

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิก

Ultrasonic Cleaning Machine



๔/พ.
๑๘๓๖ ค
๒๕๔๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 72146
วัน,เดือน,ปี 11 ส.ย. 2550

b. 1176398x
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549


ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิก
Ultrasonic Cleaning Machine

ผู้จัดทำ นายวีรวัฒน์ ฤทธิธรรม 46010740
นายวีระกุล พิกุลขาว 46010744




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

เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิค

โดย

นายวีรวัฒน์ ฤทธิธรรม 46010740

นายวีระกุล พิกุลขาว 46010744

อาจารย์ที่ปรึกษา

ร.ศ.ดร.วรพงศ์

ตั้งศิริรัตน์

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิค ซึ่งเป็นการนำคุณสมบัติของคลื่นอุลตราโซนิคที่มีความถี่เหนือเสียงมาประยุกต์ใช้ในงานด้านการล้างอุปกรณ์ขนาดเล็ก เช่น แว่นตา หัวปากกา ฯลฯ โดยคลื่นอุลตราโซนิคที่ใช้จะมีความถี่ประมาณ 28 kHz ความถี่ขณะนี้มากกว่าคลื่นเสียงที่มนุษย์ได้ยินแต่ต่ำกว่าคลื่นวิทยุ การออกแบบวงจรเพื่อสร้างคลื่นอุลตราโซนิคที่เป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งจะประกอบด้วยวงจรกำเนิดความถี่ขนาด 28 kHz โดยคลื่นความถี่ที่ได้นี้จะถูกส่งผ่านไปยังวงจรขับเกทเพื่อขยายสัญญาณให้มีแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น เพื่อนำไปขับมอสเฟตกำลังซึ่งต่อแบบฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ โดยสัญญาณที่ได้จะมีความถี่ 28 kHz เช่นกันสัญญาณนี้จะถูกส่งไปยังทรานสดิวเซอร์เพื่อเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานสั่นสะเทือนทางกลเพื่อสร้างคลื่นอุลตราโซนิคออกมา คลื่นนี้จะทำให้น้ำยาเกิดการสั่นสะเทือนทางกลจนอนุภาคที่เกาะติดตามอุปกรณ์นั้นๆหลุดออกมา นอกจากนี้ยังมีตัวทำความร้อนเพื่อที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความสะอาดให้สูงขึ้น

ULTRASONIC CLEANING MACHINE

By

Weerawat Rittitam 46010740

Weeragul Pigulkhao 46010744

Thesis Advisor

Assoc. Prof. Dr. Worapong Tangsirat

Academic Year 2006

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 an oscillator circuit to generate the wave with the frequency of 28 kHz frequency into mechanical vibration. This vibration produces the ultrasonic wave to shake 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 ตั้งศรีรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และความช่วยเหลืออื่นๆ แก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ อันเป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการนี้อย่างมาก ตลอดจนการเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำโครงการครั้งนี้

ขอขอบคุณ เพื่อนซี้ ที่ได้ให้คำแนะนำและการช่วยเหลือในการทำโครงการครั้งนี้ ตลอดจนเพื่อนๆ ที่ทุกคนที่อยู่เคียงข้างกันมาเสมอ และที่ลืมไม่ได้คือ ขอกราบขอบพระคุณ บิคา มารดา อันเป็นที่รักยิ่ง ที่ให้การสนับสนุนผู้จัดทำในทุกๆ ด้าน และเป็นกำลังใจตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

นายวีรวัฒน์ ฤทธิธรรม

นายวีระกุล พิgulขาว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VI
สารบัญตาราง.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการของการความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิค.....	4
2.1 ทฤษฎีคลื่นอุลตราโซนิค.....	4
2.1.1 นิยามและความหมายของคลื่นอุลตราโซนิค.....	4
2.1.2 ทฤษฎีคลื่น.....	4
2.2 การใช้คลื่นอุลตราโซนิคทำความสะอาด.....	7
2.2.1 กระบวนการควิเดชั่นและอิมโพชั่น.....	7
2.2.2 ประโยชน์ของคลื่นอุลตราโซนิคในการทำความสะอาด.....	8
2.2.3 Important of Minimizing Dissolved Gas.....	10
2.2.4 ความเร็วคลื่นอุลตราโซนิคในการทำความสะอาดโดยการทำให้ละลาย.....	11
2.2.5 สิ่งสกปรกเชิงซ้อน.....	11
2.2.6 A Superior Process.....	12
2.2.7 ประสิทธิภาพของการทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิค.....	12
2.2.8 ข้อดีและข้อเสียของการทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิค.....	14
2.3 อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์.....	14
2.3.1 นิยาม.....	14
2.3.2 คุณสมบัติทั่วไปของทรานสดิวเซอร์.....	17
2.3.3 คุณสมบัติทางความถี่ของทรานสดิวเซอร์.....	17
2.3.4 เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์.....	18
2.3.5 เปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟค.....	19
2.4 ไคโอด , ซีเนอร์ไคโอด , เพาเวอร์มอสเฟต และออปโตไดโอด.....	20
2.4.1 ไคโอด.....	20
2.4.2 ซีเนอร์ไคโอด.....	22

2.4.3	เพาเวอร์มอสเฟต.....	25
2.4.4	ออปโตไอโซเลเตอร์.....	41
บทที่ 3	เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิค.....	42
3.1	หลักการทำงานของโครงการ.....	43
3.2	โครงสร้างของส่วนตัวถัง.....	43
3.3	วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ 28 kHz.....	43
3.3.1	ไอซีเบอร์ TL494.....	43
3.4	วงจรถับเกทของเพาเวอร์มอสเฟต.....	48
3.5	วงจรภาคกำลัง.....	50
3.6	วงจรรวมสำหรับขับอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์.....	54
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง.....	55
4.1	ขั้นตอนการทดลอง.....	55
4.2	ผลการทดลอง.....	56
4.2.1	วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ 28 kHz.....	56
4.2.2	วงจรถับเกทของเพาเวอร์มอสเฟต.....	57
บทที่ 5	สรุปและวิจารณ์.....	63
5.1	วิจารณ์และสรุป.....	63
5.2	ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ.....	64
5.3	ปัญหาที่พบในโครงการ.....	64
ภาคผนวก	คู่มือไอซีที่ใช้ในโครงการ.....	65
	เอกสารอ้างอิง.....	92

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1	เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิค.....	2
รูปที่ 2.1	ประเภทของคลื่นเสียง.....	5
รูปที่ 2.2	ธรรมชาติของคลื่นเสียงที่มีช่วงอัดและขยาย.....	6
รูปที่ 2.3	กระบวนการเกิด Cavitations และ Implosion.....	7
รูปที่ 2.4	หน้าสัมผัสของชิ้นงานเมื่อแช่ในน้ำยาทำความสะอาด.....	8
รูปที่ 2.5	น้ำยาที่ทำละลายรวมตัวกับสิ่งสกปรกเกิดการอิมพัลส์.....	9
รูปที่ 2.6	Cavitations ทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำยาทำความสะอาด.....	9
รูปที่ 2.7	ลักษณะของฟองอากาศในกระบวนการ Cavitations.....	10
รูปที่ 2.8	อนุภาคที่ไม่ละลายกับสารละลาย.....	11
รูปที่ 2.9	การทำความสะอาดโดยใช้แปรง.....	12
รูปที่ 2.10	ผลของอุณหภูมิจากปัจจัยต่างๆ.....	13
รูปที่ 2.11	Mechanical Transducer.....	15
รูปที่ 2.12	เปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟค.....	16
รูปที่ 2.13	ภาพเปียโซอิเล็กทริก.....	19
รูปที่ 2.14	ลักษณะสมบัติของไดโอด.....	20
รูปที่ 2.15	โครงสร้างภายนอกของซีเนอร์ไดโอด.....	22
รูปที่ 2.16	สัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด.....	23
รูปที่ 2.17	วงจรเรกกูเลเตอร์ด้วยซีเนอร์ไดโอด.....	24
รูปที่ 2.18	วงจรเรกกูเลเตอร์เมื่อต่อโหลด.....	25
รูปที่ 2.19	วงจรเทียบเคียงหรืออุปกรณ์ประกอบการควบคุมแหล่งจ่ายด้วยแรงดัน.....	26
รูปที่ 2.20	ลักษณะโครงสร้างของมอสเฟต.....	28
รูปที่ 2.21	โครงสร้างและสัญลักษณ์ของมอสเฟต.....	29
รูปที่ 2.22	การทำงานของมอสเฟต.....	30
รูปที่ 2.23	คุณลักษณะการโอนย้ายของมอสเฟต.....	31
รูปที่ 2.24	แรงดันขีดเริ่มที่แปรไปตามอุณหภูมิ.....	32
รูปที่ 2.25	การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของมอสเฟตขณะนำกระแส.....	33
รูปที่ 2.26	ตัวเก็บประจุในมอสเฟต.....	34
รูปที่ 2.27	ภาพตัดภายในของมอสเฟต.....	35
รูปที่ 2.28	คุณสมบัติของฟอร์เวิร์คของไดโอด.....	37

รูปที่ 2.29	การสวิตช์ของมอสเฟต.....	38
รูปที่ 2.30	กราฟ FBSOA และ RBSOA.....	39
รูปที่ 2.31	ลักษณะกระแสและแรงดันเมื่อเริ่มนำกระแสและหยุดนำกระแส.....	40
รูปที่ 2.32	ลักษณะทั่วไปของ Optoisolator.....	41
รูปที่ 3.1	บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจรถับทรานสดิวเซอร์.....	42
รูปที่ 3.2	โครงสร้างตัวถังล้างและส่วนที่ยึดติดกับทรานสดิวเซอร์.....	43
รูปที่ 3.3	การจัดโครงสร้างภายในและการจัดขาของ TL494.....	44
รูปที่ 3.4	ความสำคัญของ R และ C ในการกำเนิดความถี่.....	45
รูปที่ 3.5	รูปคลื่นและการทำงานของ TL494.....	46
รูปที่ 3.6	การต่อวงจรเคดใหม่.....	46
รูปที่ 3.7	การเลือกใช้เอาต์พุตของ TL494.....	47
รูปที่ 3.8	การต่อวงจรสร้างพัลส์ความถี่ 28 kHz ของ TL494.....	48
รูปที่ 3.9	วงจรถับเกทของเพาเวอร์มอสเฟต.....	49
รูปที่ 3.10	วงจรรวมของวงจรถ้าเนคสัญญาณและวงจรถับเกท.....	49
รูปที่ 3.11	วงจรเรกติไฟเออร์ชนิดหนึ่งเฟสครึ่งลูกคลื่นและสัญญาณเอาต์พุต.....	50
รูปที่ 3.12	วงจรเรกติไฟเออร์ชนิดหนึ่งเฟส เต็มลูกคลื่นแบบมีหม้อแปลงแท่งปกกลางและสัญญาณเอาต์พุต.....	50
รูปที่ 3.13	วงจรเรกติไฟเออร์แบบบริดจ์และสัญญาณเอาต์พุต.....	52
รูปที่ 3.14	วงจรวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์.....	54
รูปที่ 3.15	ภาควงจรถ้าเนค.....	54
รูปที่ 3.16	วงจรรวมของการขับอุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์.....	55
รูปที่ 4.1	สัญญาณที่ได้จากวงจรถ้าเนคความถี่.....	56
รูปที่ 4.2	สัญญาณที่ได้จากวงจรถับเกทโหมดที่ 1 เทียบกับโหมดที่ 2.....	57
รูปที่ 4.3	สัญญาณที่ได้จากวงจรถับเกทโหมดที่ 1 ทั้งสองสัญญาณ.....	58
รูปที่ 4.4	แสดงสัญญาณเอาต์พุตขณะไม่มีโหลด (Probe *10 ที่ $V_{in} = 24$ โวลต์).....	59
รูปที่ 4.5	แสดงสัญญาณเอาต์พุตขณะไม่มีโหลด (Probe *10 ที่ $V_{in} = 100$ โวลต์).....	60
รูปที่ 4.6	แสดงสัญญาณเอาต์พุตขณะขับโหลด (Probe *10 ที่ $V_{in} = 100$ โวลต์).....	61

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงคุณสมบัติของสารเซรามิก.....18
ตารางที่ 4.1	แสดงผลการทดลองขณะวงจรจ่ายโหลด ณ ระดับแรงดันอินพุตต่างๆ.....62



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

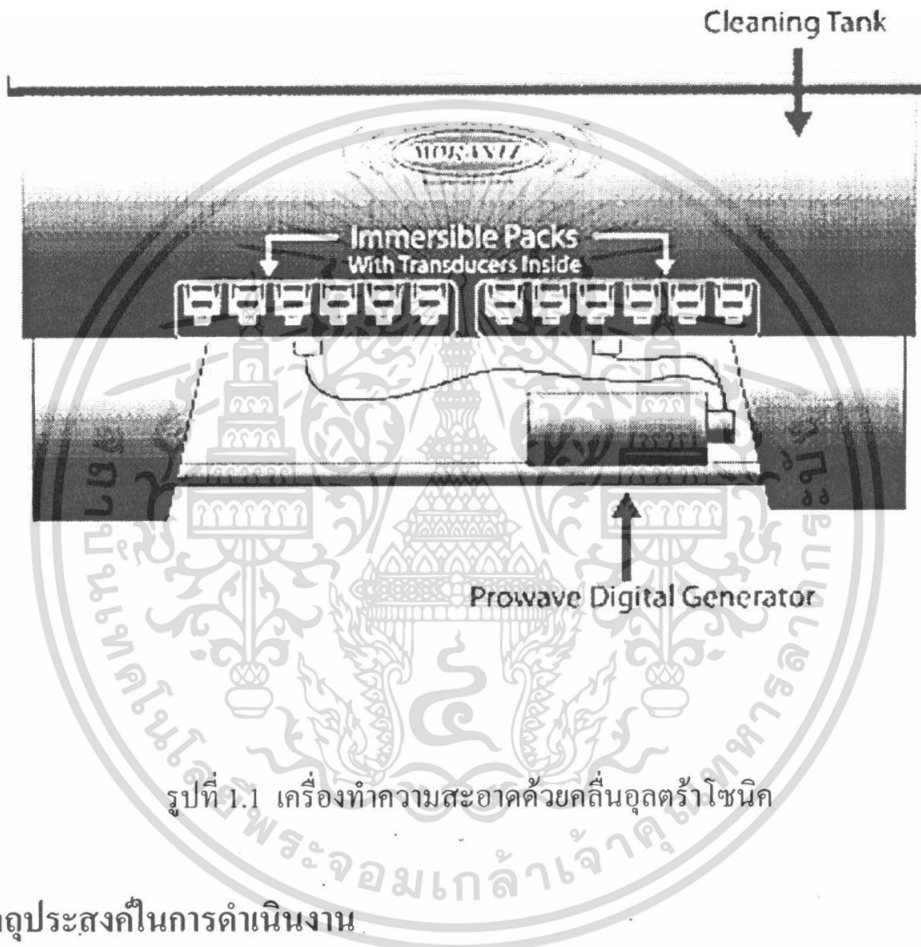
เทคโนโลยีการทำความสะอาดมีการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ในขณะที่เดียวกันความจำเป็นในการทำความสะอาดกำลังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งความสะอาดกลายเป็นสิ่งมุ่งเน้นที่สำคัญในหลายโรงงาน โดยในอดีตที่ผ่านมาไม่เคยเป็นมาก่อนในโรงงานต่างๆ เช่น โรงงานอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งให้ความสำคัญกับความสะอาดอยู่แล้วจึงให้ความสำคัญมากขึ้นเพื่อเป็นสิ่งสนับสนุนให้เกิดความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ซึ่งเมื่อมองดูแล้วเหมือนกับว่าความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีนั้นต้องการความใส่ใจในเรื่องความสะอาดอย่างมากขึ้นเรื่อยๆ และด้วยเหตุนี้เองทำให้อุตสาหกรรมทำความสะอาดได้มีการเปลี่ยนแปลงทาง นวัตกรรม อย่างรวดเร็วเพื่อให้ได้ความสะอาดที่ต้องการมาเป็นเวลาหลายปี

อุตสาหกรรมทำความสะอาด ได้พยายามที่จะกำจัดและหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดมลภาวะเป็น-พิษ เนื่องจากการใช้สารเคมีต่างๆ ในการทำความสะอาดด้วยทางเลือกที่ว่า เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (environmentally) เทคโนโลยีหนึ่งที่ทันสมัย สอดคล้องกับจุดประสงค์สิ่งแวดล้อม สะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ได้แก่เทคโนโลยีการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค (ultrasonic cleaning)

การทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค (ultrasonic cleaning) เป็นกระบวนการทำความสะอาดประเภทจุ่มและล้างในของเหลว (immersion cleaning) ที่มีประสิทธิภาพสามารถกำจัดสิ่งสกปรกได้หลายชนิด เช่น เศษผงของเครื่องจักร น้ำมัน อนุภาคสิ่งสกปรกขนาดเล็ก ๆ ได้เป็นอย่างดี ดังเช่นในโครงการนี้ได้นำคลื่นอัลตราโซนิคมาประยุกต์ใช้ในการทำความสะอาดโดยจุ่มสิ่งที่ต้องการทำความสะอาดลงในถังที่มีสารละลาย และปล่อยคลื่นอัลตราโซนิค (ultrasonic wave) จากกันดั้มขึ้นไป ซึ่งคลื่นอัลตราโซนิคที่เกิดขึ้นเกิดจากตัวกำเนิดคลื่นอัลตราโซนิค (ultrasonic wave) เรียกว่าอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Transducer) ซึ่งติดไว้ที่กันดั้ม

อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ จะแปลงพลังงานที่ได้จากเครื่องกำเนิดให้เป็นการสั่นสะเทือนจากพลังงานเสียง ซึ่งพลังงานจะถูกส่งแพร่กระจายไปยังแท็งก์ (tank) และตัวกลางของของเหลว และจะผลิตฟองอากาศคาวิเตชัน (cavitations) ขึ้นมาในตัวกลางของเหลวในแท็งก์ ฟองอากาศเหล่านี้จะจับตัวและยุบตัวลงเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาขัดถูขึ้น ซึ่งจะใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรกได้เป็นอย่างดี พลังงานที่ได้จากคลื่นอัลตราโซนิคนี้ จะทำให้อุณหภูมิของของเหลวเพิ่มขึ้น ดังนั้นอาจจะจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ในการควบคุมความร้อนให้อยู่ในย่านที่กำหนด

กล่าวโดยสรุป โครงการงานการทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิกนี้คือ การอาศัยคุณลักษณะและคุณสมบัติของคลื่นอุลตราโซนิก ทำให้เกิดกระบวนการคาวิเทชัน (cavitations) ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญในการทำความสะอาดชนิดนี้ โดยการกำเนิดคลื่นอุลตราโซนิก โดยตัวทรานสดิวเซอร์



รูปที่ 1.1 เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิก

1.2 วัตถุประสงค์ในการดำเนินงาน

1. เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้งานคลื่นอุลตราโซนิก
2. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิก
3. เพื่อศึกษาทดลองการทำงานของมอสเฟตกำลัง และนำมาประยุกต์ใช้สร้างวงจรสำหรับขับอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์
4. เพื่อศึกษาและออกแบบเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิก ให้สะดวกต่อการใช้งานและต้นทุนต่ำ
5. เพื่อศึกษาการใช้โปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบและสร้างวงจร

1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้จะทำการศึกษาทดลองกระบวนการทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิก โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่างๆ ของคลื่นอุลตราโซนิก ที่จะช่วยในการทำความสะอาด และศึกษาออกแบบวงจรต่าง ๆ โดยใช้ มอสเฟตกำลัง (Power Mosfet) มาสร้างเป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter) เพื่อใช้ขับอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ ให้ได้กำลังงานตามต้องการ โดยใช้ไอซี เบอร์ TL 494 และ Optoisolator เบอร์ TLP 250 ทำหน้าที่เป็นวงจรควบคุมการทำงานของ วงจรอินเวอร์เตอร์ และการนำสัญญาณเอาต์พุตที่ได้มาควบคุมการสร้างคลื่นอุลตราโซนิก



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีคลื่นอุลตราโซนิก

2.1.1 นิยามและความหมายของคลื่นอุลตราโซนิก

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

คลื่นอุลตราโซนิก คือ คลื่นเสียงที่มีระดับความถี่สูงเกินกว่าความสามารถของมนุษย์จะรับฟังได้ด้วยหูความถี่ที่สูงกว่า 18 kHz โดยทั่วไปจะพิจารณาให้เป็นคลื่นอุลตราโซนิก สำหรับความถี่ของคลื่นอุลตราโซนิก ที่ใช้สำหรับทำความสะอาดนั้นจะอยู่ในช่วง 20,000 รอบต่อวินาที หรือ 20 kHz ถึงเกินกว่า 100,000 kHz

ในการใช้ทำความสะอาดทั่วไป ส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมนั้นจะใช้ความถี่ในช่วง 20 kHz ถึง 50 kHz ความถี่ที่สูงเกินกว่า 50 kHz จะใช้ในงานการทำความสะอาดขนาดเล็กที่ละเอียด ตั้งโต๊ะได้ เช่น ในร้านเพชรพลอย และร้านหมอบิน

2.1.2 ทฤษฎีคลื่น

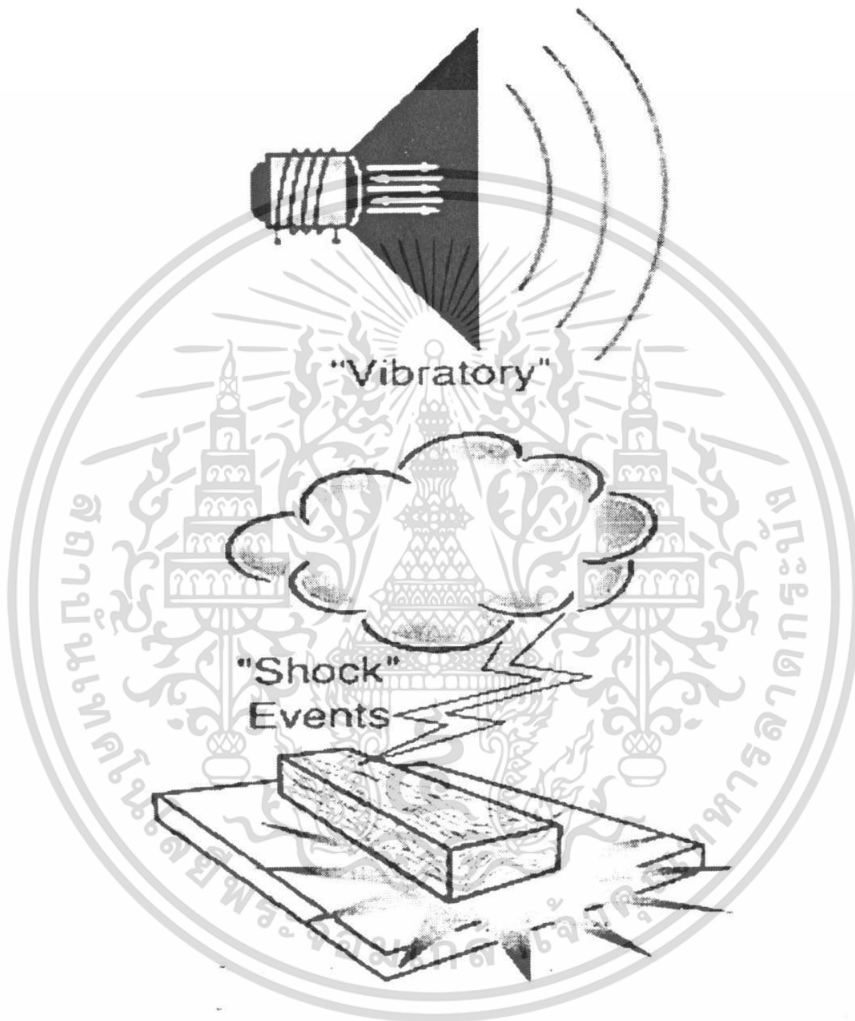
เพื่อที่จะเข้าใจกลไกการทำงานของคลื่นอุลตราโซนิก ได้นั้นจึงจำเป็นต้องมีพื้นฐานความเข้าใจในเรื่องคลื่นเสียงว่ามันเกิดขึ้นได้อย่างไร และมันสามารถเดินทางผ่านตัวนำและตัวกลางได้อย่างไรด้วย

ในพจนานุกรมนั้นให้คำจำกัดความของคลื่นเสียงว่าเป็นการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือนส่งผ่านตัวกลางที่สามารถยืดหยุ่นได้ เช่น ของแข็ง ของเหลว หรืออากาศ

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

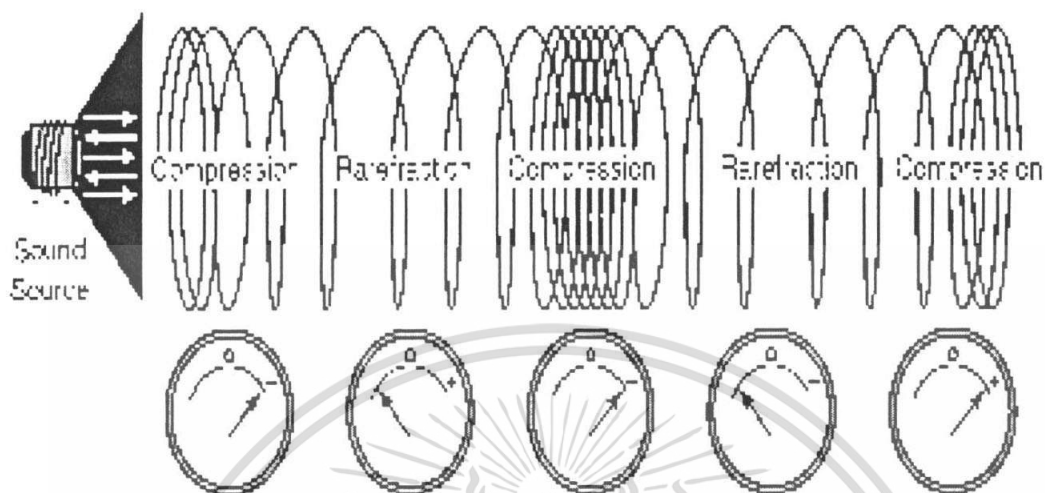
การเคลื่อนที่ของอากาศที่บริเวณ Cone ของเครื่องกระจายเสียงวิทยุ (Radio Speaker) เป็นตัวอย่างที่ดีสำหรับอธิบายการสั่นสะเทือน (Vibratory) ที่เกิดจากการเคลื่อนไหวทางกล ขณะที่ Cone ของ Speaker เคลื่อนที่ถอยหลังและเดินหน้านั้น อากาศทางด้านหน้าของ Cone จะถูกอัดตัวและขยาย ตัวเพื่อให้ได้คลื่นเสียงออกมา ซึ่งจะเดินทางตามอากาศมาเรื่อย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

ตามรูปที่ 2.2 จะใช้ขดลวดสปริงเป็นสื่อแสดงถึงแต่ละ โมเลกุลของตัวกลางที่นำคลื่นเสียง โดยแต่ละ โมเลกุลในตัวกลางนั้นจะได้รับอิทธิพลจากโมเลกุลข้างเคียงที่อยู่ติดกัน เช่นเดียวกันกับขดลวดของสปริงก็จะส่งผลกระทบต่อขดลวดอื่นที่อยู่ข้างเคียงด้วยเหมือนกัน

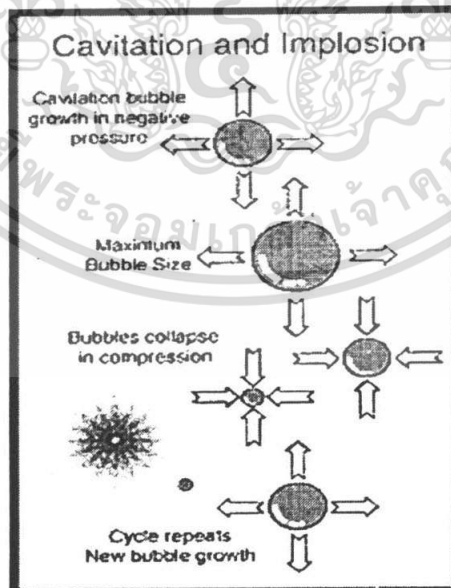
แหล่งกำเนิดคลื่นเสียงตามแบบจำลองนั้นจะอยู่ทางด้านซ้าย การอัด (Compression) ที่ถูกสร้างจากแหล่งกำเนิดคลื่นเสียง จะเป็นเช่นเดียวกันกับการผลักดันของขดลวดที่อยู่ติดกัน สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ควรทราบคือ ถึงแม้ว่าคลื่นจะเดินทางจากปลายข้างหนึ่งของสปริงไปยังอีกข้างหนึ่งก็ตาม แต่ละขดลวดก็จะยังคงรักษาดำแหน่งเดิมของมัน ด้วยเหตุผลนี้ แต่ละขดลวดของสปริงในส่วนแรกจะเกิดการอัดตัว (Compression) จากการผลักดันของขดลวดที่ติดกัน แต่ต่อจากนั้นจะเป็นส่วนแรกของการขยายตัว (Rarefaction) ซึ่งขดลวดที่ติดกันจะถอยห่างจากกัน

ณ ตำแหน่งใดก็ตามในตัวกลางนำคลื่นเสียง จะถูกทำให้มีการอัดตัว และหลังจากนั้นจะขยาย ตัวสลับกันไป บริเวณที่มีการอัดตัวนั้นความดันในตัวกลางจะเป็นบวก และบริเวณที่มีการขยายตัวนั้น ความดันของตัวกลางจะเป็นลบ

2.2 การใช้คลื่นอุลตราโซนิคทำความสะอาด

2.2.1 CAVITATION AND IMPLOSION

ในสื่อตัวกลางที่ยืดหยุ่น เช่น อากาศ และของแข็งเกือบทั้งหมดนั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องเกิดขึ้นในขณะที่คลื่นเสียงถูกส่งผ่าน ส่วนในตัวกลางที่ไม่ยืดหยุ่น เช่น น้ำ หรือของเหลวทั่วไป จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาที่แอมพิจูด หรือความดังของเสียงต่ำ ณ ที่แอมพิจูดของเสียงเพิ่มขึ้นนั้น ขนาดของความดันที่เป็นลบ (Negative Pressure) ในบริเวณที่คลื่นขยายตัว (Rarefaction) จะเป็นสาเหตุที่เพียงพอที่จะทำให้ของเหลวแตกตัวออกมาในที่สุดซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า คาวิเตชัน (Cavitations) ซึ่งปรากฏการณ์ คาวิเตชัน จะเกิดขึ้นบริเวณที่มีการขยายตัวทำให้ของเหลวจะแตกตัวหรือฉีกขาด เนื่องจากความดันที่เป็นลบของคลื่นเสียงในของเหลว ขณะที่คลื่นเสียงเดินทางไปข้างหน้าคาวิเตชัน จะแกว่ง (Oscillate) ภายอิทธิพลของความดันที่เป็นบวกและโตขึ้นจนขนาดไม่มีเสถียรภาพในที่สุด จะทำให้เกิดการยุบตัวลงอย่างรุนแรงของคาวิเตชัน เป็นผลให้เกิดอิมโพลชัน (Implosion) ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่น Shock Wave แผ่กระจายออกไปจากบริเวณยุบตัว (Collapse) การยุบตัว และ อิมโพลชัน (Implosion) ของคาวิเตชันที่เกิดขึ้นจำนวนมากในของเหลว นั้นเป็นผลเกี่ยวเนื่องมาจากการกระตุ้นของคลื่นอุลตราโซนิคนั่นเอง ได้มีการคำนวณว่าบริเวณที่เกิดอิมโพลชัน ของฟองอากาศคาวิเตชัน นั้น จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่า 10,000 องศาฟาเรนไฮต์ และมีความดันสูงกว่า 10,000 PSI



รูปที่ 2.3 กระบวนการเกิด Cavitations และ implosion

22.2 ประโยชน์ของคลื่นอัลตราโซนิกในกระบวนการทำความสะอาด

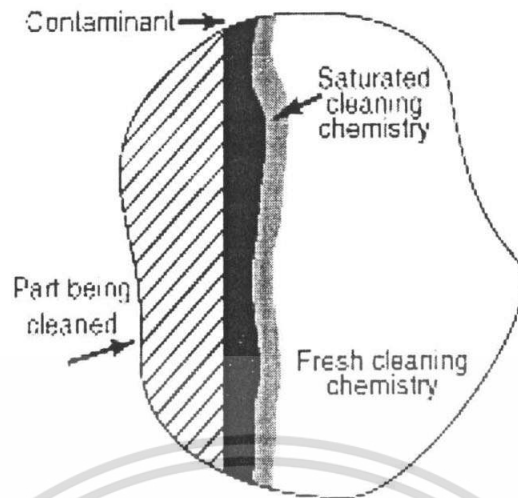
ในการทำความสะอาด สิ่งสกปรกจะถูกกำจัดโดยการทำละลายรวมตัวหรือโดยการเคลื่อนย้ายขจัดออกทิ้งหรือทั้งสองอย่างพร้อมกัน ขึ้นอยู่กับสารละลายที่ใช้ นั้นสามารถละลายสิ่งสกปรกเหล่านั้นได้หรือไม่ ผลที่เกิดทางกลเนื่องจากพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิกนั้น สามารถช่วยเพิ่มความเร็วของการรวมตัวหรือการขจัดออกทิ้งของสิ่งสกปรกได้เป็นอย่างดี ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการทำความสะอาดทั้งกระบวนการชำระล้างด้วย สารเคมีที่ตกค้างจากการทำความสะอาดจะถูกกำจัดออกอย่างรวดเร็วโดยคลื่นเชิง ด้วยกระบวนการชำระล้างของคลื่นอัลตราโซนิก (ultrasonic wave)



รูปที่ 2.4 หน้าสัมผัสของชิ้นงานที่มีคราบสกปรกติดอยู่โดยแช่ในน้ำยาทำความสะอาด

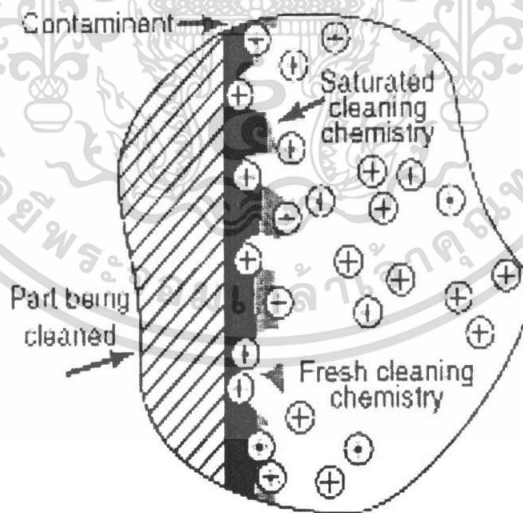
การขจัดสิ่งสกปรกออกด้วยการทำละลายรวมตัวนั้น สารเคมีที่เป็นตัวทำละลายจะต้องเข้าไปถึงสิ่งสกปรกและทำลายสิ่งสกปรกออกไปได้ ซึ่งกระบวนการทำความสะอาดจะเกิดบริเวณพื้นผิวสัมผัสระหว่างสารเคมีที่ใช้กับสิ่งสกปรกเท่านั้น

