

อินเวอร์เตอร์

INVERTER



โดย

นาย สมสนุก ปะทุมวัน

นางสาว ดวงสมร เพชรชมพู

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน... 42637  
วัน, เดือน, ปี 5 ส.ย. 2545

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

ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2544

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2544

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อินเวอร์เตอร์

ผู้จัดทำ

1. นาย สมสนุก ปะทุมวัน 42015730

2. นางสาว ดวงสมร เพชรชมพู 42015724



.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## อินเวอร์เตอร์

นาย สมสนุก ปะทุมวัน  
นางสาว ดวงสมร เพชรขมพู  
อาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ  
ปีการศึกษา 2544

## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เสนอการออกแบบสร้างอินเวอร์เตอร์ ชนิด Push-Pull ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแหล่งจ่ายสัญญาณไฟตรงให้เป็นสัญญาณไฟสลับ อินเวอร์เตอร์แบบ Push-Pull นี้จะมีแรงดันตรงเข้าที่ทางค่านินพุท  $12 V_{DC}$  ส่วนทางค่านเอาต์พุทจะได้แรงดันสลับขนาด  $200 V_{rms}$  ความถี่ในการใช้งานประมาณ  $50 Hz$  สามารถจ่ายกำลังงานได้ประมาณ  $23.5$  วัตต์ ที่ประสิทธิภาพ  $23.8 \%$

การออกแบบอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ จะใช้หลักการ Pulse Width Modulation (PWM) ซึ่งส่วนหลักของวงจรคือภาคที่สร้างสัญญาณ PWM เพื่อนำไปขับขาเกทของ Power Switching แบบพวยช พูล โดยใช้ Power MOSFET ที่สามารถทำงานร่วมกับ Transformer ชนิดแกนเหล็กที่ความถี่  $1 KHz$

## INVERTER

**Somsanouk Pathoumvanh****Douangsamone Phetsomphou****Lec. Polsart Lertprasert Adviser****Academic year 2544****Abstract**

This thesis presents a design of a Push-Pull inverter used to convert the DC signal to the AC signal. The input of the inverter is DC voltage of 12V. while the out put AC voltage and frequency are  $200V_{rms}$  and 50Hz respectively. the inverter can deliver the maximum power of 23.5 watts with 23.8% efficiency.

The principle of the designed is based on the Pulse Width Modulation (PWM) concept. The key parts of the inverter is the part where the pulse width modulation signal is generated. The generated signal is then used to drive the push - pull power switching consisting of power MOSFET together with the iron core tranformer at the frequency of 1 KHz .

### กิตติกรรมประกาศ

การทำอินเวอร์เตอร์นี้ประสบผลสำเร็จล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา (อาจารย์ พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ) ที่ได้ให้ทั้งแรงผลักดันและคำแนะนำตลอดจนถึงแนวคิดการทำงานรวมถึงการแนะนำในการแก้ปัญหาที่มีในการทดลอง และ อาจารย์ทุกๆท่านในภาควิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับโครงการ และที่ขาดมิได้คือองค์การใจกา และมหาวิทยาลัยแห่งชาติลาว ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ อุปกรณ์พื้นฐานทางอิเล็กทรอนิกส์ และ คอมพิวเตอร์ เพื่อให้โครงการนี้เสร็จสิ้นตามขั้นตอนที่กำหนดไว้

ทางผู้จัดทำขอแสดงความขอบคุณทุกท่านอีกครั้งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้จัดทำ

## สารบัญ

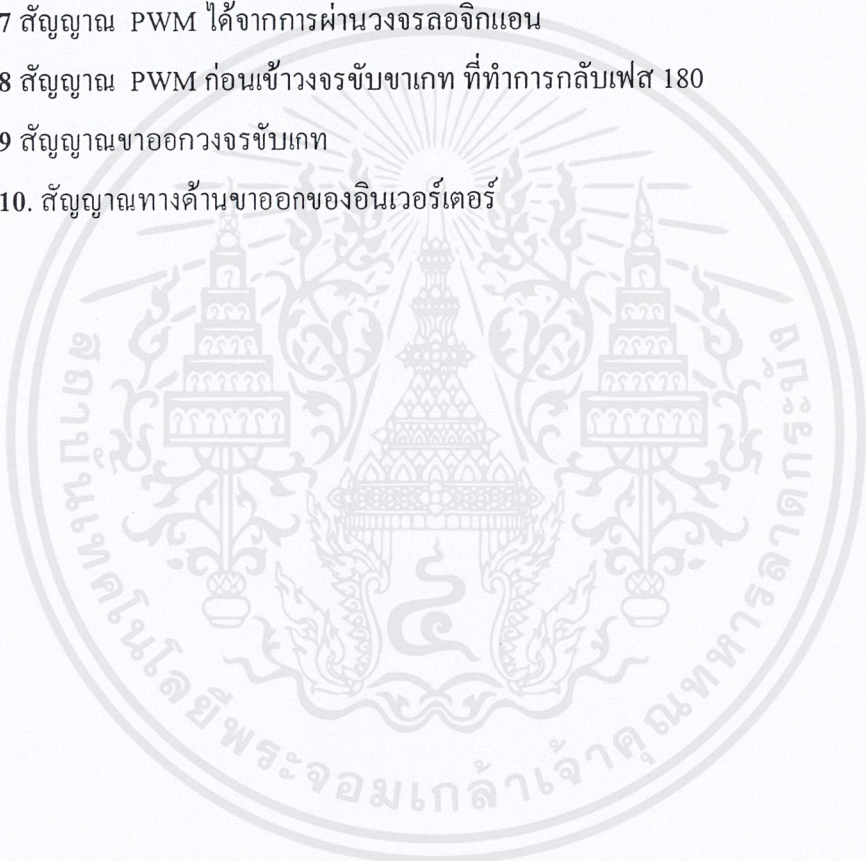
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1. ความเป็นมาของโครงการงาน	1
1.2. วัตถุประสงค์	1
1.3. แนวความคิดและโครงสร้างของงาน	1
1.3. ขอบเขตของโครงการงาน	2
1.5. การนำเสนอรายงาน	2
บทที่ 2 อินเวอร์เตอร์	3
2.1 สัญญาณจากอินเวอร์เตอร์โดยทั่วไป	4
2.1.1. วงจรอินเวอร์เตอร์แบบครึ่งบริดจ์ (Half Bridge Inverter)	5
2.1.2. วงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มบริดจ์ (Full Bridge Inverter)	6
2.1.3. วงจรอินเวอร์เตอร์แบบพุชพูล (Push Pull Inverter)	6
2.2 การสร้างสัญญาณคลื่นรูปซายน์	7
2.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับพัลส์วิดมอดูเลชัน(PWM)	8
2.3.1 รูปคลื่น PWM แบบ 2 ระดับและ แบบ 3 ระดับ	9
2.3.2 การสร้างรูปคลื่น PWM โดยทั่วไป	9
2.3.3. การสร้างรูปคลื่น PWM แบบเนทอโรดและแบบเรกูลาร์ (Natural and Regular Form)	10
2.4. การสร้างรูปคลื่นแบบเนซอโรดแซมปลิง (Natural Sampling Patern)	11
2.5. การสร้างรูปคลื่นแบบเรกูลาร์แซมปลิง	12
2.6. มอสเฟทกำลัง	12
2.7. การระบายความร้อน	15
2.7.1. ความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance)	15
2.7.2. การถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ	16
2.8 ส่วนประกอบของหม้อแปลง	16
2.8.1. การสูญเสียในหม้อแปลง	19

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างอินเวอร์เตอร์	21
3.1. วงจร DC to DC Converter	21
3.1.1 การสร้างรูปคลื่นฟันเลื่อย	23
3.2. วงจรกำเนิดรูปคลื่นไซน์ความถี่ 50 Hz	24
3.3. วงจร PWM (Pulse Width Modulation)	27
3.3.1. วงจรสร้างรูปคลื่นสี่เหลี่ยม	30
(Square wave Comparator Circuit)	
3.3.2. วงจร Logic	32
3.4. วงจรขับขาคาท	33
บทที่ 4 การทดลองและ ผลการทดลอง	34
4.1. . การทดลองแรกเป็นการตรวจสอบรูปคลื่น และแรงดันที่จุดสำคัญของวงจร	34
4.1.1. สัญญาณพัลส์ ที่นำไปขับขาคาทในวงจร DC to DC Converter	34
4.1.2. ผลการทดลองการสร้างสัญญาณฟันเลื่อย	35
4.1.3. ผลการทดลองการสร้างคลื่นรูปไซน์ความถี่ 50 Hz	36
4.1.4. สัญญาณคลื่นรูปไซน์แบบเต็มรูปคลื่น	37
4.1.5. สัญญาณรูปสี่เหลี่ยม	38
4.1.6. สัญญาณ PWM	39
4.1.7. สัญญาณ PWM ได้จากการผ่านวงจรลอจิกแอน	40
4.1.8. สัญญาณ PWM ก่อนเข้าวงจรขับขาคาท ที่ทำการกลับเฟส 180 องศา	41
4.1.9. สัญญาณขาออกวงจรขับขาคาท	42
4.1.10. สัญญาณทางด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์	43
4.2. การวัดและคำนวณคุณสมบัติต่างๆของวงจร	46
4.2.1 สัญญาณฟันเลื่อยที่ความถี่ 1 KHz	46
4.2.2. สัญญาณฟันเลื่อยที่ความถี่ 2 KHz	47
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและวิจารณ์	49
หนังสืออ้างอิง	
ภาคผนวก	

## สารบัญรูป

รูปที่ 1.1	แผนผังส่วนประกอบหลักของอินเวอร์ตเตอร์ชนิด Push-Pull	1
รูปที่ 2.1	แสดงรูปคลื่นเอาต์พุตแบบต่างจากวงจรอินเวอร์ตเตอร์หลายๆแบบ	4
รูปที่ 2.2	วงจรอินเวอร์ตเตอร์แบบครึ่งบริดจ์	6
รูปที่ 2.3	วงจรอินเวอร์ตเตอร์แบบเต็มบริดจ์	6
รูปที่ 2.4	วงจรอินเวอร์ตเตอร์แบบพุกพุก	7
รูปที่ 2.5	แสดงรูปคลื่น PWM (ก). แบบ 2 ระดับ (ข). แบบ 3 ระดับ	8
รูปที่ 2.6	รูปคลื่น PWM ที่ใช้ในวงจรเปรียบเทียบ	10
รูปที่ 2.7	การสร้างรูปคลื่นแบบเนเชอรัลแซมปลิงชนิด 2 ระดับ	11
รูปที่ 2.8	การสร้างรูปคลื่นแบบเนเชอรัลแซมปลิงชนิด 3 ระดับ	11
รูปที่ 2.9	การสร้างรูปคลื่นแบบเรกูลาร์แซมปลิง ชนิด 3 ระดับ	12
รูปที่ 2.10	ลักษณะภายนอกของมอสเฟต	12
รูปที่ 2.11	โครงสร้างภายในของดีมอสเฟต	13
รูปที่ 2.12	คุณลักษณะของการถ่ายโอนของดีมอสเฟต	14
รูปที่ 2.13	ตัวอย่างแผนระบายความร้อนขนาดต่างๆ	15
รูปที่ 2.14	วงจรเสมือนของการถ่ายเทความร้อน	15
รูปที่ 2.15	การถ่ายเทความร้อนจากรอยต่อของอุปกรณ์ สารกึ่งตัวนำระบายออกสู่อากาศ รอบๆ	16
รูปที่ 2.16	วงจรเสมือนของหม้อแปลง	17
รูปที่ 2.17	ลักษณะที่สมบูรณ์ของเส้นโค้งฮิสเทอรีซิส	20
รูปที่ 3.1	แผนผัง แสดงระบบอินเวอร์ตเตอร์ ชนิด Push-Pull โดยรวม	21
รูปที่ 3.2	วงจร dc to dc converter	22
รูปที่ 3.3	สัญญาณรูปฟันเลื่อย	23
รูปที่ 3.4	วงจรกำเนิดรูปคลื่นไซน์ 50 Hz	24
รูปที่ 3.5	วงจร Full wave Rectifier	25
รูปที่ 3.6	แสดงรูปคลื่นไซน์ในเวลาที่ไม่มีการขยายและมีการขยายของ Op-Amp ในวงจร	26
รูปที่ 3.7	วงจรเปรียบเทียบ PWM (PWM Comparator)	28
รูปที่ 3.8	Wave form ที่ได้จากวงจร PWM	29
รูปที่ 3.9	แสดงรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ขาออกของแอนเกท	30
รูปที่ 3.10	(ก) วงจรการสร้างรูปคลื่นสี่เหลี่ยม และ (ข) รูปสัญญาณ	31

รูปที่ 3.11 แสดงรูปคลื่นสี่เหลี่ยม	32
รูปที่ 3.12 วงจรขับขาเกท	33
รูปที่ 4.1 สัญญาณพัลส์ที่จะนำไปขับขาเกทของมอสเฟตในวงจร DC to DC Converter	34
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณพื่นเลื่อยที่ได้จากการทดลองจริง	35
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณคลื่นรูปไซน์ 50 Hz	36
รูปที่ 4.4 สัญญาณคลื่นรูปไซน์แบบเต็มรูป	37
รูปที่ 4.5 คลื่น แสดงสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม	38
รูปที่ 4.6. แสดงสัญญาณ PWM ที่ได้จากการทดลอง	39
รูปที่ 4.7 สัญญาณ PWM ได้จากการผ่านวงจรลอจิกแอน	40
รูปที่ 4.8 สัญญาณ PWM ก่อนเข้าวงจรขับขาเกท ที่ทำการกลับเฟส 180	41
รูปที่ 4.9 สัญญาณขาออกวงจรขับเกท	42
รูปที่ 4.10. สัญญาณทางด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์	43



## บทที่ 1

## บทนำ

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ในการเปลี่ยนไฟตรงให้เป็นไฟสลับที่มีแรงดันและความถี่ตามที่ต้องการ อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ถูกนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายในงานอิเล็กทรอนิกส์ เช่น การควบคุมมอเตอร์ชนิดต่างๆ เปลี่ยนระดับไฟตรง และเพื่อจุดหลอดไฟเรืองแสงจากแบตเตอรี่ อินเวอร์เตอร์โดยทั่วไปแล้วมีหลายแบบ ซึ่งขึ้นกับชนิดของการออกแบบและนำไปใช้งาน สิ่งที่ควรคำนึงถึงโดยทั่วไป คือ จ่ายกำลังได้สูง และ ควรมีการสูญเสียกำลังต่ำ โครงการนี้จึงนำเสนอการออกแบบอินเวอร์เตอร์ชนิด Push-Pull ซึ่งมีคุณสมบัติดังที่กล่าวข้างต้น โดยตั้งเป้าหมายว่าให้สามารถสร้างสัญญาณทาง Output ที่เป็นสัญญาณคลื่นรูปซายน์มีขนาดแรงดัน 220 โวลต์ และความถี่การทำงานเท่ากับ 50 Hz

## 1.1. ความเป็นมาของโครงการ

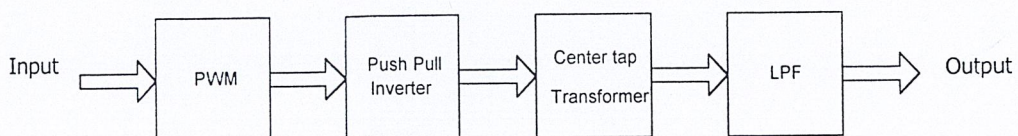
จากคำกล่าวข้างต้น นำไปสู่การออกแบบอินเวอร์เตอร์ชนิด Push-Pull และให้มีความสามารถในการทำงานเป็นไปตามคุณสมบัติที่ออกแบบไว้ในด้านของประสิทธิภาพการทำงาน

## 1.2. วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาการทำงานของวงจร อินเวอร์เตอร์
- เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรสวิตชิง
- เพื่อศึกษากำเนิดสัญญาณรูปคลื่นซายน์และการสร้างพัลส์วิดท์มอดดูเลชัน

## 1.3. แนวความคิดและโครงสร้างของงาน

แนวความคิดของโครงการนี้คือการพัฒนา อินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กให้มีประสิทธิภาพสูงๆ โดยสามารถจ่ายกำลังงานให้ได้ 100 Watt โดยใช้หม้อแปลงธรรมดามีอยู่ในท้องตลาด เพื่อยกระดับแรงดันตรง 12 โวลต์ให้เป็นแรงดันสลับขนาด 220 โวลต์ ความถี่ 50 Hz โดยจะใช้พื้นฐานของ PWM การออกแบบนี้จะรวมถึงภาค Power Switching ที่ใช้ Power MOSFET เป็นสวิตช์



รูปที่ 1.1 แผนผังส่วนประกอบหลักของอินเวอร์เตอร์ชนิด Push-Pull

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4. คุณสมบัติโดยทั่วไปของโครงการงาน

- แรงดันทางด้านขาเข้า 12 Vdc
- แรงดันทางด้านขาออก 220 Vac
- ความถี่ในการใช้งาน 50 Hz
- กำลังงานที่ขาออก 100 Watts

#### 1.5 การนำเสนอในโครงการงาน

จะมีการนำเสนอรายละเอียดของโครงการงาน โดยสมบูรณ์ ตามหัวเรื่องดังต่อไปนี้

- บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงตัวโครงการงาน และ คุณสมบัติการทำงานพื้นฐาน
- บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอินเวอร์เตอร์ในนี้จะได้กล่าวถึงวงจรอินเวอร์เตอร์แบบต่างๆ และ จะกล่าวถึงการสร้างสัญญาณคลื่นรูปซายน์ รวมถึงพื้นฐานเกี่ยวกับพัลส์วิดท์มอดูเลชันพร้อมด้วยการสร้างรูปคลื่นแบบต่างๆ นอกจากนี้แล้วจะกล่าวถึงการนำมอสเฟตมาเป็นสวิตช์ การเลือกใช้หม้อแปลงรวมไปถึงการระบายความร้อน
- บทที่ 3 กล่าวถึงรายละเอียดในการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ และการสร้างอินเวอร์เตอร์ในที่นี้จะเป็นรายละเอียดในส่วนต่างๆของวงจรอินเวอร์เตอร์ รวมถึงแผนผังของวงจรรวมตัวอย่างเช่นวงจรการสร้าง PWM (Pulse Width Modulation) วงจรกำเนิดคลื่นรูปซายน์ วงจรแปลงสัญญาณไฟตรงเป็นไฟตรงและวงจรขับขาคาท
- บทที่ 4 กล่าวถึงการทดลองและผลการทดลอง จากวงจรจริง
- บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและวิจารณ์

## บทที่ 2

## ทฤษฎีที่เกี่ยวกับอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์คืออุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟตรงเป็นแหล่งจ่ายไฟสลับ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำงานตรงข้ามกับเรกติไฟเออร์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟสลับเป็นแหล่งจ่ายไฟตรง สัญญาณอินพุทของอินเวอร์เตอร์นี้อาจได้มาจากแบตเตอรี่ เซลล์เชื้อเพลิง เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม หรือแหล่งจ่ายไฟตรง อื่นๆ ส่วนชนิดสัญญาณเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์นั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

- เอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์แบบเฟสเดียวที่สามารถจ่ายแรงดัน ได้ดังนี้
  1. 120V ที่ 60 Hz
  2. 220V ที่ 50 Hz
  3. 115V ที่ 400 Hz
- เอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์แบบ 3 เฟสที่สามารถจ่ายแรงดัน ได้ดังนี้
  1. 220/380V ที่ 50 Hz
  2. 120/208V ที่ 60 Hz
  3. 150/200V ที่ 400 Hz

รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์ในอุดมคติจะเป็นคลื่นรูปซายน์หรือรูปคลื่นแบบต่างๆแล้วแต่นิวและจุดประสงค์ของการสร้างอินเวอร์เตอร์ แต่ในทางปฏิบัติรูปคลื่นเอาต์พุทของอินเวอร์เตอร์มักประกอบด้วยฮาร์โมนิกส์จึงไม่เป็นคลื่นรูปซายน์ การลดฮาร์โมนิกส์ หรือทำให้มีค่าต่ำทำได้โดยใช้เทคนิคในการสวิทช์และวงจรกรองความถี่ที่เหมาะสม

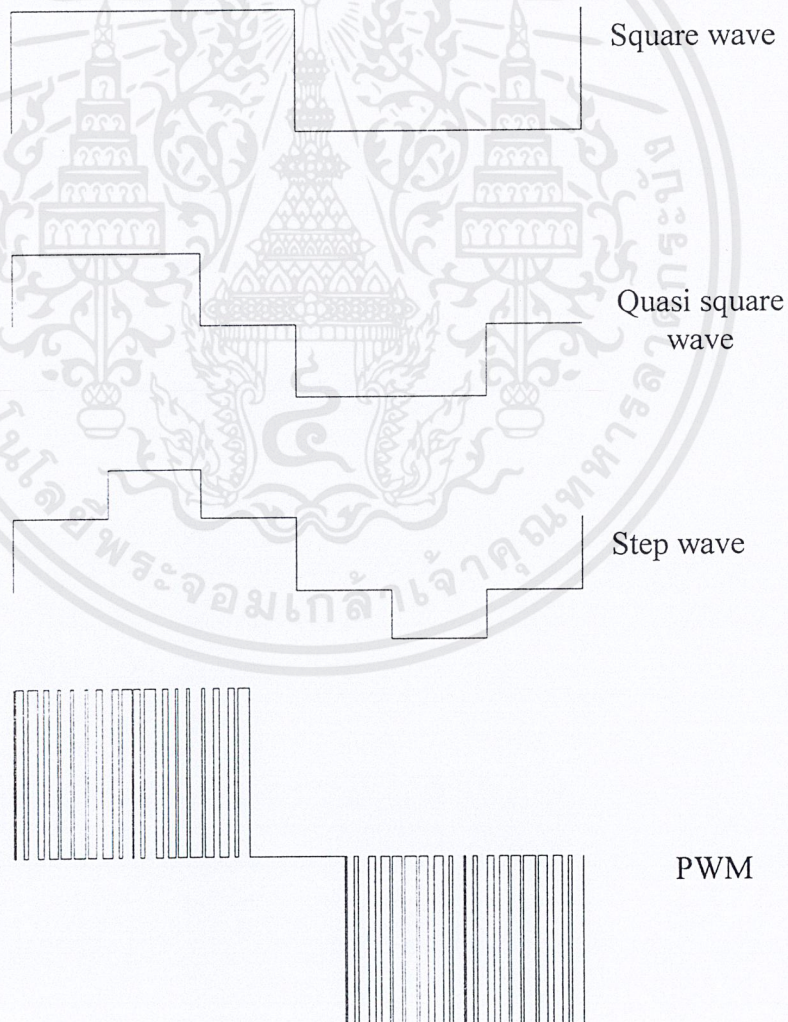
อินเวอร์เตอร์ที่ใช้กับงานที่มีระดับกำลังงาน ไฟฟ้าต่ำหรือปานกลางจะใช้กับรูปคลื่นสี่เหลี่ยมได้ (Square Wave) แต่สำหรับงานที่มีระดับกำลังงานไฟฟ้าสูงจำเป็นต้องใช้รูปคลื่นซายน์ (ที่มีความผิดพลาดน้อย) กับ อินเวอร์เตอร์เท่านั้น อินเวอร์เตอร์ ถูกนำไปใช้กันมากในงานอุตสาหกรรม เช่น การขับเคลื่อนมอเตอร์ AC ให้มีความเร็วแปรค่าได้ เครื่องทำความร้อนแบบเหนี่ยวนำ และแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง เป็นต้น

ในโครงการนี้ได้ถูกออกแบบให้มีแรงดันขาเข้า 12 โวลต์ แรงดันทางด้านเอาต์พุทเป็น 220V และเป็นสัญญาณที่ใกล้เคียงกับคลื่นรูปซายน์ซึ่งมีความถี่ 50 Hz อินเวอร์เตอร์ที่คตินั้นควรมีประสิทธิภาพสูงที่เชื่อถือได้และต้องมีขนาดเล็ก รวมไปถึงน้ำหนักเบาด้วย การออกแบบเพื่อให้ได้อินเวอร์เตอร์ที่มีคุณสมบัติดังที่กล่าวข้างต้น อาจทำได้โดยใช้สวิทช์ที่สามารถ ทำงานที่ความถี่สูง ซึ่งสามารถทำงานร่วมกับหม้อแปลงตอบสนองความถี่สูง มีขนาดเล็ก ทำให้สามารถลดขนาดของหม้อแปลงและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวกรองได้ทางหนึ่ง นอกจากนี้ยังทำให้การส่งผ่านพลังงานมีประสิทธิภาพสูง ทำให้ได้สัญญาณทางด้านขาออกใกล้เคียงกับคลื่นรูปซายน์และมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดต่ำ ส่งผลให้โหลดได้รับแรงดันคงที่ การควบคุมนี้จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่จะใช้ไปเป็นสัญญาณอินพุตสำหรับขับขาเกทของมอสเฟต และจะได้สัญญาณคลื่นรูปซายน์ทางด้านขาออกนั่นเอง รูปคลื่นทางด้านเอาต์พุตที่ได้จะถูกส่งผ่านไปยังวงจร กรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน เพื่อให้ได้คลื่นรูปซายน์ที่มีความถี่ 50Hz

## 2.1 สัญญาณขาออกจากอินเวอร์เตอร์โดยทั่วไป

สัญญาณขาออกที่ได้จากอินเวอร์เตอร์นั้น จะประกอบด้วยสัญญาณทั้งความถี่สูง และความถี่ต่ำ รวมถึงฮาร์โมนิกหลายระดับ เมื่อนำสัญญาณที่ได้ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน จะได้สัญญาณขาออกรูปแบบต่างๆ ขึ้นกับชนิดของอินเวอร์ตเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงรูปคลื่นเอาต์พุตแบบต่างจากวงจรอินเวอร์เตอร์หลายๆแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเวอร์เตอร์โดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. อินเวอร์เตอร์เฟสเดียว
2. อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

นอกจากนี้อินเวอร์เตอร์ยังแบ่งตามลักษณะของโครงสร้างและการนำไปใช้งานอีกด้วยซึ่งแบ่งได้เป็น 2 แบบ และแต่ละแบบยังแบ่งถูกแบ่งย่อยออกไปอีกดังต่อไปนี้

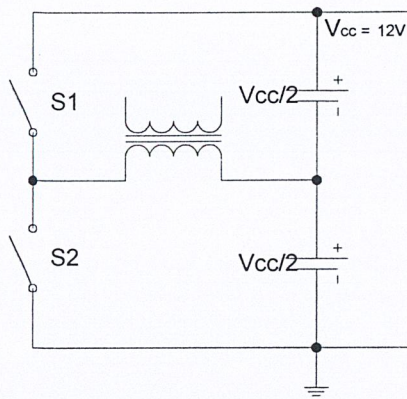
1. อินเวอร์เตอร์แบบป้อนแรงดัน (Voltage Source Inverters; VSI) ซึ่งแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้
  - 1.1. อินเวอร์เตอร์แบบการมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์ [Pulse Width Modulation (PWM) Inverters]
  - 1.2. อินเวอร์เตอร์แบบรีโซแนนท์
  - 1.3. อินเวอร์เตอร์แบบ McMurray
  - 1.4. อินเวอร์เตอร์ McMurray-Bedford

## 2. อินเวอร์เตอร์แบบป้อนกระแส (Current Source Inverters; CSI)

วงจรสวิตชิงอินเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้กันมีหลายแบบ แต่ละแบบจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปรวมทั้งคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละวงจรและขนาดของอุปกรณ์ก็จะแตกต่างกันไป โดยวงจรอินเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้ได้แก่ วงจรพุชพูล (Push- Pull), วงจรฮาร์ฟบริดจ์ (Half Bridge) และวงจรฟูลบริดจ์ (Full Bridge)

### 2.1.1. วงจรอินเวอร์เตอร์แบบครึ่งบริดจ์ (Half Bridge Inverters)

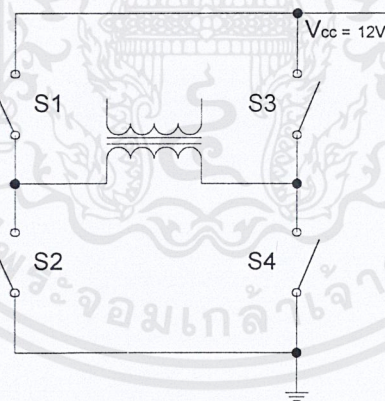
วงจรนี้จะใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ในการอินเวอร์เตอร์ เนื่องจากการหยุดการนำกระแสหรือการปิดทรานซิสเตอร์ทำได้โดยการหยุดจ่ายกระแสที่ขั้วเบสของทรานซิสเตอร์เท่านั้นไม่จำเป็นต้องมีวงจรในการหยุดกระแสเหมือนกับเอสซีอาร์ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.2 จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อ  $S_1$  และ  $S_2$  นั้นได้รับการออกแบบให้ทำงานตรงข้ามกันที่เวลาเดียวกัน ตัวอย่างเช่น เมื่อ  $S_1$  “ON” แรงดันที่ได้จะเป็น  $V_{CC}/2$  และเมื่อ  $S_2$  “ON” จะทำให้เราได้แรงดันเป็น  $-V_{CC}/2$  ในขณะที่ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวจะอยู่ในสถานะ “off” จะเกิดแรงดันย้อนกลับมีค่าเป็น  $V_{CC}/2$  แทนที่จะเป็น  $V_{CC}$  ดังนั้นจึงเรียก อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ว่า อินเวอร์เตอร์แบบครึ่งบริดจ์ (Half Bridge Inverter)



รูปที่ 2.2 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบครึ่งบริดจ์

### 2.1.2. วงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มบริดจ์ (Full Bridge Inverter)

ในวงจรนี้จะใช้ทรานซิสเตอร์ 4 ตัวเป็นสวิตช์ และจะทำงานเป็นคู่ คือ เมื่อ  $S_1$  และ  $S_4$  "ON" พร้อมกันจะเกิดแรงดันตกคร่อมโหลดเท่ากับ  $V_{CC}$  แต่ถ้า  $S_2$  และ  $S_3$  "ON" พร้อมกันจะทำให้เกิดแรงดันที่โหลดเท่ากับ  $-V_{CC}$  และในขณะที่สวิตช์ ทั้ง 4 ตัว "OFF" จะเกิดแรงดันย้อนกลับมีค่าเป็น  $V_{CC}$  ดังนั้นจึงเรียก อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ว่า อินเวอร์เตอร์แบบเต็มบริดจ์ (Full Bridge Inverter) ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มบริดจ์

### 2.1.3. วงจรอินเวอร์เตอร์แบบพุชพูล (Push Pull Inverter)

วงจรอินเวอร์เตอร์แบบพุชพูลนี้เป็นวงจรที่ให้กำลังขาออกในช่วง 100 ถึง 500 Watts ซึ่งในวงจรพุชพูลนี้จะใช้หม้อแปลงที่มีแทปกกลางทางด้านอินพุท วงจรอินเวอร์เตอร์แบบพุชพูลยังสามารถทำงานร่วมกับ PWM และ รูปคลื่นสี่เหลี่ยมได้ดีเช่นเดียวกับ อินเวอร์เตอร์แบบครึ่งบริดจ์ หรือ อินเวอร์เตอร์แบบเต็มบริดจ์ โดย PWM จะเป็นตัวควบคุมสวิตช์ 1, สวิตช์ 2 เพื่อให้  $i_o$  โหลดอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นขณะที่สวิตช์ 1 อยู่ในสถานะ "ON" (หรือ สวิตช์ 2 อยู่ในสถานะ "OFF") ขด ลวดปฐมภูมิทาง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

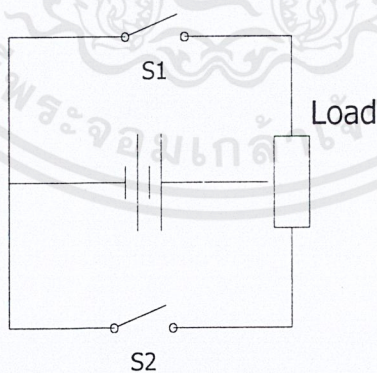
ด้านบนจะครบรอบและจะทำให้กระแส  $I_O$  ที่ขดลวดทุติยภูมิ จะเป็นค่าบวกและได้แรงดันเป็นบวกที่มีขนาด  $V_O = V_{source}/n$  เมื่อ  $n$  คือค่าอัตราส่วนจำนวนรอบขดลวดปฐมภูมิต่อจำนวนรอบขดลวดทุติยภูมิ แต่เมื่อสวิตช์ 2 อยู่ในสถานะ “ON” (หรือ สวิตช์ 1 อยู่ในสถานะ “OFF”) ขดลวดปฐมภูมิทางด้านล่างจะทำงานครบรอบ ทำให้แรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิ นั้นมีค่าเป็นลบขนาด  $V_O = -V_{source}/n$  วงจรอินเวอร์เตอร์แบบพุกพุกนี้จะให้ค่า สักคาไฟฟ้าสูงสุด (Peak Switch Voltage),  $V_T$  และ กระแสสูงสุด (Peak Switch Current),  $I_T$  ดังนี้

$$V_T = 2V_S \quad (2.1)$$

$$I_T = i_{O,peak} / n \quad (2.2)$$

### ข้อดีของวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดพุกพุก

คือการนำกระแสผ่านขดลวดปฐมภูมิ แต่ครั้งจะผ่านสวิตช์เพียง 1 สวิตช์ ซึ่งจะต่างกับ วงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มบริดจ์ ที่แต่ละครั้งกระแสจะผ่านสวิตช์ถึง 2 ตัว ทำให้เกิดสัปดาห์คร่อม สวิตช์มากกว่าอินเวอร์เตอร์ชนิดพุกพุก ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อระดับแรงดันทางด้านเอาต์พุท นอกจากนี้ยังเป็นผลดีในกรณีที่แรงดันอินพุท หรือ  $V_{source}$  ที่มีค่าต่ำๆ เช่น Battery และแหล่งจ่ายไฟตรงแรงดันต่ำ อื่นๆ ซึ่งจะทำให้ค่าแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์ (Voltage drop) มีค่าน้อย ผลก็คือจะยังคงได้แรงดันเอาต์พุทมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอินเวอร์เตอร์ชนิดเต็มบริดจ์ หรือกล่าวโดยทั่วไปแรงดันเอาต์พุทจะไม่ถูกระทบจากแรงดันทางด้านอินพุทที่เปลี่ยนไปมาก หรือแสดงการมีเสถียรภาพการทำงานของวงจรสูง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ต้องการพื้นฐานทางวงจรรีเลย์ทรอนิกส์



