

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

วงจรเอซี-ชอปเปอร์ความถี่สูงสำหรับงานตู้อบ 50 เฮิร์ต

High Frequency AC Chopper For 50 Hz Oven

โดย

นาย ไชยบัณฑิต ลือสาคร
นาย ทศพล ทหุโล
นาย ธนเดช ไทรอรณ
นาย สุรวุฒิ ชัยประคอง

รฟ.
รช 864 ๗
2550

เลขหาง.....
เลขทะเบียน.....**81785**
วัน,เดือน,ปี.....**24 ส.ย. 2551**

b. **11936A59**
i.....

**ปฏิญานีพจนนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2550

วงจรเอซี-ชอปเปอร์ความถี่สูงสำหรับงานตู้อบ 50 เฮิร์ต

High Frequency AC Chopper For 50 Hz Oven



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วริยะ พิเชฐจำเริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง วจรเอชซี-ขอเปอร์ความถี่สูงสำหรับงานตู้อบ 50 เฮิร์ต

ผู้จัดทำ



1. นาย ไชยบดินทร์ ลือสาคร
2. นาย ทศพล พหุโล
3. นาย ธนเดช ไพรรุณ
4. นาย สุรวุฒิ ชัยประคอง



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง วงจรเอซี-ชอปเปอร์ความถี่สูงสำหรับงานคู่อบ 50 เฮิร์ต

นาย ไชยบัณฑิต ลือสาคร

นาย ทศพล พหุโล

นาย ธนเดช ไพรรณ

นาย สุรวุฒิ ชัยประคอง

รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

โครงงานคู่อบ 50 เฮิร์ต โดยใช้วงจร เอซี-ชอปเปอร์ความถี่สูงในการจ่ายโหลดคู่อบ ขนาด พิกัดกำลังไฟฟ้า 1000 วัตต์ ซึ่งจะมี พาวเวอร์ มอสเฟต เป็นอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งที่ความถี่ 20 กิโลเฮิร์ต และมีฟาด ไดโอด (Fast Diode) ต่อแบบ บริดจ์เรกติไฟยต์ (Bridge Rectifier) เป็นตัวควบคุมทิศทางของแรงดันและกระแสในวงจร สามารถควบคุมการจ่ายพลังงานได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงค่า ดิวตี้ ไซเคิล (Duty Cycle) ให้กับวงจร และสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ โดยการป้อนกลับค่าแรงดันให้กับวงจรที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิลในการจับอุณหภูมิของคู่อบ

High Frequency AC Chopper For 50 Hz Oven

Chaibadin Luesakron

Thodsapon Pahulo

Thanadech Priroon

Surawut Chaiprakong

Ass. Prof. Dr. Viriya Pichetjamroen Advisor

2008

ABSTRACT

This project presents oven with fifty hertz, it used the concept of high frequency AC Chopper for oven has rate 1000 watts. The switching device is Power MOSFET with twenty kilohertz and Fast Diode Bridge Rectifier ,control voltage and current of circuit. The circuit can control energy with change duty circle of the system and feedback voltage to circuit from thermocouple for control temperature.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงการนรู้ศึกษานซึ่งต่อความกรุณาที่ รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำ ตลอดจนอาจารย์ในภาควิชาที่ประสิทธิประสาทความรู้ให้กับผู้จัดทำในครั้งนี้ ถ้าปราศจากท่านโครงการนี้ก็คงไม่สำเร็จลุล่วงไปได้

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้เบิกใช้เครื่องมือ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงการ และผู้จัดทำต้องขอบคุณเพื่อนร่วมห้องปฏิบัติการ(lab) ที่คอยเอาใจใส่คอยถามไถ่ตลอดเวลา

ขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดคือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักรยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูเรามาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมาในทุก ๆ ด้าน อันหาที่เปรียบมิได้ ขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



นาย ไชยบดินทร์ ลือสาคร
นาย ทศพล พหุโล
นาย ธนเดช ไพรรุณ
นาย สุรวุฒิ ชัยประคอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ.....	VII
สารบัญตาราง	XIV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....	1
1.2 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 องค์ประกอบของโครงการ.....	3
1.7 แนวความคิดและหลักการที่นำเสนอ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 หลักการทำงานของคูบ	6
2.3 มอสเฟตกำลัง (Power Mosfet).....	7
2.3.1 ดีมอสเฟต (D-MOSFET).....	7
2.3.2 อีมอสเฟต (EMOSFET)	9
2.3.3 กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของเพาเวอร์มอสเฟต.....	12
2.3.4 เงื่อนไขของการขับเพาเวอร์มอสเฟต.....	14
2.3.5 ค่าความจุไฟฟ้าด้านอินพุต (Input Capacitance)	14
2.3.6 การกำหนดเวลาในการเปลี่ยนสถานะ.....	15
2.3.7 ข้อพิจารณาในการเลือกเพาเวอร์มอสเฟต	16
2.3.8 พิกัดความปลอดภัยเฟบีเอสโอเอ (FBSOA)	16
2.3.9 ข้อดีของการใช้มอสเฟต.....	17

	หน้า
2.4 การวัดอุณหภูมิ.....	17
2.4.1 ปฏิกิริยาการเกิดของเทอร์โมคัปเปิล.....	18
2.4.2 เทอร์โมคัปเปิลชนิดมาตรฐาน	20
2.5 ไดโอดกำลัง (Power Diode)	21
2.5.1 ไดโอดในทางอุดมคติ (Ideal Diode).....	22
2.5.2 ไดโอดในทางปฏิบัติ (Practical Diode).....	23
2.6 พัลส์วิดท์มอดูเลเตอร์	25
2.6.1 พัลส์วิดท์มอดูเลชัน (Pulse Width Modulation: PWM)	25
2.6.2 พัลส์วิดท์มอดูเลเตอร์ (Pulse Width Modulation: PWM)	26
2.6.3 Voltage Feed forward control.....	27
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างวงจร	28
3.1 บทนำ.....	28
3.2 วงจรสร้างสัญญาณ PWM	29
3.3 การเชื่อมต่อด้วยแสง (Opto Isolator)	30
3.4 voltage feedback control	31
3.5 หลักการวงจรเอชซีชอปเปอร์.....	32
3.6 โหมดการทำงานของวงจรเอชซี-ชอปเปอร์สวิตซ์สองทางหนึ่งตัว	33
3.6.1 โหมดจ่ายกำลัง (Powering Mode).....	34
3.7 การวิเคราะห์โดยให้สวิตซ์ฟังก์ชันเป็นฟังก์ชันคู่ (Even Function).....	35
3.8 การคุณสมบัติของสวิตซ์ฟังก์ชันกับสมการของแรงดันอินพุต.....	38
3.9 ลักษณะคลื่นของวงจรเอชซีชอปเปอร์ที่ได้จากการทำงานเป็นโหมด	38
บทที่ 4 ผลการทดลองและผลการซิมูเลต.....	44
4.1 บทนำ.....	44
4.2 การเปรียบเทียบทฤษฎี และผลการทดลองคลื่นแรงดันและ	
กระแสตามจุดต่าง	44
4.2.1 ขั้นตอนในการทำการทดลอง	44

	หน้า
4.3 รูปวงจรสร้างสัญญาณ PWM ที่มีความถี่ 20 kHz ปรับค่าดิวตี้ไซเคิลได้....	46
4.4 วงจร Drive and Isolate.....	47
4.5 ขั้นตอนการซิมมูลเตด้วยโปรแกรม PSpice	48
4.6 ผลการทดลองและผลจากการซิมมูลเต.....	48
4.6.1 ในกรณีที่ค่าดิวตี้ไซเคิล 10 % ความถี่สวิตช์ 20 kHz.....	48
4.6.2 ในกรณีที่ค่าดิวตี้ไซเคิล 20 % ความถี่สวิตช์ 20 kHz.....	50
4.6.3 ในกรณีที่ค่าดิวตี้ไซเคิล 30 % ความถี่สวิตช์ 20 kHz.....	51
4.6.4 ในกรณีที่ค่าดิวตี้ไซเคิล 40 % ความถี่สวิตช์ 20 kHz.....	52
4.6.5 ในกรณีที่ค่าดิวตี้ไซเคิล 50 % ความถี่สวิตช์ 20 kHz.....	54
4.6.6 ในกรณีที่ค่าดิวตี้ไซเคิล 60 % ความถี่สวิตช์ 20 kHz.....	55
4.6.7 ในกรณีที่ค่าดิวตี้ไซเคิล 70 % ความถี่สวิตช์ 20 kHz.....	56
4.6.8 ในกรณีที่ค่าดิวตี้ไซเคิล 80 % ความถี่สวิตช์ 20 kHz.....	58
4.6.9 ในกรณีที่ค่าดิวตี้ไซเคิล 90 % ความถี่สวิตช์ 20 kHz.....	59
4.7 ค่าที่ใช้ในการทดลองและกราฟเปรียบเทียบ	61
4.7.1 ค่าอนุกรมเทียบกับดิวตี้ไซเคิล และเวลา	61
4.7.2 ค่าของดิวตี้กับกำลังไฟฟ้าอินพุตและแรงดันกระแสกำลังไฟฟ้า ทางต้านเอาต์พุต ประสิทธิภาพ	62
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผล.....	66
5.1 สรุปและวิจารณ์ผลที่ได้จากการทดลอง	66
5.2 ปัญหาที่พบ	66
บรรณานุกรม.....
ภาคผนวก	68
ภาคผนวก ก คู่มือการใช้งาน	68
ภาคผนวก ข data sheet.....	69
ประวัติผู้เขียน.....	103

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการทำงานของวงจรACCHOPPER	2
1.2 บล็อกไดอะแกรมของวงจรเอชชอปเปอร์สวิตช์ที่ความถี่สูง	4
2.1 หลักการทำงานของวงจรเอชชอปเปอร์	5
2.2 วงจรเอชชอปเปอร์ที่ใช้สวิตช์ตัวเดียว	5
2.3 วงจรของคูปแบบทั่วไป	6
2.4 วงจรคูปที่ใช้เอชชอปเปอร์.....	6
2.5 โครงสร้างของดีมอสเฟตแบบแซนแนล n	7
2.6 โครงสร้างของดีมอสเฟตแบบแซนแนล p	8
2.7 สัญลักษณ์ของดีมอสเฟตแบบแซนแนล n และ p	9
2.8 โครงสร้างเบื้องต้นของอีมอสเฟตแบบแซนแนล n	9
2.9 ลักษณะการทำงานของอีมอสเฟตแบบแซนแนล n	10
2.10 กราฟแสดงการทำงานของมอสเฟตชนิดอีแซนแนล n	11
2.11 โครงสร้างของอีมอสเฟตแบบแซนแนล p	11
2.12 สัญลักษณ์ของดีมอสเฟตกับอีมอสเฟต.....	12
2.13 แสดงลักษณะของกระแส และแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟต เมื่อเริ่มนำกระแส และเริ่มหยุดนำกระแส	13
2.14 ตัวเก็บประจุแฝงที่ต่ออยู่ที่ขาต่าง ๆ ภายในตัวเพาเวอร์มอสเฟต.....	14
2.15 แรงดันและกระแสขาเกตขณะเพาเวอร์มอสเฟตถูกไบอัสให้นำกระแส.....	15
2.16 ตัวอย่างของ Gate Charge Chart.....	15
2.17 หลักการของเทอร์โมคัปเปิล	18
2.18 กฎของโอห์มแทรก.....	19
2.19 อุณหภูมิช่วงกลางสายจะไม่มีผลต่อการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า	19
2.20 กฎของอุณหภูมิแทรก.....	19
2.21 โครงสร้างของไดโอดกำลัง.....	21

ภาพที่	หน้า
2.22 ลักษณะการทำงานของไดโอดในทางอุดมคติ.....	22
2.23 ลักษณะการทำงานของไดโอดในทางปฏิบัติ	23
2.24 ช่วงเวลาฟื้นตัวย่อยกลับของไดโอดกำลัง	24
2.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับการเปลี่ยนความกว้างของพัลส์ ควบคุมช่วงเวลานำกระแส t_{on} ในลักษณะพัลส์วิดท์มอดูเลชัน	25
2.26 แสดงลักษณะของแรงดันที่จุดต่างๆของวงจร เมื่อวงจรทำงาน	26
2.27 การควบคุมแบบ Voltage Feed forward control.....	27
3.1 แสดงหลักการทำงานของวงจรเอซีชอปเปอร์และแรงดันเอาต์พุต ที่ถูกชอปด้วยความถี่ 20 kHz	28
3.2 วงจรการต่อใช้งานไอซี TL 494	29
3.3 สัญญาณพัลส์ที่ได้จากไอซี TL 494.....	30
3.4 วงจร Gate Drive โดยใช้ OPTO-COUPLER แยกกราวด์	31
3.5 สัญญาณพัลส์ที่ได้จาก OPTO-COUPLER แยกกราวด์	31
3.6 voltage feedback control.....	32
3.7 ลักษณะของวงจรเอซีชอปเปอร์ที่ใช้สวิทช์ตัวเดียว	32
3.8 ลักษณะของวงจรเอซีชอปเปอร์ที่ใช้สวิทช์ตัวเดียว.....	32
3.9 ลักษณะสัญญาณขั้วเกทและคลื่นอินพุตเอาต์พุต	33
3.10 ช่วงที่ 1 เมื่อได้รับแรงดันจากไซน์การไฟฟ้าที่เป็นบวกแล้วออกมาเป็น ไซน์ที่ถูก Chop ด้านบวก.....	34
3.11 ช่วงที่ 2 เมื่อได้รับแรงดันจากไซน์การไฟฟ้าที่เป็นลบแล้วออกมาเป็น ไซน์ที่ถูก Chop ด้านลบ	34
3.12 สัญญาณของสวิทชิงฟังก์ชันเป็นฟังก์ชันแบบคู่ (Even Function).....	35
3.13 รูปคลื่นแรงดันไซน์ที่วัดตกคร่อมโวลต์ที่ความถี่ 20 kHz Duty 50%.....	39
3.14 รูปคลื่นแรงดันไซน์ที่วัดตกคร่อมโวลต์ที่ความถี่ 2 kHz Duty 50%.....	40
3.15 คลื่นแรงดันและกระแสอินพุตของวงจรเอซีชอปเปอร์ที่ค่าคิวดีไซเคิล Duty เท่ากับ 10%.....	40
3.16 คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตของวงจรเอซีชอปเปอร์ที่ค่าคิวดีไซเคิล Duty เท่ากับ 10%.....	41
3.17 คลื่นแรงและกระแสอินพุตของวงจรเอซีชอปเปอร์ที่ค่าคิวดีไซเคิล Duty เท่ากับ 50%.....	41

ภาพที่	หน้า
3.18 คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตของวงจรเอชซีชอปเปอร์ที่ค่าดิวตี้ไซเคิล Duty เท่ากับ 50%.....	42
3.19 คลื่นแรงดันและกระแสอินพุตของวงจรเอชซีชอปเปอร์ที่ค่าดิวตี้ไซเคิล Duty เท่ากับ 90.....	42
3.20 คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตของวงจรเอชซีชอปเปอร์ที่ค่าดิวตี้ไซเคิล Duty เท่ากับ 90%.....	43
4.1 ชุดวงจรที่กำลังที่ใช้ในการทดลอง	44
4.2 วงจรเอชซีชอปเปอร์สวิทช์ที่ความถี่สูง 20 kHz ป้อนแรงดันเป็นไซน์การไฟฟ้า 220v(rms)50Hzให้ทางด้านอินพุตของวงจรที่ใช้ในการทดลองจริง	44
4.3 วงจรสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่20kHzที่สามารถปรับDutyCyc.....	45
4.4 สัญญาณพัลส์ที่ได้จากไอซี TL494.....	46
4.5 วงจรการทดลองวงจรDrive and Isolate	47
4.6 สัญญาณพัลส์ที่ได้จากDrive and Isolate47	
4.7 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านอินพุตของวงจร เอชซีชอปเปอร์สวิทช์ที่ค่า ดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ10%มีความถี่ในการสวิดซิ่งเท่ากับ20kHz	48
4.8 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรเอชซีชอปเปอร์สวิทช์ที่ค่า ดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ10%มีความถี่ในการสวิดซิ่งเท่ากับ20kHz.....	49
4.9 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรเอชซีชอปเปอร์สวิทช์ที่ค่า ดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ10%มีความถี่ในการสวิดซิ่งเท่ากับ20kHz	49
4.10 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านอินพุตของวงจรเอชซีชอปเปอร์สวิทช์ที่ค่า ดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ20%มีความถี่ในการสวิดซิ่งเท่ากับ20kHz	50
4.11 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรเอชซีชอปเปอร์สวิทช์ที่ค่า ดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ20%มีความถี่ในการสวิดซิ่งเท่ากับ20kHz	50
4.12 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรเอชซีชอปเปอร์สวิทช์ที่ค่า ดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ20%มีความถี่ในการสวิดซิ่งเท่ากับ20kHz.....	51
4.13 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านอินพุตของวงจรเอชซีชอปเปอร์สวิทช์ที่ค่า ดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ30%มีความถี่ในการสวิดซิ่งเท่ากับ20kHz.....	51
4.14 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรเอชซีชอปเปอร์สวิทช์ที่ค่า ดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ30%มีความถี่ในการสวิดซิ่งเท่ากับ20kHz.....	52

ภาพที่	หน้า
4.31 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านอินพุตของวงจรเอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่า คัตออฟเฟรควเ้น้อยกว่า 90 % มีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 20kHz.....	59
4.32 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรเอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่า คัตออฟเฟรควเ้น้อยกว่า 90 % มีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 20kHz	60
4.33 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรเอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่า คัตออฟเฟรควเ้น้อยกว่า 90 % มีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 20kHz	60
4.34 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าคัตออฟเฟรควเ้น้อยกว่ากับอิมพีแดนซ์ 61	61
4.35 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าคัตออฟเฟรควเ้น้อยกว่ากับอิมพีแดนซ์ 62	62
4.36 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าคัตออฟเฟรควเ้น้อยกว่ากับแรงดันเอาต์พุต 63	63
4.37 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าคัตออฟเฟรควเ้น้อยกว่ากับกระแสเอาต์พุต 63	63
4.38 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าคัตออฟเฟรควเ้น้อยกว่ากับกำลังเอาต์พุต 64	64
4.39 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าคัตออฟเฟรควเ้น้อยกว่ากับกำลังอินพุต 64	64
4.40 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าคัตออฟเฟรควเ้น้อยกว่ากับประสิทธิภาพ 65	65



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงชนิดของเทอร์โมคัปเปิล.....	21
4.1 อุปกรณ์และค่าพิกัดต่างๆของวงจรเอซีชอปเปอร์สวิตซ์ความถี่สูง 20 kHz ป้อนแรงดันเป็นไซน์การไฟฟ้า220V(rms)50Hzให้ทางด้านอินพุตของวงจรที่ใช้ในการทดลองจริง	45
4.2 ค่าอุนหภูมิเทียบกับควิตีไซเคิล และเวลา.....	61
4.3 ค่าของแรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้าทางด้านเอาท์พุตและประสิทธิภาพ.....	62



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

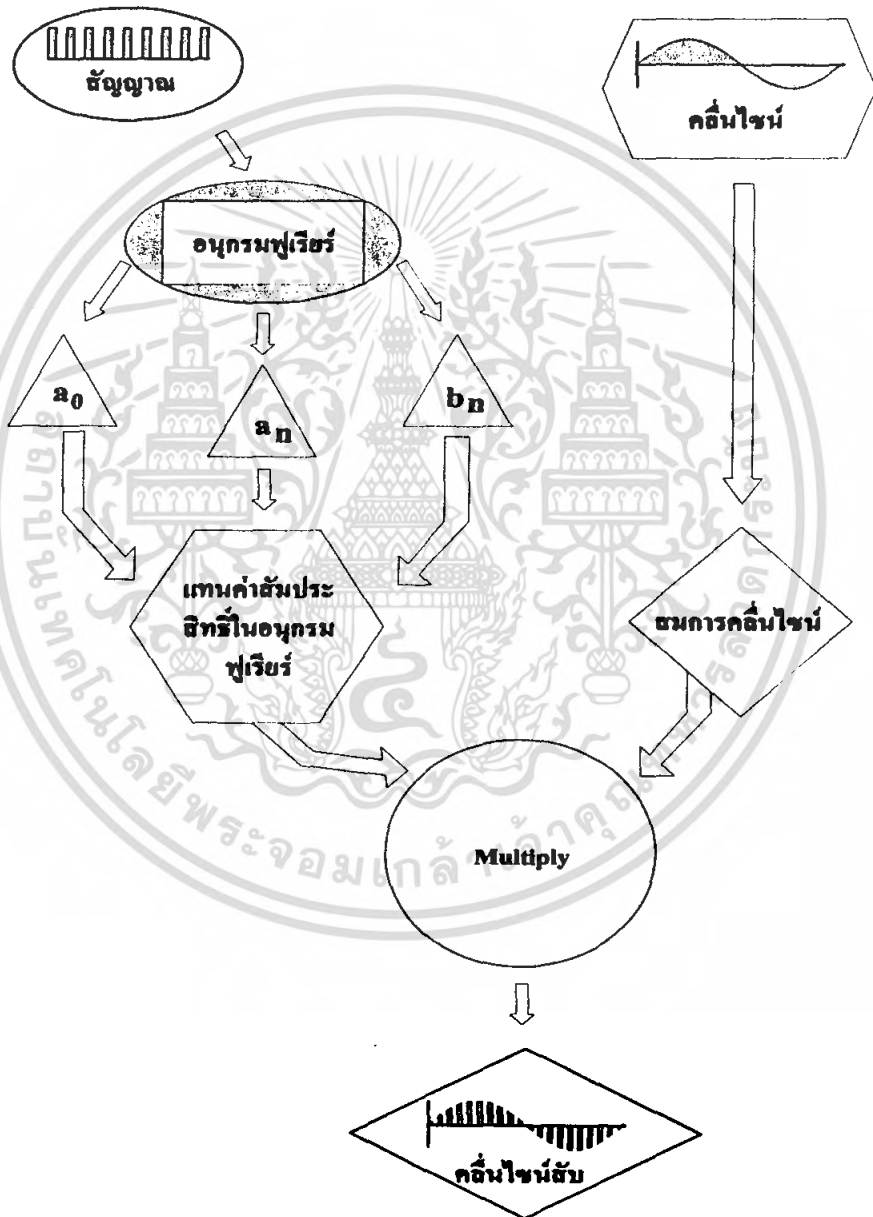
ในปัจจุบันจะเห็นได้ว่างานที่ใช้ในด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังมีจำนวนมากและมีการพัฒนาที่รวดเร็วไม่ว่าจะใช้ในงานอุตสาหกรรมหรือเชิงพาณิชย์ จึงมีความสนใจที่จะศึกษาทางด้านนี้จึงได้เลือกศึกษาทดลองรูปแบบของการควบคุมแรงดันไซน์การไฟฟ้า 50Hz ที่สามารถปรับค่า rms ของแรงดันไซน์การไฟฟ้า 50Hz ที่สามารถปรับค่าตัวดีไซเคิลที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตชิง โดยในปัจจุบันได้มีวิธีการควบคุมอยู่หลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นการควบคุมโดยการปรับเลื่อนเฟสหรือใช้หม้อแปลงแบบปรับเลื่อนจุดแท็ปของขดลวด (variac) การใช้วิธีทั้งสองนั้นก็จะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันไป โดยการควบคุมแรงดันไซน์การไฟฟ้า 50Hz โดยใช้วิธีเลื่อนเฟส นั้นจะง่ายต่อการควบคุมทางไฟฟ้าแต่ก็ให้แรงดันเอาต์พุตออกมาไม่เป็นคลื่นไซน์ที่สวยงาม ในส่วนของหม้อแปลงแบบปรับเลื่อนจุดแท็ปของขดลวด นั้นสามารถให้เอาต์พุตออกมาเป็นคลื่นไซน์ที่ปรับค่า rms ของแรงดันไซน์การไฟฟ้า 50Hz ได้แต่ถ้าจะนำมาควบคุมทางไฟฟ้าจะมีความยุ่งยากเพราะใช้การหมุนหรือการทำงานของระบบเม็กคาทรอนิกส์มาทำการช่วยเพื่อปรับระดับแรงดัน rms จึงไม่สะดวกที่จะนำไปใช้แบบการควบคุมด้วยระบบไฟฟ้า ดังนั้นในงานปริญญานิพนธ์นี้จึงใช้วงจรเอชชอปเปอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมการทำงานโดยใช้การควบคุมทางไฟฟ้าทำให้ง่ายต่อการควบคุมการปรับแรงดัน rms ของไซน์การไฟฟ้า 50 Hz และต้องการ การดูแลรักษาน้อยอีกทั้งวงจรเอชชอปเปอร์สามารถควบคุมได้ง่ายและยังให้แรงดันเอาต์พุตออกมาเป็นคลื่นไซน์ 50Hz ที่สวยงามเหมือนกับหม้อแปลงและมีน้ำหนักที่น้อยกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับ โดยในงานที่ต้องการแรงดันที่มีลักษณะคลื่นไซน์ความถี่ 50 Hz ที่สามารถปรับขนาดแรงดันได้อย่างต่อเนื่องในย่านกว้าง ตั้งแต่ระดับแรงดันศูนย์จนถึงระดับสูงสุด 200V สามารถทำได้โดยการนำเอาแรงดันไซน์การไฟฟ้า 50 Hz มาผ่านวงจรเอชชอปเปอร์ ซึ่งทำงานที่ความถี่สวิตชิงในระดับ 20 kHz และควบคุมแรงดันเอาต์พุตโดยการควบคุม Duty Cycle

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวงจร Ac-Chopper ที่ใช้เป็นวงจรสร้างคลื่น sine 50 Hz ที่สามารถปรับแรงดัน sine 50 Hz ได้ละเอียด
2. เพื่อศึกษาการทำงานของอุปกรณ์สวิตชิง
3. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงแรงดัน rms output เมื่อปรับค่า duty cycle ต่างๆ
4. เพื่อนำหลักการไปประยุกต์ใช้ในงานปรับแรงดันเอชชอปเปอร์ให้กับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น การใช้เป็นซอร์ซระดับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายเอชชอปเปอร์

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

ในการทำงานของวงจร AC-CHOPPER ในงานวิจัยนี้ได้มีแนวคิดมาจากการที่ต้องการควบคุมแรงดัน sine rms 50 Hz ของการไฟฟ้าเพื่อจะนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การควบคุมความเร็วมอเตอร์ การควบคุมฮีดเตอร์ การควบคุมแอร์คอนดิชัน การควบคุมแบบสวิตซ์ซึ่งที่ใช้ในการทำโครงการครั้งนี้มีข้อดีคือ สามารถควบคุมปรับ duty cycle ของ sine การไฟฟ้าให้มีเนื้อไซต์มากหรือน้อยก็ได้ ซึ่งการควบคุมด้วยการปรับ duty cycle นี้มีง่ายต่อการทำงาน มีความละเอียดในการทำงานสูง มีประสิทธิภาพในการทำงานดี มีการลงทุนในกาทำงานไม่สูงนัก มีระยะเวลาทำงานไม่มาก เหมาะสำหรับใช้ในการทำโครงการ



ภาพที่ 1.1 ขั้นตอนการทำงานของวงจร AC CHOPPER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาการทำงานของวงจร AC- CHOPPER แบบสวิตช์ตัวเดียวความถี่สูง

1.4.2 พิจารณาวงจร AC-CHOPPER แบบสวิตช์ตัวเดียวความถี่สูง โดยใช้ PSpice

1.4.3 นำผลการทดลองที่ได้จากการ Simulink โดยใช้โปรแกรม PSpice มาพิจารณาเลือกวงจรที่เหมาะสม

1.4.4 ศึกษาวงจรสร้างสัญญาณ โดยใช้ TL 494

1.4.5 ศึกษาวงจร Isolate ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ให้สวิตช์ทำงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถเข้าใจและวิเคราะห์ หลักการทำงานของวงจร AC-CHOPPER รวมถึงลักษณะของรูปคลื่น sine การไฟฟ้า 50 Hz ทั้งด้าน อินพุต และ เอาท์พุต พร้อมทั้งสร้างวงจร AC-CHOPPER เพื่อนำไปใช้งานทางด้าน การปรับแรงดันไซเคิลการไฟฟ้าได้อย่างละเอียด รวมถึงการนำไปใช้งานในรูปแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการใช้รักษาระดับแรงดันและการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ และนำไปใช้ควบคุมขดลวดความร้อนกับเตาหุงต้มเหนียวนำ และสามารถนำไปประยุกต์นำไปใช้งานในงานอุตสาหกรรม และทางด้านเชิงพาณิชย์

1.6 องค์ประกอบของโครงการ

โครงการนี้จะมีองค์ประกอบทั้งหมด 5 ส่วน โดยแต่ละส่วนจะถูกแยกออกเป็นบท ซึ่งในแต่ละบทก็จะมีอธิบายเนื้อหาในส่วนที่เกี่ยวข้องอย่างละเอียด ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

- บทที่ 1 เป็นการกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ วัตถุประสงค์ของโครงการ ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน ประโยชน์และหลักการเบื้องต้น

- บทที่ 2 เป็นทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับโครงการ ทั้งทฤษฎีมอเตอร์กำลัง ทฤษฎีของไดโอดกำลัง ทฤษฎีของอุปกรณ์สวิตซ์ซิ่ง หลักการสร้างสัญญาณ PWM รวมทั้งทฤษฎีพื้นฐานของวงจรเอชซี ซอปเปอร์กระแสสลับ

- บทที่ 3 เป็นการออกแบบและการสร้างวงจรซึ่งจะแบ่งออกเป็นในส่วนของวงจรสร้างสัญญาณ PWM หรือวงจรควบคุม วงจรขับเคลื่อน และวงจรกำลัง หลักการทำงานของวงจรส่วนประกอบของวงจรที่นำมาทำงานเชื่อมต่อกัน ซึ่งจะมีการอธิบายทั้งในส่วนของรูปวงจร และสัญญาณที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับการปฏิบัติจริง

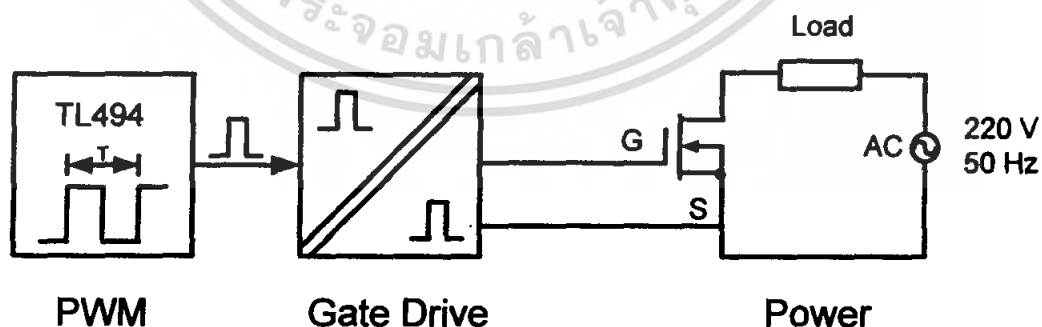
- บทที่ 4 เป็นผลการทดลองที่มีการอธิบายเป็นรูปและแสดงในลักษณะเชิงเปรียบเทียบของการทำงานของเครื่องในสถานะต่างๆ เปรียบเทียบกับการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

- บทที่ 5 เป็นการสรุปผลการทดลอง การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น และแนวทางในการพัฒนาโครงการนี้ในอนาคต

1.7 แนวความคิดและหลักการที่นำเสนอ

จากหลักการทำงานของวงจรเอชซีชอปเปอร์นั้นได้มีแนวความคิดมาจากการที่ต้องการควบคุมแรงดัน rms ของไซน์การไฟฟ้า 50Hz เพื่อจะนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ โดยที่ต้องการการปรับแรงดันไซน์ที่ค่อนข้างละเอียดและมีการตอบสนองที่รวดเร็ว โดยสามารถควบคุมทั้งระบบได้ด้วยไฟฟ้า เพราะที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเราใช้การปรับระดับแรงดันโดยใช้การเปลี่ยนแท่งหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งวิธีนี้จะมีน้ำหนักมากและขนาดที่มากอีกทั้งยังควบคุมการทำงานด้วยระบบไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวไม่ได้ต้องใช้ระบบเม็กคานิกส์มาช่วยในการควบคุมทำให้มีโอกาสที่จะทำให้การทำงานมีความผิดพลาดสูง และมีความละเอียดในการควบคุมต่ำเมื่อต้องการปรับระดับแรงดันที่ละเอียดๆ และต้องมีการดูแลรักษาสูงซึ่งจากข้อด้อยที่ได้กล่าวมานี้จึงได้มีการคิดค้นอุปกรณ์ที่สามารถทำงานทดแทนอุปกรณ์ที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ถึงจะไม่สามารถทำงานทดแทนกันได้ทั้งหมด แต่ในงานบางชนิดก็ทำให้งานดำเนินไปได้โดยง่ายอีกทั้งยังเป็น การจุดฉนวนให้มีการพัฒนาอุปกรณ์ที่ดีกว่ามาใช้ทดแทนซึ่งนับว่าเป็นส่วนหนึ่งของการช่วยกันพัฒนาเทคโนโลยีให้ก้าวไปอีกขั้นหนึ่งได้ การศึกษาจากปริญาานิพนธ์นี้จึงได้เล็งเห็นถึงความสำคัญการทำงานของวงจรเอชซีชอปเปอร์สวิตซ์ที่ความถี่สูงเพราะเห็นว่าสามารถควบคุมง่ายและให้ผลออกมาทางด้านเอาต์พุตที่ดี และให้สัญญาณไซน์ที่สวยงามอีกด้วย

ในการสร้างวงจรเอชซีชอปเปอร์สวิตซ์ที่ความถี่สูงจะประกอบด้วยสวิตซ์ตัวเดียว โดยจะใช้เป็น Power MOSFET ซึ่งจะถูกขับด้วยสัญญาณ PWM ที่ถูกสร้างจากวงจรสร้างสัญญาณ PWM โดยใช้ IC เบอร์ TL 494 เปรียบเทียบกับไซน์การไฟฟ้า และนำมาสัญญาณมาทำการรวมกันทางลอจิก (Combination) และไปเชื่อมต่อกับวงจรถับแกดและป้อนสัญญาณขับเคลื่อนให้กับอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งเพื่อทำการสวิตซ์แรงดันไซน์การไฟฟ้า แรงดันที่ผ่านการตัดต่อสวิตซ์จะมีลักษณะคลื่นเป็น PWM ที่มีความถี่มูลฐานเท่ากับ 50 Hz รวมอยู่กับองค์ประกอบของสัญญาณ PWM ความถี่ 20 KHz



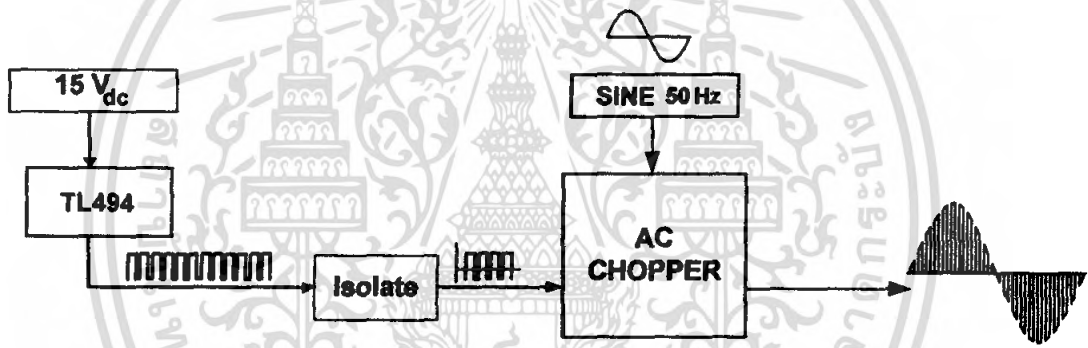
ภาพที่ 1.2 บล็อกไดอะแกรมของวงจรเอชซีชอปเปอร์สวิตซ์ที่ความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

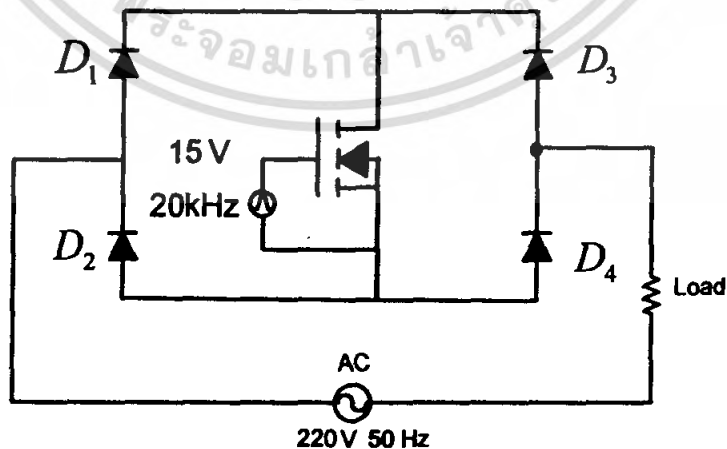
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

การควบคุมแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 50 Hz โดยทั่วไปสามารถทำได้ 2 ลักษณะคือโดยวิธีการควบคุมเฟสและวิธีการควบคุมจำนวนไซเคิลของคลื่นแรงดัน 50 Hz เพื่อจ่ายให้โหลดซึ่งทั้งสองวิธีการนี้ ไม่สามารถให้คลื่นแรงดันที่เอาต์พุต ที่มีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ 50 Hz ที่ปรับแรงดันเอาต์พุตที่ละเอียด ดังนั้นบทความในโครงงานนี้จึงได้นำเสนอวิธีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบของวงจรถอยเปอร์ดังภาพที่ 2.1 และวงจรมอดูเลชันที่ 2.2 ที่สามารถให้คลื่นไซน์ 50 Hz เอาต์พุตที่สามารถปรับแรงดันเอาต์พุตที่ละเอียดโดยการนำคลื่นไซน์ 50 Hz มาสับที่ความถี่สูงในระดับ 20 kHz โดยในการปรับแรงดันทางด้านเอาต์พุตนั้น เรานำสัญญาณพัลส์ที่ได้จากชุดขับนำมาผ่านชุดกำลัง โดยการใช้ไดโอดต่อแบบบริดจ์ควบคุมทิศทางของกระแสและแรงดันให้ผ่านอุปกรณ์สวิตช์สองทางหนึ่งตัวโดยใช้มอสเฟต ทำให้ได้แรงดันที่ถูกชอปทางด้านบวกและทางด้านลบ



ภาพที่ 2.1 หลักการทำงานของวงจรถอยเปอร์

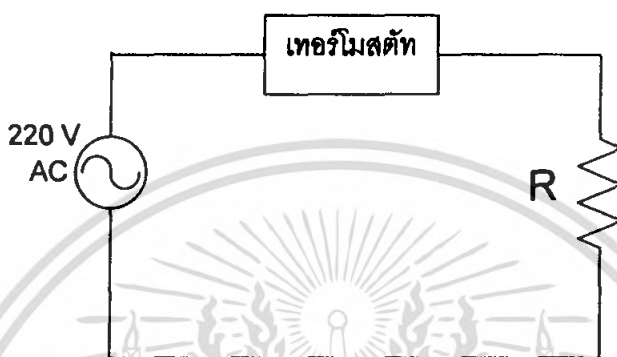


ภาพที่ 2.2 วงจรถอยเปอร์ที่ใช้สวิตช์ตัวเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

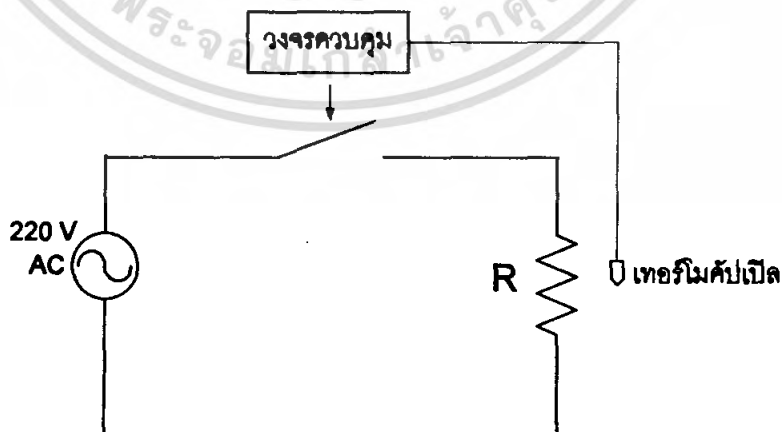
2.2 หลักการทำงานของตู้อบ

ตู้อบแบบทั่วไปจะมีขดลวดความต้านทานเป็นตัวให้ความร้อนเมื่อเราจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปที่ขดลวดความต้านทาน จะเกิดกระแสไหลผ่านขดลวดความต้านทานทำให้ขดลวดความต้านทานเกิดกำลังงานในรูปของความร้อน ($P = I^2R$) ทำให้ตู้อบเกิดความร้อนขึ้นและจะส่งผลไปให้วัตถุที่อยู่ในตู้ร้อนตามไปด้วยการควบคุมอุณหภูมิทำได้โดยใช้เทอร์โมสแตทเป็นตัวควบคุมคือเมื่อถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ไบเมทัลลิกก็จะทำงานโดยจะงอตัวออกทำให้ตู้อบหยุดทำงาน เมื่อแผ่นไบเมทัลลิกเย็นตัวลงก็จะงอตัวกลับที่เดิมทำให้ตู้อบทำงานปกติ



ภาพที่ 2.3 วงจรของตู้อบแบบทั่วไป

ตู้อบที่ใช้วงจรเอซีชอปเปอร์หลักการทำงานจะคล้ายกับตู้อบทั่วไปแต่จะแตกต่างกันตรงที่สามารถควบคุมแรงดันเอาท์พุทได้ โดยการปรับค่าตัวรีเลย์เคล็ดถ้าปรับค่าตัวรีเลย์มากก็ทำให้ได้แรงดันที่มาก แต่ถ้าปรับค่าตัวรีเลย์น้อยก็จะได้แรงดันที่น้อยตามไปด้วย และจะใช้เทอร์โมสแตทในการจับอุณหภูมิและแปลงเป็นรูปของแรงดันส่งไปให้วงจรควบคุมที่เป็น TL 494 ในการสร้างสัญญาณพัลส์ ถ้าอุณหภูมิต่ำก็จะสั่งให้ชุดควบคุมปรับค่าตัวรีเลย์เพิ่มขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงก็จะปรับค่าตัวรีเลย์น้อยลง



ภาพที่ 2.4 วงจรตู้อบที่ใช้เอซีชอปเปอร์

2.3 มอสเฟตกำลัง (Power Mosfet)

มอสเฟต(MOSFET) ย่อมาจากMetal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor เป็นอุปกรณ์ควบคุมด้วยระดับแรงดันต้องการกระแสอินพุตต่ำๆ ความเร็วในการสวิตช์ซึ่งสูงและเวลาในการสวิตช์ซึ่งต่ำมากเป็นหน่วย นาโนวินาที (nanosecond) มอสเฟตกำลังได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้านคอนเวอร์เตอร์ (Converter) ที่มีกำลังต่ำ ความถี่สูง มอสเฟตกำลังไม่มีปัญหาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ Secondary Breakdown เหมือนกับทรานซิสเตอร์ อีกทั้งยังถูกควบคุมการสวิตช์ซึ่งด้วยแรงดัน แต่อย่างไรก็ตามมอสเฟตก็มีปัญหาเกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตและมี Conduction Loss สูง มอสเฟตแบ่งได้เป็น 2 ประเภท 1) D-MOSFET 2) E-MOSFET

2.3.1 ดีมอสเฟต (D-MOSFET)

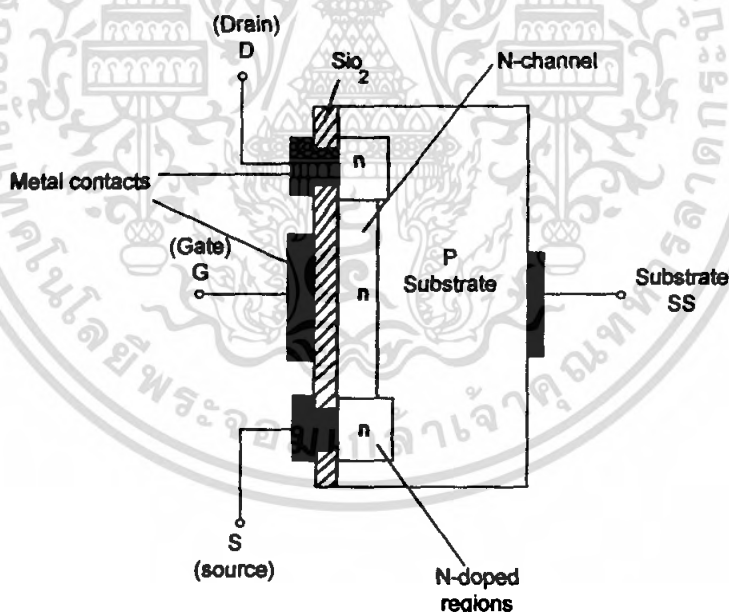
ดีมอสเฟตแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.3.1.1 ดีมอสเฟตแบบแชนแนล n

2.3.1.2 ดีมอสเฟตแบบแชนแนล p

สัญลักษณ์ของ ดีมอสเฟต

2.3.1.1 ดีมอสเฟตแบบแชนแนล n



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของดีมอสเฟตแบบแชนแนล n

ดีมอสเฟตแบบแชนแนล n ประกอบขึ้นจากแผ่นผลึกฐาน p (p-substrate) ที่เป็นสารกึ่งตัวนำทำจากซิลิคอนขั้ว D และขั้ว S ต่อกับบริเวณที่มีการกระตุ้นหรือโด๊ปให้เป็นบริเวณสารกึ่งตัวนำ n (n-doped region) ทั้งสองส่วนนี้จะเชื่อมกับแชนแนล n สำหรับขั้ว G จะต่อกับวัสดุฉนวนอกที่เป็นโลหะโดยมีซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) กั้นแชนแนล n กับขั้ว G (ซิลิคอนได

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

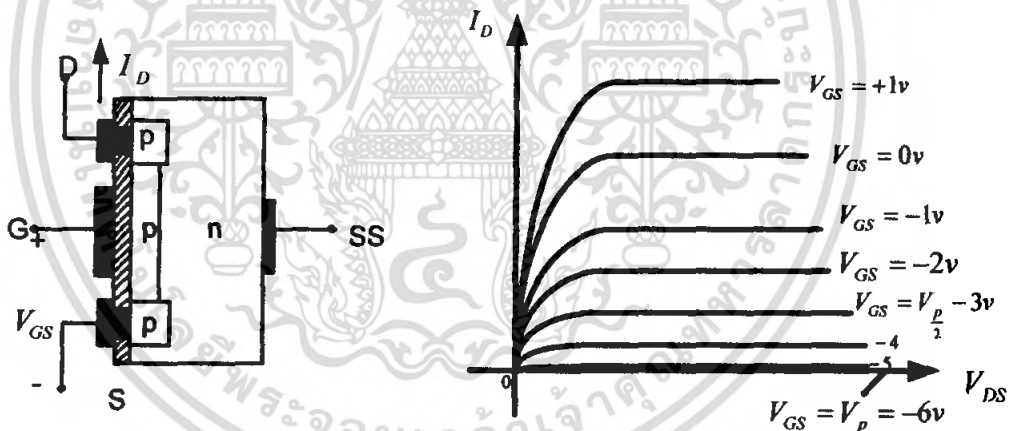
ออกไซด์เป็นฉนวนประเภทไดอิเล็กทริก) เมื่อมีสนามไฟฟ้าจ่ายเข้ามาที่ชั้นของ SiO_2 ก็จะสร้างสนามไฟฟ้าด้านและสร้างชั้นฉนวน ขึ้นภายในตัวเองเพื่อกันขั้วเกตกับแชนแนล แสดงว่า ไม่มีการต่อโดยตรงระหว่างขั้ว G กับแชนแนลของมอสเฟต ชั้นที่เป็นฉนวน SiO_2 จะทำให้ Z_i มีค่าสูง ความต้องการได้

นอกจากนี้บางครั้งจะต่อแผ่นผลึกจากฐานเข้ากับแหล่งจ่ายจึงมีขั้วเพิ่มขึ้นมาเรียกว่า ขั้วผลึกฐาน SS (Substrat : SS) ทำให้มี ขั้วเพิ่มเป็น 4 ขั้ว และจากข้างต้น จึงสรุปความหมายของคำว่า MOS ในชื่อมอสเฟต (ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าโลหะออกไซด์สารกึ่งตัวนำ) ได้ดังนี้

- โลหะ (Metal, M) หมายถึง บริเวณสำหรับการต่อขั้ว D, S และ G กับวัสดุฉนวน
- ออกไซด์ (Oxide, O) หมายถึง ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2)
- สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor, S) หมายถึง โครงสร้างพื้นฐานในบริเวณแพร่กระจายของสารกึ่งตัวนำชนิด p และสารกึ่งตัวนำชนิด n

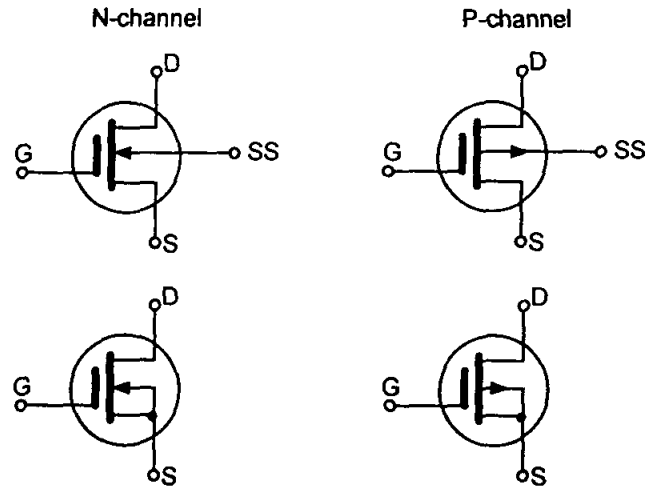
2.3.1.2 ดีมอสเฟตแบบแชนแนล p

โครงสร้างของดีมอสเฟตแบบแชนแนล p มีลักษณะตรงข้ามกับรูปของดีมอสเฟตแบบแชนแนล n คือประกอบด้วยแผ่นผลึกฐาน n และแชนแนล p ดังรูป



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของดีมอสเฟตแบบแชนแนล p

จากการเปรียบเทียบคุณลักษณะของดีมอสเฟตแบบแชนแนล n กับดีมอสเฟตแบบแชนแนล p (ตามรูป) เราพบว่า ทิศทางของกระแสขั้วแรงดันต่าง ๆ กลับกันทำให้คุณลักษณะกลับกันด้วย I_D จะเริ่มเพิ่มขึ้นจากจุด Cutoff ที่ $V_{GS} = V_p$ และขณะที่ V_{GS} มีค่าเป็นบวกลดลง I_D จะเพิ่มขึ้นจนถึง I_{GSS} และเพิ่มอย่างต่อเนื่องจนเลยค่า I_{GSS} เมื่อ V_{GS} มีค่าเป็นลบเพิ่มขึ้นยังคงใช้สมการของชอเคลย์ ได้แต่ ควรระวังเครื่องหมาย V_{GS} และ V_p ในสมการให้ถูกต้อง (คือจะต้องมีเครื่องหมายเป็นบวก)



ภาพที่ 2.7 สัญลักษณ์ของตีมอสเฟตแบบแชนแนล n และ p

ถ้าสังเกตให้ดีจะเห็นว่า สัญลักษณ์สื่อความหมายถึงโครงสร้างแท้จริงอุปกรณ์ ช่องว่างระหว่างขั้ว G กับขั้ว D (ที่ต่อกับขั้ว S) แสดงว่าไม่มีการต่อกันโดยตรงระหว่างขั้วทั้งสาม เนื่องจากมีฉนวนกันที่ขั้ว G ส่วนขั้วผลึกฐาน SS ในมอสเฟต บางครั้งมี บางครั้งไม่มี จึงเขียนสัญลักษณ์ได้ทั้ง 2 แบบ คือ กรณีที่มีขั้ว SS และในกรณีไม่มีขั้ว SS ในการวิเคราะห์ลำดับต่อไปมัก จะไม่มีขั้ว SS ดังนั้น สัญลักษณ์ที่อยู่ข้างล่างจะเป็นสัญลักษณ์ที่ใช้ทั่ว ๆ ไป