ขณะที่ตัวทำละลายที่ใช้ทำความสะอาดกำลังรวมตัวทำลายสิ่งสกปรกอยู่นั้น จะเกิดชั้นของ สารละลายอิมิตัวที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวทำละลายกับสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ จะทำให้กระบวนการทำความสะอาดหยุดลง ตัวทำละลายจะไม่สามารถจับตัวกับสิ่งสกปรกได้อีก เนื่องจากเกิดการอิมิตัวของสารละลายที่ทำความสะอาดแล้ว และยังคงไม่ทำให้ตัวทำละลายใหม่ที่จะเข้ามาทำลายสามารถเข้ามาได้



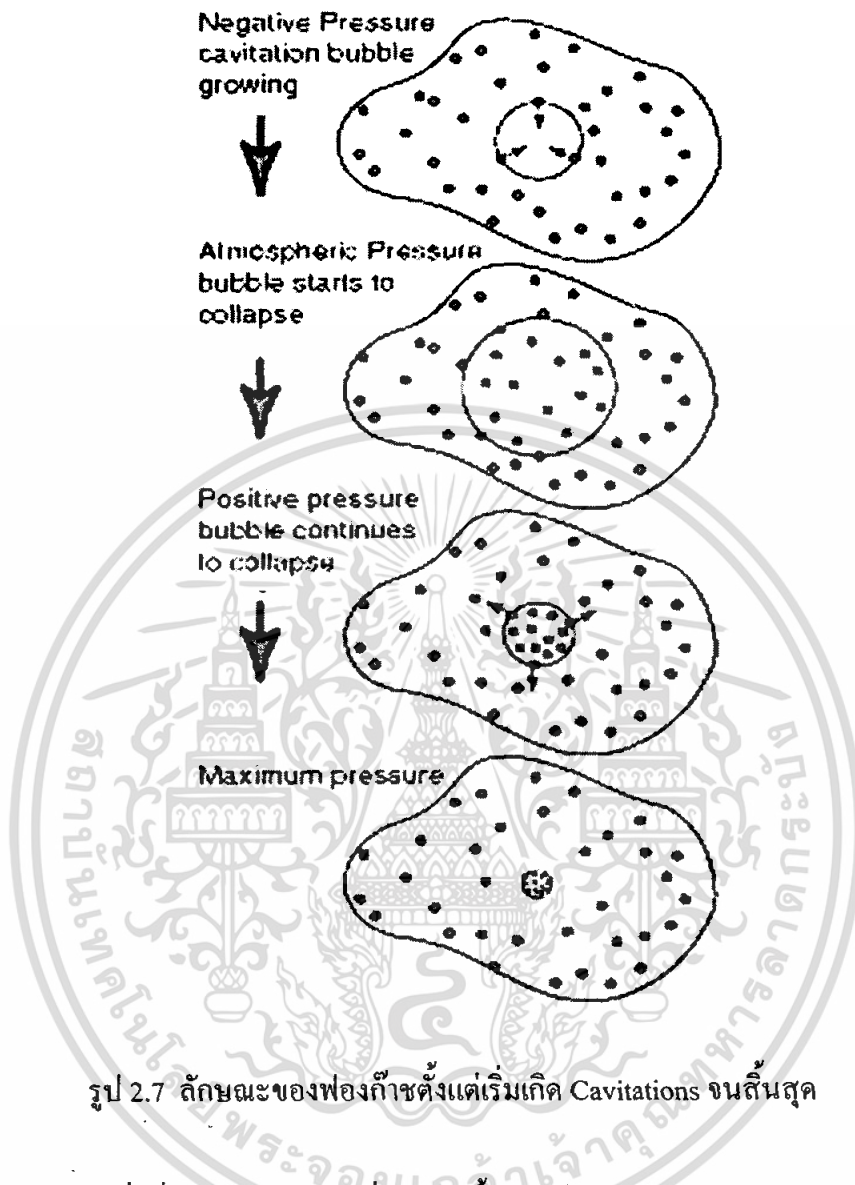
รูปที่ 2.5 น้ำยาที่ติดกับคราบสกปรกเกิดการอึดตัว

กระบวนการ Cavitation และ Implosion ของคลื่นอัลตราโซนิก นั้นจะกำจัดชั้นที่อึดตัวออกไปได้อย่างดี ทำให้สารละลายใหม่ที่จะเข้ามาทำลายสามารถเข้ามาขจัดสิ่งสกปรกได้ต่อไป ซึ่งจะเป็นประโยชน์โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อจะทำความสะอาดในพื้นที่ที่ไม่เรียบ



รูปที่ 2.6 กระบวนการ Cavitations และ implosion ทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำยา

2.2.3 Importance of Minimizing Dissolved Gas



รูป 2.7 ลักษณะของฟองก๊าซตั้งแต่เริ่มเกิด Cavitations จนถึงที่สุด

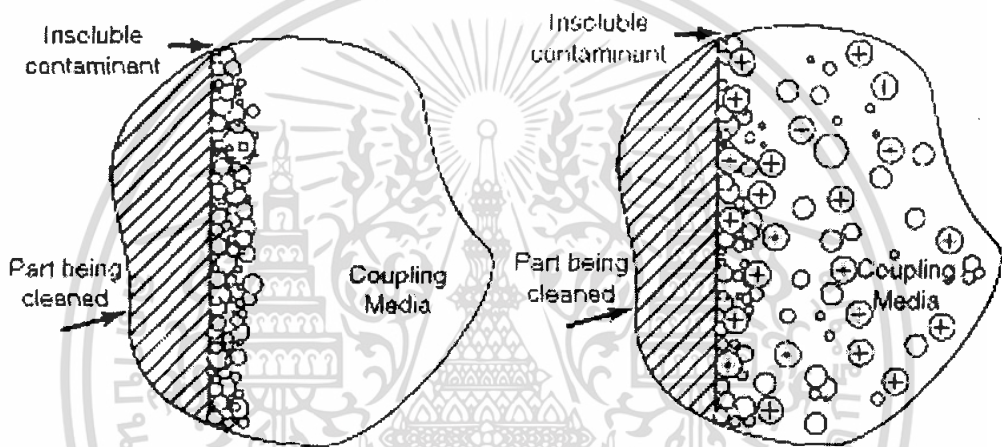
ในระหว่างที่คลื่นเสียงมีความดันที่เป็นลบนั้น ของเหลวจะแตกตัวออกและฟองอากาศควิเดชั่น ก็เริ่มมีการจัดวางตัว ขณะที่ความดันที่เป็นลบภายในฟองอากาศเพิ่มขึ้นนั้น ก๊าซที่ถูกทำลายในของเหลวที่มีควิเดชั่น จะเริ่มแพร่กระจายเข้าไปในฟองอากาศ ขณะที่ความดันที่เป็นลบถูกลดลงในช่วงขยายตัวของคลื่นเสียงและมีความดันสูงขึ้นจนถึงความดันบรรยากาศแล้วนั้น ฟองอากาศจะเริ่มยุบตัวลงเนื่องจากแรงตึงผิวของมันเองที่กดลงมา

ในระหว่างช่วงอัดตัวของคลื่นเสียง ก๊าซที่ฟุ้งกระจายอยู่ในองอากาศจะถูกอัดตัว และในที่สุดก็จะเริ่มแพร่กระจายเข้ามาในฟองอากาศอีกครั้ง อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้จะไม่สามารถสำเร็จได้จนกว่าฟองอากาศจะบรรจุเต็มไปด้วยก๊าซ โดยตั้งแต่ก๊าซที่ยังไม่เริ่มแพร่เข้ามาในฟองอากาศ กระทั่งฟองอากาศถูกอัดตัว และเมื่อฟองอากาศถูกอัดตัวแล้วพื้นผิวหน้ารอบๆ ฟองอากาศที่ก๊าซสามารถแพร่เข้ามาได้จะถูกลด ด้วยเหตุนี้ฟองอากาศควิเดชั่น ที่บรรจุก๊าซอยู่ ซึ่ง

ถูกจัดวางตัวในของเหลวจะไม่ยุบ ตัวลงให้เกิด Implosion แต่จะอยู่ในรูปที่ถูกอัดตัวให้มีขนาดเล็กๆ ในของเหลวมากกว่า ปรากฏการณ์นี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการลดขนาดของก๊าซในของเหลวลง ฟองอากาศขนาดเล็กๆ ที่มีก๊าซอยู่ภายในจะรวมกลุ่มเข้าด้วยกันจนกว่าจะเพียงพอให้มันลอยตัวขึ้นเหนือผิวหน้าของของเหลวในที่สุด

2.2.4 ความเร็วของคลื่นอุลตราโซนิคในการทำมาสะอาดโดยการทำให้ละลาย

สิ่งสกปรกบางชนิดจะประกอบด้วยอนุภาคของสารที่ไม่สามารถทำให้ละลายได้ ซึ่งจะเกาะติดกันอย่างหลวมๆ ด้วยแรงจากพันธะไอออนิก อนุภาคเหล่านี้สามารถกำจัดได้โดยเพียงแค่แยกแรงที่ดึง คู่มันเอาไว้ออกจากกัน



รูปที่ 2.8 อนุภาคที่ไม่ละลายในสารละลายที่เกาะติดชิ้นงาน

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

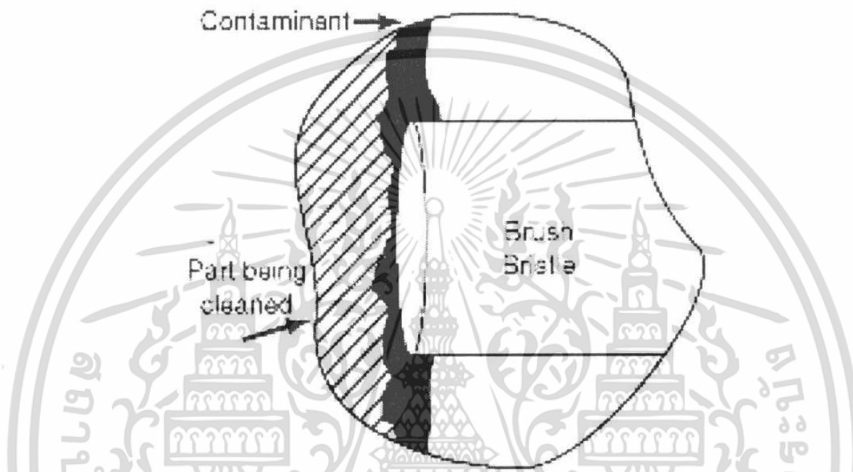
2.2.5 สิ่งสกปรกเชิงซ้อน (Complex Contaminant)

สิ่งสกปรกต่างๆ นั้น ตามธรรมชาติแล้วจะมีความซับซ้อน ซึ่งประกอบด้วยการรวมกันของส่วนที่สามารถทำให้ละลายได้และส่วนที่ไม่สามารถทำให้ละลาย ผลที่ได้จากคลื่นอุลตราโซนิคนั้นมี

อย่างมากมาย เช่นในกรณีนี้ คือ มันไปกระตุ้นกลไกการทำงาน ช่วยให้การทำละลายของสิ่งสกปรก
 ที่ทำละลายได้และขจัดอนุภาคที่ไม่ทำละลายออกไปได้เร็วกว่าเดิม

การทำงานของคลื่นอัลตราโซนิก ยังแสดงให้เห็นว่า ช่วยเพิ่มความเร็วหรือช่วยส่งเสริมการ
 เกิดปฏิกิริยาเคมีหลายๆ อย่างอีกด้วย และนี่เองที่เป็นสาเหตุที่ในบริเวณที่เกิด Implosion จะมีระดับ
 พลังงานที่สูง ซึ่งจะทำให้เกิดอนุภาคนิวเคลียสและความดันที่สูงมาก

2.2.6 A Superior Process



รูปที่ 2.9 การทำความสะอาดโดยใช้แพร้ง

พื้นผิวของส่วนที่จะถูกทำความสะอาด ได้ถูกกำหนดให้เป็นพื้นราบ ซึ่งในความเป็นจริง
 เป็น ไปได้ยากมากที่จะแบนราบ แต่จะประกอบด้วย เนิน หลุม ที่ขรุขระ ตามรูปจะแสดงให้เห็นว่า
 ทำไมพลังจากคลื่นอัลตราโซนิกจึงมีประสิทธิภาพดีกว่า และทำไมจึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการ
 ทำความสะอาดมากกว่าทางเลือกอื่นๆ เช่น การฉีดสเปรย์ทำความสะอาด การใช้แปรงขัด การใช้ลม
 เป่า หรือ แม้แต่ Electro Cleaning ประสิทธิภาพของคลื่นอัลตราโซนิกในการทำมาสะอาดของ
 พื้นผิวที่เป็น เชิงซ้อน (Complex part) นั้นดีกว่าและเป็นเรื่องที่น่าทึ่งเป็นอย่างยิ่ง

2.2.7 ประสิทธิภาพของการทำความสะอาด

ในการประยุกต์ใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการทำมาสะอาดนั้น ซึ่งประสิทธิภาพของการทำ
 มาสะอาดจะพิจารณาจากปัจจัยดังต่อไปนี้

2.2.7.1 สารที่นำมาใช้เป็นสารทำความสะอาด

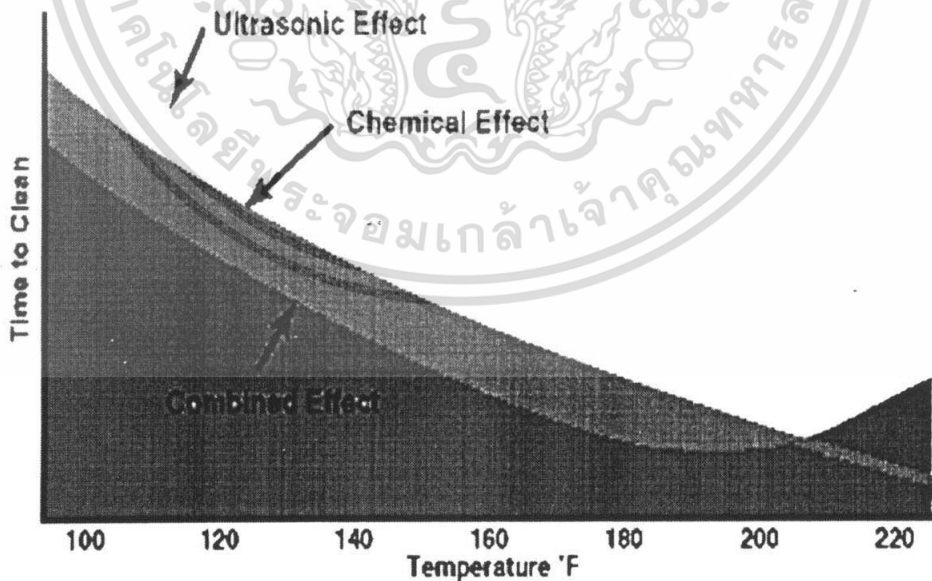
น้ำยาทำความสะอาดที่เราเลือกนำมาใช้นั้นถือว่าเป็นส่วนสำคัญซึ่งสัมพันธ์กับประสิทธิภาพ ในกระบวนการทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิค น้ำยาที่เลือกใช้นั้นควรจะสอดคล้องและเหมาะสมกับสิ่งที่เราจะทำความสะอาดและไม่ทำอันตรายต่อชิ้นงาน ตลอดจนส่วนประกอบต่างๆที่อยู่บนชิ้น งานจึงจะมีประสิทธิภาพสูงในการทำความสะอาด โดยปรกติน้ำยาทำความสะอาดแทบทุกชนิดสามารถนำมาใช้ได้ อย่างไรก็ตามควรหลีกเลี่ยงสารที่มีคุณสมบัติคล้ายกับสารในสเปร์ย์

2.2.7.2 ความรุนแรงของกระบวนการควิเตชัน

ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดนั้น ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของกระบวนการควิเตชันด้วย ซึ่งความรุนแรงของกระบวนการควิเตชัน นั้นจะขึ้นอยู่กับ

อุณหภูมิ

สารละลายแต่ละชนิดจะเกิดกระบวนการควิเตชันที่รุนแรงที่สุดได้ที่อุณหภูมิแตกต่างกันไปแต่ทว่าในการพิจารณาว่าจะใช้อุณหภูมิเท่าไรนั้น ต้องพิจารณาเงื่อนไขอื่นด้วย เช่น น้ำสะอาดจะเกิดความร้อนสูงสุดที่ 160 องศาฟาเรนไฮน์ แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมในการใช้งานอยู่ที่ 180 – 190 องศาฟาเรนไฮน์ เพราะผลทางปฏิกิริยาเคมีและกระบวนการควิเตชัน (Cavitations) จะมีผลทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น



รูปที่ 2.10 ผลของอุณหภูมิเนื่องจากปัจจัยต่างๆ

ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของสารที่ใช้ควรจะมีค่าน้อยที่สุด เพื่อที่จะได้มาซึ่งความแรงสูงสุดของกระบวนการควิตซ์ เพราะถ้าสารมีความหนืดมากจะไม่ตอบรับฟองควิตซ์ ได้เร็วพอ การสั้นก็จะมีค่าน้อย ซึ่งความหนืดของสารนี้จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

จำนวนฟองก๊าซที่สามารถรวมกับของเหลว (Dissolved gas)

สารที่นำมาใช้ทำความสะอาดควิตซ์จะมี Dissolved gas น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อผลของประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากว่า Dissolved gas นี้ไปยับยั้งการเกิดของกระบวนการควิตซ์ (Cavitations) อีกทั้งยังไปลดความรุนแรงของกระบวนการ Implosion อัตราการแพร่ของ Dissolved gas ในของเหลวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งหมายความว่า ของเหลวที่มีอุณหภูมิสูงๆ จะมี Dissolved gas น้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำๆ

2.2.8 ข้อดีและข้อเสียของการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิค

ข้อดี

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

ข้อเสีย

1. ในการทำความสะอาดบางอย่าง เช่น การล้างคราบน้ำมัน การทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิคจะมีขั้นตอนที่ยุ่งยากเกินไป
2. มีความลำบากและยุ่งยากในการเลือกสารที่จะนำมาใช้เป็นสารชะล้าง เนื่องจากต้องระวังไม่ให้สารที่เลือกไปทำความเสียหายกับชิ้นงาน

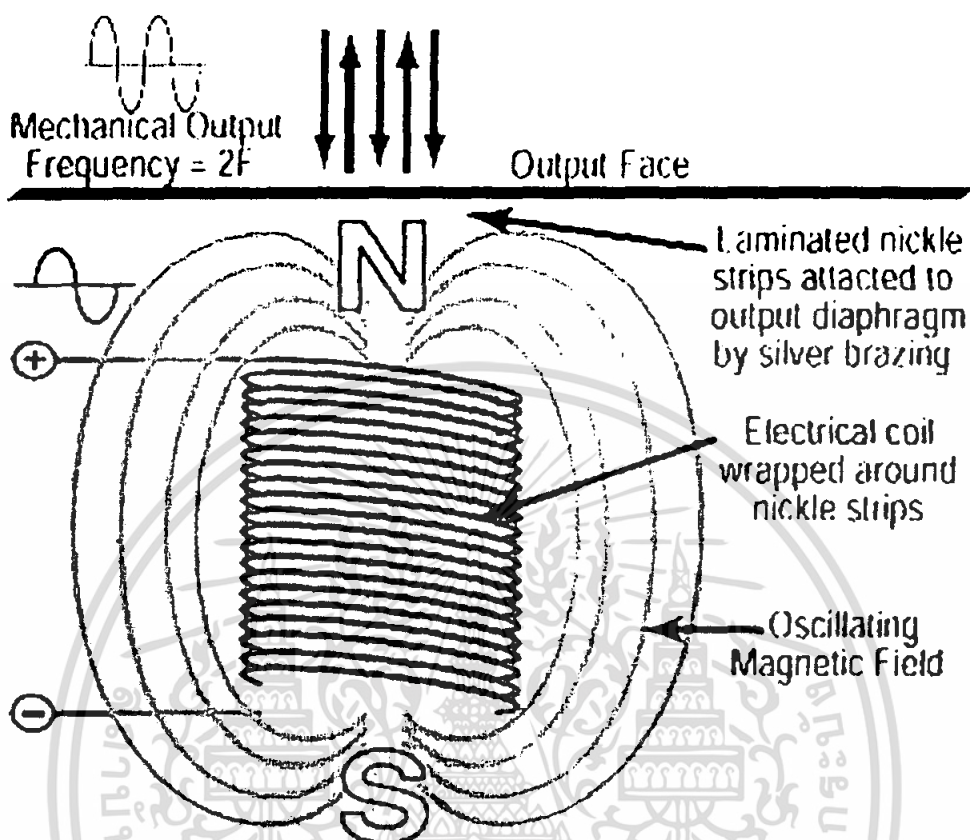
2.3 อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์

2.3.1 นิยาม

อัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ คือ อุปกรณ์ซึ่งสามารถแปลงพลังงานกลโดยการสั้นไปมาซึ่งทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิคกระจายไปในวัตถุตัวกลาง หรือจากพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิคแปลงไปเป็นพลังงานกลซึ่งสามารถทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นได้จากตัวทรานสดิวเซอร์นั้น

ทรานสดิวเซอร์ที่ทำให้เกิดคลื่นอุลตราโซนิกมี 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

1. เมคคานิคัลทรานสดิวเซอร์ (Mechanical Transducers)



รูปที่ 2.11 Mechanical Transducers

2. อิเล็กโตรเมคคานิคัลทรานสดิวเซอร์ (Electromechanical Transducers)

Electromechanical Transducers จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเสียง ที่ใช้กันมีอยู่ 4 ชนิด

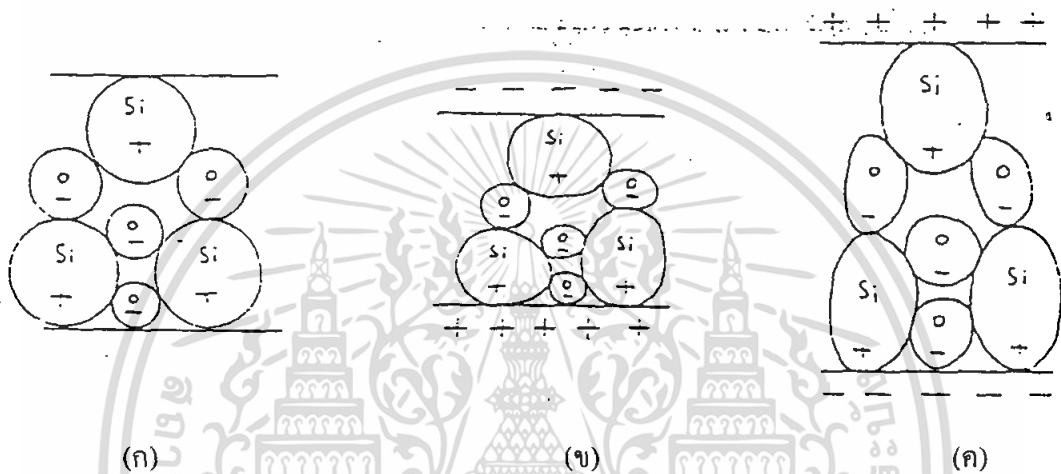
1. Moving Coil จะคล้ายๆกับ Coil ที่อยู่ภายในลำโพง มีประโยชน์มากในการทำหน้าที่เป็นตัวสั่น (Vibrator) ชนิดริบบอน (Ribbon) ทำด้วยอลูมิเนียมบางๆ ซึ่งวางอยู่ระหว่างขั้วทั้งสองข้างของแม่เหล็ก มันทำตัวเสมือนเป็นขดลวดของมูฟวี่งคอยล์ ใช้ทำให้เกิดคลื่นอุลตราโซนิก

2. Electrostatic ใช้หลักการที่ว่า ในระหว่าง Parallel Plate Capacitor เมื่อเราให้ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นทั้งสองจะทำให้เกิดแรงดันขึ้น ซึ่งจะใช้ทำเป็นลำโพงเสียงที่มีคุณภาพสูง แต่ก็ทำให้เกิดการสั่นแบบอุลตราโซนิกได้ในของแข็ง

3. Piezoelectric

4. Ferroelectric

ส่วนแบบ Piezoelectric และ Ferroelectric ในผลึกที่ประกอบด้วยโพล่าโมเลกุลซึ่งขาดจุดศูนย์กลางของความสมมาตร(Center of Symmetry)ถ้าตัดเอา Plate อันเนื่องจากผลึกอันนี้แล้วทำให้เกิดการบิดงอด้วยเครื่องมือกล จะทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นระหว่างผิวหน้าทั้งสองของ Plate ซึ่งเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ไคเร็กเป็ยโซอิเล็คทริกเอฟเฟ็ค (Direct Piezoelectric Effect) ถ้าศักย์ระหว่าง ผิวหน้าทั้งสองของ Plate นี้เกิดบิดเบี้ยวไปได้เอง จะเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า อินเวิร์ดเป็ยโซอิเล็คทริก เอฟเฟ็ค (Inverse Piezoelectric Effect) ตัวอย่าง เช่น ผลึกควออร์ทซ์ดังรูปที่ 2.12 จะแสดงหน่วยเซลล์ซึ่งอยู่ระหว่าง Plane ที่ขนานกัน



รูปที่ 2.12 เป็ยโซอิเล็คทริกเอฟเฟ็ค

รูปที่ 2.12 (ก) จะอยู่ในสภาวะปรกติ ซึ่งจุดศูนย์กลางของประจุบวกซิลิกอนและประจุลบของออกซิเจนจะอยู่ที่เดียวกัน และจำนวนประจุไฟฟ้าทั้งสองจะไม่เกิด ไคโพลโมเมนต์ขึ้น ดังนั้นผลเนื่องจากการกระจายของประจุตลอดระนาบทั้งสองที่ขนานกันจะเป็นศูนย์

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

การทำให้มันเปลี่ยนรูปร่างโดยการอัดหรือหดตามรูปนั้น จะเป็นการแยกจุดศูนย์กลาง จะทำให้เกิดประจุนระนาบทั้งสอง รูปแบบนี้เรียกว่า ไคเร็กเป็ยโซอิเล็คทริกเอฟเฟ็ค

สำหรับแบบอินเวิร์ดเป็ยโซอิเล็คทริกเอฟเฟ็ค จะเกิดโดยให้สนามไฟฟ้าระหว่างระนาบทั้งสอง ทำให้จุดศูนย์กลางของทั้งสองเคลื่อนออกจากกันไปทิศทางตรงกันข้าม ทำให้เซลล์บิดเบี้ยวไปถ้ามีแผ่นควอทซ์ซึ่งตัดมาจากผลึกควอทซ์ ในทิศทางที่จะทำให้เกิดการสั้นสะเทือนขนานกับสนามไฟฟ้าที่ใช้ เมื่อเราให้สนามไฟฟ้าสลับ ระนาบจะขยายและหดตัวด้วยความถี่เดียวกันกับสนามไฟฟ้า ซึ่งจะเหมือนกับลูกสูบ ดังนั้นมันจะเป็นตัวกำเนิดคลื่นเสียงได้

ปัจจุบันมีสารไม่กี่ชนิดที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เป็ยโซอิเล็กทริกได้ สารไดอิเล็กทริกทุกชนิดเป็นสารอเล็กโทรสแตททริก แต่ปรกติแล้วจะเกิดผลน้อยมาก สารที่ให้ผลมากได้แก่ สารไททานเทท (Titanates) ซีคอนเทท (Zirconates) และในกรณีนี้เรียกว่า สารเฟอร์โรอิเล็กทริก ปรกติสารเหล่านี้จะอยู่ในรูปของส่วนผสมเซรามิก ซึ่งประกอบไปด้วยโคเมนที่มีข้อัอิสระรวมตัวกันมากๆ ถ้านำสารเหล่านี้มาหนึ่งชนิด เอาไปเผาให้มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเคอริก (Curic Temperature) ของมันแล้วทำให้เย็นภายใต้สนามไฟฟ้าสูงๆ ทิศทางของข้อัโคเมนต่างๆ จะวางตัวไปในแนวเดียวกันกับสนามไฟฟ้าและจะยังคงอยู่อย่างนั้นแม้ว่าจะเอาสนามไฟฟ้าออกไป นั้นแสดงว่ามันกำลังแสดงคุณสมบัติ เช่น Permanent Electric บางทีมันจะเป็นสารเป็ยโซอิเล็กทริก ถ้าหากมันเป็นไปตามสมการของเป็ยโซอิเล็กทริก

2.3.2 คุณสมบัติทั่วไปของทรานสดิวเซอร์

ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ในทางอุตสาหกรรมจะมีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีเป็ยโซอิเล็กทริก 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 ก็จะมีการจัดเรียงตัวและมีคุณสมบัติเป็ยโซอิเล็กทริก ถ้าภายหลังเซรามิกที่มีคุณสมบัตินี้ถูกเผาให้ร้อนถึงอุณหภูมิดังกล่าวอีก คุณสมบัติเป็ยโซอิเล็กทริกจะหมดไป ดังนั้นความร้อนสามารถทำลายทรานสดิวเซอร์ได้ โดยเฉพาะถ้าความร้อนสูงเกินอุณหภูมิเคอริก

ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเป็นค่าคงที่ที่แสดงว่าทรานสดิวเซอร์ต้องการพลังงานไฟฟ้าเท่าใด จึงจะเปลี่ยนเป็นพลังงานกลได้ทั้ง แบเรียมติทานเทท และ ลีดเซอโคเนท มีประสิทธิภาพมากกว่าผลึกแร่ควอทซ์ 5 - 6 เท่า เนื่องจากค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่า coupling constant ต่ำมาก จึงไม่นิยมนำแร่ควอทซ์มาใช้ในเครื่องอุตสาหกรรมในปัจจุบัณ

2.3.3 คุณสมบัติทางความถี่ของทรานสดิวเซอร์

ความถี่ของทรานสดิวเซอร์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเชิงกลและลักษณะทางรูปร่าง เช่น เซรามิกแท่งเหลี่ยมแบนจะมีความถี่เรโซแนนซ์ได้ 3 อย่าง คือ มีความยืดหดตามความหนาและรัศมี อย่างไรก็ตามเมื่อป้อนศักย์ไฟฟ้าเข้าไปสามารถทำให้ทรานสดิวเซอร์ยืดหดในแนวไหนก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับข้อัที่ใช้ บริษัทที่ผลิตทรานสดิวเซอร์จะกำหนดความถี่ที่สำหรับแต่ละแบบของการยืดหยุ่น

Resonant frequency = *constant / thickness (inch)*

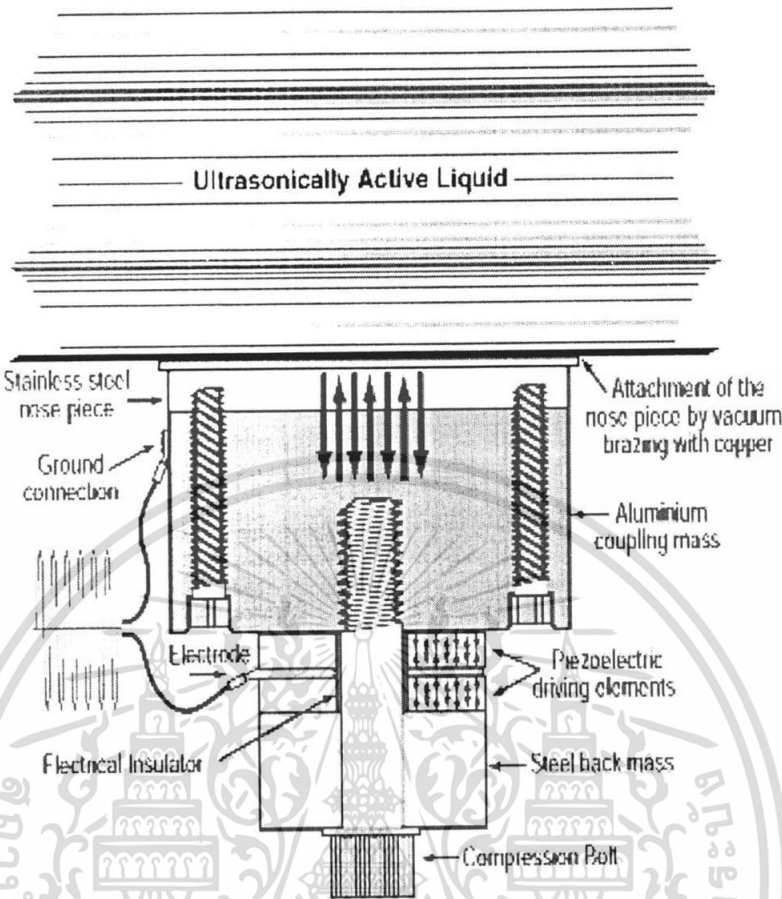
Material	Curic Temperature	Q	Dielectric Constant (K)	Coupling Coefficient(K)
Quartz	550° C	Very High	4.5	0.51
Barium Titanate	100° C	400-700	1700	0.38
Lead Circonate Titanate	300° C	90-500	1450	0.09

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติบางอย่างของสารเซรามิก

2.3.4 เปียโซทรานสดิวเซอร์

โครงสร้างภายในจะประกอบด้วยชิ้นสารเปียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric element) ซึ่งจะสามารถทำได้จากสารหลายชนิด เช่น ผลึกแควอทซ์ (Quartz) แบเรียมติทานาเท (Barium titanate) เกลือร็อคเชล (Rochelle salt) เป็นต้น แต่ที่นิยมใช้เป็นที่แพร่หลายคือแบเรียมติทานาเท ซึ่งเป็นสารที่ได้จากการผสมสารติทานาเทกับแบเรียมคาบอเนท ที่อุณหภูมิประมาณ 1300 – 1400°C และผลิตออกมาในรูปของชิ้นสารเซรามิกซึ่งจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมโดยส่วนใหญ่

