกันคือ แบบอีพรอม (EPROM : Erasable Programmable Read-Only Memory) , แบบอีอีพรอม (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) และแบบแฟลช (flash) ความแตกต่างอยู่ที่จำนวนครั้งในการลบและเขียนข้อมูลทับลงไปใหม่ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

**แบบอีพรอม** ยังแบ่งเป็น 2 แบบคือแบบโปรแกรมได้หลายครั้งและแบบโปรแกรมได้ครั้งเดียวถ้าหากเป็นแบบโปรแกรมได้หลายครั้งบนตัวถังของไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีหน้าต่างกระจกติดอยู่สามารถมองเห็นชิปภายในได้ เวลาลบต้องลบด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต จำนวนรอบในการ โปรแกรมใหม่อยู่ระหว่าง 10-100 ครั้ง แต่ถ้าเป็นแบบ โปรแกรมได้ครั้งเดียวหรือ OTP (One-Time Programmable) จะไม่สามารถลบได้ ตัวถังของมันจะปิดมิดชิดเหมือนกับไอซีธรรมดา

**แบบอีอีพรอม** หน่วยความจำแบบนี้จะลบและเขียนใหม่ได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้า ในอดีตเป็นที่นิยมมากเนื่องจากสามารถลบและเขียนใหม่ได้เป็นหลักร้อยรอบขึ้นไป ในบางตระกูลถึง 1 ล้านครั้ง แต่ในปัจจุบันแบบนี้ไม่เป็นที่นิยมใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วเนื่องจากต้นทุนสูง

**แบบแฟลช** หน่วยความจำโปรแกรมชนิดนี้สามารถลบและเขียนได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้า แตกต่างกับแบบอีอีพรอมในเชิงการใช้งานตรงที่กระบวนการลบข้อมูลจะต้องลบทั้งหมด หน่วยความจำโปรแกรมแบบนี้ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากราคาไม่สูง และสามารถโปรแกรมได้เป็นร้อยครั้งขึ้นไป แต่โดยปกติมักเริ่มที่ 1,000 ครั้งในบางรุ่นสูงเป็นหมื่นครั้งและเป็นแสนครั้งก็มีขึ้นอยู่กับรุ่นที่ใช้ในการโปรแกรม

ขนาดข้อมูลของหน่วยความจำโปรแกรมขึ้นอยู่กับผู้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ ยกตัวอย่างในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 , 68HC05 , 68HC08 , 68HC11 ขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมเป็น 8 บิต ถ้าเป็นตระกูล PIC จะเป็น 12 และ 14 บิต ถ้าเป็นตระกูล AVR , 68HC12 จะเป็นขนาด 16 บิต แต่ขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมไม่ได้เป็นตัวระบุความสามารถในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์ ยกตัวอย่าง PIC กับ AVR ต่างมีขนาดของหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมสูงกว่า 8 บิต แต่ทั้งคู่ต่างเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ทั้งนี้เพราะซีพียูเป็นแบบ 8 บิต ขนาดของหน่วยความจำจะส่งผลต่อการระบุความจุของหน่วยความจำโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นั้น ๆ

### 2.1.2.2 หน่วยความจำข้อมูลแรม

เป็นหน่วยความจำที่ต้องมีในไมโครคอนโทรลเลอร์ทุกตัว เพราะใช้เป็นพื้นที่สำหรับเก็บข้อมูลทั้งในระหว่างและหลังจากการประมวลผล ยิ่งมีมากยิ่งช่วยให้การทำงานสะดวก เพราะหน่วยความจำแรมมีอัตราเร็วในการอ่านเขียนสูงมาก และไม่จำกัดจำนวนรอบในการอ่านเขียน ในพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลแรมจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของข้อมูลทั่วไปสำหรับเก็บค่าตัวแปร และส่วนของรีจิสเตอร์

โดยปกติแล้ว หน่วยความจำข้อมูลแรมจะมีความจุไม่มากเมื่อเทียบกับหน่วยความจำโปรแกรมในบางตัวอยู่ในหลักสิบบิต แต่ถ้าไมโครคอนโทรลเลอร์มีความสามารถสูงขึ้น ความจุของหน่วยความจำข้อมูลแรมจะเพิ่มมากขึ้นตาม ทั้งนี้เพราะต้องเพิ่มในส่วนของรีจิสเตอร์ตามความสามารถที่สูงขึ้นของไมโครคอนโทรลเลอร์

### 2.1.2.3 หน่วยความจำข้อมูลอีพรอม

เป็นหน่วยความจำข้อมูลพิเศษที่ในไมโครคอนโทรลเลอร์บางเบอร์ บางรุ่น บางตระกูลไม่มี ใช้สำหรับเก็บข้อมูลที่ต้องการรักษาไว้เมื่อไม่มีการจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ การติดต่อเพื่ออ่านเขียนจะมีลักษณะเป็นพิเศษขึ้นอยู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ ขนาดของหน่วยความจำแบบนี้มักเท่ากับ 8 บิต ส่วนความจุก็จะแตกต่างกันไป มีตั้งแต่ไม่กี่สิบบิตจนถึงเป็นกิโลบิต

การอ่านเขียนหน่วยความจำแบบนี้จะใช้สัญญาณไฟฟ้าทั้งหมด และสามารถรักษาข้อมูลล่าสุดไว้แม้ว่าจะไม่มีการจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วก็ตาม สำหรับจำนวนรอบในการเขียนโดยปกติอยู่ในหลักล้านครั้งขึ้นไป

### 2.1.3 รีจิสเตอร์ (Register)

เป็นหน่วยความจำข้อมูลพิเศษที่มีบทบาทสูงมากในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถที่จะอ่านและเขียนข้อมูลได้ตลอดเวลา จนกว่าจะหยุดจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ หน้าที่หลักคือ ใช้เก็บข้อมูลในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยข้อมูลที่เก็บนี้มีทั้งข้อมูลแสดงสถานะการทำงาน ข้อมูลสำหรับควบคุมการทำงาน โมดูลย่อยต่าง ๆ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ข้อมูลที่รับเข้ามาจากพอร์ตอินพุต ข้อมูลที่ต้องการส่งออกไปยังอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตเอาต์พุต โดยข้อมูลแต่ละประเภทก็จะถูกจัดเก็บลงในรีจิสเตอร์ที่แตกต่างกันตามหน้าที่การทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำที่นำมาใช้เป็นรีจิสเตอร์มีด้วยกัน 2 ลักษณะขึ้นอยู่กับสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ หากเป็นแบบพรินซ์ตัน (Princeton) รีจิสเตอร์จะมีอยู่ด้วยกัน 2 ส่วน ส่วนแรกจะอยู่ร่วมกับซีพียูหรือเรียกว่า รีจิสเตอร์ซีพียู ส่วนที่สองจะอยู่แยกต่างหาก ซึ่งมักเป็นรีจิสเตอร์ควบคุมพอร์ตอินพุตเอาต์พุตและรีจิสเตอร์แสดงสถานะ แต่ในสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด (Harvard) จะใช้บางส่วนในหน่วยความจำข้อมูลแรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

อย่างไรก็ตาม ข้อมูลในรีจิสเตอร์จะคงอยู่ตราบเท่าที่ยังจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซีพียูสามารถอ่านเขียนรีจิสเตอร์ได้ตลอดเวลาเท่ากับอายุการใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์อาจกล่าวได้ว่า รีจิสเตอร์คือหน่วยความจำข้อมูลที่มีการระบุชื่อชัดเจน มีแอดเดรสและฟังก์ชันการทำงานที่เฉพาะเจาะจงตามที่กำหนดโดยผู้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์

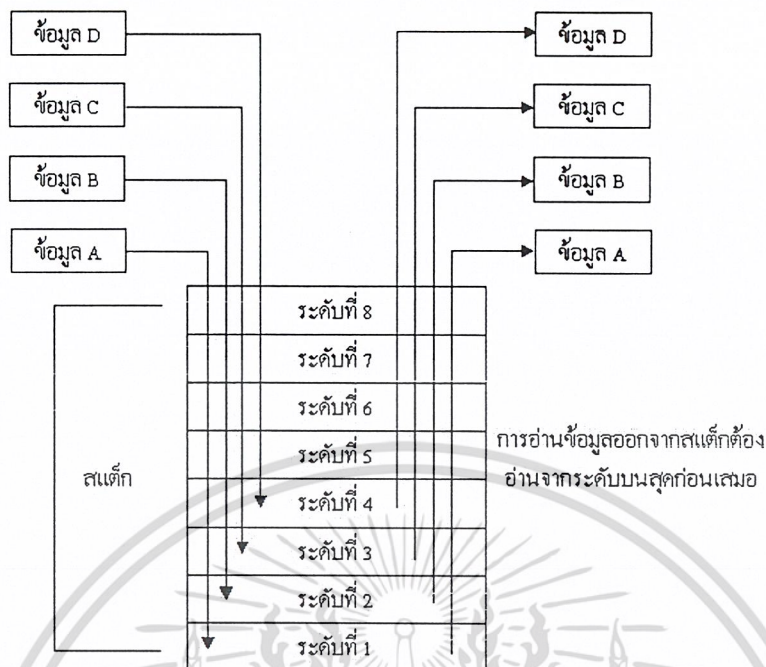
#### 2.1.4 รีจิสเตอร์ตัวนับโปรแกรมหรือโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC)

การที่ซีพียูสามารถติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมเพื่ออ่านข้อมูลคำสั่งได้อย่างถูกต้องเป็นผลมาจากรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษตัวหนึ่งคือ รีจิสเตอร์ตัวนับโปรแกรม หรือ PC (Program Counter) โดย PC จะเป็นตัวชี้ตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมที่ซีพียูจะต้องไปกระทำในลำดับถัดไป โดยปกติแล้วค่าของ PC จะเปลี่ยนแปลงโดยอัตโนมัติขึ้นอยู่กับผลการทำงานที่เกิดขึ้น ในไมโครคอนโทรลเลอร์บางตระกูลสามารถเข้าถึงรีจิสเตอร์ PC เพื่อทำการอ่านเขียนได้ ในบางตระกูลก็ไม่สามารถทำได้

ขนาดของรีจิสเตอร์ PC ขึ้นอยู่กับความจุของหน่วยความจำโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ยกตัวอย่างใน MCS51 สามารถมีหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ หรือ 65,536 ตำแหน่ง ขนาดของรีจิสเตอร์ PC จึงมีได้เท่ากับ 16 บิต ส่วนในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC อนุกรม 14 บิต มีหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 8 กิโลเวิร์ด หรือ 8,192 ตำแหน่ง รีจิสเตอร์ PC จึงมีขนาด 13 บิต

#### 2.1.5 สแต็กในไมโครคอนโทรลเลอร์

สแต็ก(stack) เป็นหน่วยความจำส่วนพิเศษที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทุกตัวต้องมี โดยหน้าที่ของมันคือ เก็บข้อมูลที่ยังต้องการอยู่ของรีจิสเตอร์ และเมื่อข้อมูลนั้นถูกนำมาเก็บไว้ในสแต็กแล้วก็สามารถที่จะเปลี่ยนข้อมูลในรีจิสเตอร์ตัวนั้น ๆ ได้ทันที หลังจากทำงานเรียบร้อยแล้วจึงกลับมาอ่านข้อมูลเดิมกลับจากสแต็ก ดังมีกระบวนการทำงานแสดงในรูปที่ 2.2 การเก็บข้อมูลของสแต็กจะมีลักษณะเป็นระดับหรือเป็นชั้น ข้อมูลที่เก็บเข้ามาก่อนจะต้องอ่านออกทีหลังหรือเป็นแบบ FILO(First In Last Out) และจำนวนระดับหรือจำนวนชั้นของสแต็กก็มีจำกัด



รูปที่ 2.2 แสดงกลไกการทำงานของสเด็กอย่างง่าย

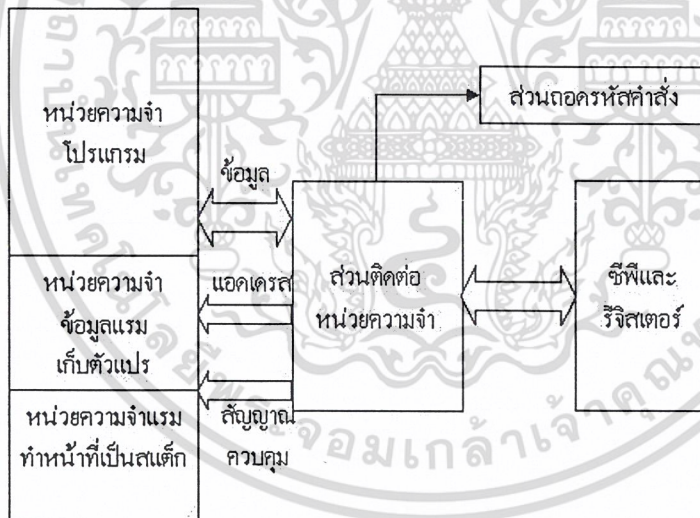
ในไมโครคอนโทรลเลอร์ส่วนใหญ่จะมีความจุของสเด็กไม่น้อยกว่า 8 ระดับ การที่ยังมีขนาดของสเด็กมากหรือมีจำนวนระดับมาก ก็จะยิ่งช่วยให้การทำงานสะดวกขึ้น เพราะในการประมวลผลมีโอกาสมากที่ต้องพักข้อมูลในรีจิสเตอร์หลักที่สำคัญเพื่อไปทำงานอื่นก่อน หลังจากนั้นจึงจะกลับมาทำงานต่อโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับงานที่มีการอินเตอร์รัปต์หรือขัดจังหวะ ซึ่พื้ญ บ่อยๆ รวมถึงงานที่มีการกระโดดไปทำงานที่โปรแกรมย่อยจำนวนมาก เพราะเมื่อต้องกระโดดออกจากโปรแกรมหลักไปทำงานที่โปรแกรมย่อย ก็ต้องเก็บข้อมูลของรีจิสเตอร์หลักที่ทำงานค้างอยู่ใน สเด็ก หลังจากนั้นกระโดดไปที่โปรแกรมย่อยที่มีความต้องการเขียนข้อมูลลงในรีจิสเตอร์ตัวเดียวกันนี้ หลังจากทำงานแล้วจึงกลับมาที่โปรแกรมหลัก แล้วอ่านค่าเดิมก่อนหน้าี่กลับมาทำงานต่อ ทว่า ในงานบางลักษณะมีการกระโดดไปทำงานยังโปรแกรมย่อยซ้อนกัน 2 - 3 ชั้นทำให้ต้องมีการเก็บข้อมูลไว้ในสเด็กมากขึ้นหากความจุของสเด็กมีน้อยก็จะไม่สามารถรองรับการทำงานในลักษณะนี้ได้

ขนาดของสเด็กโดยปกติจะต้องเท่ากับขนาดของรีจิสเตอร์ตัวนับ โปรแกรม หรือ PC เพราะมีโอกาสที่จะต้องเก็บค่าของ PC ไว้ในสเด็กด้วย

### 2.1.6 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

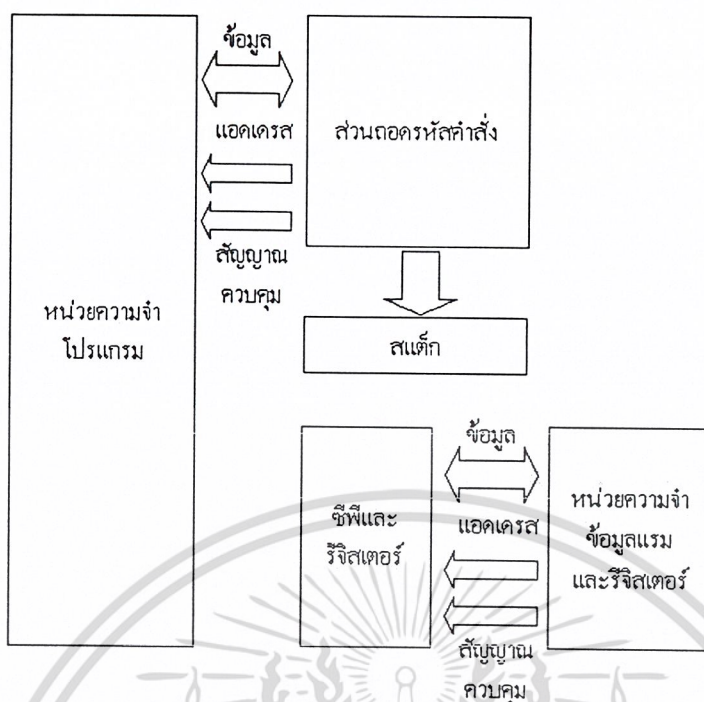
เป็นที่ยอมรับกันว่าสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์มีด้วยกัน 2 แบบ คือ ฟรินซ์ตัน หรือ ฟอนนิวแมน (Von Neumann) และฮาร์วาร์ด ดังในรูปที่ 2.3 และ 2.4 แสดงการจัดสรรหน่วยความจำ และรีจิสเตอร์ในสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้ง 2 แบบพิจารณาดังในรูปที่ 2.3 ก่อน เป็นการจัดสรรในสถาปัตยกรรมแบบฟรินซ์ตัน จะเห็นได้ว่ามีโครงสร้างที่เรียบง่ายไม่ซับซ้อน ส่วนของหน่วยความจำโปรแกรมกับหน่วยความจำข้อมูลจะได้รับการจัดสรรให้อยู่รวมกัน ติดต่อกับ CPU ผ่านส่วนจัดการเชื่อมต่อหน่วยความจำ และภายใน CPU จะมีรีจิสเตอร์บรรจุอยู่ ข้อดีของสถาปัตยกรรมคือ ออกแบบง่าย เพราะหน่วยความจำทั้งหมดอยู่รวมกัน สามารถเข้าถึงได้ง่าย หน่วยความจำแรมหากมีขนาดใหญ่เพียงพอก็จะสามารถเก็บได้ทั้งโปรแกรมควบคุมการทำงานและข้อมูลของตัวแปรในการประมวลผล ข้อด้อยของสถาปัตยกรรมนี้คือ ความเร็วในการประมวลผล

เนื่องจากหน่วยความจำอยู่รวมกันจึงต้องติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมสลับกับหน่วยความจำข้อมูล ส่งผล CPU ต้องใช้จำนวนไซเคิลในการทำงานมากแต่ข้อด้อยนี้สามารถชดเชยได้ หากไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำงานกับสัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่สูงมากได้



รูปที่ 2. 3 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฟรินซ์ตันหรือฟอน นิวแมน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2. 4 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์ดแวร์

ในขณะที่สถาปัตยกรรมแบบฮาร์ดแวร์ ซึ่งแสดงดังในรูปที่ 2.4 จะแยกส่วนของหน่วยความจำข้อมูลและรีจิสเตอร์ออกจากหน่วยความจำโปรแกรมทำให้ไซเกิดการทำงานลดลงเนื่องจากสามารถติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลได้เร็วกว่า นั่นคือการทำงานได้เร็วกว่าแบบ ฟรินซ์ตัน นอกจากนี้สถาปัตยกรรมแบบนี้ในขณะที่ CPU กำลังเอ็กเซคิวต์คำสั่งในปัจจุบันอยู่สามารถที่จะเฟตซ์คำสั่งถัดไปได้ ยังเป็นการเพิ่มความเร็วในการทำงานให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์

### 2.1.7 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถทำงานได้เมื่อจ่ายไฟเลี้ยงและต่อวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาให้แก่นั่น จากนั้น CPU ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ จะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมเพื่ออ่านข้อมูลคำสั่งที่บรรจุอยู่ในหน่วยความจำโปรแกรม

นั่นหมายความว่าต้องมีการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมก่อน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์จะมีรูปแบบของข้อมูลคำสั่งที่แตกต่างกัน ซึ่งจะต้องอาศัยกระบวนการเขียนโปรแกรม ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมสามารถแบ่งได้ 2 ระดับ คือ ภาษาสูง (high language) และภาษาแอสเซมบลี (assembly language) โดยปกติไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาแอสเซมบลี เนื่องจากสามารถทำงานได้รวดเร็วผ่านกระบวนการแปลงข้อมูลคำสั่งเป็นข้อมูลเลขฐานสิบหกเพื่อทำงานตามคำสั่งเพียง 1 ขั้นตอนคือ แปลงจากภาษาแอสเซมบลีเป็นข้อมูลเลขฐานสิบหกหรือที่เรียกว่า ออปโค้ด (Opcode) แต่ข้อเสียของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาแอสเซมบลีคือ ผู้เขียนต้องทำความเข้าใจในชุดคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นั้นๆ และเมื่อเปลี่ยนเบอร์ไมโคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

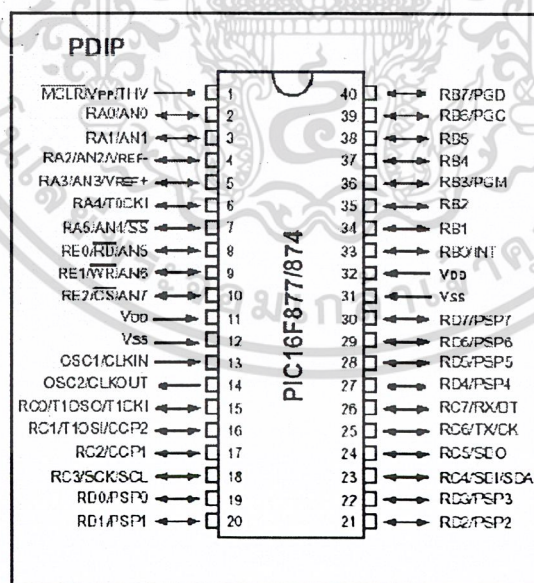
คอนโทรลเลอร์ก็ต้องการเรียนรู้และทำความเข้าใจชุดคำสั่งใหม่ ซึ่งอาจทำให้เสียเวลามาก และการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาแอสเซมบลี ผู้เขียนต้องมีทักษะในการเขียนโปรแกรมสูงพอสมควร และเข้าใจถึงสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอย่างดี

ในขณะที่การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาสูงอย่าง ภาษาซี ภาษาเบสิก ต้องผ่านกระบวนการที่เรียกว่า คอมไพล์ (compile) เพื่อแปลงภาษาระดับสูงเหล่านั้นเป็นภาษาเครื่องหรือออปโค้ดของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นั้นๆเสียก่อน และโปรแกรมที่ใช้ในการคอมไพล์นั้นเรียกว่า คอมไพเลอร์ (compiler) มักจะมีราคาแพง เมื่อใช้เครื่องมือทาง software ตัวนี้ ทำให้ผู้เขียนโปรแกรมอาจไม่จำเป็นต้องศึกษาสถาปัตยกรรมและชุดคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นั้นอย่างลึกซึ้งเท่ากับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาแอสเซมบลี ทั้งนี้เพราะคอมไพเลอร์ จะทำหน้าที่ในส่วนนี้แทน ดังนั้นเมื่อผู้ใช้งานเปลี่ยนเบอร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็เพียงแต่จัดหาโปรแกรมคอมไพเลอร์ที่เหมาะสมมาใช้งาน และศึกษาสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ใหม่อีกเพียงเล็กน้อยก็สามารถใช้งานได้ แต่ข้อเสียของการใช้คอมไพเลอร์คือ ราคาแพง

## 2.1.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16f877

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เป็นที่รู้จักกันดีในบรรดาผู้ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่มีผู้ใช้งานจำนวนมากประสบปัญหาด้านข้อจำกัดบางประการในไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นก่อน แต่สำหรับ ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC 16f877 ได้เพิ่มขีดความสามารถต่าง ๆ ให้ผู้ใช้ได้ใช้งานได้สะดวกมากยิ่งขึ้น

### โครงสร้างและสถาปัตยกรรม



รูป 2.5 แสดงลักษณะการจัดขาของ PIC16F877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของ P I C 1 6 f 8 7 7

- 1.ความถี่สูงสุดที่ทำงานได้คือ 20 MHz
- 2.หน่วยความจำโปรแกรมFLASH Program Memory มีขนาด 8 k(14-Bit words)
- 3.หน่วยความจำข้อมูล Ram 368 Bytes
- 4.หน่วยความจำข้อมูล(EEPROM) 256 Bytes
- 5.สามารถตอบสนองการอินเตอร์รัพได้ถึง 14 แหล่ง
- 6.เพาเวอร์อนรีเซต(POR),เพาเวอร์อัฟไทมเมอร์(PWRT)และ Oscillator Start - Up Timer
- 7.Watchdog Timer
- 8.สามารถเลือกการป้องกันข้อมูลได้ (Code Protection)
- 9.เลือกโหมดของสัญญาณนาฬิกาได้หลายโหมด
- 10.ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2.0 V ถึง 5.5V
- 11.กระแสที่ซิงก์และซอร์สของพอร์คคือ 25 mA
- 12.Timer Counter จำนวน 3 ตัวคือ Timer 0 , Timer1 และ Timer2
- 13.โมดูล Capture/Compare/PWM จำนวน 2 ชุด
- 14.Analog to Digital Converter ความละเอียด 10 บิต 8 แชนแนล ภายในตัว
- 15.มีโมดูลการสื่อสาร USART
- 16.มีพอร์ต I/O 5 พอร์ตประกอบด้วย A,B,C,D และ E แต่ละพอร์ตจะมีจำนวนบิตไม่เท่ากัน ซึ่งรวมแล้ว จะมี I/O จำนวน 33 บิต

PORTA = RA5 - RAO จำนวน 6 บิต

PORTB = RB7 - RBO จำนวน 8 บิต

PORTC = RC7 - RCO จำนวน 8 บิต

PORTD = RD7 - RDO จำนวน 8 บิต

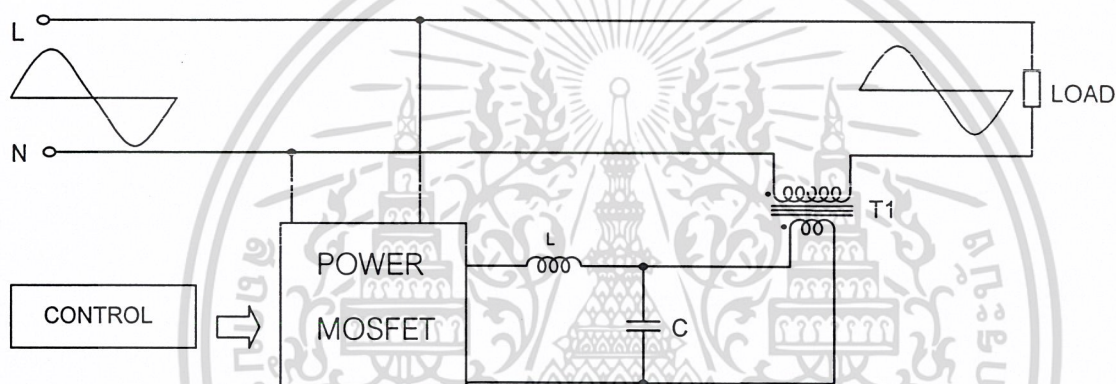
PORTE = RE2 - REO จำนวน 3 บิต

## 2.2 วงจรช้อปเปอร์กระแสสลับ (AC Chopper)

ความไม่สม่ำเสมอของระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับในระบบทั้งแรงดันไฟฟ้าตกหรือแรงดันไฟฟ้าเกินมักทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าเกิดขัดข้อง เช่น คอมพิวเตอร์, อุปกรณ์การสื่อสาร อินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์ ตลอดจนเครื่องมือวัดต่าง ๆ ทำงานผิดพลาดหรือหยุดการทำงาน เป็นเหตุให้เกิดการสูญเสียข้อมูล คุณภาพสินค้าบกพร่อง สายการผลิตหยุดชะงักทำให้เกิดสูญเสียเวลาและรายได้จึงมีการเอาอุปกรณ์รักษาระดับแรงดันไฟฟ้ามาใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว อุปกรณ์รักษาระดับแรงดันไฟฟ้า ในยุคเริ่มแรกอาศัยการเปลี่ยนแท่งของหม้อแปลงเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า โหลดคงที่ ข้อเสียของระบบนี้ก็คือ ต้องใช้ หม้อแปลงที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก ราคาแพง นอกจากนี้การเปลี่ยนแท่งของหม้อแปลงยังทำได้เฉพาะเมื่อแรงดันไฟฟ้าผ่านศูนย์ ( Zero Crossing ) เพื่อหลีกเลี่ยงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดกระแสกระชากในหม้อแปลงทำให้ผลการตอบสนองการควบคุมแรงดันไฟฟ้าเป็นไปได้ช้า ในยุคต่อมาเมื่อเทคโนโลยีทาง Power Electronic มีความก้าวหน้าขึ้นจึงมีการใช้ช้อปเปอร์กระแสสลับเพื่อปรับระดับแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุท วงจรมีข้อดีคือง่ายต่อการควบคุมและสามารถใช้ในวงจรกำลังสูงได้ โดยทำการช้อปเปอร์กระแสสลับโดยใช้หลักการ PWM ความถี่สูง และเพาเวอร์เซมิคอนดักเตอร์สวิทซ์ชนิดสองทิศทาง วงจรมีข้อดี คือ ให้กระแสอินพุทที่เป็น Sine มีการตอบสนองที่รวดเร็ว และลดขนาดของวงจร Filter ลงได้มาก

วงจรช้อปเปอร์กระแสสลับ PWM มีส่วนประกอบของวงจรกำลังและวงจรควบคุม แสดงได้ดังรูปที่ 2-6 ในส่วนของวงจรกำลังประกอบด้วย ชุด Change Polarity ชุด AC Chopper และวงจร Filter ในส่วนของวงจรควบคุมประกอบด้วยส่วนสร้างสัญญาณ PWM ส่วนสร้างสัญญาณขับเคลื่อน ส่วนชุดวงจรขับเคลื่อน และส่วนของวงจร Feedback



