

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

**เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิก**

**Ultrasonic Cleaning Machine**



**ปริญญาโทนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต**

**สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**ปีการศึกษา 2550**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิก  
Ultrasonic Cleaning Machine

ผู้จัดทำ นายณัฐพงษ์ ทองโถม 48015286  
นายสุชาติ ลอยพริ้ง 48045315  
นายเอกชัย เปรมาวิน 48015322



.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รศ.ดร. วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เรื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุตราโซนิก

โดย

นายณัฐพงษ์	ทองโถม	48015286
นายสุชาติ	ลอยพริ้ง	48015315
นายเอกชัย	เปรมาวิน	48015322

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วรพงศ์

ตั้งศรีรัตน์

ปีการศึกษา 2550

## บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเรื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุตราโซนิก ซึ่งเป็นการนำคุณสมบัติของคลื่นอุตราโซนิกที่มีความถี่เหนือเสียงมาประยุกต์ใช้ในงานด้านการล้างอุปกรณ์ขนาดเล็ก เช่น แว่นตา หัวปากกา เป็นต้น โดยคลื่นอุตราโซนิกที่ใช้จะมีความถี่ประมาณ 28 kHz ความถี่ขณะนี้นั้นมากกว่าคลื่นเสียงที่มนุษย์ได้ยินแต่ต่ำกว่าคลื่นวิทยุ การออกแบบวงจรเพื่อสร้างคลื่นอุตราโซนิกที่เป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งจะประกอบด้วยวงจรถูกกำเนิดความถี่ขนาด 28 kHz โดยคลื่นความถี่ที่ได้นี้จะถูกส่งผ่านไปยังวงจรขับเกทเพื่อขยายสัญญาณให้มีแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น เพื่อนำไปขับมอสเฟตกำลังซึ่งต่อแบบฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ โดยสัญญาณที่ได้จะมีความถี่ 28 kHz จากนั้นสัญญาณนี้จะถูกส่งไปยังทรานส์มิชชันเพื่อเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานต้นสะเทือนทางกลเพื่อสร้างคลื่นอุตราโซนิกออกมา คลื่นนี้จะทำให้น้ำยาเกิดการสั่นสะเทือนทางกลจนอนุภาคที่เกาะติดตามอุปกรณ์นั้นๆหลุดออกมา นอกจากนี้ยังมีตัวทำความร้อนและชุดควบคุมอุณหภูมิโดยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความสะอาดให้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ULTRASONIC CLEANING MACHINE

By

Nuttapong      Thongchom      48015286

Suchart      Loypring      48015315

Eakachai      Parunawin      48015322

Thesis Advisor

Assoc. Prof. Dr. Worapong      Tangsrirat

Academic Year 2007

## ABSTRACT

This project presents an application of ultrasonic wave, in which its property is applied to invent a cleaning machine that can be used to clean small objects such as glasses, pen head, etc. The frequency of ultrasonic wave approximately 28 kHz, which is higher than sound wave but lower than radio wave. The designed circuit consists of than oscillator circuit to generate the wave with the frequency of 28 kHz frequency into mechanical vibration. This vibration produces the ultrasonic wave to shack the solution until the dirty particle became detached. Moreover, a heater is included to increase the efficiency of cleaning

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความเมตตาเป็นอย่างสูงจาก รศ.ดร.วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และความช่วยเหลืออื่นๆ แก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ อันเป็นประโยชน์ต่อการทำโครงงานนี้อย่างมาก ตลอดจนการเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำโครงงานครั้งนี้

ขอขอบคุณ เพื่อนๆที่ๆ ทุกคนที่อยู่เคียงข้างกันมาเสมอ และที่ลืมไม่ได้คือ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่รักยิ่ง ที่ให้การสนับสนุนผู้จัดทำในทุกๆ ด้าน และเป็นกำลังใจตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

นายณัฐพงษ์ ทองโคม

นายสุชาติ สอยพริ้ง

นายเอกชัย เปรุณาวิน

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT .....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	1
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการของการความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิค</b> .....	4
2.1 ทฤษฎีคลื่นอุลตราโซนิค.....	4
2.1.1 นิยามและความหมายของคลื่นอุลตราโซนิค.....	4
2.1.2 ทฤษฎีคลื่น.....	4
2.1.3 ธรรมชาติของเสียง.....	5
2.2 การใช้คลื่นอุลตราโซนิคทำความสะอาด.....	6
2.2.1 กระบวนการควิเทชั่นและอิมโพชั่น.....	6
2.2.2 ประโยชน์ของคลื่นอุลตราโซนิคในการทำความสะอาด.....	7
2.2.3 Important of Minimizing Dissolved Gas.....	9
2.2.4 ความเร็วคลื่นอุลตราโซนิคในการทำความสะอาดโดยการทำละลาย.....	10
2.2.5 สิ่งสกปรกเชิงซ้อน.....	10
2.2.6 A Superior Process.....	11
2.2.7 ประสิทธิภาพของการทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิค.....	11
2.2.8 ข้อดีและข้อเสียของการทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิค.....	13
2.3 อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์.....	13
2.3.1 นิยาม.....	13
2.3.2 คุณสมบัติทั่วไปของทรานสดิวเซอร์.....	15
2.3.3 คุณสมบัติทางความถี่ของทรานสดิวเซอร์.....	16
2.3.4 เปีโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์.....	16
2.3.5 เปีโซอิเล็กทริกเอฟเฟค.....	17
2.4 ไคโอค , ซีเนอร์ไคโอค , เพาเวอร์มอสเฟต และออปโตไคโอเลเตอร์.....	18

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1 ไตโอด.....	18
2.4.2 ซีเนอร์ไตโอด.....	19
2.4.3 เพาเวอร์มอสเฟต.....	22
2.4.4 ออปได้อิโซเลเตอร์ .....	35
2.5 ชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์.....	36
2.5.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) .....	36
2.5.2 ไอซี DS1820.....	37
2.5.3 จอ LCD (Liquid Crystal Display) .....	39
2.5.4 คีย์แพด หรือ สวิตช์เมตริก 4x3 จุด.....	42
<b>บทที่ 3 เครื่องทำความสะดวกด้วยคลื่นอุลตราโซนิค.....</b>	<b>44</b>
3.1 หลักการทำงานของโครงการ.....	44
3.2 โครงสร้างของส่วนตัวถัง.....	45
3.3 วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ 28 kHz .....	46
3.3.1 ไอซีเบอร์ TL494.....	46
3.4 วงจรขับเกทของเพาเวอร์มอสเฟต.....	50
3.5 วงจรภาคกำลัง.....	51
3.6 วงจรรวมสำหรับขับอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์.....	56
3.7 ชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์.....	58
3.7.1 การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877A.....	58
3.7.2 ไอซี DS1820.....	59
3.7.3 จอ LCD (Liquid Crystal Display) .....	60
3.7.4 คีย์แพด หรือ สวิตช์เมตริก 4x3 จุด.....	60
3.7.5 วงจรรวมการเชื่อมต่อ.....	61
3.7.6 วงจรควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์.....	62
3.7.7 วงจรรวมใช้งานจริงของชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์.....	63
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....</b>	<b>64</b>
4.1 ขั้นตอนการทดลอง.....	64
4.2 ผลการทดลอง.....	65
4.2.1 วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ 28 kHz .....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2 วงจรขับเคลื่อนของเพาเวอร์มอสเฟต .....	66
4.2.3 การทดลองวงจรขับเคลื่อนของมอสเฟตกำลังที่โหมด 1.....	67
4.2.4 การต่อภาควงจรกำลังเข้ากับวงจรขับเคลื่อนของมอสเฟตกำลัง 24V.....	68
4.2.5 การต่อภาควงจรกำลังเข้ากับวงจรขับเคลื่อนของมอสเฟตกำลัง 100V.....	69
4.2.6 การขับโหลดอุตสาหกรรมโซลิตรอนสวิตเซอร์ .....	70
4.2.7 แสดงผลการทดลองขณะวงจรถ่ายโหลด ณ ระดับแรงดันอินพุตต่างๆ ..	71
4.2.8 การทดลองการเปรียบเทียบอุณหภูมิเซนเซอร์กับมิเตอร์ .....	72
4.2.9 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิในน้ำเทียบกับเวลา.....	73
<b>บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์.....</b>	<b>74</b>
5.1 วิจัยและสรุป .....	74
5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ .....	75
5.3 ปัญหาที่พบในโครงการ.....	75
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>135</b>
<b>เอกสารอ้างอิง.....</b>	<b>136</b>

# สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิค .....	2
รูปที่ 2.1 ประเภทของคลื่นเสียง.....	5
รูปที่ 2.2 ธรรมชาติของคลื่นเสียงที่มีช่วงอัดและขยาย .....	5
รูปที่ 2.3 กระบวนการเกิด Cavitations และ Implosion .....	7
รูปที่ 2.4 หน้าสัมผัสของชิ้นงานเมื่อแช่ในน้ำยาทำความสะอาด .....	7
รูปที่ 2.5 น้ำยาที่ทำละลายรวมตัวกับสิ่งสกปรกเกิดการอิมตัว.....	8
รูปที่ 2.6 Cavitations ทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำยาทำความสะอาด.....	8
รูปที่ 2.7 ลักษณะของฟองอากาศในกระบวนการ Cavitations .....	9
รูปที่ 2.8 อนุภาคที่ไม่ละลายกับสารละลาย.....	10
รูปที่ 2.9 การทำความสะอาดโดยใช้แปรง .....	11
รูปที่ 2.10 ผลของอุณหภูมิจากปัจจัยต่างๆ.....	12
รูปที่ 2.11 Mechanical Transducer .....	13
รูปที่ 2.12 เปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟค .....	14
รูปที่ 2.13 ภาพเปียโซอิเล็กทริก.....	17
รูปที่ 2.14 ลักษณะสมบัติของไดโอด .....	18
รูปที่ 2.15 โครงสร้างภายนอกของซีเนอร์ไดโอด .....	20
รูปที่ 2.16 สัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด.....	20
รูปที่ 2.17 วงจรเรกกูเลเตอร์ด้วยซีเนอร์ไดโอด .....	21
รูปที่ 2.18 วงจรเรกกูเลเตอร์เมื่อต่อโหลด.....	22
รูปที่ 2.19 วงจรเทียบเคียงหรืออุปกรณ์ประกอบการควบคุมแหล่งจ่ายด้วยแรงดัน .....	23
รูปที่ 2.20 ลักษณะ โครงสร้างของมอสเฟต .....	23
รูปที่ 2.21 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของมอสเฟต.....	24
รูปที่ 2.22 การทำงานของมอสเฟต.....	25
รูปที่ 2.23 คุณลักษณะการโอนย้ายของมอสเฟต .....	25
รูปที่ 2.24 แรงดันขีดเริ่มที่แปรไปตามอุณหภูมิ.....	26
รูปที่ 2.25 การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของมอสเฟตขณะนำกระแส .....	27
รูปที่ 2.26 ตัวเก็บประจุในมอสเฟต .....	28
รูปที่ 2.27 ภาพตัดภายในของมอสเฟต .....	29
รูปที่ 2.28 คุณสมบัติขั้วฟอร์เวิร์คของไดโอด.....	29

# สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.29	การสวิตช์ของมอสเฟต.....	31
รูปที่ 2.30	กราฟ FBSOA และ RBSOA.....	33
รูปที่ 2.31	ลักษณะกระแสและแรงดันเมื่อเริ่มนำกระแสและหยุดนำกระแส .....	33
รูปที่ 2.32	ลักษณะทั่วไปของ Optoisolator.....	35
รูปที่ 2.33	ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A และขาสัญญาณต่างๆ .....	36
รูปที่ 2.34	ลักษณะตัวถังบรรจุและการจัดขาของไอซี DS1820 .....	38
รูปที่ 2.35	จอ LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด.....	39
รูปที่ 2.36	ขาสัญญาณและการต่อใช้งานของจอแสดงผล LCD ขนาด16x2 บรรทัด .....	40
รูปที่ 2.37	คีย์แพด หรือ สวิตช์เมตริก 4x3 จุด.....	42
รูปที่ 2.38	การต่อเข้ากับไฟเลี้ยงหรือกราวด์โดยตรง .....	42
รูปที่ 2.39	การต่อวงจรแบบเมตริกซ์.....	43
รูปที่ 3.1	บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรขับทรานซิสเตอร์ .....	44
รูปที่ 3.2	โครงสร้างตัวถังถังและส่วนที่ขั้วติดกับทรานซิสเตอร์.....	45
รูปที่ 3.3	การจัดโครงสร้างภายในและการจัดขาของ TL494.....	46
รูปที่ 3.4	ความสำคัญของ R และ C ในการกำเนิดความถี่.....	47
รูปที่ 3.5	รูปคลื่นและการทำงานของ TL494.....	48
รูปที่ 3.6	การต่อวงจรเคดไทม์ .....	48
รูปที่ 3.7	การเลือกใช้เอาต์พุตของ TL494 .....	49
รูปที่ 3.8	การต่อวงจรสร้างพัลส์ความถี่ 28 kHz ของ TL494 .....	50
รูปที่ 3.9	วงจรขับเกทของเพาเวอร์มอสเฟส .....	50
รูปที่ 3.10	วงจรรวมของวงจรถ้าเนิดสัญญาณและ วงจรขับเกท .....	51
รูปที่ 3.11	วงจรเรคตีไฟร์เออร์ชนิดหนึ่งเฟสครึ่งลูกคลื่นและสัญญาณเอาต์พุต .....	52
รูปที่ 3.12	วงจรเรคตีไฟร์เออร์ชนิดหนึ่งเฟส เต็มลูกคลื่นแบบมีหม้อแปลงแท้ปกลางและ สัญญาณเอาต์พุต .....	53
รูปที่ 3.13	วงจรเรคตีไฟร์เออร์แบบบริดจ์และสัญญาณเอาต์พุต .....	53
รูปที่ 3.14	วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ .....	54
รูปที่ 3.15	ภาควงจรกำลัง .....	55
รูปที่ 3.16	วงจรรวมของการขับอุลตราโซนิคทรานซิสเตอร์.....	56

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.17 วงจรจริงที่ใช้สำหรับขับอุณหภูมิต่ำโซนิคทรานสดิวเซอร์ .....	57
รูปที่ 3.18 ลำดับขั้นตอนการทำงานในการควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ .....	58
รูปที่ 3.19 ตำแหน่งติดตั้งไอซี DS1820 ที่ถึงทำความสะอาด.....	59
รูปที่ 3.20 ตำแหน่งการติดตั้งจอ LCD และคีย์แพดหรือสวิตช์เมตริก 4x3 จุด.....	60
รูปที่ 3.21 การเชื่อมต่อ PIC คีย์แพด จอแสดงผล LCD และเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ .....	61
รูปที่ 3.22 วงจรควบคุมการทำงานของฮีทเตอร์ .....	62
รูปที่ 3.23 วงจรรวมใช้งานจริงของชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ .....	63
รูปที่ 4.1 สัญญาณที่ได้จากวงจรกำเนิดความถี่ .....	65
รูปที่ 4.2 สัญญาณที่ได้จากวงจรขับเกทโหมดที่ 1 เทียบกับโหมดที่ 2.....	66
รูปที่ 4.3 สัญญาณที่ได้จากวงจรขับเกทโหมดที่ 1 ทั้งสองสัญญาณ .....	67
รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณเอาต์พุตขณะไม่มีโหลด (Probe *10 ที่ $V_{in} = 24$ โวลต์).....	68
รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณเอาต์พุตขณะไม่มีโหลด (Probe *10 ที่ $V_{in} = 100$ โวลต์).....	69
รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณเอาต์พุตขณะขับโหลด (Probe *10 ที่ $V_{in} = 100$ โวลต์).....	70
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบอุณหภูมิจากเซนเซอร์ DS1820 กับมิเตอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ .....	72

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของสารเซรามิก.....	14
ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิกับข้อมูลคิจิคอลเอทท์ชุด.....	39
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองขณะวางจระงายโหลด ณ ระดับแรงดันอินพุตต่างๆ.....	71
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองวัดอุณหภูมิในน้ำเทียบกับเวลา .....	73



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

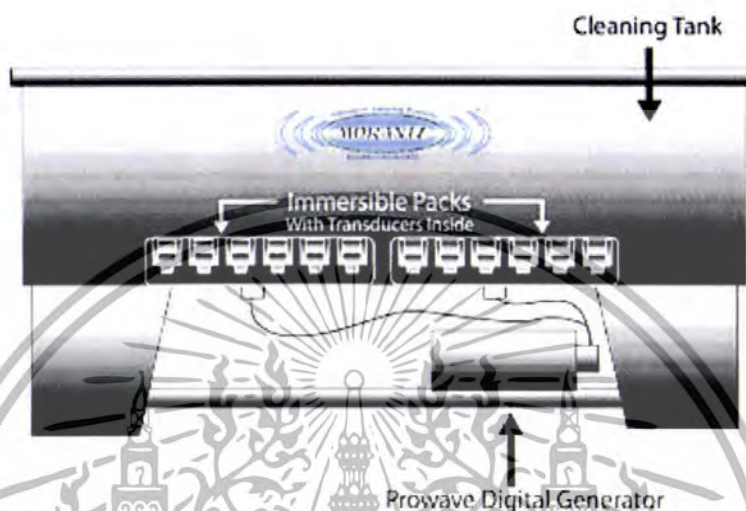
เทคโนโลยีการทำความสะอาดมีการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ในขณะเดียวกันความจำเป็นในการทำความสะอาดกำลังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งความสะอาดกลายเป็นสิ่งมุ่งเน้นที่สำคัญในหลายโรงงานโดยในอดีตที่ผ่านมาไม่เคยเป็นมาก่อนในโรงงานต่างๆ เช่น โรงงานอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งให้ความสำคัญกับความสะอาดอยู่แล้วจึงให้ความสำคัญมากขึ้นเพื่อเป็นสิ่งสนับสนุนให้เกิดความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ซึ่งเมื่อมองดูแล้วเหมือนกับว่าความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีนั้นต้องการความใส่ใจในเรื่องความสะอาดอย่างมากขึ้นเรื่อยๆ และด้วยเหตุนี้เองทำให้อุตสาหกรรมการทำความสะอาดได้มีการเปลี่ยนแปลงทางนวัตกรรม อย่างรวดเร็วเพื่อให้ได้ความสะอาดที่ต้องการมาเป็นเวลาหลายปี

อุตสาหกรรมการทำความสะอาด ได้พยายามที่จะกำจัดและหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดมลภาวะเป็นพิษ เนื่องจากการใช้สารเคมีต่างๆ ในการทำความสะอาดด้วยทางเลือกที่ว่าเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (environmentally) เทคโนโลยีหนึ่งที่ทันสมัย สอดคล้องกับจุดประสงค์สิ่งแวดล้อม สะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพได้แก่เทคโนโลยีการทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิค (ultrasonic cleaning)

การทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิค (ultrasonic cleaning) เป็นกระบวนการทำความสะอาดประเภทจุ่มและล้างในของเหลว (immersion cleaning) ที่มีประสิทธิภาพสามารถกำจัดสิ่งสกปรกได้หลายชนิด เช่น เศษผงของเครื่องจักร น้ำมัน อนุภาคสิ่งสกปรกขนาดเล็ก ๆ ได้เป็นอย่างดี ดังเช่นในโครงการนี้ได้นำคลื่นอุลตราโซนิคมาประยุกต์ใช้ในการทำความสะอาดโดยจุ่มสิ่งที่ต้องการทำความสะอาดลงในถังที่มีสารละลาย และปล่อยคลื่นอุลตราโซนิค (ultrasonic wave) จากก้นถังขึ้นไป ซึ่งคลื่นอุลตราโซนิคที่เกิดขึ้นเกิดจากตัวกำเนิดคลื่นอุลตราโซนิค (ultrasonic wave) เรียกว่าอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer) ซึ่งติดตั้งไว้ที่ก้นถัง

อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ จะแปลงพลังงานที่ได้จากเครื่องกำเนิดให้เป็นการสั่นสะเทือนจากพลังงานเสียง ซึ่งพลังงานจะถูกส่งแพร่กระจายไปยังแท็งก์ (tank) และตัวกลางของของเหลว และจะผลิตฟองอากาศคาเวชัน (cavitations) ขึ้นมาในตัวกลางของเหลวในแท็งก์ ฟองอากาศเหล่านี้จะจับตัวและยุบตัวลงเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาขัดถูขึ้น ซึ่งจะใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรกได้เป็นอย่างดี พลังงานที่ได้จากคลื่นอุลตราโซนิคนี้ จะทำให้อุณหภูมิของของเหลวเพิ่มขึ้น ดังนั้นอาจจะจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ในการควบคุมความร้อนให้อยู่ในย่านที่กำหนด

กล่าวโดยสรุป โครงการงานการทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิกนี้คือ การอาศัยคุณลักษณะ และคุณสมบัติของคลื่นอุลตราโซนิก ทำให้เกิดกระบวนการควิเดชั่น (cavitations) ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญในการทำความสะอาดชนิดนี้ โดยการกำเนิดคลื่นอุลตราโซนิก โดยตัวทรานสดิวเซอร์



รูปที่ 1.1 เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิก

## 1.2 วัตถุประสงค์ในการดำเนินงาน

1. เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้งานคลื่นอุลตราโซนิก
2. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิก
3. เพื่อศึกษาทดสอบการทำงานของมอดูเลเตอร์ และนำมาประยุกต์ใช้สร้างวงจรสำหรับขับอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์
4. เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิก ให้สะดวกต่อการใช้งานและต้นทุนต่ำ
5. เพื่อศึกษาการใช้โปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบและสร้างวงจรในการควบคุมอุณหภูมิขณะใช้เครื่องในการทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตของโครงการงาน

โครงการนี้จะทำการศึกษาทดลองกระบวนการทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิค โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่างๆ ของคลื่นอุลตราโซนิค ที่จะช่วยในการทำความสะอาด และศึกษาออกแบบวงจรต่าง ๆ โดยใช้ มอสเฟตกำลัง (Power Mosfet) มาสร้างเป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter) เพื่อใช้ขับอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ ให้ได้กำลังงานตามต้องการโดยใช้ไอซี เบอร์ TL 494 และ Optoisolator เบอร์ TLP 250 ทำหน้าที่เป็นวงจรควบคุมการทำงานของ วงจรอินเวอร์เตอร์ และการนำสัญญาณเอาต์พุตที่ได้มาควบคุมการสร้างคลื่นอุลตราโซนิค และทำการสร้างวงจรที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ 16F877 สามารถบอกอุณหภูมิน้ำยาทำความสะอาดที่อยู่ในถังทำความสะอาดโดยใช้ไอซี DS1820 เป็นเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ และสามารถควบคุมอุณหภูมิตามที่ต้องการ โดยการป้อนค่าอุณหภูมิผ่านคีย์สวิตช์เมตริกขนาด 4x3 โดยใช้ฮีตเตอร์เป็นอุปกรณ์ทำความร้อน และมีจอLCD ในการแสดงผลความอุณหภูมิน้ำยาทำความสะอาดที่อยู่ถังทำความสะอาด และอุณหภูมิที่ทำการป้อนค่าให้ไมโครคอนโทรลเลอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการ

### 2.1 ทฤษฎีคลื่นอุตราโซนิก

#### 2.1.1 นิยามและความหมายของคลื่นอุตราโซนิก

คลื่นอุตราโซนิก คือ คลื่นเสียงที่อยู่เหนือขีดจำกัดที่มนุษย์สามารถได้ยินหรือรับฟังได้ ความถี่ของคลื่นเสียงนั้นแสดงถึงระดับ (Pitch) หรือความสูงต่ำ (Tone) ของมันเอง โดยความถี่ต่ำจะให้ระดับเสียงที่ต่ำ (Bass Tone) ความถี่สูงจะให้ระดับเสียงที่สูง (Treble Tone)

คลื่นอุตราโซนิก คือ คลื่นเสียงที่มีระดับความถี่สูงเกินกว่าความสามารถของมนุษย์จะรับฟังได้ด้วยหูความถี่ที่สูงกว่า 18 kHz โดยทั่วไปจะพิจารณาให้เป็นคลื่นอุตราโซนิก สำหรับความถี่ของคลื่นอุตราโซนิก ที่ใช้สำหรับทำความสะอาดนั้นจะอยู่ในช่วง 20,000 รอบต่อวินาที หรือ 20 kHz ถึงเกินกว่า 100,000 kHz

ในการใช้ทำความสะอาดทั่วไป ส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมนั้นจะใช้ความถี่ในช่วง 20 kHz ถึง 50 kHz ความถี่ที่สูงเกินกว่า 50 kHz จะใช้ในกิจการทำความสะอาดขนาดเล็กที่ละเอียด ตั้งโต๊ะได้ เช่น ในร้านเพชรพลอย และร้านหมอพื้น

#### 2.1.2 ทฤษฎีคลื่น

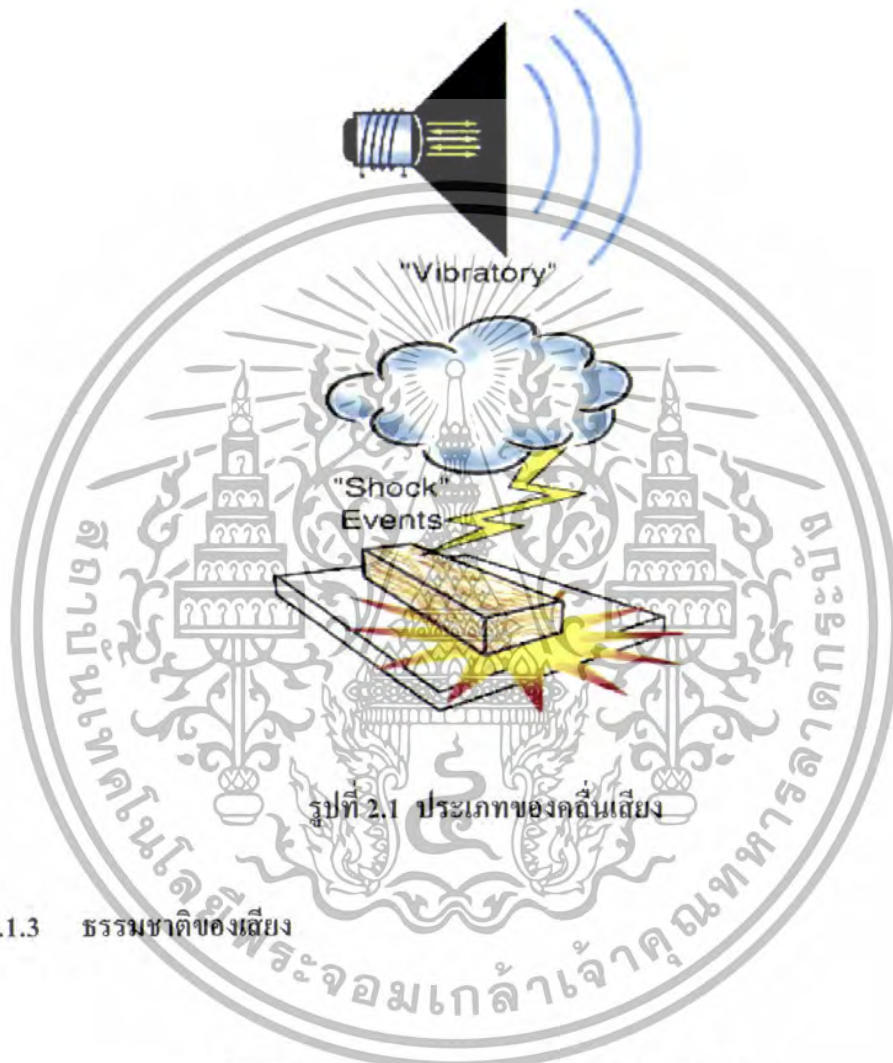
เพื่อที่จะเข้าใจกลไกการทำงานของคลื่นอุตราโซนิก ได้นั้นจึงจำเป็นต้องมีพื้นฐานความเข้าใจในเรื่องคลื่นเสียงว่ามันเกิดขึ้นได้อย่างไร และมันสามารถเดินทางผ่านตัวนำและตัวกลางได้อย่างไรด้วย

ในพจนานุกรมนั้นให้คำจำกัดความของคลื่นเสียงว่าเป็นการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือนส่งผ่านตัวกลางที่สามารถยืดหยุ่นได้ เช่น ของแข็ง ของเหลว หรืออากาศ

**การกำเนิดคลื่นเสียง** คลื่นเสียงจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อ มีการเคลื่อนที่ของตัวกลางนำคลื่นเสียงที่เกิดซ้ำหลาย ๆ ครั้ง (Repeat) หรือแค่ครั้งเดียว (Single) เช่น การเกิดฟ้าผ่า (Shock) หรือการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือน (Vibratory)

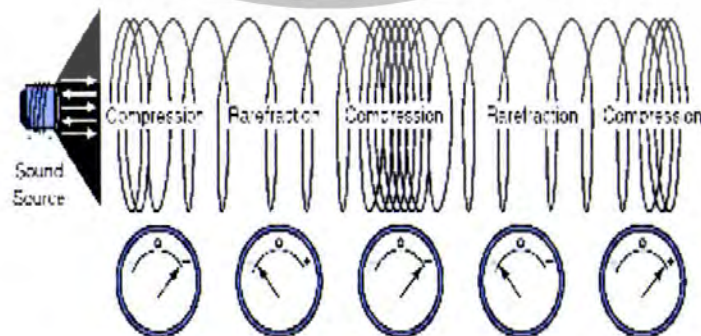
การเคลื่อนที่ของอากาศที่บริเวณ Cone ของเครื่องกระจายเสียงวิทยุ (Radio Speaker) เป็นตัวอย่างที่ดีสำหรับอธิบายการสั่นสะเทือน (Vibratory) ที่เกิดจากการเคลื่อนไหวทางกล ขณะที่ Cone ของ Speaker เคลื่อนที่ถอยหลังและเดินหน้านั้น อากาศทางด้านหน้าของ Cone จะถูกอัดตัวและขยาย ตัวเพื่อให้ได้คลื่นเสียงออกมา ซึ่งจะเดินทางตามอากาศมาเรื่อย ๆ จนกระทั่งหายไปไหนที่สุด โดยส่วนมากเรามักจะรู้จักคลื่นเสียงว่าเป็นแบบชนิดนี้ซึ่งกำเนิดจากการเคลื่อนไหวทางกล

คลื่นเสียงอีกแบบที่กำเนิดจากปรากฏการณ์ 'Shock' เช่น ฟ้าผ่า นั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความจุของอากาศอย่างทันที ซึ่งเป็นผลมาจากการคายประจุไฟฟ้า ในอากาศ ตัวอย่างของการ 'Shock' เช่น เสียงที่เกิดจากแผ่นไม้ตกกระทบพื้นซีเมนต์ ปรากฏการณ์ Shock นี้ จะเป็นแหล่งกำเนิดของคลื่น Single Compression ที่แพร่กระจายออกจากแหล่งกำเนิด



รูปที่ 2.1 ประเภทของคลื่นเสียง

### 2.1.3 ธรรมชาติของเสียง



รูปที่ 2.2 ธรรมชาติของคลื่นเสียงที่มีช่วงอัดและขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามรูปที่ 2.2 จะใช้ขดลวดสปริงเป็นสิ่งแสดงถึงแต่ละ โมเลกุลของตัวกลางที่นำคลื่นเสียงโดยแต่ละ โมเลกุลในตัวกลางนั้นจะได้รับอิทธิพลจากโมเลกุลข้างเคียงที่อยู่ติดกัน เช่นเดียวกันกับขดลวดของสปริงก็จะส่งผลกระทบต่อขดลวดอื่นที่อยู่ข้างเคียงด้วยเหมือนกัน

แหล่งกำเนิดคลื่นเสียงตามแบบจำลองนั้นจะอยู่ทางด้านซ้าย การอัด (Compression) ที่ถูกสร้างจากแหล่งกำเนิดคลื่นเสียง จะเป็นเช่นเดียวกันกับการผลักกันของขดลวดที่อยู่ติดกัน สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ควรทราบคือ ถึงแม้ว่าคลื่นจะเดินทางจากปลายข้างหนึ่งของสปริงไปยังอีกข้างหนึ่งก็ตาม แต่ละขดลวดก็จะยังคงรักษาตำแหน่งเดิมของมัน ด้วยเหตุผลนี้ แต่ละขดลวดของสปริงในส่วนแรกจะเกิดการอัดตัว (Compression) จากการผลักกันของขดลวดที่ติดกัน แต่ต่อจากนั้นจะเป็นส่วนแรกของการขยายตัว (Rarefaction) ซึ่งขดลวดที่ติดกันจะถอยห่างจากกัน

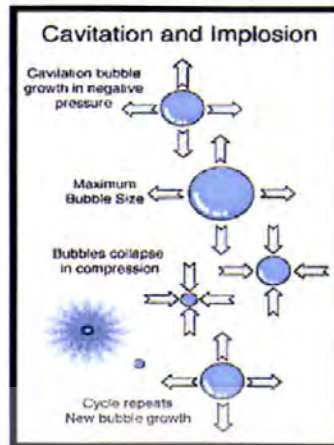
ณ ตำแหน่งใดก็ตามในตัวกลางนำคลื่นเสียง จะถูกทำให้มีการอัดตัว และหลังจากนั้นจะขยายตัวสลับกันไป บริเวณที่มีการอัดตัวนั้นความดันในตัวกลางจะเป็นบวก และบริเวณที่มีการขยายตัวนั้น ความดันของตัวกลางจะเป็นลบ

## 2.2 การใช้คลื่นอุลตราโซนิคทำความสะอาด

### 2.2.1 CAVITATION AND IMPLOSION

ในสื่อตัวกลางที่ยืดหยุ่น เช่น อากาศ และของแข็งเกือบทั้งหมดนั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องเกิดขึ้นในขณะที่คลื่นเสียงถูกส่งผ่าน ส่วนในตัวกลางที่ไม่ยืดหยุ่น เช่น น้ำ หรือของเหลวทั่วไป จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาที่แอมพิจูด หรือความค้งของเสียงต่ำ

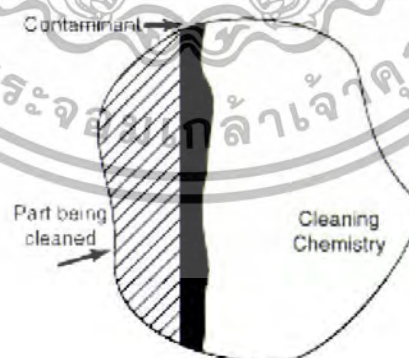
ณ ที่แอมพิจูดของเสียงเพิ่มขึ้นนั้น ขนาดของความค้งที่เป็นลบ (Negative Pressure) ในบริเวณที่คลื่นขยายตัว (Rarefaction) จะเป็นสาเหตุที่เพียงพอที่จะทำให้ของเหลวแตกตัวออกมาในที่สุดซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า คาวิเตชัน (Cavitations) ซึ่งปรากฏการณ์ คาวิเตชัน จะเกิดขึ้นบริเวณที่มีการขยายตัวทำให้ของเหลวจะแตกตัวหรือฉีกขาด เนื่องจากความค้งที่เป็นลบของคลื่นเสียงในของเหลว ขณะที่คลื่นเสียงเดินทางไปข้างหน้าคาวิเตชัน จะแกว่ง (Oscillate) ภายอิทธิพลของความค้งที่เป็นบวกและโตขึ้นจนขนาดไม่มีเสถียรภาพในที่สุด จะทำให้เกิดการยุบตัวลงอย่างรุนแรงของคาวิเตชัน เป็นผลให้เกิดอิมโพลชัน (Implosion) ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่น Shock Wave แผ่กระจายออกไปจากบริเวณยุบตัว (Collapse) การยุบตัว และ อิมโพลชัน (Implosion) ของคาวิเตชันที่เกิดขึ้นจำนวนมากในของเหลว นั้นเป็นผลเกี่ยวเนื่องมาจากการกระตุ้นของคลื่นอุลตราโซนิค นั้นเอง ได้มีการคำนวณว่าบริเวณที่เกิดอิมโพลชัน ของฟองอากาศคาวิเตชัน นั้น จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่า 10,000 องศาฟาเรนไฮต์ และมีความดันสูงกว่า 10,000 PSI



รูปที่ 2.3 กระบวนการเกิด Cavitations และ implosion

### 2.2.2 ประโยชน์ของคลื่นอัลตราโซนิกในกระบวนการทำความสะอาด

ในการทำความสะอาด สิ่งสกปรกจะถูกกำจัดโดยการทำให้ละลายรวมตัวหรือโดยการเคลื่อนย้ายจัดออกทั้งหรือทั้งสองอย่างพร้อมกัน ขึ้นอยู่กับสารละลายที่ใช้ซึ่งสามารถละลายสิ่งสกปรกเหล่านั้นได้หรือไม่ ผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิกนั้น สามารถช่วยเพิ่มความเร็วของการรวมตัวหรือการขจัดออกทั้งของสิ่งสกปรกได้เป็นอย่างดี ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการทำความสะอาดทั้งกระบวนการชำระล้างด้วย สารเคมีที่ตกค้างจากการทำความสะอาดจะถูกกำจัดออกอย่างรวดเร็วโดยคลื่นเสียง ด้วยกระบวนการชำระล้างของคลื่นอัลตราโซนิก (ultrasonic wave)



รูปที่ 2.4 หน้าสัมผัสของชิ้นงานที่มีคราบสกปรกติดอยู่โดยแช่ในน้ำยาทำความสะอาด

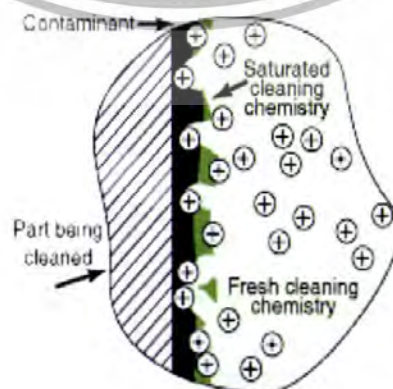
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขัดสิ่งสกปรกออกด้วยการทำละลายรวมตัวนั้น สารเคมีที่เป็นตัวทำละลายจะต้องเข้าไปถึงสิ่งสกปรกและทำลายสิ่งสกปรกออกไปได้ ซึ่งกระบวนการทำความสะอาดจะเกิดบริเวณพื้นผิวสัมผัสระหว่างสารเคมีที่ใช้กับสิ่งสกปรกเท่านั้น

ขณะที่ตัวทำละลายที่ใช้ทำความสะอาดกำลังรวมตัวทำละลายสิ่งสกปรกอยู่นั้น จะเกิดชั้นของสารละลายอิมตัวที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวทำละลายกับสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ จะทำให้กระบวนการทำความสะอาดหยุดลง ตัวทำละลายจะไม่สามารถจับตัวกับสิ่งสกปรกได้อีก เนื่องจากเกิดการอิมตัวของสารละลายที่ทำความสะอาดแล้ว และยิ่งกันไม่ให้ตัวทำละลายใหม่ที่จะเข้ามาทำความสะอาดสามารถเข้ามาได้

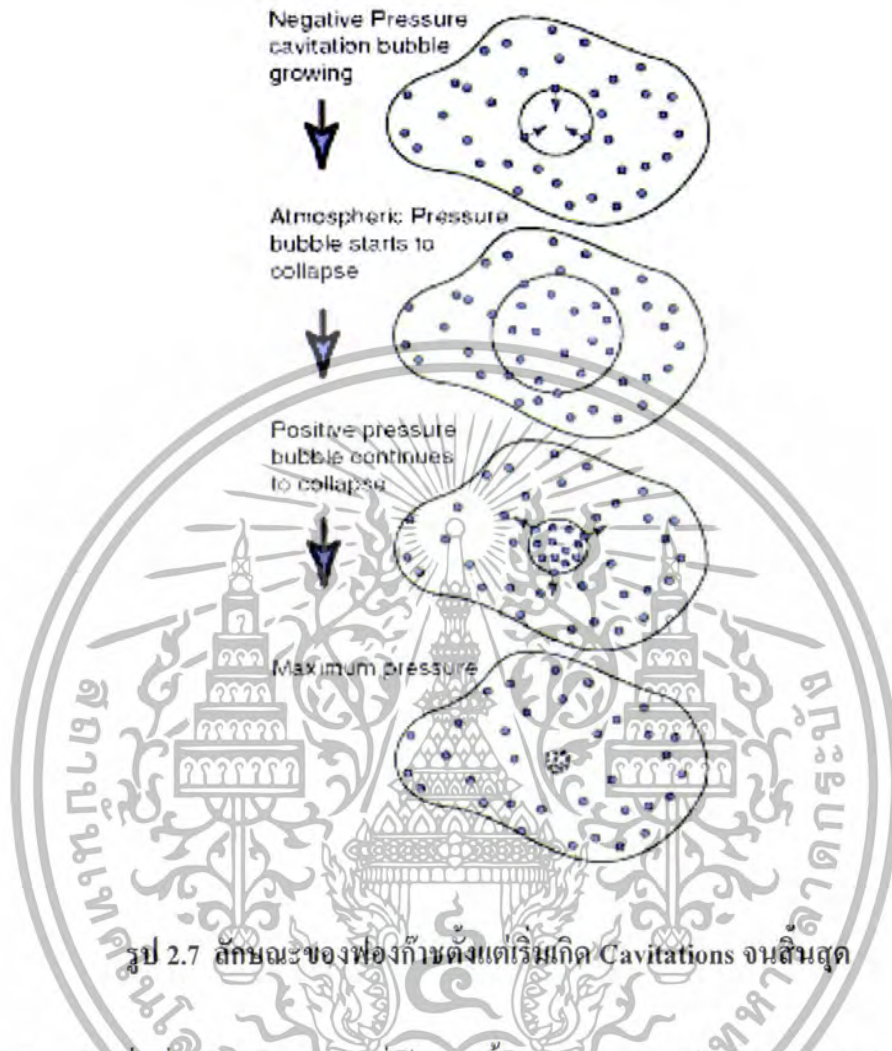


กระบวนการ Cavitation และ Implosion ของคลื่นอุลตราโซนิค นั้นจะกำจัดชั้นที่อิมตัวออกไปได้อย่างดี ทำให้สารละลายใหม่ที่จะเข้ามาทำความสะอาดสามารถเข้ามาขัดสิ่งสกปรกได้ต่อไปซึ่งจะเป็นประโยชน์โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อจะทำความสะอาดในพื้นที่ผิวที่ไม่เรียบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ เป็นการกระทำที่ผิดกฎหมายและต้องรับผิดชอบต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3 Importance of Minimizing Dissolved Gas



รูป 2.7 ลักษณะของฟองก๊าซตั้งแต่เริ่มเกิด Cavitations จนถึงสิ้นสุด

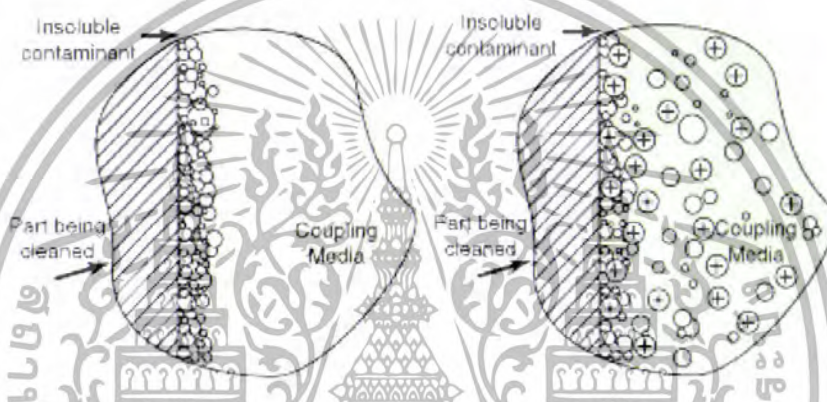
ในระหว่างที่คลื่นเสียงมีความดันที่เป็นลบนั้น ของเหลวจะแตกตัวออกและฟองอากาศวิเดชั่น ก็เริ่มมีการจัดวางตัว ขณะที่ความดันที่เป็นลบภายในฟองอากาศเพิ่มขึ้นนั้น ก๊าซที่ถูกทำลายในของเหลวที่มีควิเดชั่น จะเริ่มแพร่กระจายเข้าไปในฟองอากาศ ขณะที่ความดันที่เป็นลบถูกลดลงในช่วงขยายตัวของคลื่นเสียงและมีความดันสูงขึ้นจนถึงความดันบรรยากาศแล้วนั้น ฟองอากาศจะเริ่มยุบตัวลงเนื่องจากแรงดึงผิวของมันเองที่ตกลงมา