จากชิ้นเซรามิกนี้จะถูกประกบด้วยแผ่นเพลท 2 แผ่น ซึ่งส่วนใหญ่ทำมาจากแผ่นเงิน เพื่อต่อเป็นขาของอิเล็กทรอนิกส์นั่นเอง ข้างหนึ่งของแผ่นเพลทจะถูกยึดเพื่อไม่ให้เกิดการสั่น ส่วนอีกด้านจะยึดกับแผ่นไดอะเฟรมที่สามารถเคลื่อนไหวไปมาได้โดยแผ่นไดอะเฟรมจะถูกสร้างให้มีลักษณะคล้าย เกล็นซ์ เพื่อรวมคลื่นให้มีความเร็วสูงขึ้น



รูปที่ 2.13 เปียโซอิเล็กทริก

2.3.5 เปียโซอิเล็กทริกเอฟเฟ็ค

เมื่อสภาวะปรกติที่ยังไม่มีความดัน หรือคลื่นมาตกกระทบกับชิ้นสารเซรามิก ประจุไฟฟ้าที่อยู่ในชิ้นสารจะเกิดการสมดุล ทำให้แผ่นเพลทเงินที่ประกบอยู่มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากัน ผลรวมของประจุไฟฟ้าบนแผ่นเพลทมีค่าเท่ากับศูนย์ แต่เมื่อมีความดันหรือมีคลื่นเสียงมาตกกระทบชิ้นเซรามิก จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของชิ้นสาร คือ เกิดมีประจุตรงข้ามขึ้นบนแผ่นเพลทที่ประกบชิ้นเซรามิกอยู่ซึ่งผลของประจุไฟฟ้าตรงข้ามนี้ทำให้เกิดเป็นแรงดันตกคร่อมแผ่นเพลททั้งสอง ขนาดของแรงดันตกคร่อมนี้ จะขึ้นอยู่กัขนาดความดันหรือคลื่นที่มาตกกระทบชิ้นสารเซรามิกที่โงงอไปมา

ทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริก สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงไปมาระหว่างพลังงานกลกับพลังงานไฟฟ้า กรณีการเปลี่ยนแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล คือ ตัวส่งคลื่นอัลตราโซนิค ซึ่งหลักการทำงานคือ เมื่อเราป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งอาจมีความถี่ในช่วง 20 – 100

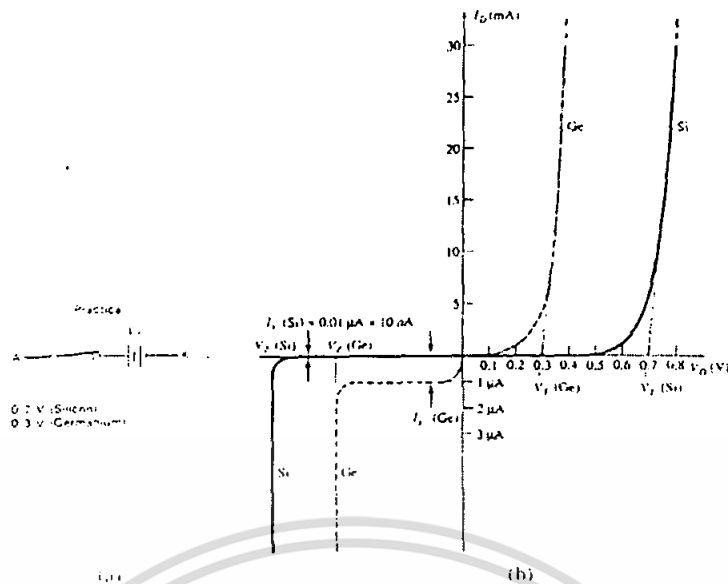
kHz แรงดันที่ป้อนนี้จะทำให้ชิ้นสารเซรามิกเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โดยที่ด้านหนึ่งของชิ้นสารเซรามิกจะถูกกดกับแผ่นไดอะเฟรม เมื่อชิ้นสารเซรามิกเกิดการบิดตัวไปมาจะทำให้แผ่นไดอะเฟรมนี้อัดกับอากาศโดยรอบ เกิดเป็นคลื่นความถี่เดียวกันกับสัญญาณที่ป้อนเข้า คลื่นที่ผลิตได้จะมีเอทัพุทสูงสุดเมื่อความถี่ที่ป้อนเข้ามาตรงกับความถี่เรโซแนนท์ ซึ่งเป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชิ้นสารนั้น ส่วนความถี่อื่นๆ นอกเหนือจากนี้จะทำให้ค่าลดลงกว่าความถี่เรโซแนนท์มาก

ในทางกลับกันการเปลี่ยนแปลงจากพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า คือ ตัวรับคลื่นอุลตราโซนิค เราสามารถที่จะมองได้ว่าเป็นแหล่งจ่ายหนึ่งๆ เพราะมันไม่ต้องการแหล่งจ่ายอื่นมาป้อนก็สามารถสร้างแรงดันออกมาได้ เพียงแต่มีขนาดแรงดันไม่สูงนัก โดยการทำงานของตัวรับคลื่นเกิดจากการที่มีแรงดันมาตกกระทบแผ่นไดอะเฟรม ซึ่งค่าความถี่ของคลื่นทำให้ชิ้นสารเซรามิกบิดไปมา ซึ่งจะทำให้เกิดปรากฏการณ์เปียโซอิเล็กทริกบนชิ้นสาร ทำให้สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่เท่ากับความถี่ของคลื่นที่มาตกกระทบได้

2.4 ไดโอด, ซีเนอร์ไดโอด, เพาเวอร์มอสเฟต และออฟโตไดโอด

2.4.1 ไดโอด (Diode)

ไดโอดเป็นอุปกรณ์พื้นฐานอย่างหนึ่งที่แพร่หลายในหมู่ผู้ออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป ไดโอดเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่สามารถนำกระแสได้ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง หรือกล่าวอย่างง่าย ๆ ว่า ไดโอดยอมให้กระแสไหลผ่านตัวมันเองได้ทิศทางเดียวเท่านั้น ในขณะที่ไดโอดนำกระแสจะมีค่าแรงดันตกคร่อมมันข้างหนึ่ง โดยทั่วไปสำหรับไดโอดซิลิกอน จะมีค่า 0.7 โวลต์ ลักษณะคุณสมบัติทั่วไปของไดโอดแสดงดังรูปที่ 2.14



รูป 2.14 สมบัติทั่วไปของไดโอด

โดยปรกติการให้แรงดันกับไดโอดนั้น ถ้าให้แรงดันบวกอยู่ที่ขั้วอโนด และขั้วลบอยู่ที่ขั้วคาโทดซึ่งเราเรียกว่าการไบอัสตรง ลักษณะเช่นนี้จะทำให้มีกระแสผ่านไดโอดได้และถ้าเราให้แรงดันกลับทิศทาง กระแสจะไหลไม่ได้ซึ่งเราเรียกว่าการไบอัสกลับ และถ้าให้แรงดันกลับมากขึ้นมันจะนำ กระแสใหม่ได้อีกจุดที่มันนำกระแสใหม่ได้อีกเราเรียกว่า แรงดันซีเนอร์

ไดโอดมีหลายขนาดตั้งแต่ทนกระแสได้เป็นมิลลิแอมป์จนถึงที่ทนกระแสได้หลายร้อยแอมป์ จากลักษณะการทำงานของไดโอดในการเป็นสวิตช์ให้นำกระแสได้ด้านเดียว การใช้งานของไดโอดจึงต้องพิจารณาถึงสิ่งต่างๆ ดังนี้

แรงดันตกคร่อมไดโอด จะพิจารณากันในขณะที่ไดโอดนำกระแส ไดโอดที่ใช้สารซิลิกอนจะมีค่าตกคร่อมประมาณ 0.7 โวลต์ แต่ถ้าให้กระแสไหลมากขึ้นแรงดันตกคร่อมอาจมากขึ้นเป็น 1 โวลต์ ก็ได้

แรงดันซีเนอร์ จะเป็นตัวบอกขนาดของแรงดันที่นำไปใช้ได้ ถ้าเราไบอัสกลับด้วยค่าแรงดัน นี้จะมีกระแสไหลกลับทางได้ และหากไม่มีการจำกัดกระแส ไดโอดก็จะเสียหายได้ แต่ถ้าหากมีการจำกัดกระแสแรงดันตกคร่อมก็จะมีค่าเท่ากับแรงดันซีเนอร์ ทำให้สามารถเอาคุณสมบัติเหล่านี้ไปใช้เป็นอุปกรณ์ควบคุมแรงดันได้

กระแสใช้งานสูงสุด ในขณะที่ป้อนไบอัสตรงทำให้ไดโอดนำกระแส จะมีกระแสไหลผ่านไดโอด และจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นถ้าหากว่าให้กระแสส่วนนี้มากกว่าที่ไดโอดจะทนได้ ไดโอดก็จะพังได้ ความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวไดโอดจะสะสมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นในกรณีที่ใช้ไดโอดที่กระแสสูงจะต้องมีการระบายความร้อนให้กับไดโอด

กระแสรั่วไหลขณะไบอัสกลับ เนื่องจากการทำงานของไดโอดมีลักษณะคล้ายกับสวิตช์ และถ้าจะเหมือนสวิตช์ยิ่งขึ้น จะต้องใช้คุณสมบัติขณะไบอัสกลับให้มีกระแสไหลน้อยที่สุดในทางปฏิบัติแล้วจะมีกระแสไหลได้นิดหน่อย กระแสส่วนนี้อาจมีค่าอยู่ในช่วงไมโครแอมแปร์ ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับกระแสไบอัสตรง

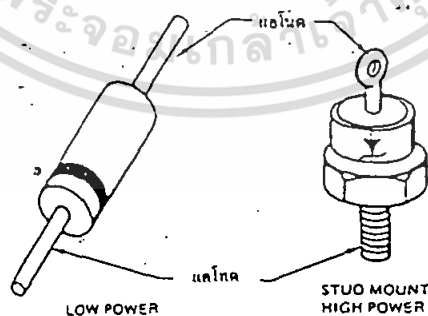
2.4.2 ซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode)

คุณสมบัติซีเนอร์ไดโอด

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

ซีเนอร์ไดโอดเป็นไดโอดชนิดพิเศษ ซึ่งจะต่อใช้งานแบบรีเวิร์คไบอัส มักจะถูกออกแบบให้ทำงานที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ เมื่อแรงเคลื่อนไฟฟารีเวิร์คจ่ายให้กับซีเนอร์ไดโอดสูงพอที่จะทำให้เกิดเบรกดาวน์ขึ้น จึงมีกระแสไฟรีเวิร์ค (I_r) ไหลสูง เพราะว่าคุณสมบัติด้านทานของซีเนอร์ไดโอดลดลง

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเบรกดาวน์ (E_z) สามารถหาได้โดยพิจารณาจากความต้านทานภายในของไดโอด ซึ่งค่าความต้านทานภายในของไดโอดจะถูกควบคุมได้ในขั้นตอนการสร้างและความสามารถในการกระจายกำลังไฟฟ้าของซีเนอร์ไดโอดจะลดลงขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นค่าพิกัดการกระจายกำลังไฟฟ้าของซีเนอร์ไดโอดแต่ละตัว จะถูกกำหนดให้ใช้ในที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งเท่านั้น



รูปที่ 2.15 โครงสร้างภายนอกของซีเนอร์ไดโอด

โครงสร้างภายนอกของซีเนอร์ไดโอดจะเหมือนกับ พี-เอ็น จังก์ชัน ไดโอด ซึ่งกำเนิดซีเนอร์ไดโอดกำลังไฟฟ้าต่ำ ตัวถังจะทำด้วยแก้วหรืออีพอกซี และถ้าเป็นซีเนอร์ไดโอดแบบกำลังไฟฟ้า ส่วนตัวถังจะทำด้วยโลหะและมีลักษณะการติดตั้งเป็นแบบน๊อต



รูปที่ 2.16 สัญลักษณ์ของซีเนอร์ไดโอด

ค่าพิคกของซีเนอร์ไดโอด

ค่ากระแสไฟฟ้าซีเนอร์ไดโอด (I_{ZM}) คือค่ากระแสไฟฟ้าวีร์ดสูงสุดที่สามารถไหลในซีเนอร์ไดโอด โดยที่จะไม่เกินพิคกของการกระจายกำลังไฟฟ้าที่ถูกกำหนดไว้ในซีเนอร์ไดโอดแต่ละตัว

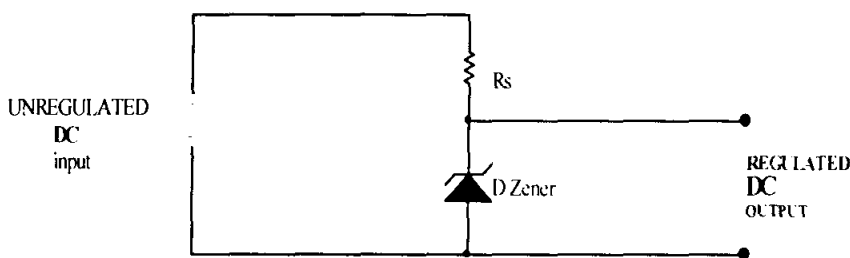
ค่ากระแสไฟฟ้าวีร์ด (I_r) จะแสดงไฟฟ้าวูโวลท์ก่อนเกิดเบรกดาวน์ ซึ่งมันจะถูกกำหนดที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าวีร์ด (E_r) ถูกจ่ายอยู่ โดยที่ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าวีร์ดจะมีค่าประมาณ 80 % ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าซีเนอร์ (E_z)

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

การทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าคงที่ด้วยซีเนอร์ไดโอด

จากรูปที่ 2.20 จะแสดงวงจรเรกกูเลเตอร์ด้วยซีเนอร์ไดโอด ซึ่งจะต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน (R_s) ซึ่งทำหน้าที่จำกัดกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอต่อการทำงานของซีเนอร์ไดโอดและแรงเคลื่อนไฟฟ้า DC อินพุต จะต้องสูงกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเบรกดาวน์ของซีเนอร์ไดโอด

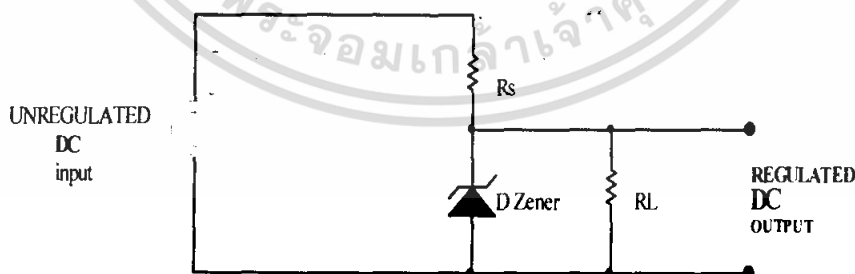


รูปที่ 2.17 วงจรเรกกูเลเตอร์ด้วยซีเนอร์ไดโอด

สำหรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อมซีเนอร์ไดโอดจะเท่ากับพิกัดแรงเคลื่อนของซีเนอร์ไดโอด ซึ่งซีเนอร์ไดโอดถูกสร้างให้มีพิกัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเบรคความค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น ซึ่งค่านี้จะเรียกว่า ค่าพิกัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าซีเนอร์ของไดโอด (V_Z) และค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานจะเท่ากับผลต่างของแรงเคลื่อนไฟฟ้าซีเนอร์กับแรงเคลื่อนไฟฟ้าอินพุต

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าอินพุตเพิ่มขึ้นหรือลดลง จะไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าเอาต์พุต แต่แรงเคลื่อนเคลื่อนไฟฟ้าอินพุตต้องมากกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าซีเนอร์

เมื่อต่อตัวต้านทานเข้าไปในวงจรเรกกูเลเตอร์ จะมีกระแสไหลผ่านโหลด (I_L) โดยจะหาได้จากค่าโหลด ความต้านทานโหลดและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเอาต์พุต และสำหรับกระแสไฟฟ้าซีเนอร์จะไหลผ่านตัวต้านทานอนุกรมของวงจรเรกกูเลเตอร์ ซึ่งตัวต้านทานนี้จะต้องเลือกให้มีกระแสไฟฟ้าซีเนอร์เพียงพอต่อการเกิดเบรคความของซีเนอร์ไดโอด เพื่อให้มีกระแสไหลผ่านตัวมัน



รูปที่ 2.18 วงจรเรกกูเลเตอร์เมื่อต่อโหลด

เมื่อโพลดมีค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น จะทำให้กระแสไฟฟ้าของโพลดลดลง ดังนั้นแรงเคลื่อนตกคร่อมโพลดควรเพิ่มขึ้น แต่ซีเนอร์ไดโอดจะไม่ขัดขวางแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงโดยมันจะนำกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเพื่อให้ผลรวมของกระแสซีเนอร์กับกระแสโพลดที่ผ่านตัวต้านทานอนุกรมยังคงเท่าเดิม ซึ่งก็จะทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทานอนุกรมเท่าเดิม ในทำนองเดียวกันเมื่อกระแสโพลดเพิ่มขึ้น กระแสซีเนอร์ก็จะลดลงและแรงเคลื่อนไฟฟ้าก็จะยังคงที่เหมือนเดิม

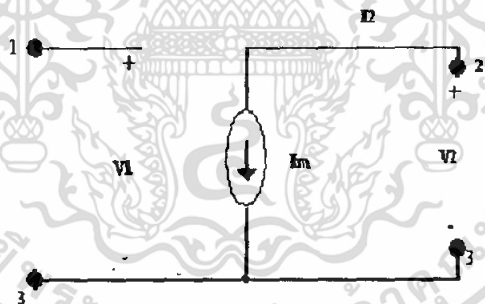
2.4.3 เพาเวอร์มอสเฟต

1. นิยามและความหมาย

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

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

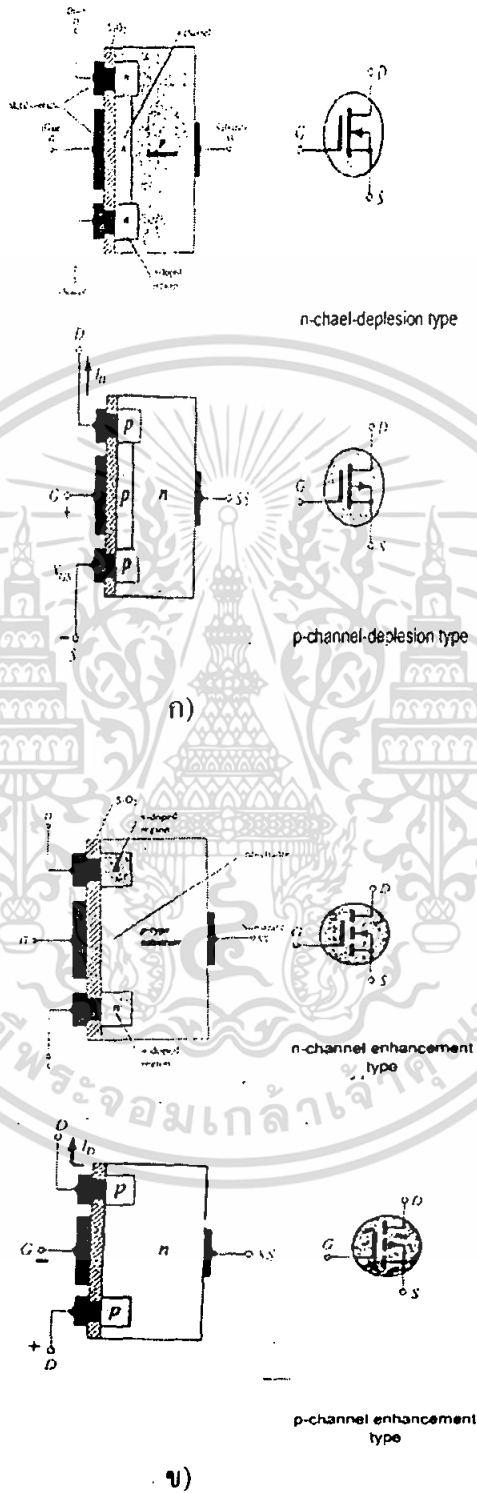
โดยที่ g_m คือ ค่าความจุถ่ายโอน (Transconductor) หรือ Mutual conductance



รูปที่ 2.19 วงจรเทียบเคียงหรืออุปกรณ์ประกอบการควบคุมแหล่งจ่ายแรงดัน

มอสเฟตแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ มอสเฟตแบบดีพลีชัน (Depletion MOSFET) และมอสเฟตแบบเอนฮานซ์เมนต์ (Enhancement MOSFET) แต่ละชนิดแบ่งได้เป็น พีมอส (PMOS) และเอ็นมอส (NMOS) ซึ่งจะกล่าวถึงส่วนประกอบดังในรูป 2.23 จะมีสารเอ็นอยู่ 2 บริเวณที่มาคือเป็นขาคัท (Gate) วางอยู่ในแท่ง ที่ต่อออกเป็นขา เดรน (Drain) และ ซอส (Source) ส่วนช่องที่อยู่ระหว่างสารเอ็นเรียกว่า แชนแนล (Channel) จะถูกเคลือบด้วยแผ่นบางๆ ของชั้นซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide layer) และเกตจะสร้างโดยชั้นโลหะวางบนชั้นของออกไซด์

ดังนั้นลักษณะภายนอกของมอสเฟตจึงมีสามขา คือ ขาเกท ขาเดรน และ ขาซอร์ส และเขียนสัญลักษณ์ได้ดังรูปที่ 2.20

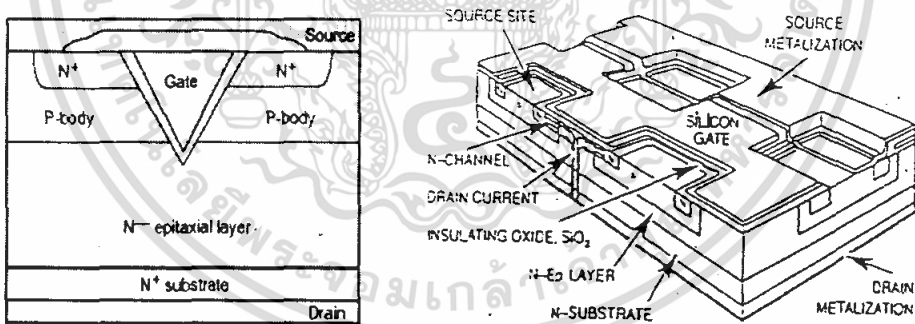


รูปที่ 2.20 ก) ลักษณะ โครงสร้างของมอสเฟตแบบคิฟลิชั้นทั้งเอ็นและพี
 ข) ลักษณะ โครงสร้างของมอสเฟตแบบเอนฮานซ์เมนต์ทั้งเอ็นแลพี

2. โครงสร้าง

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

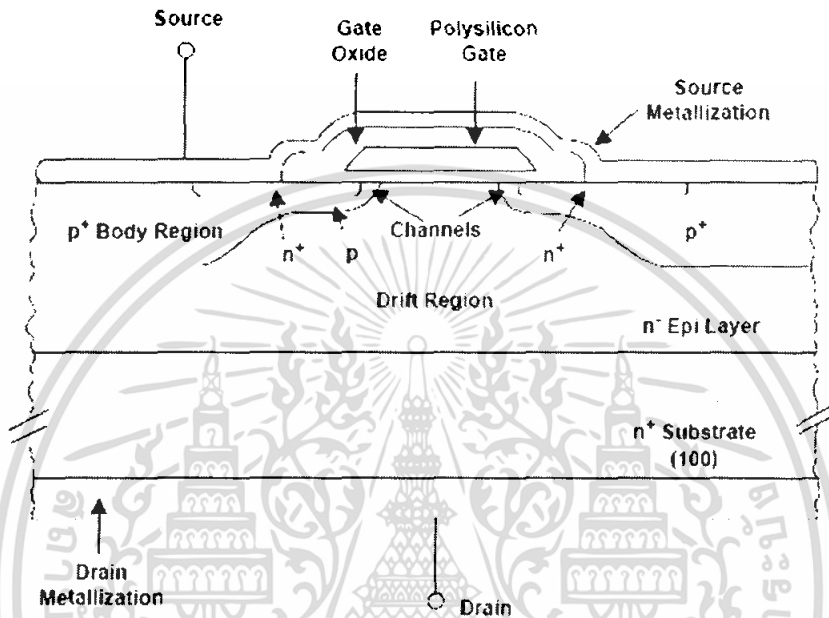
สำหรับขาเกรนของมอสเฟตนั้นจะฉาบอะลูมิเนียมที่ N^+ และ N^- ส่วนขาซอสจะฉาบอะลูมิเนียมลงบนชั้นของ P และ N^+ ได้จากการแพร่กระจาย จากลักษณะการทำซอสดังกล่าวทำให้เกิดเป็นไดโอดต่อกับซอสและคาโทด คือ ชั้น N^+ และ N^- ต่อกับเกรน ในรูปที่ 2.21 (ข) ในสภาวะปรกติถ้าเราให้แรงดันของเกรนเป็นบวกเมื่อเทียบกับซอสแล้ว มอสเฟตจะไม่สามารถนำกระแสได้เนื่องจากชั้น N^- และ P จะถูกไปอ็อกไซด์ แต่ถ้าเราให้แรงดันบวกระหว่างเกตกับซอสแรงดันบวกจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนมาออกันที่ชั้น P ภายใต้เกตเกิดเป็นเอ็นแชนแนล เชื่อมระหว่าง N^+ และ N^- เกิดเป็นกระแสที่ไหลจากเกรนไปยังซอสเนื่องจากการนำกระแสของมอสเฟตชนิดนี้เกิดจากการไหลของอิเล็กตรอนผ่านเอ็นแชนแนล ที่ทำงานในมอสเฟตโหมดเอนฮานซ์เมนต์ ตัวเล็กๆ แต่ละตัวสามารถทำงานได้อย่างอิสระ แต่มอสเฟตเหล่านี้จะถูกต่อขนานกันโดยการฉาบอะลูมิเนียมที่ซอส



รูปที่ 2.21 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของมอสเฟต

3. การทำงานของมอสเฟต

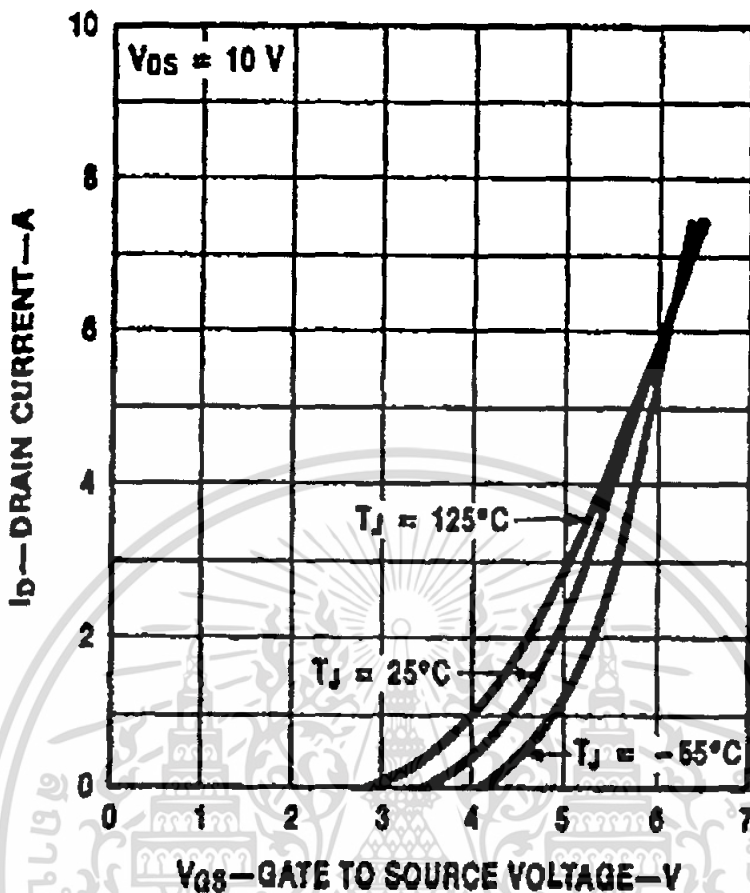
เมื่อป้อนแรงดันให้มีศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสม Polysilicon gate จะเหนี่ยวนำชั้นตรงกันข้ามของ diffuse channel region ซึ่งแสดงโดย r_{ch} ในรูปที่ 2.22 จะทำให้กระแสไหลจากเดรนไปยังซอสสำหรับ แรงดันค่าน้อยๆที่ป้อนให้เดรนและซอส กระแสเดรนจะเพิ่มขึ้นอย่างลิเนียร์เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น กระแส เดรนจะอิ่มตัวเป็นสัดส่วนกำลังสองของแรงดันเกตกับซอส



รูปที่ 2.22 การทำงานของมอสเฟต

4. พารามิเตอร์ของเพาเวอร์มอสเฟต

ค่าความจุไอออนย้าย เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญของเพาเวอร์มอสเฟต เมื่อทำงานในสภาวะแอกทีฟโดยนิยามว่าเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสเดรนเทียบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเกต ($g_{rx} = diD / dVGS$) ค่าความนำไอออนย้ายจะเปลี่ยนแปลงตามสภาวะการทำงานดังรูปที่ 2.23



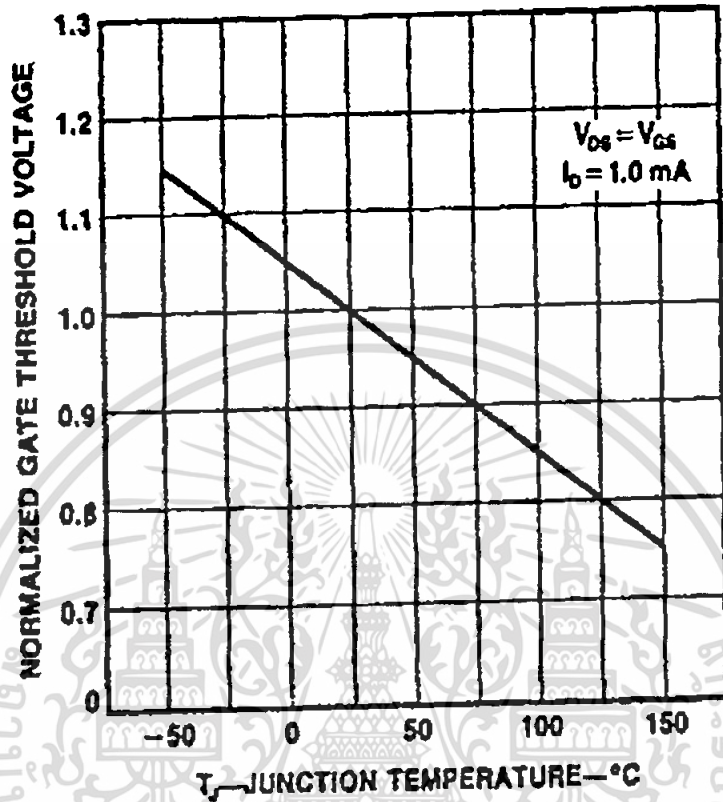
รูปที่ 2.23 กราฟคุณสมบัติของมอสเฟตเบอร์ MTP 5N40

สำหรับการทำงานเป็นสวิตช์ซึ่งจะทำงานระหว่างสภาวะเปิด (On) และปิด (off) ค่าความนำตอนสภาวะเปิดจะไม่ถูกนำมาใช้เนื่องจากมอสเฟตนำกระแสเต็มที่ จะทำงานในช่วงโอห์มมิก เมื่อแรงดันเกตมีค่าสูงในช่วงการทำงานนี้ การเพิ่มแรงดันเกตจะมีผลน้อยมากต่อกระแสทราน

5. แรงดันขีดเริ่ม (Thresdhold voltage; $V_{CH(th)}$)

แรงดันขีดเริ่ม คือแรงดันเกตต่ำสุดที่ทำให้กระแสทรานเริ่มไหล โดยทั่วไปจะกำหนดค่าแรงดันขีดเริ่มที่ 1 A ในทางปฏิบัติผู้ออกแบบสามารถควบคุมค่าของแรงดันขีดเริ่มมีค่าที่ต่ำ ทำให้ความเร็วในการสวิตช์สูงขึ้นเพราะว่ากระแสน้อย ๆ เพิ่มประจุให้ตัวเก็บประจุแผ่นด้านอินพุท แต่ถ้าแรงดันขีดเริ่มมีค่าต่ำเกินไปจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวน สามารถจุดมอสเฟตได้เช่นเดียวกับแรงดันทรานเซียนท์ (Transient Voltage) สามารถส่งผ่านไปยังเกตได้ซึ่งทำให้มอสเฟตนำกระแสได้เอง แรงดันขีดเริ่มจะมีค่าไม่คงที่ ซึ่งจะไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของรอยต่อ (Junction temperature) จากรูปที่ 2.24

จะพบว่ามอสเฟรมีสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิเป็นลบ (Negative temperature coefficient)



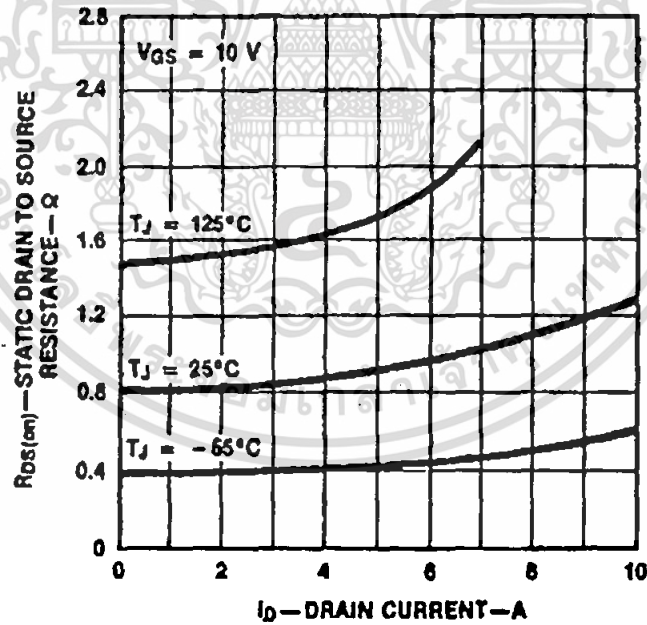
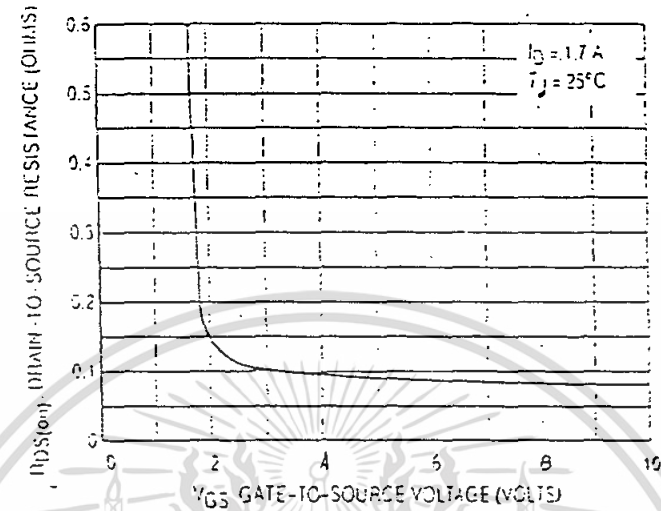
รูปที่ 2.24 กราฟแรงดันขีดเริ่มแปรไปตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