2.3.2 อิมอสเฟต (EMOSFET)

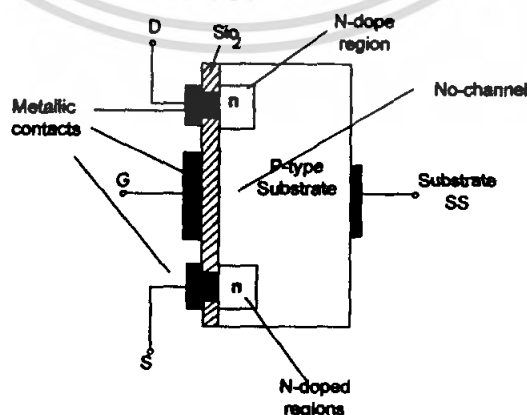
อิมอสเฟตแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

2.3.2.1 อิมอสเฟตแบบแชนแนล n

2.3.2.2 อิมอสเฟตแบบแชนแนล p

สัญลักษณ์ของ อิมอสเฟต

2.3.2.1 อิมอสเฟตแบบแชนแนล n



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างเบื้องต้นของอิมอสเฟตแบบแชนแนล n

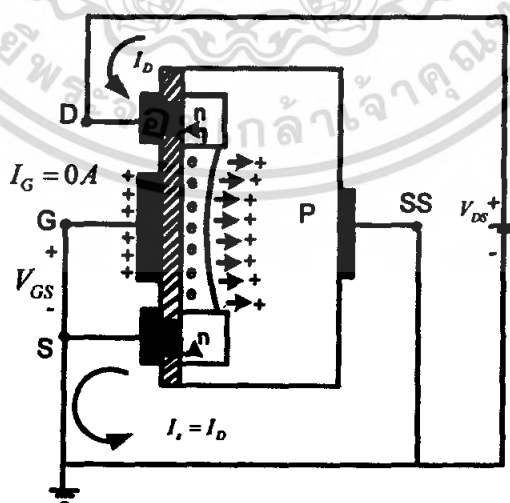
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิมอสเฟดแบบเซนแนล n ประกอบขึ้นจากแผ่นผลึกฐาน p ที่เป็นสารกึ่งตัวนำทำจากซิลิคอน ขั้ว D และขั้ว S ต่อกับ บริเวณที่มีการกระตุ้น n โดยผ่านวัสดุฉนวนที่เป็นโลหะ นอกจากนี้บางครั้งจะต่อแผ่นผลึกฐาน p เข้ากับแหล่งจ่ายจึง มีขั้ว SS เพิ่มขึ้นมาคล้ายกับติมอสเฟด ถ้าสังเกตรูป ให้อธิบายให้เห็นได้ว่าไม่มีเส้นทางเชื่อมหรือไม่มีเซนแนล (no-channel) ระหว่างบริเวณที่มีการกระตุ้น n ทั้ง 2 แห่ง นี่คือความแตกต่างเบื้องต้นระหว่างโครงสร้างของอิมอสเฟดและติมอสเฟด

การทำงานและคุณลักษณะเบื้องต้น

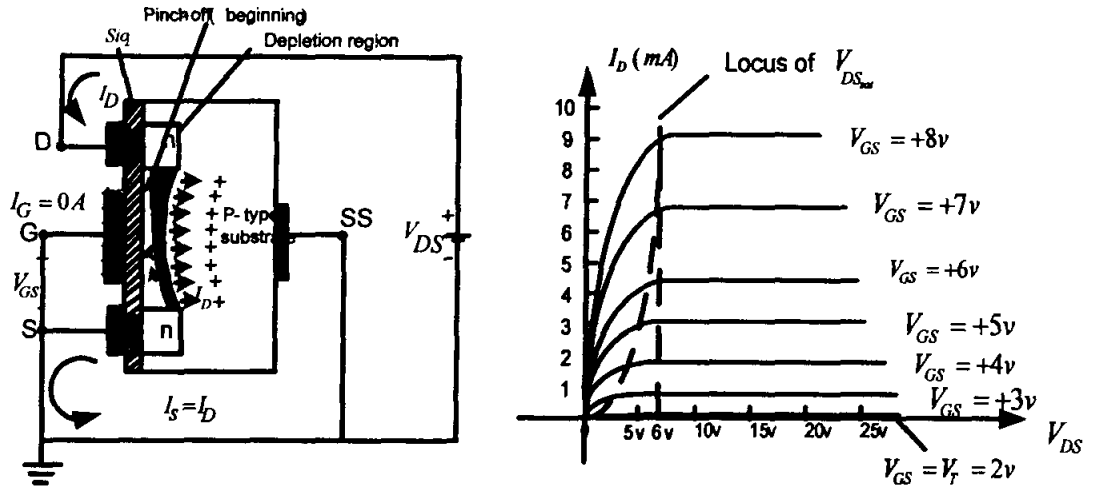
กำหนดให้ $V_{GS} = 0V$ และจ่าย V_{DS} ที่มีค่าเป็นบวกให้กับขั้ว S กับขั้ว D โดยขั้ว SS ต่อรวมกับขั้ว S ดังรูป จะเกิดจากไบอัสกลับที่รอยต่อ p-n (บริเวณที่มีการกระตุ้น n กับผลึกฐาน p) [เนื่องจากไม่มีเส้นทางเชื่อม หรือ เซนแนลระหว่างขั้ว D และขั้ว S ทำให้เกิดการต้านทานไหลของอิเล็กตรอน] กระแส $I_D = 0$ แตกต่างจาก ติมอสเฟดและเจเฟทซึ่งมี $I_D = I_{DSS}$ ถ้าจ่าย V_{DS} และ V_{GS} ที่มีค่าเป็นบวกดังรูป ทำให้ขั้ว D และขั้ว G มีความต่างศักย์เป็นบวกการที่ขั้ว G มีความต่างศักย์เป็น บวกนี้จะผลักดันให้โฮลในผลึกฐาน p เข้าไปสู่บริเวณภายในผลึกฐาน p และดึงดูด

อิเล็กตรอนในผลึกฐาน p (เป็น พาหะข้างน้อยรวมตัว อยู่ในบริเวณใกล้กับผิวของ SiO_2) ซึ่งมีคุณลักษณะเป็นฉนวนและป้องกันอิเล็กตรอนไม่ให้ดึงดูด ไปยังขั้วเกต ขณะที่ V_{GS} เพิ่มขึ้น การรวมตัวของอิเล็กตรอนใกล้กับชั้นของ SiO_2 ก็เพิ่มมากขึ้นตามลำดับขณะเดียวกันบริเวณที่มีการ กระตุ้น n เกิดการเหนี่ยวนำจากแรงดัน V_{GS} ทำให้มีอิเล็กตรอนหรือ I_D (มีทิศทางตรงข้ามกับอิเล็กตรอน)ไหลระหว่าง ขั้ว D กับขั้ว S ระดับ V_{GS} ทำให้ I_D ไหลเราเรียกว่า แรงดันเชรสโฮลด์ (Threshold Voltage, V_T) ในสเปคกำหนดให้ V_T เป็น $V_{GS(m)}$



ภาพที่ 2.9 ลักษณะการทำงานอิมอสเฟดแบบเซนแนล n

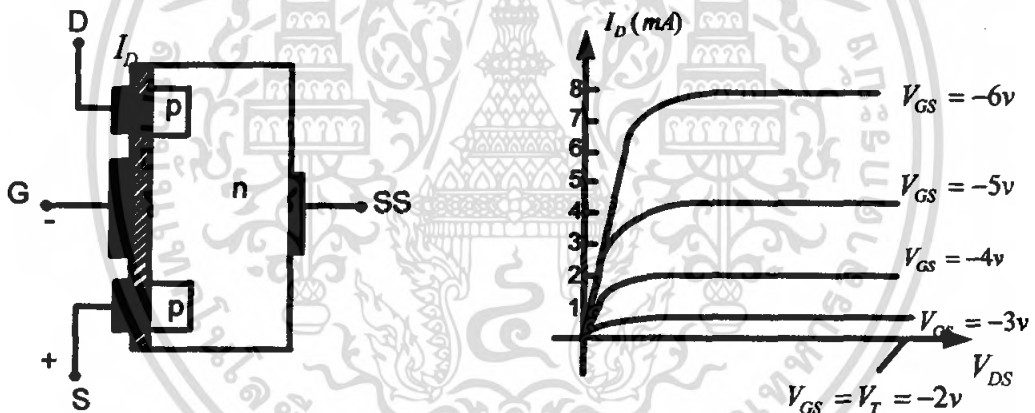
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.10 กราฟแสดงการทำงานของมอสเฟตชนิดอีแชนแนล n

2.3.2.2 อิมอสเฟตแบบแชนแนล p

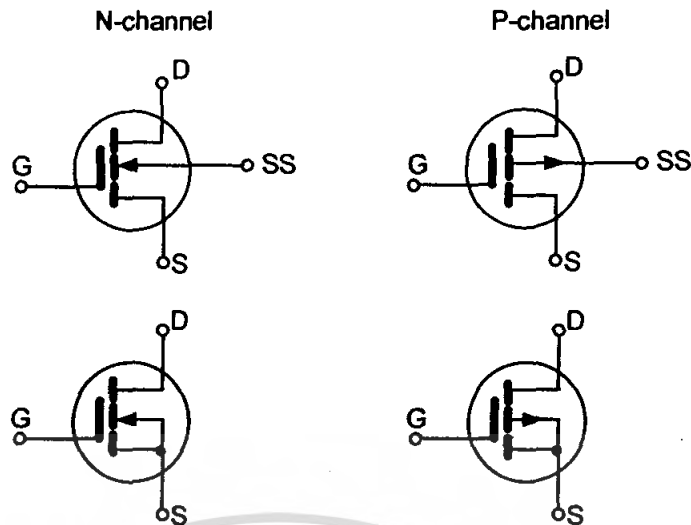
โครงสร้างของอิมอสเฟตแบบแชนแนล p มีลักษณะตรงข้ามกับแบบแชนแนล n



ภาพที่ 2.11 โครงสร้างของอิมอสเฟตแบบแชนแนล p

กล่าวคือ ขั้ว D และขั้ว S ต่อกับผลึกฐาน n และบริเวณที่มีการกระตุ้น p(p-doped regions)แต่ขั้วของแรงดันและทิศทาง กระแสตรงข้ามกับแบบแชนแนล n นอกจากนี้คุณลักษณะของเคอร์ฟ่ายโอนก็จะแสดงค่าที่ด้านตรงข้ามสัญลักษณ์(Symbol) สัญลักษณ์ของอิมอสเฟตแบบแชนแนล p และแชนแนล n เป็นดังภาพ

จะเห็นได้ว่าสัญลักษณ์แสดงโครงสร้างแท้จริงของอุปกรณ์เส้นประเชื่อมระหว่างขั้ว D กับ ขั้ว S แสดงว่าไม่มีแชนแนลระหว่างขั้วทั้งสอง (ขณะไม่ได้รับการไบอัส) ซึ่งเป็นความแตกต่างประการเดียวระหว่างสัญลักษณ์ของดีมอสเฟตกับอิมอสเฟต



ภาพที่ 2.12 สัญลักษณ์ของดีมอสเฟตกับอีมอสเฟต

2.3.3 กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของเพาเวอร์มอสเฟต

กำลังงานที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงานนั้น เป็นไปได้ 2 ลักษณะ เช่นเดียวกับไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ คือ กำลังสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะ และกำลังสูญเสียขณะนำกระแส แต่สำหรับเพาเวอร์มอสเฟตจะมีช่วงเวลากำนำกระแส และช่วงการหยุดนำกระแสสั้นกว่าไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์มาก เพราะโครงสร้างของเพาเวอร์มอสเฟตจะไม่มีประจุสะสมเกิดขึ้น จึงไม่มีปัญหาในลักษณะเดียวกับแบบไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ อย่างไรก็ตามเพาเวอร์มอสเฟตจะมีความต้านทานขณะตัวมันนำกระแสค่อนข้างสูง การสูญเสียในเพาเวอร์มอสเฟตขณะนำกระแสจึงสูงกว่าไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ในภาพที่ 2.11 แสดงลักษณะการตอบสนองของเพาเวอร์มอสเฟตเมื่อทำงานเป็นสวิตช์

ถึงแม้ว่าช่วงเวลาเริ่มนำกระแส และหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตจะค่อนข้างสั้น แต่โดยทั่วไปเพาเวอร์มอสเฟตมักจะถูกใช้งานที่ความถี่สูง การใช้งานที่ความถี่สูงกว่า 50 กิโลเฮิรตซ์ การคิดค่ากำลังสูญเสียขณะทำงานจำเป็นต้องนำค่ากำลังงานสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะมาคิดด้วย เนื่องจากช่วงเวลาเริ่มหยุดกระแส (TURN OFF TIME) กับช่วงเวลาเริ่มนำกระแส (TURN ON TIME) ของเพาเวอร์มอสเฟตมีค่าใกล้เคียงกัน จึงต้องนำมาคิดทั้งสองช่วงเวลาด้วย ดังนั้น กำลังงานสูญเสียของเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงาน PD มีค่าเท่ากับ

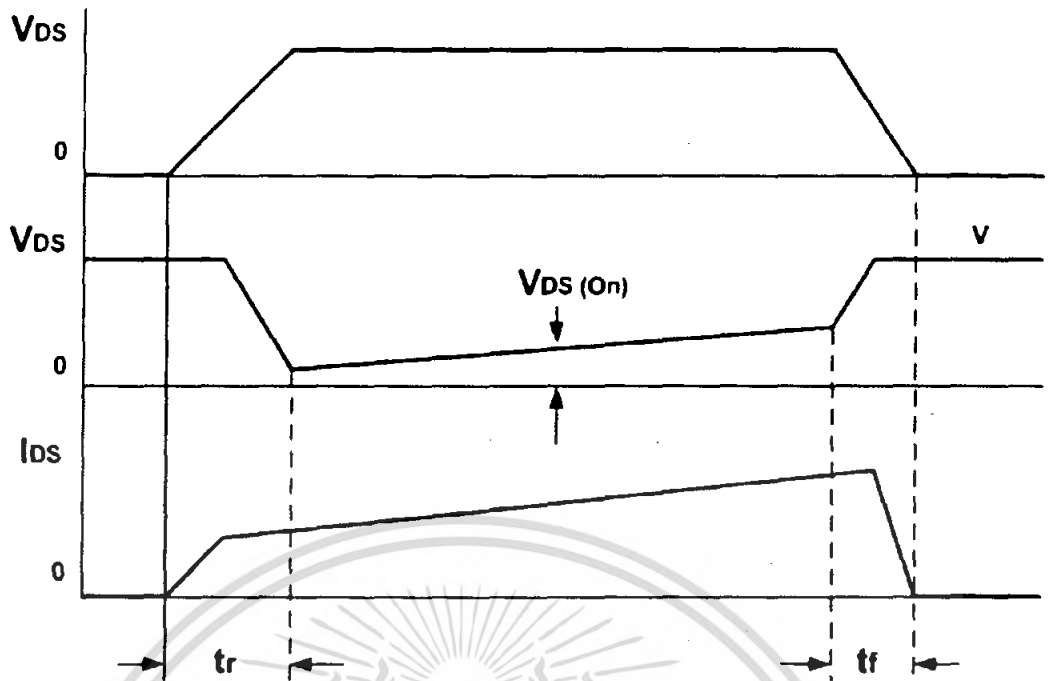
$$P_D = P_{SW(ON)} + P_{SW(OFF)} + P_C$$

$$P_{SW(ON)} = 0.5 I_{PK(ON)} \times (V_{in} \times t_r) / T$$

$$P_{SW(OFF)} = 0.5 I_{PK(OFF)} \times (V_{in} \times t_f) / T$$

$$P_C = I_{Drms}^2 \times R_{DS(ON)} (T_j)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.13 แสดงลักษณะของกระแส และแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟตเมื่อเริ่มนำกระแส และเริ่มหยุดนำกระแส

เมื่อ

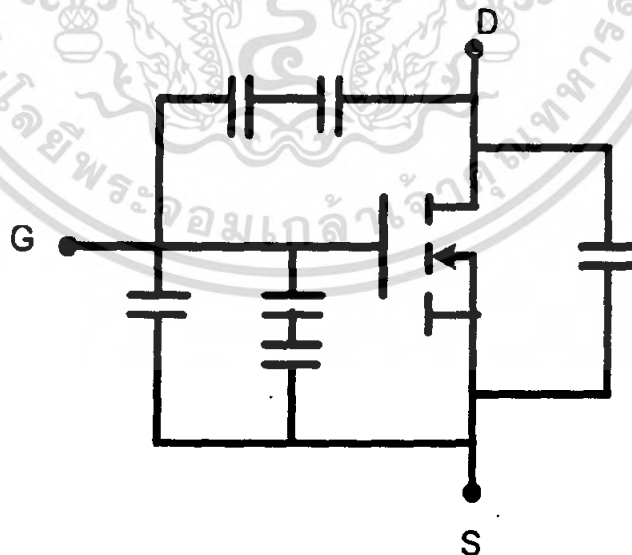
- $P_{SW(ON)}$ คือ กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต
- $P_{SW(OFF)}$ คือ กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต
- P_C คือ กำลังงานสูญเสียขณะนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต
- $I_{PK(ON)}$ คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มนำกระแส
- $I_{PK(OFF)}$ คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มหยุดนำกระแส
- $R_{DS(ON)} (T_j)$ คือ ค่าความต้านทานระหว่างเดรนและซอร์สที่อุณหภูมิรอต่อสูงสุดขณะทำงานของเพาเวอร์มอสเฟต
- t_r คือ ช่วงเวลาเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต
- t_f คือ ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

2.3.4 เงื่อนไขของการขับเพาเวอร์มอสเฟต

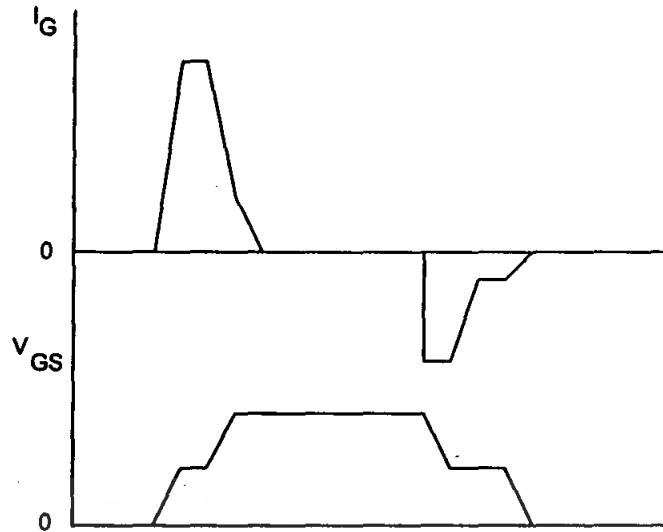
การขับเพาเวอร์มอสเฟตให้น้ำกระแสนั้น แตกต่างจากการขับกระแสไบแอสในไบโพลาร์ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เนื่องจากมีเงื่อนไขในการไบแอสต่างกัน สำหรับไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์กระแสจะไหลผ่านคอลเลคเตอร์ และอิมิตเตอร์ได้ก็ต่อเมื่อ มีกระแสไบแอสไหลผ่านที่เบสและอิมิตเตอร์ แต่เพาเวอร์มอสเฟตจะมีกระแสไหลผ่านทั้งเดรนและซอร์สมีค่าอย่างต่ำเท่ากับค่าแรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage) ของมันแต่ใช้กระแสต่ำ การขับเพาเวอร์มอสเฟตให้น้ำกระแสนี้ทำได้ง่าย และยุ่งยากน้อยกว่าไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก อย่างไรก็ตาม เพื่อให้เพาเวอร์มอสเฟตทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงจำเป็นต้องศึกษาเงื่อนไขต่าง ๆ สำหรับการบังคับให้เพาเวอร์มอสเฟตนำกระแสเป็นอันดับแรกเสียก่อน

2.3.5 ค่าความจุไฟฟ้าด้านอินพุต (Input Capacitance)

เนื่องจากลักษณะโครงสร้างภายในตัวเพาเวอร์มอสเฟต จะเหมือนกับมีตัวเก็บประจุต่ออยู่รอบ ๆ ขา ต่าง ๆ ของมอสเฟตดังในผังภาพที่ 2.14 แสดงตัวเก็บประจุเหล่านี้บังคับให้เพาเวอร์มอสเฟตต้องชาร์จประจุเข้าไปที่ตัวเก็บประจุเสียก่อนเพื่อให้แรงดันคกคร่อมที่ขาเกต (V_{GS}) มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าแรงดันขีดเริ่ม เพาเวอร์มอสเฟตจึงจะนำกระแสในทางกลับกันการหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตจะต้องทำให้แรงดันเก็บประจุ และคายประจุออกไปจนแรงดันที่คกคร่อมที่ขาเกต (V_{GS}) มีค่าลดลงต่ำกว่าค่าแรงดันขีดเริ่มโดยทั่วไปแล้วค่าความจุของตัวเก็บประจุในตัวเพาเวอร์มอสเฟตนี้เอง จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการเปลี่ยนแปลงสถานะของมัน



ภาพที่ 2.14 ตัวเก็บประจุแฝงที่ต่ออยู่ที่ขาต่าง ๆ ภายในตัวเพาเวอร์มอสเฟต



ภาพที่ 2.15 แรงดันและกระแสขาเกตขณะเพาเวอร์มอสเฟตถูกไบอัสให้นำกระแส

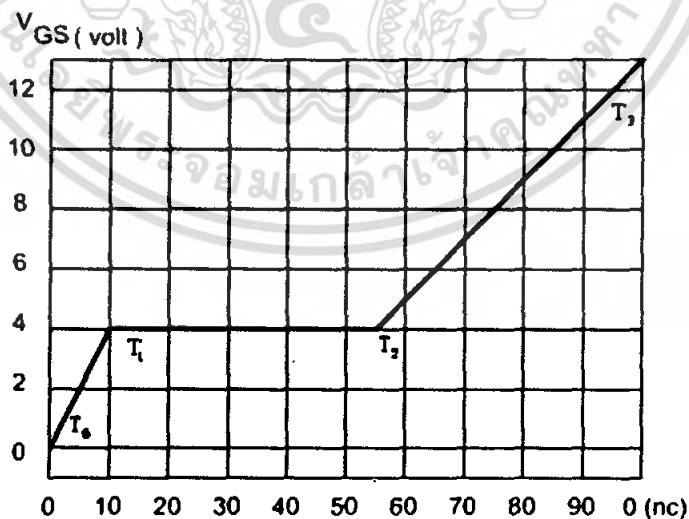
2.3.6 การกำหนดเวลาในการเปลี่ยนสถานะ

ปกติแล้วผู้ผลิตจะให้กราฟของแรงดัน (V_{GS}) ที่เพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าประจุสะสมที่ขาเกตเพิ่มขึ้น (Gate Charge Chart) มาในข้อมูล (Data Sheet) ด้วยกราฟนี้ มีประโยชน์มากในการคำนวณค่ากระแสไบอัสเกต และเวลาในการเปลี่ยนแปลงสถานะของเพาเวอร์มอสเฟต

ลักษณะของกราฟแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ตามผลของประจุที่เพิ่มขึ้นคือ ช่วงเวลาหน่วงก่อนเริ่มนำกระแส (turn on delay : t_0)

ช่วงเวลาเริ่มนำกระแส (rise time) $t_1 \longrightarrow t_2$

ช่วงเวลาสะสมประจุส่วนเกิน (excess charge time) $t_2 \longrightarrow t_3$



ภาพที่ 2.16 ตัวอย่างของ Gate Charge Chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเพาเวอร์มอสเฟตเริ่มซาร์จประจุที่ขาเกตจนกระทั่งช่วงเวลาหนึ่งก่อนเริ่มนำกระแส เมื่อแรงดันขาเกตมากกว่าแรงดันขีดเริ่มต้น ($V_{GS(th)}$) จึงเริ่มมีกระแสไหลผ่านเดรนและซอร์สที่เวลา t_0 ค่าของแรงดันจะยังไม่ลดลงจนกว่าจะผ่านเวลาที่ t_1 แรงดันตกคร่อมเดรนและซอร์ส (V_{DS}) จึงมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจากค่าแรงดันที่ประมาณ 90% จนเหลือเพียง 10% ของค่าแรงดันตกคร่อม (V_{DS}) สูงสุดเพาเวอร์มอสเฟตจะนำกระแสได้อย่างเต็มที่ในช่วงเวลาเริ่มนำกระแส t_1 และ t_2 นี้เอง และแรงดันที่ตกคร่อมขาเกต (V_{GS}) จะคงที่จนกว่าเพาเวอร์มอสเฟตจะสามารถนำกระแสได้อย่างเต็มที่ในเวลาสะสมประจุส่วนเกินค่าความต้านทานระหว่างเดรนและซอร์สจะมีค่าลดลงได้เรื่อย ๆ หากปล่อยให้มีการสะสมประจุต่อไปในช่วงเวลา t_2 ถึง t_3 จะทำให้เกิดการหน่วงขณะเริ่มหยุดนำกระแส เนื่องจากเพาเวอร์มอสเฟตจะต้องใช้เวลามากในการคายประจุส่วนเกินนี้ทิ้งไป ดังนั้นการขับเพาเวอร์มอสเฟตที่ขาเกตด้วยแรงดันสูงเกินความจำเป็น จะทำให้ช่วงเวลาหยุดนำกระแสเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลเสีย

2.3.7 ข้อพิจารณาในการเลือกเพาเวอร์มอสเฟต

สำหรับเพาเวอร์มอสเฟต การเกิดเซกันด์ารีเบรกดาวน์เช่นในไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะเกิดขึ้น เพราะค่าความต้านทานระหว่างขาเดรน และขาซอร์สขณะนำกระแส ($R_{DS(on)}$) ของมันมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสที่ไหลผ่านมีค่าน้อยลง ต่างจากกรณีไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ขณะเกิดเซกันด์ารีเบรกดาวน์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นกระแสจะไหลผ่านมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะเกิดการพังเสียหายได้อย่างรวดเร็วเพาเวอร์มอสเฟตจึงมีพิภคความปลอดภัยในกราฟเอสโอเอ (SOA) กว้างกว่าเมื่อเทียบกับไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ และเนื่องจากเพาเวอร์มอสเฟตไม่เกิดเซกันด์ารีเบรกดาวน์ อัตราทนกำลังสูญเสียสูงสุดของมันจะถูกจำกัดด้วยค่าความร้อนที่เกิดขึ้นที่รอยต่อภายในตัวมันเท่านั้น

2.3.8 พิกัดความปลอดภัยเอฟบีเอสโอเอ (FBSOA)

ขีดจำกัดที่พิภคความปลอดภัยเอฟบีเอสโอเอ (FBSOA) ของเพาเวอร์มอสเฟตนั้นอาจแบ่งออกได้เป็น 4 ลักษณะ ดังนี้

1. ขีดจำกัดแรงดันตกคร่อมเดรนและซอร์ส (V_{DS}) สูงสุดที่สามารถทนได้
2. ค่ากระแสเดรน (I_D) สูงสุดที่สามารถทนได้ และไม่ทำให้โครง-สร้างภายในเสียหายได้
3. ขีดจำกัดเนื่องจากค่าความต้านทาน ขณะนำกระแส ($R_{DS(on)Limit}$)
4. ขีดจำกัดการระบายความร้อนของตัวถัง

2.3.9 ข้อดีของการใช้มอสเฟต

1. ความเร็ว

มอสเฟตมีความสามารถในการสวิตช์ซึ่งด้วยความเร็วโดยปราศจากการสะสมประจุอย่างไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้นจึงไม่คิดช่วงเวลาสะสมจึงทำให้มอสเฟตมีความเร็วกว่าทรานซิสเตอร์ในการสวิตช์ซึ่งความเร็วของมอสเฟตขึ้นอยู่กับ การเก็บประจุและคายประจุของตัวเก็บประจุภายใน

2. อินพุต

ขาเกตของมอสเฟตนั้นถูกแยก (Isolate) จากแหล่งจ่ายด้วยชั้นออกไซด์ที่ทำให้เกิดความต้านทานกระแสตรงสูงมาก มอสเฟตสามารถถูกไบอัสด้วยแรงดัน ประมาณ 10 volt ด้วยค่าแรงดันขานานนี้จึงสามารถทำการขับมอสเฟตได้ IC,TTL,CMOS ได้โดยตรงทำให้ลดความยุ่งยากของวงจร

3. ย่านความปลอดภัย

ขอบเขตย่านความปลอดภัยของมอสเฟตได้ถูกกำหนดพิภคกระแสสูงสุด แรงดันเบรกดาวน์ ขอบเขตของย่านความปลอดภัยจะกว้างเนื่องจากไม่เกิดการเบรกดาวน์ทางด้าน (Breakdown Secondary) ซึ่งบางทีอาจจะไม่จำเป็นต้องใช้วงจรสับเบอร์ก็ได้

4. อุณหภูมิ

สัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของมอสเฟตมีค่าตรงข้ามกับทรานซิสเตอร์ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิ ในตัวมอสเฟตสูงขึ้นกระแสดรณจะมีค่าน้อยลง ดังนั้นการทำงานของมอสเฟตจึงไม่มีเหตุเกิดขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

5. แรงดัน

แรงดันต่ำสุดของมอสเฟตกำลังหาได้จากความต้านทานของอุปกรณ์ R_{DS} สำหรับอุปกรณ์แรงดันต่ำค่าของ R_{DS} จะต้องมีค่าต่ำสุดสำหรับแรงดันสูงค่า R_{DS} ต้องมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของ R_{DS} เป็นบวกเพิ่มกำลังได้

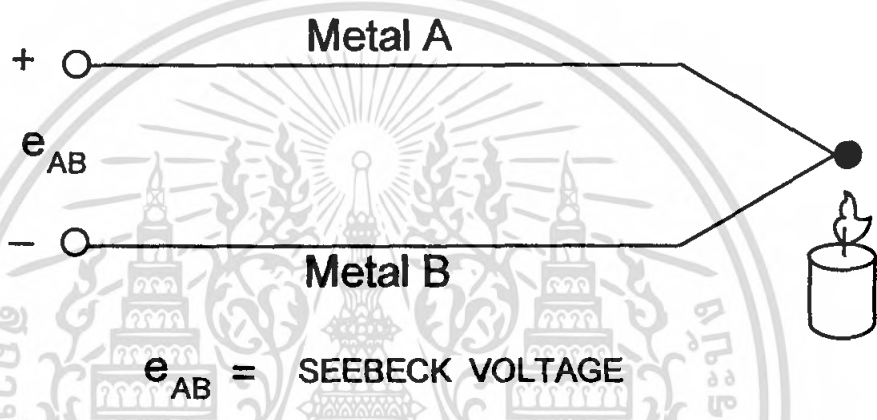
2.4 การวัดอุณหภูมิ

หลักการของเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

ในงานวิศวกรรม Thermocouple เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่นิยมใช้กันมากที่สุด เพราะมีข้อได้เปรียบอุปกรณ์วัดอุณหภูมิชนิดอื่นๆ อยู่หลายประการ เช่น

- เป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก สามารถวัดในพื้นที่ที่จำกัดได้
- แข็งแรงทนทาน ทนต่อแรงกระแทกและการสั่นสะเทือนได้
- การติดตั้งและประกอบทำได้สะดวก
- การวัดอุณหภูมิสองจุดทำได้ง่าย

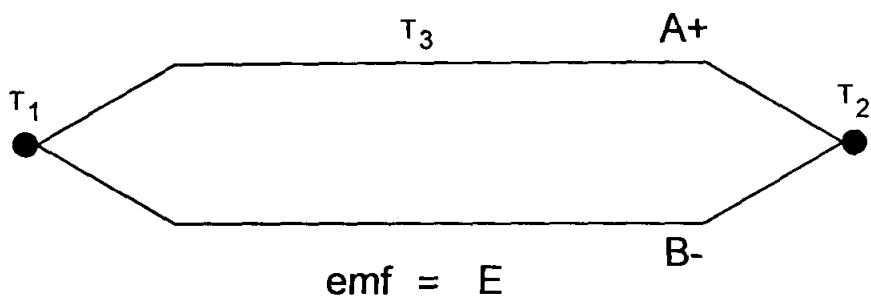
ในปี ค.ศ. 1827 นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันชื่อ Thomas Seebeck พบว่าเมื่อนำโลหะ 2 ชนิดที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน และทำให้ปลายที่เชื่อมไว้ทั้งสองข้างมีอุณหภูมิต่างกันจะเกิดกระแสไฟฟ้าในวงจรตลอดทั้งสอง ปริมาณของกระแสไฟฟ้า จะเปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดเชื่อมของทั้งสองด้านนั้น แรงเคลื่อนนี้เรียกว่า ซีเบคโวลเตจ (Seebeck Voltage) ตามภาพที่ 2.17 ต่อมาในปี ค.ศ. 1934 นักวิทยาศาสตร์ชื่อ Jean C.A. Peltier พบว่า เมื่อจ่ายกระแสเข้าไปในวงจรลักษณะเดียวกันที่ซีเบคสร้างขึ้น จะทำให้อุณหภูมิที่ปลายทั้งสองด้านแตกต่างกัน โดยปลายด้านหนึ่งจะร้อน ส่วนอีกด้านหนึ่งจะเย็นลง ลวดทั้งสองทำจากบิสมาทและแอนโดโมเนีย จากการค้นพบของซีเบคและเพลเทียร์ เป็นรากฐานของการค้นคว้าเกี่ยวกับหลักการของเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งได้พัฒนาเป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมปัจจุบัน



ภาพที่ 2.17 หลักการของเทอร์โมคัปเปิล

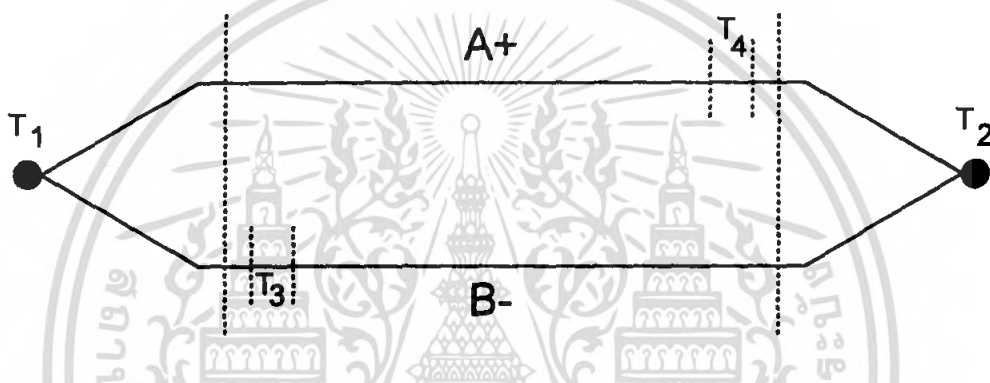
2.4.1 ปรากฏการณ์ของเทอร์โมคัปเปิล

1. กฎของการเกิดแรงเคลื่อนทางไฟฟ้า เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ
2. กฎของวงจรโลหะชนิดเดียวกัน (Law of the homogeneous circuit) ในวงจรที่ประกอบขึ้นด้วยโลหะชนิดเดียวกันจะไม่เกิดกระแสไฟฟ้าในวงจร เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดทั้งสอง
3. กฎของโลหะแทรก (Law of the intermediate circuit) ถ้าหากมีโลหะแทรกอยู่ในส่วนหนึ่ง ส่วนใดของวงจร การเพิ่มของโลหะที่แทรกเข้าไปนี้จะไม่มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในทางปฏิบัติที่ใช้กันอยู่เสมอ เช่น ข้อต่อ หรือสายทองแดงที่ใช้ต่อเข้ากับมิเตอร์



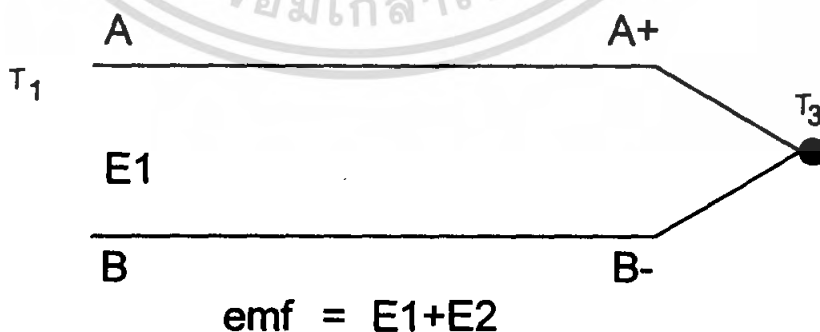
ภาพที่ 2.18 กฎของโลหะแทรก

1. ในเทอร์โมคัปเปิลคู่เดียวกันอุณหภูมิที่มีผล คือ อุณหภูมิที่ปลายจุดทั้งสองข้างเท่านั้น อุณหภูมิบนจุดต่างๆตามสายจะไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 2.19 อุณหภูมิช่วงกลางสายจะไม่มีผลต่อการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า

2. กฎของอุณหภูมิแทรก (Law of the intermediate temperature) แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นโดยเทอร์โมคัปเปิลชุดใดๆ จะมีค่าเท่ากับผลรวมทางพีชคณิตของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิล



ภาพที่ 2.20 กฎของอุณหภูมิแทรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 เทอร์โมคัปเปิลชนิดมาตรฐาน

เทอร์โมคัปเปิลชนิด S

สายลบบททำจากพลาตินัม และสายบวกทำจากโลหะผสม 90 % ของพลาตินัม + 10 % ของโรเดียมสามารถวัดอุณหภูมิสูงถึง 1400 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลชนิด S นี้ สามารถนำไปใช้งานในสภาวะที่เป็น Oxidizing และ Inert ได้ดีโดยสามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 1400 องศาเซลเซียส ถ้าเป็นการใช้งานในระยะสั้นๆ สามารถทนได้ถึง 1482 องศาเซลเซียส แต่ไม่เหมาะสำหรับสภาวะที่เป็น Recing , Vacuum หรือสภาพงานที่มีไอของโลหะ เช่น ตะกั่ว สังกะสี และไอของโลหะที่จะทำให้อายุการใช้งานสั้นลง จึงจำเป็นต้องป้องกันด้วย Protecting Tube ที่เป็นแบบอโลหะ

เทอร์โมคัปเปิลชนิด R

สายบวกทำจากพลาตินัม สายลบบททำจากพลาตินัม 87 % + โรเดียม 13 % เอาท์พุทของชนิด R สูงกว่าชนิด S

เทอร์โมคัปเปิลชนิด B

สายบวกทำจากพลาตินัม 70 % + โรเดียม 30 % สายลบบททำจากพลาตินัม 94 % + โรเดียม 6 %

เทอร์โมคัปเปิลชนิด B จะให้แรงเคลื่อนค่าว่าชนิด S และ R แต่คุณสมบัติที่เด่นกว่าคือทนอุณหภูมิได้สูงถึง 1704 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่เป็น Oxidizing และ Inert แต่ไม่เหมาะสำหรับสภาวะงานที่เป็น Recing , Vacuum

เทอร์โมคัปเปิลชนิด J

สายบวกทำด้วยเหล็ก สายลบบทด้วย Constantan (โลหะผสมระหว่าง 60% ของทองแดง +40% ของนิกเกิล)

เทอร์โมคัปเปิลชนิด J นี้ เหมาะสำหรับสภาพงานที่เป็น Vacuum, Oxidizing, reducing หรือ Inert ที่อุณหภูมิไม่เกิน 760 ไม่เหมาะสำหรับงานที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิสูงกว่า 538 องศาเซลเซียส ควรที่จะใช้สายเทอร์โมคัปเปิลที่มีขนาดใหญ่มาก ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานยืนยาวขึ้น

เทอร์โมคัปเปิลชนิด T

สายบวกทำด้วยทองแดง สายลบบททำจาก Constantan

เทอร์โมคัปเปิลชนิด T เหมาะสำหรับการวัดอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ ในสภาพการใช้งานปกติสามารถวัดอุณหภูมิได้ต่ำถึง -184 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิทางบวกวัด

ได้ดีกว่าชนิดอื่น และสามารถใช้งานในสภาวะที่เป็น Vacuum, Oxidizing, reducing หรือ Inert ได้ดี

เทอร์โมคัปเปิลชนิด K

สายบวกทำจากโลหะผสมระหว่าง นิกเกิล 10%+ โครเมียม 90% สายลบทำจากโลหะผสมระหว่างนิกเกิล 95%+5% ของส่วนผสมระหว่างอะลูมิเนียม,แมงกานีสและซิลิกอน สามารถนำมาใช้งานในสภาวะที่เป็น Oxidizing หรือ Inert ได้ดีกว่าชนิดอื่น สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 1260 องศาเซลเซียส และที่ อุณหภูมิต่ำถึง -250 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงชนิดของเทอร์โมคัปเปิล

แบบ	ช่วงอุณหภูมิใช้งาน (C°)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (mV)
B	0-1828	0-1.3814
R	-50-1768	-2.26-21.108
S	-50-1768	-0.238-18.698
J	-210-760	-8.096-42.922
K	-270-1260	-6.458-54.875
T	-270-400	-6.258-20.869
E	-270-1000	-9.835-76.385

2.5 ไดโอดกำลัง (Power Diode)



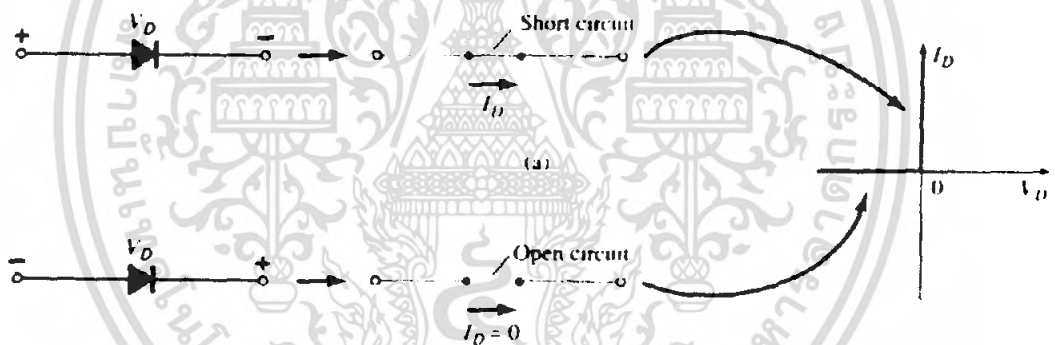
ภาพที่ 2.21 โครงสร้างของไดโอดกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดโอดกำลังเป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ เมื่อไดโอดถูกไบอัสไปข้างหน้า ไดโอดจะนำกระแส โดยมีแรงดันตกคร่อมเล็กน้อยระดับหนึ่งโวลต์ และเมื่อไดโอดถูกไบอัสย้อนกลับจะมีกระแสไฟฟ้ารั่วขนาดเล็กน้อยมากจนอาจถือว่าไม่มีกระแสไฟฟ้าให้ผ่านตัวไดโอดจนกระทั่งถึงจุดแรงดันไฟฟ้าเบรกตาวนัยย้อนกลับไดโอด เป็นอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ p-n สามารถควบคุมให้กระแสไฟฟ้าจากภายนอกไหลผ่านตัวมันได้ทิศทางเดียว ไดโอดประกอบด้วยขั้ว 2 ขั้ว คือ แอโนด (Anode ; A) ซึ่งต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิด p และ แคโทด (Cathode ; K) ซึ่งต่ออยู่กับสารกึ่งตัวนำชนิด n

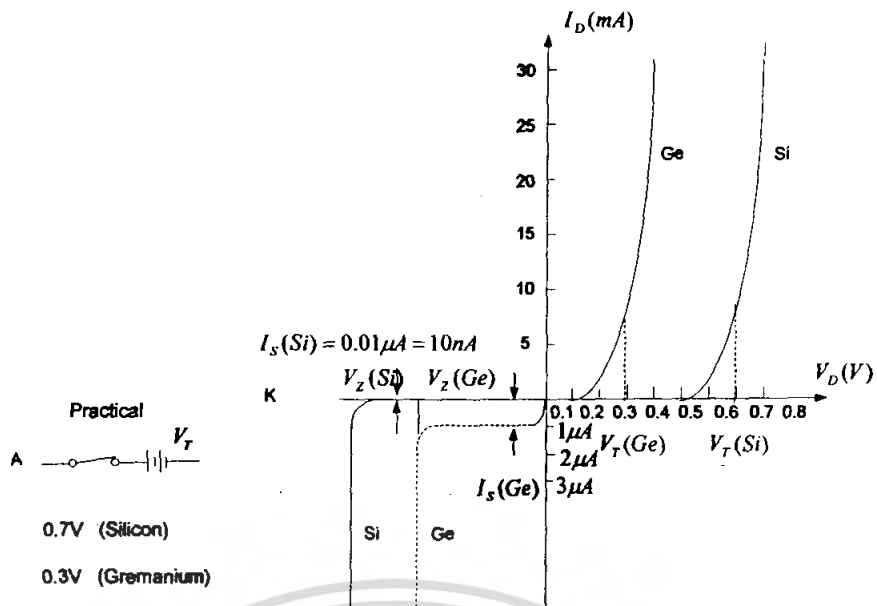
2.5.1 ไดโอดในทางอุดมคติ (Ideal Diode)

ไดโอดในอุดมคติมีลักษณะเหมือนสวิตช์ที่สามารถนำกระแสไหลผ่านได้ในทิศทางเดียว จากภาพถ้าต่อขั้วแบตเตอรี่ให้เป็นแบบไบอัสตรง ไดโอดจะเปรียบเป็นเสมือนกับสวิตช์ปิด (Close Switch) หรือไดโอดลัดวงจร (Short Circuit) I_D ไหลผ่านไดโอดได้ แต่ถ้าต่อขั้วแบตเตอรี่แบบไบอัสกลับ ไดโอดจะเปรียบเป็นเสมือนสวิตช์เปิด (Open Switch) หรือเปิดวงจร (Open Circuit) ทำให้ I_D เท่ากับศูนย์



ภาพที่ 2.22 ลักษณะการทำงานของไดโอดในทางอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



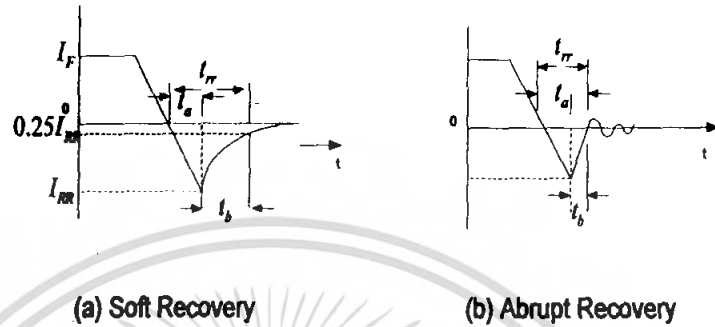
ภาพที่ 2.23 ลักษณะการทำงานของไดโอดในทางปฏิบัติ

2.5.2 ไดโอดในทางปฏิบัติ (Practical Diode)

ไดโอดในทางปฏิบัติมีการแพร่กระจายของพาหะส่วนน้อยที่บริเวณรอยต่ออยู่จำนวนหนึ่ง ดังนั้น ถ้าต่อไบอัสตรงให้กับไดโอดในทางปฏิบัติก็จะเกิด แรงดันเสมือน ($Ge \geq 0.3V$; $Si \geq 0.7$) ซึ่งต้านแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเพื่อการไบอัสตรง ขนาดของแรงดันเสมือนจึงเป็นตัวบ่งชี้จุดทำงาน ดังนั้น จึงเรียก แรงดันเสมือน อีกอย่างหนึ่งว่าแรงดันในการเปิด (Turn-on Voltage ; V_T) กรณีไบอัสกลับ เราทราบว่า Depletion Region จะขยายกว้างขึ้น แต่ก็ยังมีพาหะข้างน้อยแพร่กระจายที่รอยต่ออยู่จำนวนหนึ่ง แต่ก็ยังมีกระแสรั่วไหลอยู่จำนวนหนึ่ง เรียกว่า กระแสรั่วไหล (Leakage Current) เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้นเรื่อยๆ กระแสรั่วไหลจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ไดโอดนำกระแสเพิ่มขึ้นมาก ระดับกระแสที่จุดนี้ เรียกว่า กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (Reverse Saturation Current ; I_s) แรงดันไฟฟ้าที่จุดนี้ เรียกว่า แรงดันพังทลาย (Breakdown Voltage) และถ้าแรงดันไบอัสกลับสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่ไดโอดทนได้ เราเรียกว่า แรงดันพังทลายซีเนอร์ (Zener Breakdown Voltage ; V_Z) ถ้าแรงดันไบอัสกลับสูงกว่า V_Z จะเกิดความร้อนอย่างมากที่รอยต่อของไดโอด ส่งผลให้ไดโอดเสียหายหรือพังได้ แรงดันไฟฟ้าที่จุดนี้เราเรียกว่า แรงดันพังทลายอวาแลนซ์ (Avalanche Breakdown Voltage) ดังนั้น การนำไดโอดไปใช้งานจึงใช้กับการไบอัสตรงเท่านั้น

อย่างไรก็ตามขณะที่ไดโอดเริ่มเปลี่ยนสถานะไปหยุดนำกระแส มันต้องใช้เวลาในการลดประจุสะสมที่รอยต่อออกไปเสียก่อน จึงปรากฏกระแสรีเวิร์สเป็นช่วงระยะเวลาที่เรียกว่า เวลาการฟื้นตัวย้อนกลับ (Reverse Recovery Time: t_{rr}) ดังแสดงในภาพที่ 2.22 ก่อนที่กระแสดังกล่าวจะเข้าสู่ศูนย์อีกครั้งหนึ่งเพื่อบ่งบอกว่าไดโอดหยุดนำกระแสได้อย่างสนิท ลักษณะการ

ฟื้นตัวย้อนกลับของไดโอดกำลังจะมีอยู่ 2 ลักษณะคือการฟื้นตัวอย่างนุ่มนวล(Soft recovery) และการฟื้นตัวอย่างฉับพลัน(Abrupt recover)ดังแสดงภาพที่2(a)และ2(b)ตามลำดับ จะสังเกตเห็นว่าเวลาการฟื้นตัวย้อนกลับ t_{rr} นั้นจะประกอบด้วยสองช่วงคือ t_a และ t_b โดยที่อัตราส่วนของ t_a/t_b เรียกว่าค่าความนุ่มนวลในการฟื้นตัว หรือ Softness Factor (SF)จะมีผลอย่างมากต่อการเกิดสัญญาณรบกวน (RFI/EMI)โดยเฉพาะในการประยุกต์ใช้งานไดโอดที่ความถี่สูงๆทั้งนี้ค่า t_{rr} และ I_{RR} สามารถหาได้จากสมการ (1) และ (2)



ภาพที่ 2.24 ช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับของไดโอดกำลัง

$$t_{rr} = \sqrt{\frac{2Q_{rr}}{di/dt}} \quad (1)$$

$$I_{RR} = \sqrt{2Q_{RR} \frac{di}{dt}} \quad (2)$$

โดยที่ I_{RR} (Peak Reverse Current) คือ ค่ายอดของกระแสฟื้นตัวย้อนกลับของไดโอดกำลัง(A)
 Q_{RR} (Storage Charge) คือ ประจุสะสมซึ่งต้องการลดยอกจากพื้นที่หน้าตัดรอยต่อ(PN Junction)ของไดโอดกำลังเมื่อไดโอดเปลี่ยนจากสภานำกระแสไปเป็นหยุดนำกระแส(μC)

t_{rr} คือ ช่วงเวลาฟื้นตัวย้อนกลับของไดโอดกำลัง(μs)

$\frac{di}{dt}$ คือ อัตราการลดลงของกระแสไดโอดกำลัง(A/ μs)