ในระหว่างช่วงอัดตัวของคลื่นเสียง ก๊าซที่ฟุ้งกระจายอยู่ในฟองอากาศจะถูกอัดตัว และในที่สุดก็จะเริ่มแพร่กระจายเข้ามาในฟองอากาศอีกครั้ง อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้จะไม่สามารถสำเร็จได้จนกว่าฟองอากาศจะบรรจุเต็มไปด้วยก๊าซ โดยตั้งแต่ก๊าซที่ยังไม่เริ่มแพร่เข้ามาในฟองอากาศกระทั่งฟองอากาศถูกอัดตัว และเมื่อฟองอากาศถูกอัดตัวแล้วพื้นผิวหนารอบๆฟองอากาศที่ก๊าซสามารถแพร่เข้ามาได้จะถูกลด ด้วยเหตุนี้ฟองอากาศวิเดชั่น ที่บรรจุก๊าซอยู่ ซึ่งถูกจัดวางตัวในของเหลวจะไม่ยุบ ตัวลงให้เกิด Implosion แต่จะอยู่ในรูปที่ถูกอัดตัวให้มีขนาดเล็กๆ ในของเหลว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่า ปรากฏการณ์นี้จะประโยชน์อย่างยิ่งในการลดขนาดของก๊าซในของเหลวลง ฟองอากาศขนาดเล็กๆ ที่มีก๊าซอยู่ภายในจะรวมกลุ่มเข้าด้วยกันจนกว่าจะเพียงพอให้มันลอยตัวขึ้นเหนือผิวหน้าของของเหลวในที่สุด

#### 2.2.4 ความเร็วของคลื่นอุลตราโซนิคในการทำมาสะอาดโดยการทำลาย

สิ่งสกปรกบางชนิดจะประกอบด้วยอนุภาคของสารที่ไม่สามารถทำลายได้ ซึ่งจะเกาะติดกันอย่างหลวมๆ ด้วยแรงจากพันธะไอออนิก อนุภาคเหล่านี้สามารถกำจัดได้โดยเพียงแค่แยกแรงที่ดึงดูดมันเอาไว้ออกจากกัน



รูปที่ 2.8 อนุภาคที่ไม่ละลายในสารละลายที่เกาะติดชิ้นงาน

กระบวนการ Cavitations และ Implosion ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการใช้คลื่นอุลตราโซนิค จะกำจัดและเคลื่อนย้ายสิ่งสกปรกที่เกาะติดกันอย่างหลวมๆ เช่น ฟันละอองที่ติดอยู่บริเวณพื้นผิว เพื่อที่จะให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้นนั้น ตัวกลาง Coupling Medium จำเป็นต้องสามารถทำให้อนุภาคเปื่อยเพื่อที่จะกำจัดออกไปได้

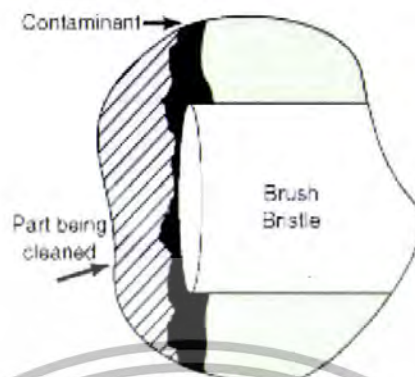
#### 2.2.5 สิ่งสกปรกเชิงซ้อน (Complex Contaminant)

สิ่งสกปรกต่างๆ นั้น ตามธรรมชาติแล้วจะมีความซับซ้อน ซึ่งประกอบด้วยการรวมกันของส่วนที่สามารถทำลายได้และส่วนที่ไม่สามารถทำลาย ผลที่ได้จากคลื่นอุลตราโซนิคนั้นมีอย่างมากมาย เช่น ในกรณีนี้ คือ มันไปกระตุ้นกลไกการทำงาน ช่วยให้การทำลายของสิ่งสกปรกที่ทำลายได้และขจัดอนุภาคที่ไม่ทำลายออกไปได้เร็วกว่าเดิม

การทำงานของคลื่นอุลตราโซนิค ยังแสดงให้เห็นว่า ช่วยเพิ่มความเร็วหรือช่วยส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาเคมีหลายๆ อย่างอีกด้วย และนี่เองที่เป็นสาเหตุที่ในบริเวณที่เกิด Implosion จะมีระดับพลังงานที่สูง ซึ่งจะทำให้เกิดอุณหภูมิและความดันที่สูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.6 A Superior Process



รูปที่ 2.9 การทำความสะอาดโดยใช้แปรง

พื้นผิวของส่วนที่จะถูกทำความสะอาด ได้ถูกกำหนดให้เป็นพื้นราบ ซึ่งในความเป็นจริงเป็นไปได้ยากมากที่จะแบนราบ แต่จะประกอบด้วยเนิน หลุม ที่ขรุขระ ตามรูปจะแสดงให้เห็นว่าทำไมพลังจากคลื่นอัลตราโซนิคจึงมีประสิทธิภาพดีกว่า และทำไมจึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำ ความสะอาดมากกว่าทางเลือกอื่นๆ เช่น การฉีดสเปรย์ทำความสะอาด การใช้แปรงขัด การใช้ลมเป่า หรือ แม้แต่ Electro Cleaning ประสิทธิภาพของคลื่นอัลตราโซนิคในการทำ ความสะอาดของพื้นผิวที่เป็นเชิงซ้อน (Complex part) นั้นดีกว่าและเป็นเรื่องที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง

### 2.2.7 ประสิทธิภาพของการทำความสะอาด

ในการประยุกต์ใช้คลื่นอัลตราโซนิคในการทำ ความสะอาดนั้น ซึ่งประสิทธิภาพของการทำ ความสะอาดจะพิจารณาจากปัจจัยดังต่อไปนี้

#### 2.2.7.1 สารที่นำมาใช้เป็นสารทำความสะอาด

น้ำยาทำความสะอาดที่เราเลือกนำมาใช้ นับว่าเป็นส่วนสำคัญซึ่งสัมพันธ์กับประสิทธิภาพใน กระบวนการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค น้ำยาที่เลือกใช้นั้นควรจะสอดคล้องและ เหมาะสมกับสิ่งที่เราจะทำความสะอาดและไม่ทำอันตรายต่อชิ้นงาน ตลอดจนส่วนประกอบต่างๆที่ อยู่บนชิ้น งานจึงจะมีประสิทธิภาพสูงในการทำ ความสะอาด โดยปรกติน้ำยาทำความสะอาดแทบ ทุกชนิดสามารถนำมาใช้ได้ อย่างไรก็ตามควรหลีกเลี่ยงสารที่มีคุณสมบัติคล้ายกับสารในสเปรย์

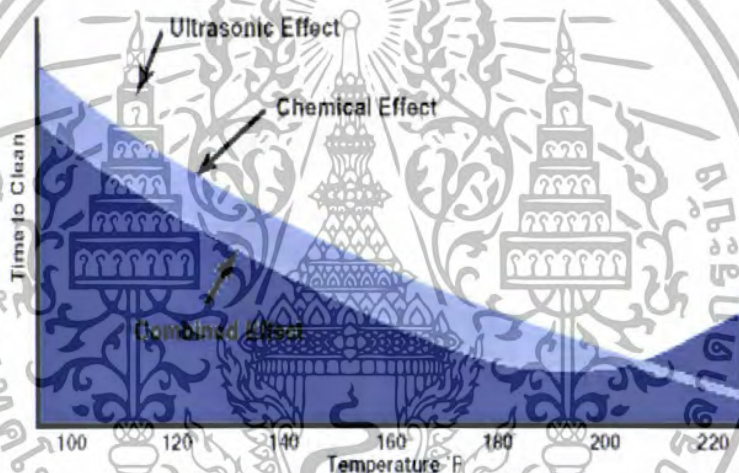
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.7.2 ความรุนแรงของกระบวนการคาวิเทชัน

ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดนั้น ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของกระบวนการคาวิเทชันด้วย ซึ่งความรุนแรงของกระบวนการคาวิเทชัน นั้นจะขึ้นอยู่กับ

#### 1. อุณหภูมิ

สารละลายแต่ละชนิดจะเกิดกระบวนการคาวิเทชันที่รุนแรงที่สุดได้ที่อุณหภูมิแตกต่างกันไป แต่ทว่าในการพิจารณาว่าจะใช้อุณหภูมิเท่าไรนั้น ต้องพิจารณาเงื่อนไขอื่นด้วย เช่น น้ำสะอาดจะเกิด ความรุนแรงสูงสุดที่ 160 องศาฟาเรนไฮน์ แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่ 180 – 190 องศาฟาเรนไฮน์ เพราะผลทางปฏิกิริยาเคมีและกระบวนการคาวิเทชัน (Cavitations) จะมีผลทำให้ อุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 2.10 ผลของอุณหภูมิเนื่องจากปัจจัยต่างๆ

#### 2. ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของสารที่ใช้ควรจะมีค่าน้อยที่สุด เพื่อที่จะได้มาซึ่งความรุนแรงสูงสุดของกระบวนการคาวิเทชัน เพราะถ้าสารมีความหนืดมากจะไม่ตอบรับฟองคาวิเทชัน ได้เร็วพอ การสั้น ก็จะมีค่าน้อย ซึ่งความหนืดของสารนี้จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

#### 3. จำนวนฟองก๊าซที่สามารถรวมกับของเหลว (Dissolved gas)

สารที่นำมาใช้ทำความสะอาดควรจะมี Dissolved gas น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อผลของ ประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากว่า Dissolved gas นี้ไปยับยั้งการเกิดของกระบวนการคาวิเทชัน (Cavitations) อีกทั้งยังไปลดความรุนแรงของกระบวนการ Implosion อัตราการแพร่ของ Dissolved เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

gas ในของเหลวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งหมายความว่า ของเหลวที่มีอุณหภูมิสูงๆ จะมี Dissolved gas น้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำๆ

## 2.2.8 ข้อดีและข้อเสียของการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก

### ข้อดี

1. สามารถทำการล้างทำความสะอาดได้หลายระดับ
2. สามารถทำความสะอาดด้วยประสิทธิภาพที่สูง โดยสามารถขจัดอนุภาคที่มีขนาดเล็กถึง 0.000005 Meter
3. เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทำความสะอาดแบบจุ่มและชะล้างประเภทอื่นๆ ที่องค์ประกอบเหมือนกันแล้ว การทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิกจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า

### ข้อเสีย

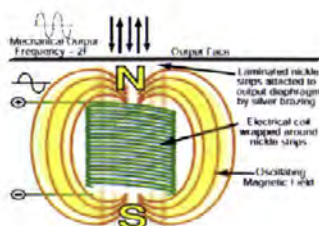
1. ในการทำความสะอาดบางอย่าง เช่น การล้างคราบไขมัน การทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิกจะมีขั้นตอนที่ยาวเกินไป
2. มีความลำบากและยุ่งยากในการเลือกสารที่จะนำมาใช้เป็นสารชะล้าง เนื่องจากต้องระวังไม่ให้สารที่เลือกไปทำความเสียหายกับชิ้นงาน

## 2.3 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

### 2.3.1 นิยาม

อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ คือ อุปกรณ์ซึ่งสามารถแปลงพลังงานกลโดยการสั่นไปมาซึ่งทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิกกระจายไปในวัตถุตัวกลาง หรือจากพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิกแปลงไปเป็นพลังงานกลซึ่งสามารถทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นได้จากตัวทรานสดิวเซอร์นั้น ทรานสดิวเซอร์ที่ทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิกมี 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

### 1. เมคคานิคัลทรานสดิวเซอร์ ( Mechanical Transducers )



รูปที่ 2.11 Mechanical Transducers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. อิเล็กโตรแมคคานิคทรานสดิวเซอร์ ( Electromechanical Transducers )

Electromechanical Transducers จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเสียง ที่ใช้กันมีอยู่ 4 ชนิด

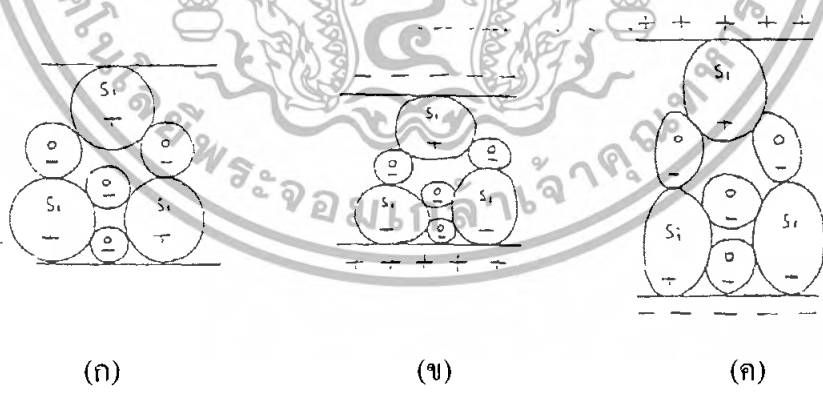
1. Moving Coil จะคล้ายๆกับ Coil ที่อยู่ในลำโพง มีประโยชน์มากในการทำหน้าที่เป็นตัวสั่น (Vibrator) ชนิดริบบอน (Ribbon) ทำด้วยอลูมิเนียมบางๆ ซึ่งวางอยู่ระหว่างขั้วทั้งสองข้างของแม่เหล็ก มันทำตัวเสมือนเป็นขดลวดของมูฟวิ้งคอยล์ ใช้ทำให้เกิดคลื่นอุลตราโซนิค

2. Electrostatic ใช้หลักการที่ว่า ในระหว่าง Parallel Plate Capacitor เมื่อเราให้ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นทั้งสองจะทำให้เกิดแรงดันขึ้น ซึ่งจะใช้ทำเป็นลำโพงเสียงที่มีคุณภาพสูง แต่ทำให้เกิดการสั่นแบบอุลตราโซนิคได้ในของแข็ง

3. Piezoelectric

4. Ferroelectric

ส่วนแบบ Piezoelectric และ Ferroelectric ในผลึกที่ประกอบด้วย โปลาโมเลกุลซึ่งขาดจุดศูนย์กลางของความสมมาตร(Center of Symmetry)ถ้าตัดเอา Plate อื่นเนื่องจากผลึกอันนี้แล้วทำให้เกิดการบิดงอด้วยเครื่องมือกล จะทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างผิวหน้าทั้งสองของ Plate ซึ่งเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ไคเร็กเปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟ็ค (Direct Piezoelectric Effect) ถ้าศักย์ระหว่าง ผิวหน้าทั้งสองของ Plate นี้เกิดบิดเบี้ยวไปไ้เอง จะเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า อินเวิร์ดเปียโซอิเล็กทริก เอฟเฟ็ค (Inverse Piezoelectric Effect) ตัวอย่าง เช่น ผลึกควออร์ทซ์ดังรูปที่ 2.12 จะแสดงหน่วยเซลล์ซึ่งอยู่ระหว่าง Plane ที่ขนานกัน



รูปที่ 2.12 เปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟ็ค

รูปที่ 2.12 (ก) จะอยู่ในสภาวะปรกติ ซึ่งจุดศูนย์กลางของประจุบวกซิติคอนและประจุลบของออกซิเจนจะอยู่ที่เดียวกัน และจำนวนประจุไฟฟ้าทั้งสองจะไม่เกิด ไคโพลโมเมนต์ขึ้น ดังนั้นผล

เนื่อง จากการกระจายของประจุคกร้อมระนาบทั้งสองที่ขนานกันจะเป็นศูนย์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.12 (ข) ถ้าเราทำให้มันเปลี่ยนรูปร่างไปจากเดิม โดยการหดหรือตึงดังรูปที่ 2.12 (ค) จุดศูนย์กลางของประจุทั้งสองจะไม่อยู่ที่เดียวกัน ทำให้เกิดการกระจายของประจุขึ้นระหว่างระนาบทั้งสอง

การทำให้มันเปลี่ยนรูปร่างโดยการอัดหรือหดตามรูปนั้น จะเป็นการแยกจุดศูนย์กลาง จะทำให้เกิดประจุบนระนาบทั้งสอง รูปแบบนี้เรียกว่า ไดอิเล็กทริกโพลาไรเซชัน

สำหรับแบบอินเวิร์คเป็โซอิเล็กทริกเอฟเฟ็ค จะเกิดโดยให้สนามไฟฟ้าระหว่างระนาบทั้งสอง ทำให้จุดศูนย์กลางของทั้งสองเคลื่อนออกจากกันไปในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้เซลล์บิดเบี้ยวไปถ้ามีแผ่นควอทซ์ซึ่งตัดมาจากผลึกควอทซ์ ในทิศทางที่จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขนานกับสนามไฟฟ้าที่ใช้ เมื่อเราให้สนามไฟฟ้าสลับ ระนาบจะขยายและหดตัวด้วยความถี่เดียวกันกับสนามไฟฟ้า ซึ่งจะเหมือนกับลูกสูบ ดังนั้นมันจะเป็นตัวกำเนิดคลื่นเสียงได้

ปัจจุบันมีสารไม่กี่ชนิดที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เป็โซอิเล็กทริกได้ สารไดอิเล็กทริกทุกชนิดเป็นสารอิเล็คโตรสแตทริก แต่ปรกติแล้วจะเกิดผลน้อยมาก สารที่ให้ผลมากได้แก่ สารไททานเทท (Titanates) ซีคอนเทท (Zieconates) และในกรณีนี้เรียกว่า สารเฟอร์โรอิเล็กทริก ปรกติสารเหล่านี้จะอยู่ในรูปของส่วนผสมเซรามิก ซึ่งประกอบไปด้วยโคเมนที่มีขั้วอิสระรวมตัวกันมากๆ ถ้านำสารเหล่านี้มาหนึ่งชนิด เอาไปเผาให้มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเคอริก (Curie Temperature) ของมันแล้ว ทำให้เย็นภายใต้สนามไฟฟ้าสูงๆ ทิศทางของขั้วโคเมนต่างๆ จะวางตัวไปในแนวเดียวกันกับสนามไฟฟ้าและจะยังคงอยู่อย่างนั้นแม้ว่าจะเอาสนามไฟฟ้าออกไป นั่นแสดงว่ามันกำลังแสดงคุณสมบัติ เช่น Permanent Electric บางทีมันจะเป็นสารเป็โซอิเล็กทริก ถ้าหากมันเป็นไปตามสมการของเป็โซอิเล็กทริก

### 2.3.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของทรานสดิวเซอร์

ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ในทางอุตสาหกรรมจะมีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีเป็โซอิเล็กทริก และที่ใช้กันมากคือ ผลึกแร่ควอทซ์ (Quartz), แบเรียมติทานเทท (Barium titanate) และ ลีดเซอโคเนท (Lead circonate titanium) สารเหล่านี้เมื่อนำมาทำเป็นทรานสดิวเซอร์แล้วยังสามารถแสดงคุณสมบัติเป็นคาปาซิเตอร์ทางไฟฟ้าด้วย ค่าคาปาซิแตนซ์เป็นไมโครฟารัดซึ่งจะแปรผันกับค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric constant, K) ของวัสดุคูณด้วยพื้นที่ และหารด้วยความหนาของทรานสดิวเซอร์มีความคล้ายคาปาซิเตอร์ตรงที่ Electrode ที่อยู่สองข้างถูกแยกโดยช่องที่มีสารเซรามิก จากตาราง 2.1 จะทำให้ไดโพล (Dipole) เคลื่อนไหวได้โดยเสรีและที่จุดนี้เมื่อได้รับศักย์ไฟฟ้าเข้าไป ก็จะมีการจัดเรียงตัวและมีคุณสมบัติเป็โซอิเล็กทริก ถ้าภายหลังเซรามิกที่มีคุณสมบัตินี้ถูกเผาให้ร้อนถึงอุณหภูมิดังกล่าวอีก คุณสมบัติเป็โซอิเล็กทริกจะหมดไป ดังนั้นความร้อนสามารถทำลายทรานสดิวเซอร์ได้ โดยเฉพาะถ้าความร้อนสูงเกินอุณหภูมิเคอริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเป็นค่าคงที่ที่แสดงว่าทรานสดิวเซอร์ต้องการพลังงานไฟฟ้าเท่าใด จึงจะเปลี่ยนเป็นพลังงานกลได้ทั้ง แบบเรียมิตาเนท และ ลีดเซอโคเนท มีประสิทธิภาพมากกว่าผลึกแร่ควอทซ์ 5 – 6 เท่า เนื่องจากค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่า coupling constant ต่ำมาก จึงไม่นิยมนำแร่ควอทซ์มาใช้ในเครื่องอุตสาหกรรมโซนิกในปัจจุบัน

### 2.3.3 คุณสมบัติทางความถี่ของทรานสดิวเซอร์

ความถี่ของทรานสดิวเซอร์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเชิงกลและลักษณะทางรูปร่าง เช่น เซรามิกแท่งเหลี่ยมแบนจะมีความถี่เรโซแนนซ์ได้ 3 อย่าง คือ มีความยืดหดตามความหนาและรัศมี อย่างไรก็ตามถี่ดีเมื่อป้อนศักย์ไฟฟ้าเข้าไปสามารถทำให้ทรานสดิวเซอร์ยืดหดในแนวไหนก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับข้อที่ผู้ใช้ บริษัทที่ผลิตทรานสดิวเซอร์จะกำหนดความถี่คงที่สำหรับแต่ละแบบของการยืดหยุ่น

ตารางที่ 2.1 Resonant frequency =  $\text{constant} / \text{thickness (inch)}$

Material	Curic Temperature	Q	Dielectric Constant (K)	Coupling Coefficient(K)
Quartz	550° C	Very High	4.5	0.51
Barium Titanate	100° C	400-700	1700	0.38
Lead Circonate Titanate	300° C	90-500	1450	0.09

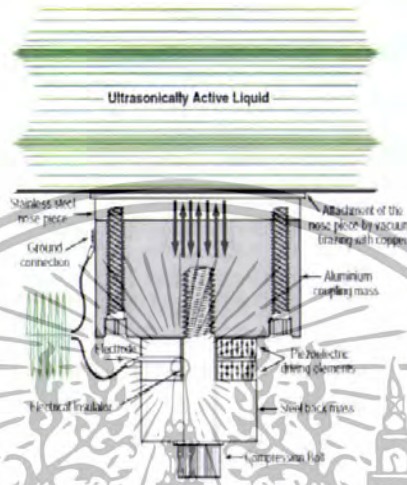
ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติบางอย่างของสารเซรามิก

### 2.3.4 เปียโซทรานสดิวเซอร์

โครงสร้างภายในจะประกอบด้วยชิ้นสารเปียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric element) ซึ่งจะสามารถทำได้จากสารหลายชนิด เช่น ผลึกแร่ควอทซ์ (Quartz) แบบเรียมิตาเนท (Barium titanate) เกลลิอ็อคเซล (Rochelle salt) เป็นต้น แต่ที่นิยมใช้เป็นที่แพร่หลายคือแบบเรียมิตาเนท ซึ่งเป็นสารที่ได้จากการผสมสารติตนาทกับแบบเรียมิตาเนท ที่อุณหภูมิประมาณ 1300 – 1400°C และผลิตออกมาในรูปของชิ้นสารเซรามิกซึ่งจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมโดยส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากชั้นเซรามิกนี้จะถูกประกบด้วยแผ่นเพลท 2 แผ่น ซึ่งส่วนใหญ่ทำมาจากแผ่นเงิน เพื่อต่อเป็นขาของอิเล็กทรอนิกส์นั่นเอง ข้างหนึ่งของแผ่นเพลทจะถูกยึดเพื่อไม่ให้เกิดการสั่น ส่วนอีกด้านจะยึดกับแผ่นไดอะเฟรมที่สามารถเคลื่อนไหวไปมาได้โดยแผ่นไดอะเฟรมจะถูกสร้างให้มีลักษณะคล้าย เลนส์ เพื่อรวมคลื่นให้มีความเร็วสูงขึ้น



รูปที่ 2.13 เปียโซอิเล็กทริก

2.3.5 เปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟ็กต์

เมื่อสภาวะปรกติที่ยังไม่มีความดัน หรือคลื่นมาตกกระทบกับชั้นสารเซรามิก ประจุไฟฟ้าที่อยู่ในชั้นสารจะเกิดการสมดุล ทำให้แผ่นเพลทเงินที่ประกบอยู่มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน ผลรวมของประจุไฟฟ้าบนแผ่นเพลทมีค่าเท่ากับศูนย์ แต่เมื่อมีความดันหรือมีคลื่นเสียงมาตกกระทบชั้นเซรามิก จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของชั้นสาร คือ เกิดมีประจุตรงข้ามขึ้นบนแผ่นเพลทที่ประกบชั้นเซรามิกอยู่ซึ่งผลของประจุไฟฟ้าตรงข้ามนี้ทำให้เกิดเป็นแรงดันตกคร่อมแผ่นเพลททั้งสอง ขนาดของแรงดันตกคร่อมนี้ จะขึ้นอยู่กับขนาดความดันหรือคลื่นที่มาตกกระทบชั้นสารเซรามิกที่โงงงอไปมา

ทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริก สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงไปมาระหว่างพลังงานกลกับพลังงานไฟฟ้า กรณีการเปลี่ยนแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล คือ ตัวส่งคลื่นอัลตราโซนิค ซึ่งหลักการทำงานคือ เมื่อเราป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งอาจมีความถี่ในช่วง 20 – 100 kHz แรงดันที่ป้อนนี้จะทำให้ชั้นสารเซรามิกเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยที่ด้านหนึ่งของชั้นสารเซรามิกจะถูกกดกับแผ่น ไดอะเฟรม เมื่อชั้นสารเซรามิกเกิดการบิดตัวไปมาจะทำให้แผ่นไดอะเฟรมนี้อัดกับอากาศโดยรอบ เกิดเป็นคลื่นความถี่เดียวกันกับสัญญาณที่ป้อนเข้า คลื่นที่ผลิตได้จะมี

เอ๊าท์พุทสูงสุดเมื่อความถี่ที่ป้อนเข้ามาตรงกับความถี่เรโซแนนท์ ซึ่งเป็นความถี่ทางกลตามเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาเอกสารหรืออ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมชาติของชิ้นสารนั้น ส่วนความถี่อื่นๆ นอกเหนือจากนี้จะทำให้ค่าลดลงกว่าความถี่เรโซแนนท์มาก

ในทางกลับกันการเปลี่ยนแปลงจากพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า คือ ตัวรับคลื่นอุลตราโซนิก เราสามารถที่จะมองได้ว่าเป็นแหล่งจ่ายหนึ่งๆ เพราะมันไม่ต้องการแหล่งจ่ายอื่นมาป้อนก็สามารถสร้างแรงดันออกมาได้ เพียงแต่มีขนาดแรงดันไม่สูงนัก โดยการทำงานของตัวรับคลื่นเกิดจากการที่มีแรงดันมาตกกระทบแผ่นไดอะเฟรม ซึ่งค่าความถี่ของคลื่นทำให้ชิ้นสารเซรามิกบิดไปมา ซึ่งจะทำให้เกิดปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกบนชิ้นสาร ทำให้สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่เท่ากับความถี่ของคลื่นที่มาตกกระทบได้

## 2.4 ไดโอด, ซีเนอร์ไดโอด, เพาเวอร์มอดเฟท และออฟโอดีไอโอดีเตอร์

### 2.4.1 ไดโอด (Diode)

ไดโอดเป็นอุปกรณ์พื้นฐานอย่างหนึ่งที่แพร่หลายในหมู่อุปกรณ์แบบวงจรรีเลย์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ไดโอดเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่สามารถนำกระแสได้ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง หรือกล่าวอย่างง่ายๆ ว่า ไดโอดยอมให้กระแสไหลผ่านตัวมันเองได้ทิศทางเดียวเท่านั้น ในขณะที่ไดโอดนำกระแสจะมีค่าแรงดันตกคร่อมมันข้างหนึ่ง โดยทั่วไปสำหรับไดโอดซิลิกอน จะมีค่า 0.7 โวลต์ ลักษณะคุณสมบัติทั่วไปของไดโอดแสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 สมบัติทั่วไปของไดโอด

โดยปรกติการให้แรงดันกับไดโอดนั้น ถ้าให้แรงดันบวกอยู่ที่ขั้วแอนอด และขั้วลบอยู่ที่ขั้วคาโทดซึ่งเราเรียกว่าการไบอัสตรง ลักษณะเช่นนี้จะทำให้มีกระแสผ่านไดโอดได้และถ้าเราให้

แรงดันกลับทิศทาง กระแสจะไหลไม่ได้ซึ่งเราเรียกว่าการ ไบอัสกลับ และถ้าให้แรงดันกลับมากขึ้น มันจะนำ กระแสใหม่ได้อีกจุดที่มันนำกระแสใหม่ได้อีกเราเรียกว่า แรงดันซีเนอร์

ไดโอดมีหลายขนาดตั้งแต่ทนกระแสได้เป็นมิลลิแอมป์จนถึงที่ทนกระแสได้หลายร้อย แอมป์ จากลักษณะการทำงานของไดโอดในการเป็นสวิตช์ให้นำกระแสได้ด้านเดียว การใช้งานของไดโอดจึงต้องพิจารณาถึงสิ่งต่างๆ ดังนี้

**2.4.1.1 แรงดันตกคร่อมไดโอด** จะพิจารณากันในขณะที่ไดโอดนำกระแส ไดโอดที่ใช้สาร ซิลิกอนจะมีค่าตกคร่อมประมาณ 0.7 โวลต์ แต่ถ้าให้กระแสไหลมากขึ้นแรงดันตกคร่อมอาจมากขึ้นเป็น 1 โวลต์ ก็ได้

**2.4.1.2 แรงดันซีเนอร์** จะเป็นตัวบอกขนาดของแรงดันที่นำไปใช้ได้ ถ้าเราไบอัสกลับด้วยค่าแรงดัน นี้จะมีกระแสไหลกลับทางได้ และหากไม่มีการจำกัดกระแส ไดโอดก็จะเสียหายได้ แต่ถ้าหากมีการจำกัดกระแสแรงดันตกคร่อมก็จะมีค่าเท่ากับแรงดันซีเนอร์ ทำให้สามารถเอาคุณสมบัติเหล่านี้ไปใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมแรงดันได้

**2.4.1.3 กระแสใช้งานสูงสุด** ในขณะที่ป้อนไบอัสตรงทำให้ไดโอดนำกระแส จะมีกระแสไหลผ่านไดโอด และจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นถ้าหากทำให้กระแสส่วนนี้มากกว่าที่ไดโอดจะทนได้ ไดโอดก็จะพังได้ ความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวไดโอดจะสะสมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นในกรณีที่ใช้ไดโอดที่กระแสสูงจะต้องมีการระบายความร้อนให้กับไดโอด

**2.4.1.4 กระแสรั่วไหลขณะไบอัสกลับ** เนื่องจากการทำงานของไดโอดมีลักษณะคล้ายกลับ สวิตช์และถ้าจะเหมือน สวิตช์ขั้วขึ้น จะต้องใช้คุณสมบัติขณะ ไบอัสกลับให้มีกระแสไหลน้อยที่สุดในทางปฏิบัติแล้วจะมีกระแสไหลได้นิดหน่อย กระแสส่วนนี้อาจมีค่าอยู่ในช่วงไมโครแอมป์ ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับกระแสไบอัสตรง

## 2.4.2 ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode)

### 2.4.2.1 คุณสมบัติซีเนอร์ไดโอด

จากที่มีการป้อนแรงดันไฟฟ้าไบอัสกลับให้กับไดโอดสูงเกินไปจะทำให้เกิดกระแสรีเวิร์คสูง ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนเกินพิกัดของไดโอด ทำให้ไดโอดพังได้ และแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับไดโอด แล้วทำให้ไดโอดพังเรียกว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าเบรกดาวน์ (Breakdown voltage) หรือ ค่าแรงดันสูงสุด (Peak reverse voltage)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีเนอร์ไดโอดเป็นไดโอดชนิดพิเศษ ซึ่งจะต่อใช้งานแบบรีเวิร์คไบอัส มักจะถูกออกแบบให้ทำงานที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าเบรคควาน์ เมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้ารีเวิร์คจ่ายให้กับซีเนอร์ไดโอดสูงพอที่จะทำให้เกิดเบรคควาน์ขึ้น จึงมีกระแสฟาร์เวิร์ค ( $I_r$ ) ไหลสูง เพราะว่าคุณค่าต้านทานของซีเนอร์ไดโอดลดลง

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเบรคควาน์ ( $E_b$ ) สามารถ หาได้โดยพิจารณาจากความต้านทานภายในของไดโอด ซึ่งค่าความต้านทานภายในของไดโอดจะถูกควบคุมได้ในขั้นตอนการสร้างและความสามารถในการกระจายกำลังไฟฟ้าของซีเนอร์ไดโอดจะลดลงขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นค่าพิกัดการกระจายกำลังไฟฟ้าของซีเนอร์ไดโอดแต่ละตัว จะถูกกำหนดให้ใช้ในที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งเท่านั้น



รูปที่ 2.15 โครงสร้างภายนอกของซีเนอร์ไดโอด

โครงสร้างภายนอกของซีเนอร์ไดโอดจะเหมือนกับ พี-เอ็น จังก์ชันไดโอด ซึ่งกำเนิดซีเนอร์ไดโอดกำลังไฟฟ้าต่ำ ตัวถังจะทำด้วยแก้วหรืออีพอกซี และถ้าเป็นซีเนอร์ไดโอดแบบกำลังไฟฟ้าส่วนตัวถังจะทำด้วยโลหะและมีลักษณะการติดตั้งเป็นแบบน๊อต

รูปที่ 2.16 สัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด

### 2.4.2.2 ค่าพิคัดของซีเนอร์ไดโอด

ค่ากระแสไฟฟ้าซีเนอร์ไดโอด ( $I_{ZM}$ ) คือค่ากระแสไฟฟ้ารีเวิร์ดสูงสุดที่สามารถไหลในซีเนอร์ไดโอดโดยที่จะไม่เกินพิคัดของการกระจายกำลังไฟฟ้าที่ถูกกำหนดไว้ในซีเนอร์ไดโอดแต่ละตัว

ค่ากระแสไฟฟ้ารีเวิร์ด ( $I_r$ ) จะแสดงไฟฟ้ารั่วไหลก่อนเกิดเบรกดาวน์ ซึ่งมันจะถูกกำหนดที่แรงเคลื่อนไฟฟ้ารีเวิร์ด ( $E_r$ ) ถูกจ่ายอยู่ โดยที่ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้ารีเวิร์ดจะมีค่าประมาณ 80 % ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าซีเนอร์ ( $E_z$ )

ถ้าซีเนอร์ไดโอดมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเบรกดาวน์ที่ 5 โวลต์ หรือมากกว่า มักจะมีสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิเป็นบวก (Positive zener voltage-temperature coefficient) ซึ่งหมายความว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

การชดเชยทางอุณหภูมิของซีเนอร์ไดโอด (Temperature-compensate zener diode) จะทำได้โดยต่อซีเนอร์ไดโอดกับ พี-เอ็น จังก์ชัน โดยที่ พี-เอ็น จังก์ชันจะฟอร์เวิร์ดไบอัส และซีเนอร์ไดโอดจะเป็นรีเวิร์ดไบอัส และควรระมัดระวังในการเลือกไดโอดโดยอาจจะเลือกตัวที่มีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเดียวกันหรือตรงกันข้ามกัน

### 2.4.2.3 การทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าคงที่ด้วยซีเนอร์ไดโอด

จากรูปที่ 2.17 จะแสดงวงจรเรกกูเลเตอร์ด้วยซีเนอร์ไดโอด ซึ่งจะต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน ( $R_s$ ) ซึ่งทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอต่อการทำงานของซีเนอร์ไดโอดและแรงเคลื่อนไฟฟ้า DC อินพุต จะต้องสูงกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเบรกดาวน์ของซีเนอร์ไดโอด



รูปที่ 2.17 วงจรเรกกูเลเตอร์ด้วยซีเนอร์ไดโอด

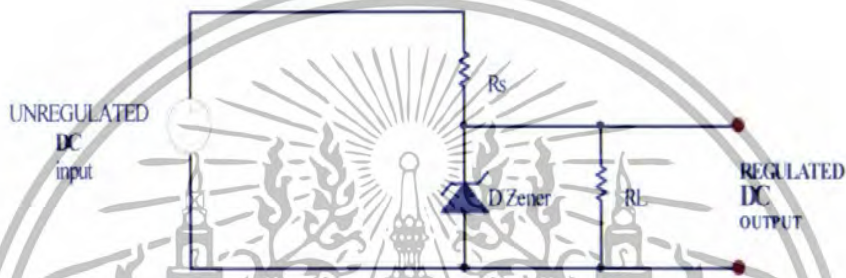
สำหรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อมซีเนอร์ไดโอดจะเท่ากับพิคัดแรงเคลื่อนของซีเนอร์ไดโอด ซึ่งซีเนอร์ไดโอดถูกสร้างให้มีพิคัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเบรกดาวน์ค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น ซึ่งค่านี้จะเรียกว่า ค่าพิคัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าซีเนอร์ของไดโอด ( $V_z$ ) และค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัว

ต้านทานจะเท่ากับผลต่างของแรงเคลื่อนไฟฟ้าซีเนอร์กับแรงเคลื่อนไฟฟ้าอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าอินพุตเพิ่มขึ้นหรือลดลง จะไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าเอาต์พุต แต่แรงเคลื่อนเคลื่อนไฟฟ้าอินพุตต้องมากกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าซีเนอร์

เมื่อต่อตัวต้านทานเข้าไปในวงจรเรกกูเลเตอร์ จะมีกระแสไหลผ่านโหลด ( $I_L$ ) โดยจะหาได้จากค่าโหลด ความต้านทานโหลดและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเอาต์พุต และสำหรับกระแสไฟฟ้าซีเนอร์ จะไหลผ่านตัวต้านทานอนุกรมของวงจรเรกกูเลเตอร์ ซึ่งตัวต้านทานนี้จะต้องเลือกให้มีกระแสไฟฟ้าซีเนอร์เพียงพอต่อการเกิดเบรกควาน์ของซีเนอร์ไดโอด เพื่อให้มีกระแสไหลผ่านตัวมัน



รูปที่ 2.18 วงจรเรกกูเลเตอร์เมื่อต่อโหลด

เมื่อโหลดมีค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น จะทำให้กระแสไฟฟ้าของโหลดลดลงดังนั้นแรงเคลื่อนตกคร่อมโหลดควรเพิ่มขึ้น แต่ซีเนอร์ไดโอดจะไม่ขัดขวางแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง โดยมันจะนำกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเพื่อให้ผลรวมของกระแสซีเนอร์กับกระแสไหลผ่านตัวต้านทานอนุกรมยังคงเท่าเดิม ซึ่งก็จะทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานอนุกรมเท่าเดิม ในทำนองเดียวกันเมื่อกระแสโหลดเพิ่มขึ้น กระแสซีเนอร์ก็จะลดลงและแรงเคลื่อนไฟฟ้าก็จะยังคงที่เหมือนเดิม

### 2.4.3 เพาเวอร์มอสเฟต

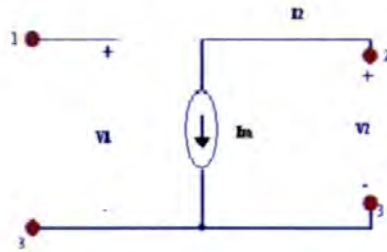
#### 2.4.3.1 นิยามและความหมาย

มอสเฟต (MOSFET) ย่อมาจาก Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor โดยมอสเฟตเป็นอุปกรณ์ประเภทควบคุมแหล่งจ่ายด้วยแรงดัน (Voltage controlled source) ซึ่งสามารถเขียนวงจรเทียบเคียงได้ดังรูปที่ 2.22 และมีความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ดังนี้

$$I_2 = g_m * v_1 \quad (2-1)$$

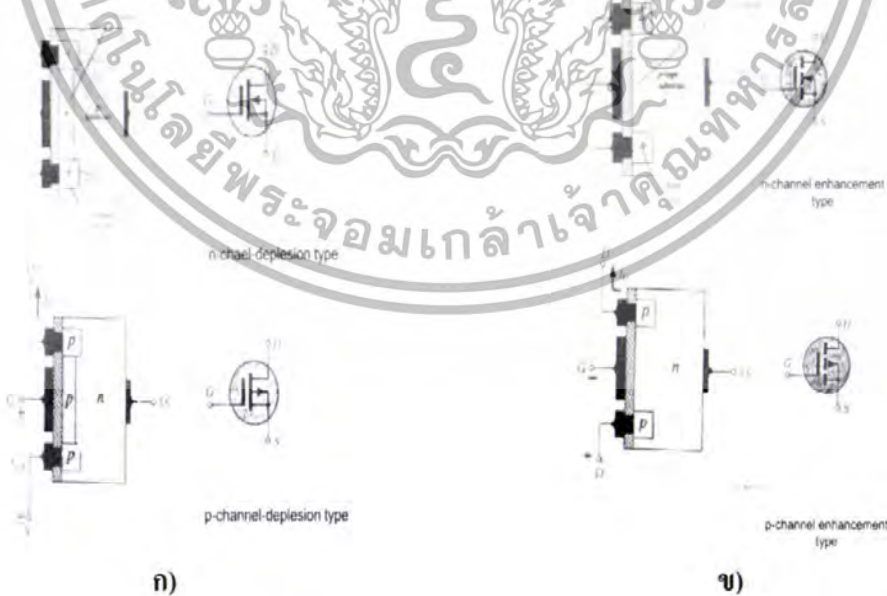
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $g_m$  คือ ค่าความจุถ่ายโอน (Transconductor) หรือ Mutual conductance



รูปที่ 2.19 วงจรเทียบเคียงหรืออุปกรณ์ประกอบการควบคุมแหล่งจ่ายแรงดัน

มอสเฟตแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ มอสเฟตแบบดีพลีชัน (Depletion MOSFET) และ มอสเฟตแบบเอนฮานซ์เมนต์ (Enhancement MOSFET) แต่ละชนิดแบ่งได้เป็น พีมอส (PMOS) และเอ็นมอส (NMOS) ซึ่งจะกล่าวถึงส่วนประกอบดังในรูป 2.23 จะมีสารเอ็นอยู่ 2 บริเวณที่มาต่อเป็นขาทเกต (Gate) วางอยู่ในแท่งที่ต่อออกเป็นขาคูเริน (Drain) และ ซอส (Source) ส่วนช่องที่อยู่ระหว่างสารเอ็นเรียกว่า แชนแนล (Channel) จะถูกเคลือบด้วยแผ่นบางๆ ของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide layer) และเกตจะสร้างโดยชั้นโลหะ วางบนชั้นของออกไซด์ ดังนั้นลักษณะภายนอกของมอสเฟตจึงมีสามขาคือ ขาทเกต ขาคูเริน และ ขาซอส และเขียนสัญลักษณ์ได้ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ก) ลักษณะโครงสร้างของมอสเฟตแบบดีพลีชันทั้งเอ็นและพี

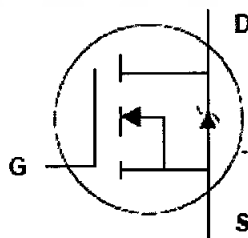
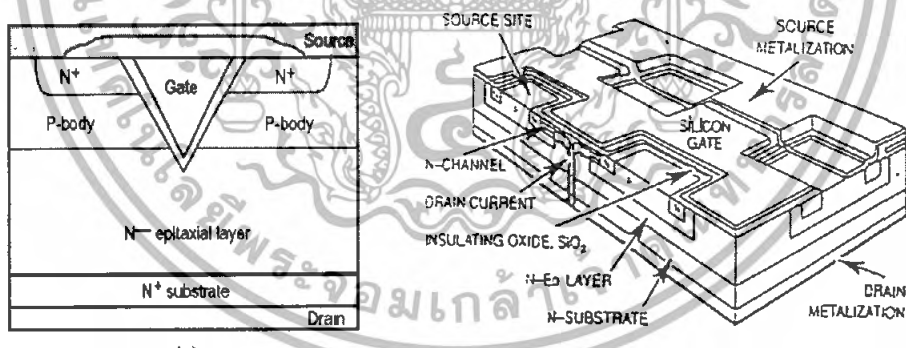
ข) ลักษณะโครงสร้างของมอสเฟตแบบเอนฮานซ์เมนต์ทั้งเอ็นและพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3.2 โครงสร้าง

เพาเวอร์มอสเฟต โดยทั่วไปจะเป็นแบบเอ็นแชนแนลที่ทำงานในโหมดเอนฮานซ์เมนต์ ซึ่งมีสัญลักษณ์ดังรูปที่ 2.24 (ก) และ 2.24 (ข) เพาเวอร์มอสเฟตแต่ละตัวจะประกอบด้วย มอสเฟตขนาดเล็กนับพันตัว ซึ่งอยู่บนชิปเดียวกันต่อขนานกัน โดยที่กระแสทรานซิสเตอร์ขนาดเล็กแต่ละตัวมีทิศทางไหลในแนวตั้งของเพาเวอร์มอสเฟต ซึ่งจะมี  $N^+$  Type epitaxial layer จากนั้นจะเป็นการทำเกตกับ epitaxial layer ภายใต้เกต

สำหรับขาครนของมอสเฟตนั้นจะฉาบอะลูมิเนียมที่  $N^+$  และ  $N^-$  ส่วนขาซอสจะฉาบอะลูมิเนียมลงบนชั้นของ  $P$  และ  $N^+$  ได้จากการแพร่กระจาย จากลักษณะการทำซอสดังกล่าวทำให้เกิดเป็นไดโอดต่ออยู่กับซอสและคาโทด คือ ชั้น  $N^+$  และ  $N^-$  ต่ออยู่กับครน ในรูปที่ 2.21 (ข) ในสภาวะปรกติถ้าเราให้แรงดันของครนเป็นบวกเมื่อเทียบกับซอสแล้ว มอสเฟตจะไม่สามารถนำกระแสได้เนื่องจากชั้น  $N^-$  และ  $P$  จะถูกไบอัสกลับ แต่ถ้าเราให้แรงดันบวกระหว่างเกตกับซอสแรงดันบวกจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนมาออกันที่ชั้น  $P$  ภายใต้เกตเกิดเป็นเอ็นแชนแนล เชื่อมระหว่าง  $N^+$  และ  $N^-$  เกิดเป็นกระแสที่ไหลจากครนไปยังซอสเนื่องจากการนำกระแสของมอสเฟตชนิดนี้เกิดจากการไหลของอิเล็กตรอนผ่านเอ็นแชนแนล ที่ทำงานในมอสเฟต โหมดเอนฮานซ์เมนต์ ตัวเล็กๆ แต่ละตัวสามารถทำงานได้อย่างอิสระ แต่มอสเฟตเหล่านี้จะถูกต่อขนานกันโดยการฉาบอะลูมิเนียมที่ซอส