รูปที่ 2-6 แสดง Block Diagram วงจรควบคุมและวงจรกำลัง

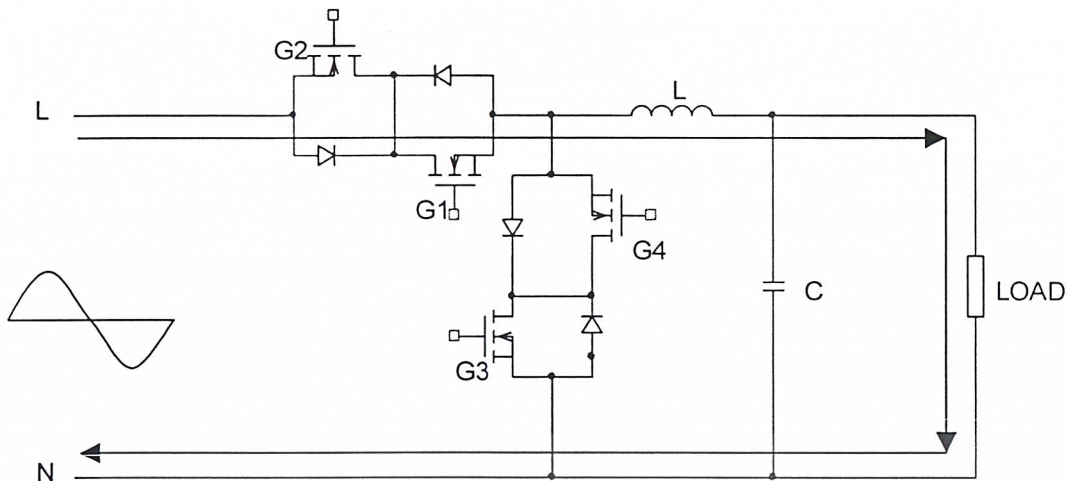
### หลักการทํางาน

การทำงานของวงจรช้อปเปอร์กระแสสลับชนิด PWM แรงดันไฟฟ้าอินพุทจะถูกตัดออกเป็นช่วง (Chop) ตามสัญญาณคลื่น PWM ทำให้ได้ค่าแรงดันเอาท์พุทที่ถูกลดทอนลงตามอัตราส่วนของช่วงเวลาของการนำกระแสต่อค่าเวลาของการ Switching

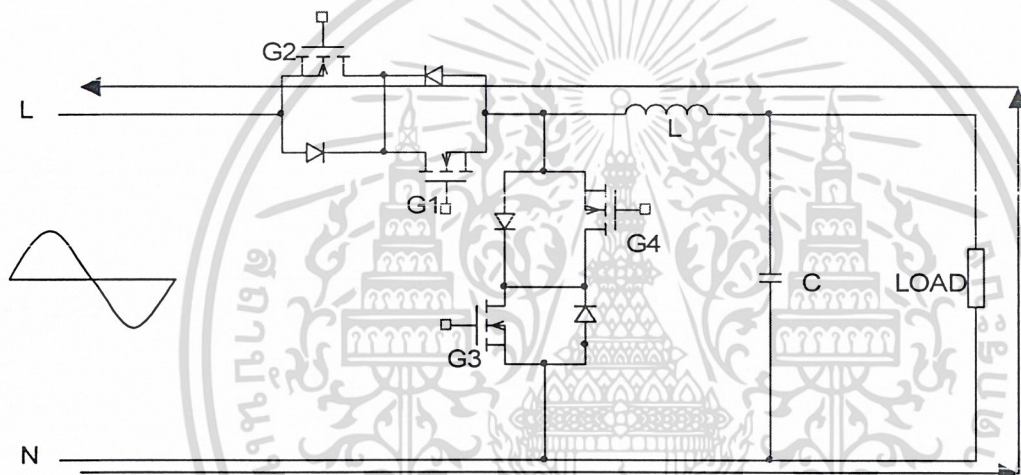
การทำงานของวงจรกำลังแบ่งเป็น 3 โหมดการทำงานดังนี้

#### 2.2.1 โหมดแอคทีฟ (Active Mode)

โหมดการทำงานนี้ถูกกำหนดเมื่อสวิทซ์  $G_1$  หรือ  $G_2$  นำกระแส (On) ในช่วงเวลาของโหมดนี้กระแสในตัวเหนี่ยวนำจะไหลผ่านแหล่งจ่ายไฟไปยังโหลดตามทิศทางของกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำ ดังแสดงรูปที่ 2-7 และ รูปที่ 2-8



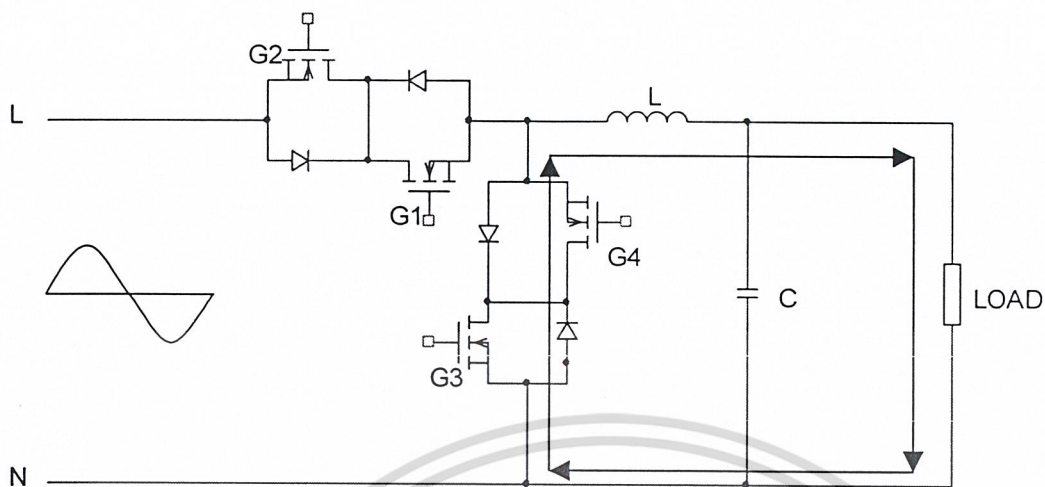
รูปที่ 2-7 แสดงการทำงานของมอสเฟสเมื่อ  $V_s > 0$  ,  $I_L > 0$



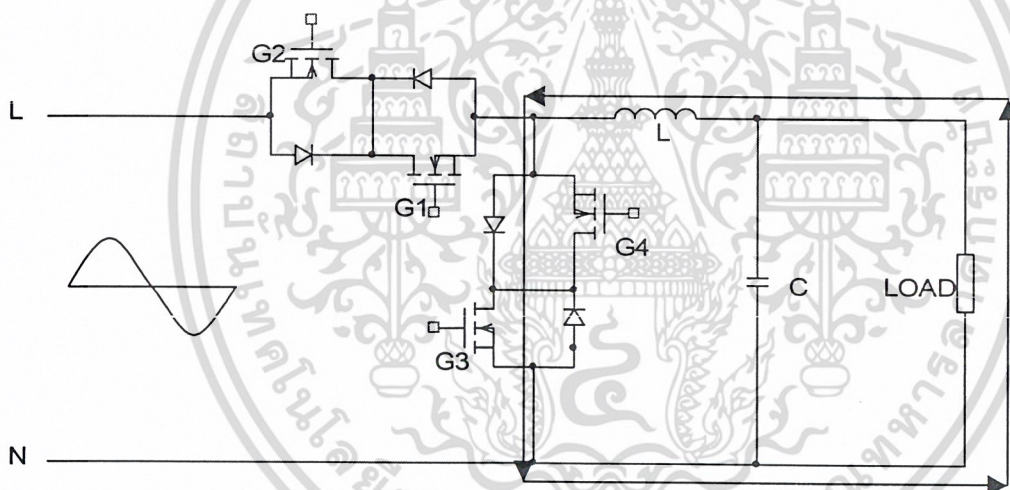
รูปที่ 2-8 แสดงการทำงานของมอสเฟสเมื่อ  $V_s < 0$  ,  $I_L < 0$

2.2.2 โหมดฟรีวิลลิงค์ ( Freewheeling Mode )

ในโหมดนี้พลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำในโหมดแอกทีฟจะถูกปลดปล่อยไปยังโหลด กระแสในตัวเหนี่ยวนำจะไหลผ่านสวิตช์  $G_3$  และ  $G_4$  ตามทิศทางกระแสในตัวเหนี่ยวนำ ดังแสดงในรูปที่ 2-9 และ รูปที่ 2-10



รูปที่ 2-9 แสดงการทำงานของมอสเฟสเมื่อ  $I_L > 0$

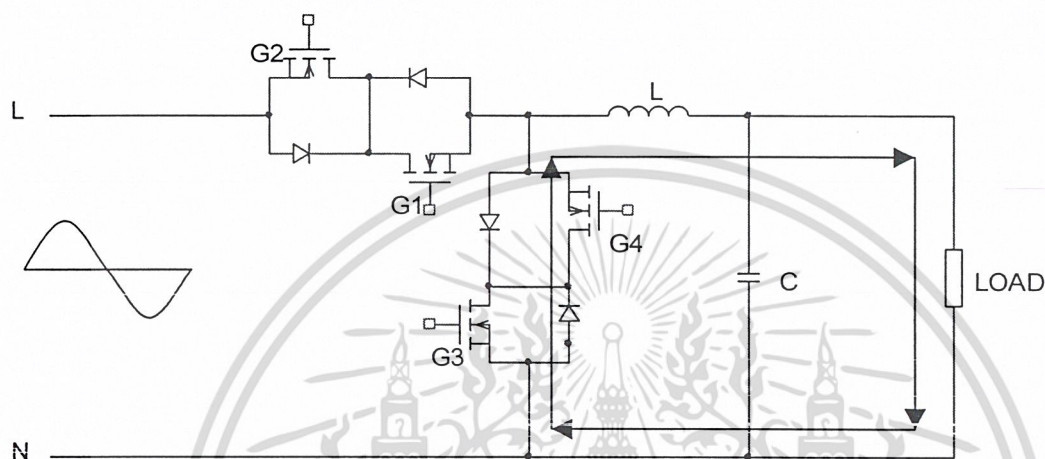


รูปที่ 2-10 แสดงการทำงานของมอสเฟสเมื่อ  $I_L < 0$

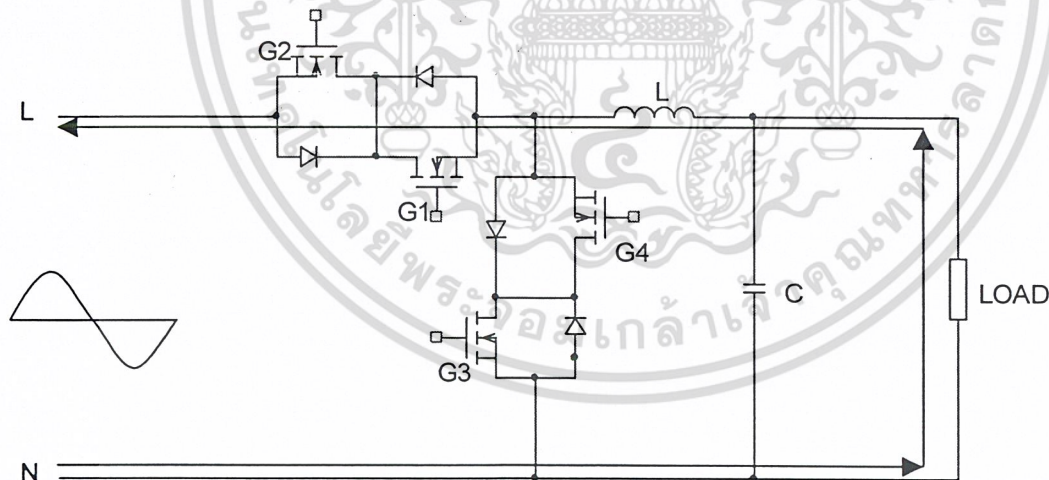
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 โหมดเดดไทม์ ( Dead time Mode )

เป็นโหมดที่ป้องกันการเสียหายของวงจร สัญญาณของเกตแต่ละสวิทช์จะถูกหน่วงเวลาในขาขึ้นของสัญญาณไปช่วงเวลาหนึ่ง เพื่อให้คู่สวิทช์ที่กำลังหยุดนำกระแสได้หยุดนำกระแสโดยสมบูรณ์เสียก่อน ซึ่งจะทำให้เกิดช่วงเวลาที่ทั้ง  $G_1$  และ  $G_3$  หรือทั้ง  $G_2$  และ  $G_4$  หยุดนำกระแสด้วยกันทั้งคู่ ช่วงเวลานี้เราจะเรียกว่าช่วงเวลาเดดไทม์ ( Dead time ) ในช่วงเวลานี้การไหลของกระแสในตัวเหนี่ยวนำเป็นดังรูปที่ 2-11 รูปที่ 2-12 รูปที่ 2-13 และ รูปที่ 2-14

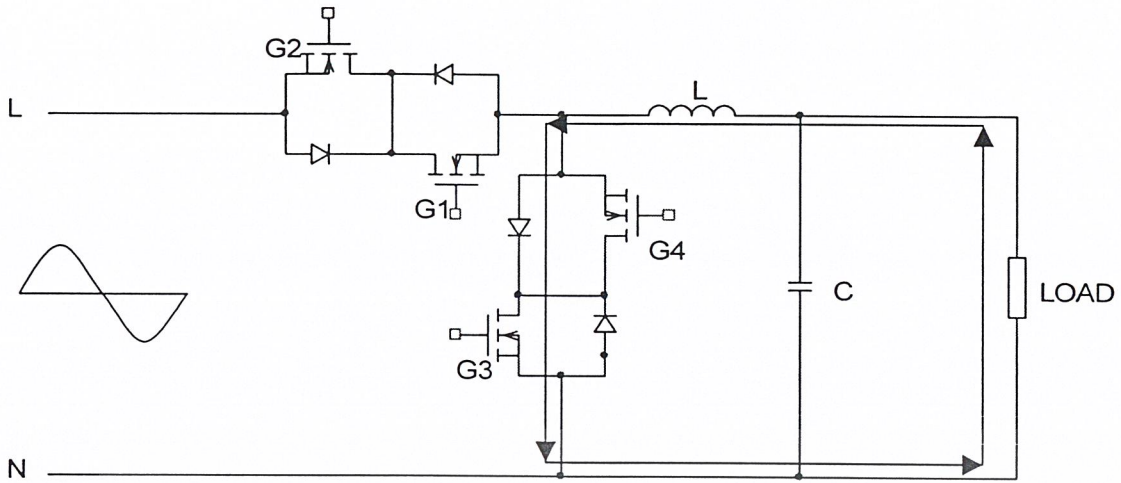


รูปที่ 2-11 แสดงการทำงานของมอสเฟสเมื่อ  $V_s > 0$  ,  $I_L > 0$

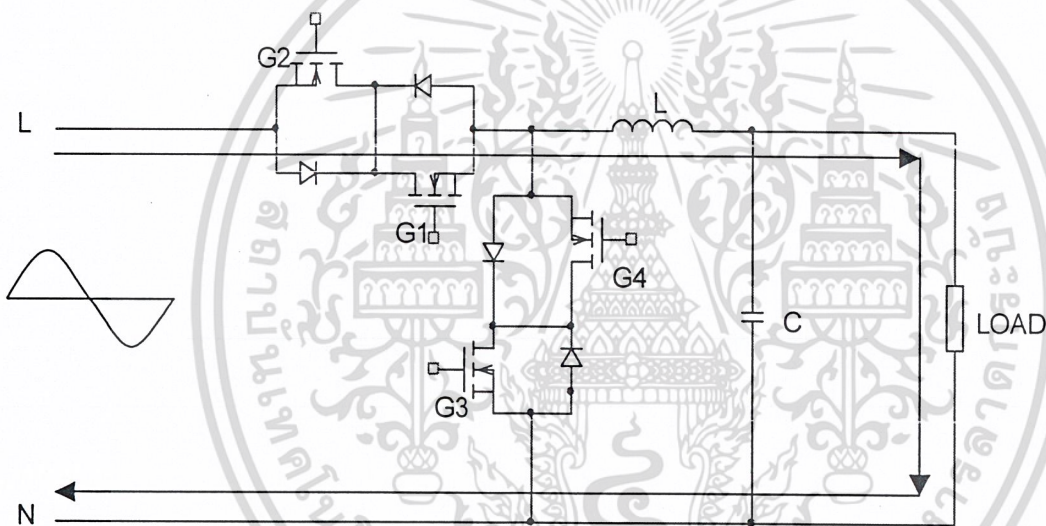


รูปที่ 2-12 แสดงการทำงานของมอสเฟสเมื่อ  $V_s > 0$  ,  $I_L < 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-13 แสดงการทำงานของมอสเฟสเมื่อ  $V_s < 0, I_L > 0$



รูปที่ 2-14 แสดงการทำงานของมอสเฟสเมื่อ  $V_s < 0, I_L < 0$

### 2.3 ทฤษฎีมอสเฟสพื้นฐาน

#### 2.3.1 มอสเฟทกำลัง (Power MOSFET)

มอสเฟท (MOSFET) ย่อมาจาก Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor เป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมด้วยแรงดันและต้องการกระแสอินพุตต่ำมาก ความเร็วในการสวิตช์ซึ่งสูงส่วนเวลาในการสวิตช์ซึ่งต่ำมากเป็นนาโนวินาที มอสเฟทกำลังได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้าน Second Breakdown เหมือนกับทรานซิสเตอร์ แต่อย่างไรก็ตามมอสเฟทก็มีปัญหาเกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตย์ และต้องการการเก็บรักษาแบบพิเศษ

มอสเฟทมีด้วยกัน 2 ชนิดคือ (1) Depletion MOSFETs และ (2) Enhancement MOSFETs Depletion MOSFETs แบบ N-channel จะมีโครงสร้างเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด P-type ดังรูปที่ 2.15 และถูกโด๊ปด้วยซิลิคอนแบบ  $N^+$  ซึ่งมีความต้านทานต่ำจะถูกลำโพงไฟฟ้าออก Channel ด้านชั้นของ

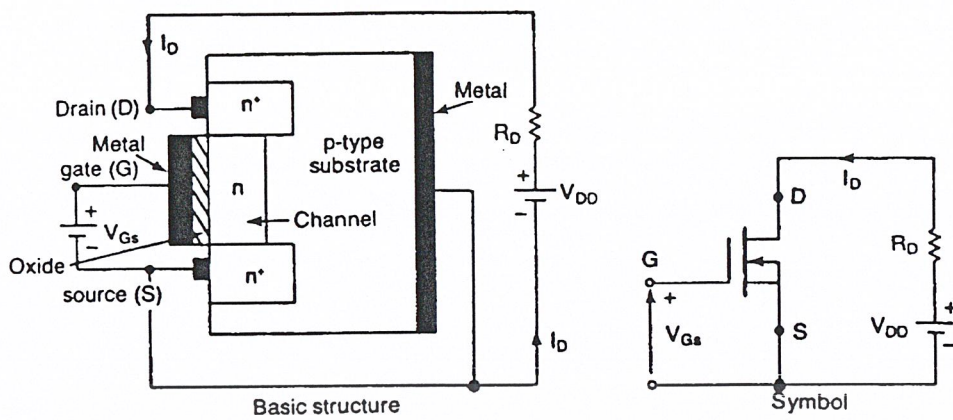
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกไซด์บางๆ ขาทั้งสามของมอสเฟตมีชื่อเรียกว่า เกท (gate) เคน (drain) และซอร์ส (source) แรงดันที่เกทกับซอร์ส ( $V_{GS}$ ) นั้นจะบวกหรือลบก็ได้ ถ้า ( $V_{GS}$ ) เป็นลบ อิเล็กตรอนบางส่วนในพื้นที่ของ N-channel จะถูกผลักออกและบริเวณปลอดพาหะจะถูกสร้างขึ้นที่ด้านล่างของชั้นออกไซด์ เป็นผลทำให้ N-channel แคบลง ความต้านทานระหว่างเคนและซอร์ส ( $R_{DS}$ ) จะสูงขึ้น ถ้า ( $V_{GS}$ ) มีค่าเป็นลบมากพอที่ทำให้ Channel ปลอดพาหะอย่างสมบูรณ์ซึ่งทำให้  $R_{DS}$  มีค่าสูงขึ้นจนไม่มีกระแสไหลจากเคนไปยังซอร์ส  $I_{DS} = 0$  แล้ว แรงดัน  $V_{GS}$  ดังกล่าวเรียกว่า Pinch-off Voltage,  $V_p$  เมื่อ  $V_{GS}$  มีค่าเป็นบวก Channel จะเริ่มกว้างมากขึ้น  $I_{DS}$  เพิ่มขึ้นเนื่องจาก  $R_{DS}$  ลดลง สำหรับใน Depletion MOSFETs แบบ P-channel จะมีขั้วของ  $V_{DS}$ ,  $I_{DS}$ ,  $V_{GS}$  และจะตรงข้ามกับ N-channel

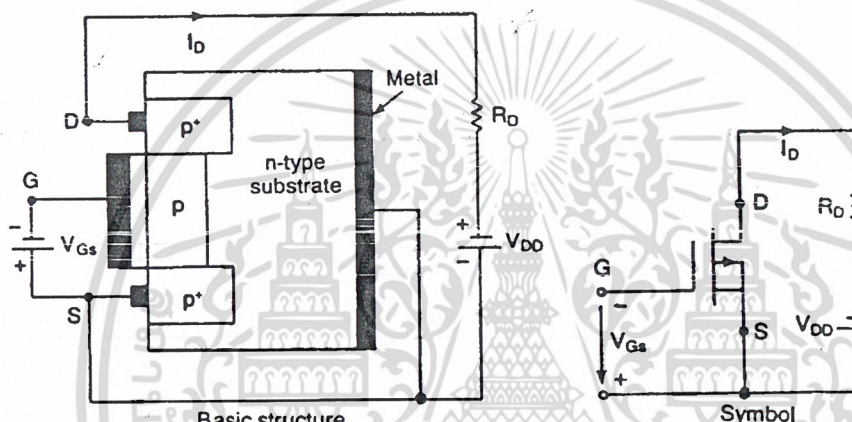


รูปที่ 2-15 มอสเฟตกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) n-channel depletion-type MOSFET



(b) p-channel depletion-type MOSFET

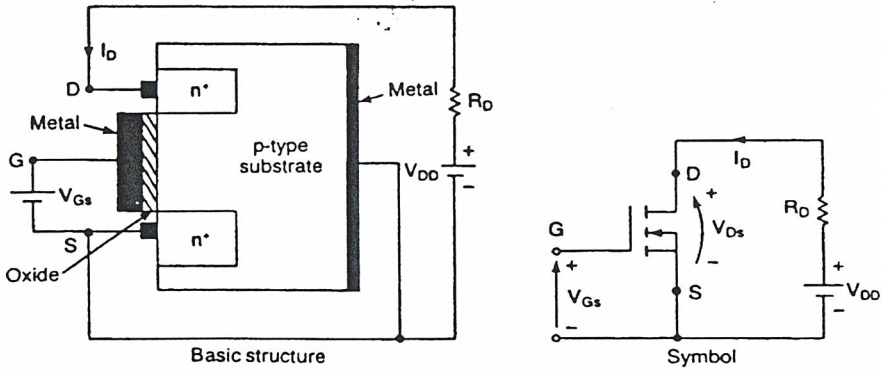
รูปที่ 2-16 a) N-channel depletion - type MOSFETs

b) P-channel depletion - type MOSFETs

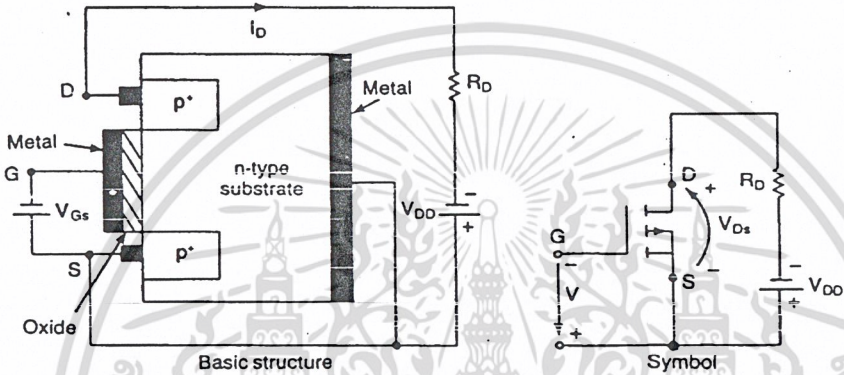
2.3.2 ลักษณะสมบัติที่ Stead State ของมอสเฟต

มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ควบคุมได้ด้วยแรงดัน มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูงมากทำให้กระแสเกตไหลต่ำมากเป็นนาโนเมตร อัตราการขยายกระแส ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างกระแสเดรน  $I_D$  กับกระแสเกต  $I_G$  โดยทั่วไปแล้วจะมีค่าสูงถึง 109 อย่างไรก็ตามอัตราการขยายกระแสไม่ได้เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ โดยค่าของทรานคอนดักแตนซ์จะเป็นอัตราส่วนระหว่างกระแสเดรน และแรงดันเกต ซึ่งจะเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญกว่าลักษณะสมบัติการโอนย้ายของมอสเฟตแบบ N-channel และ P-channel แสดงดังรูปที่ 2-16 (a) และรูปที่ 2-16 (b) จะเป็นลักษณะสมบัติทางเอาท์พุทของ Enhancement MOSFET และแบบ N-channel ซึ่งจะมีการทำงาน 3 บริเวณคือ (1) บริเวณ Cut-off เมื่อ  $V_{GS} < V_T$  (2) บริเวณอิ่มตัวหรือ Pinch-off เมื่อ  $V_{DS} > (V_{GS} - V_T)$  (3) บริเวณเชิงเส้นเมื่อ  $V_{DS} > (V_{GS} - V_T)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) n-channel enhancement-type MOSFET



(b) p-channel enhancement-type MOSFET

รูปที่ 2-17 a) N-channel depletion - type MOSFETs  
b) P-channel depletion - type MOSFETs

การ Pinch- off จะเกิดขึ้นเมื่อ  $V_{DS} = V_{GS} - V_T$  ในบริเวณเชิงเส้นกระแส  $I_D$  จะเปลี่ยนไปโดยเป็นสัดส่วน กับแรงดัน  $V_{DS}$  เนื่องจากกระแสเดรนที่สูงและแรงดันเดรนที่ต่ำ ทำให้มอสเฟตกำลังทำงานได้ในบริเวณเชิงเส้นสำหรับการสวิตซ์ ในบริเวณอิ่มตัวด้วยกระแสเดรนจะมีค่าคงที่เมื่อแรงดัน  $V_{DS}$  เพิ่มขึ้น ในบริเวณนั้นมอสเฟตจะถูกนำไปใช้ในการขยายแรงดันมอสเฟตทั้ง Depletion-type และ Enhancement-type จะมีโมเดลที่ Steady state ดังรูปที่ 2-17 ค่าทรานคอนดักแตนซ์,  $g_m$  หาได้ดังนี้

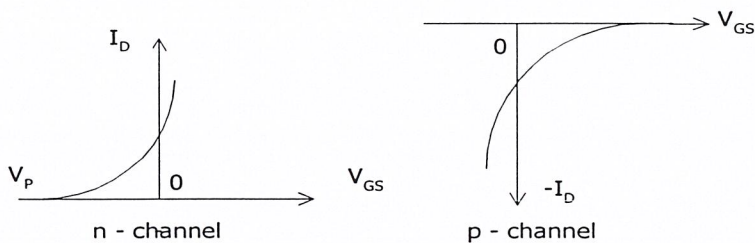
$$g_m = \frac{\Delta V_{DS} * V_{DS}}{\Delta V_{GS}} \cong \text{Constant}$$

ความต้านทานด้านทานเอาท์พุท  $r_o = R_{DS}$  หาได้จาก

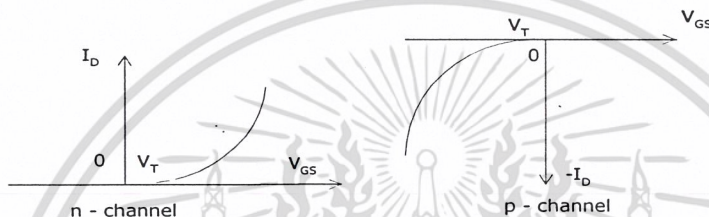
$$R_{DS} = \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_D}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RDS ในบริเวณ Pinch-off จะมีค่าสูงเป็นเมกะโอมห์ และในบริเวณเชิงเส้นจะมีค่าต่ำเป็นมิลลิโอมห์



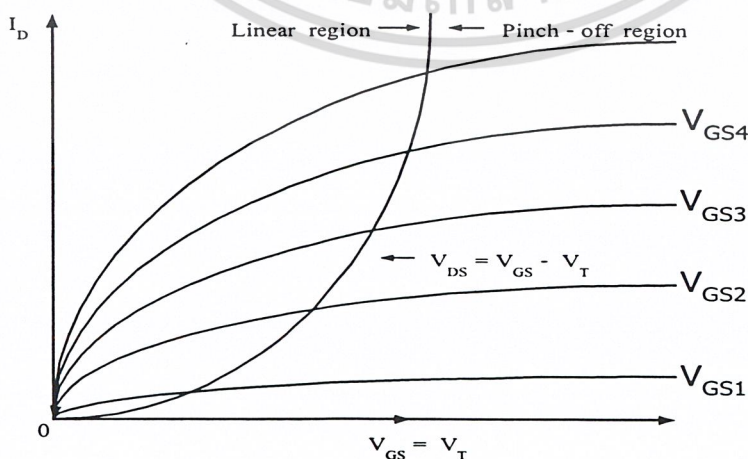
(a) Depletion-type MOSFET



(b) Enhancement-type MOSFET

รูปที่ 2-18 ลักษณะสมบัติไอออนย้ายของมอสเฟตแบบ N-channel และ P-channel

สำหรับ Depletion MOSFET จะทำงานที่แรงดันเกตเป็นบวกหรือเป็นลบก็ได้แต่ Enhancement MOSFET จะตอบสนองที่แรงดันเป็นบวกเท่านั้น มอสเฟตกำลังที่ใช้โดยทั่วไปที่นิยมใช้นั้นจะเป็นชนิด Enhancement-type อย่างไรก็ตาม Depletion-type ก็ยังมีการประยุกต์ใช้ในการออกแบบทางลอจิกให้เข้ากันได้กับสวิตช์ DC หรือ AC ซึ่งยังคงทำงานอยู่ได้ เมื่อแหล่งจ่ายลอจิกตกลงจน  $V_{GS}$  เป็นศูนย์