ในการใช้งานที่ความถี่ต่างๆกำลังงานสูญเสียในขณะนำกระแสของไดโอดจะถือเป็นกำลังสูญเสียส่วนใหญ่ แต่อย่างไรก็ตามที่ความถี่สูงๆกำลังงานสูญเสียส่วนใหญ่ของไดโอดจะเกิดจากกำลังสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะ(โดยเฉพาะเมื่อไดโอดเริ่มหยุดนำกระแส) ทั้งนี้เพราะไดโอดจะมีกระแสฟื้นตัวย้อนกลับไหลเป็นระยะเวลา t_{rr} ในจังหวะที่มันได้รับแรงดันไบอัสย้อนกลับไปพร้อมกันด้วย กำลังงานสูญเสียจากสวิตช์นี้จึงเพิ่มมากขึ้นโดยตรงอย่างมีนัยสำคัญตามความถี่ใช้งานที่สูงขึ้น

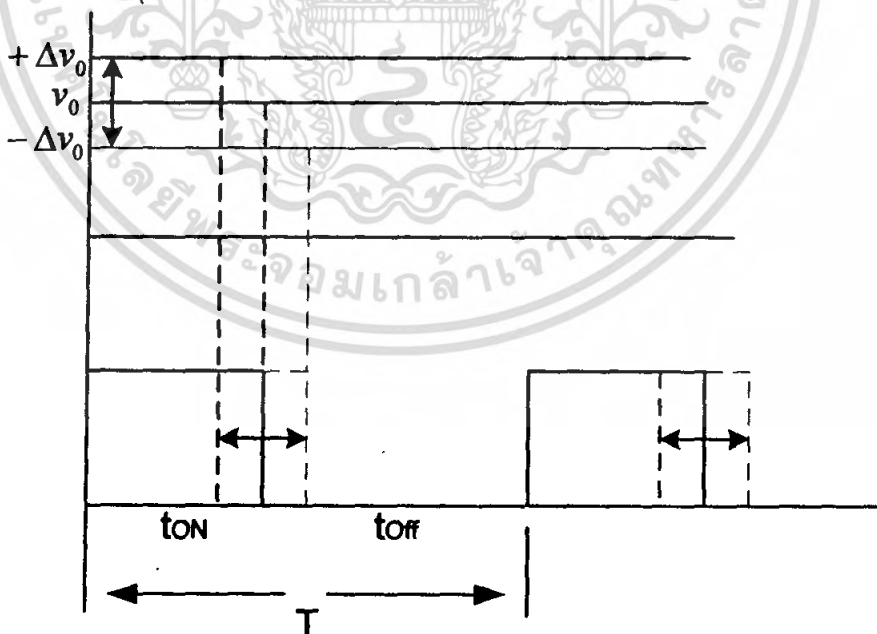
ดังนั้นในการประยุกต์ใช้งานของไดโอดกำลังจึงสมควรเลือกใช้งานของไดโอดให้ถูกต้อง และเหมาะสมกับงานนั้นๆ เพื่อที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ในการลดการเกิดกำลังงานสูญเสียทั้ง 2 ลักษณะดังกล่าวทั้งนี้โดยพิจารณาจากพิกัดกระแสและพิกัดแรงดันของไดโอดกำลัง รวมถึงความถี่ใช้งานด้วยเป็นหลักสำคัญ ในปริยญาณิพนธ์นี้จะเลือกใช้ไดโอดกำลังชนิด Fast Recovery Diode

Fast Recovery Diode หรือ Ultra- Fast Recovery Diode เป็นไดโอดที่ออกแบบสำหรับใช้งานกับวงจรที่ความถี่สูง 1-100 kHz เพราะมีค่า t_{rr} สั้นมาก คือน้อยกว่า 2-3 μs จนถึงประมาณ 30 ns ไดโอดประเภทนี้จะให้พิกัดแรงดันอยู่หลายร้อยโวลต์ และมีพิกัดกระแสเป็นร้อยแอมแปร์ แต่แรงดันตกคร่อมขณะนำกระแสจะมีค่าค่อนข้างสูง คือประมาณ 1.3-2.0 โวลต์ จึงเหมาะกับการใช้งานในวงจรแปลงผันกำลังที่มีแรงดันออกตั้งแต่ 12 โวลต์ขึ้นไป

2.6 พัลส์วิดท์มอดูเลเตอร์

2.6.1 พัลส์วิดท์มอดูเลชัน (Pulse Width Modulation: PWM)

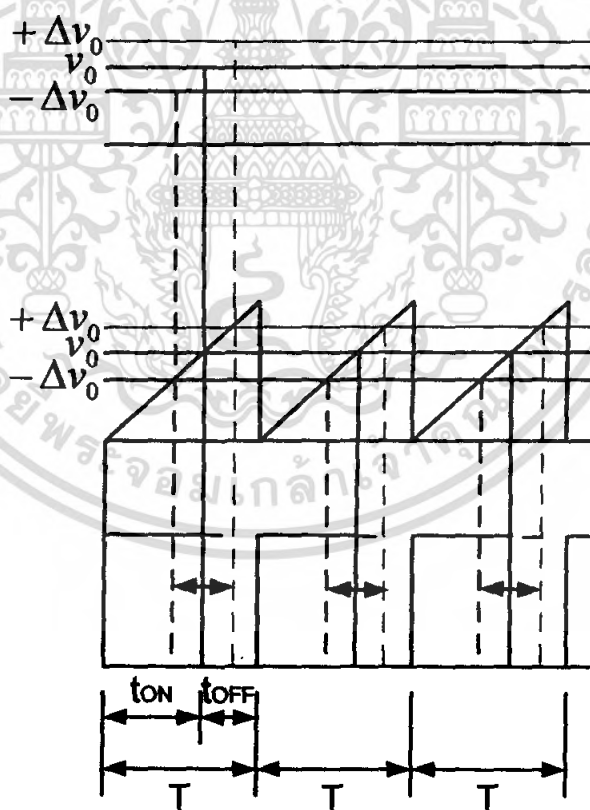
เมื่อคอนเวอร์เตอร์ใช้วงจรออสซิลเลเตอร์เป็นตัวกำหนดพัลส์ไบแอสให้กับเพาเวอร์มอสเฟต ด้วยคาบเวลาคงที่การกำหนดช่วงของพัลส์ซึ่งก็คือ ช่วงเวลา t_{on} ต้องมีความสัมพันธ์กับแรงดันเอาต์พุตด้วย กล่าวคือเมื่อแรงดันเอาต์พุตลดลงความกว้างของพัลส์ต้องมากขึ้นด้วย และเมื่อแรงดันเอาต์พุตเพิ่มขึ้นความกว้างของพัลส์ก็ต้องลดลงด้วยในขณะที่ค่าเวลาคงที่ ดังภาพที่ 2.25 ความสัมพันธ์ในลักษณะนี้เรียกว่า “พัลส์วิดท์มอดูเลชัน” (Pulse Width Modulation: PWM) โดยวงจรที่ทำให้เกิดลักษณะดังกล่าวเรียกว่า “พัลส์วิดท์มอดูเลเตอร์”



ภาพที่ 2.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับการเปลี่ยนความกว้างของพัลส์ควบคุมช่วงเวลานำกระแส t_{on} ในลักษณะพัลส์วิดท์มอดูเลชัน

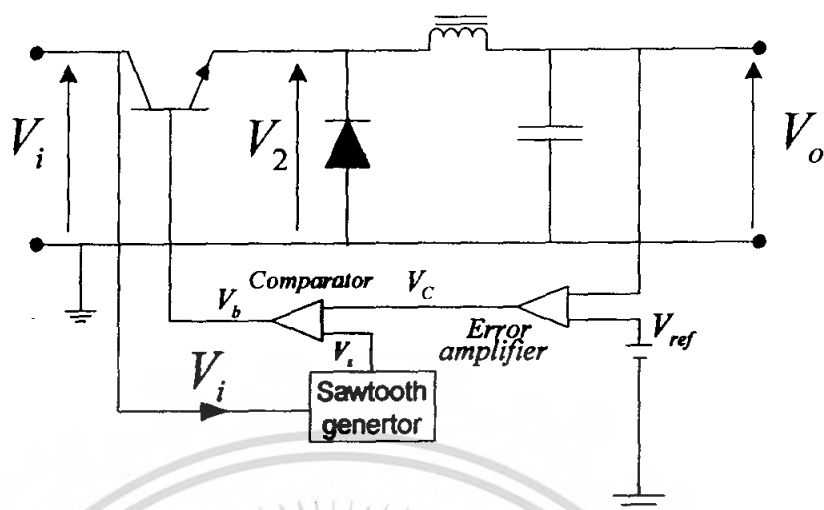
2.6.2 พัลส์วิดส์มอดูเลเตอร์ (Pulse Width Modulation: PWM)

วงจรพัลส์วิดส์มอดูเลเตอร์สามารถออกแบบได้หลายลักษณะ แต่ส่วนใหญ่จะอาศัยลักษณะสัญญาณแรงดันฟันเลื่อยในการเปรียบเทียบแรงดันในที่นี้จะขอกล่าวถึงวิธีที่ใช้สัญญาณฟันเลื่อยเปรียบเทียบแรงดันที่สำคัญแรงดันที่จุด A จะถูกส่งไปยังวงจร PWM และจะถูกเปรียบเทียบกับสัญญาณฟันเลื่อยที่จุด B ซึ่งมีคาบเวลาและความชันที่คงที่ เอาท์พุทที่ได้จากการเปรียบเทียบของ PWM จะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยมซึ่งมีคาบเวลาที่เท่ากับเวลาของแรงดันรูปฟันเลื่อย และมีความกว้างของพัลส์เปลี่ยนตามผลมอดูเลเตอร์ของแรงดันที่ตำแหน่ง A และ B ค่าความกว้างของพัลส์นี้จะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาการนำกระแส t_{on} ของเพาเวอร์มอสเฟสในวงจร เมื่อแรงดันเอาท์พุทของคอนเวอเตอร์มีค่ามากขึ้น แรงดันที่จุด A จะมีค่าลดลงและความกว้างของพัลส์เอาท์พุทของวงจร PWM จะมีค่าลดลงด้วย ช่วงเวลานำเวลานำกระแส t_{on} ของเพาเวอร์มอสเฟสจะมีค่าลดลง ถ้าแรงดันเอาท์พุทมีค่าลดลง แรงดันที่จุด A จะมีค่าเพิ่มขึ้นความกว้างของพัลส์เอาท์พุทของวงจร PWM จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ช่วงเวลานำกระแส t_{on} ก็จะมีค่ามากขึ้นทำให้รักษาระดับแรงดันเอาท์พุทของคอนเวอเตอร์เอาไว้ได้ดังภาพ



ภาพที่ 2.26 แสดงลักษณะของแรงดันที่จุดต่างๆของวงจร เมื่อวงจรทำงาน

2.6.3 Voltage Feed forward control



ภาพที่ 2.27 การควบคุมแบบ Voltage Feed forward control

การทำงานของวงจรควบคุมในโหมดนี้อาศัยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันเอาต์พุตมาควบคุมช่วงเวลานำกระแสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อคงค่าแรงดันเอาต์พุตเป็นหลักวงจรพื้นฐานของวงจรควบคุมในโหมดควบคุมจากแรงดันเป็นดังภาพที่ 2.27

จากภาพที่ 2.27 วงจรควบคุมจะอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันที่เอาต์พุตและเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง V_{ref} ของวงจร เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเอาต์พุต ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกขยายโดยวงจรขยายความแตกต่างของ Error amplifier ก่อนที่จะส่งต่อไปยังวงจร PWM ด้วยค่าแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่างของ Error amplifier ที่ตำแหน่ง V_c จะถูกเปรียบเทียบกับแรงรูปฟันเลื่อยที่ตำแหน่ง V_s ของ PWM อีกครั้งหนึ่ง เอาต์พุตที่ได้จากวงจร PWM จะมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม ซึ่งมีคาบเวลาคงที่เท่ากับคาบเวลาของรูปคลื่นฟันเลื่อยและมีความกว้างของพัลส์ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามผล มอดูเลชันของค่าแรงดันที่ตำแหน่ง

V_c และ V_s ค่าความกว้างของพัลส์จะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลานำกระแส

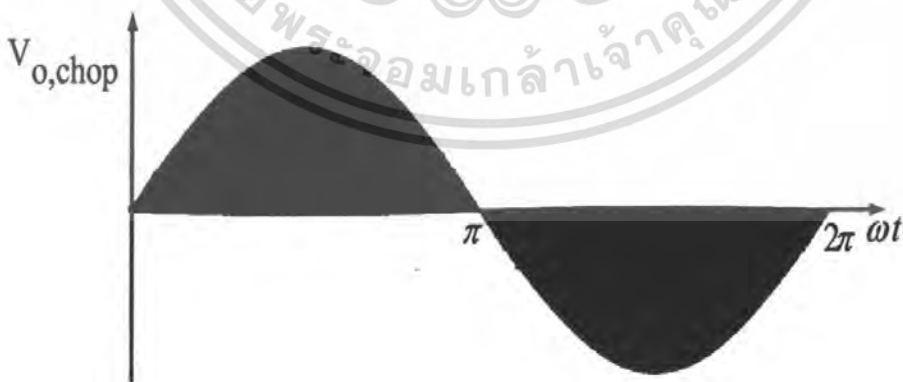
เนื่องจากค่าแรงดันป้อนกลับจะถูกส่งมายังวงจรขยายความแตกต่าง Error amplifier ที่ขาอินเวอร์ตติ้ง (Inverting) ผลต่างระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับแรงดันที่ V_c จึงมีลักษณะแตกต่างกัน 180° กล่าวคือเมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่ามากขึ้น แรงดันที่จุด V_c จะมีค่าลดลง ความกว้างของพัลส์ PWM จะมีค่าน้อยลงด้วย และช่วงนำกระแสจะมีค่าลดลง แต่ถ้าแรงดันเอาต์พุตมีค่าลดลง แรงดันที่จุด V_c จะมีค่าเพิ่มขึ้น ความกว้างของพัลส์ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้างวงจร

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายการทำงานในส่วนต่างๆ ของวงจรโดยจะเป็นการอธิบายหลักการทำงานของตู้อบและหลักการสร้างสัญญาณ โดยที่จะเริ่มจากการสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ 20 กิโลเฮิร์ตที่สามารถปรับค่าความถี่ได้ แล้วทำการนำสัญญาณนี้ไปขับที่อุปกรณ์สวิตซ์ซิ่ง และทำการป้อนแรงดันไซน์การไฟฟ้าที่มีความถี่ 50 เฮิร์ตรวมกันทางลอจิก ทำให้ได้แรงดันทางด้านเอาต์พุตที่เป็นไซน์ที่ถูกชอปเนื้อแรงดัน โดยที่มีความถี่ 20 กิโลเฮิร์ต ปนอยู่กับความถี่ไซน์การไฟฟ้า 50 เฮิร์ต ดังภาพที่ 3.1

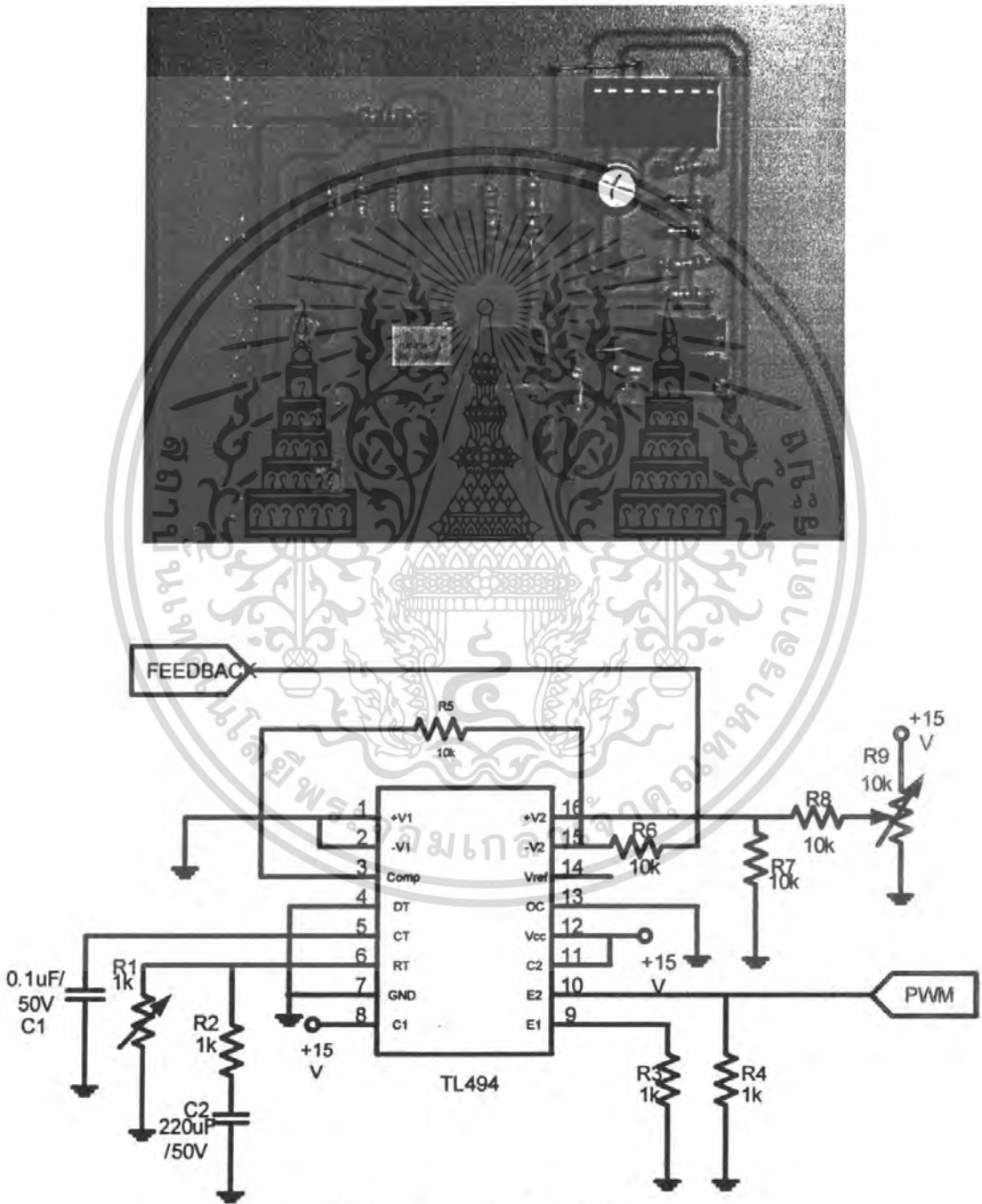


ภาพที่ 3.1 แสดงหลักการทำงานของวงจรเอซีชอปเปอร์และแรงดันเอาต์พุตที่ถูกชอปด้วยความถี่ 20 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

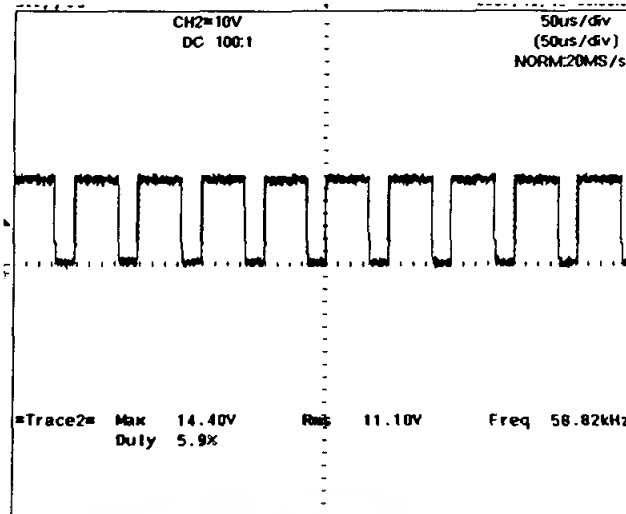
3.2 วงจรสร้างสัญญาณ PWM

วงจรสร้างสัญญาณ PWM โดยใช้ไอซี TL 494 โดยที่สัญญาณ PWM ที่สร้างมาจากไอซี TL 494 นี้จะสร้างสัญญาณ PWM ที่มีดิวตี้ไซเคิล 0 - 90% และสามารถปรับค่าดิวตี้ไซเคิลได้โดยใช้การป้อนกลับนำมาเปรียบเทียบกับวงจรขยายส่วนต่างภายในไอซี TL 494 แสดงดังภาพ 3.2



ภาพที่ 3.2 วงจรการต่อใช้งานไอซี TL 494

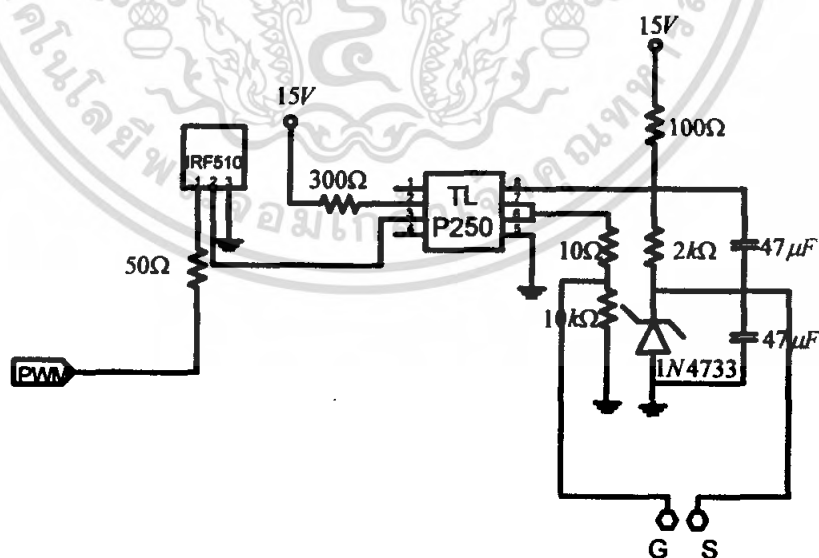
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 สัญญาณพัลส์ที่ได้จากไอซี TL 494

3.3 การเชื่อมต่อด้วยแสง (Opto Isolator)

ออฟได้อิโซเลเตอร์ เป็นอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ล้วนๆ ทิศทางการเคลื่อนที่ของแสงจะคงที่อยู่ในตัวอุปกรณ์ ใช้เปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าเป็นแสงและจากแสงเป็นไฟฟ้า โดยไม่ต้องมีสายเชื่อมโยงต่อระหว่างวงจร แรงดันระหว่างอุปกรณ์สองข้างคือตัวปล่อยแสงและตัวรับแสง จะมากขึ้นกับระยะระหว่างตัวปล่อยแสงกับตัวรับแสง ระยะยิ่งห่างมากแรงดันพังก็ยังมีค่าสูง แต่มีข้อเสียคืออัตราการส่งผ่านสัญญาณจะน้อยจึงต้องจัดระยะห่างให้ได้ดีที่สุด ในกรณีแบบขาสองแถวคู่จนวนควรจะเป็นแก้วทึบแรงดันผิวระหว่างตัวอุปกรณ์ได้ถึง 5000 โวลต์



ภาพที่ 3.4 วงจร Gate Drive โดยใช้ OPTO-COUPLER แยกกราวด์

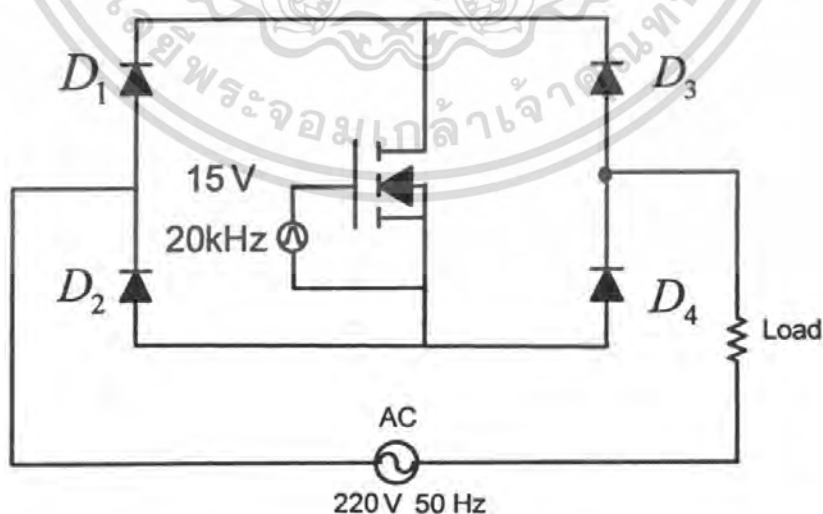
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 หลักการวงจรเอชซีชอปเปอร์

วงจรชอปเปอร์หรือวงจรชอปเปอร์กระแสสลับ (AC Chopper) อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า วงจรสับไฟฟ้กระแสสลับ เป็นวงจรที่ทำหน้าที่แปลงผันพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายกระแสสลับที่มีแรงดันคงที่ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่ปรับค่าได้โดยใช้สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเป็นตัวเปิด-ปิด สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังนิยมใช้ในวงจรชอปเปอร์ เช่น ทรานซิสเตอร์กำลัง มอสเฟตกำลัง ไอจีบีที และจีทีโอ เป็นต้น เนื่องมาจากสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเหล่านี้ เปิด-ปิด ได้ด้วยสัญญาณควบคุมที่ป้อนเข้าทางด้านอินพุต สัญญาณควบคุมนี้คือสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ที่สามารถปรับค่า t_{on} ในขณะที่ T คงที่ได้ ลักษณะของวงจรชอปเปอร์ที่ใช้ในโครงการนี้แสดงดังภาพ 3.6



ภาพที่ 3.7 ลักษณะของวงจรเอชซีชอปเปอร์ที่ใช้สวิตช์ตัวเดียว

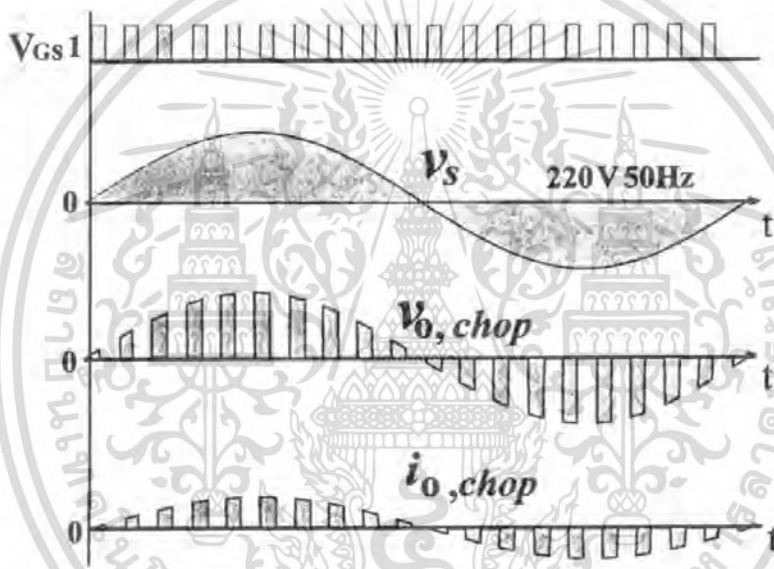


ภาพที่ 3.8 ลักษณะของวงจรเอชซีชอปเปอร์ที่ใช้สวิตช์ตัวเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 โหมดการทำงานของวงจรเอซี-ชอปเปอร์สวิตช์สองทางหนึ่งตัว

เมื่อป้อนสัญญาณขับที่ขาเกตของมอสเฟตจะเกิดการดำเนินงานของวงจรเป็นจังหวะตามที่เราร่างสัญญาณ ซึ่งการทำงานที่เกิดขึ้นนี้จะสร้างให้เกิดโหมดการทำงานของวงจรในโหมดการทำงานต่างๆ แต่ในโครงการชิ้นนี้จะมีเพียงโหมดจ่ายกำลังเพียงโหมดเดียวเพราะโหลดที่ใช้เป็นโหลดความต้านทานทำให้ไม่มีผลของความเหนี่ยวนำและความจุไฟฟ้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้สัญญาณแรงดันและกระแสอินเฟสกัน โดยอินพุตของวงจรเอซีชอปเปอร์คือ ไซน์การไฟฟ้า 50 Hz และจะได้ลักษณะของคลื่นแรงดันที่ออกจากวงจรเอซีชอปเปอร์เป็น $V_{o,chop}$ และกระแส $i_{o,chop}$ ซึ่งมีลักษณะเป็นแรงดันไซน์ 50 Hz ที่ถูกสับด้วยความถี่ 20 kHz ที่เกิดจากการดำเนินงานของสวิตช์ในวงจรเอซีชอปเปอร์

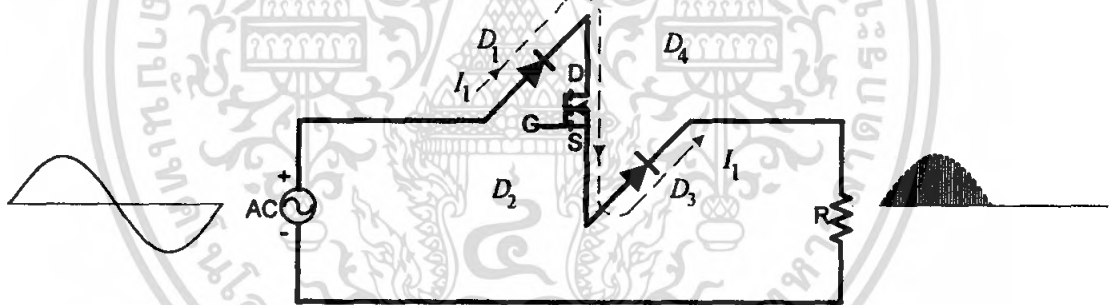


ภาพที่ 3.9 ลักษณะสัญญาณขับเกตและคลื่นอินพุตเอาต์พุต

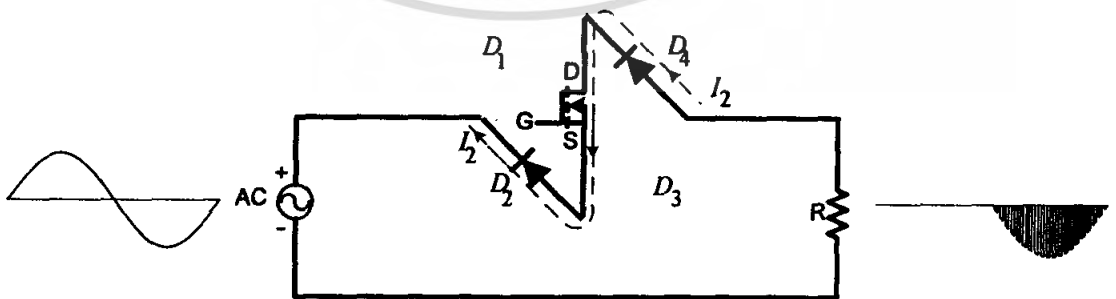
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.1 โหมดจ่ายกำลัง (Powering Mode)

โหมดจ่ายกำลังในครึ่งไซเคิลบวกโหมดจ่ายกำลังในครึ่งไซเคิลบวกเป็นโหมดที่โหลดได้รับกำลังจากแหล่งจ่ายไซน์การไฟฟ้า 50 Hz ในครึ่งไซเคิลบวก โดยมีแรงดันเป็นบวกและกระแสเป็นบวก ซึ่งจะมีลักษณะรูปคลื่นและการทำงานของวงจร(ดังภาพที่ 3.9) การทำงานของวงจรกำลังจะมีการแบ่งการทำงานเป็น 2 ช่วง คือช่วงที่ 1 แรงดันไซน์ของการไฟฟ้าเป็นบวก และช่วงที่แรงดันไซน์ของการไฟฟ้าเป็นลบ ช่วงที่ 1 เมื่อได้รับแรงดันจากไซน์การไฟฟ้าที่เป็นบวกซึ่งมีขนาด 220 โวลต์ 50 Hz กระแสจะวิ่งในทิศทางเดียวกับแรงดัน ผ่านไดโอด D_1 ผ่านสวิตช์ที่มีความถี่สูงที่ 20 kHz และผ่านไดโอด D_3 จะเป็นการรวมกันทางลจิกของไซน์การไฟฟ้า 50 Hz กับความถี่ 20 kHz ที่มาจากสัญญาณสร้างพัลส์ PWM ทำให้เกิดการ Chop ทางด้านบวกของรูปไซน์(ดังภาพที่3.5) ช่วงที่ 2 เมื่อได้รับแรงดันจากไซน์การไฟฟ้าที่เป็นลบซึ่งมีขนาด 220 โวลต์ 50 Hz กระแสจะวิ่งในทิศทางเดียวกับแรงดัน ผ่านไดโอด D_4 ผ่านสวิตช์ที่มีความถี่สูงที่ 20 kHz และผ่านไดโอด D_2 จะเป็นการรวมกันทางลจิกของไซน์การไฟฟ้าที่ 50 Hz กับความถี่ 20 kHz ที่มาจากสัญญาณสร้างพัลส์ PWM ทำให้เกิดการ Chop ทางด้านลบของรูปไซน์ (ดังภาพที่ 3.10)



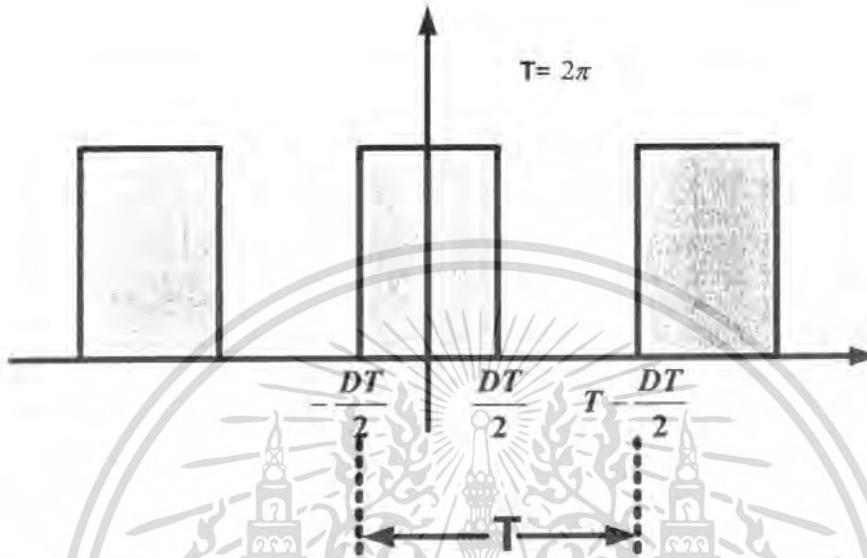
ภาพที่ 3.10 ช่วงที่ 1 เมื่อได้รับแรงดันจากไซน์การไฟฟ้าที่เป็นบวกแล้วออกมาเป็นไซน์ที่ถูก Chop ด้านบวก



ภาพที่ 3.11 ช่วงที่ 2 เมื่อได้รับแรงดันจากไซน์การไฟฟ้าที่เป็นลบแล้วออกมาเป็นไซน์ที่ถูก Chop ด้านลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การวิเคราะห์โดยให้สวิตชิงฟังก์ชันเป็นฟังก์ชันคู่ (Even Function)



ภาพที่ 3.12 สัญญาณของสวิตชิงฟังก์ชันเป็นฟังก์ชันแบบคู่ (Even Function)

แรงดันคลื่นไซน์ การไฟฟ้า 50 Hz ซึ่งเป็นแรงดันอินพุตมีค่าดังสมการ(1)

$$v_s(\omega t) = \sqrt{2}V_s \cos(\omega t) \quad (1)$$

โดยที่ V_s คือค่า rms ของแรงดันไซน์ 50 Hz

ในการคำนวณหาสมการของแรงดันเอาต์พุต $v_{o, chop}$ ที่เกิดจากผลคูณระหว่างแรงดันไซน์ 50-Hz $v_s(\omega t)$ กับสวิตชิงฟังก์ชันความถี่สูง

$S(\omega_s t)$ ก่อนอื่นจะต้องทำการวิเคราะห์หาสมการของสวิตชิงฟังก์ชัน $S(\omega_s t)$ ในภาพที่ 3.12 จากนั้นจึงนำไปคูณกับแรงดันไซน์ในสมการ (1) ซึ่งสามารถทำได้โดยการ [2] วิเคราะห์อนุกรมฟูเรียร์ของ $S(\omega_s t)$ ดังสมการ(2)

$$S(\omega_s t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} [a_n \cos k\omega_s t + b_n \sin k\omega_s t] \quad (2)$$

ทำการคำนวณหาสัมประสิทธิ์ของ a_0, a_n และ b_n ได้ดังต่อไปนี้

สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ของ a_0 ได้ดังสมการที่ (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดย บริษัท เซ็นเซอร์อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-\frac{DT}{2}}^{\frac{DT}{2}} v_{PWM}(t) dt$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-\frac{DT}{2}}^{\frac{DT}{2}} 1 dt + \frac{1}{T} \int_{\frac{DT}{2}}^{\frac{DT}{2}} 0 dt$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \left[t \right]_{-\frac{DT}{2}}^{\frac{DT}{2}} \quad (3)$$

ทำการแทนค่าที่ได้จากสมการที่ (3) จะได้ a_0 ดังสมการที่ (4)

$$a_0 = \frac{1}{T} \left(\frac{DT}{2} + \frac{DT}{2} \right)$$

จะได้

$$a_0 = D$$

(4)

สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ของ a_n ได้ดังสมการที่ (5)

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{DT}{2}}^{\frac{DT}{2}} v_{PWM} \cos(k\omega_s t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{DT}{2}}^{\frac{DT}{2}} (1) \cos(k\omega_s t) d\omega_s t + \frac{2}{T} \int_{\frac{DT}{2}}^{\frac{DT}{2}} (0) \sin(k\omega_s t) d\omega_s t$$

$$a_n = \frac{2}{Tk} [\sin kt]_{-\frac{DT}{2}}^{\frac{DT}{2}} \quad (5)$$

ทำการแทนค่าที่ได้จากสมการที่ (5) จะได้ a_n ดังสมการที่ (6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a_n = \frac{1}{\pi k} [\sin kD\pi - (\sin k(-D\pi))]$$

$$a_n = \frac{2 \sin kD\pi}{\pi k} \quad (6)$$

สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ของ b_n ได้ดังสมการที่ (7)

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{DT}{2}}^{\frac{DT}{2}} v_{PWM} \sin(k\omega_s t) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{DT}{2}}^{\frac{DT}{2}} (1) \sin(k\omega_s t) d\omega_s t + \frac{2}{T} \int_{-\frac{DT}{2}}^{\frac{DT}{2}} (0) \cos(k\omega_s t) d\omega_s t$$

$$b_n = \frac{2}{Tk} [-\cos(kt)]_{-\frac{DT}{2}}^{\frac{DT}{2}} \quad (7)$$

ทำการแทนค่าที่ได้จากสมการที่ (7) จะได้ b_n ดังสมการที่ (8)

$$b_n = \frac{2}{Tk} \left[\left(-\cos\left(k \frac{DT}{2}\right) \right) - \left(-\cos\left(k \left(-\frac{DT}{2}\right)\right) \right) \right]$$

$$b_n = 0 \quad (8)$$

จากค่าสัมประสิทธิ์ a_n , a_n และ b_n ของอนุกรมฟูเรียร์ที่ได้จากการคำนวณแทนลงในสมการที่ (2) จะได้สมการของสวิตชิงฟังก์ชันดังสมการที่ (9)

$$S(\omega_s t) = D + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2 \sin(kD\pi)}{k\pi} \cos(k\omega_s t) + \sum_{k=1}^{\infty} (0) \sin k\omega_s t \quad (9)$$

$$S(\omega_s t) = D + \frac{2 \sin(D\pi)}{\pi} \cos(\omega_s t) + \frac{2 \sin(2D\pi)}{2\pi} \cos(2\omega_s t) + \dots$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$+ \frac{2 \sin(nD\pi)}{n\pi} \cos(n\omega_s t) : k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (10)$$

$$S(\omega_s t) = D + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2 \sin(kD\pi)}{k\pi} \cos(k\omega_s t) \quad (11)$$

โดยที่ ω_s คือความถี่เชิงมุมของสวิตชิงฟังก์ชัน $S(\omega_s t)$

k คือลำดับฮาร์โมนิกส์ของสวิตชิงฟังก์ชัน $= 1, 2, 3, \dots$

3.8 การคูณสมการของสวิตชิงฟังก์ชันกับสมการของแรงดันอินพุต

จากการคำนวณหาสมการของสวิตชิงฟังก์ชันสามารถนำมาคำนวณหาค่าเอาต์พุต

$V_{o, chop}$

ของวงจรเอซีชอปเปอร์ได้โดยการนำสมการสวิตชิงฟังก์ชันในสมการที่ (11) มาคูณกับสมการของแรงดันไซน์การไฟฟ้าในสมการที่ (1) ซึ่งเป็นแรงดันอินพุตที่ป้อนให้กับวงจรเอซีชอปเปอร์จะได้ค่าของเอาต์พุตของวงจรเอซีชอปเปอร์ดังสมการที่ (12)

$$\begin{aligned} v_{o, sw}(t) &= v_s(t)S(\omega_s t) \\ &= \sqrt{2}V_s \cos(\omega t) \left(D + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2 \sin(kD\pi)}{k\pi} \cos(k\omega_s t) \right) \end{aligned} \quad (12)$$

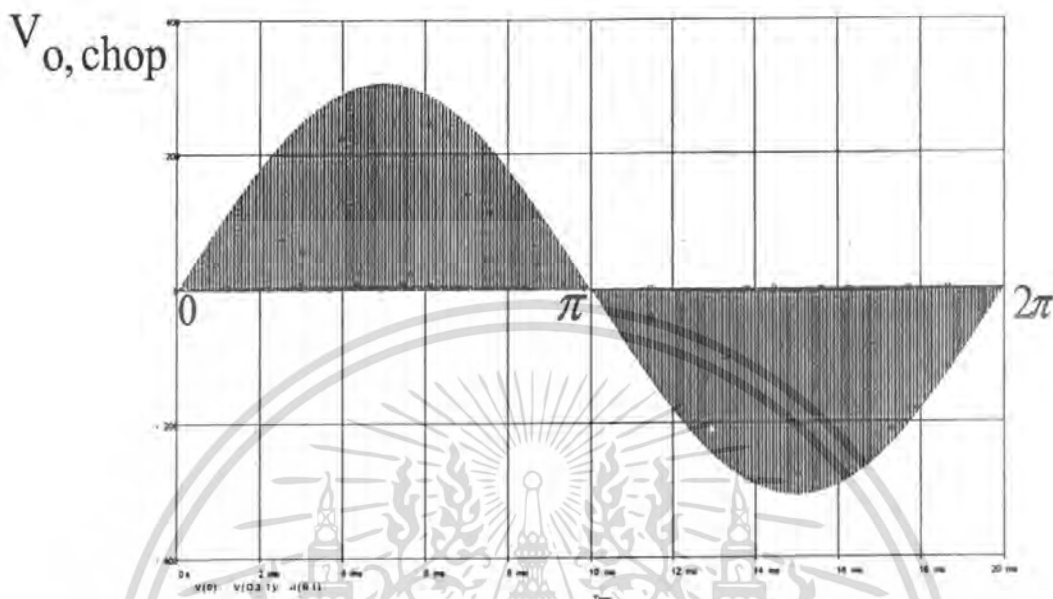
3.9 ลักษณะคลื่นของวงจรเอซีชอปเปอร์ที่ได้จากการทำงานเป็นโหมด

จากการทำงานของสวิตช์และอุปกรณ์ที่ต่อกันเป็นวงจรเอซีชอปเปอร์ซึ่งทำให้เกิดโหมดการทำงานดังที่ได้อธิบายการทำงานของโหมดไปแล้วนั้น จากการทำงานในลักษณะดังกล่าวในหนึ่งไซเคิลไซน์อินพุตซึ่งในงานโครงการนี้ได้ใช้ไซน์การไฟฟ้า 220 V / 50 Hz เมื่อทำงานครบหนึ่งไซเคิลจะได้คลื่นไซน์ 50Hz ที่ถูกสับให้เป็นช่องเล็กๆ ตามจังหวะการสวิตชิงของวงจรโดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้ความถี่ในการสวิตชิงเท่ากับ 20 kHz ทำให้ในหนึ่งไซเคิลไซน์ 50 Hz แบบเป็นช่องได้เท่ากับ 400 ช่องดังสมการที่ (3.1)

$$m_f = \frac{f_{sw}}{f} = \frac{20\text{kHz}}{50\text{Hz}} = 400 \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

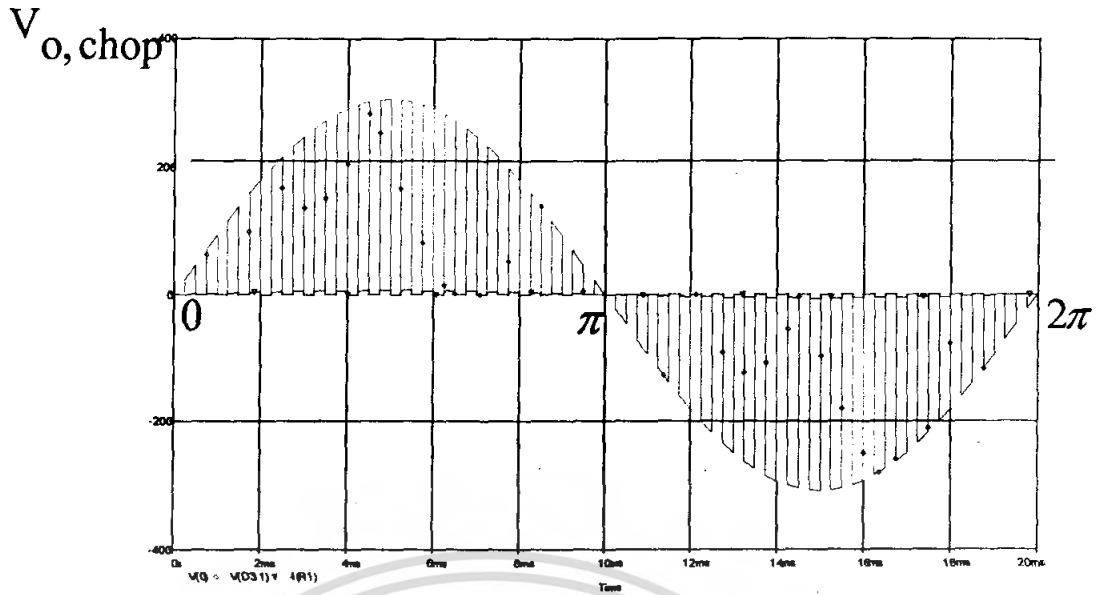
ซึ่งในจำนวน 400 ช่องนี้จะอยู่ในครึ่งไซเคิลบวกของไซน์ 50 Hz จำนวน 200 ช่องและอยู่ในครึ่งไซเคิลลบของไซน์ 50 Hz อีก 200 ช่องโดยได้แสดงลักษณะของช่องไว้ดังในภาพที่ 3.12 และภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 รูปคลื่นแรงดันไซน์ที่วัดคกรวมโหลดที่ความถี่ 20 kHz Duty 50%

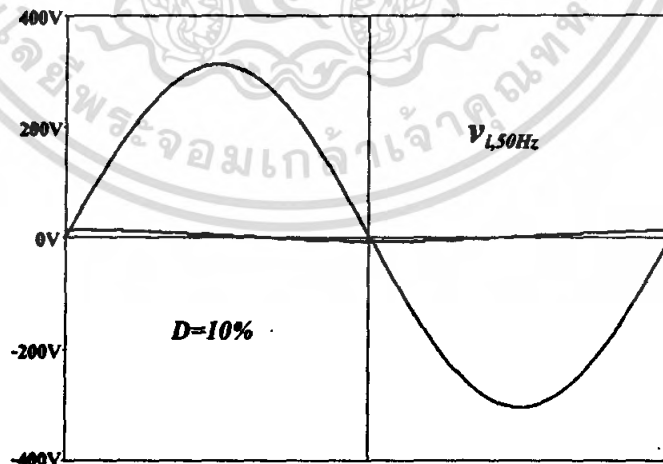
จากภาพที่ 3.13 ภายในคลื่นไซน์ 50Hz จะมีช่องจำนวน 400 ช่องโดยความสูงของแต่ละช่องจะเกาะไปตามความสูงของคลื่นไซน์ แต่เนื่องจากในภาพที่ 3.11 ใช้ความถี่สวิตซ์สูงเท่ากับ 20 kHz ทำให้ไม่สามารถดูลักษณะของคลื่นไซน์ 50 Hz ที่ถูกสับเป็นช่องได้ จึงได้ทำการลดความถี่ในการสวิตซ์ลงมาที่ 2 kHz เพื่อให้สามารถมองเห็นลักษณะของคลื่นที่ถูกสับแบ่งเป็นช่องๆได้อย่างชัดเจนดังในภาพที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



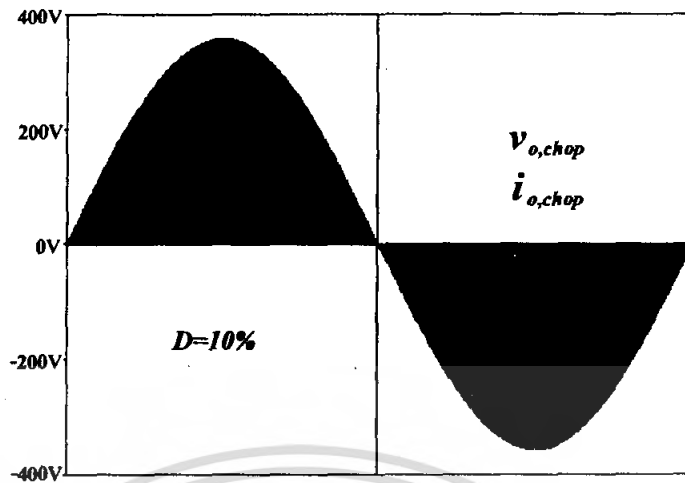
ภาพที่ 3.14 รูปคลื่นแรงดันไซน์ที่วัดคกรวมโพลดที่ความถี่ 2 kHz Duty 50%

จากภาพที่ 3.15 ถึง ภาพที่ 3.16 จะสังเกตเห็นได้ว่ารูปสัญญาณแรงดันและกระแสที่ได้จะอินเฟสกันเนื่องจากเป็นโพลดความต้านทาน ที่มีค่าดีวีไซเคิล D (Duty cycle) เท่ากับ 10% 50% และ 90% จะไม่แตกต่างกันเพราะใน 1 ไซเคิลที่มีค่าแรงดันเท่ากันจะถูกสับแบ่งเป็น 400 ช่องแล้วจึงไปปรับความกว้างของช่องเล็ก 400 ช่องนั้นให้กว้างมากขึ้นตามต้องการจึงทำให้มองเห็นเป็นไซน์ที่ขยับ

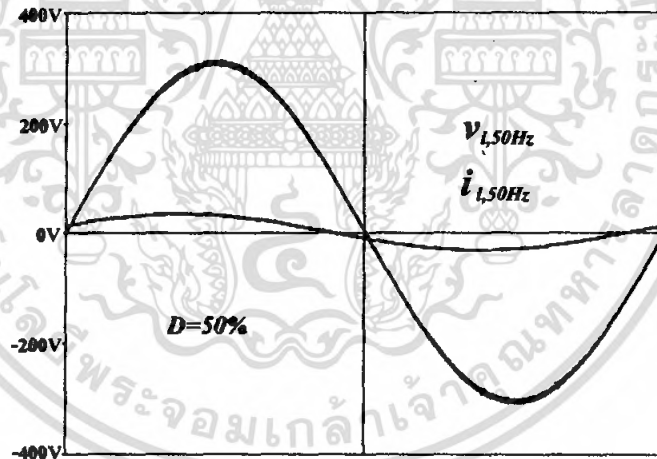


ภาพที่ 3.15 คลื่นแรงดันและกระแสอินพุตของวงจรเอชซีออปเปอร์ที่ค่าดีวีไซเคิล Duty เท่ากับ 10 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