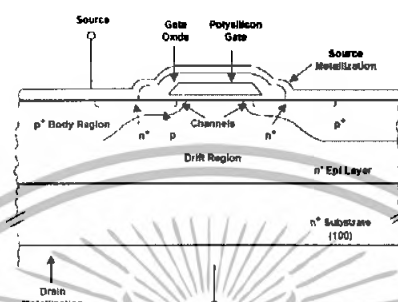


รูปที่ 2.21 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 การทำงานของมอสเฟต

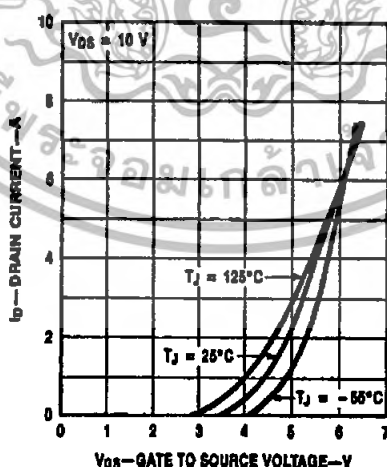
เมื่อป้อนแรงดันให้มีศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสม Polysilicon gate จะเหนี่ยวนำชั้นตรงกันข้ามของ diffuse channel region ซึ่งแสดงโดย  $r_{ch}$  ในรูปที่ 2.22 จะทำให้กระแสไหลจากเดรนไปยังซอส สำหรับ แรงดันค่าน้อยๆที่ป้อนให้เดรนและซอส กระแสเดรนจะเพิ่มขึ้นอย่างลิเนียร์เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น กระแส เดรนจะอิมตัวเป็นสัดส่วนกำลังสองของแรงดันเท่ากับซอส



รูปที่ 2.22 การทำงานของมอสเฟต

### 2.4.3.4 พารามิเตอร์ของเพาเวอร์มอสเฟต

ค่าความจุไอออนย้าย เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญของเพาเวอร์มอสเฟต เมื่อทำงานในสภาวะแอกทีฟ โดยนิยามว่าเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสเดรนเทียบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน กระแส ( $g_m = dID / dV_{GS}$ ) ค่าความนำไอออนย้ายจะเปลี่ยนแปลงตามสภาวะการทำงานดังรูปที่ 2.23



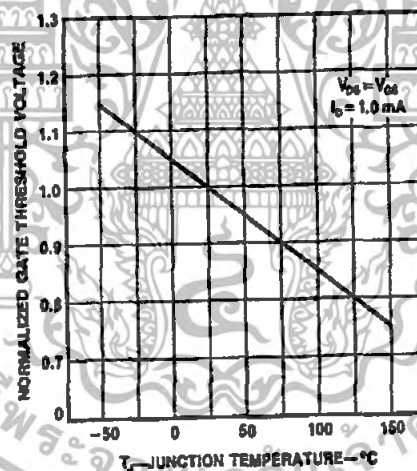
รูปที่ 2.23 กราฟคุณสมบัติของมอสเฟตเบอร์ MTP 5N40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทำงานเป็นสวิตช์ซึ่งจะทำงานระหว่างสถานะเปิด (On) และปิด (off) ค่าความนำคอนสถานะเปิดจะไม่ถูกนำมาใช้เนื่องจากมอสเฟตนำกระแสเต็มที่ จะทำงานอยู่ในช่วงโอห์มมิกเมื่อแรงดันเกตมีค่าสูงในช่วงการทำงานนี้ การเพิ่มแรงดันเกตจะมีผลน้อยมากต่อกระแสเดรน

#### 2.4.3.5 แรงดันขีดเริ่ม (Threshold voltage; $V_{GS(th)}$ )

แรงดันขีดเริ่ม คือแรงดันเกตต่ำสุดที่ทำให้กระแสเดรนเริ่มไหล โดยทั่วไปจะกำหนดค่าแรงดันขีดเริ่มที่ 1 A ในทางปฏิบัติผู้ออกแบบสามารถควบคุมค่าของแรงดันขีดเริ่มมีค่าที่ต่ำ ทำให้ความเร็วในการสวิตช์สูงขึ้นเพราะว่ากระแสน้อย ๆ เพิ่มประจุให้ตัวเก็บประจุแผ่นด้านอินพุท แต่ถ้าแรงดันขีดเริ่มมีค่าต่ำเกินไปจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวน สามารถจูดมอสเฟตได้เช่นเดียวกับแรงดันทรานเซียนท์ (Transient Voltage) สามารถส่งผ่านไปยังเกตได้ซึ่งทำให้มอสเฟตนำกระแสได้เอง แรงดันขีดเริ่มจะมีค่าไม่คงที่ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของรอยต่อ (Junction temperature) จากรูปที่ 2.24 จะพบว่ามอสเฟตมีสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิเป็นลบ (Negative temperature coefficient)



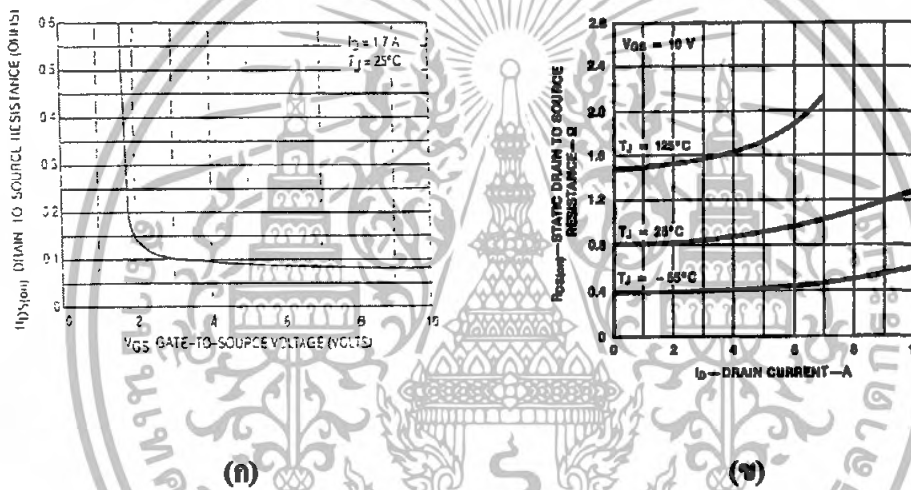
รูปที่ 2.24 กราฟแรงดันขีดเริ่มแปรไปตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

#### 2.4.3.6 ความต้านทานขณะนำกระแส (On-resistance; $r_{DS(on)}$ )

ค่าความต้านทานขณะนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตมีความสำคัญ เนื่องจากเป็นตัวกำหนดปริมาณกระแสที่จะไหลผ่านเพาเวอร์มอสเฟต โดยไม่ทำให้เกิดการแพร่กระจายกำลัง (Power dissipation) ที่มากเกินไปเมื่อมีการสวิตช์จากสถานะไม่นำกระแสไปสู่สถานะนำกระแส ซึ่งค่าความต้านทานขณะนำกระแสจะลดลง จากที่มีค่าสูงมากไปสู่ค่าที่ต่ำมาก ในการลดค่าความต้านทานขณะ

นำกระแสให้มีความต่ำสุดนั้นจะต้องให้ค่าแรงดันเกทมีค่าต่ำพอที่จะให้ค่ากระแสเดรนมีมากพอที่จะทำให้ออสเฟททำงานในช่วงโอห์มมิก

จากรูป 2.25 (ก) แสดงให้เห็นการเพิ่มแรงดันเกทกับซอส ให้มีค่ามากกว่า 2 โวลต์ จะไม่มีผลทำให้ค่าความต้านทานขณะนำกระแสลดลง และการเพิ่มแรงดันเกทกับซอสให้มีค่าสูงขึ้นทำให้แรงดันสไปค์ (Spike) การเพิ่มแรงดันเกทกับซอสมากเกินไปจะเพิ่มเวลาในช่วงเริ่มหยุดนำกระแส (Turn off time) เนื่องจากมีประจุในตัวเก็บประจุด้านอินพุตมากเกินไป และจากรูปที่ 2.28 (ข) จะพบว่าเมื่อกระแสเดรนสูงขึ้นค่าของความต้านทานขณะนำกระแสจะสูงขึ้นด้วย ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ชี้ให้เห็นว่า พารามิเตอร์ตัวอื่นก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเช่นเดียวกัน อันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานขณะนำกระแส



รูปที่ 2.25 กราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานขณะนำกระแส

#### 2.4.3.7 ตัวเก็บประจุในออสเฟท

จากโครงสร้างของตัวมอสเฟทจะทำให้เกิดตัวเก็บประจุระหว่างขั้วโลหะของเดรนและซอสกับเกทซึ่งเป็น Polision จะทำให้ตัวเก็บประจุระหว่างเดรนกับเกท  $C_{gd}$  และเกทกับซอส  $C_{gs}$  และหัวต่อ P - N ระหว่างเดรนกับซอส จะทำให้เกิดตัวเก็บประจุด้านขาเข้า (Common source input capacitance;  $C_{rss}$ ) และตัวเก็บประจุอินพุตกลับ โดยที่

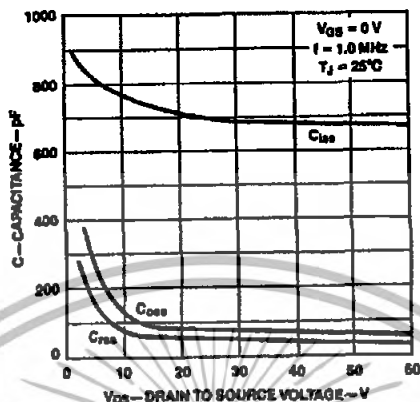
$$C_{in} = C_{gd} + C_{gs} \quad (2-2)$$

$$C_{oss} = C_{gs} + C_{ds} \quad (2-3)$$

$$C_{rss} = C_{gd} \quad (2-4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงระหว่างเดรนกับซอส แรงดันระหว่างเดรนกับซอส โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่แรงดันระหว่างเดรนกับซอสมีค่าต่ำๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.29 แต่ตัวเก็บประจุเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย



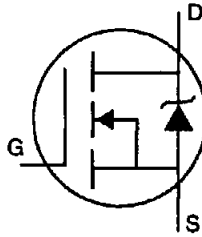
รูปที่ 2.26 กราฟค่าตัวเก็บประจุกับแรงดันเดรนซอส

การใช้งานมอสเฟตค่า  $C_{iss}$  จะเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญซึ่งตัวเก็บประจุจะถูกอัดประจุและคายประจุโดยวงจรขับ (Drive circuit) ซึ่งมีผลต่อการสวิทช์ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของวงจรขับจะมีอย่างมากในการสวิทช์ การเปลี่ยนแปลงจะมีผลกระทบเล็กน้อยต่อค่าประจุต่างๆ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลเล็กน้อยต่อค่าเวลาในการสวิทช์ของมอสเฟต

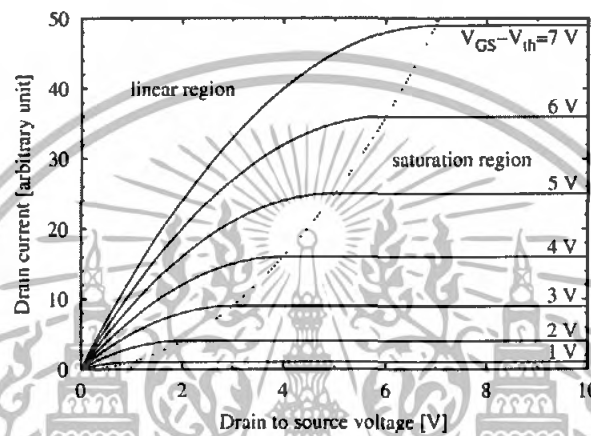
#### 2.4.3.8 ไดโอดระหว่างเดรนกับซอส

ในตัวเพาเวอร์มอสเฟตทุกตัวจะมีไดโอดแอบแฝงอยู่ระหว่างเดรนกับซอส ในรูปที่ 2.30 (ก) แสดงรูปหน้าตัดของ TMOS ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารอยต่อ P-N เกิดขึ้นจากชั้น P และชั้น N-epitaxial และเหตุที่รอยต่อมีขนาดกว้าง ค่าอัตรากระแสของไดโอดจึงเท่ากับมอสเฟต ไม่ว่าจะเป็นแบบต่อเนื่องหรือพัลส์

ในรูปที่ 2.30 (ข) จะพบว่าไดโอดถูกไบอัสตรง (Forward bias) ถ้าซอสมีศักดาเป็นบวกเมื่อเทียบกับเดรน เนื่องจากไดโอดเป็นชั้นส่วนสำคัญ จึงได้มีการกำหนดค่า Forward on voltage, Forward turn-on time และ Reverse recovery time ไว้ดังรูป 2.31



รูปที่ 2.27 สัญลักษณ์มอสเฟตที่รวมแควนกับขอสเข้าด้วยกัน



รูปที่ 2.28 กราฟกระแสแควนกับแรงดันแควนขอส

#### 2.4.3.9 การขับเคลื่อนของมอสเฟต

ลักษณะสมบัติทางด้านขาเข้าของมอสเฟตนั้นจะมีความแตกต่างกับคุณสมบัติทางด้านขาเข้าของบีเจที กล่าวคือกระแสขาออกของบีเจที (BJT) จะควบคุมด้วยกระแสเบสส่วนกระแสออกของมอสเฟตจะถูกควบคุมด้วยแรงดันของเกต นอกจากนั้นแล้วความต้านทานทางด้านขาเข้าของมอสเฟตจะมีค่าสูงมาก คือ อยู่ในช่วงจิกกะ โอห์ม (Giga ohms) ซึ่งทำให้กระแสมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับบีเจทีขนาด เดียวกัน ดังนั้นการควบคุมมอสเฟตจึงใช้กำลังต่ำกว่าบีเจทีมาก คุณสมบัตินี้นับว่าเป็นข้อได้เปรียบของ มอสเฟต เมื่อเทียบกับบีเจที

ในสถานะอยู่ตัวนั้นกระแสที่ใช้ในการขับมอสเฟตจะมีค่าน้อยมาก คือ อยู่ในช่วงนาโนแอมแปร์ (Nanoamppers) เนื่องจากความต้านทานขาเข้าของมอสเฟตมีค่าสูงขึ้นถึงจิกกะ โอห์ม ซึ่งทำให้ดูเหมือนว่าเราสามารถขับเคลื่อนของเพาเวอร์มอสเฟตได้ โดยวงจรที่สามารถจ่ายกระแสออกๆ ได้เป็นนาโนแอมป์แต่ในความจริงแล้ว การนำกระแสหรือหยุดนำกระแสเพาเวอร์มอสเฟตนั้นเราจะต้อง ชาร์จ หรือ ดิสชาร์จ ตัวเก็บประจุด้านขาเข้าของเพาเวอร์มอสเฟตคือ  $C_{in}$  หรือ  $C_{gs}$  จากแรงดันระดับหนึ่งไปสู่แรงดันอีกระดับหนึ่ง ซึ่งความเร็วในการนำกระแสด้านขาเข้าของเพาเวอร์

มอสเฟต ถ้าเราต้องการให้การสวิตช์ของมอสเฟตเป็นไปอย่างรวดเร็ว จะต้องใช้วงจรขับที่มีความต้านทานขาออกต่ำที่สามารถจ่ายหรือรับกระแสในคอนสวิตช์ได้สูง ทั้งนี้ความเร็วของการสวิตช์ของมอสเฟตจะลดลงตามความต้านทานขาออกของวงจรขับเกท

เนื่องจากเกทของมอสเฟตจะถูกแยกออกจากช่องนำกระแสด้วยชั้นบางๆ ของซิลิกอน ซึ่งถ้าแรงดันระหว่างเกทกับซอสมีค่าสูงเกินไป อาจทำให้ฉนวนนั้นทะลุและทำให้มอสเฟตเสียหายได้ ดังนั้นผู้ผลิตจะบอกแรงดันสูงสุดระหว่างเกทกับซอสของมอสเฟตมาให้ โดยทั่วไปจะมีค่าที่ 20 โวลต์ และในวงจรขับเกทโดยทั่วไปจะมีการจำกัดแรงดันเกทกับซอสโดยใช้ซีเนอร์ไดโอด (Zener diode) ขนาด 20 โวลต์ สองตัวมาต่ออนุกรมกัน โดยต่อเอาโนดกับคาโทดเข้าด้วยกันและต่อคร่อมเกทกับซอสเพื่อจำกัดแรงดันคั่นเกทกับซอสไม่ให้เกิน 20 โวลต์ นอกจากนี้แล้วบางครั้งจะมีการต่อคร่อมความต้านทานเชื่อมระหว่างเกทกับซอสเพื่อป้องกันการนำกระแสของมอสเฟตโดยไม่เจตนา ทั้งนี้เราเปิดวงจรเอาไว้ตัวเก็บประจุด้านขาเข้าอาจถูกชาร์จโดยกระแสรั่วไหล (Leakage current) ทำให้แรงดันเกทกับซอสมีค่าสูงกว่าแรงดันขีดเริ่ม ซึ่งทำให้มอสเฟตนำกระแสได้ ความต้านทานระหว่างเกทกับซอสจะเป็นทางผ่านของกระแสรั่วไหล และรักษาไม่ให้แรงดันเกทกับซอสสูงกว่าแรงดันขีดเริ่ม

#### 3.4.3.10 ลักษณะสมบัติการสวิตช์มอสเฟต

เนื่องจากพาหะข้างมาก (Majority carrier) จึงทำให้ไม่มี Storage time ในตอนหยุดนำกระแส ดังนั้นความเร็วในการสวิตช์ของมอสเฟตจึงสูงกว่าความเร็วในการสวิตช์ของบีเจทีมาก แต่อย่างไรก็ดีการเปลี่ยนแปลงแรงดันเกทกับซอส และแรงดันเดรนกับซอส ยังต้องใช้เวลาในการชาร์จหรือดิสชาร์จ ตัวเก็บประจุที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นเวลาในการสวิตช์ของมอสเฟตขึ้นอยู่กับกระแสที่ใช้นั่นเอง ในรูปที่ 2.29 แสดงรูปคลื่นของกระแสเกท แรงดันเกทกับซอส กระแสเดรนและแรงดันเดรนกับซอส ในระหว่างการนำกระแสและหยุดนำกระแสของมอสเฟต ซึ่งเราสามารถแบ่งช่วงเวลาออกได้ตามสภาพการประจุของตัวเก็บประจุด้านขาเข้าได้ดังนี้

##### 1. ในระหว่างการนำกระแส แบ่งเป็น 4 ช่วงดังนี้

$T_1$  คือช่วงเวลาที่  $C_{in}$  ถูกชาร์จจนกระทั่งมีแรงดันเท่ากับแรงดันขีดเริ่ม มอสเฟตจะยังอยู่ในสภาพปิดกั้นกระแส  $T_1$  จะมีค่าเท่ากับช่วงเวลาการนำกระแส (Turn on delay time;  $t_d$  (on)) คือ นับเวลาจากที่แรงดันเกทกับซอสมีค่าประมาณ 10 % ของค่าสูงสุด ถึงเวลาที่แรงดันเดรนกับซอสลดลง 10 % ของแรงดันในสภาวะหยุดกระแส

$T_2$  คือช่วงเวลาที่มอสเฟตเริ่มนำกระแสและแรงดันเกทกับซอสลดลงอย่างรวดเร็ว  $C_{in}$  จะมีค่าน้อยในช่วงนี้ แรงดันเกทมีค่าค่อนข้างคงที่  $T_2$  มีค่าประมาณเท่าค่าเวลาได้ขึ้น (Rise time;  $t_r$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$T_3$  คือเวลาที่แรงดันเกทกับซอสและความต้านทานขณะนำกระแสลดลงอย่างช้าๆ กระแสเดรนจะมีค่าใกล้เคียงค่าสูงสุด และกำลังสูญเสียยังคงมีค่ามากเนื่องจากแรงดันเดรนกับซอสมีค่ามากกว่าแรงดันเดรนกับซอสขณะนำกระแสเต็มที่ ในช่วงเวลานี้  $C_{in}$  จะมีค่าสูงสุดและจะถูกชาร์จให้มีแรงดันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

$T_4$  คือช่วงที่มอสเฟทนำกระแสเกือบเต็มที่ แต่  $C_{in}$  ยังคงถูกชาร์จจนกระทั่งแรงดันเดรนกับซอสมีค่าเท่ากับแรงดันเดรนกับซอสต่ำสุด และกระแสจะลดลงจนมีค่าเล็กน้อยในระหว่างการหยุดนำกระแส

## 2. ในช่วงหยุดนำกระแส แบ่งได้ 4 ช่วงคือ

$T_5$  คือช่วงมอสเฟทยังคงนำกระแสเต็มที่ ประจุส่วนเกินใน  $C_{in}$  ถูกดิสชาร์จแล้ว

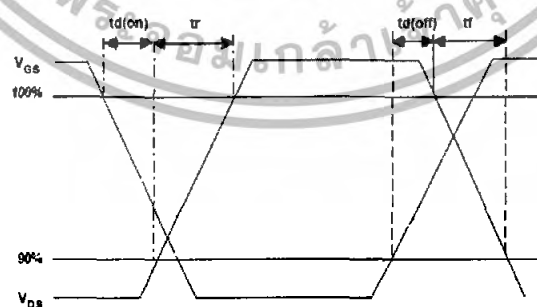
$T_6$  คือช่วงที่แรงดันเดรนกับซอสเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ กระแสเดรนลดลงเล็กน้อย  $C_{in}$  จะมีค่าสูงและถูกดิสชาร์จให้แรงดันลดลงอย่างช้าๆ

$T_7$  คือช่วงที่แรงดันเดรนกับซอสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมอสเฟทเริ่มเปลี่ยนแปลงไปสู่สถานะ หยุดนำกระแส เมื่อแรงดันเกทกับซอส กระแสเดรน และ  $C_{in}$  มีค่าลดลง

$T_8$  คือช่วงที่มอสเฟทหยุดนำกระแสแต่  $C_{in}$  ยังถูกดิสชาร์จต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งแรงดันเป็นศูนย์

Turn off time delay ( $t_{off}$ ) จะมีค่าปรากฏใน  $T_7 + T_8$  และช่วงเวลาหยุดนำกระแสจะมีค่าประมาณ  $T_7$

ในการสวิตช์มอสเฟทนั้นเราให้จำกัดความของเวลานำกระแส และเวลาหยุดนำกระแสเช่นเดียวกันกับในกรณีของ BJT



รูปที่ 2.29 การสวิตช์ของมอสเฟททั้งระหว่างนำกระแสและหยุดนำกระแส

### 2.4.3.11 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้งานเพาเวอร์มอสเฟต

สำหรับเพาเวอร์มอสเฟต การเกิด Secondary breakdown เช่น ใน BJT จะไม่เกิดขึ้นเพราะค่าความต้านทานระหว่างเดรนกับซอสขณะนำกระแสจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสที่ไหลผ่านมีค่าน้อย ต่างจากกรณีของ BJT ขณะเกิด Secondary breakdown เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น กระแสจะมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะเกิดการเสียหายได้อย่างรวดเร็ว เพาเวอร์มอสเฟตจึงมีพิสัยความปลอดภัยในกราฟ SOA กว้างกว่าเมื่อเทียบกับ BJT และเนื่องจากเพาเวอร์มอสเฟตไม่มีการเกิด Secondary breakdown อัตราการทนกำลังสูญเสียสูงสุดของมันจะถูกจำกัดด้วยค่าความร้อนที่เกิดขึ้นที่รอยต่อภายในตัวมันเท่านั้น

#### 1 พิกัดความปลอดภัยฟอร์เวิร์ดไบอัส (Forward Bias Operating Area; FBSOA)

แบ่งออกได้ 4 ลักษณะคือ

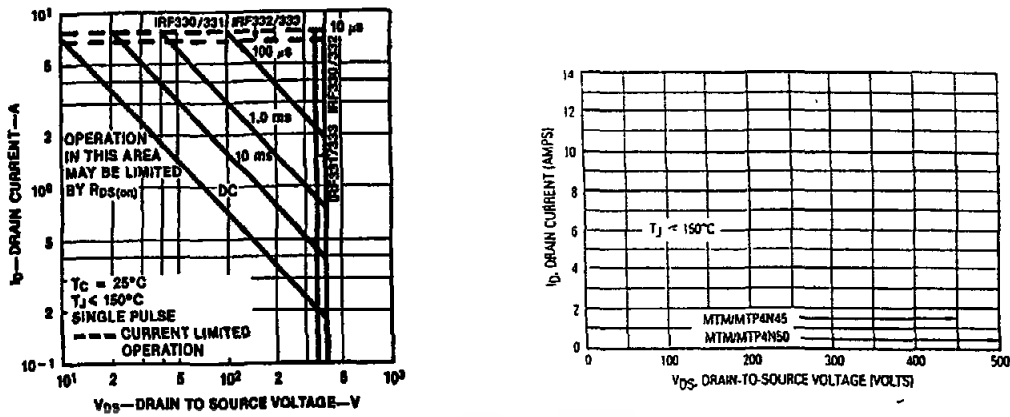
1. ข้อจำกัดแรงดันตกคร่อมเดรนและซอสสูงสุดที่สามารถทนได้ (Maximum Drain Source Voltage)
2. ค่ากระแสเดรนสูงสุดที่สามารถไหลผ่านได้ และไม่ทำให้โครงสร้างภายนอกเสียหาย (Thermal Limit)
3. ข้อจำกัดเนื่องจากความต้านทานขณะนำกระแส
4. ข้อจำกัดการระบายความร้อนของตัวถัง (Package Limit)

ตัวอย่างกราฟ FBSOA แสดงไว้ในรูปที่ 2.30 การระวังไม่ให้เกิดเงื่อนไขที่ทำให้เพาเวอร์มอสเฟตทำงานเกินพิสัยของกราฟ FBSOA เป็นสิ่งสำคัญ ต้องให้ความสนใจก่อนนำมาใช้งานทุกครั้ง

#### 2 พิกัดความปลอดภัยสวิทช์ของเพาเวอร์มอสเฟต (Switching Safe Operating Area; SSOA)

SSOA เป็นกราฟแสดงพิสัยกระแสและแรงดันที่ใช้งานที่ปลอดภัยของเพาเวอร์มอสเฟตขณะเปลี่ยนสถานะ การใช้ SSOA สามารถใช้พิจารณาพิสัยความปลอดภัยทั้งในช่วงนำกระแสและหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

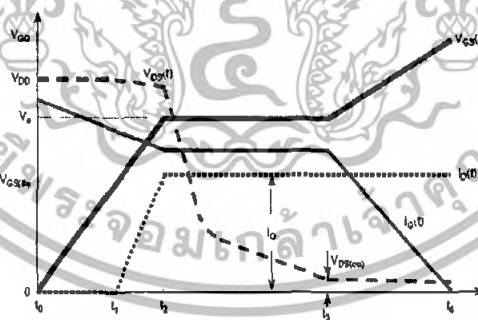
ตัวอย่างกราฟ SSOA แสดงไว้ในรูปที่ 2.23 ข) เมื่อเทียบกับ RBSOA ของ BJT จะเห็นว่า SSOA จะมีพื้นที่ปลอดภัยมากกว่า และขีดจำกัดจะอยู่ที่แรงดันตกคร่อมเดรนกับซอสสูงสุดและกระแสเดรนสูงสุดเท่านั้น



รูปที่ 2.30 กราฟ FBSOA และ RBSOA

2.4.3.12 กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของเพาเวอร์มอสเฟต

กำลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์มอสเฟตในขณะที่ทำงานจะเป็นไปได้ 2 ลักษณะ คือ กำลังงานสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะ และกำลังงานสูญเสียขณะนำกระแส แต่สำหรับเพาเวอร์มอสเฟตจะมีช่วงเวลาเริ่มนำกระแสและหยุดนำกระแสสั้นกว่า BJT มาก เพราะจะไม่ประจุสะสมเกิดขึ้น จึงไม่มีปัญหาเกิดขึ้นเหมือนกับ BJT แต่มอสเฟตจะมีความต้านทานขณะนำกระแสค่อนข้างสูง การสูญเสียกำลังขณะนำกระแสจึงสูงกว่า BJT รูปที่ 2.34 แสดงลักษณะการตอบสนองของมอสเฟตที่ทำงานเป็นสวิตช์



รูปที่ 2.31 ลักษณะกระแสและแรงดันของมอสเฟตเมื่อเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแส

ถึงแม้ว่าช่วงเวลาเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต จะค่อนข้างสั้น แต่โดยทั่วไปมักใช้ที่ความถี่สูง การใช้งานที่ความถี่สูงกว่า 20 kHz การคิดค่าความสูญเสียขณะทำงานต้องนำค่าความสูญเสียจากการเปลี่ยนสถานะมาคิดด้วย และเนื่องจากเวลาขณะเริ่มนำกระแสและ

เริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตมีค่าใกล้เคียงกัน จึงต้องนำมาคิดทั้งสองช่วงเวลาดังนั้น  
กำลังงานสูญเสียของเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงาน ( $P_D$ ) เมื่อ

$P_{sw(on)}$  คือ กำลังสูญเสียขณะเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

$P_{sw(off)}$  คือ กำลังสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

$P_C$  คือ กำลังสูญเสียขณะนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

$I_{TK(on)}$  คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มนำกระแส

$I_{TK(off)}$  คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มหยุดนำกระแส

$I_{Drms}$  คือ ค่ากระแส rms ที่ไหลผ่านเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงาน

$R_{DSon(T)}$  คือ ค่าความต้านทานระหว่างเกรนกับซอส ที่อุณหภูมิรอยต่อสูงสุดขณะทำงานของเพาเวอร์มอสเฟต

$t_r$  คือ ช่วงเวลาเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

$t_f$  คือ ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

### 2.4.3.13 ข้อได้เปรียบจากการใช้เพาเวอร์มอสเฟต

#### 1. ด้านความเร็ว

เพาเวอร์มอสเฟตมีความสามารถในการสวิตชิงด้วยความเร็วโดยปราศจากประจุสะสม จึงไม่คิดเวลาสะสมมากทำให้ขนาดและน้ำหนักเบาทำให้เพาเวอร์มอสเฟตมีความเร็วมากกว่าทรานซิสเตอร์ สวิตชิงมาก ความเร็วของมอสเฟตนั้น ขึ้นอยู่กับการอัดและคายประจุของการเก็บประจุของมอสเฟตเอง โดยไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

#### 2. ลักษณะของอินพุต

ขาเกตของมอสเฟตนั้นจะถูกแยกจากแหล่งจ่ายด้วยชั้นออกไซด์ที่ทำให้เกิดความต้านทานกระตรงประมาณ 40 เมกกะโอห์ม มอสเฟตจะถูกไบอัสด้วยแรงดัน 20 โวลต์ ด้วยแรงดันขนาดนี้จึงสามารถขับมอสเฟตได้ด้วยไอซีซีมอส หรือ TTL ได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงกระแสของโหลด ทำให้ลดความยุ่งยากของวงจรขับ ทำให้ประหยัดยิ่งขึ้น

#### 3. ย่านทำงานปลอดภัย

การใช้งานเกินพิกัดอาจทำให้มอสเฟตพังได้ แต่สำหรับเพาเวอร์มอสเฟตแล้วบางที่อาจไม่ต้องใช้วงจรสับเบอร์ก็ได้ หรือใช้ตัวเก็บประจุน้อยๆ ก็ได้ ขอบเขตของย่านปลอดภัยจะกำหนดด้วยพิกัดกระแสสูงสุด แรงดันเบรกดาวน์ และความจุของอุปกรณ์ ขอบเขตย่านความปลอดภัยจะกว้างเนื่องจากจะไม่คิด Secondary breakdown

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. แรงดัน

แรงดันต่ำสุดของมอสเฟต หาได้จากความต้านทานของอุปกรณ์ ( $R_{DS}$ ) สำหรับอุปกรณ์แรงต่ำ ค่า  $R_{DS}$  ต้องมีค่าต่ำที่สุด สำหรับอุปกรณ์แรงสูง ค่า  $R_{DS}$  ต้องมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของ  $R_{DS}$  เป็นบวก

#### 5. สัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิในตัวมอสเฟตสูงขึ้น กระแสเดรนจะมีค่าลดลง ดังนั้นการทำงานของมอสเฟตจึงไม่มีเหตุเกิดขึ้นเนื่องจากการเพิ่ม Thermal runaway ของอุณหภูมิ

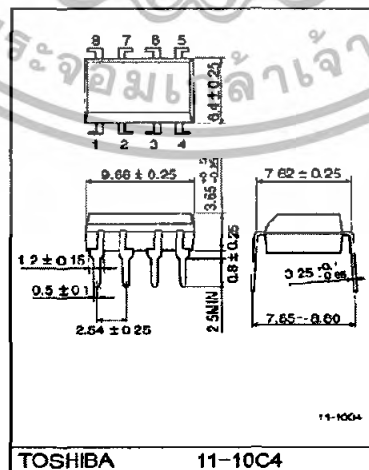
#### 6. เพิ่มกำลังได้

สามารถเพิ่มกำลังของการสวิทชิงได้ โดยการนำมอสเฟตมาต่อกันหลายๆ ตัว

อย่างไรก็ตาม มอสเฟตก็มีข้อเสียเหมือนกัน คือ ค่าความต้านทานขณะนำกระแสของมอสเฟตจะสูงกว่า BJT ดังนั้นการใช้งานที่ความถี่ต่ำ ซึ่งความสูญเสียขณะนำกระแสในอุปกรณ์ สวิทชิงกำลังเป็นสิ่งสำคัญ จึงไม่ควรใช้เพาเวอร์มอสเฟต

#### 2.4.4 Optoisolator

มีหน้าที่แยกกราวด์ทางด้านของส่วน Signal กับด้านของ Driving circuit ออกจากกันเนื่องจากอาจก่อให้เกิดอันตรายทางไฟฟ้ากับผู้ใช้ในกรณีที่เกิดข้อบกพร่องที่ตัวอุปกรณ์ Optoisolator จะส่งสัญญาณโดยใช้แสงเป็นตัวเชื่อม ซึ่งเป็นการแยกจากกันทางไฟฟ้าของวงจรได้อย่างสิ้นเชิง นอกจากนี้ยังเป็นการควบคุมสัญญาณระหว่าง Signal กับ Driving circuit โดย Optoisolator ที่ใช้เป็นเบอร์ TLP250



รูปที่ 2.32 ลักษณะทั่วไปของ Optoisolator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

### 2.5.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

PIC คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์อีกตระกูลหนึ่ง ย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูลนี้ก็คือพยายามรวมเอาทุกอย่างเอาไว้ในตัวของมันไม่ว่าจะเป็น PROGRAM MEMORY, RAM, EEPROM, SERIAL, I2C, PWM, A/D ฯลฯ โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก ในตัว PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผลรวมทั้งหน่วยความจำซึ่งทำให้มันเหมือนกับ CPU ตัวนี้เลยทีเดียว

ความเร็วของ PIC ภาคของความถี่สัญญาณนาฬิกาปัจจุบันสามารถทำสัญญาณนาฬิกาได้ที่ 20 MHz ซึ่งทำให้หนึ่งคำสั่งของ PIC ใช้เวลาเพียง 0.25 ไมโครวินาที แต่อย่างไรก็ตามได้มีบริษัทอื่นได้ซื้อลิขสิทธิ์ PIC จาก microchip และได้สร้าง chip ที่มีความเร็วได้มากกว่าเดิมขึ้นได้อีก

หน่วยความจำของ PIC ในอดีตหน่วยความจำของ PIC จะค่อนข้างน้อย คืออยู่ระหว่าง 512 words ถึง 4Kwords แต่ในปัจจุบันบริษัท microchip ซึ่งเป็นเจ้าของ PIC ได้พัฒนาจนทำให้ memory ของ PIC มีขนาดเป็นหลายสิบล้านไบต์ และมีที่ท้าวจะขยายได้ใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ในเรื่องของขนาดของหน่วยความจำของ PIC จะนับไม่เหมือนปกติโดยที่หนึ่งคำสั่งของ PIC จะมีขนาด 14 บิต ดังนั้นเราจะเรียก 1 word ของ PIC จะมีขนาด 14 บิตเช่นเบอร์ PIC16F877A ระบุว่ามีความจำ 1 K (ซึ่งหมายถึง 1Kword ถ้าคำนวณให้เป็นแบบ 1 ไบต์ เท่ากับ 8 บิต จะได้ว่า  $1 \times 1024 \times 14$  เท่ากับ 14,336 บิต ดังนั้นก็คือ  $14,336 / (8 \times 1024)$  เท่ากับ 1.75 K bytes นั่นเอง

#### 2.5.1.1 สถาปัตยกรรมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

เป็น PIC ที่ได้รับความนิยมมาก เพราะเป็นชิปที่หน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชและมีความจำข้อมูลแบบ EEPROM ทำให้สามารถพัฒนาโปรแกรมได้ง่าย และมีวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D) ขนาด 10 บิตอยู่ในตัว



40-Pin PDIP



### รูปที่ 2.33 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A และขาสัญญาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ เมืออนุญาตให้ใช้แบบลิขสิทธิ์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

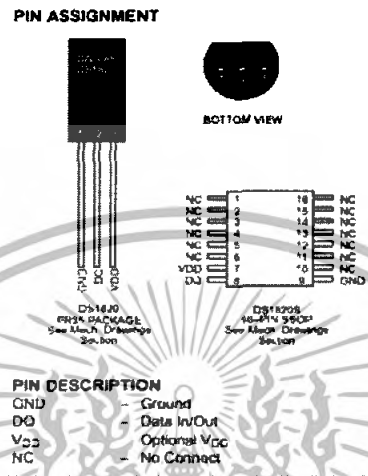
คุณสมบัติหลักๆ ของ PIC 16F877A มีดังนี้

1. มีคำสั่งที่เป็นภาษาแอสเซมบลี 35 คำสั่ง
2. ใน 1 คำสั่งใช้เวลาการทำงาน 1 ถึง 2 ไชเคลิล
3. ทำงานได้สูงสุดที่สัญญาณนาฬิกาตั้งแต่ไฟตรงถึง 20 MHz
4. ทำงานแบบ Pipe-line สามารถทำงาน 2 อย่างในเวลาเดียวกันได้
5. หน่วยความจำเป็นแบบFlash มีขนาด 8 Kword (1Word = 14 บิต)
6. มีหน่วยความจำข้อมูล (data Memory Ram ) ขนาด 368 ไบต์
7. มีหน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM ขนาด 256 ไบต์
8. ตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ได้ทั้งหมด 14 แห่ง
9. มี Stack ให้ใช้ได้สูงสุด 8 ระดับ
10. มีระบบ Power On Reset Up Timer , Oscillator Start-up และ Watchdog Timer
11. มีระบบ Code Protection กันการคัดลอก
12. มีโหมดประหยัดพลังงาน (Sleep mode)
13. สัญญาณนาฬิกามีหลายโหมดให้เลือกใช้งาน คือ อาจจะใช้ XTAL หรือ วงจร RC ก็ได้
14. สามารถโปรแกรมด้วยไฟ +5 VDC ได้
15. ใช้การโปรแกรมแบบ In-Circuit Serial Programming
16. ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2 VDC ถึง 5 VDC
17. Current Sink และ Current Source อยู่ที่ 25 mA
18. มี Timer / counter 3 ตัว คือ Timer 0 ขนาด 8 บิต, Timer 1 ขนาด 16 บิต, Timer 2 ขนาด 8 บิต
19. มีโมดูล Capture/Compare/PWM (Pulse Width Modulation) 2 ชุด
20. มีวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D Converter) ขนาด 10 บิต
21. มีระบบ USART สำหรับต่อกับการสื่อสารแบบ RS 232
22. มีระบบตรวจระดับไฟเลี้ยง (Brown-out Reset)
23. มี I/O พอร์ตทั้งหมด 5 พอร์ต แต่ละพอร์ตมีจำนวนบิตไม่เท่ากัน

### 2.5.2 ไอซี DS1820

ไอซี DS1820 เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจวัดอุณหภูมิที่ให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาจากสายสัญญาณเส้นเดียวและออกมาเป็นแบบดิจิตอล สามารถตรวจวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่  $-55$  องศาเซลเซียส ถึง  $+125$  องศาเซลเซียส และมีความละเอียด 0.5 องศาเซลเซียสต่อการหนึ่งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ไอซี DS1820 ยังสามารถที่จะทำการ โปรแกรมเข้าไปยังส่วนหน่วยความจำและควบคุม ฟังก์ชันภายในไอซีได้อีกด้วย ซึ่งมีหน่วยความจำ ROM ขนาด 64 บิตแบบเลเซอร์รอม ดังนั้นจึง สามารถที่จะทำการอ่านและเขียนข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับหน้าที่ในการทำงานเกี่ยวกับการตรวจจับ อุณหภูมิได้อย่างมากมายตามการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.34 ลักษณะตัวถังบรรจุและการจัดขาของไอซี DS1820

ภายในตัว ไอซี DS1820 จะมีตัวประกอบหลักๆ อยู่ 3 ส่วนด้วยกันคือ หน่วยความจำเลเซอร์รอมขนาด 64 บิต ส่วนเซนเซอร์อุณหภูมิ และ ส่วนกระตุ้นเตือนอุณหภูมิแบบ non-volatile (TH และ TL) โดยอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมินี้จะถูกควบคุมสถานะการเพาเวอร์ออนและเพาเวอร์ออฟ จากไลน์ข้อมูลเพียง 1 สายข้อมูลจากการเก็บรักษากำลังงานถาวรไว้ในตัวเก็บประจุภายใน ในช่วงระหว่างคาบเวลาเมื่อสัญญาณภายในไลน์มีสถานะเป็น high และจะทำงานต่อเนื่องไปเรื่อยๆ และการหยุดการทำงานก็จะเกิดขึ้นจากการหยุดจ่ายแหล่งจ่ายในช่วงระหว่างค่านั้นเป็น low ของไลน์ข้อมูลและจะหยุดอยู่เช่นนั้นจนกว่าขาไลน์ข้อมูลจะกลับมาเป็น high อีกครั้ง จึงจะเกิดการ ทำงานที่ ไอซี DS1820

### 2.5.2.1 การทำงานในการวัดอุณหภูมิของไอซี DS1820

- ไอซี DS1820 อาศัยการวัดอุณหภูมิโดยการวัดจำนวนวงรอบของสัญญาณนาฬิกาที่
- ออสซิลเลเตอร์ผลิตขึ้นมา ช่วงค่าเวลาเกิดของสัญญาณนาฬิกาที่ออสซิลเลชันมาจะเป็นการ กำหนดได้จากเวลาที่ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิต่ำ ไปจนถึงสัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ซึ่งจะมี ค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ไม่เท่ากัน โดยที่ค่าการนับตัวเลขจะเริ่มนับที่อุณหภูมิต่ำสุดพื้นฐานคือ

-55 องศาเซลเซียส ถ้าหากอุณหภูมิเพิ่มขึ้น การแสดงผลของอุณหภูมิขณะนั้นก็จะสูงกว่า -55 องศาเซลเซียส

การคำนวณค่าภายในไอซี DS1820 จะให้ค่าความละเอียด 0.5 องศาเซลเซียสต่อสแต็ปของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การอ่านค่าของอุณหภูมิจะถูกกำหนดไว้ภายใน 16 บิต โดยมีนัยสำคัญของตัวเลขสองส่วนประกอบการอ่าน ดังตารางที่ 2.2 แสดงคุณลักษณะรายละเอียดความสัมพันธ์ของข้อมูลทางเอาต์พุตกับการจัดอุณหภูมิ ข้อมูลจะถูกส่งออกมาเป็นอนุกรมบนการอินเตอร์เฟสกับสายข้อมูล 1-Wireซึ่งไอซี DS1820 สามารถวัดค่าอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -55 ถึง +125 องศาเซลเซียสที่ 0.5 องศาต่อสแต็ป

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิกับข้อมูลดิจิทัลเอาต์พุต

TEMPERATURE/DATA RELATIONSHIPS Table 1

TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (Binary)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
+125 °C	0000000111110111	00FA
+120 °C	0000000011110111	0032h
+115 °C	0000000001110111	0004h
+110 °C	0000000000010111	0000h
+105 °C	0000000000000111	FFFh
+100 °C	0000000000000011	FF5Bh
+95 °C	0000000000000001	FF2Bh