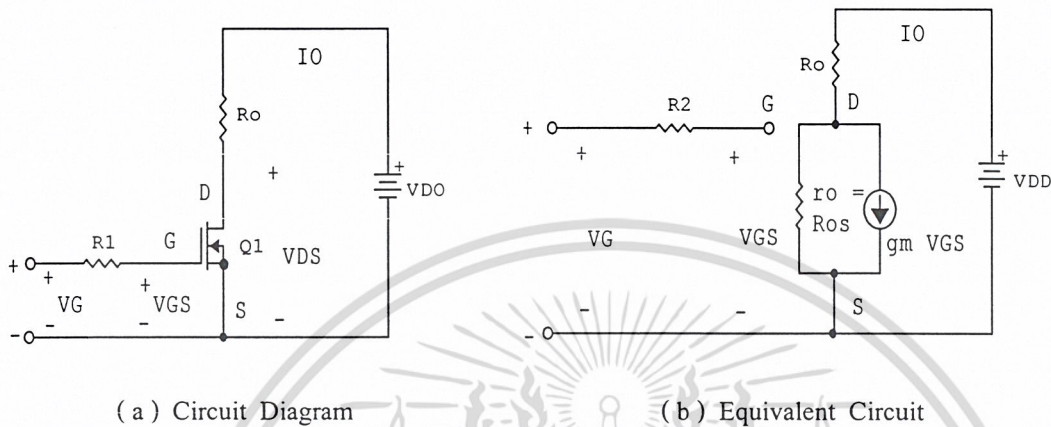


รูปที่ 2-19 ลักษณะสมบัติทางเอาท์พุทของ Enhancement - type MOSFETs

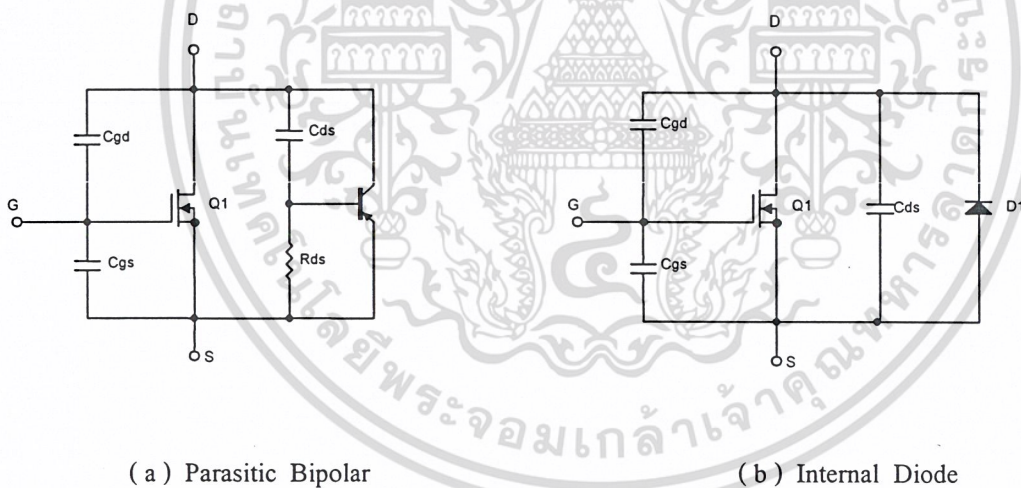
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ลักษณะสมบัติการสวิตช์ซึ่ง

ถ้าปราศจากสัญญาณที่เกต Enhance-type MOSFET จะถูกพิจารณาเป็นไดโอด 2 ตัวต่อกันเป็นทรานซิสเตอร์ ชนิด NPN โครงสร้างของเกตจะมีค่าความจุไฟฟ้าแฝงกับซอร์สและกับเดรน  $C_{gd}$  จะมีรอยทรานซิสเตอร์ต่อไบแอสกลับจากเดรนไปยังซอร์สและมีค่าความจุไฟฟ้าเป็น  $C_{ds}$



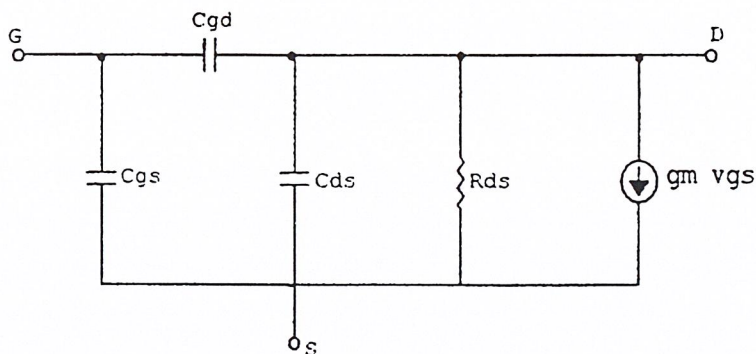
รูปที่ 2-20 โมเดลการสวิตช์ซึ่งที่ steady state ของมอสเฟต



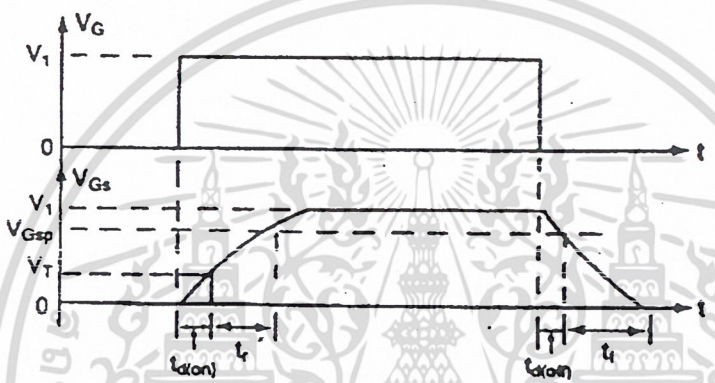
รูปที่ 2-21 โมเดลแฝงของ Enhancement - type MOSFETs

รูปที่ 2-21 แสดงวงจรเทียบเคียงของทรานซิสเตอร์แฝงที่ขนานกับมอสเฟต  $R_{ds}$  ที่บริเวณเบสกับอิมิตเตอร์นั้นมีค่าต่ำ ด้วยเหตุนี้มอสเฟตจึงถูกพิจารณาให้มีไดโอดอยู่ภายในโมเดลสวิตช์ซึ่งของมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-22 โมเดลสวิตซ์ซิ่งของมอสเฟต



รูปที่ 2-23 รูปสัญญาณในการสวิตซ์ซิ่งของมอสเฟต

จากรูปที่ 2-23 Turn-on Delay Time,  $t_{d(on)}$  เป็นเวลาที่ใช้ในการประจุ  $C_{gs}$  จนแรงดันถึงระดับ Threshold Voltage Rise Time,  $t_r$  เป็นเวลาที่ใช้ในการประจุเกต จากแรงดันที่ Threshold Voltage จนถึงแรงดันเกตสูงสุด  $V_{GS}$  ซึ่งใช้ในการขับมอสเฟตให้อยู่ในบริเวณเชิงเส้น Turn-off Ready Time,  $t_{d(off)}$  เป็นเวลาที่ใช้ในการคายประจุเกตจากระดับแรงดันเกต  $V_1$  จนมอสเฟตทำงานที่บริเวณ Pinch-off Fall Time,  $t_f$  เป็นเวลาที่ใช้ในการคายประจุเกต จากบริเวณ Pinch-off จนแรงดันถึงระดับ Threshold Voltage ถ้า  $V_{GS} < V_T$  มอสเฟตจะหยุดนำกระแส

### 2.3.4 พารามิเตอร์ในการทำงานของมอสเฟต

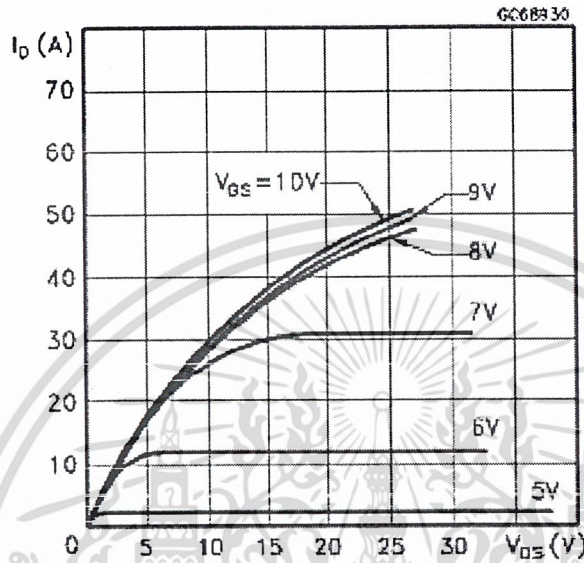
Output Characteristics เป็นกราฟของ  $I_D$  เทียบกับ  $V_{DS}$  ที่ค่า  $V_{GS}$  ต่างๆกันรูปที่ 2-21 จากกราฟแรงดัน Threshold Voltage,  $V_T$  มีค่าเท่ากับ 4 V และในการทำให้แรงดัน  $V_{GS}$  คงที่ไว้ทำให้กระแส  $I_D$  เกือบจะคงที่ที่บริเวณ Pinch-off เนื่องจากความต้านทานในขณะทำงาน On-Stage Resistance

$$(R_{DS} = \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_D}) \text{ มีค่าโดยประมาณคงที่}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

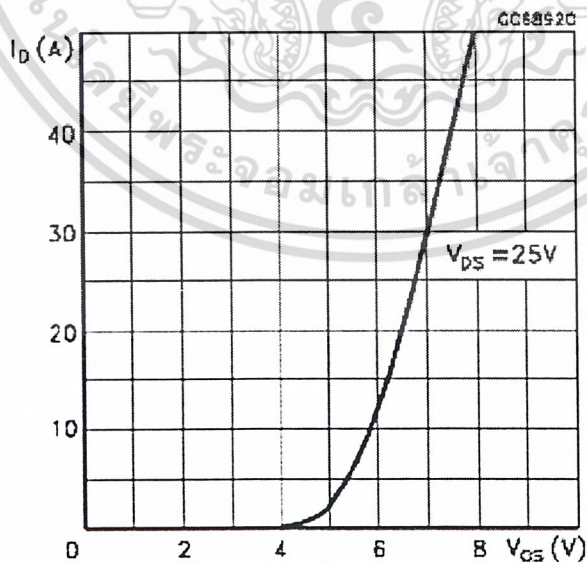
### 2.3.4.1 ลักษณะสมบัติเชิงเส้น ( Linear Characteristic )

เป็นลักษณะทางเอาท์พุทที่มีค่า  $V_{DS}$  ต่ำ ๆ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการนำไปใช้ในงานสวิตซ์ซึ่งจากการที่  $V_{DS}$  มีค่าต่ำในบริเวณเชิงเส้นจึงมักจะกำหนดเป็นลักษณะสมบัติอิมิตัว Saturation Characteristic ดังรูปที่ 2-27



รูปที่ 2-24 ลักษณะสมบัติทางเอาท์พุท

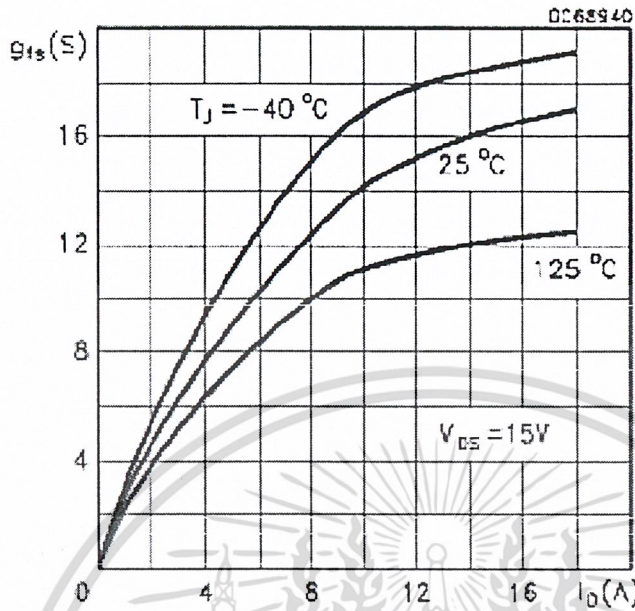
Transfer Characteristic เป็นกราฟของ  $I_D$  เทียบกับ  $V_{GS}$  ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2-25



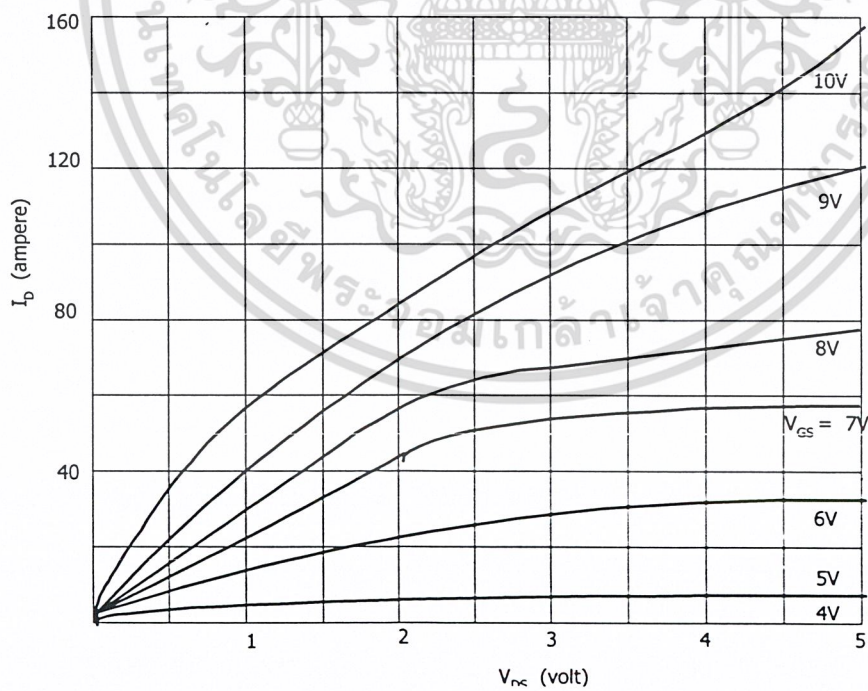
รูปที่ 2-25 ลักษณะสมบัติไอออนย้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transconductance  $g_m$  เป็นค่าที่ได้จาก Transfer Characteristic ดังรูปที่ 2-26

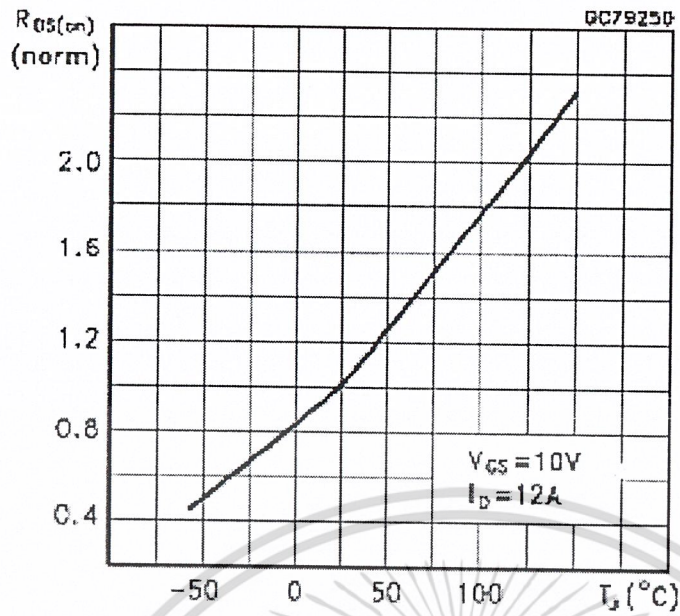


รูปที่ 2-26 ค่าทรานส์คอนดักแตนซ์เทียบกับกระแสเดรน



รูปที่ 2-27 ลักษณะสมบัติอิมิตัว

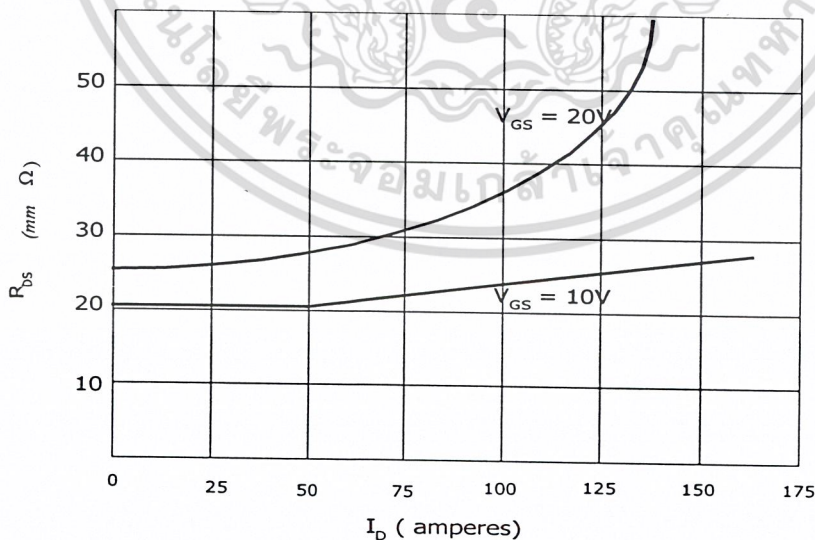
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-28 ค่าความต้านทานขณะทำงานเทียบกับอุณหภูมิรอยต่อ

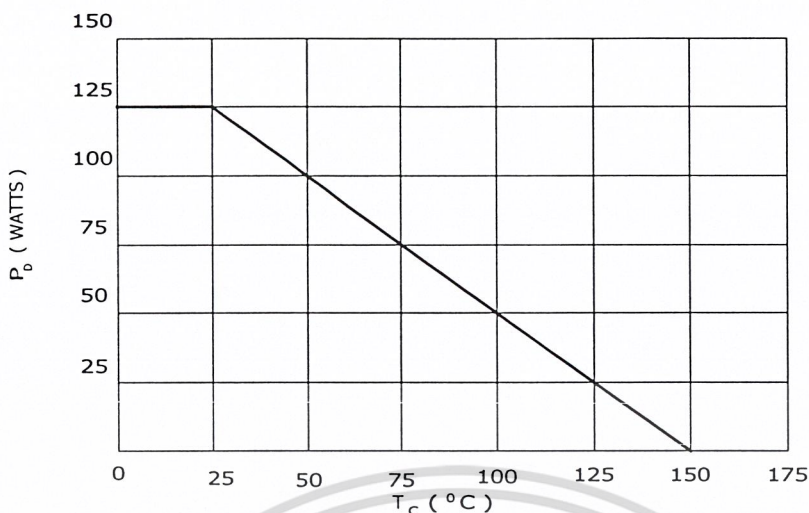
#### 2.3.4.2 ความต้านทานขณะทำงาน ( On-stage resistance, $R_{DS}$ )

เป็นการแสดงถึงการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าขณะที่มีอสเฟตนำกระแส  $R_{DS}$  จะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นเมื่ออุณหภูมิที่รอยต่อ  $T$  เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 2-25 การเพิ่มขึ้นของ  $R_{DS}$  ที่ค่า  $I_D$  และ  $V_{DS}$  ต่างๆกัน ดังรูปที่ 2-29 จะไม่เป็นเชิงเส้นกำลังไฟฟ้าที่สิ้นเปลือง  $P_D = R_{DS}I_D^2 = V_{DS}I_D$  ซึ่งจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ตัวถึงเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 2-27



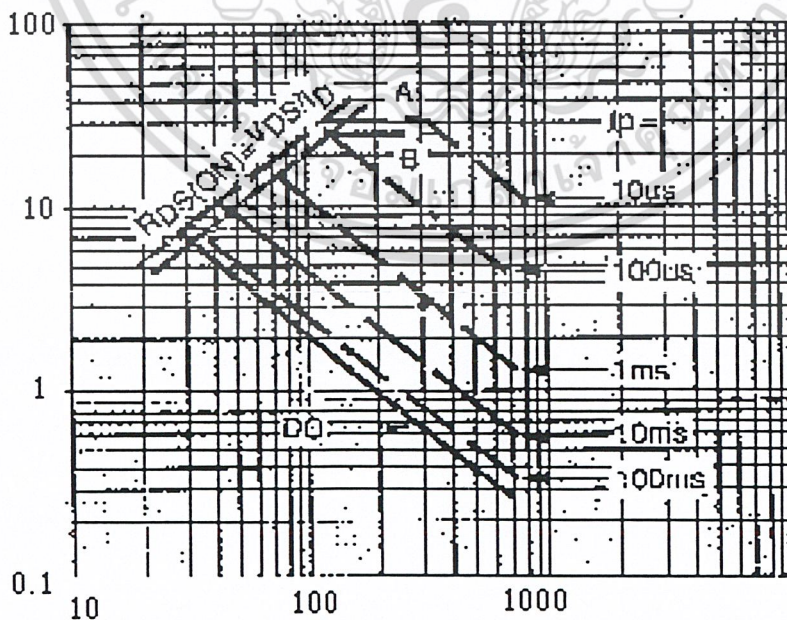
รูปที่ 2-29 ค่าความต้านทานขณะทำงานเทียบกับกระแสครน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-30 ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียเทียบกับอุณหภูมิที่ตัวถัง

พื้นที่การทำงานที่ปลอดภัย Safe Operation Area, SOA ดังแสดงในรูปที่ 2-31 ซึ่งจะแสดงถึงค่าของ  $I_D$  สูงสุดกับค่าของ  $V_{DS}$  สูงสุดในขณะที่มอสเฟตสวิทช์ปิดวงจร และสวิทช์เปิดวงจร โดยจะเป็นขีดจำกัดทางอุณหภูมิ สำหรับตัวของมอสเฟตจะไม่มีปรากฏการณ์ Second Breakdown แต่จะมีข้อจำกัดของกระแส  $I_D$  ที่ค่า  $V_{DS}$  ต่ำๆ เนื่องจากความต้านทานในขณะทำงานเพิ่มขึ้น สำหรับการทำงานในช่วงสั้นๆ ขอบเขตของ SOA จะกว้างขึ้นคือ  $V_{DS}$  และ  $I_D$  มีค่ามากขึ้นนั่นเอง โดยปกติ SOA จะกำหนดไว้ที่  $T = 150$  องศาเซลเซียส



รูปที่ 2-31 พื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยสูงสุด

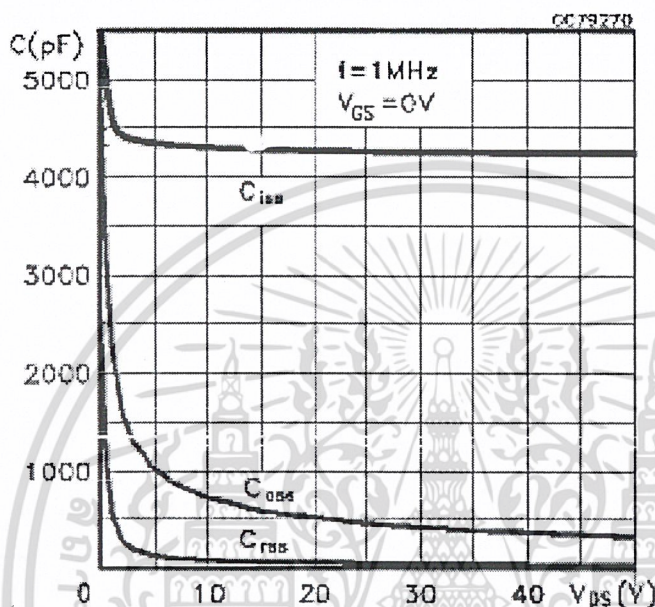
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความจุไฟฟ้าทางด้านอินพุตและเอาต์พุต ผู้ผลิตจะกำหนดค่าของ

ความจุไฟฟ้าใช้งานทางด้านอินพุต  $C_{iss} = C_{gd} // C_{gs}$

ความจุไฟฟ้าใช้งานทางด้านเอาต์พุต  $C_{oss} = C_{ds} // C_{gd}$

ความจุไฟฟ้าโอนย้ายกลับ  $C_{rss} = C_{gd}$  ค่าความจุไฟฟ้าเหล่านี้ขึ้นอยู่กับแรงดัน  $V_{DS}$  ดังรูปที่ 2-32

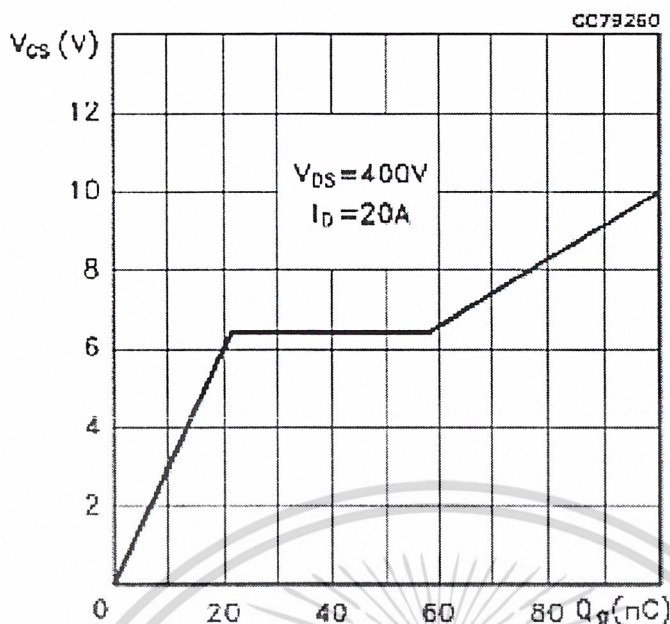


รูปที่ 2-32 ค่าความจุไฟฟ้าเทียบกับแรงดัน  $V_{DS}$

ประจุไฟฟ้าเกท  $Q_g$  ในช่วงสวิตช์เปิดวงจรความจุไฟฟ้าทางด้านอินพุตจะดูดประจุและคายประจุ การสะสมประจุไฟฟ้าที่ความจุไฟฟ้าทางอินพุต ขึ้นอยู่กับแรงดัน  $V_{GS}$  ดังรูปที่ 2-33 การสูญเสียทางสวิตช์ซึ่งเนื่องจากแรงดันเกทมีค่าดังนี้

$$P_G = Q_g V_{GS} f_s$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-33 ค่าความจุไฟฟ้าเกตเทียบกับแรงดัน

#### 2.4 การออกแบบฟิลเตอร์กรองผ่านความถี่ต่ำ

ในการออกแบบฟิลเตอร์กรองผ่านความถี่ต่ำ (Low pass Filter) เพื่อที่จะกรองผ่านแรงดันที่ความถี่ใช้งานที่ 50 เฮิรท์ (Fundamental Component) ส่งไปยังด้านเอาต์พุตเราจะกำหนดเงื่อนไขของสมการเพื่อที่จะใช้ในการออกแบบฟิลเตอร์โดยจะกำหนดให้

$$\omega L \ll R_L \ll \frac{1}{\omega C} \quad (2-1)$$

$$\frac{1}{\omega C} \ll R_L \ll \omega L \quad (2-2)$$

เมื่อ  $\omega = 2\pi f$  และ  $\omega_s = 2\pi f_s$  ซึ่งเป็นค่าความถี่เชิงมุมของแรงดันค่านอินพุต และค่าความถี่เชิงมุมของการสวิตช์ซิ่ง (Switching frequency) ของวงจรเอชไอโอพีเออร์ ตามลำดับ ในการกำหนดค่าเฉลี่ยของส่วนประกอบความถี่ใช้งานที่ 50 เฮิรท์ ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกส่งผ่านไปยังโหลดด้านเอาต์พุต คือ โหลด  $R_L$  และส่วนประกอบของฮาร์โมนิกส์ (Harmonics Component) ซึ่งจะไม่ถูกส่งผ่านไปยังโหลดด้านเอาต์พุตโดยที่แรงดันค่านอินพุตที่จ่ายให้วงจรเอชไอโอพีเออร์ ถูกกำหนดให้เป็นไปดังสมการต่อไปนี้

$$v_s(t) = \sqrt{2} V_s \cos(\omega t) \quad (2-3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $V_s$  คือ ค่า RMS ของแรงดันด้านอินพุต โดยที่สวิทซ์ซิงฟังก์ชัน (Switching function) หาได้จากสมการดังต่อไปนี้ คือ

$$S(\omega_s t) = D + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2 \sin(kD\pi)}{k\pi} \cos(k\omega_s t) \quad (2-4)$$

เมื่อ  $D$  คือ ค่า ดิวตี้เรโซ ซึ่งค่าของ แรงดัน PWM  $v_r(t)$  หาได้จากการใช้สมการ

$$\begin{aligned} v_r(t) &= S(\omega_s t) v_s(t) \\ &= \sqrt{2} D V_s \cos(\omega t) + V_{rk} \cos[(k\omega_s \pm \omega)t] \end{aligned} \quad (2-5)$$

เมื่อ  $S(\omega_s t)$  คือ สวิทซ์ซิงฟังก์ชัน,  $k$  คือ ค่าอันดับที่ของฮาร์โมนิกส์ (Order of harmonics Component) และ  $V_{rk}$  คือ ค่าแรงดัน RMS ของส่วนประกอบฮาร์โมนิกส์ ของแรงดัน PWM  $V_{rk}$  หาได้จากสมการดังต่อไปนี้ คือ

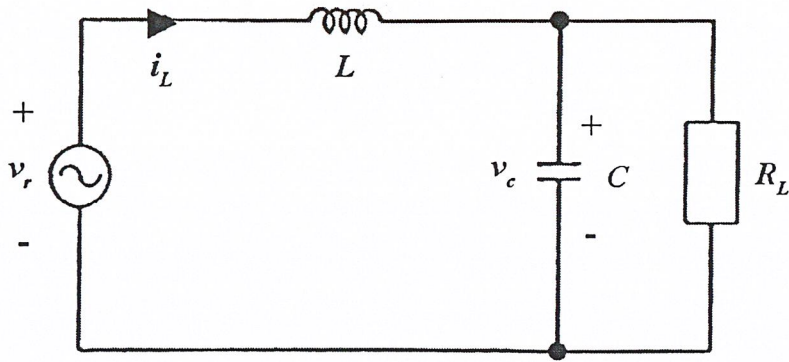
$$V_{rk} = \frac{V_s \sin(Dk\pi)}{k\pi} \quad (2-6)$$