รูปที่ 2.4 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบพุกพุก

## 2.2 การสร้างสัญญาณคลื่นรูปขายน

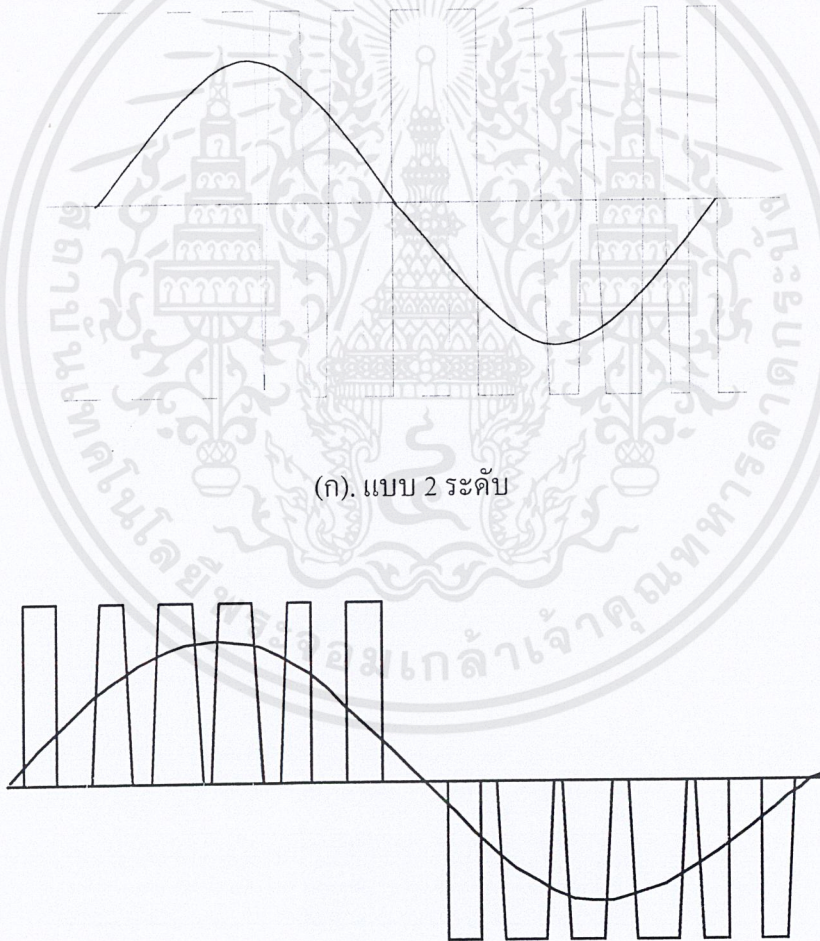
วงจรอินเวอร์เตอร์โดยทั่วไปแล้ว มักจะประกอบด้วยวงจรออสซิลเลเตอร์ เพื่อสร้างสัญญาณคลื่นรูปขายนสำหรับใช้ในส่วนของวงจร PWM วงจรออสซิลเลเตอร์มีหลายรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งแต่ละชนิดจะมีข้อดีและข้อเสียในตัวของมันเอง ขึ้นกับวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์ การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างวงจรรอสซิลเลเตอร์ได้แก่ วงจรแท็งกอสซิลเลเตอร์(Oscillator Tank Circuit), Tickler-coil Oscillator และแบบ Wien Bridge Oscillator ซึ่งในโครงการนี้จะใช้วงจรรอสซิลเลเตอร์แบบ Wien bridge ที่ประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน ได้แก่ Op-Amp , R และ C เท่านั้น ที่เป็นตัวกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซน์

### 2.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับพัลส์วีดมอดูเลชัน (PWM)

การมอดูเลทความกว้างของพัลส์ (Pulse Width Modulation) เป็นวิธีการแบ่งรูปคลื่นใน 1 คาบของสัญญาณออกเป็นพัลส์ย่อยหลายๆพัลส์ โดยที่แต่ละพัลส์อาจมีความกว้างของพัลส์ไม่เท่ากัน ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรูปคลื่น PWM ชนิดต่างๆรวมทั้งวิธีการสร้างรูปคลื่น PWM แบบต่างๆ ซึ่งจะมีทั้งแบบสองระดับและสามระดับดังแสดงในรูปที่ 2.5



(ก). แบบ 2 ระดับ

(ข). แบบ 3 ระดับ

รูปที่ 2.5 แสดงรูปคลื่น PWM (ก). แบบ 2 ระดับ (ข). แบบ 3 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 รูปคลื่น PWM แบบ 2 ระดับและ แบบ 3 ระดับ

รูปคลื่น PWM มีอยู่ด้วยกันหลายชนิดแต่ชนิดที่นำมาใช้งานมากที่สุดและเป็นชนิดพื้นฐานที่สุดได้แก่แบบ 2 ระดับและ แบบ 3 ระดับ

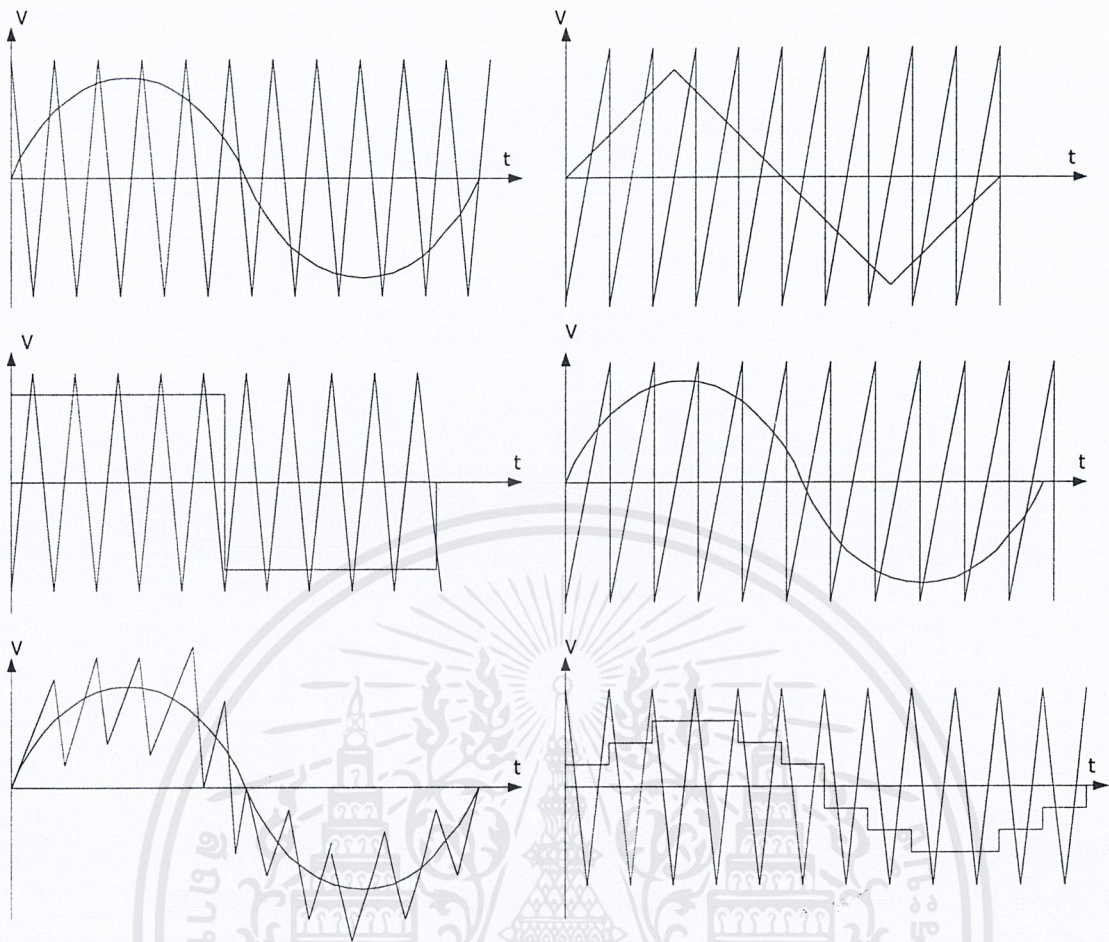
- PWM 2 ระดับเป็นรูปคลื่นที่มีการสวิตช์ระหว่างระดับอ้างอิงสองระดับคือ  $V$  , และ  $-V$
- PWM 3 ระดับเป็นรูปคลื่นที่มีการสวิตช์ระหว่างระดับอ้างอิงสามระดับคือ  $-V$ ,  $0$  , และ  $V$

รูปที่ 2.5 แสดงรูปคลื่น PWM เปรียบเทียบกับคลื่นความถี่พื้นฐาน (Fundamental) ของรูปคลื่น PWM นั้น

### 2.3.2 การสร้างรูปคลื่น PWM

รูปคลื่น PWM สามารถถูกสร้างขึ้นมาได้หลายวิธี ดังตัวอย่างต่อไปนี้

- ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ซึ่งสามารถกระทำได้โดยการเขียนโปรแกรมให้แก่ไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อส่งสัญญาณที่สอดคล้องกับมุมสวิตช์ ซึ่งผ่านทางพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ซึ่งวิธีนี้จะต้องมีการคำนวณหรือกำหนดค่ามุมสวิตช์ซึ่งออกมาเสียก่อนแล้วจึงเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำของไมโครโปรเซสเซอร์ และจะอาศัยข้อมูลในหน่วยความจำนั้นเพื่อสร้างรูปแบบ (Pattern) สัญญาณ PWM ขึ้นมา แล้วจึงส่งผ่านพอร์ตเอาต์พุตออกมา
- โดยการใช้วงจรถิเล็กทรอนิกส์ การสร้าง PWM จากวงจรถิเล็กทรอนิกส์นี้ วิธีที่สะดวกที่สุดคือใช้วงจรเปรียบเทียบ (Comparator) เช่น ไอซีเบอร์ LM 339, LM 311 และ LM 393 เป็นต้น ซึ่งสามารถทำได้ โดยการป้อนสัญญาณอินพุต 2 สัญญาณ เข้าสู่วงจรเปรียบเทียบคือ สัญญาณอ้างอิง (Reference - Signal) กับสัญญาณพาหะ (Carrier Signal) สัญญาณอ้างอิงจะมีความถี่เท่ากับรูปคลื่น PWM 1 รอบ ในขณะที่สัญญาณพาหะจะมีความถี่สูงกว่า โครงงานนี้จะใช้วิธีการสร้างสัญญาณ PWM (pulse width Modulation ) โดยวงจรถิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งวิธีนี้มุมสวิตช์ ของรูปคลื่น PWM ก็คือจุดตัดของสัญญาณทั้งสอง การสร้างแบบนี้จะเป็นการนำสัญญาณที่ใช้มาทำการเปรียบเทียบและจะทำให้หลายลักษณะดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 รูปคลื่น PWM ที่ใช้ในวงจรเปรียบเทียบ

### 2.3.3. การสร้างรูปคลื่น PWM แบบเนเทอร์อลและแบบเรกูลาร์ (Natural and Regular Form)

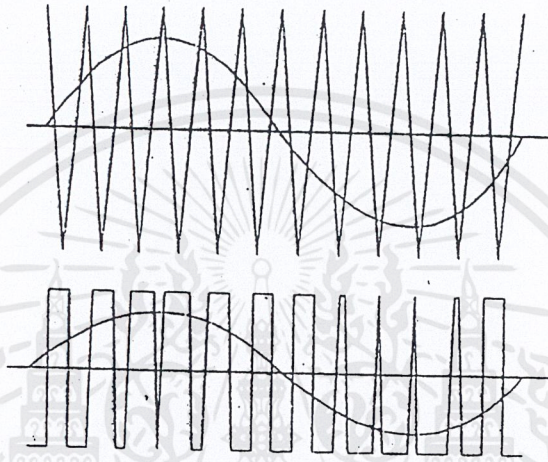
การสร้างรูปคลื่น PWM โดยการใช้วงจรเปรียบเทียบจะมีองค์ประกอบ 2 ประการที่จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปคลื่น PWM ได้แก่

- อัตราส่วนความถี่ของสัญญาณพาหะต่อสัญญาณอ้างอิง (Frequency Ratio)
- อัตราส่วนแอมพลิจูดของสัญญาณอ้างอิงต่อสัญญาณพาหะหรืออัตราส่วนการมอดูเลชัน (Modulation Ratio,  $K$ )

จากการนำทฤษฎีและข้อมูล มาคำนวณหาค่า  $K$  และถูกนำไปวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบฮาร์โมนิกส์พบว่าโดยปกติแล้วค่าอัตราส่วนการมอดูเลชันจะอยู่ในช่วงไม่เกิน 1 ค่านี้ เป็นตัวกำหนดความกว้างของพัลส์แต่ละพัลส์โดยความกว้างของพัลส์จะมากขึ้นหาก  $K$  มีค่ามากขึ้น ส่วนค่าของอัตราส่วนความถี่จะเป็นตัวกำหนดจำนวนของพัลส์

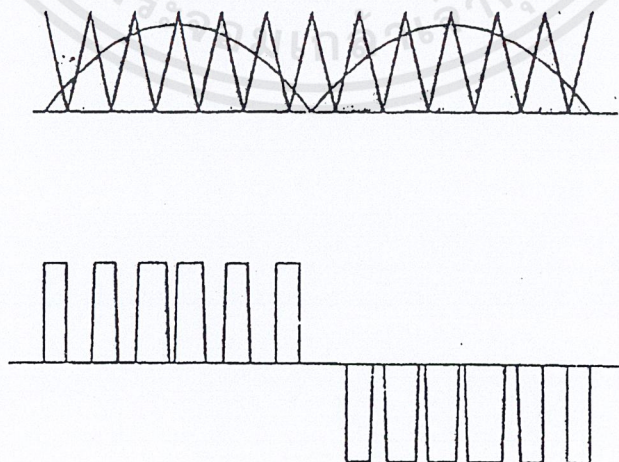
## 2.4. การสร้างรูปคลื่น PWM แบบเนเชอรัลแซมปลิง (Natural Sampling Patern)

การสร้างรูปคลื่นแบบนี้จะใช้คลื่นซายน์เป็นสัญญาณอ้างอิงและคลื่นสามเหลี่ยมเป็นสัญญาณพาหะ โดยสามารถสร้างได้ทั้งแบบ 2 ระดับและแบบ 3 ระดับ การสร้างแบบ 2 ระดับจะใช้คลื่นซายน์และคลื่นสามเหลี่ยมแบบเต็มรูปคลื่น ช่วงที่ค่าของคลื่นซายน์มากกว่า คลื่นสามเหลี่ยมจะแสดงสัญญาณเป็นบวก และช่วงที่คลื่นซายน์มีขนาดน้อยกว่านั้น จะแสดงค่าสัญญาณเป็นลบ ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การสร้างรูปคลื่น PWM แบบเนเชอรัลแซมปลิงชนิด 2 ระดับ

ในการเปรียบเทียบแบบ 3 ระดับนั้นจะใช้สัญญาณรูปซายน์ที่ผ่านการเรกติไฟยให้เป็นแบบเต็มรูปคลื่นเสียก่อน(Full wave rectifier)แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบกับคลื่นสามเหลี่ยม ที่ถูกยกระดับขึ้นไปอยู่เหนือเส้นกราวนด์(Ground) ส่วนช่วงที่คลื่นซายน์มีขนาดมากกว่าคลื่นสามเหลี่ยมในครึ่งคาบแรกการสวิตช์จะมีค่าเป็นศูนย์ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.8

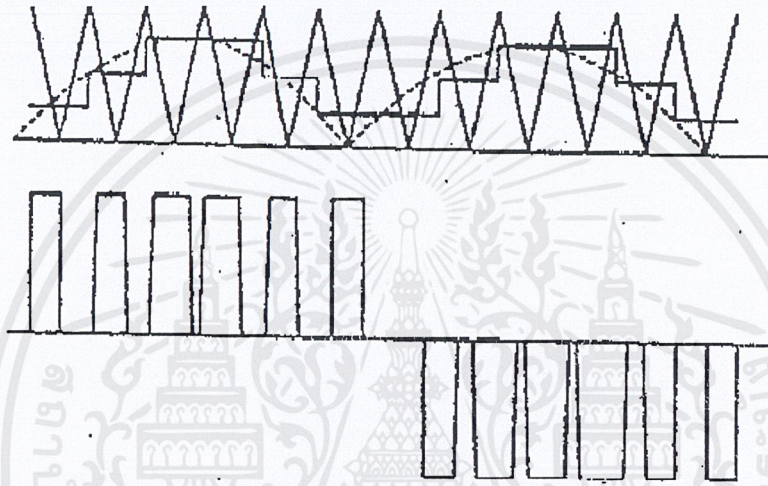


รูปที่ 2.8 การสร้างรูปคลื่น PWM แบบเนเชอรัลแซมปลิงชนิด 3 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5. การสร้างรูปคลื่น PWM แบบเรกูลาร์แซมปลิง

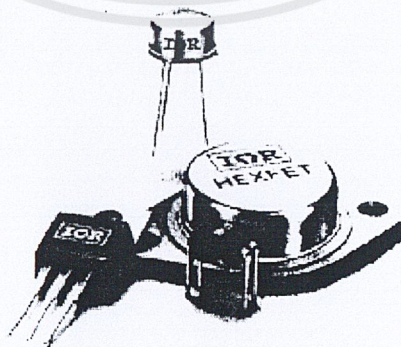
การสร้างรูปคลื่น PWM แบบนี้จะใช้หลักการแบบเดียวกันกับการสร้างรูปคลื่น PWM แบบเนเทอรอล โดยถูกดัดแปลงมาจากแบบเนเทอรอลเนื่องจากการเปรียบเทียบแบบเนเทอรอลนั้น ระหว่างการเปรียบเทียบแต่ละครั้งส่วนของคลื่นซายน์จะไม่เป็นเชิงเส้น แต่การเปรียบเทียบแบบเรกูลาร์นี้จะนำคลื่นซายน์ผ่านวงจรแซมเปิลและโฮลด์(Sample and Hold) ที่มีความถี่ของการสุ่มเท่ากับความถี่ของคลื่นสามเหลี่ยมซึ่งจะเห็นได้ว่าระหว่างการเปรียบเทียบแต่ละช่วงจะเป็นเชิงเส้น นอกจากนี้การเปรียบเทียบแบบเรกูลาร์จะสามารถทำการเปรียบเทียบแบบ 3 ระดับได้เช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.9 การสร้างรูปคลื่น PWM แบบเรกูลาร์แซมปลิง ชนิด 3 ระดับ

## 2.6 มอสเฟตกำลัง (POWER MOSFET )

ดังที่ทราบกันดีแล้วว่าทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ประเภทใช้กระแสในการควบคุมกล่าวคือต้องใช้  $I_B$  ในการควบคุมการไหลของ  $I_C$

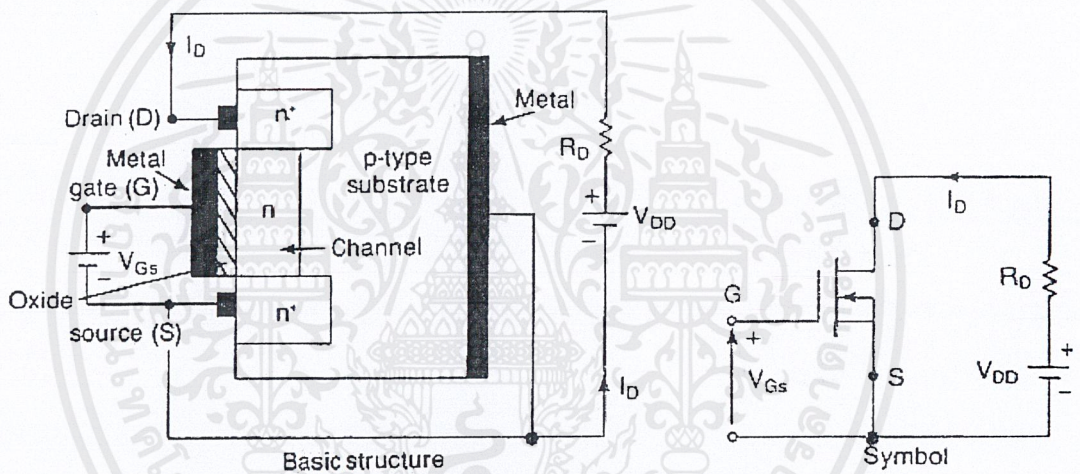


รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะภายนอกของมอสเฟต

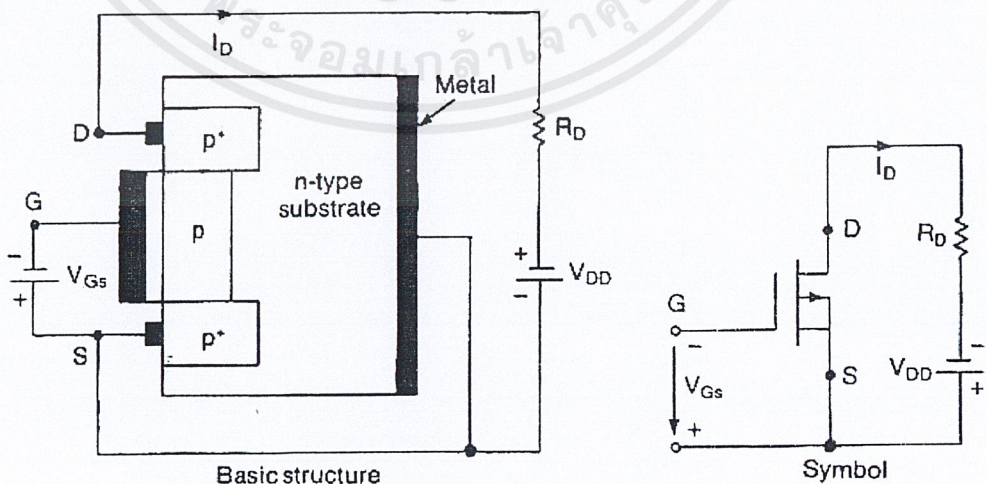
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่สำหรับมอสเฟทกำลังจะเป็นอุปกรณ์ประเภทใช้แรงดันในการควบคุม ซึ่งมอสเฟทนี้เป็นอุปกรณ์ที่มี 3 ขั้วคือ ขั้วซอร์ส(Source; S) เคน(Drain; D) และเกต (Gate; G) นอกจากนี้มอสเฟทยังแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ มอสเฟทแบบดีพลีชัน (Depletion MOSFET) เรียกสั้นๆว่า ดิมอสเฟทและมอสเฟทแบบเอนฮานซ์เมนต์ (Enhancement MOSFET) หรือเรียกว่า อิมอสเฟทแต่ละประเภทยังแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ แชนแนล n (n-Channel) และแชนแนล p (p-Channel) ซึ่งมอสเฟทจะมีคุณลักษณะดังนี้

มอสเฟทเป็นอุปกรณ์ประเภทที่ใช้แรงดันในการควบคุมและมีอิมพีแดนซ์อินพุตสูงมาก ขั้วเกตจะดึงกระแสรั่วไหลต่ำมากแค่ นาโนแอมแปร์ (nanoampere) และทรานส์คอนดักแตนซ์ (Transconductance;  $g_m$ ) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของ  $I_D$  ต่อแรงดันเกต ( $V_G$ ) เป็นตัวกำหนดคุณลักษณะการถ่ายโอนของมอสเฟท



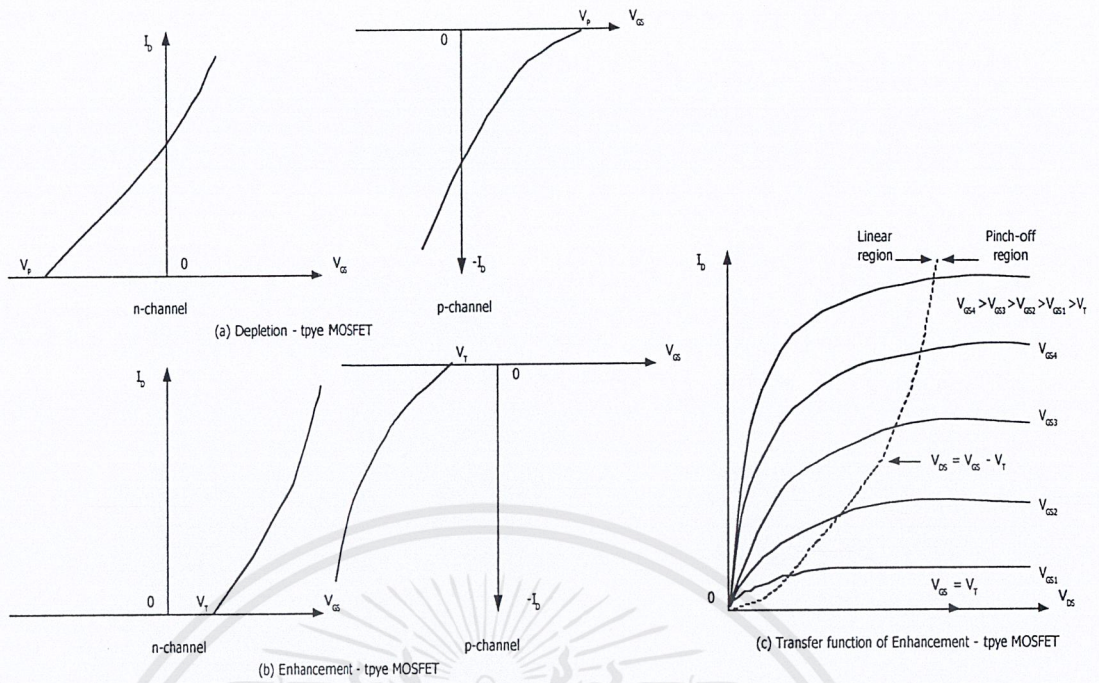
(a) n-channel depletion-type MOSFET



(b) p-channel depletion-type MOSFET

รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างภายในของดิมอสเฟท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แสดงคุณลักษณะของการถ่ายโอนของอิมอสเฟต

จากรูปที่ 2.12 จะเห็นได้ว่า 2.12 a และ 2.12 b นั้นเป็นการแสดงคุณลักษณะในการถ่ายโอนของอิมอสเฟตแบบแซนแนล n และแซนแนล p ตามลำดับ ส่วนรูปที่ 2.12 c แสดงคุณลักษณะเอาท์พุทของอิมอสเฟตแบบแซนแนล n ซึ่งมีบริเวณการทำงาน 3 บริเวณคือ

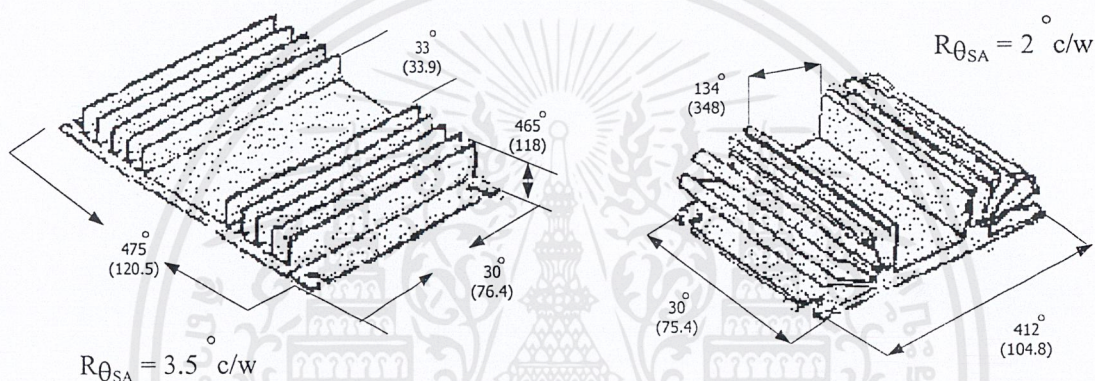
1. บริเวณคัตออฟ (Cutoff Region) เกิดขึ้นเมื่อ  $V_{GS} \leq V_T$
2. บริเวณพินช์ออฟ หรือบริเวณอิมิตัว (Pinch-off or Saturation Region) เกิดขึ้นเมื่อ  $V_{DS} \geq V_{GS} - V_T$
3. บริเวณที่เป็นเชิงเส้น (Linear Region) เกิดขึ้นเมื่อ  $V_{DS} \leq V_{GS} - V_T$

ในบริเวณที่เป็นเชิงเส้น  $I_D$  จะเปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนของ  $V_{DS}$  และเนื่องจาก  $I_D$  มีค่าสูง ขณะ  $V_D$  มีค่าต่ำ อิมอสเฟตจึงใช้บริเวณที่เป็นเชิงเส้นนี้สำหรับแสดง ปฏิกริยาในการสวิตช์ สำหรับอิมอสเฟตแรงดันเกต(หรือแรงดันอินพุท) อาจเป็นบวกหรือลบก็ได้แต่อิมอสเฟตจะตอบสนองเฉพาะแรงดันบวกอย่างเดียว ตามปกติอิมอสเฟตกำลังมักเป็นประเภทอิมอสเฟต และเนื่องจากอิมอสเฟตกำลังมีความเร็วในการสวิตช์สูงมาก (เป็น nanosecond) จึงเหมาะกับการแปลงผันที่มีความถี่สูงและมีกำลังไฟฟ้าต่ำ แต่อย่างไรก็ตามอิมอสเฟตจะมีปัญหาในการคายประจุไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Discharge) ภายในตัวเอง จึงต้องบำรุงรักษาเป็นพิเศษ นอกจากนี้การป้องกันมอสเฟตขณะเกิดฟลตต์แบบลัดวงจร (Short Circuit Fault) ยังทำได้ค่อนข้างยาก

## 2.7. การระบายความร้อน (HEATSINKING)

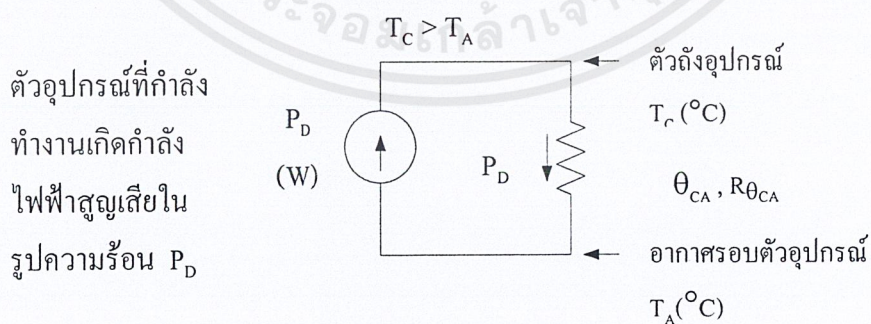
ตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทุกชนิด ในขณะที่ทำงานจะเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power Dissipation) ในรูปของความร้อน ถ้าความร้อนนั้น ได้รับการถ่ายเท ออกมาไม่เพียงพอ อุณหภูมิของตัวอุปกรณ์นั้นจะเพิ่มขึ้นจนอาจทำให้ตัวอุปกรณ์นั้นเสียหายได้อย่างถาวร ถึงแม้ว่า ตัวอุปกรณ์จะไม่เสียหาย ความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัวอุปกรณ์ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบ

การพิจารณาการระบายความร้อนให้กับตัวอุปกรณ์เป็นขั้นตอนที่จำเป็นในการออกแบบที่ไม่สามารถจะถูกละเลย



รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างแผ่นระบายความร้อนขนาดต่างๆ

### 2.7.1. ความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance)



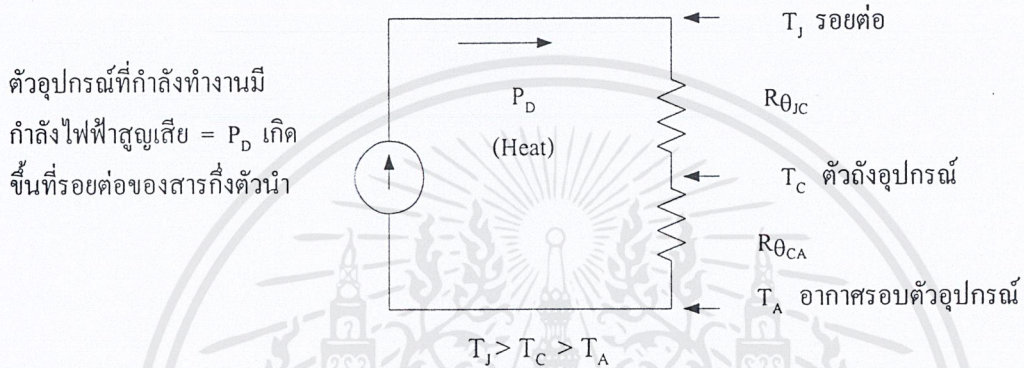
รูปที่ 2.14 วงจรเสมือนของการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนของตัวอุปกรณ์สามารถเขียนเป็นวงจรเสมือนได้ดังรูปที่ 2.14 ตัวอุปกรณ์ที่กำลังทำงาน มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียเฉลี่ยเกิดขึ้น  $P_D$  วัตต์ ทำให้มีอุณหภูมิที่ตัวถังสูงขึ้น ถ้าอุณหภูมิที่ตัวเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงของอุปกรณ์มีค่า  $T_C$  °C และอุณหภูมิของ อากาศ รอบๆมีค่า  $T_A$  °C ความร้อน  $P_D$  วัตต์จะถูกถ่ายเทจากตัวถังของอุปกรณ์สู่อากาศ โดยผ่านตัวกลางคืออากาศ รอบๆตัวถัง ค่าความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุใดๆเรียกว่า ค่าความต้านทานความร้อน  $\theta$  หรือ  $R_\theta$  นิยามโดย

$$\theta_{xy} = R_{\theta_{xy}} = \frac{T_x - T_y}{P_D} \quad \text{°C/W} \quad (2.3)$$

2.7.2. การถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ



รูปที่ 2.15 การถ่ายเทความร้อนจากรอยต่อของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำระบายออกสู่อากาศ รอบๆ

ความร้อนที่เกิดขึ้นที่ชิ้นสารกึ่งตัวนำ หรือ บริเวณรอยต่อ จะถ่ายเทจากชิ้นสารกึ่งตัวนำ ที่มีอุณหภูมิ  $T_J$  ออกมาสู่ตัวถังของตัวอุปกรณ์ โดยการนำความร้อนจากชิ้นสารกึ่งตัวนำออกมาสู่ตัวถังอุณหภูมิที่ตัวถังจะมีค่า  $T_C$  ซึ่งจะเย็นกว่าอุณหภูมิที่รอยต่อ

ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนจากชิ้นสารกึ่งตัวนำออกมาสู่ตัวถังจะมีค่าความต้านทานความร้อนเท่ากับ  $R_{\theta_{JC}}$  สามารถเขียนสมการได้เป็น

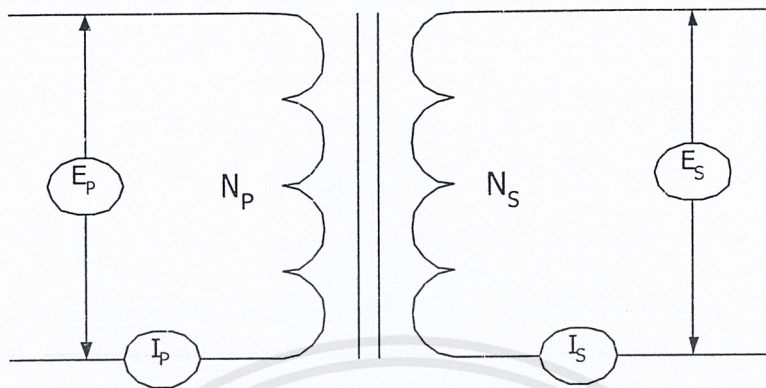
$$T_J - T_C = R_{\theta_{JC}} \cdot P_D \quad (2.4)$$

2.8. ส่วนประกอบของหม้อแปลง

หม้อแปลงคืออุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งซึ่งไม่ภาคส่วนใดเคลื่อนที่ หน้าที่หลักของหม้อแปลงคือสามารถส่งผ่านกำลังงานระหว่างขดลวดได้โดยผ่านทางแกนอาจจะเป็นแกนเหล็ก เฟอร์ไรต์หรือ อากาศก็ได้ การส่งผ่านระหว่างขดลวดในหม้อแปลงอาจจะเป็นกระแสหรือแรงดันอย่างใดอย่างหนึ่ง เมื่อกระแสไหลผ่านขดลวดจะเกิดมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นทำให้มีการเหนี่ยวนำเกิดขึ้นด้วย ในนี้สามารถเพิ่มค่าแรงดันหรือกระแสได้โดยการเพิ่มจำนวนรอบของลวดที่พันในบอบบิ้น ถ้าแกนของหม้อแปลงเป็นแกนเหล็กนั้นจะทำให้การเหนี่ยวนำที่ขดลวดของหม้อแปลงดีขึ้นกว่าหม้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงที่เป็นแกนอากาศ ผลที่ได้ที่ขดลวดทุติยภูมินี้เรียกว่า Inductance Electromotive Force(EMF) แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงวงจรเสมือนของหม้อแปลง