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิกับข้อมูลดิจิทัลเอาต์พุต

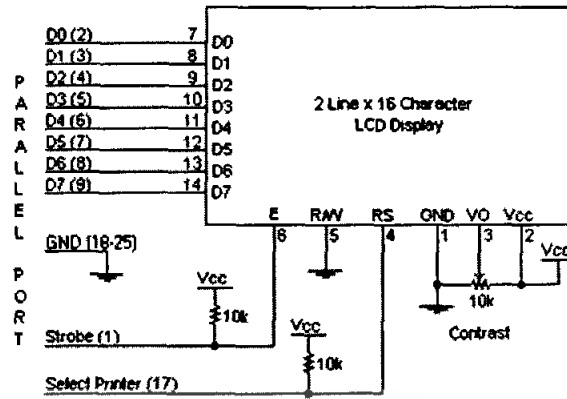
### 2.5.3 จอ LCD (Liquid Crystal Display)

การใช้งานจอแสดงผล LCD ร่วมกับ PIC จะต้องเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการแสดงผลที่หน้าจอ โดยการส่งข้อมูลออกทางบัสข้อมูล (Data Bus) ของจอแสดงผล LCD โดยการส่งข้อมูลมี 2 แบบ คือ แบบ 8 บิต ส่งข้อมูลออกขา D0 – D7 และแบบ 4 บิตส่งข้อมูลออกขา D4 – D7 นอกจากนั้นยังมีขาสัญญาณต่าง ๆ อีกหลายขา



รูปที่ 2.35 จอ LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.36 ขาสัญญาณและการใช้งานของจอแสดงผล LCD ขนาด 16x2 บรรทัด

รายละเอียดของขาแต่ละขาของจอแสดงผล LCD มีดังต่อไปนี้

- ขา 1 VSS** ต่อดลงกราวด์
- ขา 2 VDD** เป็นขาไฟเลี้ยงให้กับจอแสดงผล LCD ขนาด + 5 VDC
- ขา 3 VEE** เป็นขาที่ใช้สำหรับปรับค่าความสว่างของหน้าจอแสดงผล LCD
- ขา 4 RS** เป็นขาแสดงสถานะของข้อมูลที่ส่งออกจากขาข้อมูล ว่าเป็นคำสั่งหรือข้อมูล โดยถ้าขาเป็นลอจิก 0 ข้อมูลที่ส่งเข้ามาคือคำสั่ง ถ้าขาเป็นลอจิก 1 ข้อมูลที่ส่งเข้ามาคือข้อมูลสำหรับแสดงผล
- ขา 5 RW** เป็นขาที่แสดงสถานะการอ่านหรือเขียนข้อมูลของจอแสดงผล LCD โดยถ้าขาเป็นลอจิก 0 จะเป็นการเขียนข้อมูลลงในจอแสดงผล LCD ถ้าขาเป็นลอจิก 1 จะเป็นการอ่านข้อมูลจากจอแสดงผล LCD
- ขา 6 E** เป็นขากำหนดการทำงานของจอแสดงผล LCD
- ขา 7 - 14 (D0-D7)** เป็นขาสำหรับเขียนหรืออ่านข้อมูลระหว่างจอแสดงผล LCD กับอุปกรณ์นอกขนาด 8 บิต

### 2.5.3.1 การเขียนคำสั่งและข้อมูลให้แก่โมดูล LCD

ในการเขียนข้อมูลเพื่อควบคุมให้โมดูล LCD แสดงผลตามที่ต้องการ ต้องส่งคำสั่ง (Instruction) แล้วกำหนดโหมดการทำงานให้แก่โมดูล LCD ก่อน จากนั้นจึงทำการส่งข้อมูล (data) ที่ต้องการแสดงผลเนื่องจากบัสของโมดูล LCD มี 8 เส้น คือ D0-D7 และใช้เป็นทางผ่านของทั้งคำสั่งและข้อมูล ดังนั้นในการส่งคำสั่งและข้อมูลจึงต้องอาศัยการกำหนดสัญญาณลอจิกที่ขา RS หากที่ขา RS ได้ลอจิก "0" หมายความว่าข้อมูลที่ป้อนให้แก่โมดูล LCD ขณะนั้นเป็นคำสั่งในทางตรงข้าม หากขา RS ได้รับลอจิก "1" ข้อมูลที่ป้อนให้ขณะนั้นเป็นข้อมูลที่ใช้ในการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อต้องการเขียนหรืออ่านข้อมูลใน CGRAM หรือ DDRAM เริ่มต้นต้องกำหนดแอดเดรสที่ต้องการอ่านหรือเขียนก่อน โดยใช้คำสั่งเลือกแอดเดรส จากนั้นกำหนดให้ขา RS เป็น “1” เพื่อแจ้งให้ตัวควบคุมภายในโมดูล LCD ทราบว่าข้อมูลที่ปรากฏต่อไปนี้เป็นข้อมูลปกติไม่ใช่คำสั่ง

ในกรณีที่ต้องการอ่านข้อมูลต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น “1” ข้อมูลขนาด 8 บิต (หรือ 4 บิต) ก็ จะปรากฏบนบัสข้อมูล โดยข้อมูลที่อ่านออกมาได้จะเป็นข้อมูลจากแอดเดรสของ CGRAM หรือ DDRAM ตามที่ต้องการ

ในกรณีที่ต้องการเขียนข้อมูล เมื่อกำหนดแอดเดรสและป้อนลอจิก “1” ให้ขา RS แล้ว จะต้อง กำหนดให้ขา R/W เป็น “0” ข้อมูลที่อยู่บนบัสข้อมูลจะถูกเขียนลงในรีจิสเตอร์ DR จากนั้นจึง ถ่ายทอดลงใน DDRAM ต่อไป

### 2.5.3.2 จังหวะการทำงานของ LCD โมดูล

ในการติดต่อกับโมดูล LCD จะต้องมีกรรหน่วงเวลาหลังจากที่ทำการส่งรหัสคำสั่งหรือข้อมูล เนื่องจากต้องรอให้คอนโทรลเลอร์ภายใน LCD โมดูลแปลความหมายของรหัสคำสั่งและทำงานตาม คำสั่งให้เรียบร้อยก่อน จากนั้นจึงจะรับข้อมูลหรือดำเนินการต่อไป

ดังนั้นในการใช้งานโมดูล LCD ผู้เขียน โปรแกรมต้องมีโปรแกรมเพื่อหน่วงเวลารอให้โมดูล LCD พร้อมทำงานด้วย โดยเมื่อเริ่มจ่ายไฟให้แก่โมดูล LCD ต้องรอประมาณ 10 มิลลิวินาทีเพื่อให้ โมดูล LCD ทำการเตรียมความพร้อมหรืออินิเชียล หลังจากนั้นก็จำกัดลอจิกให้แก่ขา RS ของโมดูล LCD แล้วต้องหน่วงเวลาอีกประมาณ 2 มิลลิวินาทีเพื่อให้คอนโทรลเลอร์ใน LCD โมดูลแปลความหมายของลอจิกที่ขา RS ว่าข้อมูลต่อไปที่จะได้รับนั้นเป็นรหัสคำสั่งหรือเป็นข้อมูล ที่ต้องการแสดงผล จากนั้นจะเป็นการส่งข้อมูลมารอบที่บัสข้อมูล D0-D7 (กรณีทำงานในโหมด 8 บิต) ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการส่งสัญญาณพัลส์ไปที่ขา E เพื่ออินาเบิลโมดูล LCD ให้รับข้อมูลจาก บัสข้อมูลเข้าไป โดยพัลส์ที่ป้อนเข้าที่ขา E ของโมดูล LCD ต้องเป็นพัลส์ขอบขาขึ้น จากนั้นทำการ หน่วงเวลา 2 มิลลิวินาที

ทั้งหมดที่กล่าวมาคือขั้นตอนและจังหวะในการทำงาน 1 รอบของโมดูล LCD จะเห็นได้ว่ามี โปรแกรมย่อยที่สำคัญอยู่ 3 โปรแกรม คือ โปรแกรมอินิเชียล LCD , โปรแกรมหน่วงเวลาและ โปรแกรมย่อยการส่งพัลส์เพื่ออินาเบิลโมดูล LCD

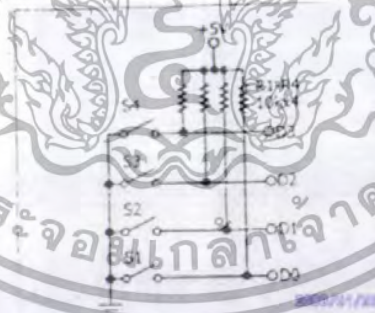
## 2.5.4 คีย์แพด หรือ สวิตช์เมตริก 4x3 จุด



รูปที่ 2.37 คีย์แพด หรือ สวิตช์เมตริก 4x3 จุด

การอ่านและรับค่าการกดสวิตช์เป็นอีกงานหนึ่งที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ต้องสามารถรองรับ และเชื่อมต่อใช้งานร่วมด้วยได้ วงจรสวิตช์มีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

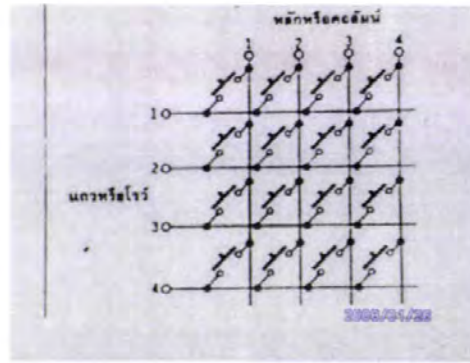
- การต่อเข้ากับไฟเลี้ยงหรือกราวด์โดยตรง เมื่อสวิตช์ตัวใดต่อวงจรสามารถอ่านค่าได้โดยตรง ดังในรูปที่ 2.38 วงจรในลักษณะนี้ไม่มีความซับซ้อน สามารถอ่านค่าของสวิตช์ได้ง่ายและรวดเร็ว แต่มีข้อเสียคือถ้าหากจำนวนของสวิตช์มีมากๆ จำนวนของสายขั้วมัลก็จะมีมากตามทำให้ระบบหรือวงจรโดยรวมมีขนาดใหญ่และสิ้นเปลือง



รูปที่ 2.38 การต่อเข้ากับไฟเลี้ยงหรือกราวด์โดยตรง

- การต่อวงจรแบบเมตริกซ์ (matrix switch) ดังในรูปที่ 2.39 สวิตช์จะถูกต่อกันในแนวแกนตั้งและแกนนอน จะเรียกแนวตั้งว่า หลักหรือคอลัมน์ (column) และเรียกแนวนอนว่าแถวหรือโรว์ (row)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.39 การต่อวงจรแบบเมตริกซ์



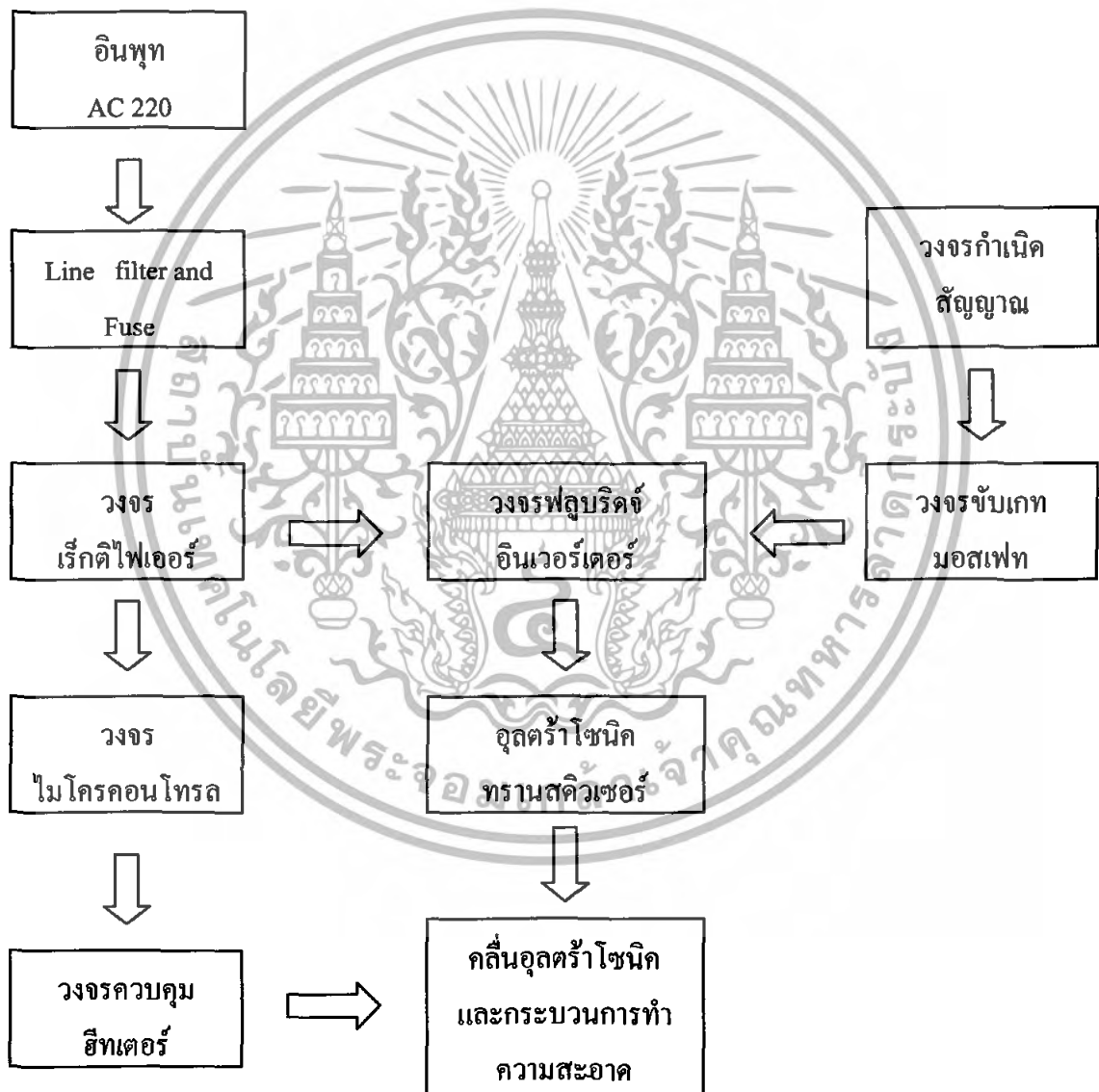
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การคำนวณและการสร้าง

#### 3.1 หลักการของโครงการ

ในบทนี้จะบอกถึงส่วนประกอบต่างๆของเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิกโดยจะมีหลักการการคำนวณ และการออกแบบ ให้ได้คลื่นอุลตราโซนิกที่มีกำลังงานสูงสามารถทำความสะอาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะมีรายละเอียดของการออกแบบโครงการดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 บล็อกโคะแกรมแสดงการทำงานของเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิก

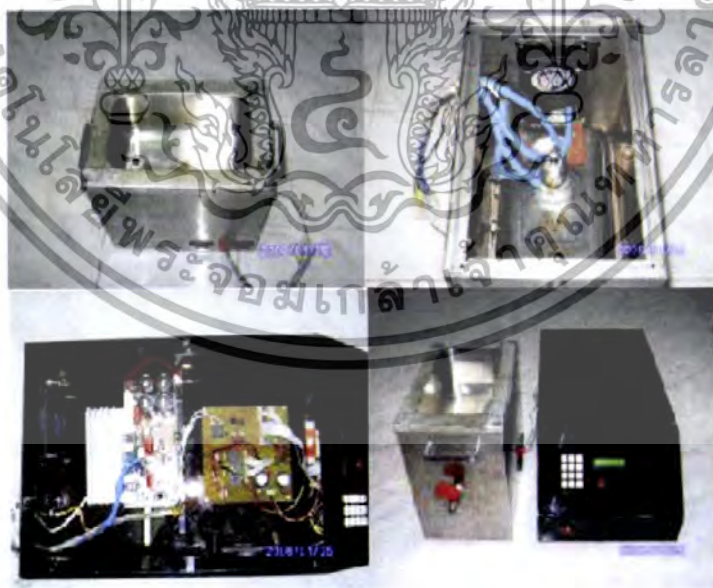
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.1 การสร้างเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิกประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

1. โครงสร้างที่เป็นตัวถัง
2. วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ 28 kHz
3. วงจรขับเกดของมอสเฟตกำลัง
4. ภาควงจรกำลัง
  - 4.1 เรกติไฟร์เออร์
  - 4.2. วงจรอินเวอร์เตอร์
5. ชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

### 3.2 โครงสร้างที่เป็นตัวถัง และโครงสร้างส่วนวงจร

โครงสร้างตัวถังทำจากสแตนเลส มีช่องว่างสำหรับใส่ถังที่ติดตัวทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ลงไป ขณะที่ทำการเดินเครื่องทำความสะอาดนี้จะมีการเดินสายระสายที่ใช้ทำความสะอาดลงไปจนถึง ส่วนที่มีหัวทรานสดิวเซอร์ติดอยู่ และในส่วนของวงจรขับอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ กับชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ จะถูกบรรจุอยู่ในกล่องอะคริลิกที่มีสวิทช์เมตริกสำหรับป้อนค่าอุณหภูมิตามต้องการและจอแสดงผล LCD อยู่ด้านหน้ากล่อง



รูปที่ 3.2 โครงสร้างตัวถังและโครงสร้างส่วนวงจร

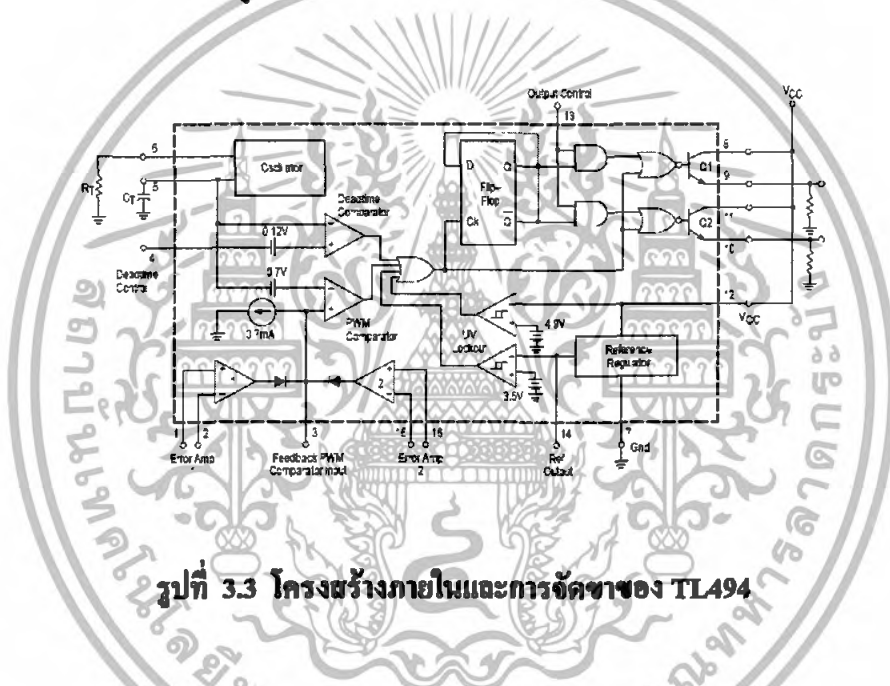
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ 28 kHz

วงจรควบคุมการขับเคลื่อนของมอเตอร์มีหน้าที่ในการทำให้มอเตอร์เป็นสวิตช์ปิดเปิดเพื่อทำให้เกิดความถี่สูงตามที่โหลดต้องการ เนื่องจากวงจรส่วนเพาเวอร์เป็นวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ ดังนั้นจึงต้องสร้างวงจรขึ้นมาขับเคลื่อนมอเตอร์ให้ทำงานสลับกัน วงจรที่สร้างสัญญาณพัลส์ใช้ IC เบอร์ TL494 กำหนดสัญญาณที่ความถี่ 28 kHz ค่าเดดไทม์เท่ากับ 20 %

#### 3.3.1 IC เบอร์ TL494

IC เบอร์ TL494 ออกแบบมาเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ โดยทำงานควบคุมจากโหมคแรงดัน ซึ่งจะได้นำมาสร้างควมถี่พัลส์ที่ความถี่ 28 kHz โครงสร้างภายในและการจัดขาของ IC เบอร์ TL494 แสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 โครงสร้างภายในและการจัดขาของ TL494

##### 3.3.1.1 การกำหนดคาบเวลาทำงาน

วงจรของ TL494 เป็น PWM ที่มีความถี่คงที่ การกำหนดคาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตพัลส์ กำหนดได้โดยการกำหนดค่าของ  $R_t$  และ  $C_t$  จากขา 6 และ 5 ของ IC ซึ่งมีสูตรการคำนวณหาค่าของ  $R_t$  และ  $C_t$  ดังนี้

$$T = R_t C_t / 1.1$$

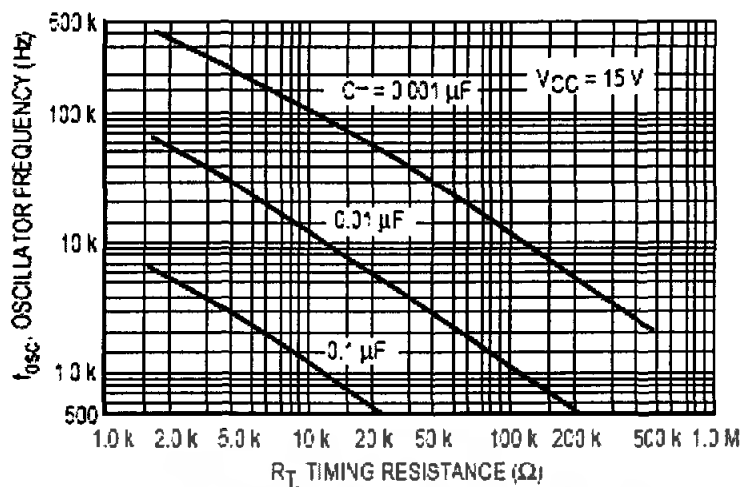
จะได้

$$F = 1.1 / R_t C_t$$

ที่ความถี่ 56 kHz

$$R_t = 1964.28 \text{ โอห์ม} \quad C_t = 0.01 \text{ } \mu\text{F}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

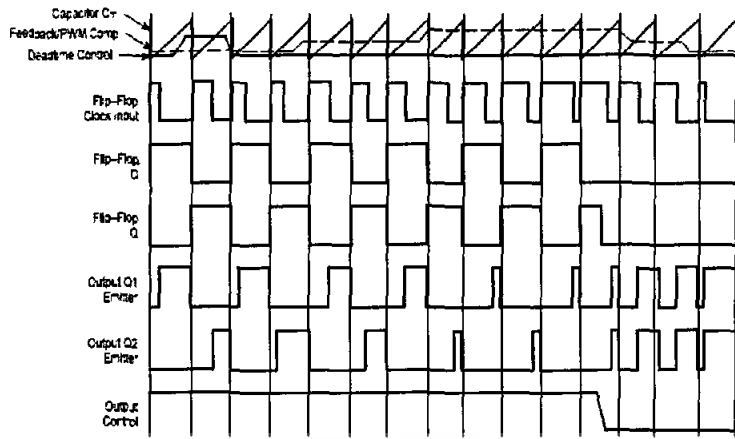


รูปที่ 3.4 กราฟความสัมพันธ์ของค่า R, C ในการกำหนดความถี่

### 3.3.1.2 การทำงานของ TL494 ในการคงค่าแรงดันของอินเวอร์เตอร์

ความกว้างเอาต์พุตของ TL494 จะได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณฟันรีซที่ขา 6 กับแรงดันที่ได้จากการขยายความแตกต่าง (Error Amp) ทั้ง 2 ตัวที่ PWM Comparator ส่วน NOR เกทที่ควบคุมทรานซิสเตอร์เอาต์พุต  $Q_1$  และ  $Q_2$  จะทำงานก็ต่อเมื่อ  $C_k$  ของฟลิปฟลอปอยู่ในสถานะ low เท่านั้น ซึ่ง  $C_k$  จะเป็น low ได้ก็ต่อเมื่อแรงดันของสัญญาณฟันรีซมีค่ามากกว่าแรงดันที่ออกมาจากวงจรขยายความต่างทั้ง 2 นั่นคือแรงดันป้อนกลับจากเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ หากมีค่าสูงขึ้น ความกว้างเอาต์พุตของ IC จะเพิ่มขึ้น

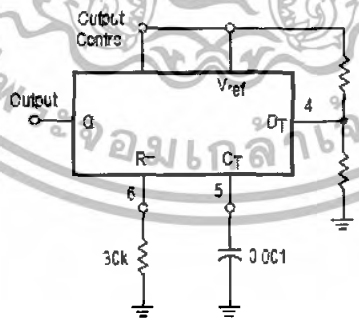
ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของ IC สามารถให้มีค่ามากที่สุดหรือมีค่าเท่ากับศูนย์ได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ขา 3 จาก 0.5-3.5 โวลต์ ส่วนวงจรขยายความแตกต่างทั้ง 2 ตัวจะมีช่วงของอินพุตคอมมอนโหมคตั้งแต่  $-0.3 - (V_{cc} - 2)$  โวลต์ และสามารถใช้ตรวจจับแรงดันหรือกระแสที่เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ได้ วงจรขยายความแตกต่างทั้ง 2 ตัวจะให้เอาต์พุตในลักษณะให้สถานะ High (Active high) โดยต่อกันอยู่ในลักษณะ OR ที่ขา non-inverting ของ PWM comparator การต่อกันในลักษณะนี้ วงจรขยายความแตกต่างจะทำให้เกิดความกว้างเอาต์พุตพัลส์ต่ำสุด จะเป็นตัวควบคุมความกว้างเอาต์พุตของ IC



รูปที่ 3.5 รูปคลื่นลักษณะการทำงานของ TL494

3.3.1.3 การกำหนดค่าเวลาเมื่อ  $t_D$  (Dead time)

TL494 สามารถให้ผู้ใช้กำหนดค่าเวลาเมื่อ  $t_D$  ของวงจรได้เอง โดยการต่อแรงดัน 0 ถึง 3.3 โวลต์ ที่ขา 4 ของไอซี อย่างไรก็ตามถ้าหากที่ขา 4 ของไอซีมีแรงดันเท่ากับ 0 โวลต์ ค่าเวลาเมื่อของไอซีจะไม่ต่ำกว่า 4 % ของค่าคาบเวลาการทำงานเนื่องจากมีแรงดันออฟเซต 120 มิลลิโวลต์ต่ออยู่ภายใน ดังนั้นช่วงเวลา  $t_{on}$  สูงสุดของอินเวิร์ตที่ได้จากไอซีจะเท่ากับ 48 % ของค่าคาบเวลา เมื่อต่อขา 13 (Output control) เข้ากับขา 14 (+5V<sub>ref</sub>) และมีค่าเท่ากับ 96 % ของค่าคาบเวลาเมื่อต่อขาลงกราวด์



$$\text{Max \% on Time, each output} = 45 - \left( \frac{R_1}{R_1 + \frac{R_2}{2}} \right)$$

รูปที่ 3.6 วงจรการต่อเดดไทม์

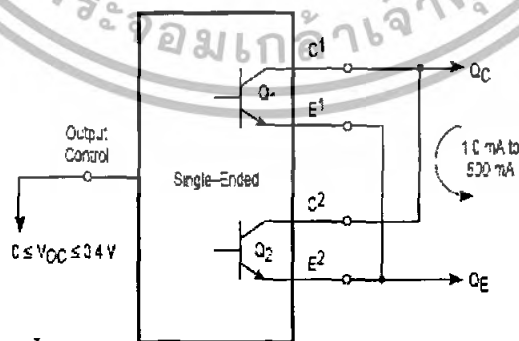
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสูตร	$\% ON = 45 - [80 / (1 + R_1 / R_2)]$
ต้องการ	$t_D = 20 \%$ ดังนั้น $\% ON = 40 \%$
	$R_1 / R_2 = 15$
ให้	$R_1 = 15 \text{ k}\Omega$ , $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$

### 3.3.1.4 การเลือกใช้ Q<sub>1</sub> และ Q<sub>2</sub> ที่เอาต์พุตของไอซี

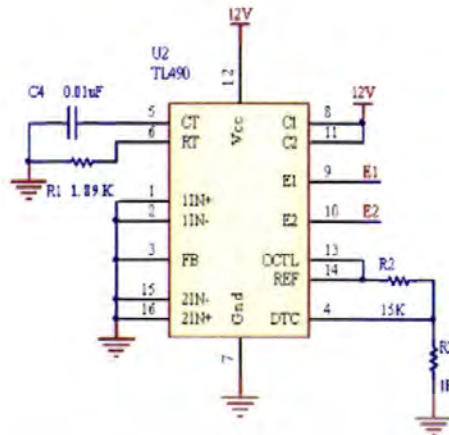
เอาต์พุต Q<sub>1</sub> และ Q<sub>2</sub> ของไอซีสามารถทำงานได้ 2 โหมด คือ ทำงานพร้อมกัน หรือ ทำงานสลับกันซึ่งสามารถเลือกการทำงานได้ที่ขา 13 (Output control) โดยในขณะที่ C<sub>T</sub> ดิซชาร์จ เอาต์พุตของ Dead time Comparator จะให้พัลส์ออกมา C<sub>X</sub> จะมีสถานะเป็น High และหยุดการทำงานของ Q<sub>1</sub> และ Q<sub>2</sub> ถ้ากำหนดขา 13 ให้มีสถานะ High โดยการต่อเข้ากับขา 4 ที่ Q<sub>1</sub> และ Q<sub>2</sub> จะสลับการทำงานตามจังหวะของฟลิปฟล็อปเพื่อใช้ขับอินเวอร์เตอร์แบบพุ่มพุดในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะเป็น 2 เท่าของค่าคาบเวลาของสัญญาณพื้นฐานของไอซี แต่ถ้ากำหนดขา 13 มีสถานะเป็น Low โดยการต่อลงกราวด์ (ขกเล็กฟลิปฟล็อป) Q<sub>1</sub> และ Q<sub>2</sub> จะทำงานพร้อมกันและสามารถขนาน Q<sub>1</sub> และ Q<sub>2</sub> เข้าด้วยกันได้ ถ้าต้องการให้น้ำกระแสได้มากขึ้น ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะเท่ากับค่าคาบเวลาของสัญญาณพื้นฐานของไอซี (ช่วงนำกระแสสูงสุดเท่ากับ 96 % ของค่าคาบเวลา)

TL494 ต้องการไฟเลี้ยงในช่วง 7 ถึง 40 โวลต์ มีแรงดันอ้างอิงภายใน และไม่สามารถจ่ายกระแสได้ถึง 10 มิลลิแอมป์ เพื่อใช้กับวงจรภายนอกได้โดยมีค่าความถูกต้อง  $\pm 1.5 \%$  ความคาดเคลื่อนทางอุณหภูมิมีค่าน้อยกว่า 50 มิลลิโวลต์ เมื่อทำงานในช่วง 0 ถึง 70 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.7 การเลือกใช้อาต์พุตของ TL494

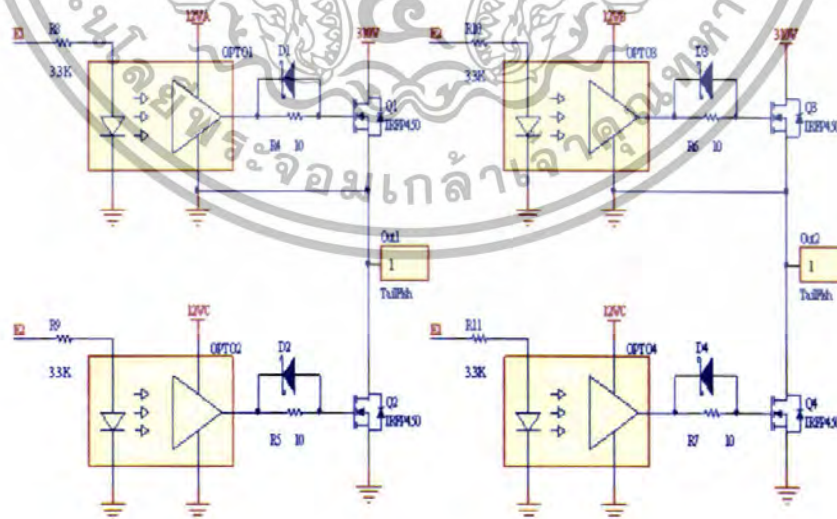
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 วงจรสร้างความถี่ 28 kHz ของ TL494

### 3.4 วงจรขับเกทของเพาเวอร์มอสเฟต

วงจรขับเกทคือ วงจรที่ทำหน้าที่ขับมอสเฟตกำลังในอินเวอร์เตอร์ให้สลับกันสวิทซ์โดยจะใช้ การแยกกันทางไฟฟ้า(Electrical isolation) ของวงจรควบคุมและวงขับเกทใช้การแยกกราวด์ โดยใช้ การเชื่อมต่อทางแสง (Opto couple) โดยใช้ Optoisolator ซึ่งใน โครงการนี้ใช้ IC เบอร์ TLP 250 ของ TOSHIBA ซึ่งมีความเร็วในการทำงานสูงสามารถนำมาใช้กับสัญญาณความถี่สูงได้โดยรับสัญญาณ ต่อมาจากวงจรกำเนิดสัญญาณ การแยกกราวด์มีความจำเป็นอย่างยิ่งช่วยให้ระบบมีความ ปลอดภัยต่อวงจรควบคุมต่อการเกิดข้อบกพร่องในวงจรกำลัง

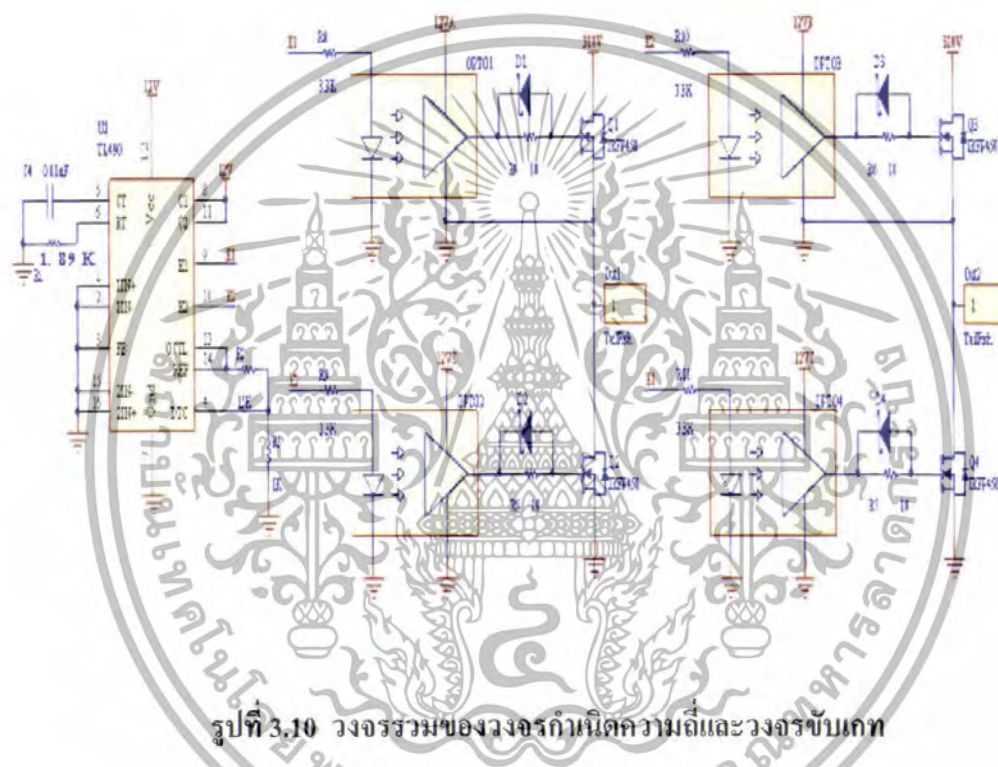


รูปที่ 3.9 วงจรขับเกทของเพาเวอร์มอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสัญญาณป้อนเข้ามาที่ Optoisolator โดยมีตัวต้านทานจำกัดกระแสก่อนเข้าไอซี กระแสที่ไหลเข้า Optoisolator จะทำการไบอัส ให้ LED ที่อยู่ภายในตามสัญญาณที่ป้อนเข้าไป เมื่อ LED ติดไฟได้ทรานซิสเตอร์ (Photo-transistor) ที่อยู่ภายในเกิดการนำกระแสสวิตช์เป็นสัญญาณขาออก เพื่อนำไปขับขาคาทและขาของมอเตอร์กำลังในวงจรอินเวอร์เตอร์

### 3.4.1 วงจรรวมของวงจรถักความถี่และวงจรขับเกท



รูปที่ 3.10 วงจรรวมของวงจรถักความถี่และวงจรขับเกท

## 3.5 ภาควงจรถัก

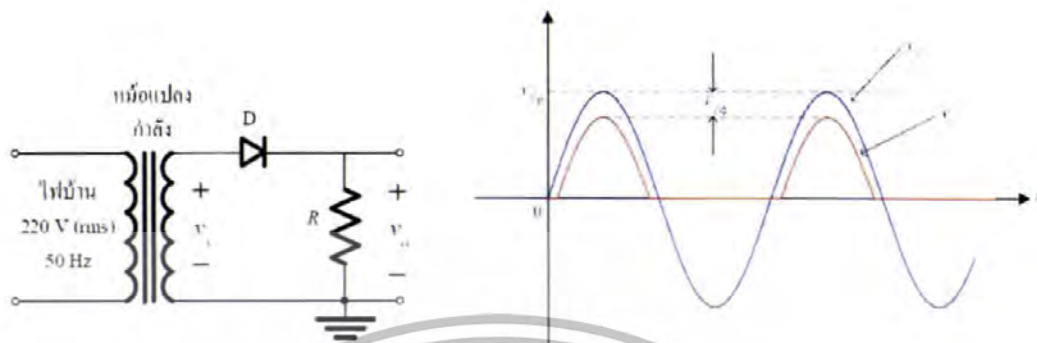
### 3.5.1 วงจรเรกติไฟร์เออร์

การเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงให้กับโหลด แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จะไม่ราบเรียบเหมือนที่ได้จากแบตเตอรี่ แต่จะประกอบด้วย ริปเปิล (ripple) ในที่นี้จะศึกษาการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.1.1 วงจรเรกติไฟเออร์ชนิดหนึ่งเฟสครึ่งลูกคลื่น

(Single phase half wave rectifier circuit)



รูปที่ 3.11 วงจรเรกติไฟเออร์ชนิดหนึ่งเฟสครึ่งลูกคลื่นและสัญญาณเอาต์พุต

ในขณะที่ไดโอดได้รับฟอร์เวิร์ดไบอัส คือ แรงดันที่อานโอดเป็นบวกเมื่อเทียบกับคาโทด ไดโอดจะนำกระแสไปยังโหลด แรงดันที่โหลดคือ แรงดันของแหล่งจ่ายเฉพาะซีกบวก และเมื่อไดโอดได้รับรีเวิร์ดไบอัสคือ แรงดันที่คาโทดเป็นบวกเมื่อเทียบกับอานโอดจะทำให้ไดโอดหยุดนำกระแส แรงดันที่โหลดในช่วงนี้จะเป็นศูนย์จนกระทั่งไดโอดได้รับฟอร์เวิร์ดไบอัส ไดโอดก็จะนำกระแสได้อีกเป็นเช่นนี้สลับกันไป

### 3.5.1.2 วงจรเรกติไฟเออร์ชนิดหนึ่งเฟส เต็มลูกคลื่น

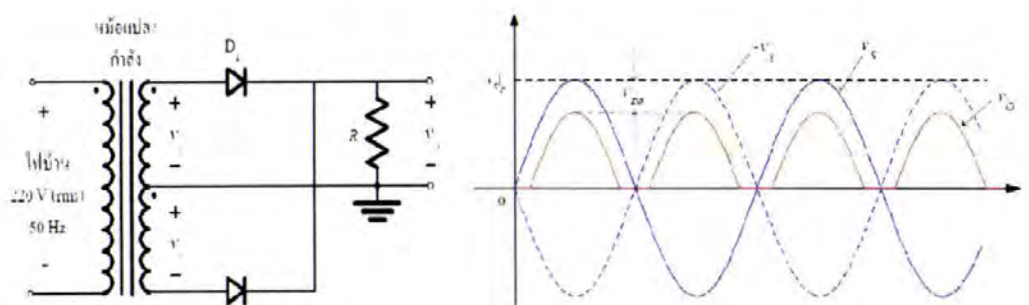
(Single phase full wave rectifier circuit)

ในการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงชนิดหนึ่งเฟส ครึ่งลูกคลื่นจะใช้ไดโอดเพียงตัวเดียว แต่ในการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงหนึ่งเฟส เต็มลูกคลื่น มีลักษณะการต่อหลายแบบดังนี้

ก) การเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มลูกคลื่น โดยใช้หม้อแปลงที่มีจุดกึ่งกลาง (Full wave rectifier with center tap transformer)

การเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มลูกคลื่น โดยใช้หม้อแปลงที่มีจุดกึ่งกลาง แสดงไว้ในรูปที่ 3.12 จะใช้ไดโอดเพียง 2 ตัว เปลี่ยนกันนำกระแสตั้งแต่ละครึ่งลูกคลื่น ไดโอดตัวที่ 1 จะหยุดนำกระแสเมื่อแรงดันที่ A ตกถึงที่ศูนย์คือที่มุม 180 องศา และไดโอดตัวที่ 2 เริ่มนำกระแสต่อผ่าน ไปยังโหลด ไดโอดตัวที่ 2 จะหยุดนำกระแสที่มุม 360 องศา และไดโอดตัวที่ 1 จะนำกระแสต่อเช่นนี้สลับกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 วงจรเรกติไฟเออร์ชนิดหนึ่งเฟส เต็มลูกคลื่นแบบมีหม้อแปลงเทปกลางและ  
สัญญาณเอาต์พุต

$V_A = V_B =$  แรงดันอาร์เอ็มเอส ระหว่างขั้ว A และ B เทียบกับจุดกึ่งกลางของหม้อแปลง  
ทางด้านขดจ่ายไฟ

ข) วงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบบริดจ์หนึ่งเฟส จะประกอบด้วย  
ไดโอดจำนวน 4 ตัวดังแสดงในรูป 3.13 ในวงจรแบบนี้สามารถจ่ายพลังงานกลับสู่แหล่งจ่าย  
กระแสสลับได้ กระแสไหลผ่านโหลดเมื่อไดโอดตัวที่ 1 และ 2 เมื่อแรงดันแหล่งจ่ายอยู่ในไซเคิล  
บวกและจะหยุดนำกระแสทันทีเมื่อแรงดันตกเป็นศูนย์ที่มุม  $180$  องศา ไดโอดตัวที่ 3 และ 4 จะ  
นำกระแสทันทีเมื่อเริ่มขั้วจึงไซเคิลลบและจะหยุดนำกระแสเมื่อแรงดันของแหล่งจ่ายเป็นศูนย์ที่มุม  
 $360$  องศา ไดโอดตัวที่ 1 และ 2 ก็จะนำกระแสเช่นนี้สลับกันไป



รูปที่ 3.13 วงจรเรกติไฟเออร์แบบบริดจ์และสัญญาณเอาต์พุต

### 3.5.2 วงจรอินเวอร์เตอร์

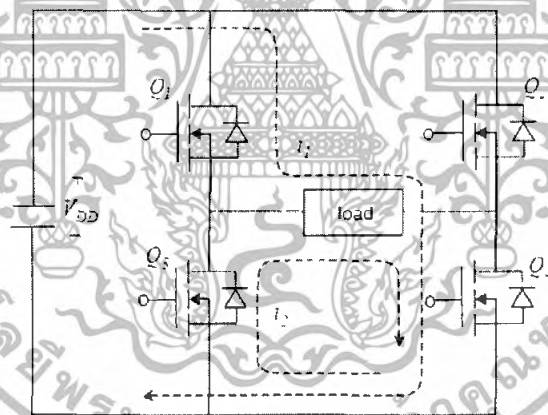
อินเวอร์เตอร์เป็นวงจรหลักที่ใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงเป็นสัญญาณไฟฟ้า  
กระแสสลับ โดยอาศัยอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งเป็นสวิตช์ปิดเปิด โดยในโครงงานนี้ได้ใช้เพาเวอร์มอสเฟต  
เป็นอุปกรณ์ในการสวิตช์ โดยในโครงงานนี้จะใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ ( Full Bridge  
Inverter Circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.2.1 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ ( Full Bridge Inverter Circuit)

ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ ขณะทำงานจะมีแรงดันตกคร่อมที่ไพลารีเท่ากับแรงดันอินพุท แต่แรงดันที่ตกคร่อมทรานซิสเตอร์มีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุทเท่านั้นและค่ากระแสสูงสุดที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวนั้นจะมีค่าเป็นครึ่งของกระแสสูงสุดอินฮัลฟบริดจ์ อินเวอร์เตอร์ที่มีกำลังทางขาออกเท่ากัน