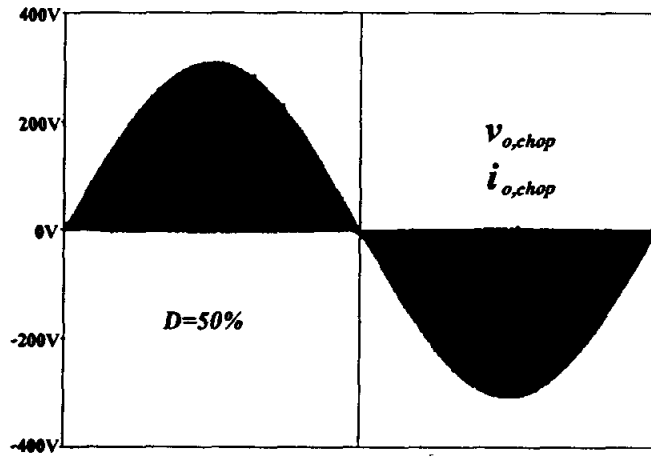


ภาพที่ 3.16 คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตของวงจรเอชซีชอปเปอร์ที่ค่าคัตวี่ไซเคิล Duty เท่ากับ 10%

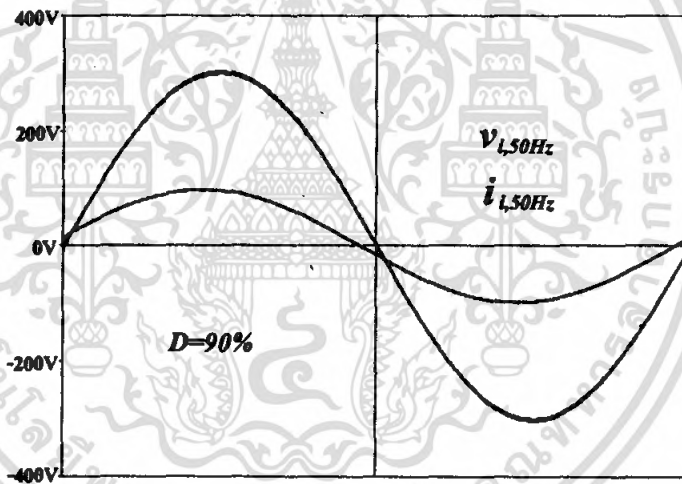


ภาพที่ 3.17 คลื่นแรงและกระแสคัตอินพุตของวงจรเอชซีชอปเปอร์ที่ค่าคัตวี่ไซเคิล Duty เท่ากับ 50 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

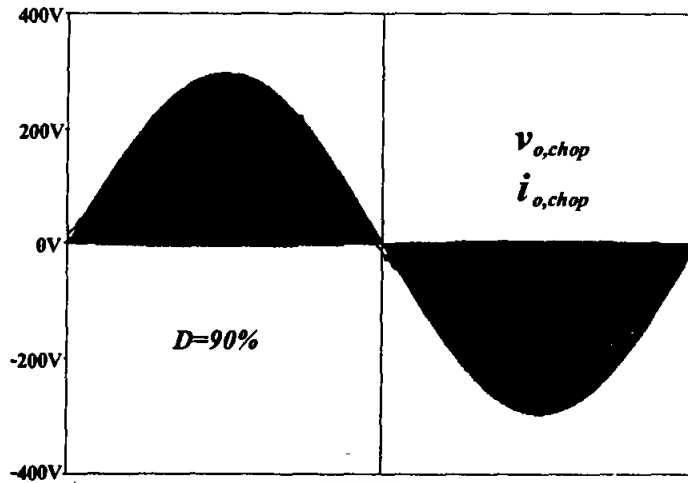


ภาพที่ 3.18 คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตของวงจรเอชชีชอปเปอร์ที่ค่าคิดที่ไซเคิล Duty เท่ากับ 50%



ภาพที่ 3.19 คลื่นแรงดันและกระแสอินพุตของวงจรเอชชีชอปเปอร์ที่ค่าคิดที่ไซเคิล Duty เท่ากับ 90 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.20 คลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตของวงจรเอชชีชอปเปอร์ที่ค่าดีวตีไซเคิล Duty เท่ากับ 90%

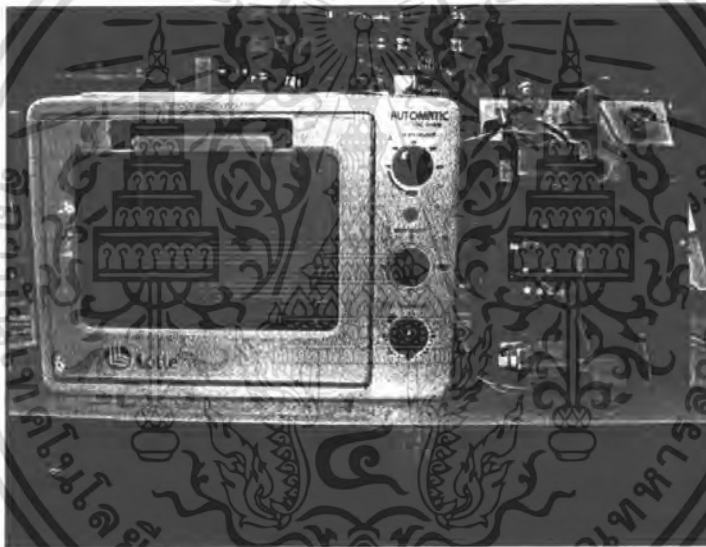
จากรูปคลื่นที่ได้แสดงมาตั้งแต่ค่าดีวตีไซเคิลที่ 10% 50% และ 90% จะสังเกตเห็นได้ว่าแรงดันทางด้านอินพุตจะไม่มีเปลี่ยนแปลงจะมีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะกระแสที่มากขึ้นตามค่าดีวตีไซเคิล ส่วนแรงดันและกระแสที่ถูกชอปจะมีรูปร่างลักษณะโครงสร้างที่ดูจากภายนอกแล้วเหมือนกันแต่อันที่จริงถ้าขยายดูจะเห็นว่าที่ค่าดีวตีไซเคิลต่างกันจะทำให้แรงดันที่ถูกชอปเป็นช่องมีค่าความกว้างของช่องที่เปลี่ยนไปตามค่าดีวตีไซเคิล

บทที่ 4

ผลการทดลองและผลการซิมมูลต์

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นผลที่ได้จากการทดลองที่เป็นการจ่ายแรงดันให้กับตู้อบขนาดพิกัดกำลัง 1000 วัตต์ โดยสามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตที่จ่ายให้กับตู้อบได้ ซึ่งมีความแตกต่างตรงที่วิธีการปรับค่าแรงดันที่จ่ายให้กับตู้อบ โดยใช้การปรับค่า Duty Cycle ทำให้สามารถเพิ่มหรือลดอุณหภูมิตามค่าที่เราต้องการได้ และนำมาเปรียบเทียบกับผลการซิมมูลต์จากโปรแกรม Pspice เพื่อนำผลที่ได้มายืนยัน ความถูกต้องของงานวิจัย โดยขั้นตอนในการทดลองและซิมมูลต์จะอธิบายในหัวข้อต่อไป



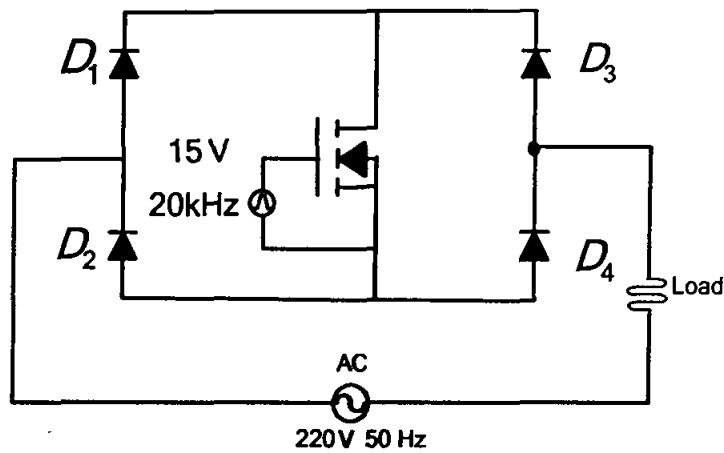
ภาพที่ 4.1 ชุดวงจรที่กำลังใช้ในการทดลอง

4.2 การเปรียบเทียบผลการซิมมูลต์ทางทฤษฎี และผลการทดลองคลื่นแรงดันและกระแสตามจุดต่าง ๆ ในวงจรเอซีชอปเปอร์สวิตซ์ที่ความถี่สูง 20

4.2.1 ขั้นตอนในการทำการทดลอง

ในการทดลองจะใช้วงจรทดลองดังในภาพที่ 4.2 ซึ่งมีพิกัดของอุปกรณ์ต่างดังตารางที่ 4.1 ซึ่งขั้นตอนในการทดลองจะเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 วงจรเอชไอพีเออร์สวิตช์ที่ความถี่สูง 20 kHz ป้อนแรงดันเป็นไซน์การไฟฟ้า 220 v(rms) 50 Hz ให้ทางด้านอินพุตของวงจรที่ใช้ในการทดลองจริง

ตารางที่ 4.1 อุปกรณ์และค่าพิกัดต่าง ๆ ของวงจรเอชไอพีเออร์สวิตช์ที่ความถี่สูง 20 kHz ป้อนแรงดันเป็นไซน์การไฟฟ้า 220 V(rms) 50 Hz ให้ทางด้านอินพุตของวงจรที่ใช้ในการทดลองจริง

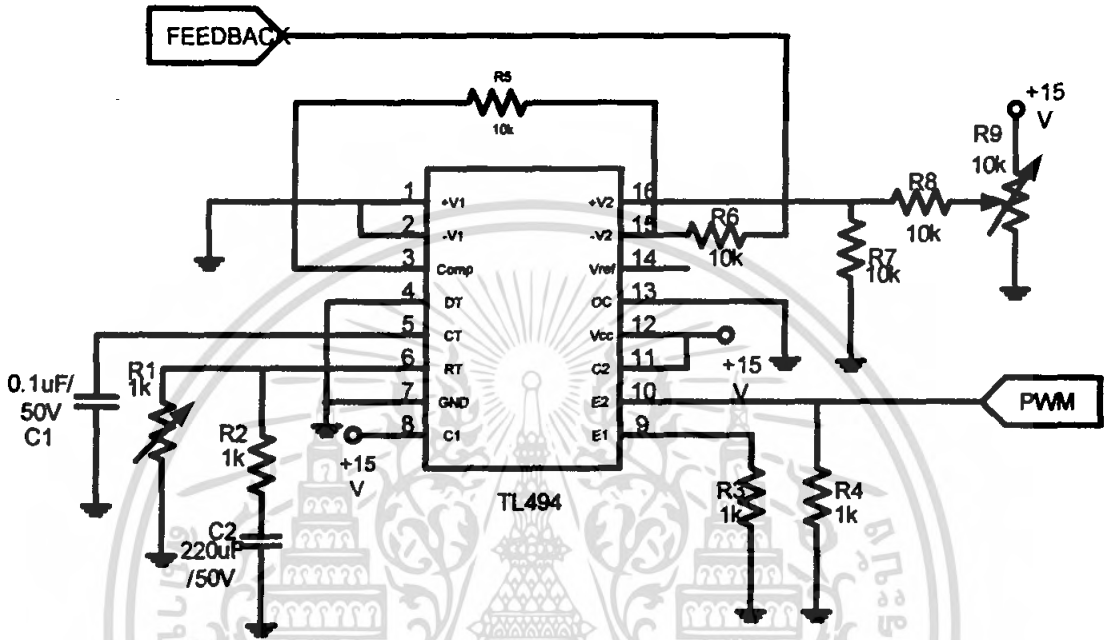
รายการอุปกรณ์	รายละเอียดอุปกรณ์
แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	220 V 50 Hz
อุปกรณ์สวิตช์ของวงจรเอชไอพีเออร์	IRFP460 600V 15 A
ชุดวงจรเรียงกระแส (Bridge Rectifier)	DIODE 60EPU04
โหลดฮีสเตอร์	1000 W

1. ปรับแรงดันที่วารีแอ็คเพื่อหาค่าแรงดันที่สามารถอ่านค่าแรงดัน 220 V (rms) ขณะที่ยังไม่ได้ทำการค่อกับอินพุตของวงจรเอชไอพีเออร์สวิตช์ที่ความถี่สูง 20kHz แล้วทำเครื่องหมายตรงค่าแรงดันดังกล่าว
2. ทำการค่อวารีแอ็คเข้ากับอินพุตของวงจรเอชไอพีเออร์โดยที่ยังไม่ได้ทำการปรับค่าแรงดันที่วารีแอ็คต่อจากนั้นทำการวัดสัญญาณที่ขาขับอุปกรณ์สวิตช์ว่าถูกต้องหรือไม่และทำการปรับค่าความถี่สวิตช์ของวงจรเอชไอพีเออร์ประมาณ 20 kHz ที่ค่าดิวิตีไซเคิลตามต้องการ
3. ทำการปรับค่าแรงดันที่วารีแอ็คไปที่ค่าแรงดันดังในข้อที่ 1 วัดคลื่นแรงดันและกระแสตามจุดต่าง ๆ ของวงจรเอชไอพีเออร์สวิตช์ที่ความถี่สูง พร้อมทั้งบันทึกรูปคลื่นในรูปแบบแฟ้ม Bitmap
4. ทำการปรับค่าดิวิตีไซเคิลของวงจรเอชไอพีเออร์ที่ค่าประมาณ 90%,80%,70%10% แล้วทำเช่นเดียวกับข้อที่ (3)

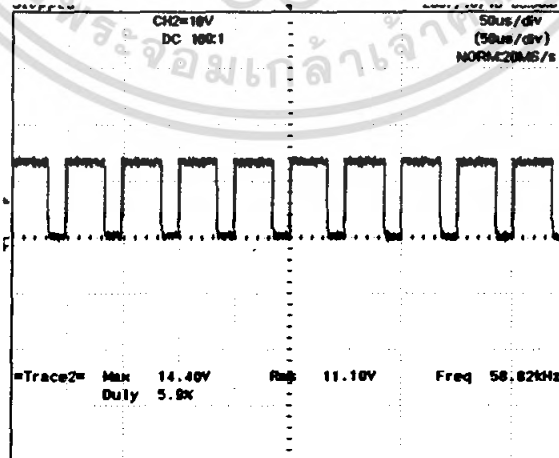
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 รูปวงจรสร้างสัญญาณ PWM ที่มีความถี่ 20 kHz ปรับค่าดิวยตีไซเคิลได้

วงจรที่ใช้ในการทดลองจะใช้ TL 494 เป็นตัวสร้างสัญญาณ PWM และสามารถปรับ Duty Cycle ได้จากตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ขา 16



ภาพที่ 4.3 วงจรสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 20 kHz ที่สามารถปรับ Duty Cycle ได้

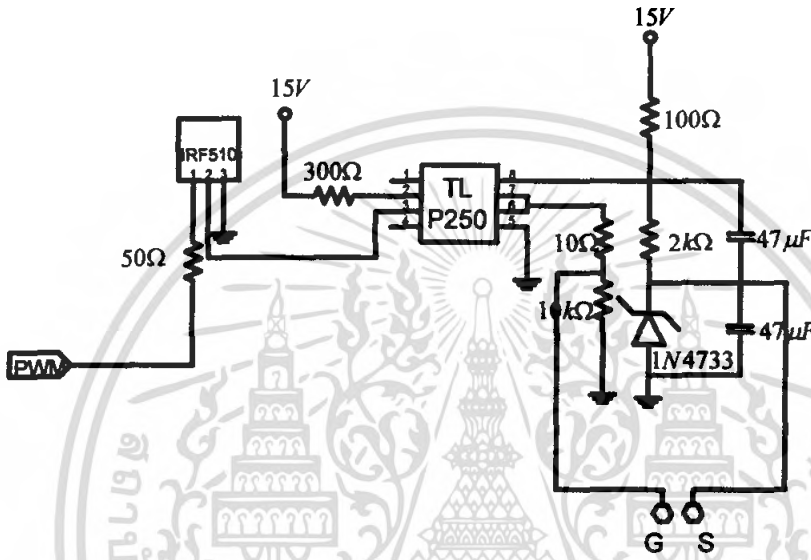


ภาพที่ 4.4 สัญญาณพัลส์ที่ได้จากไอซี TL 494

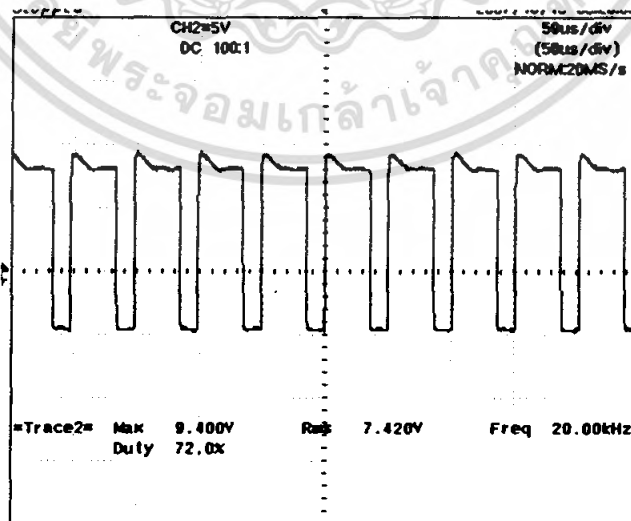
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 วงจร Drive and Isolate

เนื่องจากสัญญาณที่ได้ ยังไม่สามารถนำไปขับมอเตอร์ได้โดยตรง ดังนั้นจึงต้องนำสัญญาณเอาต์พุตจากวงจร TL 494 มาผ่านวงจร Drive and Isolate เสียก่อน จึงจะสามารถทำให้สัญญาณมีแรงดันที่มากพอที่จะทำให้มอเตอร์มีการนำกระแสและหยุดนำกระแสได้ดีและสามารถป้องกันการลัดวงจรระหว่างขั้วกำลังจะขุดควบคุม



ภาพที่ 4.5 วงจรการทดลองวงจร Drive and Isolate



ภาพที่ 4.6 สัญญาณพัลส์ที่ได้จาก Drive and Isolate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ขั้นตอนการซิมมูลเตด้วยโปรแกรม PSpice

1. ใช้ค่าไฟสลับที่ใช้ในการทดลองที่เป็นค่า rms ซึ่งคูณด้วย $\sqrt{2}$ เพื่อให้ได้ค่าพีค
2. ใช้ค่าความถี่สวิตช์ของวงจรเอชไอชอปเปอร์ที่ทำการทดลอง คือ 20 kHz
3. ใช้ค่าความต้านทาน
4. ทำการซิมมูลเต
5. ใช้ค่าดีวตีไซเคิลที่ทำการทดลอง คือ ค่าประมาณ 90%,80%,70%,...10%

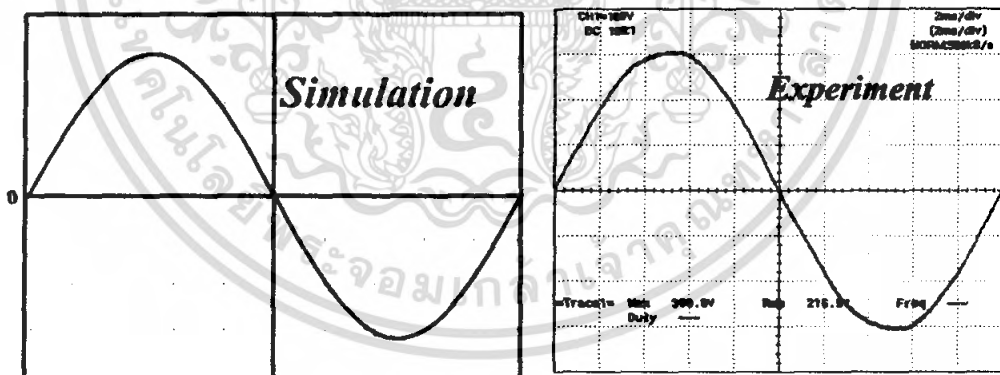
4.6 ผลการทดลองและผลจากการซิมมูลเต

ในหัวข้อนี้จะเป็นการแสดงผลลักษณะของคลื่นแรงดันตามจุดต่าง ๆ ที่ค่าดีวตีไซเคิลประมาณ 90% ,80%,70% ,...10% และทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองเมื่อความถี่คงที่เท่ากับ 20 kHz ที่ค่าดีวตีไซเคิลตามลำดับดังนี้

4.6.1 ในกรณีที่ค่าดีวตีไซเคิล 10 % ความถี่สวิตช์ 20 kHz

ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านอินพุตในกรณีที่วงจรเอชไอชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดีวตีไซเคิลเท่ากับ 10 % ที่โหลดทางด้านเอาต์พุต และมีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 20 kHz

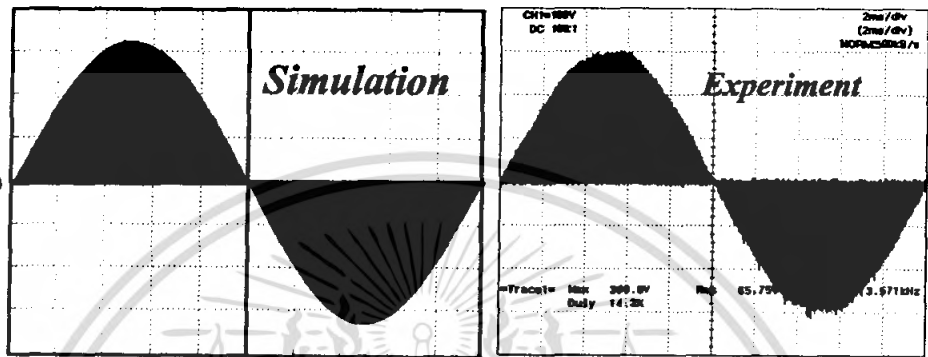
เมื่อนำคลื่นแรงดันของวงจรของเอชไอชอปเปอร์ตามจุดต่าง ๆ มาซิมมูลเตด้วยโปรแกรม PSpice และเพื่อยืนยันความถูกต้องจึงได้ทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.7



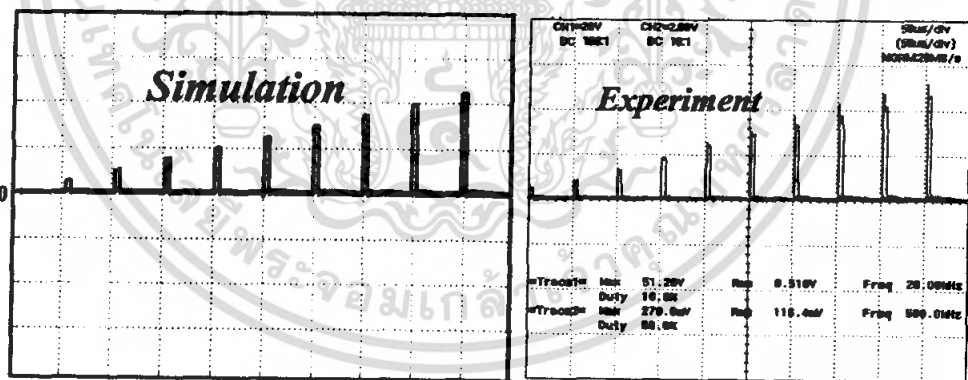
ภาพที่ 4.7 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านอินพุตของวงจร เอชไอชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดีวตีไซเคิลเท่ากับ 10 % มีความถี่ในการสวิตช์ เท่ากับ 20 kHz

ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตในกรณีที่วงจรเอชไอซีของอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดีวีดีไซเคิลเท่ากับ 10 % ที่โหลดทางด้านเอาต์พุตเท่ากับ 1000 W และมีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 20 kHz

เมื่อนำคลื่นแรงดันของวงจรของเอชไอซีของอปเปอร์ตามจุดต่าง ๆ มาซิมมูเลตด้วยโปรแกรม PSpice และเพื่อยืนยันความถูกต้องจึงได้ทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจร เอชไอซีของอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดีวีดีไซเคิลเท่ากับ 10 % มีความถี่ในการสวิตช์ เท่ากับ 20 kHz



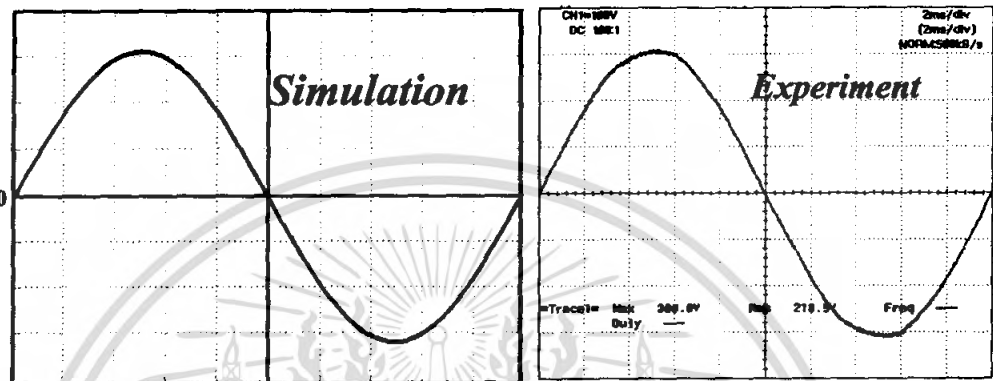
ภาพที่ 4.9 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจร เอชไอซีของอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดีวีดีไซเคิลเท่ากับ 10 % มีความถี่ในการสวิตช์ เท่ากับ 20 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

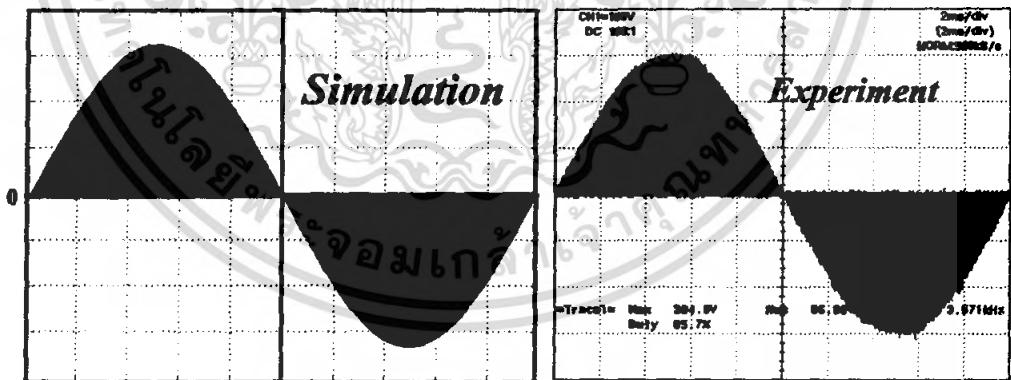
4.6.2 ในกรณีที่ค่าจิวตีไซเคิล 20 % ความถี่สวิตช์ 20 kHz

ลักษณะคลื่นแรงดันทางต้านอินพุตของวงจรเอชชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าจิวตีไซเคิลเท่ากับ 20% และมีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 20 kHz

เมื่อนำคลื่นแรงดันของวงจรของเอชชอปเปอร์ตามจุดต่าง ๆ มาซิมูเลตด้วยโปรแกรม PSpice และเพื่อยืนยันความถูกต้องจึงได้ทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.10

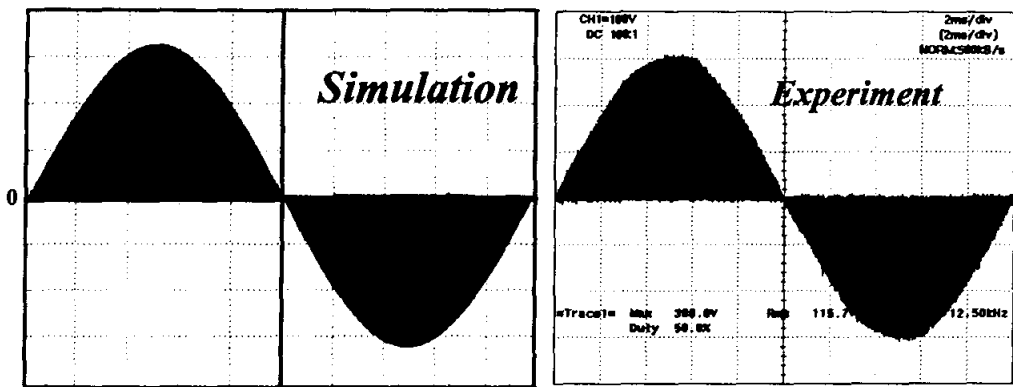


ภาพที่ 4.10 ลักษณะคลื่นแรงดันทางต้านอินพุตของวงจร เอชชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าจิวตีไซเคิลเท่ากับ 20 % มีความถี่ในการสวิตช์ เท่ากับ 20 kHz

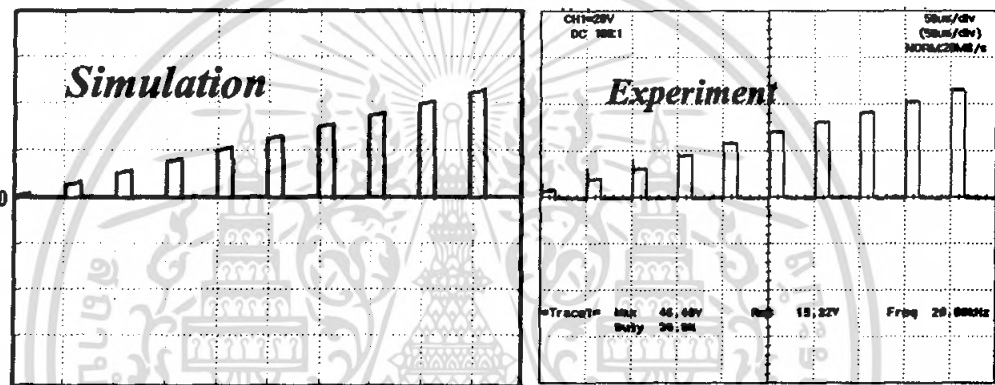


ภาพที่ 4.11 ลักษณะคลื่นแรงดันทางต้านเอาต์พุตของวงจร เอชชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าจิวตีไซเคิลเท่ากับ 20 % มีความถี่ในการสวิตช์ เท่ากับ 20 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.14 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจร เอชไอเอ็พเพอร์สวิตช์ที่ค่าดีวตีไซเคิลเท่ากับ 30 % มีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 20 kHz

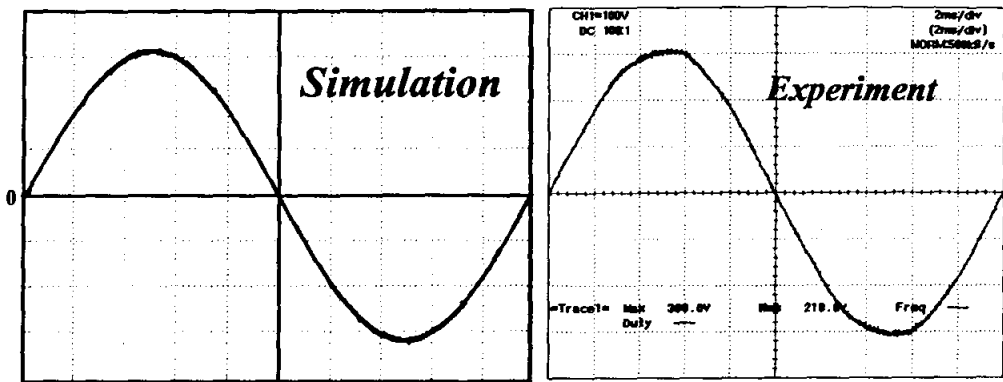


ภาพที่ 4.15 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจร เอชไอเอ็พเพอร์สวิตช์ที่ค่าดีวตีไซเคิลเท่ากับ 30 % มีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 20 kHz

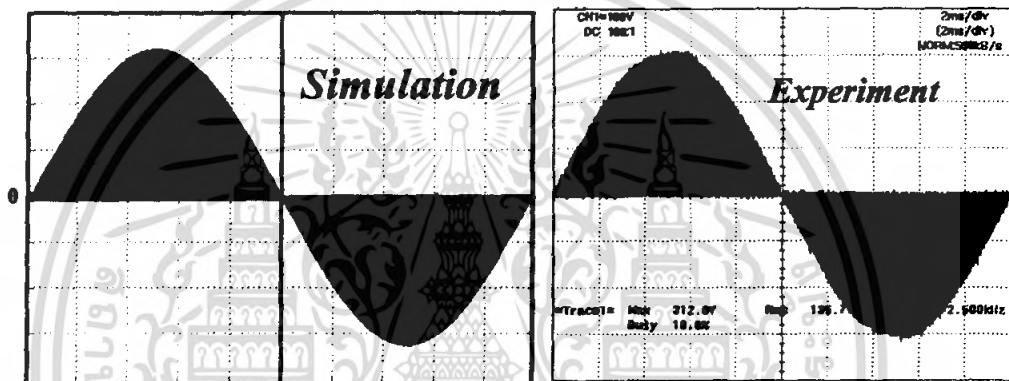
4.6.4 ในกรณีที่ค่าดีวตีไซเคิล 40 % ความถี่สวิตช์ 20 kHz

ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านอินพุตในกรณีที่วงจรเอชไอเอ็พเพอร์สวิตช์ที่ค่าดีวตีไซเคิลเท่ากับ 40 % ที่โหลดทางด้านเอาต์พุตเท่ากับ 1000 W และมีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 20 kHz

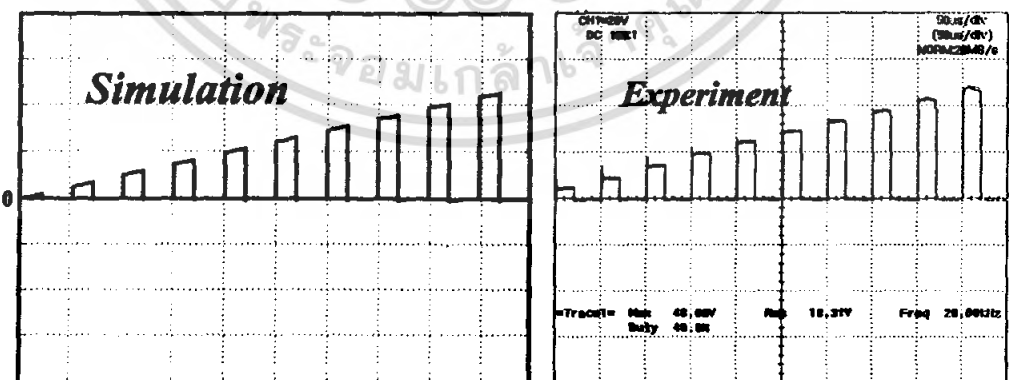
เมื่อนำคลื่นแรงดันของวงจรของเอชไอเอ็พเพอร์ตามจุดต่าง ๆ มาซิมมูลต์ด้วยโปรแกรม PSpice และเพื่อยืนยันความถูกต้องจึงได้ทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านอินพุตของวงจร เอชซีออปเปอร์แอมป์ที่ค่าดิวตีไซเคิลเท่ากับ 40 % มีความถี่ในการสวิตชิง เท่ากับ 20 kHz



ภาพที่ 4.17 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจร เอชซีออปเปอร์แอมป์ที่ค่าดิวตีไซเคิลเท่ากับ 40 % มีความถี่ในการสวิตชิง เท่ากับ 20 kHz



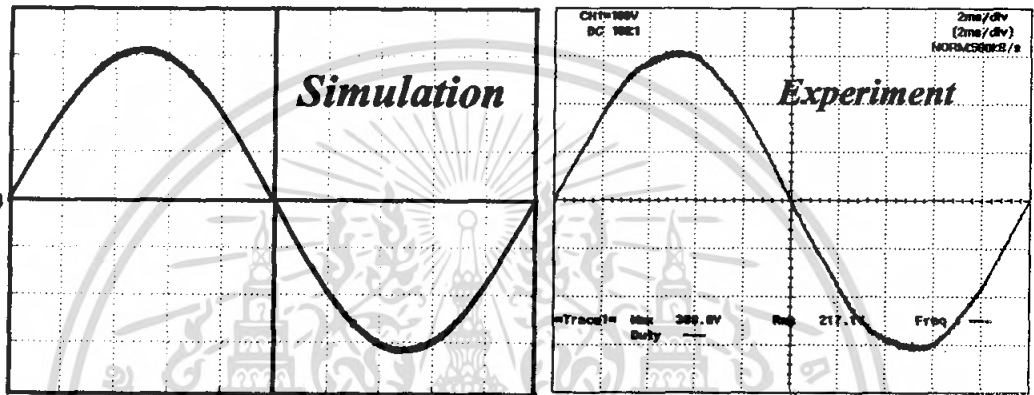
ภาพที่ 4.18 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจร เอชซีออปเปอร์แอมป์ที่ค่าดิวตีไซเคิลเท่ากับ 40 % มีความถี่ในการสวิตชิง เท่ากับ 20 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

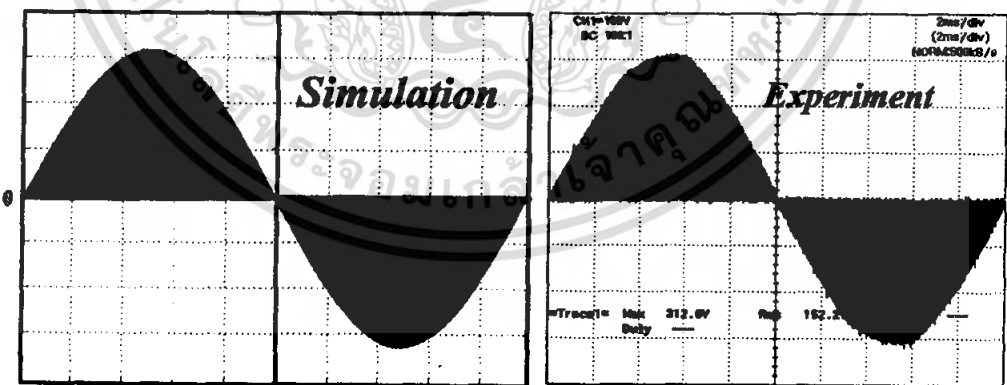
4.6.5 ในกรณีที่ค่าดีวตีไซเคิล 50 % ความถี่สวิทช์ 20 kHz

ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านอินพุตในกรณีที่วงจรเอชชอปเปอร์สวิทช์ที่ค่าดีวตีไซเคิลเท่ากับ 50 % ที่โหลดทางด้านเอาต์พุตเท่ากับ 1000 W และมีความถี่ในการสวิทช์เท่ากับ 20 kHz

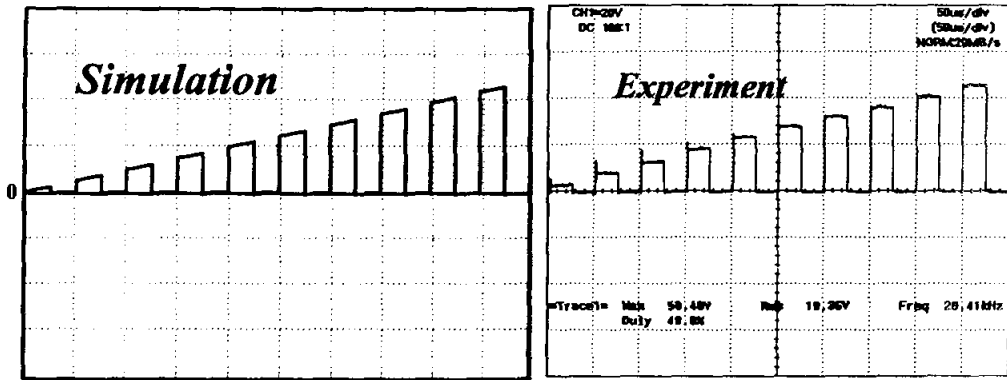
เมื่อนำคลื่นแรงดันของวงจรของเอชชอปเปอร์ตามจุดต่าง ๆ มาซิมมูลेटด้วยโปรแกรม PSpice และเพื่อยืนยันความถูกต้องจึงได้ทำการเปรียบเทียบกันผลที่ได้จากการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.19 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านอินพุตของวงจร เอชชอปเปอร์สวิทช์ที่ค่าดีวตีไซเคิลเท่ากับ 50 % มีความถี่ในการสวิทช์ เท่ากับ 20 kHz



ภาพที่ 4.20 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจร เอชชอปเปอร์สวิทช์ที่ค่าดีวตีไซเคิลเท่ากับ 50 % มีความถี่ในการสวิทช์ เท่ากับ 20 kHz

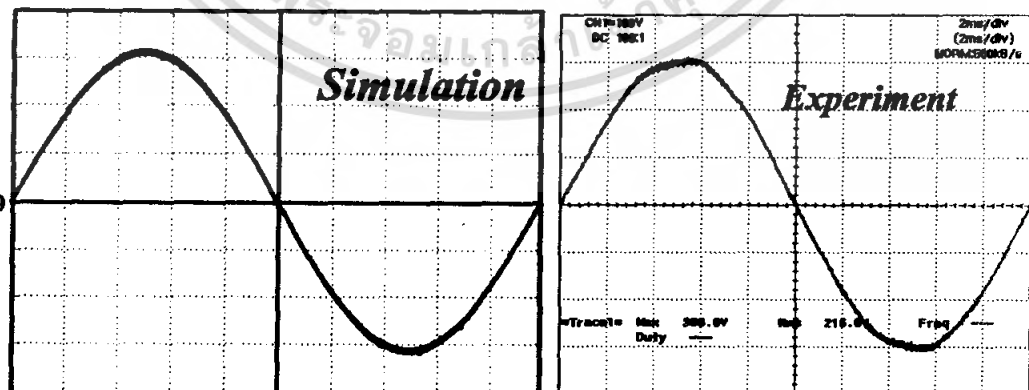


ภาพที่ 4.21 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจร เอชซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าตัวดีไซเคิลเท่ากับ 50 % มีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 20 kHz

4.6.6 ในกรณีที่ค่าตัวดีไซเคิล 60 % ความถี่สวิตช์ 20 kHz

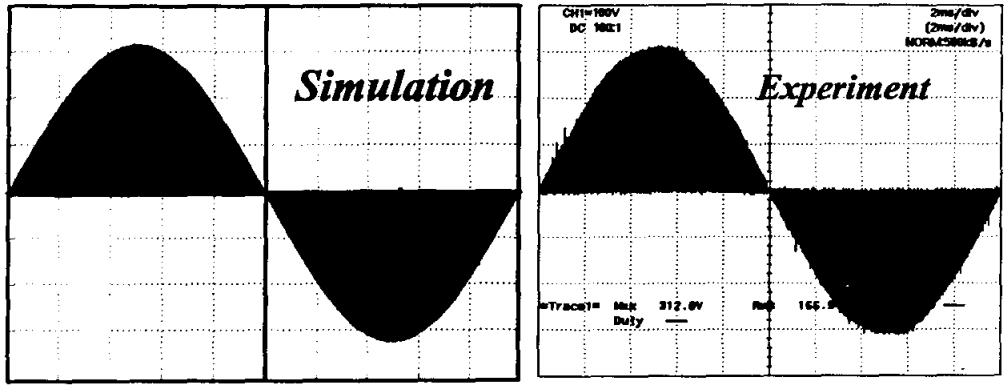
ลักษณะคลื่นแรงดัน ทางด้านอินพุตในกรณีที่วงจรเอชซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าตัวดีไซเคิลเท่ากับ 60 % ที่โหลดทางด้านเอาต์พุตเท่ากับ 1000 W และมีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 20 kHz

เมื่อนำคลื่นแรงดันของวงจรของเอชซีชอปเปอร์ตามจุดต่าง ๆ มาซิมูเลตด้วยโปรแกรม PSpice และเพื่อยืนยันความถูกต้องจึงได้ทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.22

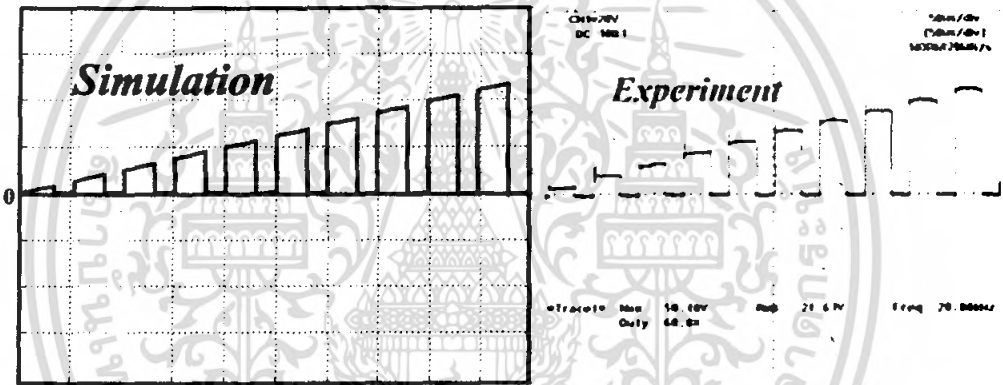


ภาพที่ 4.22 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านอินพุตของวงจร เอชซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าตัวดีไซเคิลเท่ากับ 60 % มีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 20 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.23 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจร เอชซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าคิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 60 % มีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 20 kHz

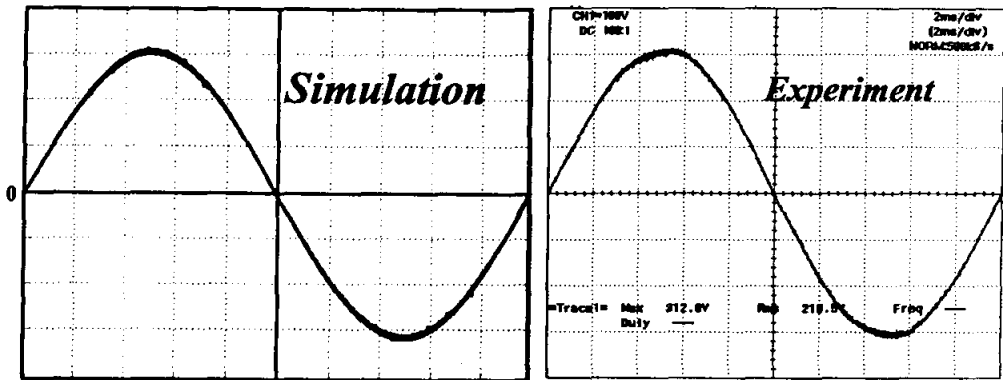


ภาพที่ 4.24 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจร เอชซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าคิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 70 % มีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 20 kHz

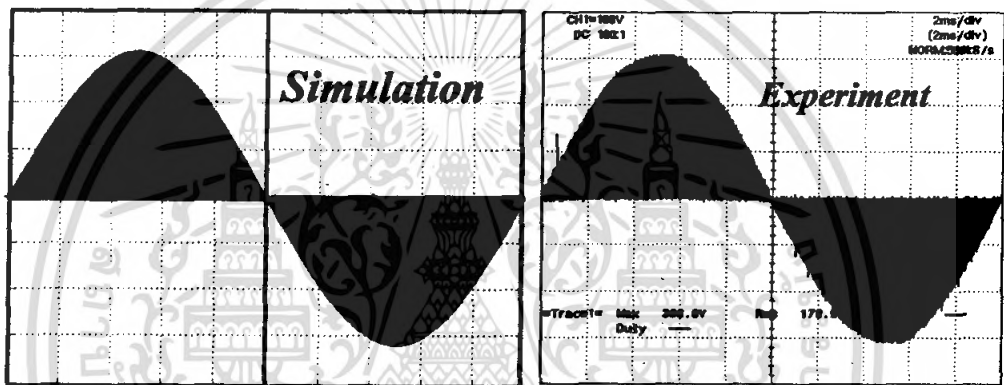
4.6.7 ในกรณีที่ค่าคิวตี้ไซเคิล 70 % ความถี่สวิตช์ 20 kHz

ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านอินพุตในกรณีที่วงจรเอชซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าคิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 70 % ที่โหลดทางด้านเอาต์พุตเท่ากับ 1000 W และมีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 20 kHz

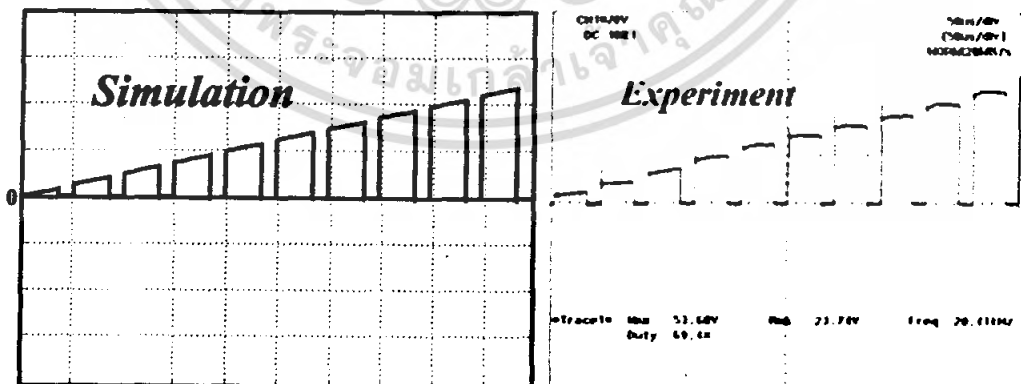
เมื่อนำคลื่นแรงดันของวงจรของเอชซีชอปเปอร์ตามจุดต่าง ๆ มาซิมมูลेटด้วยโปรแกรม PSpice และเพื่อยืนยันความถูกต้องจึงได้ทำการเปรียบเทียบด้วยผลที่ได้จากการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.25



ภาพที่ 4.25 ลักษณะคลื่นแรงดันทางต้านอินพุตของวงจร เอนิซออปเปอร์สวิตช์ที่ค่าความถี่ไซเคิลเท่ากับ 70 % มีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 20 kHz



ภาพที่ 4.26 ลักษณะคลื่นแรงดันทางต้านเอาต์พุตของวงจร เอนิซออปเปอร์สวิตช์ที่ค่าความถี่ไซเคิลเท่ากับ 70 % มีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 20 kHz



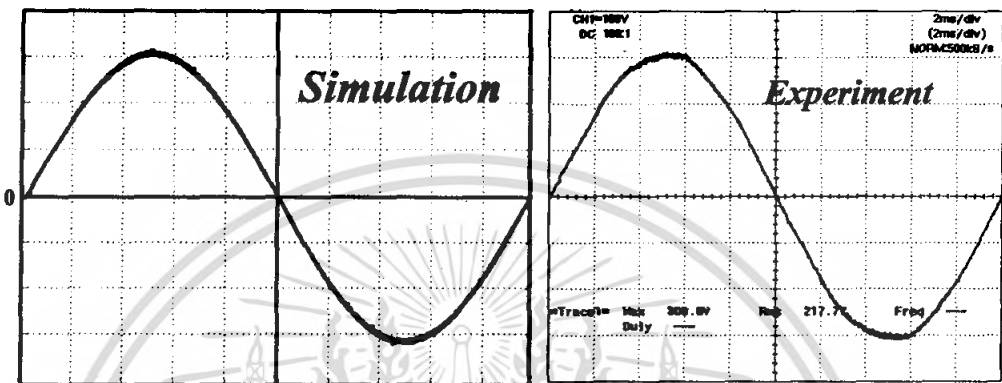
ภาพที่ 4.27 ลักษณะคลื่นแรงดันทางต้านเอาต์พุตของวงจร เอนิซออปเปอร์สวิตช์ที่ค่าความถี่ไซเคิลเท่ากับ 70 % มีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 20 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

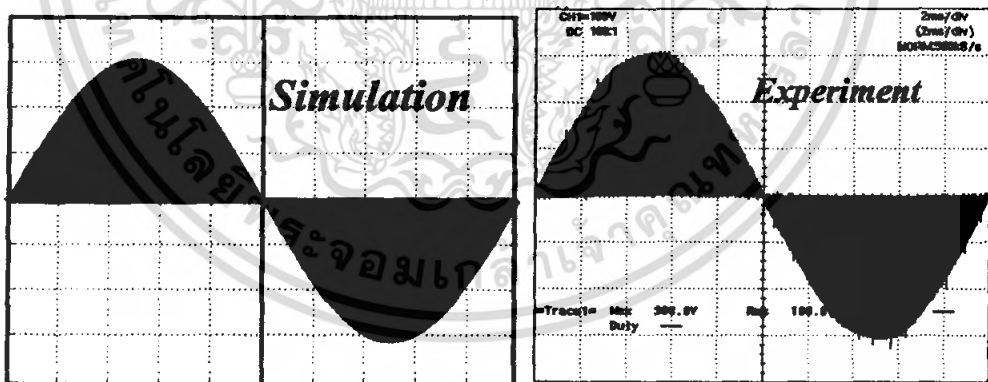
4.6.8 ในกรณีที่ค่าคิวดีไซเคิล 80 % ความถี่สวิทช์ 20 kHz