การใส่ฟิลเตอร์ทางด้านเอาต์พุตจะช่วยลดฮาร์โมนิกส์ ซึ่งมาจากผลของกระแสที่เกิดตัวเหนี่ยวนำ และแรงดันเอาต์พุตที่ตัวเก็บประจุ โดยที่ผลรวมของตัวประกอบความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์ (Total Harmonics distortion factor : THD) จะถูกนิยามได้ด้วยสมการเป็นดังต่อไปนี้

$$THD_v = \frac{100}{V_f} \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} V_{rk}^2} [\%] \quad (2-7)$$

$$THD_i = \frac{100}{I_f} \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} I_{rk}^2} [\%] \quad (2-8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-34 รูปวงจรสมมูลของวงจรเอชซีชอปเปอร์

เมื่อ  $f$  คือ ค่าองค์ประกอบที่ความถี่ใช้งาน ,  $V_{cf}$  และ  $V_{ct}$  คือ ขนาดของค่าของส่วนประกอบความถี่ใช้งานที่ 50 เฮิร์ต และส่วนประกอบฮาร์โมนิกส์ของแรงดันเอาต์พุต  $v_c$  ,  $I_{Lf}$  และ  $I_{Lt}$  คือ ขนาดของค่าของส่วนประกอบความถี่ใช้งานที่ 50 เฮิร์ต และส่วนประกอบฮาร์โมนิกส์ของกระแสจากตัวเหนี่ยวนำ  $i_L$  ตามลำดับ จากวงจรสมมูลของวงจรเอชซีชอปเปอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2-34 ทำให้สามารถหาทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของแรงดันเอาต์พุต  $V_c(s)$  ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับแรงดัน PWM  $V_r(s)$  ซึ่งจะหาได้จาก

$$\frac{V_c(s)}{V_r(s)} = \frac{R_L}{sL + (1 + s^2 LC)R_L} \quad (2-9)$$

การหาค่าของแรงดันที่ความถี่ใช้งานที่ 50 เฮิร์ต  $V_{cf}$  ของแรงดันเอาต์พุต  $v_c$  หาได้โดยวิธีการประมาณค่าสมมติให้เป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$V_{cf} = \frac{R_L D V_s}{\sqrt{\omega^2 L^2 + (1 - \omega^2 LC)^2 R_L^2}} \approx D V_s \quad (2-10)$$

และให้  $k\omega \pm \omega \approx k\omega_s$  , ส่วนประกอบฮาร์โมนิกส์ของแรงดัน  $V_{ct}$  ของแรงดันเอาต์พุตมีค่าโดยประมาณได้ดังนี้คือ

$$V_{ct} \approx \frac{\sqrt{2} R_L V_{ct}}{\sqrt{k^2 \omega_s^2 L^2 + (1 - k^2 \omega_s^2 LC)^2 R_L^2}} \approx \frac{\sqrt{2} V_{ct}}{k^2 \omega_s^2 LC} \quad (2-11)$$

จากสมการ (3-10) และ (3-11)  $THD_v$  จะหาได้จาก

$$THD_v \approx \frac{100\sqrt{2}}{\pi \omega_s^2 LC} TH_t \quad (2-12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$TH_1 = \frac{1}{D} \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin^2(kD\pi)}{k^6}} \quad (2-13)$$

ดังนั้นผลรวมของตัวประกอบความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์  $THD_v$  ของแรงดันเอาต์พุต  $v_c$  จะขึ้นอยู่กับโพลความต้านทาน  $R_L$  อย่างไรก็ตามตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ จะมีผลอย่างมากต่อ  $THD_v$  ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของกระแสของตัวเหนี่ยวนำ  $I_L(s)$  ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับแรงดัน PWM  $V_r(s)$  หาได้จาก

$$\frac{I_L(s)}{V_r(s)} = \frac{1 + sCR_L}{sL + (1 + s^2 LC)R_L} \quad (2-14)$$

การหาค่าของกระแสที่ความถี่ใช้งานที่ 50 เฮิรท์  $I_{Lr}$  ได้โดยวิธีการประมาณค่าสมมติให้เป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้ ส่วนประกอบฮาร์โมนิกส์ของกระแส  $I_{Lk}$  ของกระแสตัวเหนี่ยวนำหาโดยวิธีการประมาณค่าได้ดังต่อไปนี้

$$I_{Lr} = \frac{\sqrt{1 + \omega^2 C^2 R_L^2}}{\sqrt{\omega^2 L^2 + (1 - \omega^2 LC)^2 R_L^2}} DV_s \approx \frac{DV_s}{R_L} \quad (2-15)$$

$$I_{Lk} \approx \frac{\sqrt{2}V_{rk}}{k\omega L} \quad (2-16)$$

ผลรวมของตัวประกอบความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์  $THD_i$  หาได้จาก

$$THD_i \approx \frac{100\sqrt{2}R_L}{\pi\omega L} TH_2 \quad (2-17)$$

เมื่อ

$$TH_2 \approx \frac{1}{D} \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin^2(kD\pi)}{k^4}} \quad (2-18)$$

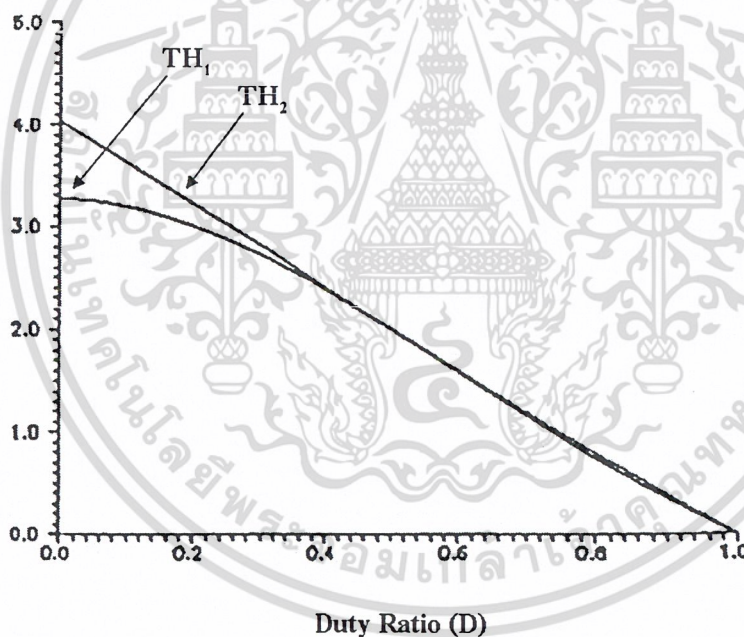
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นผลรวมของตัวประกอบความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกส์  $THD_i$  ของกระแสตัวเหนี่ยวนำจะไม่ได้ขึ้นอยู่กับตัวเก็บประจุ  $C$  ทางด้านเอาต์พุต โดยที่ค่าพารามิเตอร์ของตัวฟิลเตอร์สามารถที่จะออกแบบให้สอดคล้องกับค่า  $THD$  ที่ต้องการใช้ในระบบ โดยขนาดของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุจะหาได้โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$L = \frac{100\sqrt{2}R_L TH_2}{\pi\omega_s THD_i} \quad (2-19)$$

$$C = \frac{100\sqrt{2} TH_1}{\pi\omega_s^2 L THD_i} \quad (2-20)$$

การแทนค่าเชิงตัวเลขเพื่อคำนวณค่าของ  $TH_1$  และ  $TH_2$  ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับค่าคิวตี้เรโซ  $D$  ที่ใช้ในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุดังแสดงในรูปที่ 2-35



รูปที่ 2-35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคิวตี้เรโซกับค่า  $TH_1$  และ  $TH_2$

การใช้วงจรเอชซีเอชพีเปอร์ชนิดกลับขั้วได้สำหรับปรับสภาพแรงดันไฟฟ้าแรงดันเอาต์พุตจะถูกควบคุมผ่านทางหม้อแปลงชดเชยแรงดันที่ต่ออนุกรมกับแรงดันทางด้านอินพุต  $v_s$  ซึ่งเราจะได้ค่าเฉลี่ยโมเดลเบื้องต้นของช่วงเวลาของการแซมปลิง (Sampling period) ค่าแรงดัน ของส่วนประกอบฮาร์โมนิกส์ของแรงดัน PWM  $v_r$  จะถูกตัดทิ้งไปดังนั้นจะได้สมการดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Equations) ของระบบเป็นดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L \frac{di_L(t)}{dt} = DV_o - v_c(t) \quad (2-21)$$

$$C \frac{dv_c(t)}{dt} = i_L(t) - n \frac{v_o(t)}{R_L} \quad (2-22)$$

$$v_o(t) = v_{com}(t) + v_c(t) \quad (2-23)$$

$$v_{com}(t) = nv_c(t) \quad (2-24)$$

เมื่อ  $v_{com}(t)$  คือค่า แรงดันชดเชย และ  $n$  คือค่าอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงชดเชย

## 2.5 การมอดูเลตความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Modulation ; PWM)

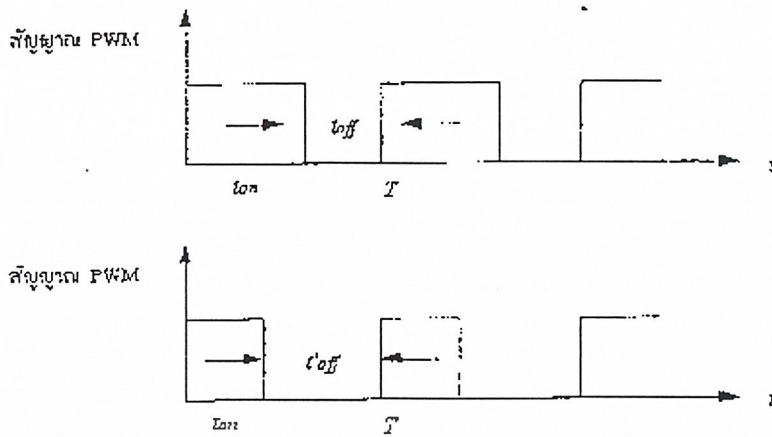
วิธีการมอดูเลตความกว้างของพัลส์

เทคนิคของการมอดูเลตความกว้างของพัลส์เปิดและปิด (on / off) เพื่อป้องกันให้กับทรานซิสเตอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิตช์เรียกว่า การมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse - Width Modulation) หรือเรียกสั้นๆ ว่า PWM ก็คือการเปลี่ยนรอบทำงาน (duty cycle , d) นิยามของ d

$$d = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \quad (2-25)$$

ปกติการเปลี่ยนค่า d สามารถกระทำได้โดยการมอดูเลต  $t_{on}$  หรือ  $t_{off}$  หรือมอดูเลตทั้ง  $t_{on}$  และ  $t_{off}$  วิธีการมอดูเลตความกว้างของพัลส์มี 2 รูปแบบ

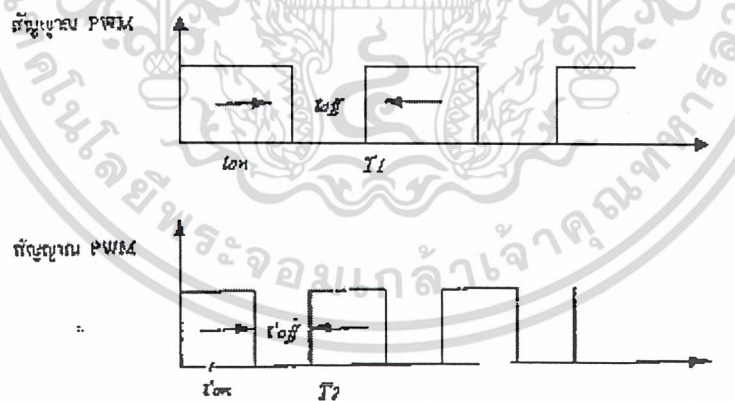
ความถี่คงที่ (fixed frequency) โดยการเปลี่ยนแปลงทั้ง  $t_{on}$  และ  $t_{off}$  ในขณะที่ให้คาบเวลาสวิตช์คงที่ (ความถี่คงที่) ดังรูปที่ 2-36



รูปที่ 2-36 วิธีการมอดูเลตความกว้างของพัลส์แบบความถี่คงที่

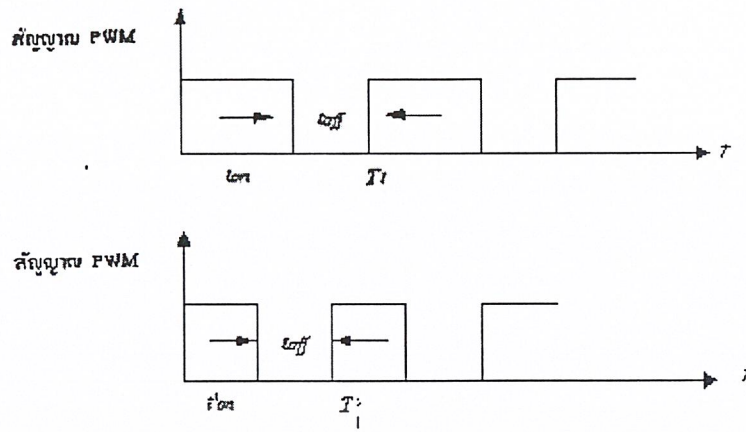
ความถี่เปลี่ยนแปลงได้ (variable frequency) สามารถกระทำได้โดย

- กำหนดให้  $t_{on}$  คงที่และแปรเปลี่ยน  $t_{off}$  ดังรูปที่ 2-37ก)
- กำหนดให้  $t_{off}$  คงที่และแปรเปลี่ยน  $t_{on}$  ดังรูปที่ 2-37 ข)
- แปรเปลี่ยนทั้ง  $t_{on}$  และ  $t_{off}$  ดังรูปที่ 2-37 ค)

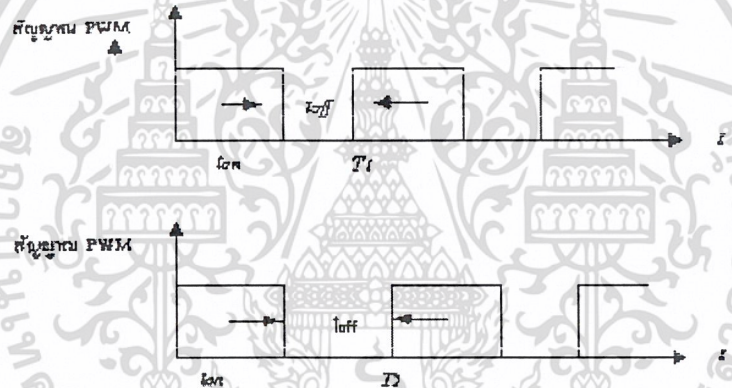


รูปที่ 2-37 ก)  $t_{on}$  คงที่ แปรเปลี่ยน  $t_{off}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-37 (ข)  $t_{off}$  คงที่ แปรเปลี่ยน  $t_{on}$



รูปที่ 2-37 (ค) แปรเปลี่ยนทั้ง  $t_{on}$  และ  $t_{off}$

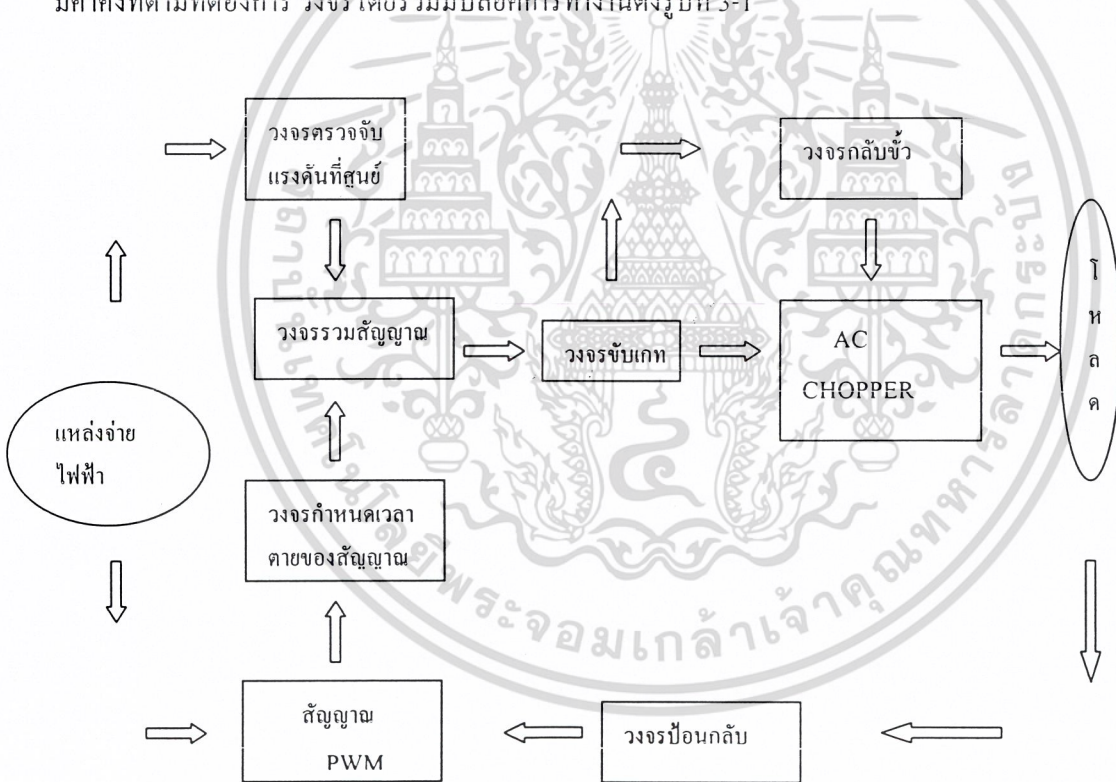
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## หลักการงานและการออกแบบวงจร

### 3.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายการทำงานในส่วนต่างๆ ของวงจรโดยจะเป็นการอธิบายหลักการงาน และเสนอแนวคิดในการออกแบบเพื่อให้ได้มาซึ่งการควบคุมที่ต้องการ โดยจะเริ่มจากการสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 20 กิโลเฮิรท์ที่สามารถปรับความถี่ไซเคิลได้ แล้วทำการนำสัญญาณนี้ไปทำให้เป็นสัญญาณ 2 สัญญาณที่มีเฟสตรงข้ามกัน และมีช่วงเวลาตายของสัญญาณ (Dead Time) ซึ่งกันและกันก่อนที่จะนำสัญญาณที่ได้นี้ไปรวมกับสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 50 เฮิรท์ ที่มีเฟสตรงกันกับแหล่งจ่ายจากการไฟฟ้าเพื่อให้ได้เอาท์พุทออกมาและนำเอาท์พุทนี้ไปเข้าวงจรขับเกท และแยกกราวด์เพื่อนำไปสั่งให้มอสเฟททำงานจ่ายแรงดันให้กับหม้อแปลงชดเชยต่อไป และหม้อแปลงชดเชยจะทำหน้าที่ในการควบคุมให้แรงดันโหลดมีค่าคงที่ตามที่ต้องการ วงจรโดยรวมมีบล็อกการทำงานดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 บล็อกการทำงานของวงจร

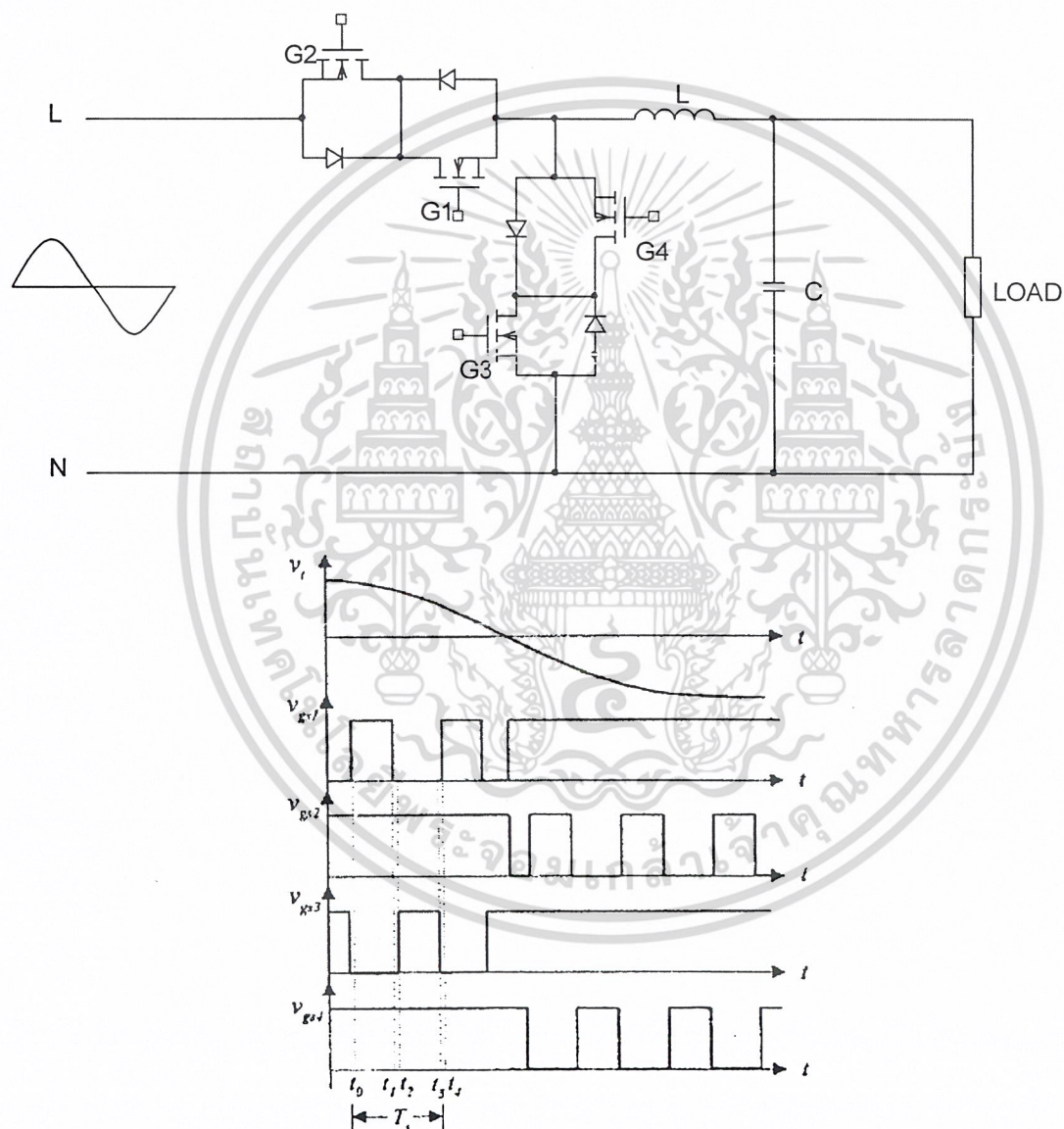
โดยการทำงานจะแยกอธิบายเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนวงจรกำลังและส่วนวงจรควบคุมโดยเริ่มจากส่วนวงจรกำลังก่อนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ส่วนวงจรสวิตช์กำลัง

#### 3.2.1 การทำงานของชุดเสริมหรือหักล้างแรงดัน

สำหรับวงจรสวิตช์กำลังได้มีการต่อใช้งานในแบบของวงจรสวิตช์สองทาง โดยใช้มอสเฟตกำลังเป็นอุปกรณ์สวิตช์ดังรูป



รูปที่ 3-2 วงจรสวิตช์กำลังแบบสวิตช์สองทางและสัญญาณขับเกท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

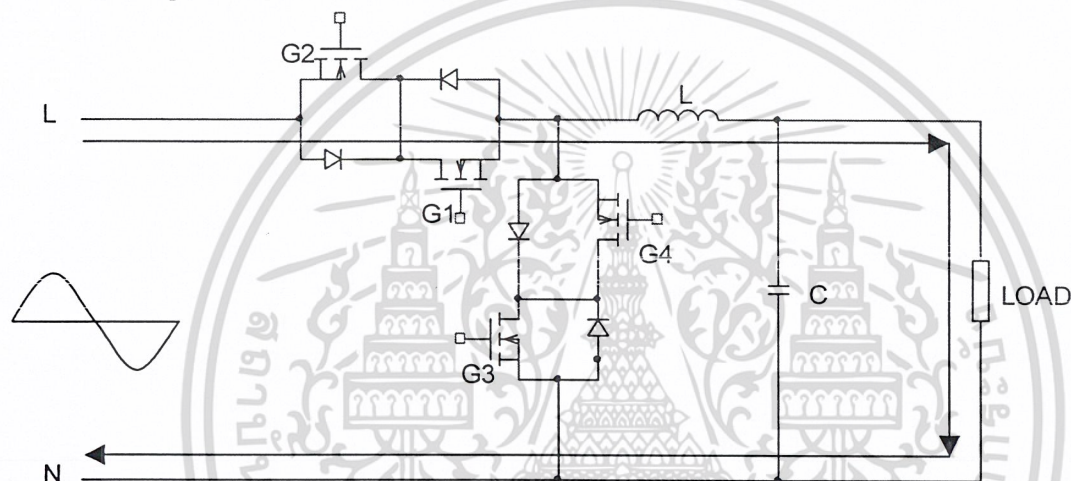
เพื่อที่จะให้กระแสไหลผ่านทางด้านอินพุทและเอาต์พุท โดยจะจัดให้เกิดการส่งถ่ายพลังงานไปยัง Load ( ใน Mode Active และ Free Wheeling ) และยังสามารถให้กระแสเลือกไหลผ่านทางอินพุทหรือเอาต์พุท โดยหลีกเลี่ยงการเกิด Current Spike ได้อีกด้วย ( ใน Mode Bypass ) ซึ่งจะอธิบายการทำงานในแต่ละ Mode ดังนี้

### 3.2.1.1 Active Mode

ในโหมดการทำงานนี้จะเป็นการทำงานเพื่อจ่ายพลังงานให้กับโหลดโดยจะจ่ายพลังงานทั้งในช่วงแรงดันเป็นบวกและแรงดันเป็นลบ ดังนั้นในโหมดนี้จะให้สวิตช์  $G_1$  และสวิตช์  $G_2$  มีการทำงานดังนี้

- เมื่อ  $V_s$  เป็นบวกและ  $I_L > 0$

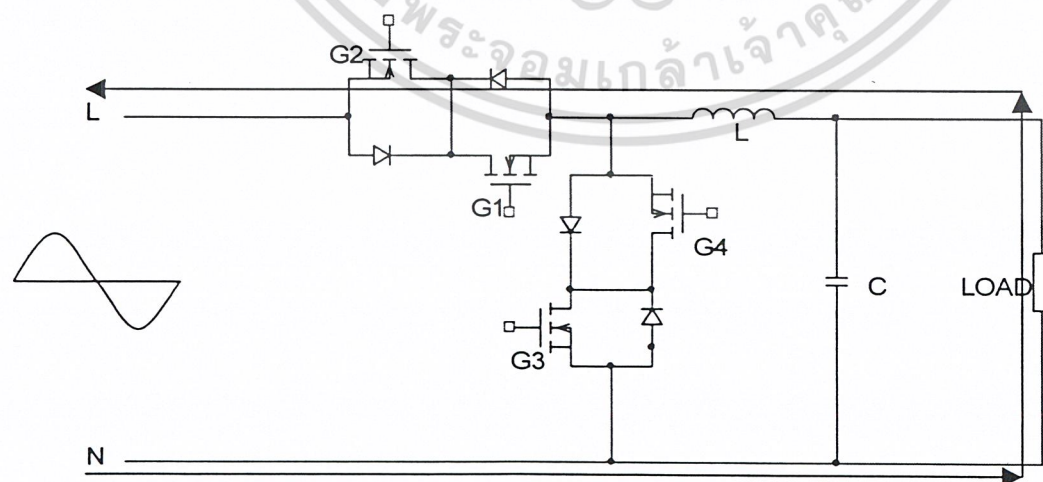
จะทำให้สวิตช์  $G_1$  ทำงานเพื่อจ่ายพลังงานให้ทางด้านโหลด โดยกระแสจะไหลผ่าน  $G_1$  และไดโอดที่คร่อม  $G_2$



รูปที่ 3-3 การทำงานของมอสเฟตเมื่อ  $V_s$  เป็นบวกและ  $I_L > 0$

- เมื่อ  $V_s$  เป็นลบและ  $I_L < 0$

จะทำให้สวิตช์  $G_2$  ทำงานเพื่อจ่ายพลังงานให้ทางด้านโหลด โดยกระแสจะไหลผ่าน  $G_2$  และไดโอดที่คร่อม  $G_1$



รูปที่ 3-4 การทำงานของมอสเฟตเมื่อ  $V_s$  เป็นบวกและ  $I_L < 0$

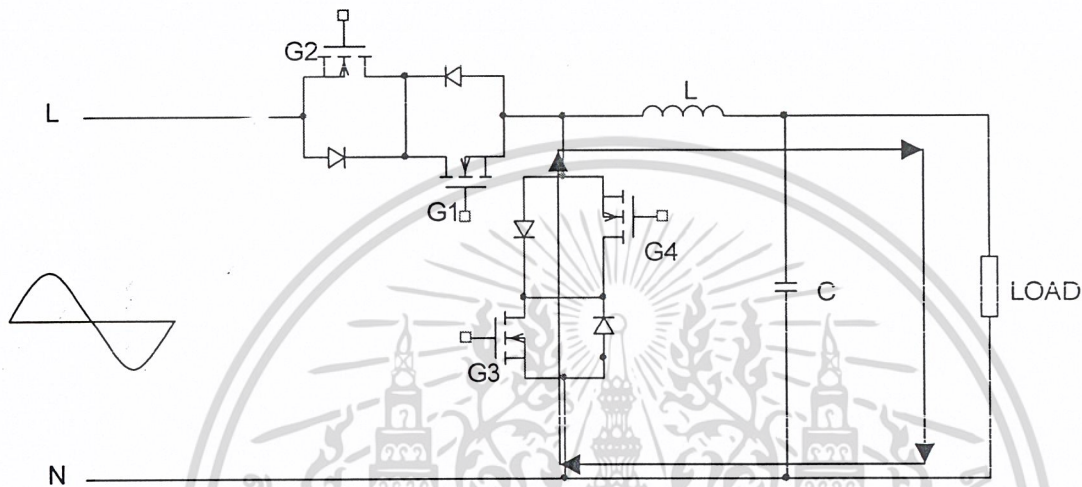
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1.2 Freewheeling Mode

