สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เตาอบเหนี่ยวนำ

INDUCTION OVEN



โดย

นายกมล พะเทพ

นายยงยุทธ มีขวด

นายณรงค์ชัย เสถียรวิริยะ

นายสุเจตน์ ภูชงค์

นายหะริน หญีตสอน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 49916
วัน,เดือน,ปี 2 เม.ย. 2547

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2545

เตาอบเหนี่ยวนำ

INDUCTION OVEN



โดย

นายกมล พะเทพ

นายชงยุทธ บีขวด

นายณรงค์ชัย เสถียรวิริยะ

นายสุเจตน์ ภูชงค์

นายหะริน หญีตสอน

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เตาอบเหนี่ยวนำ

ผู้จัดทำ

1. นายกมล พะเทพ
2. นายยงยุทธ มีขวด
3. นายณรงค์ชัย เสถียรวิริยะ
4. นายสุเจตน์ ภูชงค์
5. นายหะริน หญีตสอน



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	A
ABSTRACT	B
สารบัญภาพ	C
สารบัญตาราง	E
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงาน	1
1.2 หลักการทำงานของเตาอบเหนี่ยวนำ	1
1.3 วัตถุประสงค์	2
1.4 ขอบเขตของโครงงาน	2
บทที่ 2 หลักการที่นำมาใช้และทฤษฎีพื้นฐาน	3
2.1 หลักการรีโซแนนซ์	3
2.2 หลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ	12
2.3 เพาเวอร์มอสเฟต (Power MOSFET)	14
2.4 ทฤษฎีหม้อแปลงความถี่สูง	23
2.5 หลักการเลือกวัสดุสำหรับการสร้างเตาอบเหนี่ยวนำ	36
2.6 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocuple)	37
บทที่ 3 การออกแบบวงจรและขดลวด	43
3.1 วงจรหลักที่ใช้ในโครงงาน	43
3.2 วงจรรักษาระดับแรงดัน	50
3.3 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์	50
3.4 วงจรขับเกทแบบแยกกราวด์	54
3.5 วงจรฟลูบริดจ์อินเวอร์เตอร์	55
3.6 การสร้างขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก	56
บทที่ 4 ชุดวงจรควบคุมและแสดงผล	58
4.1 วงจรควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS 51)	58
4.2 ส่วนแสดงผล	60
บทที่ 5 ผลการทดลอง	61
5.1 การทดลองชุดขับเกท	61
5.2 การทดลองเพื่อหาระยะแก็ป (Gap)	65
5.3 การทดลองการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่พิกัดแรงดัน 220 V 1.5 KW	66
5.4 การทดลองหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดและกำลังไฟฟ้าต่ำสุด	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6 วิจารณ์โครงงาน 73
ภาคผนวก ก. Data Sheet
ภาคผนวก ข. รูปชิ้นงาน
รูปที่ ข.1 แสดงโครงสร้างภายในของเตาอบ
รูปที่ ข.2 แสดงขดลวดชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง
รูปที่ ข.3 แสดงขดลวดด้านที่ติดแกนเฟอร์ไรท์ด้วย
รูปที่ ข.4 แสดงการติดชั้นฉนวนกับผนังเตาอบ
ภาคผนวก ค. โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์
ภาคผนวก ง. เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตาอบเหนี่ยวนำ

(Induction Oven)

กมล พะเทพ
ยงยุทธ มีขวด
ณรงค์ชัย เสถียรวิริยะ
สุเจตน์ ภูชงค์
หะริน หญีตสอน
รศ.ดร.วิริยะ พิเชฐจำเริญ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

โครงงานปริญญานิพนธ์ชิ้นนี้ คือ การสร้างเตาอบโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำของขดลวดซึ่งที่ขนาดกำลังพิกัดกำลังไฟฟ้า 1000 วัตต์(Watt) ซึ่งจะใช้วงจรฟลูบริทจ์อินเวอร์เตอร์(Full-Bridge-Inverter) แบบอนุกรม ซึ่งมีเพาเวอร์มอสเฟต (Power MOSFET) เป็นตัวควบคุมการจ่ายพลังงานเข้าสู่ตัวเตาอบ สามารถควบคุมการจ่ายพลังงานได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่จะจ่ายให้กับขดลวดเหนี่ยวนำ การควบคุมการจ่ายพลังงานให้กับเตาสามารถเพิ่มและลดกำลังได้โดยการเปลี่ยนความถี่โดยไม่ต้องเปลี่ยนขดลวดให้ความร้อนเหมือนตู้อบที่ให้ขดลวดความร้อน(Heating Oven) และถ้าเทียบที่พิกัดกำลังไฟฟ้าเท่ากันกับเตาอบที่ใช้ขดลวดเหนี่ยวนำ(Induction Oven) และการควบคุมการจ่ายพลังงานให้เตาอบนี้โดยการนำเอาวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์มาเป็นตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Induction Oven

Kamol Patep

Yongyut Meekhuad

Narongchai Sathienwiriya

Sujet Phuchonk

Harin Yeetsorn

Assc. Prof. Dr. Viriya Pichetjamroen Advisor

2002

ABSTRACT

This project presents an induction oven, used the concept of magnetic induction and Induction oven has power rated is 1000 watt . It used a Full-Bridge-Inverter by Scries-Resonance - Inverter . The switching device is power MOSFET . The energy tranfers to spiral induction coil is control by the method of Frequency Control , it doesn't change the coil as the heating oven. If compare it in the same rate Induction Oven . And this project used the method of Frequency control by Microcontroller.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงการพล็อตค่า $+jX_L$ และ $-jX_C$ กับความถี่สำหรับวงจรอนุกรมรีโซแนนซ์ 3

รูปที่ 2.2 แสดงกราฟอิมพีแดนซ์กระแสและมุมเฟสกับความถี่และกระแสที่ไหลในวงจรรีโซแนนซ์ 5

รูปที่ 2.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_R , V_L, V_C กับความถี่พลังงานที่ส่งผ่านระหว่าง L และ C 6

รูปที่ 2.4 แสดงเฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันในวงจรอนุกรมรีโซแนนซ์ 6

รูปที่ 2.5 แสดงกราฟระหว่างกระแสกับความถี่ 8

รูปที่ 2.6 แสดงเฟสเซอร์ไดอะแกรมรูปคลื่นของกระแสในสภาวะรีโซแนนซ์วงจรขนาน 9

รูปที่ 2.7 แสดงวงจรปกติของการต่อแบบ RLC ขนาน 10

รูปที่ 2.8 แสดงกราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์และกระแสต่อค่าความถี่ 11

รูปที่ 2.9 แสดงกราฟระหว่างแรงดันกับความถี่ 12

รูปที่ 2.10 แสดงกราฟระหว่างแรงดันกับความถี่ 14

รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของมอสเฟต 15

รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานของมอสเฟต 16

รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟต 17

รูปที่ 2.14 แสดงตัวเก็บประจุแฝงที่ต่ออยู่กับขาต่าง ๆ ภายในตัวเพาเวอร์มอสเฟต 19

รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะแรงดันและกระแสที่ขาเกทขณะเพาเวอร์มอสเฟตถูกไบแอส 19

รูปที่ 2.16 แสดงตัวอย่างของ Gate charge Chart 20

รูปที่ 2.17 แสดงการชาร์ทประจุที่ขาเกท 21

รูปที่ 2.18 แสดงตัวอย่างกราฟพิกัดปลอดภัย FBSOA ของเพาเวอร์มอสเฟต 22

รูปที่ 2.19 แสดงตัวอย่างกราฟพิกัดปลอดภัย SSOA ของเพาเวอร์มอสเฟต 23

รูปที่ 2.20 แสดงหม้อแปลงแบบ 2 ขด 24

รูปที่ 2.21 แสดงส่วนประกอบของหม้อแปลงสวิทชิ่ง 26

รูปที่ 2.22 แสดงกราฟฮีสเตอร์รีซีสของแกนเฟอร์ไรต์ 27

รูปที่ 2.23 แสดงลักษณะที่สมบูรณ์ของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซีสซึ่งมีลักษณะสมมาตร 28

รูปที่ 2.24 แสดงการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ของเนื้อสาร 29

รูปที่ 2.25 แสดงรูปวงจรสมมูลย์ที่ใช้ในการคำนวณ 33

รูปที่ 2.26 แสดงหลักการของเทอร์โมคัปเปิล 37

รูปที่ 2.27 แสดงกฎของโลหะแทรก 38

รูปที่ 2.28 แสดงกฎของอุณหภูมิแทรก 38

รูปที่ 2.29 แสดงอุณหภูมิช่วงกลางสายจะไม่มีผลต่อการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า 39

รูปที่ 2.30 แสดงการต่อเทอร์โมคัปเปิลแบบขนาน 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.31 แสดงการต่อเทอร์โมคัปเปิลแบบกลับขั้ว 39
รูปที่ 2.32 แสดงการเพิ่มเทอร์โมคัปเปิลที่อุณหภูมิ T_1 หรือ T_2 40
รูปที่ 2.33 แสดงการต่อเทอร์โมคัปเปิลแบบอนุกรม 40
รูปที่ 2.34 แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลแบบ K 42
รูปที่ 3.1 แสดงวงจรเรคติไฟเออร์ 43
รูปที่ 3.2 แสดงการประมาณค่าเวลาในการคายประจุของตัวเก็บประจุ C 45
รูปที่ 3.3 แสดงวงจร Series Resonant Inverter 47
รูปที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_i และ V_o 48
รูปที่ 3.5 แสดงความถี่ที่ทำให้เกิดการ Resonance 49
รูปที่ 3.6 แสดง Block diagram แสดงส่วนของวงจรควบคุม 50
รูปที่ 3.7 แสดงการจัดโครงสร้างภายในและการจัดขาของ IC เบอร์ TL494 51
รูปที่ 3.8 แสดงรูปคลื่นลักษณะการทำงานของ TL494 52
รูปที่ 3.9 แสดงการต่อ Dead Time 53
รูปที่ 3.10 แสดงการต่อวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ TL494 53
รูปที่ 3.11 แสดงวงจร Drive-Isolated 54
รูปที่ 3.12 แสดงวงจรสนับเบอร์ 55
รูปที่ 3.13 แสดงวงจร Full Bridge Inverter 56
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟกระแสและแรงดันเนื่องจากการปรับความถี่ให้สูงขึ้น 58
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟกระแสและแรงดันเนื่องจากการปรับความถี่ให้ลดลง 59
รูปที่ 4.3 แสดงการต่อชุดวงจรควบกับค่าความต้านทานที่ขา 6 ของ IC TL 494 59
รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างหน้าจอ LCD 60
รูปที่ 5.1 แสดงวงจร Drive-Gate 105
รูปที่ 5.2 แสดงผลการทดลองสัญญาณขับเกทที่ความถี่ต่าง ๆ 106
รูปที่ 5.3 แสดงการจัดอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในเตาอบแบบ Heating 110
รูปที่ 5.4 แสดงการจัดอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในเตาอบแบบ Induction 111
รูปที่ 5.5 กราฟแสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในเตาอบแบบต่างๆที่พิกัดแรงดัน 220 V และมีกำลัง 1 kW 113
รูปที่ 5.6 แสดงสัญญาณ V และ I ของเตาอบแบบ Induction 113
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงผลของสภาวะอุณหภูมิที่ความถี่ต่าง ๆ 115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงคุณสมบัติเปรียบเทียบของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน	41
ตารางที่ 5.1	แสดงผลการทดลองหาระยะแก็ป (Gap)	63
ตารางที่ 5.2	แสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในเตาอบแบบต่างๆที่พิกัดแรงดัน 220 V และมีกำลัง 1 kW	65
ตารางที่ 5.3	แสดงอุณหภูมิที่ความถี่ต่าง ๆ	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงาน

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าได้กลายเป็นพลังงานหลัก และเข้ามามีบทบาทในวงการอุตสาหกรรม และในวิถีชีวิตประจำวันของประชาชนภายในประเทศเป็นผลให้ เกิดการประดิษฐ์คิดค้นเทคโนโลยีใหม่ๆ ขึ้นมาเพื่ออำนวยประโยชน์ในการนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้งานให้ตรงกับความต้องการในแต่ละด้าน โดยมีการนำเอาทฤษฎีต่างๆทางด้านไฟฟ้าที่มีส่วนเกี่ยวข้องมาประยุกต์ใช้ในการคิดค้น เพื่อให้เกิดสิ่งประดิษฐ์ใหม่ๆขึ้นมา

ส่วนการนำเอาพลังงานไฟฟ้ามาใช้ในชีวิตประจำวันมักจะปรากฏออกมาให้เห็นในรูปของแสงสว่าง หรือพลังงานความร้อน เหล่านี้เป็นต้น โดยที่ในส่วนของพลังงานความร้อนเหล่านี้อาจได้มาจากขดลวดความร้อนขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ซึ่งเราอาจจะนำหลักการของขดลวดความร้อน และขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน มาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ที่ใช้ในการหุงต้มอาหารและจากการศึกษา การให้ความร้อนแบบขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน จะมีประโยชน์ในการให้ความร้อนทดแทนเชื้อเพลิงที่มีใช้กันอยู่ คือถ่าน แก๊ซและขดลวดความร้อน เพื่อใช้ในการหุงต้มเพื่อประกอบการทำอาหาร และทั้งนี้การให้ความร้อนแบบขดลวดเหนี่ยวนำ จะไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและมีความสะดวกสบายต่อการใช้งานอีกด้วย

ดังนั้นจากการศึกษา โครงงานนี้จึงเป็นการนำเสนอแนวคิดใหม่ในการทำเตาอบโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำแทนการให้ความร้อนแบบขดลวดความร้อนที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในตู้อบแบบเหนี่ยวนำเร็วกว่าขดลวดความร้อน ในขนาดพิกัดกำลังที่เท่ากันและต้องการให้การเพิ่มขึ้นของพิกัดกำลังสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยไม่ต้องอาศัยการปรับที่ขดลวดความร้อน

1.2 หลักการทำงานของเตาอบเหนี่ยวนำ (Induction Oven)

จากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับอุปกรณ์ใด ๆ ที่เป็นโลหะมักจะมีผลทำให้เกิดพลังงานสูญเสียขึ้นมาที่ ปรากฏออกมาในลักษณะของพลังงานความร้อนโดยเฉพาะในเครื่องจักรกลไฟฟ้าจำพวก มอเตอร์ เครื่องกำเนิด และหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งเราพบว่าเมื่อเกิดการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กจากขดลวดปฐมภูมิก็จะเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า ขึ้นทางด้านทุติยภูมิในลักษณะวงจรปิด โดยที่กระแสที่เกิดจากการเหนี่ยวนำนี้จะก่อให้เกิด loss หรือพลังงานสูญเสียในรูปพลังงานความร้อนขึ้นมา และพลังงานส่วนนี้ไม่สามารถนำมาใช้งานได้และไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อเครื่องจักรในด้านใดๆเลย มิหนำซ้ำยังทำให้เครื่องจักรกลเหล่านั้นเกิดความร้อนขึ้นมาอีกด้วย แต่พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำนี้เราสามารถที่จะนำหลักการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์โดยนำมาเป็นแนวคิดหลักในการทำเตาอบเหนี่ยวนำขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยหลักการทำงานจะใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ รีโซแนนซ์แบบ RLC Series Resonance Inverter เปลี่ยนแรงดันไฟตรงให้เป็นไฟสลับความถี่สูงโดยการใช้ Power MOSFET จากแรงดันไฟสลับความถี่สูงนี้จะถูกส่งผ่านไปยังวงจรรีโซแนนซ์ RLC Series Resonance Inverter ต่อไปรูปคลื่นของกระแสที่ผ่านขดลวดรีโซแนนซ์จะมีลักษณะเป็นรูปคลื่น Sine

เนื่องจากกระแสที่ผ่านขดลวดรีโซแนนซ์มีค่าความถี่สูง ขดลวดที่จะนำมาใช้ต้องเป็นแผ่นบางๆ เพื่อลด ปรากฏการณ์ผิว(skin effect) เมื่อกระแสผ่านขดลวดแผ่นบางจะทำให้เกิดการสร้าง ฟลักส์แม่เหล็ก และฟลักส์แม่เหล็กนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาตามรูปของกระแสที่ไหลผ่านขดลวด ฟลักส์แม่เหล็กนี้จะทำการเกี่ยวคล้องและทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นที่ตู้เตาอบ เป็นผลให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นที่ตู้เตาอบ ลักษณะของตู้เตาอบจะดูเหมือนว่าถูกลัดวงจรทำให้ค่าความต้านทานน้อยจึงมีกระแสไหลภายในตู้เตาอบในปริมาณที่มาก และทำให้เกิดพลังงานสูญเสียในรูปพลังงานความร้อนนั่นเอง

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อต้องการนำเอาหลักการของ ขดลวดเหนี่ยวนำที่มีการเหนี่ยวนำทำให้เกิดกระแสไหลและพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นนั้น มาประยุกต์ใช้งานทำเป็นเตาอบแล้วนำมาเปรียบเทียบกับเตาอบที่ใช้ขดลวดความร้อนธรรมดาว่ามีประสิทธิภาพต่างกันอย่างไร มีความสะดวกต่อการใช้งานมากน้อยแค่ไหน เหมาะสมคุ้มค่ากับการลงทุนหรือไม่และที่สำคัญวิเคราะห์ว่าเหมาะที่จะนำหลักการของขดลวดเหนี่ยวนำมาทำเป็นเตาอบหรือไม่

1.4 ขอบเขตของโครงงาน(Project)

เป็นการทดลองเพื่อหาลักษณะของขดลวดในขนาดที่เหมาะสมกับการขับโหลด ให้ได้ที่อุณหภูมิห้องอบสูง ๆ เปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของเตาอบแบบขดลวดความร้อนกับเตาอบที่แบบเหนี่ยวนำในขนาดพิกัดกำลังที่เท่ากัน และทำการศึกษาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในเตาอบ เพื่อหาข้อสรุปว่าที่ขนาดขดลวดเหนี่ยวนำชุดเดียวกัน จะสามารถเพิ่มพิกัดกำลังไฟฟ้าของตู้อบได้โดยไม่จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนขดลวดความร้อนดังเช่นเตาอบแบบขดลวดความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการรีโซแนนซ์

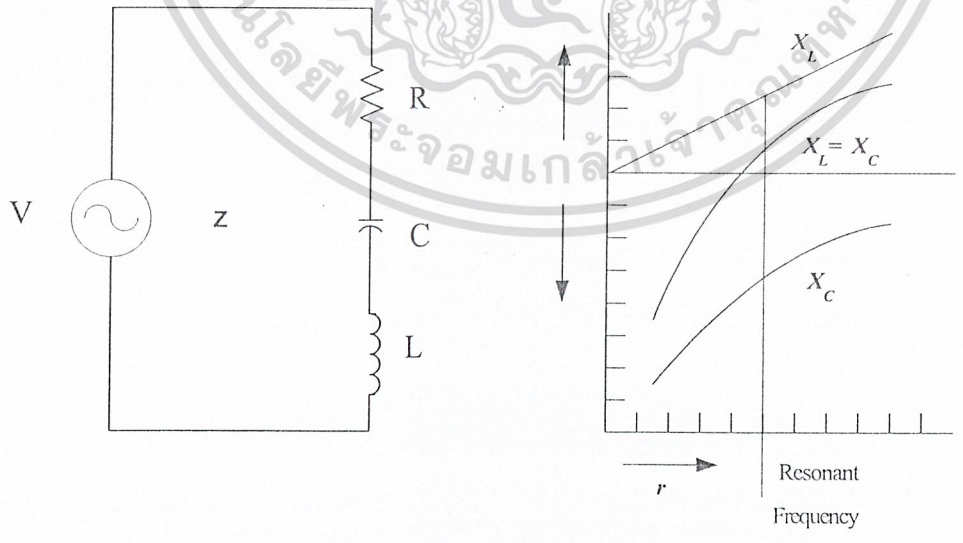
วงจร RLC ที่ต่อแบบอนุกรมหรือแบบขนาน ไม่ว่าวงจรจะต่อในลักษณะใดก็ตามค่ารีแอคแตนซ์ (Reactance) ที่เกิดขึ้นภายในวงจรอาจจะเกิดขึ้นเสริมกันหรือหักล้างกันก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าอินดักตีฟ รีแอคแตนซ์ (X_L) หรือ คาปาซิตีฟ รีแอคแตนซ์ (X_C) ในส่วนต่าง ๆ ของวงจร อย่างไรก็ตาม ผลสุดท้ายค่ารีแอคแตนซ์ที่เกิดขึ้นนั้นจะเหลือแต่ค่ารีแอคแตนซ์รวมของวงจรเพียงค่าเดียวเท่านั้นซึ่งจะปรากฏในรูปของ ค่าอินดักตีฟ รีแอคแตนซ์ (X_L) หรือ คาปาซิตีฟ รีแอคแตนซ์ (X_C) ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าใดมีอิทธิพลมากกว่ากัน