6. ความต้านทานขณะนำกระแส (On-resistance; $r_{DS(on)}$)

ค่าความต้านทานขณะนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟรมมีความสำคัญ เนื่องจากเป็นตัวกำหนดปริมาณกระแสที่จะไหลผ่านเพาเวอร์มอสเฟต โดยไม่ทำให้เกิดการแพร่กระจายกำลัง (Power dissipation) ที่มากเกินไปเมื่อมีการสวิตช์จากสถานะไม่นำกระแสไปสู่สถานะนำกระแส ซึ่งค่าความต้านทานขณะนำกระแสจะลดลง จากที่มีค่าสูงมากไปสู่ค่าที่ต่ำมาก ในการลดค่าความต้านทานขณะนำกระแสให้มีค่าต่ำสุดนั้นจะต้องให้ค่าแรงดันเกตมีค่าต่ำพอที่จะทำให้ค่ากระแสเดรนมีมากพอที่จะทำให้มอสเฟตทำงานในช่วงโอห์มมิก

จากรูป 2.25 (ก) แสดงให้เห็นการเพิ่มแรงดันเกตกับซอส ให้มีค่ามากกว่า 2 โวลต์ จะไม่มีผลทำให้ค่าความต้านทานขณะนำกระแสลดลง และการเพิ่มแรงดันเกตกับซอสให้มีค่าสูงขึ้นทำให้แรงดันสไปค์ (Spike) การเพิ่มแรงดันเกตกับซอสมากเกินไปจะเพิ่มเวลาในช่วงเริ่มหยุดนำกระแส (Turn off time) เนื่องจากมีประจุในตัวเก็บประจุด้านอินพุตมากเกินไป และจากรูปที่ 2.28 (ข) จะ

พบว่าเมื่อกระแส Drain สูงขึ้นค่าของความต้านทานขั้วนำกระแสจะสูงขึ้นด้วย ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ชี้ให้เห็นว่า พารามิเตอร์ตัวอื่นก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเช่นเดียวกัน อันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานขั้วนำกระแส



รูปที่ 2.25 กราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานขั้วนำกระแส

7. ตัวเก็บประจุในมอสเฟต

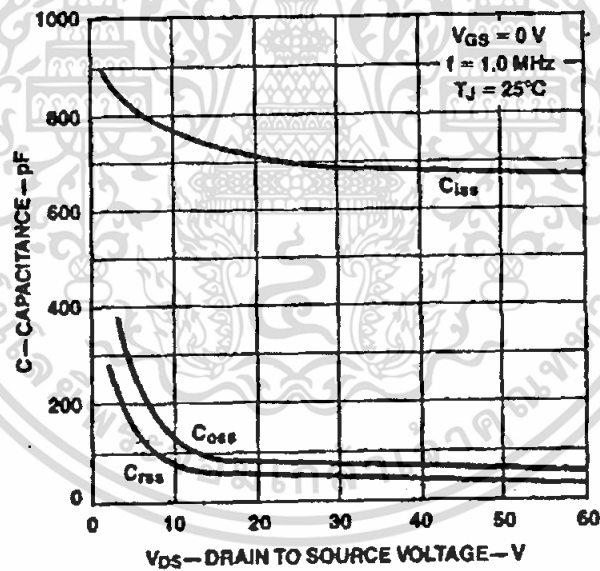
จากโครงสร้างของตัวมอสเฟตจะทำให้เกิดตัวเก็บประจุระหว่างขั้วโลหะของเดรนและซอสกับเกตซึ่งเป็น Polision จะทำให้ตัวเก็บประจุระหว่างเดรนกับเกต C_{gd} และเกตกับซอส C_{gs} และหัวต่อ P - N ระหว่างเดรนกับซอส จะทำให้เกิดตัวเก็บประจุด้านขาเข้า (Common source input capacitance; C_{rss}) และตัวเก็บประจุโอนย้ายกลับ โดยที่

$$C_{iss} = C_{gd} + C_{gs} \tag{2-2}$$

$$C_{oss} = C_{gs} + C_{ds} \tag{2-3}$$

$$C_{rss} = C_{gd} \tag{2-4}$$

ตัวเก็บประจุเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงระหว่างเดรนกับซอส แรงดันระหว่างเดรนกับซอส โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่แรงดันระหว่างเดรนกับซอสมีค่าต่ำๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.29 แต่ตัวเก็บประจุเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีน้อยมาก



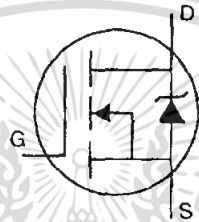
รูปที่ 2.26 กราฟค่าตัวเก็บประจุกับแรงดันเดรนซอส

การใช้งานมอสเฟตค่า C_{iss} จะเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญซึ่งตัวเก็บประจุจะถูกอัดประจุและคายประจุโดยวงจรขับ (Drive circuit) ซึ่งมีผลต่อการสวิตช์ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของวงจรขับจะมีอย่างมากในการสวิตช์ การเปลี่ยนแปลงจะมีผลกระทบเล็กน้อยต่อค่าประจุต่างๆ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลเล็กน้อยต่อค่าเวลาในการสวิตช์ของมอสเฟต

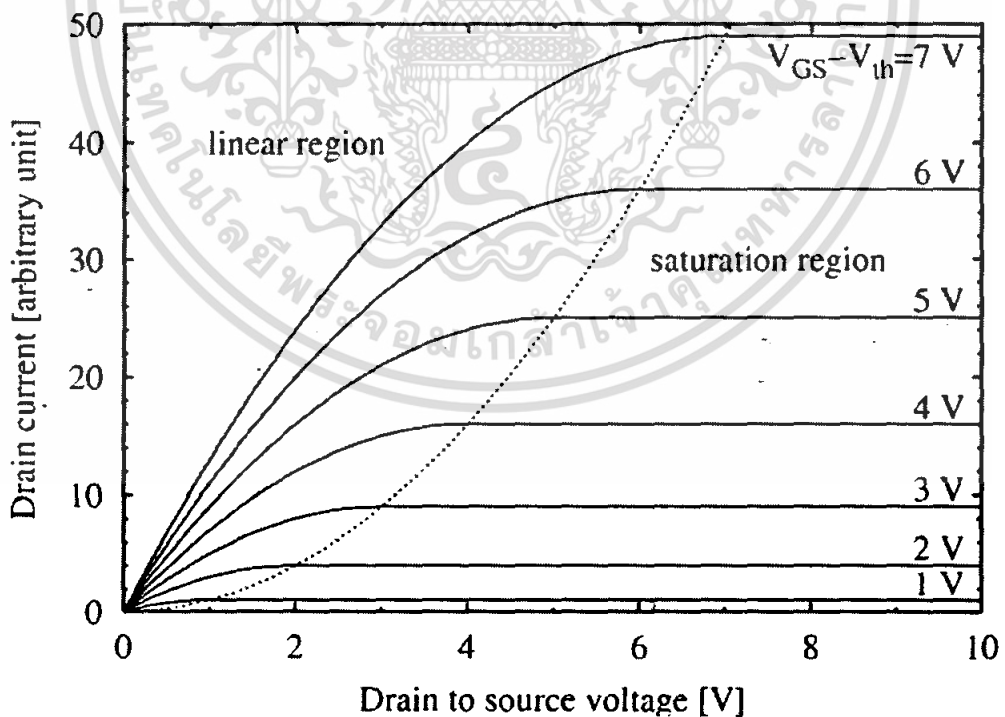
8. ไดโอดระหว่างเดรนกับซอส

ในตัวพาเวอ์รโมสเฟตทุกตัวจะมีไดโอดแอบแฝงอยู่ระหว่างเดรนกับซอส 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 สัญลักษณ์มอสเฟตที่รวมเดรนกับซอสเข้าด้วยกัน



รูปที่ 2.28 กราฟกระแสเดรนกับแรงดันเดรนซอส

9. การขั้บเกทของมอสเฟท

ลักษณะสมบัติทางด้านขาเข้าของมอสเฟทนั้นจะมีความแตกต่างกับคุณสมบัติทางด้านขาเข้าของบีเจที กล่าวคือกระแสขาออกของบีเจที (BJT) จะควบคุมด้วยกระแสส่วนกระแสออกของมอสเฟทจะถูกควบคุมด้วยแรงดันของเกท นอกจากนั้นแล้วความต้านทานทางด้านขาเข้าของมอสเฟทจะมีค่าสูงมาก คือ อยู่ในช่วงจิกกะโอห์ม (Giga ohms) ซึ่งทำให้กระแสมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับบีเจทีขนาดเดียวกัน ดังนั้นการควบคุมมอสเฟทจึงใช้กำลังต่ำกว่าบีเจทีมาก คุณสมบัตินี้นับว่าเป็นข้อได้เปรียบของ มอสเฟท เมื่อเทียบกับบีเจที

ในสภาวะอยู่ตัวนั้นกระแสที่ใช้ในการขั้บมอสเฟทจะมีค่าน้อยมาก คือ อยู่ในช่วงนาโนแอมแปร์ (Nanoampers) เนื่องจากความต้านทานขาเข้าของมอสเฟทมีค่าสูงขึ้นถึงจิกกะโอห์ม ซึ่งทำให้ดูเหมือนว่าเราสามารถขั้บเกทของเพาเวอร์มอสเฟทได้ โดยวงจรที่สามารถจ่ายกระแสออกได้เป็นนาโนแอมป์แต่ในความจริงแล้ว การนำกระแสหรือหยุดนำกระแสเพาเวอร์มอสเฟทนั้นเราจะต้อง ชาร์จ หรือ ดิสชาร์จ ตัวเก็บประจุด้านขาเข้าของเพาเวอร์มอสเฟทคือ C_{iss} หรือ C_{oss} จากแรงดันระดับหนึ่งไปสู่แรงดันอีกระดับหนึ่ง ซึ่งความเร็วในการนำกระแสด้านขาเข้าของเพาเวอร์มอสเฟท ถ้าเราต้องการให้การสวิตช์ของมอสเฟทเป็นไปอย่างรวดเร็ว จะต้องใช้วงจรขั้บที่มีความต้านทานขาออกต่ำที่สามารถจ่ายหรือรับกระแสในคอนสวิตช์ได้สูง ทั้งนี้ความเร็วของการสวิตช์ของมอสเฟทจะลดลงตามความต้านทานขาออกของวงจรขั้บเกท

เนื่องจากเกทของมอสเฟทจะถูกแยกออกจากช่องนำกระแสด้วยชั้นบางๆ ของซิลิกอน ซึ่งถ้าแรงดันระหว่างเกทกับซอสมีค่าสูงเกินไป อาจทำให้ฉนวนนั้นทะลุและทำให้มอสเฟทเสียหายได้ ดังนั้นผู้ผลิตจะบอกแรงดันสูงสุดระหว่างเกทกับซอสของมอสเฟทมาให้ โดยทั่วไปจะมีค่าที่ 20 โวลต์ และในวงจรขั้บเกทโดยทั่วไปจะมีการจำกัดแรงดันเกทกับซอสโดยใช้ซีเนอร์ไดโอด (Zener diode) ขนาด 20 โวลต์ สองตัวมาต่ออนุกรมกันโดยต่ออาโนดกับคาโทดเข้าด้วยกันและต่อคร่อมเกทกับซอสเพื่อจำกัดแรงดันคั้บเกทกับซอสไม่ให้เกิน 20 โวลต์ นอกจากนี้แล้วบางครั้งจะมีการต่อคร่อมความต้านทานเชื่อมระหว่างเกทกับซอสเพื่อป้องกันการนำกระแสของมอสเฟทโดยไม่เจตนา ทั้งนี้เราเปิดวงจรเอาไว้ตัวเก็บประจุด้านขาเข้าอาจถูกชาร์จโดยกระแสรั่วไหล (Leakage current) ทำให้แรงดันเกทกับซอสมีค่าสูงกว่าแรงดันขีดเริ่ม ซึ่งทำให้มอสเฟทนำกระแสได้ ความต้านทานระหว่างเกทกับซอสจะเป็นทางผ่านของกระแสรั่วไหล และรักษาไม่ให้แรงดันเกทกับซอสสูงกว่าแรงดันขีดเริ่ม

10. ลักษณะสมบัติการสวิตช์มอสเฟท

เนื่องจากพาหะข้างมาก (Majority carrier) จึงทำให้ไม่มี Storage time ในตอนหยุดนำกระแส ดังนั้นความเร็วในการสวิตช์ของมอสเฟทจึงสูงกว่าความเร็วในการสวิตช์ของบีเจทีมาก แต่อย่างไรก็ดีการเปลี่ยนแปลงแรงดันเกทกับซอส และแรงดันเดรนกับซอส ยังต้องใช้เวลาในการ

ชาร์จหรือดิสชาร์จ ตัวเก็บประจุที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นเวลาในการสวิตช์ของมอสเฟตขึ้นอยู่กับกระแสที่ใช้นั่นเอง ในรูปที่ 2.32 แสดงรูปคลื่นของกระแสเกต แรงดันเกตกับซอส กระแสเดรนและแรงดันเดรนกับซอส ในระหว่างการนำกระแสและหยุดนำกระแสของมอสเฟต ซึ่งเราสามารถแบ่งช่วงเวลาออกได้ตามสภาพการประจุของตัวเก็บประจุด้านขาเข้าได้ดังนี้

ในระหว่างการนำกระแส แบ่งเป็น 4 ช่วงดังนี้

T_1 คือช่วงเวลาที่ C_{iss} ถูกชาร์จจนกระทั่งมีแรงดันเท่ากับแรงดันขีดเริ่ม มอสเฟตจะยังอยู่ในสภาพปิดกั้นกระแส T_1 จะมีค่าเท่ากับช่วงเวลากำหนดการนำกระแส (Turn on delay time; t_d (on)) คือ นับเวลาจากที่แรงดันเกตกับซอสมีค่าประมาณ 10 % ของค่าสูงสุด ถึงเวลาที่แรงดันเดรนกับซอสลดลง 10 % ของแรงดันในสภาวะหยุดกระแส

T_2 คือช่วงเวลาที่มอสเฟตเริ่มนำกระแสและแรงดันเกตกับซอสลดลงอย่างรวดเร็ว C_{iss} จะมีค่าน้อยในช่วงนี้ แรงดันเกตมีค่าค่อนข้างคงที่ T_2 มีค่าประมาณเท่าค่าเวลาได้ขึ้น (Rise time; t_r)

T_3 คือเวลาที่แรงดันเกตกับซอสและความต้านทานขณะนำกระแสลดลงอย่างช้าๆ กระแสเดรนจะมีค่าใกล้เคียงค่าสูงสุด และกำลังสูญเสียยังคงมีค่ามากเนื่องจากแรงดันเดรนกับซอสมีค่ามากกว่าแรงดันเดรนกับซอสขณะนำกระแสมาก ในช่วงเวลานี้ C_{iss} จะมีค่าสูงสุดและจะถูกชาร์จให้มีแรงดันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

T_4 คือช่วงที่มอสเฟตนำกระแสเกือบเต็มที่ แต่ C_{iss} ยังคงถูกชาร์จจนกระทั่งแรงดันเดรนกับซอสมีค่าเท่ากับแรงดันเดรนกับซอสต่ำสุด และกระแสจะลดลงจนมีค่าเล็กน้อยในระหว่างการหยุดนำกระแส

ในช่วงหยุดนำกระแส แบ่งได้ 4 ช่วงคือ

T_5 คือช่วงมอสเฟตยังคงนำกระแสเต็มที่ ประจุส่วนเกินใน C_{iss} ถูกดิสชาร์จแล้ว

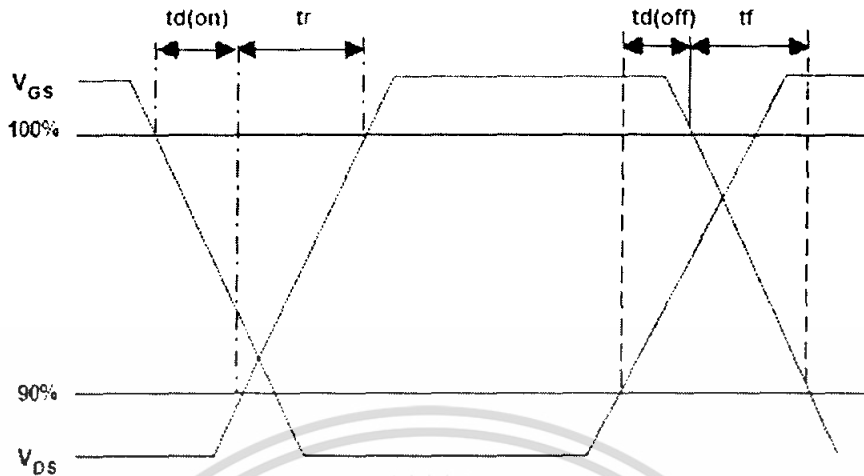
T_6 คือช่วงที่แรงดันเดรนกับซอสเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ กระแสเดรนลดลงเล็กน้อย C_{iss} จะมีค่าสูงและถูกดิสชาร์จให้แรงดันลดลงอย่างช้าๆ

T_7 คือช่วงที่แรงดันเดรนกับซอสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมอสเฟตเริ่มเปลี่ยนแปลงไปสู่สถานะ หยุดนำกระแส เมื่อแรงดันเกตกับซอส กระแสเดรน และ C_{iss} มีค่าลดลง

T_8 คือช่วงที่มอสเฟตหยุดนำกระแสแต่ C_{iss} ยังถูกดิสชาร์จต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งแรงดันเป็นศูนย์

Turn off time delay (t_d (off)) จะมีค่าปรากฏใน $T_5 + T_6$ และช่วงเวลาหยุดนำกระแสจะมีค่าประมาณ T_7

ในการสวิตช์มอสเฟตนั้นเราให้ค่าจำกัดความของเวลานำกระแส และเวลาหยุดนำกระแสเช่นเดียวกันกับในกรณีของ BJT



รูปที่ 2.29 การสวิทช์ของมอสเฟตทั้งระหว่างนำกระแสและหยุดนำกระแส

11. ข้อพิจารณาในการเลือกใช้งานเพาเวอร์มอสเฟต

สำหรับเพาเวอร์มอสเฟต การเกิด Secondary breakdown เช่น ใน BJT จะไม่เกิดขึ้นเพราะค่าความต้านทานระหว่างครีกับซอสขณะนำกระแสจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสที่ไหลผ่านมีค่าน้อย ต่างจากกรณีของ BJT ขณะเกิด Secondary breakdown เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นกระแสจะมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะเกิดการเสียหายได้อย่างรวดเร็ว เพาเวอร์มอสเฟตจึงมีพิภคความปลอดภัยในกราฟ SOA กว้างกว่าเมื่อเทียบกับ BJT และเนื่องจากเพาเวอร์มอสเฟตไม่มีการเกิด Secondary breakdown อัตราการทนกำลังสูญเสียสูงสุดของมันจะถูกจำกัดด้วยค่าความร้อนที่เกิดขึ้นที่รอยต่อภายในตัวมันเท่านั้น

11.1 พิกัดความปลอดภัยฟอร์เวิร์ดไบอัส (Forward Bias Operating Area; FBSOA)

แบ่งออกได้ 4 ลักษณะคือ

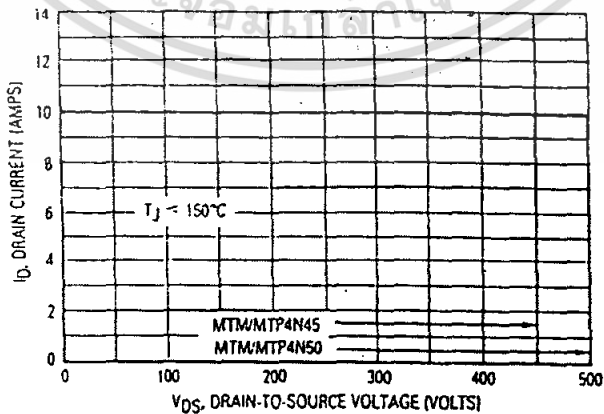
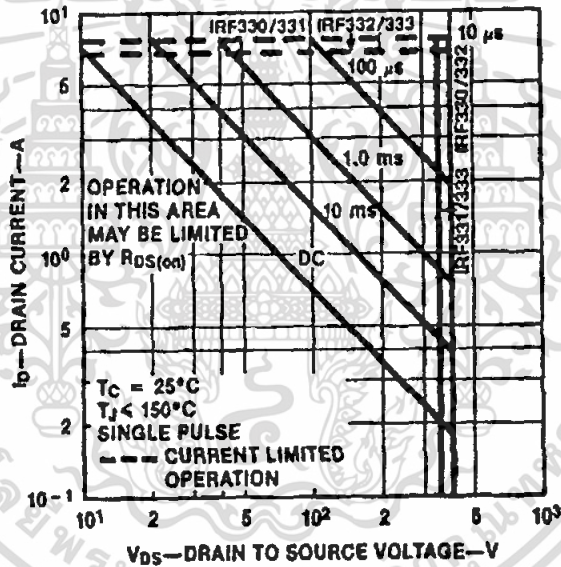
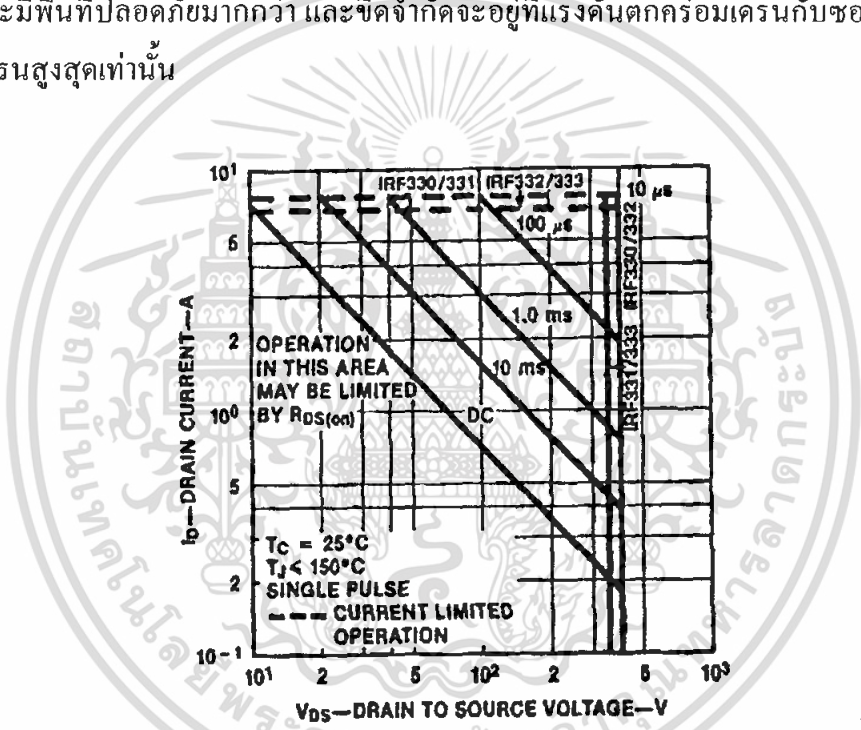
1. ข้อจำกัดแรงดันครีคร่อมครีและซอสสูงสุดที่สามารถทนได้ (Maximum Drain Source Voltage)
2. ค่ากระแสครีสูงสุดที่สามารถไหลผ่านได้ และไม่ทำให้โครงสร้างภายนอกเสียหาย (Thermal Limit)
3. ข้อจำกัดเนื่องจากความต้านทานขณะนำกระแส
4. ข้อจำกัดการระบายความร้อนของตัวถัง (Package Limit)

ตัวอย่างกราฟ FBSOA แสดงไว้ในรูปที่ 2.30 การระวังไม่ให้เกิดเงื่อนไขที่ทำให้เพาเวอร์มอสเฟตทำงานเกินพิกัดของกราฟ FBSOA เป็นสิ่งสำคัญ ต้องให้ความสนใจก่อนนำมาใช้งานทุกครั้ง

11.2 พิกัดความปลอดภัยสวิทช์ของเพาเวอร์มอสเฟต (Switching Safe Operating Area; SSOA)

SSOA เป็นกราฟแสดงพิกัดกระแสและแรงดันที่ใช้งานที่ปลอดภัยของเพาเวอร์มอสเฟตขณะเปลี่ยนสถานะ การใช้ SSOA สามารถใช้พิจารณาพิกัดความปลอดภัยทั้งในช่วงนำกระแสและหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

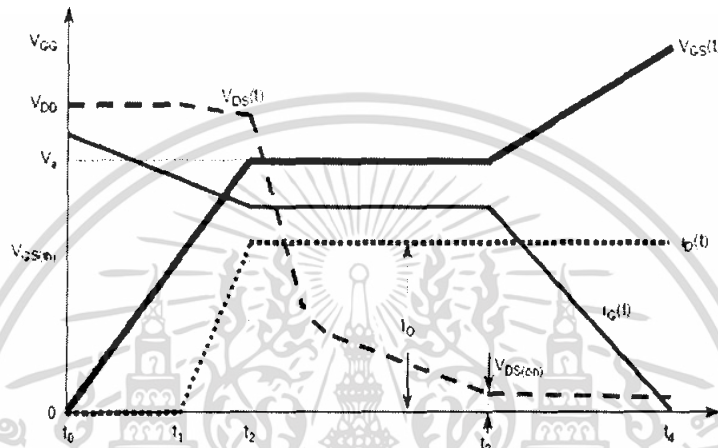
ตัวอย่างกราฟ SSOA แสดงไว้ในรูปที่ 2.23 ข) เมื่อเทียบกับ RBSOA ของ BJT จะเห็นว่า SSOA จะมีพื้นที่ปลอดภัยมากกว่า และขีดจำกัดจะอยู่ที่แรงดันตกคร่อมเดรนกับซอสสูงสุดและกระแสเดรนสูงสุดเท่านั้น



รูปที่ 2.30 กราฟ FBSOA และ RBSOA

12. กำลังงานสูญเสียในรูปความร้อนของเพาเวอร์มอสเฟต

กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในเพาเวอร์มอสเฟตในขณะที่ทำงานจะเป็นไปได้ 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 และเนื่องจากเวลาขณะเริ่มนำกระแสและเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตมีค่าใกล้เคียงกัน จึงต้องนำมาคิดทั้งสองช่วงเวลาด้วย ดังนั้นกำลังงานสูญเสียของเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงาน (P_o) เมื่อ

$P_{SW(ON)}$ คือ กำลังสูญเสียขณะเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

$P_{SW(OFF)}$ คือ กำลังสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

P_C คือ กำลังสูญเสียขณะนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

$I_{PK(ON)}$ คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มนำกระแส

$I_{PK(OFF)}$ คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มหยุดนำกระแส

I_{Drms} คือ ค่ากระแส rms ที่ไหลผ่านเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงาน

$R_{DS(on)}$ คือ ค่าความต้านทานระหว่างเดรนกับซอส ที่อุณหภูมิรอยต่อสูงสุดขณะ

ทำงานของเพาเวอร์มอสเฟต

t_r คือ ช่วงเวลาเริ่มนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

t_f คือ ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

13. ข้อได้เปรียบจากการใช้เพาเวอร์มอสเฟต

ด้านความเร็ว

เพาเวอร์มอสเฟตมีความสามารถในการสวิตช์ด้วยความเร็ว โดยปราศจากประจุสะสม จึงไม่คิดเวลาสะสมมากทำให้ขนาดและน้ำหนักเบาทำให้เพาเวอร์มอสเฟตมีความเร็วมากกว่าทรานซิสเตอร์ สวิตช์ซึ่งมาก ความเร็วของมอสเฟตนั้น ขึ้นอยู่กับการอัดและคายประจุของการเก็บประจุของมอสเฟตเองโดยไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

ลักษณะของอินพุต

ขาเกตของมอสเฟตนั้นจะถูกแยกจากแหล่งจ่ายด้วยชั้นออกไซด์ที่ทำให้เกิดความต้านทานกระตกรประมาณ 40 เมกกะ โอห์ม มอสเฟตจะถูกไบอัสด้วยแรงดัน 20 โวลต์ ด้วยแรงดันขนาดนี้จึงสามารถขับมอสเฟตได้ด้วยไอซีซีมอส หรือ TTL ได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงกระแสของโหลด ทำให้ลดความยุ่งยากของวงจรขับ ทำให้ประหยัดยิ่งขึ้น

ย่านทำงานปลอดภัย

การใช้งานเกินพิกัดอาจทำให้มอสเฟตพังได้ แต่สำหรับเพาเวอร์มอสเฟตแล้วบางที่อาจไม่ต้องใช้วงจรสับเบอร์ก็ได้ หรือใช้ค่าตัวเก็บประจุน้อยๆ ก็ได้ ขอบเขตของย่านปลอดภัยจะกำหนดด้วยพิกัดกระแสสูงสุด แรงดันเบรคดาวน์ และความจุของอุปกรณ์ ขอบเขตย่านความปลอดภัยจะกว้างเนื่องจากจะไม่คิด Secondary breakdown

แรงดัน

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

สัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิในตัวมอสเฟตสูงขึ้น กระแสเดรนจะมีค่าลดลง ดังนั้นการทำงานของมอสเฟตจึงไม่มีเหตุเกิดขึ้นเนื่องจากการเพิ่ม Thermal runaway ของอุณหภูมิ

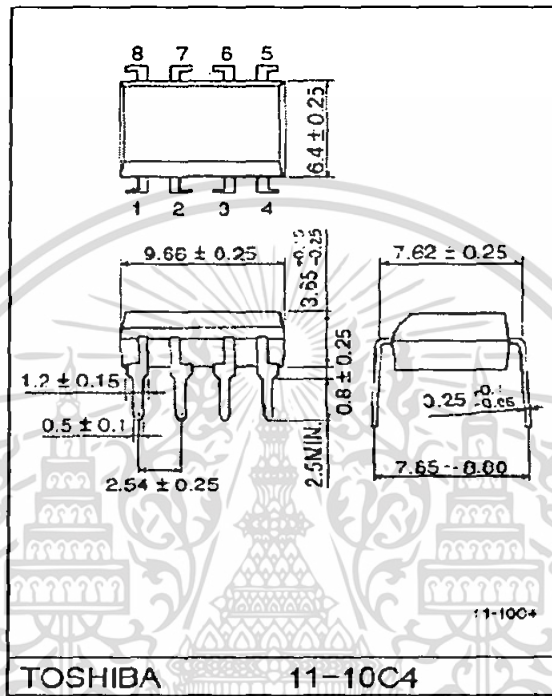
เพิ่มกำลังได้

สามารถเพิ่มกำลังของการสวิตช์ซึ่งได้โดยการนำมอสเฟตมาต่อกันหลายๆ ตัว

อย่างไรก็ตาม มอสเฟตก็มีข้อเสียเหมือนกัน คือ ค่าความต้านทานขณะนำกระแสของมอสเฟต จะสูงกว่า BJT ดังนั้นการใช้งานที่ความถี่ต่ำ ซึ่งความสูญเสียขณะนำกระแสในอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งกำลังเป็นสิ่งสำคัญ จึงไม่ควรใช้เพาเวอร์มอสเฟต

2.4.4 Optoisolator

มีหน้าที่แยกกราวด์ทางด้านของส่วน Signal กับด้านของ Driving circuit ออกจากกัน เนื่องจากอาจก่อให้เกิดอันตรายทางไฟฟ้ากับผู้ใช้ในกรณีที่เกิดข้อบกพร่องที่ตัวอุปกรณ์ Optoisolator จะส่งสัญญาณโดยใช้แสงเป็นตัวเชื่อม ซึ่งเป็นการแยกจากกันทางไฟฟ้าของวงจรได้อย่างสิ้นเชิงนอกจากนี้ยังเป็นการรบกวนสัญญาณระหว่าง Signal กับ Driving circuit โดย Optoisolator ที่ใช้เป็นเบอร์ TLP250



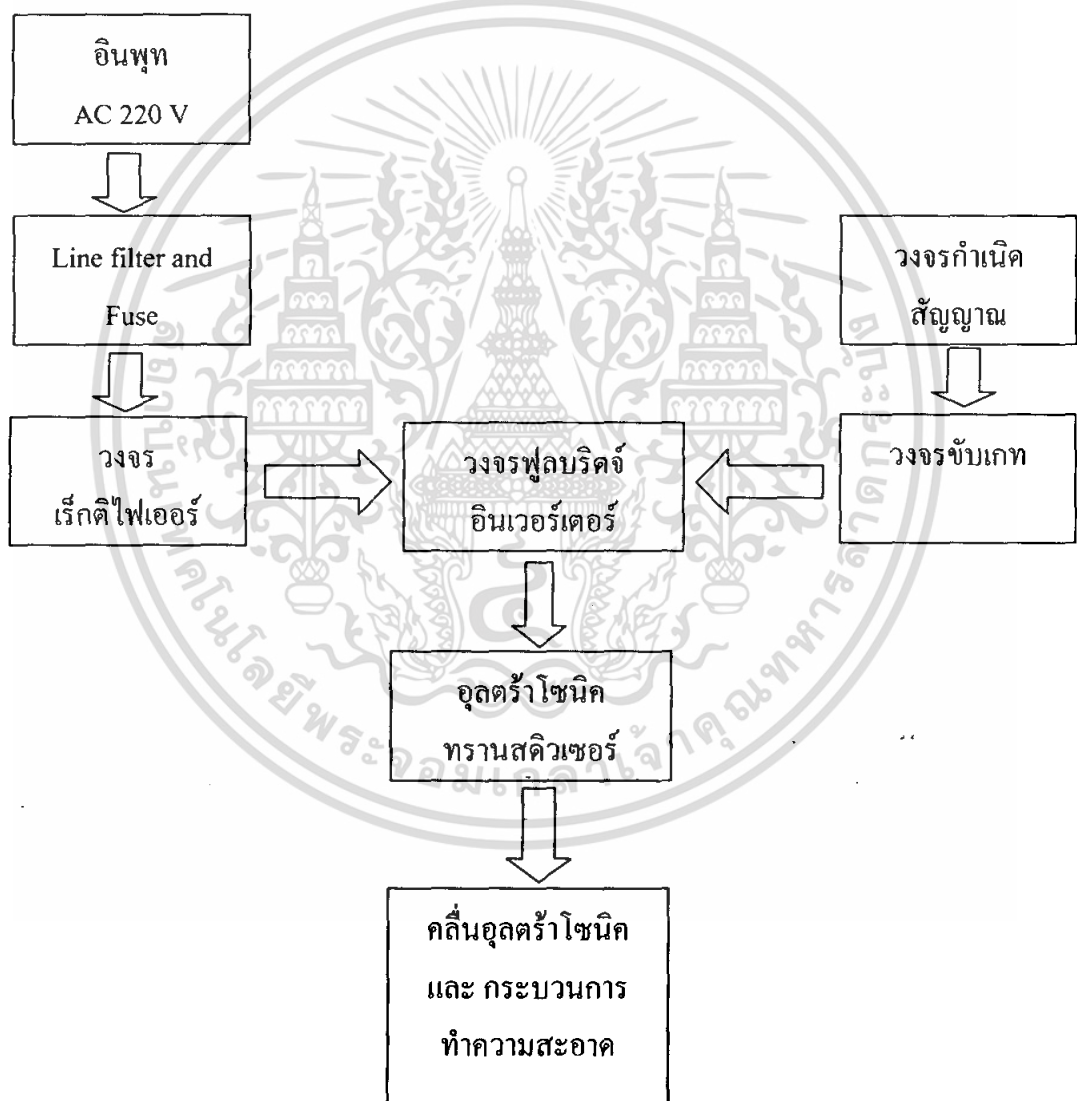
รูปที่ 2.32 ลักษณะทั่วไปของ Optoisolator