ในโหมดนี้จะมีการทำงานในช่วงเวลาที่ตรงกันข้ามกับ Active Mode โดยในโหมดนี้จะทำให้พลังงานที่สะสมในขดลวดเกิดการคายพลังงานไปทางด้านโหลดต่อเนื่องจากช่วง Active Mode ดังนั้นในโหมดนี้จะให้สวิตช์  $G_3$  และสวิตช์  $G_4$  มีการทำงานดังนี้

- เมื่อ  $I_L > 0$

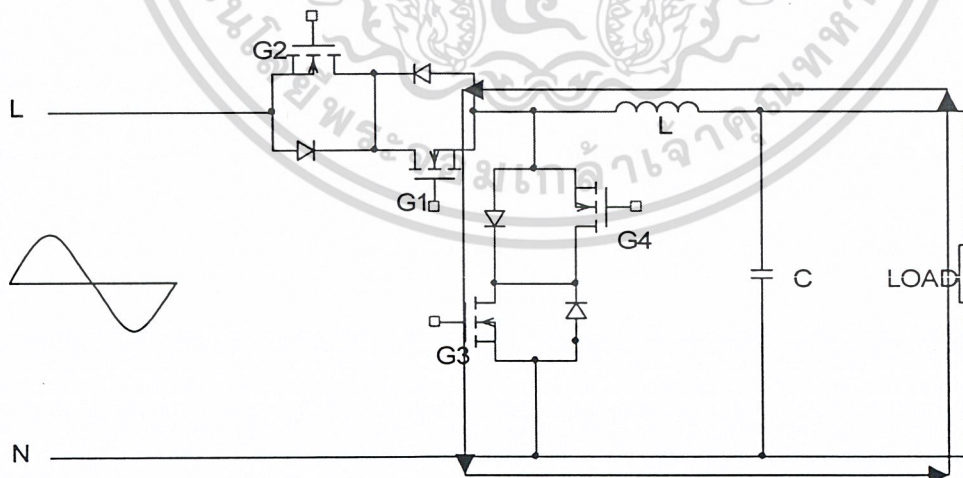
จะจัดให้สวิตช์  $G_4$  ทำงานเพื่อทำให้เกิดการครบรูปกระแสและกระแสจะยังคงไหลไปในทิศทางเดิมอย่างต่อเนื่องผ่านทางด้านเอาต์พุตและกลับมาครบรูปโดยผ่านไดโอดที่คร่อมสวิตช์  $G_3$  และสวิตช์  $G_4$



รูปที่ 3-5 การทำงานของมอสเฟตเมื่อ  $I_L > 0$

- เมื่อ  $I_L < 0$

จะจัดให้สวิตช์  $G_3$  ทำงานเพื่อทำให้เกิดการครบรูปกระแสและกระแสจะยังคงไหลไปในทิศทางเดิมอย่างต่อเนื่องผ่านทางด้านเอาต์พุตและกลับมาครบรูปโดยผ่านไดโอดที่คร่อมสวิตช์  $G_4$  และสวิตช์  $G_3$



รูปที่ 3-6 การทำงานของมอสเฟตเมื่อ  $I_L < 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

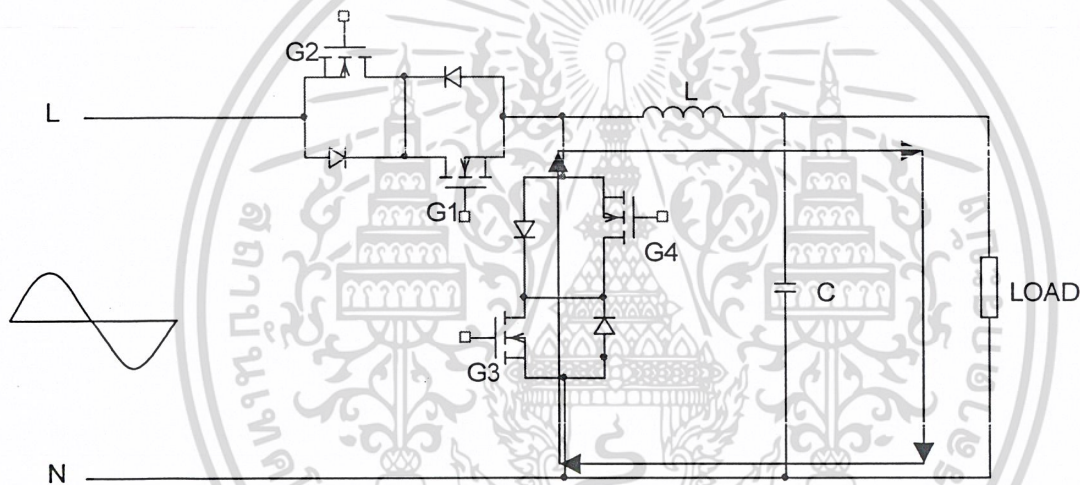
### 3.2.1.3 Bypass Mode

เนื่องจากถ้าโหลดมีค่าความเป็นตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งจะส่งผลให้กระแสอาจจะล้าหลังแรงดัน ดังนั้น เราจึงจำเป็นต้องสร้างเส้นทางไหลของกระแสไว้ล่วงหน้าเพื่อป้องกันการเกิด Spike ในวงจรอันเนื่องมาจากการทำงานของสวิตช์ ดังนั้นกระแสจะสามารถไหลผ่านไปได้ทั้งทางอินพุท และเอาต์พุทโดยขึ้นอยู่กับทิศทางกระแสของตัวเหนี่ยวนำโดยในโหมดนี้จะให้สวิตช์ทำงานเพิ่มอีกทีละ 2 ตัว และจะทำงานในช่วงเวลา Dead Time ของสวิตช์  $G_1$  กับสวิตช์  $G_3$  และสวิตช์  $G_2$  กับ สวิตช์  $G_4$  ซึ่งมีการอธิบายดังนี้ ( พิจารณาในช่วง Dead Time ข้างต้นที่กล่าวมาแล้ว )

- เมื่อ  $V_s$  เป็นบวก

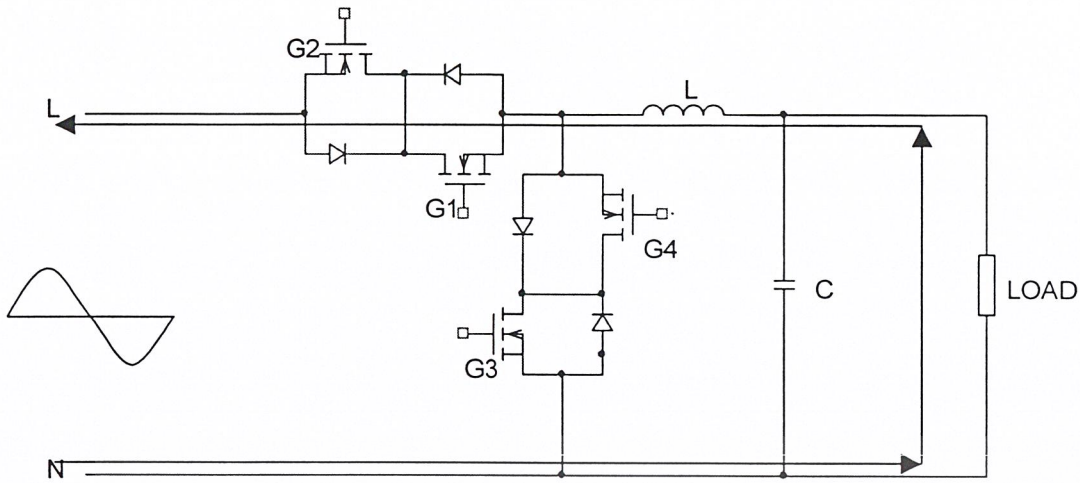
เราจะให้สวิตช์  $G_2$  และสวิตช์  $G_4$  ทำงานค้างไว้ตลอดช่วงที่  $V_s$  เป็นบวก เพราะขณะช่วง Dead Time ของสวิตช์  $G_1$  และสวิตช์  $G_3$

ถ้ากระแส  $I_L$  เป็นบวก : กระแสไหลผ่านทางด้านเอาต์พุทโดยผ่านไดโอดที่ล้อมสวิตช์  $G_3$  และสวิตช์  $G_4$



รูปที่ 3-7 การทำงานของมอสเฟทเมื่อ  $V_s$  เป็นบวกและ  $I_L$  เป็นบวก

ถ้ากระแส  $I_L$  เป็นลบ : กระแสไหลผ่านทางด้านอินพุทโดยผ่านไดโอดที่ล้อมสวิตช์  $G_1$  และสวิตช์  $G_2$

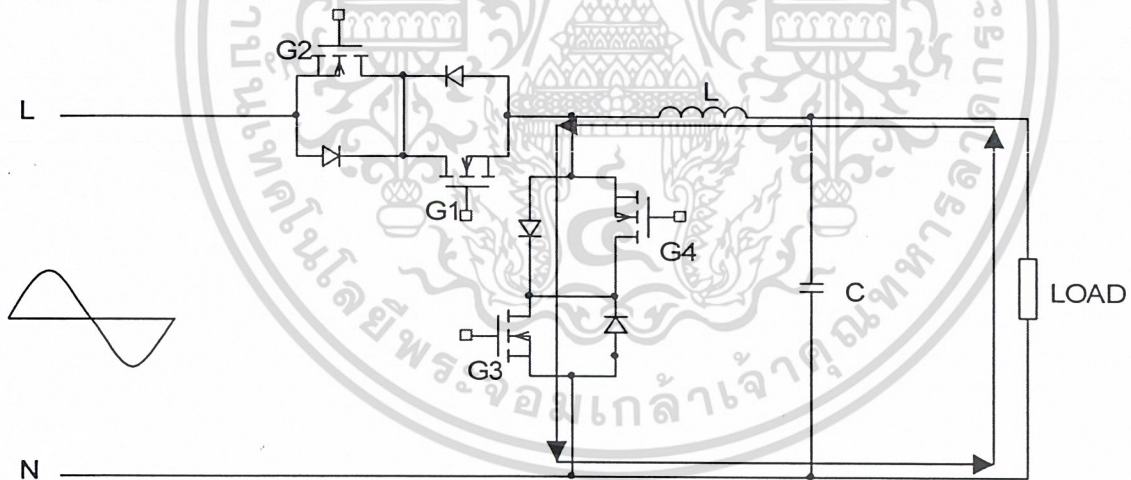


รูปที่ 3-8 การทำงานของมอสเฟตเมื่อ  $V_s$  เป็นบวกและ  $I_L$  เป็นลบ

-เมื่อ  $V_s$  เป็นลบ

เราจะให้สวิตช์  $G_1$  และสวิตช์  $G_3$  ทำงานค้างไว้ตลอดช่วงที่  $V_s$  เป็นลบ เพราะช่วง Dead time ของสวิตช์  $G_2$  และสวิตช์  $G_4$

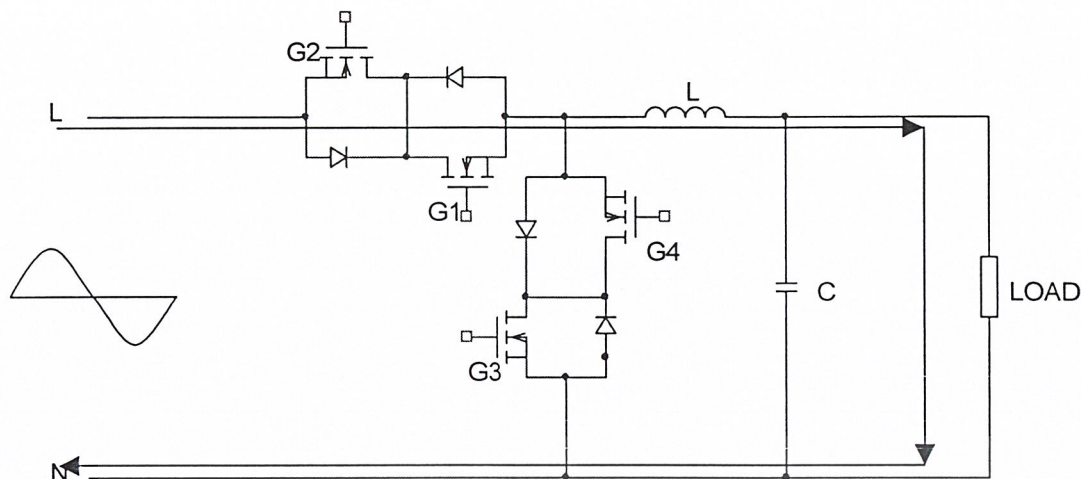
ถ้ากระแส  $I_L$  เป็นบวก : กระแสไหลผ่านทางด้านเอาต์พุตโดยผ่านไดโอดที่ล้อมสวิตช์  $G_4$  และสวิตช์  $G_3$



รูปที่ 3-9 การทำงานของมอสเฟตเมื่อ  $V_s$  เป็นลบและ  $I_L$  เป็นบวก

ถ้ากระแส  $I_L$  เป็นลบ : กระแสไหลผ่านทางด้านอินพุตโดยผ่านไดโอดที่ล้อมสวิตช์  $G_2$  และสวิตช์  $G_1$

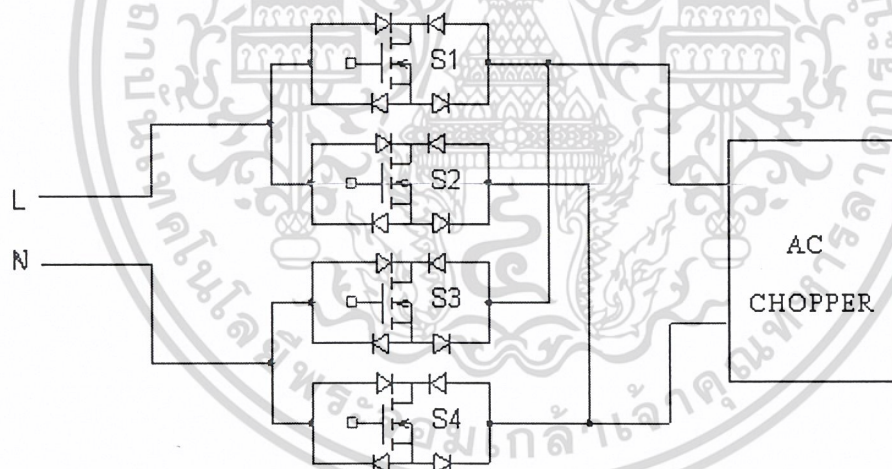
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-10 การทำงานของมอสเฟตเมื่อ  $V_s$  เป็นลบและ  $I_L$  เป็นลบ

### 3.2.2 การทำงานของชุดกลับขั้ว ( Change Polarity )

สำหรับวงจรสวิตช์กำลังได้มีการต่อใช้งานในแบบของวงจรสวิตช์กำลังร่วมกับอัลตราฟาสไดโอด โดยใช้มอสเฟตกำลังเป็นอุปกรณ์สวิตช์ดังรูป

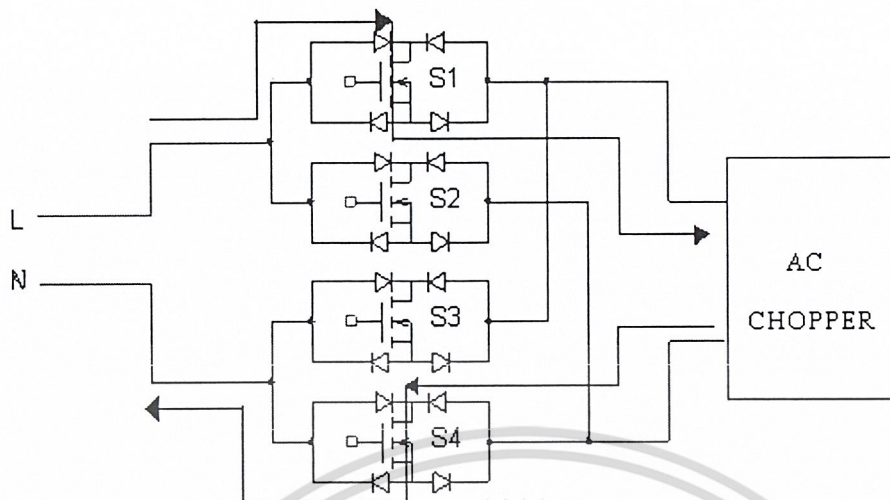


รูปที่ 3-11 ชุดวงจรสวิตช์กำลังกลับขั้วเสริมและหักล้างแรงดัน

#### 2.2.1 การทำงานสภาวะเสริมแรงดัน

เมื่อแรงดันทางด้านอินพุตตกชุดคอนโทรลจะสั่งให้สวิตช์  $S_1$  และ  $S_4$  ทำงานกระแสจะไหลผ่าน ไดโอดและสวิตช์  $S_1$  เข้าสู่ AC Chopper ไปเสริมแรงดันให้กับโหลด

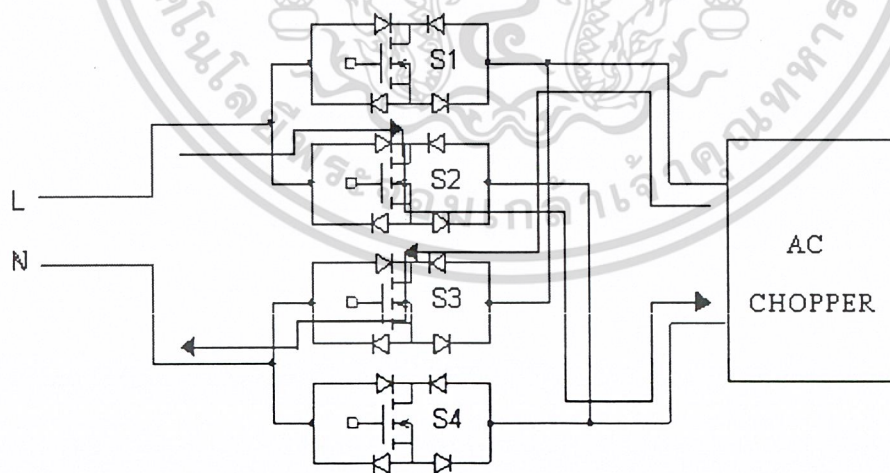
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-12 การทำงานวงจรสวิตซ์กำลังเพื่อเสริมแรงดัน

### 3.2.2.2 การทำงานสภาวะหักล้างแรงดัน

เมื่อแรงดันทางดำนอินพุตเกินขีดคอนโทรลจะสั่งให้สวิตซ์  $S_2$  และ  $S_3$  ทำงานกระแสจะไหลผ่านไดโอดและสวิตซ์  $S_3$  เข้าสู่ AC Chopper ไปหักแรงดันให้กับโหลด



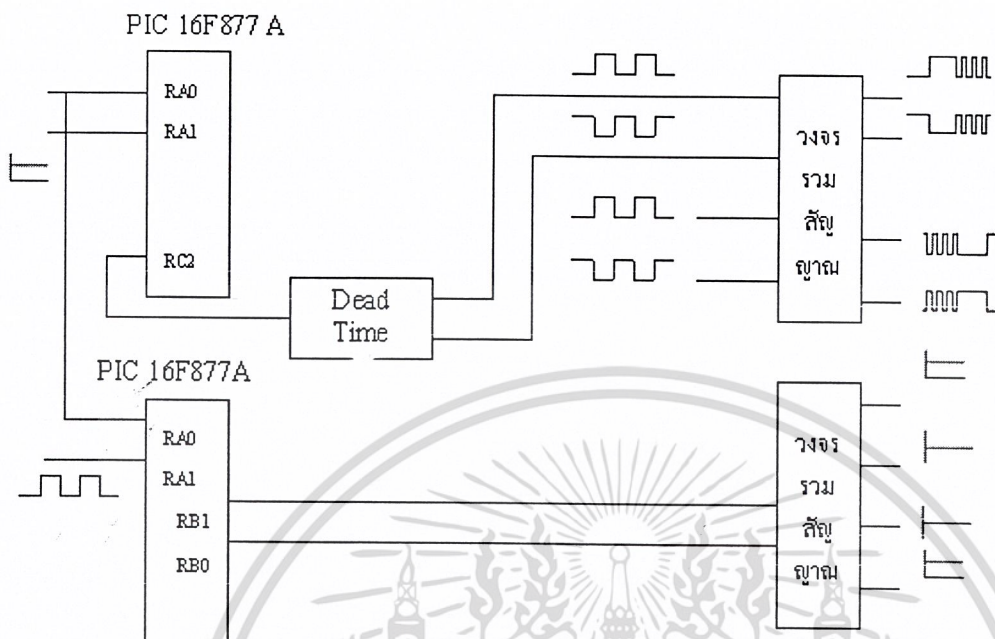
(b)

รูปที่ 3-13 การทำงานวงจรสวิตซ์กำลังเพื่อหักล้างแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ส่วนวงจรควบคุม

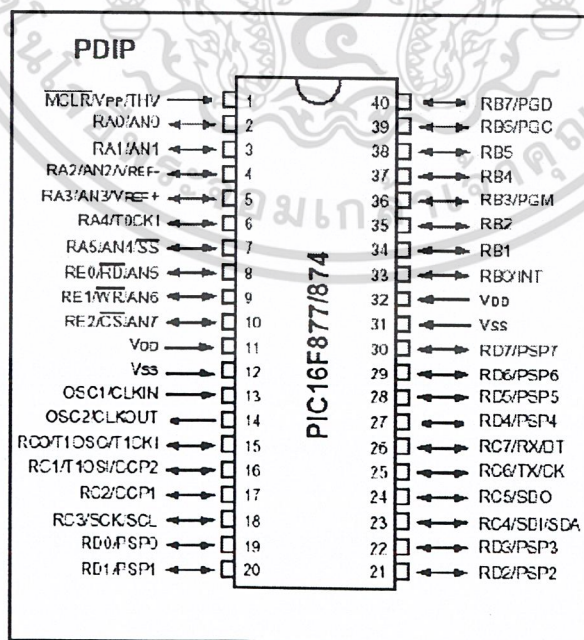
ในส่วนของวงจรควบคุมจะแยกอธิบายเป็นวงจรต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 3-14 วงจรควบคุม

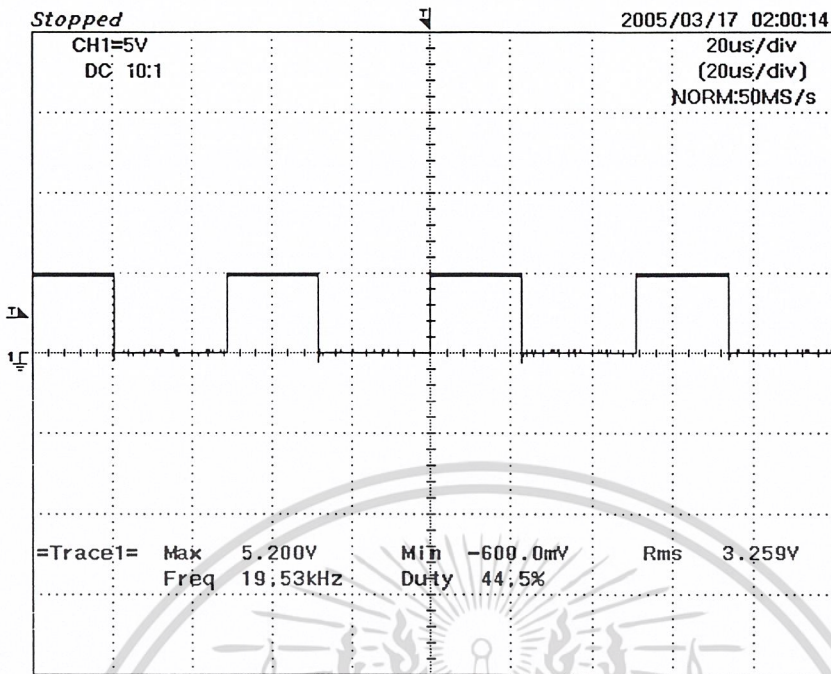
#### 3.3.1 การสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 20 HKz ที่สามารถปรับ Duty cycle ได้

เนื่องจากสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์สวิตซ์ต้องการสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 20 kHz และสามารถปรับ Duty cycle ได้โดยอัตโนมัติสามารถสร้างได้จากการเขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC 16F877A)



รูปที่ 3-15 แสดงลักษณะการจับขาของ PIC16F877

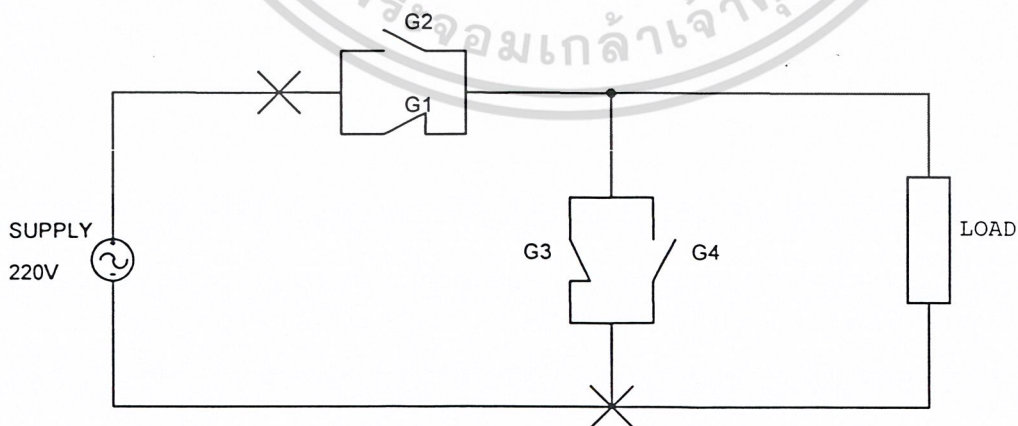
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-16 สัญญาณเอาต์พุตจากไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC16F877) สามารถปรับ Duty cycle ได้

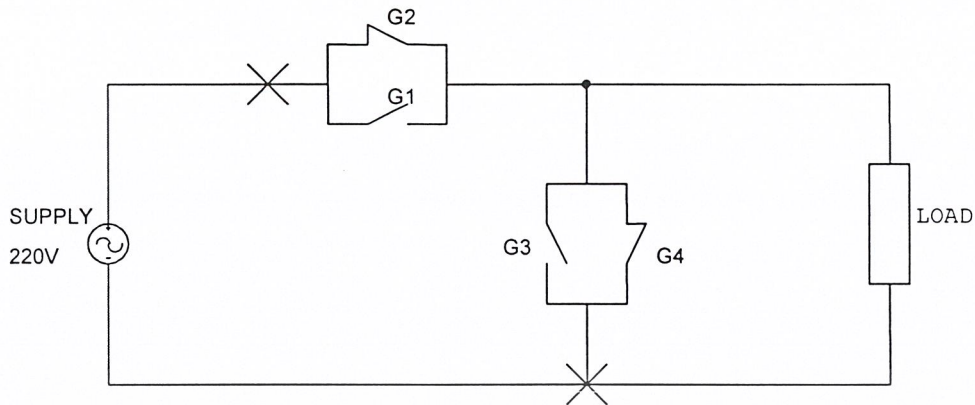
### 3.3.2 วงจรกำหนดค่าเวลาตายของสัญญาณ (Dead time)

จากรูปคลื่นของสัญญาณขับเกทที่ต้องการ (จากรูปที่ 3-2) จะพบว่า  $G_1$  และ  $G_3$  จะมีเฟสที่ตรงข้ามกันและ  $G_2$  กับ  $G_4$  ก็มีเฟสกลับกันด้วยเนื่องจากว่าวงจรสวิตช์กำลังมีการทำงานแบบสวิตช์สองทาง และมีสวิตช์อีกสองตัวทำงานในโหมดฟรีวิลลิ่งและโหมดบายพาส ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องมีการให้สัญญาณ  $G_1$  และ  $G_3$  และ  $G_2$  กับ  $G_4$  ต้องมีช่วงเวลาตายของสัญญาณ (Dead time) ด้วยซึ่งเวลาตายของสัญญาณก็คือ ช่วงเวลาที่ไม่มีการสวิตช์ตัวใดทำงานเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการลัดวงจรระหว่างสายไลน์กับสายนิวทรัล



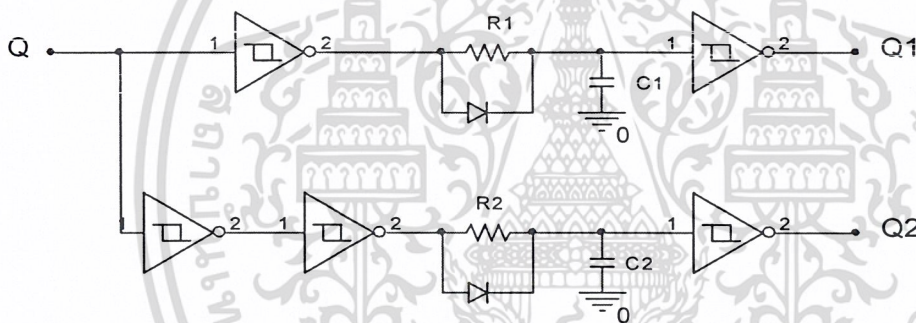
รูปที่ 3-17 การลัดวงจรเมื่อ  $G_1$  กับ  $G_3$  ทำงานพร้อมกันโดยไม่มีเวลาตาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



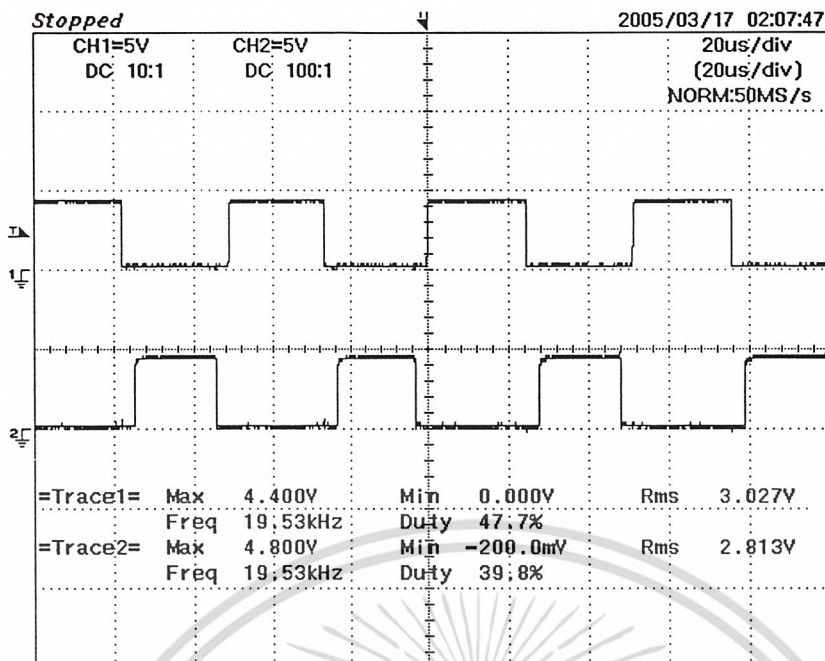
รูปที่ 3-18 การลัดวงจรเมื่อ G2 กับ G4 ทำงานพร้อมกันโดยไม่มีเวลาตาย

