



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อ เครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอัลตราโซนิค  
 Ultrasonic Machine Part Cleaner

- ชื่อนักศึกษา
- |                            |              |          |
|----------------------------|--------------|----------|
| 1. นางสาวจิระภา จันทรชนิชู | รหัสประจำตัว | 45035294 |
| 2. นายนิพัฒน์ จันทศโร      | รหัสประจำตัว | 45035301 |
| 3. นายเสกสรร ชะนะ          | รหัสประจำตัว | 45035323 |
| 4. นายเอกราช นิลรัตน์      | รหัสประจำตัว | 45035329 |

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม  
 อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุระชัย พิมพ์สวัสดิ์  
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม 1. อาจารย์ปิยะ ศุภวาราสูวัฒน์  
 2. อาจารย์ไพบูลย์ พวงวงศ์ตระกูล

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์พงษ์เกียรติ เชนฐพิทักษ์สกุล	
2. อาจารย์โกศล ตราชู	
3. อาจารย์สุระชัย พิมพ์สวัสดิ์	
4. อาจารย์ปิยะ ศุภวาราสูวัฒน์	
5. อาจารย์ไพบูลย์ พวงวงศ์ตระกูล	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันพุธที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2547 เวลา 11.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.311 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.สุรสิทธิ์ ราตรี)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 วันที่.....เดือน.....ปี.....  
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ปริญญานิพนธ์

เครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค

ULTRASONIC MACHINE PART CLEANER



นางสาวจิระภา จันทรมิษฐ์  
นายนิพัฒน์ จันทศรี  
นายเสกสรร ชะนะ  
นายเอกราช นิลรัตน์

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 51040

วัน,เดือน,ปี 29 ส.ย. 2547

b.....

i.....

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิก

Ultrasonic Machine Part Cleaner

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบวงจรกำเนิดความถี่และวงจรควบคุมเวลาของเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิก
2. เพื่อออกแบบวงจรที่ใช้งานและโครงสร้างของเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิก
3. เพื่อสร้างเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิก
4. เพื่อทดลองและทดสอบการทำงานของเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิก
5. เพื่อนำเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิกไปใช้งานได้

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ความรู้เกี่ยวกับการทำงานของระบบวงจรกำเนิดความถี่และวงจรควบคุมเวลาของเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิก
2. ได้วงจรที่ใช้งานและโครงสร้างของเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิก
3. ได้เครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิก
4. ได้ผลการทดลองและทดสอบการทำงานของเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิก
5. ได้เครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิกไปใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	เครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค
นักศึกษา	นางสาวจิระภา จันทรขนิษฐ
	นายนิพัฒน์ จันทศโร
	นายเสกสรร ชะนะ
	นายเอกราช นิลรัตน์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุระชัย พิมพ์สาลี
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ปิยะ ศุภวาราสวัสดิ์
	อาจารย์ไพบุลย์ พวงวงศ์ตระกูล
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ปีการศึกษา	2546

#### บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค ซึ่งจะแยกการทำงานออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือส่วนที่หนึ่ง จะประกอบด้วย วงจรกำเนิดความถี่ที่ 28 กิโลเฮิร์ตซ์ วงจรขับเคลื่อน วงจรขยายกำลัง ส่วนที่สอง จะเป็นส่วนควบคุมการทำงานของเครื่อง โดยจะทำการควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะทำการควบคุมการทำงานของวงจรขับเคลื่อน การตั้งค่าเวลาการทำความสะอาด ระบบแสดงเวลาที่คงเหลือในการทำความสะอาด ระบบแสดงสถานะการทำงาน และระบบเสียงเตือนเมื่อเครื่องหยุดการทำงาน เครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิคสามารถพัฒนาให้มีขีดความสามารถมากขึ้น มีรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานยิ่งขึ้น ให้เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาทางอุตสาหกรรมไทยต่อไปในอนาคต

## II

<b>Thesis Title</b>	Ultrasonic Machine Part Cleaner	
<b>Students</b>	Miss Chirapa	Chantarakhanit
	Mr.Niphath	Janthasaro
	Mr.Saksan	Chana
	Mr.Aekarat	Nintarat
<b>Advisor</b>	Mr.Surachai	Pimsalee
<b>Co-Advisors</b>	Mr.Piya	Supavarasuwat
	Mr.Paiboon	Pongwongtragull
<b>Education Level</b>	Bachelor of Science in Industrial Education	
<b>Program in</b>	Telecommunication Engineering	
<b>Academic Year</b>	2003	

### ABSTRACT

This thesis presents the ultrasonic machine part cleaner. This cleaner consists of two mainly parts. First part is accomplished with a 28 kHz oscillator circuit, a gate driving circuit, a power amplifier circuit. The second part consists of central control unit that is operated by using a microcontroller. This part used the microcontroller to drive gate circuit, to set and show the remained cleaning time, and to display working and warning status. The ultrasonic machine part cleaner can be expended and modified the capabilities to invent and develop for Thailand Industrial in the future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความร่วมมือของสมาชิกในกลุ่ม  
 ทุกๆท่าน ขอขอบคุณอาจารย์สุระชัย พิมพ์สาถิ อาจารย์ปิยะ สุภวราสุวัฒน์ และอาจารย์ไพบูลย์  
 พวงวงศ์ตระกูล คณาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและ  
 อุปกรณ์ รวมทั้งให้คำแนะนำ แนวความคิด ความรู้ต่างๆ แนวทางการแก้ปัญหาในการจัดทำปริญญานิพนธ์  
 ขอขอบคุณ ห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ช่วย  
 อำนวยความสะดวกและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการค้นคว้าหาข้อมูล สุดท้ายนี้ที่ควรระลึกถึงเป็นอย่างยิ่ง  
 บิดา มารดา ที่เป็นผู้ให้กำเนิดและสนับสนุนด้านการศึกษาตั้งแต่เยาว์วัยรวมทั้งยังเป็นผู้ให้กำลังใจ  
 ด้วยดีตลอดมา ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 จุดความสามารถของโครงการ	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 คำนำ	3
2.2 เครื่องทำความสะอาดระบบอุตสาหกรรม	3
2.3 คลื่นอุลตราโซนิก	4
2.4 อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์	7
2.4.1 ทรานสดิวเซอร์ที่ให้กำเนิดคลื่นอุลตราโซนิก	8
2.4.2 อิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์	8
2.4.3 คุณสมบัติทั่วไปของทรานสดิวเซอร์	9
2.4.4 คุณสมบัติทางความถี่ของทรานสดิวเซอร์	10
2.4.5 เปียโซทรานสดิวเซอร์	11
2.4.6 เปียโซอิเล็กทรอนิกส์ เอฟเฟ็ค	11
2.5 เพาเวอร์มอสเฟต	13
2.5.1 กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของเพาเวอร์มอสเฟต	13
2.5.2 เงื่อนไขของวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟต	14
2.5.3 วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วย TTL	18
2.5.4 วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วย CMOS	20
2.5.5 วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยหม้อแปลง	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.5.6 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้งานเพาเวอร์มอสเฟต	21
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	23
3.1 กล่าวนำ	23
3.2 การออกแบบ การสร้าง และการทำงานเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วน เครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิก	23
3.3 วงจรกำเนิดความถี่	24
3.3.1 ไอซีเบอร์ TL 494 สำหรับโหมคควบคุมจากแรงดัน	24
3.3.2 การกำหนดคาบเวลาการทำงาน	24
3.4 วงจรขับเกต	25
3.5 วงจรขยายกำลัง	26
3.6 วงจรภาคจ่ายไฟของวงจรขยายกำลัง	27
3.7 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันคงที่ 2 ชุด	28
3.7.1 การออกแบบและการสร้าง	28
3.7.2 การทำงาน	28
3.8 วงจรประมวลผลกลาง	28
3.9 วงจรรับค่าคีย์สวิตช์แบบเมตริกซ์	30
3.9.1 การออกแบบและการสร้าง	30
3.9.2 การทำงาน	30
3.10 วงจรรับค่าคีย์สวิตช์ สวิตช์ควบคุมและตั้งเวลาการทำงาน	31
3.10.1 การออกแบบและการสร้าง	31
3.10.2 การทำงาน	31
3.11 วงจรแสดงผลแบบตัวเลข 7 ส่วน	32
3.11.1 การออกแบบและการสร้าง	32
3.11.2 การทำงาน	32
3.12 วงจรควบคุมการทำงานของวงจรกำเนิดความถี่	33
3.13 วงจรขับเสียงผ่านทางลำโพง	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.14 การออกแบบตะแกรง	34
3.15 การออกแบบถังทำความสะอาด	35
3.16 การออกแบบ โครงสร้างเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่น อุลตราโซนิค	36
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	38
4.1 กล่าวนำ	38
4.2 วงจรภาคจ่ายไฟ	38
4.2.1 การทดลอง	38
4.2.2 ผลการทดลอง	38
4.3 วงจรกำเนิดความถี่	38
4.3.1 การทดลอง	38
4.3.2 ผลการทดลอง	38
4.4 วงจรขับเคลื่อน	40
4.4.1 การทดลอง	40
4.4.2 ผลการทดลอง	40
4.5 วงจรขยายกำลัง	40
4.5.1 การทดลอง	40
4.5.2 ผลการทดลอง	40
4.6. การทดลองการทำงานของเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วย คลื่นอุลตราโซนิค	42
4.6.1 การทดลอง	42
4.6.2 ผลการทดลอง	42
4.6.3 สรุปผลการทดลอง	43
4.7 การทดลองการทำความสะอาดของชิ้นงาน	43
4.7.1 การทดลอง	43
4.7.2 ผลการทดลอง	43
4.7.3 สรุปผลการทดลอง	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 บทสรุป	46
5.1 สรุป	46
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข	46
5.3 แนวทางการพัฒนา	47
บรรณานุกรม	48
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	49
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	54
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	62
ภาคผนวก ง แผนผังการทำงานและรหัสต้นฉบับของโปรแกรม	67
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน	76
ภาคผนวก ฉ รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์	81
ประวัติผู้แต่ง	126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติบางอย่างของสารเซรามิค	10
4.1 ผลการทดลองทำความสะอาดหาค่าเวลาของปุ่มสกปรกปานกลาง	42
4.2 ผลการทดลองทำความสะอาดหาค่าเวลาของปุ่มสกปรกปานกลาง	42
4.3 ผลการทดลองทำความสะอาดหาค่าเวลาของปุ่มสกปรกมาก	42
4.4 การทดลองการทำความสะอาดของชิ้นงาน	43
ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟบวกคงที่ 2 ชุด	63
ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรสวิตช์เมตริกซ์ 4 × 4 ชุด	63
ค.2 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรสวิตช์เมตริกซ์ 4 × 4 ชุด	64
ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรแสดงผลแบบตัวเลขเจ็ดส่วน	64
ค.4 รายการอุปกรณ์ของวงจรควบคุม MCS – 51	65
ค.5 รายการอุปกรณ์ของวงจรกำเนิดความถี่	65
ค.5 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรกำเนิดความถี่	66
ค.6 รายการอุปกรณ์ของวงจรควบคุมการทำงานของวงจรกำเนิดความถี่	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การติดตั้งอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์สำหรับการทำความสะอาดไว้ที่ก้นถัง	4
2.2 ขบวนการทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิค	5
2.3 การส่งคลื่นอุลตราโซนิคจากอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ที่ติดไว้ที่ก้นถัง	5
2.4 อุปกรณ์การหน่วง ที่ใช้หน่วงสัญญาณที่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลง ไปมาระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับคลื่นอุลตราโซนิค	6
2.5 หนึ่งหน่วยเซลล์ซึ่งอยู่ระหว่างเพลนที่ขนานกัน	9
2.6 ลักษณะโครงสร้างภายในต่างๆ ไปของทรานสดิวเซอร์	11
2.7 ปรัชญาการณียะโซอิเล็กทริก โดยอธิบายในลักษณะที่ขึ้นสารทำจากแร่ควอทซ์	12
2.8 ลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟต เมื่อเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส	13
2.9 ตัวเก็บประจุแฝงที่ต่ออยู่ที่ขาต่างๆ ภายในตัวเพาเวอร์มอสเฟต	15
2.10 ลักษณะแรงดันและกระแสที่ขาเกตขงเพาเวอร์มอสเฟตถูกไบแอสให้น้ำกระแส	16
2.11 ตัวอย่างของ Gate Charge Chart	16
2.12 ลักษณะการชาร์จประจุที่ขาเกตตามเวลาที่มีผลต่อการเริ่มนำกระแสและผลเมื่อเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต	17
2.13 วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วย TTL	19
2.14 การขับเพาเวอร์มอสเฟตให้น้ำกระแสด้วยไอซี CMOS โดยตรง	20
2.15 ตัวอย่างการจัดวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตให้น้ำกระแสด้วยหม้อแปลง	21
2.16 ตัวอย่างกราฟฟิสิกัลพลาตทักซ์ FBSOA ของเพาเวอร์มอสเฟต	22
2.17 ตัวอย่างกราฟฟิสิกัลพลาตทักซ์ SSOA ของเพาเวอร์มอสเฟต	22
3.1 แผนผังการทำงานของเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค	23
3.2 การจัดโครงสร้างภายในและการจัดขาของไอซี TL 494	24
3.3 ความสัมพันธ์ของค่า $R_T C_T$ ในการกำหนดความถี่ที่ความถี่การทำงาน 28 กิโลเฮิร์ตซ์	25
3.4 การต่อไอซี IR 2113	26
3.5 วงจรขยายกำลัง	27
3.6 วงจรภาคจ่ายไฟของวงจรขยายกำลัง	27
3.7 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันคงที่ 2 ชุด	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 วงจรประมวลผลกลาง	29
3.9 วงจรรับค่าคีย์สวิตช์แบบเมตริกซ์	30
3.10 วงจรรับค่าคีย์สวิตช์ สวิตช์ควบคุมและตั้งเวลาการทำงาน	31
3.11 วงจรแสดงผลแบบตัวเลข 7 ส่วน	32
3.12 วงจรควบคุมการทำงานของวงจรถ้าเน็คความถี่	33
3.13 วงจรขับเสียงผ่านทางลำโพง	34
3.14 ตะแกรง	35
3.15 ถังทำความสะอาด	35
3.15 (ต่อ) ถังทำความสะอาด	36
3.16 ท่อระบายของเสีย	36
3.17 ประตูเปิด ปิดของเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค	37
3.18 โครงสร้างเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค	37
4.1 สัญญาณเอาต์พุต จากวงจรถ้าเน็คความถี่ 28 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่ออกจากไอซี TL 494	39
4.2 สัญญาณเอาต์พุต จากวงจรถ้าเน็คความถี่ 28 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่ออกจากไอซี CD4049	39
4.3 สัญญาณเอาต์พุต 1 ความถี่ขนาด 28 กิโลเฮิร์ตซ์ จากวงจรถ้าเน็ค	40
4.4 สัญญาณที่ใช้ขับอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ ขณะไม่มีโหลด	41
4.5 สัญญาณที่ใช้ขับอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ ขณะภาวะมีโหลด	41
4.6 ภาพน้ำก่อนทำความสะอาด	44
4.7 ภาพน้ำหลังทำความสะอาด	44
4.8 ภาพชิ้นงานก่อนทำความสะอาด	45
4.9 ภาพชิ้นงานหลังทำความสะอาดเสร็จ	45
ก.1 ภาพด้านหน้าของเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค	50
ก.2 ภาพด้านข้างของเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค	50
ก.3 ภาพด้านบนของเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค	51
ก.4 ภาพวงจรภายในกล่องควบคุม	51
ก.5 ภาพตะแกรง	52
ก.6 ภาพถังทำความสะอาด	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.7 ภาพที่อธิบายของเสีย	53
ข.1 วงจรภาคจ่ายไฟของวงจรขยายกำลัง	55
ข.2 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรภาคจ่ายไฟของวงจรขยายกำลัง	55
ข.3 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์วงจรภาคจ่ายไฟของวงจรขยายกำลัง	55
ข.4 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันคงที่ 12 โวลต์ และ 15 โวลต์	56
ข.5 แผ่นวงจรพิมพ์แหล่งจ่ายแรงดันคงที่ 12 โวลต์ และ 15 โวลต์	56
ข.6 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์แหล่งจ่ายแรงดันคงที่ 12 โวลต์ และ 15 โวลต์	56
ข.7 วงจรขยายกำลัง	57
ข.8 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรขยายกำลัง	57
ข.9 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์วงจรขยายกำลัง	58
ข.10 วงจรกำเนิดความถี่ 28 KHz	58
ข.11 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรกำเนิดความถี่	59
ข.12 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์วงจรกำเนิดความถี่	59
ข.13 วงจรประมวลผลกลาง	60
ข.14 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรประมวลผลกลาง	60
ข.15 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์วงจรประมวลผลกลาง	61
ง.1 ผังงานขั้นตอนการทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค	68
จ.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค	78

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบัน ร้านซ่อมต่างๆ โดยเฉพาะร้านซ่อมรถจะมีเพิ่มขึ้นมากมายซึ่งร้านซ่อมจะต้องทำการซ่อมแซมอุปกรณ์อยู่เสมอ แต่ก่อนจะทำการซ่อมแซมนั้น จำเป็นต้องทำความสะอาดอุปกรณ์นั้นๆ ก่อนและอุปกรณ์ของรถส่วนใหญ่ก็จะสกปรกมาก อาจจะเป็นโคลน เปื้อนคราบน้ำมันหรือเปื้อนคราบจาระบี โดยเฉพาะอุปกรณ์จำพวก ลูกสูบ ฝาสูบ กระบอกสูบ กระจุมล้อ ปลายท่อหรือรวมไปถึงอุปกรณ์ชิ้นเล็กๆ จำพวกนี๊ต แหวนหรือเบร้ง ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ล้วนทำความสะอาดได้ยาก ในการทำความสะอาดอุปกรณ์เหล่านี้ โดยทั่วไปในการทำความสะอาดแต่ละครั้ง จะใช้น้ำมันเบนซินและทำการขัดถู โดยใช้แปรงในการขัดและใช้แรงงานคน ซึ่งต้องใช้เวลาและแรงในการทำ ความสะอาดมาก และยังทำให้คนทำความสะอาดต้องสัมผัสและสูดดมไอระเหยของน้ำมันทำให้เป็นอันตรายต่อสุขภาพอีกด้วย ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวนี้ คณะผู้จัดทำจึงได้จัดทำเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอัลตราโซนิค โดยจะใช้หลักการของคลื่นอัลตราโซนิคในการสั่นสะเทือนถึงล้าง ซึ่งภายในบรรจุน้ำยาทำความสะอาดไว้ การทำความสะอาดด้วยวิธีนี้สามารถแทรกเข้าไปตามร่องรูหรือโพรงต่างๆ ของชิ้นส่วนที่เราต้องการทำความสะอาดและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการตั้งเวลาในการทำความสะอาดอุปกรณ์แต่ละประเภทได้อีกด้วย

### 1.2 ขีดความสามารถของโครงการ

โครงการนี้มีขีดความสามารถดังนี้

1. สามารถทำความสะอาดชิ้นงานที่มีขนาดไม่เกิน 230 มิลลิเมตร × 330 มิลลิเมตร × 230 มิลลิเมตร
2. ผู้ใช้สามารถเลือกโปรแกรมในการทำความสะอาดได้เอง
3. สามารถตั้งเวลาของเครื่องได้ ตั้งแต่ 0 ถึง 99 นาที โดยแสดงผลด้วยแอลอีดี 7 ส่วน
4. มีระบบถ่ายของเสียหลังจากทำความสะอาดเสร็จแล้ว
5. มีการแสดงสถานะขณะเครื่องทำงานและหยุดทำงาน จะมีเสียงเตือนเมื่อเครื่องทำงานครบตามเวลาที่ตั้งไว้
6. เครื่องสามารถใช้กับน้ำยาทำความสะอาดประเภท โซเว่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปฏิญยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปฏิญยานิพนธ์ ชี้ความสามารถของโครงการ และเนื้อหาในบทต่างๆ โดยสังเขป

บทที่ 2 ประกอบด้วย ทฤษฎีต่างๆ เกี่ยวกับทฤษฎีเครื่องทำความสะอาาระบบอุลตราโซนิก คลื่นอุลตราโซนิก อุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ และเพาเวอร์มอสเฟต

บทที่ 3 กล่าวถึงเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับ แผนผังการทำงานของโครงการ ผังวงจรต่างๆ ที่ใช้ในโครงการ ตลอดจนการออกแบบและการสร้างส่วนประกอบต่างๆ เช่น วงจรกำเนิดความถี่ วงจรขับเคลื่อน วงจรขยายกำลัง ชุดโปรแกรมควบคุม วงจรภาคจ่ายไฟ โครงสร้างของชิ้นงาน พร้อมทั้งการทำงานของส่วนประกอบต่างๆ โดยละเอียด

บทที่ 4 ประกอบด้วย การทดลองและผลการทดลองของวงจรกำเนิดความถี่ วงจรขับเคลื่อน วงจรขยายกำลัง ชุดโปรแกรมควบคุม วงจรภาคจ่ายไฟ และการทำงานของเครื่อง

บทที่ 5 เป็นการสรุปผลการจัดทำโครงการ ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางในการแก้ไข รวมทั้งแนวทางการพัฒนา

ภาคผนวก ก แสดงภาพเครื่องต้นแบบ การติดตั้ง การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ ขณะใช้งานจริง

ภาคผนวก ข ประกอบด้วยผังรายละเอียดวงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค แสดงรายการอุปกรณ์ที่ใช้งานในแต่ละวงจร

ภาคผนวก ง แสดงแผนผังการทำงานและรหัสต้นฉบับของโปรแกรมทั้งหมดที่สร้างขึ้นเพื่อประกอบการทำงานของโครงการ

ภาคผนวก จ เป็นคู่มือการใช้งานโครงการ

ภาคผนวก ฉ แสดงรายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 กล่าวนำ

ปริญญานิพนธ์ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการสำคัญที่ใช้ในโครงการโดยจะประกอบด้วยทฤษฎี เครื่องทำความสะอากระบบอุตสาหกรรม คลื่นอุตสาหกรรม ทรานสดิวเซอร์ และเพาเวอร์มอสเฟต

#### 2.2 เครื่องทำความสะอากระบบอุตสาหกรรม

เสียงที่เราได้ยินเกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุทั้งที่เป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ สำหรับอุตสาหกรรมนั้น เป็นการสั่นสะเทือนที่มีความถี่สูงมากซึ่งมนุษย์ไม่สามารถได้ยิน ความถี่ของอุตสาหกรรมสูงกว่า 20,000 รอบต่อวินาที การทำความสะอาดด้วยระบบอุตสาหกรรมนิยมใช้กันมากในอุปกรณ์เกี่ยวกับแสงและอุปกรณ์ที่มีความไวมาก วัตถุที่สามารถนำมาทำความสะอาดด้วยระบบอุตสาหกรรม อาจมีขนาดใหญ่เท่ากับรถยนต์หรือเล็กเท่ากับเพชรพลอยก็ได้ คลื่นความถี่สูงของอุตสาหกรรมจะทำให้ฝุ่นละอองต่างๆ ที่เกาะติดกับสิ่งของหลุดออก โดยไม่ทำให้สิ่งของเหล่านั้นกระทบกระเทือนจนเกิดความเสียหาย ถึงทรงสูงของเครื่องทำความสะอาด ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม และบรรจุสารละลายทำความสะอาด ด้วยพลาสติกซึ่งสามารถถอดออกได้ ติดตั้งอยู่ที่ศูนย์กลางของถังทรงสูง สำหรับรองรับชิ้นวัตถุในระหว่างการทำความสะอาด รูในก้นถังเป็นทางผ่านเข้าและออกของสารละลายทำความสะอาด ได้ถังทรงสูงเป็นทรานสดิวเซอร์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลในรูปของการสั่นสะเทือนที่มีความถี่เท่ากัน การเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลนี้เรียกว่า “ไพโซอิเล็กทริก เอฟเฟกต์”

เมื่อการสั่นสะเทือนความถี่สูงถ่ายเทผ่านถังทรงสูงไปยังสารละลายทำความสะอาด จะทำให้สารละลายทำความสะอาดมีลักษณะคล้ายกับน้ำเดือดซึ่งเรียกว่า “การเดือดเย็น” หรือ “คาวิเทชัน” โมเลกุลของสารละลายทำความสะอาดจะชนกันและกันอย่างรุนแรง ทำให้เกิดฟองสูญญากาศขนาดเล็กจำนวนมากมาย ฟองสูญญากาศเหล่านั้นจะถูกแรงอัดให้ระเบิดเข้าภายในทันทีที่เกิดขึ้นและทำให้เกิดความดันซึ่งมีค่าสูงถึง 20,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในสารละลาย คาวิเทชันมีคุณสมบัติในการขจัดสูงมาก แรงระเบิดของฟองสูญญากาศสามารถแทรกเข้าไปตามช่อง รู หรือโพรงต่างๆ ของวัตถุที่ต้องการทำความสะอาดซึ่งวิธีธรรมดาไม่สามารถทำได้ ดังนั้นถ้าใช้สารละลายทำความสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

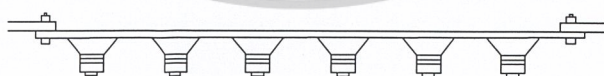
สะอาดเหมาะสมและเทคนิคอัลตราโซนิกที่ถูกต้อง อนุภาคต่างๆ สิ่งสกปรก ผุ่นละออง สารไขมัน จะสามารถถูกกำจัดออกไปจากวัตถุที่ต้องการทำความสะอาดได้ทั้งสิ้น

ไพอีโซอิเล็กทริก เอฟเฟกต์เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลในรูปของการสั่นสะเทือน ค้นพบโดยปีแอร์คูรี ในปี พ.ศ. 2423 เขาพบว่าเมื่อต่อกระแสไฟฟ้าสลับเข้ากับผิวหน้าตรงกันข้ามของสารผลึก จะทำให้สารผลึกเกิดการสั่นสะเทือนด้วยความถี่เท่ากับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป สำหรับเครื่องทำความสะอาดระบบอัลตราโซนิกนั้น กระแสไฟฟ้าสลับความถี่สูงจะป้อนเข้าทรานสดิวเซอร์ ซึ่งจะเกิดการสั่นสะเทือนและถ่ายทอดผ่านสู่ถังทรงสูง

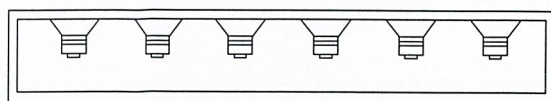
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าความถี่สูงติดตั้งอยู่ที่ฐานของเครื่องทำความสะอาด และทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังไฟฟ้า 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าความถี่สูงถึง 40,000 เฮิรตซ์

### 2.3 คลื่นอัลตราโซนิก

คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Wave) เป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน ดังนั้นปกติแล้วคำว่าอัลตราโซนิกจึงหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 กิโลเฮิรตซ์ ขึ้นไป สาเหตุที่มีการนำเอาคลื่นย่านอัลตราโซนิกมาใช้ก็เพราะว่าเป็นคลื่นที่มีทิศทาง ทำให้เราสามารถเล็งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง เป็นคุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่ง การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิก ทำให้เรานำไปใช้งานได้หลายอย่าง ดังเช่นในโครงการนี้ได้นำคลื่นอัลตราโซนิกมาประยุกต์ใช้ในการทำความสะอาดวัตถุต่างๆ โดยจะจับสิ่งที่ต้องการทำความสะอาดลงในถัง ที่บรรจุน้ำยาทำความสะอาดและปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกจากก้นถังขึ้นไป ซึ่งคลื่นอัลตราโซนิกที่เกิดขึ้นนั้นจะเกิดจากตัวกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิก เรียกว่า อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer) ที่ติดไว้ที่ก้นถัง ดังรูปที่ 2.1 จำนวนตัวกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิกนั้นจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับขนาดถัง



(ก) แบบสามารถถอดได้

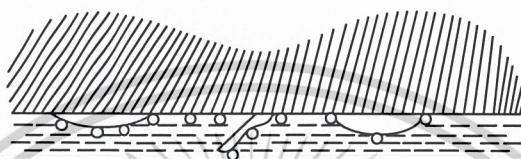


(ข) แบบติดตั้งตายตัว

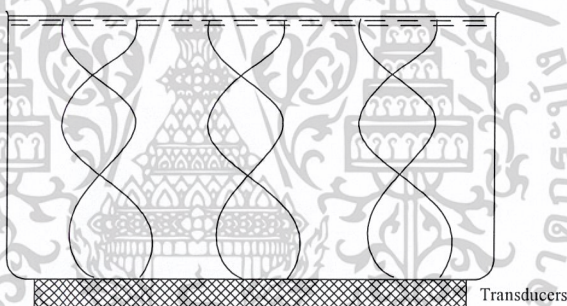
#### รูปที่ 2.1 การติดตั้งอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์สำหรับการทำความสะอาดไว้ที่ก้นถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิก อาศัยหลักการขบวนการคาร์วิเทชัน (Cavitation) ซึ่งจะเหมือนกับการใช้แรงทางกล (การขัด การถู) ในการทำความสะอาด โดยขบวนการนี้ทำให้น้ำยาที่ใช้ในการทำความสะอาดเกิดการกระเพื่อม ทำให้อนุภาคสิ่งสกปรกขนาดเล็กจะติดอยู่กับสิ่งที่เราต้องการจะทำความสะอาดหลุดออกมา ดังรูปที่ 2.2 น้ำยาที่เกิดการกระเพื่อมได้นั้นเกิดจากอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ติดอยู่ก้นถัง



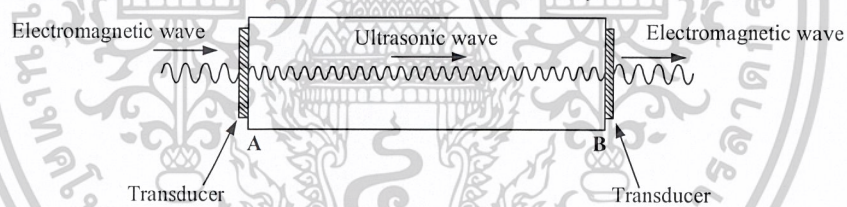
รูปที่ 2.2 ขบวนการทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิก



รูปที่ 2.3 การส่งคลื่นอุลตราโซนิกจากอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ที่ติดไว้ที่ก้นถัง

ซึ่งในกระบวนการทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิกจะประกอบด้วย ส่วนในการทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิก ในกรณีที่วัตถุที่จะทำความสะอาดนั้นเป็นคราบมันจำเป็นต้องมีฮีทเตอร์ (Heater) ทำความร้อนติดที่ถังด้วยและจะต้องทำการควบคุมอุณหภูมิความร้อนที่น้ำยาล้างให้เหมาะสม ซึ่งในโครงการนี้ได้สร้างเครื่องนี้ขึ้นมา โดยจะประกอบไปด้วย ส่วนการทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิกซึ่งจะมีฮีทเตอร์ติดอยู่กับถังเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความสะอาดให้สูงขึ้นและส่วนของการควบคุมการทำงาน โดยจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการกำหนดเวลาในการทำความสะอาด ส่วนน้ำยาที่ใช้ในการทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิกนั้น จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุที่เราต้องการจะทำความสะอาด คลื่นอุลตราโซนิก คือ คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะสามารถได้ยินซึ่งมีความถี่ตั้งแต่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์ ถึง 10 เทระเฮิร์ตซ์ โดยคลื่นที่มีความถี่มากกว่า 10 เทระเฮิร์ตซ์และมีค่าแอมพลิจูดสูงๆ จะเรียกว่า “ไฮเปอร์ซาวนด์” เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นอุลตราโซนิคส่วนใหญ่กำเนิดขึ้นจากการออสซิลเลชัน (Oscillation) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นคลื่นไซน์ (Sinusoidal) ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นอุลตราโซนิคซึ่งมีความถี่ต่างๆ ซึ่งความยาวคลื่นของคลื่นอุลตราโซนิค ในแต่ละความถี่จะแตกต่างกันไป ด้วย โดยความยาวคลื่นจะสัมพันธ์กับค่าความเร็ว ( $c$ ) และค่าความถี่ ( $f$ ) ของคลื่นอุลตราโซนิค โดยความเร็วของคลื่นอุลตราโซนิค มีค่าต่ำกว่าความเร็วในการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาก (ในสุญญากาศ มีค่าความเร็วประมาณ  $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที) จากหลักการนี้เป็นประโยชน์มากในตัวอย่างของระบบโทรทัศนและระบบดิจิทัลคอมพิวเตอร์ ที่ใช้หน่วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้ไปเป็นคลื่นอุลตราโซนิค โดยใช้ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) หลักการคือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใน 1 มิลลิวินาที สามารถเดินทางได้ระยะทาง  $3 \times 10^8 = 300$  กิโลเมตร ซึ่งมีความยาวคลื่นสั้นมาก เราจึงสามารถนำสัญญาณนี้ไปโดยเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นอุลตราโซนิค โดยใช้อุปกรณ์ "Delay Line" ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งประกอบด้วยตัวส่งและตัวรับคลื่นอุลตราโซนิค โดยคลื่นจะเคลื่อนที่ใน Delay Line ในระยะทาง  $d$  ซึ่งในระยะ  $d$  นี้ อาจจะเป็นตัวกลางที่เป็นก๊าซ, ของเหลว, หรือของแข็งก็ได้ ซึ่งจะมีความเร็วที่แตกต่างกันไป



รูปที่ 2.4 "Delay Line" ที่ใช้หน่วยสัญญาณที่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงไปมาระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับคลื่นอุลตราโซนิค

### 2.3.1 ความแรงและกำลังของคลื่นอุลตราโซนิค

เมื่อทรานสดิวเซอร์ของอุลตราโซนิคปล่อยคลื่นอุลตราโซนิคออกไป จะทำให้อนุภาคของตัวกลางมีการสั่นสะเทือน อนุภาคนั้นๆ จึงมีพลังงานที่เนื่องมาจากการสั่นสะเทือนอัตราการใช้พลังงานจึงเรียกว่า เป็นความแรง (Intensity) ของลำอุลตราโซนิคอาจกล่าวให้ชัดเจนไปว่า ความแรงของลำอุลตราโซนิคที่จุดๆ หนึ่งเป็นอัตราการใช้พลังงานผ่านพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร ซึ่งวางอยู่ตั้งฉากกับลำอุลตราโซนิคที่จุดนั้น เมื่อความแรงของอุลตราโซนิคเพิ่มมากขึ้น จะมีการเพิ่มในขนาดของแรงดัน ขนาดของพาร์ติคูล ดิสเพลกเมนต์ และพาร์ติคูล วิลอซิตี

กำลังของอุลตราโซนิค เป็นอัตราการไหลของพลังงานที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของลำอุลตราโซนิค จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{กำลังของอุลตราโซนิค} = \text{อัตราการไหลของพลังงาน} \times \text{พื้นที่หน้าตัดของลำอุลตราโซนิค} \quad (2.1)$$

ในการใช้งานคลื่นอุลตราโซนิคนั้น เนื่องจากเป็นคลื่นที่มีทิศทาง ทำให้เราสามารถส่งคลื่นไปยังจุดเป้าหมายที่ต้องการได้อย่างเจาะจง ยิ่งถ้าคลื่นมีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นจะยิ่งสั้นลง โดยถ้าความยาวของคลื่นมากกว่าช่องเปิดของทรานสดิวเซอร์ เช่น คลื่นความถี่ 300 เฮิร์ตซ์ ในอากาศจะมีความยาวคลื่นประมาณ 1 เมตรเศษ ซึ่งยาวกว่าช่องเปิดของตัวทรานสดิวเซอร์ ทำให้คลื่นเสียงที่ออกจากตัวกำเนิดเสียงนี้เกิดการหักเหและเลี้ยวเบนที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียง ทำให้เกิดการกระจายของคลื่นเสียง ไม่มีทิศทางที่แน่นอน ถ้าใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงขึ้นในย่านอุลตราโซนิค เช่น ที่ความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ จะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียง 8 มิลลิเมตร เท่านั้น ซึ่งจะเล็กกว่าช่องเปิดของตัวกำเนิดเสียงมากกว่าคลื่นเสียงที่ได้ไม่เลี้ยวเบนที่ขอบ จึงพุ่งเป็นลำแคบๆ ซึ่งมีทิศทางแน่นอน

คลื่นอุลตราโซนิคนั้นเมื่อต้องเดินทางในอากาศแล้วนั้น ความถี่ที่ใช้งานมักจะถูกจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 กิโลเฮิร์ตซ์ เพราะถ้าความถี่สูงขึ้นกว่านี้ อากาศจะดูดกลืนคลื่นเสียงเพิ่มมากขึ้น ทำให้ระดับความแรงของคลื่นอุลตราโซนิคที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานในด้านการแพทย์นั้นจะใช้รัศมีทำการสั้นๆ จึงใช้ความถี่ในช่วง 1 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 10 เมกะเฮิร์ตซ์ ส่วนความถี่ที่เป็น กิกะเฮิร์ตซ์ มีใช้งานในตัวกลางที่คลื่นเสียงเดินทางไม่ใช่ในอากาศแต่เป็นตัวกลางชนิดอื่น เช่น น้ำ เป็นต้น

จากการมีทิศทางของคลื่นอุลตราโซนิคทำให้เรานำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น นำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล เครื่องล้างอุปกรณ์ โดยให้น้ำสั่นที่มีความถี่สูง เครื่องวัดความหนาของวัตถุ โดยสังเกตตำแหน่งอวัยวะบางส่วนในร่างกายใช้ทดสอบการรั่วของท่อ เป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น ถ้าคลื่นเสียงต้องเดินทางผ่านอากาศแล้ว ความถี่ที่ใช้ก็มักจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 กิโลเฮิร์ตซ์ เพราะที่ความถี่สูงกวานี้ อากาศจะดูดกลืนเสียงเพิ่มขึ้นมาก ทำให้ระดับความแรงของคลื่นเสียงที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว

## 2.4 อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์

คืออุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานกลโดยการสั่นไปมา ให้เกิดคลื่นอุลตราโซนิคกระจายไปในวัตถุตัวกลางหรือจากพลังงานของคลื่นอุลตราโซนิคแปลงไปเป็นพลังงานกลซึ่งสามารถทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นได้จากตัวทรานสดิวเซอร์นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.1 ทรานสดิวเซอร์ที่ทำให้กำเนิดคลื่นอัลตราโซนิก

มี 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

- 1) เมคคานิกทรานสดิวเซอร์ (Mechanical Transducers)
- 2) อิเล็กโตรเมคคานิกทรานสดิวเซอร์ (Electromechanical Transducers)

### 2.4.2 อิเล็กโตรเมคคานิกทรานสดิวเซอร์

อิเล็กโตรเมคคานิกทรานสดิวเซอร์จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานเสียงที่ใช้กันอยู่มี 4 ชนิด คือ

#### 1) แบบมูฟวี่งคอลลี่

แบบมูฟวี่งคอลลี่ นั้นคล้ายๆ กับมูฟวี่งคอลลี่ของลำโพงมีประโยชน์มาก ในการเป็นตัวสั่น (Vibrator) ของทดสอบความเร่งของอุปกรณ์แบบมูฟวี่งคอลลี่ ชนิดริบบอน (Ribbon) ทำด้วยอะลูมิเนียมบางๆ วางไว้ระหว่างขั้วทั้งสองของแม่เหล็ก มันทำตัวเสมือนเป็นขดลวดของมูฟวี่งคอลลี่ ใช้ทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิก ในการศึกษาคุณสมบัติในการดูดคลื่นอัลตราโซนิกของก๊าซ

#### 2) แบบอิเล็กโตรสแตติก

แบบอิเล็กโตรสแตติก ใช้หลักการที่ว่า ในระหว่างแผ่นขนานของตัวเก็บประจุเมื่อเราให้ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นทั้งสองจะทำให้เกิดแรงขึ้น หลักใหญ่ของมันจะใช้ทำเป็นลำโพงเสียงที่มีคุณภาพสูง แต่ก็ใช้ทำให้เกิดการสั่นแบบอัลตราโซนิกในของแข็ง แบบที่ 1 และ 2 นั้นไม่ค่อยใช้กัน เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิก ส่วนแบบที่ 3 และ 4 ใช้กันมากและเป็นที่แพร่หลาย ดังนั้นจะกล่าวละเอียดเฉพาะแบบที่ 3 และ 4 เท่านั้น

#### 3) แบบเพียโซอิเล็กทริกและแบบเฟอร์โรอิเล็กทริก

แบบเพียโซอิเล็กทริกและแบบเฟอร์โรอิเล็กทริก ในผลึกที่ประกอบด้วยโพลาโมเลกุล (Polar Molecule) ซึ่งขาดจุดศูนย์กลางของความสมมาตร ถ้าตัดเอาเพลท (Plate) อันเนื่องมาจากผลึกนี้ แล้วทำให้เกิดการบิดงอด้วยเครื่องมือกล จะทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างผิวหน้าทั้งสองของเพลท ปรากฏการณ์นี้เราเรียกว่าไดเร็กต์เพียโซอิเล็กทริก เอฟเฟ็ค (Direct Piezoelectric Effect) ศักย์ระหว่างผิวหน้าทั้งสองของเพลทนี้จะเกิดบิดเบี้ยวไปได้เอง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า อินเวอร์สเพียโซอิเล็กทริก เอฟเฟ็ค (Inverse Piezoelectric Effect) ตัวอย่าง เช่น ผลึกควอทซ์ ดังรูปที่ 2.5 แสดงหนึ่งหน่วยเซลล์ซึ่งอยู่ระหว่างเพลท (Plane) ที่ขนานกัน