อย่างไรก็ตาม ถ้าหากว่าค่ารีแอคแตนซ์ในวงจร RLC เกิดการหักล้างกันหมดไปหรือมีค่าเท่ากับศูนย์นั่น วงจรก็จะเหลือแต่ค่ารีซิแตนซ์ (ความต้านทาน R) เพียงอย่างเดียวเท่านั้น และจะทำให้เพาเวอร์แฟคเตอร์ของวงจรมีค่าเท่ากับหนึ่งด้วย เพราะฉะนั้นสภาวะดังกล่าวจึงเรียกว่า สภาวะรีโซแนนซ์ ของวงจรนั่นเอง

2.1.1 รีโซแนนซ์อนุกรม

ผลของความถี่ที่มีต่ออิมพีแดนซ์ของวงจรอนุกรม RLC แสดงค่าดังนี้

$$Z = R + jX_T = R + j(X_L - X_C) \qquad (2.1\text{-}1)$$



ก) วงจรอนุกรม RLC ข) X_L , X_C เมื่อพล็อตกับความถี่

รูปที่ 2.1 การพล็อตค่า $+jX_L$ และ $-jX_C$ กับความถี่สำหรับวงจรอนุกรมรีโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากค่า $X_L = 2\pi fL$ และ $X_C = 1/2\pi fC$ ดังนั้นค่าของอิมพีแดนซ์จึงขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ ดังรูปที่ 2.1ข.) จะพบว่าเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า X_L เพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น (linear) ในทางกลับกัน X_C จะลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นแต่ค่า X_C จะไม่มีทางเท่ากับศูนย์ ผลรวมของรีแอคแตนซ์คือ $X_L - X_C$ ดังแสดงไว้เป็นเส้นประในกราฟของรูปที่ 2.1ข.) ที่ความถี่ต่ำค่า X_L จะมีค่าน้อยกว่าค่า X_C ดังนั้นผลรวมของรีแอคแตนซ์จะเป็นค่าของ X_T ที่มีความถี่สูง $X_L = X_C$ คือค่าที่ความถี่รีโซแนนซ์ (f_r) ดังนั้นจะกล่าวได้ว่าคุณสมบัติของวงจรรีโซแนนซ์อนุกรมคือ ในขณะที่เกิดสภาวะรีโซแนนซ์นั้น จะเกิดความถี่รีโซแนนซ์ด้วย และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของวงจรเท่ากับหนึ่งหรือวงจรจะประกอบด้วยค่ารีซิแตนซ์ (R) เพียงอย่างเดียวเท่านั้น

$$Z = R$$

$$X_T = j(X_L - X_C) = 0 \quad \text{หรือ} \quad X_L = X_C$$

หรือ

$$2\pi f_r = \frac{1}{2\pi f_r C}$$

$$f_r^2 = \frac{1}{(2\pi)^2 LC}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (2.1\text{-}2)$$

ถ้า f_r = ความถี่รีโซแนนซ์ Hz

L = อินดัคแตนซ์ H

C = คาปาซิแตนซ์ F

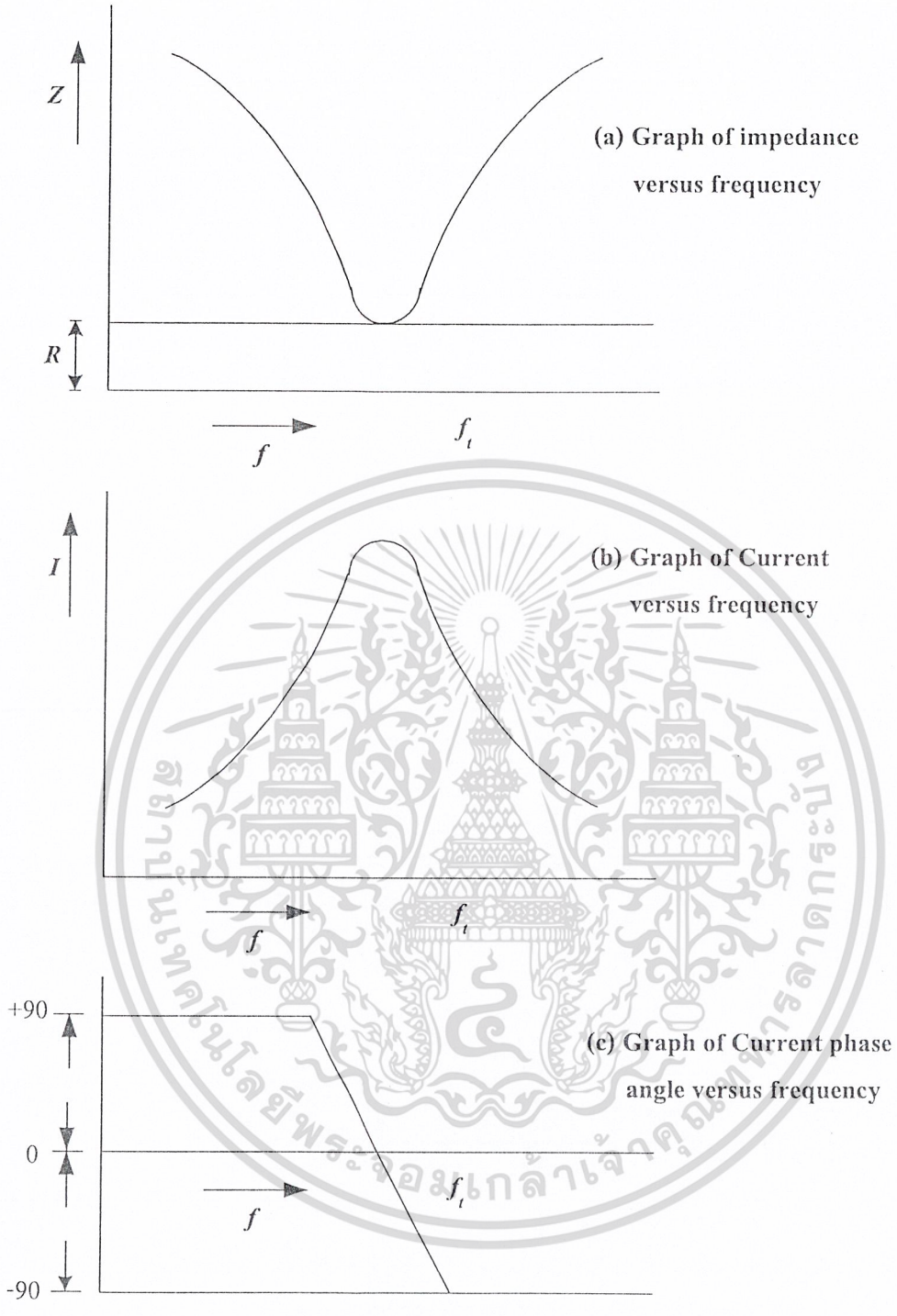
นั่นคือในวงจรรีโซแนนซ์อนุกรมที่ประกอบด้วย RLC ต่ออนุกรมจะได้ความถี่รีโซแนนซ์เท่ากับ $1/2\pi\sqrt{LC}$

เมื่อ $Z = \sqrt{\left(R^2 + X^2\right)}$ นำมาเขียนเป็นกราฟที่แปรผันตามความถี่จะได้ดังรูปที่ 2.2

$$I = \frac{V}{R} \qquad (2.1\text{-}3)$$

จากรูปที่ 2.2 จะพบว่ากราฟจะมีค่าต่ำเมื่อความถี่ในวงจรไม่อยู่ที่จุดรีโซแนนซ์ที่ความถี่รีโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 กราฟอิมพีแดนซ์กระแสและมุมเฟสกับความถี่และกระแสที่ไหลในสภาวะรีโซแนนซ์

แรงดันที่จุดรีโซแนนซ์

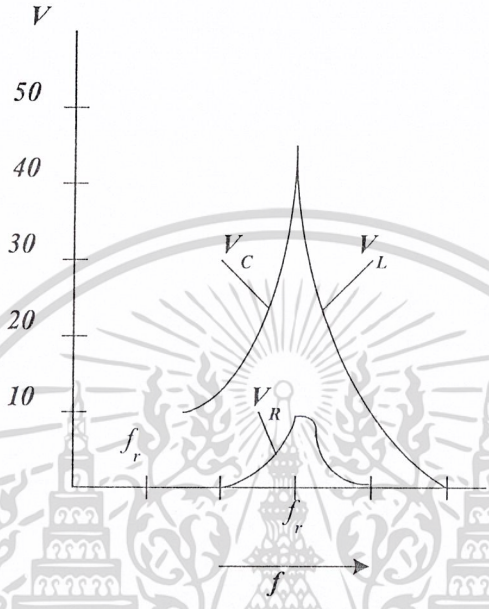
แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานในวงจร RLC (รูปที่ 2.1) จะมีค่าเท่ากับ I×R และที่จุดรีโซแนนซ์ แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานจะมีค่าเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่าย ส่วนแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

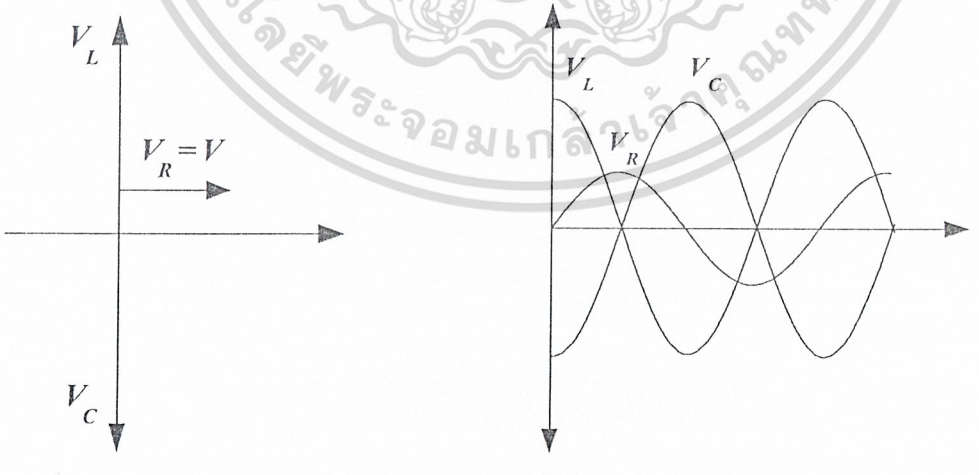
$$V_C = IX_C \quad (2.1\text{-}4)$$

$$V_L = IX_L \quad (2.1\text{-}5)$$

เมื่อนำค่า V_R , V_C , V_L มาพล็อตกราฟกับค่าความถี่ จะพบว่ามีลักษณะคล้ายกับกราฟของกระแสกับความถี่ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า V_R , V_C, V_L กับความถี่พลังงานที่ส่งผ่านระหว่าง L และ C



(ก) (ข)

รูปที่ 2.4 รูปเฟสเซอร์ไดอะแกรมของแรงดันในวงจรอนุกรมรีโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเรานำรูปคลื่นของ V_R , V_C , V_L ที่จุดรีโซแนนซ์มาพล็อตดังรูปที่ 2.4 ก.) จะพบว่า V_L จะกลับเฟส 180 องศา ส่วน V_R จะมีค่ามากที่สุดเมื่อค่า V_L , V_C มีค่าเท่ากับศูนย์ จากที่กล่าวมานี้แสดงให้เห็นว่ามีการส่งผ่านพลังงานระหว่าง L กับ C กลับไปมาเมื่ออยู่ในสภาวะรีโซแนนซ์อย่างไรก็ตาม ที่จุดรีโซแนนซ์จะไม่มีการสะสมพลังงาน

2.1.1.1 ควอลลิตี้แฟคเตอร์ของวงจรอนุกรม RLC (Q)

ค่าควอลลิตี้แฟคเตอร์ (Q) ของวงจรหมายถึงอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ถูกเก็บเอาไว้ต่อพลังงานที่ถูกใช้ไป สำหรับในวงจร RLC อนุกรม ค่าของ Q จะมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่าง ค่ารีแอคแตนซ์ต่อค่าความต้านทาน และในวงจรรีโซแนนซ์อนุกรมพลังงานที่ถูกเก็บเอาไว้ที่อินดัคแตนซ์และคาปาซิแตนซ์จะสลับที่กันตลอดเวลา เพราะฉะนั้นในขณะเกิดสภาวะรีโซแนนซ์ค่า Q จะมีค่าเท่ากับ

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{X_C}{R} \tag{2.1-6}$$

ถ้าพิจารณาจาก I , V_C , V_L ที่จุดรีโซแนนซ์

$$I = \frac{V}{R} \tag{2.1-7}$$

$$V_L = IX_L \tag{2.1-8}$$

ดังนั้น

$$V_L = \frac{V \times X_L}{R} \tag{2.1-9}$$

$$\frac{V_L}{V} = \frac{X_L}{R} \tag{2.1-10}$$

$$\therefore \quad Q = \frac{V_L}{V} = \frac{V_C}{V} \tag{2.1-11}$$

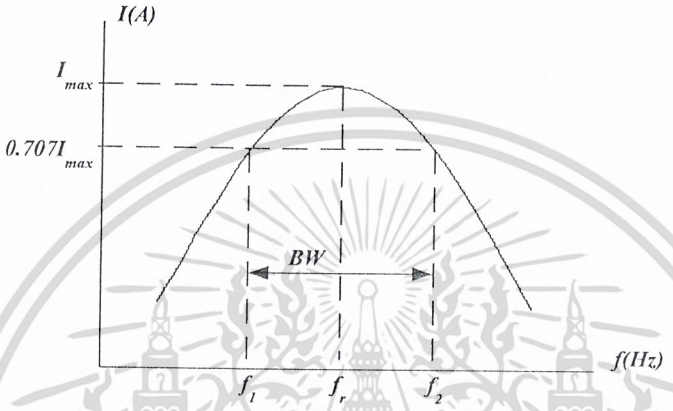
เมื่อ

Q	=	ค่าควอลลิตี้แฟคเตอร์ในขณะเกิดสภาวะรีโซแนนซ์
X_L	=	ค่าอินดัคตีฟ รีแอคแตนซ์ในขณะเกิดสภาวะรีโซแนนซ์, Ω
X_C	=	ค่าคาปาซิตีฟ รีแอคแตนซ์ในขณะเกิดสภาวะรีโซแนนซ์, Ω
R	=	ความต้านทานของวงจร, Ω
Z	=	อิมพีแดนซ์ของวงจร, Ω
V_L	=	แรงดันตกคร่อมอินดัคแตนซ์ในขณะเกิดสภาวะรีโซแนนซ์ V
V_C	=	แรงดันตกคร่อมคาปาซิแตนซ์ในขณะเกิดสภาวะรีโซแนนซ์ V
V_T	=	แรงดันตกคร่อมทั้งหมดของวงจรในขณะเกิดสภาวะรีโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 แบนวิดธ์ของวงจรรีโซแนนซ์อนุกรม (BW)

แบนวิดธ์ของวงจรรีโซแนนซ์อนุกรม หมายถึง แถบความถี่จากจุดความถี่ f_2 ซึ่งเป็นความถี่คัตออฟทางด้านความถี่สูง ที่ทำให้เกิดกำลังงานไฟฟ้าเพียงครึ่งหนึ่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุด (พิจารณาดูในรูปที่ 2.5) มายังจุดความถี่ f_1 ซึ่งเป็นความถี่คัตออฟทางด้านความถี่ต่ำที่ทำให้เกิดกำลังงานไฟฟ้าเพียงครึ่งหนึ่งของกำลังงานไฟฟ้าสูงสุด เช่นเดียวกัน และ ณ จุดความถี่ f_2 กับ f_1 จะได้กระแสที่ไหลในวงจรมีค่าเท่ากับ $0.707I_{max}$



รูปที่ 2.5 กราฟระหว่างกระแสกับความถี่

จากรูปที่2.5 จะเห็นได้ว่าในขณะเกิดรีโซแนนซ์จะได้กำลังงานไฟฟ้าสูงสุดของวงจรคือ

$$P_{max} = I_{max}^{2} R \qquad (2.1\text{-}12)$$

เมื่อ $$I_{max} = \frac{E}{Z} = \frac{E}{R} \quad \text{ที่ความถี่รีโซแนนซ์ } f_r \qquad (2.1\text{-}13)$$

เมื่อกระแสลดลงมาเหลือ $0.707I_{max}$ ก็จะได้กำลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรเท่ากับ

$$P = (0.707I_{max})^{2} R = 0.5I_{max}^{2} R = 0.5P_{max} \qquad (2.1\text{-}14)$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่าจะมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับคำจำกัดความของแบนวิดธ์ดังนั้นแบนวิดธ์มีค่าเท่ากับ

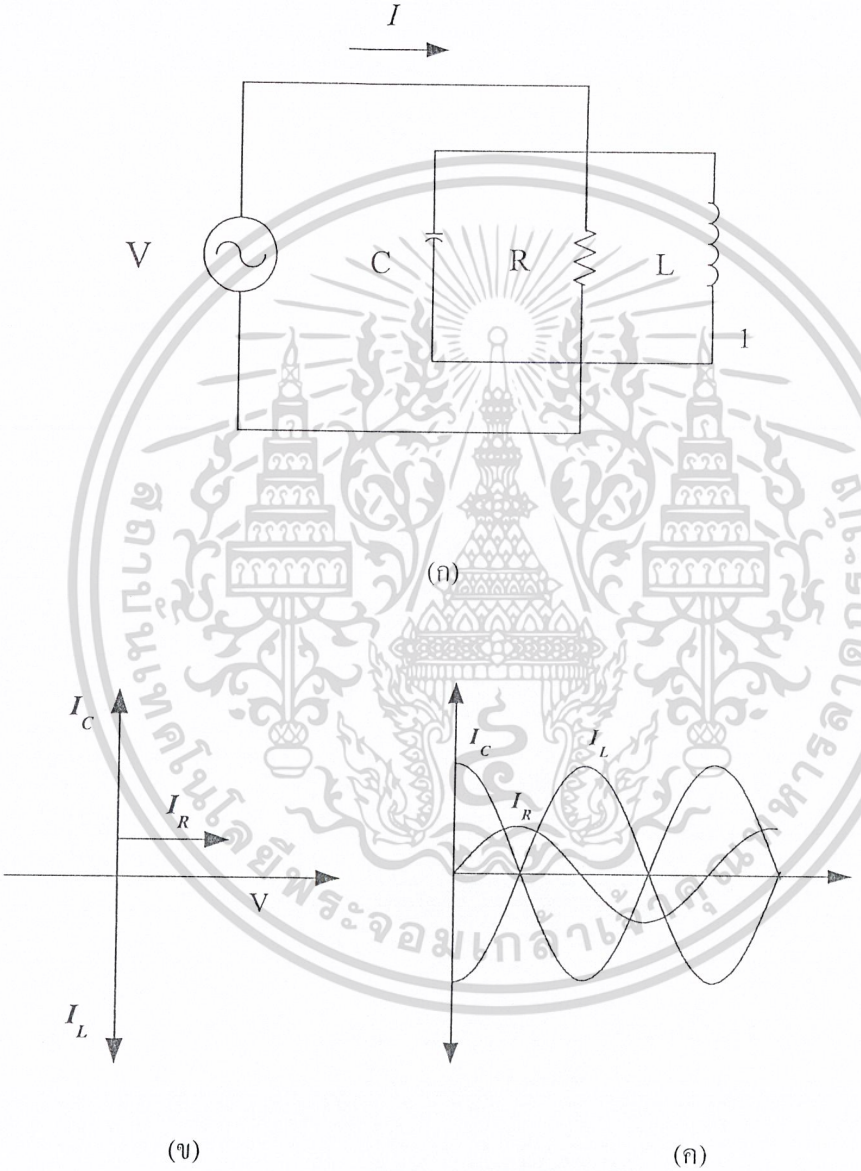
$$BW = f_2 - f_1 \qquad (2.1\text{-}15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 รีโซแนนซ์ขนาน