โดยการต่อใช้งานวงจรกำหนดค่าเวลาตายของสัญญาณมีดังรูปที่ 3-17



รูปที่ 3-19 การต่อวงจรกำหนดเวลาตายของสัญญาณ

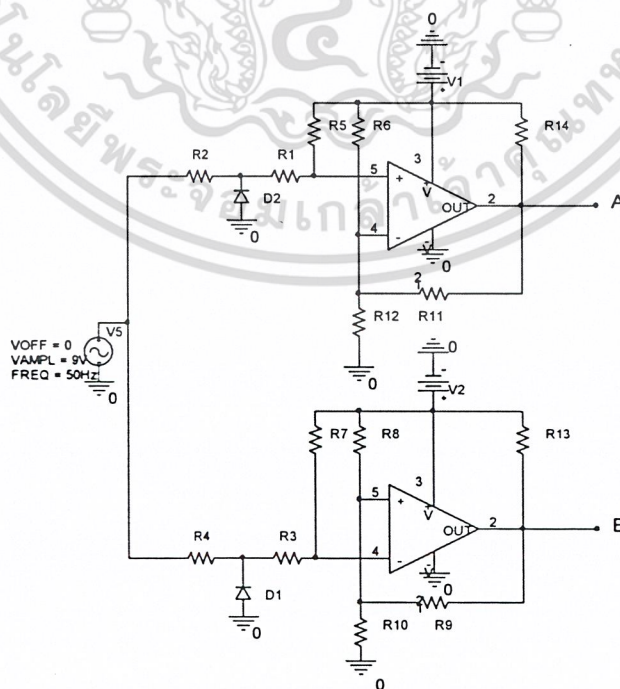
โดยคุณสมบัติเฉพาะของวงจรมีจะกำหนดให้เมื่อนำอินพุตเข้าไป 1 อินพุต จะสามารถให้อาท์พุตออกมา 2 เอาท์พุตที่มีช่วงเวลาตายของสัญญาณที่สามารถปรับได้ และยังให้สัญญาณ ทั้ง 2 ชุดนี้มีเฟสที่ต่างกัน 180 องศาด้วย ดังรูปที่ 3-20



รูปที่ 3-20 สัญญาณอินพุทของวงจรกำหนดเวลาตายของสัญญาณ

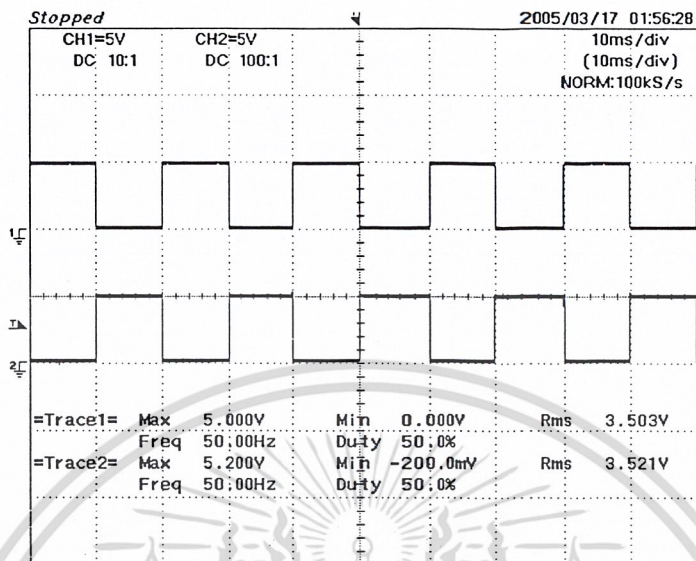
### 3.3.3 วงจรสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 50 เฮิรตซ์ และมีเฟสตรงกันแหล่งจ่าย

เนื่องจากเราต้องการสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 50 เฮิรตซ์ และมีเฟสตรงกันแหล่งจ่าย ดังนั้นวิธีที่ง่ายที่สุด และได้ผลดีที่สุด คือ การใช้วงจรตรวจจับจุดแรงดันศูนย์ (Zero Crossing Detector) ซึ่งมีการต่อวงจรใช้งานดังรูปที่ 3-21



รูปที่ 3-21 การต่อวงจรสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 50 เฮิรตซ์ และมีเฟสตรงกันแหล่งจ่าย

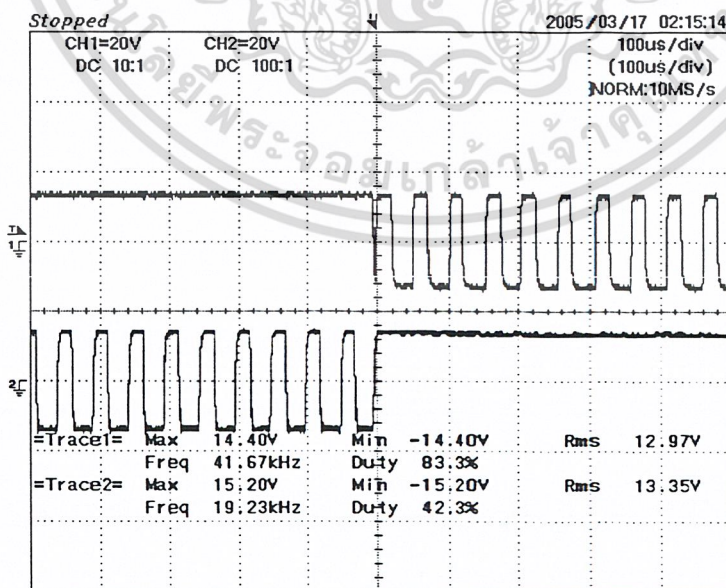
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-22 เอาท์พุทจากวงจรสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 50 Hz และมีเฟสตรงกับแหล่งจ่าย ซึ่งสัญญาณนี้จะนำไปรวมกับสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 20 kHz ต่อไป

### 3.3.4 วงจรผสมสัญญาณความถี่ 20 กิโลเฮิร์ต กับ ความถี่ 50 เฮิร์ต

แนวคิดในการผสมสัญญาณที่ง่ายที่สุด คือ “ วงจรล็อกจิก ” เพราะสามารถทำงานได้แม่นยำและยังง่ายต่อการออกแบบอีกด้วย เมื่อสัญญาณผ่านการผสมแล้วจะได้สัญญาณเอาท์พุทดังรูปที่ 3-23



รูปที่ 3-23 เอาท์พุทที่ได้จากวงจรรวมสัญญาณความถี่ 20 kHz กับ ความถี่ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.5 วงจรควบคุมการทำงานสวิตช์

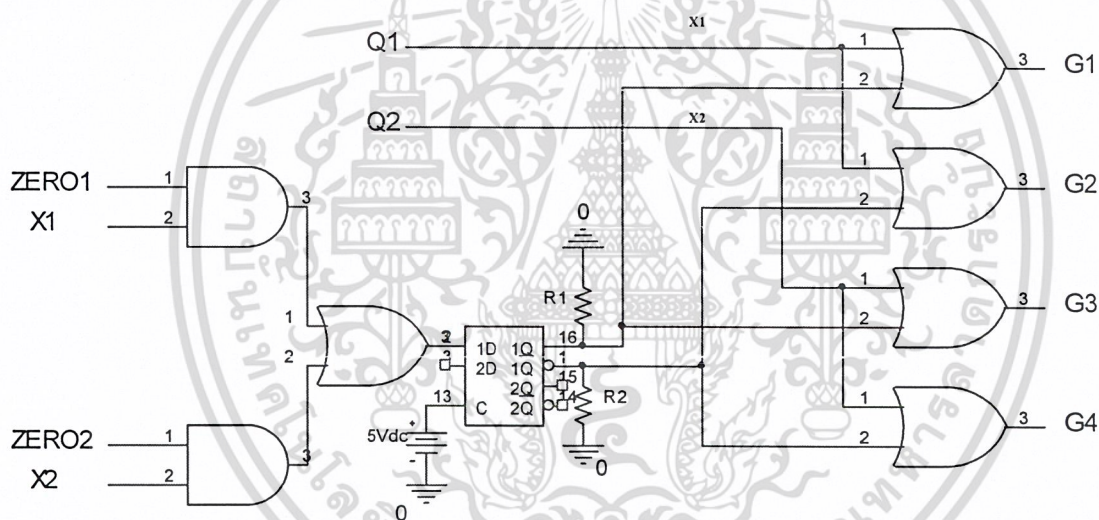
#### 3.3.5.1 การควบคุมการสลับขั้วเสริมหรือหักล้างแรงดัน

การสลับขั้วของแรงดันเราจะสั่งให้วงจรสลับขั้วเมื่อค่ากระแสสลับมีค่ากระแสเท่ากับ 0 แอมป์เท่านั้น และสวิตช์ทุกตัวจะต้อง OFF ก่อนทำการกลับขั้ว

การทำงานของวงจรแรงดันป้อนกลับจะถูกส่งผ่านมาที่ขั้วกลับขั้วเพื่อแยกสภาวะให้ทำงาน ON , OFF ด้วยชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งนำพัลส์ที่คอนโทรลมาจากการนำ Zero Crossing มาเอ็กซ์คลูซิฟออร์กัน

#### 3.3.5.2 วงจรควบคุมการทำงานชุดเปลี่ยนแปลงแรงดัน

การทำงานของชุดควบคุมนี้จะต้องสัมพันธ์กับชุดสลับขั้ว โดยเมื่อวงจรเปลี่ยนสภาวะจากเสริมเป็นหักล้างหรือจากหักล้างเป็นเสริมแรงดันจะต้องกลับชุด Zero Crossing ด้วยเพื่อให้แรงดันจากอินพุตอินเฟส กับสัญญาณไคร์ฟของชุดควบคุมขนาดแรงดัน



รูปที่ 3-24 วงจรควบคุมการทำงานชุดเปลี่ยนแปลงแรงดัน

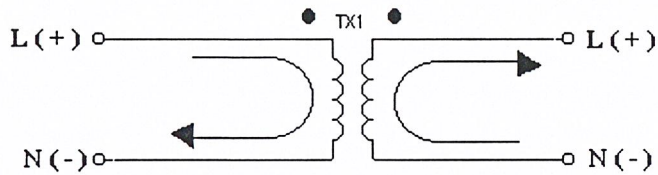
การทำงานของวงจรจะรวมสัญญาณ Zero Crossing กับสัญญาณควบคุมที่มาจากชุดสลับขั้วไปควบคุม ดี-ฟลิปฟล็อป ไปซิฟเฟสของ Zero Crossing ให้อินเฟสกับแรงดันอินพุต

### 3.3.6 หม้อแปลงชดเชยแรงดัน ( Transformer compensate )

ก่อนอื่นควรเข้าใจก่อนว่า สำหรับตัวหม้อแปลงเองจะมีพารามิเตอร์ที่สำคัญอยู่ตัวหนึ่งที่มีผลต่อการต่อใช้งาน นั่นคือ “ คีอท ” (Dot) ซึ่งความหมายของคีอท คือ จุดสำหรับใช้อ้างอิงเพื่อใช้ในการกำหนดเฟสแรงดันของหม้อแปลง ดังนี้

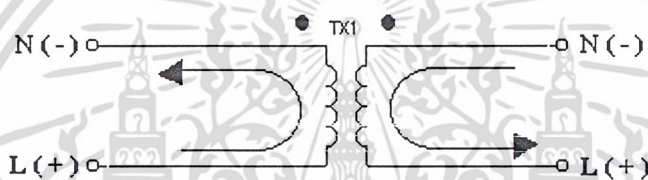
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถ้ากำหนดให้กระแสไหลเข้าค็อตทางด้านปฐมภูมิ กระแสจะไหลออกจาค็อตทางด้านทุติยภูมิ ด้วย



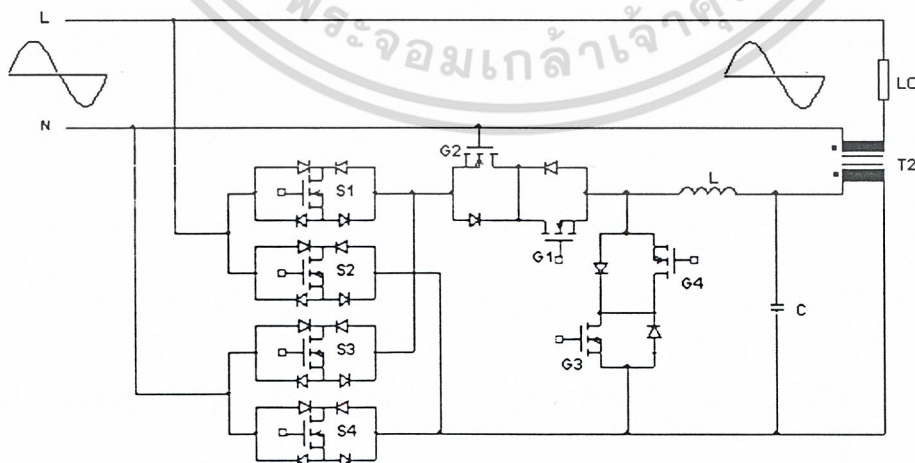
รูปที่ 3-25 รูปแสดงการกำหนดเฟสของหม้อแปลงเมื่อกระแสไหลเข้าค็อต

- ถ้ากำหนดให้กระแสไหลออกจาค็อตทางด้านปฐมภูมิ กระแสจะไหลเข้าค็อตทางด้านทุติยภูมิ ด้วย ดังรูปที่ 3-26



รูปที่ 3-26 รูปแสดงการกำหนดเฟสของหม้อแปลงเมื่อกระแสไหลออกจาค็อต

ดังนั้นในส่วนของหม้อแปลงชดเชยจึงมีการต่อวงจรร่วมกันกับแหล่งจ่ายจากการไฟฟ้าเพื่อทำการรักษาระดับแรงดันที่โหลดให้คงที่ดังรูปที่ 3-27

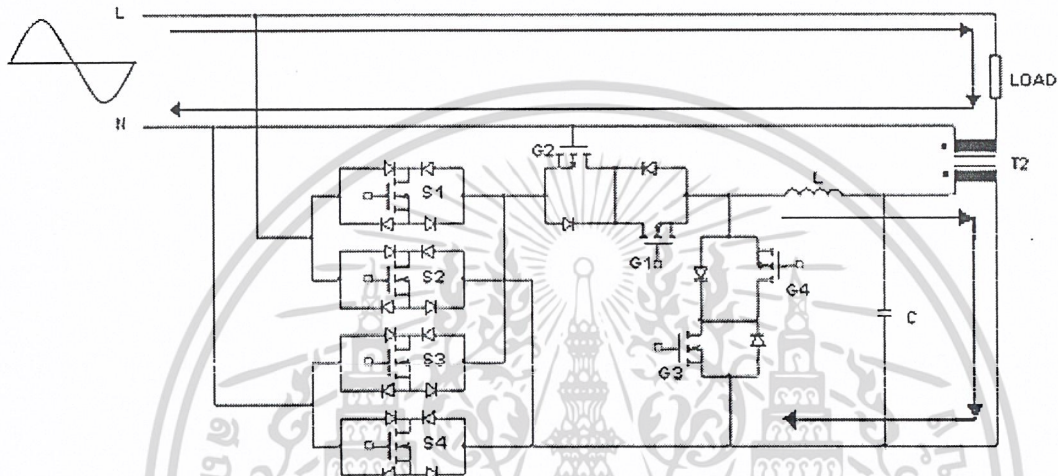


รูปที่ 3-27 การต่อหม้อแปลงชดเชยร่วมในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

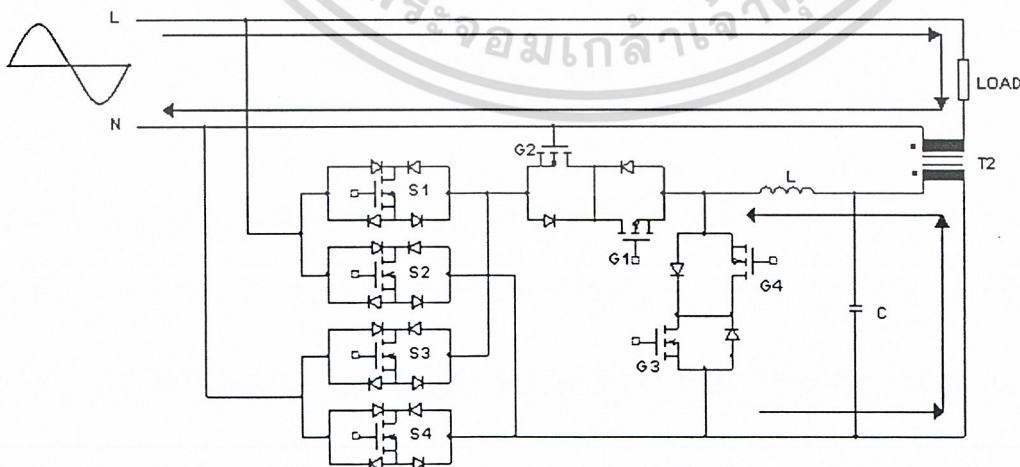
การทำงานของวงจรจะทำการจ่ายแรงดันเสริมกับแหล่งจ่าย ถ้าหากแรงดันจากการไฟฟ้าต่ำกว่าที่โหลดต้องการ และจะทำการจ่ายแรงดันหักล้างกับแหล่งจ่าย ถ้าหากแรงดันจากการไฟฟ้าสูงกว่าที่โหลดต้องการ โดยเราสามารถควบคุมการเสริม หรือการหักล้างแรงดันได้โดยการกลับเฟสที่จ่ายไฟเลี้ยงหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิ 180 องศา และ กลับเฟสของสัญญาณขับเกท 180 องศาด้วย

โดยเมื่อสถานะที่แรงดันไฟฟ้าตก หม้อแปลงชดเชยแรงดันจะต้องจ่ายแรงดันเข้าไปเสริมขึ้นกับแหล่งจ่าย โดยให้สวิตซ์ตัวที่ 1 และ 4 ทั้งสองตัวทำงานจะได้ทิศทางของเวกเตอร์ดังรูปที่ 3-28



รูปที่ 3-28 ทิศทางของเวกเตอร์เมื่อมีการจ่ายแรงดันเสริม

ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันที่หม้อแปลงชดเชยมีทิศทางเสริมกับแหล่งจ่าย และในทางกลับกันเมื่อสถานะที่แรงดันเกินหม้อแปลงชดเชยแรงดันจะต้องจ่ายแรงดันเข้าไปหักล้างกับแหล่งจ่าย โดยให้สวิตซ์ตัวที่ 2 และ 3 ทั้งสองตัวทำงาน ซึ่งจะมีทิศทางของเวกเตอร์ดังรูปที่ 3-29



รูปที่ 3-29 ทิศทางของเวกเตอร์เมื่อมีการจ่ายแรงดันหักล้าง

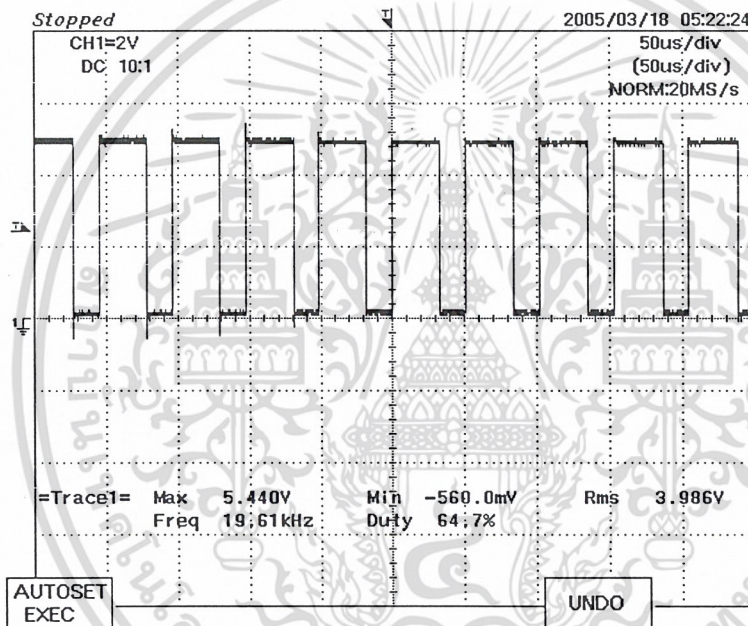
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

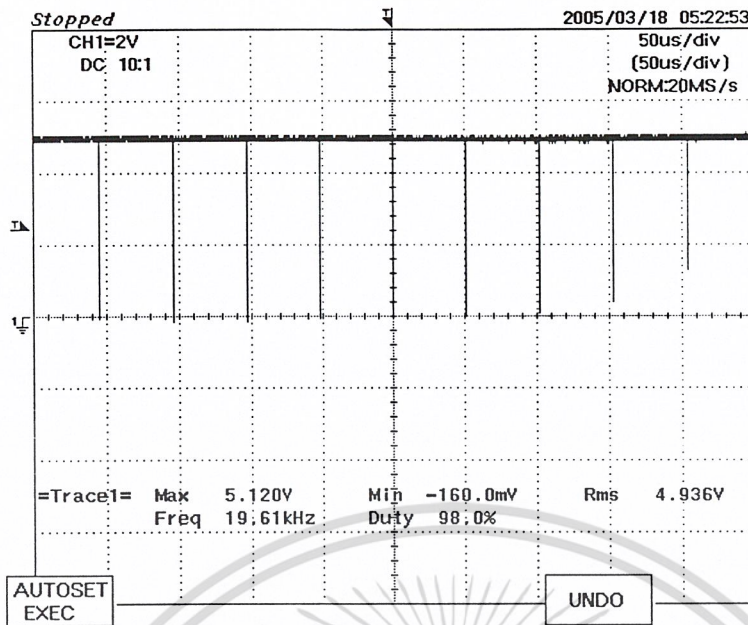
### ผลการทดลอง

#### 4.1 การทดลองวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ 20 KHz

สัญญาณนี้จะสร้างมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยโปรแกรมจะกำหนดให้สัญญาณมีความถี่ 20 KHz และค่าควิตซ์ไซ์จะเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาตามระดับการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่โหลด

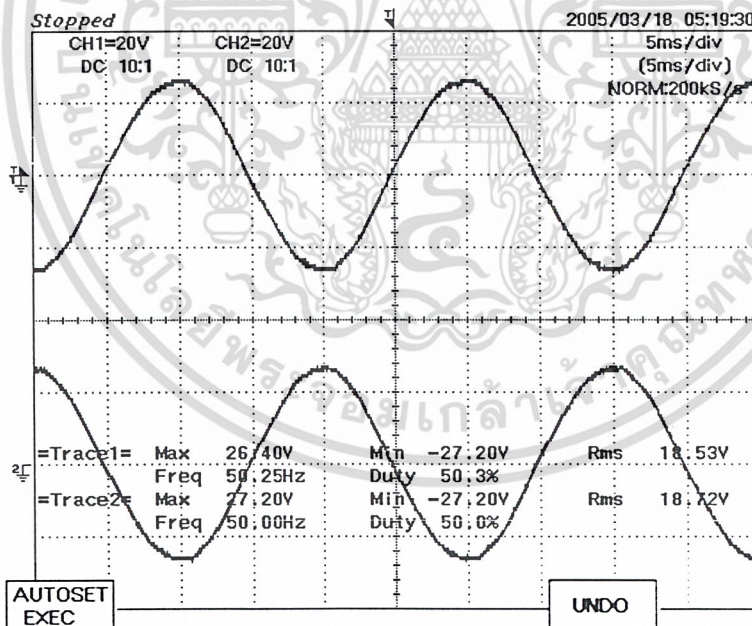


รูป 4.1 แสดงสัญญาณ PWM ความถี่ 20 KHz มีค่าควิตซ์ไซ์เท่ากับ 64.7 %



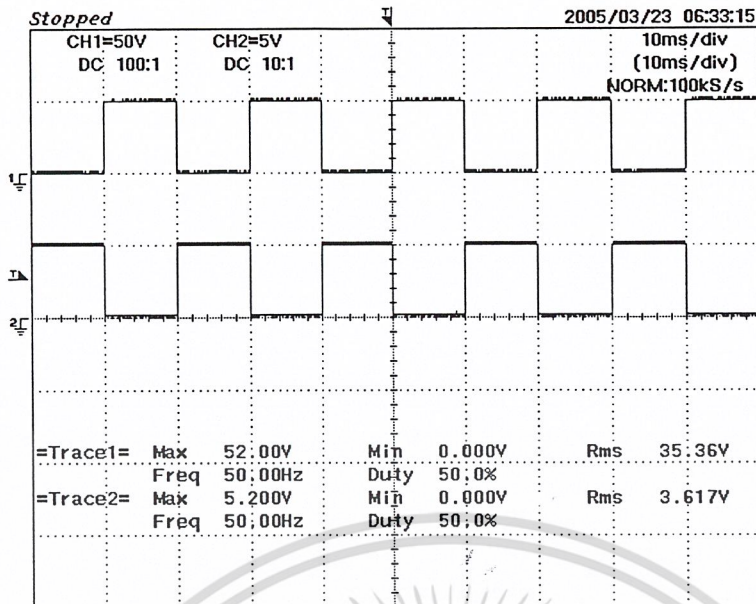
รูป 4.2 แสดงสัญญาณ PWM ความถี่ 20 KHz มีค่าความถี่สูงสุดเท่ากับ 98 %

#### 4.2 การทดลองวงจร Zero Crossing



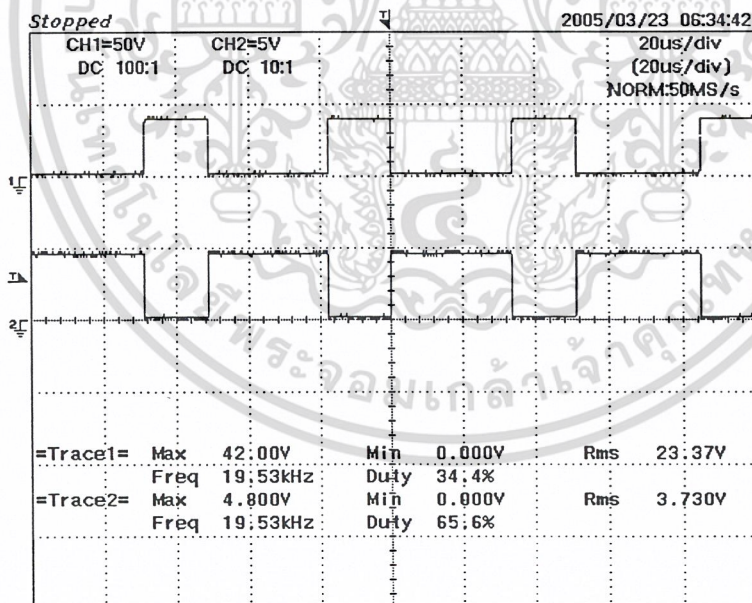
รูป 4.3 แสดงสัญญาณอินพุตของชุด zero crossing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-4 สัญญาณจากชุด zero crossing

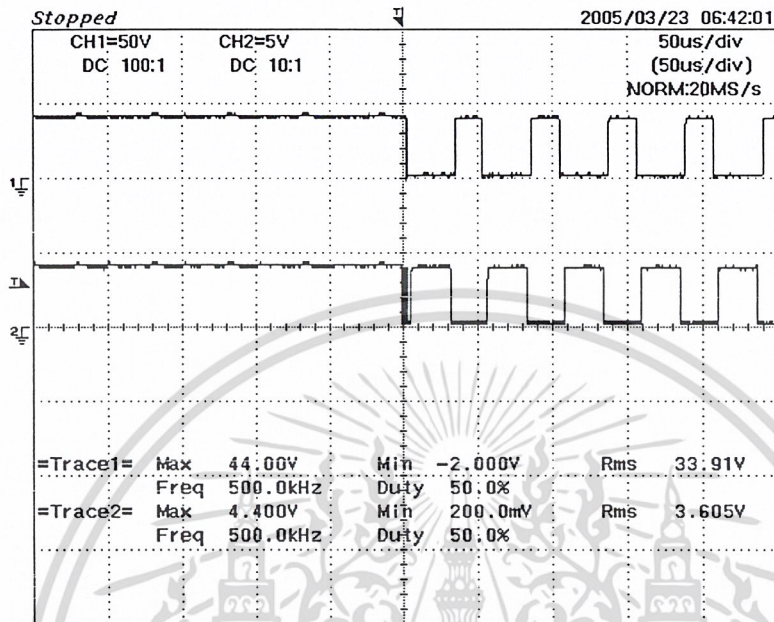
## 4.3. การทดลองวงจร Dead time



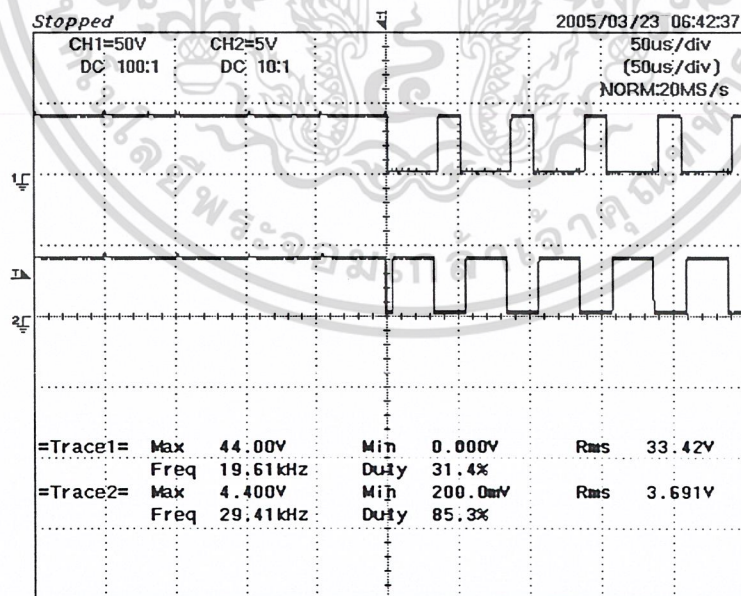
รูปที่ 4-5 สัญญาณจากชุด Dead time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4. การทดลองวงจรรวมสัญญาณ