เมื่อมีแรงดันตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิ จะเกิดมีสนามแม่เหล็กที่แกนของหม้อแปลงแล้วส่งผ่านไปยังขดลวดทุติยภูมิปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการเกิดการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งแรงดันที่ได้ในขดลวดทุติยภูมินั้นจะขึ้นกับขนาด ความยาวของเส้นลวด อัตราส่วนของจำนวนรอบและแรงดันที่ทางด้านขดลวดปฐมภูมิ

หม้อแปลงในอุดมคติ กำลังที่ขดลวดปฐมภูมิจะเท่ากับกำลังที่ขดลวดทุติยภูมิ ไม่ว่าจะทำเป็นหม้อแปลงแบบ Step up หรือ Step down ดังสมการข้างล่าง

$$P_{pri} = I_{pri} \times V_{pri} \tag{2.5}$$

$$P_{sec} = I_{sec} \times V_{sec} \tag{2.6}$$

$$P_{pri} = P_{sec} \tag{2.7}$$

หม้อแปลงจะมีความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิซึ่งแรงดันที่ตกคร่อมและกระแสที่ไหลในขดลวดทั้งสองสามารถแสดงความสัมพันธ์ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s} \tag{2.8}$$

และ 
$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{I_s}{I_p} \tag{2.9}$$

จากรูปที่ 2.16 จะได้ความสัมพันธ์ของสมการดังต่อไปนี้

$$E_p = \frac{E_s N_p}{N_s} = \frac{E_s I_s}{I_p} \tag{2.10}$$

$$E_s = \frac{E_p N_s}{N_p} = \frac{E_p I_p}{I_s} \quad (2.11)$$

$$N_p = \frac{E_p N_s}{E_s} = \frac{N_s I_s}{I_p} \quad (2.12)$$

$$N_s = \frac{E_s N_p}{E_p} = \frac{N_p I_p}{I_s} \quad (2.13)$$

$$I_p = \frac{E_s I_s}{E_p} = \frac{N_s I_s}{N_p} \quad (2.14)$$

$$I_s = \frac{E_p I_p}{E_s} = \frac{N_p I_p}{N_s} \quad (2.15)$$

อัตราส่วนรอบของหม้อแปลงกำหนดไว้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$\text{สำหรับหม้อแปลง Step up} \quad T = \frac{N_s}{N_p} \quad (2.16)$$

$$\text{สำหรับหม้อแปลง Step down} \quad T = \frac{N_p}{N_s} \quad (2.17)$$

อัตราส่วนความถี่คึกันของหม้อแปลงสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$Z = T^2 \quad (2.18)$$

ความถี่คึกันของขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\text{สำหรับหม้อแปลง Step up} \quad Z_p = \frac{Z_s}{Z} \quad (2.19)$$

$$Z_s = Z \times Z_p \quad (2.20)$$

$$\text{สำหรับหม้อแปลง Step down} \quad Z_p = Z \times Z_s \quad (2.21)$$

$$Z_s = \frac{Z_p}{Z} \quad (2.22)$$

$E_p$  คือแรงดันตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิมิหน่วยเป็นโวลท์

$E_s$  คือแรงดันตกคร่อมขดลวดทุติยภูมิมิหน่วยเป็นโวลท์

$N_p$  คือจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ

$N_s$  คือจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ

$I_p$  คือกระแสที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิมิหน่วยเป็นแอมป์

$I_s$  คือกระแสที่ไหลผ่านขดลวดทุติยภูมิมิหน่วยเป็นแอมป์

$T$  คืออัตราส่วนรอบ

$Z$  คืออัตราความถี่คึกัน

$Z_p$  คือความถี่คึกันของขดลวดปฐมภูมิมิหน่วยเป็นโอห์ม

$Z_s$  คือความถี่คึกันของขดลวดทุติยภูมิมิหน่วยเป็นโอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.1 การสูญเสียในหม้อแปลง

หม้อแปลงจะทำหน้าที่รักษาระดับการจ่ายพลังงานให้แก่โหลด โดยอัตราโวลต์ซึ่งหม้อแปลงจะจ่ายพลังงานให้โหลดตามที่ต้องการแต่ในขณะที่ไม่มีโหลดต่อที่ขดลวดทุติยภูมิ กระแสจะไม่ไหลผ่านตัวหม้อแปลงเลยแต่กระแสนี้คงไหลวนที่ขดลวดปฐมภูมิซึ่งกระแสนี้จะทำให้เกิดมีการเหนี่ยวนำในขดลวดปฐมภูมิ ฉะนั้นจะทำให้เกิดมีการสูญเสียในหม้อแปลงในรูปของความร้อนที่เกิดขึ้นที่ขดลวดและแกนของหม้อแปลง

#### (ก) Copper loss

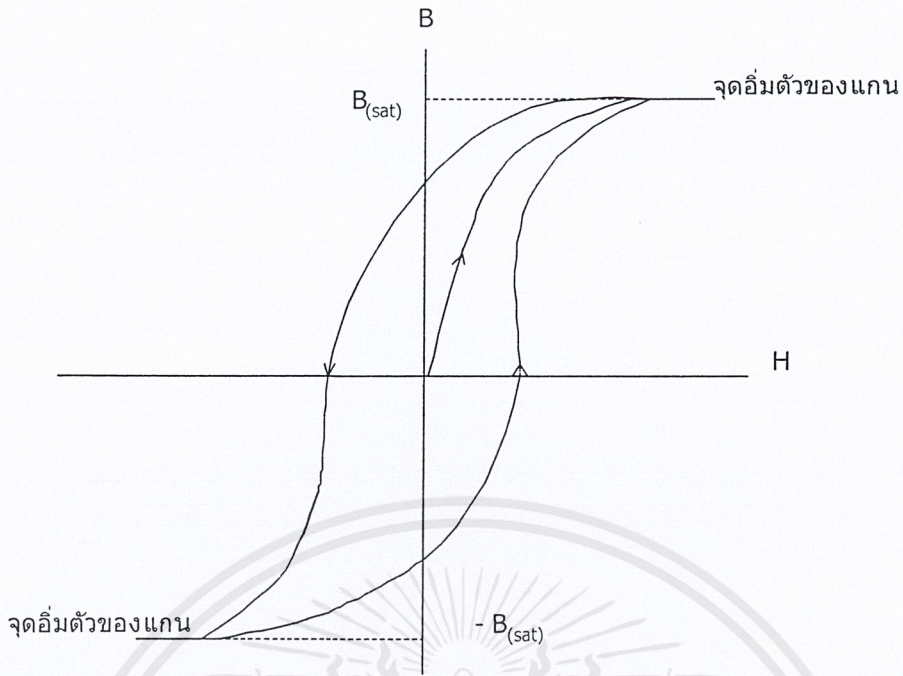
ความร้อนที่เกิดขึ้นในเส้นลวดตัวนำจะเกิดเป็นผลของความต้านทาน โดยมีผลกระทบต่อการใช้ของกระแสการสูญเสียสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P_{\text{loss}} = I^2 R \quad (2.23)$$

ซึ่งในที่นี้จะไม่คำนวณค่าความถี่  $X_L$  จะคำนวณเฉพาะค่าความต้านทานเท่านั้น เพราะค่าความต้านทานในขดลวดตัวนำ  $Z$  และ  $X_L$  ไม่มีผลต่อการไหลของกระแส เมื่อกระแสไหลเพิ่มขึ้นมาก ความร้อนก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยที่ค่า  $I^2 R$  ที่สูญเสียในขดลวดตัวนำนี้เรียกว่า Copper loss

#### (ข) การสูญเสียจากเส้นโค้งฮิสเทอรีซิส (Hysteresis Curve Loss)

เส้นโค้งฮิสเทอรีซิสจะเป็นตัวแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (B) ที่เกิดขึ้นในแกนกับความเข้มของสนามแม่เหล็ก (H) ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของขดลวดที่พันบนแกนดังในรูปที่ 2.17 ซึ่งผลกระทบที่มีในเวลากระแสไหลผ่านขดลวดตัวนำที่พันรอบแกนนี้จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กนั้นเป็นจำนวน Molecule ของเหล็กเพิ่มขึ้น ฉะนั้นแกนควรจะมีการ Charge และ Discharge ถ้าไม่มีจะทำให้แกนเกิดการอิ่มตัว (Saturation) ของค่าความหนาแน่นฟลักซ์ B ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นการสูญเสียในรูปของความร้อน  $I^2 R$  เช่นกัน



รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะที่สมบูรณ์ของเส้นการสูญเสียพลังงานฮิสเตอร์รีซิส

(ค) Eddy Current

ในหม้อแปลงนั้นการเหนี่ยวนำที่เกิดจากกระแสไหลไม่ได้เกิดขึ้นในเฉพาะขดลวดตัวนำเท่านั้นแต่ยังทำให้แกนเกิดการเหนี่ยวนำด้วยโดยมีกระแสไหลวนในแกนเหล็ก กระแสนี้จะทำให้เกิดมีความร้อนในแกนเหล็กในรูปของ  $I^2R$  เช่นกัน

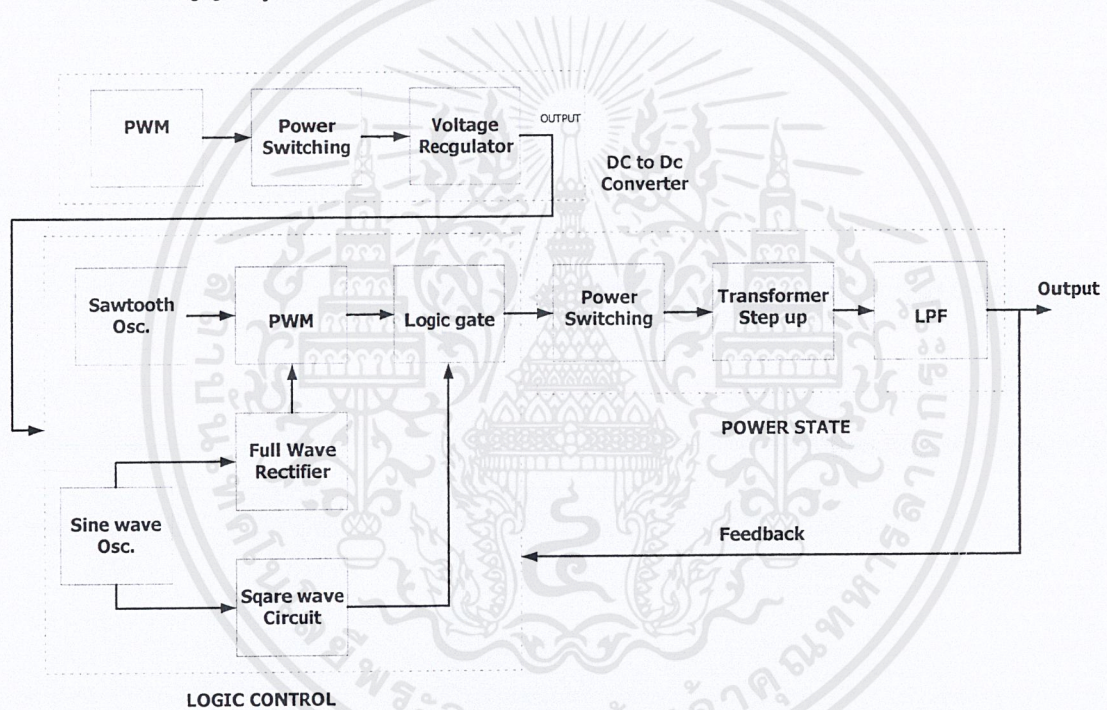
(ง) Iron Loss

เป็นผลรวมของการสูญเสียจาก Hysteresis และ Eddy Current ซึ่งจะเรียกว่า การสูญเสียในแกนเหล็ก (Iron loss) โดยค่าการสูญเสียในแกนเหล็กมีผลน้อยมาก เหมือนการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของโหลด ที่ขดลวดทุกขดของหม้อแปลง

### บทที่ 3

#### รายละเอียดในการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบ และการสร้างวงจรส่วนต่างๆของอินเวอร์เตอร์โดยนำหลักการจากทฤษฎีและหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 มาประกอบกับการออกแบบและการสร้างวงจรต่างๆซึ่งในการออกแบบวงจรจะมีแผนผังแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.1 ในแผนผังนี้ได้แสดงถึงวงจรการแปลงไฟตรงให้เป็นไฟตรงที่เป็นลบ วงจรสร้างรูปคลื่นซายน์ วงจรเปรียบเทียบ PWM วงจรสร้างสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม วงจรขับเกท รวมไปถึงวงจรคลอว์ด้วย

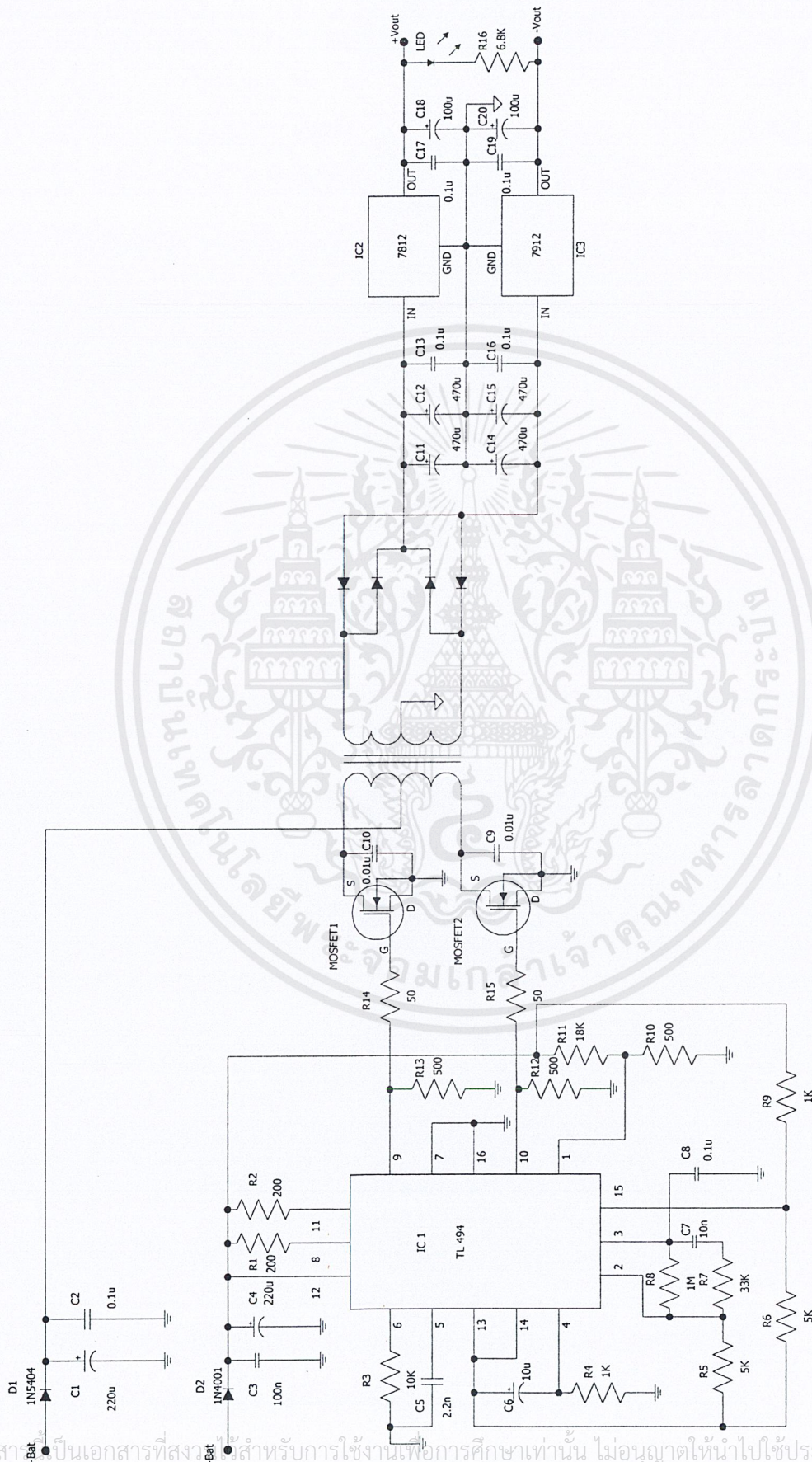


รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังโดยรวมของระบบอินเวอร์เตอร์ ชนิด Push-Pull

#### การทำงานของวงจรในส่วนต่างๆ

##### 3.1. วงจร DC to DC Converter

วงจรนี้ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันค่าบวกและลบ 12 โวลท์ให้คงที่เพื่อนำไปจ่ายให้แก่ระบบทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 3.2



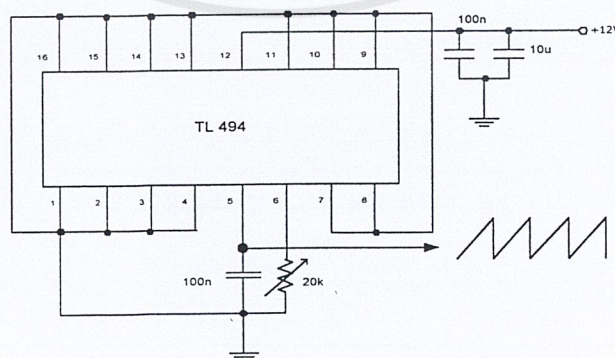
รูปที่ 3.2 แสดงวงจร DC to DC Converter ที่ให้กำเนิดแรงดัน  $\pm 12\text{ V}$  เพื่อจ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.2 นั้นจะเป็นวงจรที่สร้างแรงดันตรงที่มีทั้งค่าบวก และค่าลบเพื่อใช้ในวงจรทั้งหมดของอินเวอร์เตอร์โดยวงจรนี้จะใช้มอสเฟต 2 ตัวเพื่อเป็นสวิทช์ ปิด- เปิดให้กระแสไหลไปผ่านหม้อแปลงซึ่งหม้อแปลงที่ใช้จะเป็นแบบแทปกกลางโดยที่ขาเกทของมอสเฟตทั้งสองตัว ในวงจรจะถูกทริกด้วยสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม ซึ่งสัญญาณสี่เหลี่ยมนี้ได้มาจากขาที่ 9 และ 10 ของไอซีเบอร์ TL 494 ผ่านความต้านทานเกทที่มีค่า  $50 \Omega$  สัญญาณสี่เหลี่ยมทั้งสองที่มาจับขาเกทของมอสเฟตจะเป็นสัญญาณที่กลับกัน 180 องศา การทำเช่นนี้ก็เพื่อให้มอสเฟตสลับกันทำการสวิทช์ และเมื่อมอสเฟตตัวที่ 1 “ON” กระแสจากขดลวด ปฐมภูมิจะไหลย้อนกลับไปที่ตัวมอสเฟต 1 อาจทำให้แรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้เช่นเดียวกันเมื่อมอสเฟตตัวที่ 2 “ON” กระแสจะไหลไปผ่านไปที่ตัวมอสเฟต 2 นั้นอาจจะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมขดลวดทุติยภูมิมีค่าเป็นลบหรือบวกได้ ค่าแรงดันทั้งสองค่าที่ได้คือบวกและ ลบนั้นจะนำไปผ่านไดโอดที่ต่อแบบบริดจ์ไว้ ซึ่งค่าแรงดันที่ได้เมื่อผ่านไดโอดแล้วมีค่าประมาณ +16 โวลต์และ -16 โวลต์ หลังจากนั้นจะนำแรงดันค่าบวกไปผ่านตัวไอซีเบอร์ 7812 และแรงดันค่าลบไปผ่านไอซีเบอร์ 7912 เพื่อให้ได้แรงดันตรงคงที่ที่  $\pm 12$  โวลต์

### 3.1.1 การสร้างรูปคลื่นฟันเลื่อย

หน้าที่ของวงจรรูปฟันเลื่อย ในโครงการนี้คือใช้เป็นสัญญาณพาหะไปเปรียบเทียบกับสัญญาณคลื่นขายน้ เพื่อให้ได้สัญญาณ PWM ซึ่งการออกแบบสัญญาณรูปฟันเลื่อยในระบบประกอบด้วยสัญญาณรูปฟันเลื่อย 2 ชุดที่มีการกลับเฟทกัน 180 องศา การทำเช่นนี้ก็เพื่อให้การสวิทช์ของมอสเฟตสองตัวที่อยู่ทางด้านเอาต์พุตสลับกันทำงานเนื่องจากสัญญาณฟันเลื่อยนี้จะทำให้สัญญาณ PWM ไม่เกิดพร้อมกัน ซึ่งจะทำให้เราได้สัญญาณทางด้านเอาต์พุตเป็นคลื่นขายน้ ในโครงการนี้เราสร้างรูปคลื่นฟันเลื่อยด้วย IC เบอร์ TL 494 ไอซีเบอร์นี้จะมิงจรกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นฟันเลื่อยข้างในตัวไอซีเอง ซึ่งจะได้สัญญาณฟันเลื่อยนี้จากขา 5 ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรสร้างสัญญาณรูปฟันเลื่อย

### 3.2. วงจรกำเนิดคลื่นชานซ์ความถี่ 50 Hz

วงจรกำเนิดคลื่นรูปชานซ์นี้ จะเลือกใช้วงจรกำเนิดความถี่แบบ Wein Bridge และวงจรนี้จะใช้ ไอซี เบอร์ TL 082 วงจรแบบนี้สามารถสร้างคลื่นชานซ์ 50 Hz ให้มีความถี่คงที่ ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งรูปชานซ์ที่ได้นี้จะนำไปใช้งานใน 2 ลักษณะคือ

1. จะนำสัญญาณชานซ์นี้ไปทำรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเพื่อเป็นตัวกำหนด timing ให้กับวงจร Switching ของอินเวอร์เตอร์ การทำเช่นนี้ก็เพื่อไม่ให้สวิทช์ 2 ตัว ที่ต่อแบบ Push Pull ทางด้านเอาท์พุท เกิดการสวิทช์ (on) พร้อมกัน ถ้าสวิทช์ 2 ตัว นี้ “on” พร้อมกันแล้วการสร้างสัญญาณพัลส์นั้นจะไม่ได้พัลส์ที่ทั้งด้านบวกและลบ

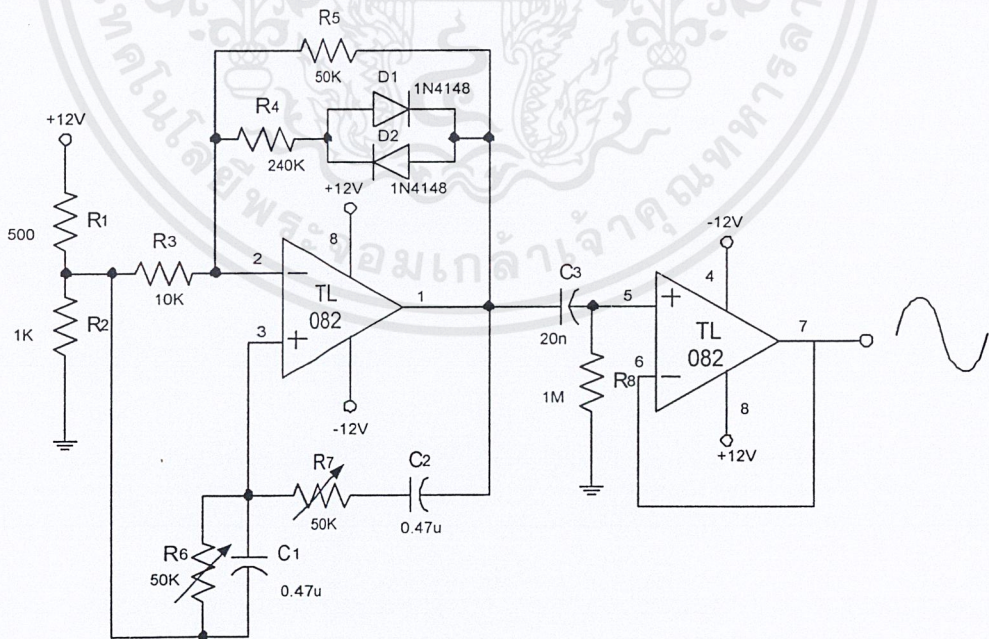
2. จะนำสัญญาณชานซ์นี้ไปเป็นสัญญาณอีกตัวที่ทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณจากขาออกของ Power State โดยจะเรียกภาคส่วนนี้ว่า Error Amp จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ทางขาออกของ Error Amp ตัวนี้ไปทำให้เป็นสัญญาณแบบเต็มคลื่น

การหาค่าความถี่ของวงจรกำเนิดคลื่นรูปชานซ์แบบ Wien Bridge มีดังสมการ

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3.1)$$

ซึ่งค่า  $R_6 = R_7 = R$

$C_1 = C_2 = C$



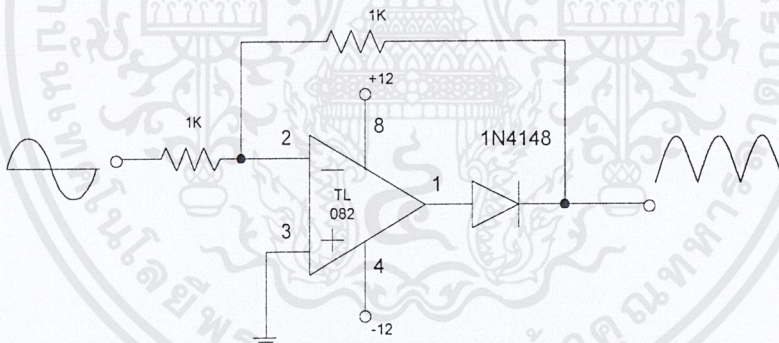
รูปที่ 3.4 วงจรกำเนิดคลื่นรูปชานซ์ 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแบบ Wien Bridge จะเกิดการกำเนิดสัญญาณได้นั้นจะขึ้นกับการทำวงจรบริดจ์ระหว่างความต้านทาน 2 ตัว และตัวเก็บประจุ 2 ตัวนั้น ค่าของความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุทั้งสองตัวจะต้องมีค่าเท่ากันรวมถึงค่าความต้านทานที่ต่อแบบบริดจ์นั้นก็จะต้องมีค่าเท่ากัน จึงจะทำให้เกิดการกำเนิดสัญญาณได้ แต่ถ้าค่าของทั้งสองที่กล่าวมาข้างต้นไม่เท่ากันแล้วก็จะไม่มีการกำเนิดสัญญาณหรืออีกอย่างสัญญาณที่ได้อาจถูกตัดที่ยอดสุดของสัญญาณก็ได้

### วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full wave Rectifier)

วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นนี้ทำหน้าที่ตัดรูปคลื่นไซน์ 50Hz ให้เป็นแบบเต็มคลื่น ซึ่งวงจรจะทำให้สัญญาณที่เป็นแบบเต็มรูปคลื่นที่ต่อซิกกันอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะแตกต่างจากวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นที่ใช้ไดโอด เพราะว่าเมื่อป้อนสัญญาณอินพุตที่เป็นรูปไซน์ให้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ในขณะที่ช่วงสัญญาณขาขึ้นลงมาใกล้กับจุดศูนย์ ไดโอดชุดแรกกับชุดที่สองจะสลับกันทำงาน แต่ไดโอดจะไม่ทำงานต่อเนื่องเพราะว่าไดโอดทั้งสองตัวจะไม่ทำงานจนกว่าสัญญาณจะมีแรงดัน  $V_{TH}$  ตกคร่อมที่ตัวมัน 0.7 V เพราะฉะนั้นจึงเกิดมีช่องว่างระหว่างรูปคลื่น ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจร Full wave Rectifier

ด้วยเหตุนี้จึงได้ออกแบบวงจร Full wave Rectifier แบบที่ใช้ Op-Amp ซึ่งหลักการการทำงานของวงจรมีดังนี้

1. เมื่อสัญญาณอินพุตทางด้านบวกเข้ามาที่วงจร Full wave rectifier วงจรจะป้อนกระแสผ่านความต้านทานย้อนกลับที่มีค่า  $1K\Omega$  ไปทางเอาต์พุต ในกรณีนี้ Op-Amp ทำงานเป็นวงจร Inverting Amp แบบทั่วๆ ไปที่ไม่มีการขยาย ในขณะที่ทางด้านเอาต์พุตจะได้รูปคลื่นขาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

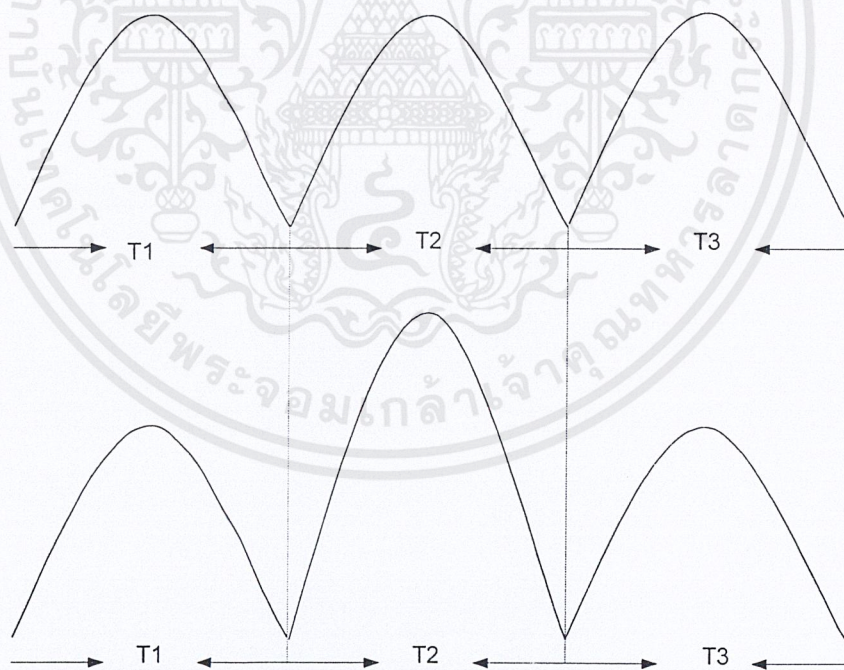
ที่เป็นซิกลอปแต่เนื่องจากขาที่ 1 ของ TL 082 มีศักดาบวกอยู่จึงทำให้ไดโอดถูกไบอัสทางตรงดังนั้นทางด้านขาออกจะมีสัญญาณเป็นบวก

2. เมื่อมีสัญญาณอินพุตที่เป็นซิกลอปเข้ามาที่วงจร Full wave rectifier จะทำให้ทางด้านขาออกของ Inverting Amp มีค่าเป็นบวกและไดโอดในขณะนี้จะได้รับการไบอัสย้อนกลับทำให้ไม่ทำงาน ดังนั้นที่ทางด้านขาออกจะได้สัญญาณเป็นซิกลอปอีกลูก จากหลักการข้างบนจะได้สัญญาณแบบเต็มรูปคลื่นที่สมบูรณ์ มากโดยไม่มีช่องว่างระหว่างรูปคลื่นเลย

### ข้อดีและข้อเสียของวงจร

คือจะได้สัญญาณรูปคลื่นซายน์เต็มรูปคลื่นที่สมบูรณ์มากๆและที่จุดรอยต่อจะต่อได้อย่างสนิท แต่ว่าวงจรเรียงกระแสแบบนี้เวลาที่ออกแบบต้องให้ค่าความต้านทานทั้งสองตัวมีค่าเท่ากัน ถ้าให้ค่าความต้านทานตัวใดตัวหนึ่งมากกว่าจะทำให้วงจรมีอัตราการขยายเกิดขึ้น

เมื่อวงจรหากมีอัตราการขยายจะเป็นผลต่อสัญญาณเต็มรูปคลื่นที่ทางด้านขาออกเพราะว่าสัญญาณจะมีการขยายแต่ซิกเดียวนี้เป็นข้อเสียหนึ่งของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นนี้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงรูปคลื่นซายน์ในเวลาที่ไม่มี การขยาย และมีการขยายของ Op-Amp ในวงจร

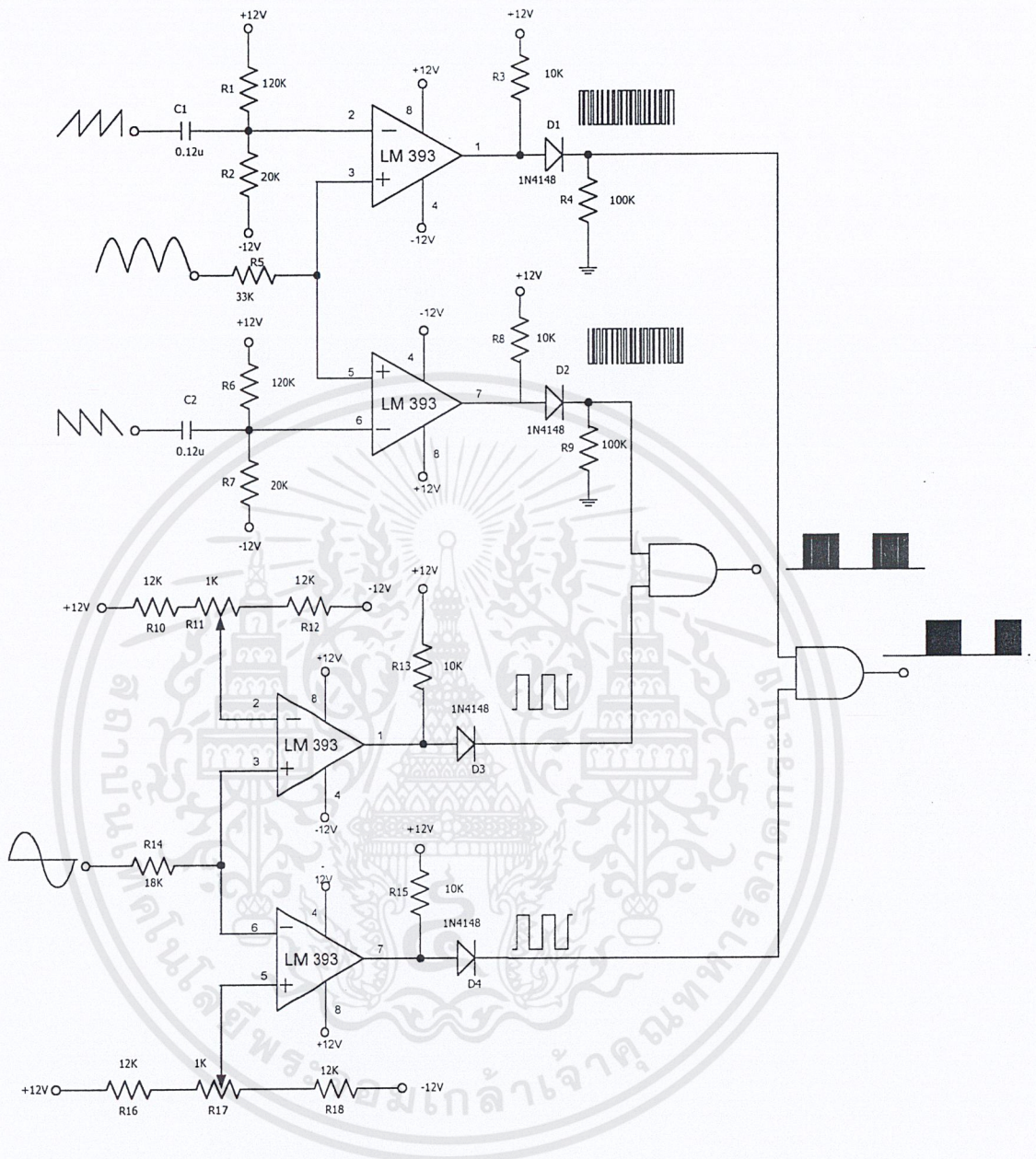
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.6 รูปคลื่นชานัน์ คือส่วนที่ได้จากการให้ไบอัสตรงที่ไดโอด ดังนั้นจึงไม่ถูกขยายตามคลื่นที่ถัดไปเนื่องจากเป็นคลื่นที่ถูกขยายโดยอัตราส่วนของ ตามวงจร Inverting Amp