วงจรรีโซแนนซ์ขนานแสดงไว้ดังรูป ค่าแอดมิตแตนซ์ (admittance) ของวงจรมีค่า

$$Y = \frac{1}{R} - \frac{j}{X_L} + \frac{j}{X_C} \qquad (2.1\text{-}6)$$



รูปที่ 2.6 เฟสเซอร์ไดอะแกรมรูปคลื่นของกระแสในสภาวะรีโซแนนซ์วงจรขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าปรับความถี่ของแหล่งจ่ายไปจนกระทั่ง X_L และ X_C มีค่าเท่ากันค่าแอดมิตแตนซ์จะมีค่า

$$Y = \frac{1}{R_P} \tag{2.1-17}$$

และค่าอิมพีแดนซ์ $Z = R_p$ กระแสจากแหล่งจ่ายมีค่า

$$I = \frac{V}{Rp} \tag{2.1-18}$$



รูปที่ 2.7 วงจรปกติของการต่อแบบ RLC ขนาน

กระแสที่ไหลผ่าน R จะมีมุมอินเฟสกับแรงดันของแหล่งจ่าย กระแสที่ไหลผ่าน L จะล้าหลังแรงดันไป 90 องศา ส่วนกระแสที่ไหลผ่าน C จะนำหน้าแรงดันอยู่ 90 องศาดังแสดงไว้ในรูป คือ มีการส่งผ่านพลังงานกลับไปมาระหว่างตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ

เนื่องจากในความเป็นจริงในตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าความต้านทานรวมอยู่ด้วย โดยทั่วไปที่ตัวเก็บประจุมีความต้านทานอยู่น้อยมากจึงเขียนเป็นวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 2.7

ค่าแอดมิตแตนซ์ของวงจรสมมูลมีค่า

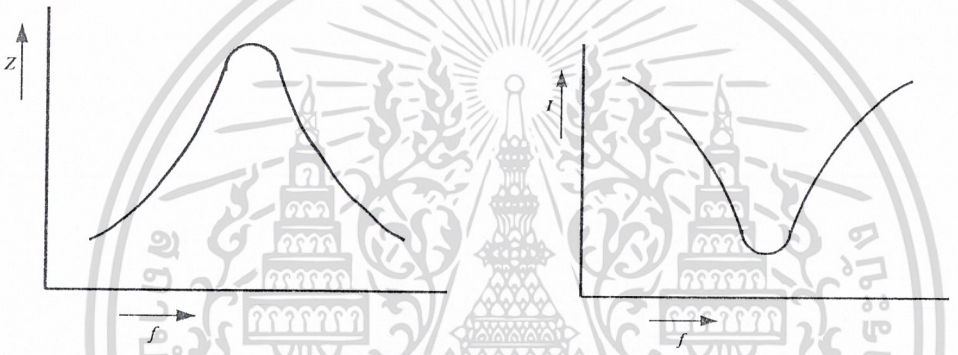
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y = \frac{1}{R_L + jX_L} + \frac{1}{jX_C} \tag{2.1-19}$$

ณ ที่จุดรีโซแนนซ์

$$X_C = \frac{R_L^{\,2} + X_L^{\,2}}{X_L} \tag{2.1-20}$$

$$Z = \frac{L}{CR_L} \tag{2.1-21}$$



(ก) ค่าอิมพีแดนซ์กับความถี่ (ข) ค่ากระแสกับความถี่

รูปที่ 2.8 กราฟแสดงค่าอิมพีแดนซ์และกระแสต่อค่าความถี่

จากกราฟรูปที่ 2.8 จะพบว่าวงจรขนาน RLC จะมีค่าอิมพีแดนซ์สูงสุดที่ความถี่รีโซแนนซ์

2.1.2.1 ควอลลิตี้แฟกเตอร์ของวงจรขนาน RLC (Q)

จากรูปที่ 2.6 จะพบว่าผลของกระแสที่ไหลในวงจร (I) จากแหล่งจ่ายที่ความถี่รีโซแนนซ์นั้น จะอินเฟสกับแรงดันของแหล่งจ่าย (V) I จะมีค่าน้อยกว่า I_C และ I_L หลายเท่า ดังนั้นในวงจรขนานรีโซแนนซ์ LC จะมีค่าการขยายกระแสค่า Q แฟกเตอร์คือค่าอัตราส่วนของ I_L หรือ I_C ต่อค่ากระแสจากแหล่งจ่าย (I) ความถี่ที่จุดรีโซแนนซ์ จากค่า

$$X_C = \frac{R_L^{\,2} + X_L^{\,2}}{X_L} \tag{2.1-22}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$X_C \approx X_L \tag{2.1-23}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{2.1-24}$$

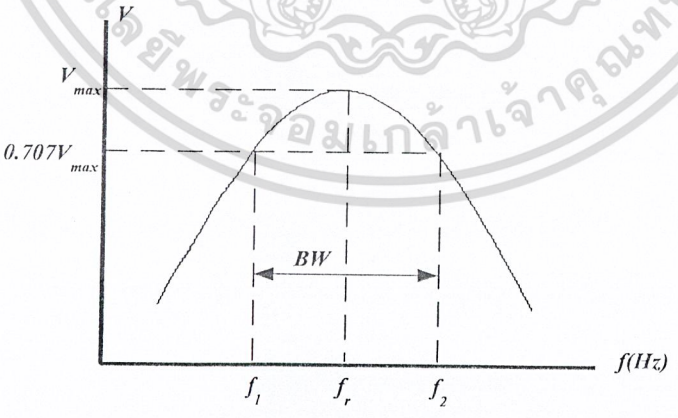
ซึ่งค่าความถี่รีโซแนนซ์ สำหรับวงจรขนาน LC เมื่อ Q > 10 คือ ในกรณีที่ Q < 10 ความถี่ที่จุดรีโซแนนซ์จะมีค่า

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}\sqrt{(1-\frac{CR_L^2}{L}} \tag{2.1-25}$$

จากรูปที่ 2.8 จะพบว่าวงจรรีโซแนนซ์แบบขนานทางปฏิบัตินั้น จะมีค่าอิมพีแดนซ์สูงสุดและกระแสมีค่าสูงสุดที่ความถี่รีโซแนนซ์

2.1.2.2 แบนวิดธ์ของวงจรรีโซแนนซ์ขนาน (BW)

แบนวิดธ์ของวงจรรีโซแนนซ์ขนาน หมายถึง แถบความถี่จากจุดความถี่ f_2 ซึ่งเป็นความถี่คัตออฟทางด้านความถี่สูงที่ทำให้เกิดกำลังงานไฟฟ้าเพียงครึ่งหนึ่งของกำลังไฟฟ้าสูงสุด (พิจารณาดูในรูปที่ 2.9) มายังจุดความถี่ f_1 ซึ่งเป็นความถี่คัตออฟทางด้านความถี่ต่ำที่ทำให้เกิดกำลังงานไฟฟ้าเพียงครึ่งหนึ่งของกำลังงานไฟฟ้าสูงสุด เช่นเดียวกัน และ ณ จุดความถี่ f_2 กับ f_1 จะได้กระแสที่ไหลในวงจรมีค่าเท่ากับ $0.707V_{max}$



รูปที่ 2.9 กราฟระหว่างแรงดันกับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ

การให้ความร้อนหรือการอบนั้น จะใช้หลักการการถ่ายเทความร้อนจากเตาอบสู่สิ่งที่อยู่ภายในเตา ซึ่งการที่จะทำให้เกิดความร้อนที่เตาได้นั้นจะต้องอาศัยปรากฏการณ์ทางไฟฟ้า และทางความร้อนร่วมกัน ซึ่งมีสาเหตุสำคัญ 3 ประการด้วยกัน คือ การเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Induction) , ปรากฏการณ์ผิว (Skin effect), และการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

หลักการเหนี่ยวนำความร้อนจะอาศัยกฎของฟาราเดย์ที่กล่าวว่า เมื่อมีเส้นแรงแม่เหล็กตัดผ่านตัวนำจะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันขึ้นบนตัวนำนั้น สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$emf = N\frac{d\phi}{dt} \tag{2.2-1}$$

เมื่อ emf = ค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (V)

N = จำนวนรอบของขดลวด (Turn)

ϕ = เส้นแรงแม่เหล็ก (Wb)

เมื่อมีแรงดันเหนี่ยวนำเกิดขึ้นบนแท่งตัวนำจะทำให้เกิดกระแสขึ้นเป็นไปตามกฎของโอห์มจากการที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในแท่งตัวนำทำให้เกิด Power Loss ขึ้นบนแท่งตัวนำ หลักการที่กล่าวมานี้เป็นที่มาของ Eddy Current Loss ซึ่งมีสมการดังนี้

$$Pe = Kef^2 Bm \tag{2.2-2}$$

เมื่อ

$$Ke = \frac{2\pi^2 N^2 A^2}{R}$$ (ขึ้นกับรูปร่างและสมบัติของแกนเหล็ก)

Bm = ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กสูงสุด

นอกจากนี้ความร้อนเหนี่ยวนำที่เกิดจาก Eddy Current Loss แล้วยังมีความร้อนที่เกิดจากการเหนี่ยวนำอีกตัวคือ Hyteresis Loss โดย Hyteresis Loss นี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ของ Loop B-H curve

ปัจจัยที่มีผลต่อขนาดพื้นที่ Hyteresis Loop

การทดลองของ Steinmetz พบว่า Hyteresis Loss / ลูกบาศก์เมตร / วัฏจักร ขึ้นกับ

1. Bm
2. คุณภาพของสารแม่เหล็ก (η) เรียกว่าสัมประสิทธิ์ของ Steinmetz ดังสมการ

$$Ph = \eta vfBm^n = KhfBm^n \tag{2.2-3}$$

เมื่อ Bm = Steinmetx exponent (1.5-2.5) ปกติถ้าเป็นสารแม่เหล็กจะเท่ากับ 1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

v = ปริมาตร

Kh = ηv

ระดับความลึกของกระแสที่ไหลบนแท่งตัวนำ หาได้จากผลกระทบของปรากฏการณ์ผิว (Skin effect) ที่กล่าวว่า กระแสจะลดลงตามระยะห่างจากผิวของตัวนำ เมื่อความถี่มีค่ามากขึ้นตามสมการ

$$d = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \mu f}} \tag{2.2-4}$$

เมื่อ

d คือ ความลึกผิวที่มีกระแสไฟฟ้าลดลงเหลือ 37% ของที่ผิว(cm.)

ρ คือ ความต้านทานของแท่งตัวนำ (Ω-cm.)

μ = $\mu_r \mu_o$

f คือ ความถี่ของสนามไฟฟ้า (Hz)

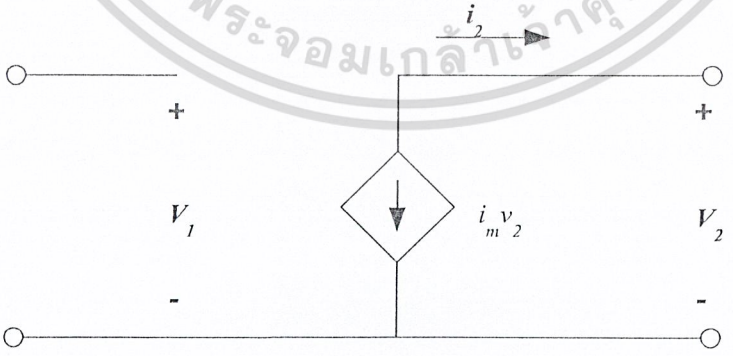
2.3 เพาเวอร์มอสเฟต (Power MOSFET)

1. นิยามและความหมาย

มอสเฟต (MOSFET) ย่อมาจาก Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor การทำงานของมอสเฟต โดยการใช้สนามไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ประเภทการควบคุมแหล่งจ่ายด้วยกระแส ด้วยแรงดัน (Voltage controlled Current Source) ซึ่งสามารถเขียนวงจรเทียบเคียงได้ดังรูปที่ 2.10 และมีความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

$$I = g_m \times V \tag{2.3-1}$$

โดยที่ g_m คือ Transconductor หรือ Mutual conductor

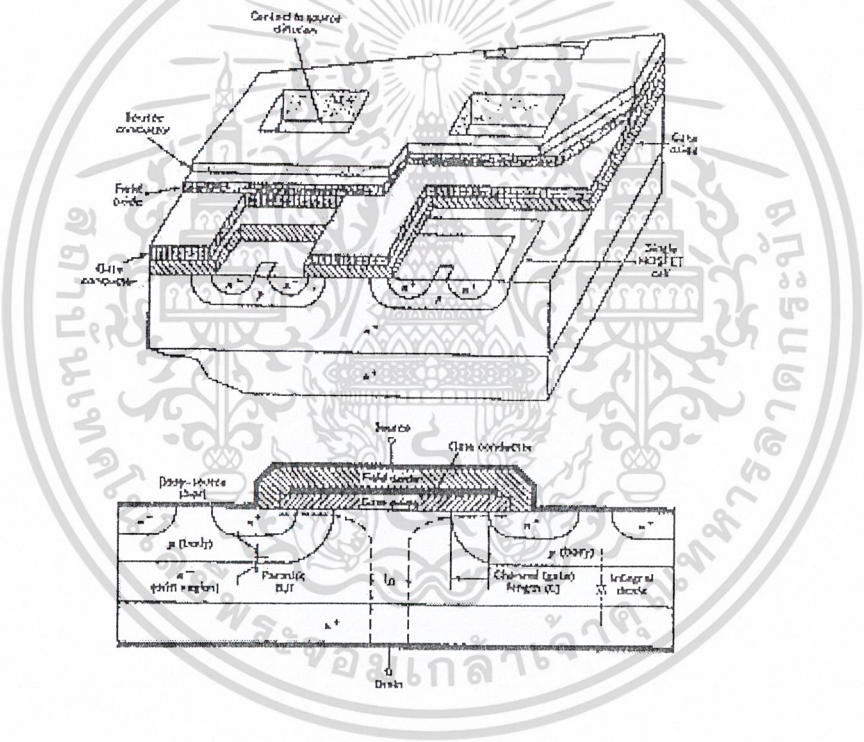


รูปที่ 2.10 แสดงวงจรสมมูล (Equivalent circuit) ของ VCCS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โครงสร้าง

เพาเวอร์มอสเฟตโดยทั่วไปจะเป็นแบบ N-channel ที่ทำงานใน Enhancement mode ซึ่งมีโครงสร้างและสัญลักษณ์ดังรูปที่ 2.11 คือ เพาเวอร์มอสเฟตแต่ละตัวจะประกอบด้วย มอสเฟตขนาดเล็กนับพันตัวซึ่งอยู่บนชิพเดียวกันต่อขนานกัน โดยที่กระแสในทรานซิสเตอร์ขนาดเล็กแต่ละตัวจะมีทิศทางไหลในแนวตั้ง substrate ของเพาเวอร์มอสเฟต จะมี N-type epitaxaial layer บาง ๆ คั่นอยู่ข้างบนในการทำเพาเวอร์มอสเฟตแต่ละตัวจะมีการ Diffuse P และ N^+ region ลงบน N^- type epitaxaial layer จากนั้นจะเป็นการทำ Gate กับ epitaxaial layer ภายใต้ Gate



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของมอสเฟต

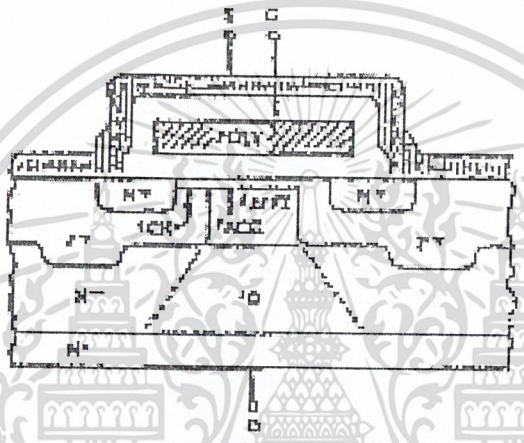
สำหรับเดรนของมอสเฟตนั้นทำโดยการฉาบอลูมิเนียมที่ N^+ และ N^- Substrate ส่วนซอร์สจะทำได้โดยการฉาบอลูมิเนียมลงบนชั้นของ P และ N^+ ได้จากการ Diffuse จากลักษณะการทำซอร์สดังกล่าวทำให้เกิดไดโอดต่ออยู่กับซอร์สและคาโถดคือชั้น N^+ และ N^- ต่ออยู่กับเดรนดังแสดงในรูป ในสภาวะปกติถ้าเราให้แรงดันของเดรนเป็นบวกเมื่อเทียบกับซอร์สแล้ว มอสเฟตจะไม่สามารถนำกระแสได้ เนื่องจากชั้น N^- และ P จะถูกไบแอสกลับแต่ถ้าเราใส่แรงดันบวกระหว่างเกทกับซอร์สแล้วแรงดันบวกจะทำให้อิเลกตรอนมาออกันที่ชั้น P ภายใต้เกทเกิดเป็น N^- Channal เชื่อมระหว่างชั้น N^+ และ N^- เกิดเป็นกระแสที่ไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเดรนไปซอร์ส เนื่องจากการนำกระแสของมอสเฟตชนิดนี้เกิดจากการไหลของอิเลกตรอนผ่าน N Channal ที่ทำงานใน Enhancement mode MOSFET ตัวเล็กๆแต่สามารถทำงานได้อย่างอิสระแต่มอสเฟตเล่านี้จะถูกต่อขนานกันโดยการฉาบอลูมิเนียมที่ซอร์ส

3. การทำงานของมอสเฟต

เมื่อป้อนแรงดันให้มีขนาดและแรงดันที่เหมาะสม Pollsilicon gate จะเหนี่ยวนำชั้นตรงกันข้ามของ Diffuse channel ซึ่งแสดงโดย R_{CH} ในรูปที่ 2.12 จะทำให้กระแสไหลจากเดรนไปยังซอร์ส สำหรับแรงดันค่าน้อยๆที่ป้อนให้เดรนและซอร์ส กระแสจะเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้น เมื่อแรงดันเดรนเพิ่มขึ้นกระแสเดรนจะอิ่มตัวเป็นสัดส่วนกำลังสองของแรงดันเกทกับซอร์ส



รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานของมอสเฟต

4. กำลังสูญเสียในรูปความร้อน

กำลังสูญเสียในรูปความร้อนที่เกิดขึ้นในมอสเฟตขณะทำงานจะเป็นได้ 2 ลักษณะเช่นเดียวกับไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ คือ กลังสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะและกำลังสูยเสียขณะนำกระแส แต่เพาเวอร์มอสเฟตจะมีช่วงเวลาเริ่มนำกระแส และช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสสั้นกว่าไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์มาก เพราะตามโครงสร้างของเพาเวอร์มอสเฟตจะไม่มีประประจุสะสมเกิดขึ้นจึงไม่มีปัญหาในลักษณะเดียวกันกับไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ อย่างไรก็ตามเพาเวอร์มอสเฟตจะมีค่าความต้านทานขณะนำกระแสค่อนข้างสูงกว่า รูปที่2.13 แสดงลักษณะการตอบสนองของเพาเวอร์มอสเฟตจะค่อนข้างสั้น แต่โดยทั่วไปเพาเวอร์มอสเฟตมักจะถูกใช้งานที่ความถี่สูงกว่า 50 KHz การคิดค่ากำลังสูญเสียขณะเปลี่ยนสถานะด้วย และเนื่องจากเวลาเริ่มหยุดนำกระแส (turn off time) กับช่วงเวลาเริ่มนำกระแส (turn on time) ของเพาเวอร์มอสเฟตมีค่าใกล้เคียงกันมากจึงต้องนำมาคิดทั้งสองช่วงเวลาด้วย ดังนั้นกำลังงานสูญเสียของเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงาน P_D จะมีค่าเท่ากับ

$$P_D = P_{SW(on)} + P_{SW(off)} + P_C \qquad (2.2\text{-}2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{SW(on)} = (0.5\, I_{PK(on)} \times V_{in} \times t_r) / T \quad (2.2\text{-}3)$$

$$P_{SW(off)} = (0.5\, I_{PK(off)} \times V_{in} \times t_r) / T \quad (2.2\text{-}4)$$

เมื่อ $P_{SW(on)}$ คือ กำลังสูญเสียขณะเริ่มนำกระแส

$P_{SW(off)}$ คือ กำลังสูญเสียขณะเริ่มหยุดนำกระแส

P_C คือ กำลังสูญเสียขณะนำกระแส

$I_{PK(on)}$ คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มนำกระแส

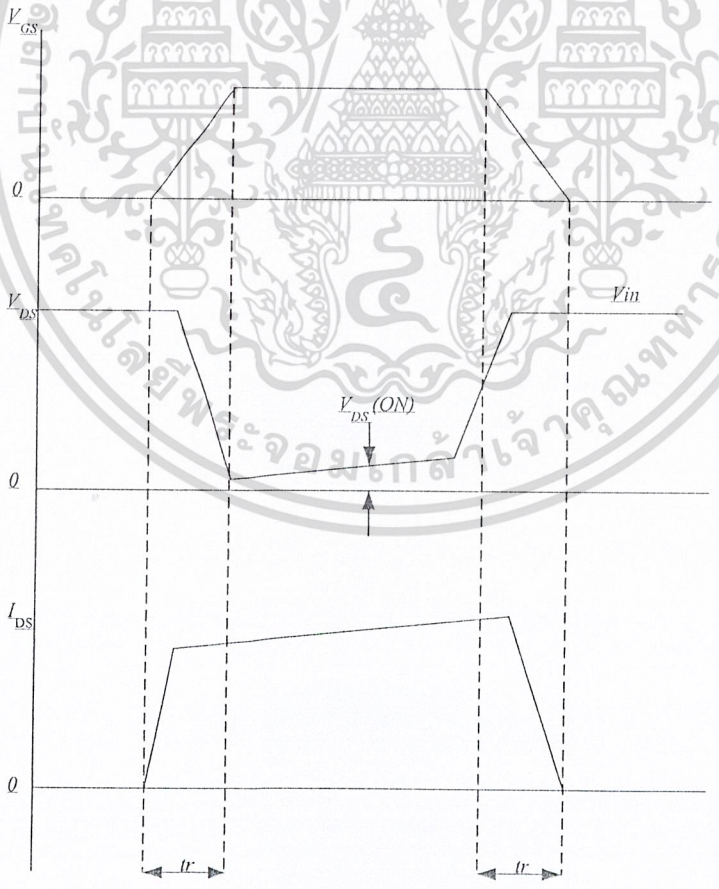
$I_{PK(off)}$ คือ ค่ากระแสสูงสุดขณะเริ่มหยุดนำกระแส

$I_{D(rms)}$ คือ ค่ากระแสที่ไหลผ่านเพาเวอร์มอสเฟตขณะทำงาน

$R_{DS(on)}$ คือ ค่าความต้านทานระหว่างเดรนและซอร์ส ที่อุณหภูมิรอยต่อสูงสุดขณะทำงาน

t_r คือ ช่วงเวลาเริ่มนำกระแส

t_f คือ ช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของกระแสและแรงดันตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การขับเกทของมอสเฟส

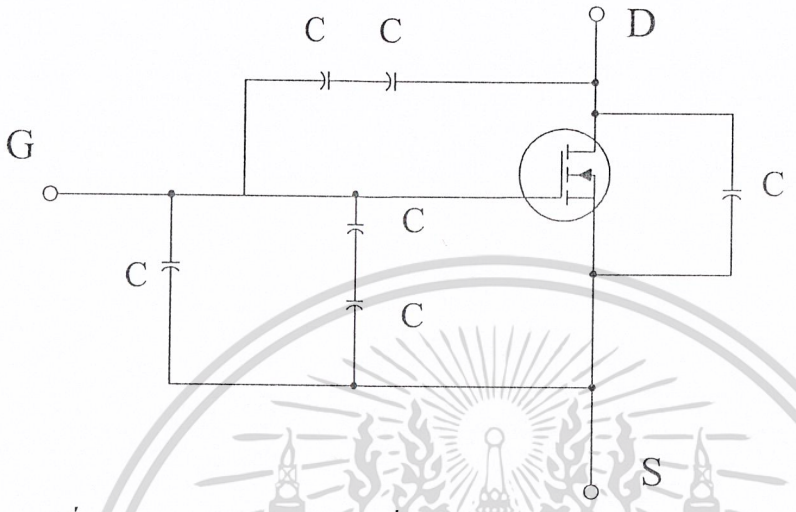
ลักษณะสมบัติทางด้านขาเข้าของมอสเฟตนั้น มีความแตกต่างกับคุณสมบัติด้านขาเข้าของบีเจที กล่าวคือ กระแสออกของบีเจทีนั้นจะควบคุมด้วยกระแสเบส ส่วนกระแสออกของมอสเฟตนั้นจะถูกควบคุมด้วยแรงดันของเกท นอกจากนั้นแล้วความต้านทานขาเข้าของมอสเฟตจะมีค่าสูงมากคืออยู่ในช่วงจิกะโอห์ม ซึ่งทำให้กระแสมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับบีเจทีขนาดเดียวกัน ดังนั้นการควบคุมมอสเฟตจึงใช้กำลังต่ำกว่ามาก ๆ คุณสมบัติอันนี้นับเป็นข้อได้เปรียบของมอสเฟตเมื่อเทียบกับบีเจที ในสภาวะอยู่ตัวนั้น กระแสที่ใช้ในการขับเกทของมอสเฟตจะมีค่าน้อยมาก คืออยู่ในช่วงนาโนโอห์ม เนื่องจากความต้านทานขาเข้าของมอสเฟตจะมีค่าสูงขึ้นถึงจิกะโอห์ม ซึ่งทำให้ดูเหมือนว่าเราสามารถขับเกทของมอสเฟตได้ โดยวงจรขับที่สามารถจ่ายกระแสออกได้เป็นนาโนโอห์ม แต่ในความจริงแล้วการนำกระแส (Turn on) หรือการหยุดนำกระแส (Turn off) เพาเวอร์มอสเฟตนั้นเราจะต้องชาร์จหรือดิสชาร์จ ตัวเก็บประจุด้านขาเข้าของเพาเวอร์มอสเฟตจากแรงดันระดับหนึ่งไปสู่แรงดันระดับหนึ่ง ซึ่งความเร็วในการนำกระแสด้านขาเข้าของมอสเฟต ถ้าเราต้องการให้สวิทช์มอสเฟตเป็นไปอย่างรวดเร็ว เราจะต้องใช้วงจรขับที่มีความต้านทานขาออกต่ำที่สามารถจ่ายหรือรับกระแสในตอนสวิทช์มอสเฟตได้สูง ทั้งนี้ความเร็วในการสวิทช์ของมอสเฟตจะลดลงตามความต้านทานขาออกของวงจรขับเกท

เนื่องจากเกทของมอสเฟต จะถูกแยกออกจากช่องนำกระแสด้วยชั้นบางๆของซิลิคอน (Silicon dioxide) ซึ่งถ้าแรงดันระหว่างขาเกทกับซอร์สซึ่งมีค่าสูงเกินไปอาจทำให้ฉนวนนั้นทะลุและทำให้มอสเฟตเสียหายได้ ดังนั้นผู้ผลิตมักจะบอกแรงดัน V_{GS} สูงสุดของมอสเฟตมาให้ซึ่งโดยทั่วไปมักจะมีค่า 20 โวลท์ และในวงจรขับเกทโดยทั่วๆไปจะมีการจำกัดแรงดัน V_{GS} โดยใช้ซีเนอร์ไดโอดขนาด 20 โวลท์ สองตัวมาต่ออนุกรมกันโดยต่ออาโนดหรือคาโถดเข้าด้วยกันและต่อคร่อมเกทกับซอร์สเพื่อจำกัดเกทกับซอร์สไม่ให้เกิน 20 โวลท์ นอกจากนี้บางครั้งจะมีการต่อคร่อมความต้านทานเชื่อมระหว่างเกทกับซอร์สเพื่อป้องกันการนำกระแสของมอสเฟตโดยไม่เจตนา ทั้งนี้เราเปิดวงจรเอาไว้ตัวเก็บประจุด้านขาเข้าของมอสเฟตอาจจะถูกชาร์จโดยกระแสรั่วไหล (Leakeg Current) ทำให้แรงดันระหว่างเกทกับซอร์สสูงกว่า V_{GS} ซึ่งทำให้มอสเฟตนำกระแสได้ ความต้านทานระหว่างเกทกับซอร์สจะเป็นทางผ่านของกระแสรั่วไหลและรักษาไม่ให้แรงดันระหว่างเกทกับซอร์สสูงกว่า V_{GS}

6. ค่าความจุไฟฟ้า (Input Capacitance)

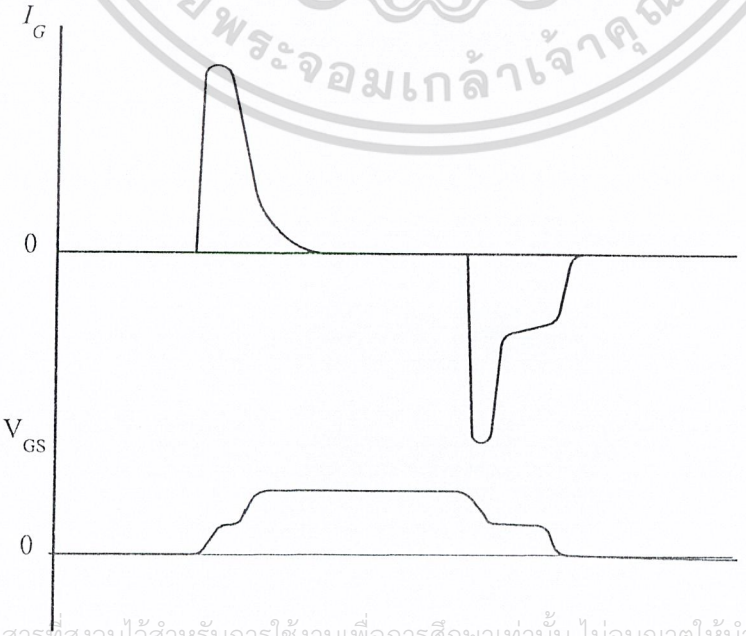
เนื่องจากลักษณะโครงสร้างภายใน ตัวเพาเวอร์มอสเฟตจึงเหมือนกับมีตัวเก็บประจุต่ออยู่รอบๆขาต่างๆของมันดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แสดงตัวเก็บประจุแฝงที่ต่ออยู่กับขาต่าง ๆ ภายในตัวเพาเวอร์มอสเฟต

ตัวเก็บประจุเหล่านี้บังคับให้เพาเวอร์มอสเฟตต้องชาร์จประจุเข้าไปที่ตัวเก็บประจุเสียก่อนเพื่อให้แรงดันตกคร่อมที่ขาเกท V_{GS} มีค่าเพิ่มขึ้นจนค่าแรงดันขีดเริ่มเพาเวอร์มอสเฟตจึงจะเริ่มนำกระแสในทางกลับกัน การหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตจะต้องทำให้ตัวเก็บประจุคายประจุออกไปจนแรงดันตกคร่อมที่ขาเกท V_{GS} มีค่าลดลงต่ำกว่าแรงดันขีดเริ่มเพาเวอร์มอสเฟตจึงหยุดนำกระแส ลักษณะของกระแสและแรงดันที่ขาเกทจึงมีลักษณะดังรูปที่ 2.15 โดยทั่วไปแล้วค่าความจุของตัวเก็บประจุในตัวเพาเวอร์มอสเฟตนี้เองจะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของมัน

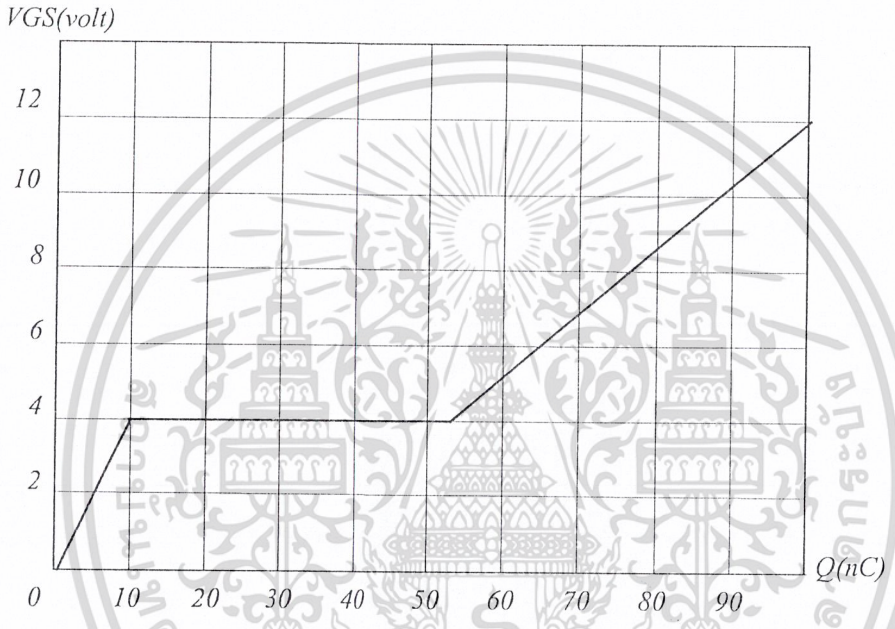


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะแรงดันและกระแสที่ขาเกทขณะเพาเวอร์มอสเฟตถูกไบแอส

7. การกำหนดเวลาในการเปลี่ยนสถานะ

ปกติแล้วผู้ผลิตมักจะให้กราฟของค่าแรงดัน V_{GS} ที่เพิ่มขึ้นในขณะที่ค่าประจุสะสมที่ขาเกทเพิ่มขึ้นหรือที่เรียกว่า Gate Charge Chart มาในดาต้าชีสด้วย (รูปที่ 2.16) กราฟนี้มีประโยชน์มากในการคำนวณค่ากระแสไบแอสเกทและเวลาในการเปลี่ยนสถานะของเพาเวอร์มอสเฟต



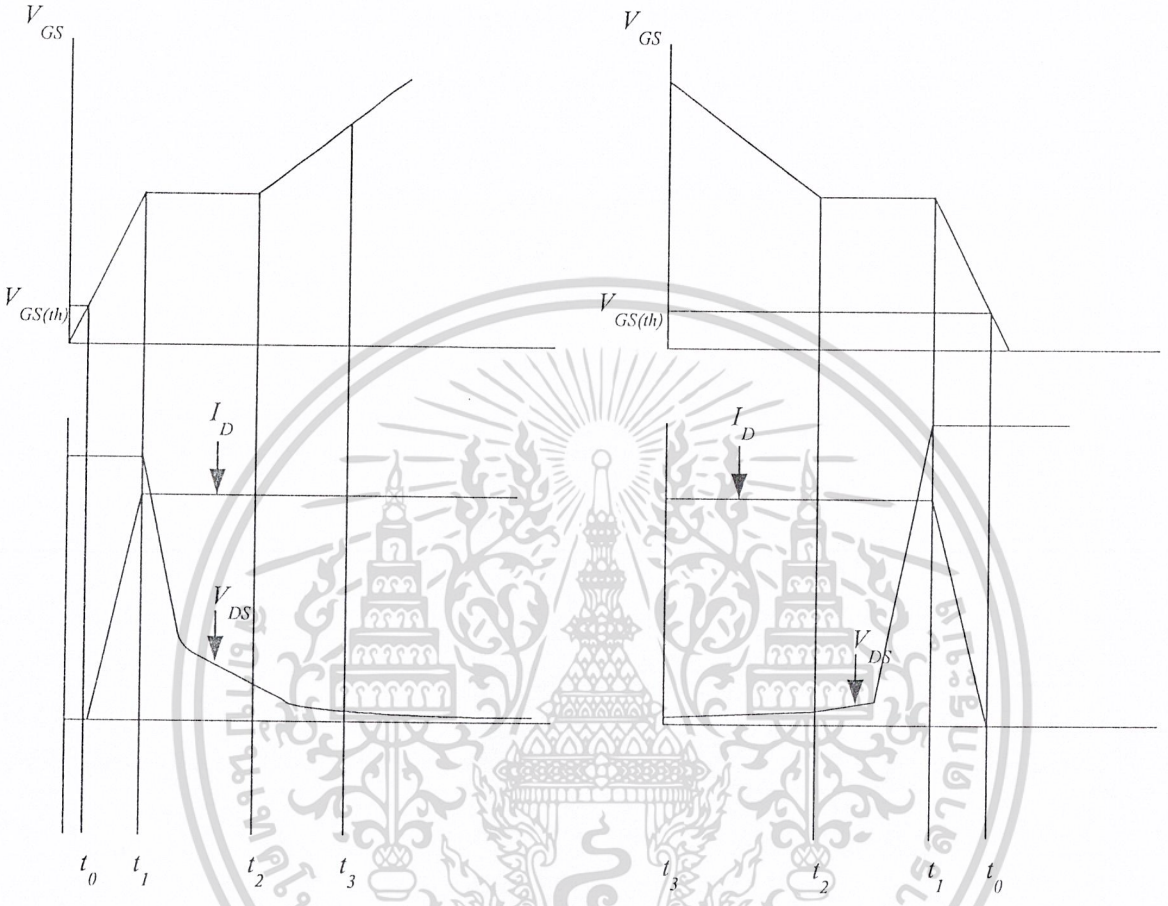
รูปที่ 2.16 แสดงตัวอย่างของ Gate charge Chart

ลักษณะของกราฟจะแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงตามผลของประจุที่เพิ่มขึ้น คือ