ลักษณะคลื่นในกรณีที่วงจรเอชไอชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าคิวดีไซเคิลเท่ากับ 80 % ที่โหลดทางด้านเอาต์พุตเท่ากับ 1000 W และมีความถี่ในการสวิทช์เท่ากับ 20 kHz

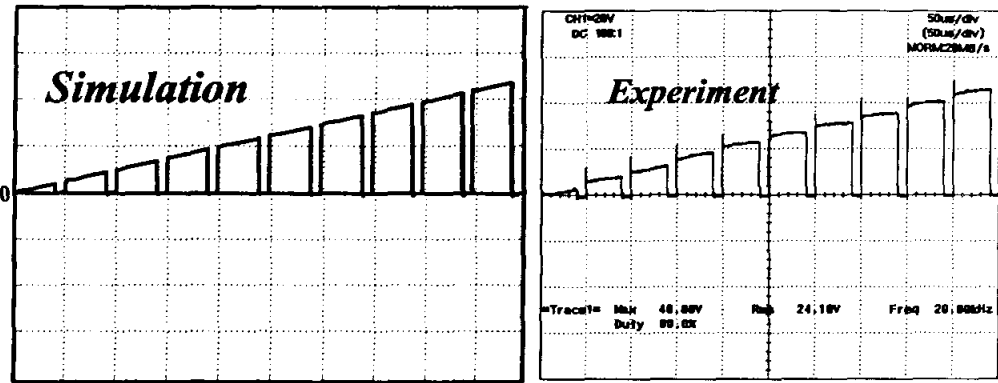
เมื่อนำคลื่นแรงดันทางด้านอินพุตของวงจรของเอชไอชอปเปอร์ตามจุดต่าง ๆ มาชิมมูเลตด้วยโปรแกรม PSpice และเพื่อยืนยันความถูกต้องจึงได้ทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.28



ภาพที่ 4.28 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านอินพุตของวงจร เอชไอชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าคิวดีไซเคิลเท่ากับ 80 % มีความถี่ในการสวิทช์ เท่ากับ 20 kHz



ภาพที่ 4.29 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจร เอชไอชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าคิวดีไซเคิลเท่ากับ 80 % มีความถี่ในการสวิทช์ เท่ากับ 20 kHz

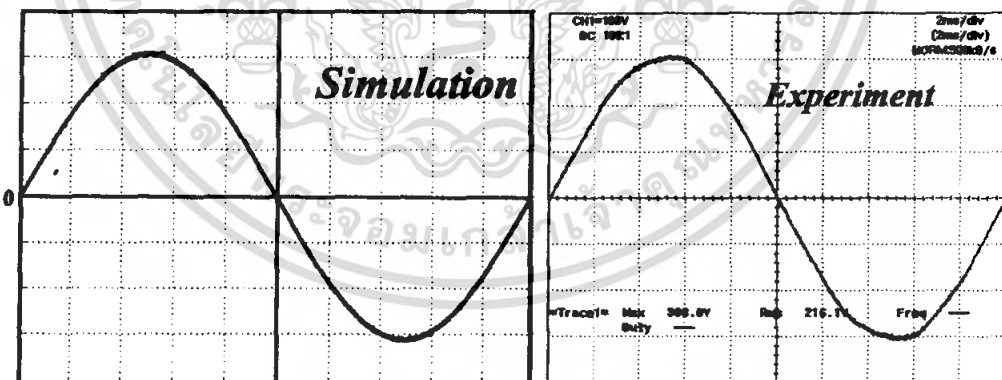


ภาพที่ 4.30 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจร เช็ชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดิวตี้ไซเคิล เท่ากับ 80 % มีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 20 kHz

4.6.9 ในกรณีที่ค่าดิวตี้ไซเคิล 90 % ความถี่สวิตช์ 20 kHz

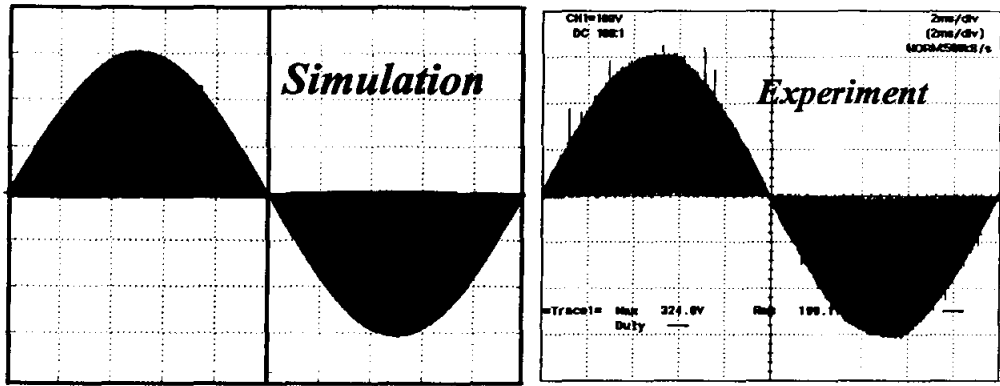
ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านอินพุตพร้อมในกรณีที่วงจรเช็ชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดิวตี้ไซเคิลเท่ากับ 90 % ที่โหลดทางด้านเอาต์พุตเท่ากับ 1000 W และมีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 20 kHz

เมื่อนำคลื่นแรงดันของวงจรของเช็ชอปเปอร์ตามจุดต่าง ๆ มาซิมมูลेटด้วยโปรแกรม PSpice และเพื่อยืนยันความถูกต้องจึงได้ทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.31

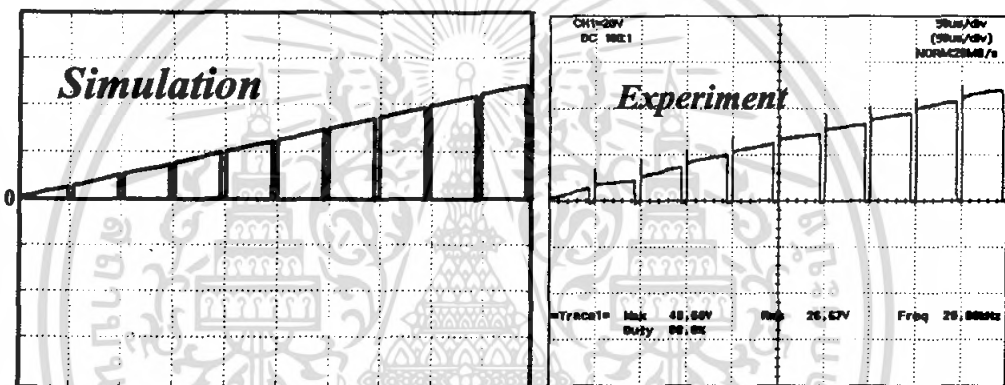


ภาพที่ 4.31 ลักษณะคลื่นแรงดันทางด้านอินพุตของวงจร เช็ชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดิวตี้ไซเคิล เท่ากับ 90 % มีความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 20 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.32 ลักษณะคลื่นแรงดันทางค่านเอาต์พุตของวงจร เอชไอชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดิวิตีไซเคิล เท่ากับ 90 % มีความถี่ในการสวิตช์ซิ่ง เท่ากับ 20 kHz



ภาพที่ 4.33 ลักษณะคลื่นแรงดันทางค่านเอาต์พุตของวงจร เอชไอชอปเปอร์สวิตช์ที่ค่าดิวิตีไซเคิล เท่ากับ 90 % มีความถี่ในการสวิตช์ซิ่ง เท่ากับ 20 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

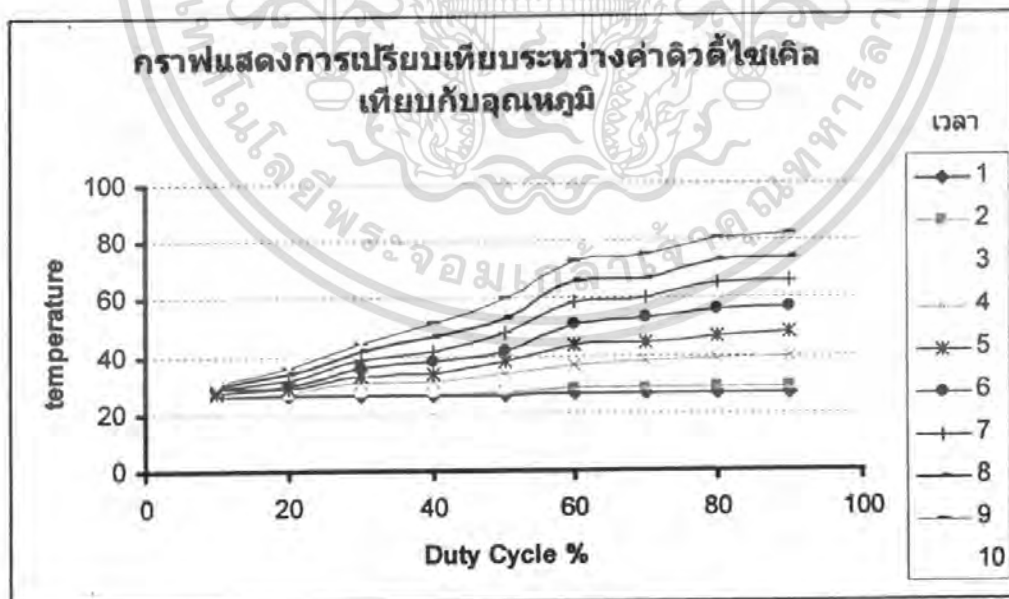
4.7 ค่าที่ใช้ในการทดลองและกราฟเปรียบเทียบ

4.7.1 ค่าอุณหภูมิเทียบกับตัวตัดไซเคิล และเวลา

ตารางที่ 4.2 ค่าอุณหภูมิเทียบกับตัวตัดไซเคิล และเวลา

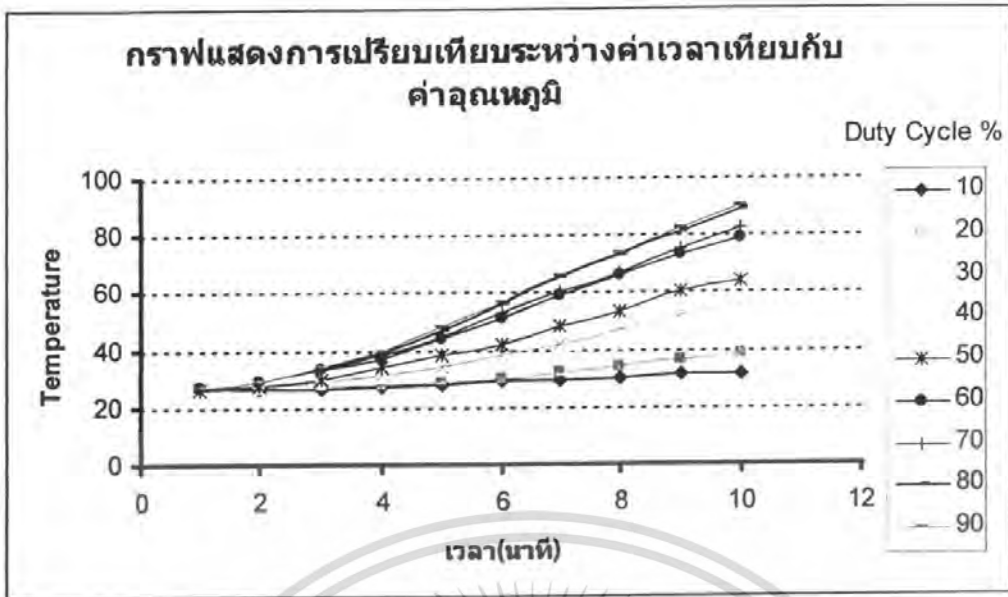
เวลา(นาท)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)								
	D=0.1	D=0.2	D=0.3	D=0.4	D=0.5	D=0.6	D=0.7	D=0.8	D=0.9
0	26	26	26	26	26	26	26	26	26
1	26	26	26	26	26	27	27	27	27
2	26	27	27	27	28	29	29	29	29
3	26	28	29	29	30	33	33	34	34
4	27	28	31	31	34	37	38	39	40
5	28	29	33	34	38	44	45	47	48
6	29	30	36	38	42	51	53	56	57
7	29	32	39	42	48	59	60	65	66
8	30	34	42	47	53	66	64	73	74
9	31	36	45	52	60	73	75	81	82
10	31	38	47	56	64	79	82	89	90
11	32	40	50	60	70	86	89	95	96
12	33	42	52	64	73	92	94	101	102
13	33	43	54	67	77	96	99	106	107
14	34	45	56	71	81	101	105	110	111
15	35	46	58	74	85	105	109	114	115

4.7.1.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าตัวตัดไซเคิลเทียบกับอุณหภูมิ



ภาพที่ 4.34 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าตัวตัดไซเคิลเทียบกับอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



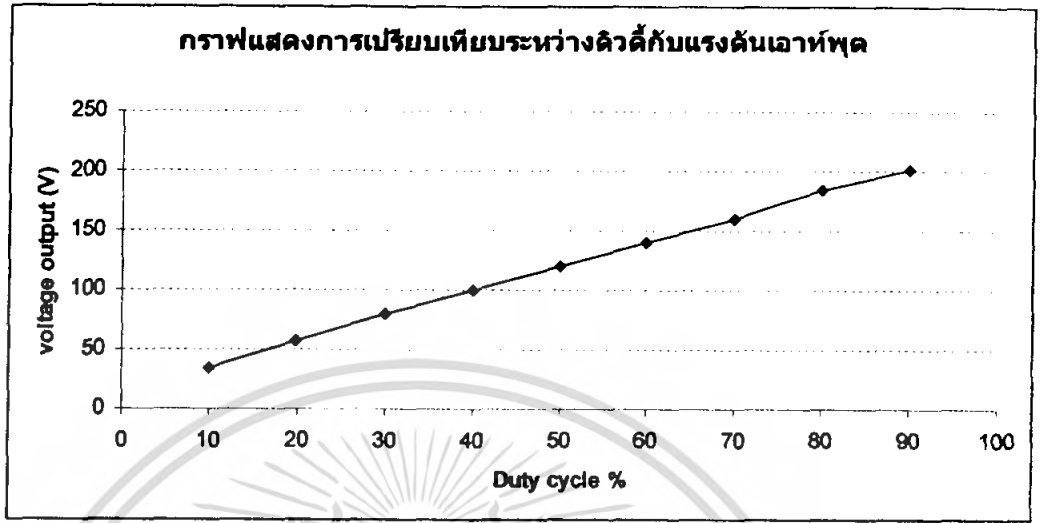
ภาพที่ 4.35 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าตัวชี้วัดไซเคิลเทียบกับอุณหภูมิ

4.7.2 ค่าของตัวชี้วัดกำลังไฟฟ้าอินพุตและแรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้า ทางด้านเอาต์พุต
ตารางที่ 4.3 ค่าของแรงดันกระแสกำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต

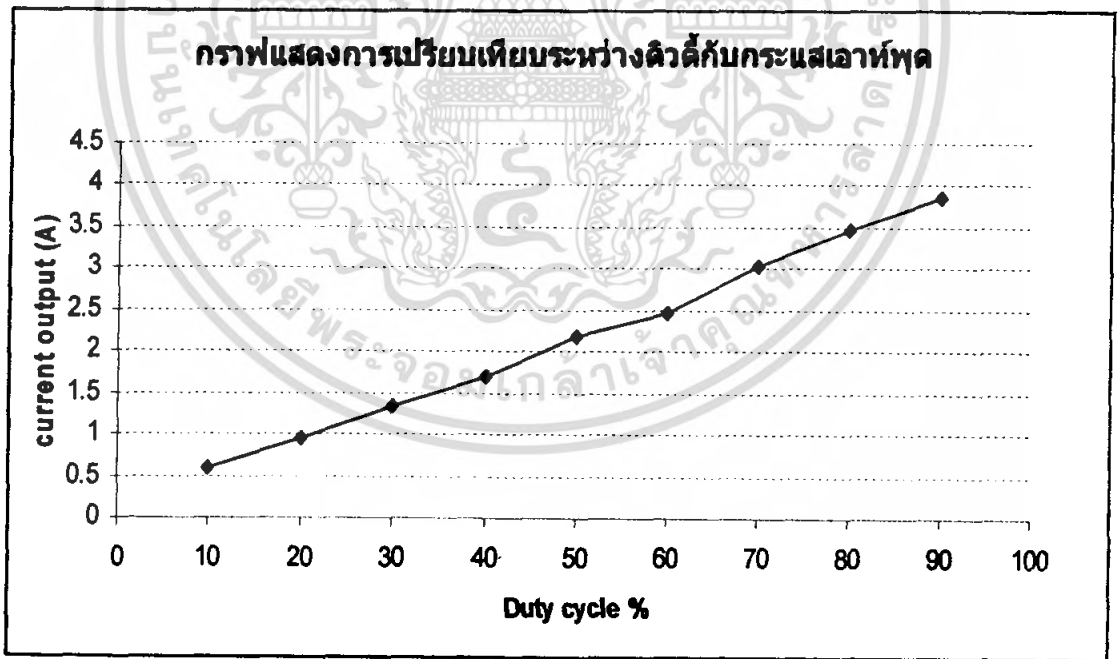
D	Pin(kW)	I(out)	V(out)	Pout(kW)	$\eta\%$
0.1	0.03	0.6	34.5	0.02	66.67
0.2	0.06	0.96	57.3	0.05	83.33
0.3	0.12	1.35	79.3	0.10	83.33
0.4	0.19	1.71	99.4	0.17	89.50
0.5	0.29	2.19	119.6	0.26	89.60
0.6	0.39	2.48	139.9	0.35	89.74
0.7	0.53	3.03	160.7	0.48	90.50
0.8	0.70	3.47	183.7	0.63	90.00
0.9	0.85	3.86	201.2	0.77	90.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.2.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าดีวีซีไอเคลเทียบกับอุณหภูมิ

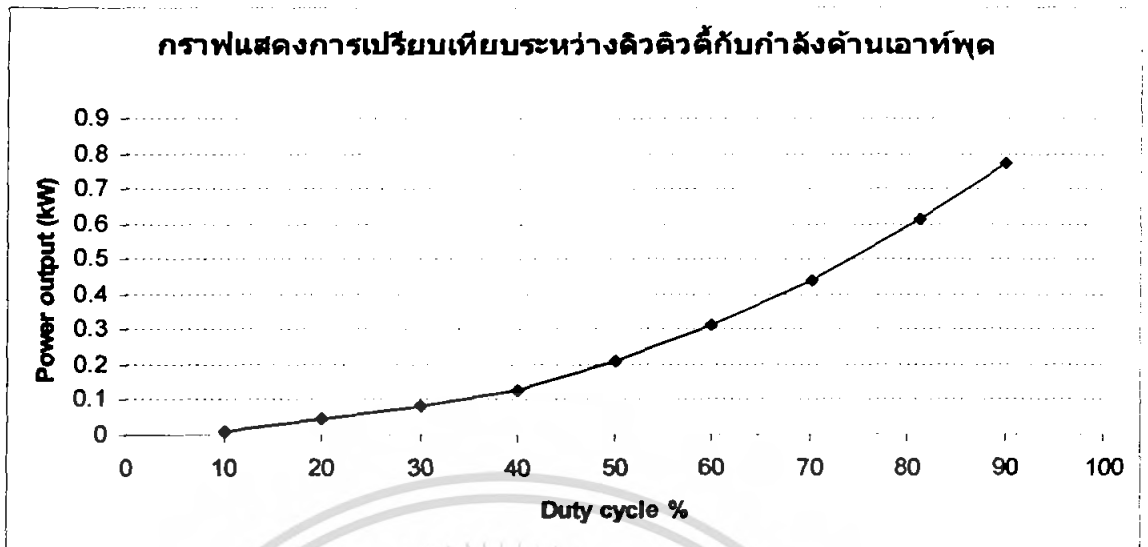


ภาพที่ 4.36 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าดีวีซีไอเคลเทียบกับแรงดันเอาต์พุต

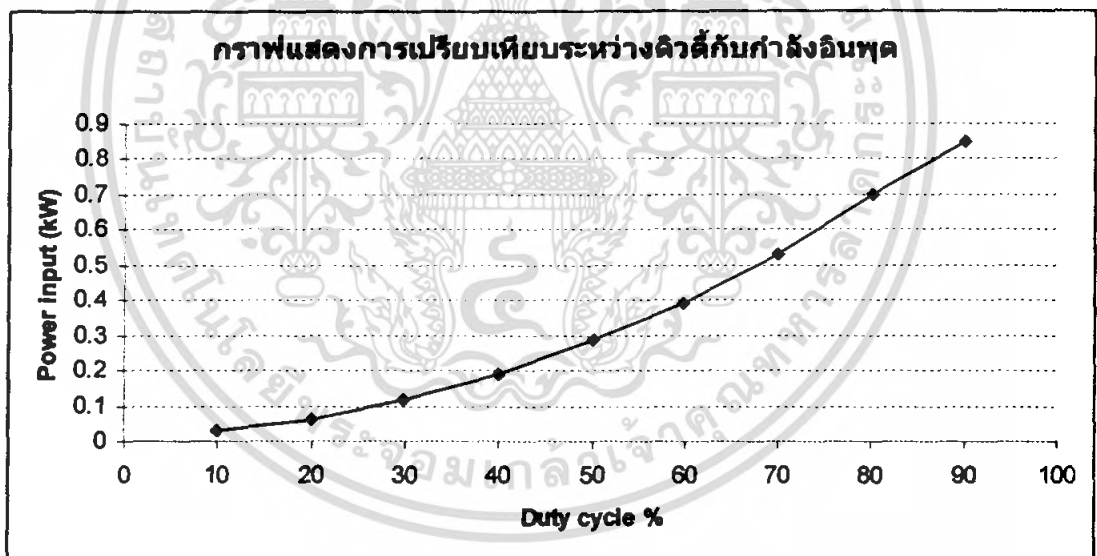


ภาพที่ 4.37 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าดีวีซีไอเคลเทียบกับกระแสเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

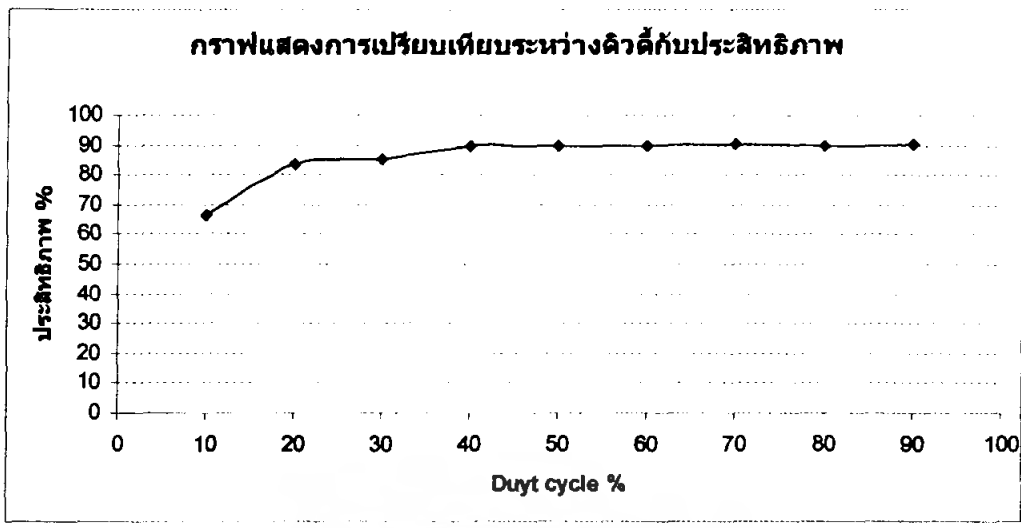


ภาพที่ 4.38 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าตัวตึ้ไซเคิลเทียบกับกำลังเอาต์พุต



ภาพที่ 4.39 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าตัวตึ้ไซเคิลเทียบกับกำลังอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.40 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าดีไซเคิลเทียบกับประสิทธิภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผล

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลที่ได้จากการทดลอง

จากผลการวิจัยที่ได้ทดลองของวงจรเอซีชอปเปอร์สวิตช์ที่ความถี่สูงสามารถสรุปได้ดังนี้ จากการทำการศึกษาและสร้างเครื่องต้นแบบ เพื่อใช้ผลการทดลองจากเครื่องต้นแบบในการ ยืนยันเปรียบเทียบความถูกต้องกับผลการวิเคราะห์จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยในการสร้างเครื่องต้นแบบทำให้สามารถเข้าใจการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์การทำงานของ IC ชนิดต่างๆ การต่อวงจร IC ใช้งานในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้ได้สัญญาณที่ต้องการ รวมไปถึงการนำสัญญาณที่ได้จากการต่อ IC ชนิดต่างๆ มาใช้ในการควบคุมอุปกรณ์สวิตช์ที่ใช้ ทำให้ได้รู้ถึงหลักการทำงานของวงจรที่นำเสนอได้อย่างแท้จริงและสามารถนำความรู้ที่ได้จากการสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้ไปพัฒนาต่อยอดเพื่ออุปกรณ์ใช้งานในรูปแบบอื่นๆได้

สามารถสร้างแรงดันคลื่นไซน์ 50 Hz ที่ถูกสับในลักษณะเป็นพัลส์ความถี่สูงในระดับ 20 kHz โดยพัลส์ความถี่สูง 20 kHz ที่ได้นี้สามารถปรับค่าความถี่ไซเคิลได้จาก 10%-90% เพื่อปรับค่า (rms) ของแรงดันของเอาต์พุต โดยแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากวงจรเอซีชอปเปอร์นี้ สามารถปรับควบคุมแรงดันได้ในย่าน 0-200V โดยแรงดันควบคุมที่ได้นี้มีประโยชน์ในการนำไปประกอบเป็นชุดเครื่องรักษาระดับแรงดัน หรือนำไปใช้เป็นชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เฟสเดียว ตลอดจนนำไปใช้เป็นชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ใช้กับโหลดที่เป็นขดลวดความร้อน (Heater)

5.2 ปัญหาที่พบ

ผลการการทำโครงการนี้ที่ผ่านมา ปัญหาแรกที่พบคือ ปัญหาเรื่องชุดวงจรกำลัง ในครั้งแรกใช้อุปกรณ์สวิตช์ซึ่งที่เป็น IGBTมาเป็นสวิตช์สองทิศทาง แต่ไม่สามารถให้แรงดันทางด้านเอาต์พุตที่ถูกชอปด้วยความถี่ 20 kHz ออกมาได้ จึงเปลี่ยนมาใช้เป็นพาวเวอร์มอสเฟต (IRFP 460) จึงสามารถได้แรงดันทางด้านเอาต์พุตที่ถูกชอปด้วยความถี่ 20 kHz ออกมาได้

ปัญหาในด้านความร้อนของตู้อบ ซึ่งไม่สามารถเก็บความร้อนในตู้ได้อย่างเหมาะสม ทำให้ความร้อนกระจายออกนอกตู้อบ สามารถแก้ไขได้โดยการ นำแผ่นกันความร้อนมาใส่ไม่ให้ความร้อนแผ่ออกนอกตู้อบมากนัก

ปัญหาด้านการนำเหล็กมาเป็นโครงสร้างของตู้อบ คือ เมื่อใช้งานไปสักระยะเหล็กจะเกิดสนิมขึ้น ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้อบอาหารได้ จึงควรมีการแก้ไขในเรื่องของสนิมเหล็กที่เกิดขึ้น โดยอาจใช้วัสดุที่มีการเคลือบกันสนิม เช่น สแตนเลส เป็นต้น และสามารถป้องกันการเปราะเป็นสนิมตู้อบได้ด้วย

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

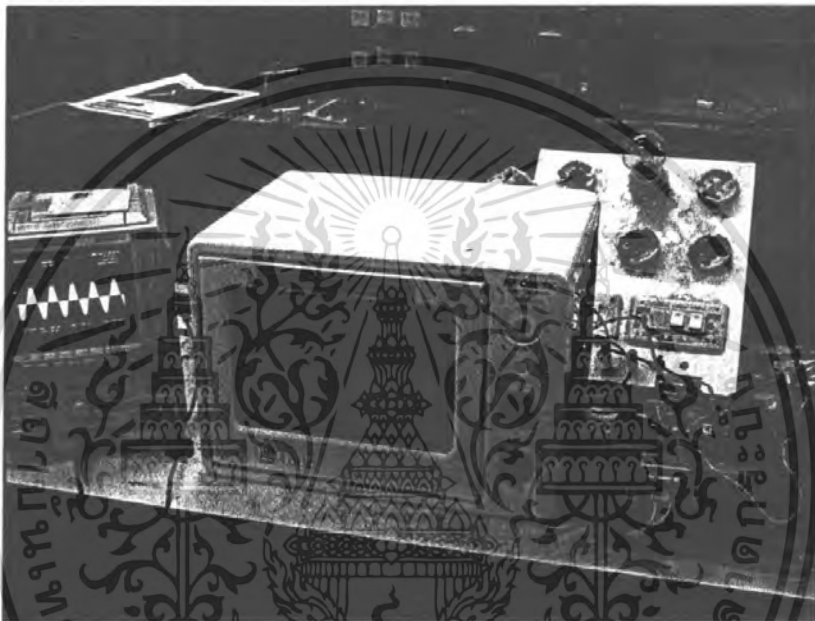


**ภาคผนวก ก.
คู่มือการใช้งาน**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้งาน (AC Chopper High Frequency Switching for 50 Hz Oven)

1. ทำการตั้งค่า Set Point ของตู้อบ
2. ตั้งเวลาการทำงาน เลือกระยะเวลาโดยประมาณ โดยการปรับที่สวิทช์ Timer
3. On Switch Power ที่หน้าตู้อบ
4. ตู้อบจะทำงานจนถึงเวลาที่ตั้งไว้
5. หยุดการทำงานทันทีโดยการกดปุ่ม Off Switch



ตู้อบ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3-2. Mounting

- (1) Machine the mounting hole by referring to the panel-cut illustration in Section 3-3.
- (2) Applicable thickness of the mounting panel is 1.2~2.8mm.
- (3) As this product provides mounting fixture, insert the product into the panel.

[NOTE] MAC 3 is a panel set-up type.

Please use the product after setting up to the panel.

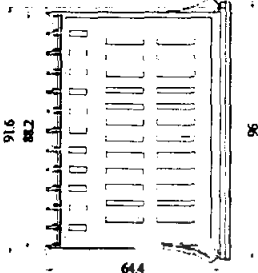
3-3. External dimension and panel cutout

MAC3 external dimensions (unit: mm)

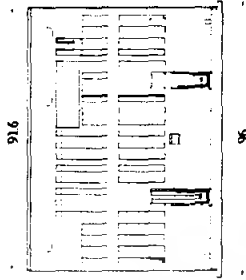
MAC3A (96×96 size)

profile

68.4



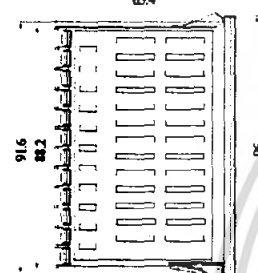
top View



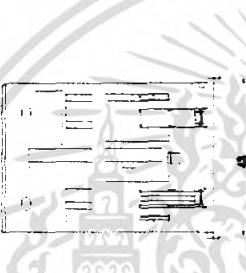
MAC3B (48×96 size)

profile

64.4



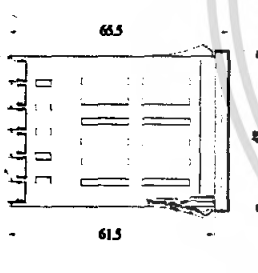
top View



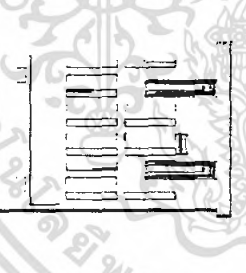
MAC3D (48×48 size)

profile

61.4

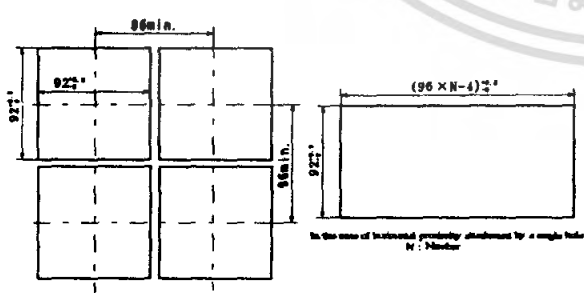


top View

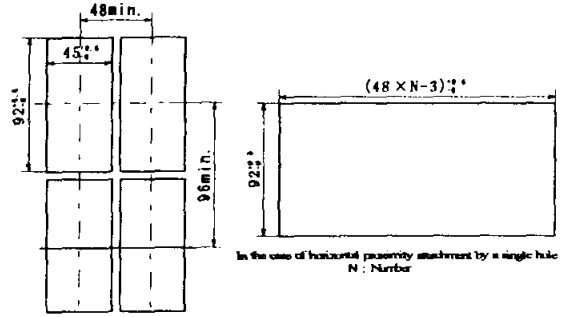


MAC3 panel cutout (unit: mm)

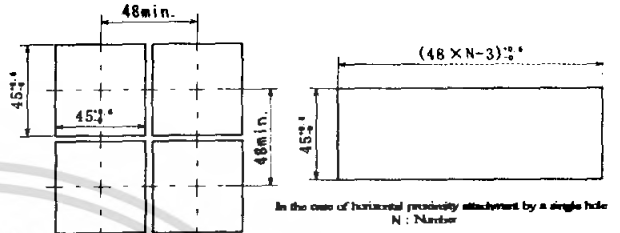
MAC3A (96×96 size)



MAC3B 48×96 size



MAC3D 48×48 size



Note: Proximity attachment by a single hole is possible only in the case of horizontal direction.

When an apparatus that was attached in vertical direction is removed, a dedicated detachment tool is required.

3-4. Wiring

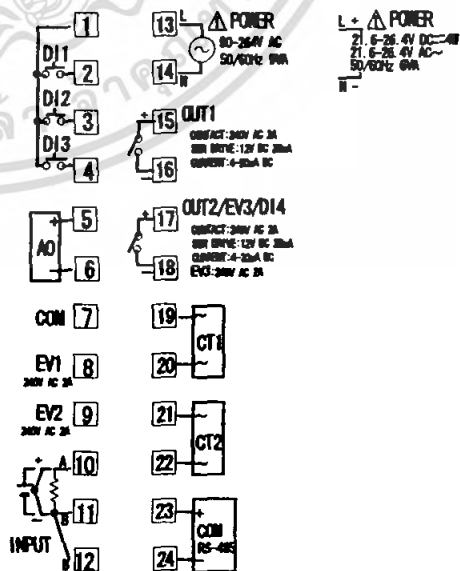
[WARNING]

- Ⓞ Do not turn on electricity while wiring to avoid an electric shock.
- Ⓞ Do not touch a terminal or live part while turning on electricity.

- (1) Make sure that wiring operation is properly done in line with a terminal wire diagram of section 3-5.
- (2) Choose a suitable compression lead wire in the case of thermocouple input.
- (3) In the case of resistance bulb input, resistance value of each lead wire must be less than 5Ω and that of three lead wires must be equal.
- (4) Do not wire an input signal line inside of an electric wire pipe or a duct same with the high voltage line.
- (5) Shield wiring (single point grounding) is effective against static induction noise.
- (6) Wiring twisted at equal short intervals is effective against electromagnetic induction noise.

3-5. Terminal arrangement diagram

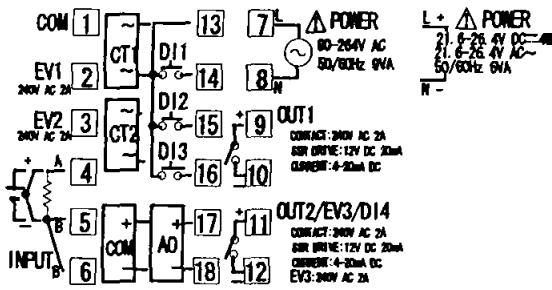
3-5. Terminal arrangement plan of MAC3A and MAC3B



[Note] : If input type is thermocouple or voltage, error may occur when terminal 11 and terminal 12 terminal are short-circuited

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรตีพิมพ์หรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางบริษัทฯ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Terminal arrangement plan of MAC3D

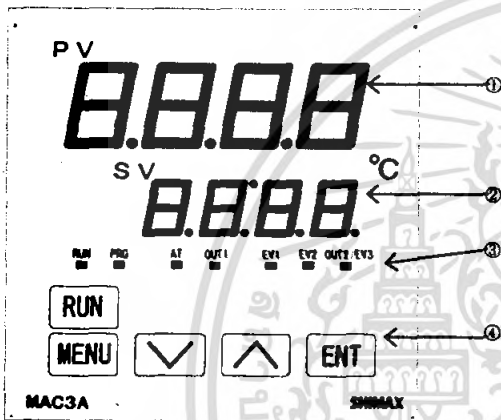


[Note] : If input type is thermocouple or voltage, errors may occur when terminal 5 and terminal 6 terminal are short-circuited

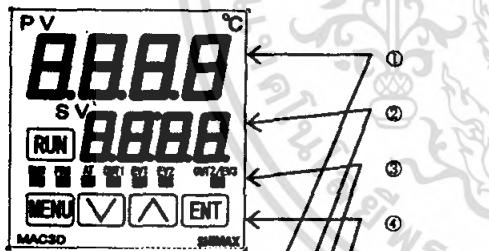
4. Description of front panel

4-1. Names of front panel.

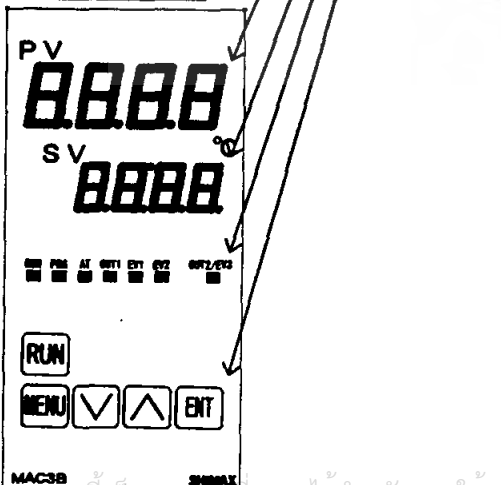
MAC3A 96 X 96 size front



MAC3D 48 X 48 size front



MAC3B 48 X 96 size front



4-2. Explanation of front panel section

- ① : Display of measured value (PV) (red)
Measured value (PV) and type of setting is displayed on each setting screen
- ② : Display of target value (SV) (green)
Target value and set value are displayed on each setting screen.
- ③ : Monitor LED
 - (1) RUN monitor LED RUN (green)
If RUN is performed with RUN key, operation mode screen, external control input (DI), and communication, it lights up, and put out by standby (reset). It blinks, if a manual output is chosen in output monitoring screen or external control input (DI).
 - (2) Program functional monitor LED PRG (green)
Lights up at the time of program control's standby or flat part control. Puts out at the time of FDX control selection.
 - (3) Auto tuning operation monitor LED AT (green)
If AT is chosen in ON or external control input (DI), blinks during AT execution. Lights up when AT is on standby, and puts out with AT automatic termination or release.
 - (4) control out put 1 monitor LED OUT (green)
At the time of a contact or a voltage pulse output, the it lights up with ON and lights off with OFF. Lights off with 0% power output, and lights up with 100% power. And blinks in intermediate ratio.
 - (5) Event output monitors LED EV1 and EV2 (yellow)
Lights up when the allocated event output turns to ON.
 - (6) Control out put 2/event output 3 monitors LED OUT2/EV3 (yellow)
When control output 2 is chosen, it operates like control output 1 monitor LED does. When event output 3 is chosen, it operates like event output monitor LED does.
- ④ : Key-switch section
 - (1) [MENU]key
Press this key to move onto the next screen among the screens.
Press [MENU] key for three seconds on the basic screen, then it jumps to the lead screen of Mode 1. Press [MENU] key for three seconds on the lead screen of each Mode screens, then it jumps to the basic screen.
Press [MENU] key for three seconds on the lead screen of FDX or PROG, then it jumps to the basic screen.
When a program control option is added, press [MENU] key for three seconds on the screen of operation mode 2, then it jumps to the screen of operation Mode 1.
 - (2) [DOWN]key
Press [DOWN] key one time, and the shown value decreases by one numerical value. One time press of [DOWN] key decreases by one numerical value. By pressing the key continuously, the value as well consecutively decreases. A decimal point of the smallest digit blinks at this time. This shows that a setting change is in progress.
In PROG, used as a shift key between each step setting screens (Steps 1-25), lead screen. Also used as a shift key between lead screen in each mode screens.
 - (3) [UP]key
Press [UP] key one time, and the shown value increases by one numerical value. By pressing continuously, the value increases. By pressing the key continuously, the value consecutively increases. A decimal point of the smallest digit blinks at this time. This shows that a setting change is in progress.
In PROG, used as a shift key between each step setting screens (Steps 1-25), lead screen. Also used as a shift key between lead screen in each mode screens.
 - (4) [ENTRY/REGISTER]key
The setting data changed on each screen is determined (the decimal point of the minimum digit is also lighted off).
When a program control option is added, press [ENT] key for three seconds on the screen of operation mode 1, then it jumps to the screen of operation Mode 2.
Press [ENT] key for 3 seconds on the output monitoring screens, then the shift between manual output and automatic output is carried out.
Press the key for 3 seconds on the basic screen, then it shifts to FDX or PROG lead screen. Push at FDX-PROG and each mode screens' lead screen, then shifts to setting screen.
 - (5) [RUN OPERATION/STOP]key
Push for 3 seconds at STBY (control stop), then FIX or PROG control starts.
Push for 3 seconds while FDX or PROG is in operation, then control is stopped.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Output 1 monitoring screen

25 manual output setting range: 0.0-100.0% (within output limiter)
1000 At the time of automatic output, monitor display only.
key Refer to Item 5-2 about automatic manual switchover, and setting method at the time of manual operation.
A manual output is canceled when an operation mode is made into Stby (Rst).
When a power source is interrupted and re-switched on, it returns to the condition just before interrupting.
When DI is allotted to DI, DI is given priority. Automatic manual switchover is not performed with key operation, and only the output value at the time of manual operation can be changed.

Output 2 monitoring screen

25 Contents are the same with that of an output 1.
1000 Output 2 monitoring screen displays only when output 2 option is added.

CT1 current monitoring-screen

25 Current display range: 0.0-55.0A
500 Displays at the time of CT input option addition, and the current value detected by CT sensor is displayed.
key Current value is displayed.

CT2 current monitoring screen

25 Contents are the same with that of an output 1.
300

Monitoring screen of steps remaining time period

25 Displays while program is in operation if program option is added.
99:59 Step No in progress and remaining time are displayed by turns.
key (In setting, step No and are displayed by turns)
A remaining time and an elapsed time is switchable by pressing the key for 3 seconds. (Switchover is interlocked with the number of times of next screen pattern.)
Decimal point of the minimum digit lights up in displaying elapsed time.
This screen is not displayed without a program option. Not displayed in the state of program RST and FX neither.

Monitoring screen for the remaining repeating time of pattern

25 Being displayed while program is in operation, when the program option is added,
9999 On-going step No and the remaining repeating time of pattern are displayed by turns.
key (In setting, step No and are displayed by turns)
A remaining time and actually performed times are switchable by pressing the key for 3 seconds. (Switchover is interlocked with front screen step time.)
The decimal point of the minimum digit lights up when actually performed times being displayed.
This screen is not displayed without a program option. Not displayed in the state of Program RST and FX neither.

PID No monitoring screen

25 Chosen PID No is displayed when FX is in operation.
P2-1 PID No chosen at each step and on-going step No are displayed by turns when PROG is in operation.
key PID No of output 1 is displayed in the first digital, and PID No of output 2 is displayed in the third digital. The third digital is shown as _ when there is no output 2 option.
This screen is not displayed in the state of STBY (RST).

HOLD (temporary stopping) execution screen

Hold Initial value: OFF
off Setting range: OFF, ON
While HOLD is executed, on the basic screen, SV value and Hold is displayed by turns.
If switched ON while PROG is in operation, the operation temporary stops with as of that step time and SV value. While HOLD is in execution, SV value and Hold is displayed by turns in basic screen.
HOLD is used in order to perform AT in the middle of an inclination step or to compensate the insufficient time of flat step.
Controls is performed with SV value at the time of stopping while HOLD is in execution.
HOLD is canceled if OFF is chosen while HOLD is in execution. The remaining time of the step is performed based on a program.

SKIP (skip) is unable to perform while HOLD is in execution.
When Hold is allotted to DI, DI is given priority.
Execution and release of HOLD with key operation is unable to perform.
This screen is not displayed without a program option. Not displayed in the state of program RST and FX neither.

SKIP (skip) execution screen

SKIP Initial value: OFF
off Setting range: OFF, ON
SKIP (skip) is the function that makes to end the on-going step compulsorily, and is to shift to the following step. The next step starts instantly, if performed.
When SKIP is continuously performed, about 1 second interval is required from execution to the next one.
Even if SKIP is allotted to DI, execution is able to perform with DI and key operation.
key SKIP cannot be performed while HOLD is in operation.
This screen is not displayed without a program option. Not displayed in the state of program RST and FX neither.

AT (Auto Tuning) execution screen

AT Initial value: OFF
off Setting range: OFF, ON
AT is performed by ON selection, and canceled by OFF selection.
Not displayed at the time of STBY (RST), a manual output, and P (proportional band) = OFF.
Except in the setting of key lock OFF, AT is unable to perform in scale over.
(At the time of DI allotment, execution of AT by DI can be performed.)
Even in such a case, halfway release is performed on this screen.
Release of AT, STBY (RST), EV operating point, setting of key lock, and mode 5 ~ 9 screen are operable with key.
Except in the setting of AT normal end, execution of AT is canceled compulsorily at the time of STBY (RST) selection and AT release setup.

EV1 (event 1) operating-point setting screen

EV1 Initial value: upper limit absolute value measuring range Scaling upper limit
1200 lower limit absolute value measuring range Scaling lower limit
key upper limit deviation 2000
lower limit deviation -9999
within deviation 0
outside deviation 2000
CT1 or CT2 00
guarantee 0
Setting range: upper limit absolute value within measuring range within scaling limit
lower limit absolute value within measuring range within scaling limit
upper limit deviation -9999~2000 unit
lower limit deviation -9999~2000 unit
within upper-lower limit deviation 0~2000 unit
outside upper-lower limit deviation 0~2000 unit
CT1 or CT2 0~50.0A
The operating point of the alarm type allotted to EV1 is set up.
No option, No display when non Sa, run, StP, P.E, End, Hold, Prog, d, St, and v, St are allotted to EV1.
The operation mode of each deviation alarm is run.
Effective at the time of automatic output.
Each deviation alarm serves as PV's deviation to Execution SV.
Event operation other than each deviation alarm is always effective.

EV2 (event 2) operating-point setting screen

EV2 Initial value, setting range, contents are the same with EV1
0 key

EV3 (event 3) operating-point setting screen

EV3 Initial value, setting range, contents are the same with EV1
0 key
When EV3 option is added, event 3 is displayed in the same contents with EV 1 and 2, irrespective of EV 1 and 2.

Latching release screen

LRelch
rSt 1
 Initial value: **rSt 1**
 Setting range: **rSt 1** release EV1
rSt 2 release EV2
rSt 3 release EV3
RLL release all EVs at a time

On the latching setting screen of each EV mode **rSt No.** and **RLL** which chose on are displayed. If latching is **on**, once EV is outputted, EV output state is maintained even if EV is in the state of OFF. When EV is in a latching state, decimal point of the minimum digit blinks, and it shows that release of EV is possible. If key is pressed, EV is released and a decimal point lights off.

However, release is impossible when a state is in EV power range.

Return to basic screen

(2) FDX (constant value control) setting screens

At the time of no program option and with program option and **Fdx** is chosen on Action mode2 screen of basic screens, lead screen of FDX setting screens is displayed when key is pressed for 3 seconds.

If key is pressed for 3 seconds on lead screen, it returns to basic screen.



FDX lead screen

Fdx
SET No setting on this screen.
 key Press key, then it shifts to the first setting screen SV1 setting screen.

SV1 setting screen

SV1
0
 key

Initial value: At the time of sensor input 0
 linear input time scaling lower limit
 Setting range: sensor input time within measuring range
 linear input time within scaling range
 Moreover, within limit of SV limiter.

When SV1 is Execution SV, being reflected in basic screen.
 Being initialized when measuring range, unit, and scaling are changed.

SV1 output 1 PID No. setting screen

SV1
10 #
1
 key

Initial value: 1
 Setting range: 1, 2, 3

When SV1 is Execution SV, PID No. that will be used for control of output 1 is chosen from 1~3.

SV1 output 2 PID No. setting screen

SV1
10 2P
1
 key

Initial value: 1
 Setting range: 1, 2, 3

When SV1 is Execution SV, PID No. that will be used for control of output 2 is chosen from 1~3.
 Displayed when output 2 option is added.

SV2 setting screen

SV2
0
 key

Initial value: same with SV1
 Setting range: same with SV1

Displayed when SV2 is allotted to DI. When terminal of allotted DI short-circuits, it becomes Execution SV.
 When SV2 is Execution SV, it is reflected in basic screen.
 Being initialized when measuring range, unit, and scaling are changed.

SV2 output 1 PID No. setting screen

SV2
20 #
1
 key

Initial value: 1
 Setting range: 1, 2, 3

Displayed when SV2 is allotted to DI.
 When SV2 is Execution SV, PID No. that will be used for control of output 1 is chosen from 1~3.

SV2 output 2 PID No. setting screen

SV2
20 2P
1
 key

Initial value: 1
 Setting range: 1, 2, 3

Displayed when SV2 is allotted to DI.
 When SV2 is Execution SV, PID No. that will be used for control of output 2 is chosen from 1~3.
 Displayed when output 2 option is added.

SV3 setting screen

SV3
0
 key

Initial value: same with SV1
 Setting range: same with SV1

Displayed when SV3 is allotted to DI. When terminal of allotted DI short-circuits, it becomes Execution SV.
 When SV3 is Execution SV, it is reflected in basic screen.
 Being initialized when measuring range, unit, and scaling are changed.

SV3 output 1 PID No. setting screen

SV3
30 #
1
 key

Initial value: 1
 Setting range: 1, 2, 3

Displayed when SV3 is allotted to DI.
 When SV3 is Execution SV, PID No. that will be used for control of output 1 is chosen from 1~3.

SV3 output 2 PID No. setting screen

SV3
30 2P
1
 key

Initial value: 1
 Setting range: 1, 2, 3

Displayed when SV3 is allotted to DI.
 When SV3 is Execution SV, PID No. that will be used for control of output 2 is chosen from 1~3.
 Displayed when output 2 option is added.

SV4 setting screen

SV4
0
 key

Initial value: same with SV1
 Setting range: same with SV1

Displayed when SV4 is allotted to DI.
 When terminal of allotted DI short-circuits, it becomes Execution SV.
 When SV4 is Execution SV, it is reflected in basic screen.
 Being initialized when measuring range, unit, and scaling are changed.

SV4 output 1 PID No. setting screen

SV4
40 #
1
 key

Initial value: 1
 Setting range: 1, 2, 3

Displayed when SV4 is allotted to DI.
 When SV4 is Execution SV, PID No. that will be used for control of output 1 is chosen from 1~3.

SV4 output 2 PID No. setting screen

SV4
40 2P
1
 key

Initial value: 1
 Setting range: 1, 2, 3

Displayed when SV4 is allotted to DI.
 When SV4 is Execution SV, PID No. that will be used for control of output 2 is chosen from 1~3.
 Displayed when output 2 option is added.

(3) PROG (program control) setting screens

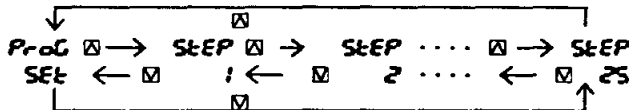
Press key for 3 seconds, lead screen of the PROG setting screens is displayed. When program option is added and **Prog** is chosen on Action mode2 screen of basic screens.

If key is pressed for 3 seconds on lead screen, it returns to basic screen.