รูปที่ 2.5 (ก) จะอยู่ในสภาวะปกติ จุดศูนย์กลางของประจุบวกของซิลิคอนกับประจุลบของออกซิเจนอยู่ที่เดียวกัน และจำนวนประจุไฟฟ้าทั้งสองเท่ากันจะไม่เกิดไดโพลโมเมนต์ขึ้น ดังนั้นผลเนื่องจากการกระจายของประจุตกคร่อมระนาบทั้งสองที่ขนานกันจึงเป็นศูนย์

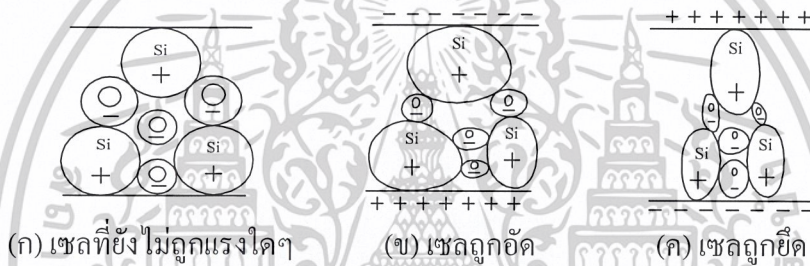
รูปที่ 2.5 (ข) ถ้าเราทำให้เปลี่ยนรูปร่างไปจากเดิม โดยการกดให้หดหรือดึงตามรูปที่ 2.5 (ค) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.5 (ก) จุดศูนย์กลางของประจุทั้งสองจะไม่อยู่ที่เดียวกันทำให้เกิดการกระจายของประจุขึ้น ระหว่างระนาบทั้งสอง

การทำให้มันเปลี่ยนรูปร่างด้วยการอัดหรือหดตามรูปนั้น จะเป็นการแยกจุดศูนย์กลางผลจะทำให้เกิดประจุปรากฏบนระนาบทั้งสอง ในรูปแบบนี้เรียกว่าไดอิเล็กทริก โฟเฟ็ค

สำหรับแบบอินเวอร์เบียโซอิเล็กทริก โฟเฟ็ค จะเกิด โดยให้สนามไฟฟ้าระหว่างเพลนทั้งสอง ทำให้จุดศูนย์กลางของทั้งสองประจุเคลื่อนออกจากกันในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้เขตบิเดเบียไป ถ้ามีแผ่นควอทซ์ ซึ่งตัดมาจากผลึกควอทซ์ ในทิศทางที่จะทำให้เกิดสันสะเทือนขนานกับสนามไฟฟ้าที่ใช้ เมื่อเราให้สนามไฟฟ้าสลับ เพลนนี้จะขยายและหดตัว ด้วยความถี่เดียวกับสนามไฟฟ้า ซึ่งจะเหมือนกับลูกสูบ ดังนั้นมันจะเป็นตัวกำเนิดคลื่นเสียงได้



รูปที่ 2.5 หนึ่งหน่วยเซลล์ซึ่งอยู่ระหว่างเพลน ที่ขนานกัน

ปัจจุบันมีสารไม่กี่ชนิดที่จะให้ปรากฏการณ์เบียโซอิเล็กทริก ไดอิเล็กทริกทุกชนิดเป็นอิเล็กโตรสแตทริก ปกติแล้วผล นี้จะน้อยมาก แต่สามารถให้ผลอย่างมากได้แก่ สารไททานเท (titanates), ซีคอนเท (zirconates) และในกรณีเช่นนี้เราเรียกว่า มันเป็นสารเฟอร์โรอิเล็กทริก ปกติสารเหล่านี้จะอยู่ในรูปของส่วนผสมเซอร์รามิก ซึ่งประกอบไปด้วยโคเมน ที่มีขั้วอิสระรวมตัวกันหลายๆ ถ้าเรานำสารแบบนี้มาสักหนึ่งชนิด เอาไปเผาให้สูงกว่าอุณหภูมิเคอริก ของมันแล้วทำให้เย็นภายใต้สนามไฟฟ้าสูงๆ ทิศทางของขั้วของโคเมนต่างๆ จะวางตัวไปแนวเดียวกับสนามและยังคงอยู่ต่อไปเช่นนั้น แม้ว่าจะเอาสนามไฟฟ้าออกไปนั้นแสดงว่ามันแสดงคุณสมบัติเช่น เฟอร์มาเนทอิเล็กทริก บางทีมันจะเป็นสารเบียโซอิเล็กทริก ถ้าหากว่ามันประพฤติตัวไปตามสมการของสารเบียโซอิเล็กทริก ตามธรรมชาติ เราจะใช้สมการเหล่านี้อธิบายคุณสมบัติของสารเบียโซอิเล็กทริกแท้ๆ

### 2.4.3 คุณสมบัติทั่วไปของทรานสดิวเซอร์

ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ในทางอุตสาหกรรม ไซนิคมีคุณสมบัติพิเศษคือมีเบียโซอิเล็กทริก โฟเฟ็ค และที่ใช้กันมากคือ ผลึกแร่ควอทซ์ (Quartz) แบเรียมติทานเท (Barium titanate) และดีเซอโคเนท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Lead circonate tetant) สารเหล่านี้เมื่อนำมาทำเป็นทรานสดิวเซอร์ แสดงคุณสมบัติเป็นคาปาซิเตอร์ทางไฟฟ้าอีกด้วย ค่าคาปาซิแตนซ์เป็นไมโครฟาร์ดจะมีส่วนร่วมกับค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant, K) ของวัสดุคูณด้วยพื้นที่และหารด้วยความหนา โครงสร้างของทรานสดิวเซอร์มีความคล้ายคาปาซิเตอร์ที่ว่า อิเล็กโทรดที่อยู่ 2 ข้างถูกแยกโดยช่องที่มีสารเซรามิก ดังตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติบางประการของสารเซรามิกได้รับความร้อน จะทำให้ไดโพล (dipole) เคลื่อนไหวได้โดยเสรีและที่จุดนี้เมื่อได้รับศักย์ไฟฟ้าเข้าไป ก็จะมีการจัดเรียงตัวและมีคุณสมบัติเปียโซอิเล็กทริก ถ้าภายหลังเซรามิกที่มีคุณสมบัตินี้ถูกเผาให้ร้อนถึงอุณหภูมิดังกล่าวอีก คุณสมบัติเปียโซอิเล็กทริกจะหมดไป ดังนั้นความร้อนจะสามารถทำลายทรานสดิวเซอร์ได้ โดยเฉพาะถ้าอุณหภูมิสูงเกินเคอริก

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเป็นค่าที่แสดงว่าทรานสดิวเซอร์ต้องการพลังงานไฟฟ้าเท่าใด จึงจะเปลี่ยนเป็นพลังงานกลได้ ทั้งแบเรียมติตาเนทและลีดเซอโคเนท มีประสิทธิภาพมากกว่าผลึกแร่ควอทซ์ 5 ถึง 6 เท่า เนื่องจากค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่ำมากและมีค่าคงที่ (Coupling constant) ต่ำมากจึงไม่ค่อยได้นำควอทซ์มาใช้ในเครื่องอุลตราโซนิคในปัจจุบัน

#### 2.4.4 คุณสมบัติทางความถี่ของทรานสดิวเซอร์

ความถี่ของทรานสดิวเซอร์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเชิงกลและลักษณะรูปร่างตัวอย่างเช่น เซรามิกแท่งเหลี่ยมแบนจะมีความถี่เรโซแนนซ์ได้ 3 อย่าง คือมีการยืดหดตามความหนาและตามรัศมี อย่างไรก็ดี เมื่อป้อนศักย์ไฟฟ้าเข้าไปก็สามารถทำให้ทรานสดิวเซอร์ยืดหดในแนวไหนก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับขั้วไฟฟ้าที่ใช้บริษัทที่ทำทรานสดิวเซอร์กำหนดความถี่ที่ สำหรับแต่ละแบบของการยืดหด

$$\text{ความถี่เรโซแนนซ์} = \frac{\text{ค่าคงที่}}{\text{ความหนาแน่น}} \quad (2.2)$$

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติบางอย่างของสารเซรามิก

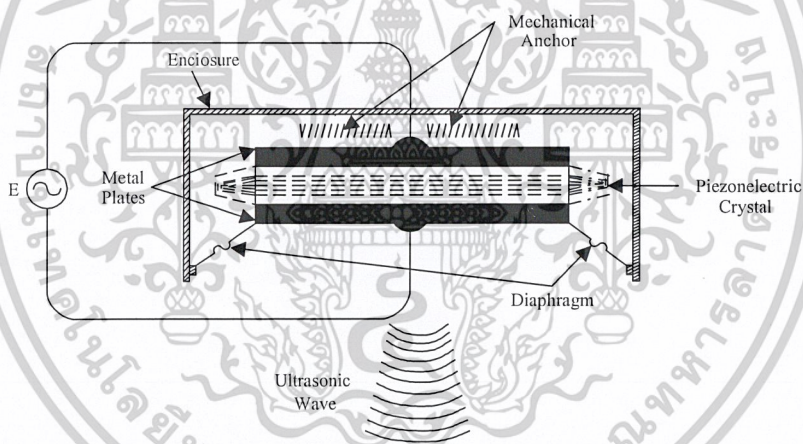
ชนิดของสาร	อุณหภูมิ (°C)	คุณภาพ	ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก	สัมประสิทธิ์ การเชื่อมต่อ
ผลึกแร่ควอทซ์	550	Very high	4.5	0.09
แบเรียมติตาเนท	100	400 – 700	1,700	0.38
ลีดเซอโคเนท	300	90 – 500	1,450	0.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.5 เปียโซทรานสดิวเซอร์

โครงสร้างภายในจะประกอบด้วย “ชิ้นสารเปียโซอิเล็กทริก” (Piezoelectric element) ซึ่งสามารถทำได้จากสารหลายชนิด เช่น ฟลิกแร่ควอทซ์ แบเรียมติตาเนท เกลือร็อคเชล ฯลฯ แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือชิ้นสารเปียโซอิเล็กทริกที่ทำมาจากแบเรียม ติตาเนท ซึ่งได้จากการผสมสารติตาเนียมกับแบเรียมคาบอเนท ที่อุณหภูมิประมาณ 1,300 – 1,400 องศาเซนเซีย และผลิตออกมาในรูปแบบของชิ้นสาร “เซรามิก” ซึ่งจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมโดยส่วนใหญ่

จากชิ้นสารเซรามิกนี้จะถูกประกบด้วยแผ่นเพลท 2 แผ่น ซึ่งส่วนใหญ่ทำมาจากแผ่นเงิน เพื่อต่อเป็นขาของอิเล็กทรอนิกส์ต่อไปนั่นเอง ด้านข้างหนึ่งของแผ่นเพลทจะถูกยึดเพื่อไม่ให้เกิดการสั่น ส่วนอีกด้านจะยึดกับแผ่นไดอะแฟรมซึ่งสามารถเคลื่อนไหวไปมาได้โดยแผ่นไดอะแฟรมนี้จะถูกสร้างให้มีลักษณะคล้ายเลนส์ เพื่อรวมคลื่นให้มีความเร็วสูงขึ้น ซึ่งจะกล่าวถึงลักษณะ โครงสร้างต่อไป



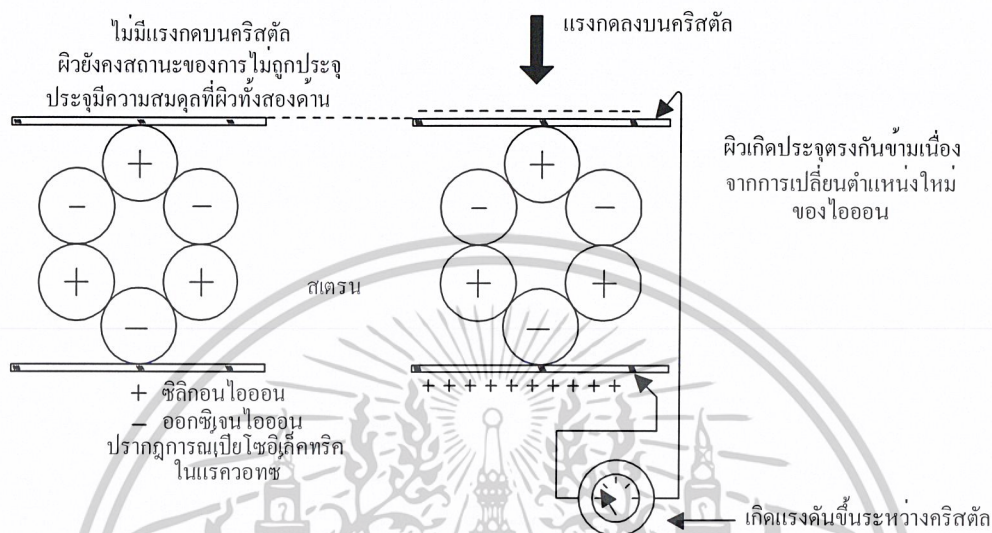
รูปที่ 2.6 ลักษณะ โครงสร้างภายในทั่วไปของทรานสดิวเซอร์

## 2.4.6 เปียโซอิเล็กทริก เอฟเฟ็ค

ปรากฏการณ์แบบเปียโซอิเล็กทริก สามารถอธิบายได้คือ เมื่อสภาวะปกติยังไม่มี ความดันหรือคลื่นมาตกกระทบกับชิ้นสารเซรามิก ประจุไฟฟ้าซึ่งอยู่ภายในชิ้นสารจะเกิดการสมดุล ทำให้แผ่นเพลทเงินที่ประกบอยู่มีศักย์ไฟฟ้าที่เท่ากัน ซึ่งผลรวมของประจุไฟฟ้าบนแผ่นเพลทมีค่าเท่ากับศูนย์ แต่เมื่อมีความดันหรือคลื่นเสียงมาตกกระทบชิ้นสารเซรามิก จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของชิ้นสาร คือ มีการโก่งงอไปตามลักษณะคลื่นที่ตกกระทบ ซึ่งในกรณีนี้จะทำให้เกิดการจัดเรียงประจุไฟฟ้า คือ เกิดมีประจุตรงข้ามขึ้นบนแผ่นเพลทที่ประกบชิ้นสารเซรามิกอยู่ ซึ่งผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของประจุไฟฟ้าตรงข้ามนี้ทำให้เกิดเป็นแรงดันตกคร่อมแผ่นเพลททั้งสองขนาดของแรงดันตกคร่อมนี้ จะขึ้นอยู่กับขนาดของความดันหรือคลื่นที่มาตกกระทบชั้นสารเซรามิกที่โค้งงอไปมา



รูปที่ 2.7 ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก โดยอธิบายในลักษณะที่ชั้นสารทำจากเรครอทซ์

ทรานสดิวเซอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงไปมาระหว่างพลังงานกลกับพลังงานไฟฟ้า ในกรณีการเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลคือตัวส่งคลื่นอัลตราโซนิก ซึ่งการทำงานคือเมื่อเราป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งอาจมีความถี่ในช่วง 20 ถึง 100 กิโลเฮิรตซ์ แรงดันที่ป้อนจะทำให้ชั้นสารเซรามิกเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โดยด้านหนึ่งของชั้นสารเซรามิกจะถูกกดกับแผ่นไดอะเฟรม เมื่อชั้นสารเซรามิกเกิดการบิดตัวไปมาจะทำให้แผ่นไดอะเฟรมนี้อัดกับอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นความถี่เดียวกับสัญญาณที่ป้อนเข้ามา คลื่นที่ผลิตได้จะมีกำลังเอาต์พุตสูงสุดเมื่อความถี่ที่ป้อนเข้ามาตรงกับความถี่รีโซแนนซ์ ซึ่งเป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชั้นสารเซรามิกชั้นนั้น จะทำให้ความถี่อื่นๆ นอกเหนือจากนี้จะมีค่าลดลงกว่าความถี่รีโซแนนซ์มาก

ในทางกลับกันการเปลี่ยนจากพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้านี้ คือ ตัวรับคลื่นอัลตราโซนิก เราสามารถที่จะมองได้ว่าเป็นแหล่งจ่ายหนึ่งๆ เพราะมันไม่ต้องการแหล่งจ่ายอื่นๆ มาป้อนก็สามารถสร้างแรงดันออกมาได้เพียงแต่มีขนาดแรงดันไม่สูงมากนัก โดยการทำงานของตัวรับคลื่นนี้ เมื่อคลื่นมีความดันมากตกกระทบบนแผ่นไดอะเฟรมซึ่งค่าความถี่ของคลื่นทำให้ชั้นสารเซรามิกถูกบีบไปมา จะทำให้เกิดปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกบนชั้นสารทำให้สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่เดียวกับคลื่นที่มาตกกระทบได้

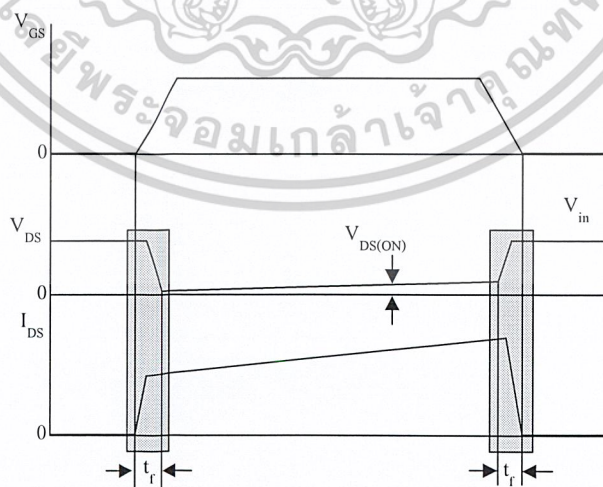
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 เพาเวอร์มอสเฟต

เพาเวอร์มอสเฟต สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูง ตั้งแต่ 50 กิโลเฮิร์ตซ์ ไปจนถึงประมาณ 200 หรือ 400 กิโลเฮิร์ตซ์ เนื่องจากมันใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้น และการพัฒนาในปัจจุบันมีแนวโน้มจะทำให้เพาเวอร์มอสเฟตทำงานได้ที่ความถี่สูงขึ้นไปอีกซึ่งจะเป็นผลดีในการลดขนาดของคอนเวอร์เตอร์ ในส่วนวงจรขับของเพาเวอร์มอสเฟตนั้นสามารถทำได้ง่าย โดยอาจขับเพาเวอร์มอสเฟตให้ทำงานได้จากไอซีควบคุมเช่น UC 3842 โดยตรง เพาเวอร์มอสเฟตจึงเข้ามาแทนที่ไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์อย่างรวดเร็วในการผลิตสวิตช์เพาเวอร์ซัพพลายในตลาดอุตสาหกรรม

### 2.5.1 กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของเพาเวอร์มอสเฟต

กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงาน จะเป็นไปได้ 2 ลักษณะ เช่นเดียวกับไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ คือ กำลังงานสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะและกำลังงานสูญเสียขณะนำกระแส แต่สำหรับเพาเวอร์มอสเฟตจะมีช่วงเวลาเริ่มนำกระแสและช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสสั้นกว่าไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก เพราะตามโครงสร้างของเพาเวอร์มอสเฟต จะไม่มีประจุสะสมเกิดขึ้นจึงไม่มีปัญหาในลักษณะเดียวกับไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพาเวอร์มอสเฟตจะมีค่าความต้านทานขณะนำกระแสค่อนข้างที่จะสูง การสูญเสียเพาเวอร์มอสเฟตขณะนำกระแสจึงสูงกว่าไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ดังรูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการตอบสนองของ เพาเวอร์มอสเฟตเมื่อทำงานเป็นสวิตช์



รูปที่ 2.8 ลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟต

เมื่อเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงแม้ว่าช่วงเวลาเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตจะค่อนข้างสั้น แต่โดยทั่วไปเพาเวอร์มอสเฟตมักถูกใช้งานที่ความถี่สูง การใช้งานที่ความถี่สูงกว่า 50 กิโลเฮิร์ตซ์ การคิดค่ากำลังงานสูญเสียขณะทำงานจำเป็นต้องนำค่ากำลังงานสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะมาคิดด้วย และเนื่องจากช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส กับช่วงเวลาเริ่มนำกระแส ของเพาเวอร์มอสเฟตมีค่าใกล้เคียงกัน จึงต้องนำมาคิดทั้งสองช่วงเวลาด้วย ดังนั้นกำลังงานสูญเสียของเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงาน  $P_D$  จะมีค่าเท่ากับ

$$P_D = P_{SW(on)} + P_{SW(off)} + P_C \quad (2.3)$$

$$P_{SW(on)} = \frac{0.5 I_{PK(on)} V_{in} \times t_r}{T} \quad (2.4)$$

$$P_{SW(off)} = \frac{0.5 I_{PK(off)} V_{in} \times t_f}{T} \quad (2.5)$$

$$P_C = I_{Drms}^2 \times R_{DS(on)}(T_j) \quad (2.6)$$

- เมื่อ  $P_{SW(on)}$  คือ กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต  
 $P_{SW(off)}$  คือ กำลังงานสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต  
 $P_C$  คือ กำลังงานสูญเสียขณะนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต  
 $I_{PK(on)}$  คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มนำกระแส  
 $I_{PK(off)}$  คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มหยุดนำกระแส  
 $I_{Drms}$  คือ ค่ากระแส ที่ไหลผ่านเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงาน  
 $R_{DS(on)}(T_j)$  คือ ค่าความต้านทานระหว่างขาเดรนและขาซอร์ส ที่อุณหภูมิรอยต่อสูงสุดขณะทำงานของเพาเวอร์มอสเฟต  
 $t_r$  คือ ช่วงเวลาเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต  
 $t_f$  คือ ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

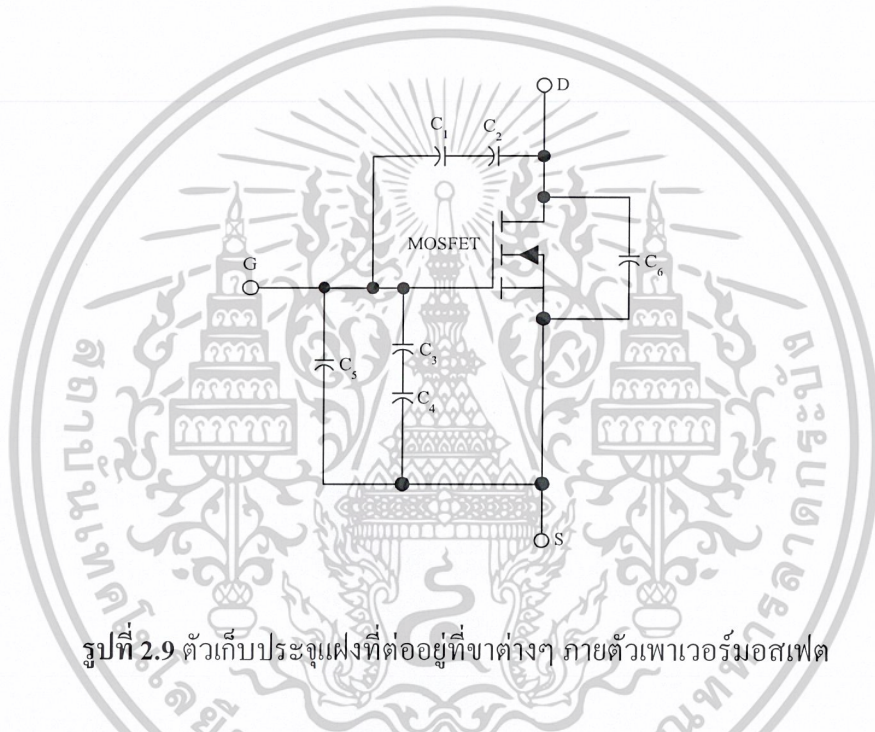
## 2.5.2 เงื่อนไขของวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟต

การขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสที่แตกต่างจากการขับกระแสไบแอสในไบโพลาร์ เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เนื่องจากมีเงื่อนไขการไบแอสที่แตกต่างกัน สำหรับไบโพลาร์เพาเวอร์ อีกรายนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานซิสเตอร์กระแสจะไหลผ่านคอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์ได้ก็ต่อเมื่อ แรงดันตกคร่อมที่ขาเกต และซอร์สมีค่าอย่างต่ำเท่ากับค่าแรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage) ของมัน แต่ใช้กระแสต่ำ การขับ เพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสจึงทำได้ง่าย และยุ่งยากน้อยกว่าไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มาก

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้เพาเวอร์มอสเฟตทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงจำเป็นต้อง ศึกษาเงื่อนไขต่างๆ สำหรับการบังคับให้เพาเวอร์มอสเฟตนำกระแส เป็นอันดับแรกเสียก่อน

ค่าความจุไฟฟ้าด้านอินพุต (Input Capacitance) เนื่องจากลักษณะ โครงสร้างภายในของ ตัว เพาเวอร์มอสเฟตจึงเหมือนกับมีตัวเก็บประจุต่ออยู่รอบๆ ขาต่างๆ ของมันดังรูปที่ 2.9



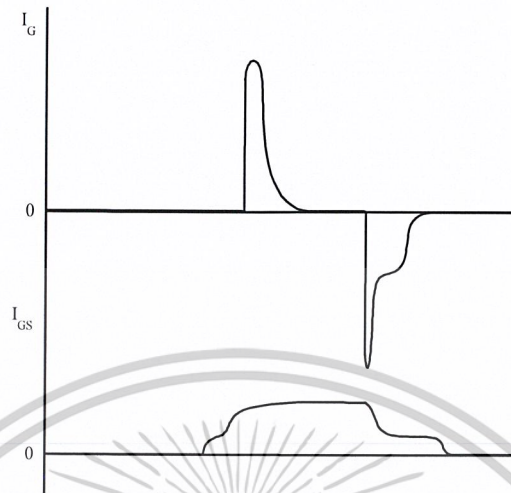
รูปที่ 2.9 ตัวเก็บประจุแฝงที่ต่ออยู่ที่ขาต่างๆ ภายตัวเพาเวอร์มอสเฟต

ตัวเก็บประจุเหล่านี้ บังคับให้เพาเวอร์มอสเฟตต้องชาร์จประจุเข้าไปที่ตัวเก็บประจุเสียก่อน เพื่อให้แรงดันตกคร่อมที่ขาเกต  $V_{GS}$  มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าแรงดันขีดเริ่ม เพาเวอร์มอสเฟตจึงจะเริ่ม นำกระแส ในทางกลับกันการหยุดการนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต ต้องทำให้ตัวเก็บประจุคาย ประจุออกไปจนแรงดันตกคร่อมที่ขาเกต  $V_{GS}$  มีค่าลดลงต่ำกว่าค่าแรงดันขีดเริ่ม เพาเวอร์มอสเฟตจึง หยุดนำกระแสลักษณะของกระแสและแรงดันที่ขาเกตจึงมีลักษณะดังรูปที่ 2.10

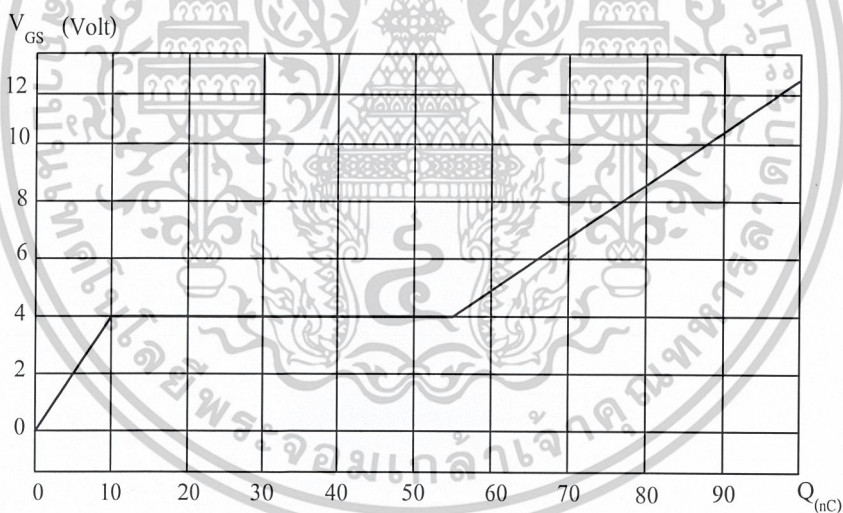
โดยทั่วไปแล้ว ค่าความจุของตัวเก็บประจุในตัวเพาเวอร์มอสเฟตนี้เอง จะเป็นตัวกำหนด ความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของมัน

ปกติแล้วผู้ผลิตมักจะให้กราฟของค่าแรงดัน  $V_{GS}$  ที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าประจุสะสมที่ขาเกต เพิ่มขึ้น หรือที่เรียกว่า Gate Charge Chart มาในคาต้าล็อกด้วย (รูปที่ 2.11) กราฟนี้มีประโยชน์มากใน การคำนวณค่ากระแสไบแอสเกตและเวลาในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์มอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ลักษณะแรงดันและกระแสที่ขาเกตของเพาเวอร์ MOSFET ถูกไบแอสให้นำกระแส



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างของ Gate Charge Chart

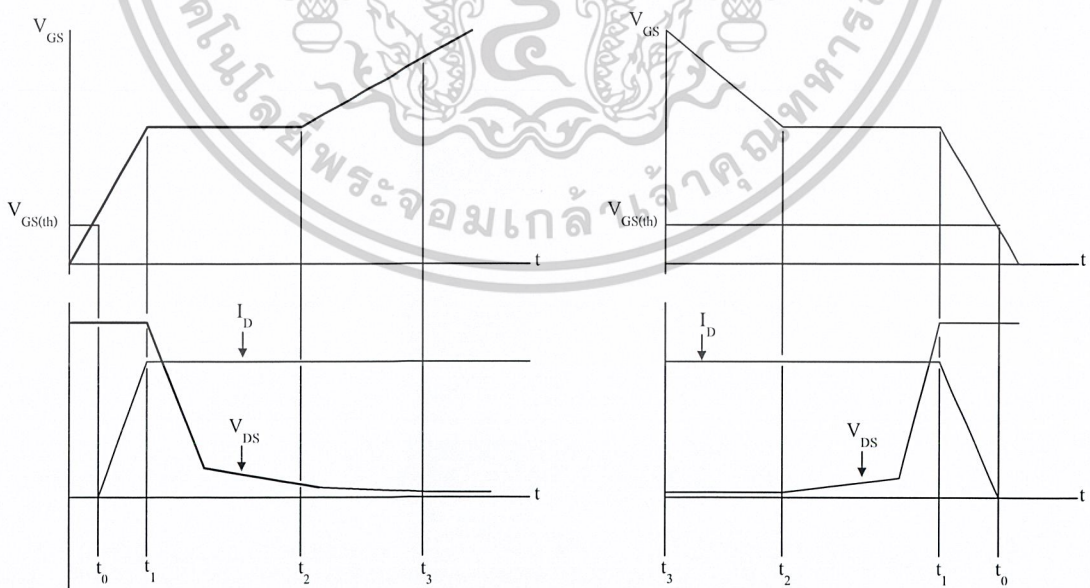
ลักษณะของกราฟจะแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ตามผลของประจุที่เพิ่มขึ้นคือ

- 1) ช่วงเวลาหน่วงก่อนเริ่มนำกระแส (turn on delay)
- 2) ช่วงเวลาเริ่มนำกระแส (rise time)
- 3) ช่วงเวลาสะสมประจุส่วนเกิน (excess charge time)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเพาเวอร์มอสเฟตเริ่มชาร์จประจุที่ขาเกต จนกระทั่งพ้นช่วงเวลาหน่วงก่อนเริ่มนำกระแสเมื่อแรงดันที่ขาเกตมากกว่า แรงดันขีดเริ่ม ( $V_{GS(th)}$ ) จึงจะเริ่มมีกระแสไหลผ่านขาเดรนและขาซอร์สที่เวลา  $t_0$  ค่าของแรงดันจะยังไม่ลดลงจนกว่าจะผ่านเวลาเท่ากับ  $t_1$  แรงดันตกคร่อมขาเดรนและขาซอร์ส  $V_{DS}$  สูงสุด เพาเวอร์มอสเฟตจะนำกระแสได้อย่างเต็มที่ในช่วงเวลาเริ่มนำกระแส  $t_1$  ถึง  $t_2$  นี้เอง และแรงดันตกคร่อมที่ขาเกต  $V_{GS}$  จะคงที่ จนกว่าเพาเวอร์มอสเฟตจะสามารถนำกระแสได้อย่างเต็มที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ในช่วงเวลาสะสมประจุส่วนเกิน ค่าความต้านทานระหว่างขาเดรนและขาซอร์สจะมีค่าลดลงได้เรื่อยๆ หากปล่อยให้มีการสะสมประจุต่อไปในช่วงเวลา  $t_2$  ถึง  $t_3$  แต่ประจุสะสมที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการหน่วงขณะเริ่มหยุดนำกระแส เนื่องจากเพาเวอร์มอสเฟตจะต้องใช้เวลามากในการคายประจุส่วนเกินนี้ทิ้งไป ดังนั้นการขับเพาเวอร์มอสเฟตที่ขาเกตด้วยแรงดันสูงเกินความจำเป็น จะทำให้ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลเสีย

เนื่องจากเพาเวอร์มอสเฟตไม่เกิดประจุสะสมขึ้นขณะนำกระแส การหยุดการนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตจึงทำได้ง่ายๆ ด้วยการคายประจุที่ขาเกตทิ้งไปเช่นเดียวกับขณะเริ่มนำกระแส และถ้าขนาดกระแสเพื่อชาร์จประจุและคายประจุมีค่าเท่ากัน ช่วงเวลาเริ่มนำกระแสและช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสจะมีค่าเท่ากันด้วย ยกเว้นหากมีประจุสะสมมากในช่วงเวลา  $t_2$  ถึง  $t_3$  การหยุดนำกระแสจะมีช่วงเวลาหน่วงเพิ่มขึ้น เนื่องจากต้องใช้เวลาส่วนหนึ่งในการคายประจุส่วนเกินทิ้งไป



รูปที่ 2.12 ลักษณะการชาร์จประจุที่ขาเกตตามเวลาที่มีผลต่อการเริ่มนำกระแส

และผลเมื่อเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเพาเวอร์มอสเฟตไม่เกิดประจุสะสมขึ้นขณะนำกระแส การหยุดการนำกระแสของ เพาเวอร์มอสเฟตจึงทำได้ง่ายๆ ด้วยการคายประจุที่ขาเกตทิ้งไปเช่นเดียวกับขณะเริ่มนำกระแส และ ถ้าวัดกระแสเพื่อชาร์จประจุและคายประจุมีค่าเท่ากัน ช่วงเวลาเริ่มนำกระแสและช่วงเวลาเริ่ม หยุดนำกระแสจะมีค่าเท่ากันด้วย ยกเว้นหากมีประจุสะสมมากในช่วงเวลา  $t_2$  ถึง  $t_3$  การหยุด นำกระแสจะมีช่วงเวลาหน่วงเพิ่มขึ้น เนื่องจากต้องใช้เวลาดำเนินการคายประจุส่วนเกินทิ้งไป จากกราฟในรูปที่ 2.12 ของเพาเวอร์มอสเฟตแต่ละเบอร์ จะนำมาหาค่าช่วงเวลาเริ่ม นำกระแส  $t_r$  และช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส  $t_f$  ได้จาก

$$t = \frac{Q_G}{I_G} \quad (2.7)$$

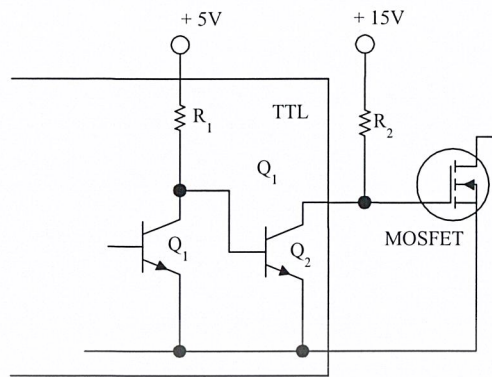
เห็นได้ว่าการขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสได้ จะต้องมีการชาร์จประจุและคายประจุที่ ขาเกต วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตจะต้องมีลักษณะของการจ่ายและรับกระแสได้ที่ประมาณ 200 ถึง 400 มิลลิแอมป์ด้วย และต้องให้แรงดันตกคร่อมที่ขาเกต  $V_{GS}$  ค่ามากพอ เพื่อที่เพาเวอร์มอส เฟตจะ ทำงานได้อย่างเต็มที่ด้วย (ประมาณ 10 โวลต์)

### 2.5.3 วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วย TTL

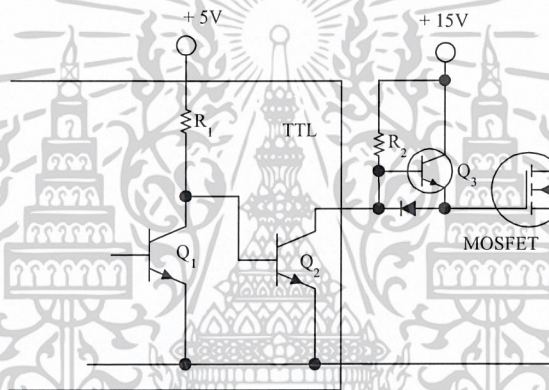
การขับเพาเวอร์มอสเฟตจากไอซี TTL โดยตรงนั้นเป็นไปได้ แต่ไอซี TTL มีขีดจำกัดใน การจ่ายและรับกระแสของมันที่เอาต์พุต ซึ่งจะมีผล โดยตรงต่อความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของ เพาเวอร์มอสเฟตและทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียสูงได้ การต่อวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยไอซี TTL จึงจำเป็นต้องเพิ่มตัวอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อช่วยให้เกิดการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์มอสเฟต เป็นไปได้อย่างรวดเร็ว

รูปที่ 2.13 แสดงการต่อวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยไอซี TTL ที่มีเอาต์พุตเป็นแบบ คอลเล็กเตอร์เปิด การต่อพูล์อัพรีซิสเตอร์เข้าช่วย จะทำให้มีแรงดันสูงพอที่จะขับเพาเวอร์มอสเฟต ให้ทำงานและการหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตเป็นไปได้อย่างเร็วขึ้น อย่างไรก็ตาม ความเร็ว ขณะเริ่มนำกระแสยังมีค่าจำกัดอยู่ เนื่องจากกระแสยังถูกจำกัดด้วยพูล์อัพรีซิสเตอร์

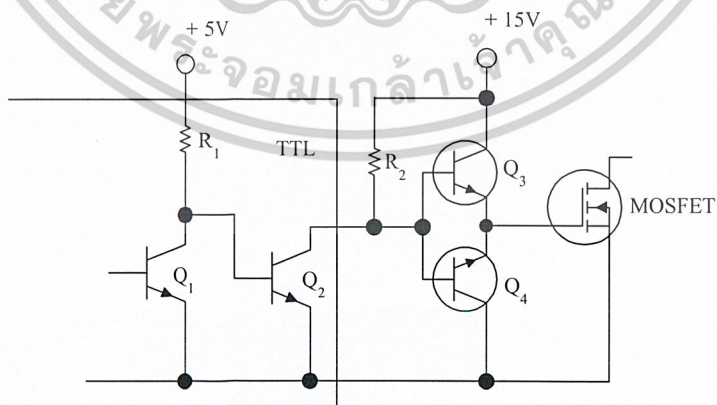
การต่อทรานซิสเตอร์เพิ่มเข้ามาดังในรูปที่ 2.13 (ข) ทรานซิสเตอร์จะช่วยจ่ายกระแสได้มาก ขึ้นทำให้ความเร็วขณะเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตดีขึ้นและลดกำลังงานสูญเสียในตัวไอซี TTL ด้วยเพื่อให้การคายประจุที่ขาเกตเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว การเพิ่มทรานซิสเตอร์เข้ามาในวงจร อีก 1 ตัว ดังรูปที่ 2.13 (ค) ก็จะทำให้ความเร็วในขณะเริ่มหยุดนำกระแสเป็นไปได้อย่างรวดเร็วมาก ขึ้น



(ก) การขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสด้วยไอซี TTL และพูล์ฟรีซิสเตอร์



(ข) การต่อทรานซิสเตอร์เพิ่มเข้ามาในวงจร



(ค) การต่อทรานซิสเตอร์เพิ่มเข้ามาอีก 1 ตัวในวงจรเพื่อเพิ่มความเร็วในขณะเริ่มหยุดนำกระแส

**รูปที่ 2.13** วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วย TTL

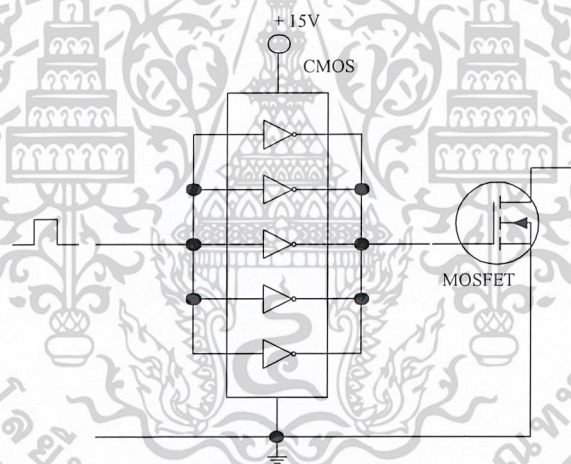
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานซิสเตอร์สามารถใช้ทรานซิสเตอร์กำลังต่ำ เช่น เบอร์ 2N 2222A และเบอร์ 2N 2907 ก็  
สามารถทำให้วงจรขับจ่ายและรับกระแสได้ถึง 800 มิลลิแอมป์ ซึ่งก็นับว่าเพียงพอแล้ว