1. ช่วงเวลาหน่วงก่อนเริ่มนำกระแส (turn on delay)
2. ช่วงเวลาเริ่มนำกระแส (rise time) t_0- t_2
3. ช่วงเวลาสะสมประจุส่วนเกิน (excess charge time) t_2- t_3

เมื่อเพาเวอร์มอสเฟตเริ่มชาร์จประจุที่ขาเกท จนกระทั่งพ้นช่วงเวลาหน่วงก่อนเริ่มนำกระแสเมื่อแรงดันที่ขาเกทมากกว่าแรงดันที่ขีดเริ่ม ($V_{GS(th)}$) จึงเริ่มนำกระแสไหลผ่านเดรนและซอร์ส V_{DS} จึงมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจากค่าแรงดันที่ประมาณ 90% จนเหลือเพียง 10% ของแรงดันตกคร่อม V_{DS} สูงสุด เพาเวอร์มอสเฟตจะนำกระแสได้อย่างเต็มที่ในช่วงนำกระแส t_1- t_2 นี้เองและแรงดันตกคร่อมที่ขาเกท V_{GS} จะคงที่จนกว่าเพาเวอร์มอสเฟตจะสามารถนำกระแสได้อย่างเต็มที่ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ในช่วงเวลาสะสมประจุส่วนเกินค่าความต้านทานระหว่างเดรนกับซอร์สจะมีค่าลดลงได้เรื่อยๆหากปล่อยให้มีการสะสมประจุต่อไปในช่วงเวลา t_2- t_3 แต่ประจุสะสมที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการหน่วงขณะเริ่มนำกระแสไฟขึ้นซึ่งเป็นผลเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงการชาร์ทประจุที่ขาเกท

เนื่องจากเพาเวอร์มอสเฟต ไม่เกิดประจุสะสมขึ้นขณะนำกระแสการหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟตจึงทำได้ง่ายกว่าการคายประจุที่ขาเกททิ้งไป เช่นเดียวกับขณะเริ่มนำกระแสและถ้าขนาดกระแสชาร์จประจุและคายประจุมีค่าเท่ากัน ช่วงเวลาเริ่มนำกระแสและช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแสจะมีค่าเท่ากันด้วย ยกเว้นหากมีประจุสะสมมากในช่วงเวลา t_2- t_3 การหยุดนำกระแสจะมีช่วงเวลาหน่วงเพิ่มขึ้นเนื่องจากต้องใช้เวลาส่วนหนึ่งในการคายประจุส่วนเกินทิ้ง

จากกราฟรูปที่ 2.16 ของเพาเวอร์มอสเฟตแต่ละเบอร์จะนำมาหาค่าช่วงเวลาเริ่มนำกระแส t_r และช่วงเวลาเริ่มหยุดนำกระแส t_f ได้จาก

$$t = \frac{Q_G}{I_G} \qquad (2.3 - 5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Q_G คือ ค่าประจุที่ได้จากกราฟเป็นคูลอมป์

I_G คือ ค่ากระแสที่ใช้ชาร์จประจุที่ค่ากระแสที่เป็นแอมป์

8. พิกัดปลอดภัย FBSOA

ขีดจำกัดที่พิกัดปลอดภัย FBSOA ของเพาเวอร์มอสเฟตนั้นอาจแบ่งออกได้เป็น 4 ลักษณะ คือ

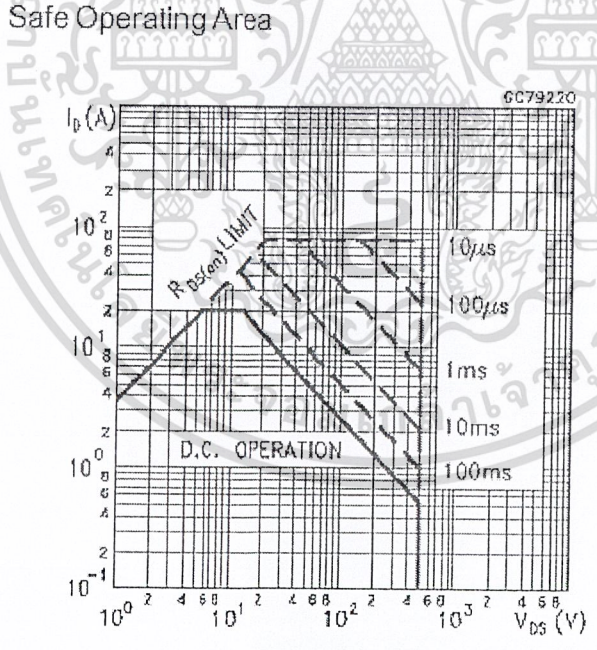
1. ขีดจำกัดแรงดันตกตคร่อมเดรนและซอร์ส V_{DS} สูงสุดที่สามารถทนได้ (Maximum Dinc Sourse Voltage

2. ค่ากระแสเดรน I_D สูงสุดที่สามารถผ่านได้และไม่ทำให้โครงสร้างภายในเสียหายได้ (Thermal Limit)

3. ขีดจำกัดเนื่องจากค่าความต้านทานขณะนำกระแส ($R_{DS(on)}$ Limit)

4. ขีดจำกัดการระบายความร้อนของตัวถัง (Package Limit)

ตัวอย่างกราฟ FBSAO ของเพาเวอร์มอสเฟตแสดงไว้ดังรูปที่ 2.18 และเช่นเดียวกับบีเจที การระวังไม่ให้เกิดเงื่อนไขที่ทำให้เพาเวอร์มอสเฟตต้องทำงานภายนอกพิกัดของกราฟ FBSAO เป็นสิ่งที่สำคัญและผู้ออกแบบจะต้องให้ความสนใจก่อนการเลือกเพาเวอร์มอสเฟตมาใช้งานทุกครั้งรวมทั้งการป้องกันการพังเสียหายได้ขณะทำงาน



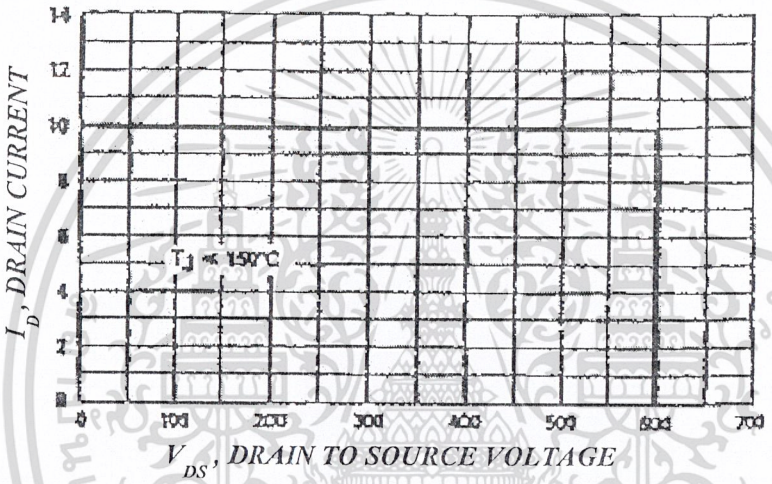
รูปที่ 2.18 แสดงตัวอย่างกราฟพิกัดปลอดภัย FBSOA ของเพาเวอร์มอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. พิกัดปลอดภัย SSOA

SSOA (Switching Safe Operation Area) เป็นกราฟแสดงพิกัดกระแสและแรงดันใช้งานแรงดันที่ปลอดภัยของเพาเวอร์มอสเฟตขณะเปลี่ยนสถานะ การใช้ SSOA สามารถใช้ได้ทั้งในการพิจารณาพิกัดปลอดภัยทั้งในเวลาช่วงเริ่มนำกระแสและช่วงหยุดนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต

ปกติกราฟ SSOA จะใช้เพื่อพิจารณาเงื่อนไขปลอดภัยของเพาเวอร์มอสเฟตเช่นเดียวกับกราฟ FBSOA ของเจบีที ตัวอย่างกราฟ SSOA แสดงไว้ในรูปที่ 2.19 และเมื่อเทียบกับกราฟ FBSOA ของเจบีทีแล้วจะเห็นได้ว่า SSOA จะมีพื้นที่ปลอดภัยมากกว่าและขีดจำกัดกำลังจะอยู่ที่แรงดันตกคร่อม V_{DS} สูงสุดและกระแสเดรน I_D สูงสุดเท่านั้น



รูปที่ 2.19 แสดงตัวอย่างกราฟพิกัดปลอดภัย SSOA ของเพาเวอร์มอสเฟต

2.4 ทฤษฎีหม้อแปลงความถี่สูง

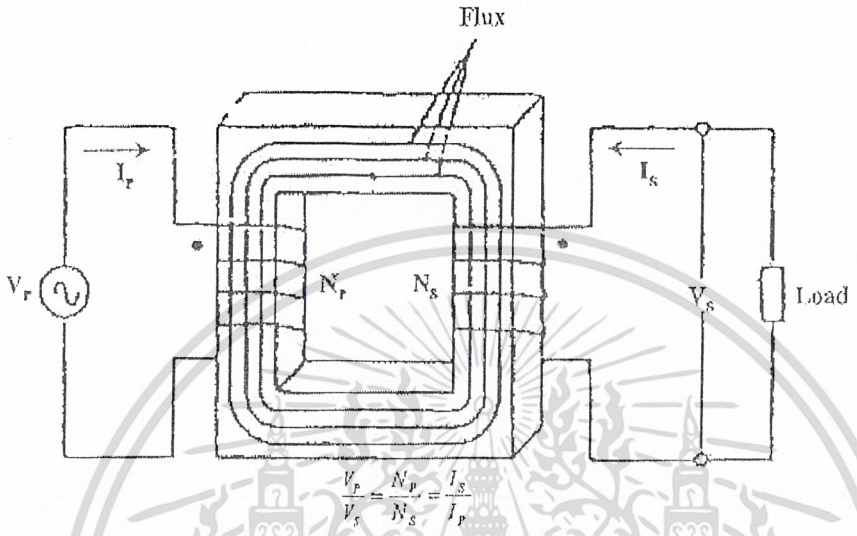
1. หม้อแปลงสวิทชิ่ง

หม้อแปลงความถี่สูงจัดเป็นอุปกรณ์สำหรับสวิทชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ผู้ออกแบบสวิทชิ่งเพสเวอร์ซัพพลายจึงจำเป็นต้องศึกษารูปแบบที่ปีนไปได้ในลักษณะต่าง ๆ ของหม้อแปลงความถี่สูง ความเหมาะสมในการใช้งาน การคำนวณขนาดแกนเฟอไรท์และขนาดขดลวดทองแดงรวมทั้งการกำหนดความปลอดภัยทางด้านไฟฟ้า เพื่อความปลอดภัยและลดกำลังสูญเสียในหม้อแปลงความถี่สูงขณะทำงาน หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานทั่วไปที่ใช้เพิ่มหรือลดแรงดัน วิธีการออกแบบไม่ยุ่งยากเหมือนกับหม้อแปลงความถี่สูง เนื่องจากหม้อแปลงความถี่สูง รูปคลื่นเป็นแบบสี่เหลี่ยม (Square Wave) ที่มีความถี่สูงถึง 30 KHz หรือมากกว่าและยังให้กำลังไฟฟ้าสูงด้วย สำหรับสิ่งที่กล่าวต่อไปนี้เป็นทฤษฎีเบื้องต้นของหม้อแปลงและส่วนประกอบต่างๆของหม้อแปลงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทฤษฎีหม้อแปลง

เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดที่พันรอบแกนปิดจะเกิดฟลักซ์เหนี่ยวนำในแกน ถ้ากระแสที่จ่ายให้มีการเปลี่ยนแปลงไปมา ฟลักซ์จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย ถ้าเรานำขดลวดอีกขดมาพันรอบแกน แกนนี้จะเกิดแรงดันและกระแสเหนี่ยวนำเรียกว่า "หม้อแปลง"



รูปที่ 2.20 แสดงหม้อแปลงแบบ 2 ขด

จากรูปที่ 2.20 แสดงลักษณะหม้อแปลงแบบง่ายๆ ขดลวดทางอินพุทเรียกว่า "ขดลวดทุติยภูมิ" ความสัมพันธ์ของจำนวนรอบของขดลวดและแรงดันจะมีอัตราส่วนคงที่ คือ

$$\frac{N_P}{N_S} = \frac{V_P}{V_S} \qquad (2.4\text{-}1)$$

N_p = จำนวนรอบขดลวดทางด้านปฐมภูมิ

N_S = จำนวนรอบขดลวดทางทุติยภูมิ

V_p = แรงดันทางด้านปฐมภูมิ

V_S = แรงดันทางด้านทุติยภูมิ

แรงดันเหนี่ยวนำจะเป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของฟลักซ์ ถ้าให้ B อยู่ในช่วงที่เส้นตรงจะได้

$$B_{max} = \frac{(V_P \times 10^8)}{K.f.N_P.A_e} \qquad (2.4\text{-}2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ B_{max} คือ ความหนาแน่นของฟลักซ์สูงสุด

V_p คือ แรงดันด้านปฐมภูมิ มีหน่วยเป็น โวลท์ (Volt)

F คือ ความถี่ มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hz)

N_p คือ จำนวนรอบขดลวดด้านปฐมภูมิ

A_c คือ พื้นที่หน้าตัดของแกน มีหน่วยเป็น ตารางเซนติเมตร(cm^2)

K คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 4.44 สำหรับแรงดันรูปซายน์ 4.0 สำหรับ แรงดันรูปสี่เหลี่ยม

ปกติค่า B_{max} จะเลือกค่าที่มี B_{sat} / 2 เพื่อให้แน่ใจว่าการทำงานในช่วงที่เป็นเส้นตรงตัวประกอบที่สำคัญอีกสิ่งหนึ่งก็คือ พื้นที่สำหรับการวางเส้นลวดตัวนำ ซึ่ง จะปกติจะพันอยู่บนตัวบอบบิ้น (Bobbin) ค่านี้จะต้องเลือกให้เหมาะสมด้วย สำหรับความสามารถในการจ่ายกำลังของแกนเหล็กคำนวณจาก

$$P_{out} = (1.16 \times B_{max} \times f \times d \times A_c \times A_c) \times 10^9 \qquad (2.4-3)$$

เมื่อ P_{out} คือ กำลังที่จ่ายให้ มีหน่วยเป็นวัตต์ (watt)

D คือ ความหนาแน่นของกระแสในขดลวดมีหน่วยเป็น แอมป์ต่อตารางเมตร (A / m^2)

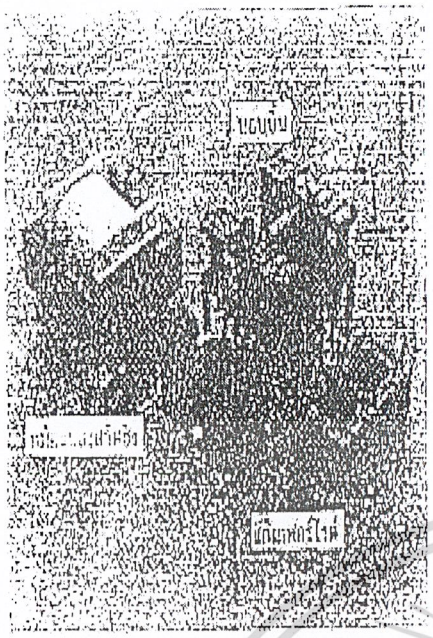
A_c คือ พื้นที่หน้าตัดของแกนมีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร (cm^2)

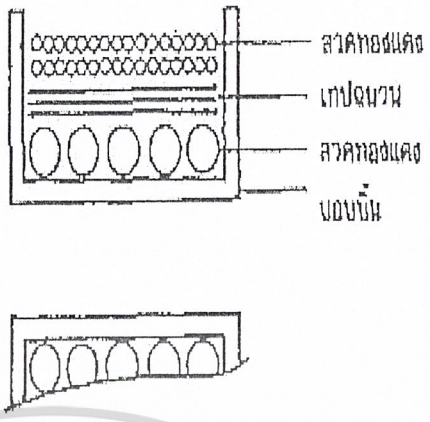
A_c คือ พื้นที่สำหรับพันขดลวดบนบอบบิ้นเป็นตารางเซนติเมตร (cm^2)

3. ส่วนประกอบของหม้อแปลงสวิตชิ่ง

หม้อแปลงสวิตชิ่งมีหน้าที่หลักในการลดทอนแรงดันไปให้ต่ำลงที่เอาท์พุทและทำให้เกิดการแยกจากกันทางไฟฟ้า ระหว่างแรงดันอินพุทที่ได้เพื่อป้องกันอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูด ส่วนประกอบที่สำคัญของหม้อแปลงสวิตชิ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





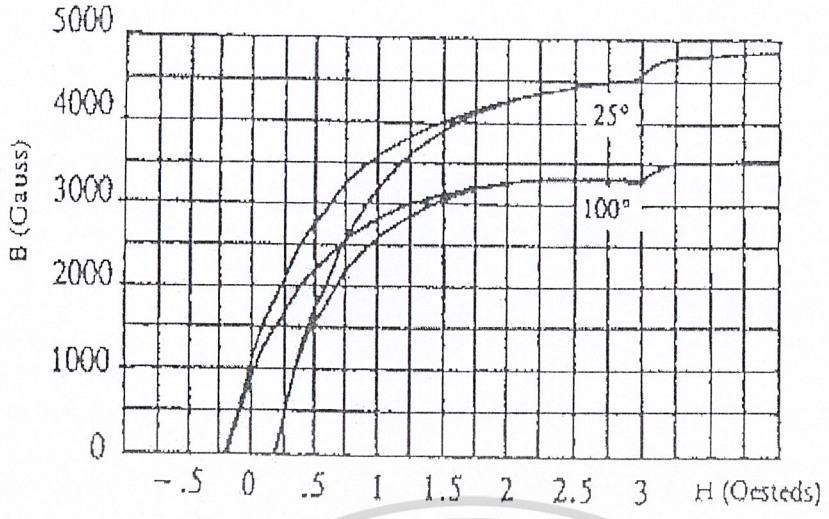
(ก) (ข)

รูปที่ 2.21 ส่วนประกอบของหม้อแปลงสวิทชิ่ง
(ก) ส่วนประกอบหลักของหม้อแปลงสวิทชิ่ง
(ข) การพันขดลวดทองแดงอาบน้ำยาบนขดลวด

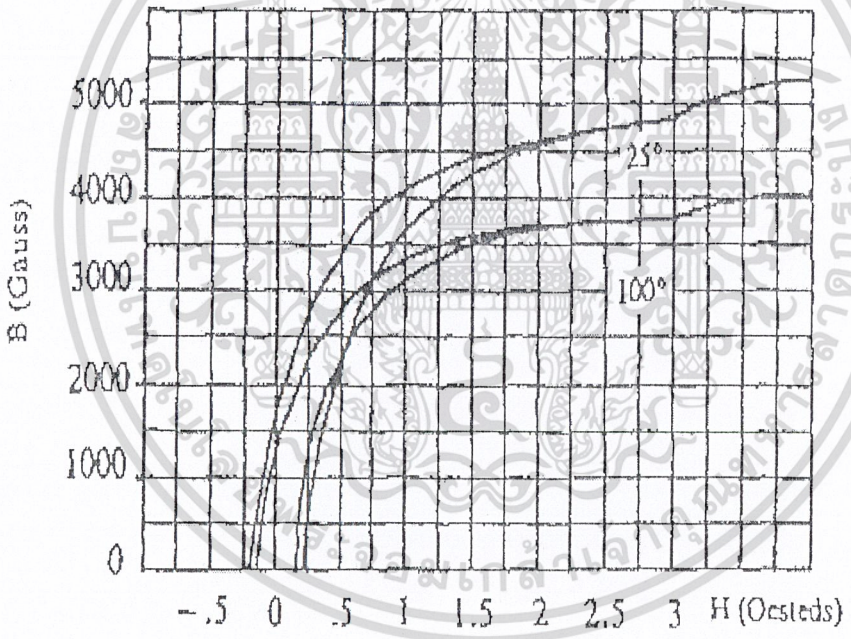
4. เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซีส (Hysterasis Curve)