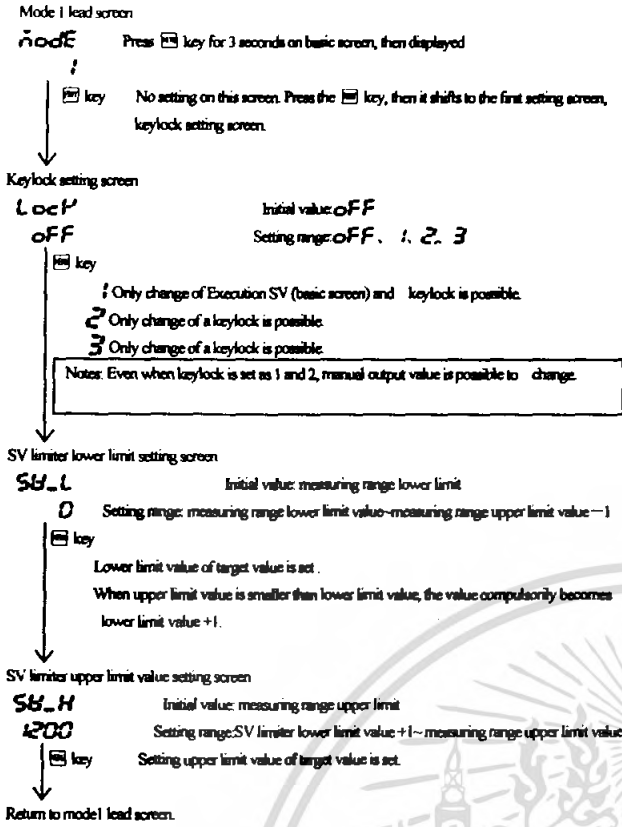
Basic screen lead screen of the PROG setting screens



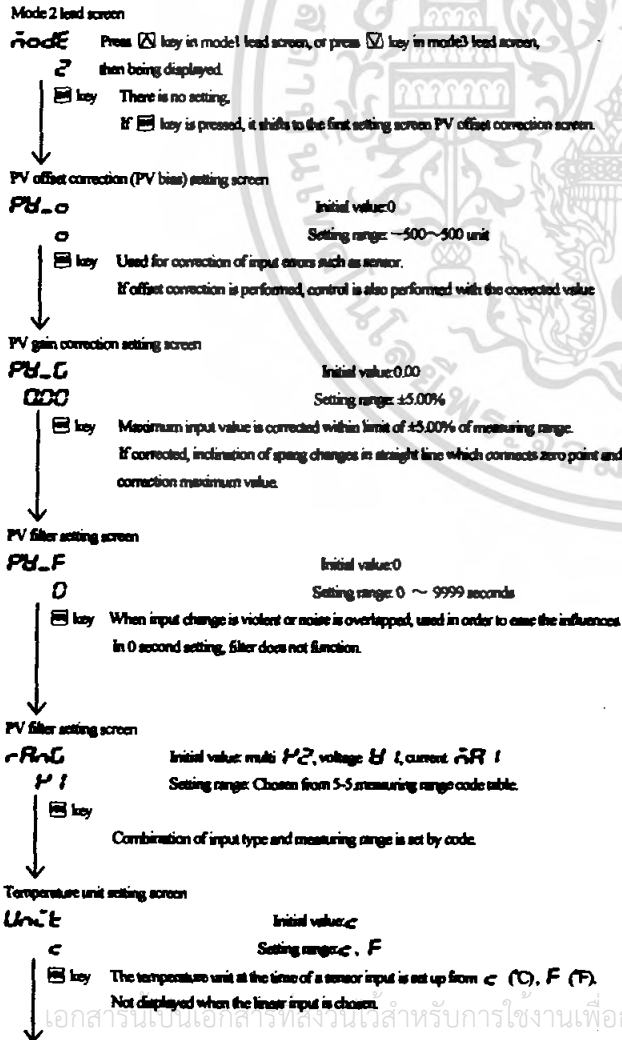
With key, it is possible to shift between 2 (4), PROG and step No.1 ~ 25 lead screen.



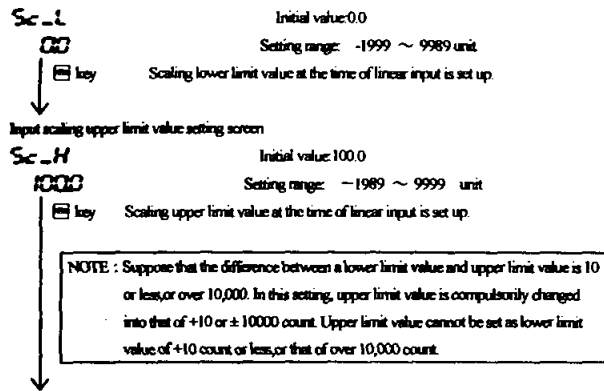
เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ ใช้เพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่มีการแก้ไขที่ต้นฉบับ หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



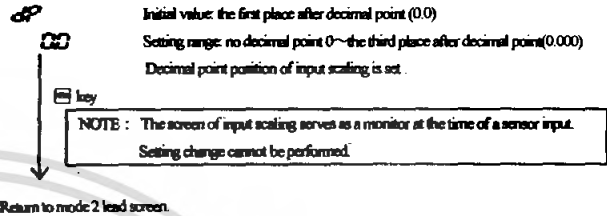
(5) Mode 2 screens



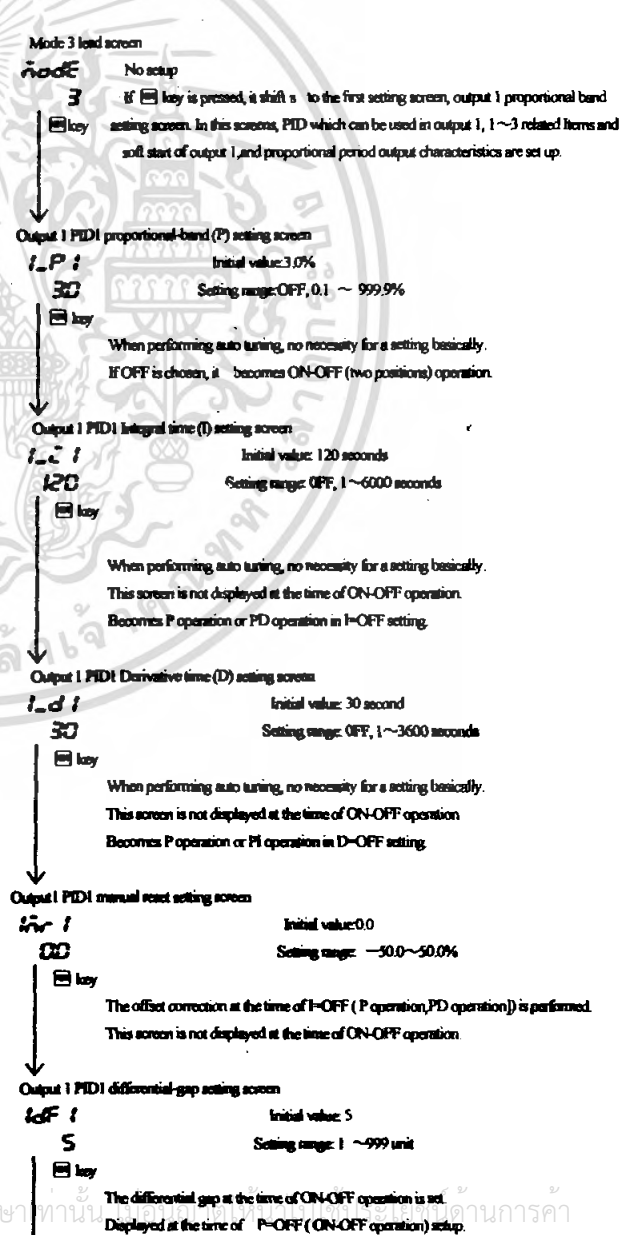
Input scaling lower limit value setting screen



Input scaling Decimal point position Setting screen



(6) Mode 3 screens



Input type	code	Measuring Range			
		unit code C (°C)	unit code F (°F)		
Thermo couple	R	r1	0 ~ 1700	0 ~ 3100	
	K	P1	-199.9 ~ 400.0	-300 ~ 700	
	K	P2	0 ~ 1200	0 ~ 2200	
	K	P3	0.0 ~ 300.0	0 ~ 600	
	J	J1	0 ~ 600	0 ~ 1100	
	T	E1	-199.9 ~ 200.0	-300 ~ 400	
	E	E1	0 ~ 700	0 ~ 1300	
	S	S1	0 ~ 1700	0 ~ 3100	
	*5 U	U1	-199.9 ~ 200.0	-300 ~ 400	
	N	n1	0 ~ 1300	0 ~ 2300	
	*1 B	b1	0 ~ 1800	0 ~ 3300	
Resistance bulb	*3 Wre5-26	S-26	0 ~ 2300	0 ~ 4200	
		*4 PLII	PL2	0 ~ 1300	0 ~ 2300
			P1	-200 ~ 600	-300 ~ 1100
			P2	-100.0 ~ 200.0	-150.0 ~ 400.0
			P3	0.0 ~ 100.0	0.0 ~ 200.0
	*6	P4	-50.0 ~ 50.0	-60.0 ~ 120.0	
		P5	-100.0 ~ 300.0	-150.0 ~ 600.0	
		*6	JP1	-200 ~ 300	-300 ~ 900
			JP2	-100.0 ~ 200.0	-150.0 ~ 400.0
		*6	JP3	0.0 ~ 100.0	0.0 ~ 200.0
JP4	-50.0 ~ 50.0		-60.0 ~ 120.0		
*6	JP5	100.0 ~ 300.0	-150.0 ~ 600.0		
	Voltage (mV)	*7 0 ~ 10	h1	Scaling range: -1999 ~ 9999 count Span: 10 ~ 10000 count	
0 ~ 100		h2			
*7 -10 ~ 10		h3			
0 ~ 20		h4			
0 ~ 50		h5			
Voltage (V)	1 ~ 5	b1	Possible to change decimal point position (No Decimal point, 0.1, 0.01, 0.001)		
	0 ~ 5	b2			
	-1 ~ 1	b3			
	0 ~ 1	b4			
	0 ~ 2	b5			
	0 ~ 10	b6			
Current (mA)	4 ~ 20	hR1			
	0 ~ 20	hR2			

thermo couple B,R,S,K,E,J,T,N,JIS/AEC
 resistance bulb P1100/JIS/AEC
 JP1100: former JIS

- *1 thermo couple Accuracy is not guaranteed below B:400°C (752 °F)
- *2 thermo couple In K, T, U, accuracy is ±0.5%FS for 0~100°C (-148 °F) and ±1.0%FS if it is below -100°C
- *3 thermo couple Wre 5-26: Product of Hoskins Mfg. co.,
- *4 thermo couple P.L.II : Platind
- *5 thermo couple U: DIN43710
- *6 resistance bulb accuracy of P/JP: ±0.0°C, 0.0~100.0°C is ±0.3%FS.
- *7 voltage (mV) 0~10mV, accuracy of 0~10mV is ±0.3% of input range.

* Setup of factory shipment is Multi input: thermo couple P2 0-1200°C
 Voltage input :1-5V h1 0.0-100.0
 Current input :4-20mA hR1 0.0-100.0

6. Supplementary Explanation of Function

6-1. Auto return function

When there is no key operation 3 minutes or more, on the screen except for basic screen and each monitoring screen, screen automatically shifts to basic screen. (Auto return).

6-2. Output Soft Start Function

This is the function to increase the control output gradually with set-up time at the time of power-on, STBY→RUN, and normal return from scale over. This is effective for controlling the excessive current to loads, such as a heater.

1) Soft-start functions in the following conditions.

- At the time of the power-on in automatic operation, STBY(RST)→RUN, and normal return from scale over.

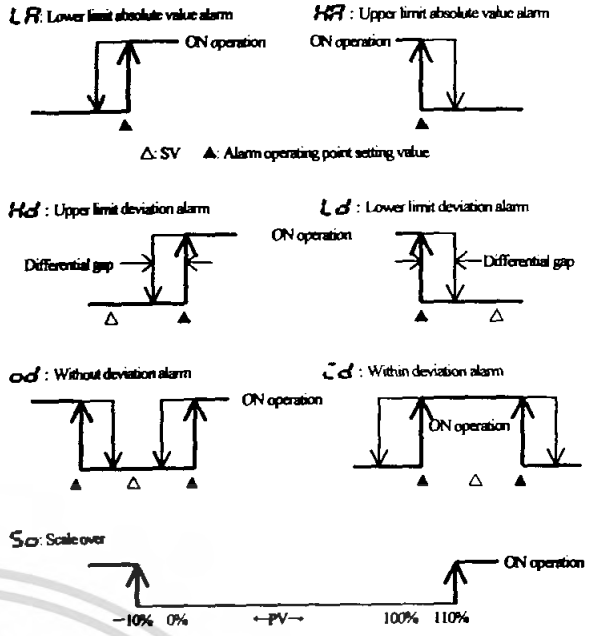
Setup of proportional band (P) is other than OFF ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- Soft starting time is not OFF

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6-3. Event Selection Alarm Operation Figure

The figure of alarm operation figure allotted to event 1~3 is shown.



6-4. AT (Auto Tuning)

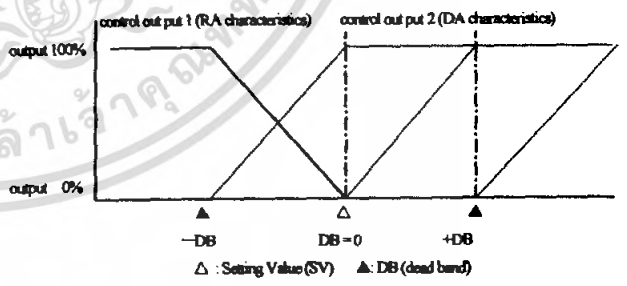
- AT is performed by FIX (constant value control). AT monitor LED blinks and light is put out by termination or intermediate release.
- When auto tuning is ended in inclination step or chosen all PID(s), it is in standby state until one pattern is completed, then lights up, then puts out when one pattern is completed.
- When AT is not completed within 1 pattern, AT conducting is released when one pattern is completed.
- Even in inclination step, AT is performed if it is in HOLD state.
- AT at the time of 2 output specification is as follows.
 At the time of heating / cooling operation and cooling / heating operation = OUT1, OUT2 common - PID value
 At the time of heating / heating operation and cooling / cooling operation, only OUT1 performs AT. OUT 2 output while performing AT is 0% or output limiter lower limit value.

6-5. 2 output characteristics figure

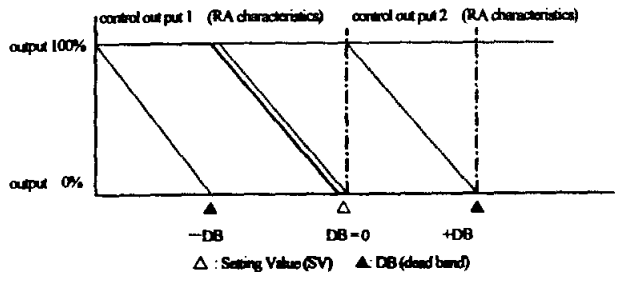
2-output-characteristics is shown in the following figure.

Conditions: P operation, manual reset (hR) -50.0%

1) OUT 1 RA (heating) · OUT 2 DA (cooling) operation



2) OUT 1 RA (heating) · OUT 2 RA (heating)



7-1. Cause and Treatment of Main Defects

Contents of defects	Cause	Treatment
Error message display	Refer to cause and treatment of error display	Refer to cause and treatment of error display
PV display is not normal	Mismatch of instrument and input Fault in the wiring.	Type code, check of specification. Check of wiring.
Display disappeared and does not operate	Power is not supplied. Abnormality of instrument.	Check of a power supply (voltage of terminal, switch, fuse, wiring).
Key operation impossible	Keylocked Abnormality of instrument.	Release of keylock. Check of instrument, repair, exchange.

7-2. Cause and Treatment of Error Display

(1) Abnormality Display of Measurement Input

Error display	Contents	Cause	Treatment
HHHH (HHHH)	Scale over in upper limit	1.wire breaking of thermocouple input 2.wire breaking of resistance bulb input A 3.when input exceeds upper limit of measuring range by 10%	1.wire breaking check of thermocouple input wiring, replacement of thermocouple 2.check of resistance bulbA wiring, replacement of resistance bulb 3.check of input voltage value and current value, input transmitter and specification (matching of incoming signal and meter specification)
LLLL (LLLL)	Scale over in lower limit	1.when input exceeds lower limit of measuring range by 10% 2.wire breaking of resistance bulb input B*	1.polarity of input is everse, check of wiring and an input transmitter 2.check of resistance bulb B wiring, replacement of resistance bulb
*B: Wiring of MAC3A, 3B's terminal No.11, Wiring of MAC 3D's terminal No.5			
b--- (B---	Breaking of resistance bulb input	1.wire breaking of b* *b: Wiring of MAC 3A, 3B's terminal No.12, wiring of MAC 3D's terminal No.6 2.multiple wire breaking combinations in Abb (A and B, A and b, B and b, all of ABB)	1.check of resistance bulb wiring 2.replacement of resistance bulb
C JHH (C J HH)	Cold junction (CJ) temperature of thermocouple input is scale over in upper limit side	When ambient temperature of a meter exceeds 80°C	1.make Ambient temperature of meter within use environment condition temperature 2. Check the meter when ambient temperature is not over 80°C
C JLL (C J LL)	Cold junction (CJ) temperature of thermocouple input is scale over in lower limit side	When ambient temperature of meter becomes less than -20°C	1.make Ambient temperature of meter within use environment condition temperature 2. Check the meter when ambient temperature is not less than -20°C


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. Specification

Display


Display method	Digital display	MAC3A (96 x 96 size)	PV rod 7 segment LED	4 figure (height of character about 20mm)
			SV green 7 segment LED	4 figure (character quantity about 13mm)
		MAC3B(48x96 size)	PV rod 7 segment LED	4 figure (height of character about 12mm)
			SV green 7 segment LED	4 figures (height of character about 9 mm)
		MAC3D(48x48 size)	PV rod 7 segment LED	4 figure (height of character about 12mm)
			SV green 7 segment LED	4 figures (height of character about 9mm)
Status display	RUN (green), PRG (green), AT (green), OUT 1 (green)			
	EVI (yellow), EV2 (yellow), OUT2 /EV3 (yellow)			
Display accuracy	: $\pm (0.25\%FS+1\text{digit})$ CJ errors not included, B thermo couple below 400°C is not guaranteed. Display accuracy during EMC examination is $\pm 5\%FS$.			
Accuracy maintenance range	: $23 \pm 5^\circ C$			
Display range	: -10%~110% of measuring range, but Pt100's -200~600°C is -240~680°C			
Display resolution	: Changes with measuring range and scaling.			
Input scaling	: Possible at the time of voltage input and current input -1999-9999 (span 10 - 10000 count, decimal point position no decimal point 0.1, 0.01, 0.001)			

Setting

Setting system	: By five front keys ()
S V Setting range	: Same with measuring range
Setting lock	: Communication and key setting (three levels), DI (one level)

Operations	Level	Lock Content
Communication & Key setting	OFF	No lock
	1	Execution SV and a manual numerical change are possible. And change of a keylock level is possible.
	2	Possible to change numerical value manually and keylock level.
	3	Possible to change keylock level.
DI Setting		Super Key Lock (Shift between screens prohibited. Fixed only to the basic screen.)

* Regardless of the setting lock by communication & key setting, the  key is always effective.

However, even  key is not received when super keylock by DI is performed.

SV setting limiter	: Same with measuring range (lower limit < upper limit)
Unit setting	: Settable at the time of sensor input °C, °F

Input

Multi input	
Thermocouple input resistance	: 500 Ω or more, external resistance tolerance level 100 Ω or less
Influence of lead-wire	: $1.2 \mu V / 10 \Omega$
Burnout	: Standard equipment (Up Scale only)
Measuring range	: Item 5-5. Refer to measuring range code table.
Compensation accuracy of reference junction	: $\pm 1^\circ C$ (ambient temperature 18-28°C) At the time of vertical plural proximity attachment $\pm 2^\circ C$ $\pm 2^\circ C$ (ambient temperature 0-50°C) At the time of vertical plural proximity attachment $\pm 3^\circ C$ Several minutes after power-on, accuracy is not guaranteed. Reaches the accuracy level within 5 minutes after power-on.
Tracking of a reference junction	: Below the ambient temperature of 0.5 °C / min, compensation accuracy of reference junction $\pm 1^\circ C$
Resistance bulb stipulated current resistance bulb	: Approx. 0.25mA
Lead wire resistance tolerance level	: 5 Ω or less per wire (Resistance of three lines should be equal)
Influence of lead-wire resistance	: 5 Ω or less per wire 0.2%FS 10 Ω or less per wire 0.5%FS 20 Ω or less per wire 1.0%FS
Measuring range	: Item 5-5. Refer to measuring range code table.
Voltage (mV) Input resistor	: 500k Ω or more
Input voltage range	: Item 5-5. Refer to measuring range code table.
Voltage input (V) Input resistor	: 500k Ω or more
Input voltage range	: Item 5-5. Refer to measuring range code table.
Current input (mA) reception	
	Resistance : 250 Ω (built-in)
	Input range : Item 5-5. Refer to measuring range code table.
Sampling period	: 0.25 second
PV filter	: 0 - 9999 second
PV offset compensation	: ± 500 unit
PV gain correction	: $\pm 5.00\%$ PV filter

Control

Control system	: PID control with an auto tuning function or ON-OFF operation	
Proportional band (P)	: OFF and 0.1 - 999.9% of measuring range (ON-OFF operation by OFF setting)	
ON-OFF Differential-gap (DF)	: 1 - 999 unit	
Integration Time (I)	: OFF, 1 - 6000 seconds (PD operation by OFF setting)	} If both I and D are OFF, P operation is used.
Manual Reset (MR)	: $\pm 50.0\%$ (effective when act as I - OFF)	
Output 2 dead band	: 1999 - 5000 unit	

เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นโดยอัตโนมัติของระบบคอมพิวเตอร์ หากพบข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยและสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ

- Output limiter (OL, OH) : 0.0 - 100.0% (OL<OH) (set resolution 0.1)
 - Soft start : OFF, 0.5 - 120.0 seconds (set resolution 0.5)
 - Proportional period : 0.5 - 120.0 seconds (set resolution 0.5)
 - Control output characteristic : Output 1, output 2. Possible to choose either RA (heating) or DA (cooling).
 - Manual output : 0.0 - 100.0% (set resolution 0.1)
- * Each parameter, (P, I, D, DF, MR, OL, and OH) of Outputs 1 and Outputs 2, belongs to 1~3 categories.

Control output 1

- Contact : normal open (1a) 240V AC 2A (resistance load)
- Voltage pulse (SSR drive) : 12V DC+1.0~1.5V MAX20mA
- Current : 4 - 20mA DC load resistance 500Ω or less Display accuracy: accuracy ± 1% (accuracy maintenance range 23°C ± 5°C)
Load regulation ± 0.2%, resolution approx. 1/12000

Control out put 2 (option)

- : Control out put 2 is exclusive option of event 3 and DI4.
- Contact : normal open (1a) 240V AC 2A (resistance load)
- Voltage pulse (SSR drive) : 12V DC+1.0~1.5V MAX20mA
- Current : 4 - 20mA DC load resistance 500Ω or less ,display accuracy ± 1% (accuracy maintenance range 23°C ± 5°C)
Load regulation ± 0.2%, resolution approx. 1/200

Program function (option)

- Number of pattern : 1
- Number of steps : Maximum 25
- PID selection : Each output has three kinds. PID1, PID2, and PID3.
- Time setting : 0 minute 0 second~99 minutes 59 seconds or 0 hour 0 minute~99 hours 59 minutes or 0.0 - 999.9 hours ,and ∞ (infinity)
- Time setup resolution : 1 second or 1 minute or 0.1 hour
- Time accuracy : ± (Setup time × 0.005 + 0.25 second)
- In a step Setting parameter : SV, time, PID%e
- Number of repeats : 1 - 9999 times, and ∞
- Time signal : Possible to allot to Event (1 second for changoover, 3 seconds for patter end, 3 seconds for program end)
- PV start function : With
- Guarantee soak function : Without
- Time hold facility : Possible at front key, DI allotment, or communication
- Step skip : Possible at front key, DI allotment, or communication
- Power failure compensation : without (setting contents being held. However, elapsed time, execution step, and number of execution are reset.)

Event 1 • 2 (option)

- : 2 sets
- Output rating : Contact Normal open (1a) 240V AC 2A (resistance load) EV1 • EV2 and common
- Kind of event : Refer to following table.

Function	Character	Note
No allotment	non	
Upper limit absolute value Alarm	HR	
Lower limit absolute value alarm	LR	
Scale over alarm	So	HHHH, LLLL, B— Operates, when displayed.
Upper limit deviation value Alarm	Hd	
Lower limit deviation value alarm	Ld	
Within deviation alarm	id	
Without deviation alarm	od	
RUN signal	run	Operates during PROG and FIX in operation.
Control loop alarm	ct 1	When contact/voltage pulse output is ON Breaking alarm, when it is below EV set.
(Heater breaking / loop)	ct 2	When contact/voltage pulse output is OFF Loop alarm, when it is more than EV set.
Step signal	StP	Operate for 1 second at the time of step switchover
Pattern end signal	P_e	Operate for 3 seconds at the time of pattern end
Program end signal	End	For 3 seconds at the time of program end
Hold signal	Hold	Operates during time hold.
Program signal	Prog	Operates by program selection
Upslope signal	u_SL	Operates when the inclination of program control rises (including Hold status)
Downslope signal	d_SL	Operates when the inclination of program control descends (including Hold status)
Guarantee signal	GuR	Operates when approaches the targeted value exceeding the EV value.

- Setting range : Upper limit absolute value alarm, Lower limit absolute value alarm within measuring range
Upper limit deviation alarm, Lower limit deviation alarm -1999 - 2000 unit
Within deviation alarm, without deviation alarm 0 - 2000unit
Control loop alarm 0.0-50.0A

Standby operation

- : OFF No standby operation
- 1 Only at the Time of Power-on, standby operation
- 2 At the Time of power switch on, each alarm operating point is changed, deviation alarm's execution SV is changed, and RUN/STBY (RST) is switched over standby operation, at the time of AUTOMAN switchover

Latching : Alarm operation maintenance function (Release is done by key operation, DI, or power OFF.)

In the case of release by DI and power OFF, all alarms are called off simultaneously)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงสิ่งใดๆ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Differential gap : 1 - 999 unit
- Output characteristic : Choose from normal open (NO) or normal closing (NC).
If NC is chosen and power is turned on, relay becomes ON about 1.8 seconds and becomes OFF at event power range
- Event3 (Option) : Event3 is exclusive selection option of control output 2 and DI4.
: Item and contents are same with event 1 and 2.
- DI 1-2-3 (option) : Set of 3 In MAC 3D, exclusive selection option with CT input .
- Input rating : 5V DC 0.5mA
- Allotment function : Refer to following table.

Character	Kinds of operation	Input detection	Contents
non	No allotment	level	
SV2	2nd SV	level	With closed DI terminal, Execution SV = 2nd SV
SV3	3rd SV	level	With closed DI terminal, Execution SV = 3rd SV
SV4	4th SV	level	With closed DI terminal, Execution SV = 4th SV
run	Control RUN	level	RUN with closed DI terminal, STBY(RST) with opened.
Prog	Program	level	Program with closed DI terminal. Constant value with opened.
MAN	Manual output	level	Manual with closed DI terminal. Auto with opened.
At	Auto tuning	edge	AT starts with rise edge.
Hold	Hold	level	Program time stops temporary.
SPC	Skip	edge	Shifts to the following step of program.
LRS	Latching release	edge	With rise edge, all latching released
Lock	Super keylock	level	Super keylock with closed DI terminal. Release with opened.

- Input minimum retention time : 0.25 second
- Input of operation : Non-voltage contact or open collector
- DI4 (option) : DI4 is exclusive selection option with control output 2, Event3
- Number of input : One
: Item and contents are same with DI 1, DI 2 and DI 3.
- Communication function(option) : Output and an exclusive selection option for MAC 3D.
: Read attached communication instructions manual that detailed about communication function.
- Communicative type : EIA standard RS-485
- Communication system : Two-wire system half duplex multi-drops (bus) system
- Synchro system : Asynchronous system
- Communication distance : Maximum 500m (depend s on conditions)
- Communication Speed : 1200, 2400, 4800, 9600, 19200 or 38400bps
- Data format : Start 1bit, Stop 1 - 2 bits, Data length 7 or 8 bits, Parity without, odd number, even number
- Master function : Chooses from SV, OUT1, OUT2 (1:n number of slaves maximum 31)
※ When MAC3 is a master, slave address range must be continuation.
※ When MAC3 is a master, bus connection with other host PCs is not allowed.
※ Input range of master machine and slave machine should be equal, at the time of cascade control
- Slave address : 1-255
- Parameter preservation mode : Choose from RAM, MIX and EEP mode.
- Error detection : None, Choose from ADD, complement of ADD +2, exclusive OR, CRC-16 and LRC
- Flow control : none
- Delay : 1 - 500ms (resolution 1ms)
- Communication code : ASCII code or binary code
- Protocol : SHIMAX Standard or MODBUS ASCII, MODBUS RTU protocol
- Termination resistance : 120Ω (external connection)
- Number of connection : Maximum 32 sets (depends on conditions, host is included)
- Analog output(AO) : In MAC 3D, exclusive selection option with communication function
- Output kind : Choose from PV, SV, OUT1, OUT2, CT1, and CT2.
- Output rating : 4-20mA DC 300Ω or less, Display accuracy $\pm 0.3\%$ (accuracy maintenance range 23°C $\pm 5^\circ\text{C}$)
Load regulation: $\pm 0.05\%$, Resolution approx 1/50,000
- Scaling function : with (range depends on output type) analog output lower limit value < analog output upper limit value
- Output limiter : 0.0 - 100.0% (reverse setting is possible)
- CT 1 - CT2 input : In MAC 3D, exclusive selection option with DI - D2 - D3
- Detection method : Current judging system by CT sensor
- Detection range : 0.0-55.0A
- Sampling period : 125ms
- Detection accuracy : $\pm 5\%$ FS
- Detection delay time : 0.5 - 30.0 seconds
- Alarm output : Assigned to event
- Detection Objects : Assigned to OUT1, OUT2, EV1, EV2, and EV3.
- Alarm operating point setting range : 0.0-50.0A
- Recommended CT sensors : Products of U_RD co., CTL-6-L, CTL-6-V, CTL-6-P-H, CTL-6-S-H, CTL-12L-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

General specification

- Data save : By nonvolatile memory (EEPROM)
- Temporary dead time : no influence within 0.02 second 100% dip
- Use environmental condition : **Temperature:** -10~55 °C
- Humidity : Below 90%RH (no dew condensation)
- Hight : Altitude of 2000m or less
- Category : II
- Contamination degree : 2
- Storage temperature Conditions : -20~65 °C
- Supply voltage : 90-264V AC 50/60Hz or 21.6-26.4V AC (50/60Hz)/DC
- Power consumption : 90-264V AC maximum 9VA 21.6-26.4V AC maximum 6 VA 21.6-26.4V DC maximum 4W
- Applicable standard Safety : IEC1010-1 and EN61010-1:2001
- EMC : EN61326-1:1997+Amendment1:1998+Amendment2:2001
(EMI: ClassA, EMS: AnnexA)
- EN61000-3-2 : 2000 EN61000-3-3 : 1995 + Amendment 1 : 2001

Oscillation : IEC60068-2-6/1995

- Insulated class : Class I apparatus
- Input noise removal ratio : Normal 50dB or higher
- Impulse-proof noise : Power-source Normal 100ns/1 μs ± 1500V

- Insulation resistance : Between input/output terminal and power supply terminal 500V DC 20Ω or higher
- : Between analog output or communication and other input/output terminals 500V DC 20Ω or higher
- Withstand voltage : Between input/output terminal and power supply terminal 1500V AC 1 minute or 1800V AC 1 second
- : Between analog output or communication and other input/output terminals 500V AC 1 minute or 600V AC 1 second
- Resistance to vibration : Frequency 10~55~10Hz, amplitude 0.75mm (one side amplitude) · · · 100m/S² Direction 3 directions
- Sweep speed 1 octave/minute (about 5 minutes for both-way/cycle) Number of sweep 10 times

- Case material : PPO or PPE
- Case color : Light gray (Mansel value 3.73B7.77/0.25)
- Outside dimension MAC3 A : H96×W96×D69mm (depth in panel 65mm)
- MAC3 B : H96×W48×D66mm (depth in panel 62mm)
- MAC3 D : H48×W48×D66mm (depth in panel 62mm)

- Thickness of applied panel : 1.2-2.8mm
- Size of attachment hole
- MAC3A : H92×W92mm Attachment hole size of horizontal plural proximity attachment W(96×N-4) mm H92mm
- MAC3B : H92×W45mm N=number of equipment W(48×N-3) mm H92mm
- MAC3D : H45×W45mm W(48×N-3) mm H45mm
- Weight
- MAC3A : About 220g
- MAC3B : About 160g
- MAC3D : About 120g

- Isolation : Except for input, system and contact, all control output are no-isolation
- Between event output EV1 and EV2 1 is not insulated
- Others are basic insulation or functional insulation.
- Refer to the following insulation block chart.

Insulation block chart

————— Basic insulation ————— Functional insulation ————— Not insulated

Power supply		
Measurement input (PV)	System	Control output 1 (contact)
		Control output 1 (a voltage pulse / current)
Control output 2 (contact)		
Control output 2 (voltage pulse / current)		
External control input 1 (DI1)		Event output 1 (EV1)
External control input 2 (DI2)		Event output 2 (EV2)
External control input 3 (DI3)		Event output 3 (EV3)
External control input 4 (DI4)		Analog output (AO)
Current transformer 1 (CT1)		Communication
Current transformer 2 (CT2)		



ภาคผนวก ข.
ข้อมูลอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International IOR Rectifier

60EPU04 60APU04

Ultrafast Soft Recovery Diode

Features

- Ultrafast Recovery
- 175°C Operating Junction Temperature

Benefits

- Reduced RFI and EMI
- Higher Frequency Operation
- Reduced Snubbing
- Reduced Parts Count

Description/ Applications

These diodes are optimized to reduce losses and EMI/ RFI in high frequency power conditioning systems. The softness of the recovery eliminates the need for a snubber in most applications. These devices are ideally suited for HF welding, power converters and other applications where switching losses are not significant portion of the total losses.

$$t_{rr} = 50\text{ns (typ)}$$

$$I_{F(AV)} = 60\text{Amp}$$

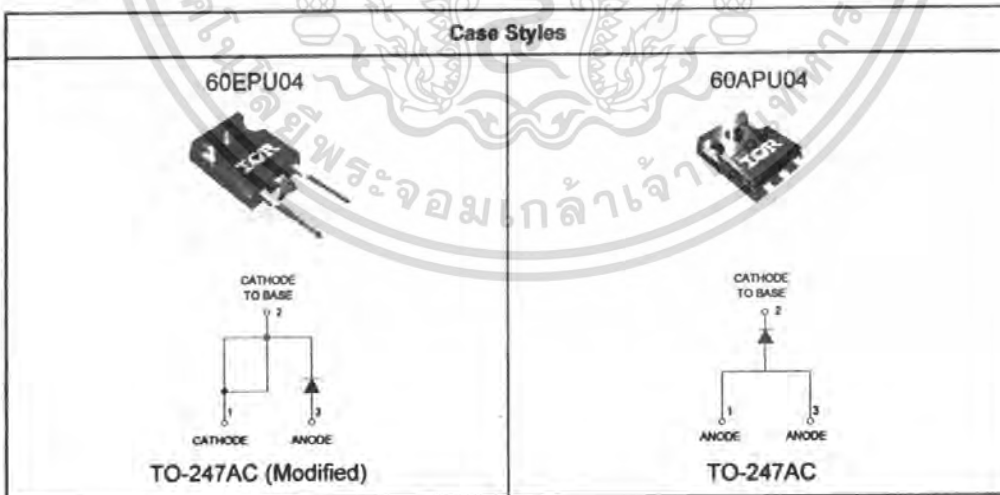
$$V_R = 400\text{V}$$

Absolute Maximum Ratings

Parameters	Max	Units
V_R Cathode to Anode Voltage	400	V
$I_{F(AV)}$ Continuous Forward Current, $T_C = 127^\circ\text{C}$	60	A
I_{FSM} Single Pulse Forward Current, $T_C = 25^\circ\text{C}$	600	
I_{FRM} ⓐ Maximum Repetitive Forward Current	120	
T_J, T_{STG} Operating Junction and Storage Temperatures	-55 to 175	$^\circ\text{C}$

ⓐ Square Wave, 20kHz

Case Styles



Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

Parameters	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
V_{BR}, V_r Breakdown Voltage, Blocking Voltage	400	-	-	V	$I_R = 100\mu\text{A}$
V_F Forward Voltage	-	1.05	1.25	V	$I_F = 60\text{A}$
	-	0.87	1.03	V	$I_F = 60\text{A}, T_J = 175^\circ\text{C}$
	-	0.93	1.10	V	$I_F = 60\text{A}, T_J = 125^\circ\text{C}$
I_R Reverse Leakage Current	-	-	50	μA	$V_R = V_R$ Rated
	-	-	2	mA	$T_J = 150^\circ\text{C}, V_R = V_R$ Rated
C_T Junction Capacitance	-	50	-	pF	$V_R = 400\text{V}$
L_S Series Inductance	-	3.5	-	nH	Measured lead to lead 5mm from package body

Dynamic Recovery Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

Parameters	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
t_{rr} Reverse Recovery Time	-	50	80	ns	$I_F = 1\text{A}, di_F/dt = 200\text{A}/\mu\text{s}, V_R = 30\text{V}$
	-	85	-		$T_J = 25^\circ\text{C}$
	-	145	-		$T_J = 125^\circ\text{C}$
I_{RRM} Peak Recovery Current	-	8.8	-	A	$T_J = 25^\circ\text{C}$
	-	15.4	-		$T_J = 125^\circ\text{C}$
Q_{rr} Reverse Recovery Charge	-	375	-	nC	$T_J = 25^\circ\text{C}$
	-	1120	-		$T_J = 125^\circ\text{C}$

Thermal - Mechanical Characteristics

Parameters	Min	Typ	Max	Units
$R_{\theta JC}$ Thermal Resistance, Junction to Case			0.70	K/W
$R_{\theta CS} \text{ } \textcircled{\text{D}}$ Thermal Resistance, Case to Heatsink		0.2		
Wt Weight		5.5		g
		0.2		(oz)
T Mounting Torque	1.2		2.4	N * m
	10		20	lbf.in

$\textcircled{\text{D}}$ Mounting Surface, Flat, Smooth and Gressed

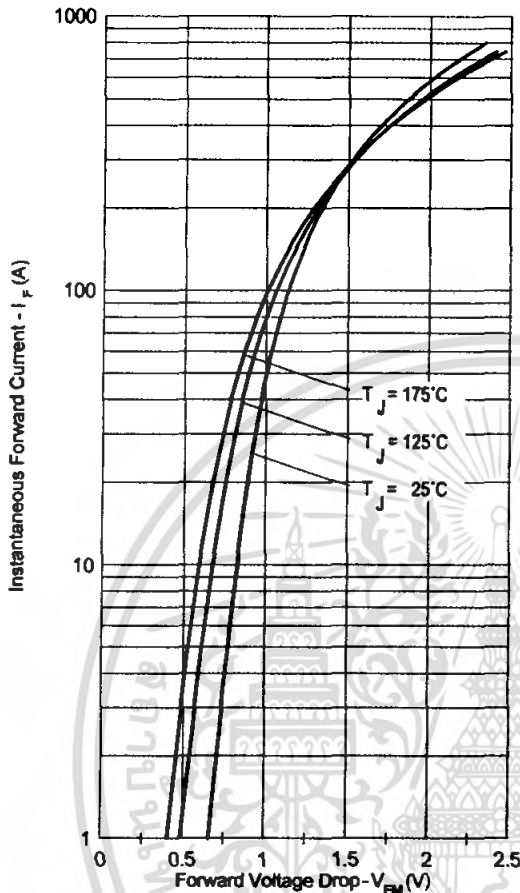


Fig. 1 - Typical Forward Voltage Drop Characteristics

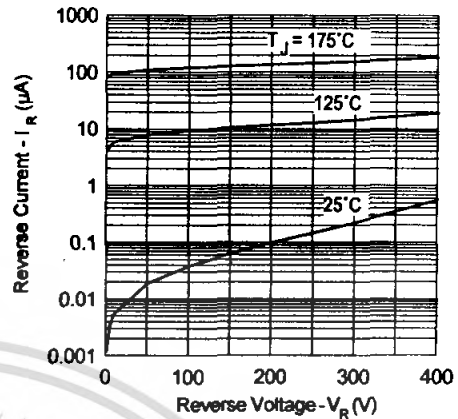


Fig. 2 - Typical Values Of Reverse Current Vs. Reverse Voltage

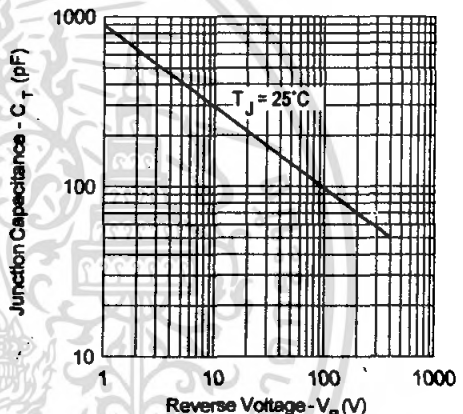


Fig. 3 - Typical Junction Capacitance Vs. Reverse Voltage

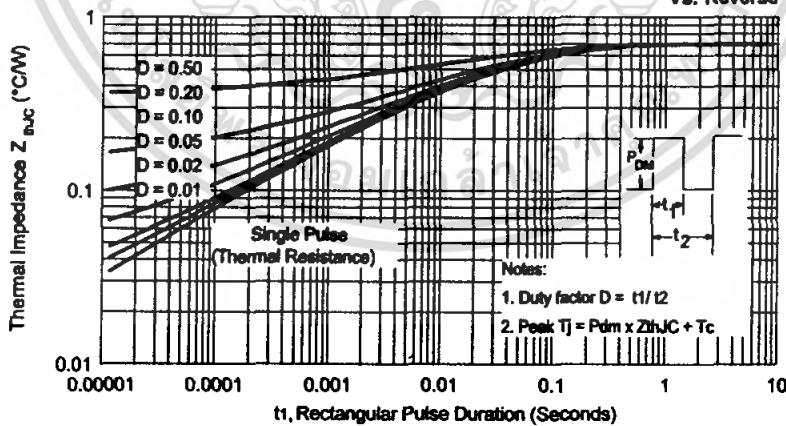


Fig. 4 - Max. Thermal Impedance $Z_{\theta JC}$ Characteristics

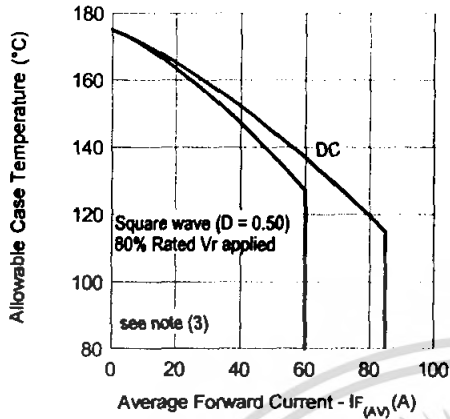


Fig. 5 - Max. Allowable Case Temperature Vs. Average Forward Current

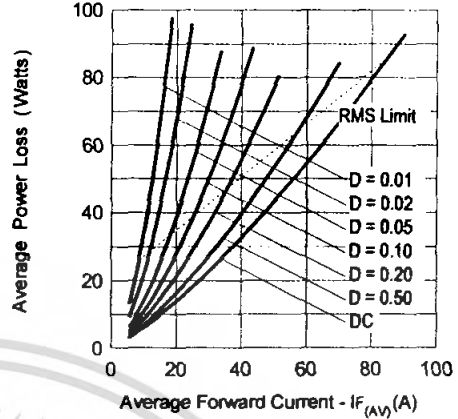


Fig. 6 - Forward Power Loss Characteristics

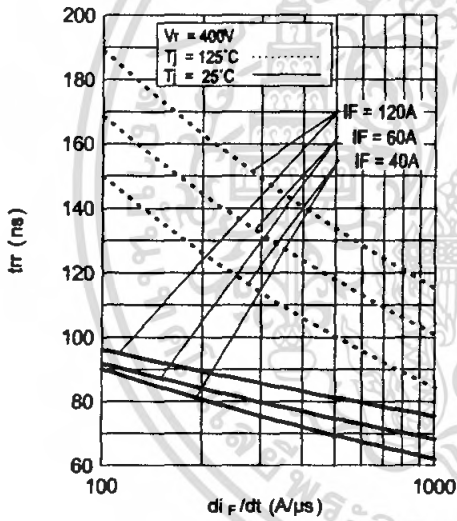


Fig. 7 - Typical Reverse Recovery time vs. di_F/dt

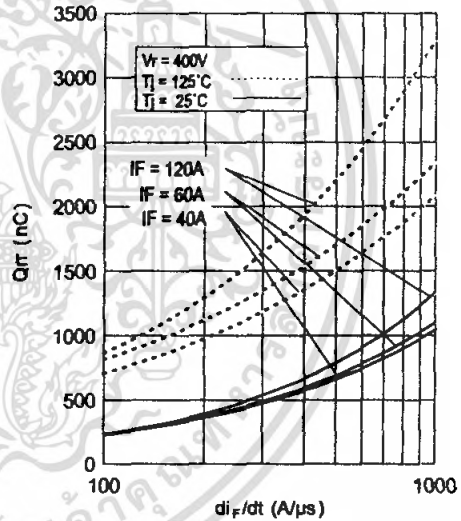


Fig. 8 - Typical Stored Charge vs. di_F/dt

(3) Formula used: $T_c = T_j - (P_d + P_{d_{REV}}) \times R_{thJC}$;
 $P_d = \text{Forward Power Loss} = I_{F(AV)} \times V_{FM} \times (I_{F(AV)} / D)$ (see Fig. 6);
 $P_{d_{REV}} = \text{Inverse Power Loss} = V_{R1} \times I_R \times (1 - D)$; $I_R @ V_{R1} = 80\% \text{ rated } V_R$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

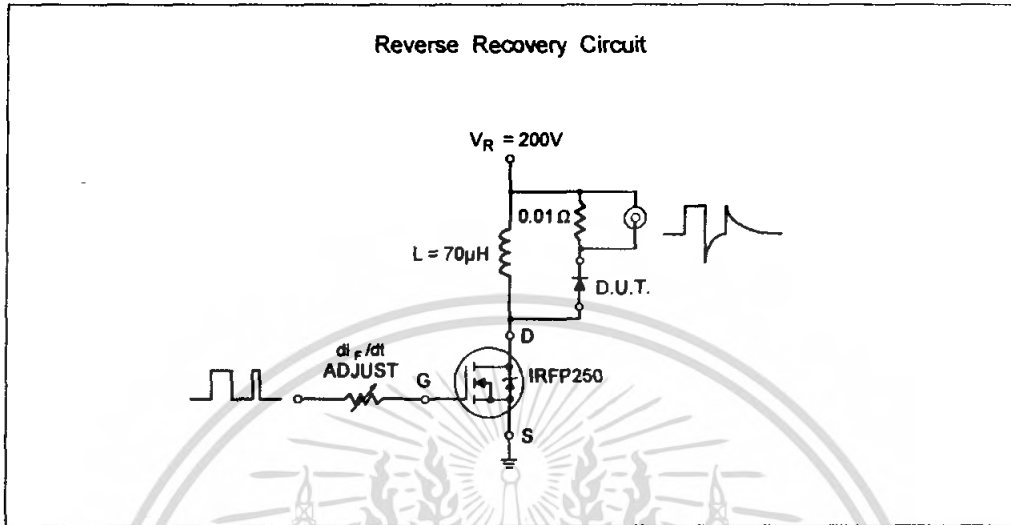
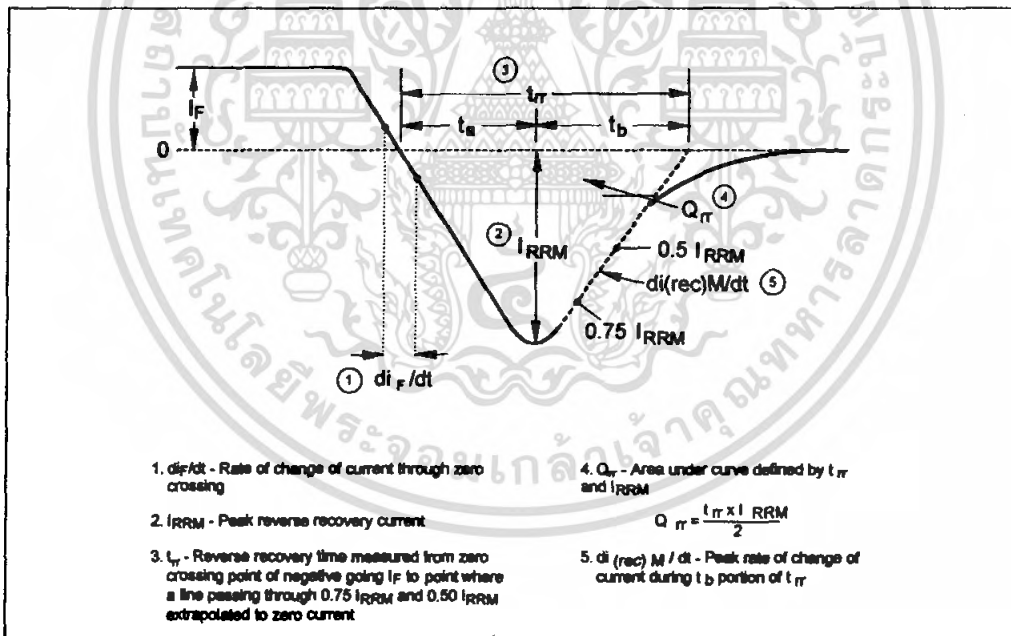


Fig. 8 - Reverse Recovery Parameter Test Circuit

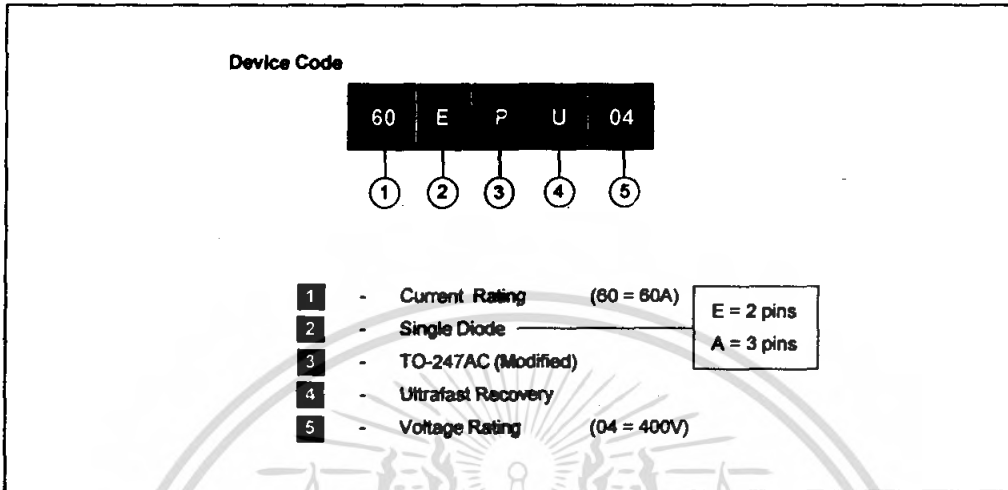


1. di_F/dt - Rate of change of current through zero crossing
2. I_{RRM} - Peak reverse recovery current
3. t_{rr} - Reverse recovery time measured from zero crossing point of negative going I_F to point where a line passing through $0.75 I_{RRM}$ and $0.50 I_{RRM}$ extrapolated to zero current
4. Q_{rr} - Area under curve defined by t_{rr} and I_{RRM}

$$Q_{rr} = \frac{t_{rr} \times I_{RRM}}{2}$$
5. $di(\text{rec})M/dt$ - Peak rate of change of current during t_b portion of t_{rr}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering Information Table

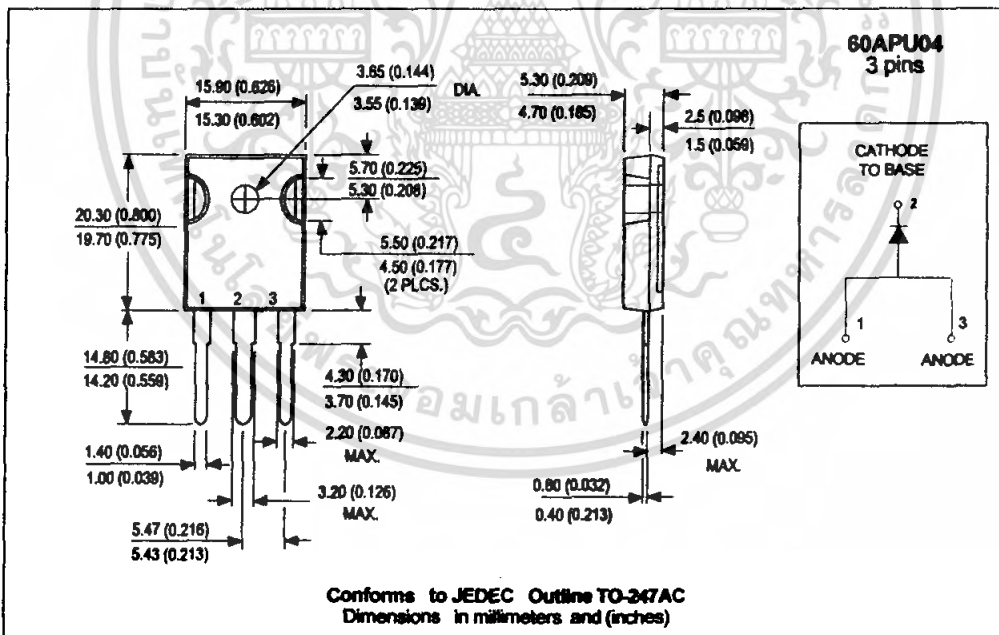
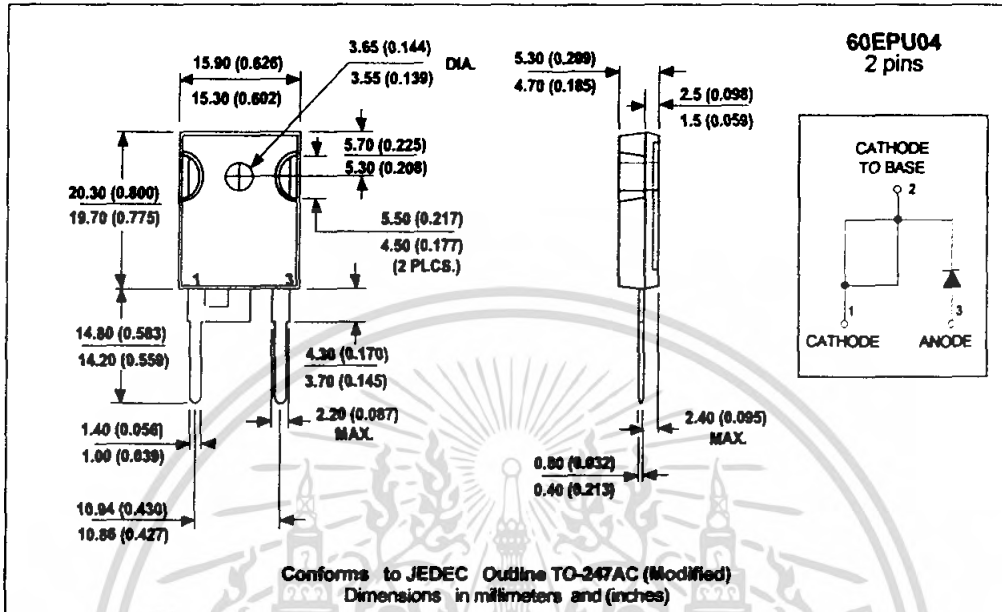


Data and specifications subject to change without notice.
 This product has been designed and qualified for Industrial Level.
 Qualification Standards can be found on IR's Web site.