#### 2.5.4 วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วย CMOS

เพาเวอร์มอสเฟตสามารถต่อโดยตรงเข้ากับไอซีชนิด CMOS ได้ ไอซี CMOS มาตรฐาน  
เช่น ตระกูล 14000 จะมีเอาต์พุตเป็นเฟตในลักษณะคอมพลิเมนต์ารี N และ P เซลแนล อยู่แล้ว ไอซี  
ตระกูล 14000 สามารถทำงานได้ที่แรงดันไฟเลี้ยงตั้งแต่ 3 โวลต์ถึง 18 โวลต์ ทว่าไปแรงดันไฟเลี้ยงที่  
12 โวลต์ถึง 15 โวลต์ จะเหมาะสมสำหรับการใช้ขับเพาเวอร์มอสเฟต

สำหรับการขับเพาเวอร์มอสเฟตที่ต้องนำกระแสสูงๆ การต่อ CMOS ในลักษณะขนานกัน  
ดังรูปที่ 2.14 จะสามารถเพิ่มกระแสที่ขาเกต และทำให้ความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์  
มอสเฟตเป็นไปได้เร็วขึ้นด้วย



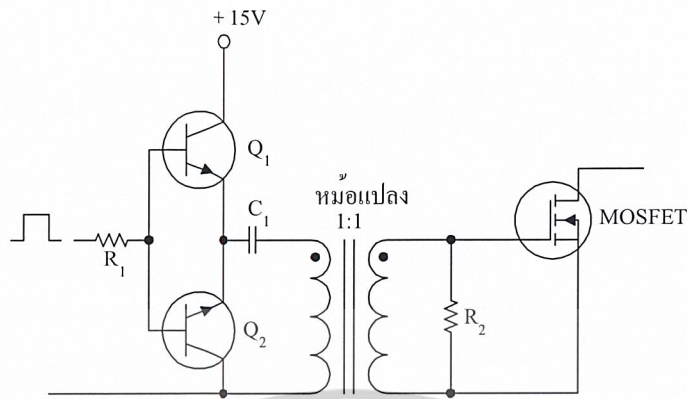
รูปที่ 2.14 การขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสด้วยไอซี CMOS โดยตรง

#### 2.5.5 วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตด้วยหม้อแปลง

ในกรณีวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์ วงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตตัวบนและตัวล่าง  
จะต้องมีการแยกกราวด์ออกจากกัน อาจจำเป็นต้องใช้หม้อแปลง หรือในกรณีที่ต้องการขับเพาเวอร์  
มอสเฟตมากกว่าหนึ่งตัวพร้อมกัน ก็อาจต้องใช้หม้อแปลงช่วย

การต่อหม้อแปลงพัลส์เข้ากับขาเกตและวงจรควบคุมโดยตรงอาจเกิดปัญหาการเลื้อยระดับ  
ของแรงดันที่เอาต์พุตหม้อแปลง อาจมีปัญหาในการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตได้ การต่อวงจรขับ  
เพาเวอร์มอสเฟตด้วยหม้อแปลงจึงควรทำในลักษณะดังในรูปที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างการจัดวงจรขับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสด้วยหม้อแปลง

### 2.5.6 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้งานเพาเวอร์มอสเฟต

สำหรับเพาเวอร์มอสเฟต การเกิดเซคันด์ารีเบรกดาวน์เช่น ในไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์จะไม่เกิดขึ้น เพราะค่าความต้านทานระหว่างเดรนและซอร์สขณะนำกระแส  $R_{DS(on)}$  ของมันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสที่ไหลผ่านมีค่าน้อยลง ต่างจากไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์จะเกิดเซคันด์ารีเบรกดาวน์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นกระแสจะไหลมากยิ่งขึ้นจะเกิดการพังเสียหายได้อย่างรวดเร็ว เพาเวอร์มอสเฟตจึงมีพิคตกความปลอดภัยในกราฟ SOA กว้างกว่าเมื่อเทียบกับไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ จากเพาเวอร์มอสเฟตไม่เกิดเซคันด์ารีเบรกดาวน์ อัตราทนกำลังสูญเสียสูงสุดของมันจะถูกจำกัดด้วยค่าความร้อนที่เกิดขึ้นที่รอยต่อภายในตัวมันเท่านั้น

ขีดจำกัดกำลังที่พิคปลอดภัย FBSOA ของเพาเวอร์มอสเฟตนั้น อาจแบ่งออกได้เป็น 4 ลักษณะดังนี้คือ

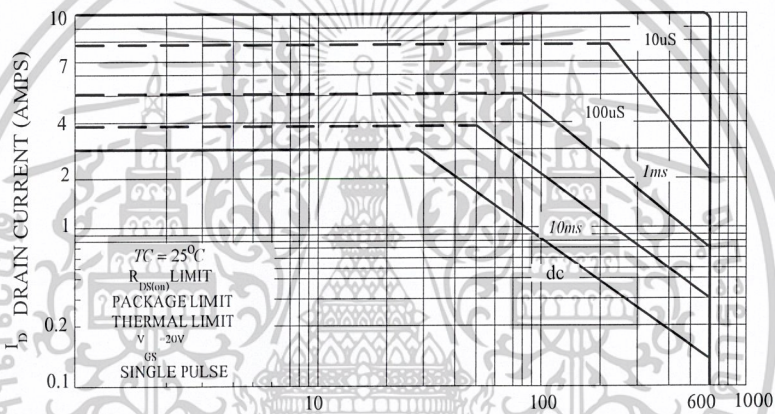
- 1) ขีดจำกัดแรงดันตกคร่อมเดรนและซอร์ส  $V_{DS}$  สูงสุดที่สามารถทนได้
- 2) ค่ากระแสเดรน  $I_D$  สูงสุดที่สามารถไหลผ่านได้ และไม่ทำให้โครงสร้างภายในเสียหาย
- 3) ขีดจำกัดเนื่องจากค่าความต้านทานขณะนำกระแส
- 4) ขีดจำกัดการระบายความร้อนของตัวถัง

ตัวอย่างกราฟ FBSOA ของเพาเวอร์มอสเฟต แสดงไว้ในรูปที่ 2.16 เช่นเดียวกับไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ การระวังไม่ให้เกิดเงื่อนไขที่ทำให้เพาเวอร์มอสเฟตต้องทำงานภายนอกพิคตกของกราฟ FBSOA เป็นสิ่งสำคัญ ผู้ออกแบบจะต้องให้ความสนใจก่อนการเลือกเพาเวอร์มอสเฟตมาใช้งานทุกครั้ง รวมถึงป้องกันการเกิดเงื่อนไขที่จะทำให้เพาเวอร์มอสเฟตเกิดพังเสียหายได้ขณะทำงานของวงจรที่ออกแบบด้วย

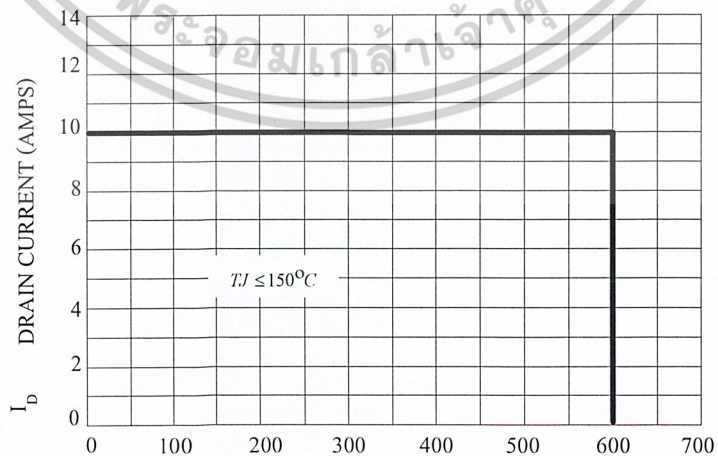
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกัดปลอดภัย SSOA (Switching Safe Operating Area) เป็นกราฟแสดงพิกัดกระแสและแรงดันใช้งานที่ปลอดภัยของเพาเวอร์มอสเฟตขณะเปลี่ยนสถานะ สามารถใช้ได้ทั้งในการพิจารณาพิกัดปลอดภัยในช่วงเวลาเริ่มจะนำกระแสและช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

ปกติกราฟ SSOA จะใช้เพื่อพิจารณาเงื่อนไขปลอดภัยของเพาเวอร์มอสเฟตเช่นเดียวกับกราฟ RBSOA ของไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ตัวอย่างกราฟ SSOA แสดงไว้ในรูปที่ 2.17 และเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟ RBSOA ของไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แล้วจะเห็นได้ว่า SSOA จะมีพื้นที่ปลอดภัยมากกว่า และขีดจำกัดกำลังจะอยู่ที่แรงดันตกคร่อม  $V_{DS}$  สูงสุดและกระแสเดรน  $I_D$  สูงสุดเท่านั้น



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างกราฟพิกัดปลอดภัย FBSOA ของเพาเวอร์มอสเฟต



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างกราฟพิกัดปลอดภัย SSOA ของเพาเวอร์มอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

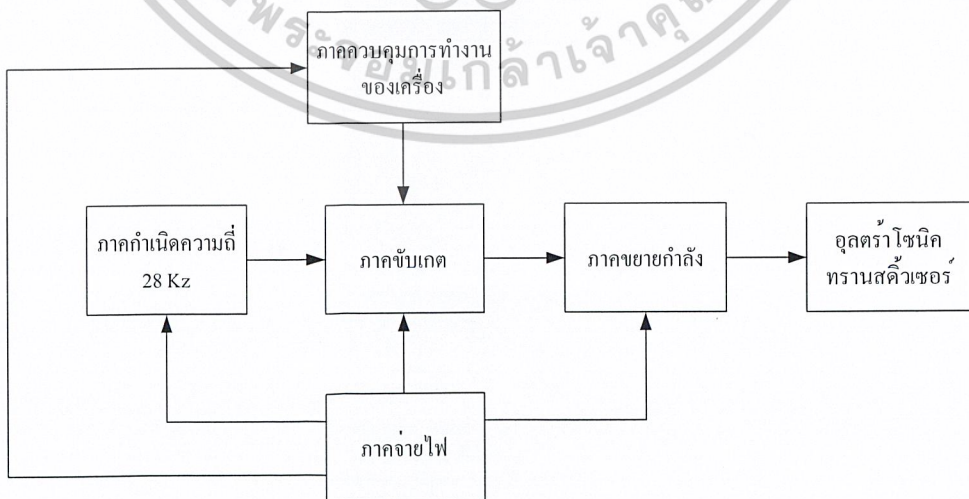
### การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

#### 3.1 กล่าวนำ

ในการออกแบบ การสร้าง และการทำงานของเครื่องทำความสะอาดยื่นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิก จะประกอบด้วยส่วนของโครงสร้างและวงจรต่างๆ ซึ่งได้แก่ วงจรกำเนิดความถี่ 28 กิโลเฮิร์ตซ์ วงจรขับเคลื่อน วงจรขยายกำลัง วงจรภาคจ่ายไฟ วงจรประมวลผลกลาง วงจรรับค่าในการทำความสะอาดยื่นส่วน วงจรแสดงเวลาที่เหลือในการทำความสะอาดยื่นส่วน วงจรควบคุมการทำงานของวงจรขับเคลื่อน วงจรแสดงสถานะของเครื่อง วงจรเสียงเตือน และการออกแบบโครงสร้าง

#### 3.2 การออกแบบ การสร้าง และการทำงานเครื่องทำความสะอาดยื่นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิก

การทำงานของเครื่องทำความสะอาดยื่นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิก แบ่งออกเป็น 5 ส่วน คือ ภาคกำเนิดความถี่ ภาคขับเคลื่อน ภาคขยายกำลัง ภาคจ่ายไฟ และภาคควบคุมการทำงานของเครื่อง ซึ่งแบ่งออกได้เป็น วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรรับค่าในการทำความสะอาดยื่นส่วน วงจรแสดงเวลาที่เหลือในการทำความสะอาดยื่นส่วน วงจรควบคุมการทำงานของวงจรขับเคลื่อน วงจรแสดงสถานะของเครื่อง วงจรเสียงเตือน การทำงานของเครื่อง ดังรูปที่ 3.1

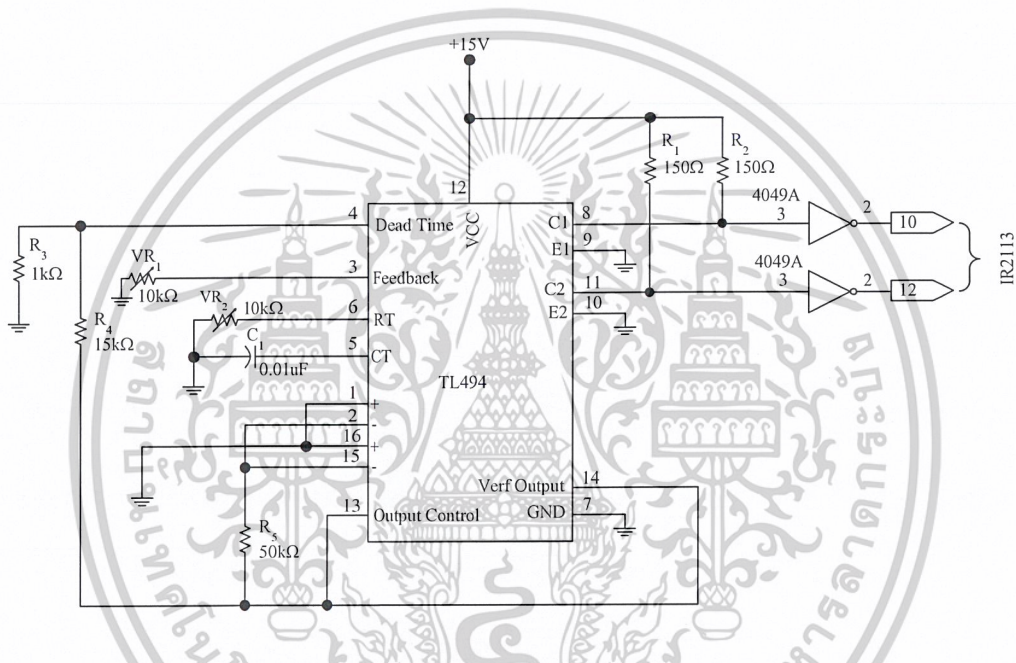


**รูปที่ 3.1** แผนผังการทำงานของเครื่องทำความสะอาดยื่นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิก  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วงจรกำเนิดความถี่

#### 3.3.1 ไอซีเบอร์ TL 494 สำหรับโหมตควบคุมจากแรงดัน

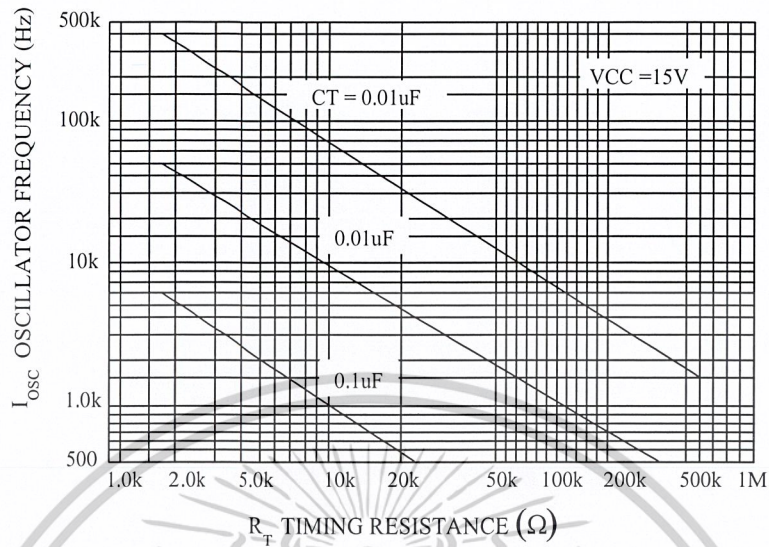
ไอซีเบอร์ TL 494 เป็นไอซีที่ออกแบบมาเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ โดยทำงานด้วยโหมตควบคุมจากแรงดัน ซึ่งจะได้นำมาเป็นตัวอย่างการทำงานสำหรับวงจรควบคุมด้วยวิธีควบคุมจากแรงดัน โครงสร้างภายในและการจัดขาของ TL 494 แสดงในรูปที่ 3.2 การทำงานของไอซีจะเป็นดังนี้



รูปที่ 3.2 การจัด โครงสร้างภายในและการจัดขาของ ไอซี TL 494

#### 3.3.2 การกำหนดคาบเวลาการทำงาน

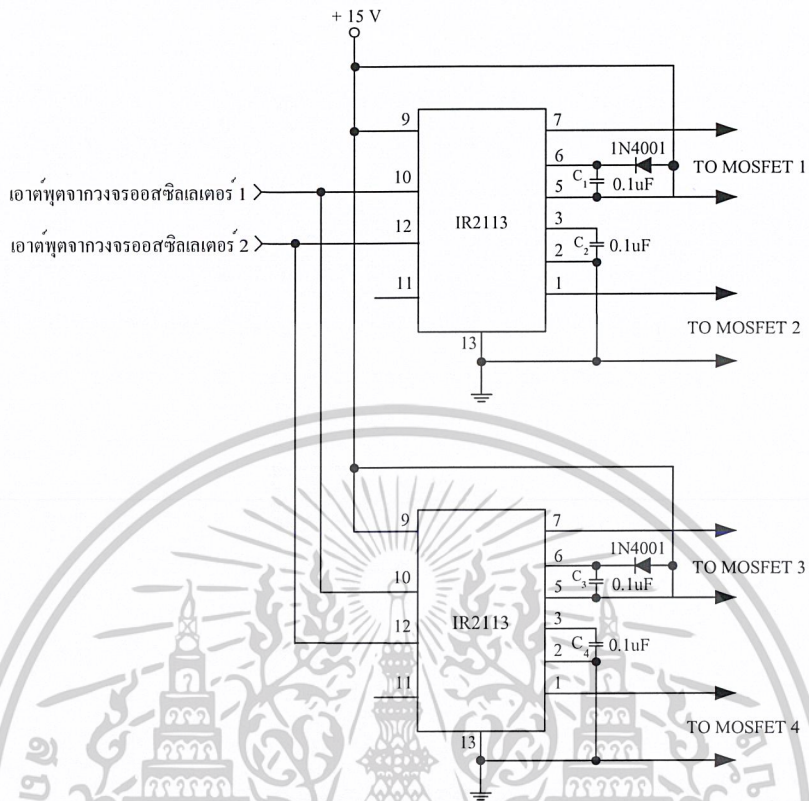
วงจรของ TL 494 เป็นวงจร PWM ที่มีความถี่คงที่ คาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตพัลส์ กำหนดโดยค่าของ  $R_T$  และ  $C_T$  จากภายนอกที่ขา 6 และขา 5 ของไอซี ค่าคาบเวลาการทำงาน กำหนดได้จากกราฟความสัมพันธ์ของค่า  $R_T C_T$  ในการกำหนดความถี่ที่ความถี่การทำงาน 28 กิโลเฮิร์ตซ์ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของค่า  $R_T, C_T$  ในการกำหนดความถี่ที่ความถี่การทำงาน 28 กิโลเฮิร์ตซ์

### 3.4 วงจรขั้วเกต

วงจรมีหน้าที่ขั้วให้มอสเฟตในส่วนของวงจรเพาเวอร์มอสเฟตแบบครึ่งคลื่นสวิตช์ตามความต้องการ แต่ถ้านเราสร้างวงจรขั้วเองจะต้องอุปกรณ์หลายชิ้นทำให้ส่วนของวงจรขั้วเกตมีขนาดใหญ่มาก จึงไม่สะดวกในการนำไปใช้งานและเอาต์พุตของวงจรขั้วเกตที่ได้จะไม่แน่นอนเพราะจะขึ้นกับการทำงานของอุปกรณ์หลายตัวด้วยกัน และนอกจากนี้ผลของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและสภาวะแวดล้อม จะมีผลต่อการทำงานของวงจรขั้วเกตด้วย ซึ่งอาจจะทำให้การทำงานของวงจรมอสเฟตแบบครึ่งคลื่นผิดพลาดไปด้วยดังนั้นจึงใช้ IR 2113 เป็นตัวขั้วเกต เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมอันได้แก่มีขนาดเล็ก ใช้แรงดันเอาต์พุตที่เหมาะสมกับการนำไปขั้วมอสเฟต โดย IR 2113 จะมีอินพุตสองอินพุต และเอาต์พุตสองเอาต์พุตเช่นกัน ดังนั้น IR 2113 เพียงตัวเดียวสามารถนำไปขั้วมอสเฟตได้ถึง 2 ตัว เพราะให้เอาต์พุต 2 ค่าโดยเอาต์พุตทั้งสองนี้ จะขึ้นอยู่กับอินพุตทั้งสองนี้ จะขึ้นอยู่กับอินพุตทั้งสองที่ป้อนซึ่งลักษณะการต่อ IR 2113 เพื่อนำไปขั้วเกตสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การต่อไอซี IR 2113

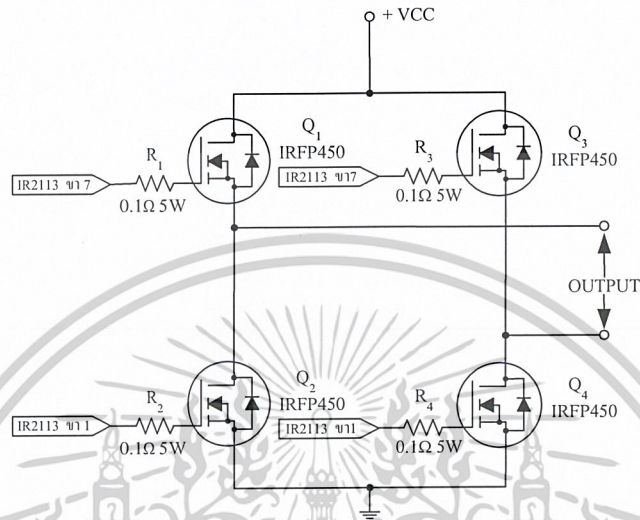
จะเห็นว่าอินพุตของไอซี IR 2113 คือ ขา 10 และขา 12 โดยมีขา 11 ต่อมาจากวงจรป้องกัน ส่วนเอาต์พุตแรกคือที่ขา 1 โดยมีขา 2 เป็นกราวด์และเอาต์พุตที่สองคือที่ขา 7 โดยมีขา 5 เป็นกราวด์ ซึ่งกราวด์ ขา 2 และกราวด์ขา 5 นี้จะแยกกันและเราต้องการให้เอาต์พุตทั้งสองสลับกันทำงานดังนั้น จึงต้องใช้สัญญาณสี่เหลี่ยมที่เป็นอินพุตซึ่งป้อนที่ ขา 10 และขา 12 ของไอซี IR 2113 เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่จากวงจรรักษาแรงดันและคุณสมบัติของไอซี IR 2113 จะให้เอาต์พุตทั้งสองที่ได้มีเวลาไว้ผลตอบสนองเพื่อใช้ในกรณีที่ต้องการให้อุปกรณ์ที่ถูกขับสลับกันทำงาน

เมื่ออินพุตเข้ามาไอซี IR 2113 จะทำการขยายขนาดของกระแสและแรงดัน ให้มีขนาดของสัญญาณที่เพิ่มมากขึ้นเพื่อให้เพียงพอในการใช้ขับมอเตอร์

### 3.5 วงจรขยายกำลัง

การทำงานของวงจรขยายกำลังจะใช้การต่อวงจรแบบฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ โดยจะใช้ เพาเวอร์มอสเฟต เบอร์ IRFP450 เป็นตัวขยายกำลังเพาเวอร์มอสเฟตทั้ง 4 ตัว จะทำงานโดย นำกระแสและหยุดนำกระแสสลับกันเป็นคู่ๆ ในแต่ละครึ่งคาบเวลา  $Q_1$  และ  $Q_2$  จะนำกระแสพร้อม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

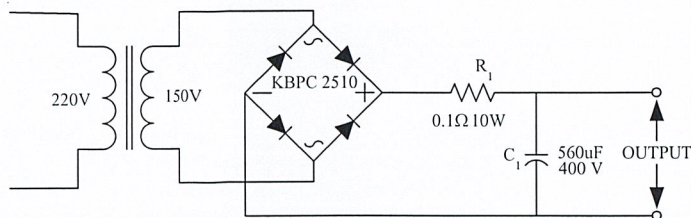
กันในครึ่งคาบเวลาและเมื่อหยุดนำกระแส  $Q_2$  และ  $Q_3$  จะนำกระแสต่อพร้อมกันในครึ่งคาบเวลาที่เหลือสลับกันเช่นนี้เรื่อยไปทำให้สัญญาณที่ออกมามีลักษณะเป็นพัลส์กระแสสลับ



รูปที่ 3.5 วงจรขยายกำลัง

### 3.6 วงจรภาคจ่ายไฟของวงจรขยายกำลัง

การออกแบบภาคจ่ายไฟให้กับวงจรภาคขยายกำลัง เนื่องจากวงจรภาคขยายกำลังต้องการไฟสูงที่ป้อนให้กับวงจร ดังนั้นหม้อแปลงที่ใช้จึงจำเป็นต้องให้แรงดันที่ขดทุติยภูมิสูงด้วยเช่นกัน จึงจะสามารถออกแบบภาคจ่ายไฟที่ให้แรงดันไฟกระแสตรงที่แรงดันไฟสูงๆ ได้ โดยวงจรขยายกำลังเมื่อต่อโหลดจะต้องใช้กำลังประมาณ 420 วัตต์ (คำนวณจากกำลังงานและค่าความต้านทานของตัวอุลตราโซนิค ทรานสดิวเซอร์ ขณะเรโซแนนท์) ดังนั้นจึงต้องใช้หม้อแปลงที่มีไฟที่ขดทุติยภูมิประมาณ 150 โวลต์ 3 แอมป์ และนำผ่านวงจรบริดจ์แบบเต็มรูปคลื่น จึงจะได้แรงดันไฟกระแสตรงที่ให้แรงดันสูงที่จะสามารถนำไฟจ่ายให้กับวงจรขยายกำลังได้



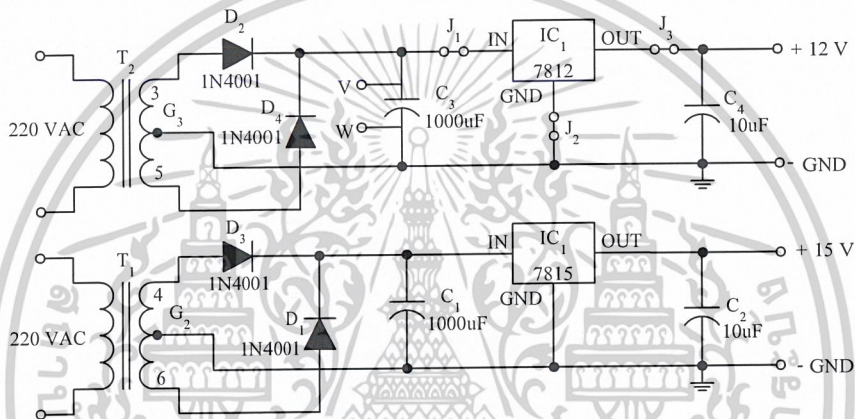
รูปที่ 3.6 วงจรภาคจ่ายไฟของวงจรขยายกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันคงที่ 2 ชุด

#### 3.7.1 การออกแบบและการสร้าง

การออกแบบภาคจ่ายไฟให้กับวงจร จะใช้แหล่งจ่ายไฟบวกคงที่ 2 ชุดซึ่งจะใช้ไอซีเบอร์ 7812 และ 7815 โดยจะให้แรงดันออกทางด้านเอาต์พุต 12 โวลต์ และ 15 โวลต์ ซึ่งแหล่งจ่ายไฟบวกคงที่ 2 ชุดนี้จะเป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจร MCS-51 และวงจรกำเนิดความถี่ต่อไป วงจรภาคจ่ายไฟบวกคงที่ 2 ชุด วงจรแหล่งจ่ายแรงดันคงที่ 2 ชุดแสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันคงที่ 2 ชุด

#### 3.7.2 การทำงาน

การทำงานของภาคจ่ายไฟบวกคงที่ 2 ชุดจะใช้ไอซีเบอร์ 7812 และ 7815 โดยไอซีเบอร์ 7812 จะมีแรงดันออกทางด้านเอาต์พุตของวงจร 12 โวลต์ และเป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจรควบคุม MCS-51 ต่อไป ส่วนไอซีเบอร์ 7815 จะมีแรงดันออกทางด้านเอาต์พุตของวงจร 15 โวลต์ และเป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจรกำเนิดความถี่ต่อไป

### 3.8 วงจรประมวลผลกลาง

การทำงานของวงจรประมวลผลกลางใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51 เป็นตัวควบคุมการทำงาน ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานต้องมีการควบคุมพื้นฐานส่วนต่างๆ ดังนี้

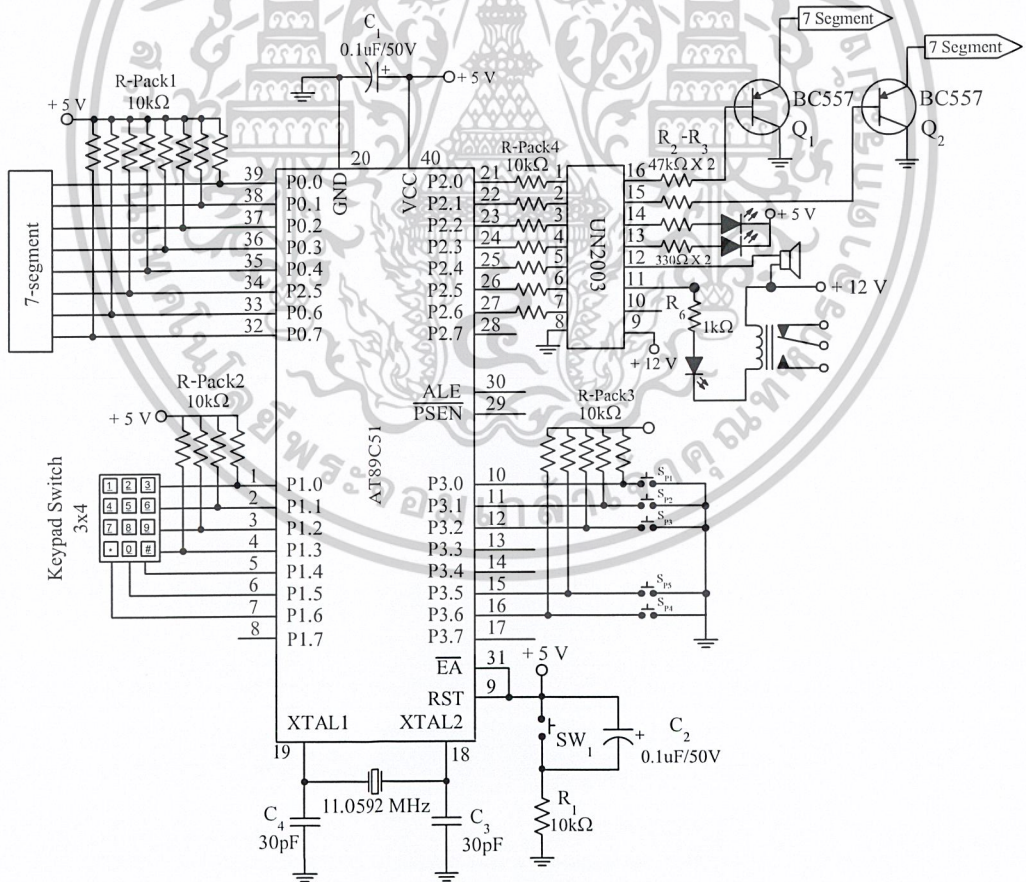
- 1) แหล่งจ่ายที่ป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์มีขนาดแรงดัน 5 โวลต์ การป้อนแหล่งจ่ายไฟจะทำผ่านขา 40 ( $V_{cc}$ ) และขา 20 ( $G_{nd}$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) สัญญาณนาฬิกาเป็นตัวกำหนดจังหวะการทำงานของระบบ เนื่องจากภายใน MCS-51 มีวงจรออสซิลเลเตอร์อยู่ในตัว จึงง่ายต่อการใช้งานเพียงต่อคริสตัลความถี่ 11.0592 เมกะเฮิร์ตซ์ ที่ขา 18 และขา 19 และทำการต่อตัวเก็บประจุที่ขาทั้ง 2 ลงกราวด์

3) ส่วนการรีเซ็ต เพื่อเริ่มต้นการทำงาน โดยจะทำให้โปรแกรมเคาน์เตอร์เป็น 0000 หรือทำให้ MCS-51 ไปที่จุดเริ่มต้น เงื่อนไขการรีเซ็ต คือ ต้องให้สัญญาณลอจิก 1 ที่ขา 9 (RESET) อย่างน้อยเป็นเวลา 2 วงรอบการทำงานของคำสั่ง

4) การเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายใน จะมีการต่อ ขา  $\overline{EA}$  เข้ากับขา  $V_{cc}$  เพื่อเป็นการใช้งานกับหน่วยความจำโปรแกรมภายใน และส่วนสุดท้าย คือ ส่วนของพอร์ตอินพุต เอาต์พุต จะใช้ด้วยกันทั้งหมด 4 พอร์ต คือ พอร์ต 0 เป็นพอร์ตที่ต่อกับส่วนแสดงผล แอลอีดีเจ็ดส่วน พอร์ต 1 เป็นพอร์ตที่ต่อกับวงจรรีบบค่าจากคีย์สวิตช์ พอร์ต 2 ต่อกับวงจรเสียงเตือน พอร์ต 3 ต่ออยู่กับสวิตช์ควบคุมการทำงาน ซึ่งแต่ละพอร์ตจะมีตัวความต้านทานพูล-อัพ (Pull-UP) ต่ออยู่ระหว่างพอร์ต



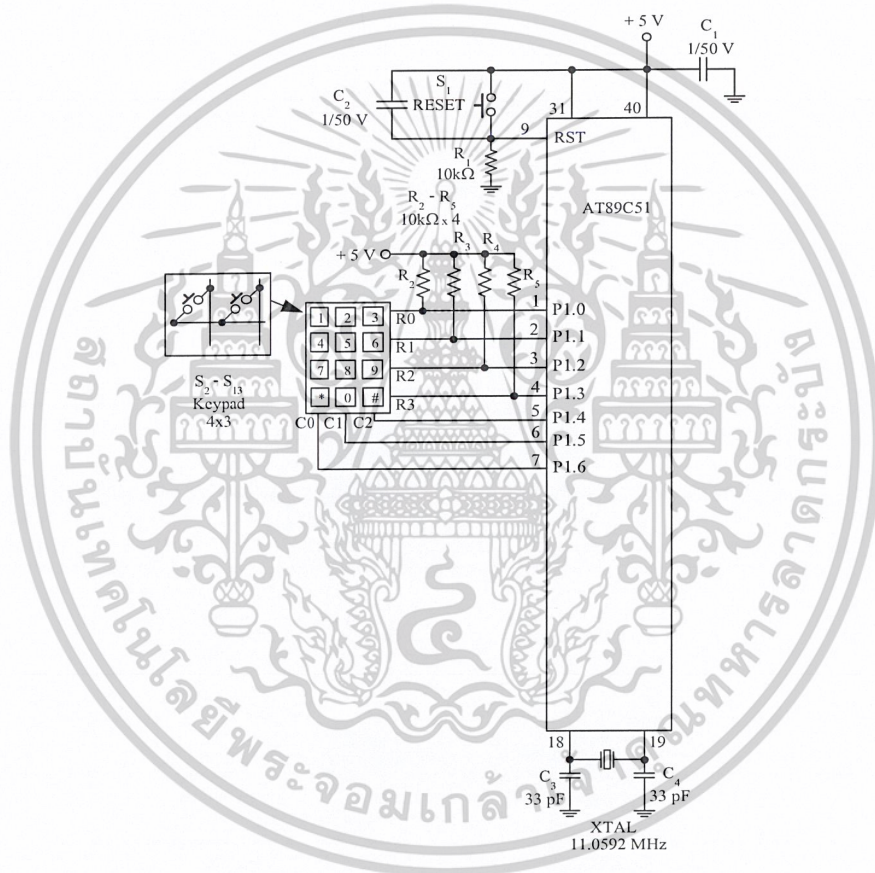
รูปที่ 3.8 วงจรประมวลผลกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.9 วงจรรับค่าคีย์สวิตช์แบบเมตริกซ์

#### 3.9.1 การออกแบบและการสร้าง

การออกแบบวงจรรับค่าคีย์สวิตช์แบบเมตริกซ์ จะใช้พอร์ต 1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อกับสวิตช์เมตริกซ์ ซึ่งมีลักษณะของสวิตช์เมตริกซ์ เป็นแบบ  $4 \times 3$  ดังนั้นจะต้องใช้สายเชื่อมต่อจากพอร์ต 1 จำนวน 7 เส้น สายโร 4 เส้น คือ R0 ถึง R3 ตั้งแต่บิตที่ 0 ถึงบิตที่ 3 โดยต่อตัวต้านทานพูลอัพไว้ด้วย และสายคอลัมน์อีก 3 เส้น คือ C0 ถึง C3 ตั้งแต่บิตที่ 4 ถึงบิตที่ 6 แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วงจรรับค่าคีย์สวิตช์แบบเมตริกซ์

#### 3.9.2 การทำงาน

วงจรรับค่าคีย์สวิตช์ทำงานได้โดยให้พอร์ต P1.0 ถึงพอร์ต P 1.3 เป็นพอร์ตเอาต์พุต และพอร์ต P1.4 ถึงพอร์ต P1.6 (คอลัมน์) เป็นพอร์ตอินพุต โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งข้อมูล “0” ไปยังแถวที่ต้องการตรวจสอบการกดทีละบิต ตั้งแต่บิต 0 ถึงบิต 3 ตามลำดับ เมื่อมีการกดคีย์ใดๆ คอลัมน์ที่มีการกดจะมีข้อมูลเป็น “0” หากไม่มีการกดคีย์ ข้อมูลของพอร์ต P1.4 ถึงพอร์ต

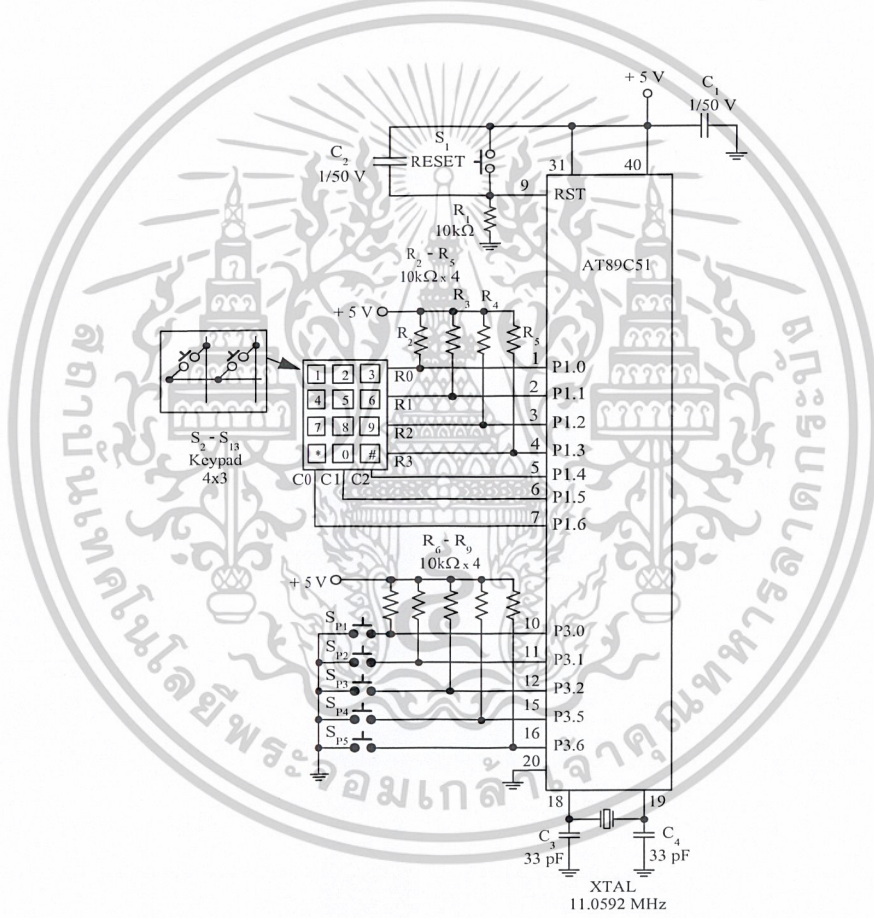
P1.6 จะเป็น “1” และจะสแกนตลอดเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.10 วงจรรับค่าคีย์สวิตช์ สวิตช์ควบคุมและตั้งเวลาการทำงาน