เส้นโค้งฮีสเตอร์รีซีสจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (B) ที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์กับความเข้มของสนามแม่เหล็ก (H) ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของขดลวดที่พันบนแกน ในรูปที่ 2.22(ก) และ 2.22(ข) จะแสดงลักษณะของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซีสของเนื้อสารชนิด 3C8 และ 3C6A ตามลำดับ จากรูปจะเห็นว่าค่าความหนาแน่นฟลักซ์ B จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ H เพิ่มขึ้นเมื่อถึงจุดหนึ่ง ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B มีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมากแม้ว่าจะมีการเพิ่มขึ้นของความเข้มสนามแม่เหล็ก H ก็ตาม จากจุดดังกล่าวเราจะเรียกว่าแกนเริ่มอิ่มตัวของฟลักซ์แม่เหล็ก (Saturation) โดยปกติผู้ผลิตจะแสดงเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซีสเพียงครึ่งเดียว เนื่องจากอีกครึ่งหนึ่งของเส้นจะมีลักษณะเหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

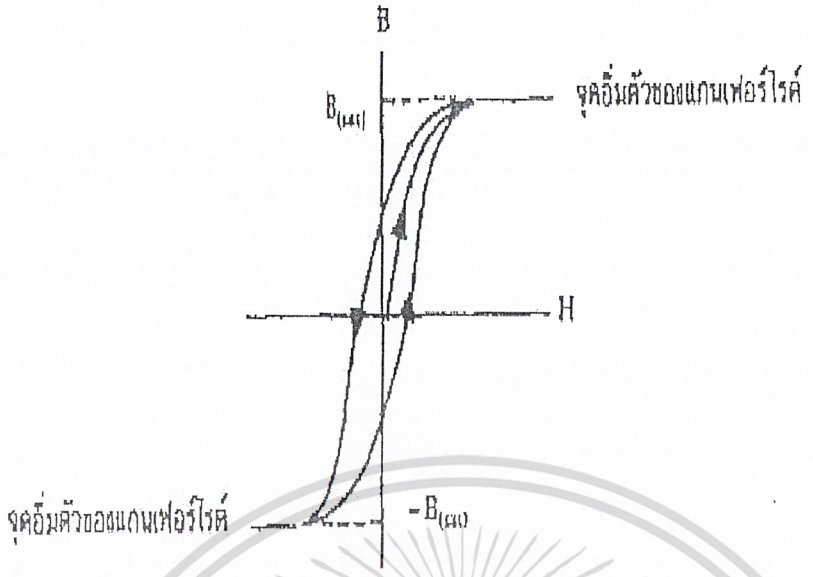


รูปที่ 2.22 (ก) เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซีสของแกนเฟอร์ไรต์ เนื้อสาร 3C8



รูปที่ 2.22 (ข) เส้นโค้งฮิสเตอร์รีซีสของแกนเฟอร์ไรต์เนื้อสาร 3C6A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

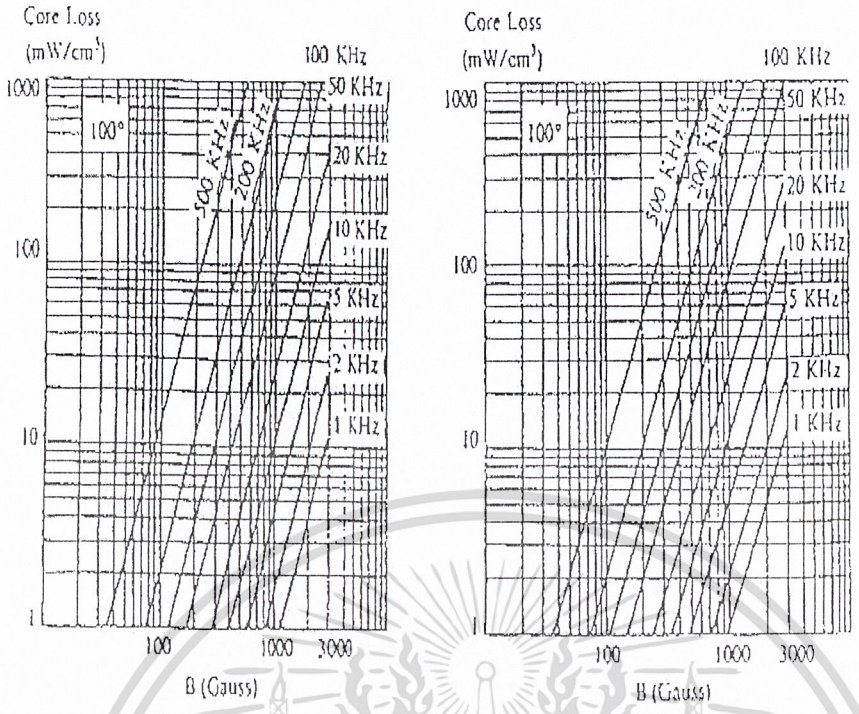


รูปที่ 2.23 แสดงลักษณะที่สมบูรณ์ของเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซิสซึ่งมีลักษณะสมมาตร

5. ค่าการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ (Core Loss)

การสูญเสียที่เกิดขึ้นในแกนเฟอร์ไรต์จะทำให้แกนเฟอร์ไรต์ร้อนซึ่งสาเหตุหลัก 2 ประการ คือ การสูญเสียที่เกิดจากลักษณะเส้นโค้งฮิสเตอร์รีซีสของแกน (Hysterasis Loss) และการสูญเสียจากการเกิดกระแสไหลวน ในแกนเฟอร์ไรต์ที่ความถี่ต่ำกว่า 100 กิโลเฮิรตซ์ การสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในแกนเหล็กจะมีค่าน้อยสำหรับแกนที่มีขนาดไม่ใหญ่ ดังนั้นการสูญเสียที่ก่อให้เกิดความร้อนในแกนอาจพิจารณาได้จากการสูญเสียทางฮิสเตอร์รีซีสเพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 แสดงการสูญเสียในแกนเฟอร์ไรต์ของเนื้อสาร

6. การออกแบบหม้อแปลง

มีสิ่งที่ต้องคำนึงถึง ดังนี้

1. การเลือกอุปกรณ์ พิจารณาดังนี้

1.1. ชนิดลักษณะ โครงสร้าง และขนาดของแกนแม่เหล็ก.

1.2 ชนิดรูปร่างขนาด และจำนวนรอบที่ใช้ในการพัน

1.3. ชนิดและลักษณะของฉนวน

1.4 ลักษณะโครงสร้างของ case ตลอดจนการระบายความร้อน

1.5 คุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางกลต่างๆ

2. ข้อกำหนด ต้องพิจารณาถึง

2.1 ขนาดกำลังขาออก

2.2 ขนาดและรูปร่าง รวมทั้งความถี่ของกระแสและแรงดัน

2.3 กำลังสูญเสีย ประสิทธิภาพ อุณหภูมิ

2.4 Voltage Reguration

3. ขีดจำกัด

3.1 การอิ่มตัวของแกนเหล็ก

3.2 กำลังสูญเสียในขดลวดทองแดงและในแกนเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. สมการที่ใช้ในการออกแบบ

จากขีดจำกัดของแกนเหล็ก (Saturation or Core Loss)

- เมื่อแรงดันเป็น Square Wave

จาก
$$V = N\frac{d\phi}{dt} \qquad (2.4-4)$$

$$\phi_m = \int_0^{T/2} \frac{V}{N} dt \qquad (2.4-5)$$

$$= V\frac{\left[\frac{T}{2}\right]}{N} = nB_{max}S \qquad (2.4-6)$$

โดยที่ n = 1 เมื่อมี dc magnetizing current

n = 2 เมื่อไม่มี dc magnetizing current

คำนวณหาจำนวนรอบขดลวดทั้งสองได้

$$N_1 = \frac{V_1}{2nB_{max}Sf} \qquad (2.4-7)$$

- เมื่อแรงดันเป็น Sine Wave

$$N_1 = \frac{V_{1rms}}{4.44B_{max}Sf} \qquad (2.4-8)$$

$$N_2 = \frac{V_{2max}}{4.44B_{max}Sf} \qquad (2.4-9)$$

$$kW = N_1 A_{w1} + N_2 A_{w2} \qquad (2.4-10)$$

จากขีดจำกัดของขดลวดทองแดงโดยคำนึงถึงการสูญเสีย (P_{cu})

$$P_{cu} = I_{rms}^2 R_1 + I_{rms}^2 R_2 \qquad (2.4-11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R=\frac{\rho l}{A_w}, J=\frac{I_{rms}}{A_w}$$

จากคุณสมบัติของวงจรแม่เหล็ก

$$L=N^2\rho_m=\frac{N^2}{R_m}$$

$$L_{11,}=N_1^2\rho_{11}, L_{12}=N_2^2\rho_{12}, \rho_m=\frac{\mu_m S_m}{l_m}$$

โดยที ρ เป็นสภาพความต้านทานของทองแดงมีค่า $1.72\times10^{-8}\ \Omega$

R_1 เป็นความต้านทานรวมของขดลวดทองแดงด้านเข้าของหม้อแปลง

R_2 เป็นความต้านทานรวมของขดลวดทองแดงด้านออกของหม้อแปลง

L_1 เป็นค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องการออกแบบทางด้านเข้าของหม้อแปลง

L_2 เป็นค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องการออกแบบทางด้านเข้าออกหม้อแปลง

V_{1rms} เป็นแรงดันตกคร่อมขดลวดด้านเข้าหม้อแปลง

V_{2rms} เป็นแรงดันตกคร่อมขดลวดด้านออกของหม้อแปลง

I_{1rms} เป็นค่ากระแสที่ไหลผ่านขดลวดด้านเข้าหม้อแปลง

I_{2rms} เป็นค่ากระแสที่ไหลผ่านขดลวดด้านออกหม้อแปลง

k เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของช่องหน้าต่างมีค่า 0.1 – 0.6

$B_{\max}$ เป็นค่าสนามแม่เหล็กสูงสุดที่ยอมรับได้ สำหรับแกนเฟอร์ไรต์มีค่าไม่เกิน 0.6 T

P_{cu} เป็นกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในขดลวดทองแดง

P_{in} เป็นกำลังด้านเข้าของหม้อแปลง

P_{out} เป็นกำลังด้านออกของหม้อแปลง

W เป็นพื้นที่ช่องหน้าต่าง (m^2)

S เป็นพื้นที่หน้าตัดของแกนแม่เหล็กที่ขดลวดทองแดงพันอยู่โดยรอบ

l เป็นค่าความยาวโดยประมาณของขดลวดที่ต้องการใช้ในการพันรอบแกนเหล็ก

t เป็นความยาวเฉลี่ยของขดลวดที่พันรอบแกนแม่เหล็ก 1 รอบรอบแกน เหล็ก

A_{w1} เป็นหน้าตัดของขดลวดทองแดงด้านเข้าหม้อแปลง

A_{w2} เป็นหน้าตัดของขดลวดทองแดงด้านออกหม้อแปลง

N_1 เป็นจำนวนรอบที่พันรอบแกนแม่เหล็กของขดลวดด้านเข้าหม้อแปลง

N_2 เป็นจำนวนรอบที่พันรอบแกนแม่เหล็กของขดลวดด้านออกหม้อแปลง

f เป็นความถี่ที่ใช้ในการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกหรือกำหนดแกนแม่เหล็กมีวิธีการคำนวณ 2 วิธี

1. A_p Approach การออกแบบใช้ค่าของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นซึ่งอยู่ในรูปของความหนาแน่นของกระแส สำหรับ Square Wave ที่ไม่มี dc magnetizing current

$$N_1 = \frac{V_1}{4B_{\max} Sf} \qquad (2.4-12)$$

$$N_2 = \frac{V_2}{4B_{\max} Sf} \qquad (2.4-13)$$

$$kW = N_1 A_{w1} + N_2 A_{w2} \qquad (2.4-14)$$

$$kW = \frac{N_1 I_{1rms}}{J} + \frac{N_2 I_{2rms}}{J} \qquad (2.4-15)$$

แทนค่า N_1 และ N_2 ได้

$$kW = \frac{V_1 I_{1rms}}{4B_{\max} SfJ} + \frac{V_2 I_{2rms}}{4B_{\max} SfJ} \qquad (2.4-16)$$

$$kW = \frac{V_1 I_{1rms} + V_2 I_{2rms}}{4B_{\max} SfJ} \qquad (2.4-17)$$

จัดกลุ่มตัวแปรเพื่อกำหนดขนาดของหม้อแปลง

$$A_p = WS = \frac{V_1 I_{1rms} + V_2 I_{2rms}}{4kB_{\max} SfJ} \qquad (2.4-18)$$

โดยทั่วไป $V_1 I_{1rms} = V_2 I_{2rms} = P_{out}$

$$\therefore \quad A_p = WS = \frac{2P_{out}}{4kB_{\max} fJ} \qquad (2.4-19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปขั้นตอนการออกแบบตามวิธี A_p Approach

1. จากข้อกำหนดและขีดจำกัด หาค่า A_p

$$A_p = \frac{V_1 I_{1rms} + V_2 I_{2rms}}{4kB_{\max} fJ}$$

2. เลือกขนาดแกนให้ A_p มากกว่าค่าที่คำนวณได้จากข้อ 1

3. คำนวณหาจำนวนรอบขดลวดตัวนำ (N_1 และ N_2)

4. คำนวณหาขนาดของลวดตัวนำ A_w เมื่อ $N_1A_{w1} = N_2A_{w2}$

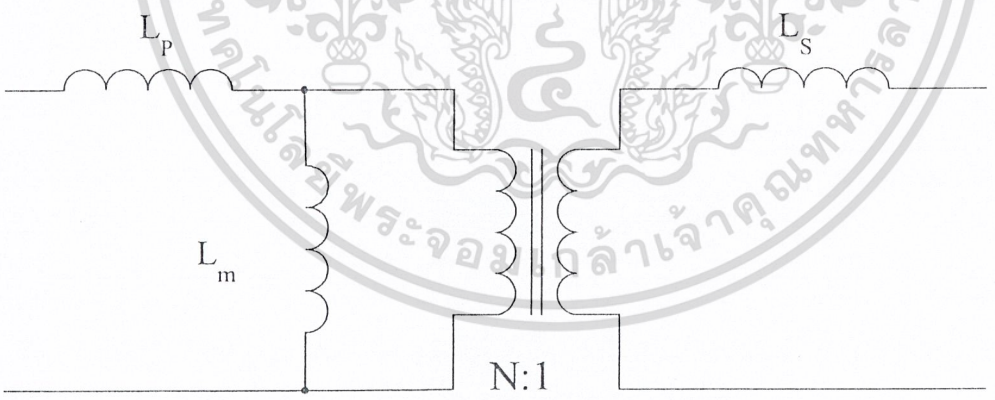
5. เลือกเบอร์ของขดลวดทองแดงให้มี A_w ใหญ่กว่า A_w ที่ได้จากข้อ 4 โดยเลือกรัศมีของขดลวดเล็กกว่าความลึกผิวของทองแดง (Skin Dept) ที่ความถี่ใช้งานสูงสุด $\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu\omega}}$

6. คำนวณหาค่า $P_{cu} = I_{1rms}^2 R_1 + I_{2rms}^2 R_2$

7. ปรับค่า J เริ่มตั้งแต่ 1- 6 ใหม่จนได้ P_{cu} ที่เหมาะสม

8. คำนวณหาค่า L_m จาก $L_m = \frac{N^2 \mu_m S_m}{l_m}$

9. คำนวณหาค่า $i_m = i_1 = \left[\frac{N_2}{N_1}\right] i_2$



รูปที่ 2.25 แสดงรูปวงจรสมมูลย์ที่ใช้ในการคำนวณ

โดยที่ L_p คือ ค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลทางไพรมารี่

L_s คือ ค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหลทางเซคันดารี่

L_m คือ ค่าความเหนี่ยวแม่เหล็กที่อ้างอิงมาด้านไพรมารี่

N คือ อัตราส่วนแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาค่าดังต่อไปนี้

1. วัดทางด้านขด primary ในขณะที่เปิดใช้งานด้าน secondary กำหนดให้เป็น L_{11}
2. วัดทางด้านขด secondary ในขณะที่ เปิดใช้งานด้าน primary กำหนดให้เป็น L_{12}
3. วัดทางด้าน primary ในขณะที่ลัดวงจรด้าน secondary กำหนดให้เป็น $L_{11,S}$
4. วัดทางด้าน secondary ในขณะที่ลัดวงจรทางด้าน primary กำหนดให้เป็น $L_{22,S}$

โดยที่

$$L_{11} = L_P + L_M \tag{2.4 – 20}$$

$$L_{22} = L_S + \frac{L_M}{n^2} \tag{2.4 – 21}$$

$$L_{11S} = L_P + \frac{L_M n^2 L_S}{L_M + n^2 L_S} \tag{2.4 – 22}$$

$$L_{22S} = L_S + \left[\frac{L_M L_P}{L_M + L_P}\right]\frac{1}{n^2} \tag{2.4 – 23}$$

$$n = \sqrt{\frac{L_{11}}{L_{22}}} \tag{2.4 – 24}$$

2. การออกแบบโดยใช้วิธี Core Geometry k_g Approach

วิธีนี้เป็นการออกแบบโดยใช้กำลังสูญเสียของลวดทองแดง

$$N_1 = \frac{V_1}{4B_{max} Sf} \tag{2.4 – 25}$$

$$N_2 = \frac{V_2}{4B_{max} Sf} \tag{2.4 – 26}$$

$$N_1 A_{w1} = N_2 A_{w2} = k\frac{W}{2} \tag{2.4 – 27}$$

จาก

$$R = \frac{\rho l}{A_W} \tag{2.4 – 28}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก $l = Nt$ และ $A_w = \frac{kW}{2N}$

ได้ $$R_1 = \frac{\frac{\rho N_1 t}{(kW)}}{2N_1} = \frac{2\rho t N_1^2}{kW} \quad (2.4-29)$$

$$R_2 = \frac{2\rho t N_2^2}{kW} \quad (2.4-30)$$

$$P_{cu} = I_{1rms}^2 R_1 + I_{2rms}^2 R_2 \quad (2.4-31)$$

แทนค่า R_1 และ R_2 จะได้

$$P_{cu} = \frac{2\rho t\left(V_1^2 I_{1rms}^2 + V_2^2 I_{2rms}^2\right)}{kW\left(4B_{max} Sf\right)^2} \quad (2.4-32)$$

เนื่องจาก $$V_1 I_{1rms} = V_2 I_{2rms} = P_{out} \quad (2.4-33)$$

แทนค่าได้ $$P_{cu} = \frac{\rho t P_{out}^2}{4kWB_{max}^2 S^2 f^2} \quad (2.4-34)$$

จัดกลุ่มตัวแปรเพื่อกำหนดขนาดหม้อแปลง k_g

$$Kg = \frac{WS^2}{t} = \frac{\rho P_{out}^2}{4kB_{max}^2 f^2 S^2 P_{cu}} \quad (2.4-35)$$