International
IR Rectifier

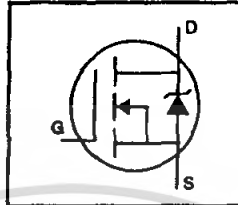
IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105
 TAC Fax: (310) 252-7309
 Visit us at www.irf.com for sales contact information. 07/01

Outline Table



HEXFET® Power MOSFET

- Dynamic dv/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Isolated Central Mounting Hole
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements



$V_{DSS} = 500V$

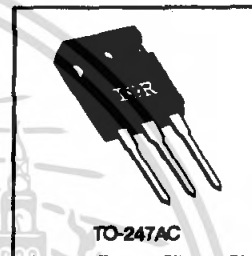
$R_{DS(on)} = 0.27\Omega$

$I_D = 20A$

Description

Third Generation HEXFETs from International Rectifier provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because of its isolated mounting hole. It also provides greater creepage distance between pins to meet the requirements of most safety specifications.



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
I_D @ $T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	20	A
I_D @ $T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	13	
I_{DM}	Pulsed Drain Current $\text{\textcircled{D}}$	80	
P_D @ $T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	280	W
	Linear Derating Factor	2.2	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy $\text{\textcircled{D}}$	960	mJ
I_{AR}	Avalanche Current $\text{\textcircled{D}}$	20	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy $\text{\textcircled{D}}$	28	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt $\text{\textcircled{D}}$	3.5	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to +150	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds		
	Mounting Torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf-in (1.1 N-m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	—	0.45	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Gressed Surface	—	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	—	40	

Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

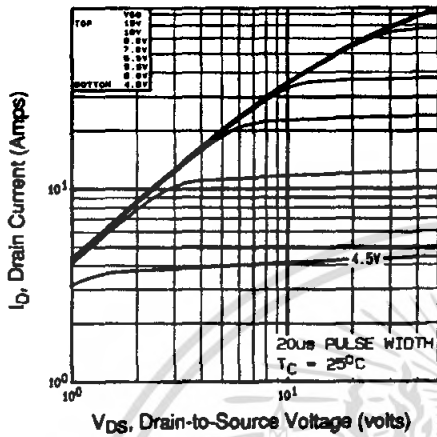
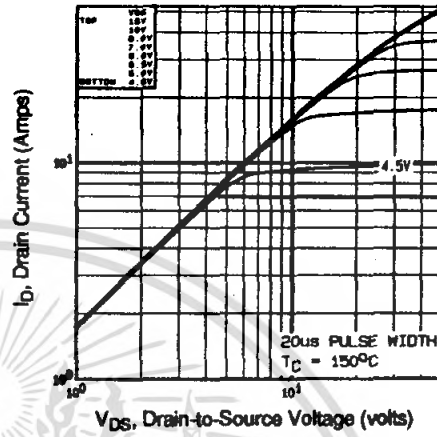
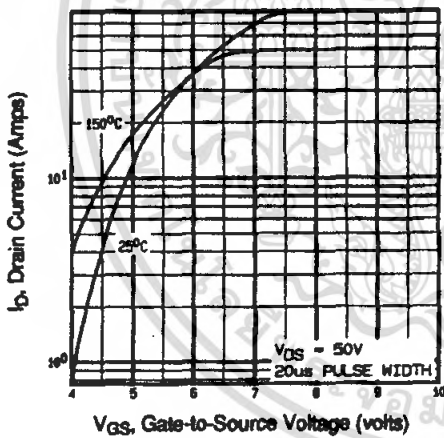
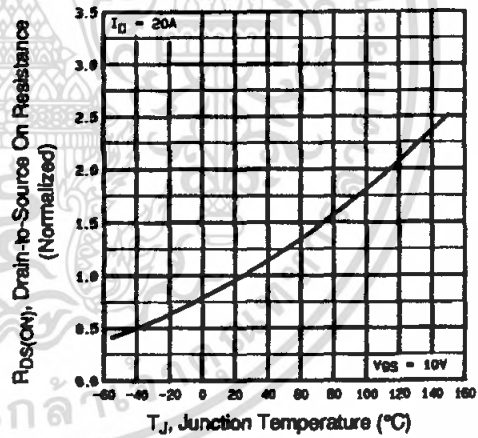
	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	$V_{GS}=0V, I_D=250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.63	—	V/°C	Reference to 25°C , $I_D=1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.27	Ω	$V_{GS}=10V, I_D=12A$ ①
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS}=V_{GS}, I_D=250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	13	—	—	S	$V_{GS}=50V, I_D=12A$ ①
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS}=500V, V_{GS}=0V$ $V_{DS}=400V, V_{GS}=0V, T_J=125^\circ\text{C}$
I_{OSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS}=20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	$V_{GS}=-20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	210	nC	$I_D=20A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	29	nC	$V_{DS}=400V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	110	nC	$V_{GS}=10V$ See Fig. 6 and 13 ①
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	18	—	ns	$V_{DD}=250V$
t_r	Rise Time	—	58	—	ns	$I_D=20A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	110	—	ns	$R_G=4.3\Omega$
t_f	Fall Time	—	58	—	ns	$R_D=13\Omega$ See Figure 10 ①
L_D	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	13	—	nH	
C_{iss}	Input Capacitance	—	4200	—	pF	$V_{DS}=0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	870	—	pF	$V_{DS}=25V$
C_{riss}	Reverse Transfer Capacitance	—	350	—	pF	$f=1.0\text{MHz}$ See Figure 5

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	20	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	80	A	
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.8	V	$T_J=25^\circ\text{C}, I_S=20A, V_{GS}=0V$ ②
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	570	860	ns	$T_J=25^\circ\text{C}, I_S=20A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	5.7	8.6	μC	$di/dt=100A/\mu s$ ②
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)
- ② $I_{SD} \leq 20A, di/dt \leq 180A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}, T_J \leq 150^\circ\text{C}$
- ③ $V_{DD}=50V, \text{starting } T_J=25^\circ\text{C}, L=4.3\text{mH}, R_G=25\Omega, I_{AS}=20A$ (See Figure 12)
- ④ Pulse width $\leq 300 \mu s$; duty cycle $\leq 2\%$.


**Fig 1. Typical Output Characteristics,
T_C=25°C**

**Fig 2. Typical Output Characteristics,
T_C=150°C**

Fig 3. Typical Transfer Characteristics

**Fig 4. Normalized On-Resistance
Vs. Temperature**

DATA SHEETS

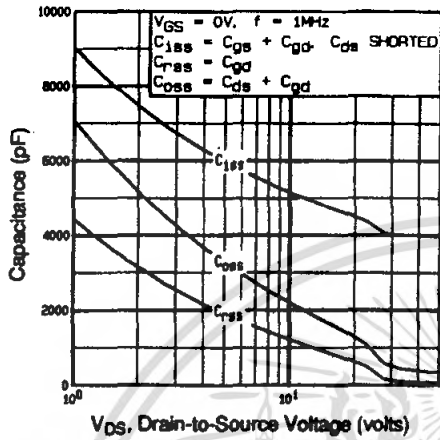


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

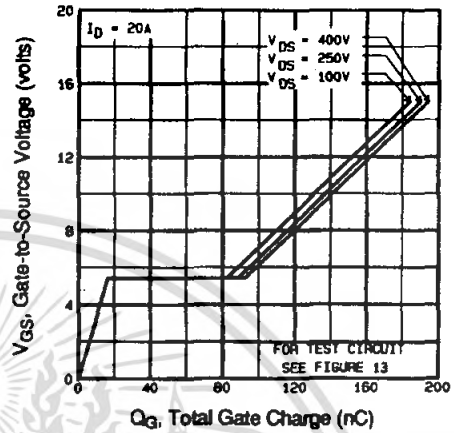


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

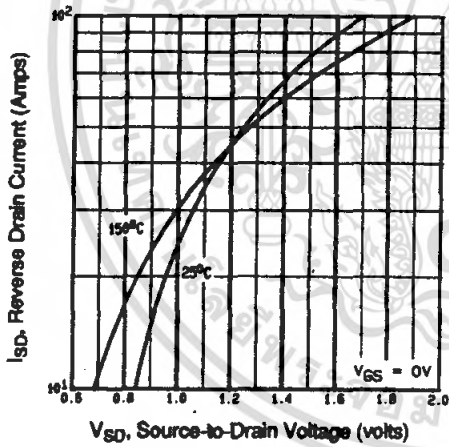


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

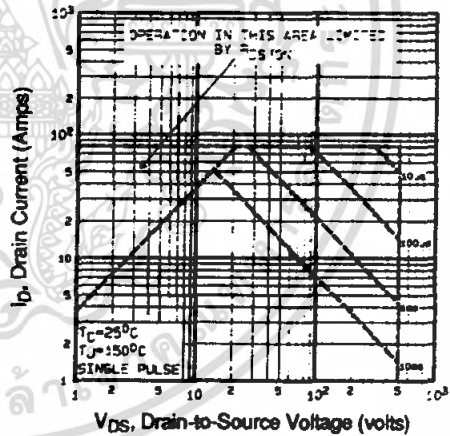


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

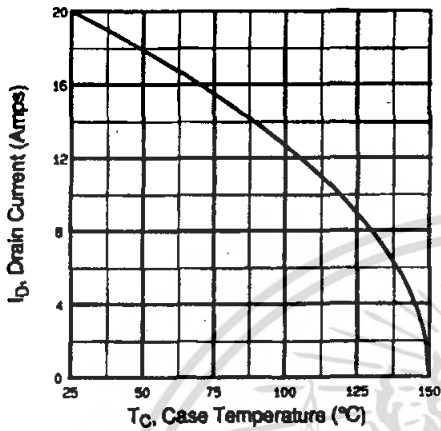


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

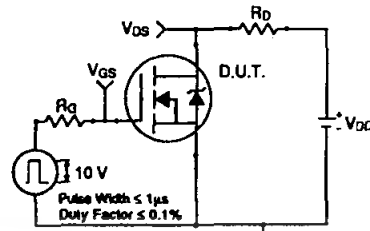


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

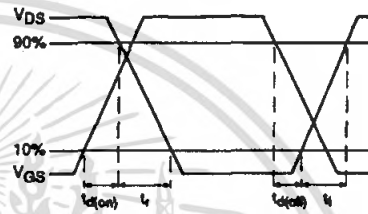


Fig 10b. Switching Time Waveforms

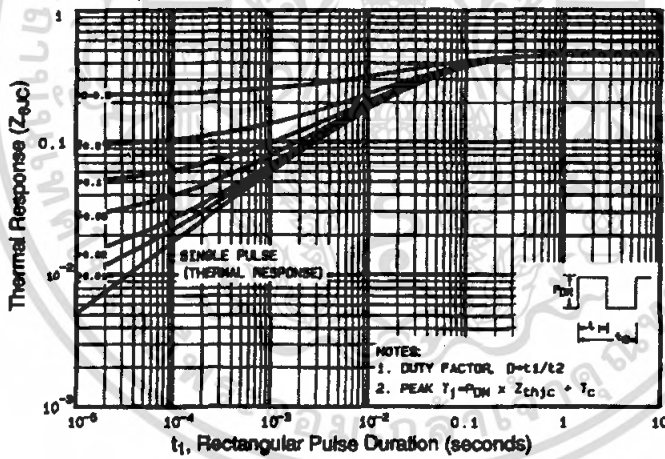


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

DATA SHEETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

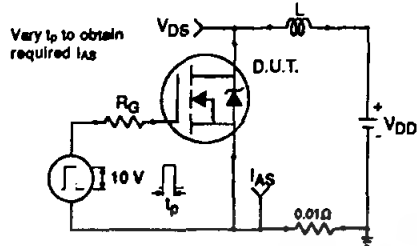


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

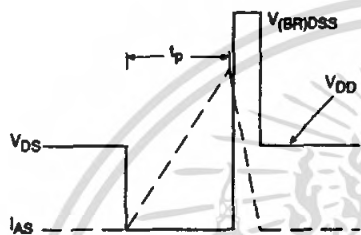


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

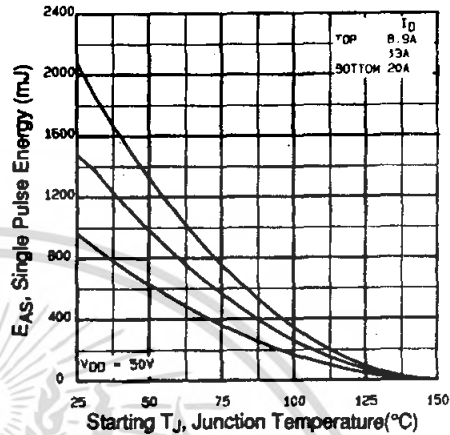


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

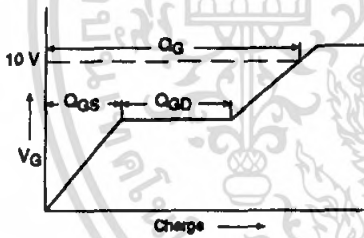


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

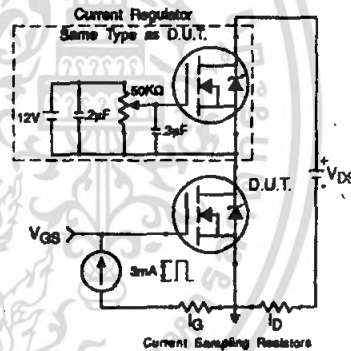


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

Appendix A: Figure 14, Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit – See page 1505

Appendix B: Package Outline Mechanical Drawing – See page 1511

Appendix C: Part Marking Information – See page 1517

International
IR Rectifier

LM741

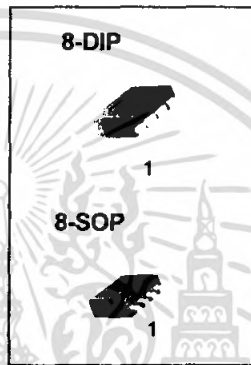
Single Operational Amplifier

Features

- Short Circuit Protection
- Excellent Temperature Stability
- Internal Frequency Compensation
- High Input Voltage Range
- Null of Offset

Description

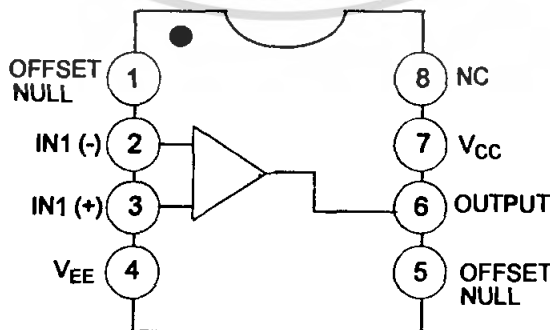
The LM741 series are general purpose operational amplifiers. It is intended for a wide range of analog applications. The high gain and wide range of operating voltage provide superior performance in integrator, summing amplifier, and general feedback applications..



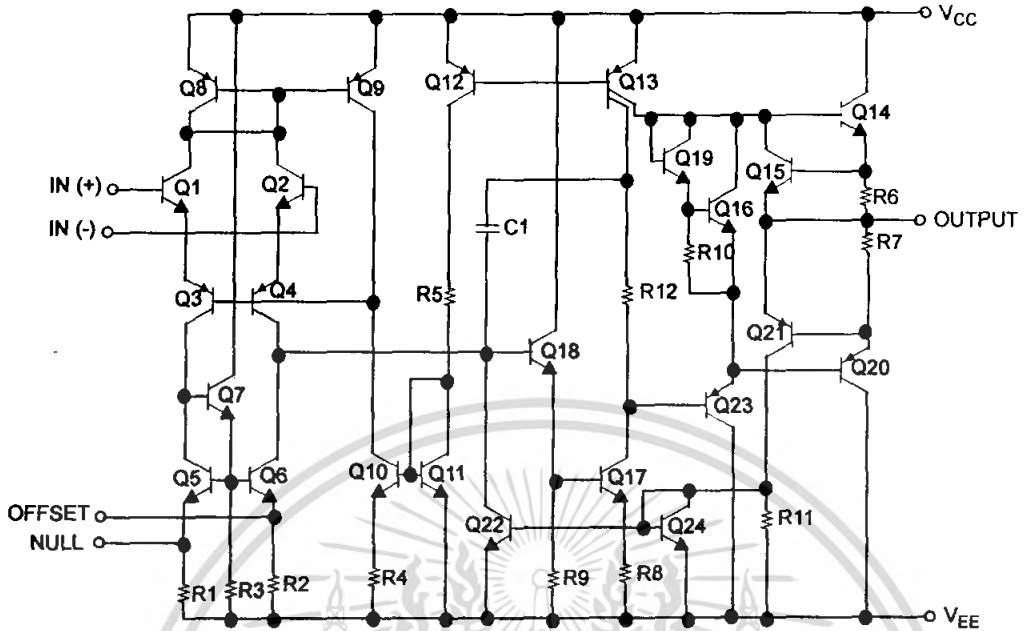
Ordering Information

Part Number	Operating Temp. Range	Pb-Free	Package	Packing Method	Marking Code
LM741CN	0 ~ +70°C	YES	8-DIP	Rail	LM741CN
LM741CM		YES	8-SOP	Rail	LM741CM
LM741CMX		YES	8-SOP	Tape & Reel	LM741CM

Internal Block Diagram



Schematic Diagram



Absolute Maximum Ratings

The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the Electrical Characteristics tables are not guaranteed at the absolute maximum ratings. $T_A=25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CC}	Supply Voltage	± 18	V
$V_{I(DIFF)}$	Differential Input Voltage	30	V
V_I	Input Voltage	± 15	V
-	Output Short Circuit Duration	Indefinite	-
P_D	Power Dissipation	500	mW
T_{OPR}	Operating Temperature Range	$0 \sim +70$	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature Range	$-65 \sim +150$	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics

($V_{CC} = 15V$, $V_{EE} = -15V$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Input Offset Voltage	V_{IO}	$R_S \leq 10k\Omega$	-	2.0	6.0	mV	
		$R_S \leq 50\Omega$	-	-	-		
Input Offset Voltage Adjustment Range	$V_{IO(R)}$	$V_{CC} = \pm 20V$	-	± 15	-	mV	
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	20	200	nA	
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	80	500	nA	
Input Resistance (Note1)	R_I	$V_{CC} = \pm 20V$	0.3	2.0	-	M Ω	
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	-	± 12	± 13	-	V	
Large Signal Voltage Gain	G_V	$R_L \geq 2k\Omega$, $V_{CC} = \pm 20V$, $V_{O(P-P)} = \pm 15V$	-	-	-	V/mV	
		$V_{CC} = \pm 15V$, $V_{O(P-P)} = \pm 10V$	20	200	-		
Output Short Circuit Current	I_{SC}	-	-	25	-	mA	
Output Voltage Swing	$V_{O(P-P)}$	$V_{CC} = \pm 20V$, $R_L \geq 10k\Omega$	-	-	-	V	
		$R_L \geq 2k\Omega$	-	-	-		
		$V_{CC} = \pm 15V$, $R_L \geq 10k\Omega$	± 12	± 14	-		
		$R_L \geq 2k\Omega$	± 10	± 13	-		
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	$R_S \leq 10k\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$	70	90	-	dB	
		$R_S \leq 50\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$	-	-	-		
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_{CC} = \pm 15V$ to $V_{CC} = \pm 15V$, $R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	dB	
		$V_{CC} = \pm 15V$ to $V_{CC} = \pm 15V$, $R_S \leq 10k\Omega$	77	96	-		
Transient	Rise Time	T_R	Unity Gain	-	0.3	-	μs
Response	Overshoot	OS	-	-	10	-	%
Bandwidth		BW	-	-	-	-	MHz
Slew Rate		SR	Unity Gain	-	0.5	-	V/ μs
Supply Current		I_{CC}	$R_L = \infty\Omega$	-	1.5	2.8	mA
Power Consumption	P_C	$V_{CC} = \pm 20V$	-	-	-	mW	
		$V_{CC} = \pm 15V$	-	50	85		

Note:

1. Guaranteed by design.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)(0°C ≤ T_A ≤ 70 °C, V_{CC} = ±15V, unless otherwise specified)The following specification apply over the range of 0°C ≤ T_A ≤ +70°C for the LM741C

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Input Offset Voltage	V _{IO}	R _S ≤ 50Ω	-	-	-	mV	
		R _S ≤ 10kΩ	-	-	7.5		
Input Offset Voltage Drift	ΔV _{IO} /ΔT	-	-	-	-	μV/°C	
Input Offset Current	I _{IO}	-	-	-	300	nA	
Input Offset Current Drift	ΔI _{IO} /ΔT	-	-	-	-	nA/°C	
Input Bias Current	I _{BIAS}	-	-	-	0.8	μA	
Input Resistance (Note1)	R _I	V _{CC} = ±20V	-	-	-	MΩ	
Input Voltage Range	V _{I(R)}	-	±12	±13	-	V	
Output Voltage Swing	V _{O(P-P)}	V _{CC} = ±20V	R _S ≥ 10kΩ	-	-	-	V
			R _S ≥ 2kΩ	-	-	-	
		V _{CC} = ±15V	R _S ≥ 10kΩ	±12	±14	-	
			R _S ≥ 2kΩ	±10	±13	-	
Output Short Circuit Current	I _{SC}	-	10	-	40	mA	
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	R _S ≤ 10kΩ, V _{CM} = ±12V	70	90	-	dB	
		R _S ≤ 50Ω, V _{CM} = ±12V	-	-	-		
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	V _{CC} = ±20V to ±5V	R _S ≤ 50Ω	-	-	-	dB
			R _S ≤ 10kΩ	77	96	-	
Large Signal Voltage Gain	G _V	R _S ≥ 2kΩ	V _{CC} = ±20V, V _{O(P-P)} = ±15V	-	-	-	V/mV
			V _{CC} = ±15V, V _{O(P-P)} = ±10V	15	-	-	
			V _{CC} = ±15V, V _{O(P-P)} = ±2V	-	-	-	

Note :

1. Guaranteed by design.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

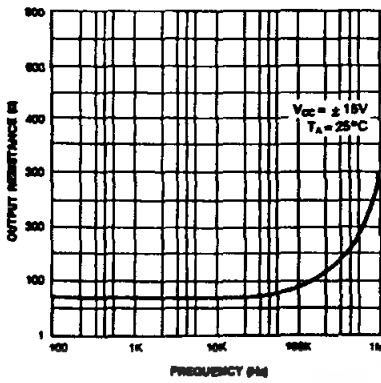


Figure 1. Output Resistance vs Frequency

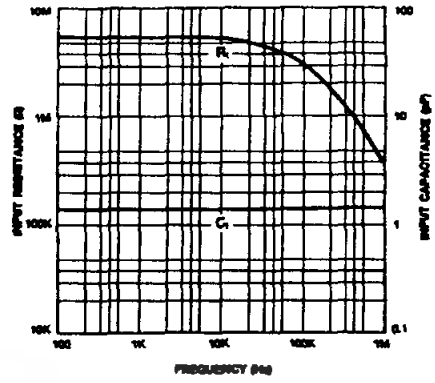


Figure 2. Input Resistance and Input Capacitance vs Frequency

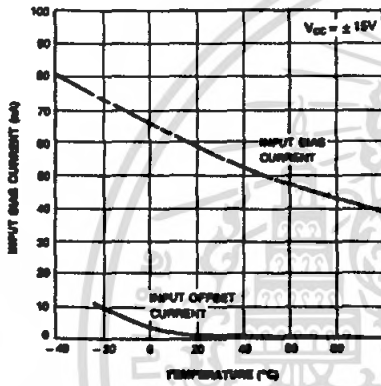


Figure 3. Input Bias Current vs Ambient Temperature

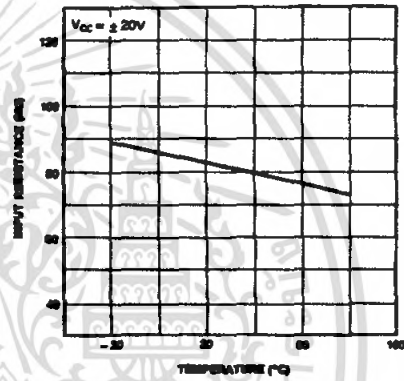


Figure 4. Power Consumption vs Ambient Temperature

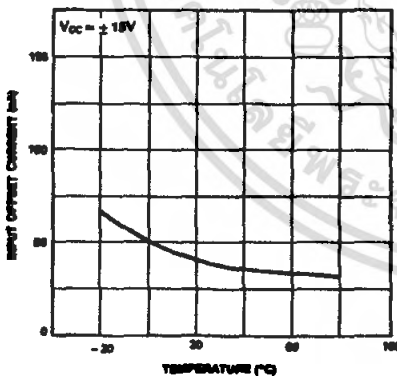


Figure 5. Input Offset Current vs Ambient Temperature

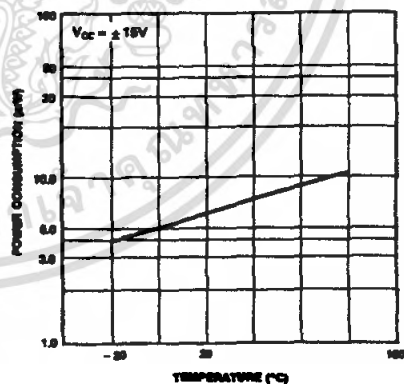


Figure 6. Input Resistance vs Ambient Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

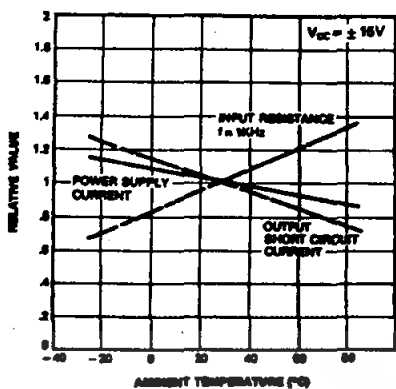


Figure 7. Normalized DC Parameters vs Ambient Temperature

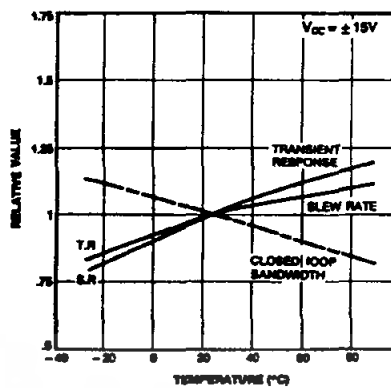


Figure 8. Frequency Characteristics vs Ambient Temperature

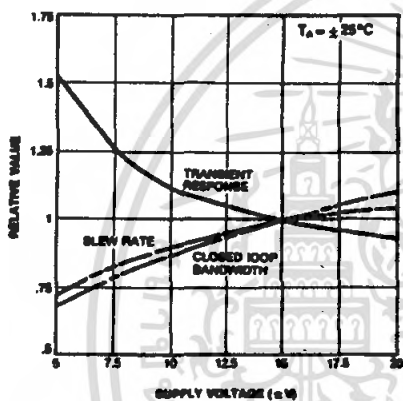


Figure 9. Frequency Characteristics vs Supply Voltage

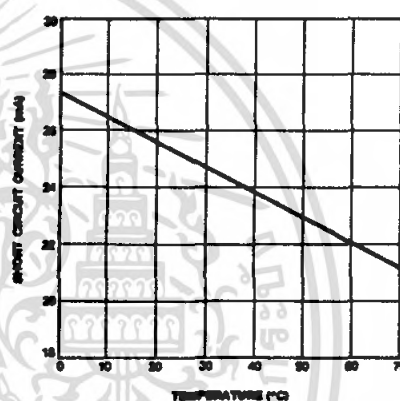


Figure 10. Output Short Circuit Current vs Ambient Temperature

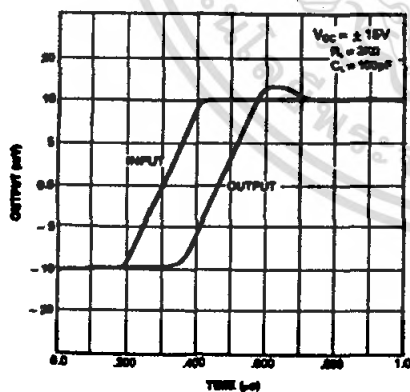


Figure 11. Transient Response

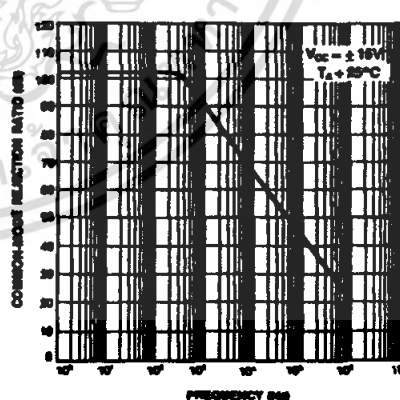


Figure 12. Common-Mode Rejection Ratio vs Frequency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

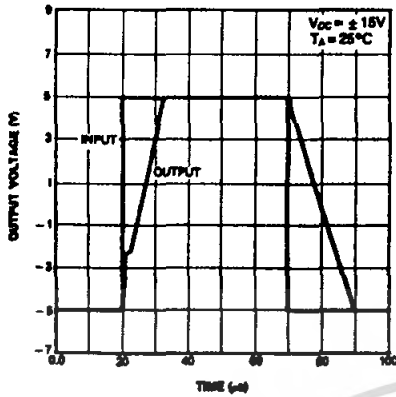


Figure 1. Voltage Follower Large Signal Pulse Response

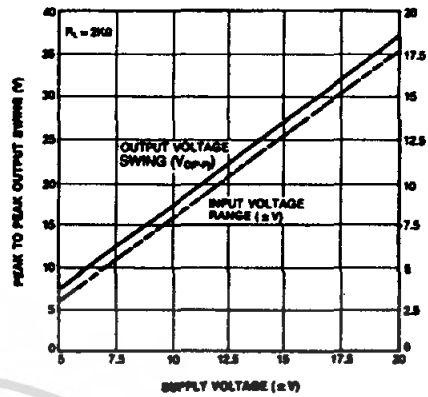


Figure 2. Output Swing and Input Range vs Supply Voltage

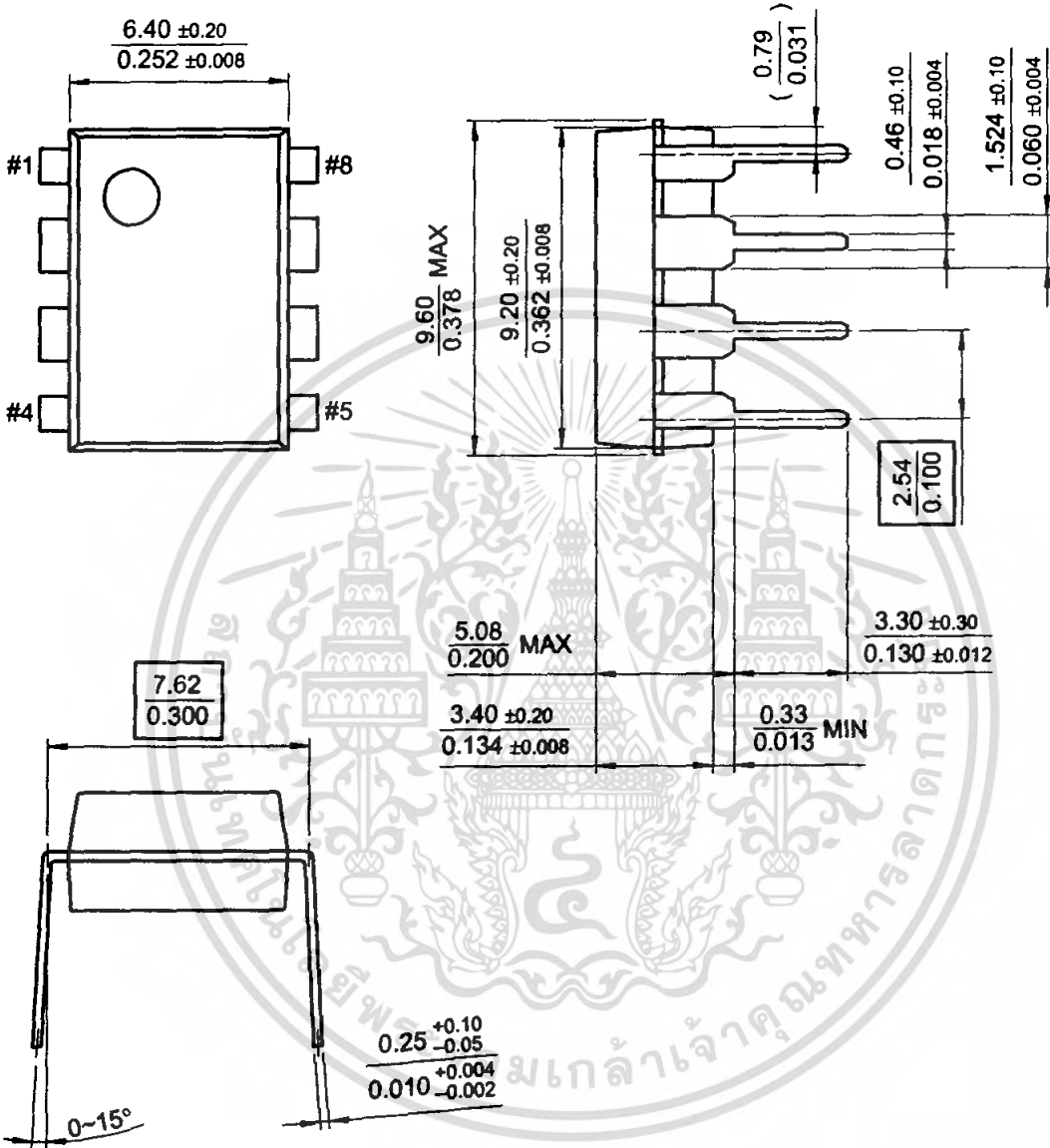


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package

Dimensions in millimeters

8-DIP



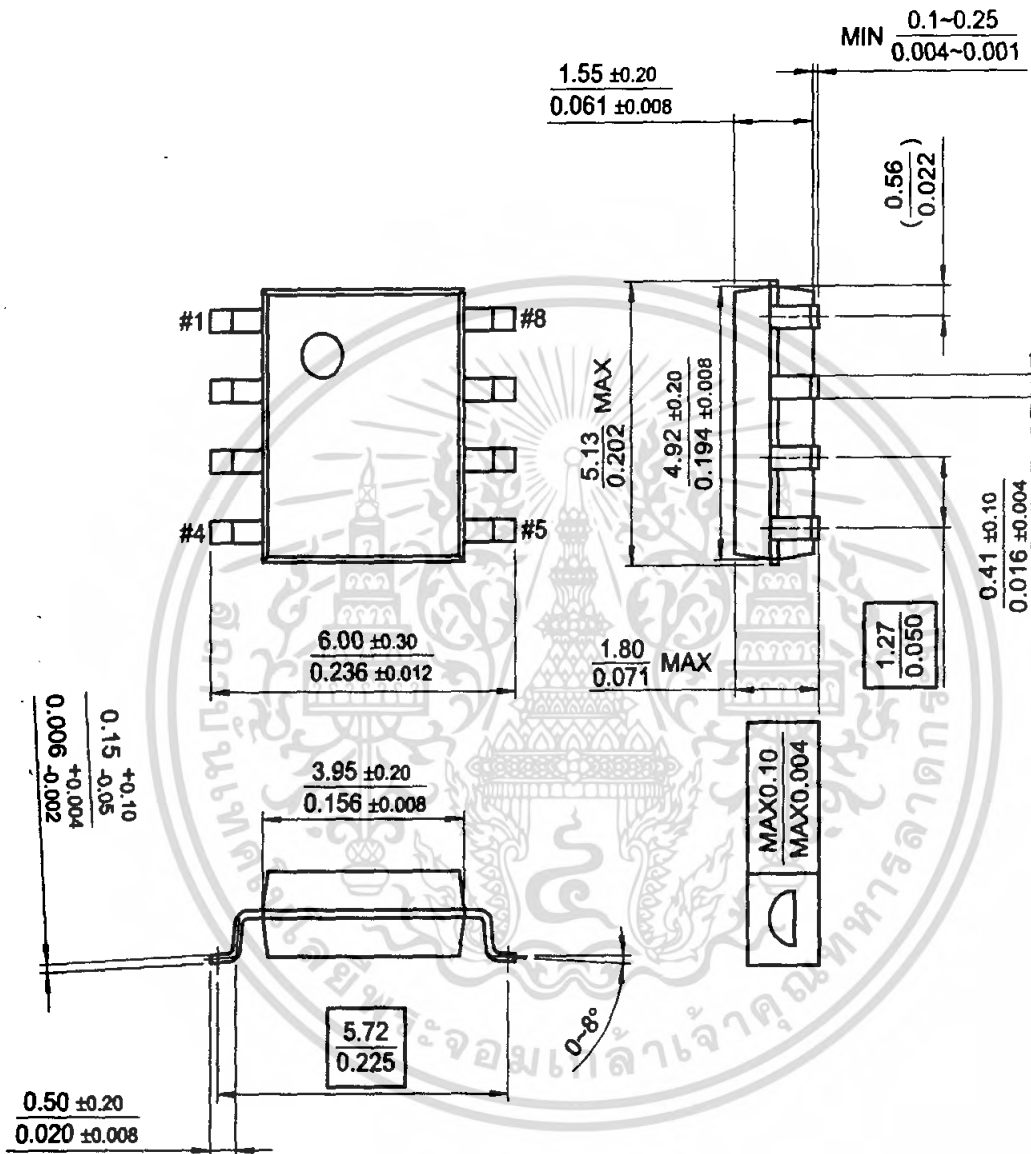
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mechanical Dimensions (Continued)

Package

Dimensions in millimeters

8-SOP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR TRADEMARKS

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

ACEx™	FACT Quiet Series™	OCX™	SILENT SWITCHER®	UniFET™
ActiveArray™	GlobalOptoisolator™	OCXPro™	SMART START™	VCX™
Bottomless™	GTO™	OPTOLOGIC®	SPM™	Wire™
Build it Now™	HiSeC™	OPTOPLANAR™	Stealth™	
CoolFET™	i ² C™	PACMAN™	SuperFET™	
CROSSVOLT™	i-Lo™	POP™	SuperSOT™-3	
DOME™	ImpliedDisconnect™	Power247™	SuperSOT™-6	
EcoSPARK™	IntelliMAX™	PowerEdge™	SuperSOT™-8	
E ² CMOS™	ISOPLANAR™	PowerSaver™	SyncFET™	
EnSigna™	LittleFET™	PowerTrench®	TCM™	
FACT®	MICROCOUPLER™	QFET®	TinyBoost™	
FAST®	MicroFET™	QS™	TinyBuck™	
FASTr™	MicroPak™	QT Optoelectronics™	TinyPWM™	
FPS™	MICROWIRE™	Quiet Series™	TinyPower™	
FRFET™	MSX™	RapidConfigure™	TinyLogic®	
	MSXPro™	RapidConnect™	TINYOPTO™	
Across the board. Around the world.™		μSerDes™	TruTranslation™	
The Power Franchise®		ScalarPump™	UHC®	
Programmable Active Droop™				

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS. THESE SPECIFICATIONS DO NOT EXPAND THE TERMS OF FAIRCHILD'S WORLDWIDE TERMS AND CONDITIONS, SPECIFICALLY THE WARRANTY THEREIN, WHICH COVERS THESE PRODUCTS.

LIFE SUPPORT POLICY

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

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

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

Rev. 122

SWITCHMODE™ Pulse Width Modulation Control Circuit

The TL494 is a fixed frequency, pulse width modulation control circuit designed primarily for SWITCHMODE power supply control.

- Complete Pulse Width Modulation Control Circuitry
- On-Chip Oscillator with Master or Slave Operation
- On-Chip Error Amplifiers
- On-Chip 5.0 V Reference
- Adjustable Deadtime Control
- Uncommitted Output Transistors Rated to 500 mA Source or Sink
- Output Control for Push-Pull or Single-Ended Operation
- Undervoltage Lockout

MAXIMUM RATINGS (Full operating ambient temperature range applies, unless otherwise noted.)

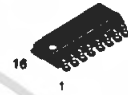
Rating	Symbol	TL494C	TL494I	Unit
Power Supply Voltage	V _{CC}	42		V
Collector Output Voltage	V _{C1} , V _{C2}	42		V
Collector Output Current (Each transistor) (Note 1)	I _{C1} , I _{C2}	500		mA
Amplifier Input Voltage Range	V _{IR}	-0.3 to +42		V
Power Dissipation @ T _A ≤ 45°C	P _D	1000		mW
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	R _{θJA}	80		°C/W
Operating Junction Temperature	T _J	125		°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	-55 to +125		°C
Operating Ambient Temperature Range TL494C TL494I	T _A	0 to +70 -25 to +85		°C
Derating Ambient Temperature	T _A	45		°C

NOTE: 1. Maximum thermal limits must be observed.

TL494

SWITCHMODE PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUIT

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

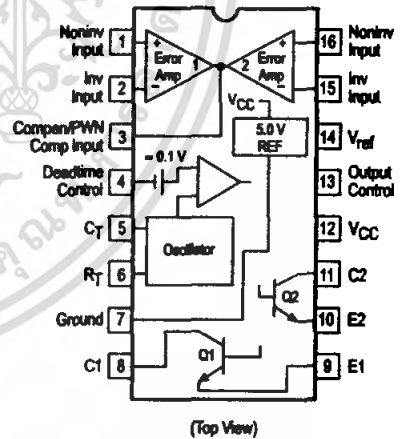


**D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751B
(SO-16)**



**N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 648**

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
TL494CD	T _A = 0° to +70°C	SO-16
TL494CN		Plastic
TL494IN	T _A = -25° to +85°C	Plastic

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Power Supply Voltage	V_{CC}	7.0	15	40	V
Collector Output Voltage	V_{C1}, V_{C2}	–	30	40	V
Collector Output Current (Each transistor)	I_{C1}, I_{C2}	–	–	200	mA
Amplified Input Voltage	V_{in}	–0.3	–	$V_{CC} - 2.0$	V
Current Into Feedback Terminal	I_{fb}	–	–	0.3	mA
Reference Output Current	I_{ref}	–	–	10	mA
Timing Resistor	R_T	1.8	30	500	k Ω
Timing Capacitor	C_T	0.0047	0.001	10	μ F
Oscillator Frequency	f_{osc}	1.0	40	200	kHz

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 15$ V, $C_T = 0.01$ μ F, $R_T = 12$ k Ω , unless otherwise noted.)

For typical values $T_A = 25^\circ$ C, for min/max values T_A is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted.

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
-----------------	--------	-----	-----	-----	------

REFERENCE SECTION

Reference Voltage ($I_O = 1.0$ mA)	V_{ref}	4.75	5.0	5.25	V
Line Regulation ($V_{CC} = 7.0$ V to 40 V)	Reg_{line}	–	2.0	25	mV
Load Regulation ($I_O = 1.0$ mA to 10 mA)	Reg_{load}	–	3.0	15	mV
Short Circuit Output Current ($V_{ref} = 0$ V)	I_{SC}	15	35	75	mA

OUTPUT SECTION

Collector Off-State Current ($V_{CC} = 40$ V, $V_{CE} = 40$ V)	$I_{C(off)}$	–	2.0	100	μ A
Emitter Off-State Current ($V_{CC} = 40$ V, $V_C = 40$ V, $V_E = 0$ V)	$I_{E(off)}$	–	–	–100	μ A
Collector–Emitter Saturation Voltage (Note 2) Common–Emitter ($V_E = 0$ V, $I_C = 200$ mA) Emitter–Follower ($V_C = 15$ V, $I_E = -200$ mA)	$V_{sat(C)}$ $V_{sat(E)}$	– –	1.1 1.5	1.3 2.5	V
Output Control Pin Current Low State ($V_{OC} \leq 0.4$ V) High State ($V_{OC} = V_{ref}$)	I_{OCL} I_{OCH}	– –	10 0.2	– 3.5	μ A mA
Output Voltage Rise Time Common–Emitter (See Figure 12) Emitter–Follower (See Figure 13)	t_r	– –	100 100	200 200	ns
Output Voltage Fall Time Common–Emitter (See Figure 12) Emitter–Follower (See Figure 13)	t_f	– –	25 40	100 100	ns

NOTE: 2. Low duty cycle pulse techniques are used during test to maintain junction temperature as close to ambient temperature as possible.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 15\text{ V}$, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$, unless otherwise noted.)

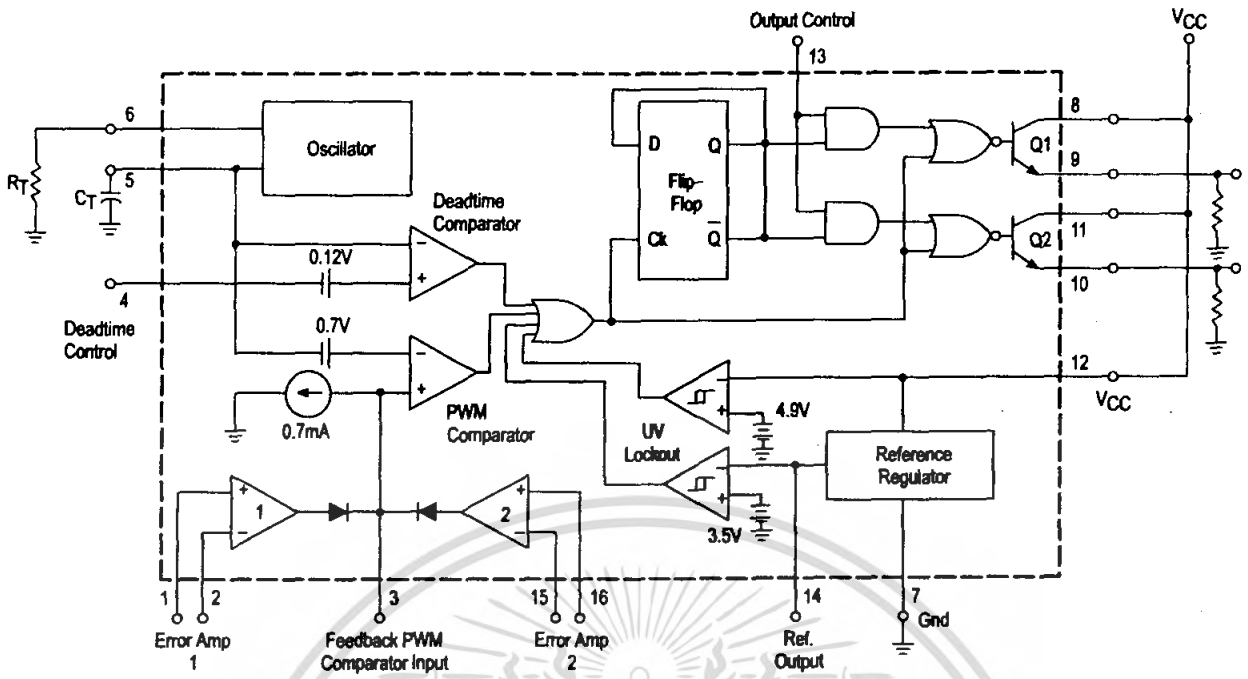
For typical values $T_A = 25^\circ\text{C}$, for min/max values T_A is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted.