### 3.3 วงจร PWM (Pulse Width Modulation Circuit)

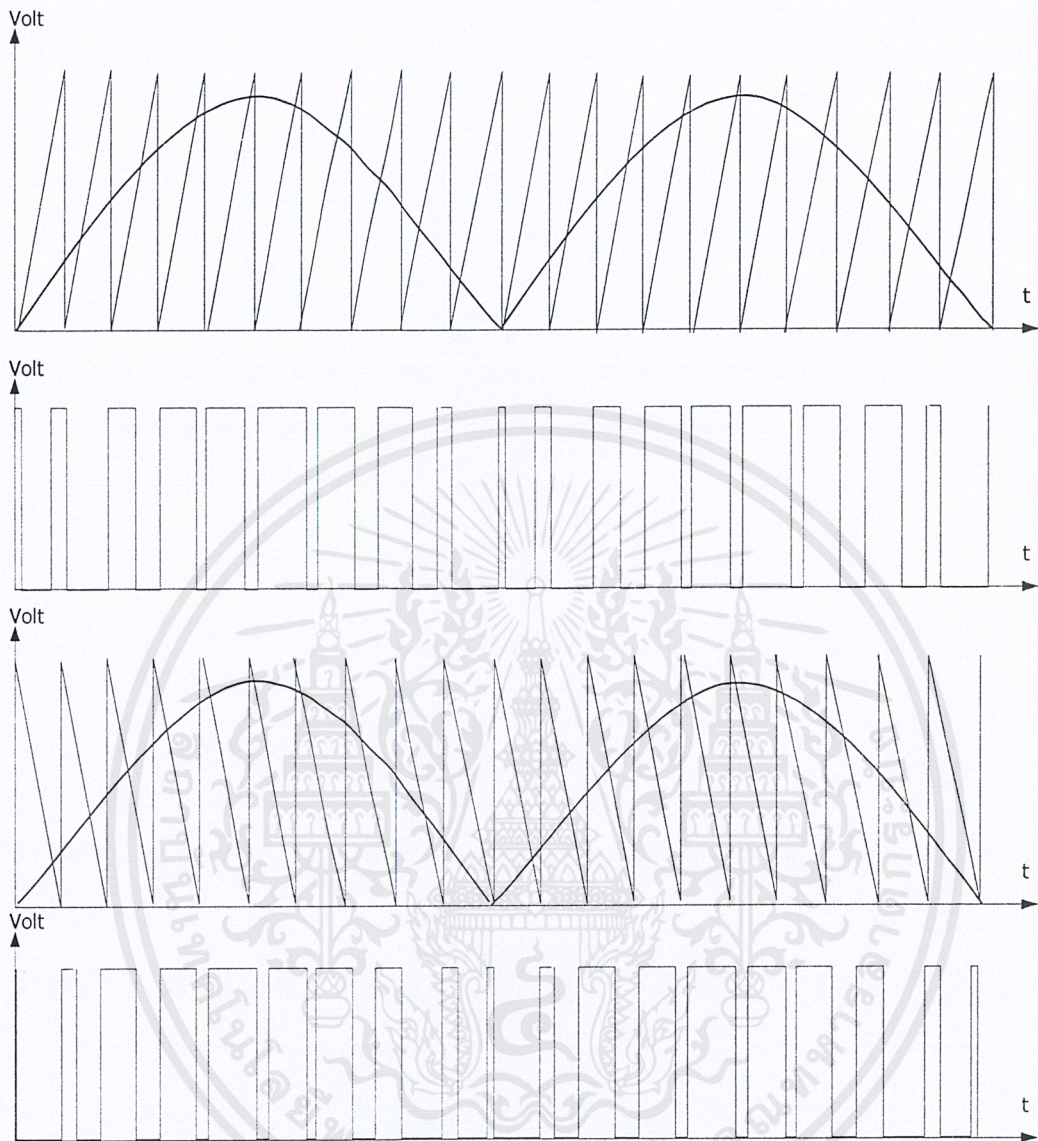
วงจร PWM นี้จะใช้หลักการที่นำสัญญาณรูปฟันเลื่อยมาเปรียบเทียบกับ สัญญาณชานัน์แบบเต็มรูปคลื่น แต่จะต้องทำสัญญาณ PWM ออกเป็นสองชุด เพื่อนำไปเป็นสัญญาณที่ไปขับขาเกทของ มอสเฟต 2 ตัวที่ วงจร Push Pull Inverter ในการออกแบบต้องหลีกเลี่ยงปัญหาที่ PWM ทั้งสองมีเฟส ในเวลา ON ตรงกัน ดังนั้นจึงต้องทำให้สัญญาณรูปคลื่นฟันเลื่อยทั้งสองที่จะมาทำการเปรียบเทียบกับ คลื่นชานัน์เต็มรูปคลื่นนั้นมีเฟสต่างกัน 180 องศา การทำเช่นนี้เพื่อให้สัญญาณ PWM 2 สัญญาณมีเฟส แตกต่างกัน

ผลที่ได้ก็คือสัญญาณเอาท์พุท PWM ตัวที่เล็กที่สุดจะไม่ชนกันเพราะผลของการทำเฟสตรงข้าม กัน 180 องศาของรูปคลื่นฟันเลื่อยดังนั้นจะทำให้ PWM ตัวที่เล็กที่สุดจะเลื่อมกันอยู่คนละด้านของ สัญญาณ PWM และสัญญาณ PWM ที่ได้จะนำไปเป็นสัญญาณอินพุทของภาคขับขาเกท นี่เป็นการแก้ ปัญหาที่ทำให้เกท "ON" พร้อมกัน



รูปที่ 3.7 วงจรเปรียบเทียบ PWM (PWM Comparator)รวมไปถึง AND GATE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 รูปคลื่นที่ได้จากวงจร PWM

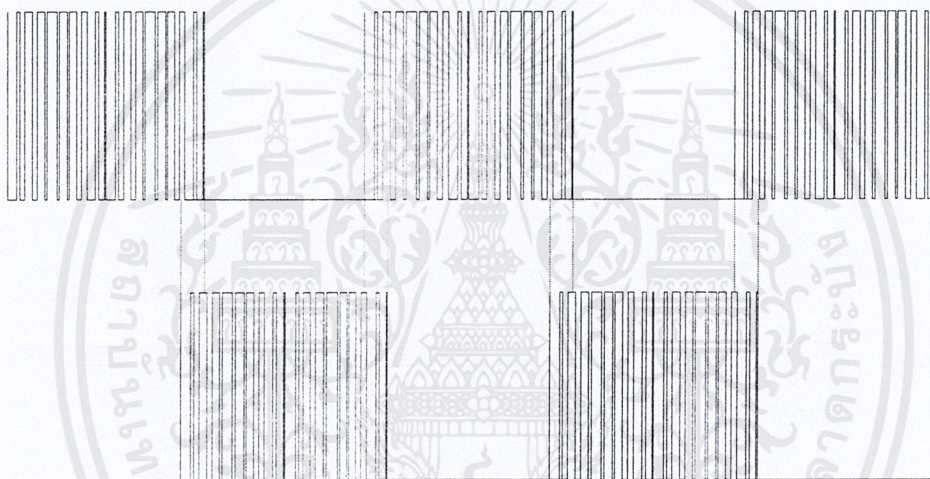
จากรูปที่ 3.7 ผลของการทำ PWM นี้จะเห็นได้ว่าสัญญาณทั้งสองนั้นจะไม่สามารถตรงกันได้ และไม่สามารถทำให้เกททั้งสองตัวนั้นทำงานพร้อมกัน นี่เป็นเหตุผลที่ทำให้การกลับเฟสของสัญญาณฟันเลื่อยก็เพื่อไม่ให้สัญญาณที่ได้หลังจากทำการ PWM นั้นมีเฟสตรงกัน

อีกเหตุผลหนึ่งคือต้องการให้สัญญาณพัลส์ที่ได้จากการ PWM นั้นมีการซ้อนทับกันอยู่เล็กน้อย (Overlap) ซึ่งสัญญาณที่ได้จะนำไปเป็นสัญญาณอินพุทของมอสเฟตทั้งสองตัวเพื่อให้มอสเฟตกลับกันทำงาน ซึ่งการทำเช่นนี้ก็เพื่อให้มีการทำงานที่ต่อเนื่องกันและจะได้สัญญาณชาน์ทางด้านขาออกที่ต่อเนื่องสวยงามไม่ทำให้สัญญาณที่ขาออกขาดในขณะที่สัญญาณเข้าสู่ศูนย์ โดยการควบคุมนี้จะใช้

สัญญาณสี่เหลี่ยมทำลอจิกแอนด์ ( Logic AND) โดยตรงกับ PWM เพราะฉะนั้นเวลาที่ทำการแอนสัญญาณกันแล้วจุดที่ซ้อนทับกันนั้น(Overlap) ก็คือทางด้านส่วนปลายของสัญญาณ PWM ตัวที่เล็กที่สุดจะทำให้เฟทนั้นทำงานไม่ตรงกัน ดังนั้นชุดขับขาเกททั้งสองไม่สามารถทำงานพร้อมกันแน่นอนซึ่งมีผลต่อชุด Power MOSFET Switching จะสลับกันทำงานอย่างต่อเนื่อง

### 3.3.1 วงจรสร้างรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave Comparator Circuit)

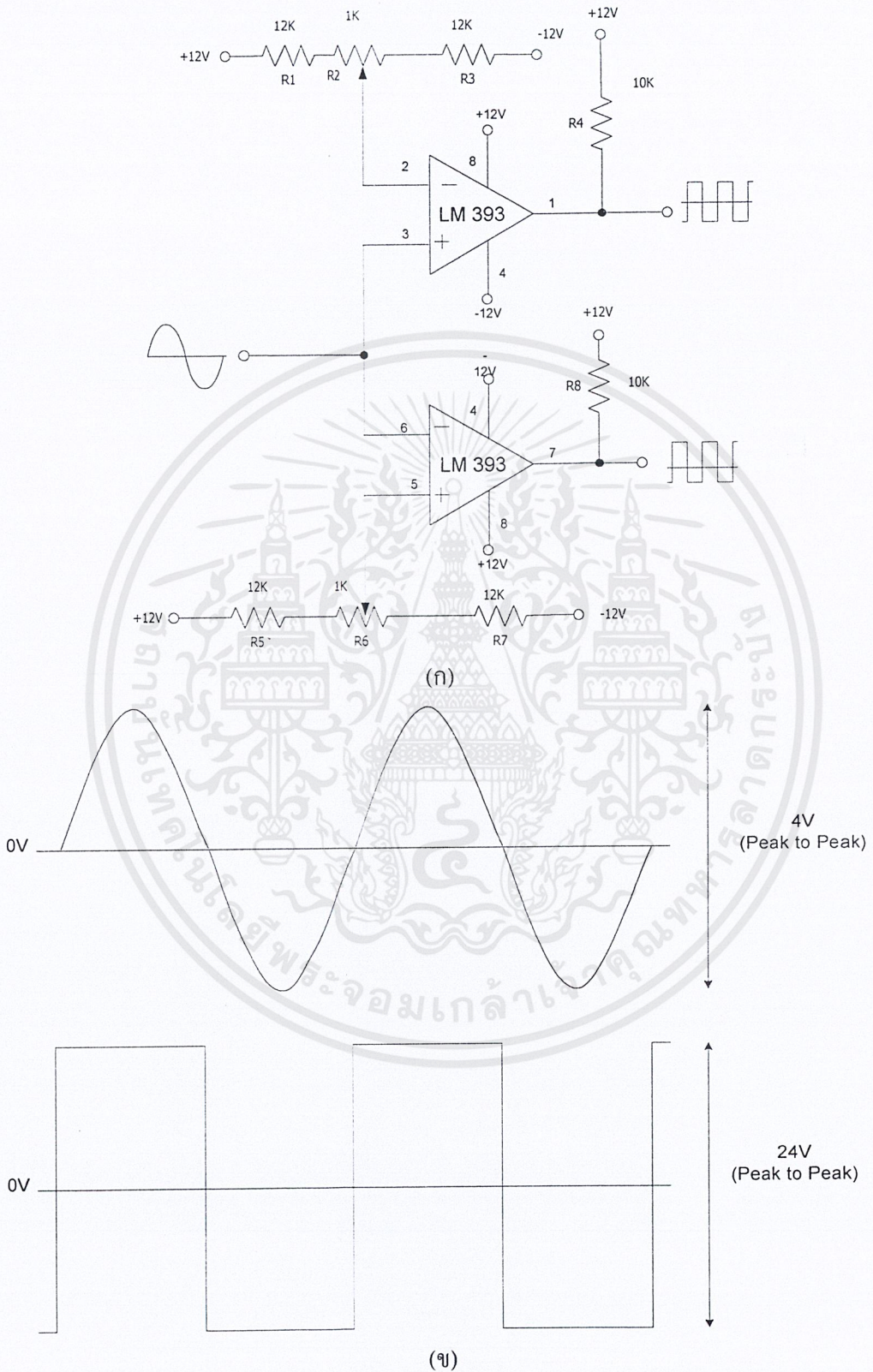
เนื่องจากเหตุผลข้างบนอินเวอร์เตอร์แบบพหุพูลที่มีมอสเฟต 2 ตัวสลับกันทำงานดังนั้น ที่มาป้อนให้แก่ขาเกทต้องเป็นดังนี้



รูปที่ 3.9 แสดงรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ขาออกของแอนเกท

จากรูปคลื่น PWM ที่ได้จากการเปรียบเทียบกันระหว่างรูปคลื่นฟันเลื่อย 1 KHz กับคลื่นซายน์แบบเต็มรูปคลื่น 50Hz จะได้สัญญาณดังรูปที่ 3.8 สัญญาณที่ได้จะยาวต่อเนื่องกันตลอดเพื่อให้ได้สัญญาณ PWM 1 และ PWM 2 ที่มีเฟสตรงข้ามกันนั้นจะต้องทำการสร้างสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเพื่อมาทำการแอนกับสัญญาณ PWM ที่ได้จากการเปรียบเทียบดังรูปที่ 3.10 เป็นการสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยม 2 ชุดที่มีเฟสตรงข้ามกัน 180 องศา

การออกแบบวงจรรูปคลื่นสี่เหลี่ยมนี้ จะใช้หลักการการนำสัญญาณรูปคลื่นซายน์ 50 Hz มาเปรียบเทียบกับแรงดันตรงอ้างอิงค่าใดค่าหนึ่งดังวงจร (รูปที่ 3.10)

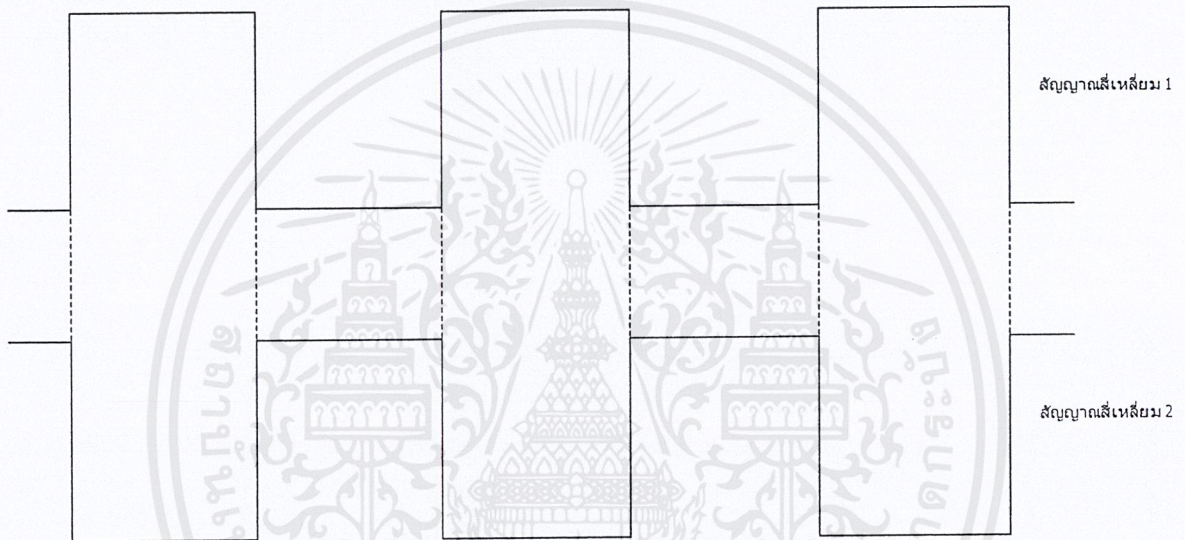


รูปที่ 3.10 (ก) วงจรการสร้างรูปคลื่นสี่เหลี่ยมและ (ข) รูปสัญญาณสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องออกแบบอินเวอร์เตอร์ให้สลับกันทำงาน โดยไม่ขาดขั้นตอนเพื่อให้ได้รูปสัญญาณที่ขด secondary สัญญาณที่ต่อเนื่องสมบูรณ์ หมายความว่าสวิทช์ 1 และสวิทช์ 2 นั้นต้องทำงานอย่างต่อเนื่องกันคือ สวิทช์ 1 ยังไม่ทัน OFF ก็ สวิทช์ 2 ก็ต้องเริ่ม ON ขึ้นมาแทนสวิทช์ 1

ด้วยเหตุนี้จึงต้องออกแบบให้ PWM 1 และ PWM 2 ที่นำไปขับขาคานั้นมีการ ON – OFF สลับกันระหว่าง 2 ชุดต้องเหลื่อมชิดกันมากๆ ดังรูปที่ 3.11 รูปคลื่นสี่เหลี่ยมเป็นส่วนที่สำคัญมากเพราะเป็นตัวกำหนดให้ PWM เหลื่อมกันมาน้อยแค่ไหน



รูปที่ 3.11 แสดงรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบ ( $P_1$  และ  $P_2$ )

การแก้ไขปัญหาตรงนี้ก็ต้องออกแบบวงจรรูปคลื่นสี่เหลี่ยมให้ทั้งสองชุดที่มีเฟสกลับกันให้มีการเหลื่อมกันนิดหนึ่งได้โดยการใช้ความต้านทานปรับค่า เป็นตัวกำหนดระดับแรงดันไฟตรงที่ไปเปรียบเทียบกับสัญญาณซายน์เพื่อสามารถปรับ PWM 1 และ PWM 2 ให้เหลื่อมกันได้ตามต้องการ

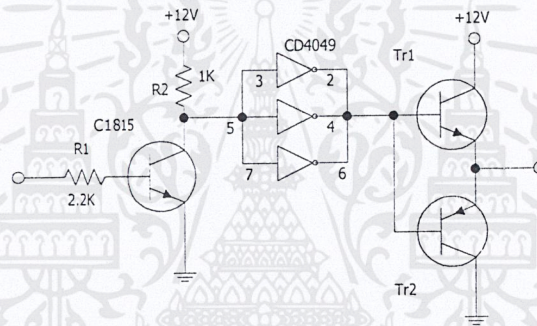
### 3.3.2 วงจร Logic Gate

วงจรนี้จะใช้ IC เบอร์ CB 4081 ในนี้จะเป็นการนำเอาแอนเกต 4 ชุด โดย 2 ชุดแรกจะใช้แอนระหว่าง กับ คลื่นสี่เหลี่ยมและอีก 2 ชุดเป็นการแอนระหว่างสัญญาณขาออกที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบและสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม เพื่อให้ได้ PWM ตัวที่จะนำไปกำหนด Timing ของสัญญาณขาเข้ามอสเฟต

เมื่อรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่ 1 และที่ 2 สลับกันเป็นค่า 0 และ 1 ดังรูปที่ 3.11 ลอจิกมีค่าเป็น 0 และ 1 สลับกัน ในขณะที่ทำงานปกติจะทำให้ขาออกแอนเกทชุดที่ 2 สลับกันทำงานคือ 2 ชุดจะสลับกันขับขา เกทของมอสเฟทกับแอนเกทชุดที่ 1

### 3.4 วงจรขับขาเกท

วงจรมีหน้าขับให้ขาเกทของมอสเฟทมีแรงดันเพียงพอที่จะทำให้มอสเฟทนั้นสามารถทำงานได้ ถ้าไม่มีวงจรถับเกทแล้วก็ไม่สามารถทำให้มอสเฟทเกิดการทํางานเนื่องจากไม่มีแรงดันที่ขาเกทซึ่ง มอสเฟทนี้เป็นตัวสวิทซ์ที่ทำให้เกิดการไหลของกระแสและพลิกในหม้อแปลงถ้าไม่มีการสวิทซ์แล้วก็ไม่มีความในแกนหม้อแปลงเช่นกัน แสดงวงจรของวงจรถับเกทในรูปที่ 3.12



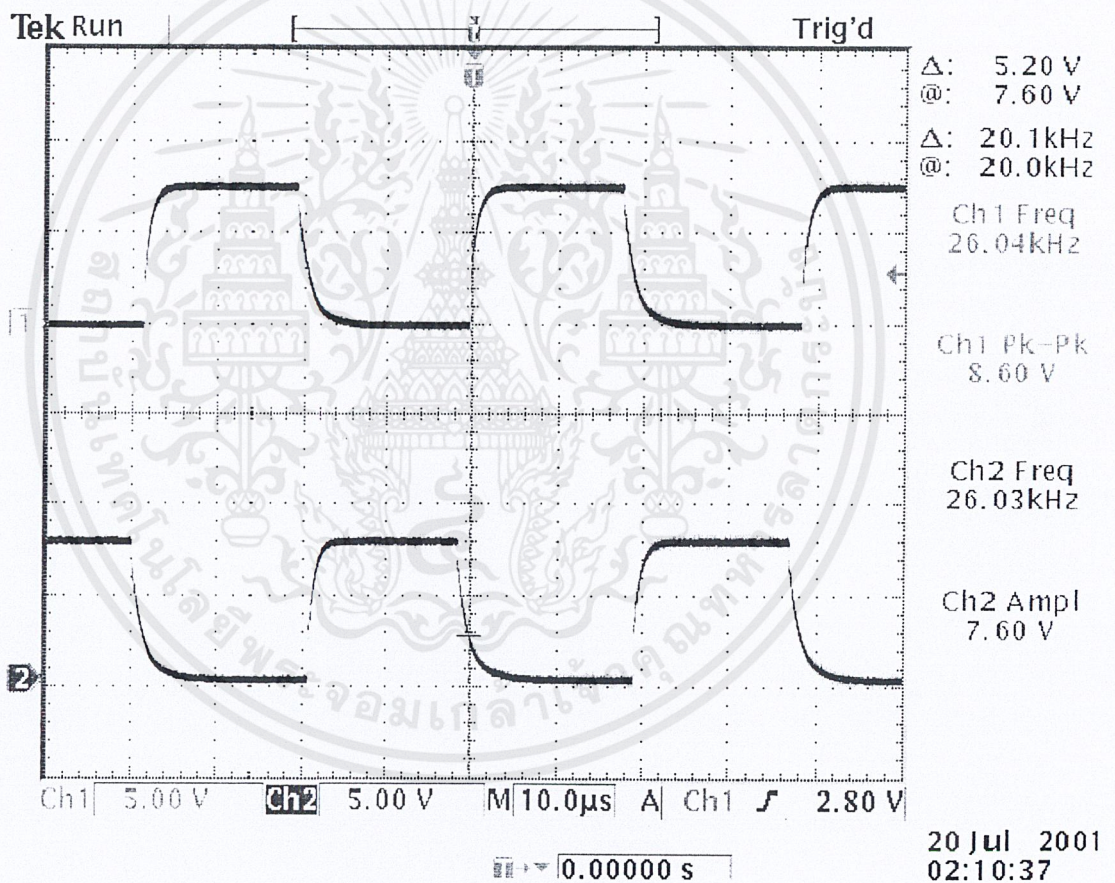
รูปที่ 3.12 วงจรขับขาเกทของมอสเฟท

## บทที่ 4

## การทดลองและผลการทดลอง

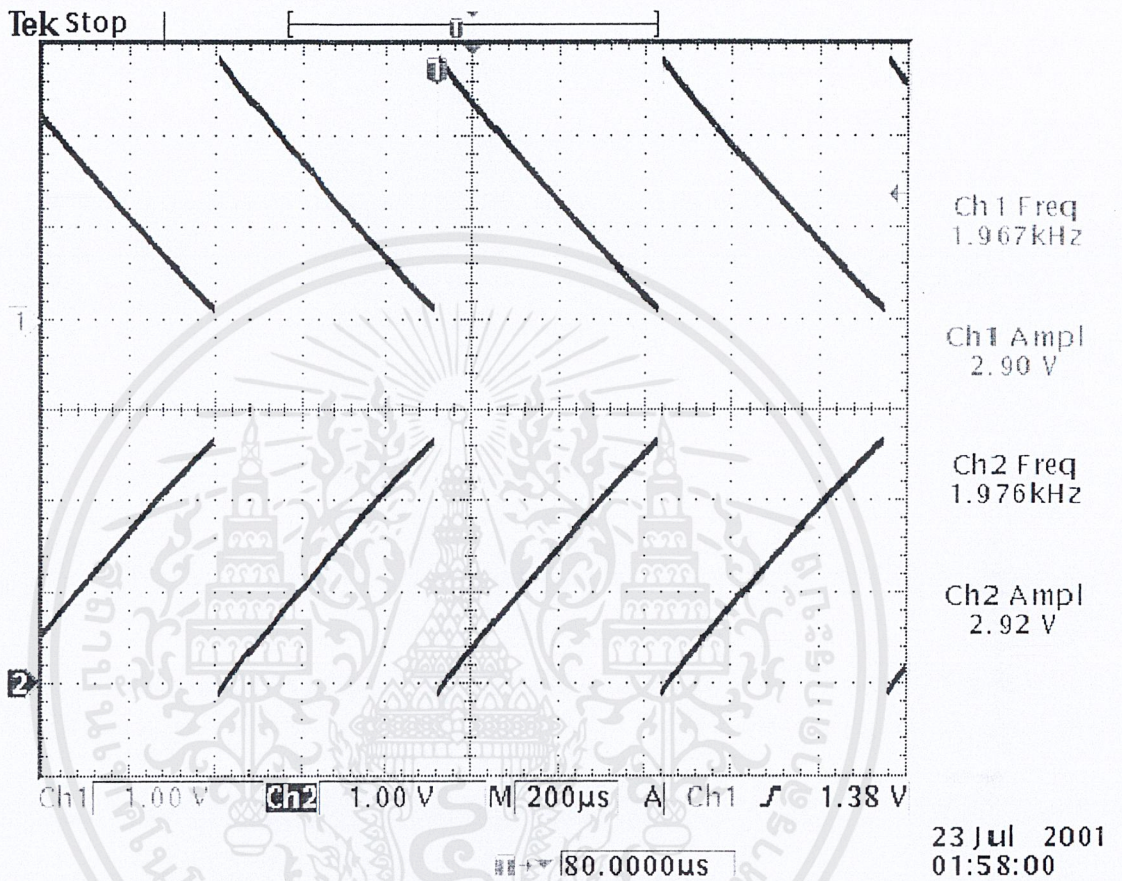
4.1. การทดลองแรกเป็นการตรวจสอบรูปคลื่น และแรงดันที่จุดสำคัญของวงจร โดยใช้ Digital scope Tektromix model TDS 3012 ได้ผลดังนี้

## 4.1.1. ผลการทดลองการสร้างสัญญาณพัลส์



รูปที่ 4.1 สัญญาณพัลส์ที่จะนำไปขับขาคาทของมอสเฟตในวงจร DC to DC Converter

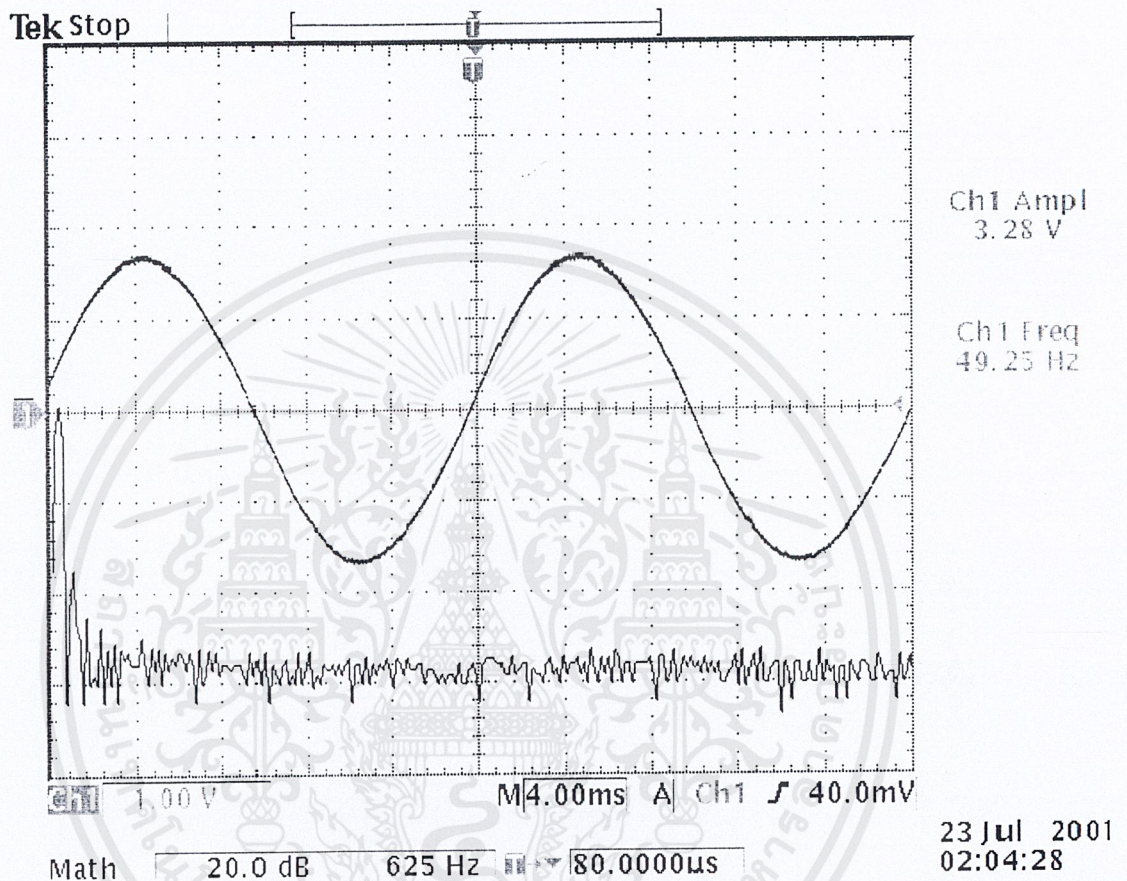
#### 4.1.2. ผลการทดลองการสร้างสัญญาณฟันเลื่อย (วงจรรูปที่ 3.4)



รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณฟันเลื่อยที่ได้จากการทดลองจริง

รูปสัญญาณฟันเลื่อยที่ได้ จากการทดลองจริงนั้นจะได้จากขา 5 ของ IC เบอร์ TL 494 ซึ่งมีความถี่ประมาณ 2 KHz และแรงดันขนาด 2.9 โวลต์ สัญญาณฟันเลื่อยนี้จะนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณคลื่นรูปซายน์ 50Hz แบบเต็มคลื่น เพื่อให้ได้สัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีขนาดไม่เท่ากัน (PWM)

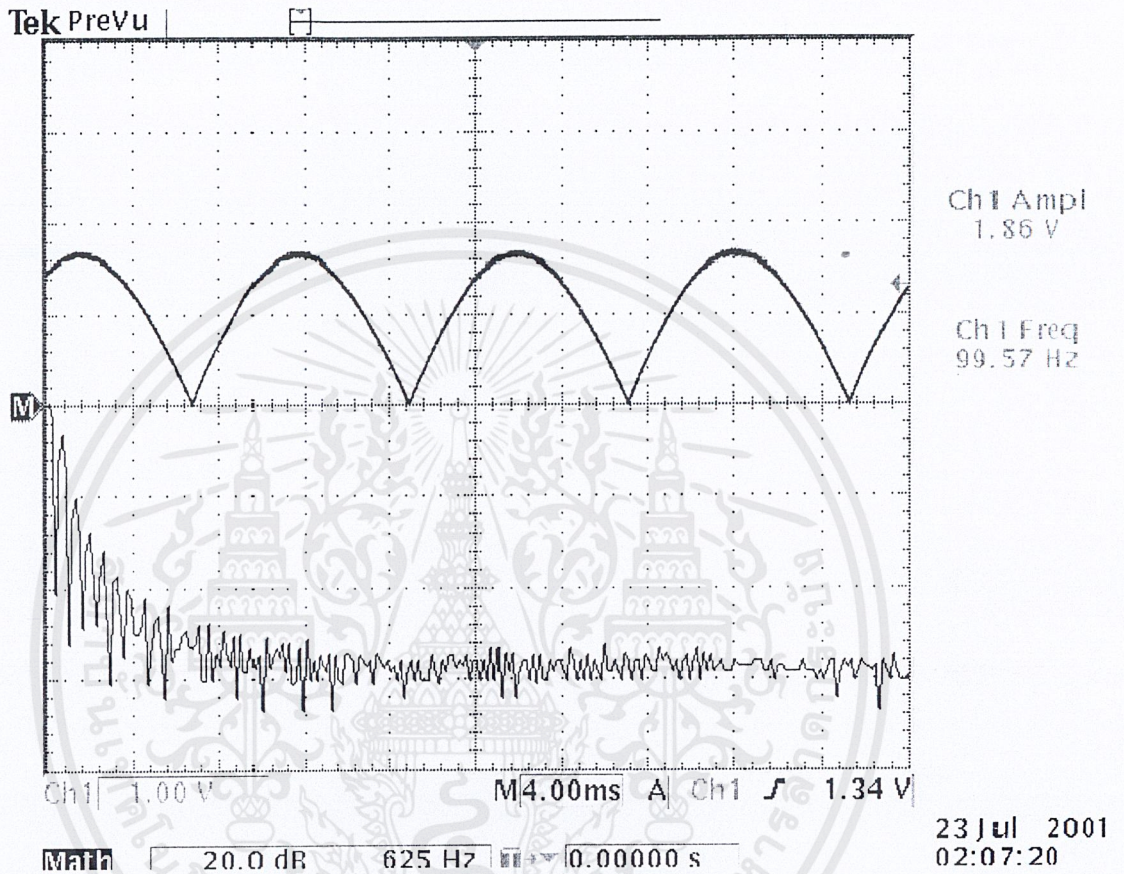
4.1.3. ผลการทดลองการสร้างสัญญาณคลื่นรูปไซน์ความถี่ 50 Hz ที่ได้จากวงจร Wein bridge Oscillator (วงจรรูปที่ 3.5)



รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณคลื่นรูปไซน์ 50 Hz

สัญญาณคลื่นรูปไซน์ความถี่ 50 Hz ที่ได้จากการทดลองนั้นจะมีแรงดันขนาด 3.3 โวลต์ แรงดันที่ได้นี้จะนำไป ผ่านวงจรฟลูบริดจ์เพื่อให้ได้สัญญาณเต็มรูปคลื่นที่มีขนาด แรงดันลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของสัญญาณไซน์ ความถี่ 100 Hz ดังแสดง ในรูปที่ 4.4 (จากวงจรรูปที่ 3.6)

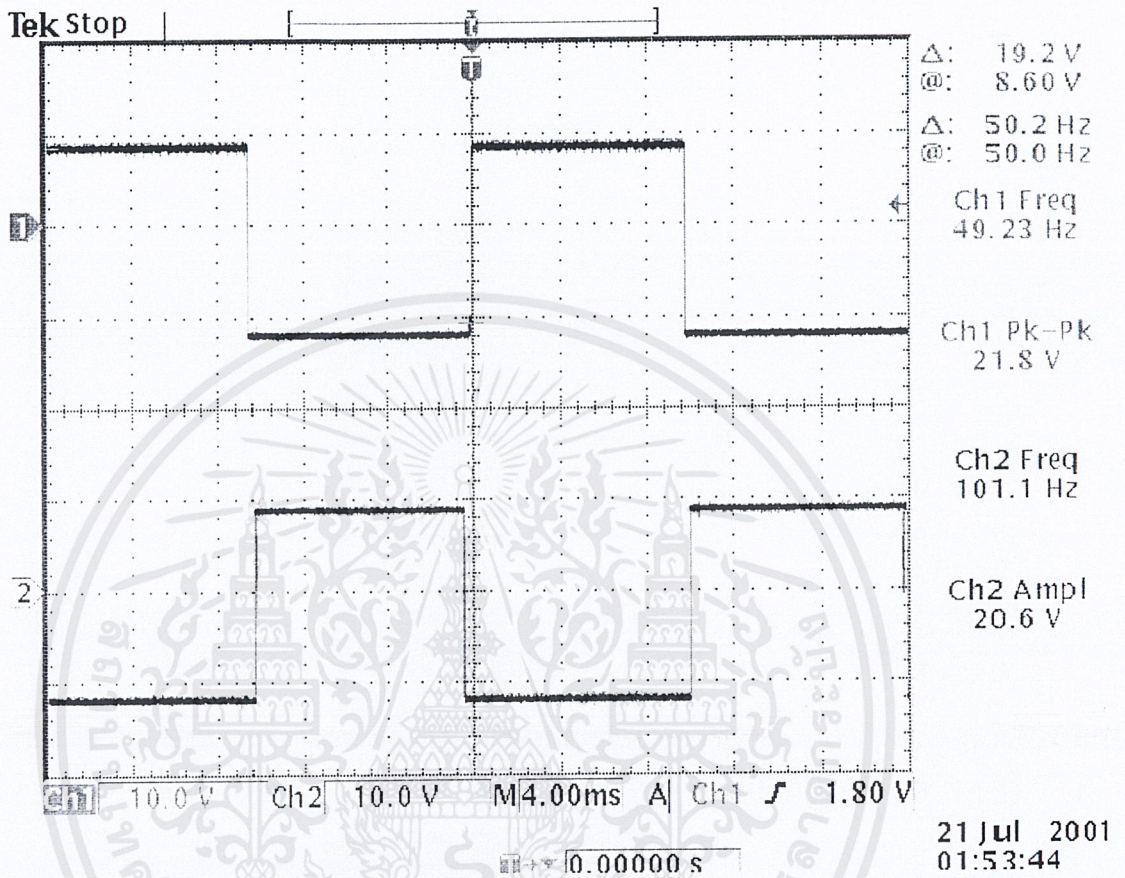
4.1.4. ผลการทดลองการสร้างสัญญาณคลื่นรูปซายน์แบบเต็มรูปคลื่น ที่ได้จากวงจร Full wave rectifier (วงจรรูปที่ 3.6)



รูปที่ 4.4 สัญญาณคลื่นรูปซายน์แบบเต็มรูปคลื่น

เมื่อได้สัญญาณคลื่นรูปซายน์แบบเต็มรูปคลื่นที่มีความถี่ประมาณ 100 Hz ซึ่งจะนำสัญญาณนี้ไปทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณฟันเลื่อยที่ได้ตั้งข้างบนเพื่อให้ได้สัญญาณ PWM

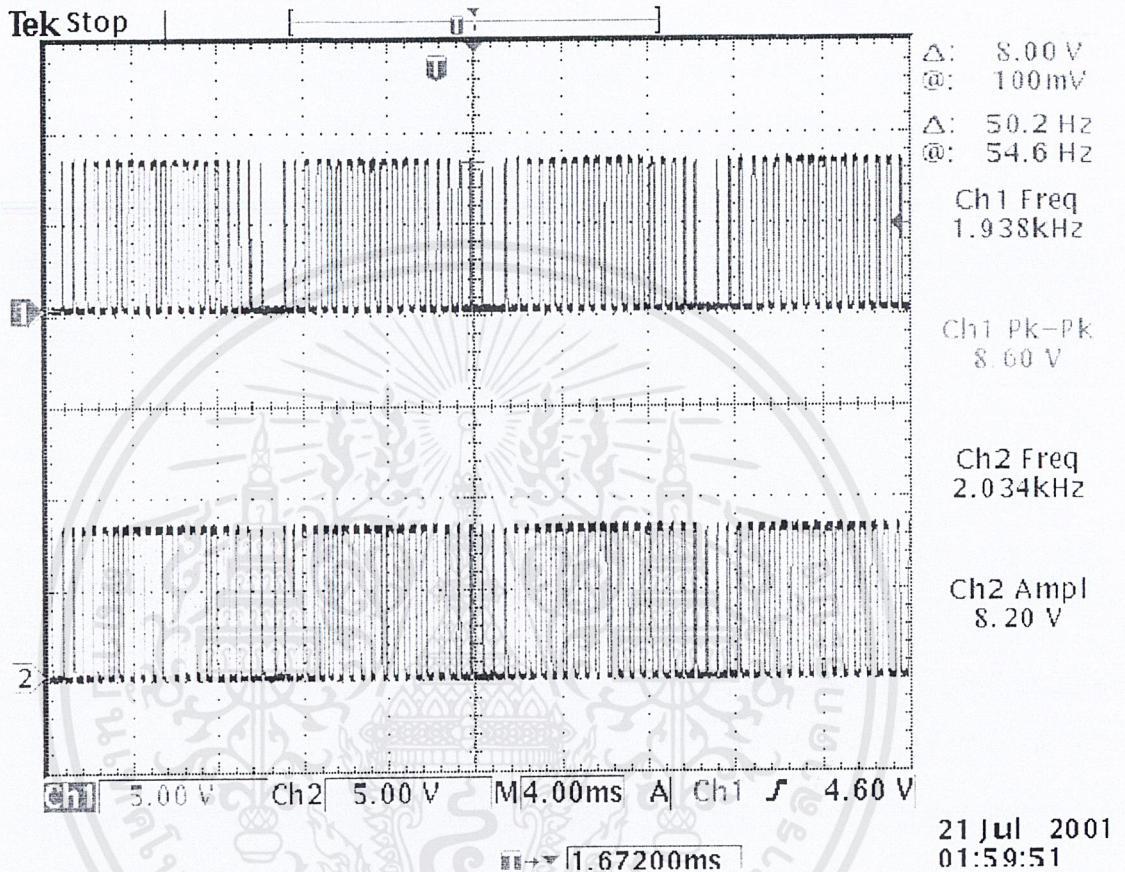
#### 4.1.5. ผลการทดลองการสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (วงจรรูปที่ 3.11 ก)



รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม

สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่ได้จากการทดลองจะมีขนาดแรงดันเท่ากับ 22 โวลต์ โดยการวัดนี้จะใช้สาย Prov x 10 และ Volt/div จะเท่ากับ 10 โวลต์ สัญญาณที่ได้จะนำไปเป็นสัญญาณอินพุต สำหรับวงจร Logic Gate ที่จะทำหน้าที่แอนระหว่างสัญญาณ PWM และ สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่ได้นี้

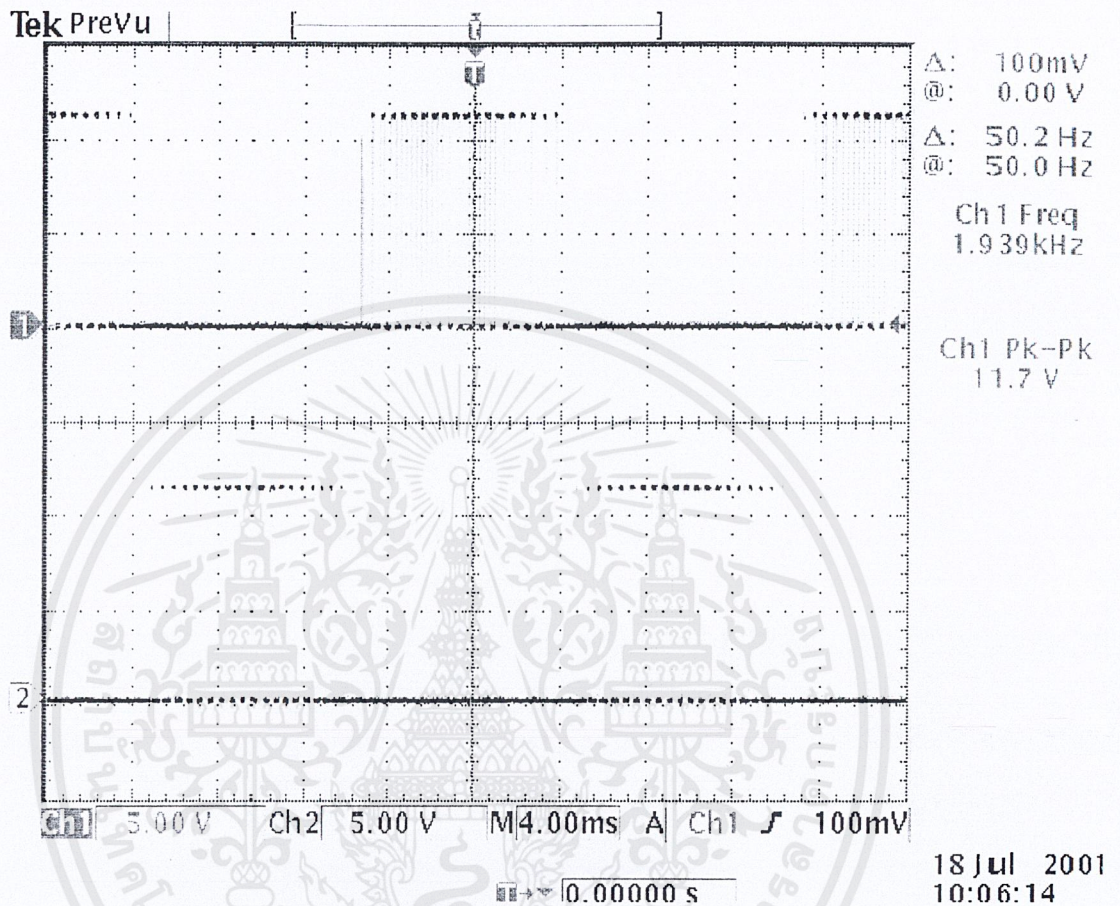
#### 4.1.6. ผลการทดลองการสร้างสัญญาณ PWM (วงจรรูปที่ 3.8)



รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณ PWM ที่ได้จากการทดลอง

สัญญาณ PWM ที่ได้จากการทดลองจะมีขนาดแรงดัน 8.6 V<sub>p-p</sub> ความถี่ 2 KHz สัญญาณ PWM จะมีลักษณะคล้ายกับคลื่นพัลส์ที่มีขนาดเล็กๆ ยาวตลอดช่วง ซึ่งจะนำสัญญาณที่ได้ไปทำการแอนกับสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม 50 Hz

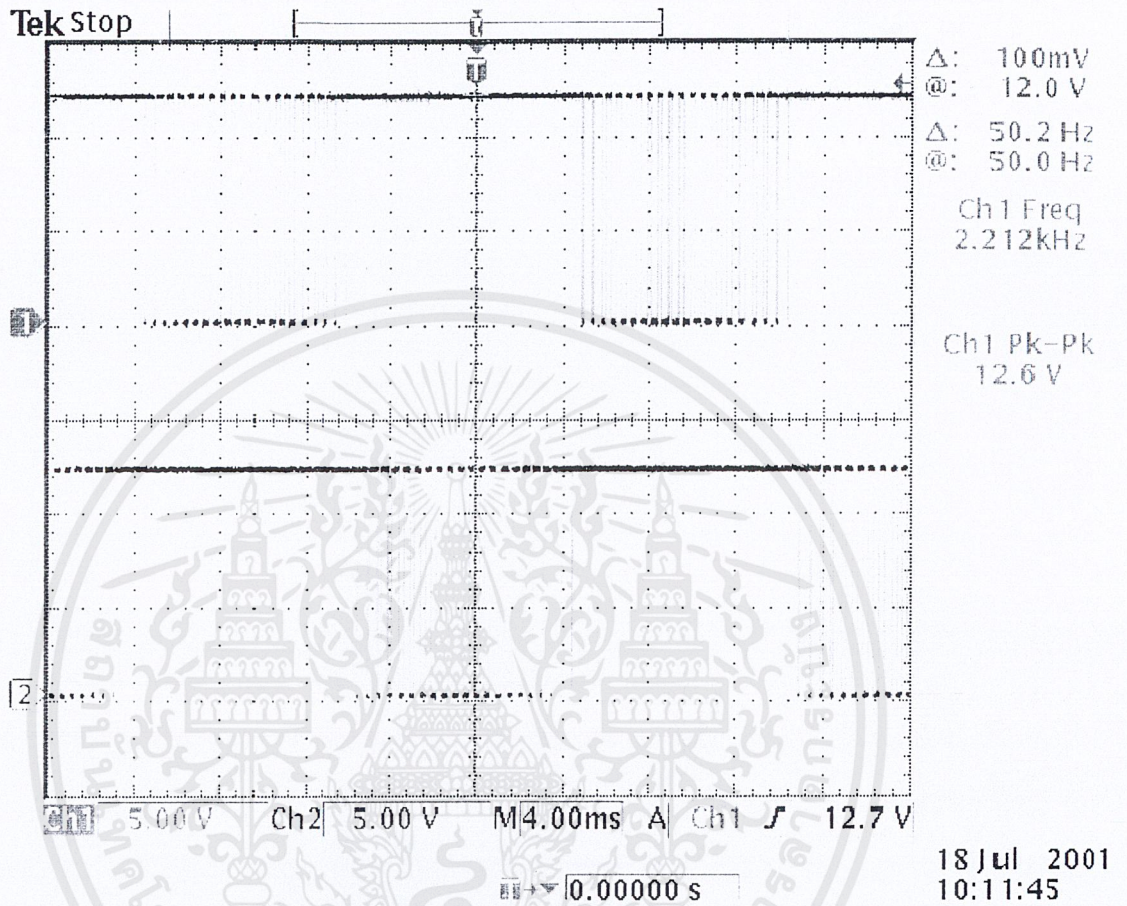
#### 4.1.7. สัญญาณ PWM ได้จากการผ่านวงจรถอจิกแอน (วงจรรูปที่ 3.8)



รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณ PWM ที่จะนำไปขับเกท

สัญญาณ PWM นี้จะเป็นสัญญาณ PWM ที่มีความถี่ตามช่วงความถี่ของสัญญาณสามเหลี่ยม ซึ่งมีค่าแรงดันประมาณ  $11.7 V_{p-p}$  และความถี่ 2 KHz แต่สัญญาณจะมีลักษณะเหมือนกับสัญญาณสี่เหลี่ยมที่นำมาทำการแอนในวงจรถอจิกหลังจากนั้นนำสัญญาณนี้ไปทำการกลับเฟสก่อนเนื่องจากว่าวงจรถอจิกนั้นใช้ไอซีที่เป็นวงจรถอจิก Inverting Amp

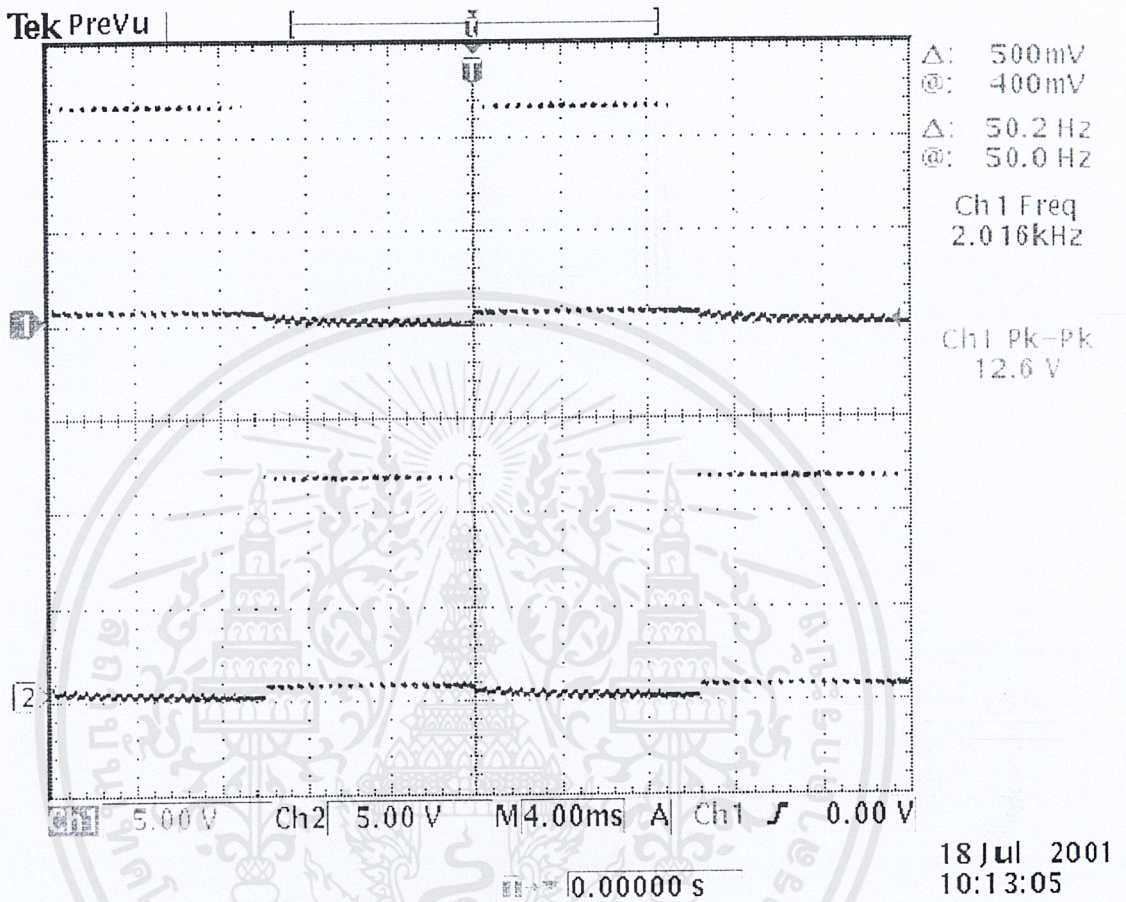
#### 4.1.8. สัญญาณ PWM ก่อนเข้าวงจรขับขาเกท ที่ทำการกลับเฟส 180 องศา (ดังรูปที่ 3.13)



รูปที่ 4.8 สัญญาณ PWM ที่ทำการกลับเฟส

สัญญาณ PWM นี้จะเป็นสัญญาณที่อินพุตของ ไอซีเบอร์ CD 4049 ซึ่งจะนำไปเป็นสัญญาณอินพุตของวงจรขับเกท ซึ่งมีแรงดันประมาณ  $12.6 V_{p-p}$  ความถี่ 2 KHz

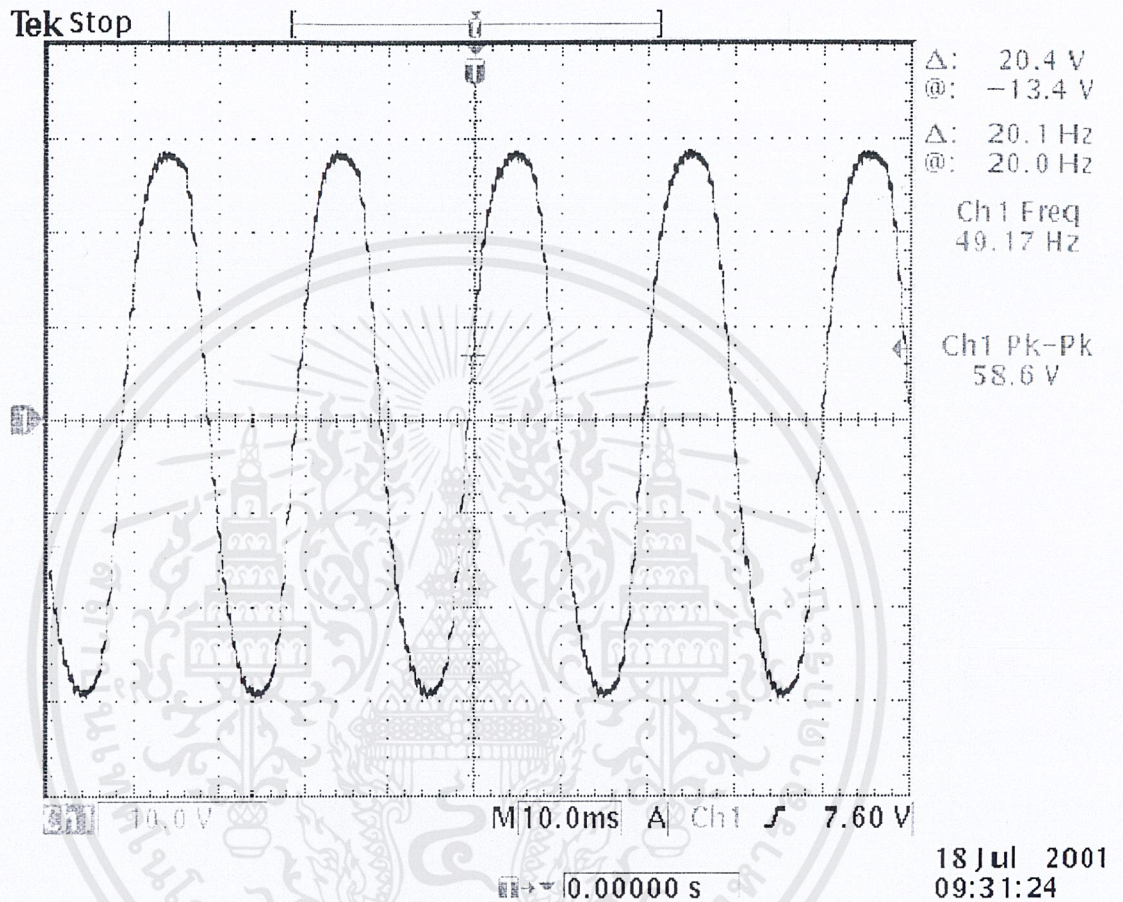
#### 4.1.9. ผลการทดลองสัญญาณขาออกของวงจรจับเกต (วงจรรูปที่ 3.13)



รูปที่ 4.9 แสดงรูปสัญญาณทางด้านขาออกของวงจรจับเกต

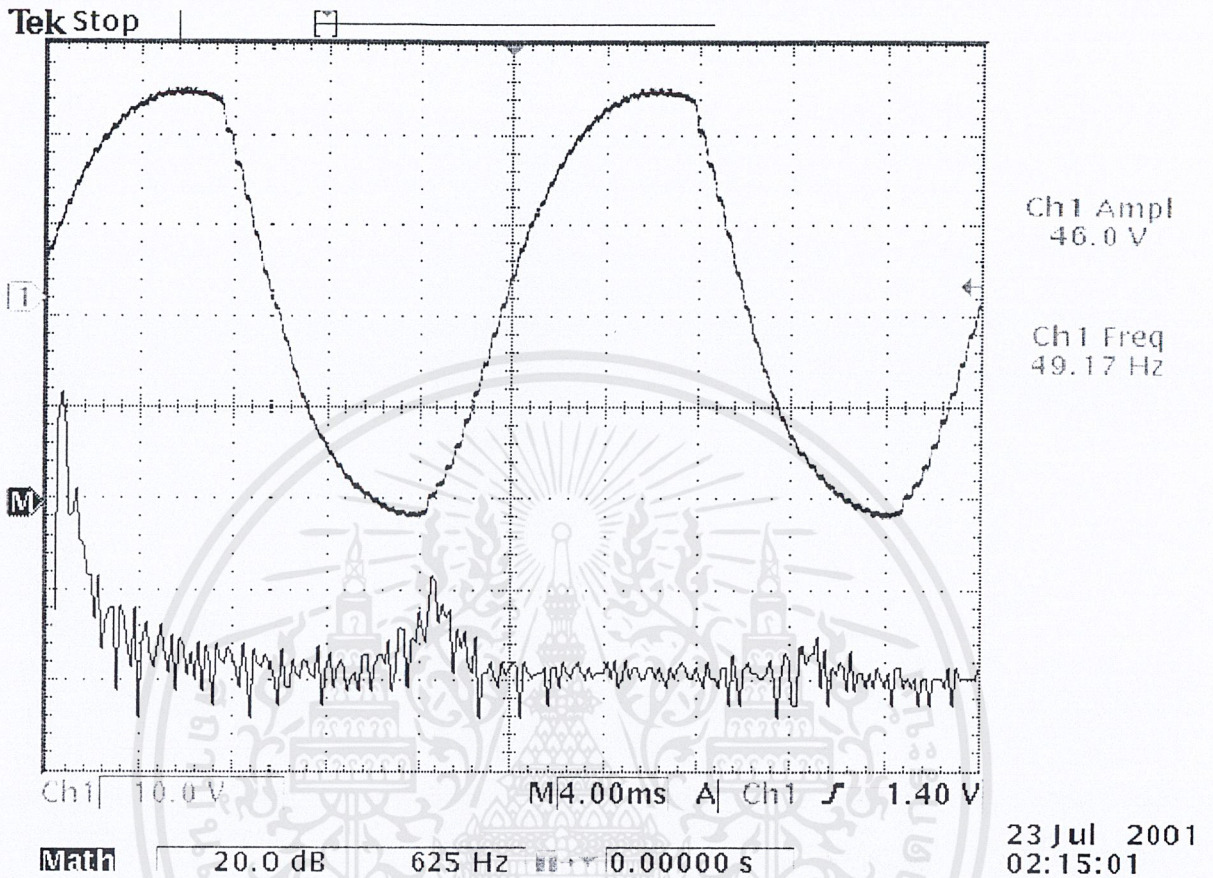
สัญญาณที่ได้นี้จะนำไปเป็นอินพุตของมอสเฟต ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิทซ์ให้กับหม้อแปลงเพื่อทำให้เกิดมีกระแสและสนามแม่เหล็กไหลในแกน

## 4.1.10. สัญญาณทางด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์



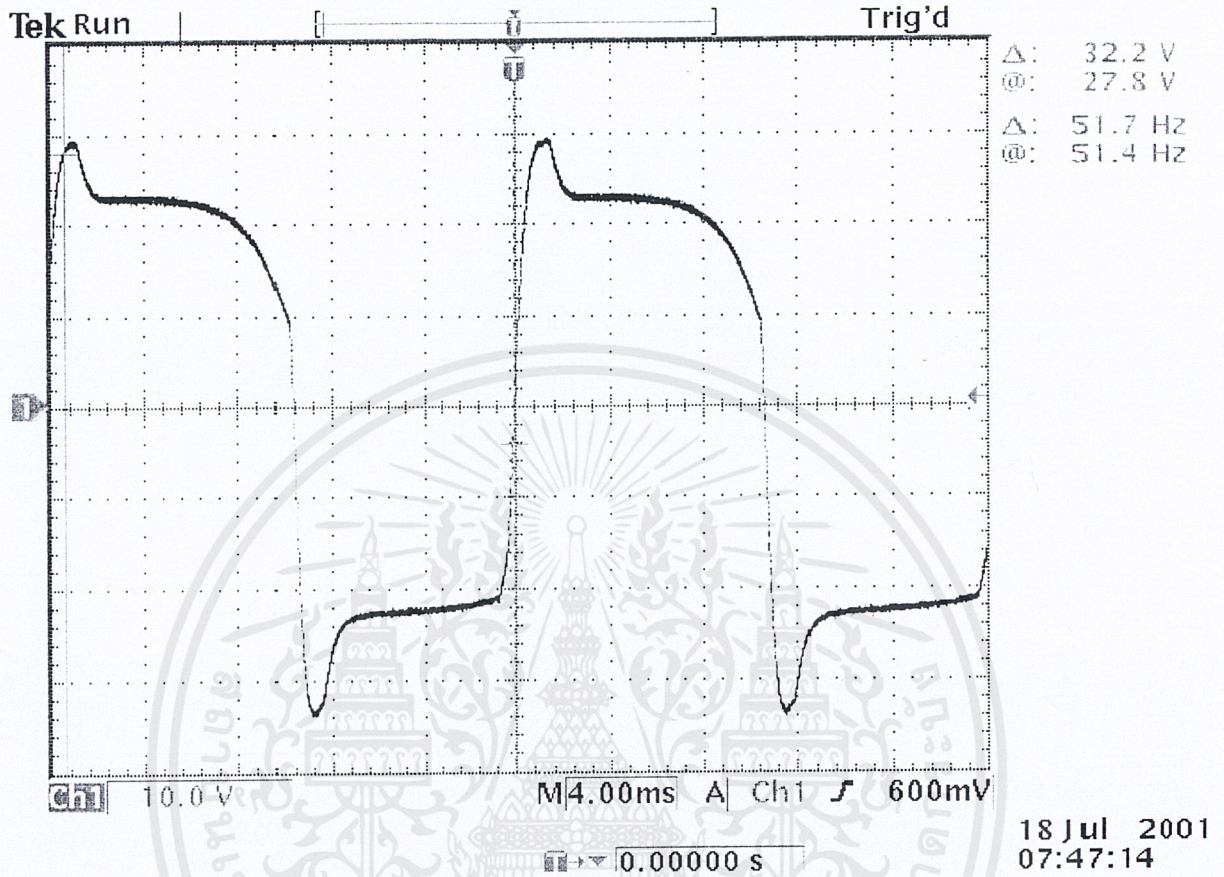
รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณขาที่ได้จากขาออกของอินเวอร์เตอร์

สัญญาณทางด้านขด Secondary ของหม้อแปลงเป็นรูปคลื่นไซน์ ความถี่ 50 Hz แรงดันประมาณ 207 โวลต์ rms ในขณะที่ไม่มีการย้อนกลับของสัญญาณทางเอาต์พุตเทียบกับอินพุตที่มีความถี่ของ PWM ที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างรูปคลื่นฟันเลื่อยความถี่ 1 KHz กับสัญญาณไซน์เต็มรูปคลื่นความถี่ 100 Hz



รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณชาวน์ที่ได้จากขาออกของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 2.5 KHz

สัญญาณทางด้านขดลวดขั้วของหม้อแปลงเป็นรูปคลื่นชาวน์ ความถี่ 50 Hz แรงดันประมาณ 160 โวลต์ rms ในขณะที่ไม่มีการย้อนกลับของสัญญาณทางเอาต์พุตเทียบกับอินพุตที่มีความถี่ของ PWM ที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างรูปคลื่นฟันเลื่อยความถี่ 2.5 KHz กับสัญญาณชาวน์เต็มรูปคลื่นความถี่ 100 Hz



รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณที่ได้จากขาออกของอินเวอร์เตอร์เมื่อมีการ feedback

สัญญาณทางด้านขดทุติยภูมิของหม้อแปลงมีความถี่ 50 Hz แรงดันประมาณ 220 โวลต์ rms ในขณะที่มีการย้อนกลับของสัญญาณทางเอาต์พุตเทียบกับอินพุต

## 4.2. การวัดและคำนวณคุณสมบัติต่างๆของวงจร

### 4.2.1. สัญญาณพื่นเลื่อยที่ความถี่ 1 KHz

ทางด้านเอาต์พุตที่มีโหลดเป็นหลอดไฟ 25 W

$$\text{จาก } V_{in} = 12 \text{ V และ } I_{in} = 8 \text{ A}$$

$$P_{in} = 12\text{V} \times 8\text{A} = 96 \text{ W}$$

$$V_{out} = 220\text{V} \quad V_{R1} = 235 \text{ mV}$$

$$R_1 = 2.2 \Omega$$

$$I_{out} = I_1 = \frac{V_{R1}}{R_1} = \frac{235\text{mV}}{2.2} = 106.81\text{mA}$$

$$P_{out} = 220 \text{ V} \times 106.81 \text{ mA} = 23.5 \text{ W}$$

ดังนั้น ประสิทธิภาพที่ได้จะประมาณ

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_o}{P_i} \times 100\% \\ &= \frac{23.5\text{W}}{96\text{W}} \times 100\% = 23.8\% \end{aligned}$$

เมื่อทำการเปลี่ยนโหลดเป็น 60 W

$$\text{ที่ค่า } V_{in} = 12 \text{ V} \quad I_{in} = 8.22 \text{ A}$$

$$P_{in} = 12\text{V} \times 8.22 \text{ A} = 98.64 \text{ W}$$

$$\text{จะได้ } V_o = 180 \text{ V} \quad V_{R1} = 0.5\text{V}$$

$$I_o = 227.27 \text{ mA}$$

$$P_o = 40.9 \text{ W}$$

ประสิทธิภาพที่ได้จะเท่ากับ

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_o}{P_i} \times 100\% \\ &= \frac{40.9\text{W}}{98.64\text{W}} \times 100\% = 41.46\% \end{aligned}$$

## 4.2.2. สัญญาณพินเลี้ยงที่ความถี่ 2 KHz

$$\text{จาก } V_{in} = 12 \text{ V และ } I_{in} = 7 \text{ A}$$

$$P_{in} = 12\text{V} \times 7\text{A} = 84 \text{ W}$$

ทางด้านเอาต์พุตที่มีโหลดเป็นหลอดไฟ 25 W

$$V_{out} = 185.6 \text{ V} \quad V_{R1} = 216 \text{ mV}$$

$$R_1 = 2.2 \ \Omega$$

$$I_{out} = I_1 = \frac{V_{R1}}{R_1} = \frac{216\text{mV}}{2.2} = 98.18 \text{ mA}$$

$$P_{out} = 185.6 \text{ V} \times 98.18 \text{ mA} = 18.22 \text{ W}$$

$$P_{out} = 18.22 \text{ W}$$

ประสิทธิภาพที่ได้จะเท่ากับ

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_o}{P_i} \times 100\% \\ &= \frac{18.22\text{W}}{84\text{W}} \times 100\% = 21.6\% \end{aligned}$$

เมื่อทำการเปลี่ยน โหลดเป็น 60 W

$$\text{ที่ค่า } V_{in} = 12 \text{ V} \quad I_{in} = 6.85 \text{ A}$$

$$P_{in} = 12\text{V} \times 6.85 \text{ A} = 82.2 \text{ W}$$

$$V_o = 142 \text{ V} \quad V_{R1} = 0.45\text{V}$$

$$I_o = \frac{0.45}{2.2} = 204.54 \text{ mA}$$

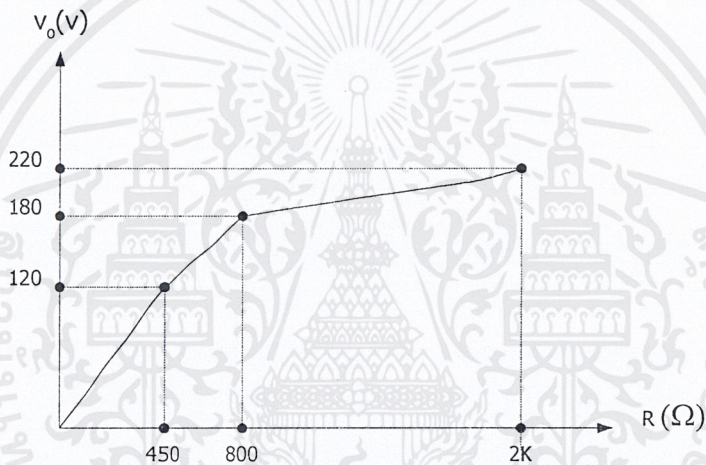
$$P_o = 142\text{V} \times 204.54 \text{ mA} = 29 \text{ W}$$