บทที่ 3

เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิค

3.1 หลักการของโครงการ

ในบทนี้จะบอกถึงส่วนประกอบต่างๆของเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิคโดยจะมีหลักการการคำนวณ และการออกแบบ ให้ได้คลื่นอุลตราโซนิคที่มีกำลังงานสูงสามารถทำความสะอาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะมีรายละเอียดของการออกแบบโครงการดังต่อไปนี้



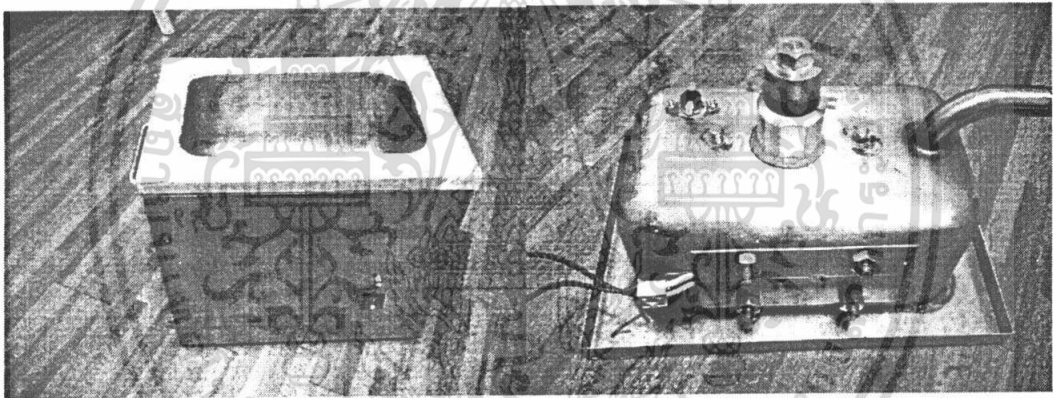
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิค

จากรูปที่ 3.1 การสร้างเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นอุลตราโซนิกประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. โครงสร้างที่เป็นตัวถัง
2. วงจรกำเนิดสัญญาณ
3. วงจรขับเคลื่อนของมอสเฟตกำลัง
4. ภาควงจรกำลัง
 - 4.1 เรกติไฟร์เออร์
 - 4.2. วงจรอินเวอร์เตอร์

3.2 โครงสร้างที่เป็นตัวถัง

โครงสร้างตัวถังทำจากสแตนเลส มีช่องว่างสำหรับใส่ถังที่ติดตั้งทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ลงไป ขณะที่ทำการเดินเครื่องทำความสะอาดนี้จะมีการเติมสารละลายที่ใช้ทำความสะอาดลงไปในถัง ส่วนที่มีหัวทรานสดิวเซอร์ติดตั้งอยู่



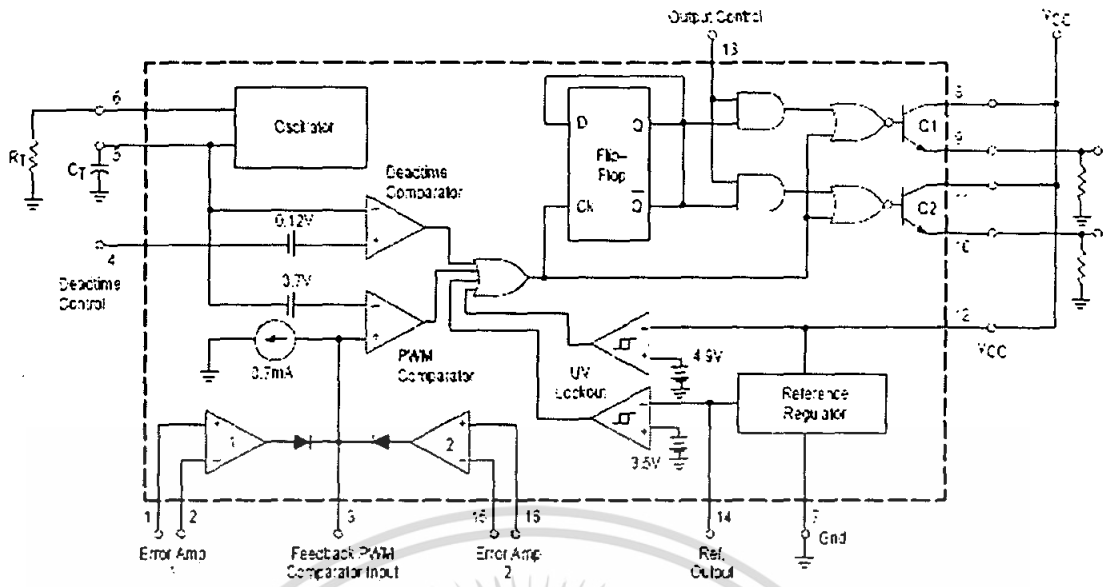
รูปที่ 3.2 โครงสร้างตัวถัง

3.3 วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ 28 kHz

วงจรควบคุมการขับเคลื่อนของมอสเฟตมีหน้าที่ในการทำให้มอสเฟตเป็นสวิทช์ปิดเปิดเพื่อทำให้เกิดความถี่สูงตามที่โหลดต้องการ เนื่องจากวงจรส่วนเพาเวอร์เป็นวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ ดังนั้นจึงต้องสร้างวงจรขึ้นมาขับเคลื่อนมอสเฟตให้ทำงานสลับกัน วงจรที่สร้างสัญญาณพัลส์ใช้ IC เบอร์ TL494 กำเนิดสัญญาณที่ความถี่ 28 kHz ค่าเดดไทม์เท่ากับ 20 %

3.3.1 IC เบอร์ TL494

IC เบอร์ TL494 ออกแบบมาเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ โดยทำงานควบคุมจากโหนดแรงดัน ซึ่งจะได้นำมาสร้างความถี่พัลส์ที่ความถี่ 28 kHz โครงสร้างภายในและการจัดขาของ IC เบอร์ TL494 แสดงในรูปที่ 3.1



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 ซึ่งมีสูตรการคำนวณหา ค่าของ R_T และ C_T ดังนี้

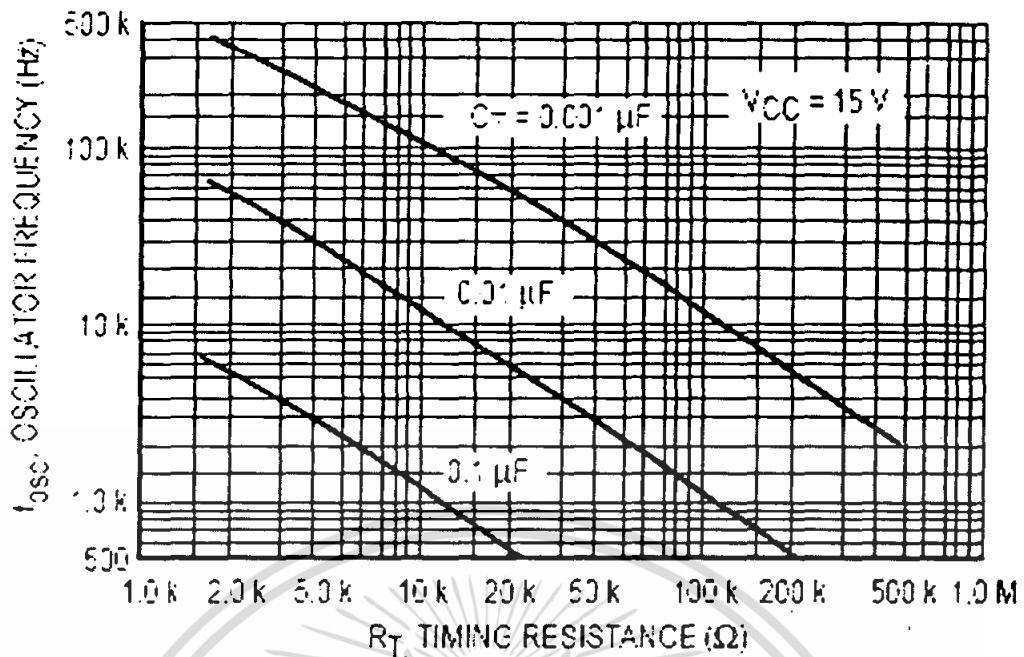
$$T = R_T C_T / 1.1$$

$$F = 1.1 / R_T C_T$$

จะได้

ที่ความถี่ 28 kHz

$$R_T = 3928.57 \quad C_T = 0.01 \mu F$$

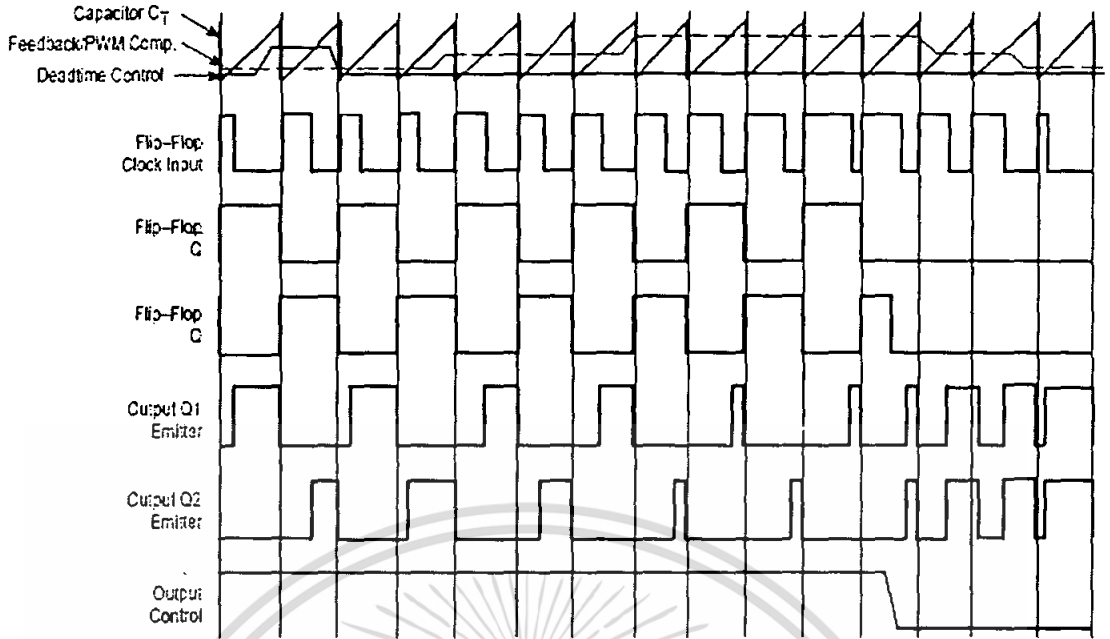


รูปที่ 3.4 กราฟความสัมพันธ์ของค่า R_T , C_T ในการกำหนดความถี่

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_x ของฟลิปฟล็อปอยู่ในสถานะ low เท่านั้น ซึ่ง C_x จะเป็น low ได้ก็ต่อเมื่อแรงดันของสัญญาณฟันรีซมีค่ามากกว่าแรงดันที่ออกมาจากวงจรขยายความต่างทั้ง 2 นั่นคือแรงดันป้อนกลับจากเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ หากมีค่าสูงขึ้นความกว้างเอาต์พุตของ IC จะเพิ่มขึ้น

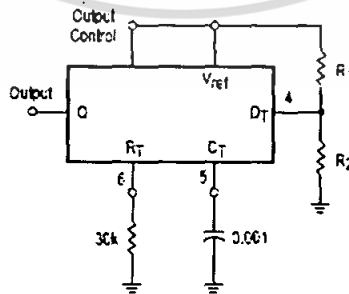
ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของ IC สามารถให้มีค่ามากที่สุดหรือมีค่าเท่ากับศูนย์ได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ขา 3 จาก 0.5-3.5 โวลต์ ส่วนวงจรขยายความแตกต่างทั้ง 2 ตัวจะมีช่วงของอินพุตคอมมอนโหมคตั้งแต่ $-0.3 - (V_{CC} - 2)$ โวลต์ และสามารถใช้ตรวจจับแรงดันหรือกระแสที่เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ได้ วงจรขยายความแตกต่างทั้ง 2 ตัวจะให้เอาต์พุตในลักษณะให้สถานะ High (Active high) โดยต่อกันอยู่ในลักษณะ OR ที่ขา non-inverting ของ PWM comparator การต่อกันในลักษณะนี้วงจรขยายความแตกต่างจะทำให้เกิดความกว้างเอาต์พุตพัลส์ต่ำสุด 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} สูงสุดของอินเวอร์ตที่ได้จากไอซีจะเท่ากับ 48% ของค่าคาบเวลา เมื่อต่อขา 13 (Output control) เข้ากับขา 14 (+5V_{ref}) และมีค่าเท่ากับ 96% ของค่าคาบเวลาเมื่อต่อขาลงกราวด์



$$\text{Max. \% on Time, each output} = 45 - \left(\frac{80}{1 + \frac{R_1}{R_2}} \right)$$

รูปที่ 3.6 วงจรการต่อเคดไทม์

จากสูตร $\% ON = 45 - |80 / (1 + R_1 / R_2)|$

ต้องการ $t_D = 20 \%$ ดังนั้น $\% ON = 40 \%$

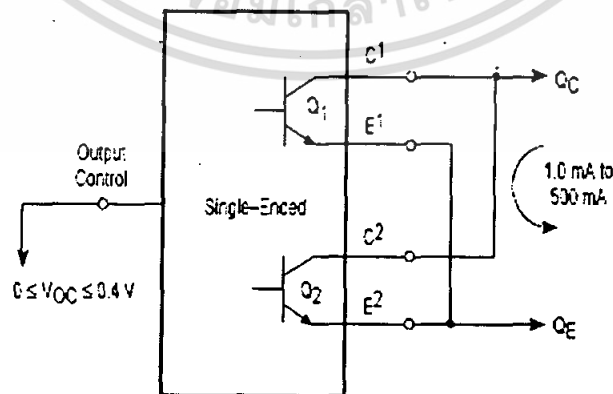
$$R_1 / R_2 = 15$$

ให้ $R_1 = 15 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$

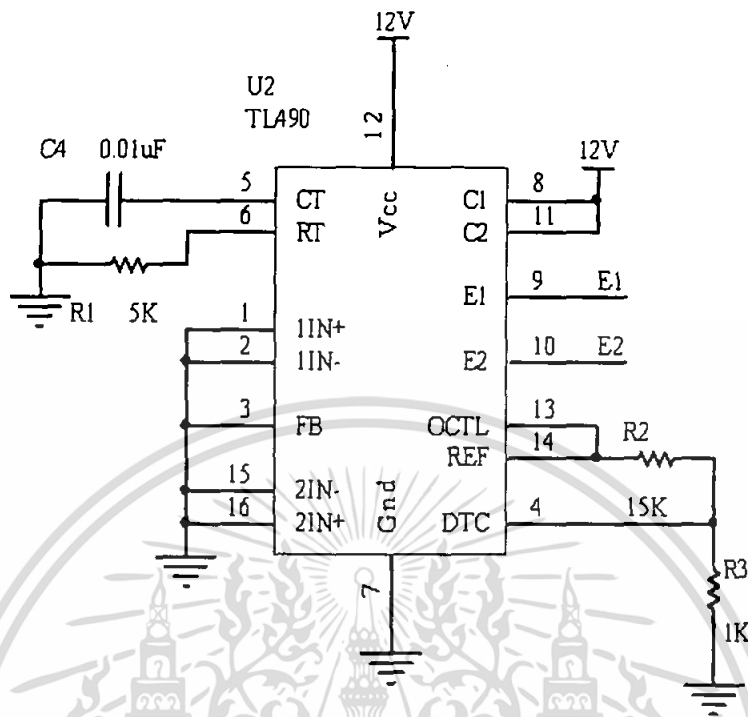
3.3.1.4 การเลือกใช้ Q_1 และ Q_2 ที่เอาต์พุตของไอซี

เอาต์พุต Q_1 และ Q_2 ของไอซีสามารถทำงานได้ 2 โหมด คือ ทำงานพร้อมกัน หรือ ทำงานสลับกันซึ่งสามารถเลือกการทำงานได้ที่ขา 13 (Output control) โดยในขณะที่ C_T ดิสชาร์จ เอาต์พุตของ Dead time Comparator จะให้พัลส์ออกมา C_K จะมีสถานะเป็น High และหยุดการทำงานของ Q_1 และ Q_2 ถ้ากำหนดขา 13 ให้มีสถานะ High โดยการต่อเข้ากับขา 4 ที่ Q_1 และ Q_2 จะสลับการทำงานตามจังหวะของฟลิปฟล็อปเพื่อใช้ขับอินเวอร์เตอร์แบบพหุพูลในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะเป็น 2 เท่าของค่าคาบเวลาของสัญญาณพื้นฐานของไอซี แต่ถ้ากำหนดขา 13 มีสถานะเป็น Low โดยการต่อลงกราวด์ (ยกเลิกฟลิปฟล็อป) Q_1 และ Q_2 จะทำงานพร้อมกันและสามารถขนาน Q_1 และ Q_2 เข้าด้วยกันได้ ถ้าต้องการให้นำกระแสได้มากขึ้น ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะเท่ากับค่าคาบเวลาของสัญญาณพื้นฐานของไอซี (ช่วงนำกระแสสูงสุดเท่ากับ 96 % ของค่าคาบเวลา)

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



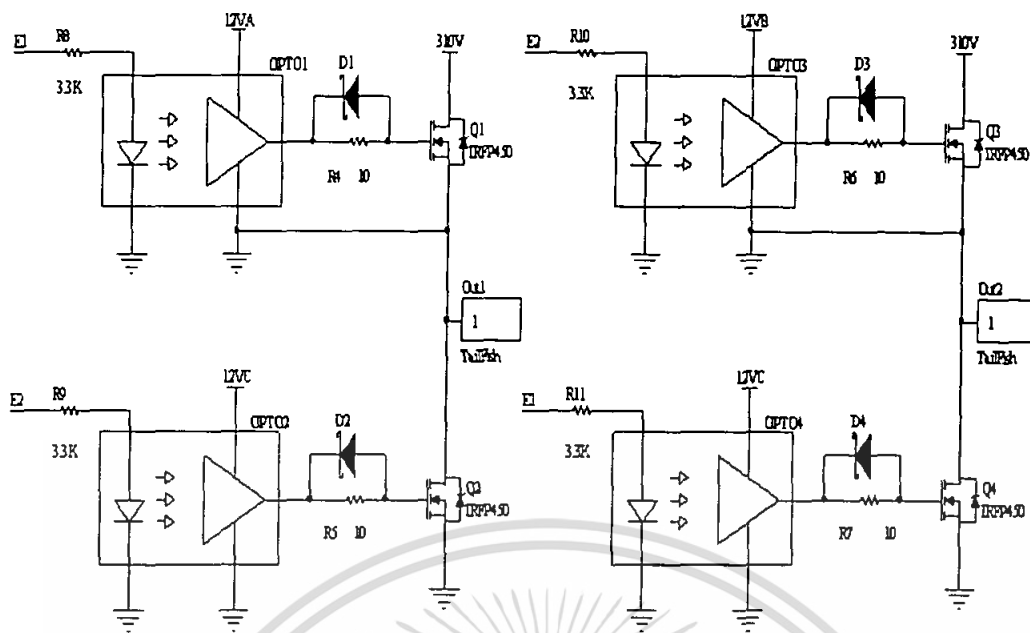
รูปที่ 3.7 การเลือกใช้เอาต์พุตของ TL494



รูปที่ 3.8 วงจรสร้างความถี่ 28 kHz ของ TL494

3.4 วงจรขับเคลื่อนของเพาเวอร์มอสเฟต

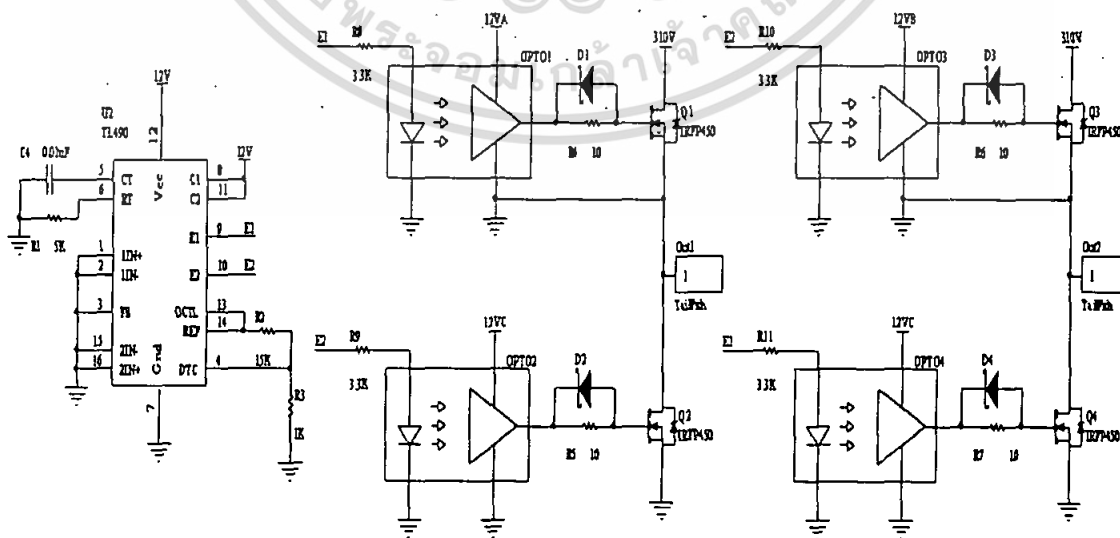
วงจรขับเคลื่อนคือ วงจรที่ทำหน้าที่ขับมอสเฟตกำลังในอินเวอร์เตอร์ให้สลับกันสวิทช์โดยจะ
 ใช้การแยกกันทางไฟฟ้า(Electrical isolation) ของวงจรควบคุมและวงขับเคลื่อนใช้การแยกกราวด์ โดย
 ใช้การเชื่อมต่อทางแสง (Opto couple) โดยใช้ Optoisolator ซึ่งในโครงการนี้ใช้ IC เบอร์ TLP 250
 ของ TOSHIBA ซึ่งมีความเร็วในการทำงานสูงสามารถนำมาใช้กับสัญญาณความถี่สูงได้โดยรับ
 สัญญาณต่อมาจากวงจรกำเนิดสัญญาณ การแยกกราวด์มีความจำเป็นอย่างยิ่งช่วยทำให้ระบบมี
 ความปลอดภัยต่อวงจรควบคุมต่อการเกิดข้อบกพร่องในวงจรกำลัง



รูปที่ 3.9 วงจรขับเกทของเพาเวอร์มอสเฟต

เมื่อสัญญาณป้อนเข้ามาที่ Optoisolator โดยมีตัวต้านทานจำกัดกระแสก่อนเข้าไอซี กระแสที่ไหลเข้า Optoisolator จะทำการไบอัสให้ LED ที่อยู่ภายในตามสัญญาณที่ป้อนเข้าไป เมื่อ LED คัดไฟได้ทรานซิสเตอร์ (Photo-transistor) ที่อยู่ภายในเกิดการนำกระแสวิทย์เป็นสัญญาณขาออก เพื่อนำไปขับขาเกทและขาซอสของมอสเฟตกำลังในวงจรอินเวอร์เตอร์

3.4.1 วงจรรวมของวงจรถ้าเนคความถี่และวงจรขับเกท



รูปที่ 3.10 วงจรรวมของวงจรถ้าเนคความถี่และวงจรขับเกท

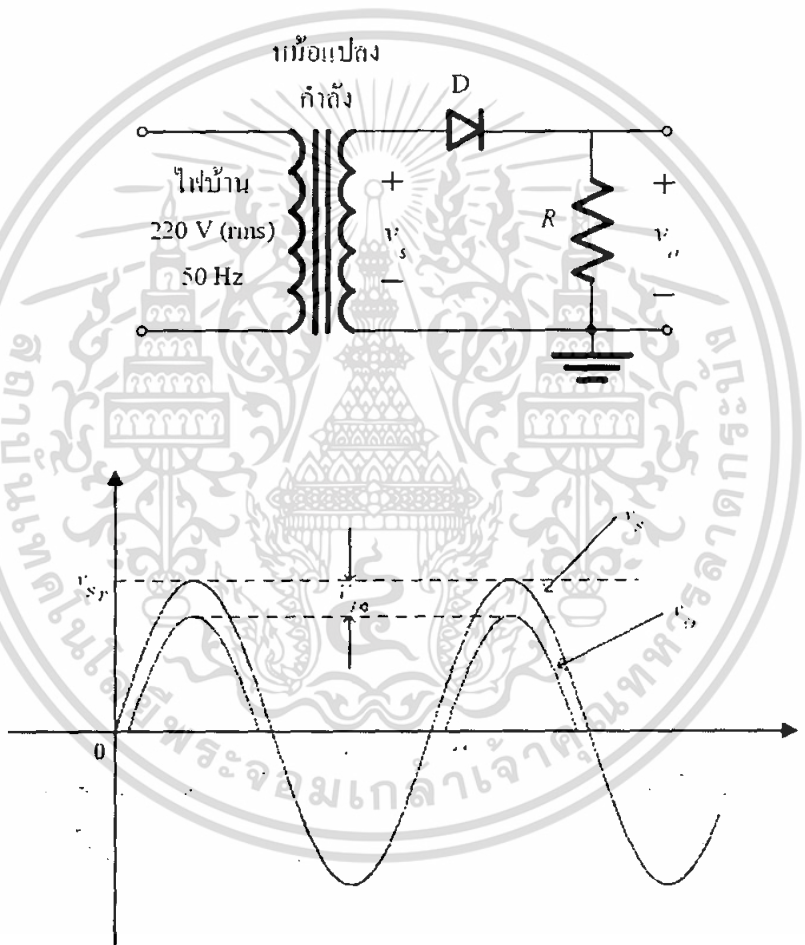
3.5 ภาควงจรกำลัง

3.5.1 วงจรเรกติไฟร์เออร์

การเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงให้กับโหลด แรงดันไฟฟ้า กระแสตรงที่ได้จะไม่ราบเรียบเหมือนที่ได้จากแบตเตอรี่ แต่จะประกอบด้วย ริบเบิล (ripple) ในที่นี้จะศึกษาการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

3.5.1.1 วงจรเรกติไฟร์เออร์ชนิดหนึ่งเฟสครึ่งลูกคลื่น

(Single phase half wave rectifier circuit)



รูปที่ 3.11 วงจรเรกติไฟร์เออร์ชนิดหนึ่งเฟสครึ่งลูกคลื่นและสัญญาณเอาต์พุต

ในขณะที่ไดโอดได้รับฟอร์เวิร์ดไบอัส คือ แรงดันที่อานอคเป็นบวกเมื่อเทียบกับคาโทด ไดโอดจะนำกระแสไปยังโหลด แรงดันที่โหลดคือ แรงดันของแหล่งจ่ายเฉพาะซีกบวก และเมื่อไดโอดได้รับรีเวิร์ดไบอัสคือ แรงดันที่คาโทดเป็นบวกเมื่อเทียบกับอานอคจะทำให้ไดโอดหยุด

นำกระแส แรงดันที่ไหลในช่วงนี้จะเป็นศูนย์จนกระทั่งไดโอดได้รับฟอร์เวิร์ดไบอัส ไดโอดก็จะนำกระแสได้อีกเป็นเช่นนี้สลับกันไป

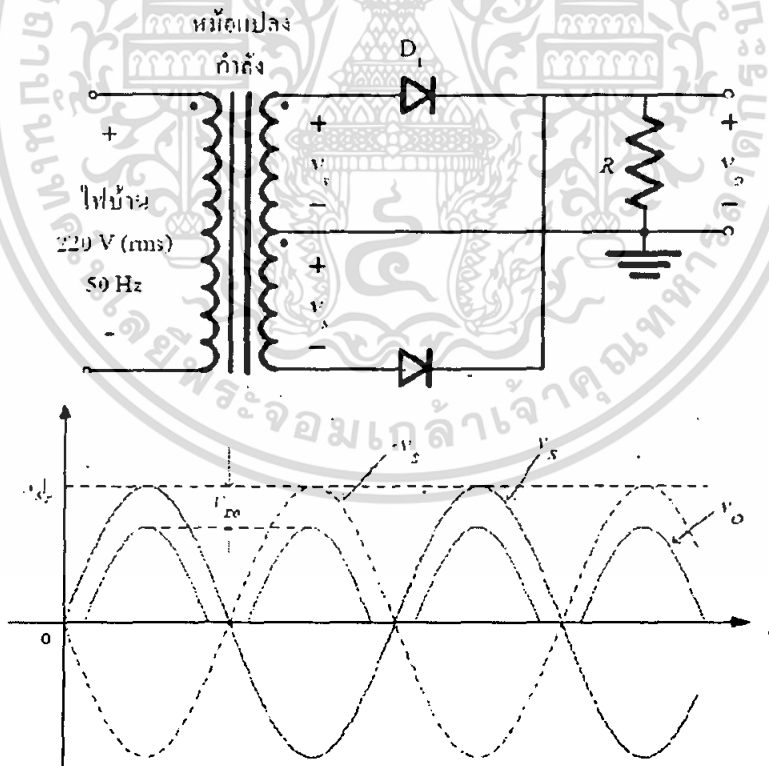
3.2.1.2 วงจรเรกติไฟเออร์ชนิดหนึ่งเฟส เต็มลูกคลื่น

(Single phase full wave rectifier circuit)

ในการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงชนิดหนึ่งเฟส ครึ่งลูกคลื่นจะใช้ไดโอดเพียงตัวเดียว แต่ในการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงหนึ่งเฟส เต็มลูกคลื่น มีลักษณะการต่อหลายแบบดังนี้

ก) การเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มลูกคลื่นโดยใช้หม้อแปลงที่มีจุดกึ่งกลาง (Full wave rectifier with center tap transformer)

การเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มลูกคลื่นโดยใช้หม้อแปลงที่มีจุดกึ่งกลาง แสดงไว้ในรูปที่ 3.12 จะใช้ไดโอดเพียง 2 ตัว เปลี่ยนกันนำกระแสตั้งแต่ละครึ่งลูกคลื่น ไดโอดตัวที่ 1 จะหยุดนำกระแสเมื่อแรงดันที่ A ตกถึงที่ศูนย์คือที่มุม 180 องศา และไดโอดตัวที่ 2 เริ่มนำกระแสต่อผ่านไปยังโหลด ไดโอดตัวที่ 2 จะหยุดนำกระแสที่มุม 360 องศา และไดโอดตัวที่ 1 จะนำกระแสต่อเช่นนี้สลับกันไป

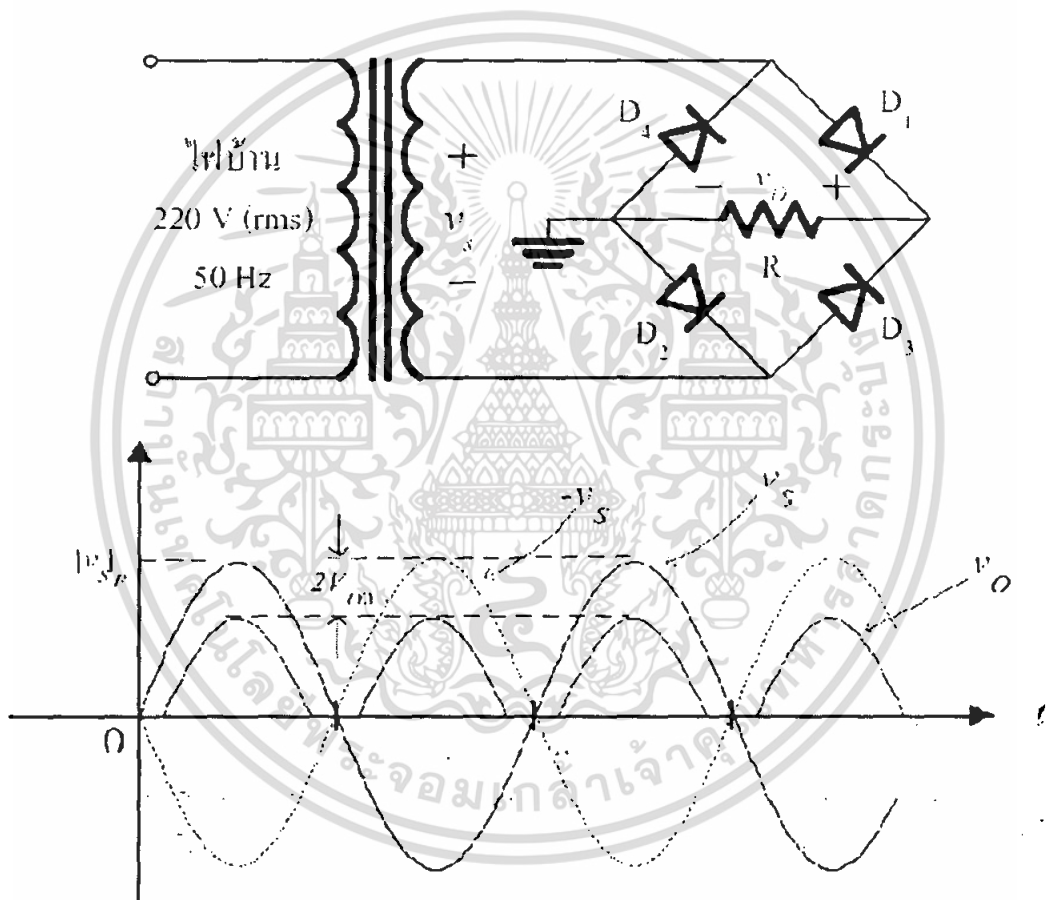


รูปที่ 3.12 วงจรเรกติไฟเออร์ชนิดหนึ่งเฟส เต็มลูกคลื่นแบบมีหม้อแปลงเท่ปกกลางและสัญญาณเอาต์พุต