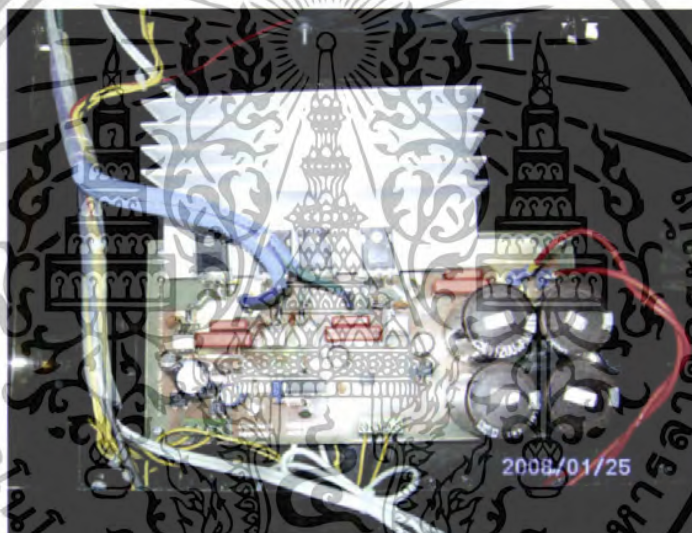
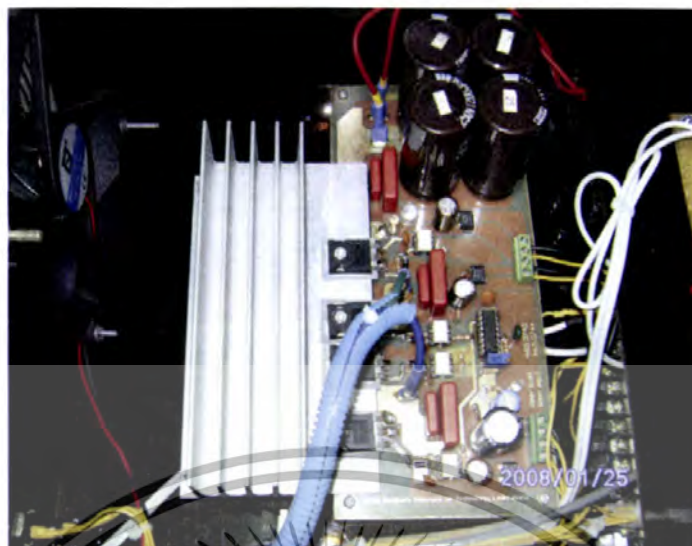
เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 ตัวจะทำงานโดยนำกระแส และหยุดนำกระแส ทำงานสลับกันเป็นคู่ๆ ในแต่ละครึ่งคาบเวลา  $Q_1$  และ  $Q_2$  จะนำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลาและเมื่อหยุดนำกระแส  $Q_3$  และ  $Q_4$  จะนำกระแสต่อในครึ่งคาบเวลาที่เหลือ สลับกันเช่นนี้เรื่อยไป ลักษณะของวงจรที่ได้จึงเป็นเช่นเดียวกับฮัลฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ ยกเว้นแรงดันที่ตกคร่อมขดไพลารีจะเท่ากับ  $V_m - 2V_{CE(SAT)}$  ดังนั้นผลการทานของวงจรจึงเหมือนผลที่ได้จากฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์นั่นเอง จะเห็นได้ว่าแรงดันที่ตกคร่อม  $Q_1$  และ  $Q_2$  ขณะหยุดนำกระแสมีค่าเท่ากับ  $V_m - 2V_{CEQ3(SAT)}$  และ  $V_m - 2V_{CEQ4(SAT)}$  ตามลำดับ ส่วนแรงดันที่ตกคร่อม  $Q_3$  และ  $Q_4$  ขณะหยุดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับ  $V_m - 2V_{CEQ1(SAT)}$  และ  $V_m - 2V_{CEQ2(SAT)}$  ตามลำดับเช่นเดียวกัน ส่วนไดโอด  $D_1$  ถึง  $D_4$  ทำหน้าที่เป็นคอมมิวเตตติ้งไดโอดให้กับวงจรเพื่อป้องกัน  $Q_1$  ถึง  $Q_4$



รูปที่ 3.14 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์





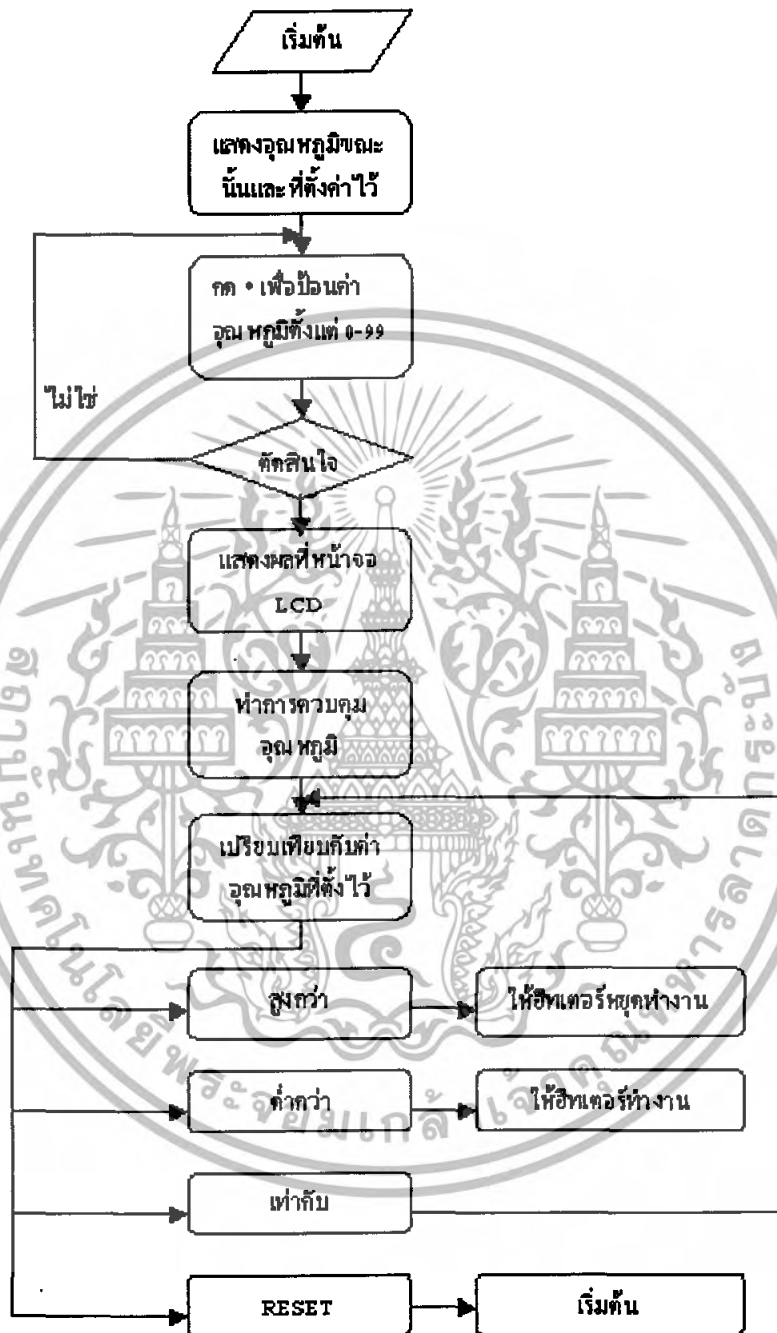


รูปที่ 3.17 วงจรจริงที่ใช้สำหรับขับหลอดร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 ชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

#### 3.7.1 การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877A มีลำดับการทำงานดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.18 ลำดับขั้นตอนการทำงานในการควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7.2 ไอซี DS1820

#### 3.7.2.1 การทำงานในการวัดอุณหภูมิของไอซี DS1820

ไอซี DS1820 อาศัยการวัดอุณหภูมิโดยการวัดจำนวนวงรอบของสัญญาณนาฬิกาที่ ออสซิลเลเตอร์ผลิตขึ้นมา ช่วงค่าเวลาเกิดของสัญญาณนาฬิกาที่ออสซิลเลตขึ้นมาจะเป็นการ กำหนดได้จากช่วงเวลาที่ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิต่ำ ไปจนถึงสัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ซึ่งจะมี ค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ไม่เท่ากัน โดยที่ค่าการนับตัวเลขจะเริ่มนับที่อุณหภูมิต่ำสุดพื้นฐานคือ -55 องศาเซลเซียส ถ้าหากอุณหภูมิเพิ่มขึ้น การแสดงผลของอุณหภูมิขณะนั้นก็จะสูงกว่า -55 องศาเซลเซียส

การคำนวณค่าภายในไอซี DS1820 จะให้ค่าความละเอียด 0.5 องศาเซลเซียสต่อสตีบ ของ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การอ่านค่าของอุณหภูมิจะถูกกำหนดไว้ภายใน 16 บิต โดยมีนัยสำคัญของตัวเลขสองส่วนประกอบการอ่าน แสดงคุณลักษณะรายละเอียดความสัมพันธ์ของข้อมูลทาง เอาต์พุตกับการจัดอุณหภูมิ ข้อมูลจะถูกส่งออกมาเป็นอนุกรมบนการอินเทอร์เฟสกับสายข้อมูล 1-Wire ซึ่งไอซี DS1820 สามารถวัดค่าอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -55 ถึง +125 องศาเซลเซียส ที่ 0.5 องศา ต่อสตีบ

#### 3.7.2.2 ตำแหน่งการติดตั้งไอซี DS1820

ตำแหน่งในการติดตั้งไอซี DS1820 นี้ได้ทำการติดตั้งไว้ที่ก้นถังของถังทำความสะอาดเพราะ เป็นตำแหน่งที่ให้ค่าอุณหภูมิได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิจริงในน้ำยาทำความสะอาดดังแสดงในรูปที่

3.19



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 3.19 ตำแหน่งติดตั้งไอซี DS1820 ที่ถังทำความสะอาดใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7.3 จอ LCD ( Liquid Crystal Display )

การใช้งานจอแสดงผล LCD ร่วมกับ PIC จะต้องเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการแสดงผลที่หน้าจอ โดยการส่งข้อมูลออกจากบัสข้อมูล (Data Bus) ของจอแสดงผล LCD โดยการส่งข้อมูลมี 2 แบบ คือ แบบ 8 บิต ส่งข้อมูลออกมา D0 – D7 และแบบ 4 บิตส่งข้อมูลออกมา D4 – D7 นอกจากนั้นยังมีขาสัญญาณต่าง ๆ อีกหลายขา

### 3.7.4 คีย์แพด หรือ สวิตช์เมตริก 4x3 จุด

การอ่านและรับค่าการกดสวิตช์เป็นอีกงานหน่งที่ไม่ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องสามารถรองรับและเชื่อมต่อใช้งานร่วมด้วยได้ วงจรสวิตช์มีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

- การต่อเข้ากับไฟเลี้ยงหรือกราวด์โดยตรง เมื่อสวิตช์ตัวใดต่อวงจรสามารถอ่านค่าได้โดยตรง วงจรในลักษณะนี้ไม่มีความซับซ้อน สามารถอ่านค่าของสวิตช์ได้ง่ายและรวดเร็ว แต่มีข้อเสียคือถ้าหากจำนวนของสวิตช์มีมาก ๆ จำนวนของสายข้อมูลก็จะมีมากตามทำให้ระบบหรือวงจรโดยรวมมีขนาดใหญ่และสิ้นเปลือง

- การต่อวงจรแบบเมตริกซ์ (matrix switch) สวิตช์จะถูกต่อกันในแนวแกนตั้งและแกนนอน จะเรียกแนวตั้งว่า หลักหรือคอลัมน์ (column) และเรียกแนวนอนว่าแถว หรือ ไรว์ (row)

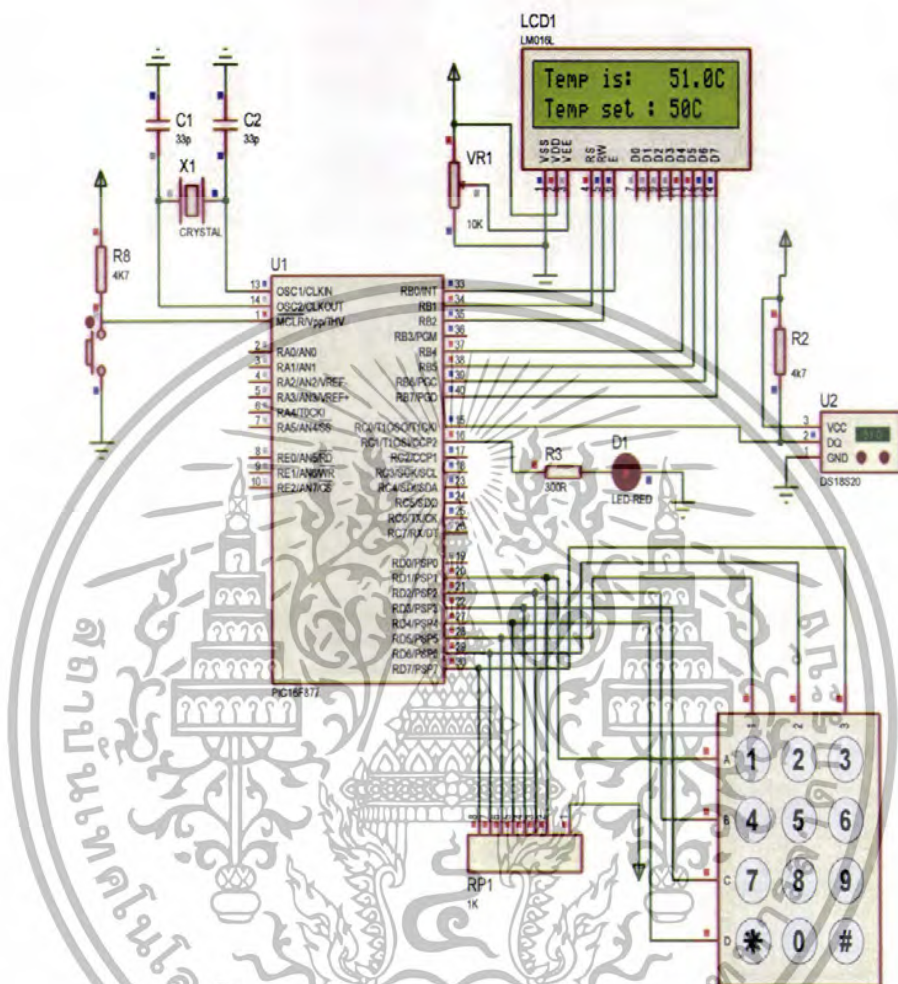
#### 3.7.4.1 ตำแหน่งการติดตั้งจอ LCD และ คีย์แพดหรือสวิตช์เมตริก 4x3 จุด



รูปที่ 3.20 ตำแหน่งการติดตั้งจอ LCD และคีย์แพดหรือสวิตช์เมตริก 4x3 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7.5 วงจรรวมการเชื่อมต่อ PIC คีย์แพด จอแสดงผล LCD และเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ DS1820

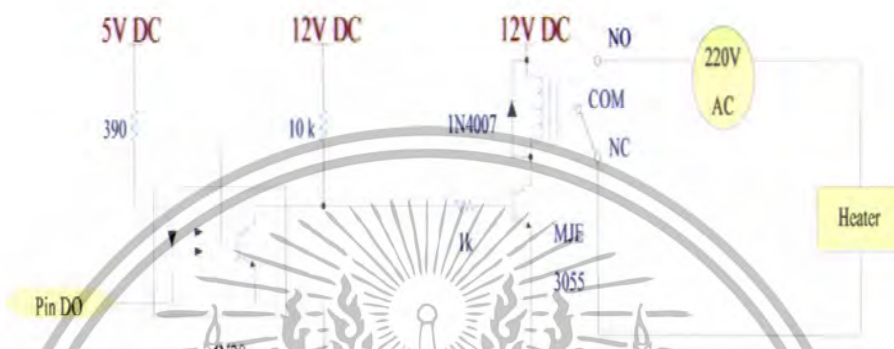


รูปที่ 3.21 การเชื่อมต่อ PIC คีย์แพด จอแสดงผล LCD และเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ DS1820

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7.6 วงจรควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์

เป็นวงจรที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์ให้เป็นไปตามโปรแกรมที่ได้ทำการโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำให้เกิดอุณหภูมิภายในถังทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิกแสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 วงจรควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์

#### 3.7.6.1 การทำงานของวงจรควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์

ในการต่อฮีตเตอร์ซึ่งงานได้ต่อเข้ากับขั้ว NC (NORMALY CLOSE) ของรีเลย์ทำให้เมื่อเปิดสวิตช์จะทำให้มีแรงดันไฟฟ้า 220 VAC จ่ายให้กับฮีตเตอร์ทำให้เกิดความร้อน ส่วนในการควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์โดยคาร์ตออฟพอร์ต D0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าที่ขาของไดโอด 4N28 เมื่อต้องการให้ออฟไดโอด 4N28 ทำงาน โดยการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งลอจิก “0” ออกจากพอร์ต D0 ซึ่งมีค่าประมาณศูนย์โวลต์ไปที่ขาของไดโอด 4N28 เมื่อออฟไดโอด 4N28 ทำงานก็จะทำให้มีกระแสไหลไปไบอัสทรานซิสเตอร์เบอร์ MJE 3055 เมื่อทรานซิสเตอร์เบอร์ MJE 3055 ทำงานก็จะทำให้ รีเลย์ทำงานทำให้ไม่มีแรงดัน 220 VAC ไปจ่ายให้กับฮีตเตอร์ เนื่องจากหน้าสัมผัสของรีเลย์ไปอยู่ที่ขั้ว NO (NORMALY OPEN) และเมื่อต้องการทำให้ฮีตเตอร์ทำงานตามปกติทำได้โดยการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการส่งลอจิก “1” ออกมาจากพอร์ต D0 ซึ่งมีค่าประมาณ +5 โวลต์ เป็นผลทำให้ออฟไดโอด 4N28 หยุดการทำงานทำให้ไม่มีกระแสไหลไปไบอัสทรานซิสเตอร์เบอร์ MJE 3055 ทำให้รีเลย์หยุดทำงาน ส่งผลให้มีแรงดัน 220 VAC ไปจ่ายให้กับฮีตเตอร์เป็นผลทำให้ฮีตเตอร์ทำงานตามปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 วงจรรวมใช้งานจริงของชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.23 วงจรรวมใช้งานจริงของชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 ขั้นตอนการทดลอง

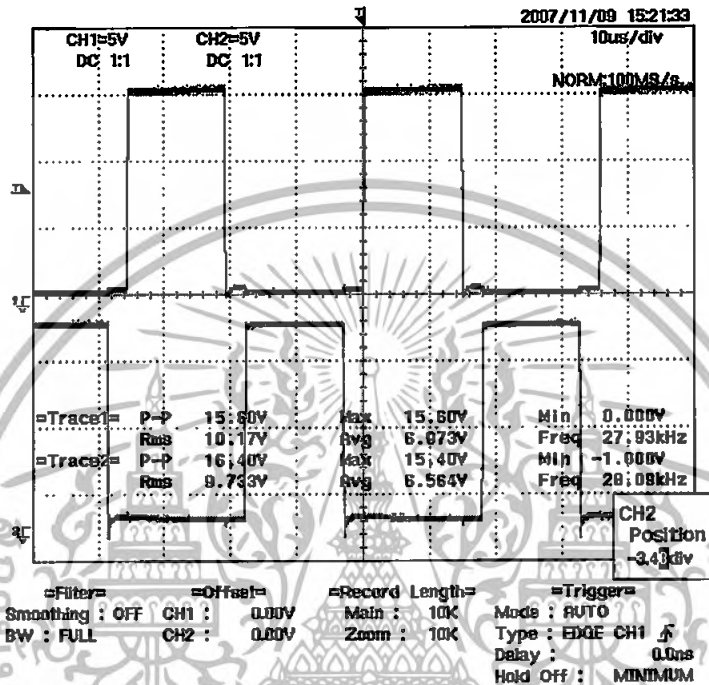
1. ทำการทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณ โดยต่อไฟเลี้ยงขนาด 12 v และตรวจวัดสัญญาณเอาต์พุตทั้ง 2 โหมด
2. ทำการทดลองวงจรขับเกทของมอสเฟสกำลัง โดยทดสอบการทำงานของไอซีเบอร์ TL 494 ที่สัญญาณอินพุตที่มีความถี่สูง
3. ทำการทดลองต่อวงจรกำเนิดสัญญาณร่วมกับวงจรขับเกทของมอสเฟสกำลัง และทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตทั้ง 4 สัญญาณที่ใช้ขับมอสเฟสกำลัง
4. ทำการทดลองภาควงจรถูกำลังและการทำงานของมอสเฟสกำลังเมื่อมีสัญญาณขับที่ขาเกท
5. ทำการต่อภาควงจรถูกำลังเข้ากับวงจรขับเกทของมอสเฟสกำลังและวงจรกำเนิดสัญญาณ และทำการตรวจวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้
6. ทำการเชื่อมต่อสัญญาณเอาต์พุตเข้ากับออสซิลโลสโคปทรานซิสเตอร์ และทำการตรวจวัดสัญญาณเอาต์พุต
7. ทำการตรวจวัดแรงดันและกระแสในวงจรเมื่อทำการแปลงค่าแรงดันอินพุต
8. ทำการทดลองให้ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่าอุณหภูมิจากเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ DS1820 เทียบกับมิเตอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ
9. ทำการเซตค่าอุณหภูมิตามที่ต้องการเพื่อควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการทดลอง

### 4.2.1 วงจรกำเนิดสัญญาณ (Oscillator Circuit)

เป็นวงจรที่ให้กำเนิดพัลส์ (Pulse) ที่ความถี่ 28 kHz โดยวงจรจะมีไอซี TL 494 เป็นตัวกำเนิดความถี่ และได้สัญญาณออกมามีรูปที่ 4.1

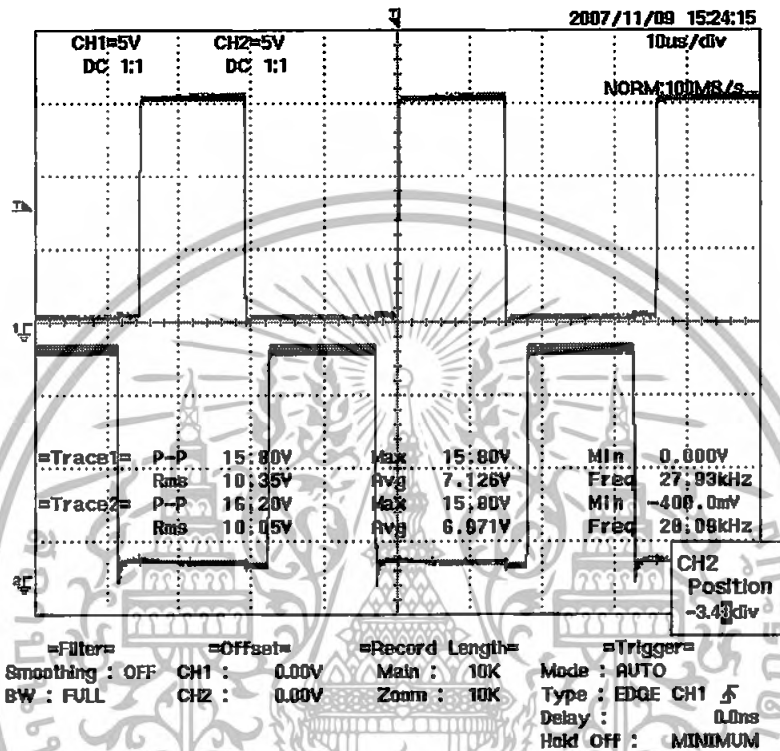


รูปที่ 4.1 สัญญาณที่ได้จากวงจรมกำเนิดความถี่

รูปสัญญาณดังรูปที่ 4.1 คือรูปสัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรมกำเนิดสัญญาณ โดย Trace 1 แสดงถึงสัญญาณที่ได้จาก out put 1 ของ TL 494 และ Trace 2 แสดงถึงสัญญาณที่ได้จาก Out put 2 ของ TL 494 ซึ่ง Out put ทั้งสองค่ามีขนาดแรงดัน และความถี่ที่เท่ากัน แต่มีเฟสกลับกัน ซึ่งตรงตามที่ต้องการนำไปใช้ขับอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์

#### 4.2.2 วงจรขับเกทของมอสเฟตกำลัง

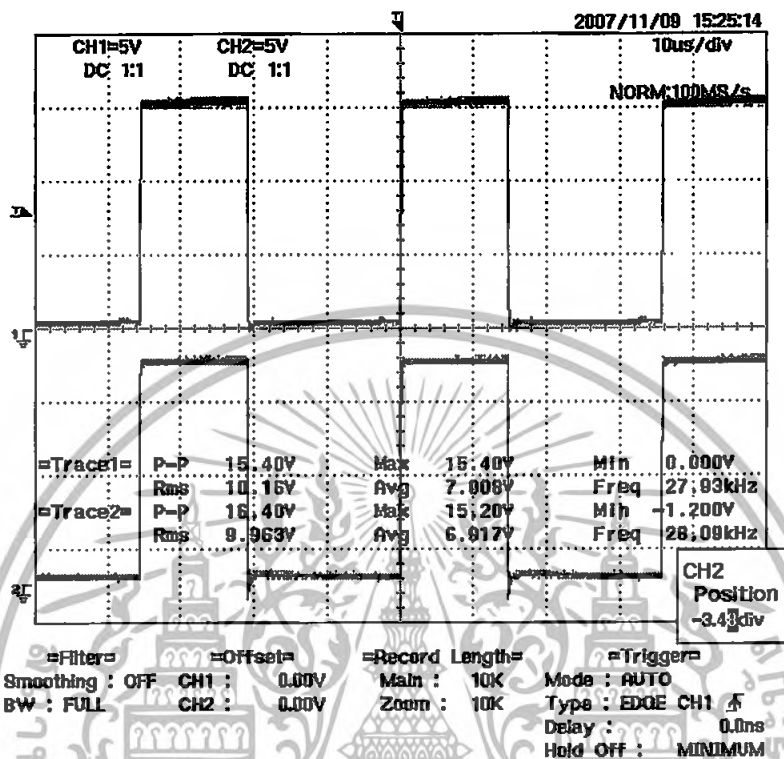
วงจรขับเกทเป็นวงจรที่รับสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณ และ ทำการแยกกราวด์โดยใช้ Optoisolator เบอร์ TLP 250 แล้วนำสัญญาณส่งไปที่ขาเกท และ ขาซอสของมอสเฟตกำลัง โดยมีสัญญาณที่ได้ออกมาดังรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 สัญญาณที่ได้จากวงจรขับเกทโหมดที่ 1 เทียบกับโหมดที่ 2

รูปสัญญาณดังรูปที่ 4.2 คือรูปสัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรขับเกท โดย Trace 1 แสดงถึงสัญญาณที่ได้จาก Out put ของ Optoisolator ตัวที่ 1 และ 2 เพื่อขับมอสเฟตกำลัง M1 และ M4 ส่วน Trace 2 แสดงถึงสัญญาณที่ได้จาก Out put ของ Optoisolator ตัวที่ 3 และ 4 เพื่อขับมอสเฟตกำลัง M2 และ M3 ซึ่ง Out put ทั้งสองค่ามีขนาดแรงดัน และความถี่ที่เท่ากัน แต่มีเฟสกลับกัน ซึ่งตรงตามที่ต้องการนำไปใช้ขับมอสเฟตกำลังให้สลับกันสวิตช์เป็นคู่ๆ

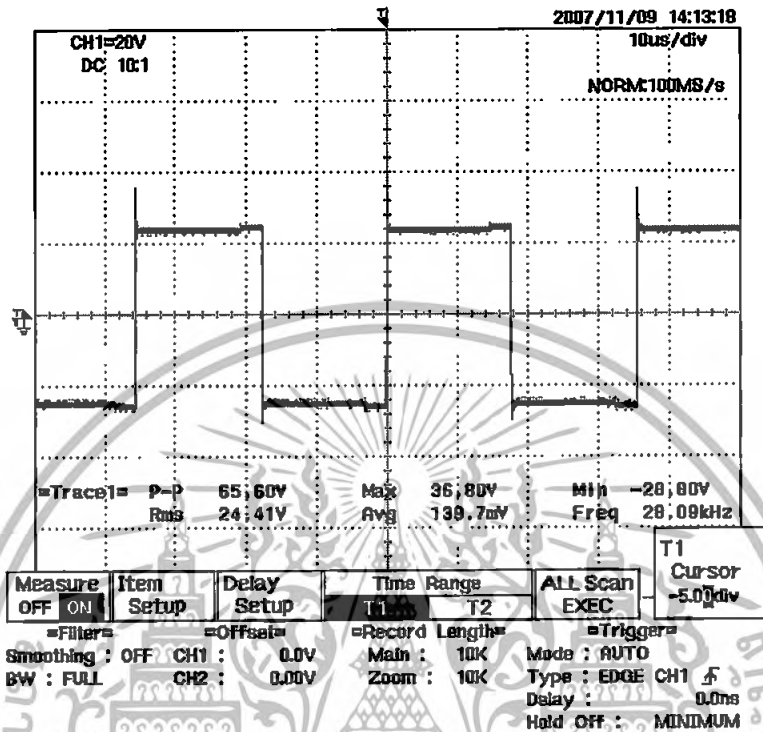
### 4.2.3 การทดลองวงจรขับเคลื่อนของมอเตอร์กำลังโดยทดสอบการทำงานของไอซีเบอร์ TL 494 ที่สัญญาณอินพุตที่มีความถี่สูง ในโหมดที่ 1



รูปที่ 4.3 สัญญาณที่ได้จากวงจรขับเคลื่อนโหมดที่ 1 ทั้งสองสัญญาณ

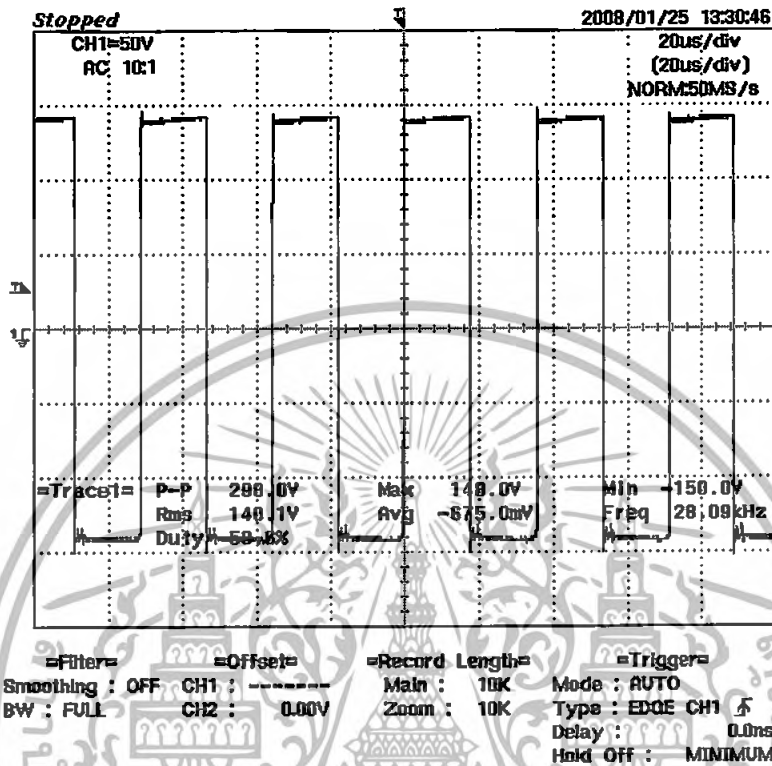
รูปสัญญาณดังรูปที่ 4.3 คือรูปสัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรขับเคลื่อน โดย Trace 1 แสดงถึงสัญญาณที่ได้จาก Out put ของ Optoisolator ตัวที่ 1 เพื่อขับมอเตอร์กำลัง M1 ส่วน Trace 2 แสดงถึงสัญญาณที่ได้จาก Out put ของ Optoisolator ตัวที่ 3 เพื่อขับมอเตอร์กำลัง M4 ซึ่ง Out put ทั้งสองค่ามีขนาดแรงดัน ความถี่ที่เท่ากัน และมีเฟสตรงกัน ซึ่งตรงตามที่ต้องการนำไปใช้ขับมอเตอร์กำลัง M1 และ M4 ให้สวิตช์พร้อมกันเป็นคู่

#### 4.2.4 การต่อภาควงจรกำลังเข้ากับวงจรขับเคลื่อนของมอเตอร์กำลังและวงจรกำเนิดสัญญาณ และทำ การตรวจวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้



รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณเอาต์พุตขณะไม่มีโหลด (Probe \*10 ที่  $V_m = 24$  โวลต์)

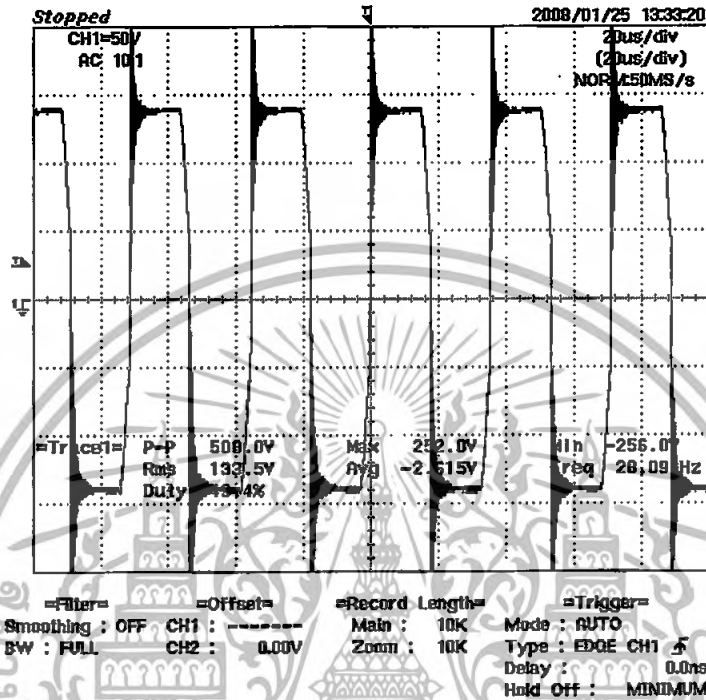
#### 4.2.5 การต่อภาควงจรกำลังเข้ากับวงจรขับเคลื่อนของมอเตอร์กำลังและวงจรกำเนิดสัญญาณ และทำการตรวจวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้



รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณเอาต์พุตขณะไม่มีโหลด (Probe  $\times 10$  ที่  $V_m = 100$  โวลต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.6 การต่อภาควงจรกำลังเข้ากับวงจรขับเคลื่อนของมอเตอร์กำลังและวงจรถ่ายสัญญาณ และทำการตรวจวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้



รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณเอาต์พุตขณะขับโหลด (Probe \*10 ที่  $V_m = 100$  โวลต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

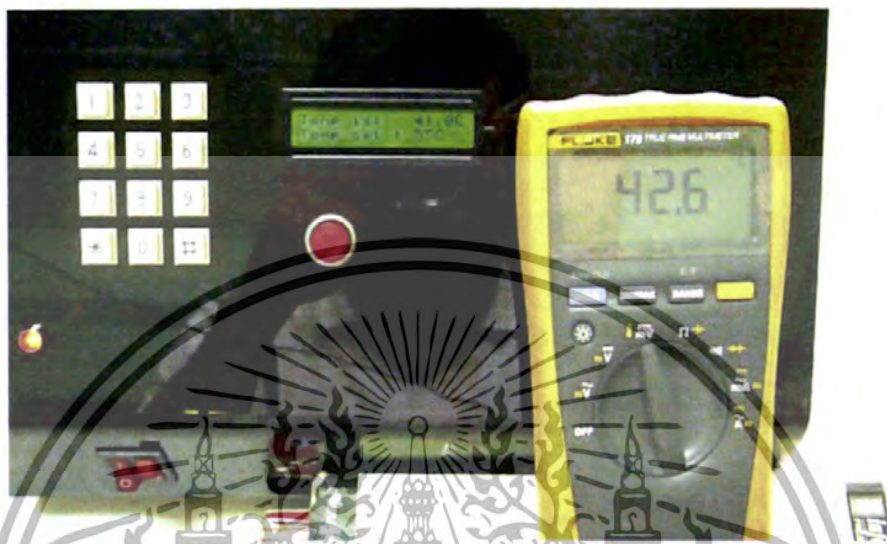
#### 4.2.7 แสดงผลการทดลอง ขณะวางจ่ายโหลด ณ ระดับแรงดันอินพุตต่างๆ

$V_{in}$	$I_{in}$	$V_{dc}$	$V_{out\ rms}$	$I_{out}$
0	0	0	0	0
24	0.23	34.2	31.34	0.21
48	0.49	68	61.28	0.46
72	0.70	104	93.48	0.65
100	1.01	142	130.2	0.944
110	1.10	157	142.43	1.040
148	1.49	213	191.64	1.41
220	2.18	311	282.39	2.09

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลอง ขณะวางจ่ายโหลด ณ ระดับแรงดันอินพุตต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.8 การทดลองให้ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่าอุณหภูมิจากเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ DS1820 เทียบกับมิเตอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบอุณหภูมิจากเซนเซอร์ DS1820 กับมิเตอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.9 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิในน้ำเทียบกับเวลา

Temperature set point 40°C	Time ( Minute )	Temperature set point 50°C	Time ( Minute )	Temperature set point 60°C	Time ( Minute )
31°C	0	31°C	0	31°C	0
32°C	1.38	32°C	1.32	32°C	1.35
33°C	2.13	33°C	2.10	33°C	2.12
34°C	2.46	34°C	2.40	34°C	2.43
35°C	3.16	35°C	3.10	35°C	3.11
36°C	3.47	36°C	3.35	36°C	3.40
37°C	4.19	37°C	4.18	37°C	4.16
38°C	4.51	38°C	4.47	38°C	4.49
39°C	5.23	39°C	5.16	39°C	5.21
40°C	5.58	40°C	5.56	40°C	5.51
-	-	41°C	6.21	41°C	6.23
-	-	42°C	7.01	42°C	7.05
-	-	43°C	7.46	43°C	7.48
-	-	44°C	8.33	44°C	8.30
-	-	45°C	9.22	45°C	9.20
-	-	46°C	9.50	46°C	9.47
-	-	47°C	10.13	47°C	10.10
-	-	48°C	10.38	48°C	10.35
-	-	49°C	11.05	49°C	11.00
-	-	50°C	11.29	50°C	11.25
-	-	-	-	51°C	12.22
-	-	-	-	52°C	12.57
-	-	-	-	53°C	13.25
-	-	-	-	54°C	13.58
-	-	-	-	55°C	14.18
-	-	-	-	56°C	14.48
-	-	-	-	57°C	15.20
-	-	-	-	58°C	15.52
-	-	-	-	59°C	16.27
-	-	-	-	60°C	17.04

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลอง วัดอุณหภูมิในน้ำเทียบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# บทวิจารณ์และสรุปผล

### 5.1 วิจารณ์และสรุป

โครงการนี้ได้นำคุณสมบัติของคลื่นอุลตราโซนิคมาประยุกต์ใช้ในเทคโนโลยีการทำความสะอาด ซึ่งก็มีทั้งข้อดีและข้อเสีย จึงต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะของการทำความสะอาดและชิ้นงาน

จากการทดลอง การสร้างคลื่นอุลตราโซนิคจากอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ และ วงจรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองนี้ได้บทสรุปดังนี้

#### 5.1.1 ส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณ

1. ไฟเลี้ยงของวงจรกำเนิดสัญญาณสำหรับไอซี เบอร์ TL 494 จะต้องเป็นสัญญาณไฟที่เรียบ ไม่มีสัญญาณรบกวนเพราะอาจทำให้สัญญาณเอาต์พุทของวงจรกำเนิดสัญญาณผิดปกติได้
2. ช่วงเวลาเดดไทม์ต้องทำการปรับค่าให้เหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดการทำงานพร้อมกันของมอเตอร์กำลังจนทำให้เกิดการลัดวงจร
3. การสร้างเดดไทม์อาศัยการปรับค่า Time constant ของ R และ C ซึ่งอาจแปรผันตามอุณหภูมิ

#### 5.1.2 ส่วนของวงจรขับเคลื่อนของมอเตอร์กำลัง

1. ไฟเลี้ยงของวงจรขับเคลื่อนของมอเตอร์กำลังสำหรับไอซี เบอร์ TLP 250 จะต้องทำการแยกกันของแต่ละไอซี และเป็นสัญญาณไฟที่เรียบ ไม่มีสัญญาณรบกวนเพราะอาจทำให้สัญญาณเอาต์พุทที่ใช้ขับเคลื่อนของมอเตอร์กำลังผิดปกติจนทำให้เกิดการทำงานพร้อมกันของมอเตอร์กำลังและเกิดการลัดวงจรขึ้นได้
2. เส้นสัญญาณไฟเอาต์พุทของวงจรที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์กำลังจะต้องเป็นเส้นสัญญาณที่สั้นมาก เพื่อป้องกัน ไม่ให้เกิดสัญญาณรบกวนอันเป็นเหตุให้เกิดการลัดวงจรของมอเตอร์กำลัง

#### 5.1.3 ส่วนของวงจรกำลัง

สำหรับวงจรกรองแรงดันเพื่อป้องกันริบเบิล (ripple) นอกจากตัวเก็บประจุขนาดใหญ่แล้วควรมีตัวเก็บประจุขนาดเล็กด้วยเพื่อป้องกันแรงดันสไปส์เพื่อช่วยทำให้มอเตอร์กำลังทำงานได้อย่างปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.1.4 ส่วนของวงจรควบคุมอุณหภูมิ

สำหรับวงจรควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ไอซี DS1820 เป็นเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์จึงทำให้ง่ายในการตรวจวัดอุณหภูมิเพราะไอซี DS1820 นี้จะให้ค่าในการวัดอุณหภูมิออกมาเป็นดิจิตอลจึงไม่ต้องใช้ การแปลงจากอนาลอกเป็นดิจิตอล (A/D) สามารถเขียนโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่าจากเซนเซอร์ได้เลย และ ใช้วงจรควบคุมรีเลย์ตัดต่อการทำงานของฮีตเตอร์เพื่อให้อุณหภูมิเป็นไปตามที่ต้องการ โดยใช้การไปอัสดทรานซิสเตอร์ควบคุมการทำงานของรีเลย์ซึ่งสั่งการด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

## 5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการนี้

นอกเหนือจากประโยชน์ที่ได้จากการทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิกแล้ว ในขั้นตอนการศึกษาและทดลองนั้น ยังได้เพิ่มพูนความรู้ความเข้าใจแก่ผู้ทดลองอีกด้วย ทั้งในทางปฏิบัติและทางทฤษฎี ซึ่งประสบการณ์และความเข้าใจต่างๆเหล่านี้จะได้นำไปใช้ในการทำโครงการในลักษณะต่างๆ ต่อไป

## 5.3 ปัญหาที่พบในโครงการ

1. ปัญหาที่สำคัญและพบ คือ การต่อวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ ซึ่งเมื่อต่อตามทฤษฎีแล้วสัญญาณที่ออกมาไม่ตรงตามที่ต้องการ จึงต้องทำการตัดแปลงวงจร
2. ในการสร้างวงจรแบบแผ่นปริ้นท์ครั้งแรก เมื่อทำการทดสอบเกิดการทำงานผิดพลาดของมอสเฟทกำลังจนเกิดการระเบิด เนื่องจากเส้นสัญญาณจากวงจรขับเคลื่อนมีความยาวมากเกินไปจนเกิดสัญญาณรบกวนขณะขับมอสเฟทกำลัง
3. ปัญหาอีกอย่างคือ หาซื้ออุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ได้ค่อนข้างยาก
4. ทำการปรับค่าอุณหภูมิทำได้ยาก เพราะเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิไม่ได้สัมผัสกับของเหลวที่ใส่ในถังเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิกโดยตรง ทำให้ค่าที่ได้เกิดความคลาดเคลื่อน
5. เมื่ออุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ทำงานเกิดสัญญาณรบกวน ไอซี DS1820 ทำให้ไอซี DS1820 ไม่สามารถตรวจวัดอุณหภูมิได้ จึงได้ทำการเปลี่ยนสายที่เชื่อมต่อระหว่างไอซี DS1820 กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นสายซิลด์เพื่อลดสัญญาณรบกวน

## ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Order this document by TL494 D

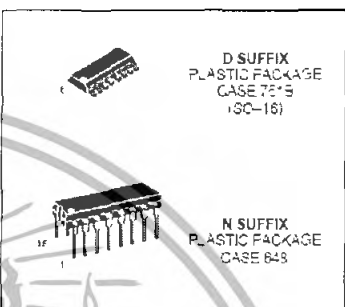
# TL494

## SWITCHMODE™ Pulse Width Modulation Control Circuit

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

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

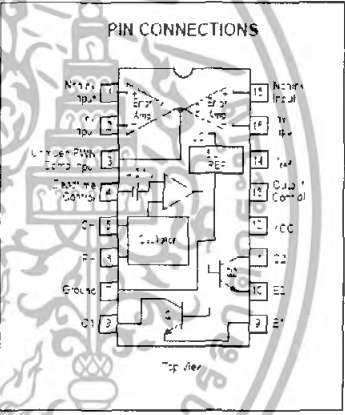
### SWITCHMODE PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUIT SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA



**MAXIMUM RATINGS** — TL operating in ambient temperature range applies unless otherwise noted:

Rating	Symbol	TL494C	TL494I	Unit
Power Supply Voltage	V <sub>CC</sub>	42	42	V
Collector Output Stage	V <sub>OC1, V<sub>OC2</sub></sub>	42	42	V
Collector Output Current (Each transistor, Note 1)	I <sub>C1, I<sub>C2</sub></sub>	500	500	mA
Amplifier Input Voltage Range	V <sub>IR</sub>	-0.2 to +42	-0.2 to +42	V
Power Dissipation (T <sub>A</sub> = 45°C)	P <sub>D</sub>	1000	1000	mW
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	R <sub>θJA</sub>	50	50	°C/W
Operating Junction Temperature	T <sub>J</sub>	+25	+25	°C
Storage Temperature Range	T <sub>stg</sub>	-55 to +125	-55 to +125	°C
Operating Ambient Temperature Range TL494C TL494I	T <sub>A</sub>	0 to +70 -25 to +95	0 to +70 -25 to +95	°C
Derating Ambient Temperature	T <sub>A</sub>	45	45	°C

NOTE 1: Maximum thermal limits must be observed.