ประสิทธิภาพที่ได้จะเท่ากับ

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_o}{P_i} \times 100\% \\ &= \frac{29\text{W}}{82.2\text{W}} \times 100\% = 35.2\% \end{aligned}$$

จากการทดลองกับ โหลดที่ค่าต่างๆเห็นได้ว่า แรงดันเอาต์พุตจะตกลงเรื่อยๆ เมื่ออินเวอร์เตอร์จ่าย กำลังสูงขึ้นดังตารางข้างล่างนี้

โหลด(หลอดไฟ)	$V_o$ (Volt)	$I_o$ (mA)	$R_L$ ( $\Omega$ )
25 W	220	106.8	2k
60 W	180	227	800
85W	120	283	450



รูปแสดงการลดลงของแรงดันทางเอาต์พุตที่มีโหลดค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุปและวิจารณ์

ดังได้กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอินเวอร์เตอร์แบบต่างๆรวมทั้งแบบพหุพูล ที่นำมาเป็นพื้นฐานของการออกแบบโครงงานนี้

ในการทดลองสร้างอินเวอร์เตอร์ที่ได้ออกแบบและทดสอบโดยผลการทดลองที่ได้จากจุดต่างๆในระบบทั้งหมดได้ถูกแสดงให้เห็นในบทที่ 4 และผลของสัญญาณทางด้านเอาต์พุตสุดท้ายนั้นได้แรงดันประมาณ  $200V_{rms}$  ที่ความถี่ 50 Hz สามารถจ่ายกำลังงานได้ประมาณ 23.5 วัตต์ ด้วยประสิทธิภาพในจ่ายกำลังงานมีประมาณ 23.8 % ผลที่ได้นั้นจะเป็นสัญญาณที่ได้จากระบบแบบทิกทางเดียวก็คือระบบที่ไม่มี การควบคุมจากทางด้านเอาต์พุต (No Feed back Control) เหตุผลอาจจะเนื่องมาจากหม้อแปลงที่ใช้ในการทดลองเป็นหม้อแปลงสำหรับ Step down จาก 220 โวลต์ลงเป็น 9 โวลต์ เมื่อพิจารณาขดลวดทางด้าน 9 โวลต์อาจจะมึขนาดที่เล็กทำให้การจ่ายกำลังไม่สูงเท่าที่ควร นอกจากนี้ยังทำให้เกิดมีการสูญเสียในหม้อแปลงซึ่งการสูญเสียนั้นจะมีการสูญเสียในรูปของความร้อน เมื่อมีการย้อนกลับของสัญญาณทางด้านเอาต์พุตมาควบคุมขนาดของสัญญาณ PWM ทำให้สัญญาณทางด้านเอาต์พุตมีความเสถียรภาพมากขึ้น ค่าแรงดันที่มีค่าประมาณ  $620 V_{p-p}$  ที่ความถี่ 50 Hz แต่สัญญาณที่ได้จะไม่เป็นสัญญาณไซน์ถึงแม้ว่าจะทำการ filter สัญญาณแล้วก็ตาม

#### ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลอง

มีปัญหาอยู่ที่แกนของหม้อแปลงเนื่องจากในตอนแรกได้ออกแบบชุด Power Switch แบบ Push -Pull ให้ทำงานที่ความถี่ 25KHz แต่แกนเฟอร์ไรต์ที่มีนั้นมึขนาดใหญ่ไม่เพียงพอกับความถี่ต้องการและวิถีการคำนวณจำนวนรอบและขนาดของเส้นลวดที่พันก็ไม่เหมาะสมเพราะต้องประมาณขึ้นเอง เนื่องจากว่าไม่ทราบถึงคุณสมบัติของแกนหม้อแปลงและรวมไปถึงภาคกลองความถี่ต่ำผ่านด้วย ดังนั้นจึงได้เปลี่ยนมาใช้แกนเหล็กแทนโดยลดความถี่ของสัญญาณรูปฟันเลื่อยลงเหลือ 1KHz แต่ก็ยังมีปัญหาทางด้านความร้อน โดยปัญหานี้เป็นการแลกกัน (Trade off) ระหว่างชุด Switching กับแกนเหล็กซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

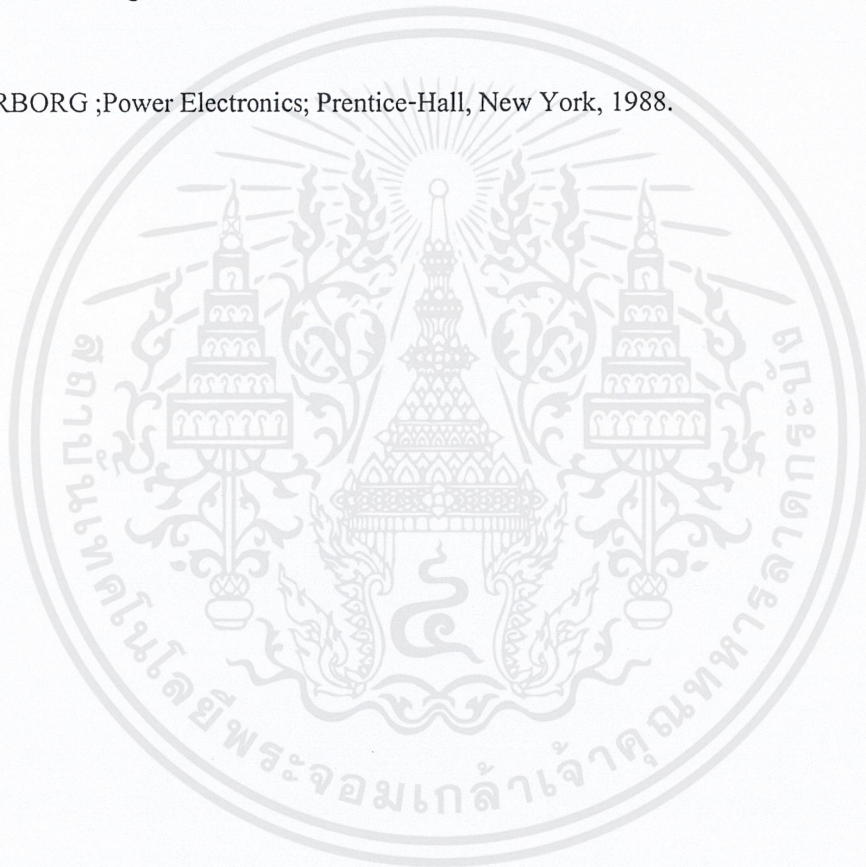
- เมื่อความถี่สูงกว่า 2 KHz แกนเหล็กในหม้อแปลงจะร้อนมากเนื่องจากหม้อแปลงนี้ไม่สามารถทำงานที่ความถี่สูงได้ดี เป็นผลทำให้แกนอาจจะอึดตัวเมื่อแกนเกิดการอึดตัวจะทำให้เกิดมีการสูญเสียในรูปของความร้อนดังนั้นสัญญาณที่ได้ทางด้านเอาต์พุตจึงถูกลดทอนลง

- เมื่อความถี่ต่ำกว่า 1KHz จะสามารถลดความร้อนที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงได้และการส่งผ่านกำลังงาน ได้ดีขึ้นกระแสจะจ่ายได้เพิ่มขึ้นมากแต่ความร้อนจะไปเกิดอยู่ที่ตัวมอสเฟทแทนซึ่งมอสเฟท ต้องทำงานหนักขึ้นจากผลการทดลอง Inverter ดึงกระแสจาก Battery สูงถึง 8A ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้มอสเฟทร้อนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

1. มงคล ทองสงคราม, ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิ.เจ. , อิเล็กทรอนิกส์กำลัง พิมพ์ครั้งที่ 4, เมษายน 2543
2. สุวัฒน์ คั่น , เอนเทิลไทย , เทคนิคและการออกแบบ สวิตชิงเพาเวอร์สัพพลาย พิมพ์ครั้งที่ 2 มิถุนายน 2538
3. Ned Mohan , Tore M. Undland, William P. Robbins ; "Power Electronics" Converters, Applications And Design". C 1989
4. K. THORBORG ;Power Electronics; Prentice-Hall, New York, 1988.



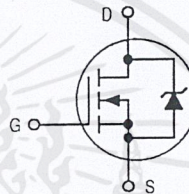
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*Product Preview*

**TMOS E-FET™**  
**Power Field Effect Transistor**  
**N-Channel Enhancement-Mode Silicon Gate**

This advanced TMOS power FET is designed to withstand high energy in the avalanche and commutation modes. This new energy efficient design also offers a drain-to-source diode with a fast recovery time. Designed for low voltage, high speed switching applications in power supplies, converters, and PWM motor controls. These devices are particularly well suited for bridge circuits where diode speed and commutating safe operating area are critical and offer additional safety margin against unexpected voltage transients.

- Avalanche Energy Specified
- Source-to-Drain Diode Recovery Time Comparable to a Discrete Fast Recovery Diode
- Diode is Characterized for Use in Bridge Circuits
- $I_{DSS}$  and  $V_{DS(on)}$  Specified at Elevated Temperature



**IRF540**

TMOS POWER FET  
27 AMPERES  
100 VOLTS  
 $R_{DS(on)} = 0.070$  OHMS



CASE 221A-09  
TO-220AB

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

Rating	Symbol	Value	Unit
Drain-to-Source Voltage	$V_{DSS}$	100	Vdc
Drain-to-Gate Voltage ( $R_{GS} = 1.0$ M $\Omega$ )	$V_{DGR}$	100	Vdc
Gate-to-Source Voltage — Continuous	$V_{GS}$	$\pm 20$	Vdc
— Non-repetitive ( $t_p \leq 10$ ms)	$V_{GSM}$	$\pm 40$	Vpk
Drain Current — Continuous	$I_D$	27	Adc
— Continuous @ $100^\circ\text{C}$	$I_{D100}$	19	Adc
— Single Pulse ( $t_p \leq 10$ $\mu\text{s}$ )	$I_{DM}$	95	Apk
Total Power Dissipation	$P_D$	145	Watts
Derate above $25^\circ\text{C}$		1.16	W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-55 to 150	$^\circ\text{C}$
Single Pulse Drain-to-Source Avalanche Energy — STARTING $T_J = 25^\circ\text{C}$ ( $V_{DD} = 50$ Vdc, $V_{GS} = 10$ Vdc, PEAK $I_L = 27$ Apk, $L = 1.0$ mH, $R_G = 25$ $\Omega$ )	EAS	365	mJ
Thermal Resistance — Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	0.86	$^\circ\text{C}/\text{W}$
— Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	62.5	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Maximum Lead Temperature for Soldering Purposes, 1/8" from case for 10 seconds	$T_L$	260	$^\circ\text{C}$

This document contains information on a product under development. Motorola reserves the right to change or discontinue this product without notice.  
E-FET is a trademark of Motorola, Inc. TMOS is a registered trademark of Motorola, Inc.

REV 3

© Motorola, Inc. 1998



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# IRF540

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T<sub>J</sub> = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	-----	------

### OFF CHARACTERISTICS

Drain-to-Source Breakdown Voltage (V <sub>GS</sub> = 0 Vdc, I <sub>D</sub> = 0.25 mAdc) Temperature Coefficient (Positive)	V <sub>(BR)DSS</sub>	100 —	— 116	— —	Vdc mV/°C
Zero Gate Voltage Drain Current (V <sub>DS</sub> = 100 Vdc, V <sub>GS</sub> = 0 Vdc) (V <sub>DS</sub> = 100 Vdc, V <sub>GS</sub> = 0 Vdc, T <sub>J</sub> = 125°C)	I <sub>DSS</sub>	— —	— —	10 100	μAdc
Gate-Body Leakage Current (V <sub>GS</sub> = ±20 Vdc, V <sub>DS</sub> = 0 Vdc)	I <sub>GSS</sub>	—	—	100	nAdc

### ON CHARACTERISTICS(1)

Gate Threshold Voltage (V <sub>DS</sub> = V <sub>GS</sub> , I <sub>D</sub> = 250 μAdc) Threshold Temperature Coefficient (Negative)	C <sub>pk</sub> ≥ 2.0(3)	V <sub>GS(th)</sub>	2.0 —	2.9 6.8	4.0 —	Vdc mV/°C
Static Drain-to-Source On-Resistance (V <sub>GS</sub> = 10 Vdc, I <sub>D</sub> = 15 Adc)	C <sub>pk</sub> ≥ 2.0(3)	R <sub>DS(on)</sub>	—	0.047	0.070	Ohms
Drain-to-Source On-Voltage (V <sub>GS</sub> = 10 Vdc, I <sub>D</sub> = 27 Adc) (V <sub>GS</sub> = 10 Vdc, I <sub>D</sub> = 15 Adc, T <sub>J</sub> = 125°C)		V <sub>DS(on)</sub>	— —	— —	1.9 1.8	Vdc
Forward Transconductance (V <sub>DS</sub> = 15 Vdc, I <sub>D</sub> = 15 Adc)		g <sub>FS</sub>	6.0	15	—	Mhos

### DYNAMIC CHARACTERISTICS

Input Capacitance	(V <sub>DS</sub> = 25 Vdc, V <sub>GS</sub> = 0 Vdc, f = 1.0 MHz)	C <sub>iss</sub>	—	1460	1600	pF
Output Capacitance		C <sub>oss</sub>	—	390	800	
Transfer Capacitance		C <sub>rss</sub>	—	120	300	

### SWITCHING CHARACTERISTICS(2)

Turn-On Delay Time	(V <sub>DD</sub> = 30 Vdc, I <sub>D</sub> = 15 Adc, V <sub>GS</sub> = 10 Vdc, R <sub>G</sub> = 4.7 Ω)	t <sub>d(on)</sub>	—	11.6	30	ns
Rise Time		t <sub>r</sub>	—	50	60	
Turn-Off Delay Time		t <sub>d(off)</sub>	—	26	80	
Fall Time		t <sub>f</sub>	—	19	30	
Gate Charge (See Figure 8)	(V <sub>DS</sub> = 80 Vdc, I <sub>D</sub> = 27 Adc, V <sub>GS</sub> = 10 Vdc)	Q <sub>T</sub>	—	50	60	nC
		Q <sub>1</sub>	—	9.0	—	
		Q <sub>2</sub>	—	26	—	
		Q <sub>3</sub>	—	20	—	

### SOURCE-DRAIN DIODE CHARACTERISTICS

Forward On-Voltage (I <sub>S</sub> = 27 Adc, V <sub>GS</sub> = 0 Vdc) (I <sub>S</sub> = 27 Adc, V <sub>GS</sub> = 0 Vdc, T <sub>J</sub> = 125°C)	V <sub>SD</sub>	— —	0.93 0.84	2.4 —	Vdc	
Reverse Recovery Time	(I <sub>S</sub> = 27 Adc, V <sub>GS</sub> = 0 Vdc, di <sub>S</sub> /dt = 100 A/μs)	t <sub>rr</sub>	—	110	—	ns
		t <sub>a</sub>	—	100	—	
		t <sub>b</sub>	—	10	—	
Reverse Recovery Stored Charge		Q <sub>RR</sub>	—	0.67	—	μC

### INTERNAL PACKAGE INDUCTANCE

Internal Drain Inductance (Measured from the contact screw on tab to center of die) (Measured from the drain lead 0.25 from package to center of die)	L <sub>d</sub>	— —	3.5 4.5	— —	nH
Internal Source Inductance (Measured from the source lead 0.25 from package to source bond pad)	L <sub>s</sub>	—	7.5	—	

- (1) Pulse Test: Pulse Width ≤ 300 μs, Duty Cycle ≤ 2%.  
 (2) Switching characteristics are independent of operating junction temperature.  
 (3) Reflects typical values.  $C_{pk} = \frac{Max\ limit - Typ}{3 \times \sigma}$

TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS

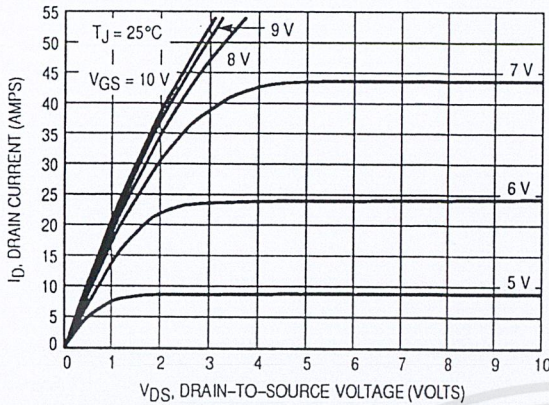


Figure 1. On-Region Characteristics

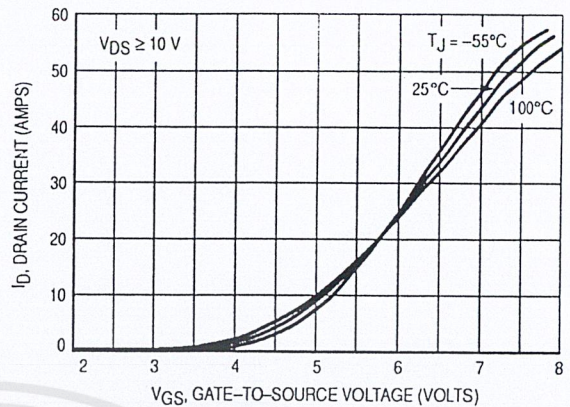


Figure 2. Transfer Characteristics

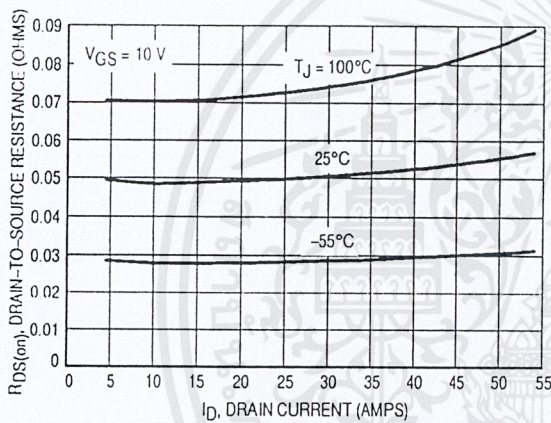


Figure 3. On-Resistance versus Drain Current and Temperature

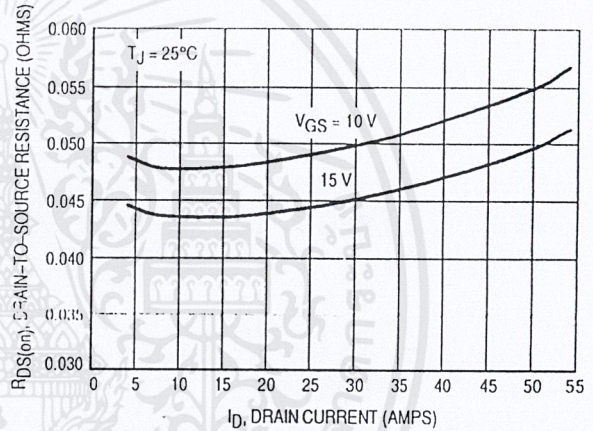


Figure 4. On-Resistance versus Drain Current and Gate Voltage

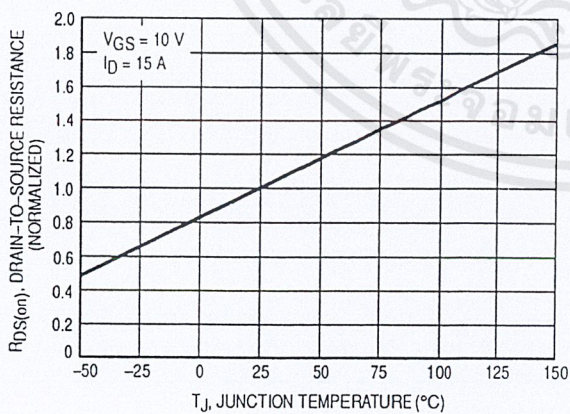


Figure 5. On-Resistance Variation with Temperature

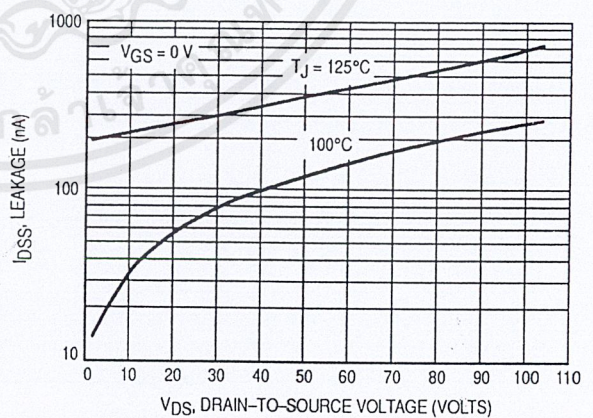


Figure 6. Drain-to-Source Leakage Current versus Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS

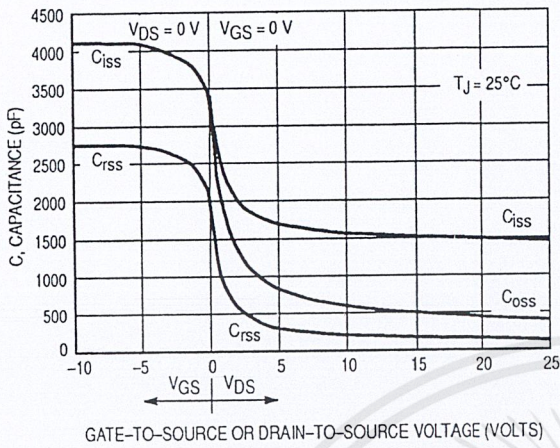


Figure 7. Capacitance Variation

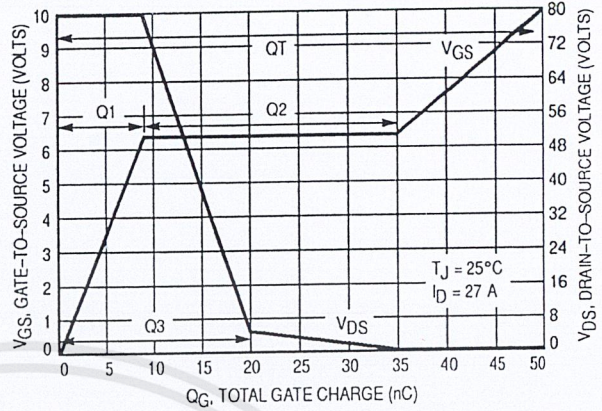


Figure 8. Gate-to-Source and Drain-to-Source Voltage versus Total Charge

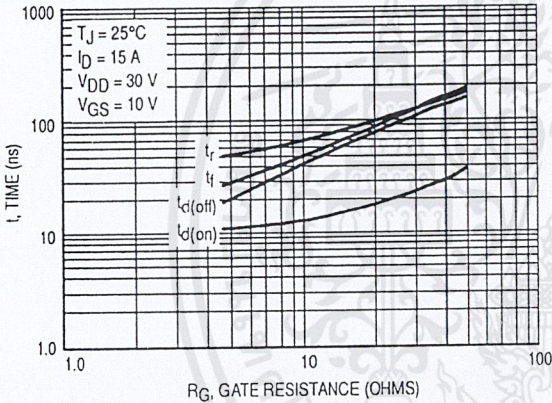


Figure 9. Resistive Switching Time Variation versus Gate Resistance

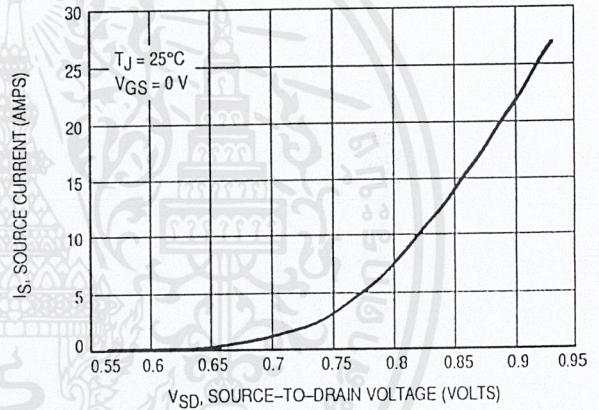


Figure 10. Diode Forward Voltage versus Current

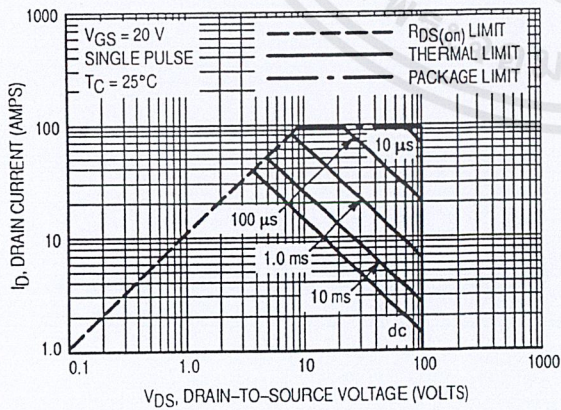


Figure 11. Maximum Rated Forward Biased Safe Operating Area

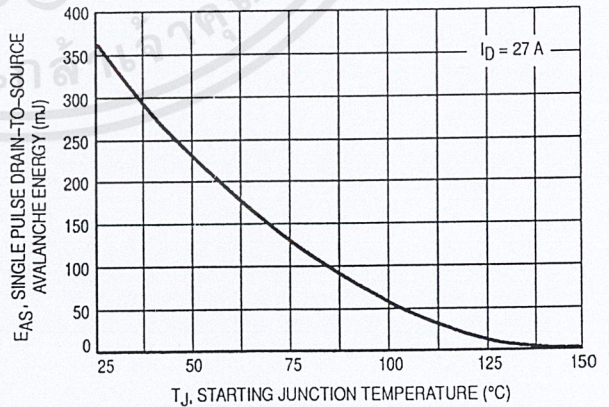


Figure 12. Maximum Avalanche Energy versus Starting Junction Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

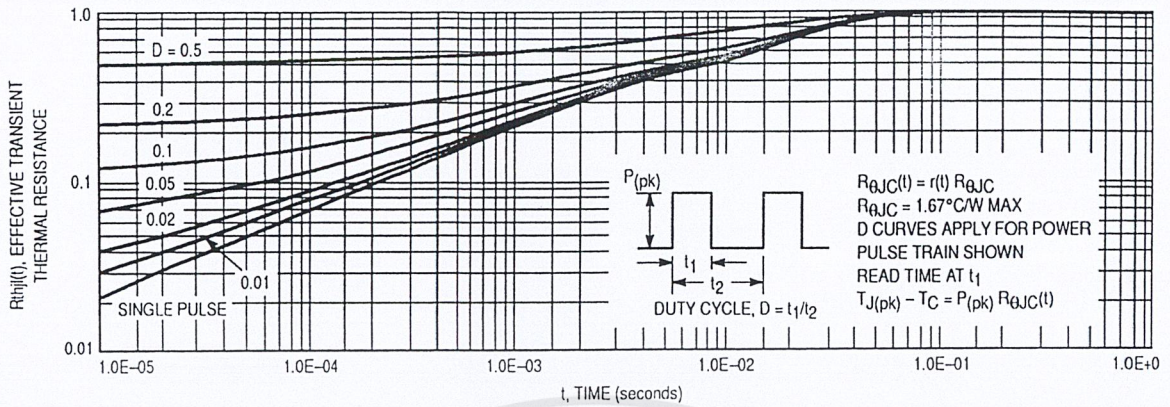
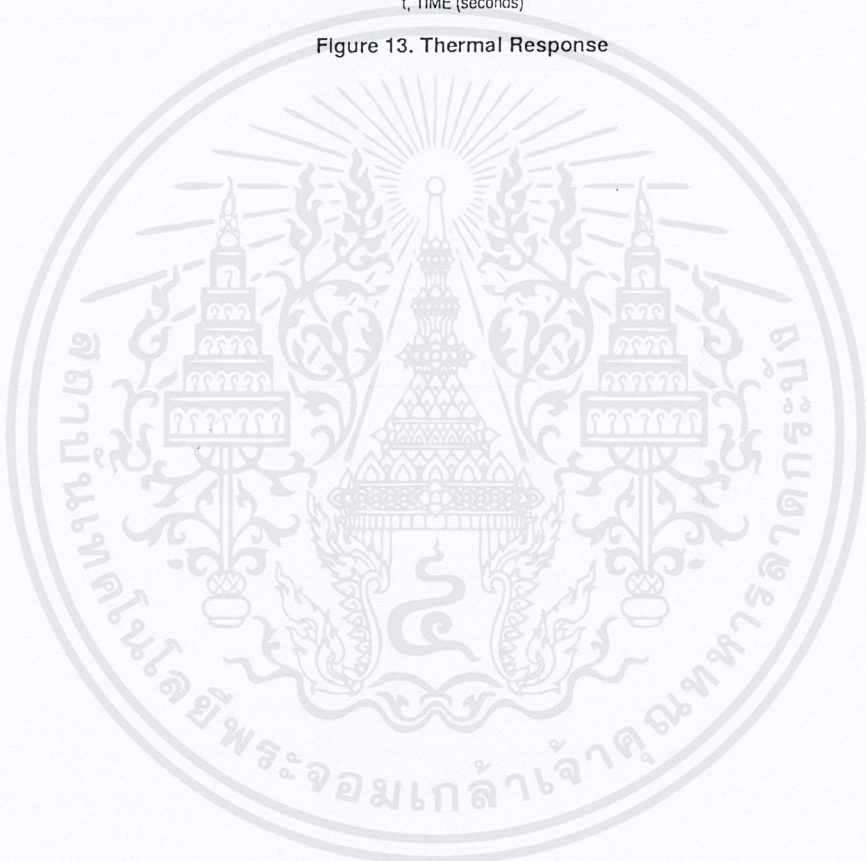


Figure 13. Thermal Response



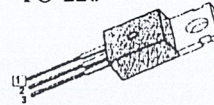
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FEATURES**

- ◆ Avalanche Rugged Technology
- ◆ Rugged Gate Oxide Technology
- ◆ Lower Input Capacitance
- ◆ Improved Gate Charge
- ◆ Extended Safe Operating Area
- ◆ Lower Leakage Current: 10µA (Max.) @  $V_{DS} = 400V$
- ◆ Lower  $R_{DS(ON)}$ : 0.437Ω (Typ.)