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
ERROR AMPLIFIER SECTION					
Input Offset Voltage (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	V_{IO}	–	2.0	10	mV
Input Offset Current (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	I_{IO}	–	5.0	250	nA
Input Bias Current (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	I_{IB}	–	–0.1	–1.0	μA
Input Common Mode Voltage Range ($V_{CC} = 40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	V_{ICR}	–0.3 to V_{CC} –2.0			V
Open Loop Voltage Gain ($\Delta V_O = 3.0\text{ V}$, $V_O = 0.5\text{ V}$ to 3.5 V , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	A_{VOL}	70	95	–	dB
Unity-Gain Crossover Frequency ($V_O = 0.5\text{ V}$ to 3.5 V , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	f_C	–	350	–	kHz
Phase Margin at Unity-Gain ($V_O = 0.5\text{ V}$ to 3.5 V , $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	ϕ_m	–	65	–	deg.
Common Mode Rejection Ratio ($V_{CC} = 40\text{ V}$)	CMRR	65	90	–	dB
Power Supply Rejection Ratio ($\Delta V_{CC} = 33\text{ V}$, $V_O = 2.5\text{ V}$, $R_L = 2.0\ \text{k}\Omega$)	PSRR	–	100	–	dB
Output Sink Current (V_O (Pin 3) = 0.7 V)	I_{O-}	0.3	0.7	–	mA
Output Source Current (V_O (Pin 3) = 3.5 V)	I_{O+}	2.0	–4.0	–	mA
PWM COMPARATOR SECTION (Test Circuit Figure 11)					
Input Threshold Voltage (Zero Duty Cycle)	V_{TH}	–	2.5	4.5	V
Input Sink Current ($V_{Pin\ 3} = 0.7\text{ V}$)	I_{-}	0.3	0.7	–	mA
DEADTIME CONTROL SECTION (Test Circuit Figure 11)					
Input Bias Current (Pin 4) ($V_{Pin\ 4} = 0\text{ V}$ to 5.25 V)	I_{IB} (DT)	–	–2.0	–10	μA
Maximum Duty Cycle, Each Output, Push-Pull Mode ($V_{Pin\ 4} = 0\text{ V}$, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$) ($V_{Pin\ 4} = 0\text{ V}$, $C_T = 0.001\ \mu\text{F}$, $R_T = 30\ \text{k}\Omega$)	DC_{max}	45 –	48 45	50 50	%
Input Threshold Voltage (Pin 4) (Zero Duty Cycle) (Maximum Duty Cycle)	V_{th}	– 0	2.8 –	3.3 –	V
OSCILLATOR SECTION					
Frequency ($C_T = 0.001\ \mu\text{F}$, $R_T = 30\ \text{k}\Omega$)	f_{osc}	–	40	–	kHz
Standard Deviation of Frequency* ($C_T = 0.001\ \mu\text{F}$, $R_T = 30\ \text{k}\Omega$)	σ_{osc}	–	3.0	–	%
Frequency Change with Voltage ($V_{CC} = 7.0\text{ V}$ to 40 V , $T_A = 25^\circ\text{C}$)	Δf_{osc} (ΔV)	–	0.1	–	%
Frequency Change with Temperature ($\Delta T_A = T_{low}$ to T_{high}) ($C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$)	Δf_{osc} (ΔT)	–	–	12	%
UNDERVOLTAGE LOCKOUT SECTION					
Turn-On Threshold (V_{CC} increasing, $I_{ref} = 1.0\ \text{mA}$)	V_{th}	5.5	6.43	7.0	V
TOTAL DEVICE					
Standby Supply Current (Pin 6 at V_{ref} , All other inputs and outputs open) ($V_{CC} = 15\text{ V}$) ($V_{CC} = 40\text{ V}$)	I_{CC}	– –	5.5 7.0	10 15	mA
Average Supply Current ($C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$, $V_{Pin\ 4} = 2.0\text{ V}$) ($V_{CC} = 15\text{ V}$) (See Figure 12)		–	7.0	–	mA

* Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula, $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (X_n - \bar{X})^2}{N - 1}}$

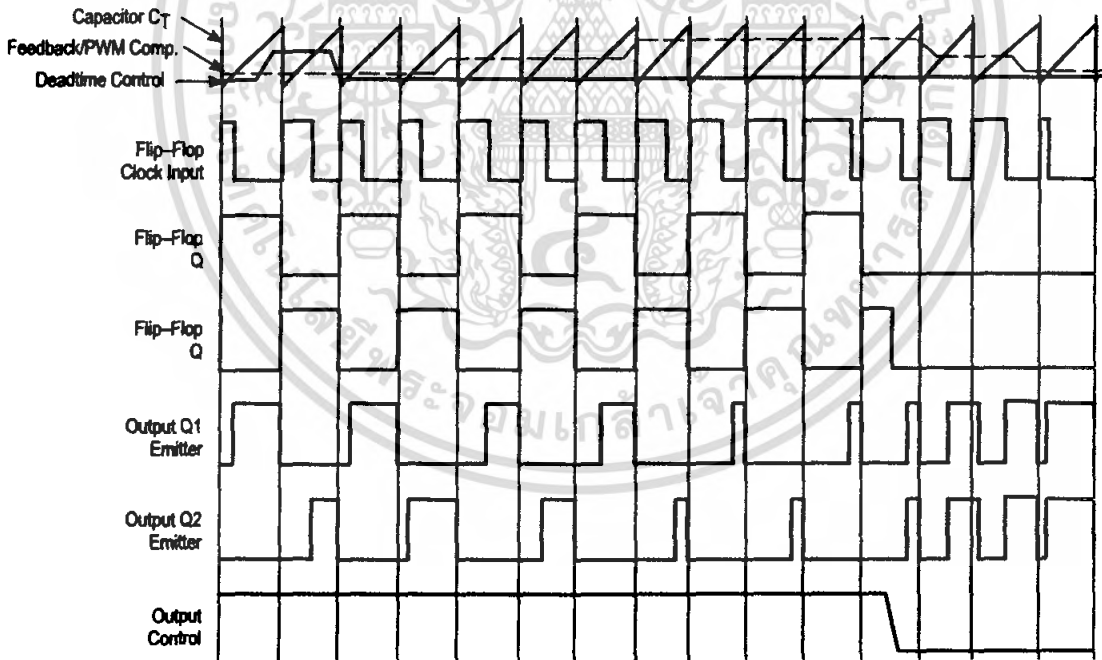
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (X_n - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

Figure 1. Representative Block Diagram



This device contains 46 active transistors.

Figure 2. Timing Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATIONS INFORMATION

Description

The TL494 is a fixed-frequency pulse width modulation control circuit, incorporating the primary building blocks required for the control of a switching power supply. (See Figure 1.) An internal-linear sawtooth oscillator is frequency-programmable by two external components, R_T and C_T . The approximate oscillator frequency is determined by:

$$f_{osc} \approx \frac{1.1}{R_T \cdot C_T}$$

For more information refer to Figure 3.

Output pulse width modulation is accomplished by comparison of the positive sawtooth waveform across capacitor C_T to either of two control signals. The NOR gates, which drive output transistors Q1 and Q2, are enabled only when the flip-flop clock-input line is in its low state. This happens only during that portion of time when the sawtooth voltage is greater than the control signals. Therefore, an increase in control-signal amplitude causes a corresponding linear decrease of output pulse width. (Refer to the Timing Diagram shown in Figure 2.)

The control signals are external inputs that can be fed into the deadtime control, the error amplifier inputs, or the feedback input. The deadtime control comparator has an effective 120 mV input offset which limits the minimum output deadtime to approximately the first 4% of the sawtooth-cycle time. This would result in a maximum duty cycle on a given output of 96% with the output control grounded, and 48% with it connected to the reference line. Additional deadtime may be imposed on the output by setting the deadtime-control input to a fixed voltage, ranging between 0 V to 3.3 V.

Functional Table

Input/Output Controls	Output Function	$\frac{f_{out}}{f_{osc}} =$
Grounded	Single-ended PWM @ Q1 and Q2	1.0
@ V_{ref}	Push-pull Operation	0.5

The pulse width modulator comparator provides a means for the error amplifiers to adjust the output pulse width from the maximum percent on-time, established by the deadtime control input, down to zero, as the voltage at the feedback pin varies from 0.5 V to 3.5 V. Both error amplifiers have a common mode input range from -0.3 V to $(V_{CC} - 2V)$, and

may be used to sense power-supply output voltage and current. The error-amplifier outputs are active high and are ORed together at the noninverting input of the pulse-width modulator comparator. With this configuration, the amplifier that demands minimum output on time, dominates control of the loop.

When capacitor C_T is discharged, a positive pulse is generated on the output of the deadtime comparator, which clocks the pulse-steering flip-flop and inhibits the output transistors, Q1 and Q2. With the output-control connected to the reference line, the pulse-steering flip-flop directs the modulated pulses to each of the two output transistors alternately for push-pull operation. The output frequency is equal to half that of the oscillator. Output drive can also be taken from Q1 or Q2, when single-ended operation with a maximum on-time of less than 50% is required. This is desirable when the output transformer has a ringback winding with a catch diode used for snubbing. When higher output-drive currents are required for single-ended operation, Q1 and Q2 may be connected in parallel, and the output-mode pin must be tied to ground to disable the flip-flop. The output frequency will now be equal to that of the oscillator.

The TL494 has an internal 5.0 V reference capable of sourcing up to 10 mA of load current for external bias circuits. The reference has an internal accuracy of $\pm 5.0\%$ with a typical thermal drift of less than 50 mV over an operating temperature range of 0° to 70°C.

Figure 3. Oscillator Frequency versus Timing Resistance

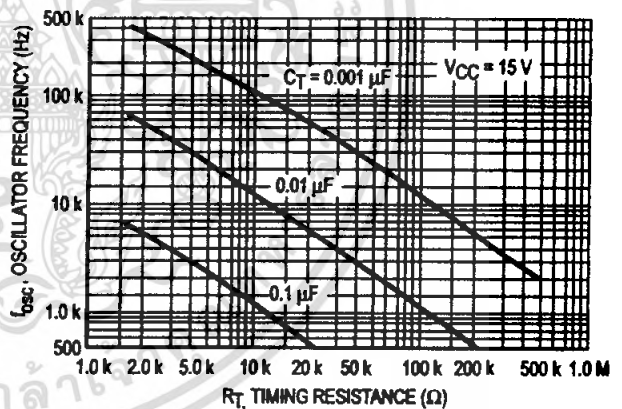


Figure 4. Open Loop Voltage Gain and Phase versus Frequency

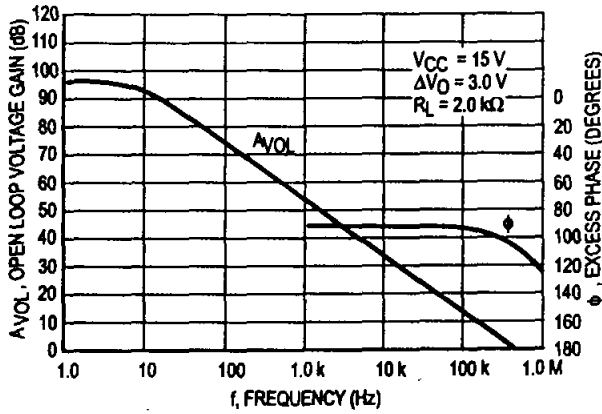


Figure 5. Percent Deadtime versus Oscillator Frequency

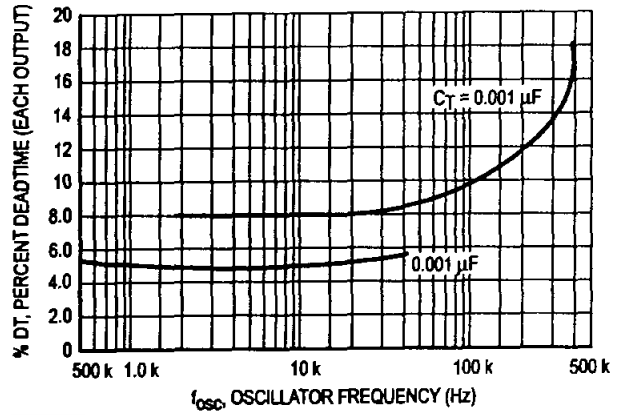


Figure 6. Percent Duty Cycle versus Deadtime Control Voltage

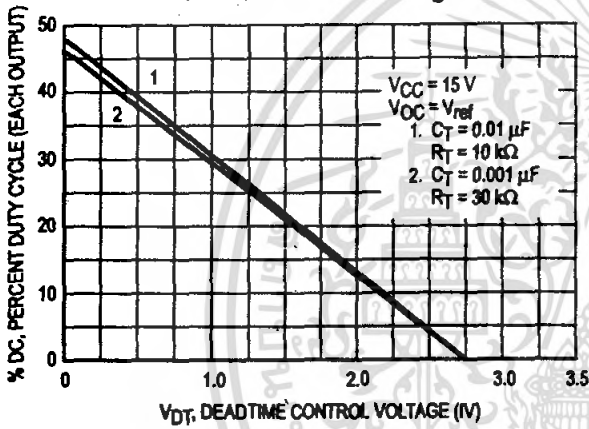


Figure 7. Emitter-Follower Configuration Output Saturation Voltage versus Emitter Current

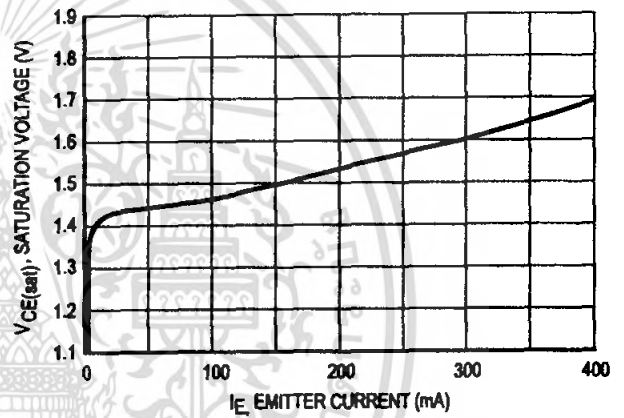


Figure 8. Common-Emitter Configuration Output Saturation Voltage versus Collector Current

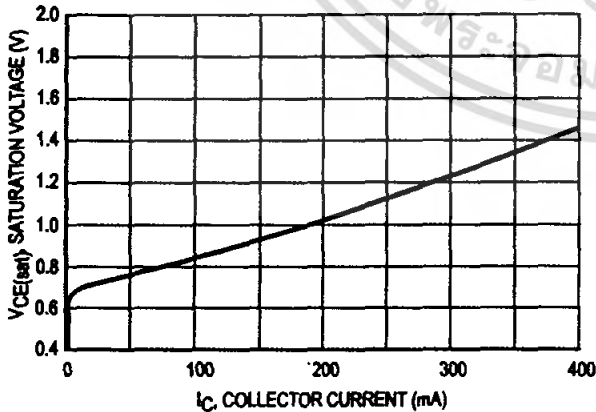


Figure 9. Standby Supply Current versus Supply Voltage

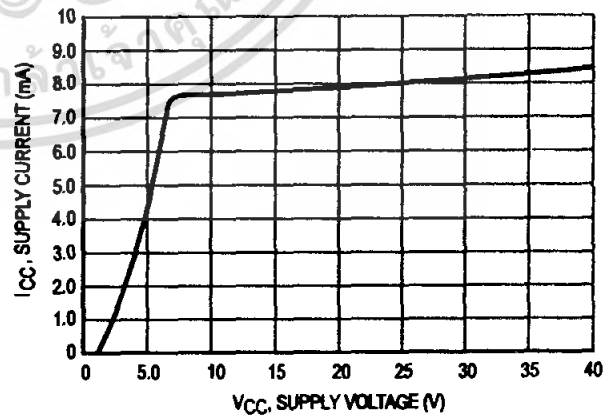


Figure 10. Error-Amplifier Characteristics

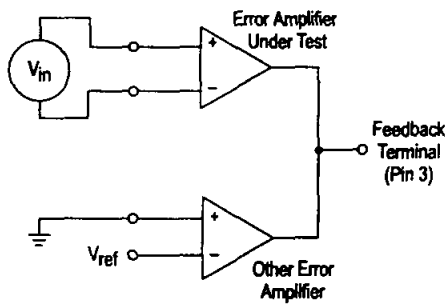


Figure 11. Deadtime and Feedback Control Circuit

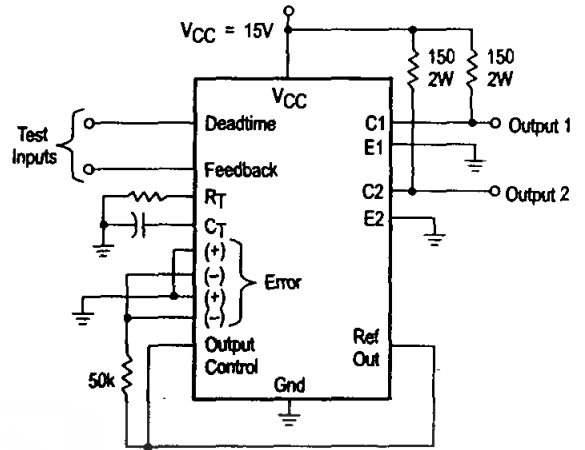


Figure 12. Common-Emitter Configuration Test Circuit and Waveform

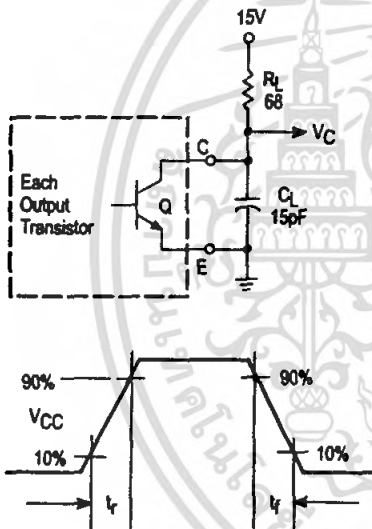
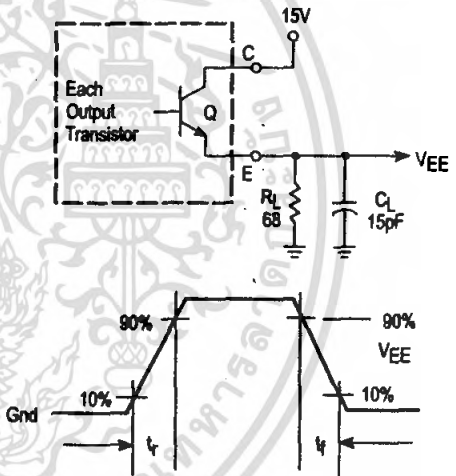


Figure 13. Emitter-Follower Configuration Test Circuit and Waveform



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 14. Error-Amplifier Sensing Techniques

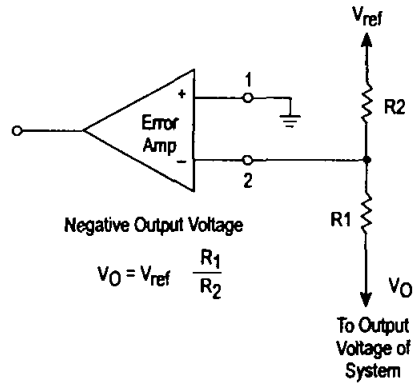
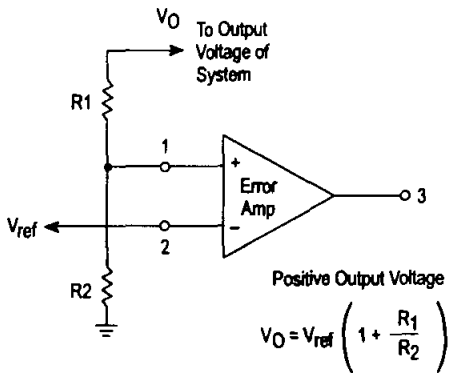


Figure 15. Deadtime Control Circuit

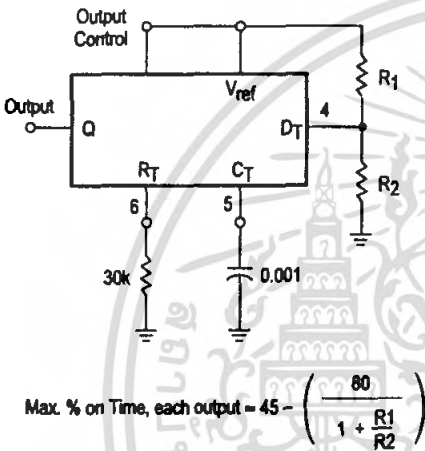


Figure 16. Soft-Start Circuit

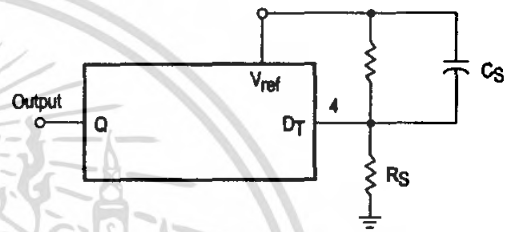
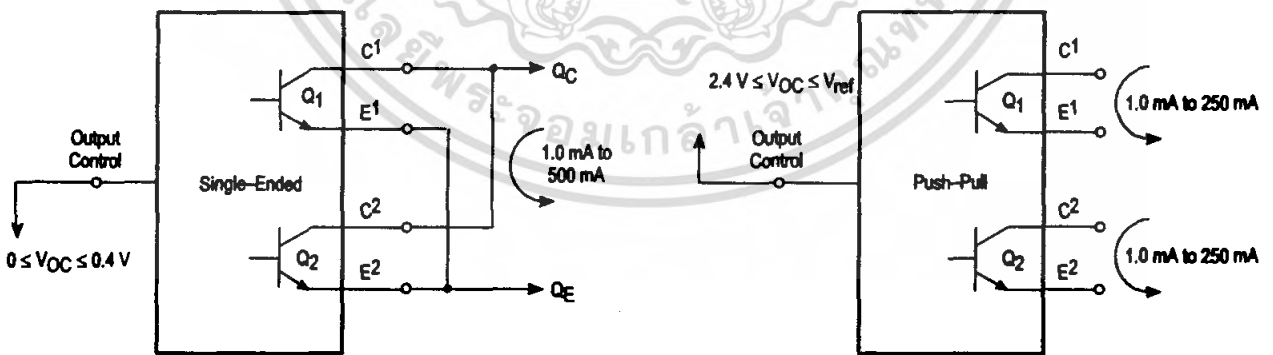


Figure 17. Output Connections for Single-Ended and Push-Pull Configurations



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

Figure 18. Slaving Two or More Control Circuits

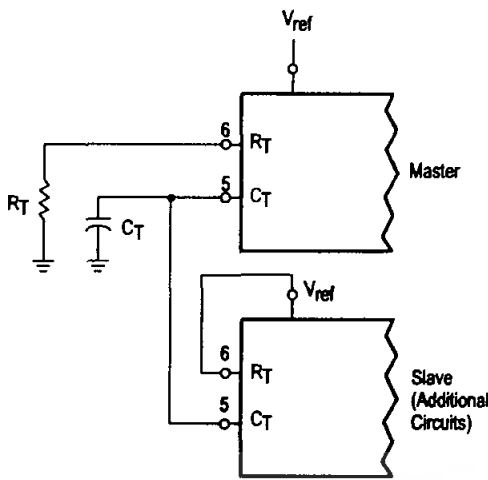


Figure 19. Operation with $V_{in} > 40V$ Using External Zener

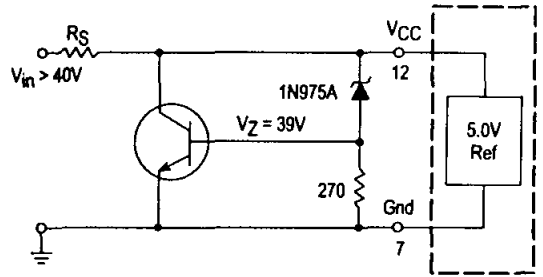
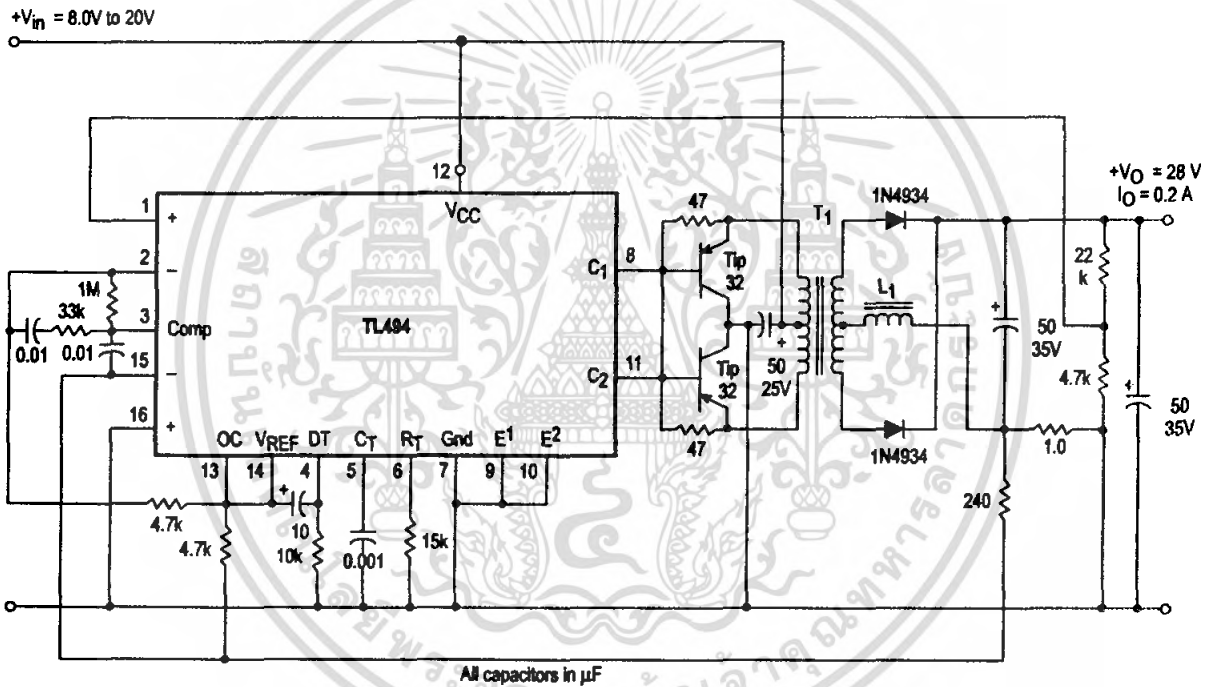


Figure 20. Pulse Width Modulated Push-Pull Converter



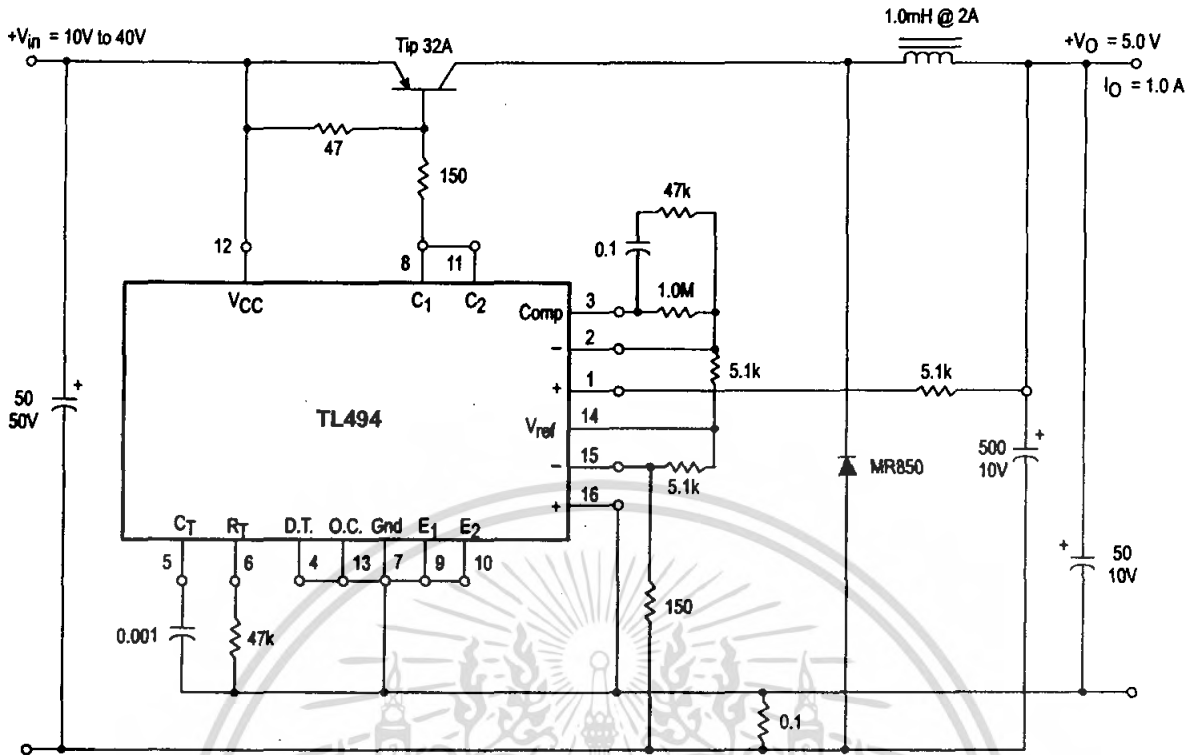
Test	Conditions	Results
Line Regulation	$V_{in} = 10V$ to $40V$	14 mV 0.28%
Load Regulation	$V_{in} = 28V$, $I_O = 1.0mA$ to $1.0A$	3.0 mV 0.06%
Output Ripple	$V_{in} = 28V$, $I_O = 1.0A$	65 mV pp P.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in} = 28V$, $R_L = 0.1\Omega$	1.6 A
Efficiency	$V_{in} = 28V$, $I_O = 1.0A$	71%

L1 - 3.5 mH @ 0.3 A
 T1 - Primary: 20T C.T. #28 AWG
 Secondary: 120T C.T. #36 AWG
 Core: Ferroxcube 1408P-L00-3CB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

Figure 21. Pulse Width Modulated Step-Down Converter



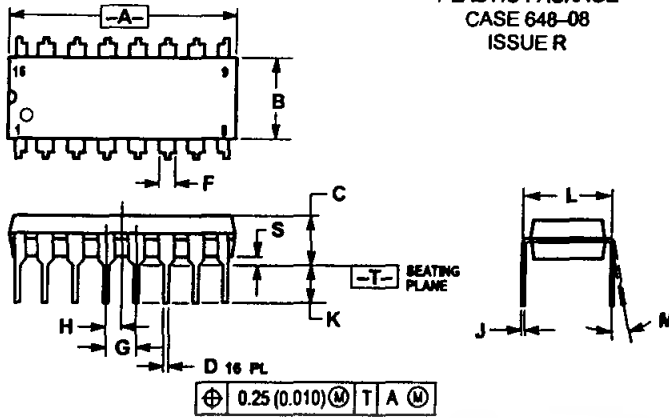
Test	Conditions	Results
Line Regulation	$V_{in} = 8.0 \text{ V to } 40 \text{ V}$	3.0 mV 0.01%
Load Regulation	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 0.2 \text{ mA to } 200 \text{ mA}$	5.0 mV 0.02%
Output Ripple	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 200 \text{ mA}$	40 mV pp P.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, R_L = 0.1 \Omega$	250 mA
Efficiency	$V_{in} = 12.6 \text{ V}, I_O = 200 \text{ mA}$	72%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

OUTLINE DIMENSIONS

N SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 648-08 ISSUE R

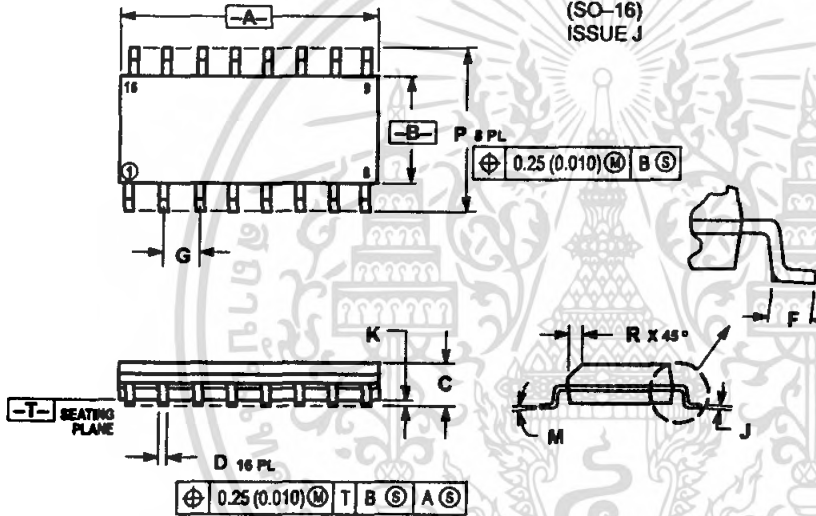


NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
4. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
5. ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.740	0.770	18.80	19.55
B	0.250	0.270	6.35	6.85
C	0.145	0.175	3.69	4.44
D	0.015	0.021	0.39	0.53
F	0.040	0.70	1.02	1.77
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.050 BSC		1.27 BSC	
J	0.008	0.015	0.21	0.38
K	0.110	0.130	2.80	3.30
L	0.295	0.305	7.50	7.74
M	0°	10°	0°	10°
S	0.020	0.040	0.51	1.01

D SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 751B-05 (SO-16) ISSUE J




NOTES:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER.
3. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006) PER SIDE.
5. DIMENSION D DOES NOT INCLUDE DAMBAR PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 (0.005) TOTAL IN EXCESS OF THE D DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	9.80	19.00	0.389	0.750
B	3.80	4.80	0.150	0.187
C	1.35	1.75	0.054	0.069
D	0.35	0.49	0.014	0.019
F	0.40	1.25	0.016	0.049
G	1.27 BSC		0.050 BSC	
J	0.19	0.25	0.008	0.009
K	0.10	0.25	0.004	0.009
M	0°	7°	0°	7°
P	5.80	6.30	0.229	0.244
R	0.25	0.50	0.010	0.019



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

How to reach us:

USA/EUROPE/ Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 20912, Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447 or 602-303-5454

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center,
3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-81-3521-8315

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com – TOUCHTONE 602-244-6609
INTERNET: http://Design-NET.com

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



MOTOROLA

0

TL494/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TLP250

- Transistor Inverter
- Inverter For Air Conditionor
- IGBT Gate Drive
- Power MOS FET Gate Drive

The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.

This unit is 8-lead DIP package.

TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input threshold current: $I_F=5\text{mA}(\text{max.})$
- Supply current (I_{CC}): $11\text{mA}(\text{max.})$
- Supply voltage (V_{CC}): $10\text{--}35\text{V}$
- Output current (I_O): $\pm 1.5\text{A}(\text{max.})$
- Switching time (t_{pLH}/t_{pHL}): $1.5\mu\text{s}(\text{max.})$
- Isolation voltage: $2500V_{\text{rms}}(\text{min.})$
- UL recognized: UL1577, file No.E67349
- Option (D4) type

VDE approved: DIN VDE0884/06.92,certificate No.76823

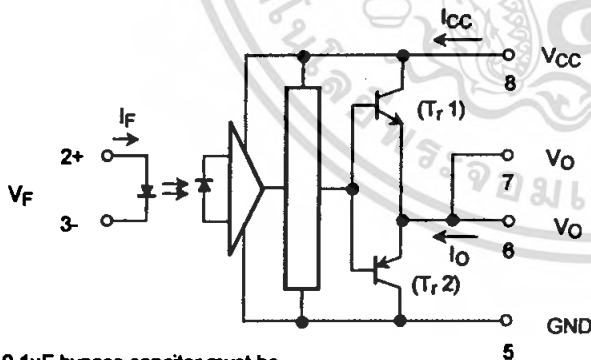
Maximum operating insulation voltage: 630V_{PK}

Highest permissible over voltage: 4000V_{PK}

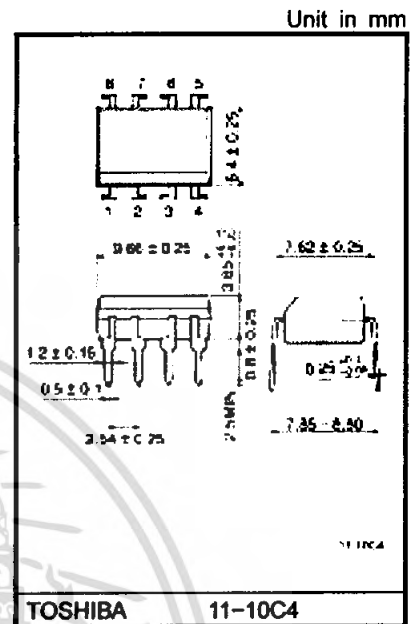
(Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "option (D4)"

- Creepage distance: 6.4mm(min.)
- Clearance: 6.4mm(min.)

Schmatic

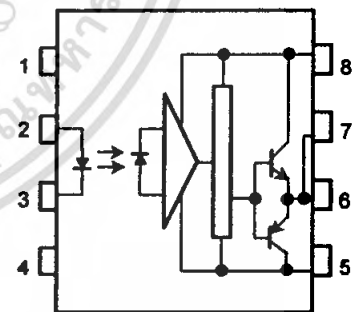


A 0.1 μF bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).



TOSHIBA 11-10C4
Weight: 0.54 g

Pin Configuration (top view)



- 1 : N.C.
- 2 : Anode
- 3 : Cathode
- 4 : N.C.
- 5 : GND
- 6 : V_O (Output)
- 7 : V_O
- 8 : V_{CC}

Truth Table

		Tr1	Tr2
Input LED	On	On	Off
	Off	Off	On

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristic		Symbol	Rating	Unit	
LED	Forward current	I _F	20	mA	
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)	ΔI _F / ΔTa	-0.36	mA / °C	
	Peak transient forward current (Note 1)	I _{FPT}	1	A	
	Reverse voltage	V _R	5	V	
	Junction temperature	T _J	125	°C	
Detector	"H" peak output current (P _W ≤ 2.5μs, f ≤ 15kHz) (Note 2)	I _{OPH}	-1.5	A	
	"L" peak output current (P _W ≤ 2.5μs, f ≤ 15kHz) (Note 2)	I _{OPL}	+1.5	A	
	Output voltage	V _O	(Ta ≤ 70°C)	35	V
			(Ta = 85°C)	24	
	Supply voltage	V _{CC}	(Ta ≤ 70°C)	35	V
			(Ta = 85°C)	24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)	ΔV _O / ΔTa	-0.73	V / °C	
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)	ΔV _{CC} / ΔTa	-0.73	V / °C	
	Junction temperature	T _J	125	°C	
Operating frequency (Note 3)	f	25	kHz		
Operating temperature range	T _{opr}	-20-85	°C		
Storage temperature range	T _{stg}	-55-125	°C		
Lead soldering temperature (10 s) (Note 4)	T _{sol}	260	°C		
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H. ≤ 60%) (Note 5)	BV _S	2500	V _{rms}		

Note 1: Pulse width P_W ≤ 1μs, 300pps

Note 2: Exponential waveform

Note 3: Exponential waveform, I_{OPH} ≤ -1.0A (≤ 2.5μs), I_{OPL} ≤ +1.0A (≤ 2.5μs)

Note 4: It is 2 mm or more from a lead root.

Note 5: Device considered a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

Note 6: A ceramic capacitor(0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input current, on (Note 7)	I _{F(ON)}	7	8	10	mA
Input voltage, off	V _{F(OFF)}	0	—	0.8	V
Supply voltage	V _{CC}	15	—	30 20	V
Peak output current	I _{OPH} /I _{OPL}	—	—	±0.5	A
Operating temperature	T _{opr}	-20	25	70 85	°C

Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs.

Electrical Characteristics (Ta = -20~70°C, unless otherwise specified)

Characteristic		Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Input forward voltage		V _F	—	I _F = 10 mA, Ta = 25°C		1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage		ΔV _F / ΔTa	—	I _F = 10 mA	—	-2.0	—	mV / °C
Input reverse current		I _R	—	V _R = 5V, Ta = 25°C		—	10	μA
Input capacitance		C _T	—	V = 0, f = 1MHz, Ta = 25°C	—	45	250	pF
Output current	"H" level	I _{OPH}	3	V _{CC} = 30V (*1) I _F = 10 mA V _{B-6} = 4V I _F = 0 V _{B-5} = 2.5V	-0.5	-1.5	—	A
	"L" level	I _{OPL}	2		0.5	2	—	
Output voltage	"H" level	V _{OH}	4	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, I _F = 5mA	11	12.8	—	V
	"L" level	V _{OL}	5	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _F = 0.8V	—	-14.2	-12.5	
Supply current	"H" level	I _{CCH}	—	V _{CC} = 30V, I _F = 10mA Ta = 25°C	—	7	—	mA
				V _{CC} = 30V, I _F = 10mA	—	—	11	
	"L" level	I _{CCL}	—	V _{CC} = 30V, I _F = 0mA Ta = 25°C	—	7.5	—	
				V _{CC} = 30V, I _F = 0mA	—	—	11	
Threshold input current	"Output L→H"	I _{FLH}	—	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _O > 0V	—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	I _{FHL}	—	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _O < 0V	0.8	—	—	V
Supply voltage		V _{CC}	—		10	—	35	V
Capacitance (input-output)		C _S	—	V _S = 0, f = 1MHz Ta = 25°C	—	1.0	2.0	pF
Resistance(input-output)		R _S	—	V _S = 500V, Ta = 25°C R.H. ≤ 60%	1×10 ¹²	10 ¹⁴	—	Ω

* All typical values are at Ta = 25°C (*1): Duration of I_O time ≤ 50μs

Switching Characteristics (Ta = -20~70°C , unless otherwise specified)

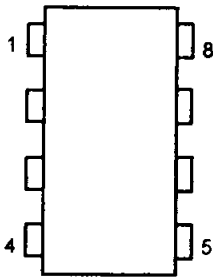
Characteristic	Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Propagation delay time	L→H	t_{pLH}	$I_F = 8mA$ (Note 7) $V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = -15V$ $R_L = 200\Omega$	—	0.15	0.5	μs
	H→L	t_{pHL}		—	0.15	0.5	
Output rise time	t_r	6		—	—	—	
Output fall time	t_f			—	—	—	
Common mode transient immunity at high level output	C_{MH}	7	$V_{CM} = 600V, I_F = 8mA$ $V_{CC} = 30V, T_a = 25^\circ C$	-5000	—	—	V / μs
Common mode transient immunity at low level output	C_{ML}	7	$V_{CM} = 600V, I_F = 0mA$ $V_{CC} = 30V, T_a = 25^\circ C$	5000	—	—	V / μs

* All typical values are at Ta = 25°C

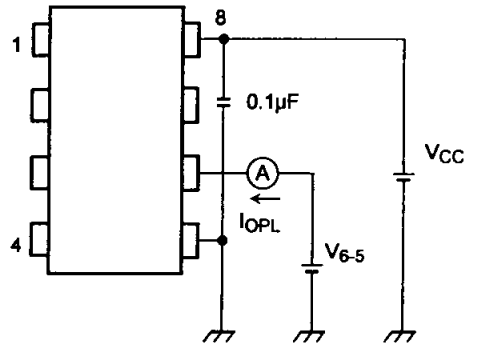
Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs .



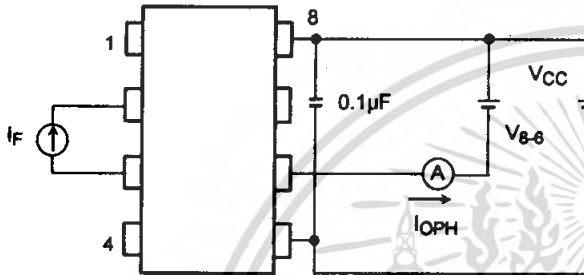
Test Circuit 1 :



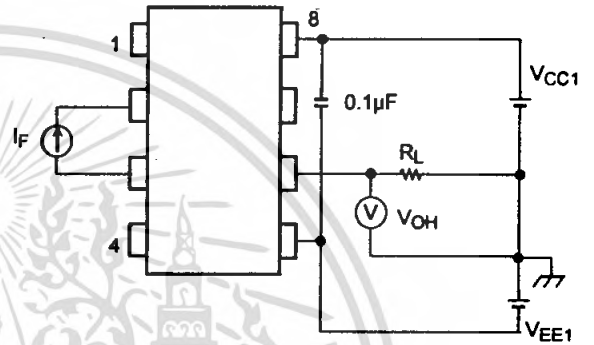
Test Circuit 2 : IOPL



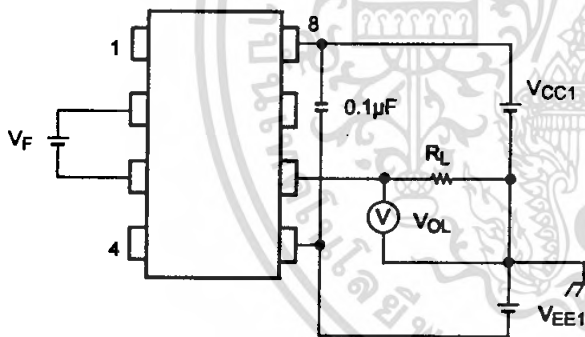
Test Circuit 3 : IOPH



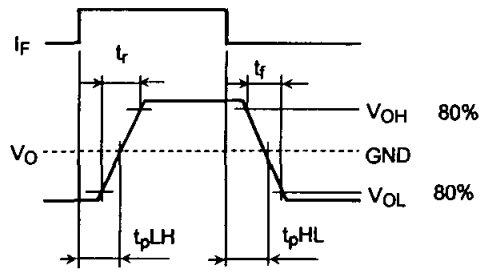
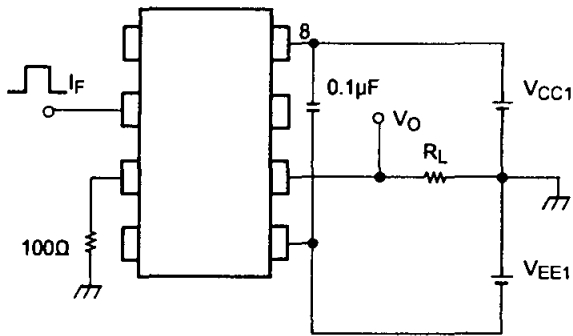
Test Circuit 4 : VOH



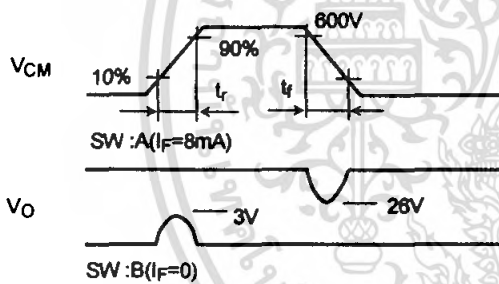
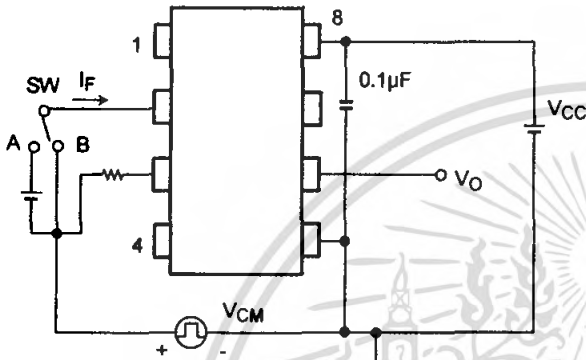
Test Circuit 5 : VOL



Test Circuit 6: t_{pLH} , t_{pHL} , t_r



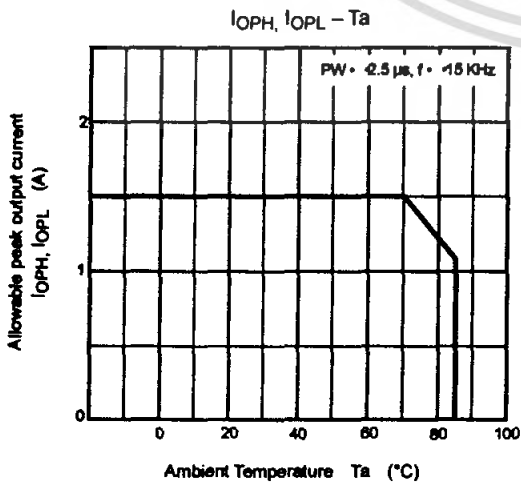
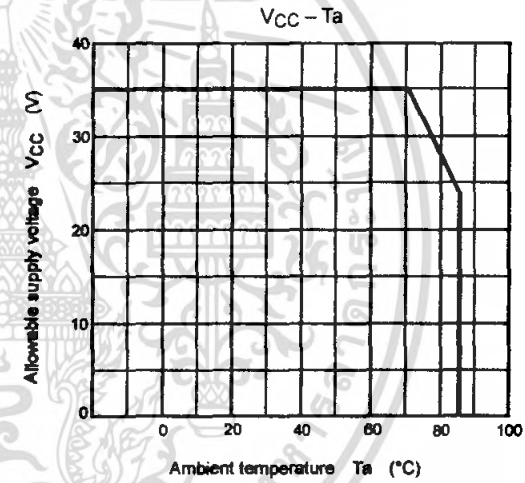
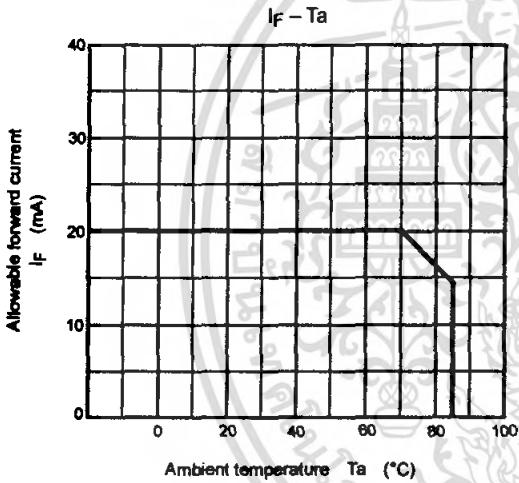
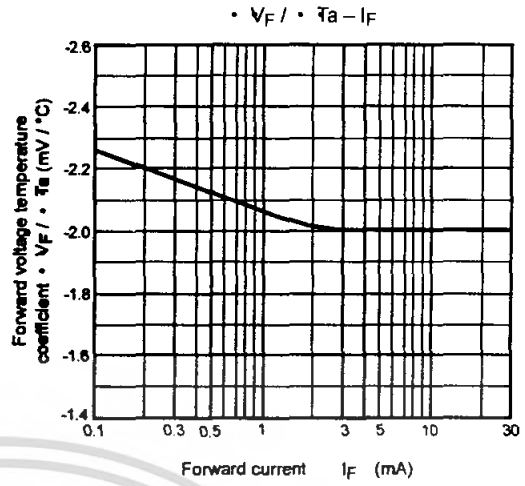
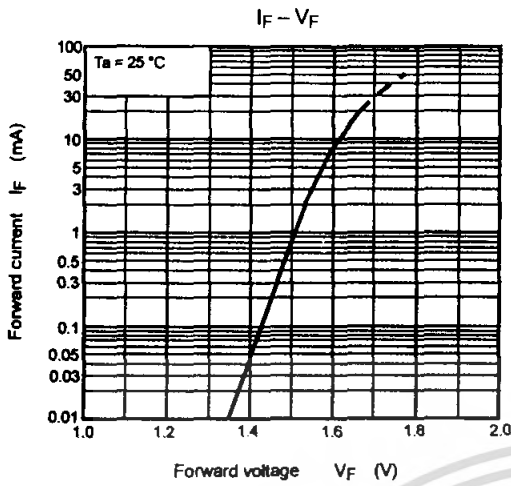
Test Circuit 7: C_{MH} , C_{ML}



$$C_{ML} = \frac{480 \text{ (V)}}{t_r \text{ (\mu s)}}$$

$$C_{MH} = \frac{480 \text{ (V)}}{t_f \text{ (\mu s)}}$$

$C_{ML}(C_{MH})$ is the maximum rate of rise (fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.



RESTRICTIONS ON PRODUCT USE

- The information contained herein is subject to change without notice.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA for any infringements of patents or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of TOSHIBA or others.
- TOSHIBA is continually working to improve the quality and reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to comply with the standards of safety in making a safe design for the entire system, and to avoid situations in which a malfunction or failure of such TOSHIBA products could cause loss of human life, bodily injury or damage to property.
In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent TOSHIBA products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the "Handling Guide for Semiconductor Devices," or "TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook" etc..
- The TOSHIBA products listed in this document are intended for usage in general electronics applications (computer, personal equipment, office equipment, measuring equipment, industrial robotics, domestic appliances, etc.). These TOSHIBA products are neither intended nor warranted for usage in equipment that requires extraordinarily high quality and/or reliability or a malfunction or failure of which may cause loss of human life or bodily injury ("Unintended Usage"). Unintended Usage include atomic energy control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, combustion control instruments, medical instruments, all types of safety devices, etc.. Unintended Usage of TOSHIBA products listed in this document shall be made at the customer's own risk.
- The products described in this document are subject to the foreign exchange and foreign trade laws.
- TOSHIBA products should not be embedded to the downstream products which are prohibited to be produced and sold, under any law and regulations.
- GaAs(Gallium Arsenide) is used in this product. The dust or vapor is harmful to the human body. Do not break, cut, crush or dissolve chemically.