**ORDERING INFORMATION**

Device	Operating Temperature Range	Package
TL494CD	T <sub>A</sub> = 0° to +70°C	SO-16
TL494CN		Plastic
TL494IN	T <sub>A</sub> = -25° to +85°C	Plastic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Power Supply Voltage	$V_{CC}$	7.0	15	40	V
Collector Output Voltage	$V_{C1}, V_{C2}$	—	30	40	V
Collector Output Current (Each transistor)	$I_{C1}, I_{C2}$	—	—	200	mA
Amplified Input Voltage	$V_{in}$	-0.3	—	$V_{CC} - 2.0$	V
Current Into Feedback Terminal	$I_{fb}$	—	—	0.2	mA
Reference Output Current	$I_{ref}$	—	—	10	mA
Timing Resistor	$R_T$	1.5	30	500	$\Omega$
Timing Capacitor	$C_T$	0.0047	0.001	10	$\mu$ F
Oscillator Frequency	$f_{osc}$	1.0	40	200	kHz

ELECTRICAL CHARACTERISTICS  $V_{CC} = 15$  V,  $C_T = 0.01$   $\mu$ F,  $R_T = 12$   $\Omega$ , unless otherwise noted.  
 For typical values  $T_A = 25$  °C; for minimum values  $T_A$  is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted.

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

REFERENCE SECTION

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

OUTPUT SECTION

Collector Off-State Current ( $V_{CC} = 40$ V, $V_{CE} = 49$ V)	$I_{Coff}$	—	2.0	100	$\mu$ A
Emitter Off-State Current ( $V_{CC} = 40$ V, $V_{CE} = 40$ V, $I_E = 0$ V)	$I_{Eoff}$	—	—	-100	$\mu$ A
Collector-Emitter Saturation Voltage (Note 2) Common-Emitter ( $V_{CE} = 0$ V, $I_C = 200$ mA) Emitter-Follower ( $V_{CE} = 15$ V, $I_E = 200$ mA)	$V_{sat}(V_{CE})$	—	1.1 1.5	1.3 2.6	V
Output Control Pin Current Low State ( $V_{DD} = 0.4$ V) High State ( $V_{CC} = 15$ V)	$I_{OCL}$ $I_{OCH}$	-1.5 —	1.0 0.2	— 3.5	$\mu$ A mA
Output Voltage Rise Time Common-Emitter; See Figure 12. Emitter-Follower; See Figure 13.	$t_r$	—	100 100	100 200	ns
Output Voltage Fall Time Common-Emitter; See Figure 12. Emitter-Follower; See Figure 13.	$t_f$	—	25 40	100 100	ns

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** (V<sub>CC</sub> = 15 V, C<sub>T</sub> = 0.01 μF, R<sub>T</sub> = 12 kΩ, unless otherwise noted)  
 For typical values T<sub>A</sub> = 25 °C for "min/max" values T<sub>A</sub> is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>ERROR AMPLIFIER SECTION</b>					
Input Offset Voltage (V <sub>O</sub> , Pin 3) = 2.5 V)	V <sub>IO</sub>	-	2.0	10	mV
Input Offset Current (V <sub>O</sub> , Pin 3) = 2.5 V)	I <sub>IO</sub>	-	5.0	250	nA
Input Bias Current (V <sub>O</sub> , Pin 3) = 2.5 V)	I <sub>B</sub>	-	-0.1	-1.0	μA
Input Common Mode Voltage Range (V <sub>ICM</sub> = 40 V, T <sub>A</sub> = 25 °C)	V <sub>ICR</sub>	-0.2 to V <sub>CC</sub> -2.0			V
Open Loop Voltage Gain (ΔV <sub>O</sub> = 2.0 V, V <sub>O</sub> = 0.5 V to 3.5 V, R <sub>L</sub> = 2.0 kΩ)	A <sub>v,OL</sub>	70	95	-	dB
Unity-Gain Crossover Frequency (V <sub>O</sub> = 0.5 V to 3.5 V, R <sub>L</sub> = 2.0 kΩ)	f <sub>C</sub>	-	350	-	kHz
Phase Margin at Unity-Gain (V <sub>O</sub> = 0.5 V to 3.5 V, R <sub>L</sub> = 2.0 kΩ)	φ <sub>m</sub>	-	65	-	deg
Common Mode Rejection Ratio (V <sub>CC</sub> = 40 V)	CMRR	65	90	-	dB
Power Supply Rejection Ratio (ΔV <sub>CC</sub> = 33 V, V <sub>O</sub> = 2.5 V, R <sub>L</sub> = 2.0 kΩ)	PSRR	-	100	-	dB
Output Sink Current (V <sub>O</sub> , Pin 3) = 0.7 V)	I <sub>OL</sub>	0.3	0.7	-	mA
Output Source Current (V <sub>O</sub> , Pin 3) = 3.5 V)	I <sub>OS</sub>	2.0	-4.0	-	mA
<b>PWM COMPARATOR SECTION (Test Circuit Figure 11)</b>					
Input Threshold Voltage (Zero Duty Cycle)	V <sub>IH</sub>	-	2.5	4.5	V
Input Sink Current (V <sub>I</sub> , Pin 3) = 0.7 V)	I <sub>IL</sub>	0.3	0.7	-	mA
<b>DEADTIME CONTROL SECTION (Test Circuit Figure 11)</b>					
Input Bias Current (Pin 4) (V <sub>IN4</sub> = 0 V to 5.25 V)	I <sub>B,DT</sub>	-	-2.0	-10	μA
Maximum Duty Cycle Each Output (Push-Pull Mode) (V <sub>IN4</sub> = 0 V, C <sub>T</sub> = 0.01 μF, R <sub>T</sub> = 12 kΩ) (V <sub>IN4</sub> = 0 V, C <sub>T</sub> = 0.03 μF, R <sub>T</sub> = 30 kΩ)	DC <sub>max</sub>	45	45	50	%
Input Threshold Voltage (Pin 4) (Zero Duty Cycle) (Maximum Duty Cycle)	V <sub>IH</sub>	-	2.2	3.3	V
<b>OSCILLATOR SECTION</b>					
Frequency (C <sub>T</sub> = 0.001 μF, R <sub>T</sub> = 30 kΩ)	f <sub>osc</sub>	-	40	-	kHz
Standard Deviation of Frequency (C <sub>T</sub> = 0.001 μF, R <sub>T</sub> = 30 kΩ)	σ <sub>fosc</sub>	-	3.0	-	%
Frequency Change with Voltage (ΔV <sub>CC</sub> = 7.0 V to 40 V, T <sub>A</sub> = 25 °C)	Δf <sub>osc</sub> (ΔV <sub>CC</sub> )	-	3.1	-	%
Frequency Change with Temperature (ΔT <sub>A</sub> = T <sub>low</sub> to T <sub>high</sub> ) (C <sub>T</sub> = 0.01 μF, R <sub>T</sub> = 12 kΩ)	Δf <sub>osc</sub> (ΔT <sub>A</sub> )	-	-	12	%
<b>UNDERVOLTAGE LOCKOUT SECTION</b>					
Turn-On Threshold (V <sub>CC</sub> increasing, I <sub>REG</sub> = 1.0 mA)	V <sub>IH</sub>	5.5	6.42	7.0	V
<b>TOTAL DEVICE</b>					
Standby Supply Current (Pin 5 at V <sub>REF</sub> , All other inputs and outputs open) (V <sub>CC</sub> = 15 V) (V <sub>CC</sub> = 40 V)	I <sub>CC</sub>	-	5.5 7.0	10 15	mA
Average Supply Current (C <sub>T</sub> = 0.01 μF, R <sub>T</sub> = 12 kΩ, V <sub>IN4</sub> = 2.0 V) (V <sub>CC</sub> = 15 V, See Figure 12)	I <sub>CC</sub>	-	7.0	-	mA

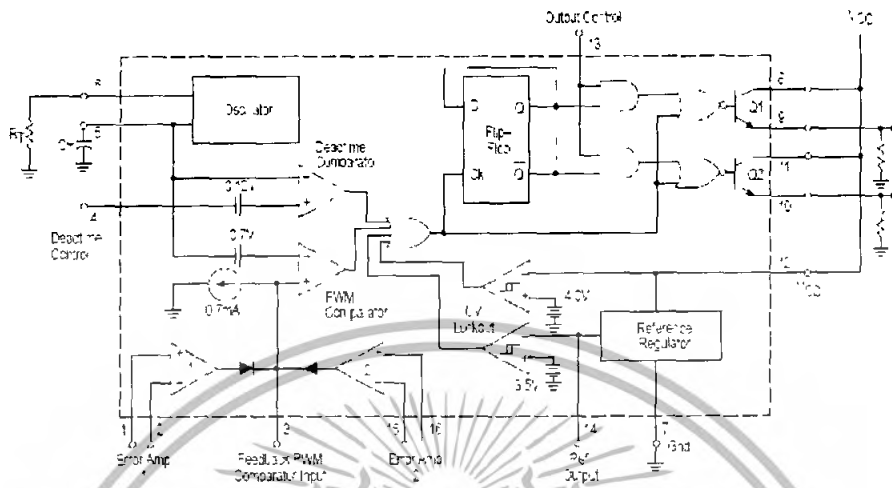
<sup>1</sup> Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as defined by the formula:

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

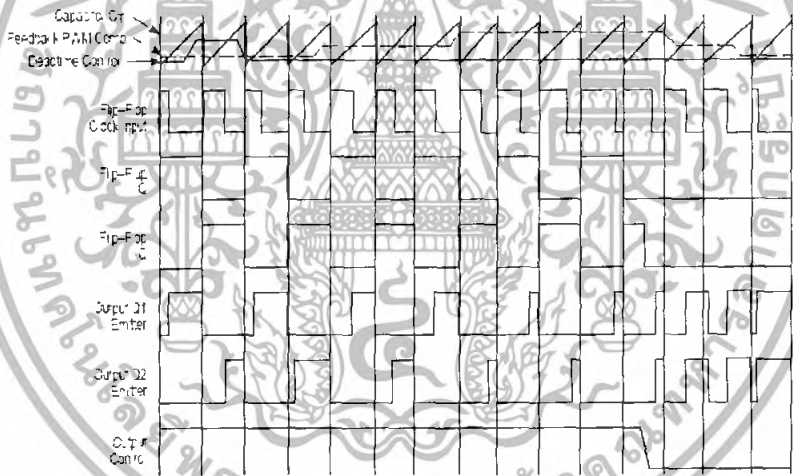
TL494

Figure 1. Representative Block Diagram



This device contains 45 active transistors

Figure 2. Timing Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494  
APPLICATIONS INFORMATION

Description

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

$$f_{osc} = \frac{1}{R_T \cdot C_T}$$

For more information refer to Figure 3.

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

The control signals are external inputs that can be fed into the deadtime control, the error amplifier inputs or the feedback input. The deadtime control comparator has an effective 120 mV input offset which limits the minimum output deadtime to approximately the first 2% of the sawtooth-cycle time. This would result in a maximum duty cycle on a given output of 96% with the output control grounded, and 48% with it connected to the reference pin. Additional deadtime may be imposed on the output by setting the deadtime-control input to a fixed voltage ranging between 0 V to 3.3 V.

Functional Table

Input/Output Controls	Output Function	$\frac{f_{out}}{f_{osc}}$
Grounded	Single-ended PWM Q1 and Q2	1/2
$V_{ref}$	Push-pull Operation	0.5

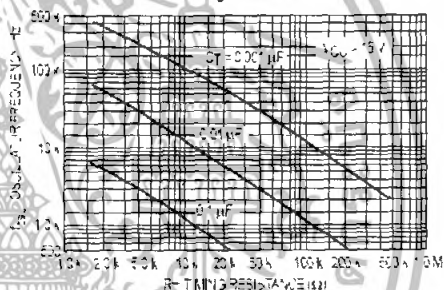
The pulse-width modulator comparator provides a means for the error amplifiers to adjust the output pulse width from the maximum percent on-time established by the deadtime control input down to zero, as the voltage at the feedback pin varies from 0.5 V to 3.5 V. Both error amplifiers have a common-mode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

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

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

The TL494 has an internal 5.0 V reference capable of sourcing up to 10 mA of load current for external bias circuits. The reference has an internal accuracy of  $\pm 0.5\%$  with a typical thermal drift of less than 50 mV over an operating temperature range of 0 to 70°C.

Figure 3. Oscillator frequency versus Timing Resistance



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

Figure 4. Open Loop Voltage Gain and Phase versus Frequency

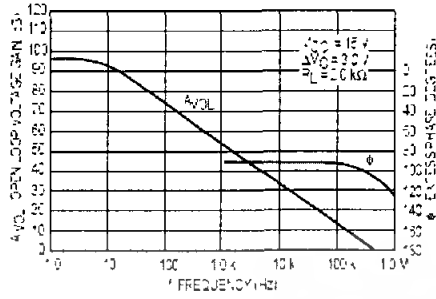


Figure 5. Percent Deadtime versus Oscillator Frequency

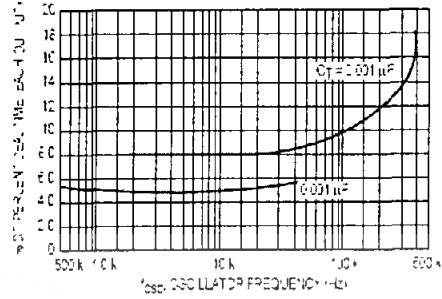


Figure 6. Percent Duty Cycle versus Deadtime Control Voltage

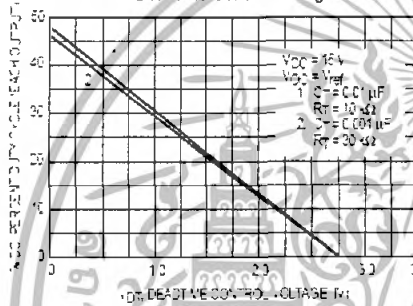


Figure 7. Emitter-Follower Configuration Output Saturation Voltage versus Emitter Current

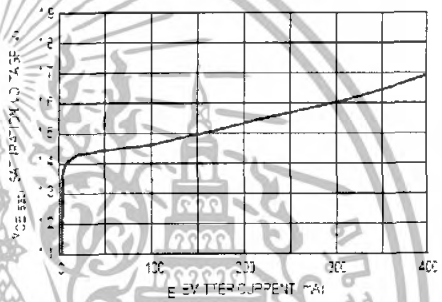


Figure 8. Common-Emitter Configuration Output Saturation Voltage versus Collector Current

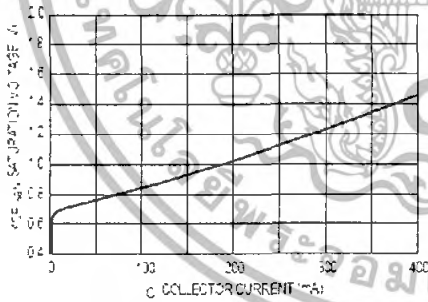
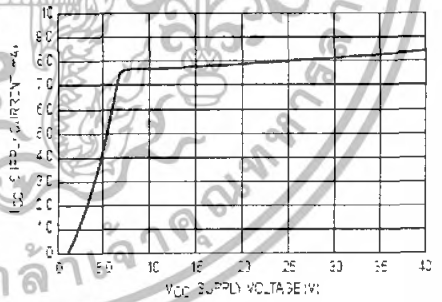


Figure 9. Standby Supply Current versus Supply Voltage



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

Figure 10 Error-Amplifier Characteristics

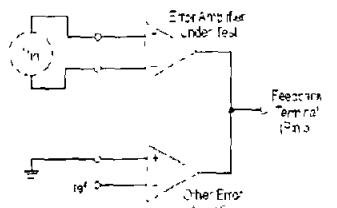


Figure 11 Deadtime and Feedback Control Circuit

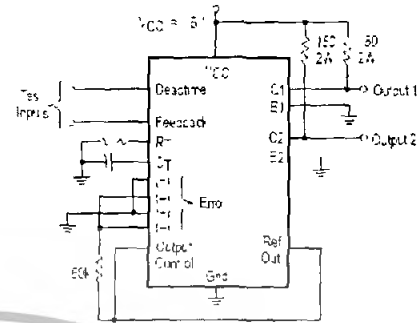


Figure 12 Common-Emitter Configuration Test Circuit and Waveform

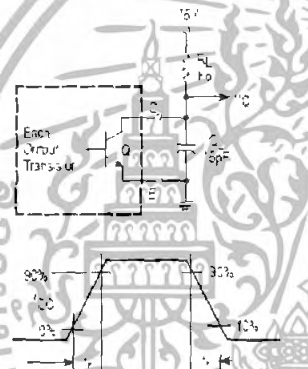
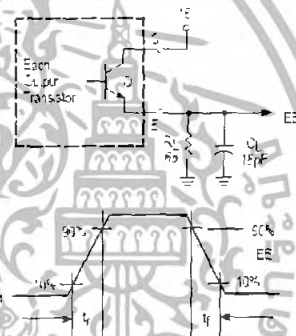


Figure 13 Emitter-Follower Configuration Test Circuit and Waveform



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## PIC16F87X

TABLE 3-3: PORTB FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer	Function
RB0:INT	bit0	TTL/ST <sup>(1)</sup>	Input/output pin or external interrupt input. Internal software programmable weak pull-up.
RB1	bit1	TTL	Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.
RB2	bit2	TTL	Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.
RB3:FGM <sup>(3)</sup>	bit3	TTL	Input/output pin or programming data in LVP mode. Internal software programmable weak pull-up.
RB4	bit4	TTL	Input/output pin with interrupt-on-change. Internal software programmable weak pull-up.
RB5	bit5	TTL	Input/output pin with interrupt-on-change. Internal software programmable weak pull-up.
RB6:FGC	bit6	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Input/output pin with interrupt-on-change or In-Circuit Debugger pin. Internal software programmable weak pull-up. Serial programming clock.
RB7:FGD	bit7	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Input/output pin with interrupt-on-change or In-Circuit Debugger pin. Internal software programmable weak pull-up. Serial programming data.

Legend: TTL = TTL mode; ST = Schmitt Trigger input.

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.

Note 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.

Note 3: Low Voltage CSP Programming (LVP) is enabled by default, which disables the RB3 I/O function. LVP must be disabled to enable RB3 as an I/O pin and a low maximum compatibility to the other 23-pin and 40-pin micro-range devices.

TABLE 3-4: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTB

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on POR/BOR	Value on all other RESETS
00h-103h	PORTB	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0	0000 0000	0000 0000
80h-109h	TRISB	PORTB Data Direction Register								1111 1111	1111 1111
51h-91h	OPTION_REG	RBPU	INTEDG	T0CS	T0SE	PGA	PS2	PS1	PS0	1111 1111	1111 1111

Legend: x = unknown, u = unchanged. Shaded cells are not used by PORTB.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494

Figure 18 Slaving Two or More Control Circuits

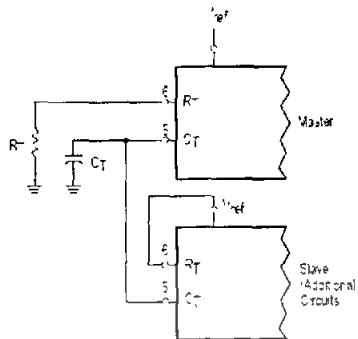


Figure 19. Operation with  $V_{IN} > 40$  V Using External Zener

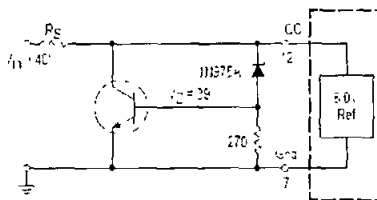
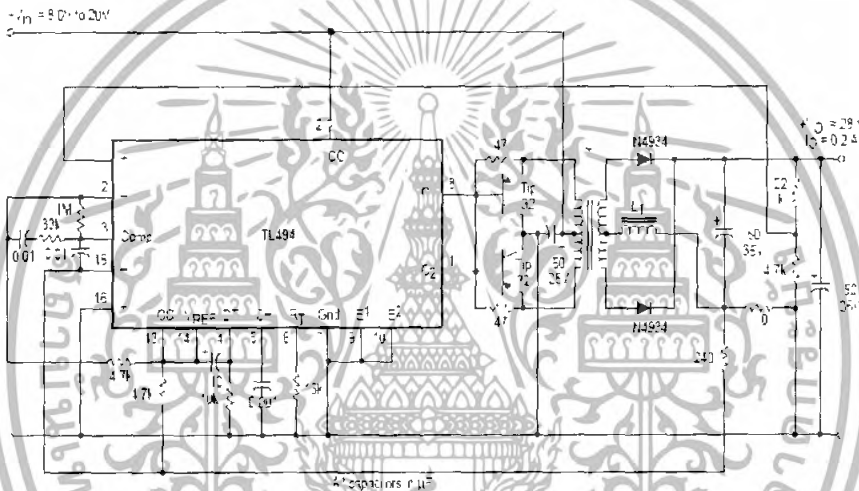


Figure 20. Pulse Width Modulated Push-Pull Converter



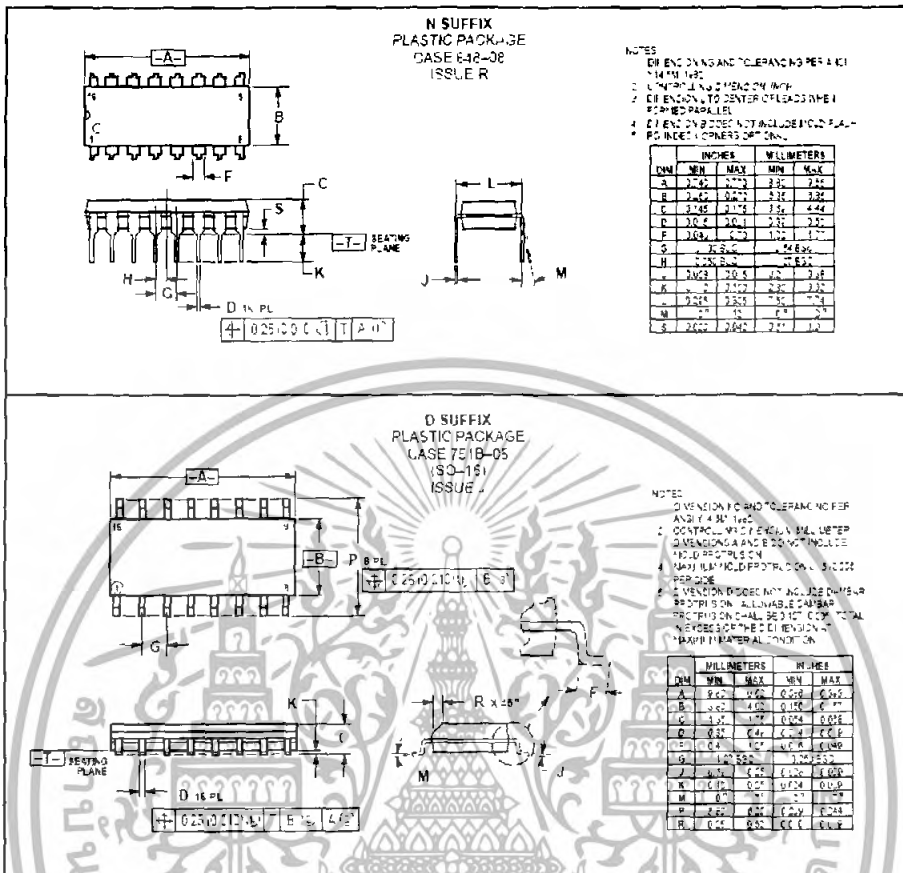
Test	Conditions	Results
Line Regulation	$V_{IN} = 10$ V to 40 V	14 mV @ 28V
Load Regulation	$V_{IN} = 28$ V $I_O = 10$ mA to 1.0 A	3.0 mV @ 0.25A
Output Ripple	$V_{IN} = 28$ V $I_O = 1.0$ A	85 mV op PARD
Short Circuit Current	$V_{IN} = 28$ V $R_L = 0.1 \Omega$	1.6 A
Efficiency	$V_{IN} = 28$ V $I_O = 1.0$ A	71%

$L = 55$  mH @ 13.4  
 $T =$  Primary 20T #23 AWG  
 Secondary 10T #16 AWG  
 Core Ferro-cube 1408P-02-3CE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**TL494**  
**OUTLINE DIMENSIONS**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



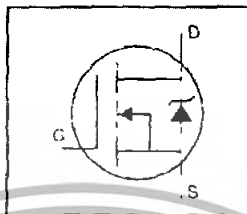
# International Rectifier

PD-9.458C

## IRFP450

HEXFET<sup>®</sup> Power MOSFET

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

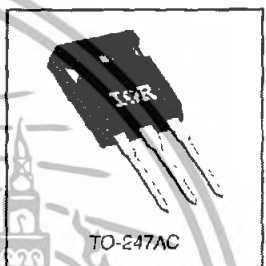


$V_{DSS} = 500V$
$R_{DS(on)} = 0.40\Omega$
$I_D = 14A$

### Description

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

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



DATA SHEETS

### Absolute Maximum Ratings

Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	14	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	8.7	A
$I_{DM}$	56	A
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	190	W
	15	W/C
$V_{GS}$	-20	V
$E_{AS}$	760	mJ
$I_{AR}$	8.7	A
$E_{AR}$	19	mJ
$dv/dt$	3.5	V/ns
$T_J$	55 to +150	$^\circ C$
$T_{STG}$		$^\circ C$
	300 (1.6mm from case)	$^\circ C$
	10 lbf-in (1.1 N-m)	

### Thermal Resistance

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{JC}$			0.65	$^\circ C/W$
$R_{CS}$		0.24		$^\circ C/W$
$R_{\theta A}$			40	$^\circ C/W$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# IRFP450



## Electrical Characteristics @ T<sub>J</sub> = 25°C (unless otherwise specified)

Parameter	Parameter	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
V <sub>BRDSS</sub>	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	V <sub>GS</sub> =0V, I <sub>D</sub> =250μA
V <sub>BRDSS/AT</sub>	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.63	—	V/°C	Reference to 25°C, I <sub>D</sub> =1mA
R <sub>DS(on)</sub>	Static Drain-to-Source On Resistance	—	—	0.40	Ω	V <sub>GS</sub> =10V, I <sub>D</sub> =8.4A @
V <sub>GS(th)</sub>	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V <sub>DS</sub> =V <sub>GS</sub> , I <sub>D</sub> =250μA
g <sub>fs</sub>	Forward Transconductance	9.3	—	—	S	V <sub>GS</sub> =50V, I <sub>D</sub> =8.4A (3)
I <sub>DSS</sub>	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	V <sub>GS</sub> =500V, V <sub>DS</sub> =0V
I <sub>DSS</sub>	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	250	μA	V <sub>GS</sub> =400V, V <sub>DS</sub> =0V, T <sub>J</sub> =125°C
I <sub>DSS</sub>	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	100	nA	V <sub>GS</sub> =-20V
Q <sub>g</sub>	Total Gate Charge	—	—	150	nC	I <sub>D</sub> =14A
C <sub>gs</sub>	Gate-to-Source Charge	—	—	20	nC	V <sub>DS</sub> =400V
Q <sub>gd</sub>	Gate-to-Drain (Miller) Charge	—	—	80	nC	V <sub>GS</sub> =10V See Fig. 6 and 13
t <sub>don</sub>	Turn-On Delay Time	—	17	—	ns	V <sub>DS</sub> =250V
t <sub>r</sub>	Rise Time	—	47	—	ns	I <sub>D</sub> =14A
t <sub>doff</sub>	Turn-Off Delay Time	—	92	—	ns	R <sub>G</sub> =6.2Ω
t <sub>f</sub>	Fall Time	—	44	—	ns	R <sub>D</sub> =17Ω See Figure 10
L <sub>D</sub>	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25 in.) from package and center of die contact
L <sub>S</sub>	Internal Source Inductance	—	13	—	nH	
C <sub>iss</sub>	Input Capacitance	—	2600	—	pF	V <sub>DS</sub> =0V
C <sub>oss</sub>	Output Capacitance	—	720	—	pF	V <sub>GS</sub> =25V
C <sub>rss</sub>	Reverse Transfer Capacitance	—	340	—	pF	f=1.0MHz See Figure 5

## Source-Drain Ratings and Characteristics

Parameter	Parameter	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
I <sub>S</sub>	Continuous Source Current (Body Diode)	—	14	—	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode
I <sub>SM</sub>	Pulsed Source Current (Body Diode) (1)	—	58	—	A	
V <sub>SD</sub>	Diode Forward Voltage	—	1.4	—	V	T <sub>J</sub> =25°C, I <sub>S</sub> =14A, V <sub>GS</sub> =0V (2)
t <sub>r</sub>	Reverse Recovery Time	—	540	810	ns	T=25°C I <sub>F</sub> =14A
Q <sub>rr</sub>	Reverse Recovery Charge	—	4.8	7.2	μC	dI <sub>D</sub> /dt=100A/μs (3)
t <sub>tr</sub>	Forward Turn-On Time	—	—	—	ns	if rise time is negligible (turn on is dominated by L <sub>S</sub> -L <sub>D</sub> )

### Notes:

- 1) Repetitive rating, pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)
- 2) I<sub>SM</sub>=14A, dI<sub>D</sub>/dt=130A/μs, V<sub>GS</sub>=V<sub>BRDSS</sub>, T<sub>J</sub><150°C
- 3) V<sub>DD</sub>=50V, starting T<sub>J</sub>=25°C L=7.0mH, R<sub>D</sub>=25Ω, I<sub>AS</sub>=\*4A (See Figure 12)
- 4) Pulse width < 300 ns; duty cycle < 2%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# IRFP450

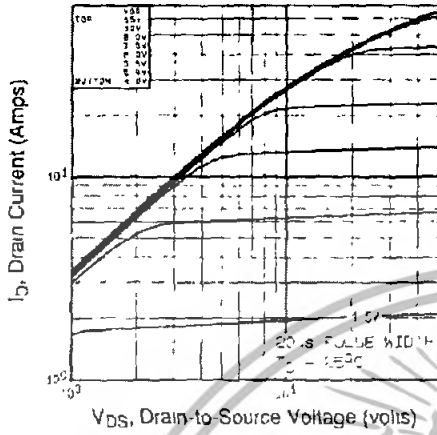


Fig 1. Typical Output Characteristics,  $T_c=25^\circ\text{C}$

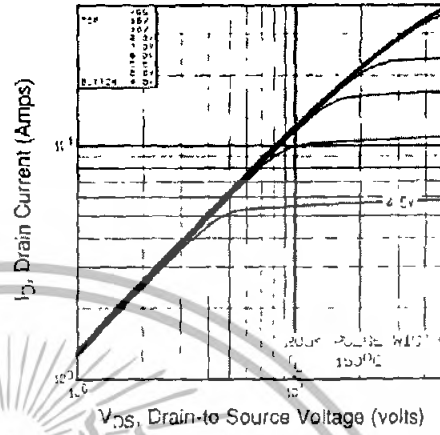


Fig 2. Typical Output Characteristics,  $T_c=150^\circ\text{C}$

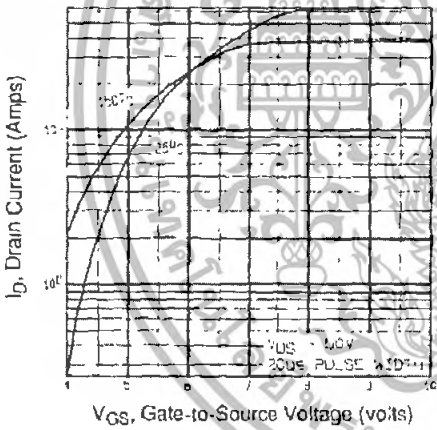


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

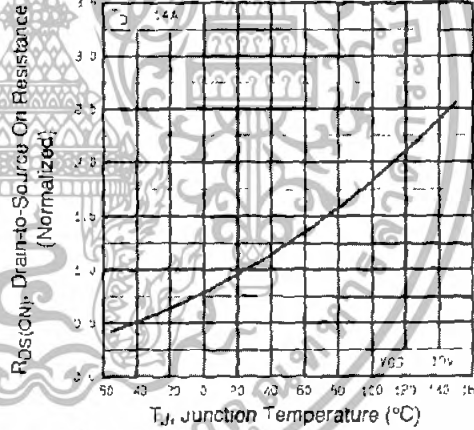


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

DATA SHEETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP450

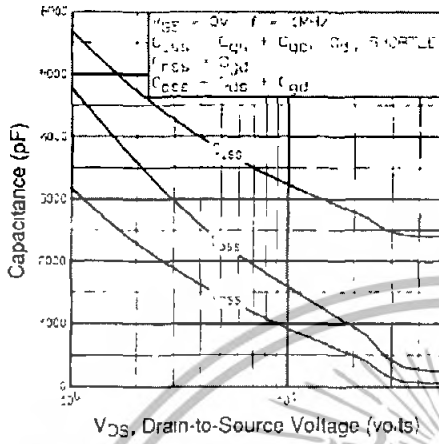


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

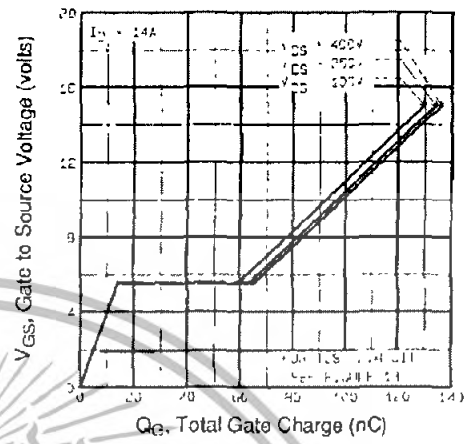


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

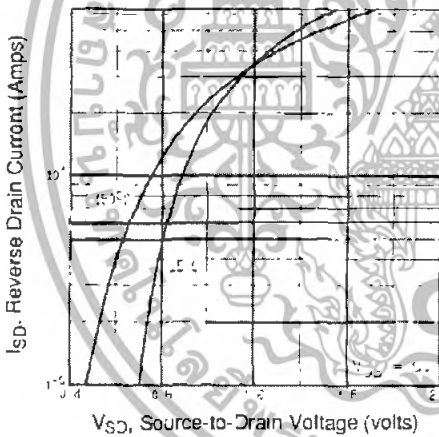


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

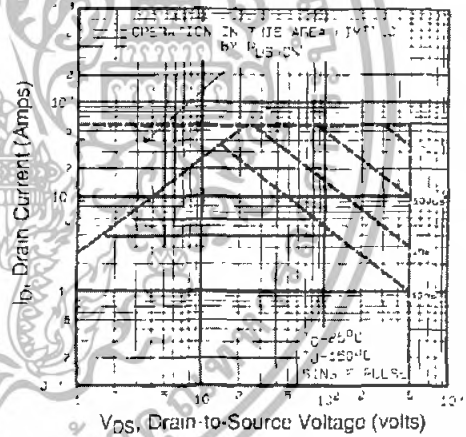


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# IRFP450

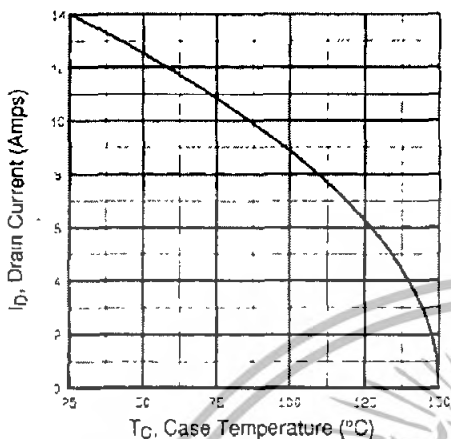


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

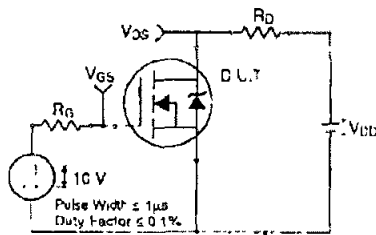


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

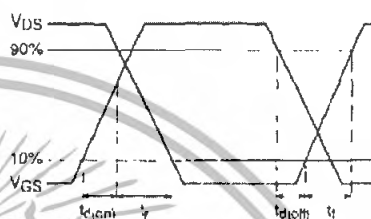


Fig 10b. Switching Time Waveforms

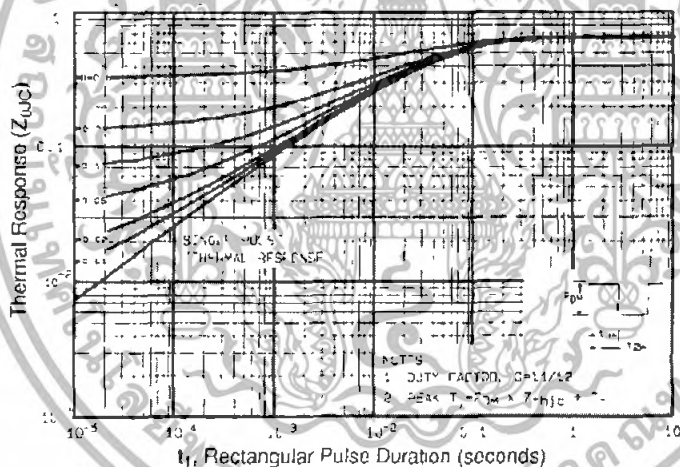


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

DATA SHEETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# IRFP450

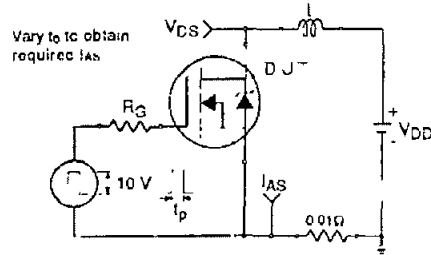


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

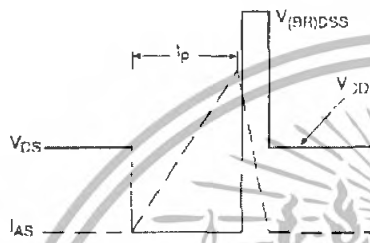


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

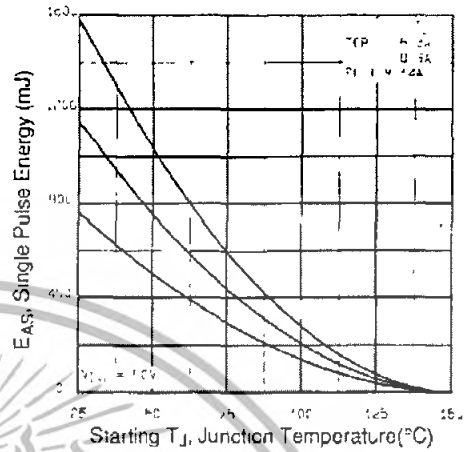


Fig 12c. Max.imum Avalanche Energy Vs Drain Current

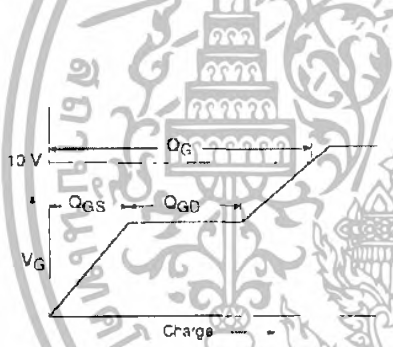


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

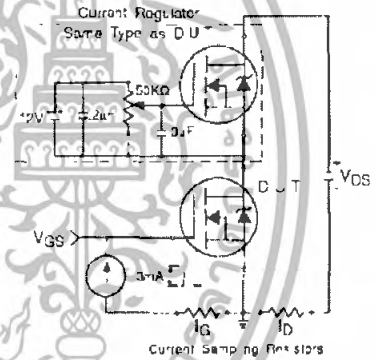


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

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

Appendix B: Package Outline Mechanical Drawing – See page 1511

Appendix C: Part Marking Information – See page 1517

**International Rectifier**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**TOSHIBA**

TLP250(INV)

**MAXIMUM RATINGS (Ta=25°C)**

CHARACTERISTIC		SYMBOL	RATING	UNIT		
LED	Forward Current	$I_F$	20	mA		
	Forward Current Derating (Ta=70°C)	$\Delta I_F$	-0.33	mA/°C		
	Peak Transient Forward Current (Note 1)	$I_{FM}$	1	A		
	Reverse Voltage	$V_R$	5	V		
	Junction Temperature	$T_J$	125	°C		
DETECTOR	IF Peak Output Current	PW ≤ 2.5μs, f = 15 kHz	$I_{FM}$	-1.5	A	
				PW ≤ 1.0μs, f = 5 kHz		-2.0
		IL Peak Output Current	PW ≤ 2.5μs, f = 5 kHz	$I_{LM}$	-1.5	A
					PW ≤ 1.0μs, f = 15 kHz	
	Output Voltage	(Ta=70°C)	$V_O$	95	V	
		(Ta=85°C)		24		
	Supply Voltage	(Ta=70°C)	$V_{CC}$	35	V	
		(Ta=85°C)		24		
	Output Voltage Derating (Ta=70°C)	$\Delta V_O / \Delta T_a$	-0.73	V/°C		
	Supply Voltage Derating (Ta=70°C)	$\Delta V_{CC} / \Delta T_a$	-0.73	V/°C		
	Junction Temperature	$T_J$	125	°C		
	Operating Frequency (Note 3)	$f$	25	kHz		
Operating Temperature Range	$T_{op}$	-20~85	°C			
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-55~125	°C			
Lead Soldering Temperature (10s)	$T_{sl}$	230	°C			
Reflow Soldering Temperature (AC, Im In, RH < 60%, Ta=25°C) (Note 4)	$BV_{sl}$	2500	Vrms			

(Note 1) Pulse width: PW ≤ 1μs, 500pps

(Note 2) Exponential Waveform

(Note 3) Exponential Waveform:  $f_{10-90} = 1.0A, 50.5\mu s$ ;  $f_{10-90} = 1.0A, 90.5\mu s$ 

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

(Note 5) A ceramic capacitor (0.1μF) should be connected from pin 7 to pin 8 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impact the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 12mm.

**RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS**

CHARACTERISTIC	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNIT
Output Current (ON)	$I_{FM}$	7	5	10	mA
Output Voltage (OFF)	$V_{OL}$	0	—	0.5	V
Supply Voltage	$V_{CC}$	15	—	25, 25	V
Peak Output Current*	$I_{FM}$	—	—	±0.5	A
Operating Temperature	$T_{op}$	-20	25	70, 95	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TOSHIBA**

TLP250(INV)

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = -20~70°C, Unless otherwise specified)**

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITION	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	
Input Forward Voltage	$V_f$	—	$I_f = 10 \text{ mA}$ , $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	1.8	1.8	V	
Temperature Coefficient of Forward Voltage	$\Delta V_f / \Delta T_a$	—	$I_f = 10 \text{ mA}$	—	-2.0	—	mV/°C	
Input Reverse Current	$I_r$	—	$V_r = 5 \text{ V}$ , $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	—	10	$\mu\text{A}$	
Input Capacitance	$C_i$	—	$V_i = 0$ , $f = 1 \text{ MHz}$ , $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	45	250	pF	
Output Current	'H' Level	$I_{OH}$	2	$V_{CC} = 3.0 \text{ V}$ *1	$I_f = 10 \text{ mA}$ $V_{OL} = 4 \text{ V}$	-1.0	-1.5	A
	'L' Level	$I_{OL}$	1		$I_f = 0$ $V_{OS} = 2.5 \text{ V}$	1.0	2	
Output Voltage	'H' Level	$V_{OH}$	3	$V_{CC} = +1.5 \text{ V}$ $V_{EE} = -1.5 \text{ V}$ $R_L = 200 \Omega$ , $I_f = 5 \text{ mA}$	—	1.8	—	V
	'L' Level	$V_{OL}$	4		$V_{CC} = +1.5 \text{ V}$ $V_{EE} = -1.5 \text{ V}$ $R_L = 200 \Omega$ , $V_i = 0.9 \text{ V}$	—	-1.4	
Supply Current	'H' Level	$I_{CC}$	—	$V_{CC} = 3.0 \text{ V}$	$I_f = 10 \text{ mA}$ $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	7	mA
	'L' Level	$I_{CCL}$	—		$I_f = 0 \text{ mA}$ $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	7.5	
Threshold Input Current	'H' Level	$I_{IH}$	—	$V_{CC} = +1.5 \text{ V}$ $V_{EE} = -1.5 \text{ V}$ $R_L = 200 \Omega$ , $V_i > 0 \text{ V}$	—	1.2	6	mA
Threshold Input Voltage	'H' Level	$V_{IH}$	—		$V_{CC} = +1.5 \text{ V}$ $V_{EE} = -1.5 \text{ V}$ $R_L = 200 \Omega$ , $V_i > 0 \text{ V}$	—	—	
Supply Voltage	$V_{CC}$	—	—	—	1.8	—	2.5	V
Capacitance (Input-Output)	$C_s$	—	$V_i = 0$ , $f = 1 \text{ MHz}$ , $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	1.0	2.0	pF	
Resistance (Input-Output)	$R_L$	—	$V_i = 500 \text{ mV}$ , $T_a = 25^\circ\text{C}$ $R_L \pm 5\%$	$10^3$	10 <sup>14</sup>	—	$\Omega$	

\*1 All typical values are at  $T_a = 25^\circ\text{C}$ .\*2 Duration of IO time is 50 $\mu\text{s}$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SWITCHING CHARACTERISTICS** ( $T_a = -20 \sim 70^\circ\text{C}$ , Unless otherwise specified)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION	V <sub>IN</sub>	TYP	MAX	UNIT	
Propagation Delay Time	L → H	$t_{pLH}$	5	$I_f = 8 \text{ mA}$ $V_{OL} = 1.5 \text{ V}$ $R_L = 200 \Omega$ , $C = 10 \text{ nF}$	0 CE	0.15	0.5	$\mu\text{s}$	
	H → L	$t_{pHL}$			0 CE	0.15	0.5		
Switching Time Dispersion Between 0% and 100%		$(t_{pHL} - t_{pLH})$			—	—	—		—
Output Rise Time		$t_r$			—	—	—		—
Output Fall Time		$t_f$	—	—	—	—	—		
Common Mode Transient Immunity at High Level Output		CM <sub>H</sub>	5	$V_{CM} = 1000 \text{ V}$ , $I_f = 8 \text{ mA}$ $V_{OL} = 30 \text{ V}$ , $T_a = 25^\circ\text{C}$	-10000	—	—	$\text{V} \cdot \mu\text{s}$	
Common Mode Transient Immunity at Low Level Output		CM <sub>L</sub>	5	$V_{CM} = 1000 \text{ V}$ , $I_f = 0 \text{ mA}$ $V_{OL} = 30 \text{ V}$ , $T_a = 25^\circ\text{C}$	10000	—	—	$\text{V} \cdot \mu\text{s}$	

Fig.1 I<sub>oPL</sub> TEST CIRCUIT

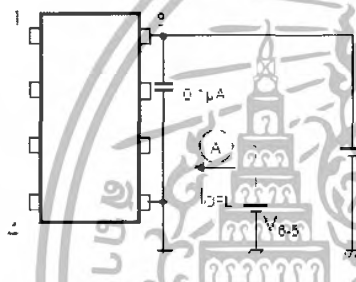


Fig.2 I<sub>oPH</sub> TEST CIRCUIT

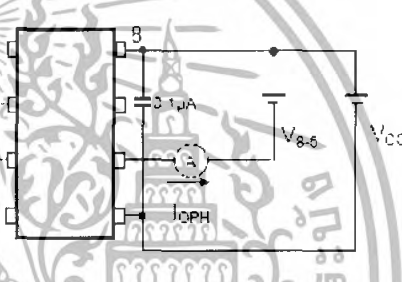


Fig.3 V<sub>oH</sub> TEST CIRCUIT

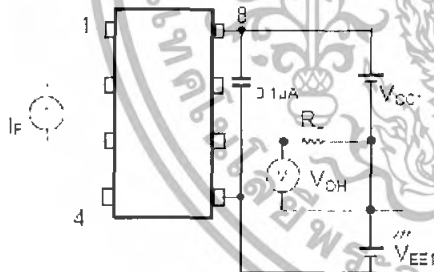
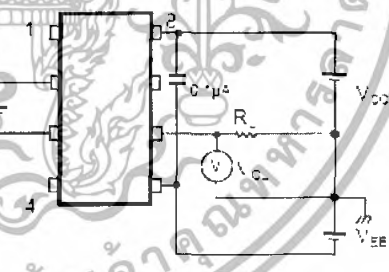


Fig.4 V<sub>oL</sub> TEST CIRCUIT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig.5 tpLH, tpHL, tr, tf TEST CIRCUIT

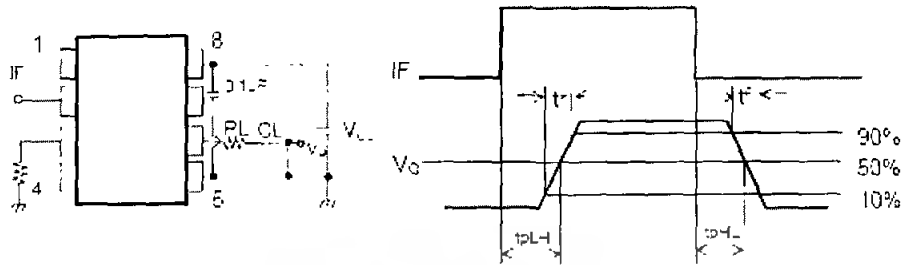
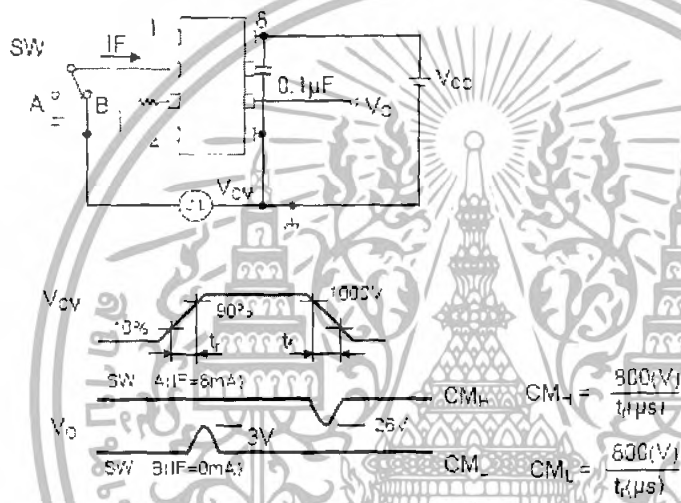


Fig.6 CMH, CML TEST CIRCUIT



CMH, CML is the maximum rate of rise/fall of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low/high state.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## RESTRICTIONS ON PRODUCT USE

COE77-233

- TOSHIBA is continually working to improve the quality and reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when using TOSHIBA products, to comply with the standards of safety in making a safe design for the entire system, and to avoid situations in which a malfunction or failure of such TOSHIBA products could cause loss of human life, bodily injury or damage to property. In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent TOSHIBA products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the "Handling Guide for Semiconductor Devices," or "TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook," etc.
- The TOSHIBA products listed in this document are intended for usage in general electronic applications (computer, personal equipment, office equipment, measuring equipment, industrial robotics, domestic appliances, etc.). These TOSHIBA products are neither intended nor warranted for usage in equipment that requires extraordinarily high quality and/or reliability or a malfunction or failure of which may cause loss of human life or bodily injury ("Unintended Usage"). Unintended Usage includes atomic energy control instruments, airplane or spacecraft instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, combustion control instruments, medical instruments, all types of safety devices, etc. Unintended Usage of TOSHIBA products listed in this document shall be made at the customer's own risk.
- Gamma-ray de (RAD) is a label used on the products described in this document. RAD symbols and figures are to be used to break, cut or pulverize the product, or use chemicals to dissolve them. When disposing of the products, follow the appropriate regulations. Do not dispose of the products with other industrial waste or with domestic garbage.
- The products described in this document are subject to the foreign exchange and foreign trade laws.
- The information contained herein is presented only as a guide for the application of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringement of the actual property or other rights of the third parties which may result from its use. Use hereof is limited by application or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.
- The information contained herein is subject to change without notice.

This datasheet has been download from:

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

Datasheets for electronics components.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





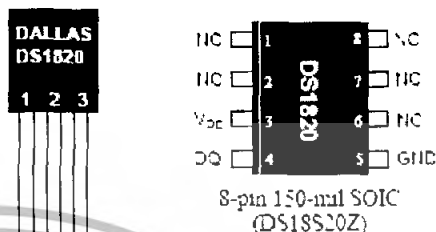
## DS18S20 High Precision 1-Wire<sup>®</sup> Digital Thermometer

www.dallassemi.com

### FEATURES

- Unique 1-wire interface requires only one port pin for communication
- Each device has a unique 64-bit serial code stored in an on-board ROM
- Multi-drop capability simplifies distributed temperature sensing applications
- Requires no external components
- Can be powered from data line. Power supply range is 3.0V to 5.5V
- Measures temperatures from  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$  ( $-67^{\circ}\text{F}$  to  $+257^{\circ}\text{F}$ )
- $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  accuracy from  $-10^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$
- 9-bit thermometer resolution
- Converts temperature in 750 ms (max.)
- User-definable nonvolatile alarm settings
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition)
- Applications include: thermostatic controls, industrial systems, consumer products, thermometers, or any thermally sensitive system

### PIN ASSIGNMENT



### PIN DESCRIPTION

GND - Ground  
DQ - Data In Out  
Vcc - Power Supply Voltage  
NC - No Connect

### DESCRIPTION

The DS18S20 Digital Thermometer provides 9-bit centigrade temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18S20 communicates over a 1-wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. It has an operating temperature range of  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$  and is accurate to  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  over the range of  $-10^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$ . In addition, the DS18S20 can derive power directly from the data line ("parasite power") eliminating the need for an external power supply.

Each DS18S20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18S20s to function on the same 1-wire bus; thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18S20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment, or machinery, and process monitoring and control systems.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**OPERATION – MEASURING TEMPERATURE**

The core functionality of the DS18S20 is its direct-to-digital temperature sensor. The temperature sensor output has 9-bit resolution, which corresponds to 0.5 °C steps. The DS18S20 powers-up in a low-power, idle state. To initiate a temperature measurement and A-to-D conversion, the master must issue a Convert T [44h] command. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18S20 returns to its idle state. If the DS18S20 is powered by an external supply, the master can issue “read time slots” (see the 1-WIRE BUS SYSTEM section) after the Convert T command and the DS18S20 will respond by transmitting 0 while the temperature conversion is in progress and 1 when the conversion is done. If the DS18S20 is powered with parasite power, this notification technique cannot be used since the bus must be pulled high by a strong pullup during the entire temperature conversion. The bus requirements for parasite power are explained in detail in the POWERING THE DS18S20 section of this datasheet.

The DS18S20 output data is calibrated in degrees centigrade. For Fahrenheit applications, a lookup table or conversion routine must be used. The temperature data is stored as a 16-bit sign-extended two’s complement number in the temperature register (see Figure 2). The sign bits (S) indicate if the temperature is positive or negative: for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. Table 2 gives examples of digital output data and the corresponding temperature reading.

Resolutions greater than 9 bits can be calculated using the data from the temperature, COUNT\_REMAIN, and COUNT\_PER\_°C registers in the scratchpad. Note that the COUNT\_PER\_°C register is hard-wired to 16 (10h). After reading the scratchpad, the TEMP\_READ value is obtained by truncating the 0.5 °C bit (bit 0) from the temperature data (see Figure 2). The extended resolution temperature can then be calculated using the following equation.

$$TEMPERATURE = TEMP\_READ - 0.25 + \frac{COUNT\_PER\_C - COUNT\_REMAIN}{COUNT\_PER\_C}$$

Additional information about high-resolution temperature calculations can be found in Application Note 105, “High Resolution Temperature Measurement with Dallas Direct-to-Digital Temperature Sensors”.

**TEMPERATURE REGISTER FORMAT** Figure 2

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
LS Byte	2 <sup>7</sup>	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>
	bit 15	bit 14	bit 13	bit 12	bit 11	bit 10	bit 9	bit 8
MS Byte	S	S	S	S	S	S	S	S

**TEMPERATURE/DATA RELATIONSHIP** Table 2

TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (Binary)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
-85.0°C*	0000 0000 1010 1010	00A0h
+25.0°C	0000 0000 0011 0010	0032h
-0.5°C	0000 0000 0000 0001	0001h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5°C	1111 1111 1111 1111	FFFFh
-25.0°C	1111 1111 1100 1110	FFCEh
-55.0°C	1111 1111 1001 0010	FF92h

\*The power-on reset value of the temperature register is -55°C.

## OPERATION – ALARM SIGNALING

After the DS18S20 performs a temperature conversion, the temperature value is compared to the user-defined two's complement alarm trigger values stored in the 1-byte  $T_H$  and  $T_L$  registers (see Figure 3). The sign bit (S) indicates if the value is positive or negative, for positive numbers  $S = 0$  and for negative numbers  $S = 1$ . The  $T_H$  and  $T_L$  registers are nonvolatile (EEPROM) so they will retain data when the device is powered down.  $T_H$  and  $T_L$  can be accessed through bytes 2 and 3 of the scratchpad as explained in the MEMORY section of this datasheet.

### $T_H$ AND $T_L$ REGISTER FORMAT Figure 3

bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
S	$2^6$	$2^5$	$2^4$	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$

Only bits 8 through 1 of the temperature register are used in the  $T_H$  and  $T_L$  comparison since  $T_H$  and  $T_L$  are 8-bit registers. If the result of a temperature measurement is higher than  $T_H$  or lower than  $T_L$ , an alarm condition exists and an alarm flag is set inside the DS18S20. This flag is updated after every temperature measurement; therefore, if the alarm condition goes away, the flag will be turned off after the next temperature conversion.

The master device can check the alarm flag status of all DS18S20s on the bus by issuing an Alarm Search [ECh] command. Any DS18S20s with a set alarm flag will respond to the command so the master can determine exactly which DS18S20s have experienced an alarm condition. If an alarm condition exists and the  $T_H$  or  $T_L$  settings have changed, another temperature conversion should be done to validate the alarm condition.

### POWERING THE DS18S20

The DS18S20 can be powered by an external supply on the  $V_{CC}$  pin, or it can operate in "parasite power" mode, which allows the DS18S20 to function without a local external supply. Parasite power is very useful for applications that require remote temperature sensing or that are very space constrained. Figure 1 shows the DS18S20's parasite-power control circuitry, which "steals" power from the 1-wire bus via the DQ pin when the bus is high. The stolen charge powers the DS18S20 while the bus is high, and some of the charge is stored on the parasite power capacitor ( $C_{PP}$ ) to provide power when the bus is low. When the DS18S20 is used in parasite power mode, the  $V_{CC}$  pin must be connected to ground.

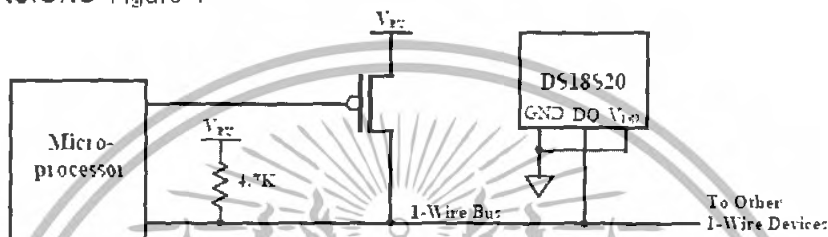
In parasite power mode, the 1-wire bus and  $C_{PP}$  can provide sufficient current to the DS18S20 for most operations as long as the specified timing and voltage requirements are met (refer to the DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS and the AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS sections of this data sheet). However, when the DS18S20 is performing temperature conversions or copying data from the scratchpad memory to EEPROM, the operating current can be as high as 2.5 mA. This current can cause an unacceptable voltage drop across the weak 1-wire pullup resistor and is more current than can be supplied by  $C_{PP}$ . To assure that the DS18S20 has sufficient supply current, it is necessary to provide a strong pullup on the 1-wire bus whenever temperature conversions are taking place or data is being copied from the scratchpad to EEPROM. This can be accomplished by using a MOSFET to pull the bus directly to the rail as shown in Figure 4. The 1-wire bus must be switched to the strong pullup within 10  $\mu$ s (max) after a Convert T [44h] or Copy Scratchpad [48h] command is issued, and the bus must be held high by the pullup for the duration of the conversion ( $t_{CONV}$ ) or data transfer ( $t_{DATA} = 10$  ms). No other activity can take place on the 1-wire bus while the pullup is enabled.

The DS18S20 can also be powered by the conventional method of connecting an external power supply to the  $V_{CC}$  pin, as shown in Figure 5. The advantage of this method is that the MOSFET pullup is not required, and the 1-wire bus is free to carry other traffic during the temperature conversion time.

The use of parasite power is not recommended for temperatures above 100°C since the DS18S20 may not be able to sustain communications due to the higher leakage currents that can exist at these temperatures. For applications in which such temperatures are likely, it is strongly recommended that the DS18S20 be powered by an external power supply.

In some situations the bus master may not know whether the DS18S20s on the bus are parasite powered or powered by external supplies. The master needs this information to determine if the strong bus pullup should be used during temperature conversions. To get this information the master can issue a Skip ROM [CCh] command followed by a Read Power Supply [B4h] command followed by a read time slot. During the read time slot, parasite powered DS18S20s will pull the bus low and externally powered DS18S20s will let the bus remain high. If the bus is pulled low, the master knows that it must supply the strong pullup on the 1-wire bus during temperature conversions.

**SUPPLYING THE PARASITE-POWERED DS18S20 DURING TEMPERATURE CONVERSIONS** Figure 4



**POWERING THE DS18S20 WITH AN EXTERNAL SUPPLY** Figure 5



**64-BIT LASERED ROM CODE**

Each DS18S20 contains a unique 64-bit code (see Figure 6) stored in ROM. The least significant 8 bits of the ROM code contain the DS18S20's 1-wire family code: 10h. The next 48 bits contain a unique serial number. The most significant 8 bits contain a cyclic redundancy check (CRC) byte that is calculated from the first 56 bits of the ROM code. A detailed explanation of the CRC bits is provided in the CRC GENERATION section. The 64-bit ROM code and associated ROM function control logic allow the DS18S20 to operate as a 1-wire device using the protocol detailed in the 1-WIRE BUS SYSTEM section of this datasheet.

**64-BIT LASERED ROM CODE** Figure 6

8-BIT CRC		48-BIT SERIAL NUMBER				8-BIT FAMILY CODE (10h)	
MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MEMORY

The DS18S20's memory is organized as shown in Figure 7. The memory consists of an SRAM scratchpad with nonvolatile EEPROM storage for the high and low alarm trigger registers ( $T_H$  and  $T_L$ ). Note that if the DS18S20 alarm function is not used, the  $T_H$  and  $T_L$  registers can serve as general-purpose memory. All memory commands are described in detail in the DS18S20 FUNCTION COMMANDS section.

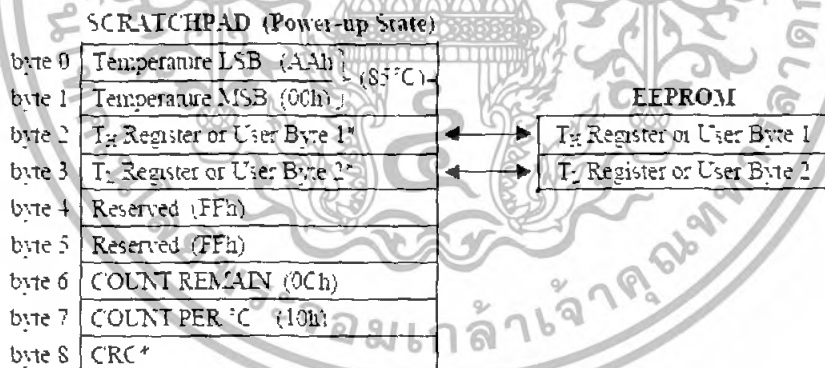
Byte 0 and byte 1 of the scratchpad contain the LSB and the MSB of the temperature register, respectively. These bytes are read-only. Bytes 2 and 3 provide access to  $T_H$  and  $T_L$  registers. Bytes 4 and 5 are reserved for internal use by the device and cannot be overwritten; these bytes will return all 1s when read. Bytes 6 and 7 contain the COUNT REMAIN and COUNT PER °C registers, which can be used to calculate extended resolution results as explained in the OPERATION – MEASURING TEMPERATURE section.

Byte 8 of the scratchpad is read-only and contains the cyclic redundancy check (CRC) code for bytes 0 through 7 of the scratchpad. The DS18S20 generates this CRC using the method described in the CRC GENERATION section.

Data is written to bytes 2 and 3 of the scratchpad using the Write Scratchpad [+Eh] command; the data must be transmitted to the DS18S20 starting with the least significant bit of byte 2. To verify data integrity, the scratchpad can be read (using the Read Scratchpad [BEh] command) after the data is written. When reading the scratchpad, data is transferred over the 1-wire bus starting with the least significant bit of byte 0. To transfer the  $T_H$  and  $T_L$  data from the scratchpad to EEPROM, the master must issue the Copy Scratchpad [48h] command.

Data in the EEPROM registers is retained when the device is powered down; at power-up the EEPROM data is reloaded into the corresponding scratchpad locations. Data can also be reloaded from EEPROM to the scratchpad at any time using the Recall E<sup>2</sup> [B8h] command. The master can issue "read time slots" (see the 1-WIRE BUS SYSTEM section) following the Recall E<sup>2</sup> command, and the DS18S20 will indicate the status of the recall by transmitting 0 while the recall is in progress and 1 when the recall is done.

### DS18S20 MEMORY MAP



\*Power-up state depends on value stored in EEPROM.

## 1-WIRE SIGNALING

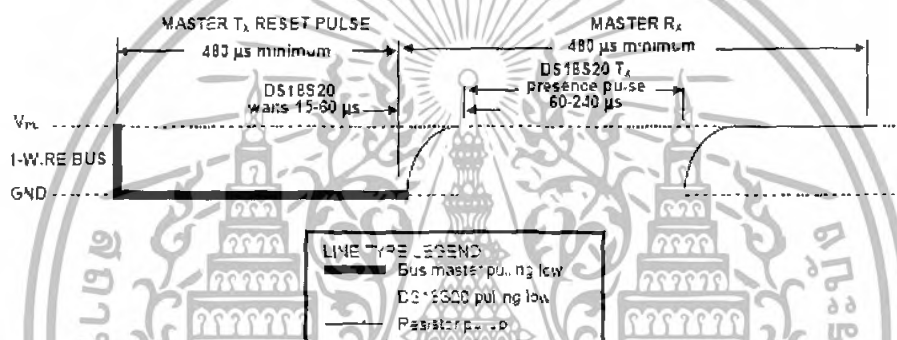
The DS18S20 uses a strict 1-wire communication protocol to insure data integrity. Several signal types are defined by this protocol: reset pulse, presence pulse, write 0, write 1, read 0, and read 1. All of these signals, with the exception of the presence pulse, are initiated by the bus master.

### INITIALIZATION PROCEDURE: RESET AND PRESENCE PULSES

All communication with the DS18S20 begins with an initialization sequence that consists of a reset pulse from the master followed by a presence pulse from the DS18S20. This is illustrated in Figure 10. When the DS18S20 sends the presence pulse in response to the reset, it is indicating to the master that it is on the bus and ready to operate.

During the initialization sequence the bus master transmits ( $T_x$ ) the reset pulse by pulling the 1-wire bus low for a minimum of 480  $\mu$ s. The bus master then releases the bus and goes into receive mode ( $R_x$ ). When the bus is released, the 5k pullup resistor pulls the 1-wire bus high. When the DS18S20 detects this rising edge, it waits 15–60  $\mu$ s and then transmits a presence pulse by pulling the 1-wire bus low for 60–240  $\mu$ s.

### INITIALIZATION TIMING Figure 10



### READ/WRITE TIME SLOTS

The bus master writes data to the DS18S20 during write time slots and reads data from the DS18S20 during read time slots. One bit of data is transmitted over the 1-wire bus per time slot.

### WRITE TIME SLOTS

There are two types of write time slots: "Write 1" time slots and "Write 0" time slots. The bus master uses a Write 1 time slot to write a logic 1 to the DS18S20 and a Write 0 time slot to write a logic 0 to the DS18S20. All write time slots must be a minimum of 60  $\mu$ s in duration with a minimum of a 1  $\mu$ s recovery time between individual write slots. Both types of write time slots are initiated by the master pulling the 1-wire bus low (see Figure 11).

To generate a Write 1 time slot, after pulling the 1-wire bus low, the bus master must release the 1-wire bus within 15  $\mu$ s. When the bus is released, the 5k pullup resistor will pull the bus high. To generate a Write 0 time slot, after pulling the 1-wire bus low, the bus master must continue to hold the bus low for the duration of the time slot (at least 60  $\mu$ s). The DS18S20 samples the 1-wire bus during a window that lasts from 15  $\mu$ s to 60  $\mu$ s after the master initiates the write time slot. If the bus is high during the sampling window, a 1 is written to the DS18S20. If the line is low, a 0 is written to the DS18S20.

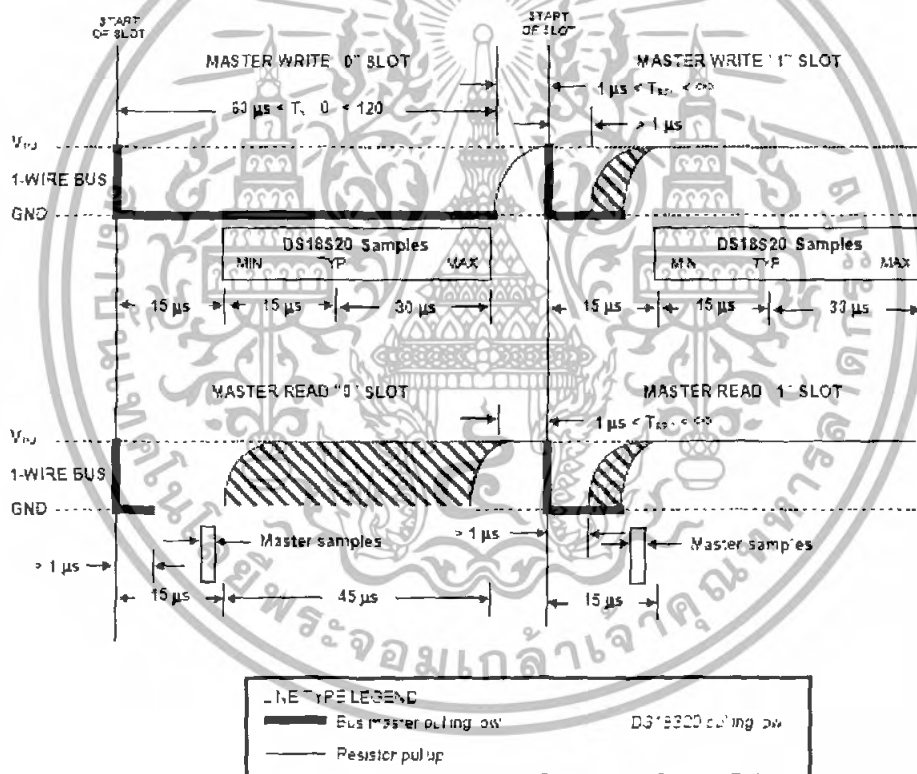
## READ TIME SLOTS

The DS18S20 can only transmit data to the master when the master issues read time slots. Therefore, the master must generate read time slots immediately after issuing a Read Scratchpad [BEh] or Read Power Supply [B4h] command, so that the DS18S20 can provide the requested data. In addition, the master can generate read time slots after issuing Convert T [+4h] or Recall E- [B8h] commands to find out the status of the operation as explained in the DS18S20 FUNCTION COMMAND section.

All read time slots must be a minimum of 60  $\mu\text{s}$  in duration with a minimum of a 1  $\mu\text{s}$  recovery time between slots. A read time slot is initiated by the master device pulling the 1-wire bus low for a minimum of 1  $\mu\text{s}$  and then releasing the bus (see Figure 11). After the master initiates the read time slot, the DS18S20 will begin transmitting a 1 or 0 on bus. The DS18S20 transmits a 1 by leaving the bus high and transmits a 0 by pulling the bus low. When transmitting a 0, the DS18S20 will release the bus by the end of the time slot, and the bus will be pulled back to its high idle state by the pullup resistor. Output data from the DS18S20 is valid for 15  $\mu\text{s}$  after the falling edge that initiated the read time slot. Therefore, the master must release the bus and then sample the bus state within 15  $\mu\text{s}$  from the start of the slot.

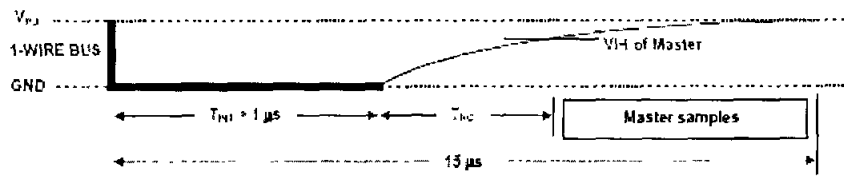
Figure 12 illustrates that the sum of  $T_{\text{SET}}$ ,  $T_{\text{RC}}$ , and  $T_{\text{SAMPLE}}$  must be less than 15  $\mu\text{s}$  for a read time slot. Figure 13 shows that system timing margin is maximized by keeping  $T_{\text{SET}}$  and  $T_{\text{RC}}$  as short as possible and by locating the master sample time during read time slots towards the end of the 15  $\mu\text{s}$  period.

## READ/WRITE TIME SLOT TIMING DIAGRAM Figure 11

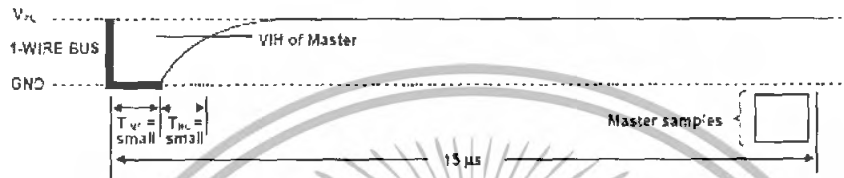


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### DETAILED MASTER READ 1 TIMING Figure 12



### RECOMMENDED MASTER READ 1 TIMING Figure 13

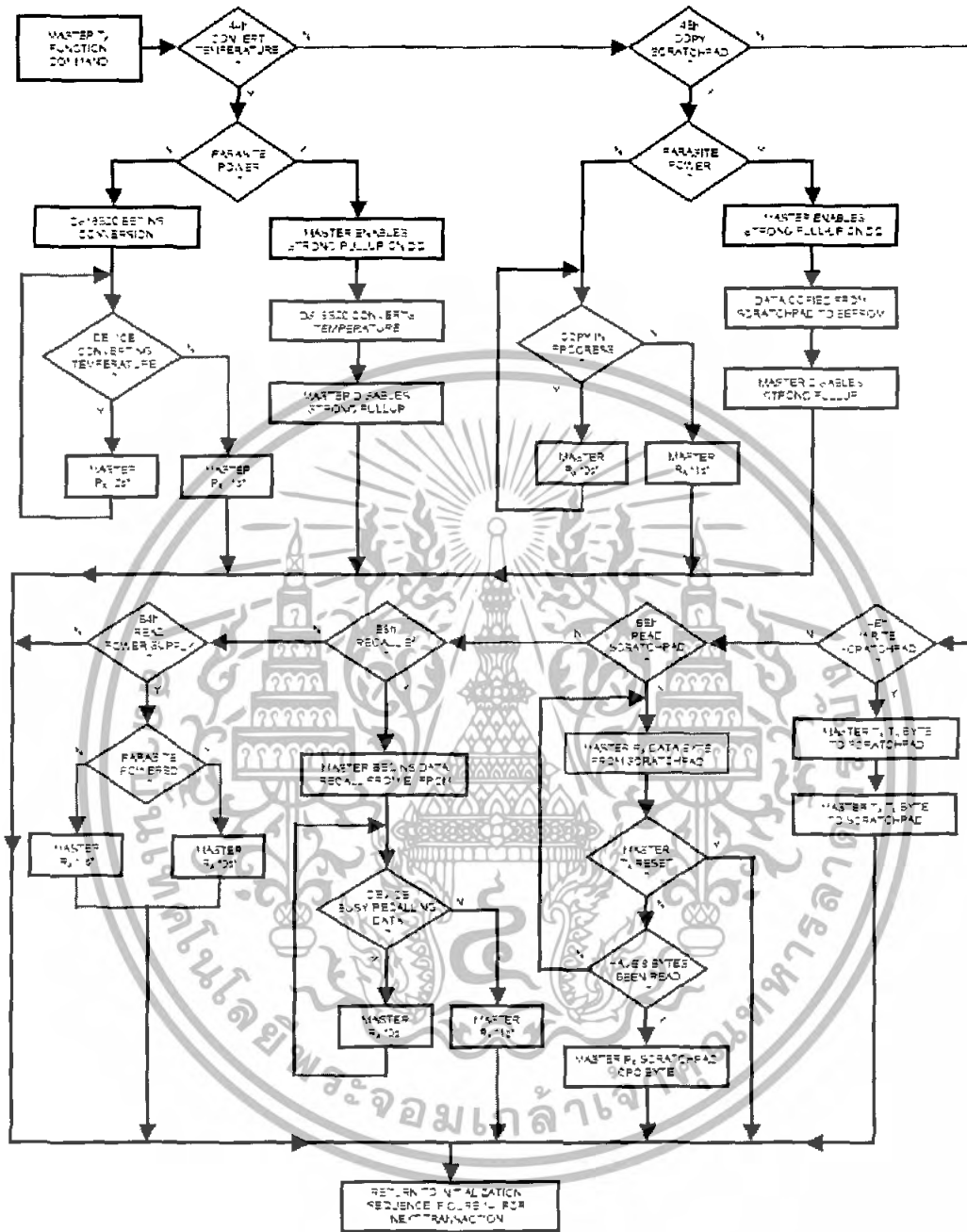


LINE TYPE LEGEND  
 — Bus master pull up  
 — Resistor pull up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DS18S20 FUNCTION COMMANDS FLOW CHART Figure 15



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### DS18S20 OPERATION EXAMPLE 1

In this example there are multiple DS18S20s on the bus and they are using parasite power. The bus master initiates a temperature conversion in a specific DS18S20 and then reads its scratchpad and recalculates the CRC to verify the data.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18S20s respond with presence pulse.
TX	55h	Master issues Match ROM command.
TX	64-bit ROM code	Master sends DS18S20 ROM code.
TX	4h	Master issues Convert T command.
TX	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for the duration of the conversion (t <sub>CONV</sub> ).
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18S20s respond with presence pulse.
TX	55h	Master issues Match ROM command.
TX	64-bit ROM code	Master sends DS18S20 ROM code.
TX	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
RX	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.

### DS18S20 OPERATION EXAMPLE 2

In this example there is only one DS18S20 on the bus and it is using parasite power. The master writes to the T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub> registers in the DS18S20 scratchpad and then reads the scratchpad and recalculates the CRC to verify the data. The master then copies the scratchpad contents to EEPROM.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18S20 responds with presence pulse.
TX	CCh	Master issues Skip ROM command.
TX	4Eh	Master issues Write Scratchpad command.
TX	2 data bytes	Master sends two data bytes to scratchpad (T <sub>1</sub> and T <sub>2</sub> ).
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18S20 responds with presence pulse.
TX	CCh	Master issues Skip ROM command.
TX	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
RX	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18S20 responds with presence pulse.
TX	CCh	Master issues Skip ROM command.
TX	4Sh	Master issues Copy Scratchpad command.
TX	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for at least 10 ms while copy operation is in progress.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### DS18S20 OPERATION EXAMPLE 3

In this example there is only one DS18S20 on the bus and it is using parasite power. The bus master initiates a temperature conversion then reads the DS18S20 scratchpad and calculates a higher resolution result using the data from the temperature, COUNT REMAIN and COUNT PER °C registers.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
TX	Reset	Master issues reset pulse
TR	Presence	DS18S20 responds with presence pulse
TX	CCh	Master issues Skip ROM command
TX	4h	Master issues Convert T command
TX	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for the duration of the conversion ( $t_{CONV}$ )
TX	Reset	Master issues reset pulse
RX	Presence	DS18S20 responds with presence pulse
TX	CCh	Master issues Skip ROM command
TX	BEh	Master issues Read Scratchpad command
RX	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated. The master also calculates the TEMP_READ value and stores the contents of the COUNT REMAIN and COUNT PER °C registers.
TX	Reset	Master issues reset pulse
RX	Presence	DS18S20 responds with presence pulse
-	-	CPU calculates extended resolution temperature using the equation in the OPERATION - MEASURING TEMPERATURE section of this data sheet.

### RELATED APPLICATION NOTES

The following Application Notes can be applied to the DS18S20. These notes can be obtained from the Dallas Semiconductor "Application Note Book" via the Dallas website at <http://www.dallas.com> or through our faxback service at (214) 450-6441.

Application Note 27 "Understanding and Using Cycle Redundancy Checks with Dallas Semiconductor Touch Memory Product"

Application Note 55: "Extending the Contact Range of Touch Memories"

Application Note 74 "Reading and Writing Touch Memories via Serial Interfaces"

Application Note 104 "Minimalist Temperature Control Demo"

Application Note 105 "High Resolution Temperature Measurement with Dallas Direct-to-Digital Temperature Sensor"

Application Note 106 "Complex MicroLANs"

Application Note 108 "MicroLAN - In the Long Run"

Sample 1-wire subroutines that can be used in conjunction with AN74 can be downloaded from the Dallas website or anonymous FTP Site:



MICROCHIP

PIC16F87X

## 28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

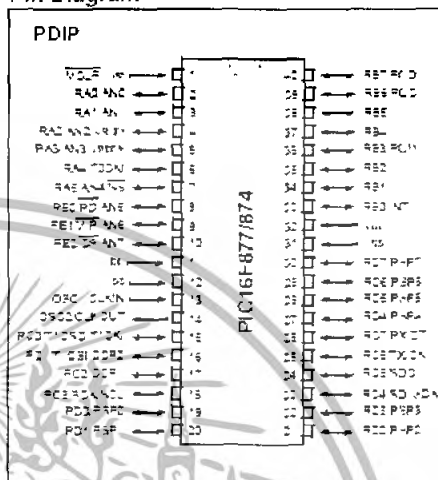
## Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F874
- PIC16F873E
- PIC16F877

## Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: 10 - 20 MHz clock input; 10 - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory
- Up to 384 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
- Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC18C455/465/475/485
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWT), and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip oscillator for reliable operation
- Programmed code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selects E oscillator colors
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature ranges
- Low-power consumption
  - 1.0 mA typical @ 3V, 4 MHz
  - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
  - < 1 µA typical standby current

## Pin Diagram



## Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 13-bit timer/counter with prescaler can be incremented during SLEEP via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit max resolution is 12.5 ns
  - Compare is 8-bit max resolution is 200 ns
  - PWM max resolution is 13-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master/Slave) and I2C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP): 8-bit wide with external RD, WR and CS controls (40-44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## PIC16F87X

Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz
RESETS (and De-assert)	POR, BOR (FWRT, OST)	POR, BOR (FWRT, OST)	POR, BOR (FWRT, OST)	POR, BOR (FWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4k	4k	9k	9k
Data Memory (bytes)	162	162	328	328
EEPROM Data Memory	128	128	256	256
Interrupts	12	14	12	14
I/O Ports	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E
Timers	2	2	3	3
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	2	2
Serial Communications	M3SF, USART	M3SF, USART	M3SF, USART	M3SF, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	3 input channels	5 input channels	5 input channels
Instruction Set	35 instructions	25 instructions	25 instructions	25 instructions



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F87X

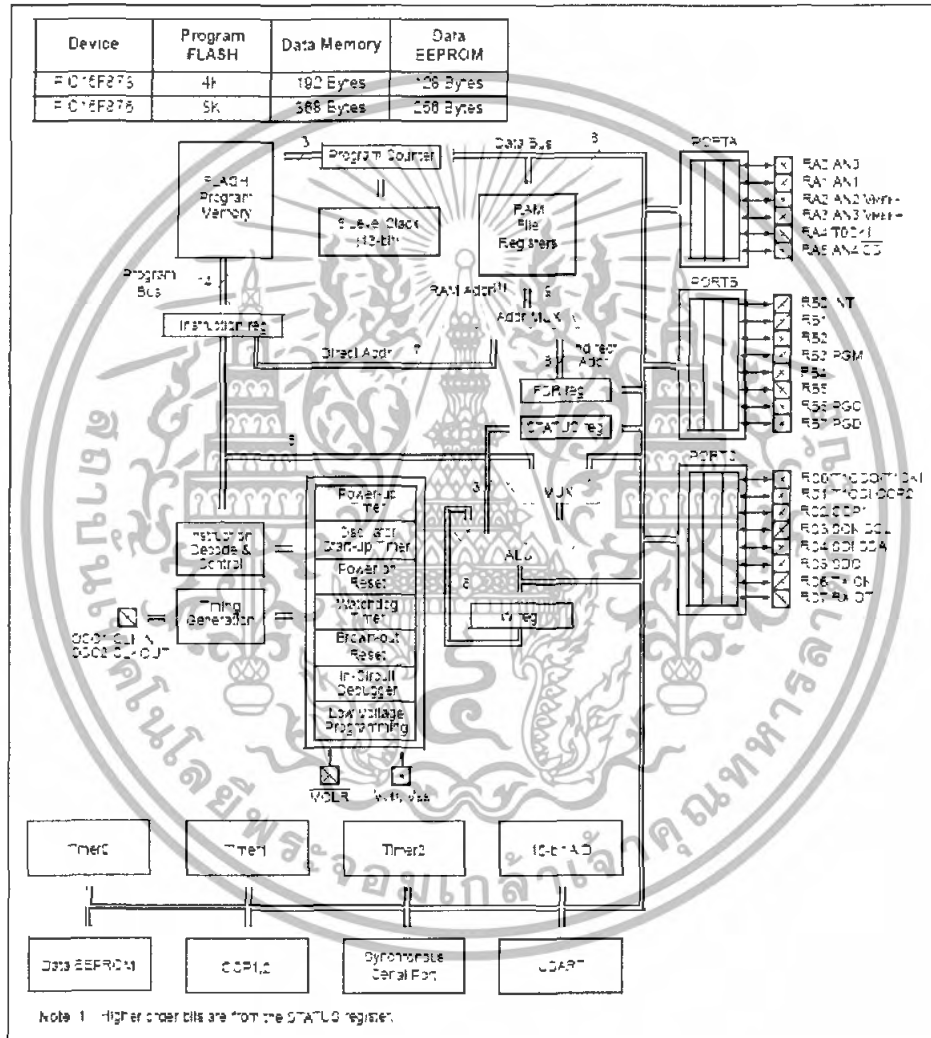
## 1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information. Additional information may be found in the PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS20023), which may be obtained from your local Microchip Sales Representative or downloaded from the Microchip website. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet, and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

There are four devices: PIC16F873, PIC16F874, PIC16F875 and PIC16F877, covered by this data sheet. The PIC16F873/875 devices come in 28-pin packages and the PIC16F874/877 devices come in 40-pin packages. The Parallel Slave Port is not implemented on the 28-pin devices.

The following device block diagrams are cited by pin number: 28-pin for Figure 1-1 and 40-pin for Figure 1-2. The 28-pin and 40-pin pin-outs are listed in Table 1-1 and Table 1-2, respectively.