$V_A = V_B =$ แรงดันอาร์เอ็มเอส ระหว่างขั้ว A และ B เทียบกับจุดกึ่งกลางของหม้อแปลงทางด้านขดจ่ายไฟ

ข) วงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบบริดจ์หนึ่งเฟส

จะประกอบด้วยไดโอดจำนวน 4 ตัวดังแสดงในรูป 3.13 ในวงจรแบบนี้สามารถจ่ายพลังงานกลับสู่แหล่งจ่ายกระแสสลับได้ กระแสไหลผ่านโหลดเมื่อไดโอดตัวที่ 1 และ 2 เมื่อแรงดันแหล่งจ่ายอยู่ในไซเคิลบวกและจะหยุดนำกระแสทันทีเมื่อแรงดันตกเป็นศูนย์ที่มุม 180 องศา ไดโอดตัวที่ 3 และ 4 จะนำกระแสทันทีเมื่อเริ่มช่วงไซเคิลลบและจะหยุดนำกระแสเมื่อแรงดันของแหล่งจ่ายเป็นศูนย์ที่มุม 360 องศา ไดโอดตัวที่ 1 และ 2 ก็จะนำกระแส เช่นนี้สลับกันไป



รูปที่ 3.13 วงจรเรกติไฟเออร์แบบบริดจ์และสัญญาณเอาต์พุต

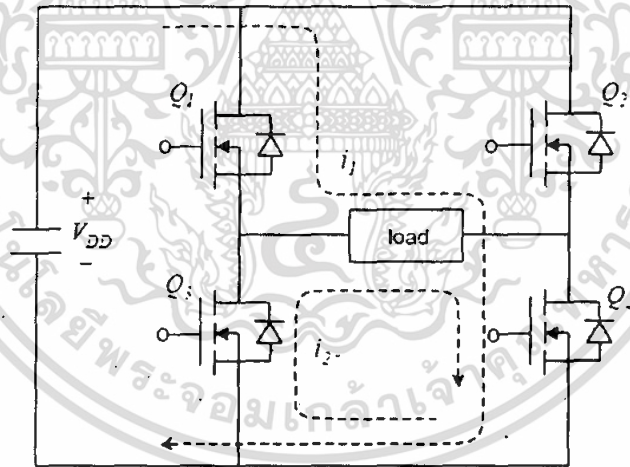
3.5.2 วงจรอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์เป็นวงจรหลักที่ใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ โดยอาศัยอุปกรณ์สวิตช์ซึ่งเป็นสวิตช์ปิดเปิด โดยในโครงงานนี้ได้ใช้เพาเวอร์มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ในการสวิตช์ โดยในโครงงานนี้จะใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ (Full Bridge Inverter Circuit)

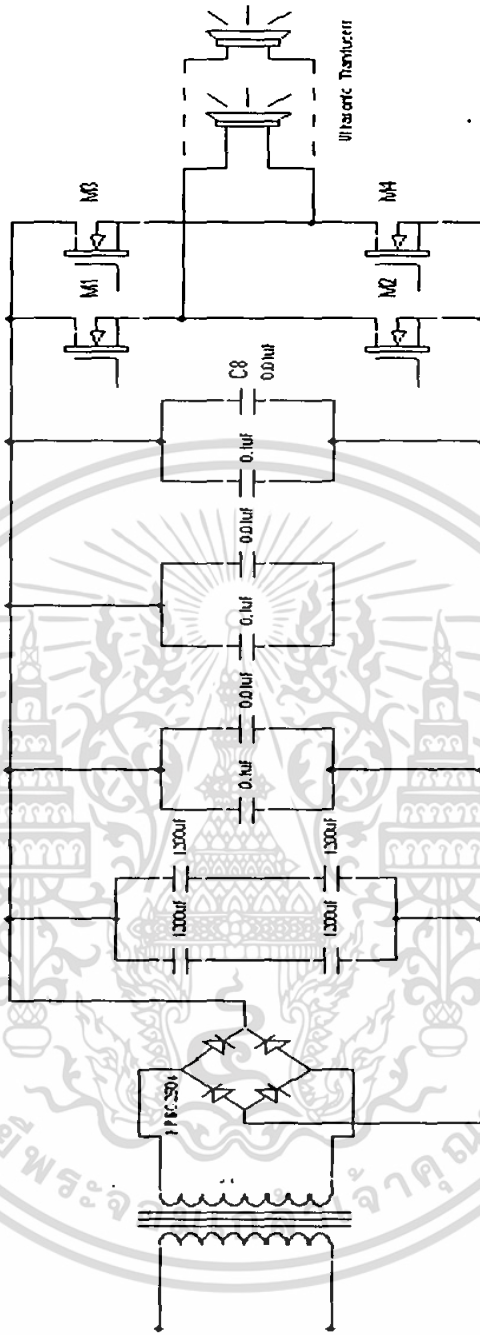
3.5.2.1 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ (Full Bridge Inverter Circuit)

ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ ขณะทำงานจะมีแรงดันตกคร่อมที่ไทมารีเท่ากับแรงดันอินพุต แต่แรงดันที่ตกคร่อมทรานซิสเตอร์มีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุตเท่านั้นและค่ากระแสสูงสุดที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แต่ละนั้นจะมีค่าเป็นครึ่งของกระแสสูงสุดในฮาล์ฟบริดจ์ อินเวอร์เตอร์ที่มีกำลังทางขาออกเท่ากัน

เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 ตัวจะทำงานโดยนำกระแส และหยุดนำกระแส ทำงานสลับกันเป็นคู่ๆ ในแต่ละครึ่งคาบเวลา Q_1 และ Q_2 จะนำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลาและเมื่อหยุดนำกระแส Q_3 และ Q_4 จะนำกระแสต่อในครึ่งคาบเวลาที่เหลือ สลับกันเช่นนี้เรื่อยไป ลักษณะของวงจรที่ได้จึงเป็นเช่นเดียวกับฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ ยกเว้นแรงดันที่ตกคร่อมขดไทมารีจะเท่ากับ $V_{in} - 2V_{CE(SAT)}$ ดังนั้นผลการทานของวงจรจึงเหมือนผลที่ได้จากฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์นั่นเอง จะเห็นได้ว่าแรงดันที่ตกคร่อม Q_1 และ Q_2 ขณะหยุดนำกระแสมีค่าเท่ากับ $V_{in} - 2V_{CEQ(SAT)}$ และ $V_{in} - 2V_{CEQ(SAT)}$ ตามลำดับส่วนแรงดันที่ตกคร่อม Q_3 และ Q_4 ขณะหยุดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับ $V_{in} - 2V_{CEQ(SAT)}$ และ $V_{in} - 2V_{CEQ(SAT)}$ ตามลำดับเช่นเดียวกันส่วนไดโอด D_1 ถึง D_4 ทำหน้าที่เป็นคอมมิวเตตติ้งไดโอดให้กับวงจรเพื่อป้องกัน Q_1 ถึง Q_4

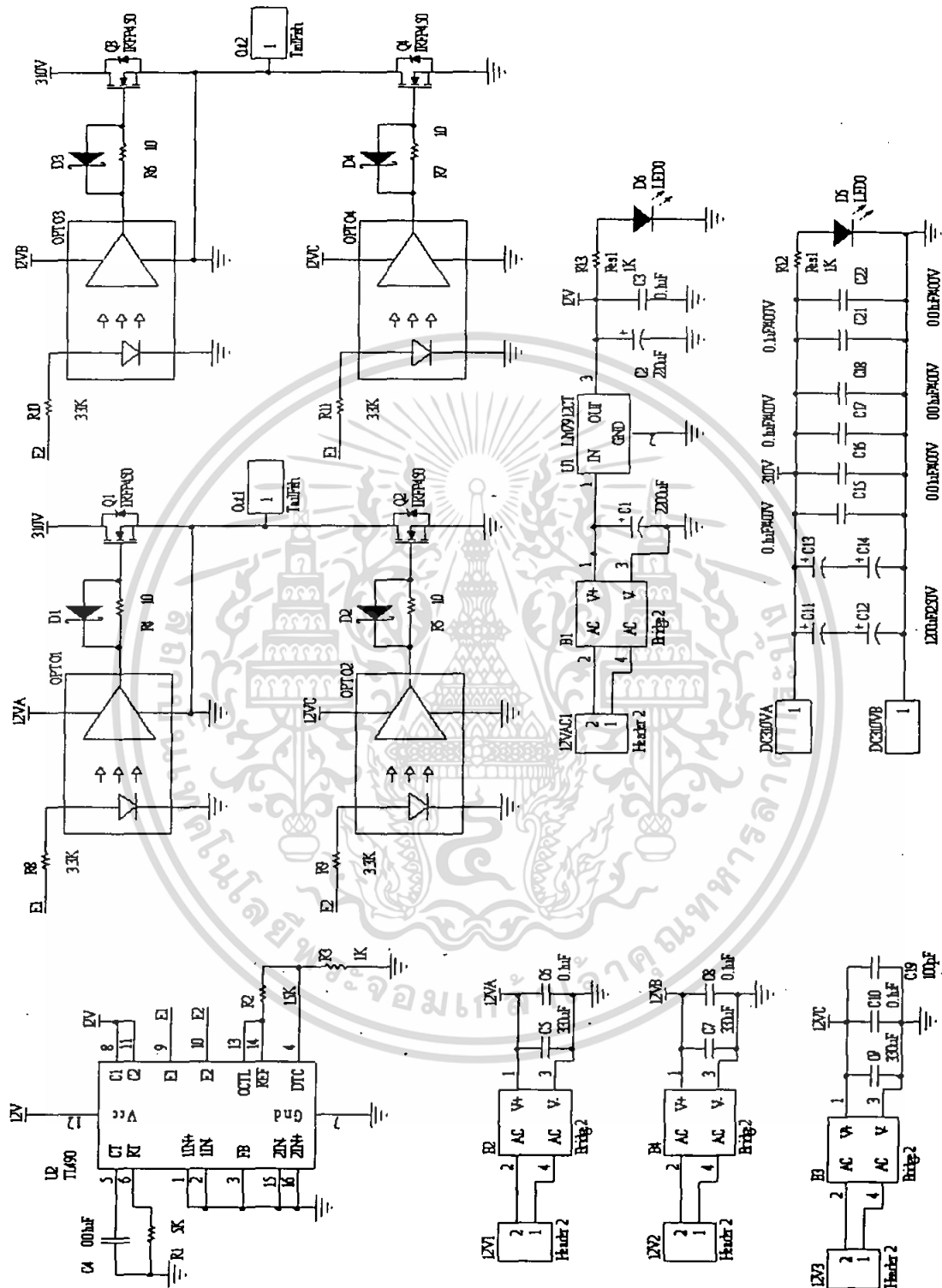


รูปที่ 3.14 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์



รูปที่ 3.15 ภาควงจรกำลัง

3.6 วงจรรวมสำหรับขับหลอดร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์



รูปที่ 3.16 วงจรสำหรับขับหลอดร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

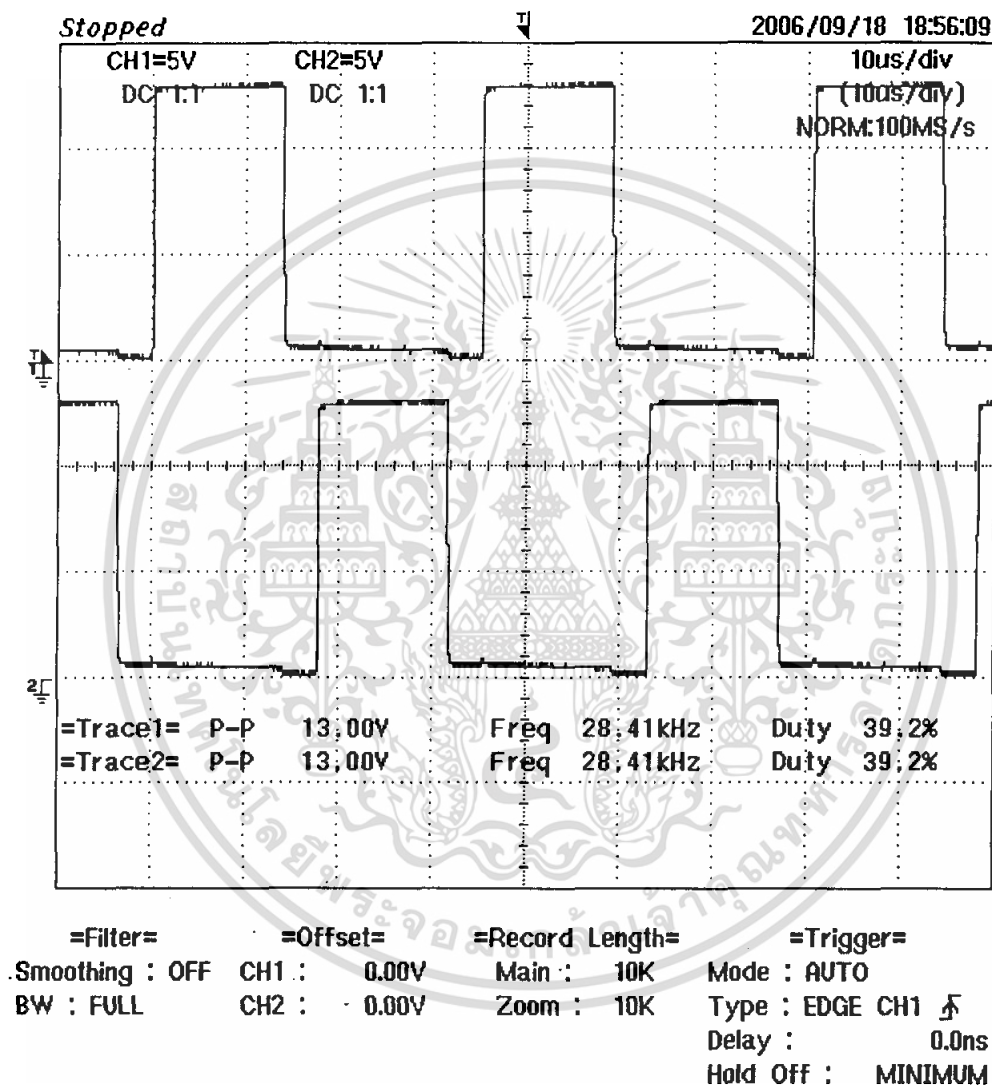
4.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณโดยต่อไฟเลี้ยงขนาด 12 v และตรวจวัดสัญญาณเอาต์พุตทั้ง 2 โหมค
2. ทำการทดลองวงจรขับเกทของมอสเฟสกำลังโดยทดสอบการทำงานของไอซีเบอร์ TL 494 ที่สัญญาณอินพุตที่มีความถี่สูง
3. ทำการทดลองต่อวงจรกำเนิดสัญญาณร่วมกับวงจรขับเกทของมอสเฟสกำลัง และทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตทั้ง 4 สัญญาณที่ใช้ขับมอสเฟสกำลัง
4. ทำการทดลองภาควงจรกำลังและการทำงานของมอสเฟสกำลังเมื่อมีมีสัญญาณขับที่ขาเกท
5. ทำการต่อภาควงจรกำลังเข้ากับวงจรขับเกทของมอสเฟสกำลังและวงจรกำเนิดสัญญาณ และทำการตรวจวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ได้
6. ทำการเชื่อมต่อสัญญาณเอาต์พุตเข้ากับออสซิลโลสโคปและทำการตรวจวัดสัญญาณเอาต์พุต
7. ทำการตรวจวัดแรงดันและกระแสในวงจรเมื่อทำการแปลงค่าแรงดันอินพุต

4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 วงจรกำเนิดสัญญาณ (Oscillator Circuit)

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



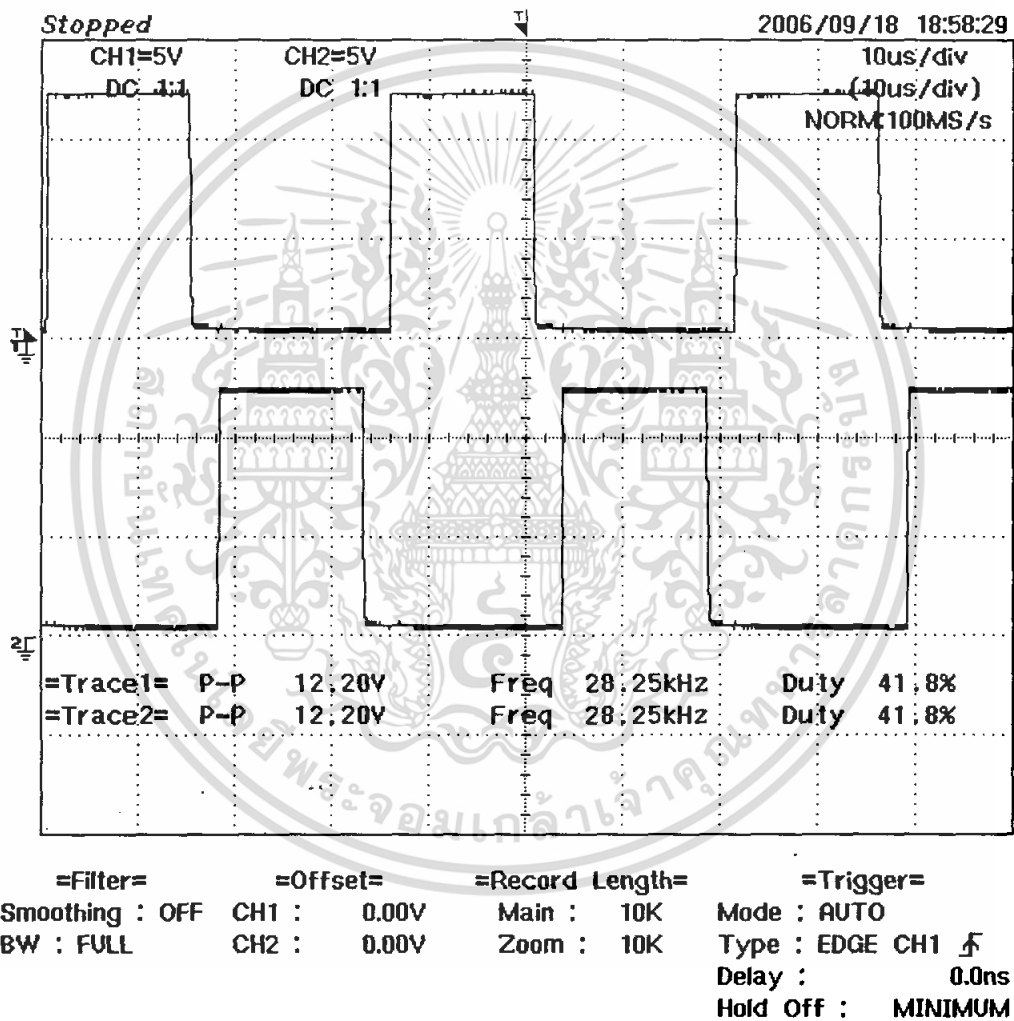
รูปที่ 4.1 สัญญาณที่ได้จากวงจรถูกกำเนิดความถี่

รูปสัญญาณดังรูปที่ 4.1 คือรูปสัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรถูกกำเนิดสัญญาณ 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

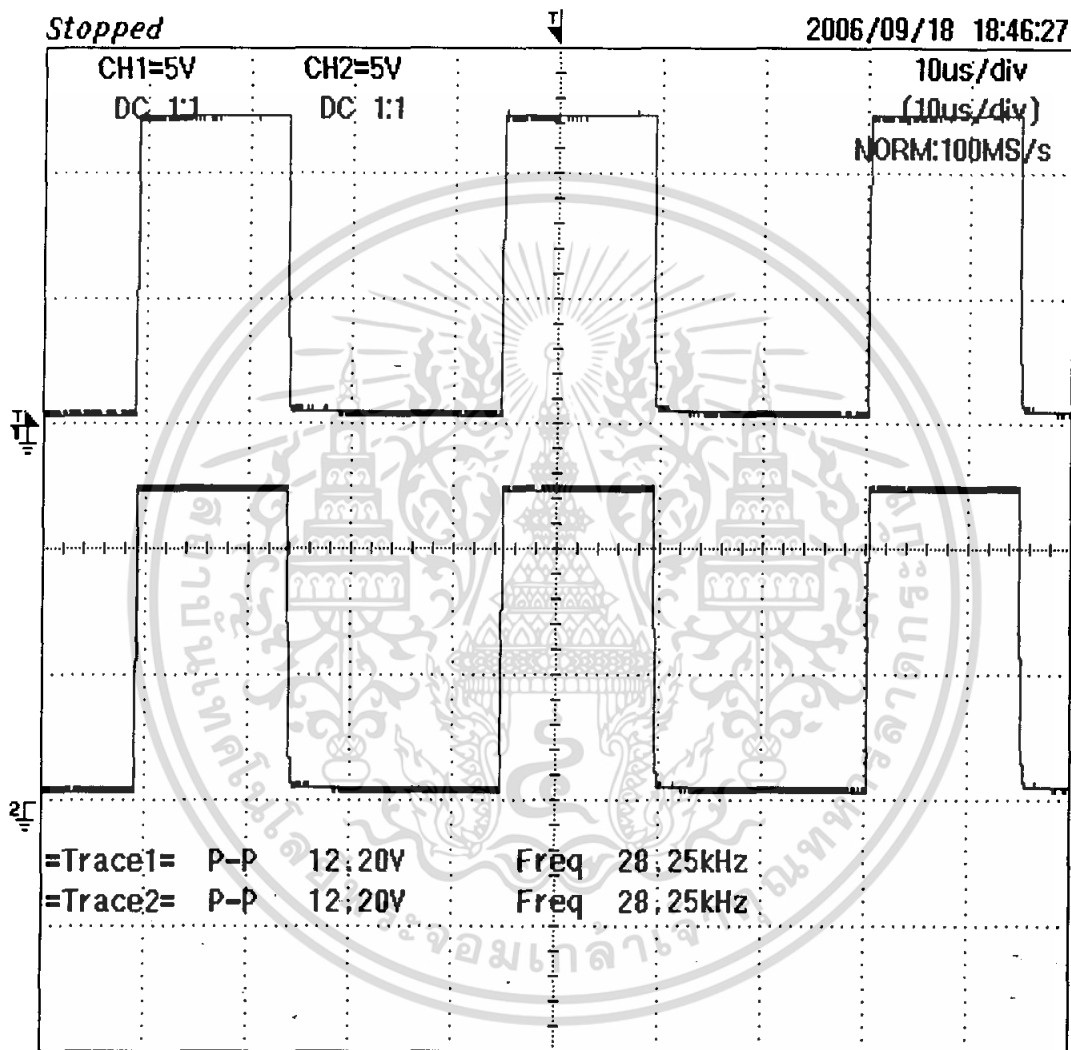
4.2.2 วงจรขับเกทของมอสเฟตกำลัง

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



รูปที่ 4.2 สัญญาณที่ได้จากวงจรขับเกทโหมดที่ 1 เทียบกับโหมดที่ 2

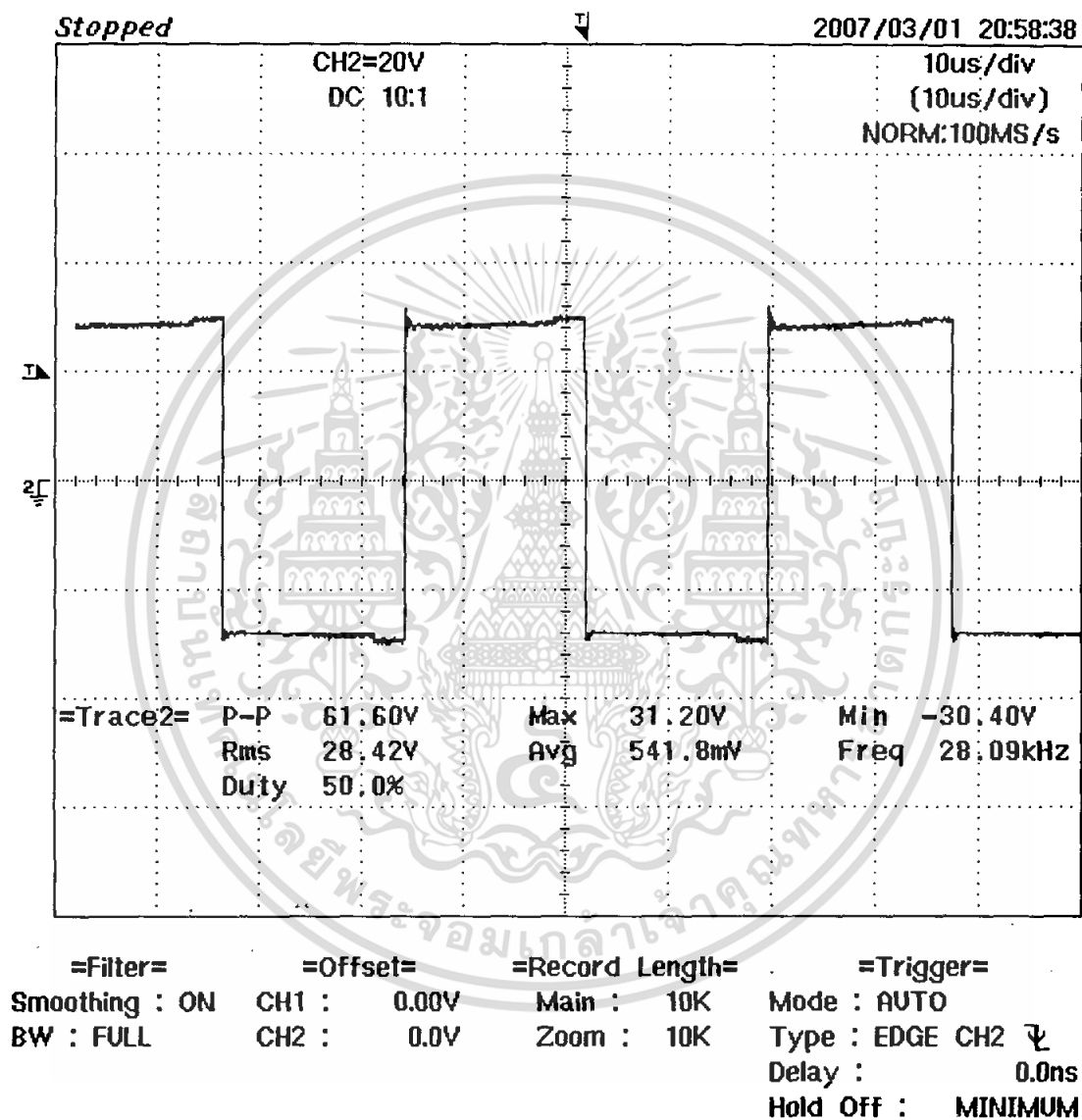
รูปสัญญาณคิงรูปที่ 4.2 คือรูปสัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรขับเกทโดย Trace 1 แสดงถึงสัญญาณที่ได้จาก Out put ของ Optoisolator ตัวที่ 1 และ 2 เพื่อขับมอเตอร์กำลัง M1 และ M4 ส่วน Trace 2 แสดงถึงสัญญาณที่ได้จาก Out put ของ Optoisolator ตัวที่ 3 และ 4 เพื่อขับมอเตอร์กำลัง M2 และ M3 ซึ่ง Out put ทั้งสองค่ามีขนาดแรงดัน และความถี่ที่เท่ากัน แต่มีเฟสกลับกัน ซึ่งตรงตามที่ต้องการนำไปใช้ขับมอเตอร์กำลังให้สลับกันสวิตช์เป็นคู่ๆ



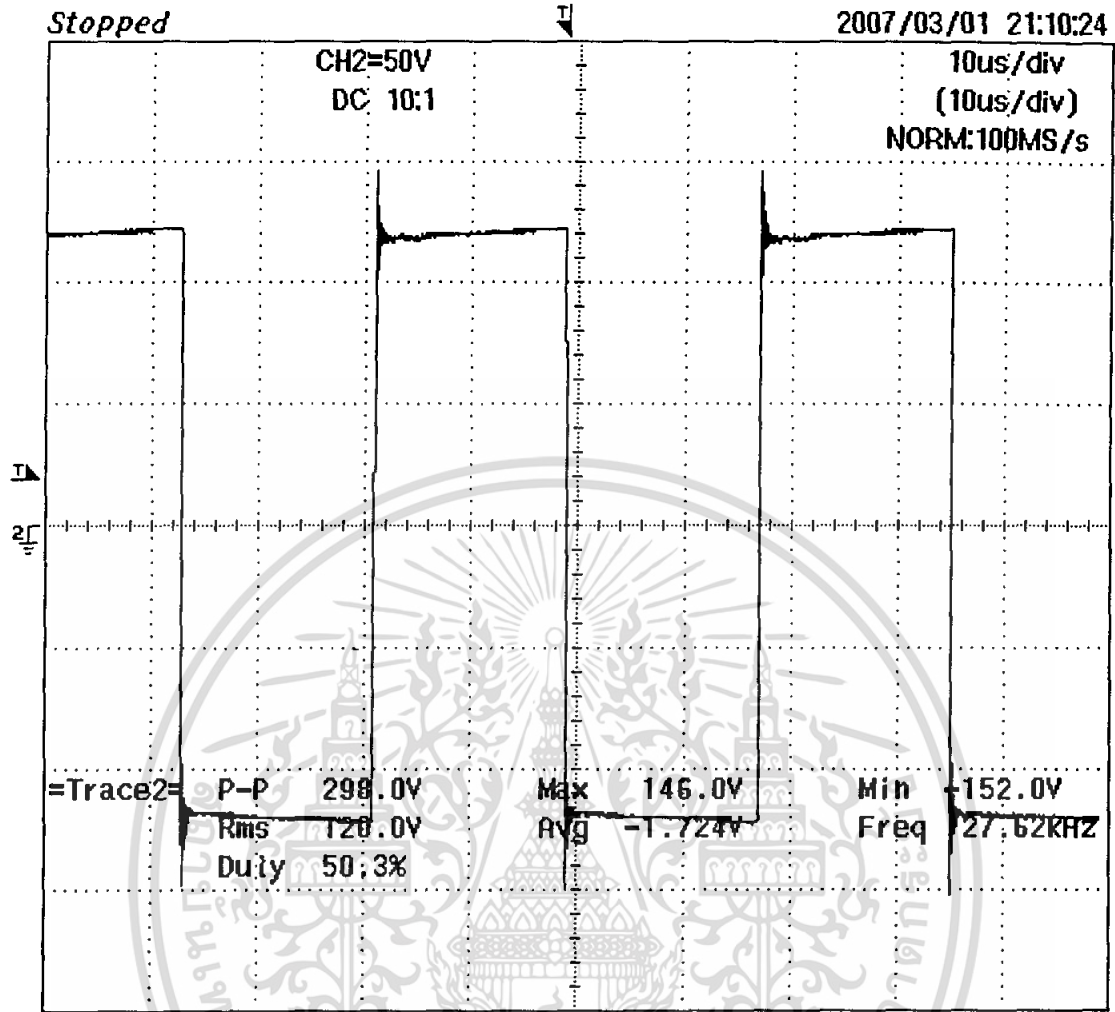
=Filter=	=Offset=	=Record Length=	=Trigger=
Smoothing : OFF	CH1 : 0.00V	Main : 10K	Mode : AUTO
BW : FULL	CH2 : 0.00V	Zoom : 10K	Type : EDGE CH1 \uparrow
			Delay : 0.0ns
			Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.3 สัญญาณที่ได้จากวงจรขับเกทโหมดที่ 1 ทั้งสองสัญญาณ

รูปสัญญาณดังรูปที่ 4.3 คือรูปสัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรจับเกตโดย 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 ให้สวิทช์พร้อมกันเป็นคู่



รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณเอาต์พุตขณะไม่มีโหลด (Probe *10 ที่ $V_{in} = 24$ โวลต์)



=Filter= =Offset= =Record Length= =Trigger=

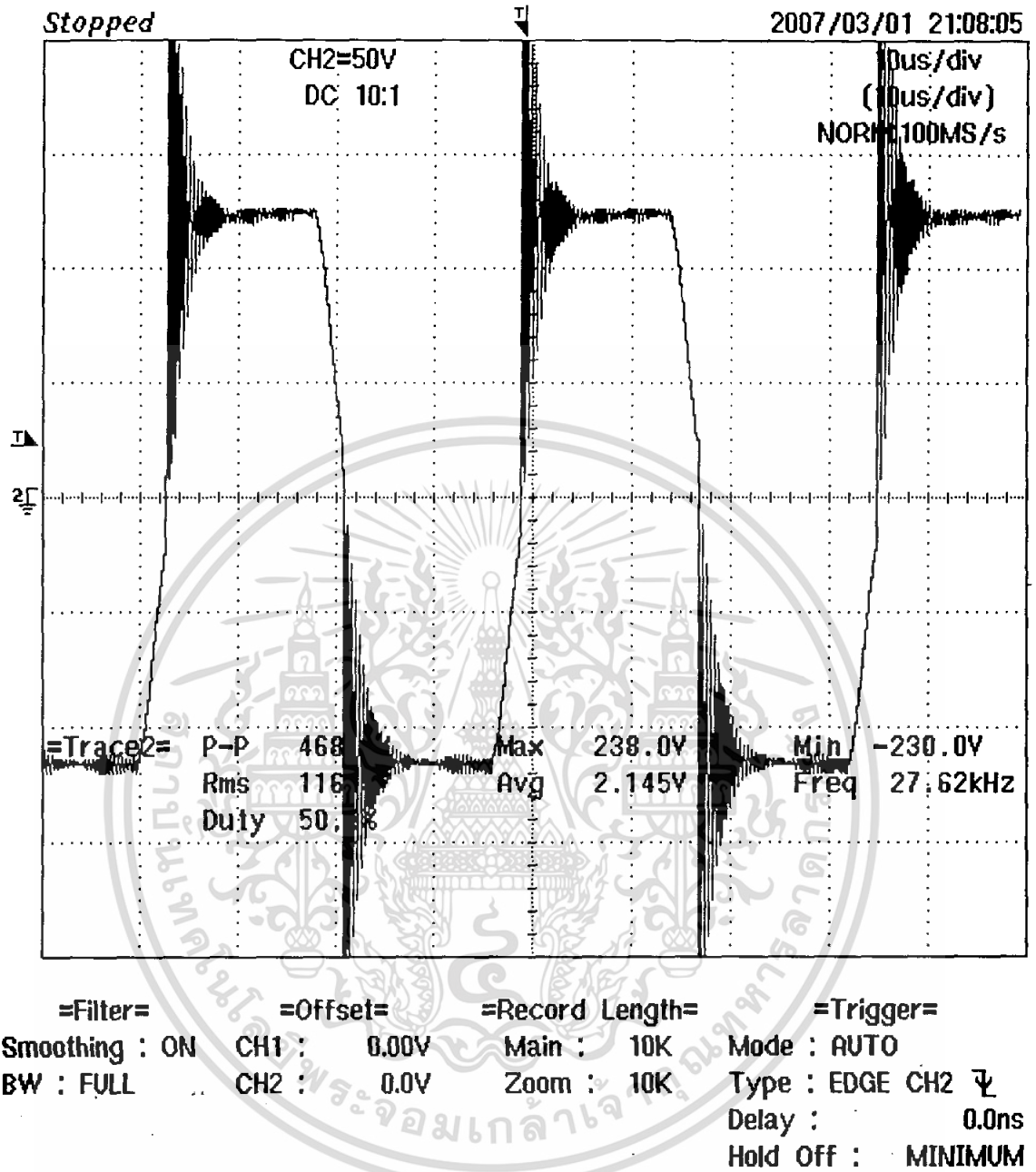
Smoothing : ON CH1 : 0.00V Main : 10K Mode : AUTO