#### 3.10.1 การออกแบบและการสร้าง

การออกแบบสวิตช์จะมีลักษณะการต่อคล้ายกับสวิตช์เมตริกซ์ คือมีตัวต้านทานพูลอัพต่อไว้ แต่จะใช้สวิตช์ 1 ตัวต่อสายเชื่อมต่อ 1 เส้น โดยจะมีลักษณะการต่อสวิตช์ดังนี้คือ สวิตช์ P1 ต่อกับพอร์ต P3.0 สวิตช์ P2 ต่อกับพอร์ต P3.1 สวิตช์ P3 ต่อกับพอร์ต P3.2 สวิตช์ P4 (เริ่มทำงาน) ต่อกับพอร์ต P3.3 สวิตช์ P5 (หยุดการทำงาน) ต่อกับพอร์ต P3.4 และอีกข้างหนึ่งของสวิตช์ทั้ง 5 ตัวจะต่อลงกราวด์ และให้พอร์ต P3.0 - P3.4 เป็นพอร์ตอินพุต วงจรสวิตช์แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 วงจรรับค่าคีย์สวิตช์ สวิตช์ควบคุมและตั้งเวลาการทำงาน

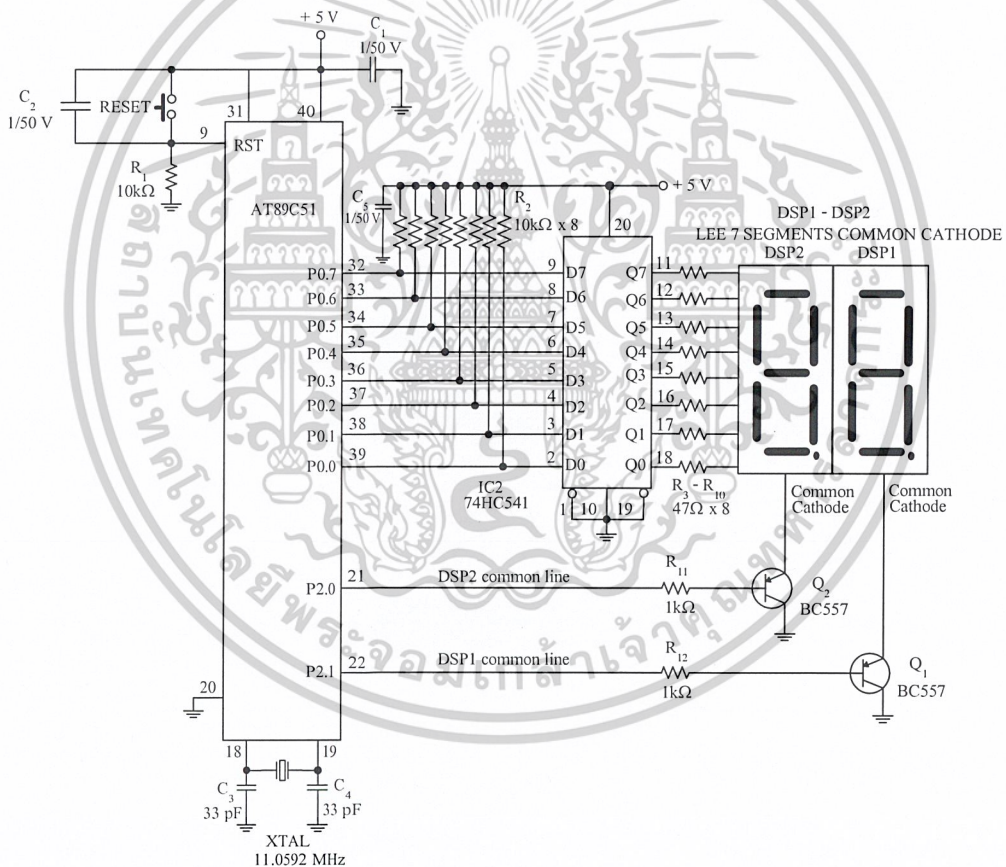
#### 3.10.2 การทำงาน

จากวงจรจะเห็นว่าถ้าไม่มีการกดสวิตช์สถานะของข้อมูลแต่ละบิตจะเป็นลอจิก “1” ดังนั้น การเขียนโปรแกรมจะใช้การเช็ค ลอจิก “0” ของแต่ละบิต โดยหากมีการกดสวิตช์ตัวใด สถานะลอจิกของบิตนั้นที่อ่านได้จะเป็นลอจิก “0” เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.11 วงจรแสดงผลแบบตัวเลข 7 ส่วน

#### 3.11.1 การออกแบบและการสร้าง

การออกแบบวงจรแสดงผลแบบตัวเลข 7 ส่วน จะใช้พอร์ต 0 เป็นค่าต่ำให้กับส่วนแสดงผล 7 ส่วน โดยมีตัวต้านทานพูลอัพต่ออยู่ 2 ตัว คือ ตั้งแต่พอร์ต P0.0 ถึง พอร์ต P0.7 และมีไอซีเบอร์ 74HC547 เป็นบัฟเฟอร์ โดยใช้ส่วนแสดงผล 7 ส่วนเป็นตัวเลข 2 หลักใช้คอมมอนแคโทด และมีทรานซิสเตอร์เบอร์ BC557 ต่อกับคอมมอนของส่วนแสดงผล 7 ส่วน 2 ตัว คือ DSP1 และ DSP2 โดยสัญญาณที่นำมาที่ใช้เลือกหลักของส่วนแสดงผล 7 ส่วน ได้มาจากพอร์ต P1.2 (DSP1) และพอร์ต P1.3 (DSP2) วงจรแสดงผลแบบตัวเลข 7 ส่วนแสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 วงจรแสดงผลแบบตัวเลข 7 ส่วน

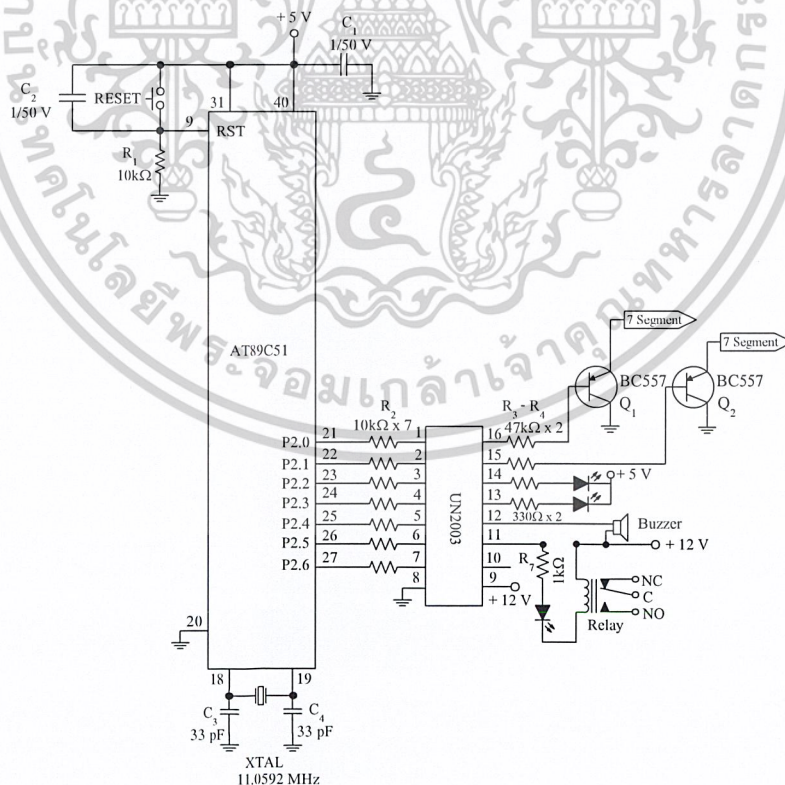
#### 3.11.2 การทำงาน

การทำงานของวงจรแสดงผลแบบตัวเลข 7 ส่วน จะใช้การส่งข้อมูลแบบมัลติเพล็กซ์ ซึ่งมีสายข้อมูล ชุดเดียวกัน โดยข้อมูลที่ส่งออกมายังหลักและสัญญาณในการเลือกจะต้องสัมพันธ์กันที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานี้เอง เมื่อคุณเห็นได้เห็นไปใช้จะเขียนต้นฉบับการคำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละหลัก แต่ช่วงเวลาที่ส่งข้อมูลทั้ง 2 หลักเร็วมากจึงทำให้เราเห็นว่าส่วนแสดงผล 7 ส่วนทั้ง 2 หลักติดพร้อมกัน ส่วนข้อมูลที่ส่งออกมาทางพอร์ต 0 ได้มาจากการถอดรหัสเพื่อให้ได้ตัวเลขหรือตัวอักษร และขาที่ออกมาจากพอร์ต P1.2 (DSP1) และพอร์ต P1.3 (DSP2) จะต้องส่งลอจิก “0” เพื่อต้องการเลือกส่วนแสดงผล 7 ส่วนในหลักที่ต้องการ

### 3.12 วงจรควบคุมการทำงานของวงจรถ้าเนคความถี่

วงจรถควบคุมการทำงานของวงจรถ้าเนคความถี่ จะใช้รีเลย์เป็นตัวตัดต่อไฟเลี้ยงที่ภาคถ้าเนคความถี่และภาควงจรถ้าเนค โดยจะใช้ไอซี เบอร์ ULN2003 เป็นตัวขับกระแสให้รีเลย์ทำงาน โดยควบคุมการทำงานทางพอร์ต P2.5 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสัญญาณอินพุตจะถูกป้อนเข้ามาที่ขา 6 ของ ไอซีเบอร์ ULN2003 และผ่านการขับออกมาขาที่ 11 เมื่อมีลอจิก “1” ป้อนเข้ามาที่ขา 6 ของ ไอซี ULN2003 จะทำให้รีเลย์ทำงานทำให้มีไฟเลี้ยงจ่ายให้กับวงจรถ้าเนคความถี่และวงจรถ้าเนค ในทางกลับกันถ้าที่ลอจิก “0” ป้อนเข้ามาจะทำให้รีเลย์หยุดทำงาน ทำให้ไม่มีไฟเลี้ยงจ่ายให้กับวงจรถ้าเนคความถี่และวงจรถ้าเนค



รูปที่ 3.12 วงจรถควบคุมการทำงานของวงจรถ้าเนคความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.13 วงจรจับเสียงผ่านทางลำโพง

การทำงานของวงจรจับเสียงผ่านทางลำโพง จะใช้ไอซี เบอร์ ULN2003 เป็นตัวขับและใช้ลำโพงแบบเปียโซเป็นตัวกำเนิดเสียง และควบคุมการทำงานทางพอร์ต P2.4 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสัญญาณอินพุตจะถูกป้อนเข้ามาที่ขา 5 ของไอซี เบอร์ ULN2003 และผ่านการขับออกมาขา 12 เมื่อมีลอจิก “1” ป้อนเข้ามาที่ขา 5 ของไอซี เบอร์ ULN2003 จะทำให้ลำโพงเปียโซจะจับเสียงออกมา แต่อย่างไรก็ตามลำโพงนั้นจะมีความถี่เรโซแนนซ์อยู่ในช่วง 1 ถึง 3 กิโลเฮิรตซ์ จะทำให้เกิดความดังสูงสุดที่ความถี่นั้นๆ



รูปที่ 3.13 วงจรจับเสียงผ่านทางลำโพง

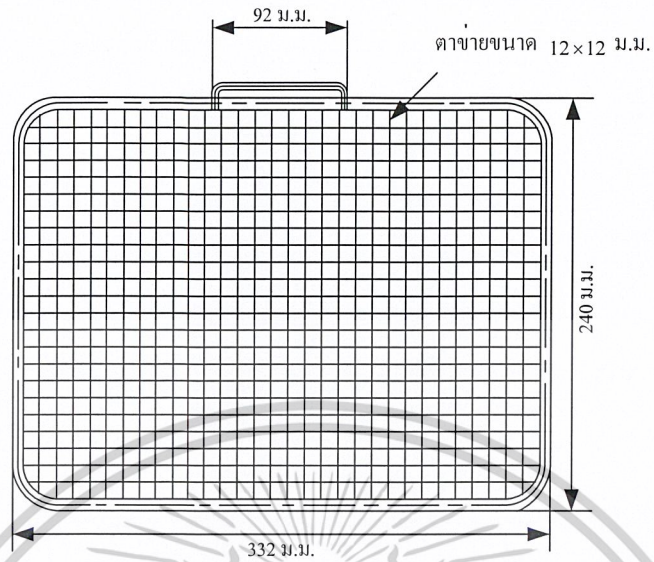
### 3.14 การออกแบบตะแกรง

#### 3.14.1 การออกแบบและการสร้าง

ในการออกแบบตะแกรงทำจากสแตนเลส จัดทำเป็นตาข่าย ขนาด 12 × 12 มิลลิเมตร เชื่อมติดกับโครงที่เป็นสแตนเลส ตะแกรงนี้ใช้สำหรับใส่ชิ้นงานที่จะทำความสะอาดก่อนที่จะนำไปใส่

ในถังทำความสะอาด ลักษณะของตะแกรงแสดงดังรูปที่ 3.14 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

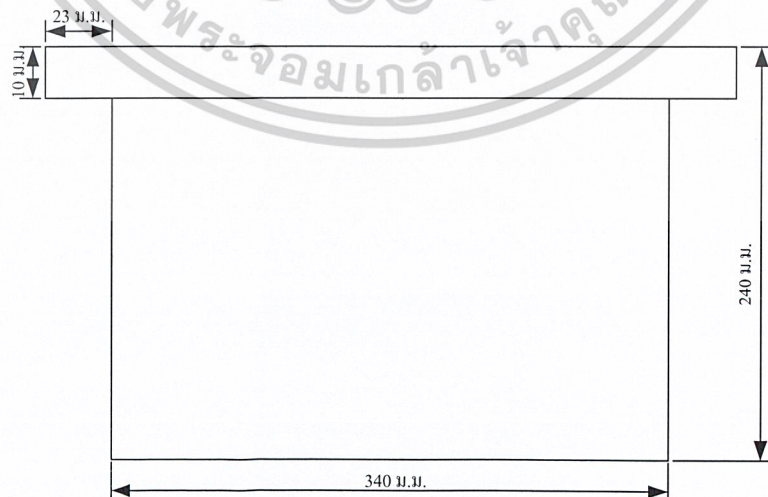


รูปที่ 3.14 ตะแกรง

### 3.15 การออกแบบถังทำความสะอาด

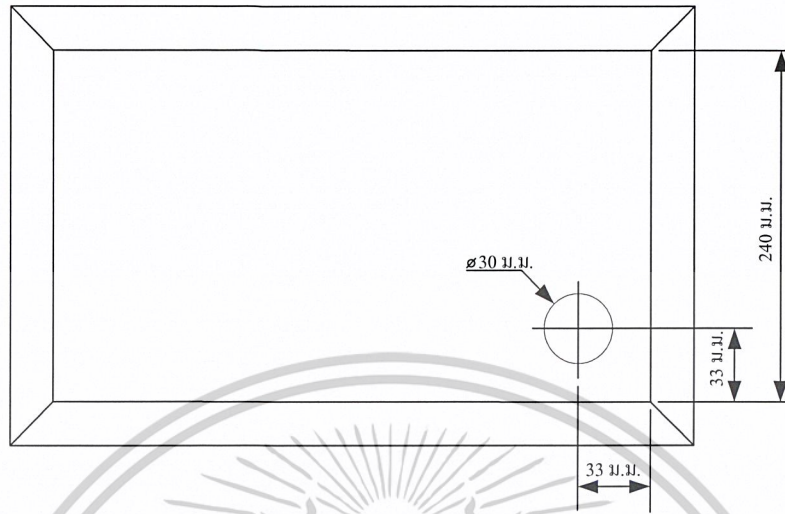
#### 3.15.1 การออกแบบและการสร้าง

ในการออกแบบถังทำความสะอาดทำจากสแตนเลสหนา 1.5 มิลลิเมตร ด้านล่างจะมีทรานสดิวเซอร์และท่อระบายของเสียติดอยู่ ใช้สำหรับล้างชิ้นงานที่อยู่ในตะแกรง ลักษณะถังทำความสะอาดดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ถังทำความสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

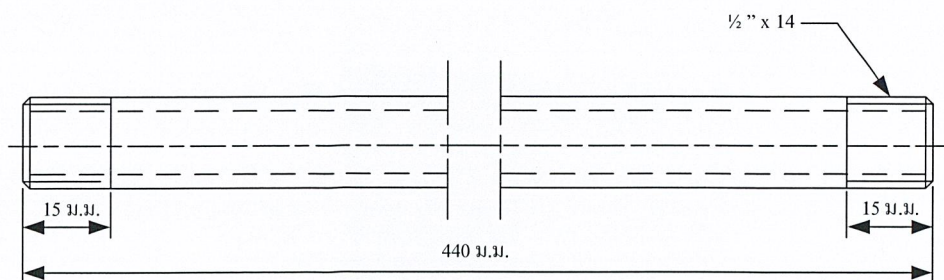


รูปที่ 3.15 (ต่อ) ถังทำความสะอาด

### 3.16 การออกแบบโครงสร้างเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่น อุลตราโซนิค

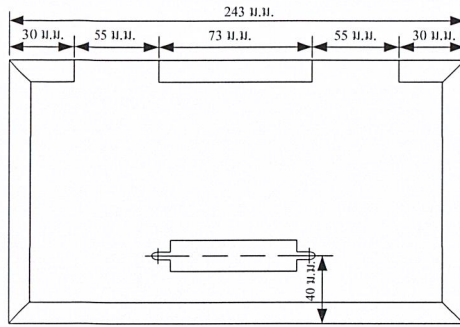
#### 3.16.1 การออกแบบและการสร้าง

โครงสร้างของเครื่องจะเป็นโครงเหล็ก ใช้สำหรับรองรับตะแกรงและถังทำความสะอาด มีท่อระบายของเสียอยู่ด้านใน มีประตูเปิด ปิดทางด้านบนและด้านข้าง ไว้สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ไว้ภายในตรวจเช็คอุปกรณ์ หรือสำหรับทำความสะอาด รูปโครงสร้างของเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิคแต่ละส่วนแสดงดังรูปที่ 3.16 เป็นท่อที่ใช้สำหรับระบายของเสียหลังจากทำความสะอาดเสร็จแล้ว รูปที่ 3.17 เป็นประตูเปิด ปิดของเครื่อง และรูปที่ 3.18 เป็นโครงสร้างหลักของเครื่อง

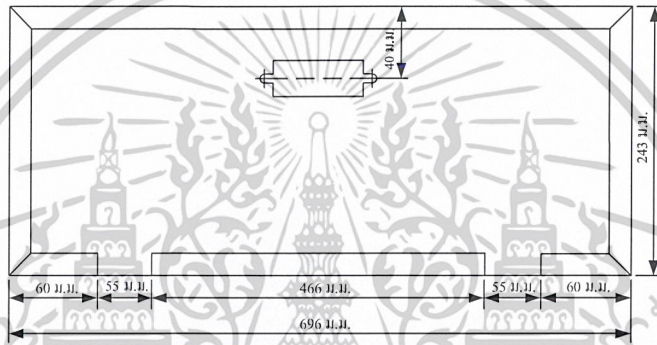


รูปที่ 3.16 ท่อระบายของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

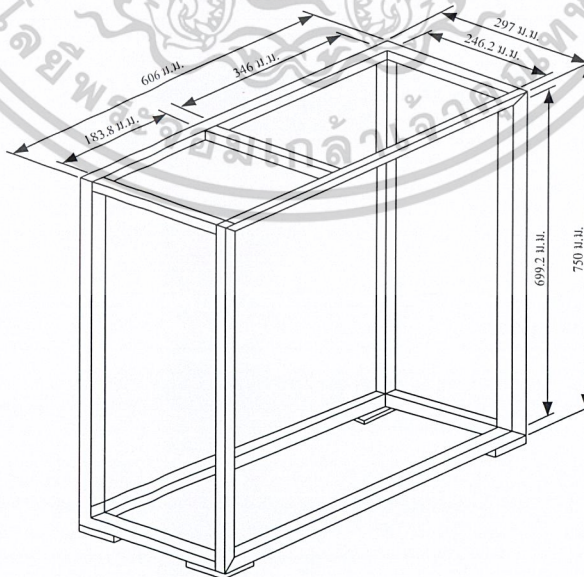


(ก) ประตูเปิด ปิด ด้านบนของเครื่อง



(ข) ประตูเปิด ปิด ด้านข้างของเครื่อง

รูปที่ 3.17 ประตูเปิด ปิดของเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค



รูปที่ 3.18 โครงสร้างเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 กล่าวนำ

ปริญญานิพนธ์บทนี้กล่าวถึงการทดลองและผลการทดลอง โดยจะกล่าวถึงการทดลองของ วงจรภาคจ่ายไฟ วงจรกำเนิดความถี่ วงจรขับเกต วงจรขยายกำลัง และชุดโปรแกรมควบคุม

#### 4.2 วงจรภาคจ่ายไฟ

##### 4.2.1 การทดลอง

การทดลองนี้ทำโดยนำวงจรที่ออกแบบมาต่อกับแรงดันไฟ 220 โวลต์ 50 Hz ซึ่งวงจรที่ออกแบบมานั้นมี 4 ส่วน คือ วงจรภาคจ่ายไฟที่จะจ่ายให้กับวงจรกำเนิดความถี่ วงจรขับเกต วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรขยายกำลัง

##### 4.2.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองวัดแรงดันเอาต์พุตได้ดังนี้ คือ 15 โวลต์ สำหรับวงจรกำเนิดความถี่และวงจรขับเกต 12 โวลต์ สำหรับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และ 195 โวลต์ สำหรับวงจรขยายกำลัง ซึ่งตรงกับความต้องการที่จะใช้งาน

#### 4.3 วงจรกำเนิดความถี่

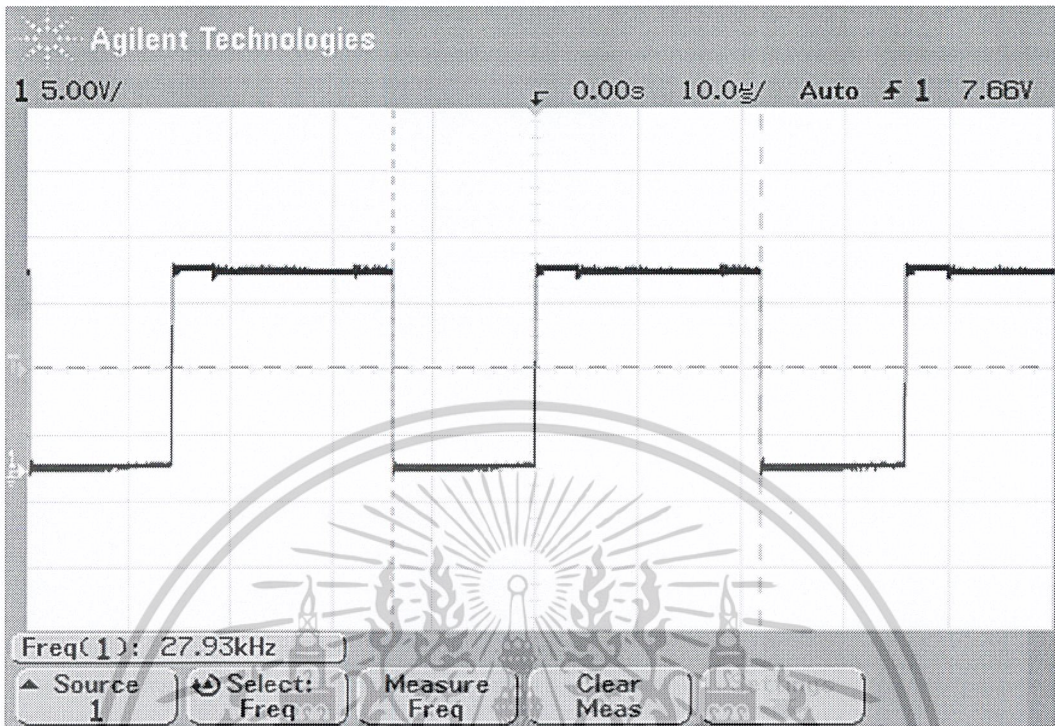
##### 4.3.1 การทดลอง

วงจรภาคกำเนิดความถี่ ทดลองโดยนำวงจรที่ออกแบบและป้อนแหล่งจ่ายแรงดันจากภาคจ่ายไฟให้ 15 โวลต์ ทำการวัดเอาต์พุตที่ได้จากขา 8 และขา 11 ของ IC TL494 โดยจะใช้ ออสซิลโลสโคปวัดและปรับให้ได้ความถี่ที่ 28 kHz โดยการปรับ VR 10 k

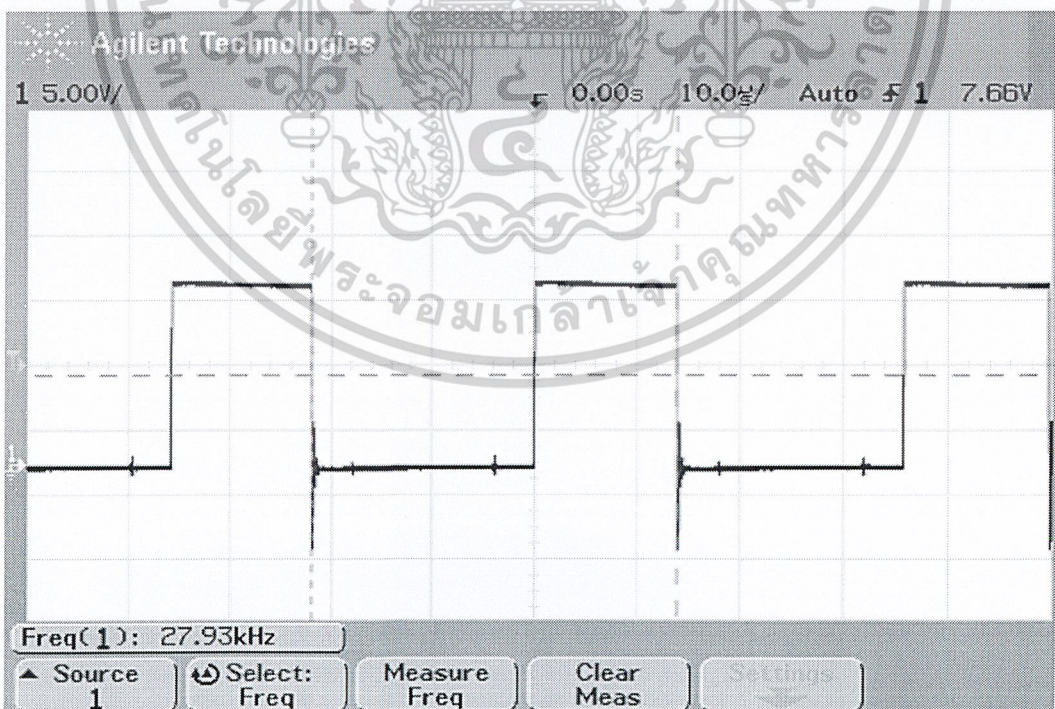
##### 4.3.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1 เป็นสัญญาณเอาต์พุต 1 ซึ่งมีความถี่ขนาด 28 กิโลเฮิร์ตซ์ จากวงจรกำเนิดความถี่ที่ใช้ไอซี TL 494 ที่ 5 Volt/DIV, 10 $\mu$ Sec/DIV และรูปที่ 4.2 เป็นสัญญาณเอาต์พุต 2 ซึ่งมีความถี่ขนาด 28 กิโลเฮิร์ตซ์ จากวงจรกำเนิดความถี่ที่ใช้ไอซี TL 494 ที่ 5 Volt/DIV, 10 $\mu$ Sec/DIV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 สัญญาณเอาต์พุต จากวงจรกำเนิดความถี่ 28 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่ออกจากไอซี TL 494



รูปที่ 4.2 สัญญาณเอาต์พุต จากวงจรกำเนิดความถี่ 28 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่ออกจากไอซี CD4049

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

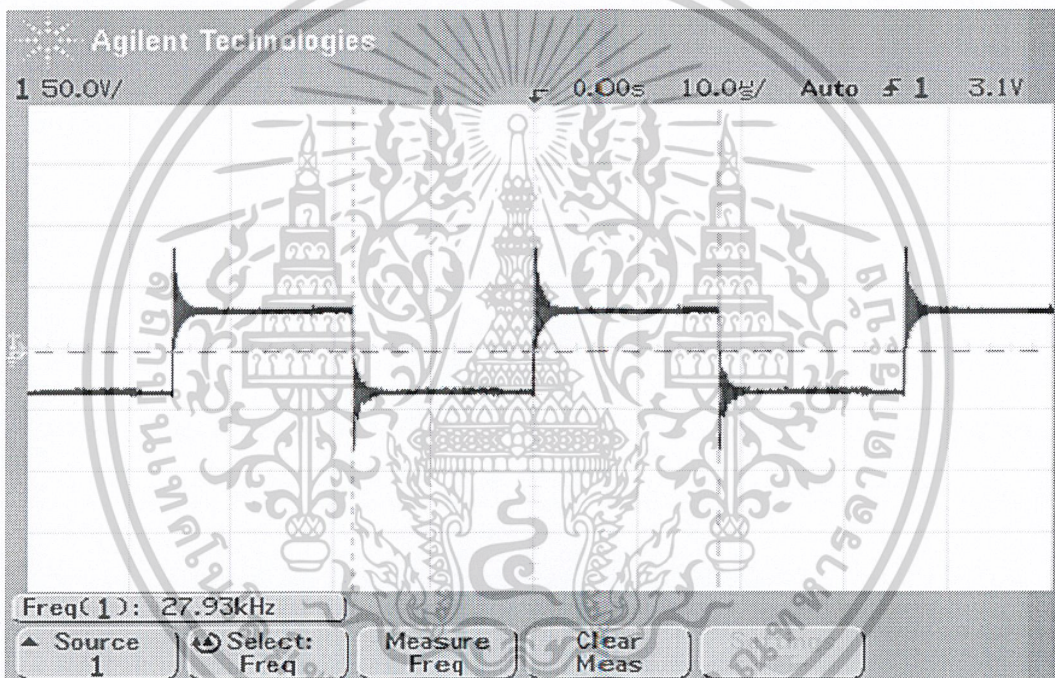
## 4.4 วงจรขับเคลื่อน

### 4.4.1 การทดลอง

ทำการทดลองโดยจ่ายแรงดันไฟฟ้า 15 โวลต์ให้กับวงจรและทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 7 เทียบกับขา 5 และขา 1 เทียบกับขา 2 ของ IC IR2113

### 4.4.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองแสดง ดังรูปที่ 4.3 เป็นสัญญาณเอาต์พุต 1 ซึ่งมีความถี่ขนาด 28 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่ออกจาก วงจรขับเคลื่อน ที่ 50 Volt/DIV , 10 $\mu$ Sec/DIV



รูปที่ 4.3 สัญญาณเอาต์พุต จากวงจรขับเคลื่อน 28 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่ออกจากไอซี IR2113

## 4.5 วงจรขยายกำลัง

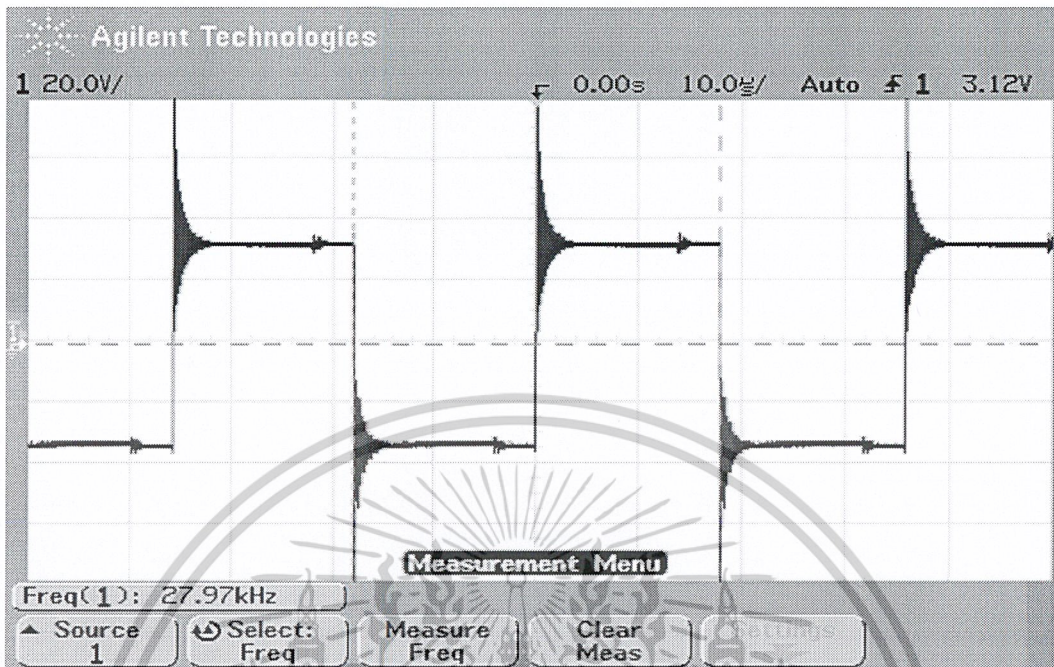
### 4.5.1 การทดลอง

ทำการป้อนสัญญาณจากวงจรภาคขับเคลื่อนให้กับมอสเฟตแต่ละตัวและทำการป้อนแหล่งจ่ายแรงดัน 195 โวลต์ ให้กับวงจรขยายกำลัง

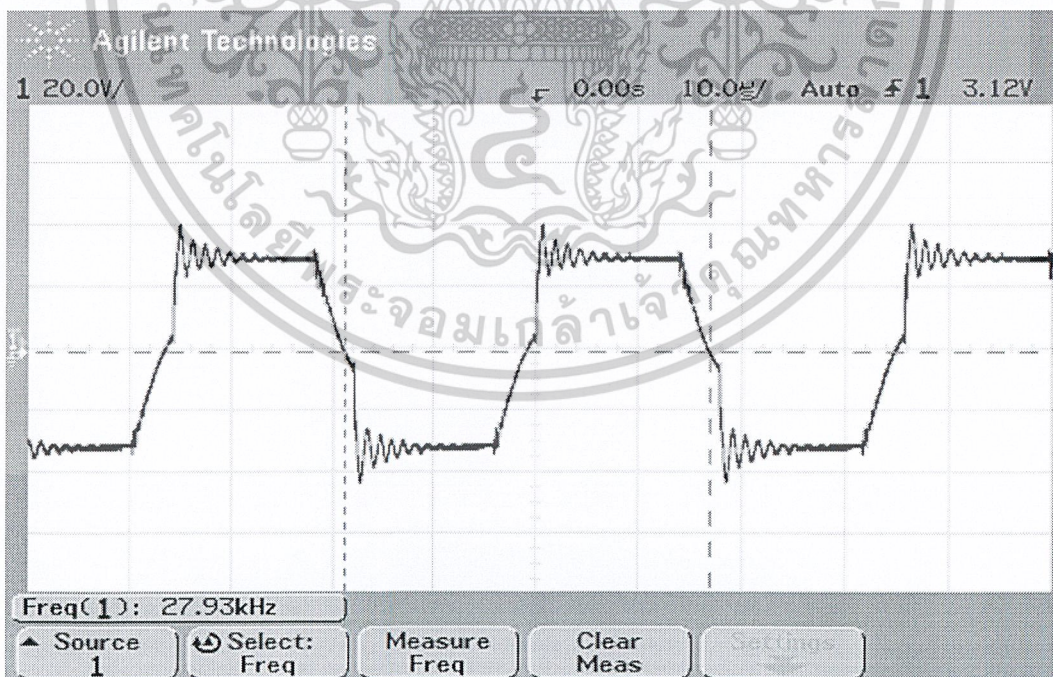
### 4.5.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 เป็นสัญญาณที่ใช้ขับอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ ขณะไม่มีโหลดและภาวะมีโหลด ที่ 20 Volt/DIV , 10 $\mu$ Sec/DIV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 สัญญาณที่ใช้ขับอุตตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ ขณะไม่มีโหลด



รูปที่ 4.5 สัญญาณที่ใช้ขับอุตตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ ขณะภาวะมีโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.6 การทดลองการทำงานของเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค

### 4.6.1 การทดลอง

ทำการทดลองทำความสะอาดชิ้นงานที่มีลักษณะการสกปรกน้อย สกปรกปานกลาง และสกปรกมาก โดยทำการทดลองประเภทละ 10 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยในการทำความสะอาดทั้งหมดว่าแต่ละประเภทต้องใช้เวลาประมาณเท่าไร

### 4.6.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองทำความสะอาดหาค่าเวลาของแต่ละปั๊ม ดังตารางที่ 4.1 ถึง ตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองทำความสะอาดหาค่าเวลาของปั๊มสกปรกน้อย

ครั้งที่ทดลอง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เวลา (นาที)	28	30	32	25	30	27	29	31	34	28

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองทำความสะอาดหาค่าเวลาของปั๊มสกปรกปานกลาง

ครั้งที่ทดลอง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เวลา (นาที)	43	44	49	38	38	45	47	39	39	42

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองทำความสะอาดหาค่าเวลาของปั๊มสกปรกมาก

ครั้งที่ทดลอง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เวลา (นาที)	68	72	75	71	65	69	73	72	66	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.6.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทำความสะอาดชิ้นงานที่สกปรกน้อย สกปรกปานกลาง และสกปรกมาก อย่างละ 10 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ทำความสะอาดชิ้นงาน

ชิ้นงานที่สกปรกน้อยเวลาที่ใช้ ทั้งหมด 294 นาที เพราะฉะนั้น ปุ่มสกปรกน้อยจะตั้งเวลาในการทำความสะอาดไว้ 30 นาที

ชิ้นงานที่สกปรกปานกลางเวลาที่ใช้ ทั้งหมด 424 นาที เพราะฉะนั้น ปุ่มสกปรกปานกลาง จะตั้งเวลาในการทำความสะอาดไว้ 45 นาที

ชิ้นงานที่สกปรกมากเวลาที่ใช้ทั้งหมด 699 นาที เพราะฉะนั้น ปุ่มสกปรกมากจะตั้งเวลาในการทำความสะอาดไว้ 70 นาที

## 4.7 การทดลองการทำความสะอาดของชิ้นงาน

### 4.7.1 การทดลอง

ทำการทดลองทำความสะอาดชิ้นงาน สังเกตการเปลี่ยนแปลงของน้ำก่อนเครื่องทำงานและหลังเครื่องทำงานเสร็จ และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของชิ้นงานก่อนทำความสะอาดและหลังทำความสะอาด

### 4.7.2 ผลการทดลอง

จากการทดลองสรุปได้ดังตาราง ที่ 4.4

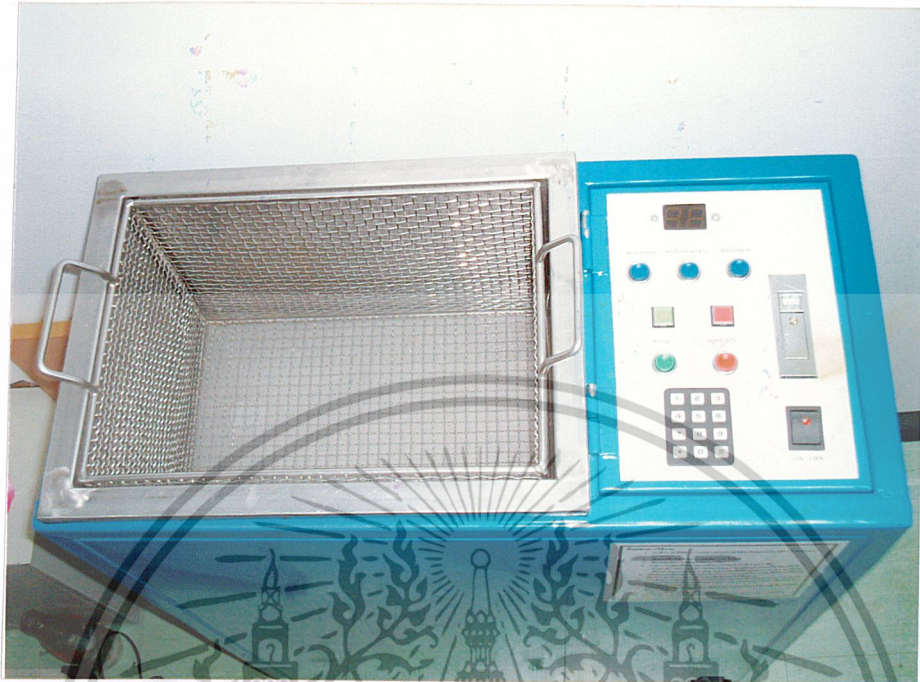
ตารางที่ 4.4 การทดลองการทำความสะอาดของชิ้นงาน

เวลาที่ผ่านไป (นาที)	ความเปลี่ยนแปลงของน้ำ	ความเปลี่ยนแปลงของชิ้นงาน
5	น้ำเริ่มขุ่น	คราบสกปรกเริ่มออก
10	น้ำขุ่นขึ้น	คราบสกปรกภายนอกออกมากขึ้น
30	น้ำเริ่มเป็นสีดำ	คราบสกปรกจะออกเกือบหมด
45	น้ำจะออกเป็นสีดำ	ชิ้นงานสะอาด