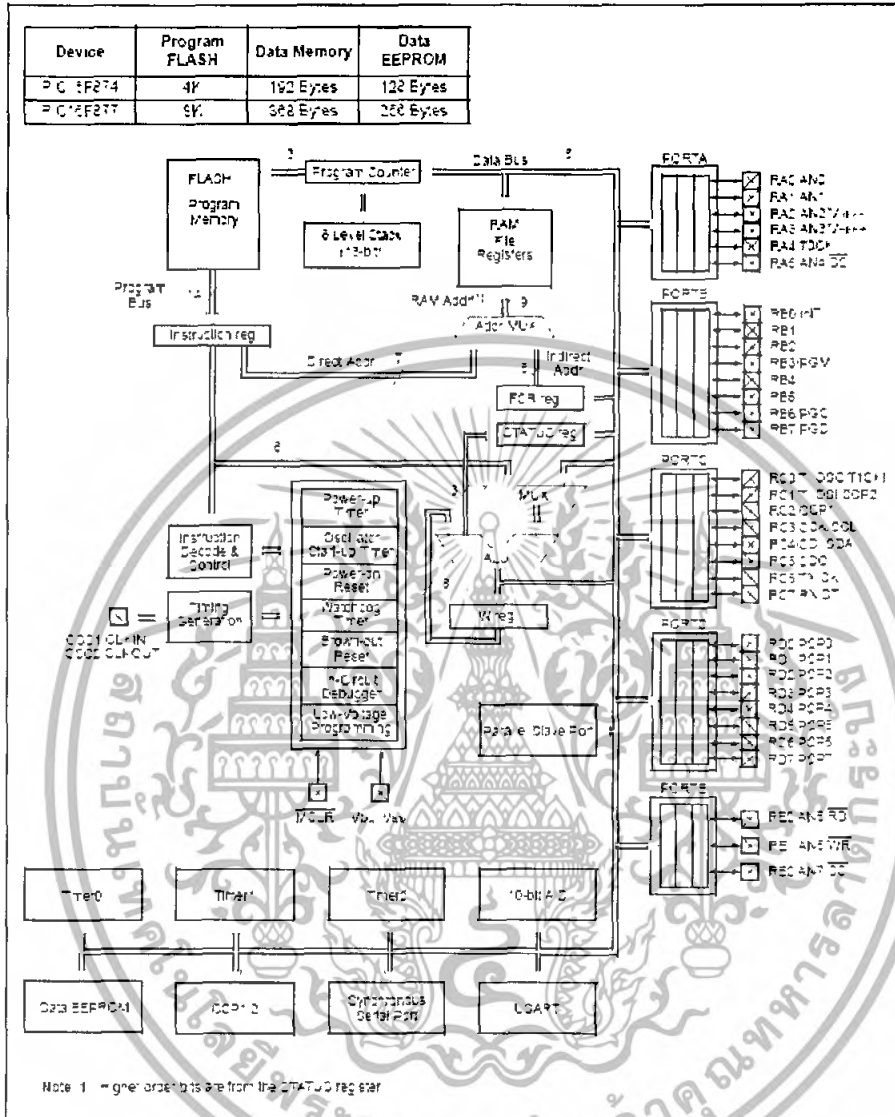
FIGURE 1-1: PIC16F873 AND PIC16F876 BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F87X

FIGURE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F87X

TABLE 1-1: PIC16F873 AND PIC16F876 PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP Pin#	SOIC Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	9	9	I	ST-CMOS <sup>(1)</sup>	Oscillator crystal input/external clock source input
OSC2/CLKOUT	10	10	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, the OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1 and denotes the instruction cycle rate
MCLR/VPP	1	1	P	ST	Master Clear/Reset input or programming voltage input. This pin is an active low RESET to the device
RA0/AN0	2	2	I/O	TL	PORTA is a bidirectional I/O port. RA0 can also be analog input0
RA1/AN1	3	3	I/O	TL	RA1 can also be analog input1
RA2/AN2/VREF-	4	4	I/O	TL	RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage.
RA3/AN3/VREF+	5	5	I/O	TL	RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage.
RA4/T0CK1	6	6	I/O	ST	RA4 can also be the clock input to the Timer0 module. Output is open drain type
RA5/SS/AN4	7	7	I/O	TL	RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port
RB0/INT	21	21	I/O	TL/ST <sup>(1)</sup>	PORTB is a bidirectional I/O port. RB0 can be software programmed for internal weak pull-up on all ports. RB0 can also be the external interrupt pin
RB1	22	22	I/O	TL	
RB2	23	23	I/O	TL	
RB3/PGM	24	24	I/O	TL	RB3 can also be the low voltage programming input
RB4	25	25	I/O	TL	instruction-changed pin
RB5	26	26	I/O	TL	instruction-changed pin
RB6/PGC	27	27	I/O	TL/ST <sup>(1)</sup>	instruction-changed pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock
RB7/PGD	28	28	I/O	TL/ST <sup>(1)</sup>	instruction-changed pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data
RC0/T0OSC/T1CK1	11	11	I/O	ST	PORTC is a bidirectional I/O port. RC0 can also be the Timer1 oscillator output or Timer1 clock input
RC1/T0S/CAP2	12	12	I/O	ST	RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output
RC2/CAP1	13	13	I/O	ST	RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output
RC3/SCK/SCL	14	14	I/O	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I <sup>2</sup> C modes
RC4/SDA	15	15	I/O	ST	RC4 can also be the SPI Data In/SP mode) or data I <sup>2</sup> C mode)
RC5/SDI	16	16	I/O	ST	RC5 can also be the SPI Data Out (SP mode)
RC6/TXCK	17	17	I/O	ST	RC6 can also be the USART Asynchronous Transmitter Synchronous Clock
RC7/RXD1	18	18	I/O	ST	RC7 can also be the USART Asynchronous Receiver Synchronous Data
VDD	5, 19	5, 19	P	—	Ground reference for logic and I/O pins
VDD	20	20	P	—	Positive supply for logic and I/O pins

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power  
 — = not used TL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note 1. This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.  
 2. This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
 3. This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F87X

**TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION**

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1 CLK IN	13	14	30	—	CMOS	Oscillator crystal/external clock source input.
OSC2 CLK OUT	14	15	31	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP	1	2	18	IP	ST	Master Clear/Reset input or programming voltage input. This pin is an active low PESE™ to the device.
RA0/AN0	2	3	19	IO	TL	PORTA is a bidirectional I/O port. RA0 can also be analog input0.
RA1/AN1	3	4	20	IO	TL	RA1 can also be analog input1.
RA0/AN0/VREF-	4	5	21	IO	TL	RA0 can also be analog input0 or negative analog reference voltage.
RA5/AN5/VREF+	5	6	22	IO	TL	RA5 can also be analog input5 or positive analog reference voltage.
RA4/T0CKI	6	7	23	IO	ST	RA4 can also be the clock input to the Timer/Counter Output Divider type.
RA5/SS/AN4	7	8	24	IO	TL	RA5 can also be analog input4 or slave select for the synchronous serial port.
RB0/INT	22	36	9	IO	TL/ST/4	RCPTB is a bidirectional I/O port. RB0 can be software programmed for internal weak pull-up on all ports. RB0 can also be the external interrupt pin.
RB1	24	37	8	IO	TL	
RB2	25	38	10	IO	TL	
RB3/PGM	26	39	11	IO	TL	RB3 can also be the low voltage programming input.
RB4	27	41	14	IO	TL	Interrupt-on-change pin.
RB5	28	42	15	IO	TL	Interrupt-on-change pin.
RB6/PGC	31	45	16	IO	TL/ST/4	Interrupt-on-change pin or I/O port Debugger on Serial programming clock.
RB7/PGD	41	44	17	IO	TL/ST/4	Interrupt-on-change pin or I/O port Debugger on Serial programming data.

Legend: I/O = Input/output; O = Output; — = Not used; TL = TTL input/output; ST = Schmitt Trigger input; 4 = power

- Note: 1. This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.  
 2. This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.  
 3. This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode for interfacing to a microprocessor bus.  
 4. This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## PIC16F87X

TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	D/P Pin#	PLOC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RC0-T1OSC/T1CKA	15	15	22	I/O	ST	RC0/T1OSC is a bidirectional I/O port. RC0 can also be the Timer1 oscillator output or a Timer1 clock input.
RC1-T1OS9/OC2P2	16	16	23	O	ST	RC1 can also be the Timer1 oscillator output or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output.
RC2-OC1P1	17	17	24	O	ST	RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.
RC3-SCK/SCL	18	22	27	I/O	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I <sup>2</sup> C modes.
RC4-SDA	23	25	42	I/O	ST	RC4 can also be the SPI Data In/I <sup>2</sup> C mode or data I/O I <sup>2</sup> C mode.
RC5-SDC	24	26	43	I/O	ST	RC5 can also be the SPI Data Out/I <sup>2</sup> C mode.
RC6-TXCKA	25	27	44	I/O	ST	RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock.
RC7-RXD <sup>†</sup>	26	28	1	I/O	ST	RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.
RD0-P5P0	19	21	28	O	ST/TTL <sup>1</sup>	RD0/P5P0 is a bidirectional I/O port or parallel slave port when interfacing to a microprocessor bus.
RD1-P5P1	20	22	29	O	ST/TTL <sup>1</sup>	
RD2-P5P2	21	23	40	O	ST/TTL <sup>1</sup>	
RD3-P5P3	22	24	41	O	ST/TTL <sup>1</sup>	
RD4-P5P4	27	29	2	O	ST/TTL <sup>1</sup>	
RD5-P5P5	28	30	3	O	ST/TTL <sup>1</sup>	
RD6-P5P6	29	32	4	O	ST/TTL <sup>1</sup>	
RD7-P5P7	30	33	5	O	ST/TTL <sup>1</sup>	
RE0-RCAN5	5	9	25	I/O	ST/TTL <sup>1</sup>	RE0/RCAN5 is a bidirectional I/O port. RE0 can also be read control for the parallel slave port for an 8-bit module.
RE1-WRAN5	6	12	26	I/O	ST/TTL <sup>1</sup>	RE1 can also be write control for the parallel slave port for an 8-bit module.
RE2-CSAN7	10	11	27	I/O	ST/TTL <sup>1</sup>	RE2 can also be select control for the parallel slave port for an 8-bit module.
VDD	12, 21	16, 34	6, 29	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	1, 32	12, 35	7, 28	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
NC	—	1, 7, 23, 41	12, 15, 32, 34	—	—	These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected.

Legend: I = Input, O = Output, I/O = Input/output, P = Power, ST = Schmitt Trigger input, — = Not used, TL = TTL input.

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.  
 2: This buffer is a Schmitt Trigger output when used in Serial Programming mode.  
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode for interfacing to a microprocessor bus.  
 4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F87X

## 2.0 MEMORY ORGANIZATION

There are three memory blocks in each of the PIC16F87X MCUs. The Program Memory and Data Memory have separate buses so that concurrent access can occur and is detailed in this section. The EEPROM data memory block is detailed in Section 4.0. Additional information on device memory may be found in the PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33022).

## 2.1 Program Memory Organization

The PIC16F87X devices have a 13-bit program counter capable of addressing an 8K x 14 program memory space. The PIC16F877/876 devices have 5K x 14 words of FLASH program memory and the PIC16F873/874 devices have 4K x 14. Accessing a location above the physically implemented address will cause a wraparound.

The RESET vector is at 0000h and the interrupt vector is at 0004h.

FIGURE 2-1: PIC16F877/876 PROGRAM MEMORY MAP AND STACK

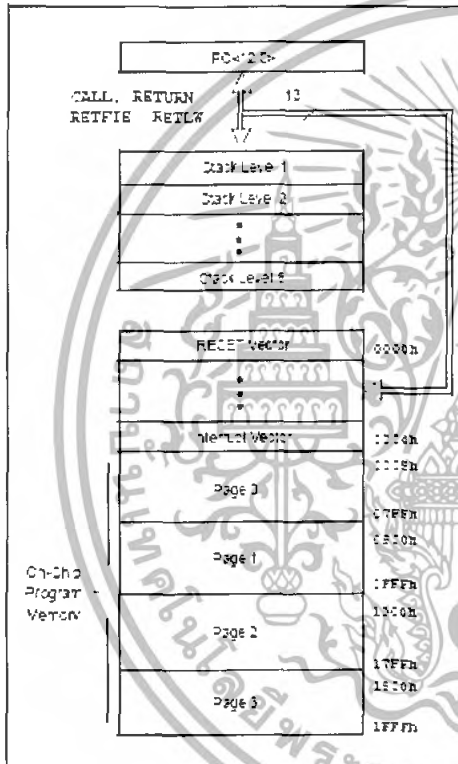
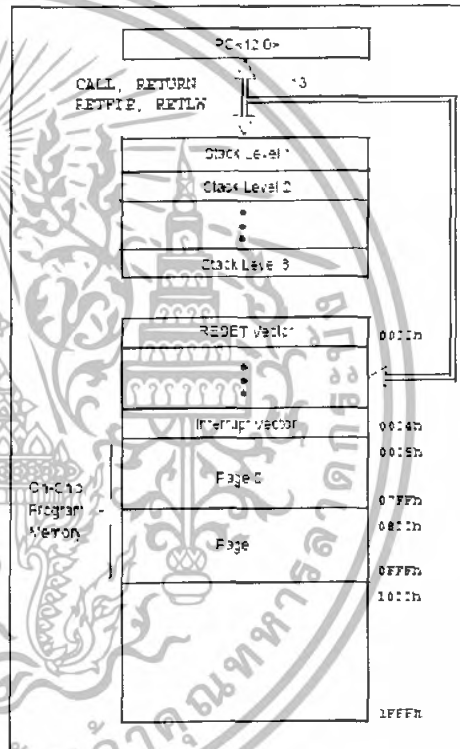


FIGURE 2-2: PIC16F874/873 PROGRAM MEMORY MAP AND STACK



# PIC16F87X

FIGURE 2-3: PIC16F877:876 REGISTER FILE MAP

File Address		File Address		File Address		File Address	
Indirect addr. <sup>(1)</sup>	00h	Indirect addr. <sup>(1)</sup>	80h	Indirect addr. <sup>(1)</sup>	100h	Indirect addr. <sup>(1)</sup>	180h
TRVPD	01h	OPTION_REG	81h	TMRO	101h	OPTION_REG	181h
PCL	02h	PCL	82h	PCL	102h	PCL	182h
STATUS	03h	STATUS	83h	STATUS	103h	STATUS	183h
FSR	04h	FSR	84h	FSR	104h	FSR	184h
PORTA	06h	TRISA	86h	PORTB	106h	TRISA	186h
PORTB	08h	TRSB	88h		108h	TRISB	188h
PORTC	09h	TRISC	89h		109h		189h
PORTD <sup>(1)</sup>	0Ah	TRSD <sup>(1)</sup>	8Ah		10Ah		18Ah
PORTE <sup>(1)</sup>	0Bh	TRSE <sup>(1)</sup>	8Bh		10Bh		18Bh
PCATH	0Ah	PCATH	8Ah	PCATH	10Ah	PCATH	18Ah
INTCON	0Bh	INTCON	8Bh	INTCON	10Bh	INTCON	18Bh
PIR1	0Ch	PEI	8Ch	EEDATA	10Ch	EEDATA	18Ch
PIR2	0Dh	PIED	8Dh	EEADR	10Dh	EEADR	18Dh
TR1L	0Eh	PCON	8Eh	EECON1	10Eh	EECON1	18Eh
TR1H	0Fh		8Fh	EECON2	10Fh	Reserved <sup>(4)</sup>	18Fh
TRICON1	10h		90h	EECON3	110h	Reserved <sup>(4)</sup>	190h
TRIP2	11h	SSPCON2	91h		111h		191h
TRICON2	12h	SSPCON1	92h		112h		192h
SSPBUF	13h	SSPAD0	93h		113h		193h
SSPCON1	14h	SSPAD1	94h		114h		194h
CCPFR1L	15h	SSPAD2	95h		115h		195h
CCPFR1H	16h		96h		116h		196h
CCP1CON	17h		97h	General Purpose Register 18 Bytes	117h	General Purpose Register 18 Bytes	197h
CCP2CON	18h	TRISA	98h		118h		198h
CCP2L	19h	TRISB	99h		119h		199h
CCP2H	1Ah		9Ah		11Ah		19Ah
CCP2CON	1Bh		9Bh		11Bh		19Bh
CCP3CON	1Ch		9Ch		11Ch		19Ch
ADRESH	1Eh	ADRESH	9Eh		11Eh		19Eh
ADCON0	1Fh	ADCON1	9Fh		11Fh		19Fh
	20h		ACh		120h		1A0h
General Purpose Register 80 Bytes		General Purpose Register 80 Bytes		General Purpose Register 80 Bytes		General Purpose Register 80 Bytes	
	EFh	accesses 7Ch-7Fh	EFh	accesses 7Dh-7Fh	1EFh	accesses 7Dh-7Fh	1EFh
Bank 0	7Fh	Bank 1	7Fh	Bank 2	7Fh	Bank 3	7Fh

Unimplemented data memory locations read as '0'  
<sup>(1)</sup> Not a physical register

Note 1. These registers are not implemented on the PIC16F873  
 2. These registers are reserved, maintain these registers clear

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F87X

FIGURE 2-4: PIC16F874/873 REGISTER FILE MAP

File Address	File Address	File Address	File Address
Incrct addr <sup>(1)</sup> 00h	Incrct addr <sup>(1)</sup> 90h	Incrct addr <sup>(1)</sup> 100h	Incrct addr <sup>(1)</sup> 150h
TVR0 01h	OPTION_REG 91h	MRC 101h	OPTION_REG 151h
FC_L 02h	PCL 92h	FC_L 102h	PCL 152h
STATUS 03h	STATUS 93h	STATUS 103h	STATUS 153h
F3P 04h	F3P 94h	F3P 104h	F3P 154h
PORTA 06h	TRISA 95h	PORTB 105h	TRISA 155h
PORTB 08h	TRISB 96h	PORTB 106h	TRISB 156h
PORTC 07h	TRISC 97h		
PORTD <sup>(1)</sup> 09h	TRISD <sup>(1)</sup> 98h		
PORTE <sup>(1)</sup> 0Ah	TRISE <sup>(1)</sup> 99h		
PCLATH 0Ah	PCLATH 9Ah	PCLATH 10Ah	PCLATH 15Ah
INTCON 0Bh	INTCON 9Bh	INTCON 10Bh	INTCON 15Bh
PIR1 0Ch	PIR1 9Ch	EEDATA 10Ch	EEDATA 15Ch
PIR2 0Dh	PIR2 9Dh	EEDADR 10Dh	EEDADR 15Dh
TMR1L 0Eh	PCON 9Eh	EEDATH 10Eh	Reserved <sup>(4)</sup> 15Eh
TMR1H 0Fh		EEDATP 10Fh	Reserved <sup>(4)</sup> 15Fh
T1CON 10h			
TVR2 11h	SSPCON2 91h		
T2CON 12h	PR2 92h		
SSPBUF 13h	SSPAD0 93h		
SSPCON 14h	SSPSTAT 94h		
COPR1L 16h			
COPR1H 18h			
COPRCON 17h			
RSTA 19h	TRSTA 98h		
TRREG 19h	SPBRG 99h		
RCRES 1Ah			
COPRCL 1Bh			
COPRCH 1Ch			
COPRCDL 1Dh			
ADRESH 1Eh	ADRESL 9Eh		
ADCONC 1Fh	ADCON1 9Fh		
	ADCON2 A0h		
General Purpose Register 36 Bytes	General Purpose Register 36 Bytes	addresses 100h-1Fh	addresses 150h-1Fh
Bank 0 7Fh	Bank 1 F7h	Bank 2 17Fh	Bank 3 1FFh

Unimplemented data memory locations read as '0'  
<sup>(1)</sup> Not a physical register

Note 1 These registers are not implemented on the PIC16F573  
 2 These registers are reserved, in that these registers exist

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F87X

## 3.0 I/O PORTS

Some pins for these I/O ports are multiplexed with an alternate function for the peripheral features on the device. In general, when a peripheral is enabled that pin may not be used as a general purpose I/O pin.

Additional information on I/O ports may be found in the PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS32223).

## 3.1 PORTA and the TRISA Register

PORTA is a 8-bit wide bidirectional port. The corresponding data direction register is TRISA. Setting a TRISA bit to '1' will make the corresponding PORTA pin an input (i.e., put the corresponding output driver in a high-impedance mode). Clearing a TRISA bit to '0' will make the corresponding PORTA pin an output (i.e., put the contents of the output latch on the selected pin).

Reading the PORTA register reads the status of the pins, whereas writing to it will write to the port latch. A write operation is a read-modify-write operation. Therefore, a write to a port implies that the port pins are read, the value is modified and then written to the port latch.

Pin RA4 is multiplexed with the Timer0 module clock input to become the RA4/T0CKI pin. The RA4/T0CKI pin is a Schmitt Trigger input and an open drain output. All other PORTA pins have TTL input levels and full CMOS output drivers.

Other PORTA pins are multiplexed with analog inputs and analog VREF input. The operation of each pin is selected by clearing/setting the control bits in the ADCON1 register (ADC Control Register).

Note: On a Power-on Reset, these pins are configured as analog inputs and read as '0'.

The TRISA register controls the direction of the RA pins, even when they are being used as analog inputs. The user must ensure the bits in the TRISA register are maintained set when using them as analog inputs.

### EXAMPLE 3-1: INITIALIZING PORTA

```

BCF  STATUS, RFO      ; Bank 0
BCF  STATUS, RP1      ; Bank 0
CLRF PORTA            ; Initialize PORTA by
                    ; clearing output
                    ; data latched

BSF  STATUS, RFO      ; Select Bank 1
MOVLW 0x06            ; Configure all pins
MOVWF ADCON1          ; as digital inputs
                    ; Value used to
                    ; initialize data
                    ; direction
MOVLW 0x0F            ; Set RA<5:0> as inputs
MOVWF TRISA           ; RA<5:0> as outputs
                    ; TRISA<7:6> are always
                    ; read as '0'.
    
```

FIGURE 3-1: BLOCK DIAGRAM OF RA3;RA0 AND RA5 PINS

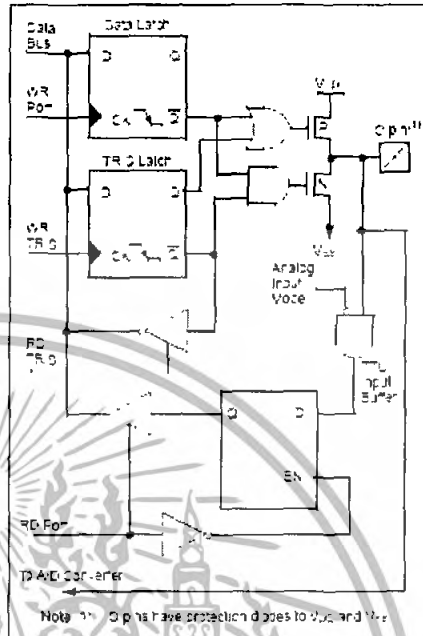
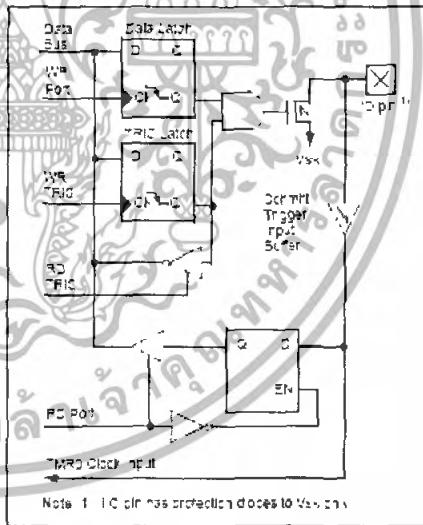


FIGURE 3-2: BLOCK DIAGRAM OF RA4/T0CKI PIN



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## PIC16F87X

TABLE 3-1: PORTA FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer	Function
RA0:AN0	bit0	TTL	Input/output or analog input
RA1:AN1	bit1	TTL	Input/output or analog input
RA2:AN2	bit2	TTL	Input/output or analog input
RA3:AN3/VREF	bit3	TTL	Input/output or analog input or VREF
RA4:T0CK1	bit4	5T	Input/output or external clock input for Timer0. Output is open drain type
RA5:CS/A54	bit5	TTL	Input/output or slave select input for synchronous serial port or analog input

Legend: TTL = TTL input; 5T = Schmitt Trigger input

TABLE 3-2: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTA

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on POR, BOR	Value on all other RESETS
05h	PORTA	—	—	RA5	RA4	RA3	RA2	RA1	RA0	--0x 0000	--0x 0000
85h	TRISA	—	—	FCPTA Data Direction Register						--11 1111	--11 1111
37h	ADCON1	ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	--0- 0000	--0- 0000

Legend: x = unknown, u = unchanged, — = unimplemented location, read as 0.  
Shaded cells are not used by PORTA.

Note: When using the GSP module in SPI Slave mode and CG enabled, the A/D converter must be set to one of the following modes, where PCFG3:PCFG0 = 0100, 0101, 011x, 1101, 1110, 1111.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F87X

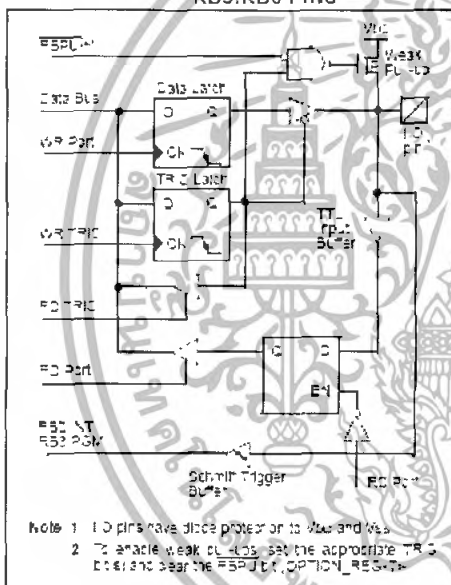
## 3.2 PORTB and the TRISB Register

PORTB is an 8-bit wide, bi-directional port. The corresponding data direction register is TRISB. Setting a TRISB bit to '1' will make the corresponding PORTB pin an input (i.e., put the corresponding output driver in a Hi-Impedance mode). Clearing a TRISB bit to '0' will make the corresponding PORTB pin an output (i.e., put the contents of the output latch on the selected pin).

Three pins of PORTB are multiplexed with the Low Voltage Programming function: RB3:PGM, RB0:PGC and RB7:PGD. The alternate functions of these pins are described in the Special Features Section.

Each of the PORTB pins has a weak internal pull-up. A single control bit can turn on all the pull-ups. This is performed by clearing bit PSPJ:OPTION\_REG<5>. The weak pull-up is automatically turned off when the port pins are configured as an output. The pull-ups are disabled on a Power-on Reset.

FIGURE 3-3: BLOCK DIAGRAM OF RB3:RB0 PINS



- Note 1: I/O pins have diode protection to VDD and VSS.
- Note 2: To enable weak pull-ups, set the appropriate TRIS bit and clear the RSPJ:OPTION\_REG<5>.

Four of the PORTB pins, RB7:RB4, have an interrupt-on-change feature. Only pins configured as inputs can cause this interrupt to occur (i.e., any RB7:RB4 pin configured as an output is excluded from the interrupt-on-change comparator). The input pins (of RB7:RB4) are compared with the old value (stored on the last read of PORTB. The 'mismatch' outputs of RB7:RB4 are OR'd together to generate the RB Port Change interrupt with flag bit RBIF (INTCON<0>).

This interrupt can wake the device from SLEEP. The user, in the interrupt Service Routine, can clear the interrupt in the following manner:

- a) Any read or write of PORTB. This will end the mismatch condition.
- b) Clear flag of RBIF.

A mismatch condition will continue to set flag of RBIF. Reading PORTB will end the mismatch condition and allow flag bit RBIF to be cleared.

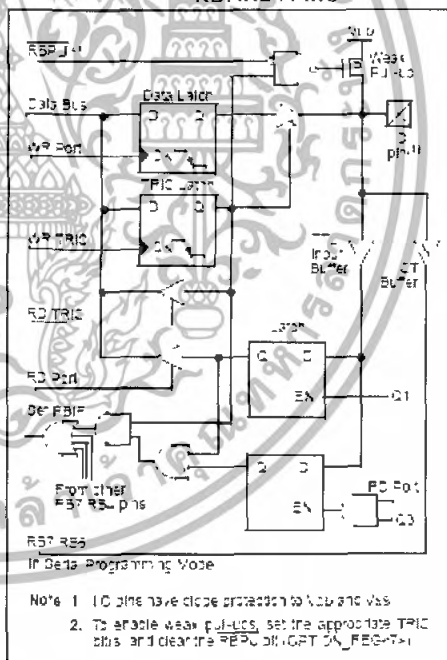
The interrupt-on-change feature is recommended for wake-up on key depression or operator and operations where FCRTS is only used for the interrupt-on-change feature. Poling of PORTB is not recommended when using the interrupt-on-change feature.

This interrupt-on-mismatch feature, together with software-configurable pull-ups on these four pins, allow easy interface to a keyboard and make it possible for wake-up on key depression. Refer to the Embedded Control Handbook "Implementing Wake-up on Key Depression" (AN1652).

RB0:INT is an external interrupt input pin and is configured using the INTEDIS:OPTION\_REG<3>.

RB0:INT is discussed in detail in Section 12.10.

FIGURE 3-4: BLOCK DIAGRAM OF RB7:RB4 PINS



- Note 1: I/O pins have diode protection to VDD and VSS.
- Note 2: To enable weak pull-ups, set the appropriate TRIS bit and clear the RSPJ:OPTION\_REG<5>.

## PIC16F87X

TABLE 3-3: PORTB FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer	Function
RB0:INT	bit0	TTL/ST <sup>(1)</sup>	Input/output pin or external interrupt; input internal software programmable weak pull-up
RB1	bit1	TTL	Input/output pin Internal software programmable weak pull-up
RB2	bit2	TTL	Input/output pin Internal software programmable weak pull-up
RB3:FGM <sup>(3)</sup>	bit3	TTL	Input/output pin or programming pin in LVP mode internal software programmable weak pull-up
RB4	bit4	TTL	Input/output pin (with interrupt-on-change); internal software programmable weak pull-up
RB5	bit5	TTL	Input/output pin (with interrupt-on-change); internal software programmable weak pull-up
RB6:PGC	bit6	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Input/output pin (with interrupt-on-change) or In-Circuit Debugger pin; internal software programmable weak pull-up; Serial programming clock
RB7:PGD	bit7	TTL/ST <sup>(2)</sup>	Input/output pin (with interrupt-on-change) or In-Circuit Debugger pin; internal software programmable weak pull-up; Serial programming data

Legend: TTL = TTL input, ST = Schmitt Trigger input

Note 1. This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.

2. This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.

3. Low Voltage (LVP) Programming (LVP) is enabled by default, which also allows the RB3 I/O function. LVP must be disabled to enable RB3 as an I/O pin and a low maximum compatibility to the other 25-pin and 40-pin micro-range devices.

TABLE 3-4: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTB

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on POR/BOR	Value on all other RESETS
00h-00h	PORTB	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0	xxxxx xxxxx	xxxxx xxxxx
86h-86h	TRISB	PORTB Data Direction Register								1111 1111	1111 1111
E1h-91h	OPTION_REG	RBPL	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0	1111 1111	1111 1111

Legend: x = unknown, u = unchanged. Shaded cells are not used by PORTB.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F87X

## 3.3 PORTC and the TRISC Register

PORTC is an 8-bit wide, bi-directional port. The corresponding data direction register is TRISC. Setting a TRISC bit (= 1) will make the corresponding PORTC pin an input (i.e., put the corresponding output driver in a high-impedance mode). Clearing a TRISC bit (= 0) will make the corresponding PORTC pin an output (i.e., put the contents of the output latch on the selected pin).

PORTC is multiplexed with several peripheral functions (Table 3-5). PORTC pins have Schmitt Trigger and pull-up buffers.

When the I<sup>2</sup>C module is enabled, the PORTC<4:3> pins can be configured with normal I<sup>2</sup>C levels, or with SMBus levels by using the CKE bit (SSPSTAT<8>).

When enabling peripheral functions, care should be taken in defining TRIS bits for each PORTC pin. Some peripherals override the TRIS bit to make a pin an output, while other peripherals override the TRIS bit to make a pin an input. Since the TRIS bit override is in effect while the peripheral is enabled, read-modify-write instructions (BSF, BCF, XORLW) with TRISC as destination, should be avoided. The user should refer to the corresponding peripheral section for the correct TRIS bit settings.

FIGURE 3-6: PORTC BLOCK DIAGRAM (PERIPHERAL OUTPUT OVERRIDE) RC<4:3>

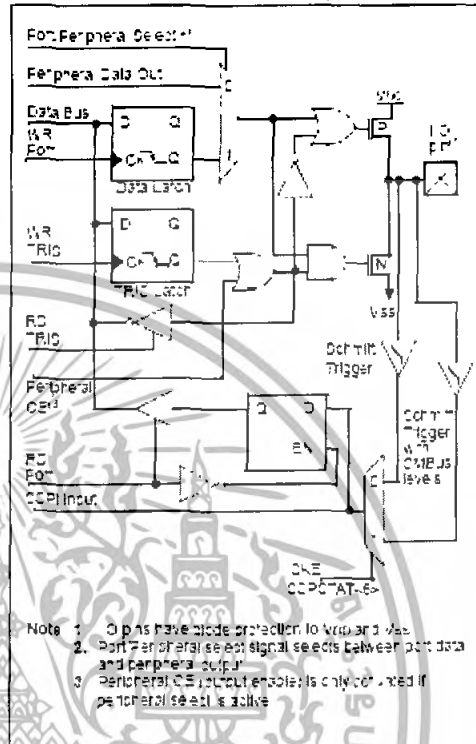
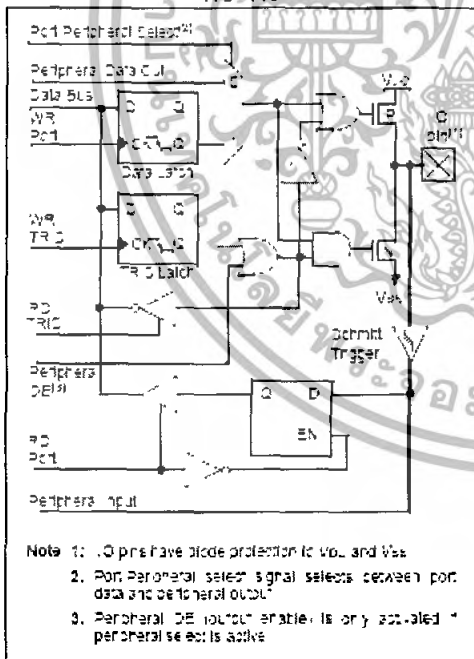


FIGURE 3-5: PORTC BLOCK DIAGRAM (PERIPHERAL OUTPUT OVERRIDE) RC<2:0>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## PIC16F87X

TABLE 3-5: PORTC FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer Type	Function
RC0:CSQ/T1CKI	b:0	ST	In/out/output port pin or Timer1 oscillator output/Timer1 clock input
RC1:OSI/CCP2	b:1	ST	In/out/output port pin or Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output
RC2:CCP1	b:2	ST	In/out/output port pin or Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output
RC3:SCN/SCL	bit3	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock for both SPI and I <sup>2</sup> C modes
RC4:SD/SDA	b:4	ST	RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I <sup>2</sup> C mode)
RC5:SDC	b:5	ST	In/out/output port pin or Synchronous Serial Port data output
RC6:TXCK	b:6	ST	In/out/output port pin or USART Asynchronous Transmitter Synchronous Clock
RC7:RXDT	b:7	ST	In/out/output port pin or USART Asynchronous Receiver Synchronous Data

Legend: ST = Schmitt Trigger input

TABLE 3-6: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTC

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on POR, BCR	Value on all other RESETS
07h	PORTC	RC7	RC6	RC5	RC4	RC3	RC2	RC1	RC0	xxxx xxxx	xxxx xxxx
87h	TRISC	PORTC Data Direction Register								1111 1111	1111 1111

Legend: x = unknown, u = unchanged

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F87X

## 3.4 PORTD and TRISD Registers

PORTD and TRISD are not implemented on the PIC16F873 or PIC16F878.

PORTD is an 8-bit port with Schmitt Trigger input buffers. Each pin is individually configurable as an input or output.

PORTD can be configured as an 8-bit wide microprocessor port (parallel slave port) by setting control bit PSMODE (TRISE<4>). In this mode the input buffers are TTL.

FIGURE 3-7: PORTD BLOCK DIAGRAM (IN I/O PORT MODE)

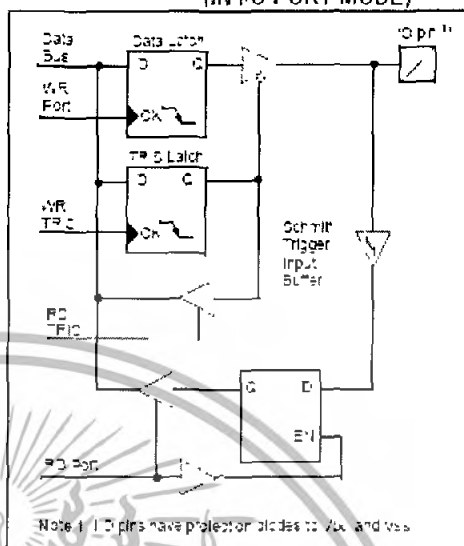


TABLE 3-7: PORTD FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer Type	Function
RD0/P3F0	bit0	ST/TTL <sup>1</sup>	Input/output port pin or parallel slave port bit0
RD1/P3F1	bit1	ST/TTL <sup>1</sup>	Input/output port pin or parallel slave port bit1
RD2/P3F2	bit2	ST/TTL <sup>1</sup>	Input/output port pin or parallel slave port bit2
RD3/P3F3	bit3	ST/TTL <sup>1</sup>	Input/output port pin or parallel slave port bit3
RD4/P3F4	bit4	ST/TTL <sup>1</sup>	Input/output port pin or parallel slave port bit4
RD5/P3F5	bit5	ST/TTL <sup>1</sup>	Input/output port pin or parallel slave port bit5
RD6/P3F6	bit6	ST/TTL <sup>1</sup>	Input/output port pin or parallel slave port bit6
RD7/P3F7	bit7	ST/TTL <sup>1</sup>	Input/output port pin or parallel slave port bit7

Legend: ST = Schmitt Trigger input, TTL = TTL output

Note: 1 Input buffers are Schmitt Triggers when in I/O mode and TTL buffers when in Parallel Slave Port mode

TABLE 3-8: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTD

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on POR, BOR	Value on all other RESETS
05h	PORTD	RD7	RD6	RD5	RD4	RD3	RD2	RD1	RD0	x000 x000x	xxxxx xxxxxx
95h	TRISD	PORTD Data Direction Register								1111 1111	1111 1111
99h	TRISE	ISF	OBF	IOV	P5PVODE	—	PORTD Data Direction Bits			0000 -1111	0000 -1111

Legend: x = unknown, u = uncharged, - = unimplemented, read as 0. Shaded cells are not used by PORTD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PIC16F87X

## 3.5 PORTE and TRISE Register

PORTE and TRISE are not implemented on the PIC16F972 or PIC16F97E.

PORTE has three pins (PE0:RD:AN5, PE1:WR:AN5 and PE2:CS:AN7) which are individually configured as inputs or outputs. These pins have Schmitt Trigger input buffers.

The PORTE pins become the I/O control inputs for the microprocessor port when in PSMODE (TRISE<4> is set). In this mode, the user must make certain that the TRISE<2:0> pins are set, and that the pins are configured as digital inputs. Also ensure that ADCON1 is configured for digital I/O. In this mode, the input buffers are TTL.

Register 3-1 shows the TRISE register, which also controls the parallel slave port operation.

PORTE pins are multiplexed with analog inputs. When selected for analog input, these pins will read as 0s.

TRISE controls the direction of the PE pins, even when they are being used as analog inputs. The user must make sure to keep the pins configured as inputs when using them as analog inputs.

Note: On a Power-on Reset, these pins are configured as analog inputs, and read as 0.

FIGURE 3-8: PORTE BLOCK DIAGRAM (IN I/O PORT MODE)

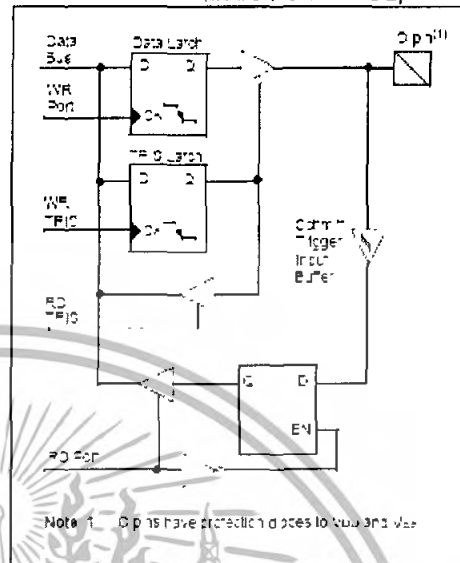


TABLE 3-9: PORTE FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer Type	Function
PE0:RD:AN5	bit 0	ST/TTL <sup>(1)</sup>	I/O port pin or read control input in Parallel Slave Port mode or analog input. RD 1 = Idle 0 = Read operation. Contents of PORTC register are output to PORTD I/O pins if pin 0 selected.
PE1:WR:AN5	bit 1	ST/TTL <sup>(1)</sup>	I/O port pin or write control input in Parallel Slave Port mode or analog input. WR 1 = Idle 0 = Write operation. Value of PORTC I/O pins is latched into PORTD register if pin 0 selected.
PE2:CS:AN7	bit 2	ST/TTL <sup>(1)</sup>	I/O port pin or chip select control input in Parallel Slave Port mode or analog input. CS 1 = Device is not selected 0 = Device is selected

Legend: ST = Schmitt Trigger input, TTL = TTL input.

Note 1: Input buffers are Schmitt Triggers when in I/O mode and TTL buffers when in Parallel Slave Port mode.

TABLE 3-10: SUMMARY OF REGISTERS ASSOCIATED WITH PORTE

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Value on POR, BOR	Value on all other RESETS
09h	PORTE	—	—	—	—	—	RD	PE1	PE0	--- -xxxx	--- -xxxx
29h	TRISE	ISF	OBF	IBOV	PSPMODE	—	PORTE Data Direction Bits		0000	-111	0000
97h	ADCON1	ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0	--0- 0000	--0- 0000

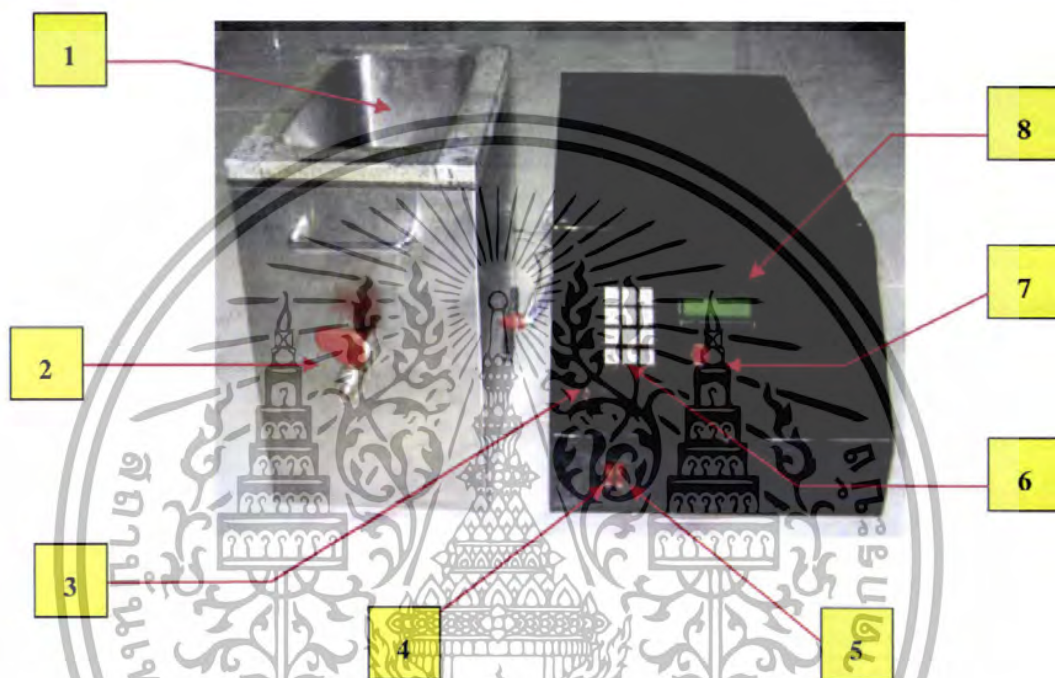
Legend: x = unknown, u = unchanged, - = unimplemented, read as 0. Shaded cells are not used by PORTE.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คู่มือการใช้งานเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิค

### 1. ส่วนประกอบของเครื่อง

ด้านหน้า และ ด้านบน



1. ช่องสำหรับใส่น้ำยทำความสะอาดและใช้ทำความสะอาดอุปกรณ์
2. วาล์วสำหรับระบายน้ำยที่ใช้ทำความสะอาดออกจากถังทำความสะอาด
3. ไฟแสดงสถานะการทำงานเมื่อทำการเปิดเครื่องใช้งาน
4. สวิตช์ เปิด/ ปิด การทำงานของชุดควบคุมอุณหภูมิภายในช่องของถังที่ใช้ทำความสะอาด
5. สวิตช์ เปิด/ ปิด การทำงานของคลื่นอุลตราโซนิคที่ใช้ในการทำมาสะอาด
6. คีย์สวิตช์ที่ใช้สำหรับการตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการใช้ในการทำความสะอาด
7. สวิตช์รีเซท (Reset) ใช้สำหรับรีเซทค่าอุณหภูมิ
8. จอ LCD ใช้สำหรับแสดงผลค่าอุณหภูมิภายในถัง และอุณหภูมิที่ทำการตั้งค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ด้านหลัง



1. ปลั๊กไฟเข้าเครื่อง (AC 220 โวลท์)
2. ฟิวส์ (Fuse) 5 แอมป์ เพื่อป้องกันกระแสเกินซึ่งอาจทำให้เครื่องเกิดความเสียหาย
3. ตัวเชื่อมสายอุตุตราไซนิก
4. ตัวเชื่อมสายอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ
5. ตัวเชื่อมสายอุปกรณ์ทำความร้อน (Heater)
6. พัดลมระบายความร้อน

## 2. การใช้งาน

1. เชื่อมต่อสายอุตุตราไซนิก
2. เชื่อมต่อสายอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ
3. เชื่อมต่อสายอุปกรณ์ทำความร้อน (Heater)
4. เสียบปลั๊กไฟ AC 220 โวลท์ เพื่อเริ่มใช้งาน
5. เปิดสวิตช์หมายเลข 4 เพื่อทำการตั้งค่าอุณหภูมิให้เหมาะสมในการทำความสะอาด
6. เปิดสวิตช์หมายเลข 5 เมื่ออุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ
7. ใส่อุปกรณ์ที่ต้องการทำความสะอาดลงในถังทำความสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. วิธีการตั้งค่าอุณหภูมิในการทำความสะอาด

1. กด \* เมื่อต้องการทำการตั้งค่าอุณหภูมิ
2. กดหมายเลขอุณหภูมิที่ต้องการตั้งตั้งแต่ 0-99 องศาเซลเซียส
3. กด # เมื่อกดหมายเลขอุณหภูมิแล้ว

### 4. ข้อควรระวังในการใช้งาน

1. อย่าเปิดฝากล่องของวงจรในขณะที่ใช้งานเพราะอาจเกิดอันตรายได้
2. อย่าให้น้ำสัมผัสกับวงจรภายในกล่องขณะเปิดใช้งานเพราะจะทำให้อุปกรณ์ทำความสะอาดเกิดความเสียหายได้
3. ควรต่อสายเชื่อมต่ออุปกรณ์ให้ถูกต้องเพราะอาจทำให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายได้
4. ควรระมัดระวังเนื่องจากน้ำยาที่อยู่ในถังทำความสะอาดมีความร้อนอาจทำให้เกิดอันตราย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้