สรุปขั้นตอนการออกแบบตามวิธี Core Geometry k_g Approach

1. จากข้อกำหนดและขีดจำกัด คำนวณหาค่า k_g
2. เลือกขนาดของแกนให้ k_g มากกว่า k_g จากข้อ 1
3. คำนวณหาจำนวนรอบของขดลวดตัวนำ (N_1 , N_2)
4. คำนวณหาขนาดของลวดตัวนำ (A_{w1} , A_{w2})
5. เลือกเบอร์ลวดให้ A_w มากกว่า A_w ในข้อ 4
6. เลือกรัศมีของลวดทองแดงเล็กกว่าความลึกผิวของทองแดงที่ความถี่ใช้งานสูงสุด

   $$\delta(m) = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu\omega}}$$

7. รวมค่ากำลังสูรเสียที่เกิดในแกน ($P_{core\ loss}$) และลวดทองแดง (P_{cu})

   Core Loss = $Pw = 9.5623 \times 10^{-6} B_{max}^{2.22} f^{1.192}$ watt/gram

8. คำนวณหาค่า L_m และ I_m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 หลักการเลือกวัสดุสำหรับการสร้างเตาอบแบบ Induction

ในการเลือกวัสดุที่จะนำมาสร้างเตาอบนั้นจะแบ่งส่วนของการพิจารณาถึงวัสดุที่จะนำมาสร้างเตาอบออกเป็นสองส่วนคือ วัสดุในการสร้างเตาอบภายนอก และวัสดุที่ใช้ทำเตาอบภายในเนื่องจากการสร้างเตาอบแบบเหนี่ยวนำนั้นจะอาศัยหลักการของสนามแม่เหล็กมาเกี่ยวข้องดังนั้นการพิจารณาเลือกใช้วัสดุที่จะนำมาสร้างเตาอบจะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของสารแม่เหล็กของวัสดุที่จะเลือกใช้ คุณสมบัติที่สำคัญของสารแม่เหล็กคือค่าซึมซาบแม่เหล็กของสารนั้น ๆ ดังสมการ

$$\mu = \mu_o \mu_r \qquad (2.5\text{-}1)$$

เมื่อ μ_r คือ ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ (relative permeability) ไม่มีหน่วย

μ_o คือ ค่าความซึมซาบแม่เหล็กของสูญญากาศ (vacuum of free space) ซึ่งเป็นค่าคงที่เท่ากับ $4\pi \times 10^{-7}$

สารแม่เหล็กสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ โดยพิจารณาจากพฤติกรรมของค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ของสารนั้น ๆ ได้ดังนี้

1. Diamagnetic มีค่า μ_r น้อยกว่า 1 เล็กน้อย เช่น ทองแดง ตะกั่ว น้ำ เป็นต้น
2. Paramagnetic มีค่า μ_r มากกว่าหนึ่งเล็กน้อย เช่น อากาศ อลูมิเนียม พาลาเดียม เป็นต้น
3. Nonmagnetic มีค่า μ_r เท่ากับหนึ่ง ได้แก่ สูญญากาศ
4. Ferromagnetic มีค่า μ_r มากกว่าหนึ่งมาก ๆ เช่น นิเกิล เหล็ก ซิลิกอน เป็นต้น
5. Ferrimagnetic เป็นสารที่มีส่วนประกอบเป็น iron oxide มีค่าความต้านทานไฟฟ้า จำเพาะสูงเหมาะสำหรับการใช้งานที่ความถี่สูง เช่น Nickle-zinc ferrite เป็นต้น
6. Amorphous เป็นสารแม่เหล็กชนิดใหม่ที่มีโครงสร้างแตกต่างจากประเภทอื่น ๆ ซึ่งสามารถให้ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กสูงเหมาะสำหรับการใช้งานในด้านความถี่ต่าง ๆ ได้ดี

ดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น การพิจารณาเตาอบจะแบ่งการพิจารณาออกเป็นวัสดุที่จะนำมาทำการสร้างภายนอกเตาอบและภายในเตาอบ สำหรับการพิจารณาวัสดุที่จะนำมาทำเตาอบภายในนั้นจะต้องพิจารณาสารแม่เหล็กที่มีความสามารถในการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กได้ดีเพราะเมื่อวัสดุที่เลือกใช้มีความสามารถในการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กได้ดีก็จะส่งผลให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง โดยในที่นี้ได้เลือกใช้เหล็กทำเป็นโครงเตาอบภายใน ซึ่งเหล็กสามารถเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กได้ดีและยังมีความแข็งแรง ทนต่อการบิดงอได้ดีเมื่อเนื้อเหล็กมีอุณหภูมิสูงขึ้นและที่สำคัญคือราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย ส่วนการพิจาณาถึงวัสดุที่จะนำมาสร้างโครงภายนอกของเตาอบแบบเหนี่ยวนำนั้นจะต้องพิจารณาดึงปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

- ความสวยงาม
- มีความแข็งแรงและทนทานสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

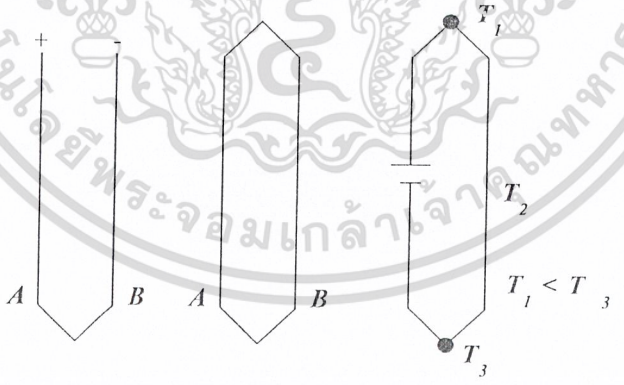
- วัสดุที่เลือกใช้นั้นจะต้องมีความสามารถในการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กต่ำกล่าวคือ ต้องมีค่า μ ต่ำ ๆ เพื่อป้องกันการเหนี่ยวนำซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนตามมา

2.6 หลักการของ Thermocuple

ในงานวิศวกรรม Thermcuple เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่นิยมใช้กันมากที่สุดเพราะมีข้อได้เปรียบอุปกรณ์วัดอุณหภูมิชนิดอื่น ๆ อยู่หลายประการเช่น

- เป็นอุปกรณ์ขนาดเล็ก ทำให้สามารถวัดในพื้นที่ ที่จำกัดได้
- การติดตั้ง ประกอบสะดวกและง่าย
- มีความแข็งแรง ทนต่อแรงกระแทก และสั่นสะเทือนได้
- การวัดอุณหภูมิ 2 จุดทำได้ง่าย

ในปี ค.ศ. 1827 นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันชื่อ โทมัส ซีเบค (Thomas Seebeck) พบว่าเมื่อนำโลหะ 2 ชิ้นที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมปลายทั้งสองเข้าด้วยกัน และทำให้ปลายที่เชื่อมไว้ทั้งสองข้างมีอุณหภูมิต่างกัน จะเกิดกระแสไฟฟ้าในวงจรเส้นลวดทั้งสองนี้ตามรูปที่ 2.26 (ก) ปริมาณของกระแสไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดเชื่อมทั้งสองด้านนั้น แรงเคลื่อนนี้เรียกว่า ซีเบคโวลท์เตจ (Seebeck Voltage) ตามรูปที่ 2.26 (ข) ต่อมาในปี ค.ศ. 1934 นักวิทยาศาสตร์ชื่อ ยินซีเอ เพลเทียร์ (Jean C.A. Peltier) พบว่าเมื่อจ่ายกระแสเข้าไปในวงจรลักษณะเดียวกันที่ซีเบคสร้างขึ้นจะทำให้อุณหภูมิที่ปลายทั้งสองด้านแตกต่างกัน โดยปลายด้านหนึ่งจะร้อน ส่วนอีกด้านหนึ่งจะเย็นลง ลวดทั้งสองทำจากบิทมัสและแอนโตโมเนีย จากการค้นพบของซีเบคและเพลเทียร์ เป็นรากของการค้นคว้าเกี่ยวกับหลักการของเทอร์โมคัปเปิล ได้พัฒนามาเป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในวงจรอุตสาหกรรมปัจจุบัน



รูปที่ 2.26 แสดงหลักการของเทอร์โมคัปเปิล

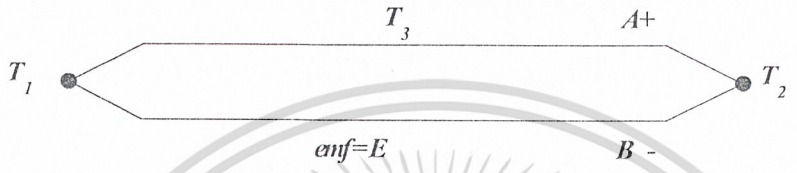
2.6.1 กฎของ เทอร์โมคัปเปิล (Thermouple)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1.1 กฎของการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ

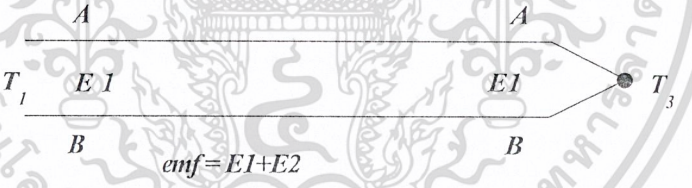
กฎของวงจรโลหะชนิดเดียวกัน (Low of the homogeneous circuit) ในวงจรที่ประกอบขึ้นด้วยโลหะชนิดเดียวกันจะไม่เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง

กฎของโลหะแทรก (Low of the intermediate circuit) ถ้าหากมีโลหะแทรกอยู่ในส่วนหนึ่งส่วนใดของวงจรการเพิ่มโลหะที่แทรกเข้าไปนี้ จะไม่มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในทางปฏิบัติที่ใช้กันอยู่เสมอ เช่น ข้อต่อ หรือสายทองแดงที่ใช้ต่อเข้ากับมิเตอร์



รูปที่ 2.27 แสดงกฎของโลหะแทรก

กฎของอุณหภูมิแทรก (Low of the inter mediate temperature) แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดรวมขึ้นโดยเทอร์โมคัปเปิลชุดใด ๆ จะมีค่าเท่ากับผลรวมทางพีชคณิตของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละคู่

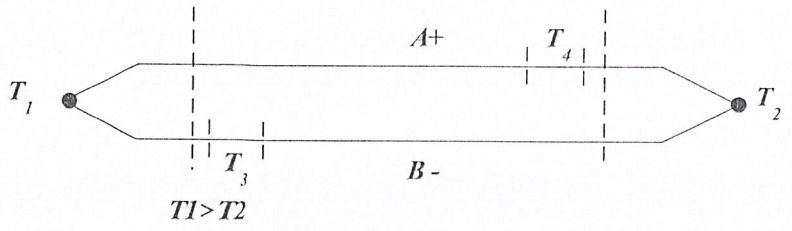


รูปที่ 2.28 แสดงกฎของอุณภูมิแทรก

2.6.2 ปรากฏการณ์ของ Thermocuple ที่ควรทราบ

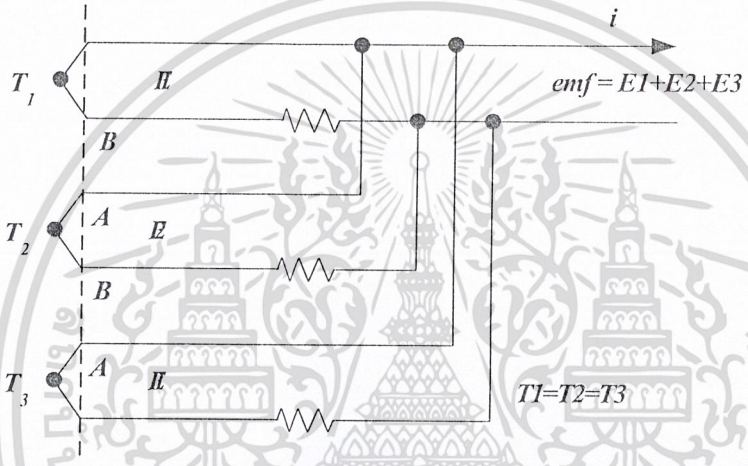
ในเทอร์โมคัปเปิลคู่เดียวกันอุณหภูมิที่มีผล คือ อุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสองข้างเท่านั้นอุณหภูมิบนจุดต่าง ๆ ตามสายจะไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



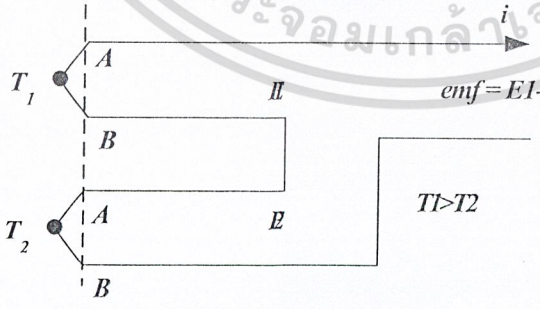
รูปที่ 2.29 อุณหภูมิช่วงกลางสายจะไม่มีผลต่อการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า

การต่อขนานเทอร์โมคัปเปิลเข้าด้วยกันผลที่ได้คือ อุณหภูมิเฉลี่ย



รูปที่ 2.30 แสดงการต่อเทอร์โมคัปเปิลแบบขนาน

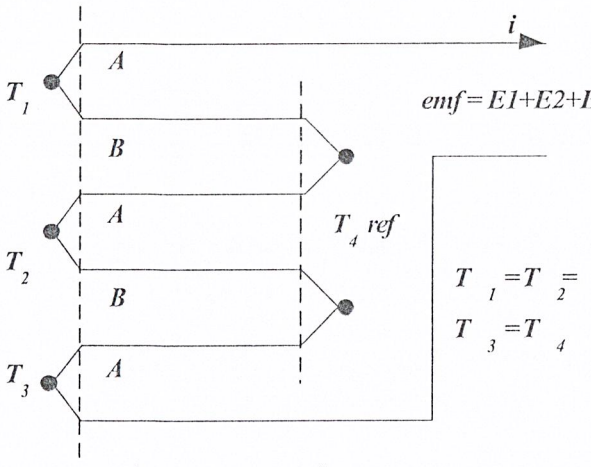
การต่อเทอร์โมคัปเปิลชนิดเดียวกันสองจุดกลับขั้วกันเป็นการวัดผลต่างของอุณหภูมิ



รูปที่ 2.31 แสดงการต่อเทอร์โมคัปเปิลแบบกลับขั้ว

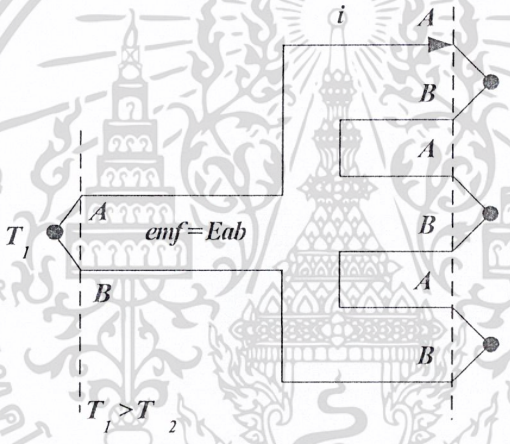
การเพิ่มเทอร์โมคัปเปิลที่อุณหภูมิ T_1 หรือ T_2 ตามรูปที่ 2.32 จะไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 การเพิ่มเทอร์โมคัปเปิลที่อุณหภูมิ T_1 หรือ T_2

การต่อเทอร์โมคัปเปิลแบบอนุกรมแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นผลรวมของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชุด



รูปที่ 2.33 แสดงการต่อเทอร์โมคัปเปิลแบบอนุกรม

2.6.3 เทอร์โมคัปเปิลแบบมาตราฐาน

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาวัสดุที่ใช้ทำเทอร์โมคัปเปิลออกมาหลายชนิด เพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการใช้งานลักษณะต่าง ๆ จึงได้มีการจัดแบ่งเทอร์โมคัปเปิลออกเป็นหลายประเภท ดังในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ	ช่วงอุณหภูมิใช้งาน (C°)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (mV)
B	0-1828	0-1.3814
R	-50-1768	-2.26-21.108
S	-50-1768	-0.238-18.698
J	-210-760	-8.096-42.922
K	-270-1260	-6.458-54.875
T	-270-400	-6.258-20.896
E	-270-1000	-9.835-76.385

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติเปรียบเทียบของเทอร์คมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

ซึ่งจากหลักการของเทอร์โมคัปเปิลที่กล่าวมากลุ่มของข้าพเจ้าเลือกใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ K ในการวัดอุณหภูมิภายในเตาอบ

2.6.4 หลักการของเทอร์โมคัปเปิลแบบ K (Type K Chromel V.S. Alumel)

เพื่อที่จะให้เทอร์โมคัปเปิลสามารถวัดอุณหภูมิได้สูงระหว่างแบบ J และมีราคาถูกกว่า จึงได้มีผู้ประดิษฐ์เทอร์โมคัปเปิลแบบใหม่ที่สายบวกทำจากโลหะผสมระหว่างนิเกิล 90% +โครเมียม 10% และสายลบทำจากโลหะผสมระหว่างนิเกิล 95% + 5% ของส่วนผสมระหว่างอะลูมิเนียม แมงกานีส และซิลิกอน ซึ่งต่อมาได้กลายเป็นแบบมาตรฐานแบบ K เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดสามารถใช้กับสภาวะงานที่เป็น OxidiZing หรือ Inert ได้ดีกว่าแบบอื่น สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 1260 C° และอุณหภูมิต่ำถึง -250 C° ในสภาพงานที่ต้องรับการแผ่รังสีโดยตรงจากแหล่งกำเนิดความร้อน แบบ K ก็สามารถใช้ได้ดีเช่นกัน

คุณสมบัติที่เด่นมากของเทอร์โมคัปเปิลแบบ K คือให้แรงเคลื่อนเอาท์พุทที่สูง

ข้อควรระวัง ไม่ควรใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ K สัมผัสโดยตรงกับ

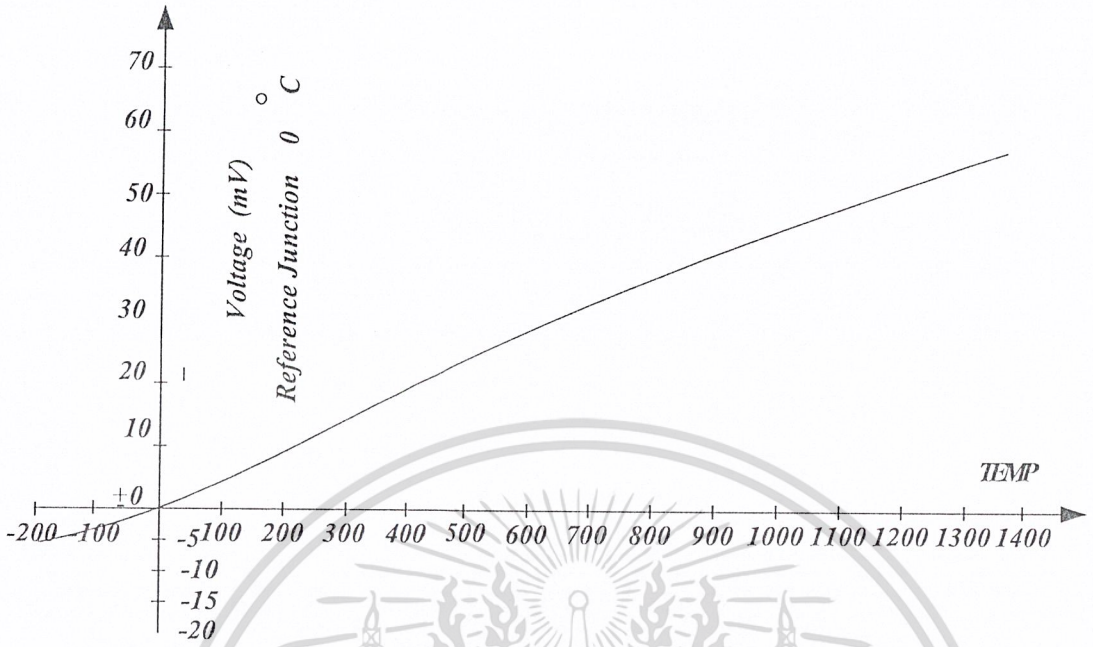
ในสภาวะงานที่เป็น Reducing หรือเป็นการใช้งานสลับกันระหว่าง Oxidizing และ Reducing