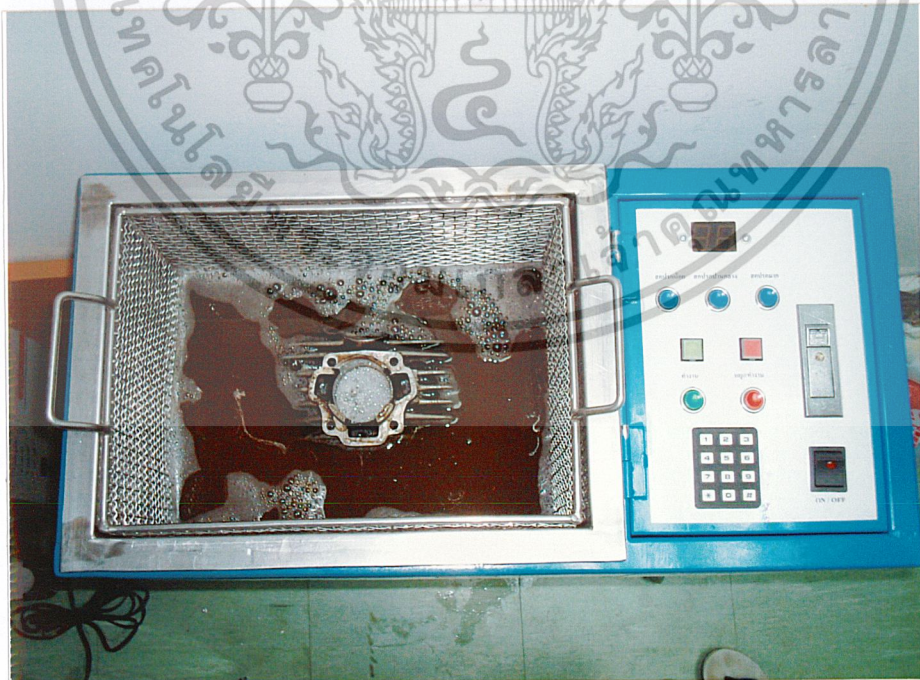
### 4.7.3 สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองทำความสะอาดชิ้นงาน ก่อนและหลังทำความสะอาด แสดงดังรูปที่ 4.6 ถึงรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

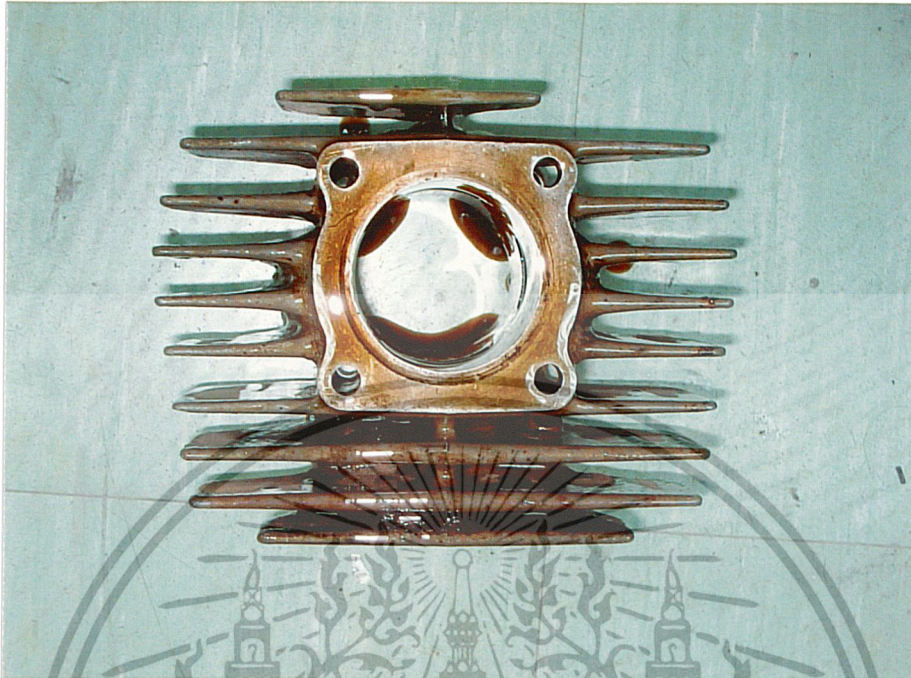


รูปที่ 4.6 ภาพน้ำก่อนทำความสะอาด

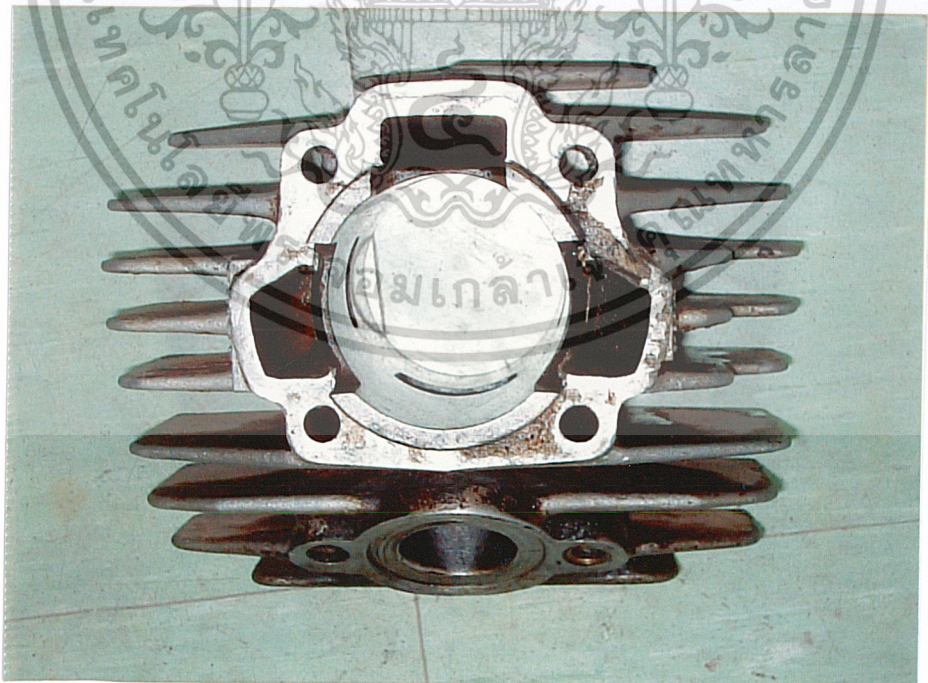


รูปที่ 4.7 ภาพน้ำหลังทำความสะอาดเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ภาพชิ้นงานก่อนทำความสะอาด



รูปที่ 4.9 ภาพชิ้นงานหลังทำความสะอาดเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5

## บทสรุป

### 5.1 สรุป

เครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค การทำงานแบ่งได้ 2 ส่วนใหญ่ๆ คือส่วนที่หนึ่งเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนที่สองเป็นส่วนควบคุมการทำงานของเครื่อง โดยจะควบคุมด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งในส่วนต่างๆ นั้นมีการทำงานและขั้นตอนการปฏิบัติงานที่แตกต่างกันไป เครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิคมีขีดความสามารถในการเลือกตั้ง โปรแกรมในการทำความสะอาดได้เอง ตั้งแต่ 0 ถึง 99 นาที มีการแสดงสถานะขณะเครื่องทำงาน หยุดทำงาน และมีเสียงเตือนเมื่อเครื่องทำงานครบตามเวลาที่ตั้งไว้ จึงทำให้การออกแบบนั้นต้องดำเนินการออกแบบให้พิถีพิถัน โดยการออกแบบนั้นจะต้องคำนึงถึงความสะดวกในการใช้งานและตั้งค่า อีกทั้งการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานจะต้องควบคุมการทำงานทั้งหมดให้สมบูรณ์ โดยขั้นตอนการออกแบบและสร้างนั้นต้องควบคู่กับการปฏิบัติไปด้วย แต่เนื่องจากการออกแบบนั้นบางครั้งอาจจะมีปัญหาในการทำงานของระบบ ดังนั้นต้องมีการแก้ไขและปรับปรุงควบคุมกันไปด้วย เพื่อให้สามารถดำเนินการสร้างง่ายและเพื่อให้โครงงานสะดวกต่อการใช้งาน เหมาะใช้งานได้ทั่วไปตามร้านซ่อมรถหรือผู้สนใจทั่วไปสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำความสะอาดอุปกรณ์ต่างๆ ได้

### 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

จากการดำเนินการสร้างและทดสอบโครงงานพบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นหลายประการ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. ปัญหา การออกแบบวงจรจับเกต ต้องใช้อุปกรณ์ในการสร้างหลายตัวและอุปกรณ์บางตัวต้องสั่งทำขึ้น โดยเฉพาะ หม้อแปลง อัตราส่วน 1 ต่อ 1 ซึ่งมีราคาแพงและเสถียรภาพของวงจรไม่ดีเท่าที่ควร

แนวทางการแก้ไข ออกแบบวงจรจับเกตใหม่ โดยเปลี่ยนจากการใช้หม้อแปลง อัตราส่วน 1 ต่อ 1 มาใช้ ไอซี เบอร์ IR 2113 แทน ซึ่งไอซี 1 ตัว สามารถควบคุมการทำงานของมอสเฟตได้ 2 ตัว

2. ปัญหา การออกแบบวงจรภาคจ่ายไฟที่จ่ายให้กับวงจรภาคขยายกำลังมีแรงดันน้อยเกินไป จึงทำให้กำลังขับของวงจรภาคขยายกำลังมีกำลังน้อยตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**แนวทางแก้ไข** เปลี่ยนวงจรใหม่จากวงจรภาคจ่ายไฟเดิม เป็นวงจรทวิแรงดันแทนจึงทำให้กำลังที่ใช้ขั้วเพิ่มขึ้น

**3. ปัญหา** สัญญาณเอาต์พุตของวงจรภาคขยายกำลังแบบฮาฟบริดจ์ มีส่วนประกอบของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงออกมาซึ่งอาจทำให้ตัวอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์เสียหายได้

**แนวทางแก้ไข** ออกแบบวงจรภาคขยายกำลังใหม่ โดยใช้วงจรขยายกำลังแบบฟลูบริดจ์แทน

**4. ปัญหา** การปรับค่า  $R_f$  ในวงจรผลิตความถี่ โดยปกติใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ แบบเก็อกมัว ทำให้ความถี่ที่ได้จากการปรับค่า  $R_f$  มีความคลาดเคลื่อนและไม่คงที่ตลอดเวลา

**แนวทางแก้ไข** ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ แบบทิมพอร์ ต่อเข้ากับวงจร ทำให้ความถี่มีความคลาดเคลื่อนน้อยลงและได้ค่าคงที่มากขึ้น

### 5.3 แนวทางการพัฒนา

1. ในการทำความสะอาดเมื่อเสร็จแล้วต้องยกตะแกรงขึ้น จึงควรพัฒนาให้สามารถยกตะแกรงขึ้นเอง เมื่อหมดเวลาในการทำความสะอาด
2. ควรพัฒนาให้สามารถใช้แหล่งจ่ายชุดเดิมแต่ใช้กับทรานสดิวเซอร์ที่รีโซแนนซ์กับความถี่อื่นได้โดยสามารถเลือกความถี่ได้ มีถังล้างหลายใบ โดยมีตัวถังหลักตัวเดียว
3. ในการทำความสะอาดเมื่อเสร็จแล้วต้องทำการระบายของเสียเอง จึงควรพัฒนาให้สามารถระบายของเสียได้เอง เมื่อทำความสะอาดเสร็จเรียบร้อยแล้ว
4. ควรพัฒนาให้มีระบบกรองน้ำเสียก่อนนำไปทิ้ง

## บรรณานุกรม

- โกเศศ อินทร์เหี้ยว และคณะ. “เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิค.” ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2539
- จักรพันธ์ ศิริจันทร์บุตร์ และคณะ. “เครื่องเพิ่มและแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ.” ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2542
- สมคิด วิริยประสิทธิ์ชัย, สมบูรณ์ มาลานนท์. “แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซิ่ง” ฟิสิกเซ็นเตอร์. 2542



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก  
เครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 ภาพด้านหน้าของเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค

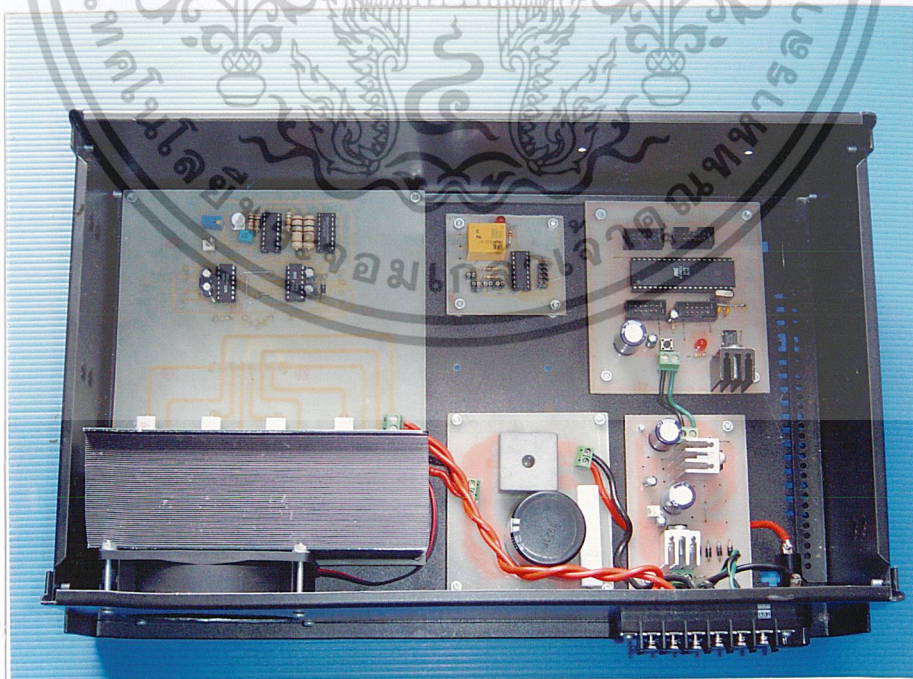


รูปที่ ก.2 ภาพด้านข้างของเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

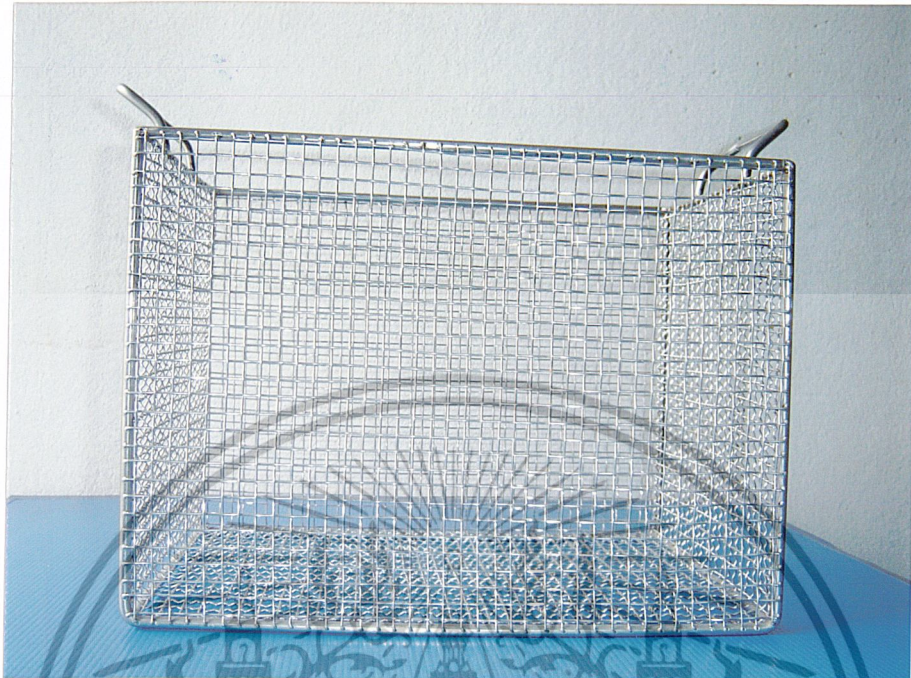


รูปที่ ก.3 ภาพด้านบนของเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค



รูปที่ ก.4 ภาพวงจรภายในกล่องควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

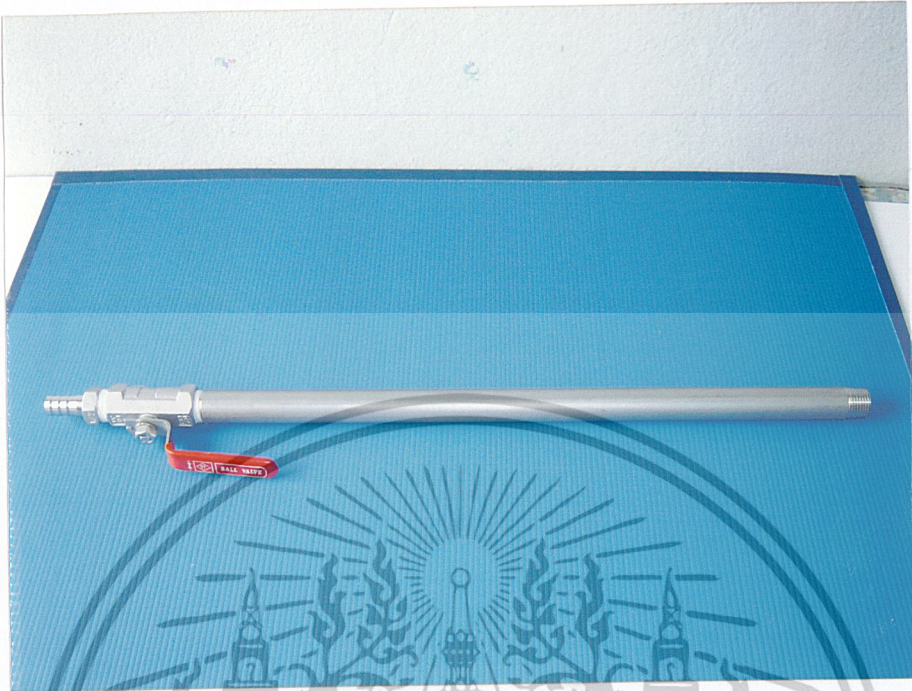


รูปที่ ก.5 ภาพตะแกรง



รูปที่ ก.6 ภาพถังทำความสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



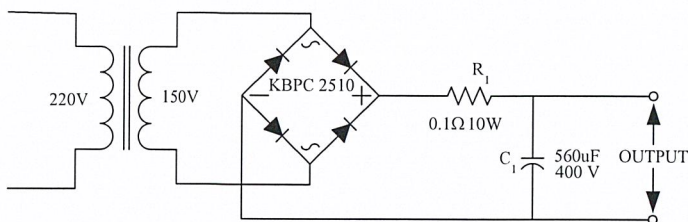
รูปที่ ก.7 ภาพที่อธิบายของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

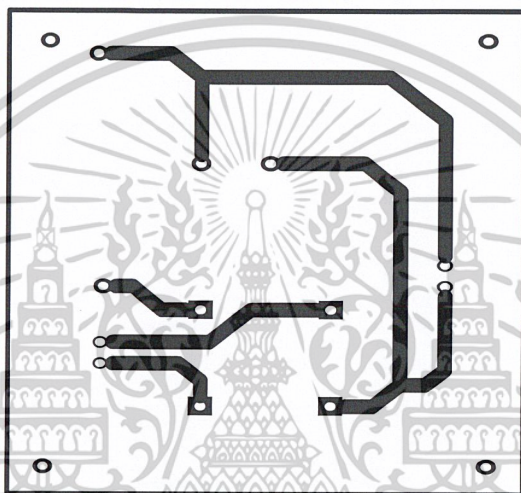


ภาคผนวก ข  
วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

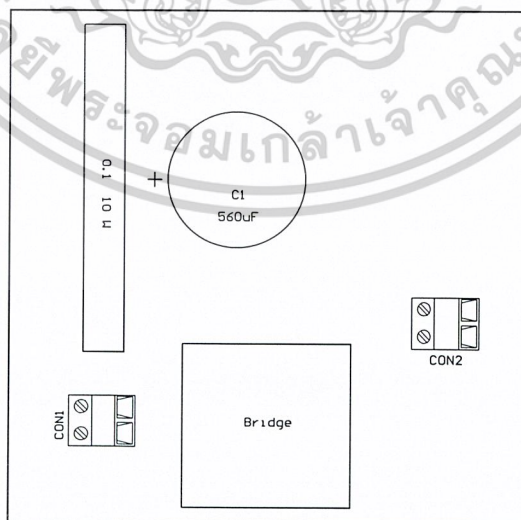
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 วงจรภาคจ่ายไฟของวงจรขยายกำลัง



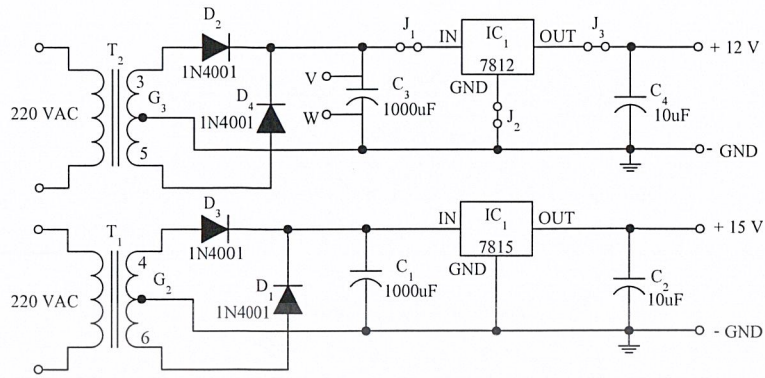
รูปที่ ข.2 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรภาคจ่ายไฟของวงจรขยายกำลัง



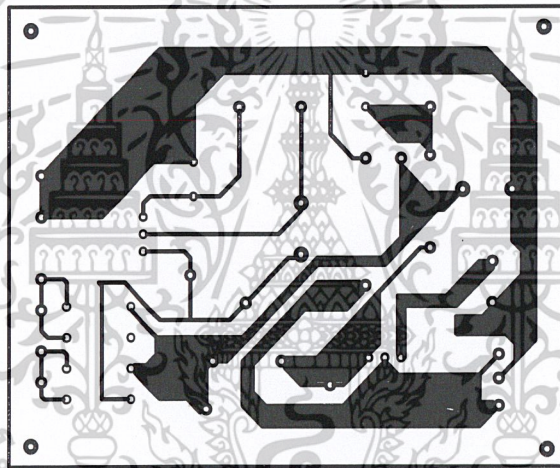
รูปที่ ข.3 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์วงจรภาคจ่ายไฟของวงจรขยายกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

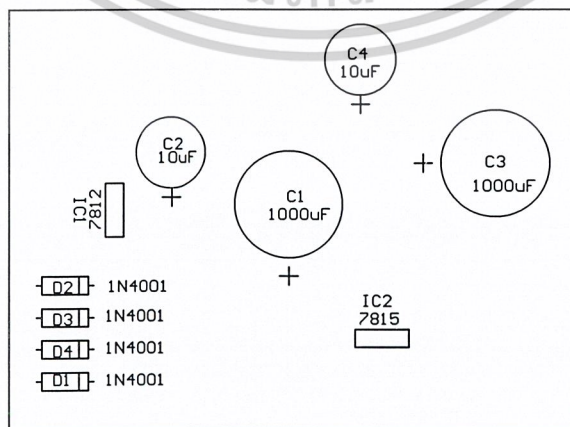
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.4 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันคงที่ 12 โวลต์ และ 15 โวลต์



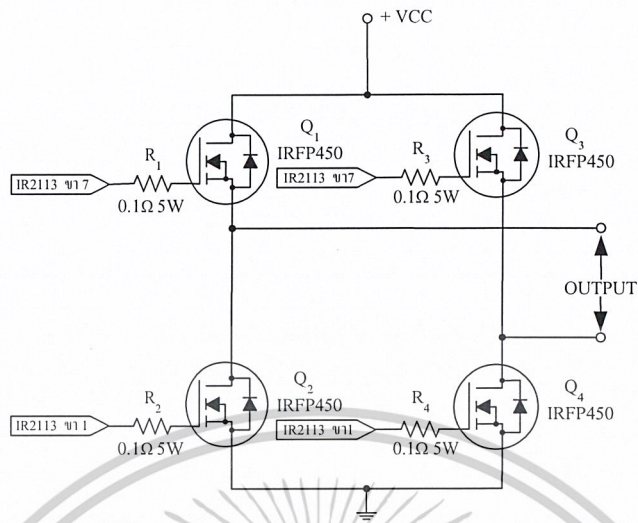
รูปที่ ข.5 แผ่นวงจรพิมพ์แหล่งจ่ายแรงดันคงที่ 12 โวลต์ และ 15 โวลต์



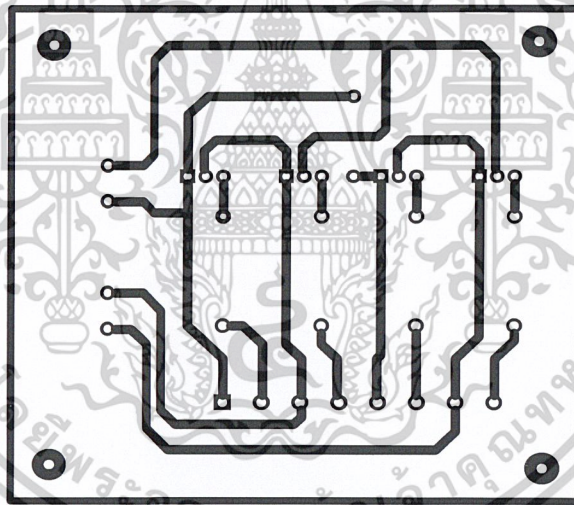
รูปที่ ข.6 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์แหล่งจ่ายแรงดันคงที่ 12 โวลต์ และ 15 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

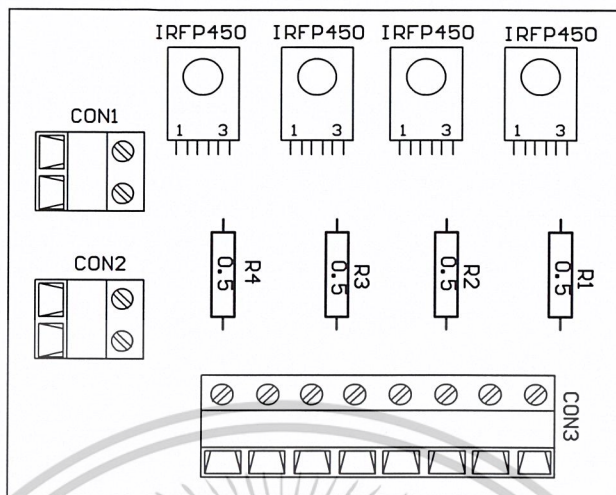


รูปที่ ข.7 วงจรขยายกำลัง

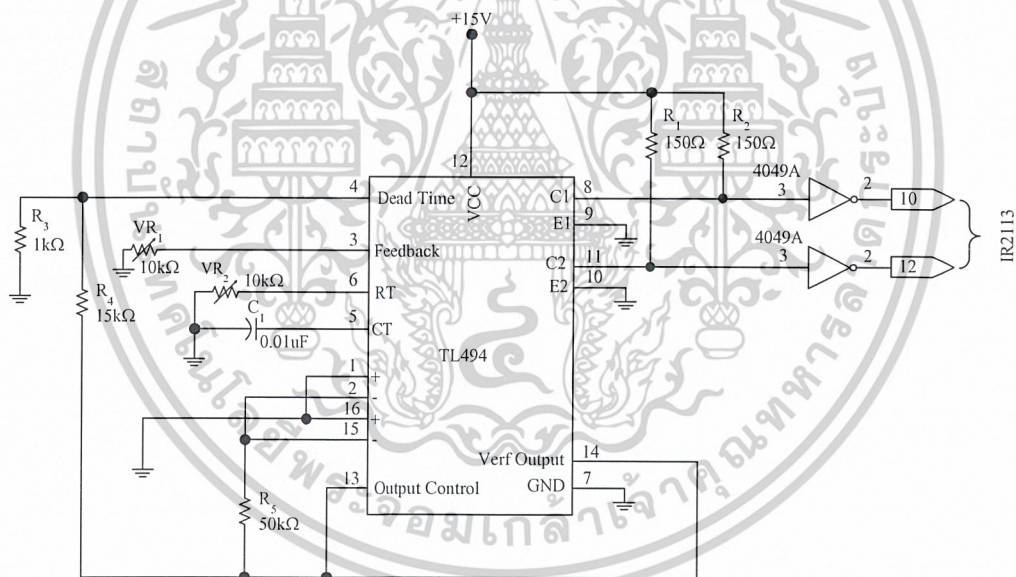


รูปที่ ข.8 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรขยายกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

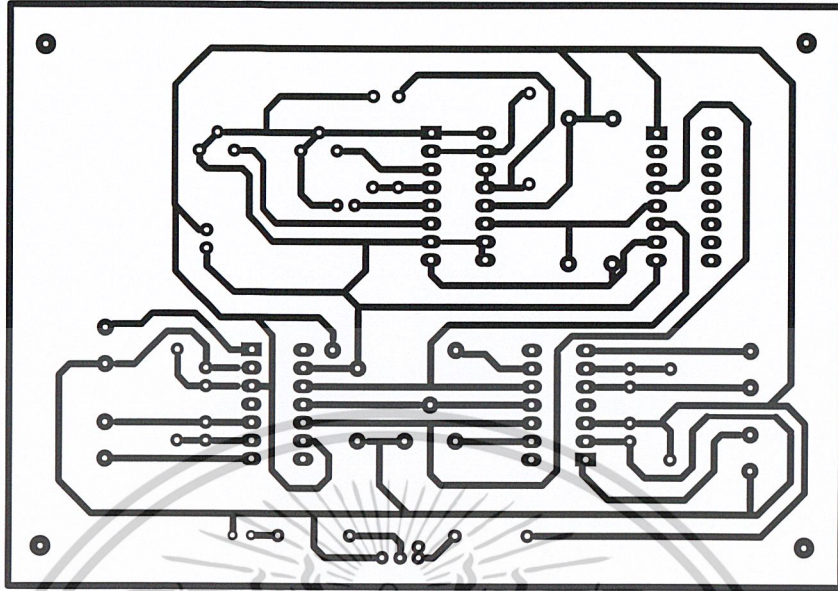


รูปที่ ข.9 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์วงจรถยายกำลัง

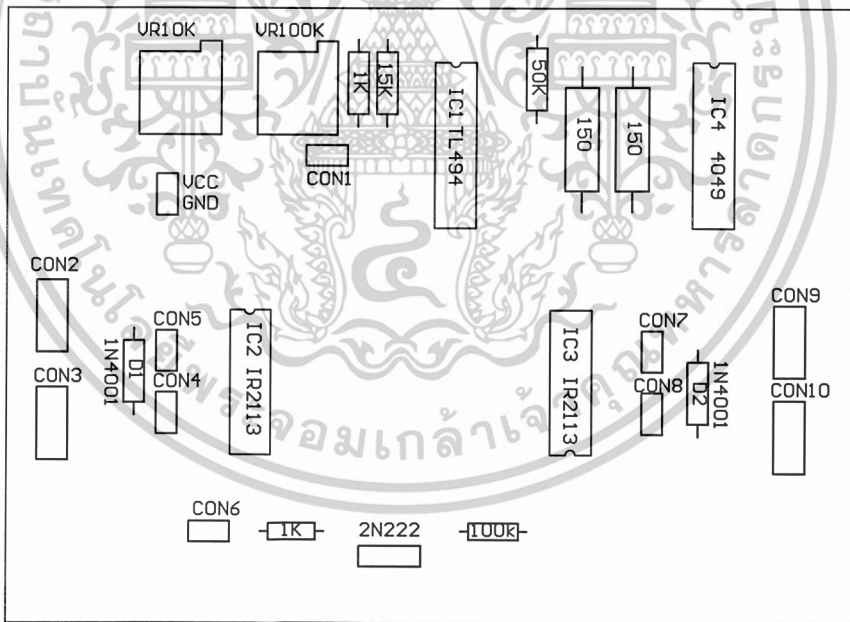


รูปที่ ข.10 วงจรกำเนิดความถี่ 28 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

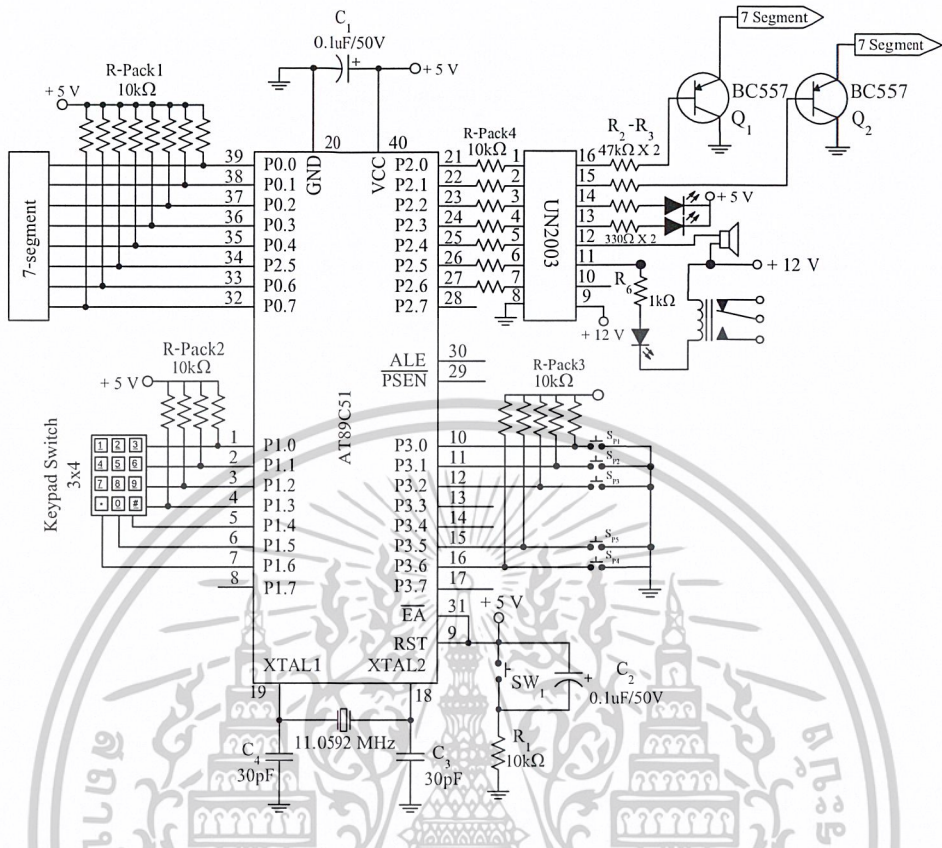


รูปที่ ข.11 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรวงจรถ้าเนคความถี่

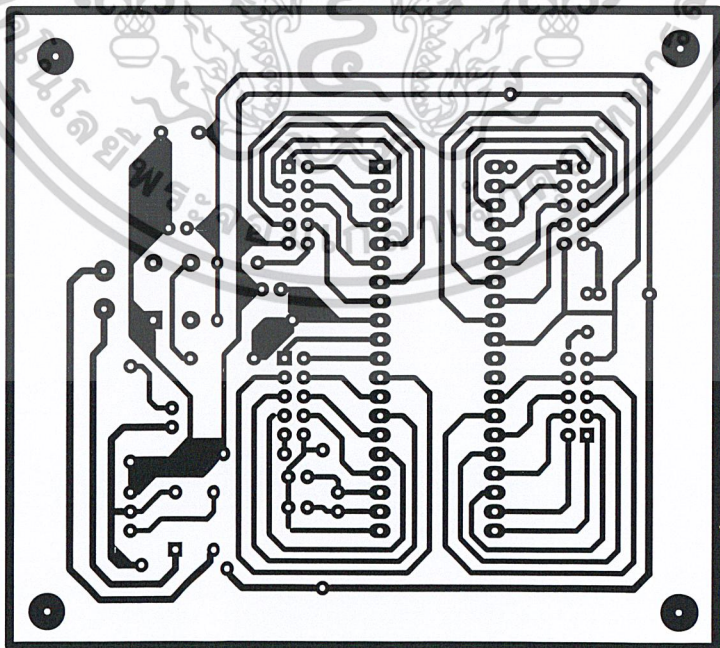


รูปที่ ข.12 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์วงจรถ้าเนคความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

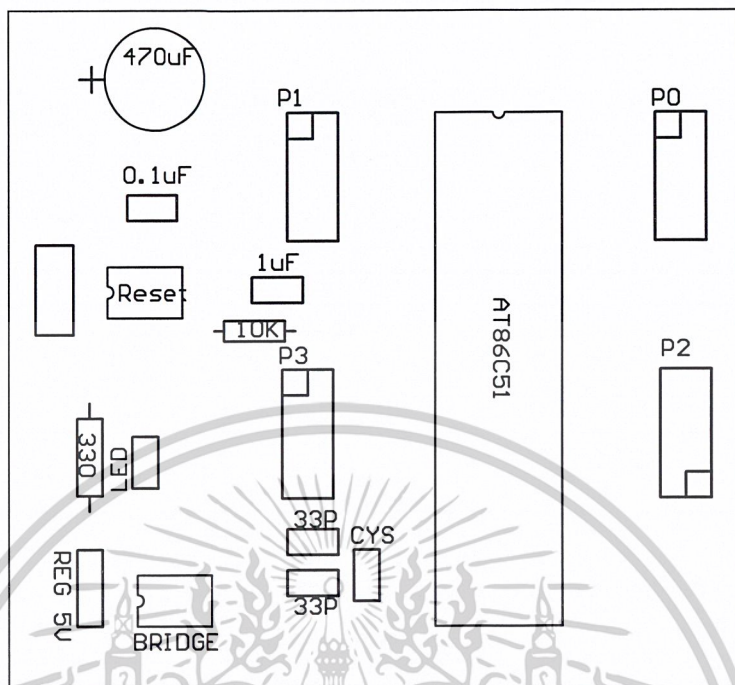


รูปที่ ข.13 วงจรประมวลผลกลาง



รูปที่ ข.14 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรประมวลผลกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.15 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์วงจรประมวลผลกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค  
รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟบวกคงที่ 2 ชุด

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	7815	1 ตัว
IC2	7812	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
D1 – D4	1N4004	4 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1, C3	1000 $\mu$ F 50 V	2 ตัว
C2, C4	0.1 $\mu$ F 50 V	2 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
T1	หม้อแปลง 220 / 18-0 10 A แผ่นระบายความร้อน	1 ตัว 2 ตัว

ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรสวิทช์เมตริกซ์ 4 × 4 ชุด

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	AT89C51	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
ตัวเก็บประจุ		
C1	0.1 $\mu$ F 50 V	1 ตัว
C2	1 $\mu$ F 50 V	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1 – R5	10 k $\Omega$ 1/4 W	5 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
S1	ไมโครสวิทช์	1 ตัว
คริสตัล	11.0592 MHz	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรสวิตช์แมตริกซ์ 4 × 4 จุด

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
อุปกรณ์อื่นๆ คีย์แพดสวิตช์	สวิตช์แบบสวิตช์แมตริกซ์ 4 × 3 จุด	1 ตัว

ตารางที่ ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรแสดงผลแบบตัวเลขเจ็ดส่วน

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
IC1	AT89C51	1 ตัว
IC2	744C541	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
Q1, Q2	BC557	2 ตัว
LED1, LED2	7 segment สีแดง แคะโทดร่วม ขนาด 1 นิ้ว	2 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1, C5	0.1 $\mu$ F 50 V	2 ตัว
C2	1 $\mu$ F 50 V	1 ตัว
C3, C4	33 pF เซรามิก	2 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R1	10 k $\Omega$ 1/4 W	1 ตัว
R2	10 k $\Omega$ 1/4 W แบบ R แพค	1 ตัว
R3 – R10	47 $\Omega$ 1/4 W	8 ตัว
R11, R12	1 k $\Omega$ 1/4 W	2 ตัว
อุปกรณ์อื่นๆ		
S1	สวิตช์แบบไมโครสวิตช์	1 ตัว
J1 – J4	IDE Connector 10 pin	4 ตัว
W1	เคเบิลสายแพร ชนิด 10 เส้น	1 เมตร
คริสตอล	11.0592 MHz	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 รายการอุปกรณ์ของวงจรควบคุม MCS – 51

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b>		
IC1	AT89C51	1 ตัว
IC2	744C541	1 ตัว
<b>อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ</b>		
Diode Bride	Y318	2 ตัว
<b>ตัวเก็บประจุ</b>		
C1	1000 $\mu$ F 50 V	1 ตัว
C2	1 $\mu$ F 50 V	1 ตัว
C3, C4	33 pF เซรามิก	2 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
R1, R2	330 $\Omega$ 1/4 W	2 ตัว
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
S1	สวิตช์แบบไมโครสวิตช์	1 ตัว
J1 – J4	Socket 40 pin	4 ตัว
J5 – J8	IDE Connector 10 pin	4 ตัว
LED	สีแดง	1 ตัว
คริสตอล	11.0592 MHz	1 ตัว
แผ่นระบายความร้อน	แผ่นระบายความร้อน	1 ตัว

ตารางที่ ค.5 รายการอุปกรณ์ของวงจรถ้าเนิดความถี่

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b>		
IC1	TL494	1 ตัว
IC2, IC3	4049A	2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรกำเนิดความถี่

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>ตัวเก็บประจุ</b>		
C1	0.1 $\mu$ F 50 V	1 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
R1, R2	150 k $\Omega$ 2 W	2 ตัว
R3	1 k $\Omega$ 1/4 W	1 ตัว
R4	15 k $\Omega$ 1/2 W	1 ตัว
R5	50 k $\Omega$ 1/2 W	1 ตัว
VR1, VR2	10 k $\Omega$	2 ตัว