$BV_{DSS} = 400 V$   
 $R_{DS(on)} = 0.55\Omega$   
 $I_D = 10 A$

TO-220



1.Gate 2. Drain 3. Source

**Absolute Maximum Ratings**

Symbol	Characteristic	Value	Units
$V_{DSS}$	Drain-to-Source Voltage	400	V
$I_D$	Continuous Drain Current ( $T_C=25^\circ C$ )	10	A
	Continuous Drain Current ( $T_C=100^\circ C$ )	6.3	
$I_{DM}$	Drain Current-Pulsed (1)	40	A
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 30$	V
$E_{AS}$	Single Pulsed Avalanche Energy (2)	457	mJ
$I_{AR}$	Avalanche Current (1)	10	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy (1)	13.4	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt (3)	4.0	V/ns
$P_D$	Total Power Dissipation ( $T_C=25^\circ C$ )	134	W
	Linear Derating Factor	1.08	
$T_J, T_{STG}$	Operating Junction and Storage Temperature Range	- 55 to +150	°C
$T_L$	Maximum Lead Temp. for Soldering Purposes, 1/8. from case for 5-seconds	300	

**Thermal Resistance**

Symbol	Characteristic	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	--	0.93	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink	0.5	--	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	--	62.5	

Rev. B

**FAIRCHILD**  
 SEMICONDUCTOR™

©1999 Fairchild Semiconductor Corporation

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

Symbol	Characteristic	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Condition
$BV_{DS}$	Drain-Source Breakdown Voltage	400	--	--	V	$V_{GS}=0V, I_D=250\mu\text{A}$
$\Delta BV/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coeff.	--	0.50	--	$V/^\circ\text{C}$	$I_D=250\mu\text{A}$ See Fig 7
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	--	4.0	V	$V_{DS}=5V, I_D=250\mu\text{A}$
$I_{GSS}$	Gate-Source Leakage, Forward	--	--	100	nA	$V_{GS}=30V$
	Gate-Source Leakage, Reverse	--	--	-100		$V_{GS}=-30V$
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	--	--	10	$\mu\text{A}$	$V_{DS}=400V$
		--	--	100		$V_{DS}=320V, T_C=125^\circ\text{C}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-Source On-State Resistance	--	--	0.55	$\Omega$	$V_{GS}=10V, I_D=5A$ (4)
$g_{fs}$	Forward Transconductance	--	7.78	--	$\text{S}$	$V_{DS}=50V, I_D=5A$ (4)
$C_{iss}$	Input Capacitance	--	1180	1530	pF	$V_{GS}=0V, V_{DS}=25V, f=1\text{MHz}$ See Fig 5
$C_{oss}$	Output Capacitance	--	175	205		
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	--	80	95		
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	--	18	50	ns	$V_{DD}=200V, I_D=10A,$ $R_G=9.1\Omega$ See Fig 13 (4) (5)
$t_r$	Rise Time	--	21	55		
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	--	78	170		
$t_f$	Fall Time	--	28	65		
$Q_g$	Total Gate Charge	--	58	75	nC	$V_{DS}=320V, V_{GS}=10V,$ $I_D=10A$ See Fig 6 & Fig 12 (4) (5)
$Q_{gs}$	Gate-Source Charge	--	8.1	--		
$Q_{gd}$	Gate-Drain ( Miller ) Charge	--	31.3	--		

### Source-Drain Diode Ratings and Characteristics

Symbol	Characteristic	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Condition
$I_S$	Continuous Source Current	--	--	10	A	Integral reverse pn-diode in the MOSFET
$I_{SM}$	Pulsed-Source Current (1)	--	--	40		
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage (4)	--	--	1.5	V	$T_J=25^\circ\text{C}, I_S=10A, V_{GS}=0V$
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	--	315	--	ns	$T_J=25^\circ\text{C}, I_F=10A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	--	2.84	--	$\mu\text{C}$	$di_F/dt=100A/\mu\text{s}$ (4)

#### Notes;

- (1) Repetitive Rating: Pulse Width Limited by Maximum Junction Temperature
- (2)  $L=8\text{mH}, I_{AS}=10A, V_{DD}=50V, R_G=27\Omega,$  Starting  $T_J=25^\circ\text{C}$
- (3)  $I_{SD} \leq 10A, di/dt \leq 170A/\mu\text{s}, V_{DD} \leq BV_{DSS},$  Starting  $T_J=25^\circ\text{C}$
- (4) Pulse Test: Pulse Width = 250 $\mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2\%$
- (5) Essentially Independent of Operating Temperature

Fig 1. Output Characteristics

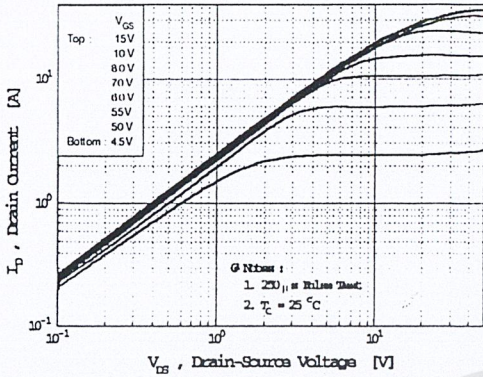


Fig 2. Transfer Characteristics

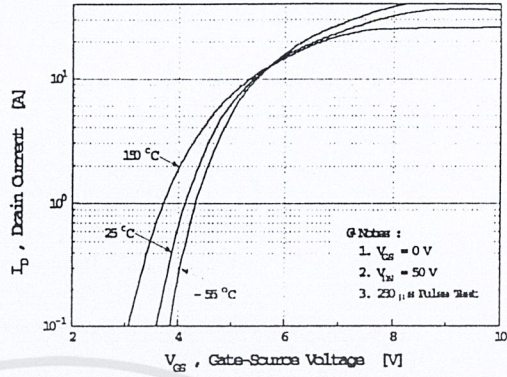


Fig 3. On-Resistance vs. Drain Current

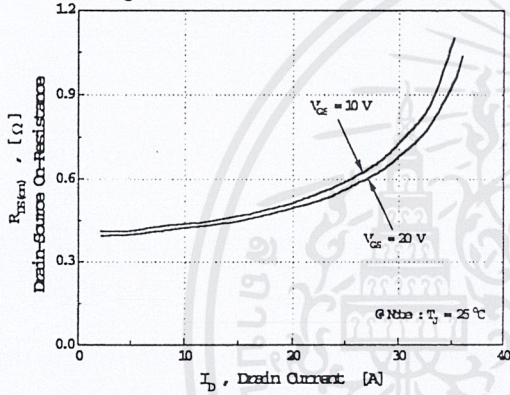


Fig 4. Source-Drain Diode Forward Voltage

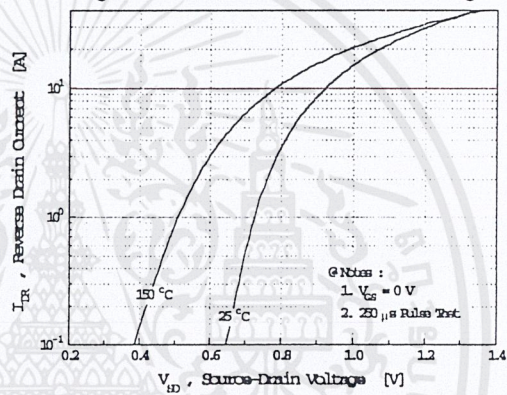


Fig 5. Capacitance vs. Drain-Source Voltage

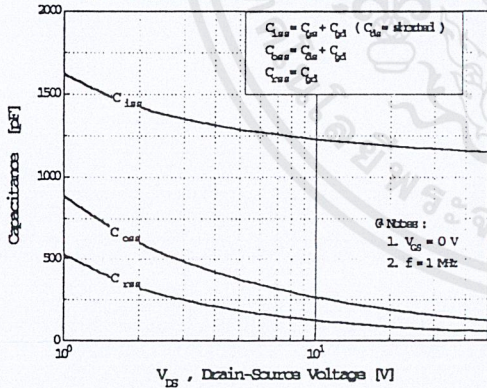


Fig 6. Gate Charge vs. Gate-Source Voltage

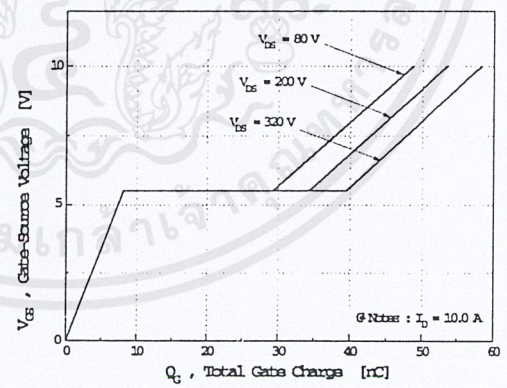


Fig 7. Breakdown Voltage vs. Temperature

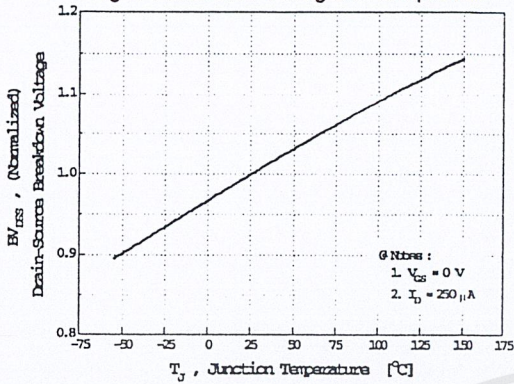


Fig 8. On-Resistance vs. Temperature

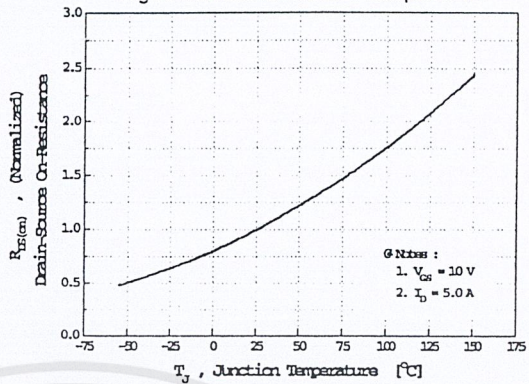


Fig 9. Max. Safe Operating Area

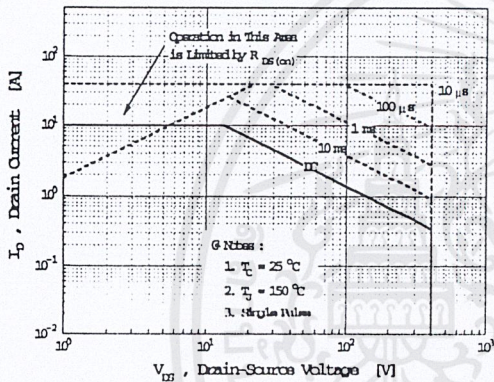


Fig 10. Max. Drain Current vs. Case Temperature

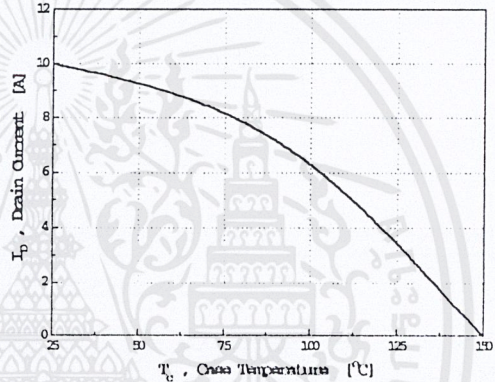


Fig 11. Thermal Response

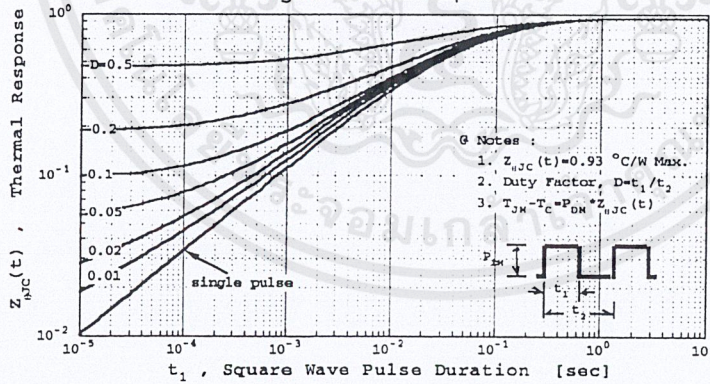


Fig 12. Gate Charge Test Circuit & Waveform

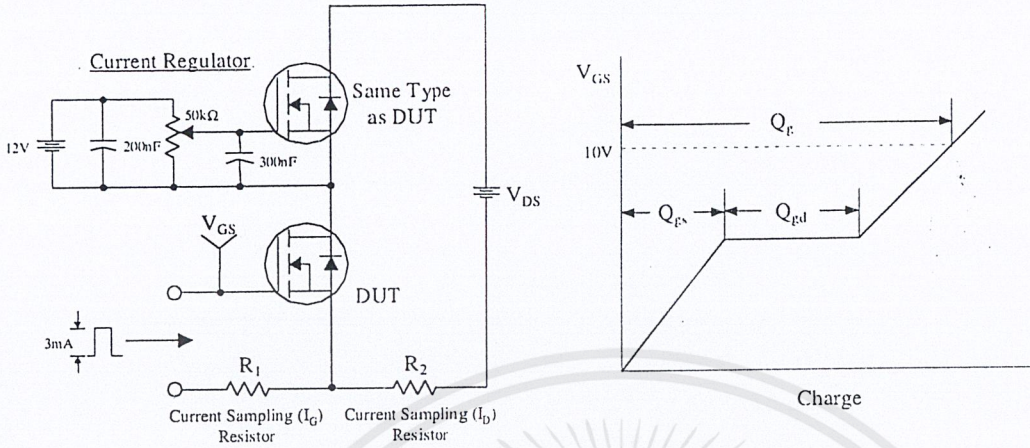


Fig 13. Resistive Switching Test Circuit & Waveforms

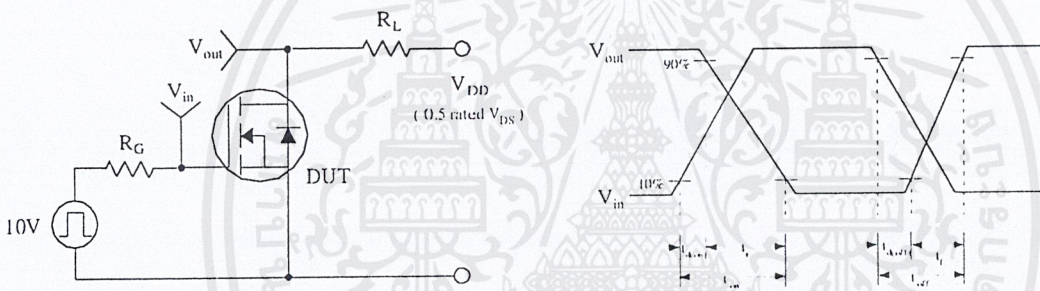
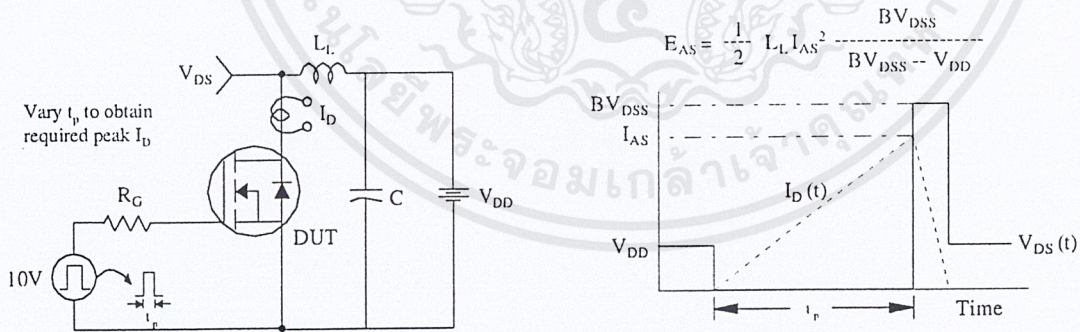
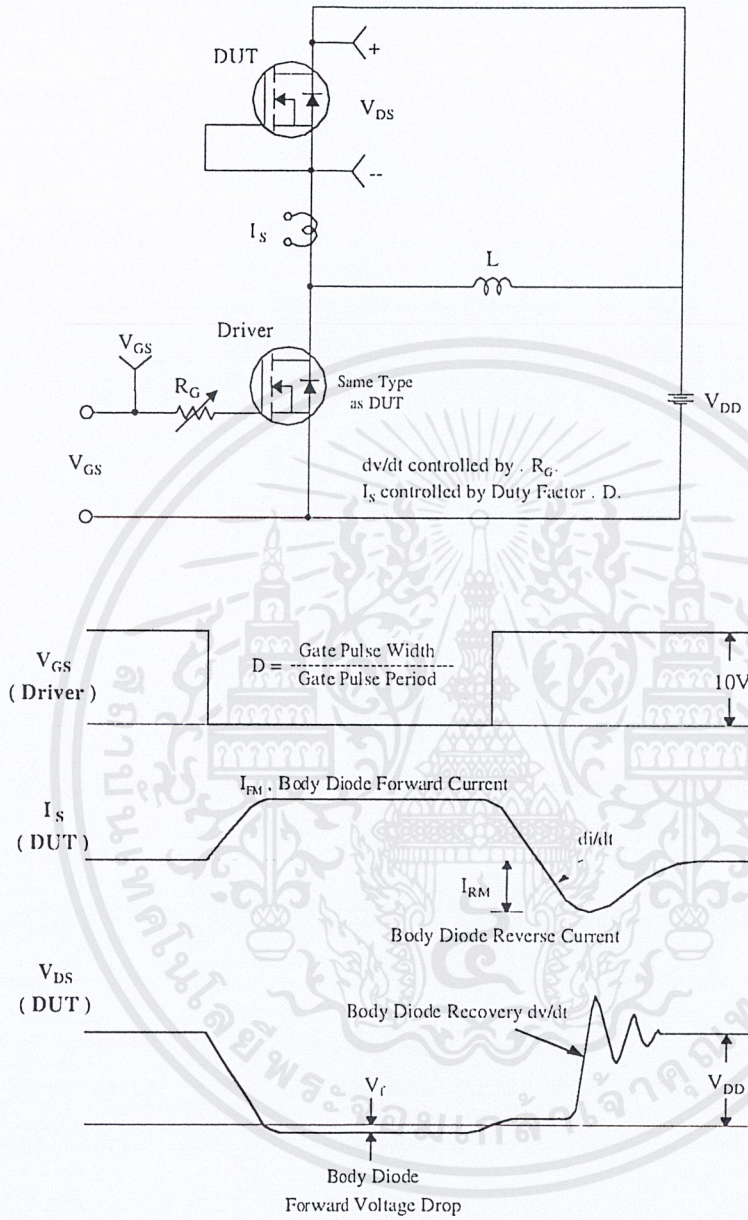


Fig 14. Unclamped Inductive Switching Test Circuit & Waveforms



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig 15. Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit & Waveforms



## TRADEMARKS

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

ACE <sup>x</sup> ™	ISOPLANAR™
CoolFET™	MICROWIRE™
CROSSVOLT™	POP™
E <sup>2</sup> CMOS™	PowerTrench™
FACT™	QST™
FACT Quiet Series™	Quiet Series™
FAST®	SuperSOT™-3
FAST <sub>r</sub> ™	SuperSOT™-6
GTO™	SuperSOT™-8
HiSeC™	TinyLogic™

## DISCLAIMER

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

## LIFE SUPPORT POLICY

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

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

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

## PRODUCT STATUS DEFINITIONS

### Definition of Terms

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## CD4071BC • CD4081BC

### Quad 2-Input OR Buffered B Series Gate • Quad 2-Input AND Buffered B Series Gate

#### General Description

The CD4071BC and CD4081BC quad gates are monolithic complementary MOS (CMOS) integrated circuits constructed with N- and P-channel enhancement mode transistors. They have equal source and sink current capabilities and conform to standard B series output drive. The devices also have buffered outputs which improve transfer characteristics by providing very high gain.

All inputs protected against static discharge with diodes to  $V_{DD}$  and  $V_{SS}$ .

#### Features

- Low power TTL compatibility:
  - Fan out of 2 driving 74L or 1 driving 74LS
- 5V–10V–15V parametric ratings
- Symmetrical output characteristics
- Maximum input leakage 1  $\mu$ A at 15V over full temperature range

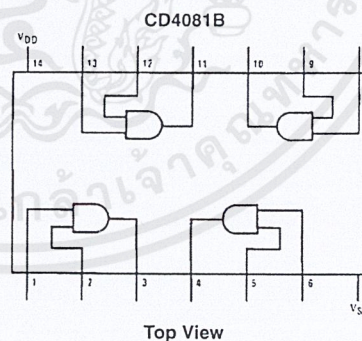
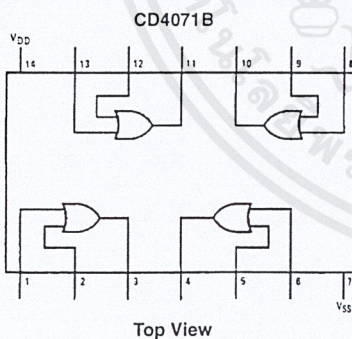
#### Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
CD4071BCM	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150" Narrow
CD4071BCN	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide
CD4081BCM	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150" Narrow
CD4081BCN	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

Devices are also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

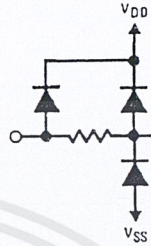
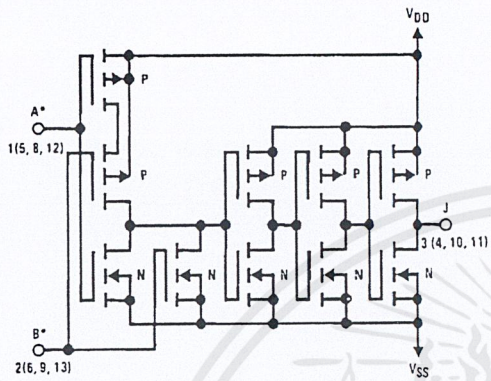
#### Connection Diagrams

Pin Assignments for DIP and SOIC



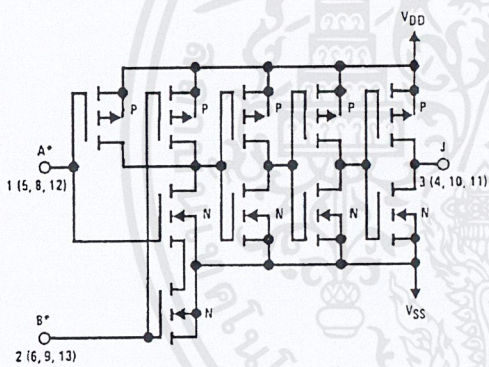
Schematic Diagrams

CD4071B



1/4 of device shown  
 $J = A + B$   
 Logical "1" = HIGH  
 Logical "0" = LOW  
 \*All inputs protected by standard CMOS protection circuit.

CD4081B



1/4 of device shown  
 $J = A \cdot B$   
 Logical "1" = HIGH  
 Logical "0" = LOW  
 All inputs protected by standard CMOS protection circuit.

<b>Absolute Maximum Ratings</b> (Note 1)		<b>Recommended Operating Conditions</b>	
(Note 2)			
Voltage at Any Pin	-0.5V to V <sub>DD</sub> +0.5V	Operating Range (V <sub>DD</sub> )	3 V <sub>DC</sub> to 15 V <sub>DC</sub>
Power Dissipation (P <sub>D</sub> )		Operating Temperature Range (T <sub>A</sub> )	
Dual-In-Line	700 mW	CD4071BC, CD4081BC	-40°C to +85°C
Small Outline	500 mW	<b>Note 1:</b> "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. Except for "Operating Temperature Range" they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.	
V <sub>DD</sub> Range	-0.5 V <sub>DC</sub> to +18 V <sub>DC</sub>	<b>Note 2:</b> All voltages measured with respect to V <sub>SS</sub> unless otherwise specified.	
Storage Temperature (T <sub>S</sub> )	-65°C to +150°C		
Lead Temperature (T <sub>L</sub> )			
(Soldering, 10 seconds)	260°C		

**DC Electrical Characteristics** (Note 2)  
CD4071BC/CD4081BC

Symbol	Parameter	Conditions	-40°C		+25°C			+85°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
I <sub>DD</sub>	Quiescent Device Current	V <sub>DD</sub> = 5V		1	0.004	1		7.5	μA	
		V <sub>DD</sub> = 10V		2	0.005	2		15	μA	
		V <sub>DD</sub> = 15V		4	0.006	4		30	μA	
V <sub>OL</sub>	LOW Level Output Voltage	V <sub>DD</sub> = 5V		0.05	0	0.05		0.05	V	
		V <sub>DD</sub> = 10V	I <sub>O</sub> < 1 μA	0.05	0	0.05		0.05	V	
		V <sub>DD</sub> = 15V		0.05	0	0.05		0.05	V	
V <sub>OH</sub>	HIGH Level Output Voltage	V <sub>DD</sub> = 5V	4.95		4.95	5		4.95	V	
		V <sub>DD</sub> = 10V	9.95		9.95	10		9.95	V	
		V <sub>DD</sub> = 15V	14.95		14.95	15		14.95	V	
V <sub>IL</sub>	LOW Level Input Voltage	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.5V		1.5	2	1.5		1.5	V	
		V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 1.0V		3.0	4	3.0		3.0	V	
		V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V		4.0	6	4.0		4.0	V	
V <sub>IH</sub>	HIGH Level Input Voltage	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 4.5V	3.5		3.5	3		3.5	V	
		V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 9.0V	7.0		7.0	6		7.0	V	
		V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 13.5V	11.0		11.0	9		11.0	V	
I <sub>OL</sub>	LOW Level Output Current (Note 3)	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 0.4V	0.52		0.44	0.88		0.36	mA	
		V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 0.5V	1.3		1.1	2.25		0.9	mA	
		V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 1.5V	3.6		3.0	8.8		2.4	mA	
I <sub>OH</sub>	HIGH Level Output Current (Note 3)	V <sub>DD</sub> = 5V, V <sub>O</sub> = 4.6V	-0.52		-0.44	-0.88		-0.36	mA	
		V <sub>DD</sub> = 10V, V <sub>O</sub> = 9.5V	-1.3		-1.1	-2.25		-0.9	mA	
		V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>O</sub> = 13.5V	-3.6		-3.0	-8.8		-2.4	mA	
I <sub>IN</sub>	Input Current	V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 0V		-0.30		-10 <sup>-5</sup>		-0.30	μA	
		V <sub>DD</sub> = 15V, V <sub>IN</sub> = 15V		0.30		10 <sup>-5</sup>		0.30	μA	

Note 3: I<sub>OH</sub> and I<sub>OL</sub> are tested one output at a time.

**AC Electrical Characteristics** (Note 4)  
CD4071BC T<sub>A</sub> = 25°C, Input t<sub>r</sub>; t<sub>f</sub> = 20 ns, C<sub>L</sub> = 50 pF, R<sub>L</sub> = 200 kΩ, Typical temperature coefficient is 0.3%/°C

Symbol	Parameter	Conditions	Typ	Max	Units
t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay Time, HIGH-to-LOW Level	V <sub>DD</sub> = 5V	100	250	ns
		V <sub>DD</sub> = 10V	40	100	ns
		V <sub>DD</sub> = 15V	30	70	ns
t <sub>PLH</sub>	Propagation Delay Time, LOW-to-HIGH Level	V <sub>DD</sub> = 5V	90	250	ns
		V <sub>DD</sub> = 10V	40	100	ns
		V <sub>DD</sub> = 15V	30	70	ns
t <sub>THL</sub> , t <sub>TLH</sub>	Transition Time	V <sub>DD</sub> = 5V	90	200	ns
		V <sub>DD</sub> = 10V	50	100	ns
		V <sub>DD</sub> = 15V	40	80	ns
C <sub>IN</sub>	Average Input Capacitance	Any Input	5	7.5	pF
C <sub>PD</sub>	Power Dissipation Capacity	Any Gate	18		pF

Note 4: AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

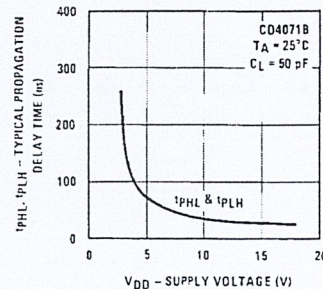
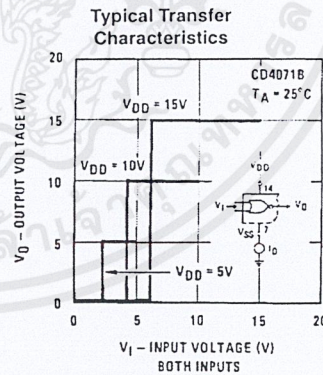
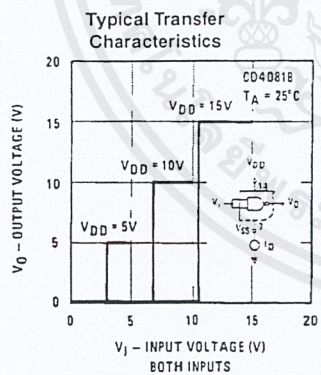
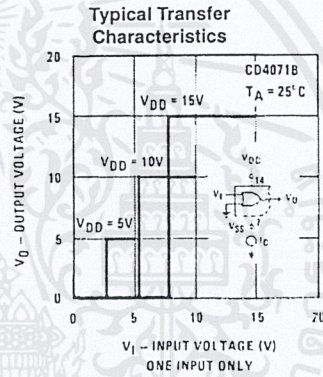
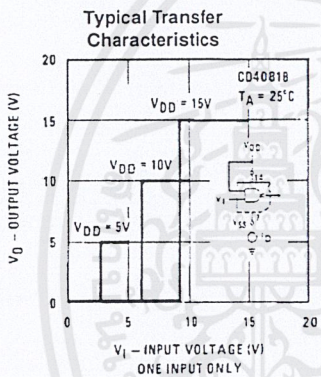
### AC Electrical Characteristics (Note 5)

CD4081BC  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , Input  $t_i = 20\text{ ns}$ ,  $C_L = 50\text{ pF}$ ,  $R_L = 200\text{ k}\Omega$ , Typical temperature coefficient is  $0.3\%/^\circ\text{C}$

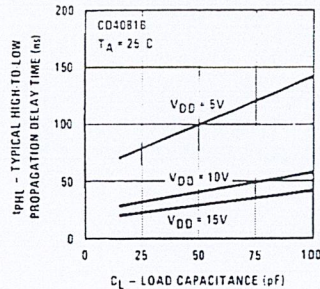
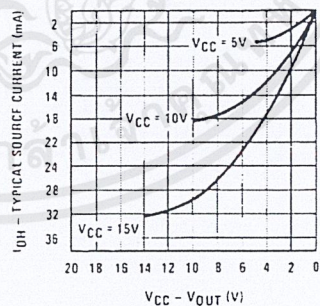
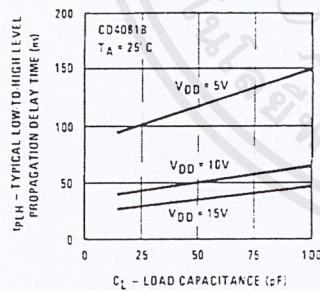
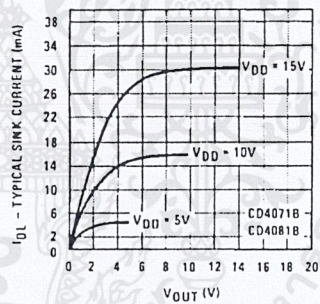
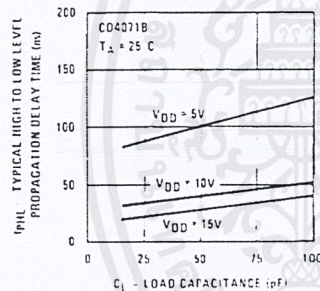
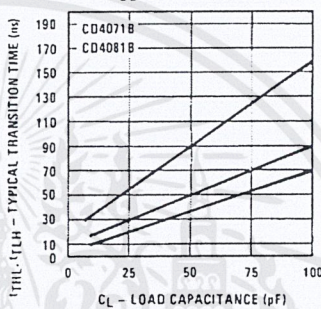
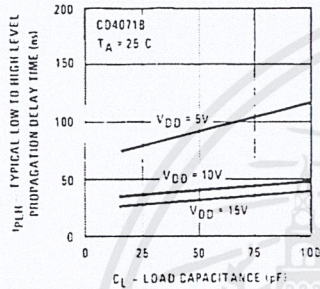
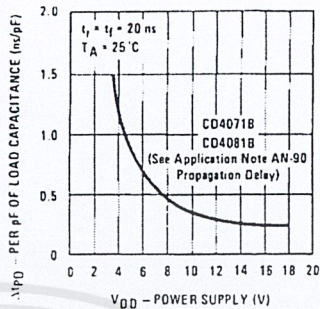
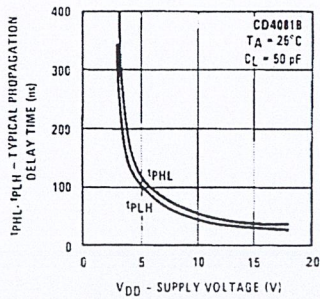
Symbol	Parameter	Conditions	Typ	Max	Units
$t_{PHL}$	Propagation Delay Time, HIGH-to-LOW Level	$V_{DD} = 5\text{V}$	100	250	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$	40	100	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$	30	70	ns
$t_{PLH}$	Propagation Delay Time, LOW-to-HIGH Level	$V_{DD} = 5\text{V}$	120	250	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$	50	100	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$	35	70	ns
$t_{THL}, t_{TLH}$	Transition Time	$V_{DD} = 5\text{V}$	90	200	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$	50	100	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$	40	80	ns
$C_{IN}$	Average Input Capacitance	Any Input	5	7.5	pF
$C_{PD}$	Power Dissipation Capacity	Any Gate	18		pF

Note 5: AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

### Typical Performance Characteristics

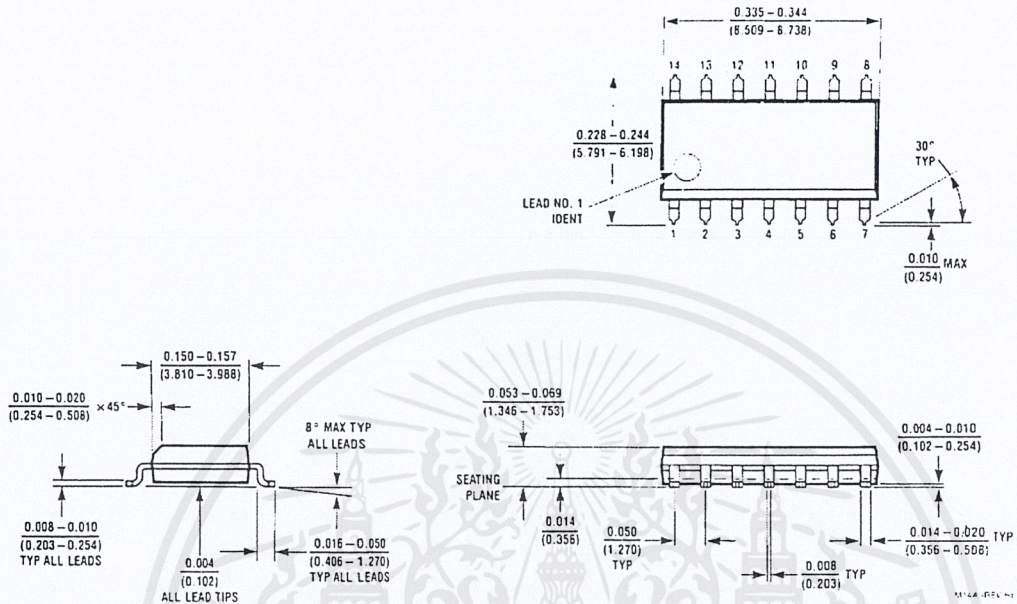


Typical Performance Characteristics (Continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

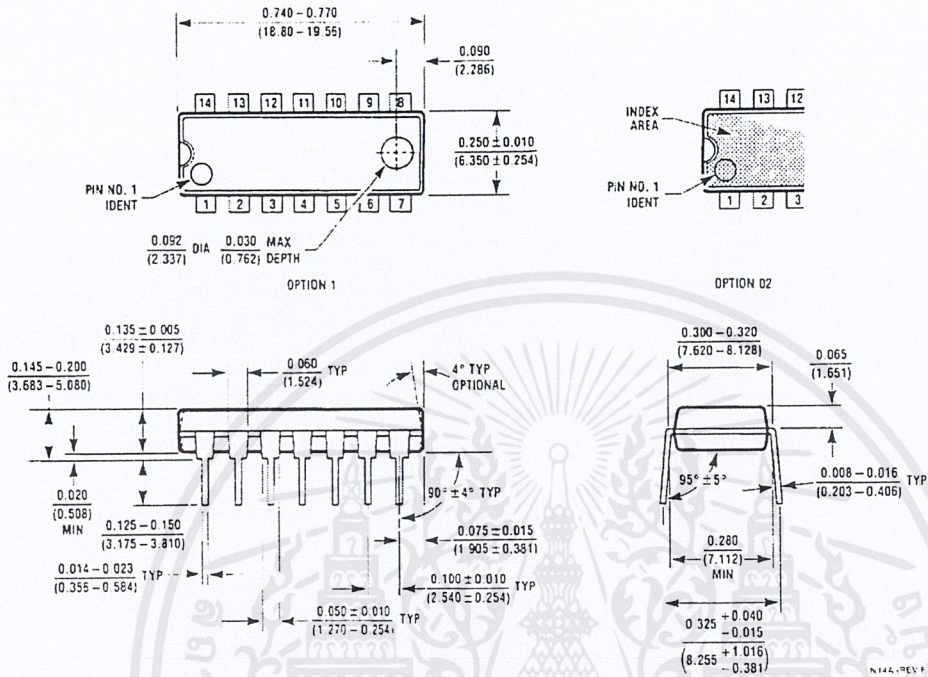
**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted



14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150" Narrow  
Package Number M14A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide Package Number N14A

**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 THE PRESIDENT 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, and (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 a significant injury to the user.
2. A critical component in 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.

[www.fairchildsemi.com](http://www.fairchildsemi.com)

Fairchild does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and Fairchild reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494C, TL494I, TL494M, TL494Y PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074A – JANUARY 1983 – REVISED AUGUST 1995

- Complete PWM Power Control Circuitry
- Uncommitted Outputs for 200-mA Sink or Source Current
- Output Control Selects Single-Ended or Push-Pull Operation
- Internal Circuitry Prohibits Double Pulse at Either Output
- Variable Dead Time Provides Control Over Total Range
- Internal Regulator Provides a Stable 5-V Reference Supply With 5% Tolerance
- Circuit Architecture Allows Easy Synchronization

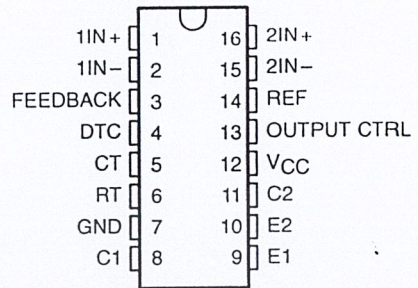
## description

The TL494 incorporates on a single monolithic chip all the functions required in the construction of a pulse-width-modulation control circuit. Designed primarily for power supply control, this device offers the systems engineer the flexibility to tailor the power supply control circuitry to a specific application.

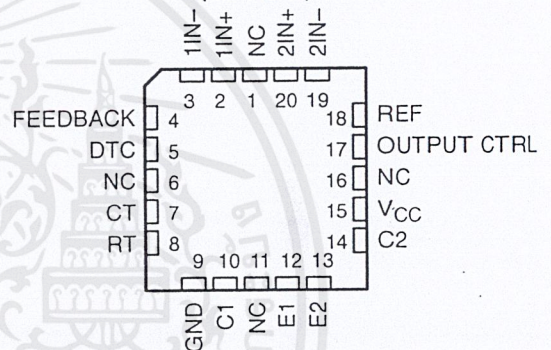
The TL494 contains two error amplifiers, an on-chip adjustable oscillator, a dead-time control (DTC) comparator, a pulse-steering control flip-flop, a 5-V, 5%-precision regulator, and output-control circuits.