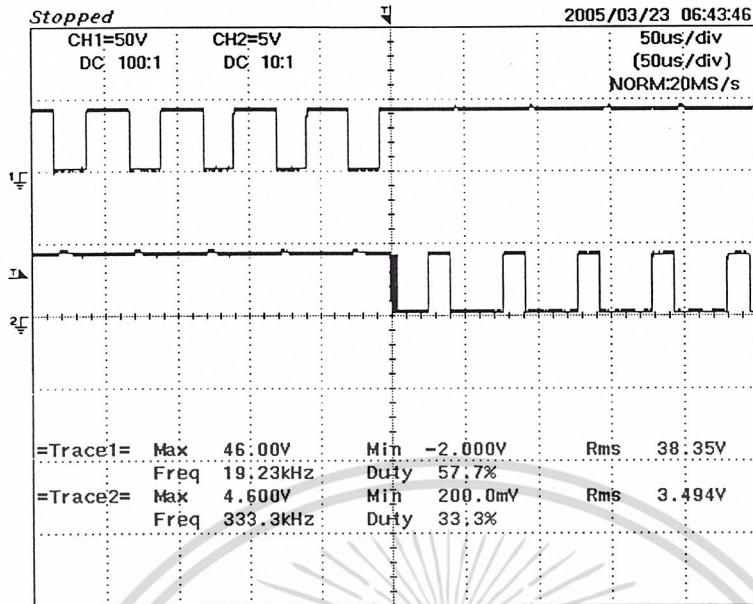


รูป 4-6 แสดงการรวมสัญญาณของสัญญาณสี่เหลี่ยม 50 Hz และสัญญาณ PWM 20KHz เพื่อใช้ขับเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 1 และ 3



รูป 4-7 แสดงการรวมสัญญาณของสัญญาณสี่เหลี่ยม 50 Hz และสัญญาณ PWM 20KHz เพื่อใช้ขับเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 2 และ 4

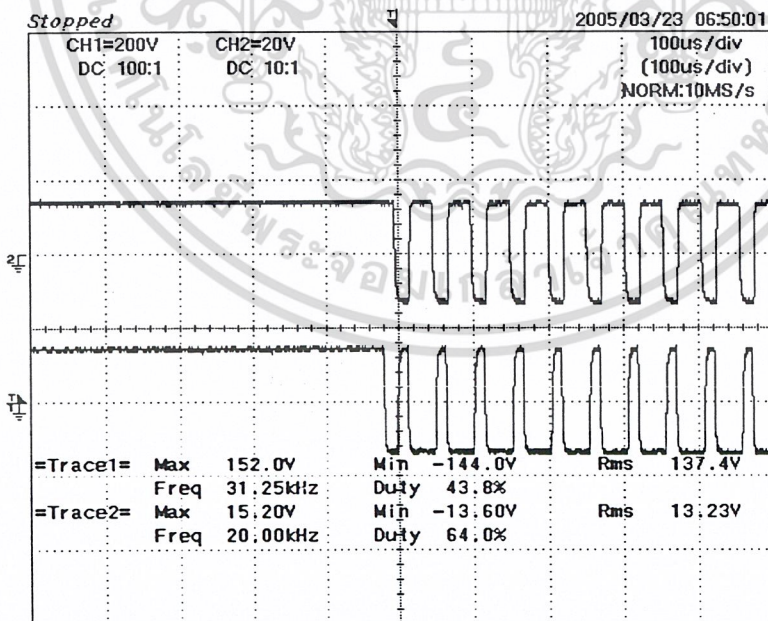
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4-8 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณขับเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 1 และ 2

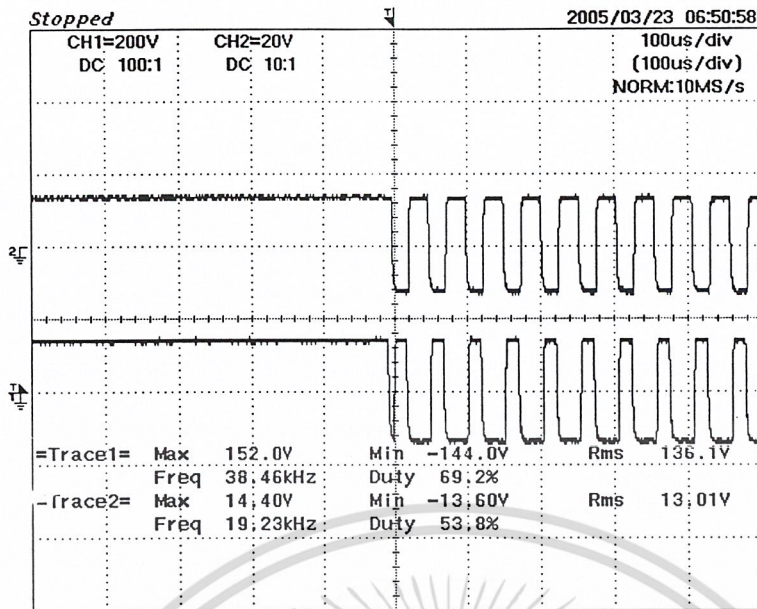
#### 4.5 การทดลองวงจร Drive & Isolate

เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตทั้ง 4 ยังไม่สามารถที่จะไปขับมอสเฟตได้โดยตรง ดังนั้นจึงต้องนำสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรรวมสัญญาณมาผ่านวงจร Drive & Isolate เสียก่อน

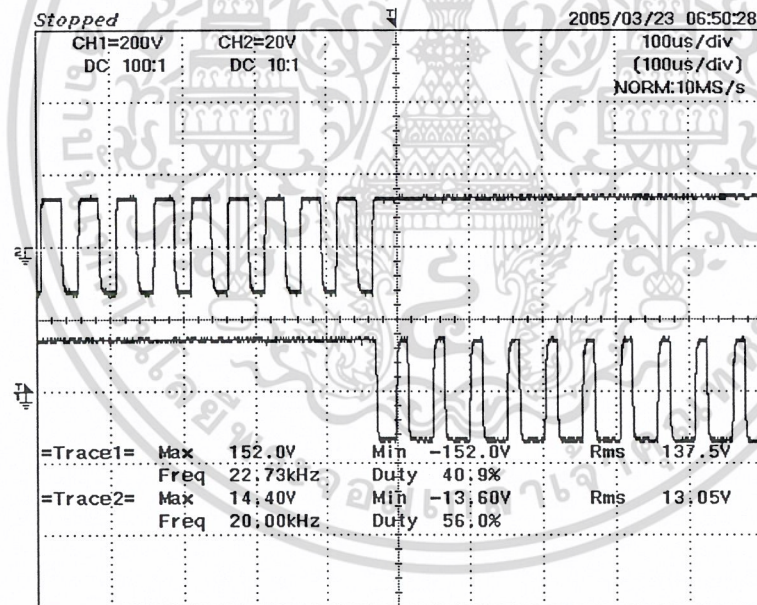


รูป 4-9 แสดงสัญญาณขับเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 1 และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

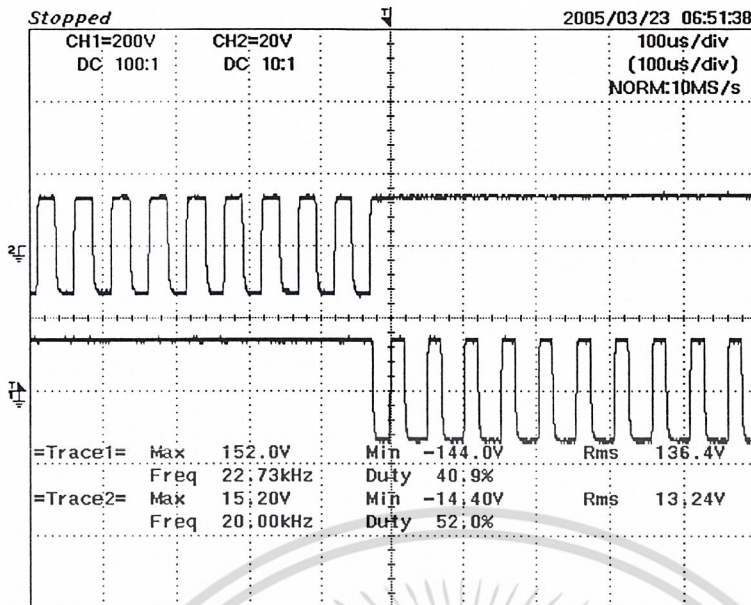


รูป 4-10 แสดงสัญญาณขับเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 2 และ 4



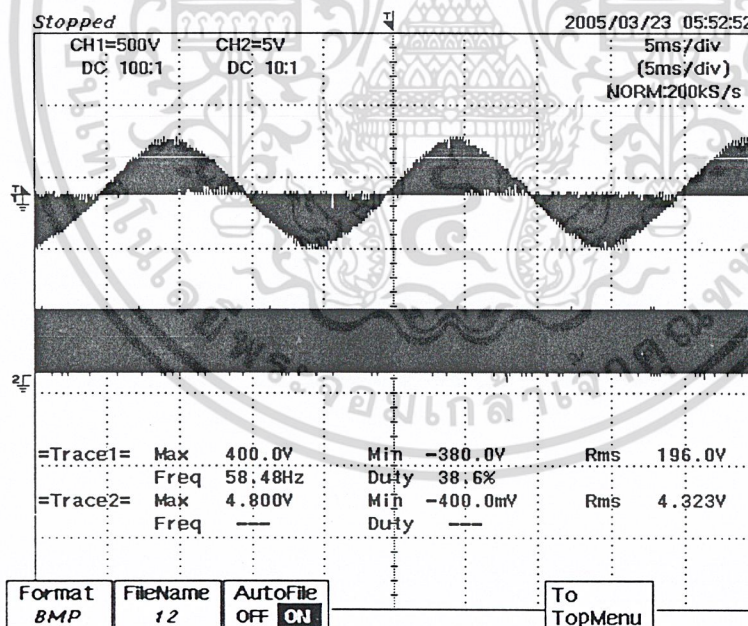
รูป 4-11 แสดงสัญญาณขับเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 1 และ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



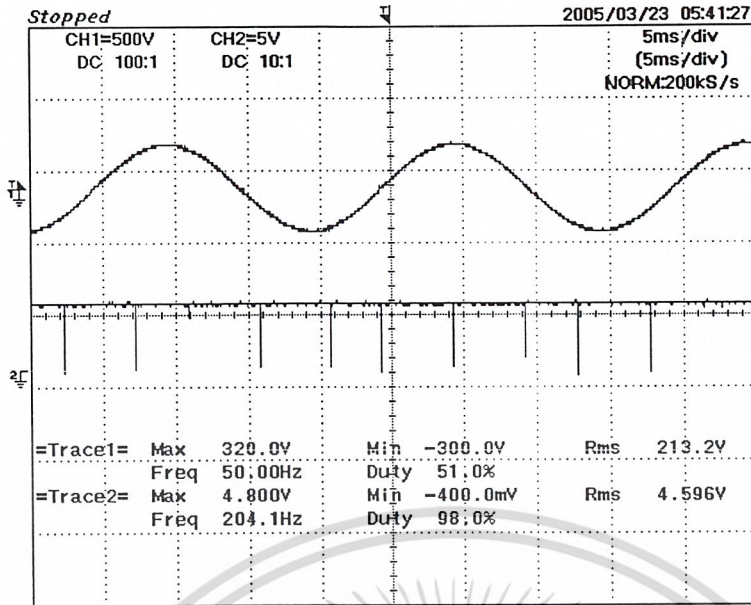
รูป 4-12 แสดงสัญญาณขับเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 3 และ 4

## 4.6 การทดลองวงจรชดเชยแรงดัน

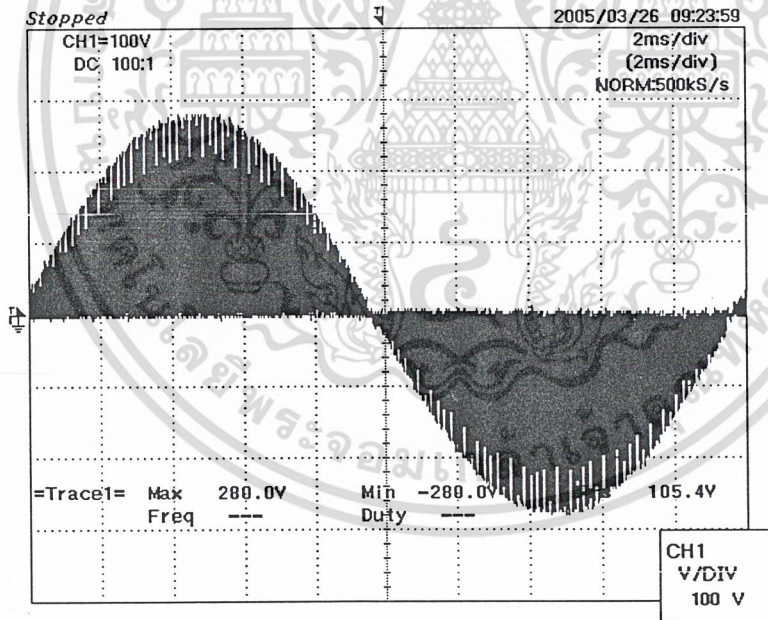


รูป 4-13 แสดงสัญญาณไซน์ที่ออกจากชุดเอซี - ซ็อบเปอร์ เทียบกับค่าคิวิตีไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

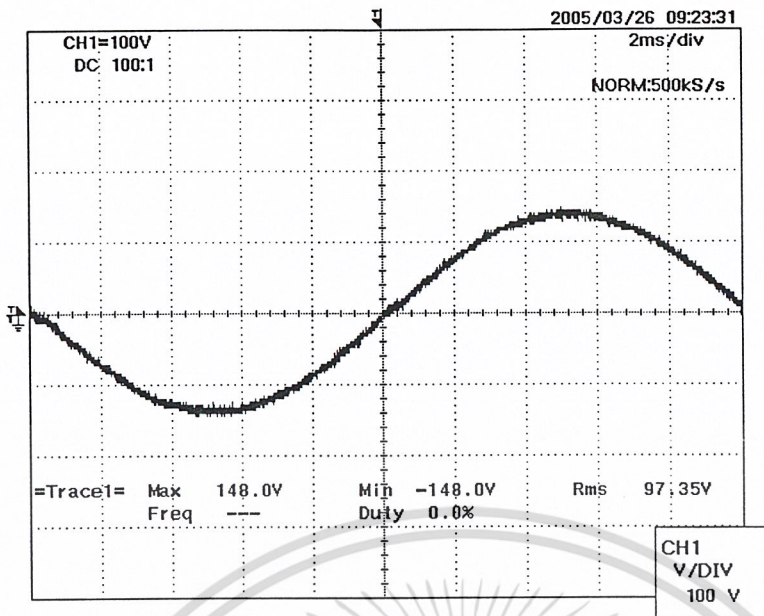


รูป 4-14 แสดงสัญญาณไซน์ที่ออกจากชุดเอชซี - ซุปเปอร์ เทียบกับค่าคิวดัซไฟเกิดสูงสุด

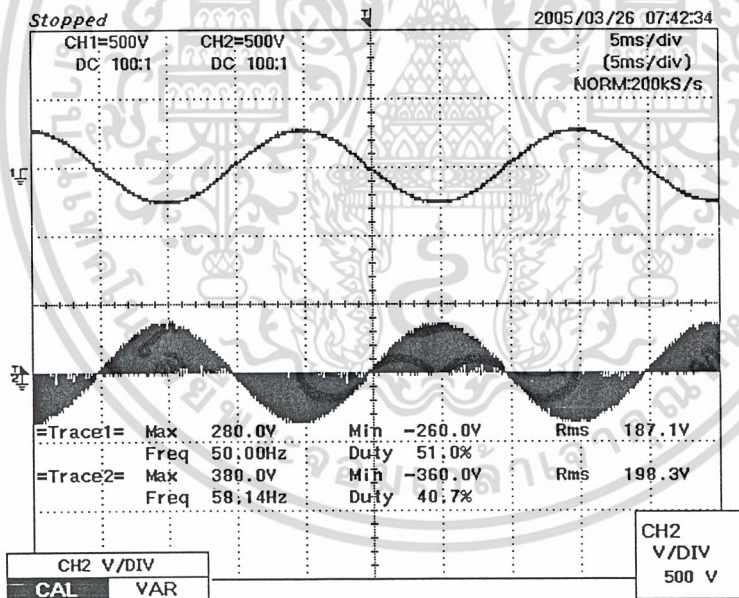


รูป 4-15 แสดงสัญญาณที่ยังไม่ผ่านชุด LC - Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

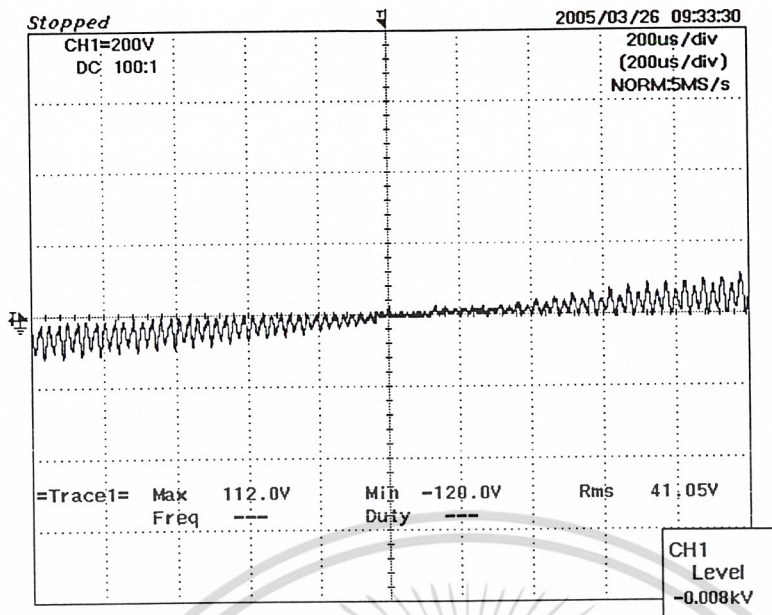


รูป 4-16 แสดงสัญญาณที่ผ่านชุด LC - Filter แล้ว

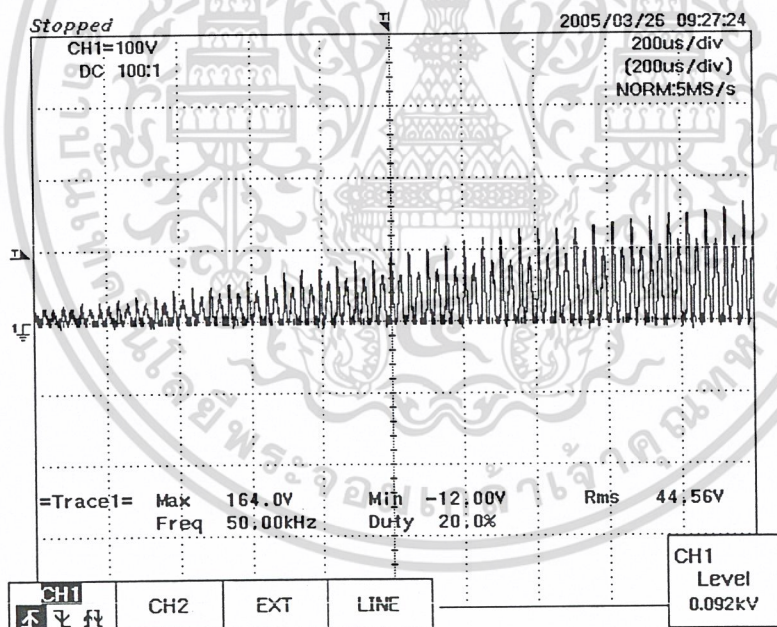


รูป 4-17 แสดงสัญญาณที่ผ่านชุด LC - Filter แล้ว เทียบกับ ตอนยังไม่ผ่านชุด LC - Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

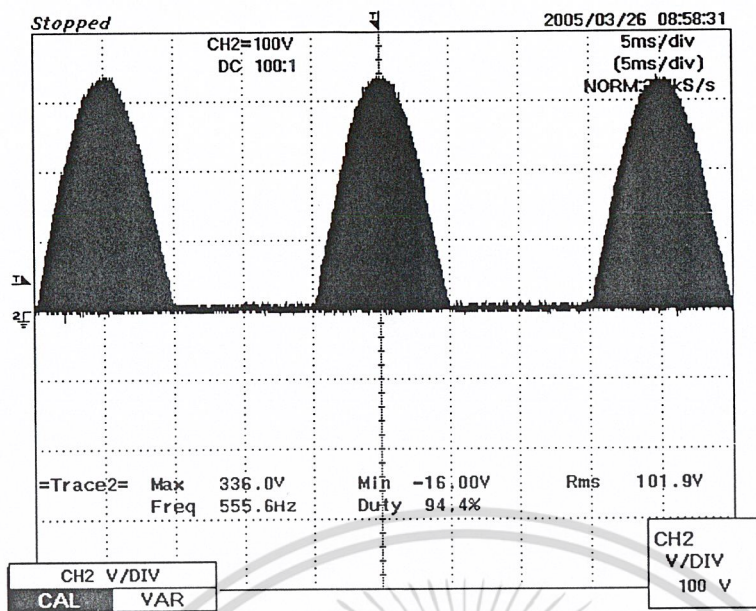


รูป 4-18 แสดงการขยายสัญญาณที่ยังไม่ผ่านชุด LC - Filter

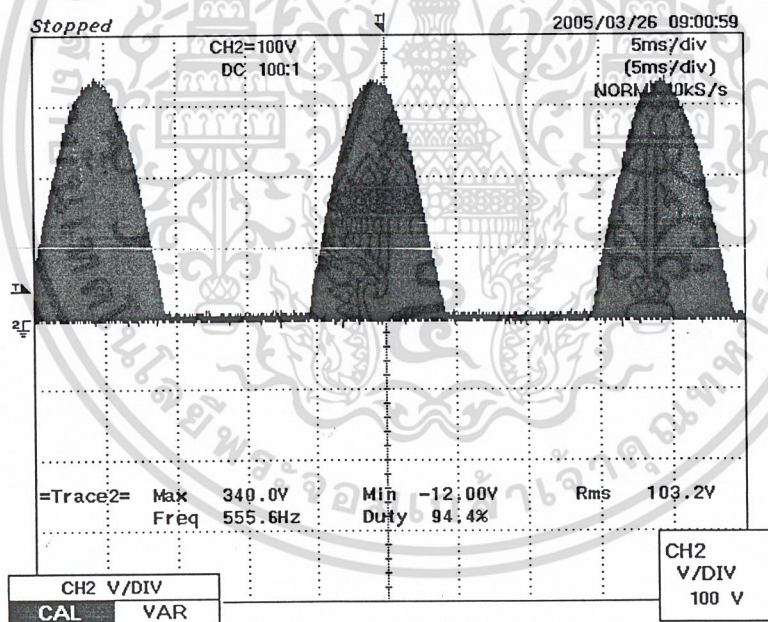


รูป 4-19 แสดงสัญญาณช่วงบวกของสัญญาณที่ยังไม่ผ่านชุด LC - Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

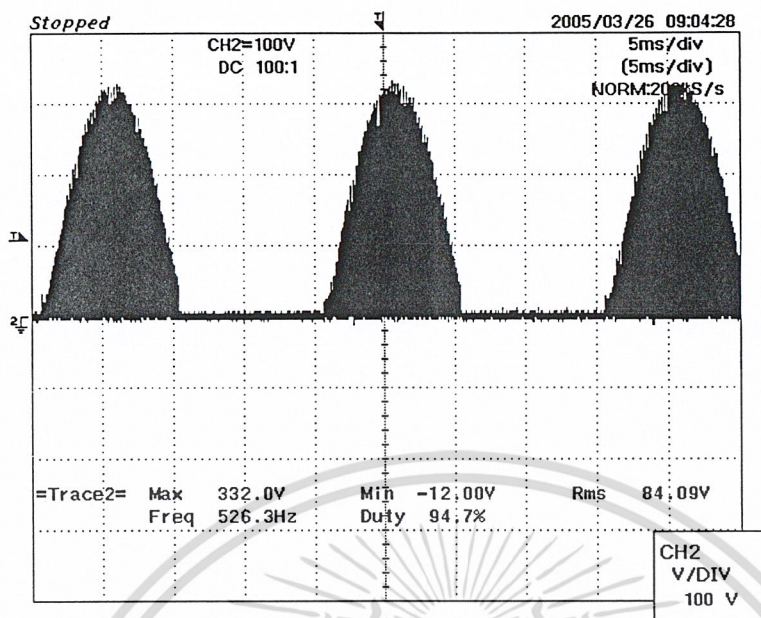


รูปที่ 4-20 สัญญาณระหว่างขาเดรน และขาซอร์สของเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 1 (M1)

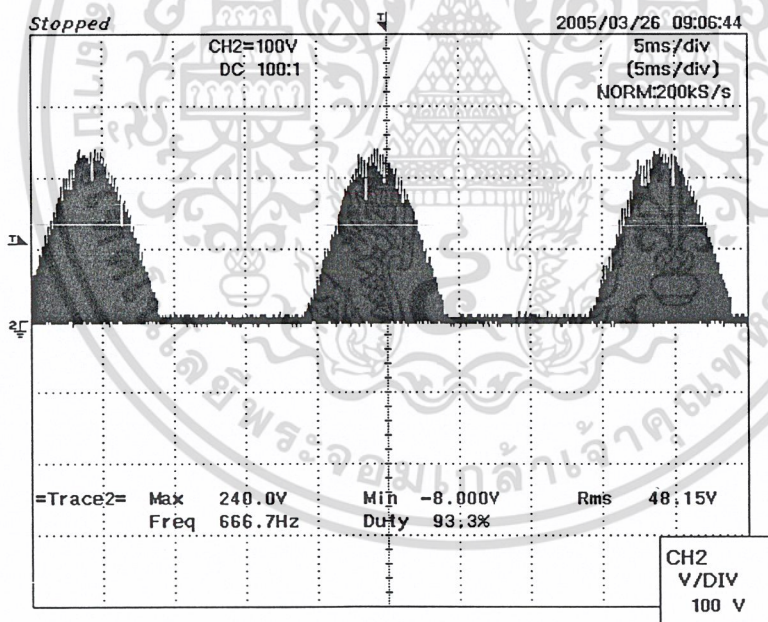


รูปที่ 4-21 สัญญาณระหว่างขาเดรน และขาซอร์สของเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 2 (M2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-22 สัญญาณระหว่างขาแคทริน และขาซอร์สของเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 3 (M3)



รูปที่ 4-23 สัญญาณระหว่างขาแคทริน และขาซอร์สของเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่ 4 (M4)

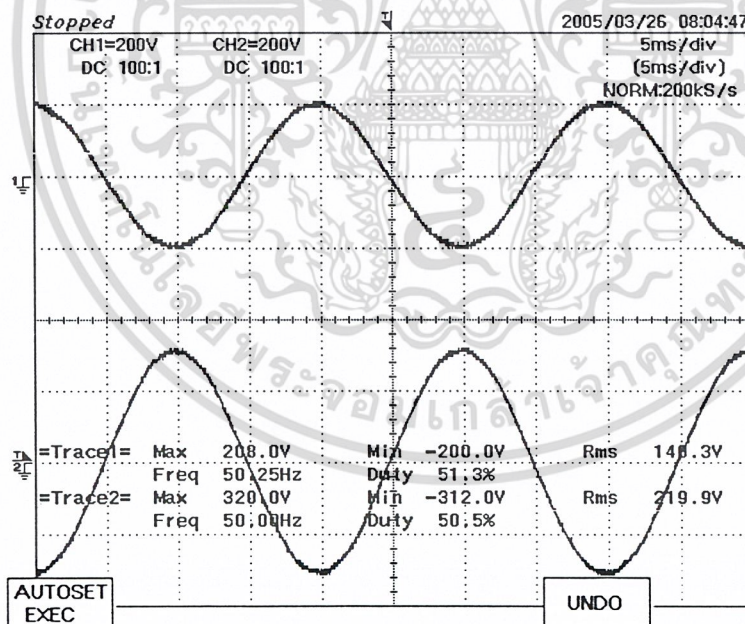
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลองในสภาวะแรงดันตก

## ตารางบันทึกผลการทดลอง

$V_{\text{INPUT}}$ (V)	V(ชดเชย) (V)	$V_{\text{LOAD}}$ (V)
140.3	79.6	219.9
161.0	58.8	219.8
180.2	39.5	219.7
201.2	18.8	220.0
219.6	0.2	219.8

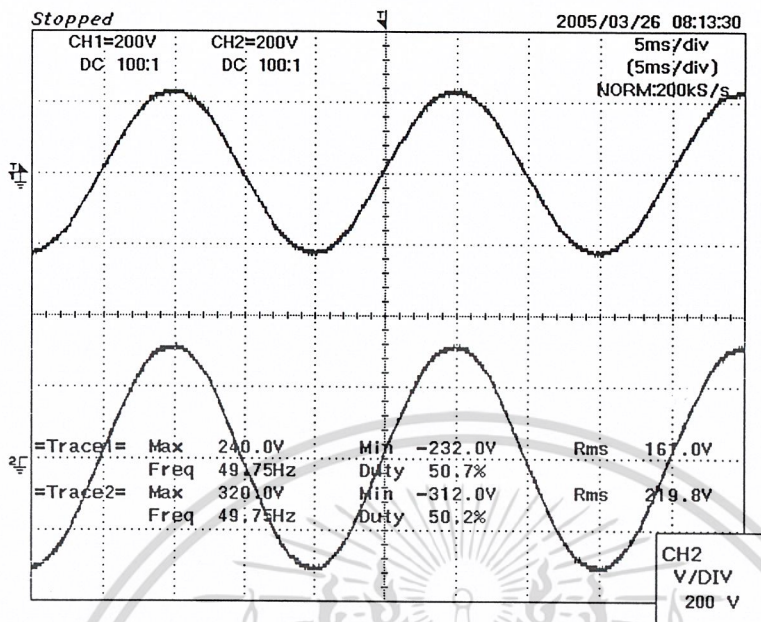
ที่แรงดันอินพุต 140.3 V ,  $V_{\text{LOAD}} = 219.9\text{V}$