ตารางที่ ค.6 รายการอุปกรณ์ของวงจรควบคุมการทำงานของวงจรกำเนิดความถี่

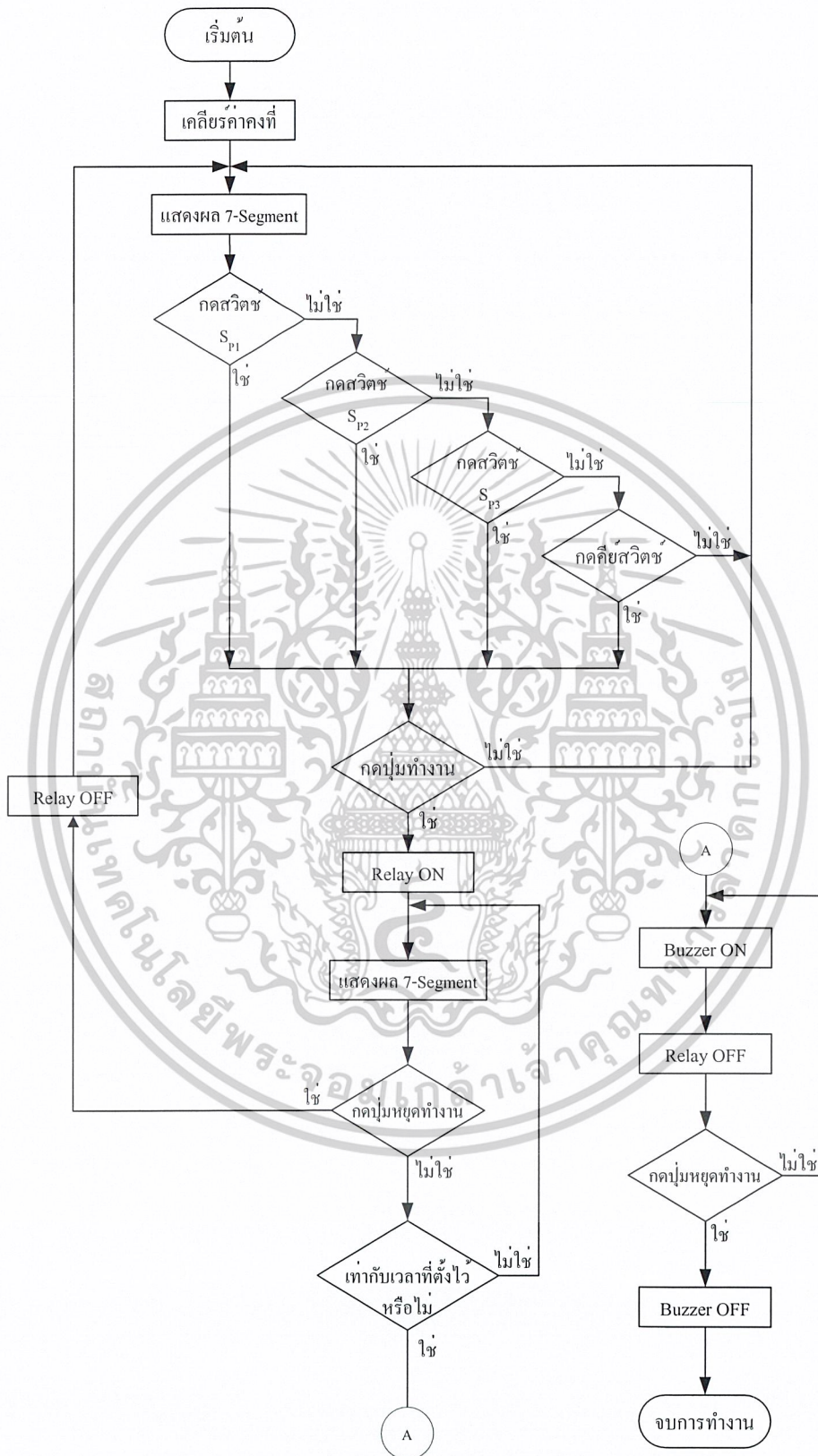
ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ</b>		
Q1, Q2	BC547	2 ตัว
D1	1N4007	1 ตัว
SCR	NRC22-2	1 ตัว
LED	สีแดง	1 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
R1, R2	10 k $\Omega$ 1/4 W	2 ตัว
R3, R4	1 k $\Omega$ 1/4 W	2 ตัว
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
Relay	12 V	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง  
แผนผังการทำงานและรหัสต้นฉบับของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.1 ฟังก์ชันขั้นตอนการทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอัลตราโซนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรมควบคุมการทำงาน

```

DATA_LOW EQU 10
DATA_MID EQU 30
DATA_HI EQU 60
SEG_1 EQU 30H
SEG_2 EQU 31H
KEY_ EQU 32H
COUNT EQU 33H
MM EQU 34H
SS EQU 35H
C_COUNT EQU 36H

TEMP EQU 40H
FLAG EQU 2AH
FLAG2 EQU 2BH

B_SHIFT BIT FLAG.0
B_BEEP BIT FLAG.1
B_LOW BIT FLAG.2
B_MID BIT FLAG.3
B_HI BIT FLAG.4

B_BRINK BIT FLAG2.0
B_ALUM BIT FLAG2.1

DIG1 BIT P2.0
DIG2 BIT P2.1
LED_START BIT P2.2
LED_STOP BIT P2.3
BBZ BIT P2.4
TRIG_ON BIT P2.5
TRIG_OFF BIT P2.6

BRINK BIT P0.7
S_LOW BIT P3.0
S_MID BIT P3.1
S_HI BIT P3.2
S_START BIT P3.3
S_STOP BIT P3.4

ORG 0000H
AJMP ZERO_CONST

ORG 000BH
AJMP TIMER_INT

ZERO_CONST: ACALL DELAY
            ACALL DELAY
            MOV P0, #0FFH
            MOV P2, #00H
            MOV P3, #0FFH
            MOV COUNT, #00H
            MOV FLAG, #00H
            ACALL CODE_TO_SEG

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                SETB  LED_STOP
                CLR   BBZ

START:          ACALL DISPLAY
                ACALL SCAN_KEY
                ACALL COMMAND
                ACALL START_STOP
                AJMP  START

DISPLAY:        MOV   R0,#01H
L_DISP:         SETB  DIG1
                SETB  DIG2
                MOV   A,SEG_1
                MOV   DPTR,#TABLE_SEG
                MOVC  A,@A+DPTR
                MOV   P0,A
                CLR   DIG1
                ACALL DELAY
                SETB  DIG1
                MOV   A,SEG_2
                MOV   DPTR,#TABLE_SEG
                MOVC  A,@A+DPTR
                MOV   C,B_BRINK
                MOV   ACC.7,C
                MOV   P0,A
                CLR   DIG2
                ACALL DELAY
                SETB  DIG2
                DJNZ  R0,L_DISP
                RET

SCAN_KEY:       MOV   R0,#00H
                MOV   R1,#03H
L_SCAN:         MOV   A,R0
                MOV   DPTR,#TABLE_ROW
                MOVC  A,@A+DPTR
                MOV   P1,A
                MOV   A,P1
                ANL   A,#0FH
                CJNE  A,#0FH,CAL_KEY
                INC   R0
                DJNZ  R1,L_SCAN
                RET

CAL_KEY:        MOV   TEMP,R0
                MOV   KEY_,A
                MOV   R0,#00H
                MOV   R1,#04H
L_CAL:          MOV   A,R0
                MOV   DPTR,#TABLE_COL
                MOVC  A,@A+DPTR
                CJNE  A,KEY_,N_CAL
                MOV   A,R0
                MOV   B,#03H
                MUL  AB
                ADD  A,TEMP

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        MOV    DPTR, #TABLE_CODE
        MOVC  A, @A+DPTR
        MOV    KEY_, A
        ACALL SHIFT
        ACALL WAIT
        RET

N_CAL:   INC    R0
        DJNZ  R1, L_CAL
        RET

WAIT:    ACALL DISPLAY
        MOV   P1, #0FH
        MOV   A, P1
        ANL  A, #0FH
        CJNE A, #0FH, WAIT
        RET

START_STOP: NOP
SW_START:  JB    S_START, NO_ON
L_SW_START: ACALL DISPLAY
           JNB   S_START, L_SW_START
           SETB  LED_START
           CLR   LED_STOP

LOW_ON:    JNB   B_LOW, MID_ON
           MOV   COUNT, #DATA_LOW
           ACALL CODE_TO_SEG
           AJMP  LOOP_WAIT

MID_ON:    JNB   B_MID, HI_ON
           MOV   COUNT, #DATA_MID
           ACALL CODE_TO_SEG
           AJMP  LOOP_WAIT

HI_ON:     JNB   B_HI, SHIFT_ON
           MOV   COUNT, #DATA_HI
           ACALL CODE_TO_SEG
           AJMP  LOOP_WAIT

SHIFT_ON:  ACALL SEG_TO_CODE
           AJMP  LOOP_WAIT

NO_ON:     RET

LOOP_WAIT: MOV   A, COUNT
           CJNE A, #00H, GO_ON
           MOV   FLAG, #00H
           RET

GO_ON:     SETB  TRIG_ON
           ACALL DELAY_100MS
           CLR   TRIG_ON
           MOV   MM, COUNT
           MOV   A, #00H
           CJNE A, MM, N_LOOP_WAIT
           SETB  LED_STOP
           CLR   LED_START

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        SETB  TRIG_OFF
        ACALL DELAY_100MS
        CLR   TRIG_OFF
        MOV   COUNT,#0H
        ACALL CODE_TO_SEG
        MOV   FLAG,#00H
        RET

N_LOOP_WAIT:MOV   SS,#00
              MOV   C_COUNT,#00H
              NOP
              SETB  EA
              SETB  ET0
              MOV   TMOD,#01H
              MOV   TH0,#4CH
              MOV   TL0,#09H
              SETB  TR0
              SETB  B_BRINK
              CLR   B_ALUM

L_WAIT2:     MOV   COUNT,MM
              ACALL CODE_TO_SEG
              ACALL DISPLAY
              JNB   S_STOP,SW_STOP
              JNB   B_ALUM,L_WAIT2
              MOV   SEG_1,#00H
              MOV   SEG_2,#00H

L_WAIT3:     JNB   S_STOP,P_STOP
              ACALL DISPLAY
              AJMP  L_WAIT3

P_STOP:     CLR   TFO
              CLR   TR0
              CLR   TF1
              CLR   TR1
              SETB  TRIG_OFF
              ACALL DELAY_100MS
              CLR   TRIG_OFF
              SETB  LED_STOP
              CLR   LED_START
              CLR   BBZ
              RET

SW_STOP:    CLR   TFO
              CLR   TR0
              CLR   B_BRINK
              SETB  TRIG_OFF
              ACALL DELAY_100MS
              CLR   TRIG_OFF
              SETB  LED_STOP
              CLR   LED_START
              MOV   FLAG,#00H

SW_EXIT:    RET

TIMER_INT:  PUSH  00H
              PUSH  ACC

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PUSH PSW
CLR TF0
CLR TR0
NOP
MOV TH0,#4CH
MOV TL0,#09H
SETB TR0
MOV R0,#C_COUNT
INC @R0
CJNE @R0,#0AH,EXIT_TIMER
MOV @R0,#00H
CPL B_BRINK
INC_S: JB B_ALUM,TIMER_ALUM
JNB B_BRINK,EXIT_TIMER
MOV @R0,#00H
DEC R0
INC @R0
CJNE @R0,#3CH,EXIT_TIMER ;SEC
MOV @R0,#00H
DEC R0
DEC @R0
CJNE @R0,#00H,EXIT_TIMER ;MM
SETB TRIG_OFF
ACALL DELAY_100MS
CLR TRIG_OFF
CLR B_BRINK
SETB B_ALUM
CLR LED_START
EXIT_TIMER: POP PSW
POP ACC
POP 00H
RETI

TIMER_ALUM: CPL LED_STOP
CPL BBZ
POP ACC
POP 00H
RETI

SHIFT: NOP
KEY_ERR: CJNE A,#0FFH,N_SHIFT1
RET

N_SHIFT1: JB B_SHIFT,N_SHIFT2
MOV SEG_1,#00H
MOV SEG_2,A
MOV FLAG,#00H
SETB B_SHIFT
RET

N_SHIFT2: MOV SEG_1,SEG_2
MOV SEG_2,A
RET

COMMAND: NOP
CH_LOW: JB S_LOW,CH_MID
MOV FLAG,#00H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                SETB  B_LOW
                MOV   SEG_1, #0AH
                MOV   SEG_2, #01H
L_CH_LOW:      ACALL DISPLAY
                JNB   S_LOW, L_CH_LOW
                RET

CH_MID:        JB    S_MID, CH_HI
                MOV   FLAG, #00H
                SETB  B_MID
                MOV   SEG_1, #0AH
                MOV   SEG_2, #02H
L_CH_MID:      ACALL DISPLAY
                JNB   S_MID, L_CH_MID
                RET

CH_HI:         JB    S_HI, EXIT_CH_HI
                MOV   FLAG, #00H
                SETB  B_HI
                MOV   SEG_1, #0AH
                MOV   SEG_2, #03H
L_CH_HI:       ACALL DISPLAY
                JNB   S_HI, L_CH_HI
EXIT_CH_HI:    RET

SEG_TO_CODE:   MOV   A, SEG_1
                MOV   B, #0AH
                MUL  AB
                MOV   COUNT, A
                ADD  A, SEG_2
                MOV   COUNT, A
                RET

CODE_TO_SEG:   MOV   A, COUNT
                MOV   B, #0AH
                DIV  AB
                MOV   SEG_1, A
                MOV   SEG_2, B
                RET

DELAY_100MS:  MOV   R6, #64H
L_DEL_100:     ACALL DELAY
                DJNZ R6, L_DEL_100
                RET

DELAY:         MOV   R7, #0E6H
L_DELAY:       NOP
                NOP
                DJNZ R7, L_DELAY
                RET

TABLE_CODE:   DB    01H, 02H, 03H
                DB    04H, 05H, 06H
                DB    07H, 08H, 09H
                DB    0FFH, 00H, 0FFH

TABLE_SEG:    DB    3FH, 06H, 5BH, 4FH, 66H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	DB	6DH, 7DH, 07H, 7FH, 6FH
	DB	73H
TABLE_ROW:	DB	06FH, 05FH, 03FH
TABLE_COL:	DB	07H, 0BH, 0DH, 0EH
	END	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คู่มือการใช้งาน

## เครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค



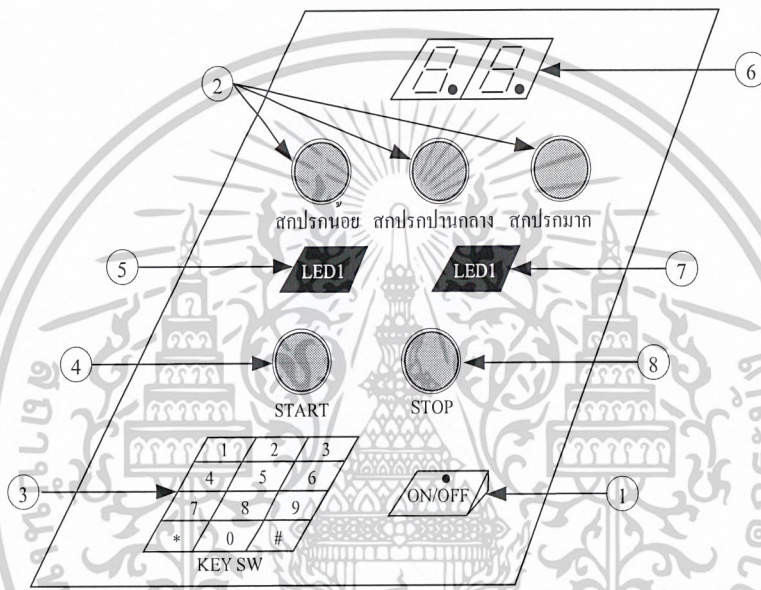
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. คำแนะนำเบื้องต้น

ก่อนที่จะลงมือใช้งานเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค ควรทำการศึกษารูปร่างการใช้งานจากคู่มือให้เข้าใจเพื่อให้ได้ผลการทำความสะอาดที่ดี และป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค

## 2. ส่วนประกอบและปุ่มควบคุม



รูปที่ จ.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค

จากรูปที่ จ.1 มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

- ① สวิตซ์เปิด - ปิดเครื่อง
- ② สวิตซ์เลือกระดับการทำความสะอาด
- ③ สวิตซ์เมตริกซ์สำหรับป้อนค่าในการทำความสะอาด
- ④ สวิตซ์เริ่มการทำงานของเครื่อง
- ⑤ แอล อี ดี แสดงสถานะ การทำงานของเครื่อง
- ⑥ จอแสดงผล แบบแอล อี ดี เจ็ดส่วน
- ⑦ แอล อี ดี แสดงสถานะ การหยุดทำงานของเครื่อง
- ⑧ สวิตซ์หยุดการทำงานของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. การติดตั้งและใช้งาน

- 3.1 ทำการเสียบปลั๊กและเปิดสวิตช์ควบคุมเครื่อง โดยแอลอีดีสีแดง ที่ตำแหน่งบนสวิตช์จะติด
- 3.2 นำชิ้นงานที่ต้องการทำความสะอาด ใส่ในตะแกรงที่อยู่ในถังล้าง ซึ่งภายในถังล้างมีน้ำยาทำความสะอาดอยู่
- 3.3 ทำการเลือกรายการทำความสะอาด มี 2 แบบ คือ
  - กำหนดค่าในการทำความสะอาดเอง โดยป้อนค่าทางสวิตช์เมตริกซ์
  - เลือกค่าในการทำความสะอาดจากปุ่มที่ตั้งเวลาทำความสะอาดไว้แล้ว
- 3.4 เมื่อทำการเลือกค่าเวลาในการทำความสะอาดแล้ว กดปุ่มสีเขียวเครื่องจะเริ่มทำงานและแสดงเวลาคงเหลือที่แอลอีดีเจ็ดส่วน
- 3.5 หากต้องการหยุดการทำงานของเครื่องทันทีหรือมีปัญหา ในการทำความสะอาดให้กดปุ่มสีแดงเครื่องจะหยุดการทำงานและรอรับการป้อนค่าเวลาในการทำความสะอาดใหม่
- 3.6 เมื่อเครื่องทำงานครบตามเวลาที่ตั้งไว้จะมีเสียงเตือนให้กดปุ่มสีแดงเสียงเตือนจะหยุด
- 3.7 นำชิ้นงานขึ้นจากถังล้าง
- 3.8 ปิดสวิตช์ควบคุมเครื่อง ถอดปลั๊กของเครื่อง และทำความสะอาดถังล้างหลังจากทำงานเสร็จ

### 4. การแก้ปัญหาเบื้องต้น

เมื่อท่านประสบปัญหาในการใช้งาน เครื่องทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์ด้วยคลื่นอุลตราโซนิค สามารถตรวจสอบแนวทางการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นได้จากตารางข้างล่างนี้

อาการ	สาเหตุและ/หรือวิธีแก้ไข
เปิดสวิตช์แล้วเครื่องไม่ทำงาน	ตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงและฟิวส์
ป้อนค่าทางสวิตช์เมตริกซ์ไม่ได้	ตรวจสอบสายแพที่ต่อไปยังพอร์ต 1 ของวงจรหรือปิดสวิตช์ของเครื่องแล้วทำการเปิดเครื่องใหม่
เครื่องไม่หยุดทำงานตามเวลาที่ตั้งไว้	ทำการปิดสวิตช์ที่เครื่องแล้วทำการเปิดใหม่หรือกดปุ่มสวิตช์ที่แผงวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. การดูแลรักษาและข้อควรระวัง

### 5.1 การดูแลรักษา

- ปิดสวิทช์ของเครื่องและถอดปลั๊กทุกครั้งหลังเลิกใช้งาน
- ทำความสะอาดตะแกรงและถังล้างทุกครั้งหลังใช้งานเสร็จ
- ควรปิดฝาเครื่องไว้ตลอดเพื่อป้องกันการเสียหายที่อาจจะเกิดกับวงจรได้

### 5.2 ข้อควรระวัง

- อย่าให้น้ำหรือของเหลวโดยตัวทรานสดิวเซอร์หรือแผงวงจร
- ขณะถอดถังไปทำความสะอาด ควรระวังอย่าให้ตัวทรานสดิวเซอร์เกิดการกระแทก
- ไม่ควรใส่น้ำยาทำความสะอาดมากเกินไป เพราะเมื่อใส่ชิ้นงานที่จะทำความสะอาดลงไปน้ำยาทำความสะอาดอาจล้นถึงและอาจโดนทรานสดิวเซอร์หรือวงจรทำให้เสียหายได้

## 6. ข้อมูลจำเพาะ

คุณสมบัติ	รายละเอียด
ความถี่	ใช้ความถี่ 28 กิโลเฮิร์ตซ์
ส่วนแสดงผล	แอลอีดีเจ็ดส่วน 2 หลัก
การตั้งค่าเวลาทำความสะอาด	2 แบบ คือกำหนดค่าเองทางสวิทช์เมตริกซ์และจากปุ่มที่ตั้งค่าเวลาไว้แล้ว
พลังงาน	ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ความถี่ 50 ถึง 60 เฮิร์ตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

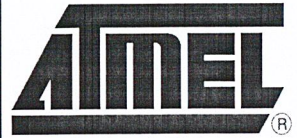
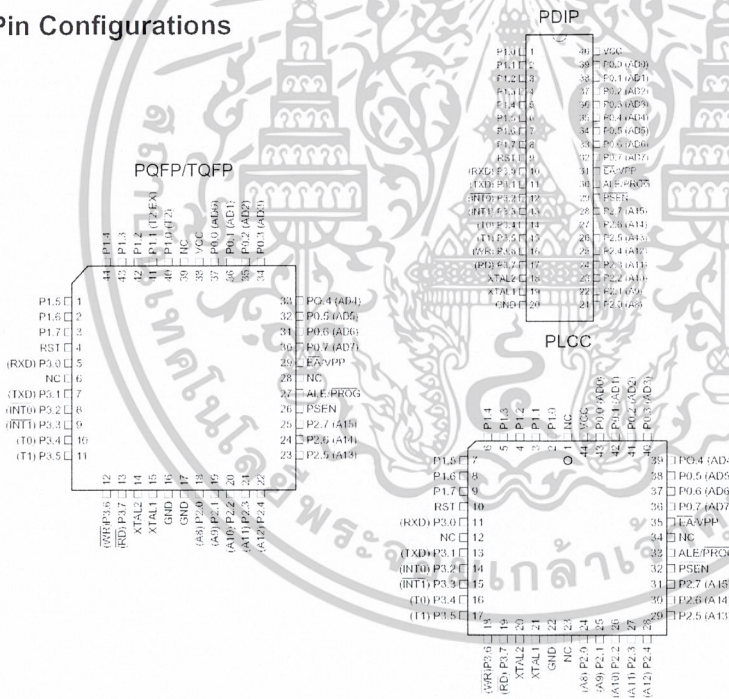
**Features**

- Compatible with MCS-51™ Products
- 4K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
  - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 128 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes

**Description**

The AT89C51 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 4K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard MCS-51 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C51 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

**Pin Configurations**



**8-bit  
Microcontroller  
with 4K Bytes  
Flash**

**AT89C51**

**Not Recommended  
for New Designs.  
Use AT89S51.**

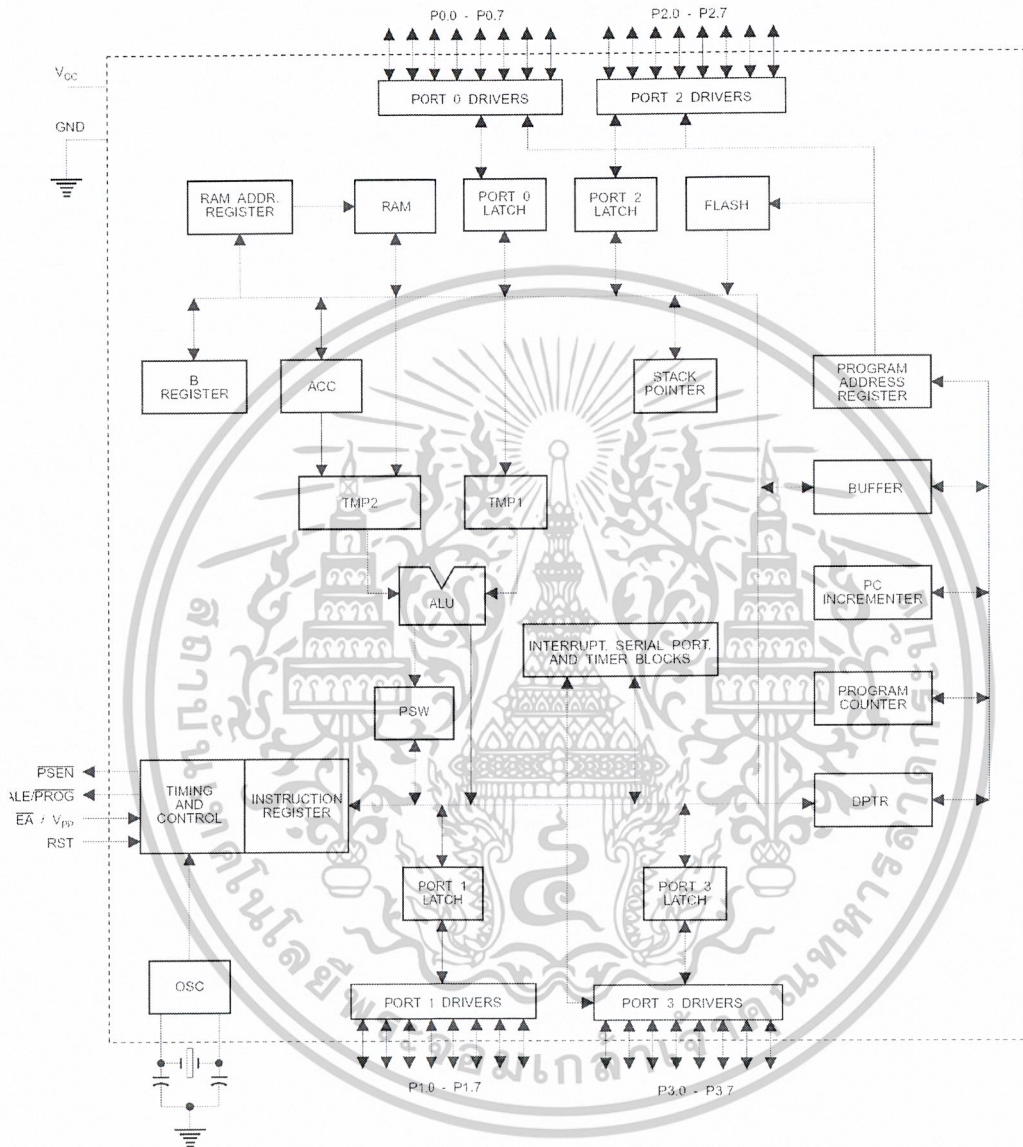
Rev. 0265G-02/00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The AT89C51 provides the following standard features: 4K bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 32 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C51 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The Power-down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

## Pin Description

### VCC

Supply voltage.

### GND

Ground.

### Port 0

Port 0 is an 8-bit open-drain bi-directional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 may also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode P0 has internal pullups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming, and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

### Port 1

Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the internal pullups.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

### Port 2

Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs,

Port 2 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, it uses strong internal pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

### Port 3

Port 3 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	INT0 (external interrupt 0)
P3.3	INT1 (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	WR (external data memory write strobe)
P3.7	RD (external data memory read strobe)

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

### RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

### ALE/PROG

Address Latch Enable output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input (PROG) during Flash programming.

In normal operation ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency, and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE





pulse is skipped during each access to external Data Memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

**PSEN**

Program Store Enable is the read strobe to external program memory.

When the AT89C51 is executing code from external program memory, PSEN is activated twice each machine cycle, except that two PSEN activations are skipped during each access to external data memory.

**EA/VPP**

External Access Enable. EA must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed, EA will be internally latched on reset.

EA should be strapped to VCC for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (VPP) during Flash programming, for parts that require 12-volt VPP.

**XTAL1**

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

**XTAL2**

Output from the inverting oscillator amplifier.

**Oscillator Characteristics**

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left

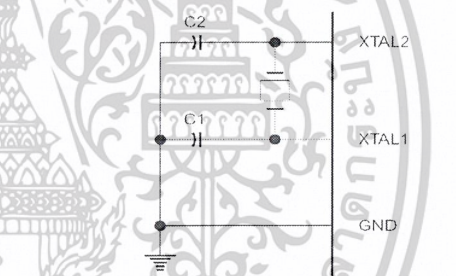
unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

**Idle Mode**

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

It should be noted that when idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

Figure 1. Oscillator Connections

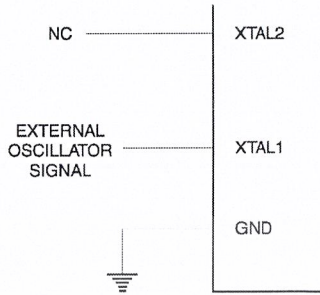


Note: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals  
 = 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

**Status of External Pins During Idle and Power-down Modes**

Mode	Program Memory	ALE	PSEN	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power-down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power-down	External	0	0	Float	Data	Data	Data

Figure 2. External Clock Drive Configuration



ters retain their values until the power-down mode is terminated. The only exit from power-down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before  $V_{CC}$  is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

**Program Memory Lock Bits**

On the chip are three lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below.

When lock bit 1 is programmed, the logic level at the  $\overline{EA}$  pin is sampled and latched during reset. If the device is powered up without a reset, the latch initializes to a random value, and holds that value until reset is activated. It is necessary that the latched value of  $\overline{EA}$  be in agreement with the current logic level at that pin in order for the device to function properly.

**Power-down Mode**

In the power-down mode, the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power-down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Regis-

**Lock Bit Protection Modes**

	Program Lock Bits			Protection Type
	LB1	LB2	LB3	
1	U	U	U	No program lock features
2	P	U	U	MOVC instructions executed from external program memory are disabled from fetching code bytes from internal memory. $\overline{EA}$ is sampled and latched on reset, and further programming of the Flash is disabled
3	P	P	U	Same as mode 2, also verify is disabled
4	P	P	P	Same as mode 3, also external execution is disabled



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Programming the Flash

The AT89C51 is normally shipped with the on-chip Flash memory array in the erased state (that is, contents = FFH) and ready to be programmed. The programming interface accepts either a high-voltage (12-volt) or a low-voltage ( $V_{CC}$ ) program enable signal. The low-voltage programming mode provides a convenient way to program the AT89C51 inside the user's system, while the high-voltage programming mode is compatible with conventional third-party Flash or EPROM programmers.

The AT89C51 is shipped with either the high-voltage or low-voltage programming mode enabled. The respective top-side marking and device signature codes are listed in the following table.

	$V_{PP} = 12V$	$V_{PP} = 5V$
Top-side Mark	AT89C51 xxxx yyyy	AT89C51 xxxx-5 yyyy
Signature	(030H) = 1EH (031H) = 51H (032H) = FFH	(030H) = 4EH (031H) = 51H (032H) = 05H

The AT89C51 code memory array is programmed byte-by-byte in either programming mode. *To program any non-blank byte in the on-chip Flash Memory, the entire memory must be erased using the Chip Erase Mode.*

**Programming Algorithm:** Before programming the AT89C51, the address, data and control signals should be set up according to the Flash programming mode table and Figure 3 and Figure 4. To program the AT89C51, take the following steps.

1. Input the desired memory location on the address lines.
2. Input the appropriate data byte on the data lines.
3. Activate the correct combination of control signals.
4. Raise  $\overline{EA}/V_{PP}$  to 12V for the high-voltage programming mode.
5. Pulse ALE/PROG once to program a byte in the Flash array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes no more than 1.5 ms. Repeat steps 1 through 5, changing the address

and data for the entire array or until the end of the object file is reached.

**Data Polling:** The AT89C51 features  $\overline{Data}$  Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written datum on PO.7. Once the write cycle has been completed, true data are valid on all outputs, and the next cycle may begin. Data Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

**Ready/Busy:** The progress of byte programming can also be monitored by the RDY/ $\overline{BSY}$  output signal. P3.4 is pulled low after ALE goes high during programming to indicate BUSY. P3.4 is pulled high again when programming is done to indicate READY.

**Program Verify:** If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed, the programmed code data can be read back via the address and data lines for verification. The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

**Chip Erase:** The entire Flash array is erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding ALE/PROG low for 10 ms. The code array is written with all "1"s. The chip erase operation must be executed before the code memory can be re-programmed.

**Reading the Signature Bytes:** The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 030H, 031H, and 032H, except that P3.6 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

- (030H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
- (031H) = 51H indicates 89C51
- (032H) = FFH indicates 12V programming
- (032H) = 05H indicates 5V programming

## Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written and the entire array can be erased by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

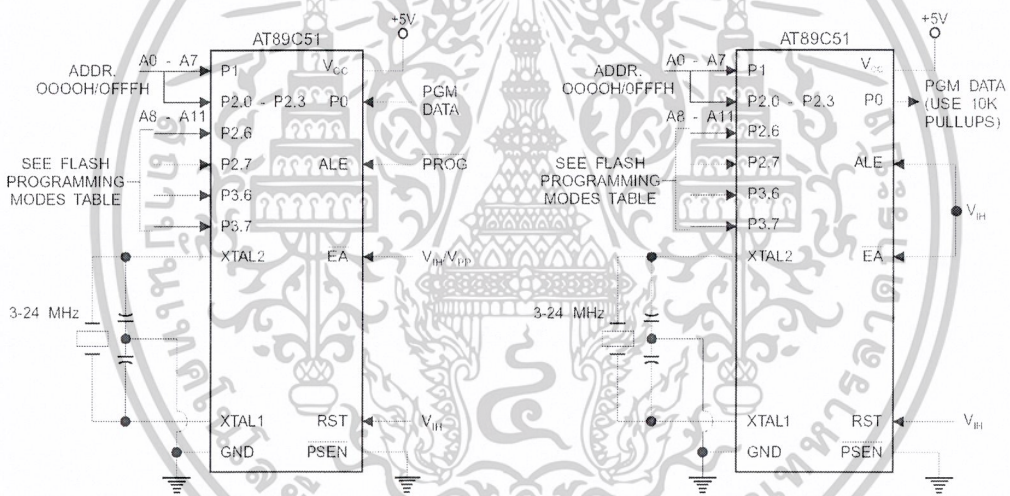
Flash Programming Modes

Mode	RST	PSEN	ALE/PROG	EA/V <sub>pp</sub>	P2.6	P2.7	P3.6	P3.7
Write Code Data	H	L		H/12V	L	H	H	H
Read Code Data	H	L	H	H	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1	H		H/12V	H	H	H	H
	Bit - 2	H		H/12V	H	H	L	L
	Bit - 3	H		H/12V	H	L	H	L
Chip Erase	H	L		H/12V	H	L	L	L
Read Signature Byte	H	L	H	H	L	L	L	L

Note: 1. Chip Erase requires a 10 ms PROG pulse.

Figure 3. Programming the Flash

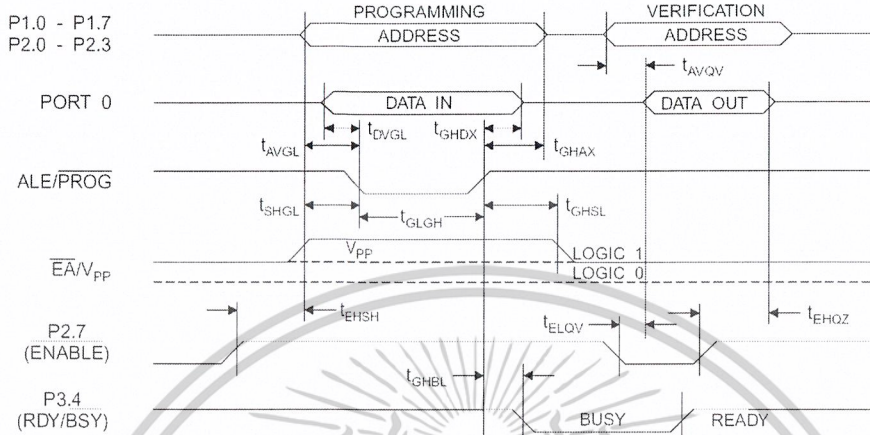
Figure 4. Verifying the Flash



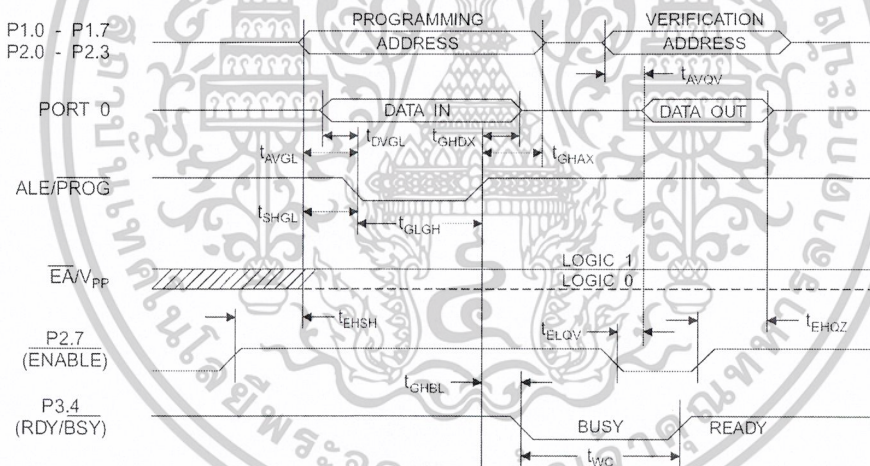
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Flash Programming and Verification Waveforms - High-voltage Mode ( $V_{PP} = 12V$ )**



**Flash Programming and Verification Waveforms - Low-voltage Mode ( $V_{PP} = 5V$ )**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Flash Programming and Verification Characteristics

 $T_A = 0^\circ\text{C to } 70^\circ\text{C}, V_{CC} = 5.0 \pm 10\%$ 