BW : FULL CH2 : 0.0V Zoom : 10K Type : EDGE CH2 Ψ

Delay : 0.0ns

Hold Off : MINIMUM

รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณเอาต์พุตขณะไม่มีโหลด (Probe *10 ที่ $V_{in} = 100$ โวลต์)



รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณเอาต์พุตขณะขับโหลด (Probe *10 ที่ $V_{in} = 100$ โวลต์)

ตารางแสดงผลการทดลอง ขณะวงจรจ่ายโหลด 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 ขณะวงจรจ่ายโหลด ณ ระดับแรงดันอินพุตต่างๆ

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุปผล

5.1 วิจารณ์และสรุป

โครงการนี้ได้นำคุณสมบัติของคลื่นอุลตราโซนิกมาประยุกต์ใช้ในเทคโนโลยีการทำความสะอาด ซึ่งก็มีทั้งข้อดีและข้อเสีย จึงต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะของการทำความสะอาดและชิ้นงาน

จากการทดลอง การสร้างคลื่นอุลตราโซนิกจากอุลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ และ วงจรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองนี้ได้บทสรุปดังนี้

ส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณ

1. ไฟเลี้ยงของวงจรกำเนิดสัญญาณสำหรับ ไอซี เบอร์ TL 494 จะต้องเป็นสัญญาณไฟที่เรียบไม่มีสัญญาณรบกวนเพราะอาจทำให้สัญญาณเอาต์พุทของวงจรกำเนิดสัญญาณผิดปกติได้
2. ช่วงเวลาเคลดใหม่ต้องทำการปรับค่าให้เหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดการทำงานพร้อมกันของมอสเฟตกำลังจนทำให้เกิดการลัดวงจร
3. การสร้างเคลดใหม่อาศัยการปรับค่า Time constant ของ R และ C ซึ่งอาจแปรผันตามอุณหภูมิ

ส่วนของวงจรขับเคลื่อนของมอสเฟตกำลัง

1. ไฟเลี้ยงของวงจรขับเคลื่อนของมอสเฟตกำลังสำหรับ ไอซี เบอร์ TLP 250 จะต้องทำการแยกกันของแต่ละ ไอซี และเป็นสัญญาณไฟที่เรียบไม่มีสัญญาณรบกวนเพราะอาจทำให้สัญญาณเอาต์พุทที่ใช้ขับเคลื่อนของมอสเฟตกำลังผิดปกติจนทำให้เกิดการทำงานพร้อมกันของมอสเฟตกำลังและเกิดการลัดวงจรขึ้นได้
2. เส้นสัญญาณไฟเอาต์พุทของวงจรที่ใช้ขับเคลื่อนของมอสเฟตกำลังจะต้องเป็นเส้นสัญญาณที่สั้นมาก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสัญญาณรบกวนอันเป็นเหตุให้เกิดการลัดวงจรของมอสเฟตกำลัง

ส่วนของวงจรถัก

สำหรับวงจรถักแรงดันเพื่อป้องกันริปเปิล (ripple) นอกจากตัวเก็บประจุขนาดใหญ่แล้วควรมีตัวเก็บประจุขนาดเล็กด้วยเพื่อป้องกันแรงดันสไปส์เพื่อช่วยทำให้มอสเฟตกำลังทำงานได้อย่างปกติ

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการนี้

นอกเหนือจากประโยชน์ที่ได้จากการทำความสะอาดด้วยคลื่นอัลตราโซนิคแล้ว ในขั้นตอนการศึกษาและทดลองนั้น ยังได้เพิ่มพูนความรู้ความเข้าใจแก่ผู้ทดลองอีกด้วย ทั้งในทางปฏิบัติและทางทฤษฎี ซึ่งประสบการณ์และความเข้าใจต่างๆเหล่านี้จะได้นำไปใช้ในการทำโครงการในลักษณะต่างๆ ต่อไป

5.3 ปัญหาที่พบในโครงการ

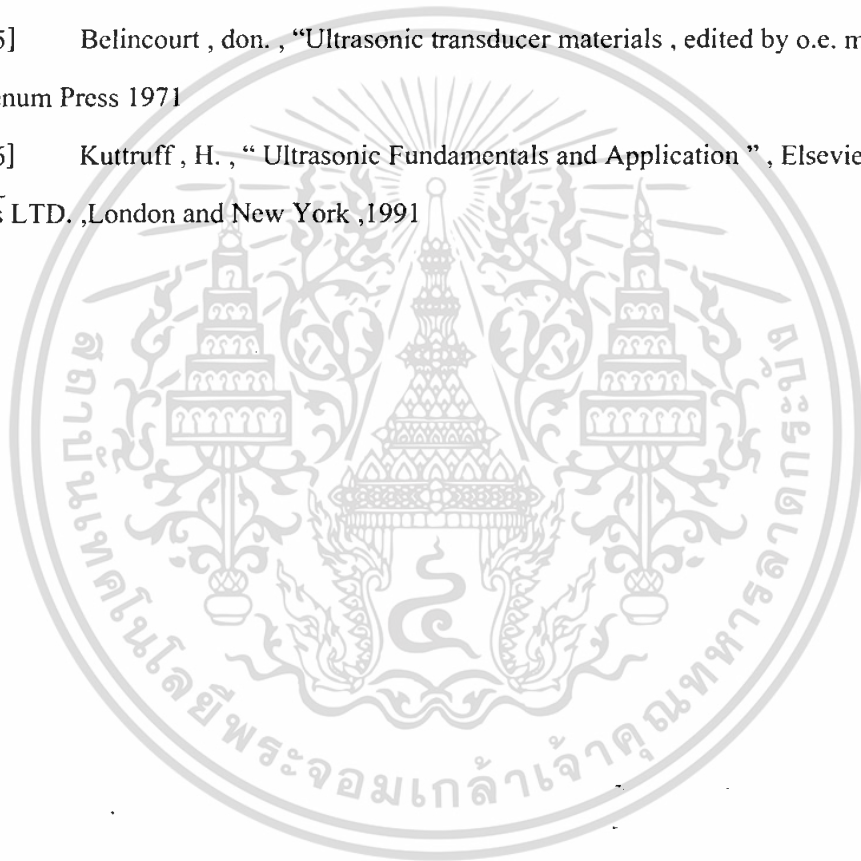
1. ปัญหาที่สำคัญและพบ คือ การต่อวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ ซึ่งเมื่อต่อตามทฤษฎีแล้ว สัญญาณที่ออกมาไม่ตรงตามที่ต้องการ จึงต้องทำการตัดแปลงวงจร
2. ในการสร้างวงจรแบบแผ่นปริ้นซ์ครั้งแรกเมื่อทำการทดสอบเกิดการทำงานผิดปกติของมอสเฟตกำลังจนเกิดการระเบิด เนื่องจากเส้นสัญญาณจากวงจรขับเคลื่อนมีความยาวมากเกินไปจนเกิดสัญญาณรบกวนขณะขับมอสเฟตกำลัง
3. ปัญหาอีกอย่างคือ หาซื้ออัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ได้ค่อนข้างยาก

5.4 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

1. ปฏิกริยาควิเตชัน (Cavitations) และ อิมพลชัน (Implosion) จะทำงานได้ดีเมื่ออยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมจึงควรทำการควบคุมอุณหภูมิเพื่อประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น
2. เพื่อประสิทธิภาพที่ดีขึ้นควรมีการเพิ่มส่วนของการลดค่าฮาร์โมนิก และค่าสูญเสียกำลังในวงจร

เอกสารอ้างอิง

- [1] Hanato, H. and, S., "High Frequency Ultrasonic cleaning Tank utilizing Obliquity" Vol. 43 , No. 4, July, 1971
- [2] เขมิกอนต์คเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, "เทคนิคการใช้อุลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์" ฉบับที่ 58-73 , เมษายน, 2524
- [3] Muhamad H. Rashid, "Power Electronic", Prentice Hall, New Jersey, 1988
- [4] สุวัฒน์ ต้น , "เทคนิคและการออกแบบสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย" เอนเทนไทย มกราคม 2537
- [5] Belincourt , don. , "Ultrasonic transducer materials , edited by o.e. mattiat. New York , Plenum Press 1971
- [6] Kuttruff , H. , " Ultrasonic Fundamentals and Application " , Elsevier Science Publishers LTD. , London and New York , 1991





ภาคผนวก

คู่มือไอซีทีใช้ในโครงการ



Order this document by TL494/D

SWITCHMODE™ Pulse Width Modulation Control Circuit

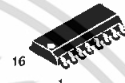
The TL494 is a fixed frequency, pulse width modulation control circuit designed primarily for SWITCHMODE power supply control.

- 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

TL494

SWITCHMODE PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUIT

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA



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



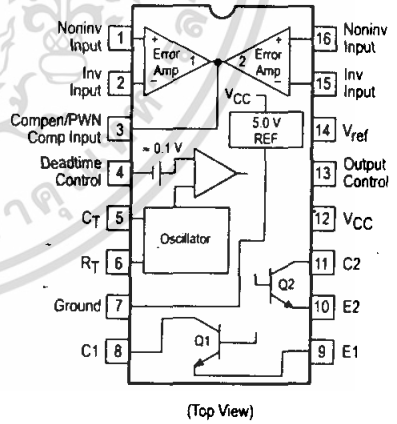
N SUFFIX PLASTIC PACKAGE CASE 648

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

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

NOTE: 1. Maximum thermal limits must be observed.

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

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

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}	–	–	0.3	mA
Reference Output Current	I_{ref}	–	–	10	mA
Timing Resistor	R_T	1.8	30	500	k Ω
Timing Capacitor	C_T	0.0047	0.001	10	μ F
Oscillator Frequency	f_{osc}	1.0	40	200	kHz

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

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

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

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)	Regline	–	2.0	25	mV
Load Regulation ($I_O = 1.0$ mA to 10 mA)	Regload	–	3.0	15	mV
Short Circuit Output Current ($V_{ref} = 0$ V)	I_{SC}	15	35	75	mA

OUTPUT SECTION

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

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

TL494

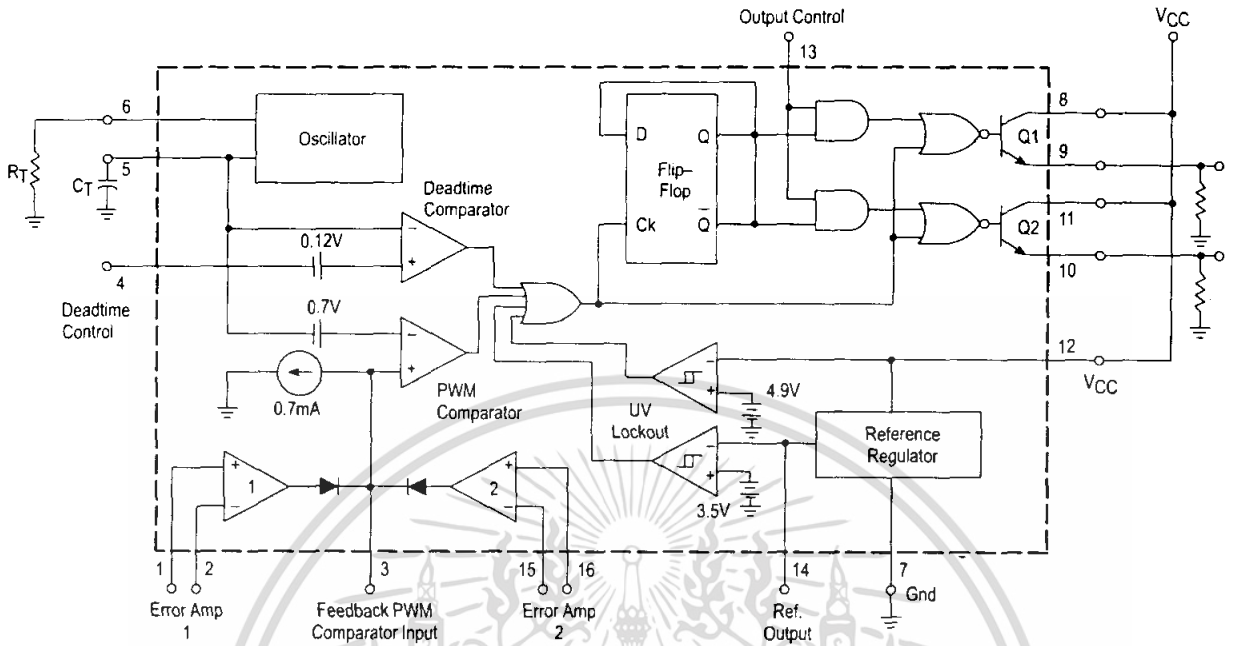
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 15\text{ V}$, $C_T = 0.01\ \mu\text{F}$, $R_T = 12\ \text{k}\Omega$, unless otherwise noted.)For typical values $T_A = 25^\circ\text{C}$, for min/max values T_A is the operating ambient temperature range that applies, unless otherwise noted.

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

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

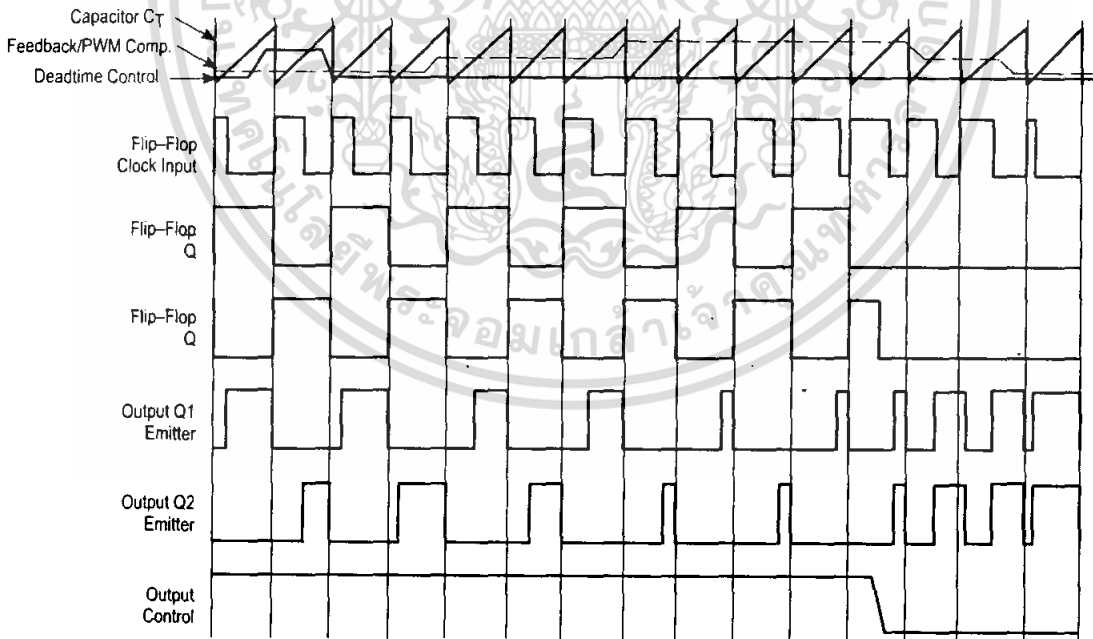
TL494

Figure 1. Representative Block Diagram



This device contains 46 active transistors.

Figure 2. Timing Diagram



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:

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

For more information refer to Figure 3.

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

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

Functional Table

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

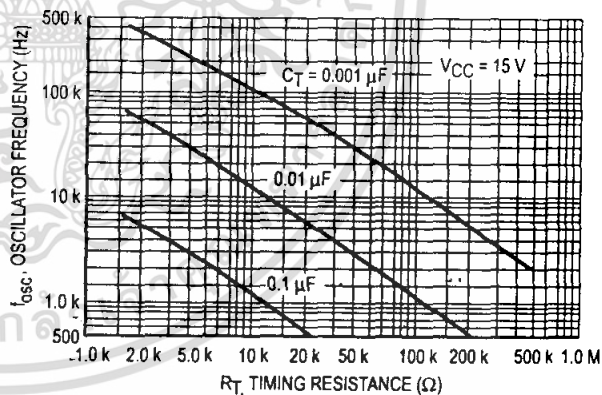
The pulse width modulator comparator provides a means for the error amplifiers to adjust the output pulse width from the maximum percent on-time, established by the deadtime control input, down to zero, as the voltage at the feedback pin varies from 0.5 V to 3.5 V. Both error amplifiers have a common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

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

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

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

Figure 3. Oscillator Frequency versus Timing Resistance



TL494

Figure 4. Open Loop Voltage Gain and Phase versus Frequency

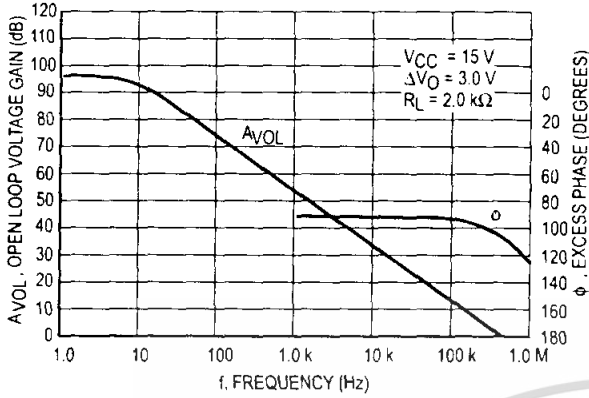


Figure 5. Percent Deadtime versus Oscillator Frequency

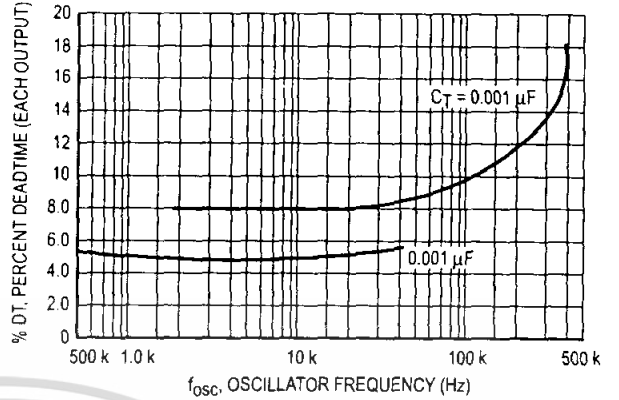


Figure 6. Percent Duty Cycle versus Deadtime Control Voltage

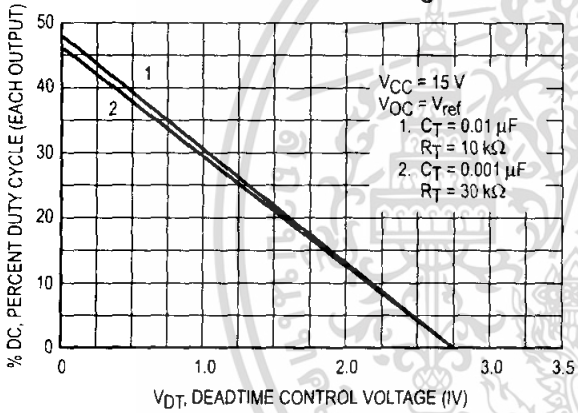


Figure 7. Emitter-Follower Configuration Output Saturation Voltage versus Emitter Current

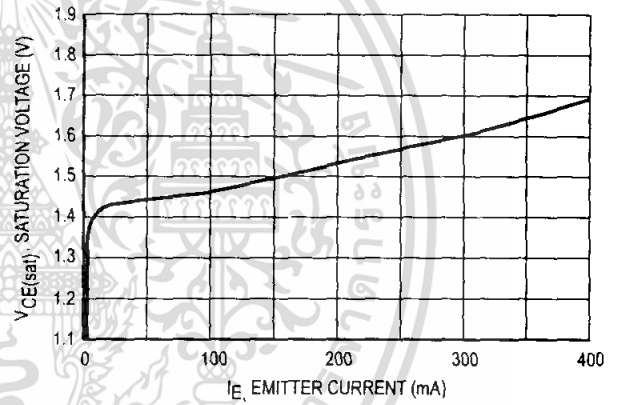


Figure 8. Common-Emitter Configuration Output Saturation Voltage versus Collector Current

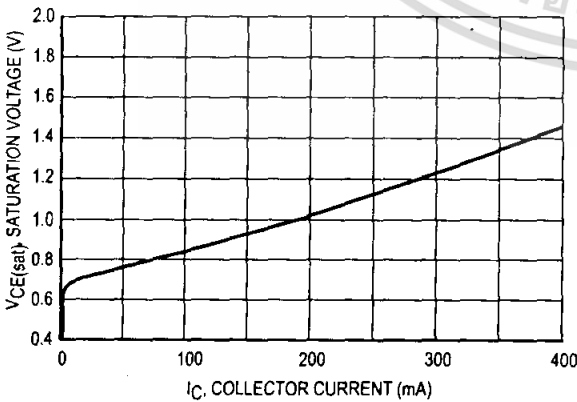
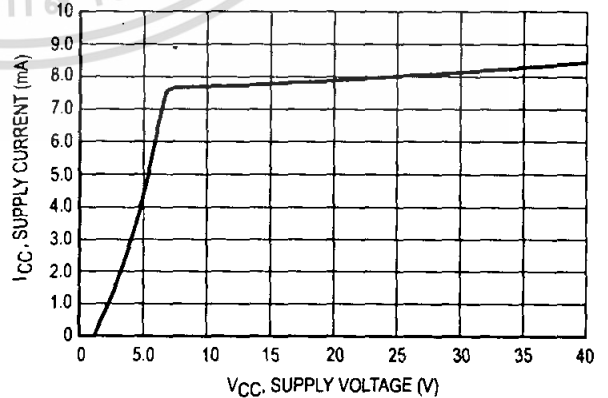


Figure 9. Standby Supply Current versus Supply Voltage



TL494

Figure 10. Error-Amplifier Characteristics

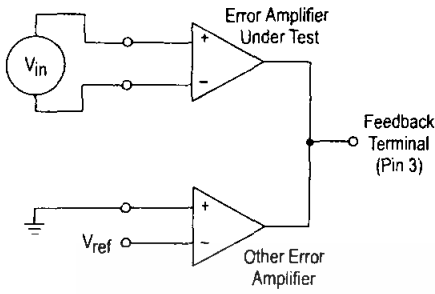


Figure 11. Deadtime and Feedback Control Circuit

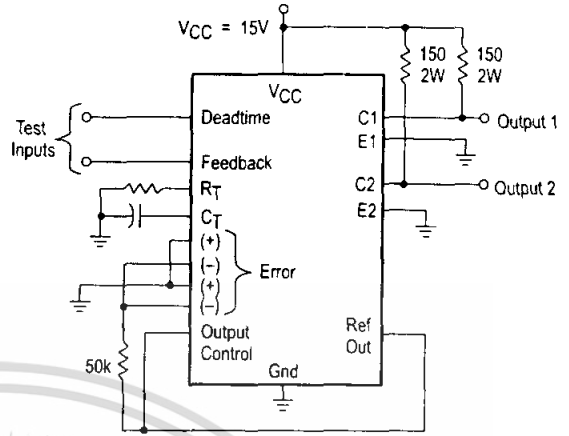


Figure 12. Common-Emitter Configuration Test Circuit and Waveform

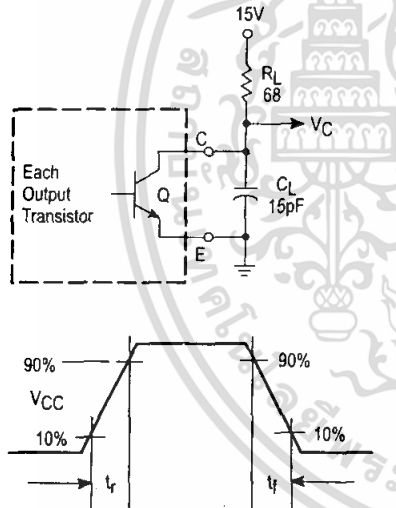
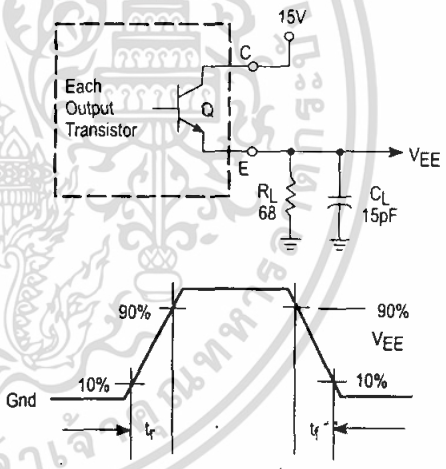


Figure 13. Emitter-Follower Configuration Test Circuit and Waveform



TL494

Figure 14. Error-Amplifier Sensing Techniques

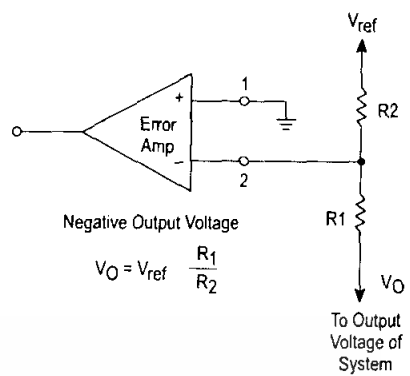
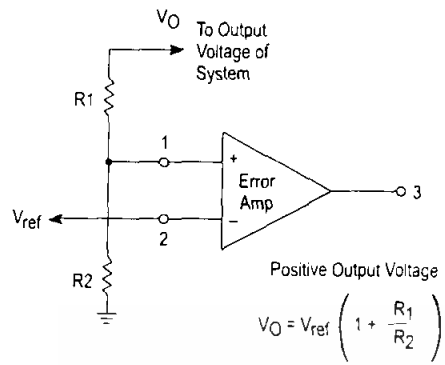


Figure 15. Deadtime Control Circuit

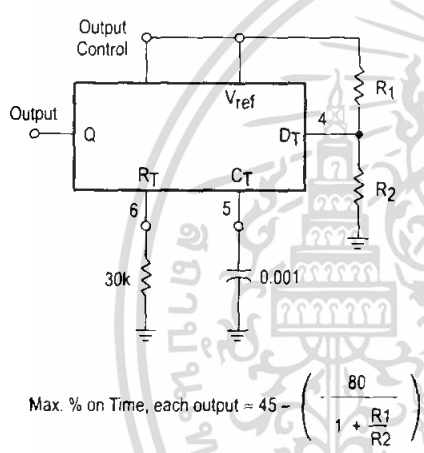


Figure 16. Soft-Start Circuit

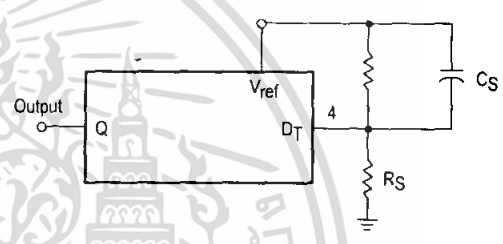
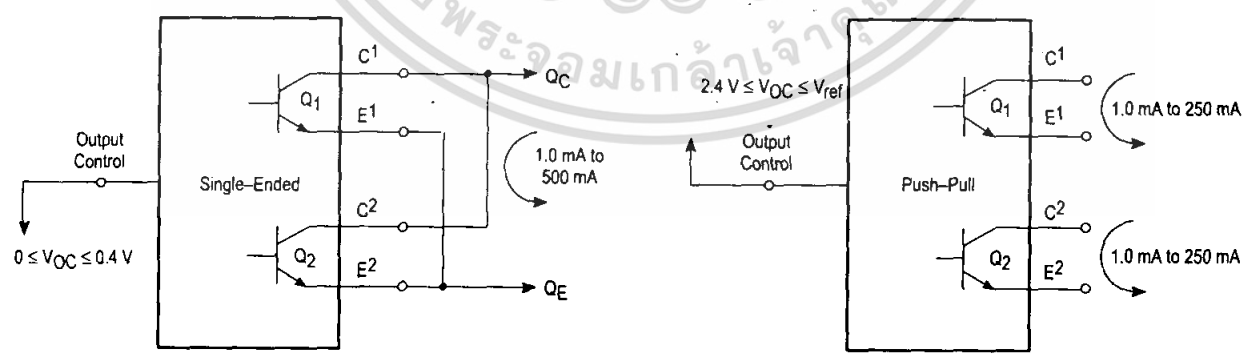


Figure 17. Output Connections for Single-Ended and Push-Pull Configurations



TL494

Figure 18. Slaving Two or More Control Circuits

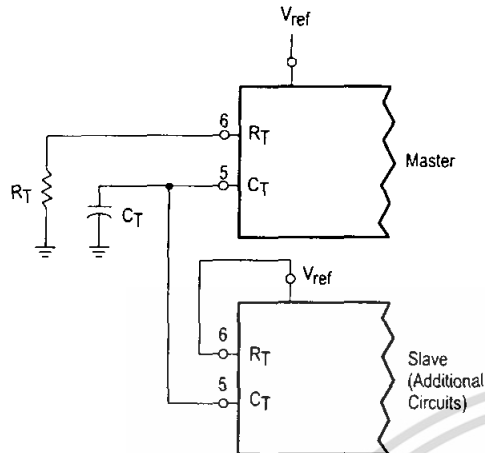


Figure 19. Operation with $V_{in} > 40\text{ V}$ Using External Zener

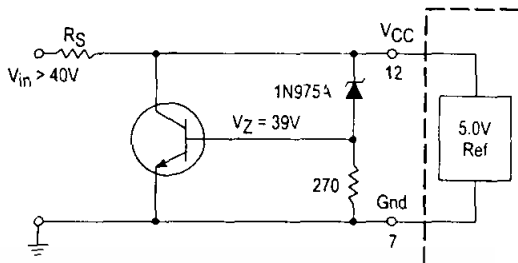
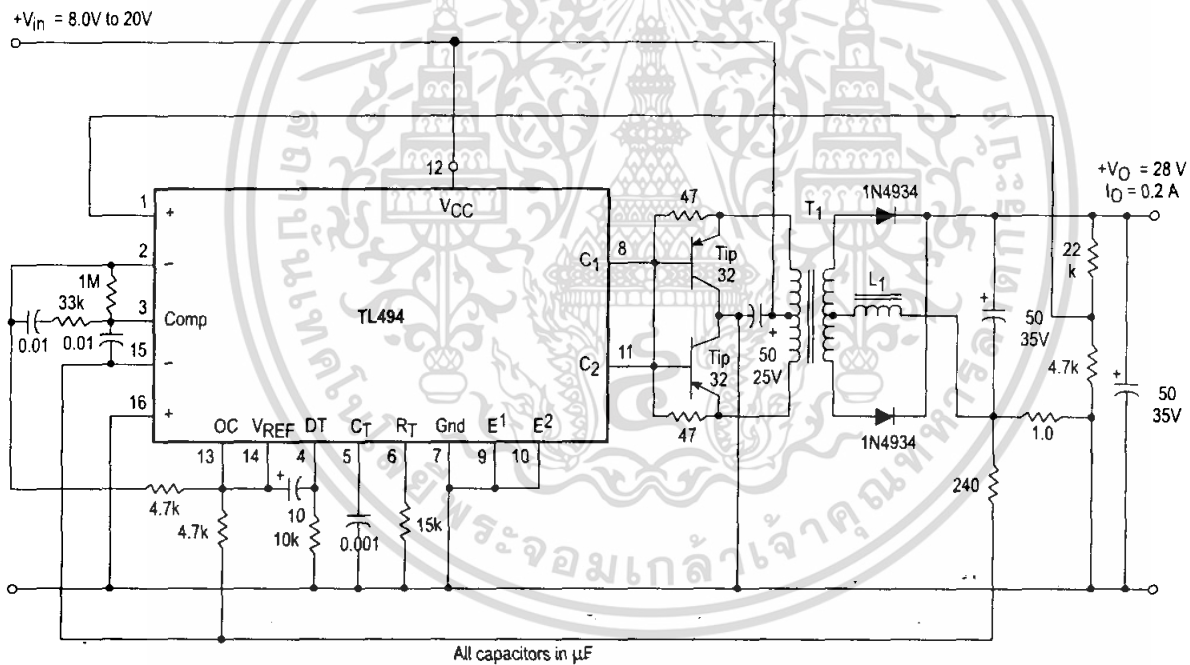


Figure 20. Pulse Width Modulated Push-Pull Converter

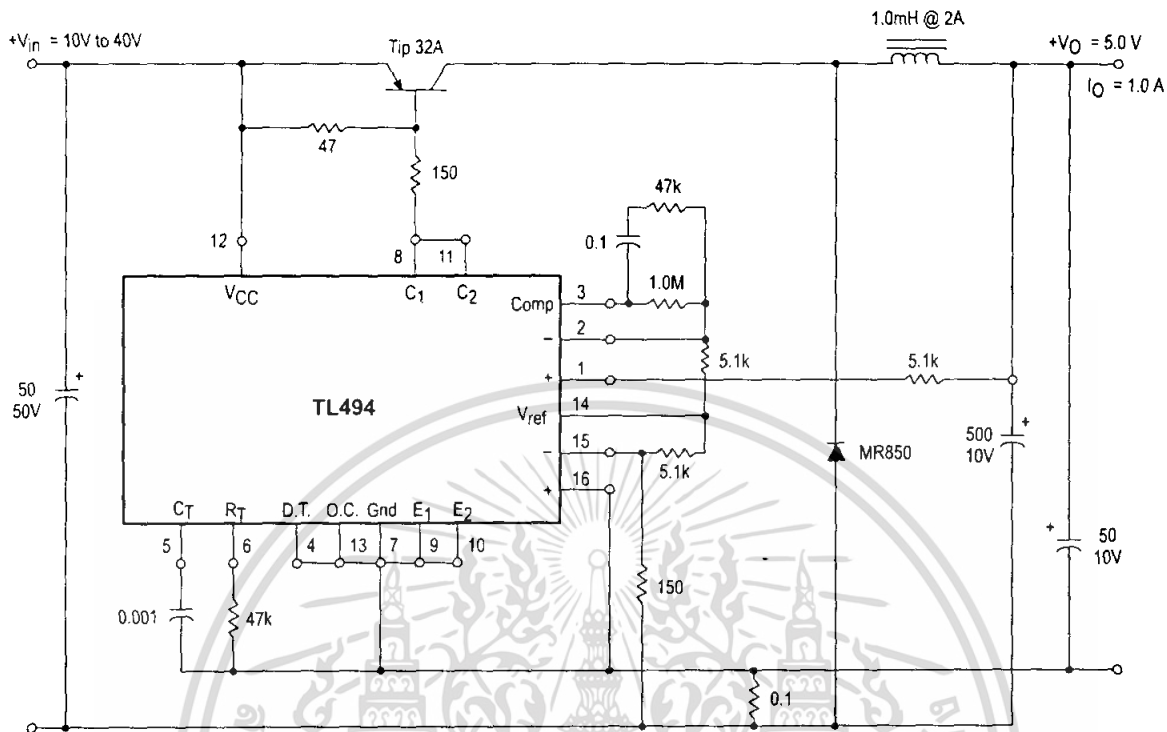


Test	Conditions	Results
Line Regulation	$V_{in} = 10\text{ V to }40\text{ V}$	14 mV 0.28%
Load Regulation	$V_{in} = 28\text{ V}, I_O = 1.0\text{ mA to }1.0\text{ A}$	3.0 mV 0.06%
Output Ripple	$V_{in} = 28\text{ V}, I_O = 1.0\text{ A}$	65 mV pp P.A.R.D.
Short Circuit Current	$V_{in} = 28\text{ V}, R_L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

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

TL494

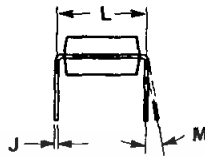
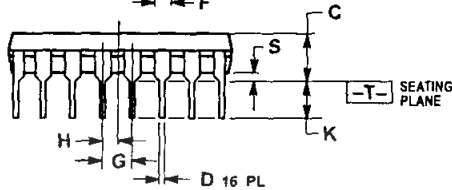
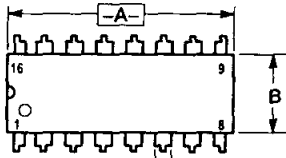
Figure 21. Pulse Width Modulated Step-Down Converter



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

TL494 OUTLINE DIMENSIONS

N SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 648-08
ISSUE R



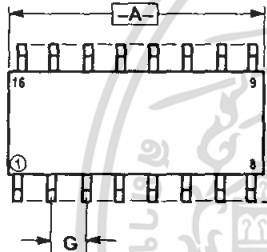
⊕ 0.25 (0.010) (M) T A (M)

NOTES

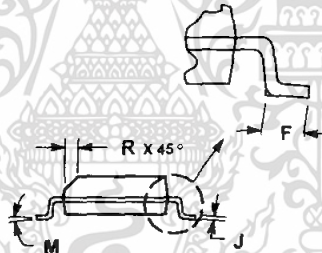
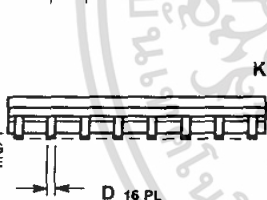
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION INCH.
3. DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
4. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
5. ROUNDED CORNERS OPTIONAL.