The error amplifiers exhibit a common-mode voltage range from  $-0.3\text{ V}$  to  $V_{CC} - 2\text{ V}$ . The dead-time control comparator has a fixed offset that provides approximately 5% dead time. The on-chip oscillator may be bypassed by terminating RT to the reference output and providing a sawtooth input to CT, or it may drive the common circuits in synchronous multiple-rail power supplies.

TL494C, TL494I . . . D, N, OR PW PACKAGE  
TL494M . . . J PACKAGE  
(TOP VIEW)



TL494M . . . FK PACKAGE  
(TOP VIEW)



NC – No internal connection

FUNCTION TABLE

INPUT TO OUTPUT CTRL	OUTPUT FUNCTION
$V_I = \text{GND}$	Single-ended or parallel output
$V_I = V_{\text{ref}}$	Normal push-pull operation

## AVAILABLE OPTIONS

T <sub>A</sub>	PACKAGED DEVICES					CHIP FORM (Y)
	SURFACE MOUNT (D) <sup>†</sup>	CHIP CARRIER (FK)	CERAMIC DIP (J)	PLASTIC DIP (N)	SHRINK SMALL OUTLINE (PW) <sup>‡</sup>	
0°C to 70°C	TL494CD	—	—	TL494CN	TL494CPW	TL494Y
-40°C to 85°C	TL494ID	—	—	TL494IN	—	—
-55°C to 125°C	—	TL494MFK	TL494MJ	—	—	—

<sup>†</sup> The D package is available taped and reeled. Add R suffix to device type (e.g., TL494CDR).

<sup>‡</sup> The PW package is only available left-end taped and reeled.

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

TEXAS INSTRUMENTS

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1995, Texas Instruments Incorporated  
On products compliant to MIL-STD-883, Class B, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494C, TL494I, TL494M, TL494Y PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

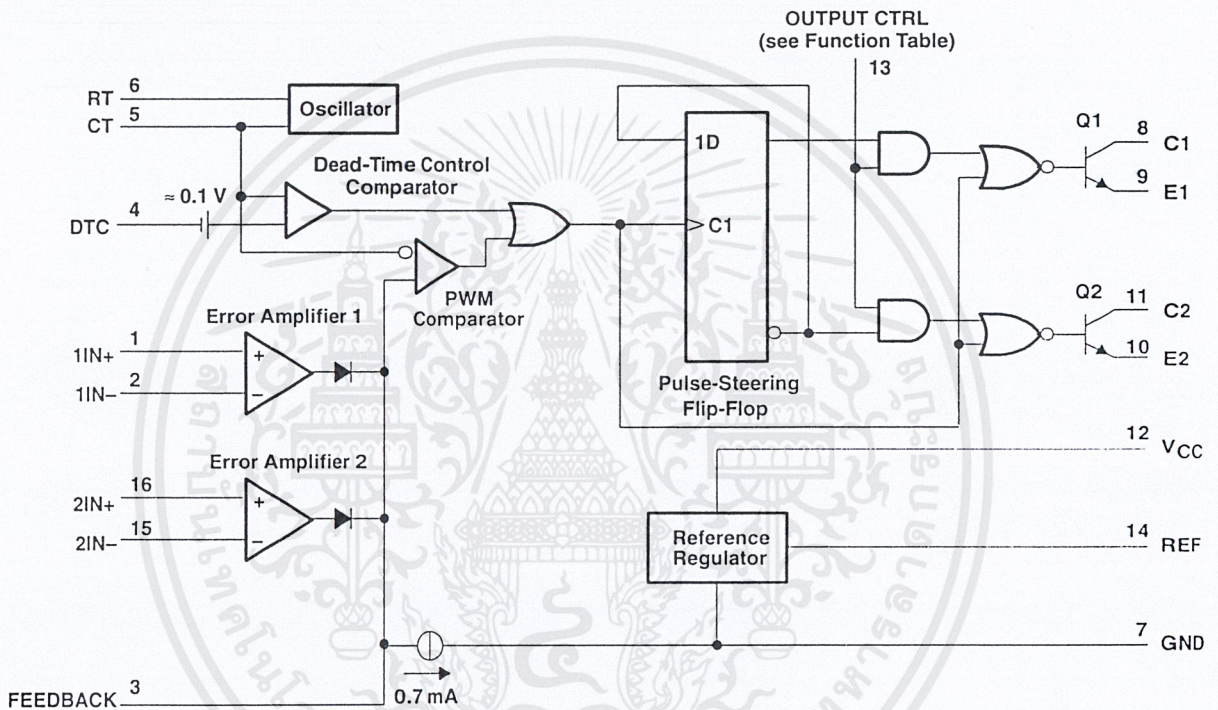
SLVS074A – JANUARY 1983 – REVISED AUGUST 1995

## description (continued)

The uncommitted output transistors provide either common-emitter or emitter-follower output capability. The TL494 provides for push-pull or single-ended output operation, which may be selected through the output-control function. The architecture of this device prohibits the possibility of either output being pulsed twice during push-pull operation.

The TL494C is characterized for operation from 0°C to 70°C. The TL494I is characterized for operation from -40°C to 85°C. The TL494M is characterized for operation from -55°C to 125°C.

## functional block diagram



NOTE A. The terminal numbers indicated apply only to the D, J, N, and PW packages.

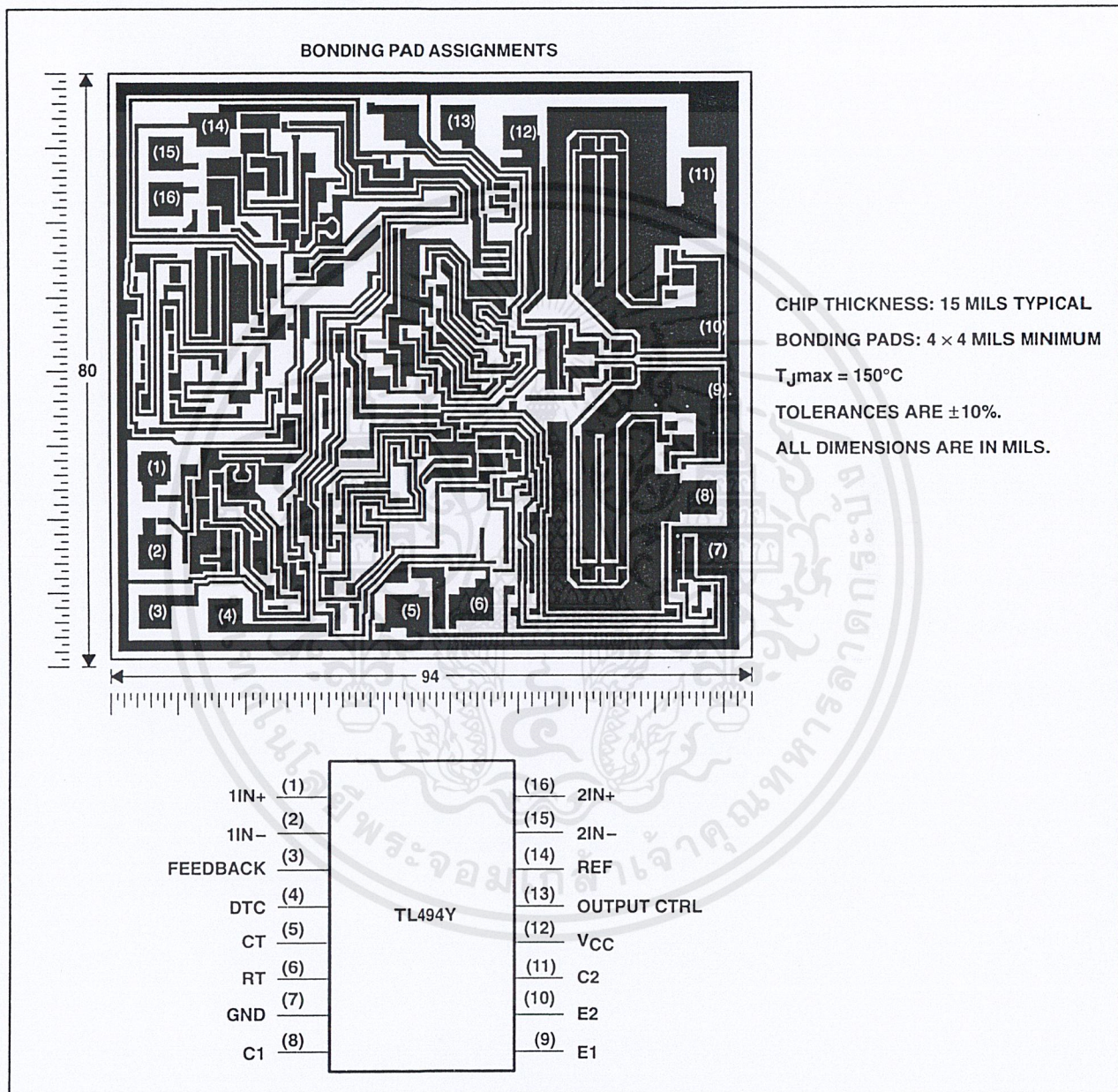


# TL494C, TL494I, TL494M, TL494Y PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074A – JANUARY 1983 – REVISED AUGUST 1995

## TL494Y chip information

This chip, when properly assembled, display characteristics similar to the TL494C. Thermal compression or ultrasonic bonding may be used on the doped aluminum bonding pads. The chips may be mounted with conductive epoxy or a gold-silicon preform.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน INSTRUMENTS ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494C, TL494I, TL494M, TL494Y

## PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074A – JANUARY 1983 – REVISED AUGUST 1995

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)<sup>†</sup>

	TL494C	TL494I	TL494M	UNIT
Supply voltage, $V_{CC}$ (see Note 1)	41	41	41	V
Amplifier input voltage, $V_I$	$V_{CC} + 0.3$	$V_{CC} + 0.3$	$V_{CC} + 0.3$	V
Collector output voltage, $V_O$	41	41	41	V
Collector output current, $I_O$	250	250	250	mA
Continuous total power dissipation	See Dissipation Rating Table			
Operating free-air temperature range, $T_A$	0 to 70	-40 to 85	-55 to 125	°C
Storage temperature range, $T_{stg}$	-65 to 150	-65 to 150	-65 to 150	°C
Case temperature for 60 seconds, $T_C$ : FK package	—	—	260	°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds: D, N, or PW package	260	260	—	°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds: J package	—	—	300	°C

<sup>†</sup> Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTE 1: All voltage values, except differential voltages, are with respect to the network ground terminal.

DISSIPATION RATING TABLE

PACKAGE	$T_A \leq 25^\circ\text{C}$ POWER RATING	DERATING FACTOR	DERATE ABOVE $T_A$	$T_A = 70^\circ\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 85^\circ\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 125^\circ\text{C}$ POWER RATING
D	900 mW	7.6 mW/°C	25°C	558 mW	444 mW	—
FK	1375 mW	11.0 mW/°C	25°C	880 mW	715 mW	275 mW
J	1375 mW	11.0 mW/°C	25°C	880 mW	715 mW	275 mW
N	1000 mW	9.2 mW/°C	41°C	733 mW	595 mW	—
PW	700 mW	5.6 mW/°C	25°C	448 mW	—	—

### recommended operating conditions

	TL494C		TL494I		TL494M		UNIT
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
Supply voltage, $V_{CC}$	7	40	7	40	7	40	V
Amplifier input voltage, $V_I$	-0.3	$V_{CC} - 2$	-0.3	$V_{CC} - 2$	-0.3	$V_{CC} - 2$	V
Collector output voltage, $V_O$	40		40		40		V
Collector output current (each transistor)	200		200		200		mA
Current into feedback terminal	0.3		0.3		0.3		mA
Oscillator frequency, $f_{osc}$	1	300	1	300	1	300	kHz
Timing capacitor, $C_T$	0.47	10000	0.47	10000	0.47	10000	nF
Timing resistor, $R_T$	1.8	500	1.8	500	1.8	500	k $\Omega$
Operating free-air temperature, $T_A$	0	70	-40	85	-55	125	°C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494C, TL494I, TL494M, TL494Y PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074A – JANUARY 1983 – REVISED AUGUST 1995

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range,  $V_{CC} = 15\text{ V}$ ,  $f = 10\text{ kHz}$  (unless otherwise noted)

## reference section

PARAMETER	TEST CONDITION <sup>†</sup>	TL494C, TL494I			TL494M			UNIT
		MIN	TYP <sup>‡</sup>	MAX	MIN	TYP <sup>‡</sup>	MAX	
Output voltage (REF)	$I_O = 1\text{ mA}$	4.75	5	5.25	4.75	5	5.25	V
Input regulation	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$		2	25		2	25	mV
Output regulation	$I_O = 1\text{ mA to }10\text{ mA}$		1	15		1	15	mV
Output voltage change with temperature	$\Delta T_A = \text{MIN to MAX}$		2	10		2	30*	mV/V
Short-circuit output current <sup>§</sup>	REF = 0 V		25			-25		mA

\* On products compliant to MIL-STD-883, Class B, this parameter is not production tested.

<sup>†</sup> For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

<sup>‡</sup> All typical values except for parameter changes with temperature are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .

<sup>§</sup> Duration of the short circuit should not exceed one second.

## oscillator section, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$ , $R_T = 12\ \text{k}\Omega$ (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITION <sup>†</sup>	TL494C, TL494I			TL494M			UNIT
		MIN	TYP <sup>‡</sup>	MAX	MIN	TYP <sup>‡</sup>	MAX	
Frequency			10			10		kHz
Standard deviation of frequency <sup>¶</sup>	All values of $V_{CC}$ , $C_T$ , $R_T$ , and $T_A$ constant		100			100		Hz/kHz
Frequency change with voltage	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$		1			1		Hz/kHz
Frequency change with temperature <sup>#</sup>	$\Delta T_A = \text{MIN to MAX}$			10			10*	Hz/kHz

\* On products compliant to MIL-STD-883, Class B, this parameter is not production tested.

<sup>†</sup> For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

<sup>‡</sup> All typical values except for parameter changes with temperature are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .

<sup>¶</sup> Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula:

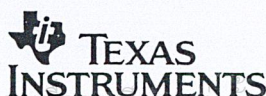
<sup>#</sup> Temperature coefficient of timing capacitor and timing resistor not taken into account.

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

## error amplifier section (see Figure 2)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494C, TL494I TL494M			UNIT
		MIN	TYP <sup>‡</sup>	MAX	
Input offset voltage	$V_O (\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$		2	10	mV
Input offset current	$V_O (\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$		25	250	nA
Input bias current	$V_O (\text{FEEDBACK}) = 2.5\text{ V}$		0.2	1	$\mu\text{A}$
Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$		-0.3 to $V_{CC}-2$		V
Open-loop voltage amplification	$\Delta V_O = 3\text{ V}$ , $R_L = 2\ \text{k}\Omega$ , $V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$		70	95	dB
Unity-gain bandwidth	$V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$ , $R_L = 2\ \text{k}\Omega$			800	kHz
Common-mode rejection ratio	$\Delta V_O = 40\text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$		65	80	dB
Output sink current (FEEDBACK)	$V_{ID} = -15\text{ mV to }-5\text{ V}$ , $V (\text{FEEDBACK}) = 0.7\text{ V}$		0.3	0.7	mA
Output source current (FEEDBACK)	$V_{ID} = 15\text{ mV to }5\text{ V}$ , $V (\text{FEEDBACK}) = 3.5\text{ V}$		-2		mA

<sup>‡</sup> All typical values except for parameter changes with temperature are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า 4-5

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494C, TL494I, TL494M, TL494Y PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074A – JANUARY 1983 – REVISED AUGUST 1995

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range,  $V_{CC} = 15\text{ V}$ ,  $f = 10\text{ kHz}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise noted)

## reference section

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Output voltage (REF)	$I_O = 1\text{ mA}$		5		V
Input regulation	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$		2		mV
Output regulation	$I_O = 1\text{ mA to }10\text{ mA}$		1		mV
Short-circuit output current‡	REF = 0 V		25		mA

## oscillator section, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$ , $R_T = 12\text{ k}\Omega$ (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Frequency			10		kHz
Standard deviation of frequency§	All values of $V_{CC}$ , $C_T$ , $R_T$ , and $T_A$ constant		100		Hz/kHz
Frequency change with voltage	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$		1		Hz/kHz

## error amplifier section (see Figure 2)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Input offset voltage	$V_O$ (FEEDBACK) = 2.5 V		2		mV
Input offset current	$V_O$ (FEEDBACK) = 2.5 V		25		nA
Input bias current	$V_O$ (FEEDBACK) = 2.5 V		0.2		$\mu\text{A}$
Open-loop voltage amplification	$\Delta V_O = 3\text{ V}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$ , $V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$		95		dB
Unity-gain bandwidth	$V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$		800		kHz
Common-mode rejection ratio	$\Delta V_O = 40\text{ V}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$		80		dB
Output sink current (FEEDBACK)	$V_{ID} = -15\text{ mV to }-5\text{ V}$ , $V$ (FEEDBACK) = 0.7 V		0.7		mA

† All typical values except for parameter changes with temperature are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .

‡ Duration of the short circuit should not exceed one second.

§ Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula:

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
4-6 POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TL494C, TL494I, TL494M, TL494Y PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074A – JANUARY 1983 – REVISED AUGUST 1995

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range,  $V_{CC} = 15\text{ V}$ ,  $f = 10\text{ kHz}$  (unless otherwise noted)

### output section

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494C, TL494I TL494M, TL494Y			UNIT	
		MIN	TYP†	MAX		
Collector off-state current	$V_{CE} = 40\text{ V}$ , $V_{CC} = 40\text{ V}$		2	100	$\mu\text{A}$	
Emitter off-state current	$V_{CC} = V_C = 40\text{ V}$ , $V_E = 0$			-100	$\mu\text{A}$	
Collector-emitter saturation voltage	Common emitter	$V_E = 0$ ,	$I_C = 200\text{ mA}$	1.1	1.3	V
	Emitter follower	$V_{O(C1\text{ or }C2)} = 15\text{ V}$ ,	$I_E = -200\text{ mA}$	1.5	2.5	
Output control input current	$V_I = V_{ref}$			3.5	mA	

† All typical values except for temperature coefficient are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .

### dead-time control section (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494C, TL494I TL494Y			TL494M			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	MIN	TYP†	MAX	
Input bias current (DEAD-TIME CTRL)	$V_I = 0\text{ to }5.25\text{ V}$		-2	-10	-2	-10		$\mu\text{A}$
Maximum duty cycle, each output	$V_I$ (DEAD-TIME CTRL) = 0, $C_T = 0.1\ \mu\text{F}$ , $R_T = 12\ \text{k}\Omega$		45%		45%	50%*		
Input threshold voltage (DEAD-TIME CTRL)	Zero duty cycle		3	3.3	3	3.3		V
	Maximum duty cycle		0		0*			

\* On products compliant to MIL-STD-883, Class B, this parameter is not production tested.

† All typical values except for temperature coefficient are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .

### PWM comparator section (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494C, TL494I TL494M, TL494Y			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	
Input threshold voltage (FEEDBACK)	Zero duty cycle		4	4.5	V
Input sink current (FEEDBACK)	$V$ (FEEDBACK) = 0.7 V	0.3	0.7		mA

† All typical values except for temperature coefficient are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .

### total device

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494C, TL494I TL494Y			TL494M			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	MIN	TYP†	MAX	
Standby supply current	RT = $V_{ref}$ , All other inputs and outputs open	$V_{CC} = 15\text{ V}$	6	10	6	21	mA	
		$V_{CC} = 40\text{ V}$	9	15	9	26		
Average supply current	$V_I$ (DEAD-TIME CTRL) = 2 V, See Figure 1		7.5		7.5		mA	

† All typical values except for temperature coefficient are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .



# TL494C, TL494I, TL494M, TL494Y

## PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074A – JANUARY 1983 – REVISED AUGUST 1995

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range,  $V_{CC} = 15\text{ V}$ ,  $f = 10\text{ kHz}$  (unless otherwise noted) (continued)

switching characteristics,  $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494C, TL494I TL494Y			TL494M			UNIT
		MIN	TYP†	MAX	MIN	TYP†	MAX	
Rise time	Common-emitter configuration, See Figure 3	100	200		100	200*		ns
Fall time		25	100		25	100*		ns
Rise time	Emitter-follower configuration, See Figure 4	100	200		100	200*		ns
Fall time		40	100		40	100*		ns

\* On products compliant to MIL-STD-883, Class B, this parameter is not production tested.

† All typical values except for temperature coefficient are at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .



PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

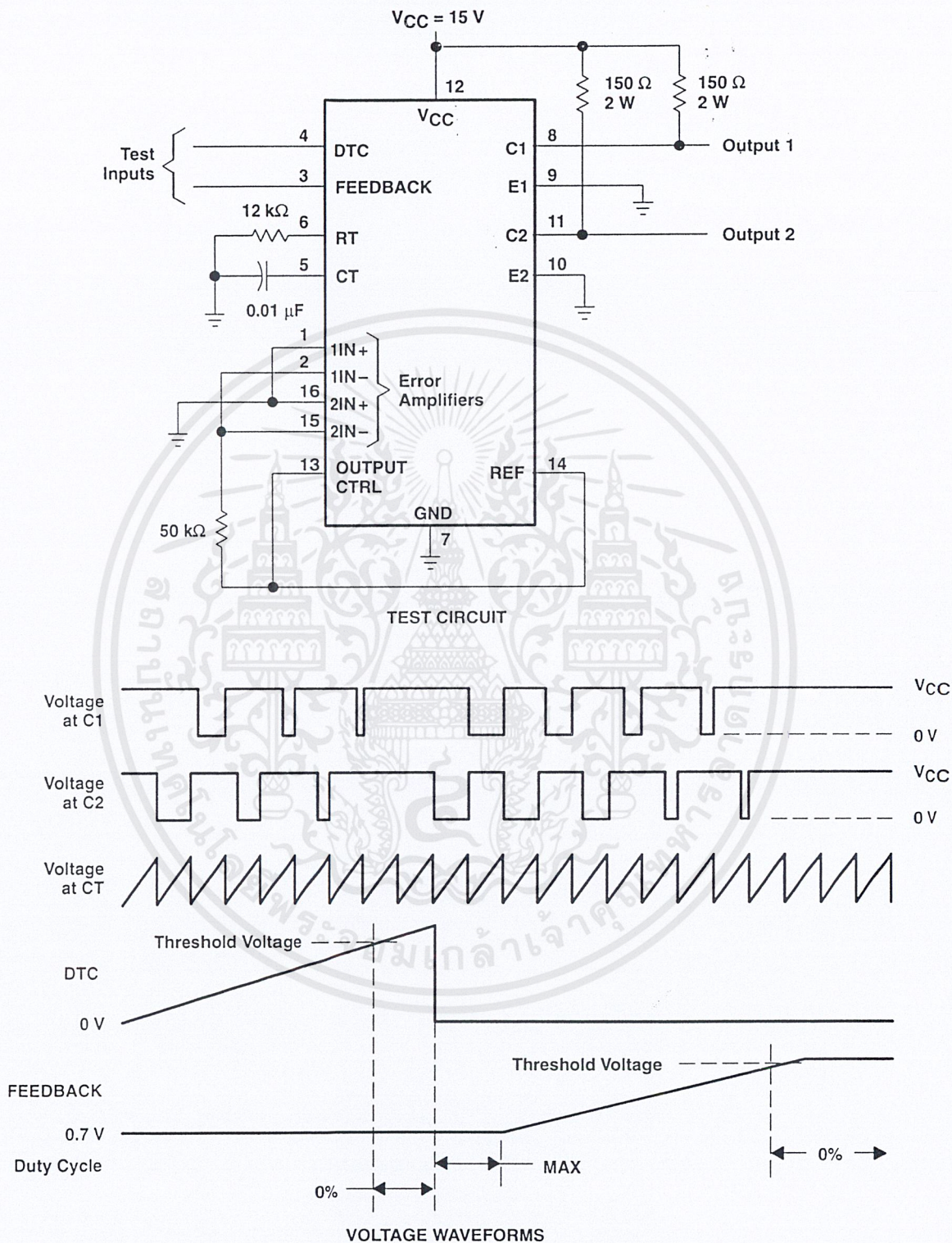


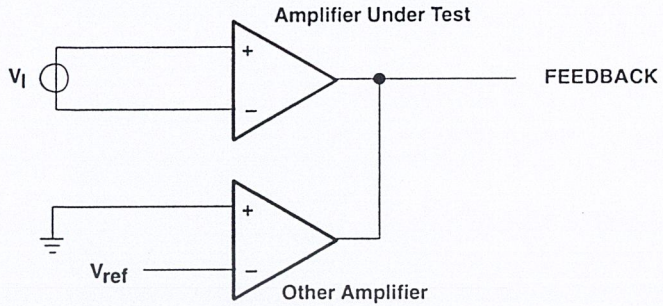
Figure 1. Operational Test Circuit and Waveforms



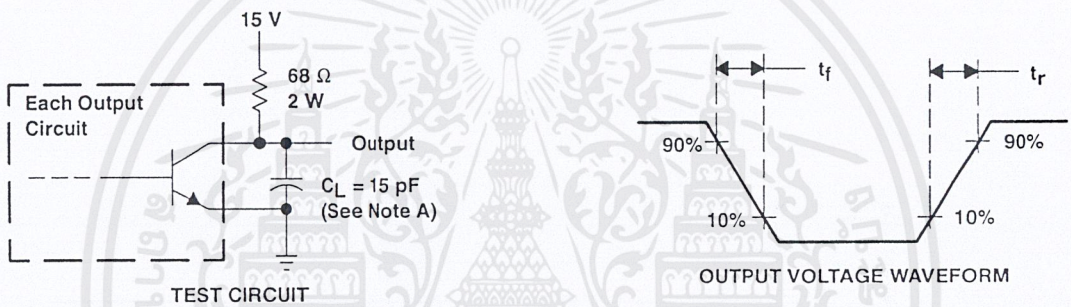
**TL494C, TL494I, TL494M, TL494Y**  
**PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS**

SLVS074A – JANUARY 1983 – REVISED AUGUST 1995

**PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION**

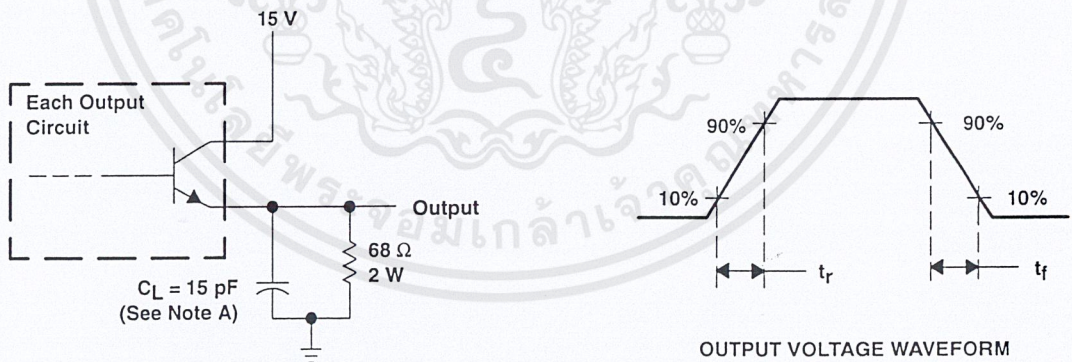


**Figure 2. Amplifier Characteristics**



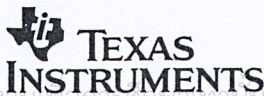
NOTE A.  $C_L$  includes probe and jig capacitance.

**Figure 3. Common-Emitter Configuration**

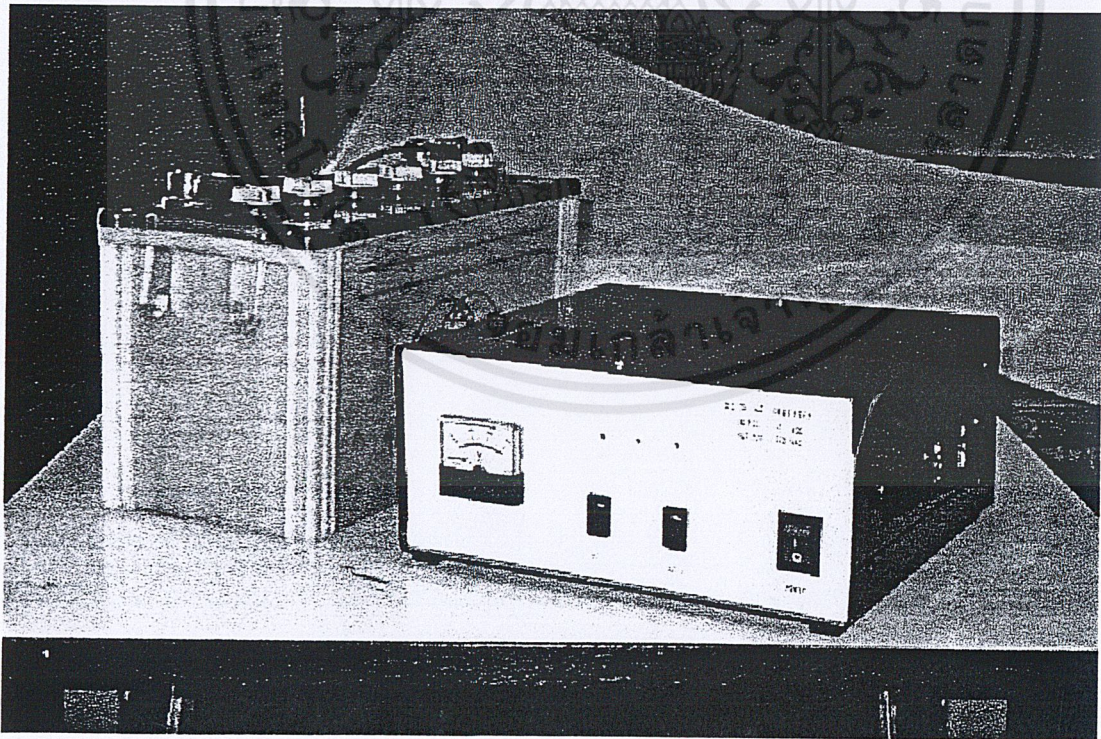
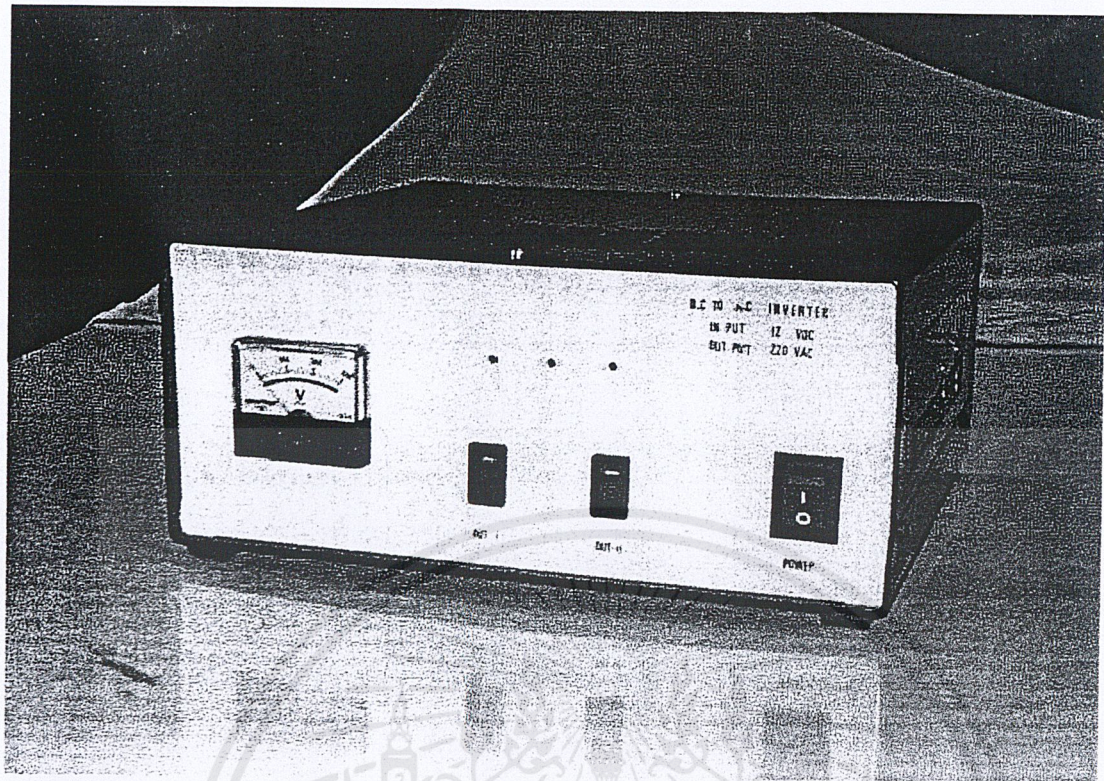


NOTE A.  $C_L$  includes probe and jig capacitance.

**Figure 4. Emitter-Follower Configuration**

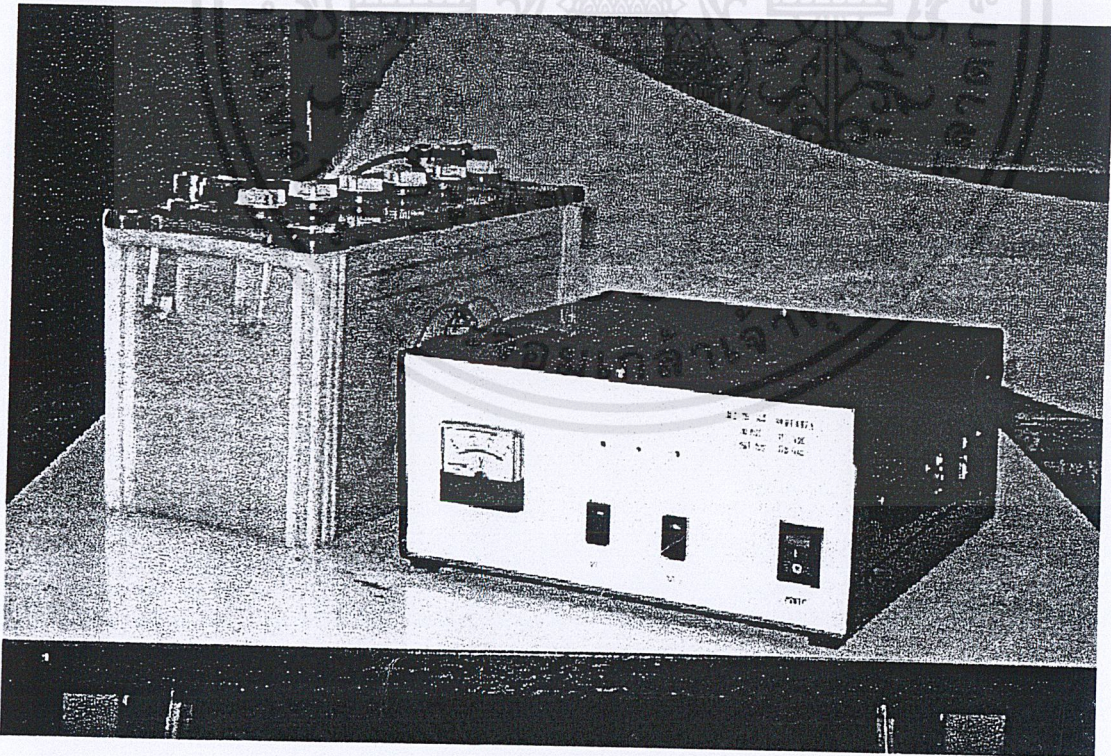


POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265



รูป อินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป อินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้