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$V_{PP}^{(1)}$	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
$I_{PP}^{(1)}$	Programming Enable Current		1.0	mA
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	3	24	MHz
$t_{AVGL}$	Address Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	$48t_{CLCL}$		
$t_{GHAX}$	Address Hold after $\overline{\text{PROG}}$	$48t_{CLCL}$		
$t_{DVGL}$	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	$48t_{CLCL}$		
$t_{GHDX}$	Data Hold after $\overline{\text{PROG}}$	$48t_{CLCL}$		
$t_{EHS}$	P2.7 ( $\overline{\text{ENABLE}}$ ) High to $V_{PP}$	$48t_{CLCL}$		
$t_{SHGL}$	$V_{PP}$ Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		$\mu\text{s}$
$t_{GHSL}^{(1)}$	$V_{PP}$ Hold after $\overline{\text{PROG}}$	10		$\mu\text{s}$
$t_{GLGH}$	$\overline{\text{PROG}}$ Width	1	110	$\mu\text{s}$
$t_{AVQV}$	Address to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
$t_{ELOV}$	$\overline{\text{ENABLE}}$ Low to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
$t_{EHQZ}$	Data Float after $\overline{\text{ENABLE}}$	0	$48t_{CLCL}$	
$t_{GHBL}$	$\overline{\text{PROG}}$ High to $\overline{\text{BUSY}}$ Low		1.0	$\mu\text{s}$
$t_{WC}$	Byte Write Cycle Time		2.0	ms

Note: 1. Only used in 12-volt programming mode.



### Absolute Maximum Ratings\*

Operating Temperature.....	-55°C to +125°C
Storage Temperature.....	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground.....	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage.....	6.6V
DC Output Current.....	15.0 mA

\*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

### DC Characteristics

$T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $85^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 5.0\text{V} \pm 20\%$  (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units	
$V_{IL}$	Input Low-voltage	(Except EA)	-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.1$	V	
$V_{IL1}$	Input Low-voltage (EA)		-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.3$	V	
$V_{IH}$	Input High-voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC} + 0.9$	$V_{CC} + 0.5$	V	
$V_{IH1}$	Input High-voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC} + 0.5$	V	
$V_{OL}$	Output Low-voltage <sup>(1)</sup> (Ports 1,2,3)	$I_{OL} = 1.6 \text{ mA}$		0.45	V	
$V_{OL1}$	Output Low-voltage <sup>(1)</sup> (Port 0, ALE, PSEN)	$I_{OL} = 3.2 \text{ mA}$		0.45	V	
$V_{OH}$	Output High-voltage (Ports 1,2,3, ALE, PSEN)	$I_{OH} = -60 \mu\text{A}$ , $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V	
		$I_{OH} = -25 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V	
		$I_{OH} = -10 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V	
$V_{OH1}$	Output High-voltage (Port 0 in External Bus Mode)	$I_{OH} = -800 \mu\text{A}$ , $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V	
		$I_{OH} = -300 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V	
		$I_{OH} = -80 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V	
$I_{IL}$	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 0.45\text{V}$		-50	$\mu\text{A}$	
$I_{TL}$	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 2\text{V}$ , $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$		-650	$\mu\text{A}$	
$I_{LI}$	Input Leakage Current (Port 0, EA)	$0.45 < V_{IN} < V_{CC}$		$\pm 10$	$\mu\text{A}$	
RRST	Reset Pull-down Resistor		50	300	$\text{K}\Omega$	
$C_{IO}$	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF	
$I_{CC}$	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		20	mA	
		Idle Mode, 12 MHz		5	mA	
	Power-down Mode <sup>(2)</sup>	$V_{CC} = 6\text{V}$			100	$\mu\text{A}$
		$V_{CC} = 3\text{V}$			40	$\mu\text{A}$

- Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions,  $I_{OL}$  must be externally limited as follows:  
 Maximum  $I_{OL}$  per port pin: 10 mA  
 Maximum  $I_{OL}$  per 8-bit port: Port 0: 26 mA  
 Ports 1, 2, 3: 15 mA  
 Maximum total  $I_{OL}$  for all output pins: 71 mA  
 If  $I_{OL}$  exceeds the test condition,  $V_{OL}$  may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.
2. Minimum  $V_{CC}$  for Power-down is 2V.

## AC Characteristics

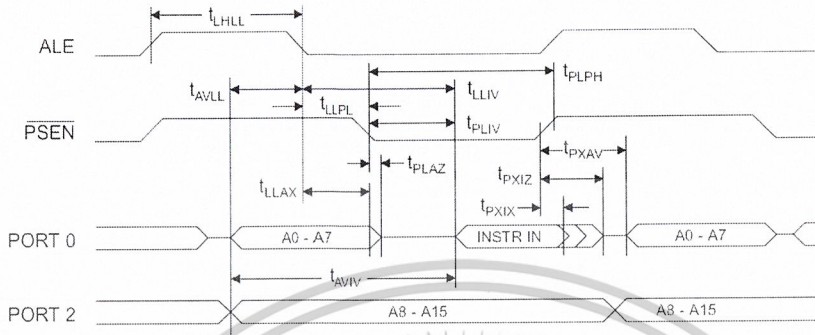
Under operating conditions, load capacitance for Port 0, ALE/ $\overline{\text{PROG}}$ , and  $\overline{\text{PSEN}}$  = 100 pF; load capacitance for all other outputs = 80 pF.

### External Program and Data Memory Characteristics

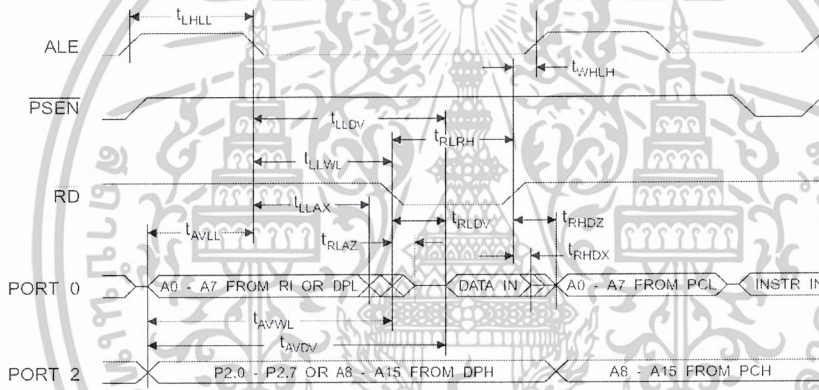
Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		16 to 24 MHz Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{\text{CLCL}}$	Oscillator Frequency			0	24	MHz
$t_{\text{LHLL}}$	ALE Pulse Width	127		$2t_{\text{CLCL}}-40$		ns
$t_{\text{AVLL}}$	Address Valid to ALE Low	43		$t_{\text{CLCL}}-13$		ns
$t_{\text{LLAX}}$	Address Hold after ALE Low	48		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
$t_{\text{LLIV}}$	ALE Low to Valid Instruction In		233		$4t_{\text{CLCL}}-65$	ns
$t_{\text{LLPL}}$	ALE Low to $\overline{\text{PSEN}}$ Low	43		$t_{\text{CLCL}}-13$		ns
$t_{\text{PLPH}}$	$\overline{\text{PSEN}}$ Pulse Width	205		$3t_{\text{CLCL}}-20$		ns
$t_{\text{PLIV}}$	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Valid Instruction In		145		$3t_{\text{CLCL}}-45$	ns
$t_{\text{PXIX}}$	Input Instruction Hold after $\overline{\text{PSEN}}$	0		0		ns
$t_{\text{PXIZ}}$	Input Instruction Float after $\overline{\text{PSEN}}$		59		$t_{\text{CLCL}}-10$	ns
$t_{\text{PXAV}}$	$\overline{\text{PSEN}}$ to Address Valid	75		$t_{\text{CLCL}}-8$		ns
$t_{\text{AVIV}}$	Address to Valid Instruction In		312		$5t_{\text{CLCL}}-55$	ns
$t_{\text{PLAZ}}$	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Address Float		10		10	ns
$t_{\text{RLRH}}$	$\overline{\text{RD}}$ Pulse Width	400		$6t_{\text{CLCL}}-100$		ns
$t_{\text{WLWH}}$	$\overline{\text{WR}}$ Pulse Width	400		$6t_{\text{CLCL}}-100$		ns
$t_{\text{RLDV}}$	$\overline{\text{RD}}$ Low to Valid Data In		252		$5t_{\text{CLCL}}-90$	ns
$t_{\text{RHDX}}$	Data Hold after $\overline{\text{RD}}$	0		0		ns
$t_{\text{RHDZ}}$	Data Float after $\overline{\text{RD}}$		97		$2t_{\text{CLCL}}-28$	ns
$t_{\text{LLDV}}$	ALE Low to Valid Data In		517		$8t_{\text{CLCL}}-150$	ns
$t_{\text{AVDV}}$	Address to Valid Data In		585		$9t_{\text{CLCL}}-165$	ns
$t_{\text{LLWL}}$	ALE Low to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	200	300	$3t_{\text{CLCL}}-50$	$3t_{\text{CLCL}}+50$	ns
$t_{\text{AVWL}}$	Address to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	203		$4t_{\text{CLCL}}-75$		ns
$t_{\text{QVWX}}$	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ Transition	23		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
$t_{\text{QVWH}}$	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ High	433		$7t_{\text{CLCL}}-120$		ns
$t_{\text{WHOX}}$	Data Hold after $\overline{\text{WR}}$	33		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
$t_{\text{RLAZ}}$	$\overline{\text{RD}}$ Low to Address Float		0		0	ns
$t_{\text{WHLH}}$	$\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ High to ALE High	43	123	$t_{\text{CLCL}}-20$	$t_{\text{CLCL}}+25$	ns



External Program Memory Read Cycle

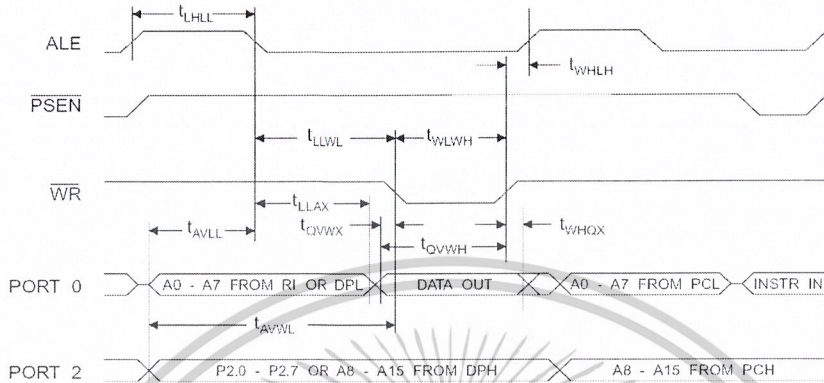


External Data Memory Read Cycle

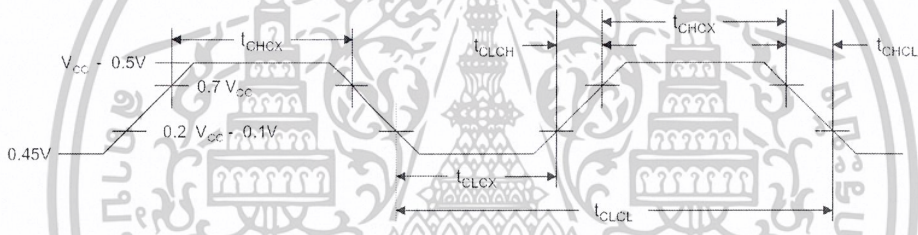


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

External Data Memory Write Cycle



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	24	MHz
$t_{CLCL}$	Clock Period	41.6		ns
$t_{CHCX}$	High Time	15		ns
$t_{CLCX}$	Low Time	15		ns
$t_{CLCH}$	Rise Time		20	ns
$t_{CHCL}$	Fall Time		20	ns



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

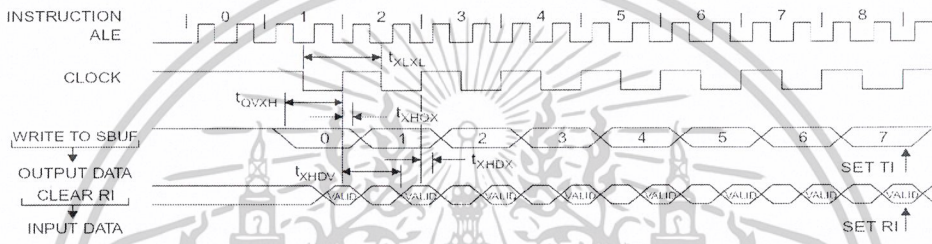


**Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions**

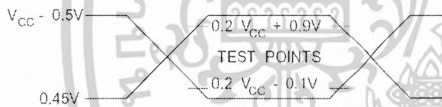
( $V_{CC} = 5.0\text{ V} \pm 20\%$ ; Load Capacitance = 80 pF)

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$t_{XLXL}$	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12t_{CLCL}$		$\mu\text{s}$
$t_{OVXH}$	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10t_{CLCL}-133$		ns
$t_{XHGX}$	Output Data Hold after Clock Rising Edge	50		$2t_{CLCL}-117$		ns
$t_{XHDX}$	Input Data Hold after Clock Rising Edge	0		0		ns
$t_{XHDX}$	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10t_{CLCL}-133$	ns

**Shift Register Mode Timing Waveforms**

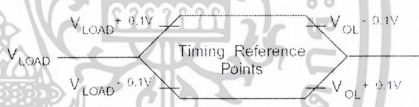


**AC Testing Input/Output Waveforms<sup>(1)</sup>**



Note: 1. AC Inputs during testing are driven at  $V_{CC} - 0.5\text{V}$  for a logic 1 and 0.45V for a logic 0. Timing measurements are made at  $V_{IH}$  min. for a logic 1 and  $V_{IL}$  max. for a logic 0.

**Float Waveforms<sup>(1)</sup>**



Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when 100 mV change from the loaded  $V_{OH}/V_{OL}$  level occurs.

## AT89C51

### Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
12	5V ±20%	AT89C51-12AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-12JC	44J	
		AT89C51-12PC	40P6	
		AT89C51-12QC	44Q	
		AT89C51-12AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-12JI	44J	
		AT89C51-12PI	40P6	
		AT89C51-12QI	44Q	
16	5V ±20%	AT89C51-16AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-16JC	44J	
		AT89C51-16PC	40P6	
		AT89C51-16QC	44Q	
		AT89C51-16AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-16JI	44J	
		AT89C51-16PI	40P6	
		AT89C51-16QI	44Q	
20	5V ±20%	AT89C51-20AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-20JC	44J	
		AT89C51-20PC	40P6	
		AT89C51-20QC	44Q	
		AT89C51-20AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-20JI	44J	
		AT89C51-20PI	40P6	
		AT89C51-20QI	44Q	
24	5V ±20%	AT89C51-24AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-24JC	44J	
		AT89C51-24PC	40P6	
		AT89C51-24QC	44Q	
		AT89C51-24AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-24JI	44J	
		AT89C51-24PI	40P6	
		AT89C51-24QI	44Q	

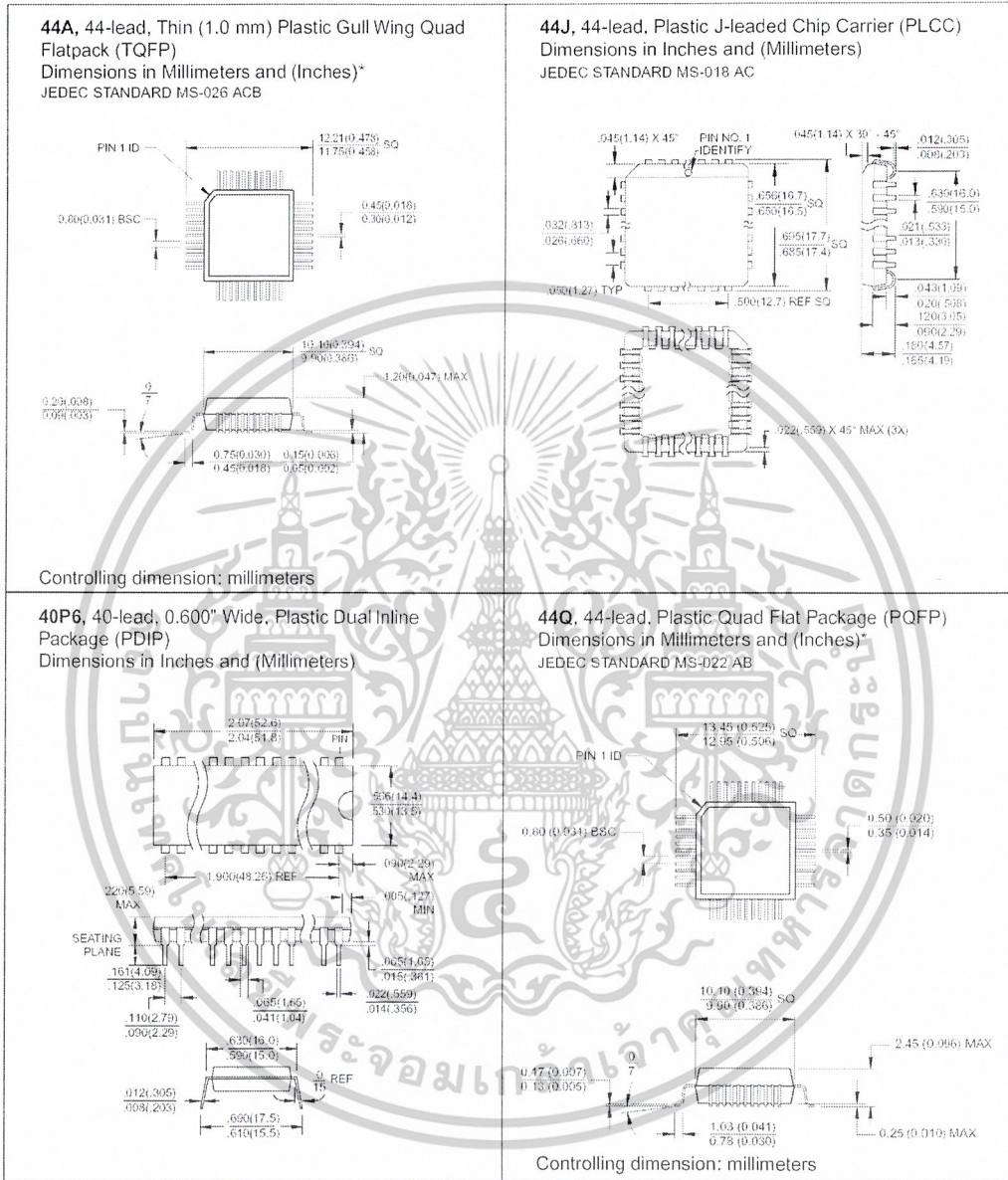
Package Type	
44A	44-lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
44J	44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
40P6	40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual In-line Package (PDIP)
44Q	44-lead, Plastic Gull Wing Quad Flatpack (PQFP)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Packaging Information



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### Atmel Headquarters

*Corporate Headquarters*  
2325 Orchard Parkway  
San Jose, CA 95131  
TEL (408) 441-0311  
FAX (408) 487-2600

### Europe

Atmel U.K., Ltd.  
Coliseum Business Centre  
Riverside Way  
Camberley, Surrey GU15 3YL  
England  
TEL (44) 1276-686-677  
FAX (44) 1276-686-697

### Asia

Atmel Asia, Ltd.  
Room 1219  
Chinachem Golden Plaza  
77 Mody Road Tsimhatsui  
East Kowloon  
Hong Kong  
TEL (852) 2721-9778  
FAX (852) 2722-1369

### Japan

Atmel Japan K.K.  
9F, Tonetsu Shinkawa Bldg.  
1-24-8 Shinkawa  
Chuo-ku, Tokyo 104-0033  
Japan  
TEL (81) 3-3523-3551  
FAX (81) 3-3523-7581

### Atmel Operations

*Atmel Colorado Springs*  
1150 E. Cheyenne Mtn. Blvd.  
Colorado Springs, CO 80906  
TEL (719) 576-3300  
FAX (719) 540-1759

### Atmel Rousset

Zone Industrielle  
13106 Rousset Cedex  
France  
TEL (33) 4-4253-6000  
FAX (33) 4-4253-6001

### Fax-on-Demand

North America:  
1-(800) 292-8635  
International:  
1-(408) 441-0732

*e-mail*  
literature@atmel.com

*Web Site*  
<http://www.atmel.com>

*BBS*  
1-(408) 436-4309

### © Atmel Corporation 2000.

Atmel Corporation makes no warranty for the use of its products, other than those expressly contained in the Company's standard warranty which is detailed in Atmel's Terms and Conditions located on the Company's web site. The Company assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices or specifications detailed herein at any time without notice, and does not make any commitment to update the information contained herein. No licenses to patents or other intellectual property of Atmel are granted by the Company in connection with the sale of Atmel products, expressly or by implication. Atmel's products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems.

Marks bearing " and/or " are registered trademarks and trademarks of Atmel Corporation.

Terms and product names in this document may be trademarks of others.



Printed on recycled paper.

0265G-02/00:XM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



October 1987  
Revised January 1999

## CD4049UBC • CD4050BC Hex Inverting Buffer • Hex Non-Inverting Buffer

### General Description

The CD4049UBC and CD4050BC hex buffers are monolithic complementary MOS (CMOS) integrated circuits constructed with N- and P-channel enhancement mode transistors. These devices feature logic level conversion using only one supply voltage ( $V_{DD}$ ). The input signal high level ( $V_{IH}$ ) can exceed the  $V_{DD}$  supply voltage when these devices are used for logic level conversions. These devices are intended for use as hex buffers, CMOS to DTL/TTL converters, or as CMOS current drivers, and at  $V_{DD} = 5.0V$ , they can drive directly two DTL/TTL loads over the full operating temperature range.

### Features

- Wide supply voltage range: 3.0V to 15V
- Direct drive to 2 TTL loads at 5.0V over full temperature range
- High source and sink current capability
- Special input protection permits input voltages greater than  $V_{DD}$

### Applications

- CMOS hex inverter/buffer
- CMOS to DTL/TTL hex converter
- CMOS current "sink" or "source" driver
- CMOS HIGH-to-LOW logic level converter

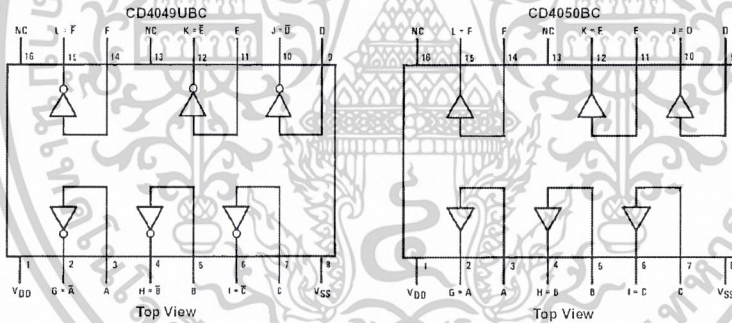
### Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
CD4049UBCM	M16A	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
CD4049UBCN	N16E	16-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide
CD4050BCM	M16A	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
CD4050BCN	N16E	16-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

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

### Connection Diagrams

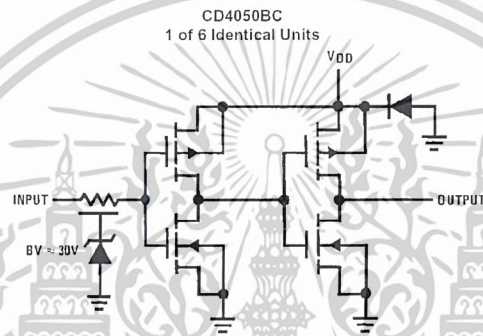
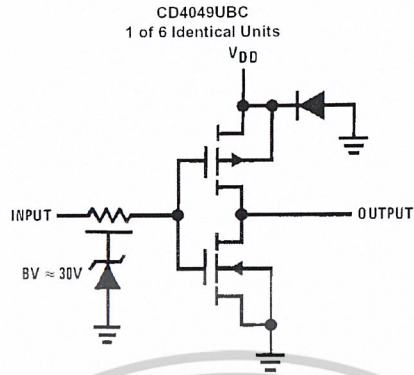
Pin Assignments for DIP



CD4049UBC • CD4050BC Hex Inverting Buffer • Hex Non-Inverting Buffer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schematic Diagrams



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 1)		Recommended Operating Conditions (Note 2)	
Supply Voltage ( $V_{DD}$ )	-0.5V to -18V	Supply Voltage ( $V_{DD}$ )	3V to 15V
Input Voltage ( $V_{IN}$ )	-0.5V to -18V	Input Voltage ( $V_{IN}$ )	0V to 15V
Voltage at Any Output Pin ( $V_{OUT}$ )	0.5V to $V_{DD} + 0.5V$	Voltage at Any Output Pin ( $V_{OUT}$ )	0 to $V_{DD}$
Storage Temperature Range ( $T_S$ )	-65°C to +150°C	Operating Temperature Range ( $T_A$ )	CD4049UBC, CD4050BC -40°C to +85°C
Power Dissipation ( $P_D$ )			
Dual-In-Line	700 mW		
Small Outline	500 mW		
Lead Temperature ( $T_L$ )			
(Soldering, 10 seconds)	260°C		

**Note 1:** "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed; they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

**Note 2:**  $V_{SS} = 0V$  unless otherwise specified.

### DC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	-40°C		-25°C		+85°C		Units	
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min		Max
$I_{DD}$	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V$		4		0.03	4.0		30	$\mu A$
		$V_{DD} = 10V$		8		0.05	8.0		60	$\mu A$
		$V_{DD} = 15V$		16		0.07	16.0		120	$\mu A$
$V_{OL}$	LOW Level Output Voltage	$V_{IH} = V_{DD}, V_{IL} = 0V,  I_{OL}  < 1 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 10V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 15V$		0.05		0	0.05		0.05	V
$V_{OH}$	HIGH Level Output Voltage	$V_{IH} = V_{DD}, V_{IL} = 0V,  I_{OH}  < 1 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V$		4.95		4.95	5		4.95	V
		$V_{DD} = 10V$		9.95		9.95	10		9.95	V
		$V_{DD} = 15V$		14.95		14.95	15		14.95	V
$V_{IL}$	LOW Level Input Voltage (CD4050BC Only)	$ I_{II}  < 1 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$		1.5		2.25	1.5		1.5	V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1V$		3.0		4.5	3.0		3.0	V
$V_{IL}$	LOW Level Input Voltage (CD4049UBC Only)	$ I_{II}  < 1 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V, V_O = 4.5V$		1.0		1.5	1.0		1.0	V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9V$		2.0		2.5	2.0		2.0	V
$V_{IH}$	HIGH Level Input Voltage (CD4050BC Only)	$ I_{II}  < 1 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V, V_O = 4.5V$		3.5		3.5	2.75		3.5	V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9V$		7.0		7.0	5.5		7.0	V
$V_{IH}$	HIGH Level Input Voltage (CD4049UBC Only)	$ I_{II}  < 1 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$		4.0		4.0	3.5		4.0	V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1V$		8.0		8.0	7.5		8.0	V
$I_{OL}$	LOW Level Output Current (Note 4)	$V_{IH} = V_{DD}, V_{IL} = 0V$								
		$V_{DD} = 5V, V_O = 0.4V$		4.6		4.0	5		3.2	mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 0.5V$		9.8		8.5	12		6.8	mA
$I_{OH}$	HIGH Level Output Current (Note 4)	$V_{IH} = V_{DD}, V_{IL} = 0V$								
		$V_{DD} = 5V, V_O = 4.6V$		-1.0		-0.9	-1.6		-0.72	mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9.5V$		-2.1		-1.9	-3.6		-1.5	mA
$I_{IN}$	Input Current	$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 0V$		-0.3		-0.3	-10 <sup>-5</sup>		-1.0	$\mu A$
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.3		0.3	10 <sup>-5</sup>		1.0	$\mu A$

**Note 3:**  $V_{SS} = 0V$  unless otherwise specified.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DC Electrical Characteristics** (Continued)

**Note 4:** These are peak output current capabilities. Continuous output current is rated at 12 mA maximum. The output current should not be allowed to exceed this value for extended periods of time.  $I_{OL}$  and  $I_{OH}$  are tested one output at a time.

**AC Electrical Characteristics** (Note 5)

CD4049UBC

 $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $C_L = 50\text{ pF}$ ,  $R_L = 200\text{ k}\Omega$ ,  $t_r = t_f = 20\text{ ns}$ , unless otherwise specified

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$t_{PHL}$	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level	$V_{DD} = 5\text{V}$		30	65	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		20	40	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		15	30	ns
$t_{PLH}$	Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level	$V_{DD} = 5\text{V}$		45	85	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		25	45	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		20	35	ns
$t_{THL}$	Transition Time HIGH-to-LOW Level	$V_{DD} = 5\text{V}$		30	60	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		20	40	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		15	30	ns
$t_{TLH}$	Transition Time LOW-to-HIGH Level	$V_{DD} = 5\text{V}$		60	120	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		30	55	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		25	45	ns
$C_{IN}$	Input Capacitance	Any Input		15	22.5	pF

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

**AC Electrical Characteristics** (Note 6)

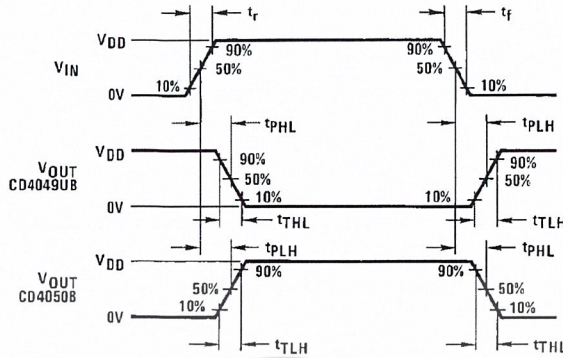
CD4050BC

 $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $C_L = 50\text{ pF}$ ,  $R_L = 200\text{ k}\Omega$ ,  $t_r = t_f = 20\text{ ns}$ , unless otherwise specified

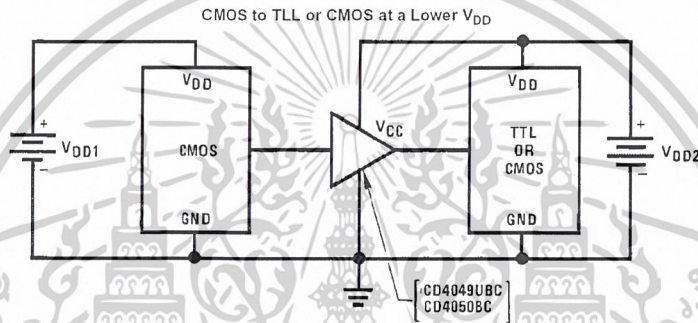
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$t_{PHL}$	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level	$V_{DD} = 5\text{V}$		60	110	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		25	55	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		20	30	ns
$t_{PLH}$	Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level	$V_{DD} = 5\text{V}$		90	120	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		30	55	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		25	45	ns
$t_{THL}$	Transition Time HIGH-to-LOW Level	$V_{DD} = 5\text{V}$		30	60	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		20	40	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		15	30	ns
$t_{TLH}$	Transition Time LOW-to-HIGH Level	$V_{DD} = 5\text{V}$		60	120	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		30	55	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		25	45	ns
$C_{IN}$	Input Capacitance	Any Input		5	7.5	pF

**Note 6:** AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

Switching Time Waveforms



Typical Applications

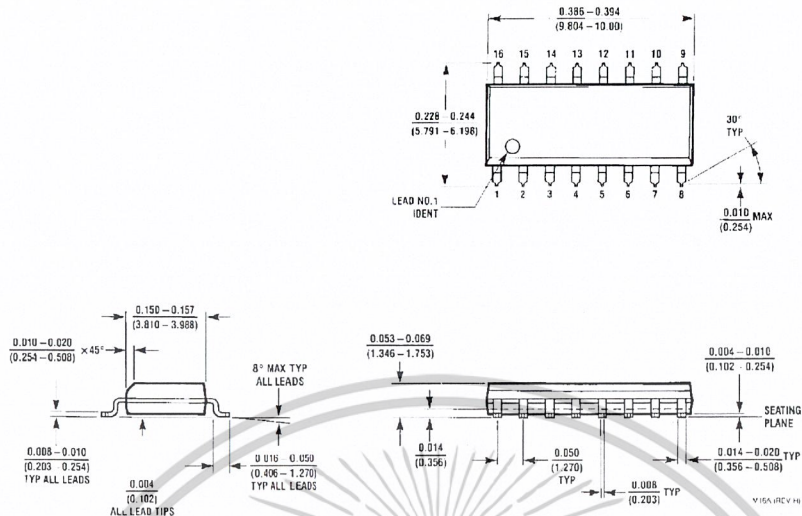


$V_{DD1} \geq V_{CC} \geq V_{DD2}$   
 In the case of the CD4049UBC the output drive capability increases with increasing input voltage.  
 E.g., if  $V_{DD1} = 10V$  the CD4049UBC could drive 4 TTL loads.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CD4049UBC • CD4050BC

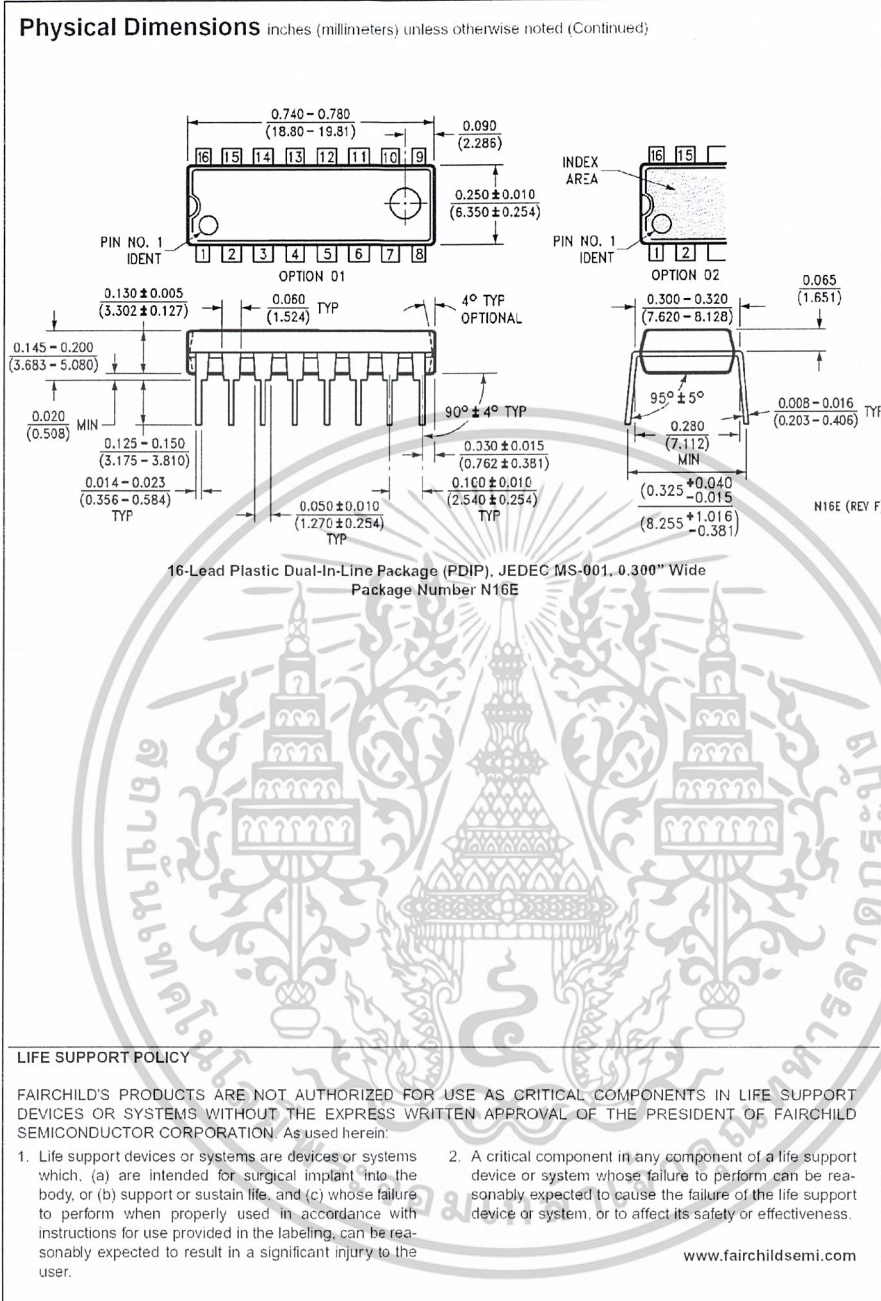
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow  
Package Number M16A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**IR2110/IR2113(S)**

**HIGH AND LOW SIDE DRIVER**

**Features**

- Floating channel designed for bootstrap operation  
Fully operational to +500V or +600V  
Tolerant to negative transient voltage  
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible  
Separate logic supply range from 3.3V to 20V  
Logic and power ground  $\pm 5V$  offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

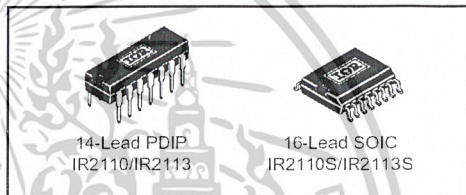
**Product Summary**

$V_{OFFSET}$ (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
$I_{O+/-}$	2A / 2A