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

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



⊕ 0.25 (0.010) (M) B (S)



⊕ 0.25 (0.010) (M) T B (S) A (S)


NOTES

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

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	9.80	10.00	0.386	0.393
B	3.80	4.00	0.150	0.157
C	1.35	1.75	0.054	0.068
D	0.35	0.49	0.014	0.019
F	0.40	1.25	0.016	0.049
G	1.27 BSC		0.050 BSC	
J	0.19	0.25	0.008	0.009
K	0.10	0.25	0.004	0.009
M	0° - 7°		0° - 7°	
P	5.80	6.20	0.229	0.244
R	0.25	0.50	0.010	0.019

TL494



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

How to reach us:

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

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

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

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



TL494/D



This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.



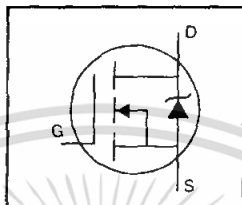
International IR Rectifier

PD-9.458C

IRFP450

HEXFET® Power MOSFET

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



$$V_{DSS} = 500V$$

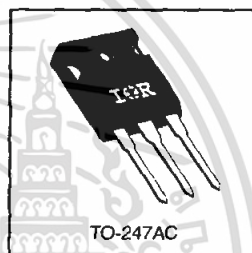
$$R_{DS(on)} = 0.40\Omega$$

$$I_D = 14A$$

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
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	14	
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	8.7	A
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	56	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	190	W
	Linear Derating Factor	1.5	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	760	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ①	8.7	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	19	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	3.5	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to +150	
T_{STG}	Storage Temperature Range		°C
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting Torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf-in (1.1 N-m)	

Thermal Resistance


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

IRFP450

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

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	$V_{GS}=0V, I_D=250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.63	—	$V/^\circ\text{C}$	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D=1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.40	Ω	$V_{GS}=10V, I_D=8.4A$ ③
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS}=V_{GS}, I_D=250\mu A$
g_{fs}	Forward Transconductance	9.3	—	—	S	$V_{DS}=50V, I_C=8.4A$ ③
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	$V_{DS}=500V, V_{GS}=0V$
		—	—	250		$V_{DS}=400V, V_{GS}=0V, T_J=125^\circ\text{C}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS}=20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS}=-20V$
Q_g	Total Gate Charge	—	—	150	nC	$I_D=14A$
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	20		$V_{DS}=400V$
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	80		$V_{GS}=10V$ See Fig. 6 and 13 ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	17	—		$V_{DD}=250V$
t_r	Rise Time	—	47	—	ns	$I_D=14A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	92	—		$R_G=6.2\Omega$
t_f	Fall Time	—	44	—		$R_D=17\Omega$ See Figure 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact 
L_S	Internal Source Inductance	—	13	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	2600	—	pF	$V_{GS}=0V$
C_{oss}	Output Capacitance	—	720	—		$V_{DS}=25V$
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	340	—		$f=1.0\text{MHz}$ See Figure 5

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	14	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode. 
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	56		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.4	V	$T_J=25^\circ\text{C}, I_S=14A, V_{GS}=0V$ ②
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	540	810	ns	$T_J=25^\circ\text{C}, I_F=14A$
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	4.8	7.2	μC	$di/dt=100A/\mu\text{s}$ ③
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)
- ② $I_{SD} \leq 14A, di/dt \leq 130A/\mu\text{s}, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}, T_J \leq 150^\circ\text{C}$
- ③ $V_{DD}=50V, \text{starting } T_J=25^\circ\text{C}, L=7.0\text{mH}, R_G=25\Omega, I_{AS}=14A$ (See Figure 12)
- ④ Pulse width $\leq 300\mu\text{s}$; duty cycle $\leq 2\%$.



IRFP450

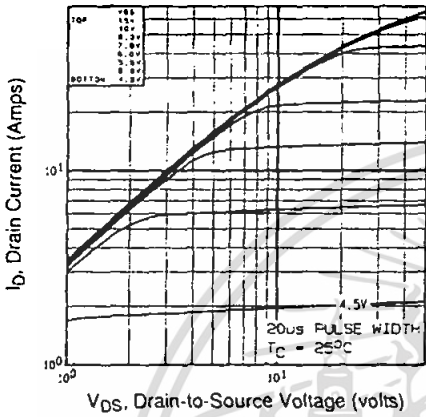


Fig 1. Typical Output Characteristics, $T_C=25^\circ\text{C}$

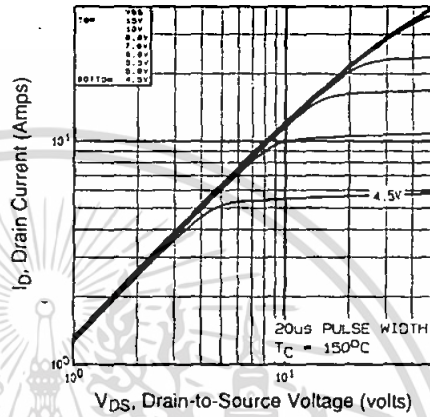


Fig 2. Typical Output Characteristics, $T_C=150^\circ\text{C}$

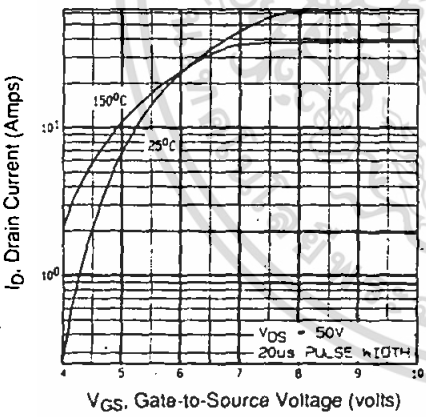


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

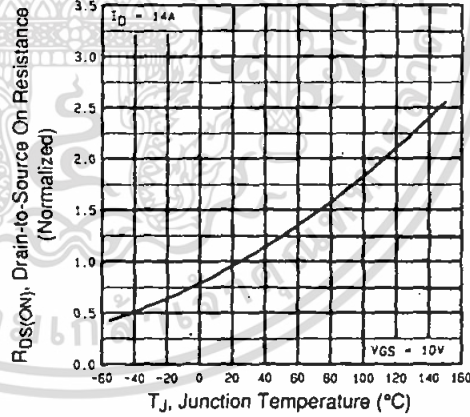


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

DATA SHEETS

IRFP450

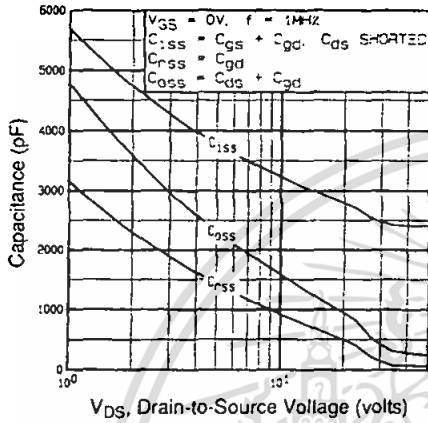


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

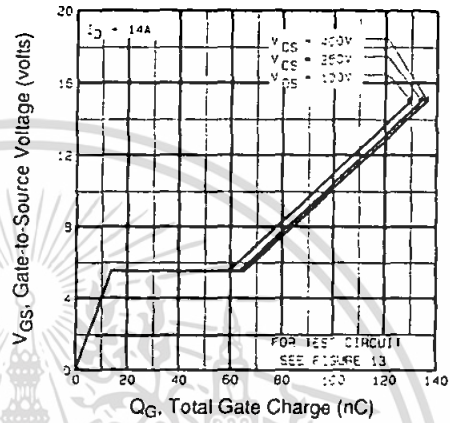


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

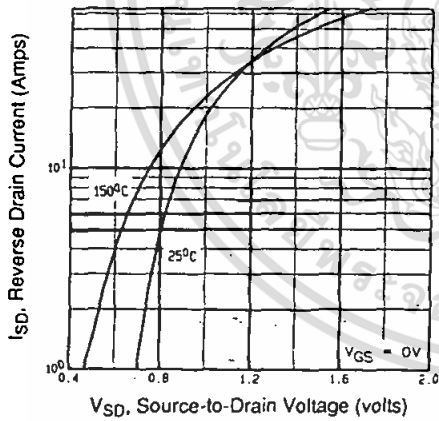


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

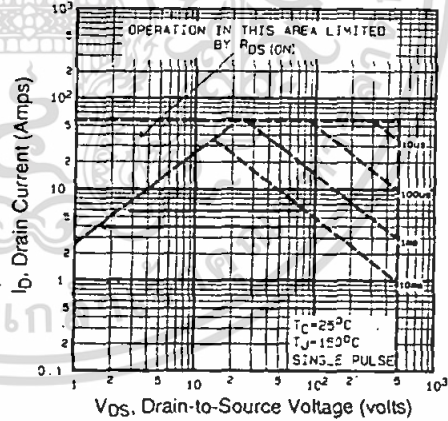


Fig 8. Maximum Safe Operating Area



IRFP450

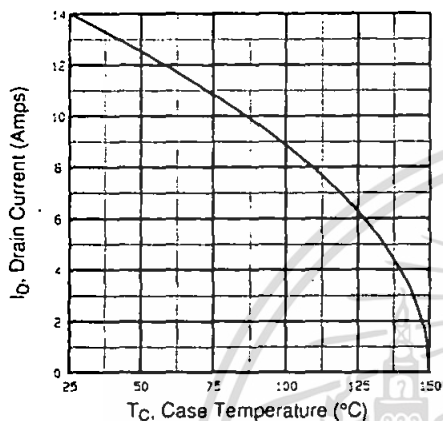


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

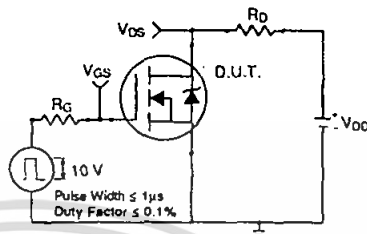


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

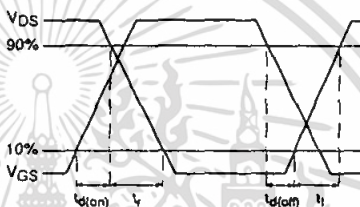


Fig 10b. Switching Time Waveforms

DATA SHEETS

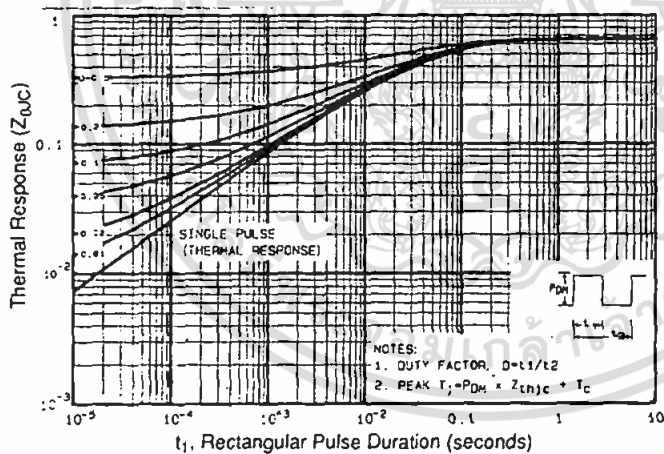


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

IRFP450

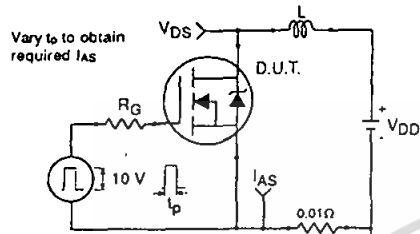


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

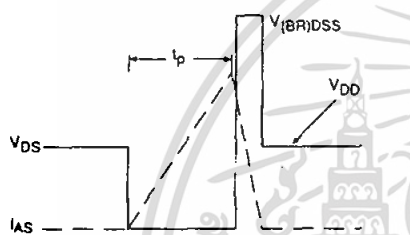


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

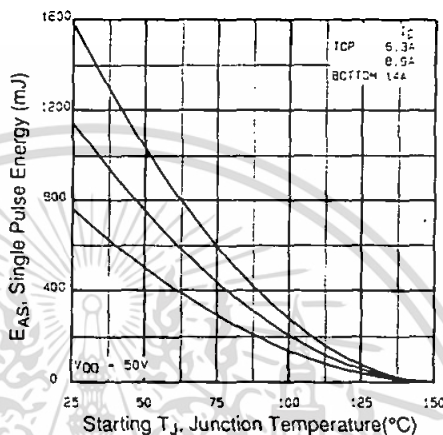


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

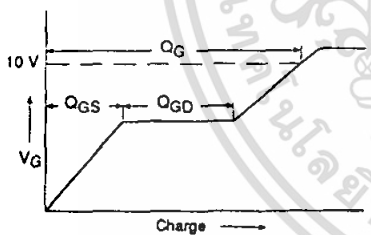


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

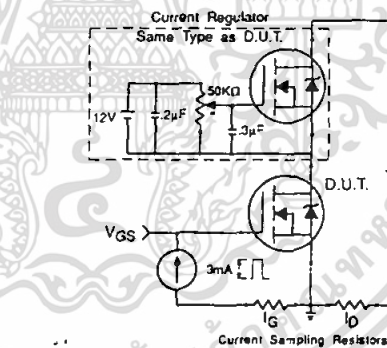


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

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

Appendix B: Package Outline Mechanical Drawing – See page 1511

Appendix C: Part Marking Information – See page 1517



TOSHIBA PHOTOCOUPLER GaAIAs IRED & PHOTO-IC

TLP250(INV)

TRANSISTOR INVERTER
 INVERTERS FOR AIR CONDITIONER
 IGBT GATE DRIVE
 POWER MOS FET GATE DRIVE

The TOSHIBA TLP250(INV) consists of a GaAIAs light emitting diode and a integrated photodetector.

This unit is 8-lead DIP.

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

- Input Threshold Current : $I_F=5\text{mA}(\text{MAX})$
- Supply Current(I_{CC}) : $11\text{mA}(\text{MAX})$
- Supply Voltage(V_{CC}) : $10\sim 35\text{V}$
- Output Current(I_O) : $\pm 2.0\text{A}(\text{MAX})$
- Switching Time(t_{pLH}/t_{pHL}) : $0.5\mu\text{s}(\text{MAX})$
- Isolation Voltage : 2500Vrms
- UL Recognized : UL1577, File No. E67349
- Option(D4)

VDE Approved : DIN VDE0884/06.92 Certificate No.76823

Maximum Operating Insulation Voltage : 630V_{PK}

Highest Permissible Over Voltage : 4000V_{PK}

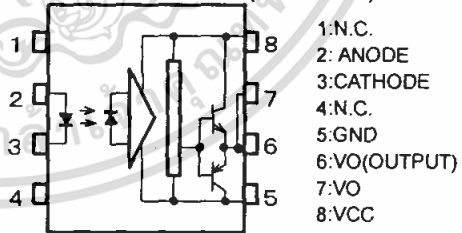
(Note):When a VDE0884 approved type is needed,
 Please designate the "Option(D4)"

- Creepage Distance : $6.4\text{mm}(\text{MIN})$
- Clearance : $6.4\text{mm}(\text{MIN})$

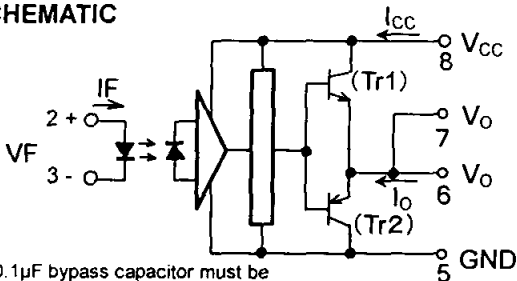
TRUTH TABLE

		Tr 1	Tr 2
INPUT LED	ON	ON	OFF
	OFF	OFF	ON

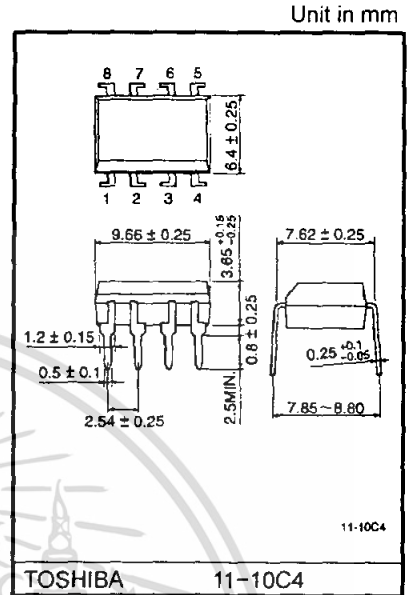
PIN CONFIGURATION (TOP VIEW)



SCHEMATIC



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



TOSHIBA 11-10C4
 Weight: 0.54 g

MAXIMUM RATINGS (Ta=25°C)

CHARACTERISTIC			SYMBOL	RATING	UNIT	
LED	Forward Current		I_F	20	mA	
	Forward Current Derating (Ta≥70°C)		$\Delta I_F / \Delta T_a$	-0.36	mA / °C	
	Peak Transient Forward Current (Note 1)		I_{FPT}	1	A	
	Reverse Voltage		V_R	5	V	
	Junction Temperature		T_j	125	°C	
DETECTOR	"H" Peak Output Current	PW ≤ 2.5μs, f ≤ 15 kHz	(Note 2)	I_{OPH}	-1.5	A
		PW ≤ 1.0μs, f ≤ 15 kHz			-2.0	
	"L" Peak Output Current	PW ≤ 2.5μs, f ≤ 15 kHz		I_{OPL}	+1.5	A
		PW ≤ 1.0μs, f ≤ 15 kHz			+2.0	
	Output Voltage	(Ta ≤ 70°C)		V_o	35	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_{opr}	-20~85	°C	
Storage Temperature Range			T_{stg}	-55~125	°C	
Lead Soldering Temperature(10s)			T_{sol}	260	°C	
Isolation Voltage (AC, 1min., R.H. ≤ 60%, Ta=25°C) (Note 4)			BV_s	2500	Vrms	

(Note 1) : Pulse width PW ≤ 1μs, 300pps

(Note 2) : Exponential Waveform

(Note 3) : Exponential Waveform $I_{OPH} \leq -1.0A (\leq 2.5\mu s)$, $I_{OPL} \leq +1.0A (\leq 2.5\mu s)$

(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 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

CHARACTERISTIC	SYMBOL	MIN	TYP.	MAX	UNIT	
Input Current, ON	$I_{F(ON)}$	7	8	10	mA	
Input Voltage, OFF	$V_{F(OFF)}$	0	—	0.8	V	
Supply Voltage	V_{CC}	15	—	30	V	
				20		
Peak Output Current	I_{OPH} / I_{OPL}	—	—	±0.5	A	
Operating Temperature	T_{opr}	-20	25	70	85	°C

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

CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION	MIN	TYP.	MAX	UNIT
Input Forward Voltage		V _F	—	I _F = 10 mA, Ta = 25°C	—	1.6	1.8	V
Temperature Coefficient of Forward Voltage		ΔV _F / ΔTa	—	I _F = 10 mA	—	-2.0	—	mV / °C
Input Reverse Current		I _R	—	V _R = 5 V, Ta = 25°C	—	—	10	μA
Input Capacitance		C _T	—	V = 0, f = 1 MHz, Ta = 25°C	—	45	250	pF
Output Current	"H" Level	I _{OPH}	2	V _{CC} = 30 V (*1)	I _F = 10 mA V _{B-6} = 4 V	-1.0	-1.5	—
	"L" Level	I _{OPL}	1		I _F = 0 V _{B-5} = 2.5 V	1.0	2	—
Output Voltage	"H" Level	V _{OH}	3	V _{CC1} = +15 V V _{EE1} = -15 V R _L = 200Ω, I _F = 5 mA	11	12.8	—	V
	"L" Level	V _{OL}	4	V _{CC1} = +15 V V _{EE1} = -15 V R _L = 200Ω, V _F = 0.8 V	—	-14.2	-12.5	
Supply Current	"H" Level	I _{CCH}	—	V _{CC} = 30 V	I _F = 10 mA Ta = 25°C	—	7	—
					I _F = 10 mA	—	—	11
	"L" Level	I _{CCL}	—		I _F = 0 mA Ta = 25°C	—	7.5	—
					I _F = 0 mA	—	—	11
Threshold Input Current	L→H	I _{FLH}	—	V _{CC1} = +15 V V _{EE1} = -15 V R _L = 200Ω, V _O > 0V	—	1.2	5	mA
Threshold Input Voltage	H→L	V _{FHL}	—	V _{CC1} = +15 V V _{EE1} = -15 V R _L = 200Ω, V _O < 0V	0.8	—	—	V
Supply Voltage		V _{CC}	—	—	10	—	35	V
Capacitance (Input-Output)		C _S	—	V _S = 0, f = 1 MHz, Ta = 25°C	—	1.0	2.0	pF
Resistance (Input-Output)		R _S	—	V _S = 500 V, Ta = 25°C R.H. ≤ 60%	1×10 ¹²	10 ¹⁴	—	Ω

(*) : All typical values are at Ta=25°C

(*1) : Duration of IO time ≤ 50μs

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

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION	MIN	TYP.	MAX	UNIT
Propagation Delay Time	L→H	5	I _F = 8 mA, V _{CC} = 15 V R _L = 20Ω, C _L = 10nF	0.05	0.15	0.5	μs
	H→L			0.05	0.15	0.5	
Switching Time Dispersion between ON and OFF	tpHL-tpLH			—	—	0.45	
Output Rise Time	t _r			—	—	—	
Output Fall Time	t _f			—	—	—	
Common Mode Transient Immunity at High Level Output	CM _H	6	V _{CM} = 1000 V, I _F = 8 mA V _{CC} = 30 V, Ta = 25°C	-15000	—	—	V/μs
Common Mode Transient Immunity at Low Level Output	CM _L		V _{CM} = 1000 V, I _F = 0 mA V _{CC} = 30 V, Ta = 25°C	15000	—	—	V/μs

Fig.1 I_{OPL} TEST CIRCUIT

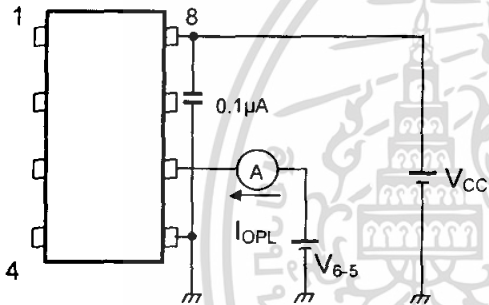


Fig.2 I_{OPH} TEST CIRCUIT

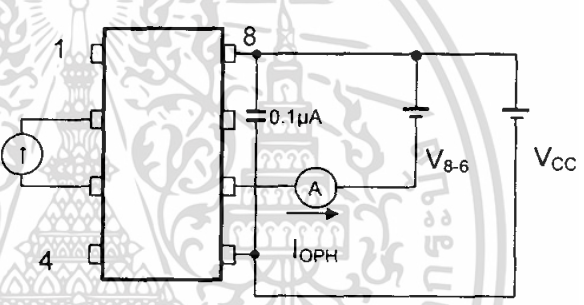


Fig.3 V_{OH} TEST CIRCUIT

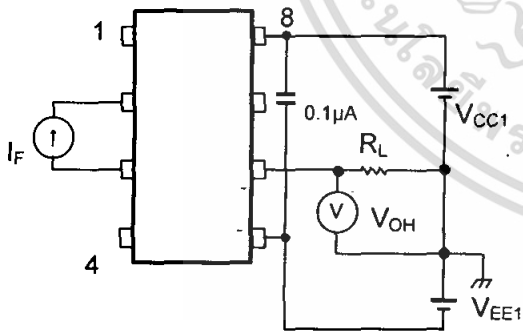


Fig.4 V_{OL} TEST CIRCUIT

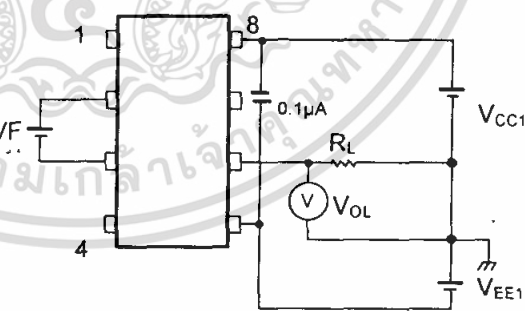


Fig.5 t_{pLH} , t_{pHL} , t_r , t_f TEST CIRCUIT

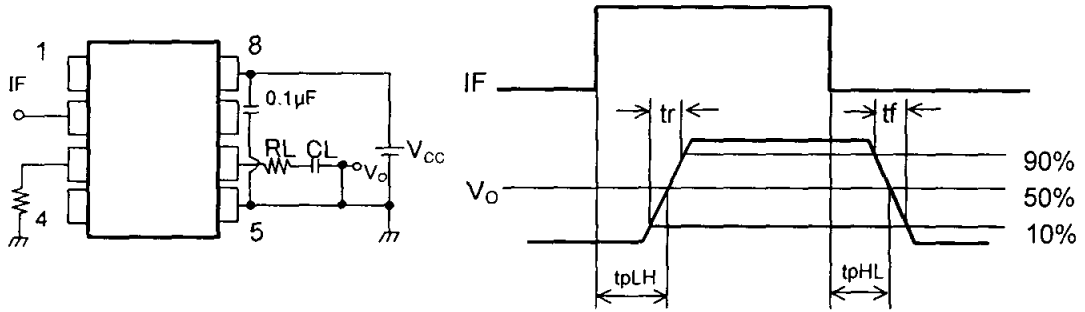
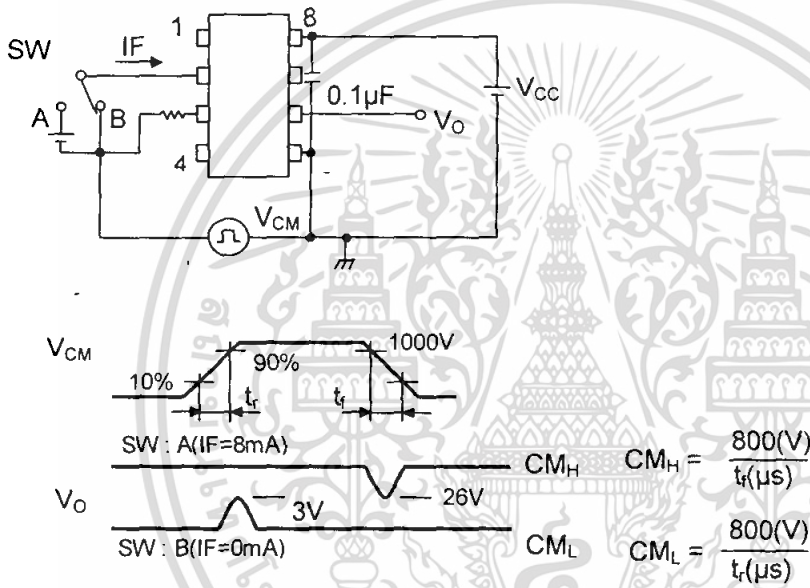


Fig.6 CM_H , CM_L TEST CIRCUIT



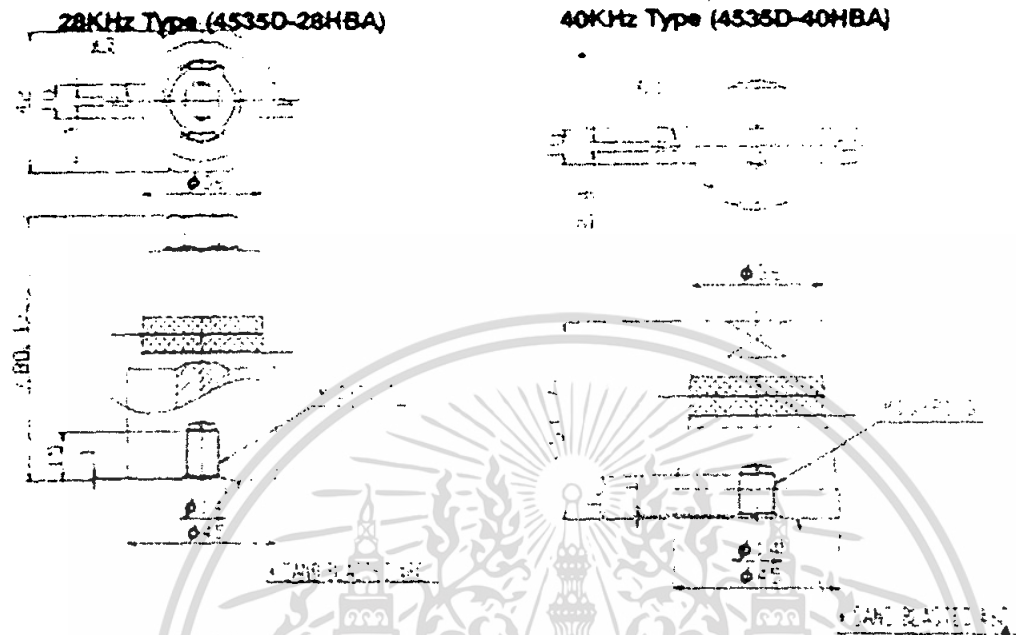
$CM_L(CM_H)$ is the maximum rate of rise(fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low(high)state.

RESTRICTIONS ON PRODUCT USE

000707EBC

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

◆ DIMENSIONS



28KHz Type (4535D-28HBA)		
RESONANCE FREQUENCY	(KHz)	27.9 ± 0.5
RESONANCE IMPEDANCE	(Ω)	BELOW 30
CAPACITANCE	(pF)	3800 ± 300 (at 1 KHz)
MAX. OPERATING POWER	(W)	70 (Using 1 Transducer) 50 (Using more than 2 Transducers)
INSULATION RESISTANCE	IR (MΩ)	More than 10,000 (DC 1000V)
MAX. OPERATING TEMPERATURE	(°C)	BELOW 120

40KHz Type (4535D-40HBA)		
RESONANCE FREQUENCY	(KHz)	39.9 ± 0.5
RESONANCE IMPEDANCE	(Ω)	BELOW 40
CAPACITANCE	(pF)	3800 ± 300 (at 1 KHz)
MAX. OPERATING POWER	(W)	70 (Using 1 Transducer) 50 (Using more than 2 Transducers at least)
INSULATION RESISTANCE	IR (MΩ)	More than 10,000 (DC 1000V)
MAX. OPERATING TEMPERATURE	(°C)	BELOW 120