รูปที่ 4-24 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุต 140.3 V ,  $V_{\text{LOAD}} = 219.9\text{V}$

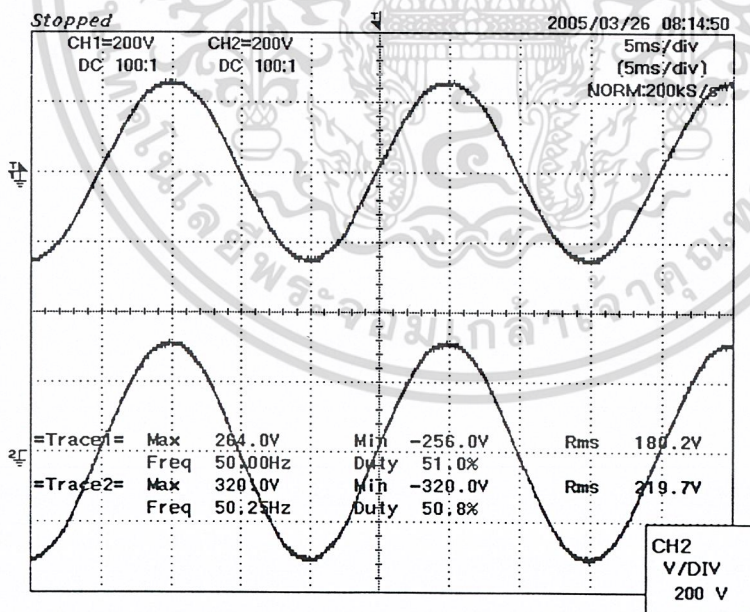
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่แรงดันอินพุท 161.0 V ,  $V_{LOAD} = 219.8$  V



รูปที่ 4-25 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุท 161.0 V ,  $V_{LOAD} = 219.8$  V

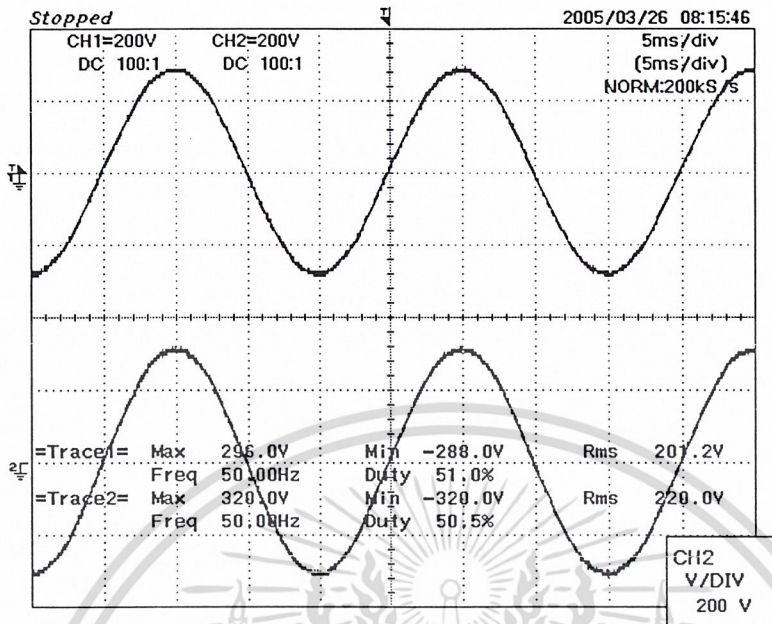
ที่แรงดันอินพุท 180.2 V ,  $V_{LOAD} = 219.7$  V



รูปที่ 4-26 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุท 180.2 V ,  $V_{LOAD} = 219.7$  V

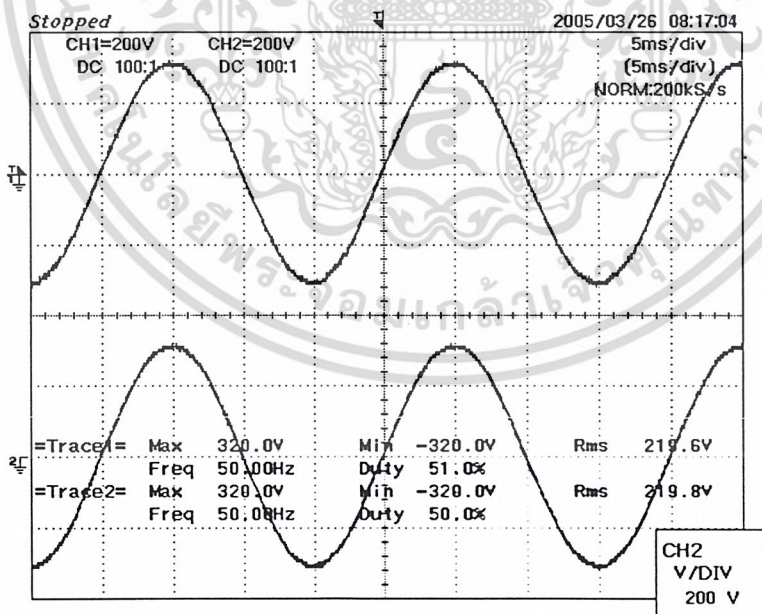
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ;

ที่แรงดันอินพุต 201.2 V ,  $V_{LOAD} = 220.0$  V



รูปที่ 4-27 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุต 201.2 V ,  $V_{LOAD} = 220.0$  V

ที่แรงดันอินพุต 219.6 V ,  $V_{LOAD} = 219.8$  V

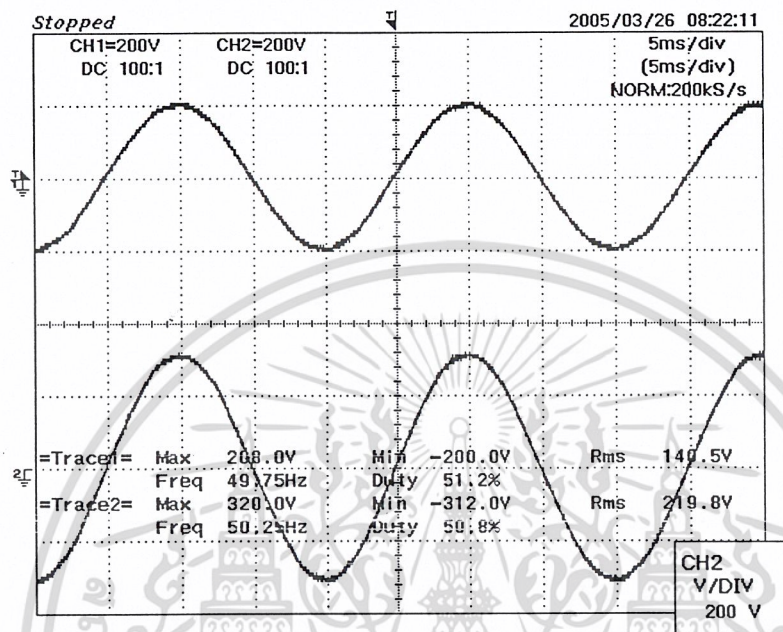


รูปที่ 4-28 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุต 219.6 V ,  $V_{LOAD} = 219.8$  V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

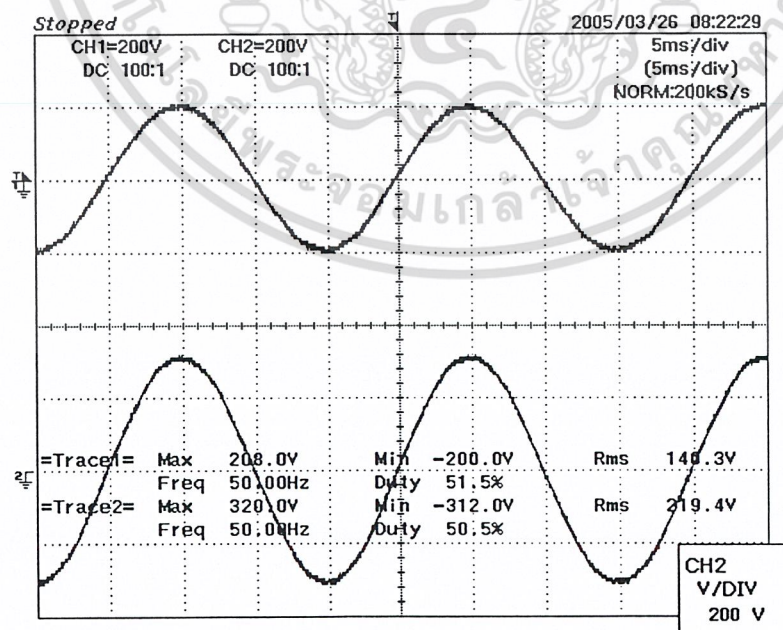
เมื่อจ่ายแรงดันอินพุทคงที่ที่ 140 V แล้วเพิ่มวัตต์จาก 100 วัตต์ ถึง 500 วัตต์ สังเกตการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่โหลด

ที่ 100 วัตต์, แรงดันอินพุท = 140.5 V,  $V_{LOAD} = 219.8$  V



รูปที่ 4-29 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุท 140.5 V,  $V_{LOAD} = 219.8$  V

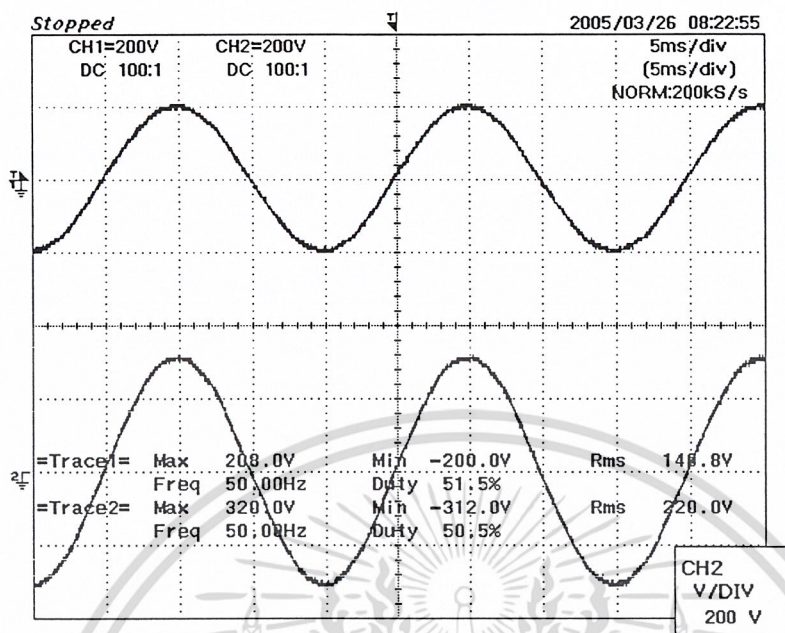
ที่ 200 วัตต์, แรงดันอินพุท = 140.3 V,  $V_{LOAD} = 219.4$  V



รูปที่ 4-30 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุท 140.3 V,  $V_{LOAD} = 219.4$  V

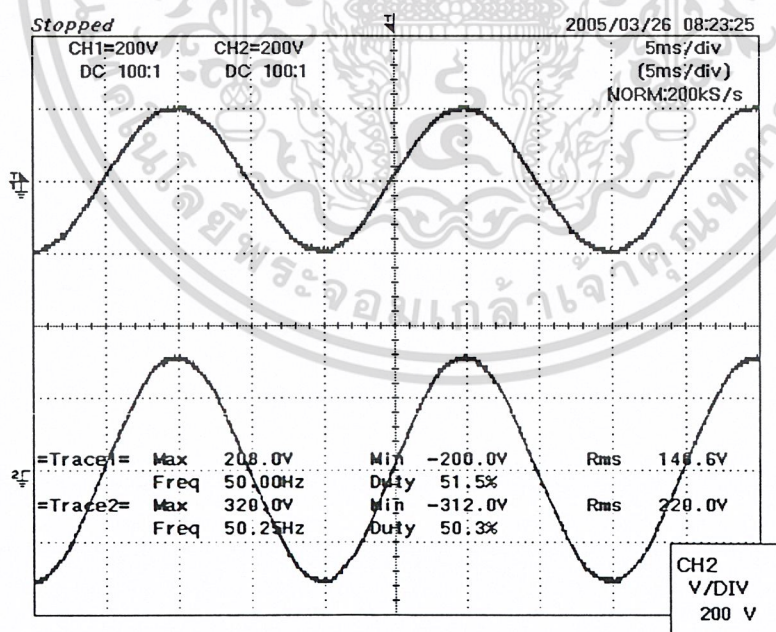
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 300 วัตต์ , แรงดันอินพุต = 140.8 V ,  $V_{LOAD} = 220.0$  V



รูปที่ 4-31 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุต 140.8 V ,  $V_{LOAD} = 220.0$  V

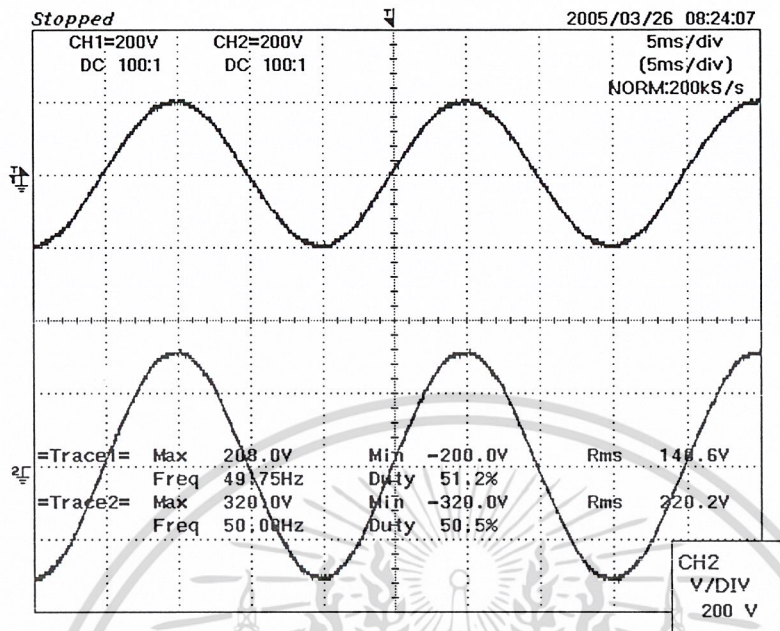
ที่ 400 วัตต์ , แรงดันอินพุต = 140.6 V ,  $V_{LOAD} = 220.0$  V



รูปที่ 4-32 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุต 140.6 V ,  $V_{LOAD} = 220.0$  V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

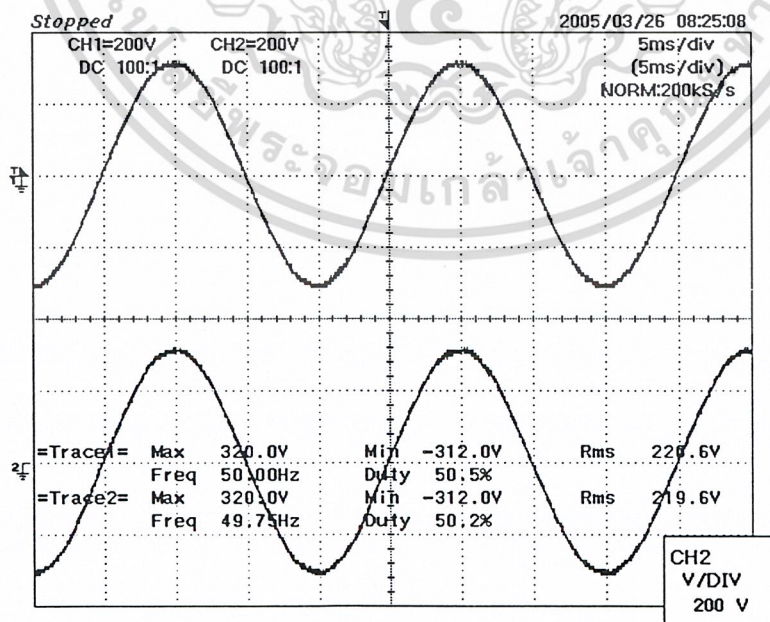
ที่ 500 วัตต์ , แรงดันอินพุท = 140.6 V ,  $V_{LOAD} = 220.2$  V



รูปที่ 4-33 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุท 140.6 V ,  $V_{LOAD} = 220.2$ V

เมื่อจ่ายแรงดันอินพุทคงที่ที่ 220.0 V แล้วเพิ่มวัตต์จาก 100 วัตต์ ถึง 500 วัตต์ สังเกตการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่โหลด

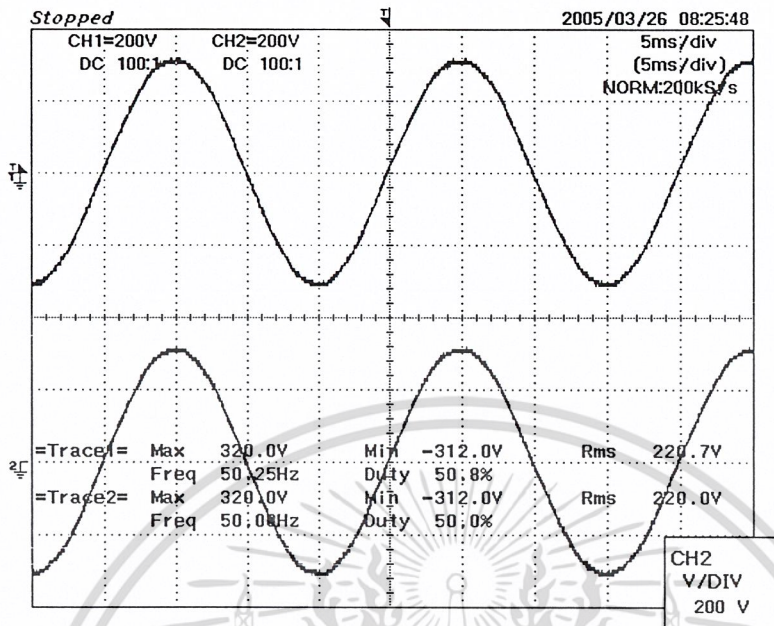
ที่ 100 วัตต์ , แรงดันอินพุท = 220.0 V ,  $V_{LOAD} = 219.6$  V



รูปที่ 4-34 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุท 220.0 V ,  $V_{LOAD} = 219.6$ V

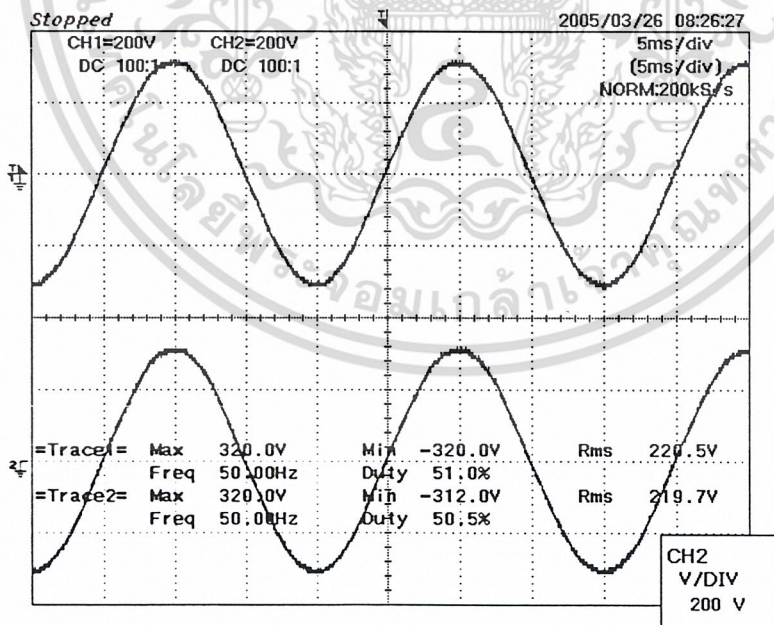
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 200 วัตต์ , แรงดันอินพุต = 220.7 V ,  $V_{LOAD} = 220.0$  V



รูปที่ 4-35 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุต 220.7 V ,  $V_{LOAD} = 220.0$  V

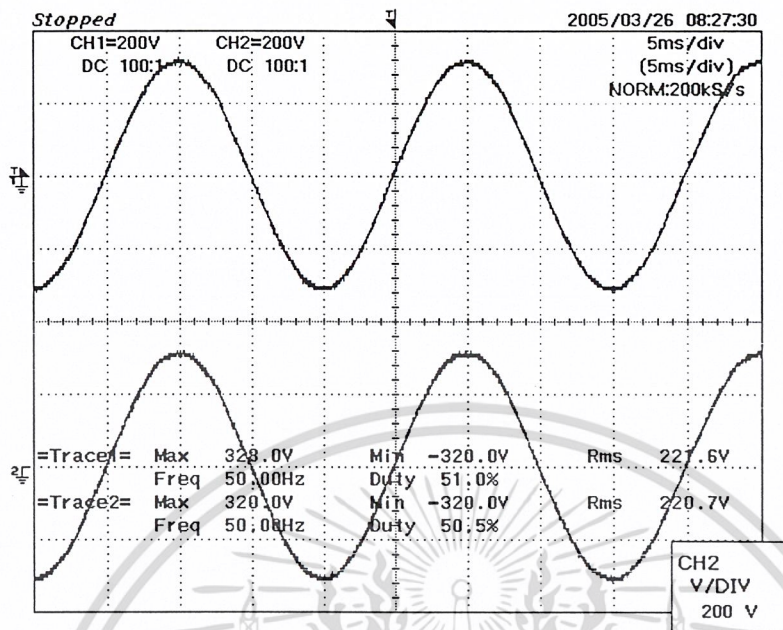
ที่ 300 วัตต์ , แรงดันอินพุต = 220.5 V ,  $V_{LOAD} = 219.7$  V



รูปที่ 4-36 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุต 220.5 V ,  $V_{LOAD} = 219.7$  V

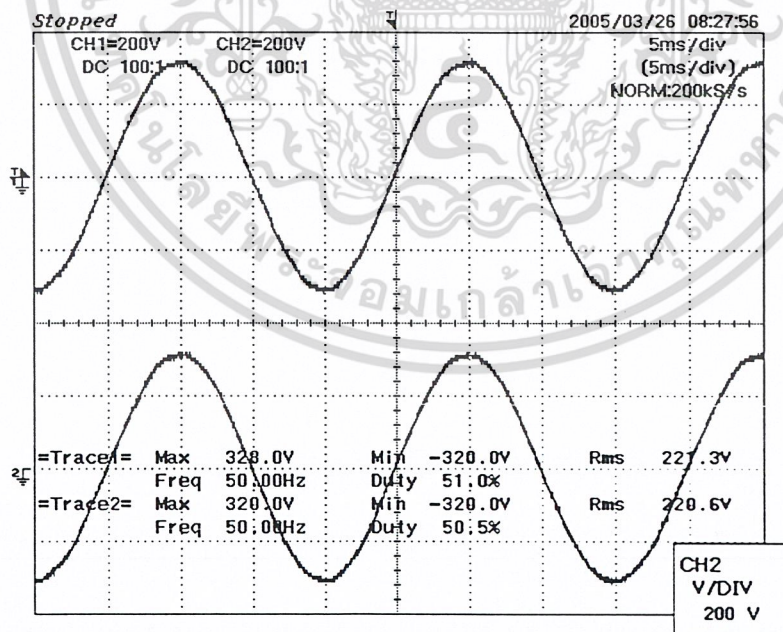
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 400 วัตต์ , แรงดันอินพุต = 221.6 V ,  $V_{LOAD} = 220.7$  V



รูปที่ 4-37 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุต 221.6 V ,  $V_{LOAD} = 220.7$  V

ที่ 500 วัตต์ , แรงดันอินพุต = 221.3V ,  $V_{LOAD} = 220.6$  V



รูปที่ 4-38 รูปคลื่นสัญญาณที่แรงดันอินพุต 221.3 V ,  $V_{LOAD} = 220.6$  V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและวิจารณ์โครงการ

#### 5.1 สรุปโครงการ

จากผลการทดลองของโครงการนี้ที่นำหลักการของการใช้วงจร AC - Chopper ร่วมกับหม้อแปลงชดเชยแรงดัน ( Transformer Compensated )และการตรวจจับแรงดันป้อนกลับโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม มาใช้งานในการรักษาระดับแรงดัน 1 เฟส ทำงานแบบอัตโนมัติ โดยจะมีความสามารถมากกว่าและมีการทำงานที่ดีกว่าการควบคุมแบบอนาลอก สามารถรักษาระดับแรงดันได้ละเอียดมาก มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็ว ขนาดเล็ก มีประสิทธิภาพสูง การสูญเสียที่เกิดขึ้นมีค่าน้อย อีกทั้งยังมีการบำรุงรักษาที่น้อยกว่า แต่จากผลของการวิเคราะห์โครงการนี้ ยังพบว่าโครงการนี้ยังสามารถพัฒนาต่อไปได้อีกโดยสามารถเพิ่มกำลังทาง ด้าน โหลดให้มากขึ้น

#### 5.2 บทวิจารณ์

จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นมากที่สุดในการทำงานมี 2 ส่วนคือ

##### - ส่วนของการกรกลับเฟส

การทำงานของชุดควบคุมจะต้องสัมพันธ์กับชุดสลับขั้ว โดยเมื่อวงจรเปลี่ยนสถานะจากเสริมเป็นหักล้างหรือจากหักล้างเป็นเสริมแรงดันจะต้องกลับชุด Zero Crossing ด้วยเพื่อให้แรงดันจากอินพุตอินเฟสกับสัญญาณ ไคร์ฟของชุดควบคุมขนาดแรงดัน การสลับขั้วของแรงดันเราจะสั่งให้วงจรกลับขั้วเมื่อค่ากระแสสลับมีค่ากระแสเท่ากับ 0 แอมป์เท่านั้น และสวิตซ์ทุกตัวจะต้อง OFF ก่อนทำการกลับขั้ว

##### - ส่วนของหม้อแปลงที่ใช้ชดเชยแรงดัน

จากผลการทดลอง เมื่อต้องวงจรรักษาระดับแรงดันจะพบว่าหม้อแปลงที่ใช้ในการชดเชยแรงดันมีแรงดันย้อนกลับมาทางด้านเอาต์พุทของชุดที่จะไปช่วยชดเชยแรงดัน จึงทำให้แรงดันที่จะไปชดเชยไม่สามารถชดเชยได้ตามพิกัด แต่ในทางกลับกันถ้าเราจะทำการเสริมแรงดันก็จะทำให้สามารถเสริมแรงดันได้เกินพิกัด ดังนั้นเราจึงควรนำปัญหานี้มาใช้ในการออกแบบพิกัดของหม้อแปลงด้วย

#### 5.3 แนวทางการพัฒนา

สำหรับการพัฒนาต่อไปควรให้ความสำคัญกับการเพิ่มพิกัดโหลด คือ ให้เครื่องรักษาระดับแรงดันสามารถจ่ายโหลดได้มากขึ้น และควรเพิ่มการชดเชยหรือหักล้างแรงดันให้สูงขึ้นอีก เพื่อให้เครื่องรักษาระดับแรงดันสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้คงไม่อาจสำเร็จลงได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และความร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลสำคัญที่จะกล่าวถึง และขาดไม่ได้ที่ทำให้ปริญญาบัตรนี้สำเร็จลุล่วงได้ก็คือ รศ.ดร.วิริยะ พิเศษจูงำเริญ และดร.สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และให้ความช่วยเหลือตลอดมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นบุคคลที่เคารพรักอย่างยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี ให้โอกาสในการศึกษา อีกทั้งยังให้กำลังใจ และดูแลเอาใจใส่เสมอมาในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

และท้ายที่สุดนี้ต้องขอขอบพระคุณพี่ๆ นักศึกษาปริญญาโทที่แสนดี พี่เทพ ที่ให้คำปรึกษา และอยู่คอยช่วยเหลือตลอดเวลา ขอขอบพระคุณมากครับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] นภัทร วจนเทพินทร์ , วจจรคติจติตอล 1 และ 2 ( ลอจิกเชิงจัดหมู่ )  
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล
- [2] สุวัฒน์ แซ่ตัน, เทคนิคและการออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย , หัวหน้าฝ่ายวิจัยและ  
พัฒนา บริษัท เอนเทลไทย จำกัด
- [3] ผศ.ดร. เดิมพงษ์ เพ็ชรกุล อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ, ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ , ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [4] สักริยา ชิตวงศ์ ภาควิชาวิศวกรรมการควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [5] วจจรเรียงกระแส 3 เฟส โดยใช้ไอจีบีทีสำหรับ HV. DC ,ปริญญาณิพนธ์ปริญญาวิศวาศรตร์  
บัณฑิต,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542
- [6] AC Chopper Using Four Switches, Takayuki Shinyama,  
Akiteru Ueda ,Akihiro Torii ,Aichi Institute of Technology, 0-7803-7156-9/02/2002 IEEE.
- [7] A NOVEL AC VOLTAGE REGULATOR, Awad EL-SABBE and Ashraf ZEIN  
EL-DIN, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Menoufia  
University, Shebin EI-kom, Egypt, 0-7803-4503-7/98/1998 IEEE.
- [8] Novel PWM line conditioner with fast output voltage control, B.-D.Min and B.-H.Kwon,  
IEE proc.-Electr. Power Appl. Vol. 145 .No. 2. March 1998.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2547

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องรักษาระดับแรงดัน

VOLTAGE STABILIZER

ผู้จัดทำ

- |                        |               |              |          |
|------------------------|---------------|--------------|----------|
| 1. นายปฏิพจน์          | บัวแก้ว       | รหัสประจำตัว | 45015108 |
| 2. ว่าที่ ร.ต. ณัฐวุฒิ | พลชะดิน       | รหัสประจำตัว | 45015145 |
| 3. นายณัฐวุฒิ          | โสพลพันธุ์    | รหัสประจำตัว | 45015146 |
| 4. นายไตรรงค์          | แก้วประสิทธิ์ | รหัสประจำตัว | 45015147 |
| 5. นายสุพจน์           | แช่ลิม        | รหัสประจำตัว | 45015174 |

อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. สมภพ ผลไม้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้