$V_{OUT}$	10 - 20V
$t_{on/off}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

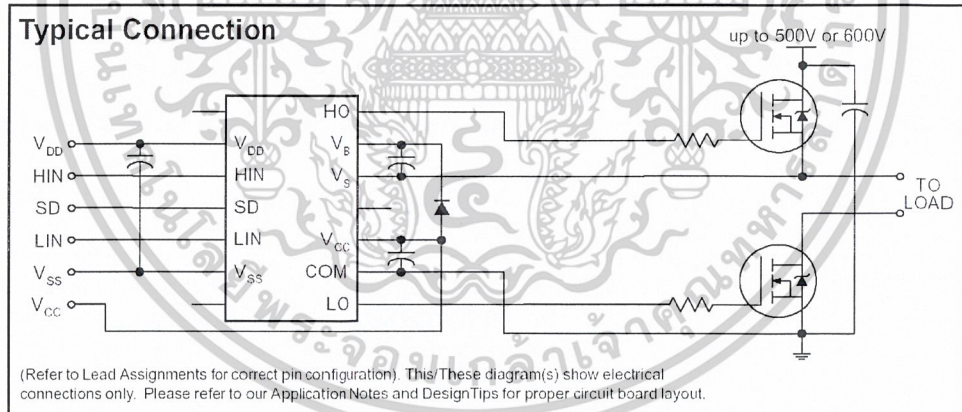
**Description**

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

**Packages**



**Typical Connection**



## IR2110/IR2113 (S)

International  
IR Rectifier

## Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V <sub>B</sub>	High side floating supply voltage (IR2110)	-0.3	525	V	
	(IR2113)	-0.3	625		
V <sub>S</sub>	High side floating supply offset voltage	V <sub>B</sub> - 25	V <sub>B</sub> + 0.3		
V <sub>HO</sub>	High side floating output voltage	V <sub>S</sub> - 0.3	V <sub>B</sub> + 0.3		
V <sub>CC</sub>	Low side fixed supply voltage	-0.3	25		
V <sub>LO</sub>	Low side output voltage	-0.3	V <sub>CC</sub> + 0.3		
V <sub>DD</sub>	Logic supply voltage	-0.3	V <sub>SS</sub> + 25		
V <sub>SS</sub>	Logic supply offset voltage	V <sub>CC</sub> - 25	V <sub>CC</sub> + 0.3		
V <sub>IN</sub>	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V <sub>SS</sub> - 0.3	V <sub>DD</sub> + 0.3		
dV <sub>S</sub> /dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50		V/ns
P <sub>D</sub>	Package power dissipation @ T <sub>A</sub> ≤ +25°C	(14 lead DIP)	—	1.6	W
		(16 lead SOIC)	—	1.25	
R <sub>THJA</sub>	Thermal resistance, junction to ambient	(14 lead DIP)	—	75	°C/W
		(16 lead SOIC)	—	100	
T <sub>J</sub>	Junction temperature	—	150	°C	
T <sub>S</sub>	Storage temperature	-55	150		
T <sub>L</sub>	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300		

## Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V<sub>S</sub> and V<sub>SS</sub> offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V <sub>B</sub>	High side floating supply absolute voltage	V <sub>S</sub> + 10	V <sub>S</sub> + 20	V	
V <sub>S</sub>	High side floating supply offset voltage	(IR2110)	Note 1		500
		(IR2113)	Note 1		600
V <sub>HO</sub>	High side floating output voltage	V <sub>S</sub>	V <sub>B</sub>		
V <sub>CC</sub>	Low side fixed supply voltage	10	20		
V <sub>LO</sub>	Low side output voltage	0	V <sub>CC</sub>		
V <sub>DD</sub>	Logic supply voltage	V <sub>SS</sub> + 3	V <sub>SS</sub> + 20		
V <sub>SS</sub>	Logic supply offset voltage	-5 (Note 2)	5		
V <sub>IN</sub>	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V <sub>SS</sub>	V <sub>DD</sub>		
T <sub>A</sub>	Ambient temperature	-40	125	°C	

Note 1: Logic operational for V<sub>S</sub> of -4 to +500V. Logic state held for V<sub>S</sub> of -4V to -V<sub>B</sub>. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

Note 2: When V<sub>DD</sub> < 5V, the minimum V<sub>SS</sub> offset is limited to -V<sub>DD</sub>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Dynamic Electrical Characteristics

$V_{BIAS}$  ( $V_{CC}$ ,  $V_{BS}$ ,  $V_{DD}$ ) = 15V,  $C_L$  = 1000 pF,  $T_A$  = 25°C and  $V_{SS}$  = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$t_{on}$	Turn-on propagation delay	7	—	120	150	ns	$V_S = 0V$
$t_{off}$	Turn-off propagation delay	8	—	94	125		$V_S = 500V/600V$
$t_{sd}$	Shutdown propagation delay	9	—	110	140		$V_S = 500V/600V$
$t_r$	Turn-on rise time	10	—	25	35		
$t_f$	Turn-off fall time	11	—	17	25		
MT	Delay matching, HS & LS turn-on/off	(IR2110) (IR2113)	—	—	—		10 20

### Static Electrical Characteristics

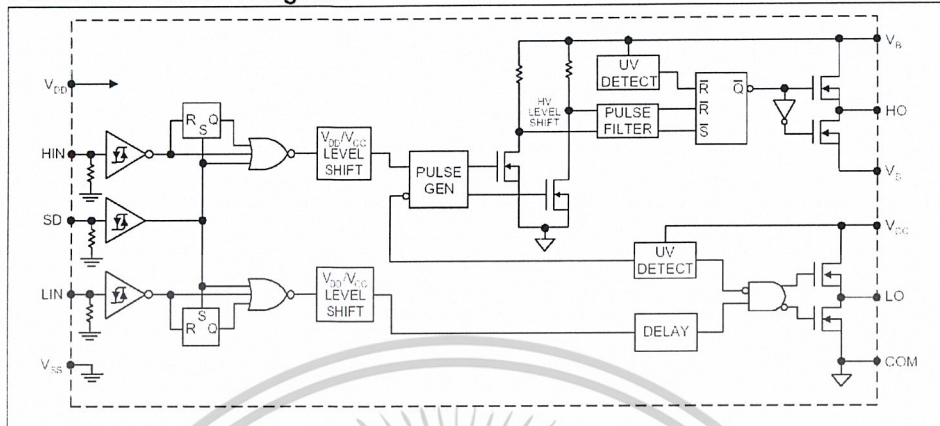
$V_{BIAS}$  ( $V_{CC}$ ,  $V_{BS}$ ,  $V_{DD}$ ) = 15V,  $T_A$  = 25°C and  $V_{SS}$  = COM unless otherwise specified. The  $V_{IH}$ ,  $V_{TH}$  and  $I_{IN}$  parameters are referenced to  $V_{SS}$  and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The  $V_O$  and  $I_O$  parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{IH}$	Logic "1" input voltage	12	9.5	—	—	V	
$V_{IL}$	Logic "0" input voltage	13	—	—	6.0		
$V_{OH}$	High level output voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	1.2		$I_O = 0A$
$V_{OL}$	Low level output voltage, $V_O$	15	—	—	0.1		$I_O = 0A$
$I_{LK}$	Offset supply leakage current	16	—	—	50	μA	$V_B = V_S = 500V/600V$
$I_{OBS}$	Quiescent $V_{BS}$ supply current	17	—	125	230		$V_{IN} = 0V$ or $V_{DD}$
$I_{OCC}$	Quiescent $V_{CC}$ supply current	18	—	180	340	μA	$V_{IN} = 0V$ or $V_{DD}$
$I_{ODD}$	Quiescent $V_{DD}$ supply current	19	—	15	30		$V_{IN} = 0V$ or $V_{DD}$
$I_{IN+}$	Logic "1" input bias current	20	—	20	40	μA	$V_{IN} = V_{DD}$
$I_{IN-}$	Logic "0" input bias current	21	—	—	1.0		$V_{IN} = 0V$
$V_{BSUV+}$	$V_{BS}$ supply undervoltage positive going threshold	22	7.5	8.6	9.7	V	
$V_{BSUV-}$	$V_{BS}$ supply undervoltage negative going threshold	23	7.0	8.2	9.4		
$V_{CCUV+}$	$V_{CC}$ supply undervoltage positive going threshold	24	7.4	8.5	9.6		
$V_{CCUV-}$	$V_{CC}$ supply undervoltage negative going threshold	25	7.0	8.2	9.4		
$I_{O+}$	Output high short circuit pulsed current	26	2.0	2.5	—	A	$V_O = 0V$ , $V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu s$
$I_{O-}$	Output low short circuit pulsed current	27	2.0	2.5	—		$V_O = 15V$ , $V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$

# IR2110/IR2113 (S)

International  
IR Rectifier

## Functional Block Diagram



## Lead Definitions

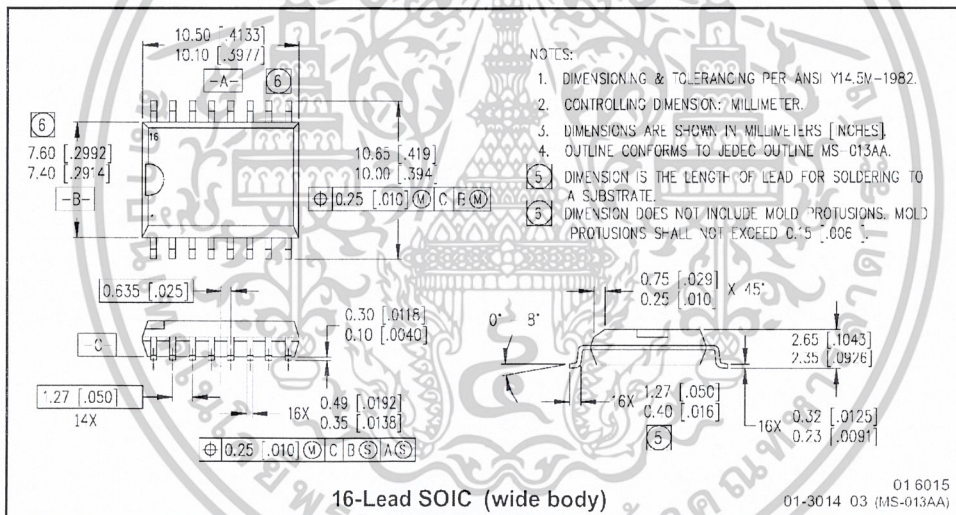
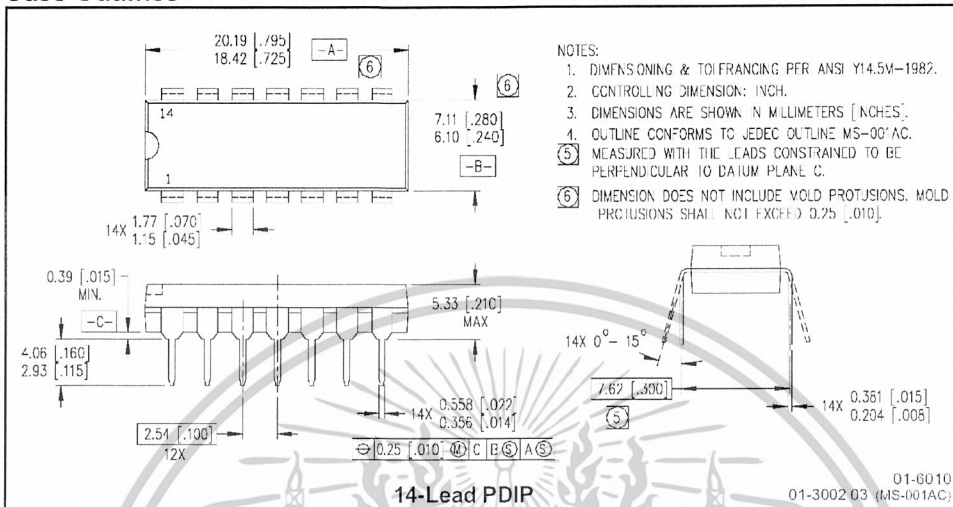
Symbol	Description
V <sub>DD</sub>	Logic supply
HIN	Logic input for high side gate driver output (HO), in phase
SD	Logic input for shutdown
LIN	Logic input for low side gate driver output (LO), in phase
V <sub>SS</sub>	Logic ground
V <sub>B</sub>	High side floating supply
HO	High side gate drive output
V <sub>S</sub>	High side floating supply return
V <sub>CC</sub>	Low side supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return

## Lead Assignments

<p>14 Lead PDIP</p>	<p>16 Lead SOIC (Wide Body)</p>
<b>IR2110/IR2113</b>	<b>IR2110S/IR2113S</b>
<b>Part Number</b>	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Case Outlines



WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245 Tel: (310) 252-7105  
<http://www.irf.com/> Data and specifications subject to change without notice. 3/25/2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International  
**IR** Rectifier

SMPS MOSFET

IRFP450A

PD -91884

HEXFET® Power MOSFET

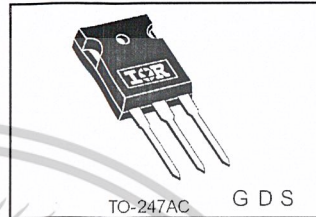
#### Applications

- Switch Mode Power Supply ( SMPS )
- Uninterruptable Power Supply
- High speed power switching

V <sub>DSS</sub>	R <sub>ds(on)</sub> max	I <sub>D</sub>
500V	0.40Ω	14A

#### Benefits

- Low Gate Charge Q<sub>g</sub> results in Simple Drive Requirement
- Improved Gate, Avalanche and Dynamic dv/dt Ruggedness
- Fully Characterized Capacitance and Avalanche Voltage and Current
- Effective Coss Specified ( See AN 1001)



#### Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
I <sub>D</sub> @ T <sub>C</sub> = 25°C	Continuous Drain Current, V <sub>GS</sub> @ 10V	14	A
I <sub>D</sub> @ T <sub>C</sub> = 100°C	Continuous Drain Current, V <sub>GS</sub> @ 10V	8.7	
I <sub>DM</sub>	Pulsed Drain Current ①	56	
P <sub>D</sub> @ T <sub>C</sub> = 25°C	Power Dissipation	190	W
	Linear Derating Factor	1.5	W/°C
V <sub>GS</sub>	Gate-to-Source Voltage	± 30	V
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ②	4.1	V/ns
T <sub>J</sub>	Operating Junction and	-55 to + 150	°C
T <sub>STG</sub>	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case )	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf-in (1.1N·m)	

#### Typical SMPS Topologies:

- Two Transistor Forward
- Half Bridge, Full Bridge
- PFC Boost

Notes ① through ⑤ are on page 8

www.irf.com

1

6/23/99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## IRFP450A

Static @  $T_J = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise specified)International  
IGR Rectifier

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.58	—	V/ $^\circ\text{C}$	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1\text{mA}$ ⑤
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.40	$\Omega$	$V_{GS} = 10V, I_D = 8.4A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	$\mu A$	$V_{DS} = 500V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 400V, V_{GS} = 0V, T_J = 125^\circ\text{C}$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 30V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -30V$

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

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$g_{fs}$	Forward Transconductance	7.8	—	—	S	$V_{DS} = 50V, I_D = 8.4A$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	—	64	nC	$I_D = 14A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	—	16		$V_{DS} = 400V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	26		$V_{GS} = 10V$ , See Fig. 6 and 13 ④
$t_{(on)}$	Turn-On Delay Time	—	15	—	ns	$V_{DD} = 250V$
$t_r$	Rise Time	—	36	—		$I_D = 14A$
$t_{(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	35	—		$R_G = 6.2\Omega$
$t_f$	Fall Time	—	29	—		$R_D = 17\Omega$ , See Fig. 10 ④
$C_{iss}$	Input Capacitance	—	2038	—	pF	$V_{GS} = 0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	307	—		$V_{DS} = 25V$
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	—	10	—	pF	$f = 1.0\text{MHz}$ , See Fig. 5
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	2859	—		$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 1.0V, f = 1.0\text{MHz}$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	81	—		$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 400V, f = 1.0\text{MHz}$
$C_{oss, eff.}$	Effective Output Capacitance	—	96	—		$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 0V$ to $400V$ ⑤


## Avalanche Characteristics

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy ②	—	760	mJ
$I_{AR}$	Avalanche Current ①	—	14	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy ①	—	19	mJ

## Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.65	$^\circ\text{C}/\text{W}$
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	40	

## Diode Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$I_S$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	14	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
$I_{SM}$	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	56		
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	—	1.4	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 14A, V_{GS} = 0V$ ④
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	487	731	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 14A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	3.9	5.8	$\mu\text{C}$	$di/dt = 100A/\mu\text{s}$ ④
$t_{on}$	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S + L_D$ )				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

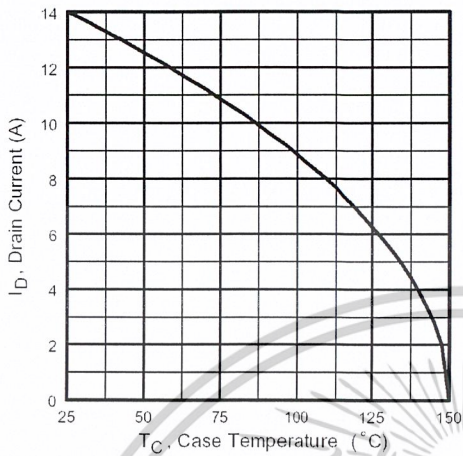


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

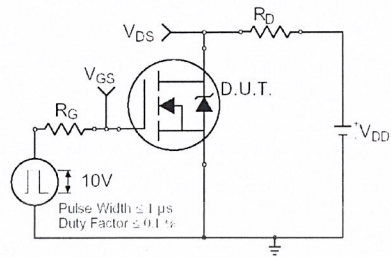


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

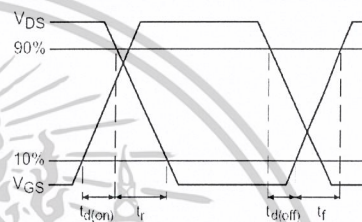


Fig 10b. Switching Time Waveforms

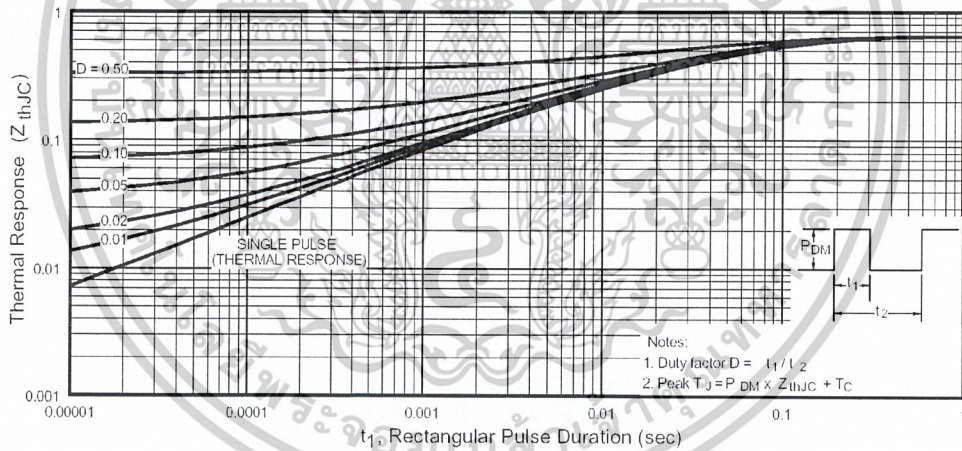


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# IRFP450A

International  
**IR** Rectifier

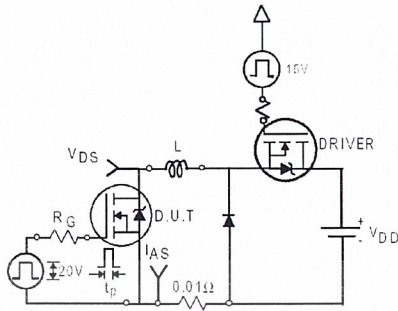


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

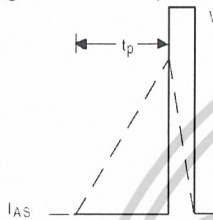


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

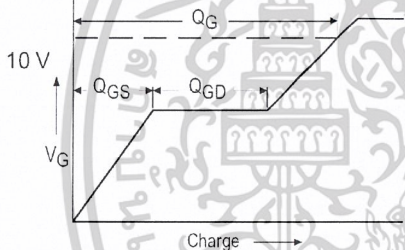


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

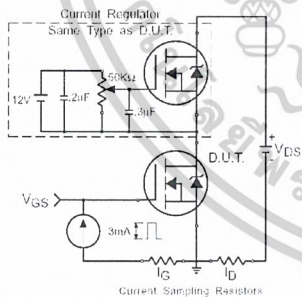


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

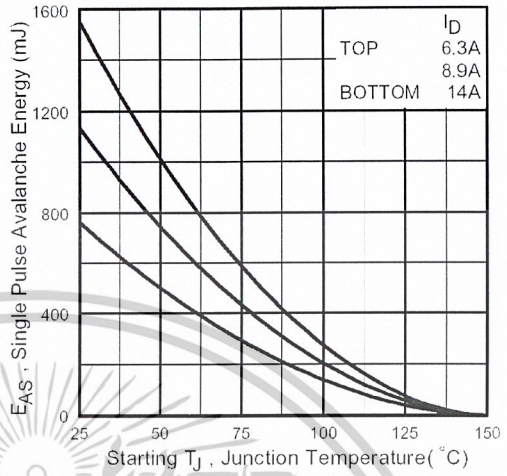


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

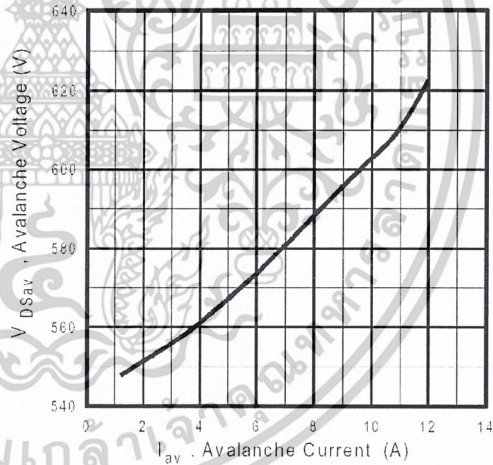


Fig 12d. Typical Drain-to-Source Voltage Vs. Avalanche Current

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit

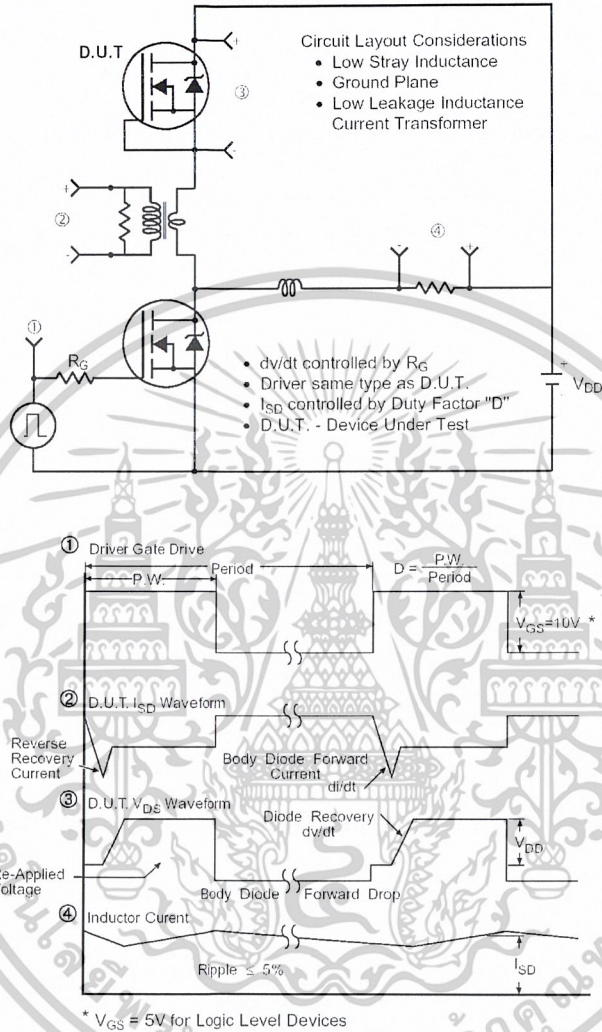


Fig 14. For N-Channel HEXFETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

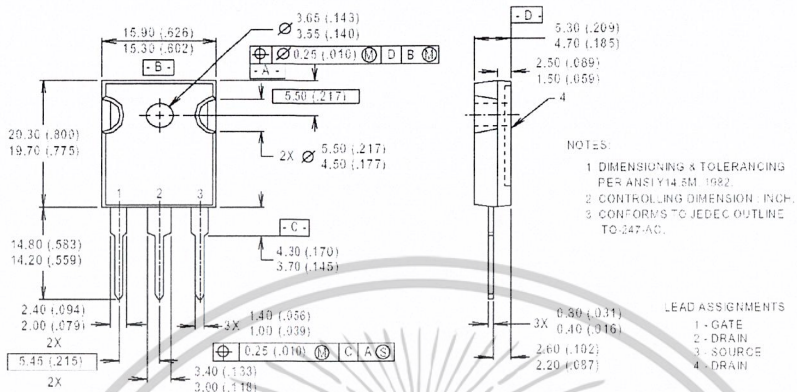
# IRFP450A

International  
**IR** Rectifier

## Package Outline

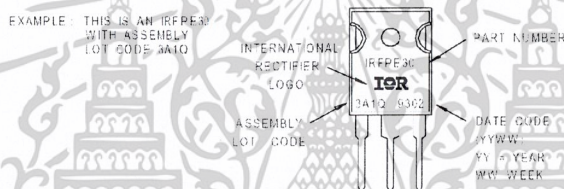
### TO-247AC Outline

Dimensions are shown in millimeters (inches)



## Part Marking Information

### TO-247AC



**Notes:**

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. ( See fig. 11 )
- ② Starting  $T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $L = 7.8\text{mH}$   
 $R_G = 25\Omega$ ,  $I_{AS} = 14\text{A}$ . (See Figure 12)
- ③  $I_{SD} \leq 14\text{A}$ ,  $di/dt \leq 130\text{A}/\mu\text{s}$ ,  $V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$ ,  
 $T_J \leq 150^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width  $\leq 300\mu\text{s}$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .
- ⑤  $C_{oss}$  eff. is a fixed capacitance that gives the same charging time as  $C_{oss}$  while  $V_{DS}$  is rising from 0 to 80%  $V_{DSS}$

International  
**IR** Rectifier

**WORLD HEADQUARTERS:** 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, Tel: (310) 322 3331  
**IR GREAT BRITAIN:** Hurst Green, Oxted, Surrey RH8 9BB, UK Tel: ++ 44 1883 732020  
**IR CANADA:** 15 Lincoln Court, Brampton, Ontario L6T3Z2, Tel: (905) 453 2200  
**IR GERMANY:** Saalburgstrasse 157, 61350 Bad Homburg Tel: ++ 49 6172 96590  
**IR ITALY:** Via Liguria 49, 10071 Borgaro, Torino Tel: ++ 39 11 451 0111  
**IR FAR EAST:** K&H Bldg., 2F, 30-4 Nishi-Ikebukuro 3-Chome, Toshima-Ku, Tokyo Japan 171 Tel: 81 3 3983 0086  
**IR SOUTHEAST ASIA:** 1 Kim Seng Promenade, Great World City West Tower, 13-11, Singapore 237994 Tel: ++ 65 838 4630  
**IR TAIWAN:** 16 Fl. Suite D, 207, Sec. 2, Tun Haw South Road, Taipei, 10673, Taiwan Tel: 886-2-2377-9936  
<http://www.irf.com/> Data and specifications subject to change without notice. 6/99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# TL494

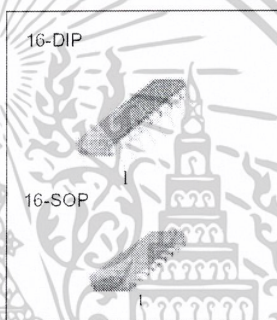
## SMPS Controller

### Features

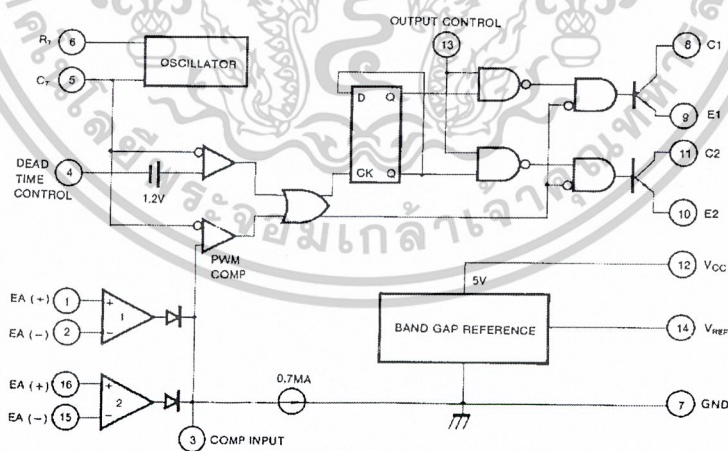
- Internal regulator provides a stable 5V reference supply trimmed to 5%
- Uncommitted output TR for 200mA sink or source current
- Output control for push-pull or single-ended operation
- Variable duty cycle by dead time control (pin 4) Complete PWM control circuit
- On-chip oscillator with master or slave operation
- Internal circuit prohibits double pulse at either output

### Description

The TL494 is used for the control circuit of the PWM switching regulator. The TL494 consists of 5V reference voltage circuit, two error amplifiers, flip flop, an output control circuit, a PWM comparator, a dead time comparator and an oscillator. This device can be operated in the switching frequency of 1 KHz to 300 KHz.



### Internal Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

**Absolute Maximum Ratings**

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	VCC	42	V
Collector Supply Voltage	Vc	42	V
Output Current	Io	250	mA
Amplifier Input Voltage	VIN	VCC + 0.3	V
Power Dissipation (TA = 25°C)	PD	1 (TL494CN) 0.9 (TL494CD)	W
Operating Temperature Range	TOPR	0 ~ +70	°C
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ + 150	°C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics

( $V_{CC} = 20V$ ,  $f = 10KHz$ ,  $T_A = 0^{\circ}C$  to  $+70^{\circ}C$ , unless otherwise specified)

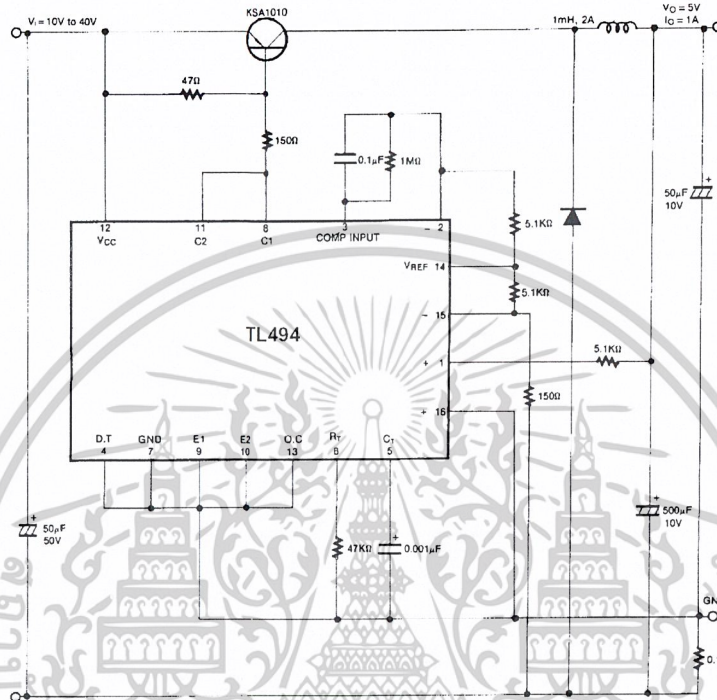
Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
<b>REFERENCE SECTION</b>						
Reference Output Voltage	$V_{REF}$	$I_{REF} = 1mA$	4.75	5.0	5.25	V
Line Regulation	$\Delta V_{REF}$	$V_{CC} = 7V$ to $40V$	-	2.0	25	mV
Temperature Coefficient of $V_{REF}$	$\Delta V_{REF}/\Delta T$	$T_A = 0^{\circ}C$ to $70^{\circ}C$	-	0.01	0.03	%/ $^{\circ}C$
Load Regulation	$\Delta V_{REF}$	$I_{REF} = 1mA$ to $10mA$	-	1.0	15	mV
Short-Circuit Output Current	$I_{SC}$	$V_{REF} = 0V$	10	35	50	mA
<b>OSCILLATOR SECTION</b>						
Oscillation Frequency	f	$C_T = 0.01\mu F$ , $R_T = 12K\Omega$	-	10	-	KHz
Frequency Change with Temperature	$\Delta f/\Delta T$	$C_T = 0.01\mu F$ , $R_T = 12K\Omega$	-	-	2	%
<b>DEAD TIME CONTROL SECTION</b>						
Input Bias Current	$I_{BIAS}$	$V_{CC} = 15V$ , $0V \leq V_4 \leq 5.25V$	-	-2.0	-10	$\mu A$
Maximum Duty Cycle	$D_{(MAX)}$	$V_{CC} = 15V$ , $V_4 = 0V$ $O.C Pin = V_{REF}$	45	-	-	%
Input Threshold Voltage	$V_{ITH}$	Zero Duty Cycle	-	3.0	3.3	V
		Max. Duty Cycle	0	-	-	
<b>ERROR AMP SECTION</b>						
Input Offset Voltage	$V_{IO}$	$V_3 = 2.5V$	-	2.0	10	mV
Input Offset Current	$I_{IO}$	$V_3 = 2.5V$	-	25	250	mA
Input Bias Current	$I_{BIAS}$	$V_3 = 2.5V$	-	0.2	1.0	$\mu A$
Common Mode Input Voltage	$V_{CM}$	$7V \leq V_{CC} \leq 40V$	-0.3	-	$V_{CC}$	V
Open-Loop Voltage Gain	$G_{VO}$	$0.5V \leq V_3 \leq 3.5V$	70	95	-	dB
Unit-Gain Bandwidth	BW	-	-	650	-	KHz
<b>PWM COMPARATOR SECTION</b>						
Input Threshold Voltage	$V_{ITH}$	Zero Duty Cycle	-	4	4.5	V
Input Sink Current	$I_{SINK}$	$V_3 = 0.7V$	-0.3	-0.7	-	mV
<b>OUTPUT SECTION</b>						
Output Saturation Voltage Common Emitter	$V_{CE(SAT)}$	$V_E = 0$ , $I_C = 200mA$	-	1.1	1.3	V
Common Collector	$V_{CC(SAT)}$	$V_C = 15V$ , $I_E = -200mA$	-	1.5	2.5	
Collector Off-State Current	$I_C(OFF)$	$V_{CC} = 40V$ , $V_{CE} = 40V$	-	2	100	$\mu A$
Emitter Off-State Current	$I_E(OFF)$	$V_{CC} = V_C = 40V$ , $V_E = 0$	-	-	-100	
<b>TOTAL DEVICE</b>						
Supply Current	$I_{CC}$	$Pin 6 = V_{REF}$ , $V_{CC} = 15V$	-	6	10	mA
<b>OUTPUT SWITCHING CHARACTERISTIC</b>						
Rise Time	$t_R$	-	-	-	-	ns
Common Emitter	-	-	-	100	200	
Common Collector	-	-	-	100	200	ns
Fall Time	$t_F$	-	-	-	-	
Common Emitter	-	-	-	25	100	ns
Common Collector	-	-	-	40	100	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

## Typical Application

### Pulse Width Modulated Step-down Converter

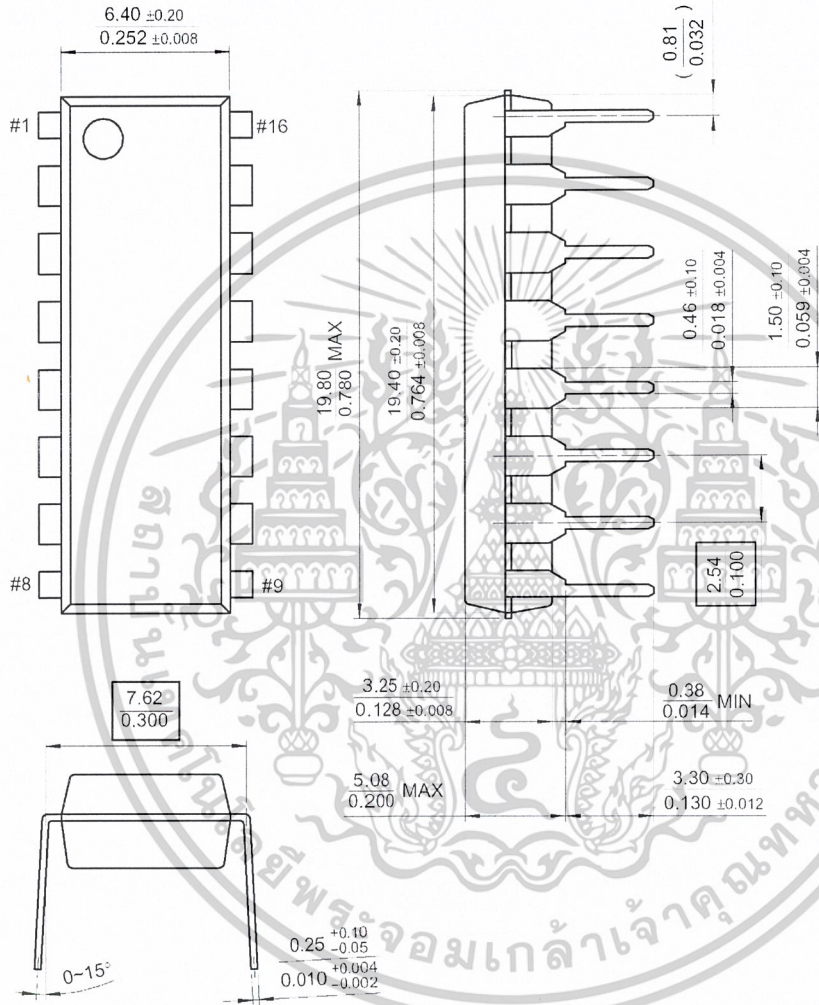


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mechanical Dimensions

Package

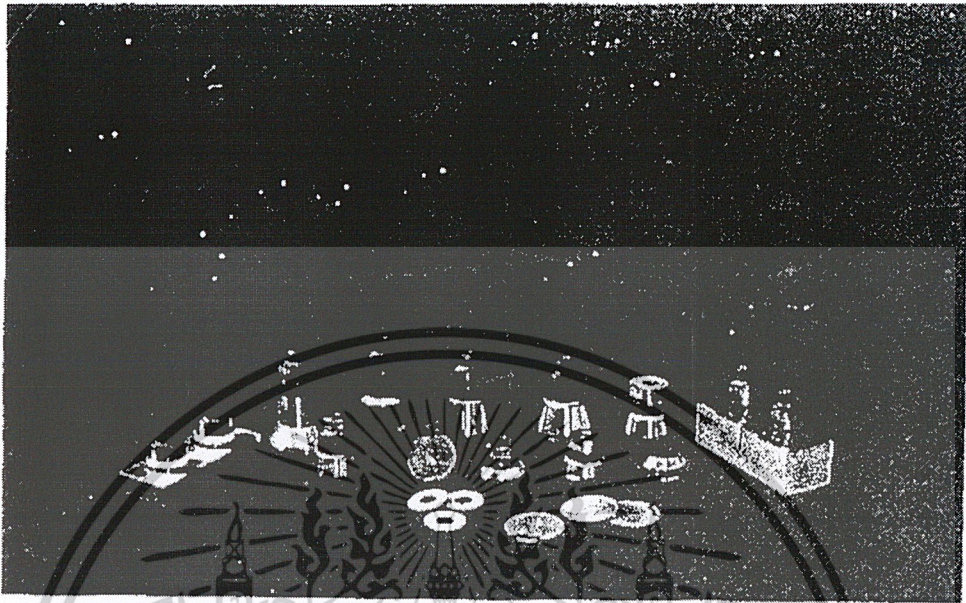
16-DIP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ULTRASONIC TRANSDUCER FOR CLEANING



## ◆ FEATURES

- IBL have highest mechanical quality factor, which lead minimum heat loss.
- Lower impedance leads lower driving voltage.
- Most stable and durable under severe working environment and temperature variation.
- For anti-corrosion, almost parts consist of stainless steel or high grade of aluminium.

## ◆ 特 性

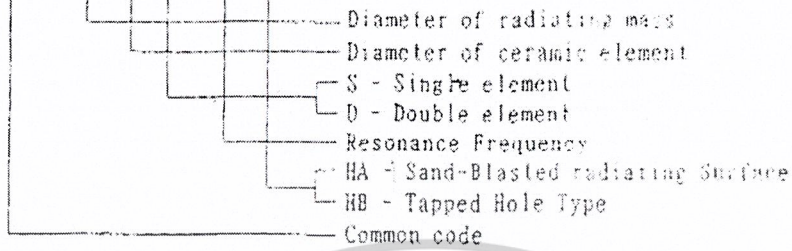
- 機械的 強度가 우수한 特殊壓電세라믹을 使用하여 長期間 사용해도 세라믹이 破損되는 일이 적다.
- 우수한 조립기술을 채택하여 電氣變換效率이 높고 機械的 品質係數(Qm)가 매우 탁월하다.
- 共振抵抗이 낮아서 驅動電壓을 낮출 수 있다.
- 내식성을 爲하여 大部分의 部品을 스텐레스와 고급 알루미늄을 채택하였다.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

◆ 製品分類方法 (PRODUCT CODE)

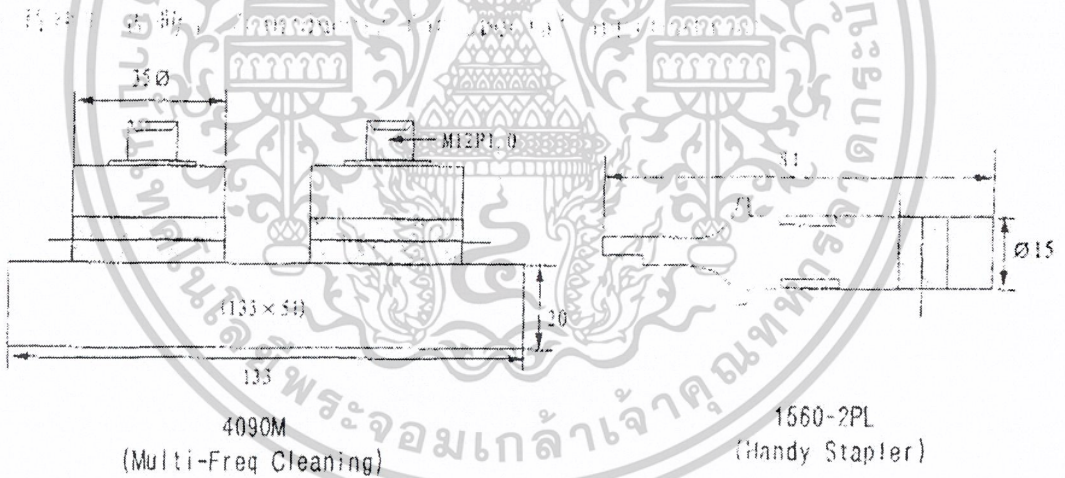
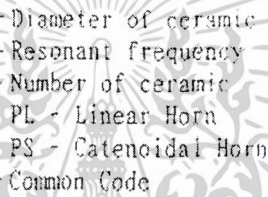
◆ CLEANING

IBL - 45 35 D - 28 HA



◆ WELDING

IBL 70 15 - 4 PL

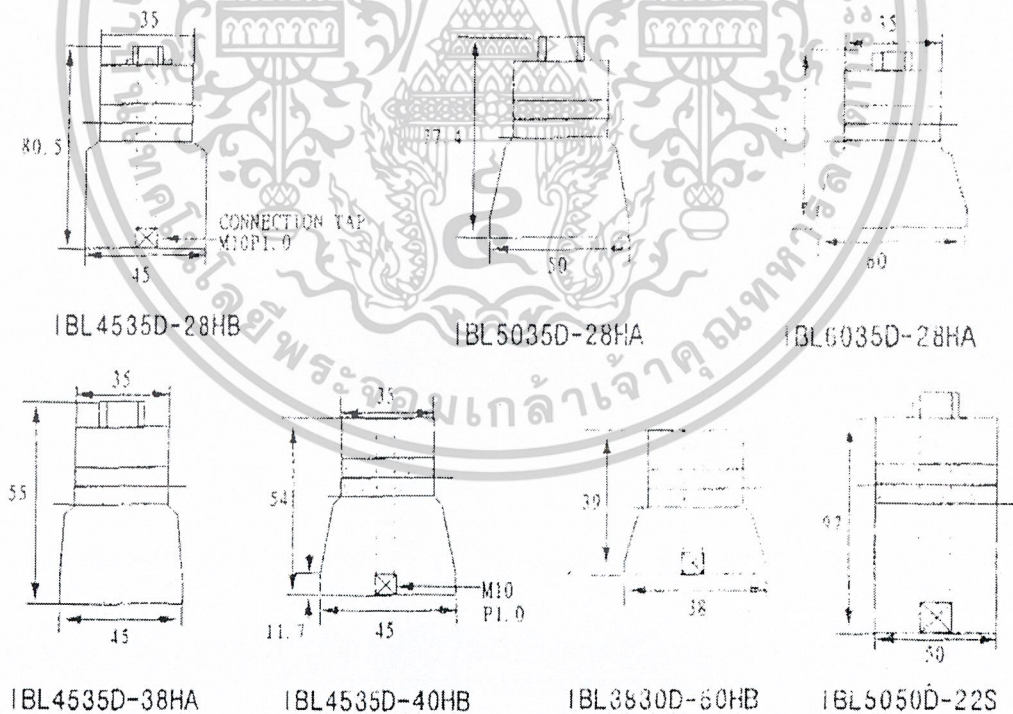


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

◆ SPECIFICATION

規格 SPECIFICATION	單位 UNIT	4535D -28HA -28HB	5035D -28HA	6035D -28HA	4535D -38HA	4535D -40HA -40HB	3830D -60HB	5050D -22S
共振周波數 RESONANCE FREQUENCY	kHz	28 ± 0.8	28 ± 0.8	28 ± 0.8	38 ± 1.0	40 ± 1.2	50 ± 1.2	22 ± 0.5
共振抵抗 RESONANCE IMPEDANCE	Max ohm	30	30	30	40	45	50	30
靜電容量 STATIC CAPACITANCE	pF	Standard type : 4000pF ± 7% Lower type : 3500pF ± 7%					2,400	6,000
放射面直徑 DIAMETER OF RADIATING SURFACE	mm	45	50	60	45	45	38	50
全長 TOTAL LENGTH	mm	70	77	71	57	54	39	97
最大許用入力 MAX OPERATING POWER	watt	70	70	70	70	70	50	200

◆ SCHEMATIC DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล นางสาวจิระภา จันทรขนิษฐ  
 วัน เดือน ปีเกิด 15 ตุลาคม พ.ศ. 2524  
 ภูมิลำเนา 170/1 ม. 1 ต.ชะมวง อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง 93110  
 โทรศัพท์ 0-6539-4523

ประวัติการศึกษา  
 ประถมศึกษา โรงเรียนวัดพิศุทธอง จังหวัดพัทลุง  
 มัธยมศึกษา โรงเรียนควนขนุน จังหวัดพัทลุง  
 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยการอาชีพบางแก้ว  
 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่  
 ปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
 ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.  
 กติพจน์ ทั่วไป แต่อย่าถอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



**ชื่อ-สกุล** นายนิพัฒน์ จันทศรี  
**วัน เดือน ปีเกิด** 3 มีนาคม พ.ศ. 2524  
**ภูมิลำเนา** 134 ม. 1 ต. ระโนด อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90140  
**โทรศัพท์** 0-6628-6337

**ประวัติการศึกษา**  
**ประถมศึกษา** โรงเรียนชุมชนวัดสามป่อ จังหวัดสงขลา  
**มัธยมศึกษา** โรงเรียนสามป่อวิทยา จังหวัดสงขลา  
**ประกาศนียบัตรวิชาชีพ** วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่  
**ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง** วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่  
**ปริญญาตรี** สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
 ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

**คติพจน์** คนเราอาจมีอะไรไม่เท่ากัน แต่ที่เท่ากันคือเวลา จงใช้มันอย่าง  
 คุ่มค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล	นายเสกสรร ชะนะ
วัน เดือน ปีเกิด	12 พฤษภาคม พ.ศ. 2523
ภูมิลำเนา	26 ม. 4 ต. พะวง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90100 โทรศัพท์ 0-6503-4015
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านดอนจี่เหล็ก จังหวัดสงขลา
มัธยมศึกษา	โรงเรียนนวมินทราชูทิศ ทักษิณ จังหวัดสงขลา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
คติพจน์	ตนเป็นที่พึ่งแห่งตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล	นายเอกราช นิลรัตน์
วัน เดือน ปีเกิด	20 พฤษภาคม พ.ศ. 2524
ภูมิลำเนา	59/12 ถ. กาญจนวนิช ต. เขารูปช้าง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90100 โทรศัพท์ 0-9156-7483
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนกลับเพชรศึกษา จังหวัดสงขลา
มัธยมศึกษา	โรงเรียนนวมินทราชูทิศ ทักษิณ จังหวัดสงขลา
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	โรงเรียนสงขลาเทคโนโลยี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
คติพจน์	คนเรามีความพยายามเท่ากันแต่ใช้ไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้