สภาวะงานที่มีไอซัลเฟอร์ เพราะซัลเฟอร์จะทำลายโลหะทั้งคู่ของเทอร์โมคัปเปิลโดยเฉพาะสายลบจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

สภาวะงานที่เป็น Vacuum ยกเว้นในช่วงระยะเวลาสั้นๆ

ถ้าจำเป็นต้องใช้งานเทอร์โมคัปเปิลกับสภาพดังกล่าวนี้จะต้องใช้ Protecting Tube ป้องกันเสียก่อน อายุการใช้งานของเทอร์โมคัปเปิลแบบ K นี้ประมาณ 20 ปี เพราะหลังจากนั้นส่วนผสมจะเปลี่ยนไปโดยจะมีเหล็กเพิ่มขึ้นประมาณ 2 % และส่วนผสมบ่างอย่าง เช่น แมงกานีส จะลดปริมาณลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลแบบ K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบวงจรและขดลวด

3.1 วงจรหลักที่ใช้ในเตาอบเหนี่ยวนำ (Iduction Oven)

วงจรส่วนที่เป็นอินพุท ได้แก่

- วงจรเรคติไฟออร์
- ฟิวส์

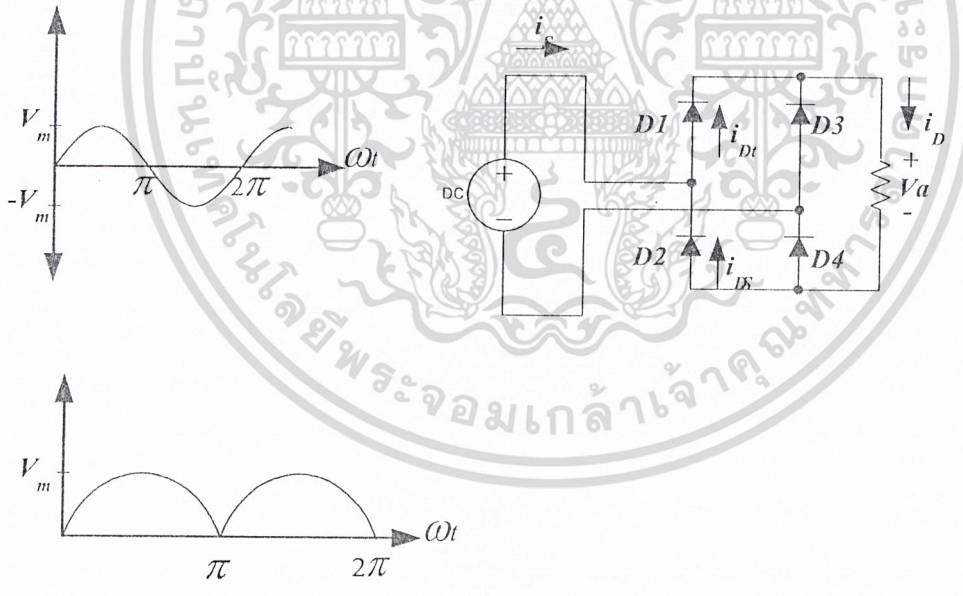
วงจร RFI Series Resonant Invert

วงจรขับ MOSFET

3.1.1 วงจรส่วนที่เป็นอินพุท

1. วงจรเรคติไฟเออร์ (Rectifier)

เรคติไฟเออร์ นับเป็นส่วนที่มีความสำคัญมากที่สุดในวงจรส่วนอินพุท เรคติไฟเออร์จะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ตัวเก็บประจุ (C) และไดโอดเรคติไฟเออร์ D_1-D_4 แสดงได้ดังรูปที่ 3.1 โดยมีหน้าที่หลัก คือ เปลี่ยนแรงดันไฟสลับให้เป็นไฟตรงเพื่อเป็นแรงดันอินพุทให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.1 แสดงวงจรเรคติไฟเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุ (C)

ตัวเก็บประจุC จะเป็นตัวกรองแรงดันไฟตรงที่ได้จากการเรียงกระแสของไดโอด ให้มีค่าเรียบมากยิ่งขึ้น และช่วยให้กระแสที่ได้มีค่ามากเพียงพอตามที่อินเวอร์เตอร์ต้องการ การทำงานของตัวเก็บประจุจะเป็นลักษณะชาร์จและคายประจุ

การพิจารณาเลือกตัวเก็บประจุ สำหรับวงจรเรคติไฟเออร์จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยดังต่อไปนี้

- อัตราการทนกระแสระลอกของตัวเก็บประจุ (RMS Ripple Current Rating)

กระแสระลอกในตัวเก็บประจุ C ร้อนและลดอายุการใช้งานของ C ปกติผู้ผลิตจะระบุอัตราทนกระแสระลอกมาให้ในกรณีที่กระแสระลอกมีค่าสูง การใช้ตัวเก็บประจุหลายตัวจะช่วยเพิ่มอัตราการทนต่อกระแสระลอกให้กับตัวเก็บประจุ

- แรงดันกระเพื่อมที่เอาท์พุทของเรคติไฟเออร์ (Ripple Voltage)

การกระเพื่อมที่แรงดันเอาท์พุทจะมีผลโดยตรงต่อการทำงานของอินเวอร์เตอร์มีค่าไม่คงที่ หากยอมให้แรงดันกระเพื่อมมีค่ามากก็จะลดความสามารถในการคงค่าแรงดันที่เอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ลงไปปกติจะไม่ยอมให้แรงดันกระเพื่อมเกิน 10 % ของแรงดันเอาท์พุท ค่าของตัวเก็บประจุเพื่อให้ค่าแรงดันกระเพื่อมไม่เกินกำหนด อาจคำนวณได้จาก

$$C = \frac{I_e \cdot \Delta t}{\Delta V_{ripple}} \qquad (3\text{-}1)$$

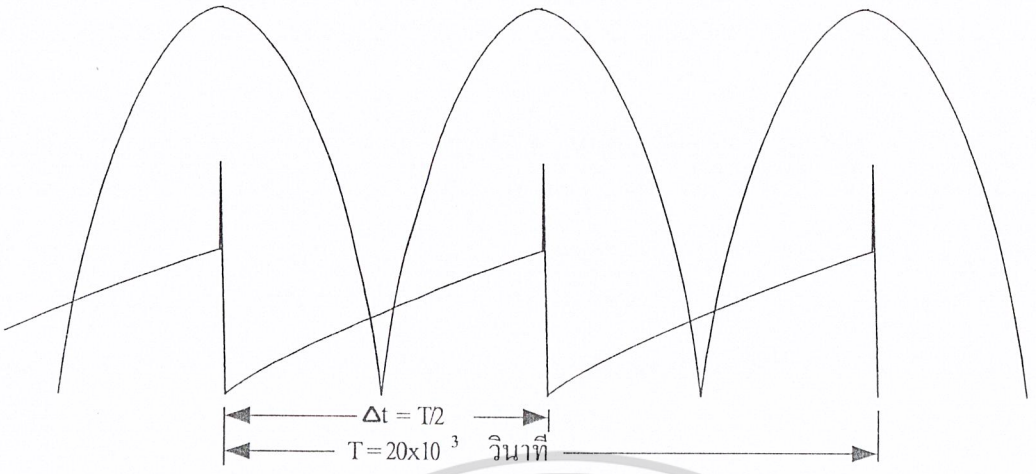
เมื่อ I_c คือค่ากระแสประสิทธอผลของวงจรเรคติไฟเออร์

Δt คือช่วงเวลาที่ C คายประจุ

ΔV_{ripple} คือค่ายอดถึงยอดของแรงดันกระเพื่อมที่เอาท์พุทของเรคติไฟเออร์

เพื่อให้ง่ายในการคำนวณค่าของ C ช่วงเวลาที่คายประจุอาจกำหนดจากช่วงยอดสูงสุดของลูกหนึ่งไปยังอีกลูกหนึ่งของแรงดันที่ได้จากเรคติไฟเออร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ดังนั้นค่าเวลาที่ C คายประจุจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของคาบเวลาของแรงดันไฟสลับ (10×10^{3} วินาที ที่ความถี่ 50 เฮิตร์ซ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงการประมาณค่าเวลาในการคายประจุของตัวเก็บประจุ C

- ช่วงเวลาโฮลด์อัพที่ต้องการ (Holding Time)

ช่วงเวลาโฮลด์อัพเป็นช่วงเวลาที่สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายยังสามารถคงค่าตามปกติที่โหลดสูงสุด เมื่อมีการหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับ หรือแรงดันไฟสลับที่มีค่าต่ำกว่าปกติ และเพื่อให้สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายมีเวลาโฮลด์อัพตัวเก็บประจุต้องมีค่ามากพอเพื่อจ่ายกระแสให้กับอินเวอร์เตอร์เมื่อมีการหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับ ค่าของ C เพื่อให้เกิดเวลาในการโฮลด์อัพอาจหาได้จาก

$$C = \frac{2P_o t_H}{\eta(V_S^2 - V_f^2)} \qquad (3\text{-}2)$$

P_0 คือ ค่ากำลังงานสุงสุดที่เอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์

η คือ ค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์

V_S คือ ค่าแรงดันที่ตัวเก็บประจุก่อนหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับ

V_f คือ ค่าแรงดันที่ตัวเก็บประจุหลังหยุดจ่ายแรงดันไฟสลับ

t_H คือ ค่าช่วงเวลาโฮลด์อัพที่ต้องการ(ประมาณ 20×10^{-3} ถึง 50×10^{-3})

- อัตราทนแรงดันของตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุส่วนใหญ่จะเป็นชนิดอิเล็กทรอไลต์ แต่อัตราทนแรงดันสูงๆ จะมีราคาแพง การเลือกขนาดตัวเก็บประจุ และ อัตราทนแรงดันที่ใหญ่เกินไปก็จะสิ้นเปลืองจะกินเนื้อที่โดยไม่จำเป็น

ไดโอดเรคติไฟเออร์

การเลือกใช้ไดโอดเรคติไฟเออร์มีข้อควรพิจารณาดังนี้

- ค่ากระแสกระชาก I_{FSH}(Maximum Surge Current)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสกระชากสูงสุดที่ผ่านไดโอดจะเกิดขึ้นขณะเปิดเครื่องเมื่อตัวเก็บประจุยังไม่มีประจุสะสม ค่ากระแสกระชากสูงสุดคำนวณได้จาก

$$I_{FSM} = \frac{V_{peak}}{(R_s + ESR)} \tag{3-3}$$

V_{peak} คือ แรงดันยอดสูงสุดของไฟสลับอินพุท

ESR คือ ค่าความต้านทานแฝงในตัวเก็บประจุน้อยที่สุด

R_S คือ ค่าของตัวต้านทานจำกัดกระแส

- ค่ากระแสสูงสุดเมื่อถูกไบอัสตรง I_{FRM} (Maximum Forward Current)

ค่ากระแสสูงสุดที่เกิดขึ้นที่วงจรเรคติไฟเออร์จะเกิดขึ้นในจังหวะที่ตัวเก็บประจุมีการเก็บประจุอีกครั้งหลังจากที่มีการคายประจุออกไปให้โหลด ค่ากระแสสูงสุดที่ถูกไบอัสตรงหาได้จากค่ากระแสสูงสุดของตัวเก็บประจุ

- ค่ากระแสเฉลี่ยเมื่อถูกไบอัสตรง I_{FM} (Maximum Average Forward Current)

เป็นค่ากระแสเฉลี่ยสูงสุดที่ไดโอดได้รับขณะทำงาน ในทางปฏิบัติควรเผื่อค่ากระแสเฉลี่ยสูงสุด I_{FM} ของไดโอดไว้ที่ประมาณ 1.5-2 เท่าจากที่คำนวณได้ เพื่อเพิ่มความปลอดภัย

- อัตราทนแรงดันไบอัสสูงสุด V_{RRM} (Maximum Reverse Voltage)

ปกติเรกติฟเออร์ต่อเข้ากับแรงดันไฟสลับ 220 โวลต์ ดังนั้นอัตราการทนต่อแรงดันไบอัสกลับสูงสุด จึงต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าแรงดันยอดสูงสุดของแรงดันไฟสลับ

2. ฟิวส์ (Fuse)

มีหน้าที่หลัก 2 ประการ คือ ป้องกันอุปกรณ์เสียหายเนื่องจากกระแสเกิน และเพื่อแยกส่วนวงจรออกจากแหล่งจ่ายไฟ กรณีที่มีการลัดวงจรเกิดขึ้น

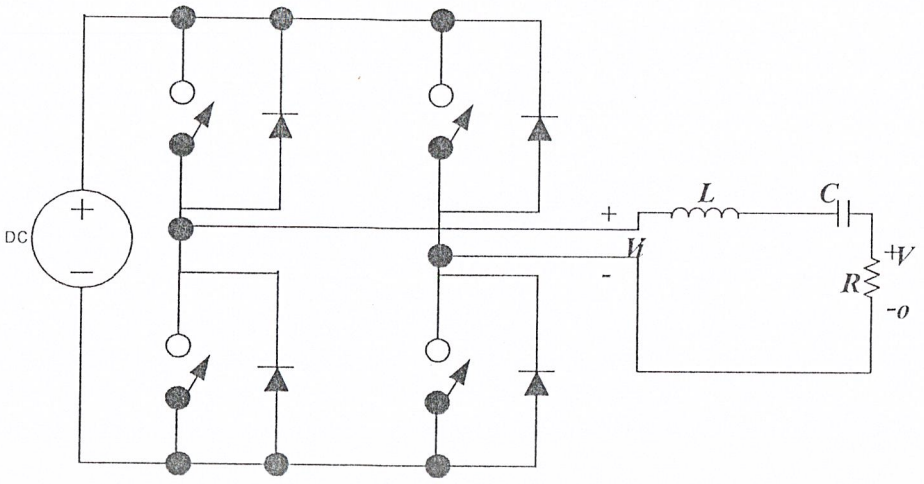
3.1.2 วงจร Series Resonant Inverter

วงจร Series Resonant Inverter มีอุปกรณ์ที่สำคัญดังต่อไปนี้

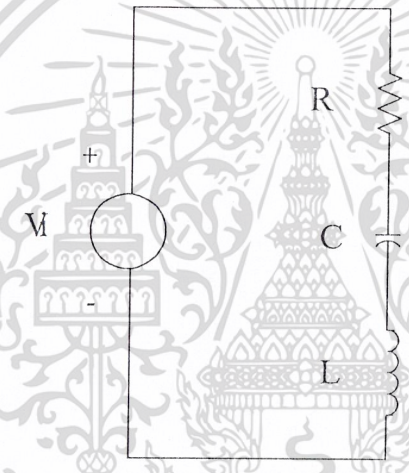
- Inductor
- Capacitor
- Resistive Load (ซึ่งเป็นโหลดของวงจร)

ซึ่งอุปกรณ์ทั้ง 3 ตัว ต่ออนุกรมกันอยู่ และมีอุปกรณ์สวิตซ์ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดพัลส์ (Square Wave) โดยที่ตัว Inductor –Capacitor เป็นตัวที่ถูกปรับค่าเพื่อให้ได้ความถี่ resonant ค่าเดียวกับความถี่ที่ใช้ในการสวิตชิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

รูปที่ 3.3 แสดงวงจร Series Resonant Inverter (a) และวงจรเสมือน(b)

จากการวิเคราะห์วงจรในรูปที่ 3.3 (b) จะสามารถหาความสัมพันธ์ของอินพุทและเอาท์พุทโวลต์เตจ ได้ดังนี้

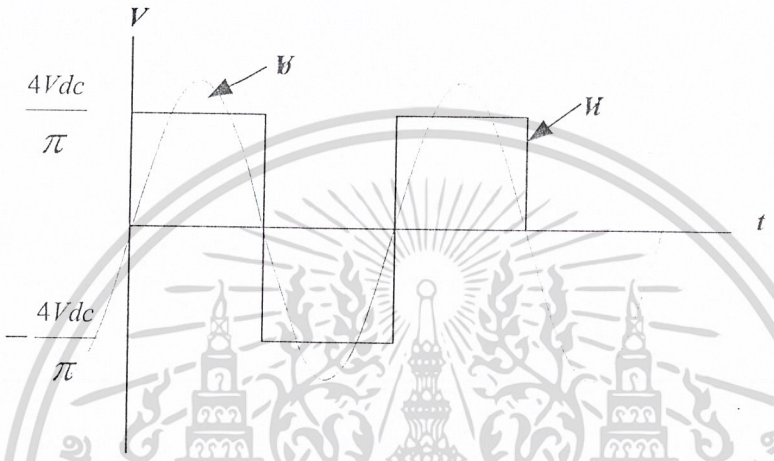
$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega L}{R} - \frac{1}{\omega RC}\right)^2}} \qquad (3.4)$$

โดยเราจะสามารถหาความถี่ Resonant ได้จากสูตร

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{หรือ} \quad f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความถี่รีโซแนนซ์ค่าอิมพีแดนซ์ของ Inductance และ Capacitance จะหักล้างกันจะเหลือเพียงแต่โหลด R อย่างเดียว ถ้าความถี่ของคลื่นพัลส์ (Square Wave) มีความถี่เท่ากับ f_0 (ความถี่รีโซแนนท์) ตัว L-C จะทำหน้าที่เช่นเดียวกับ Filter โดยจะยอมให้ Fundamental Frequency ผ่านและกรองความถี่ฮาร์โมนิกส์ให้เบาบางลงโดยโวลต์เตจที่ตกคร่อมโหลด R จะต้องเป็นสัญญาณคลื่นของ Sine Wave ที่ Fundamental Frequency



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง V_i และ V_o

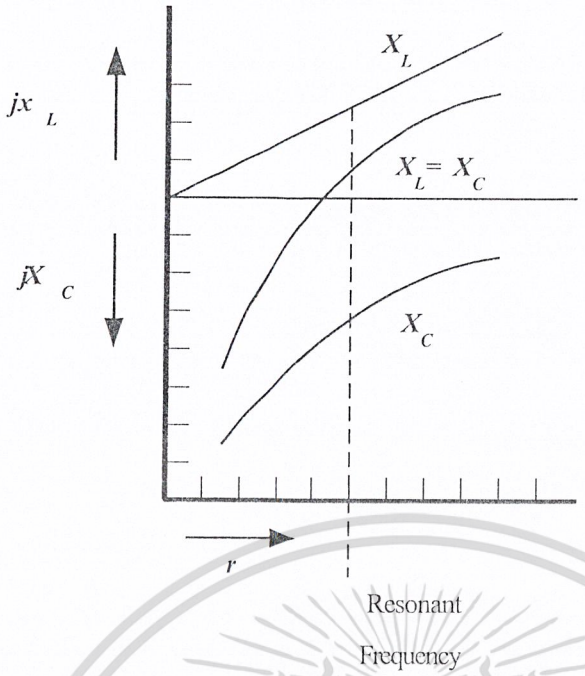
จากรูปที่ 3.4 ค่าAmplitude ของ Fundamental Frequency ของสัญญาณคลื่น Square Wave ของไฟกระแสตรง $\pm V_{dc}$ หาได้จาก

$$V_i = \frac{4V_{dc}}{\pi} \qquad (3\text{-}6)$$

โดยมีสัญญาณ Sine Wave ที่มีความถี่เท่ากับความถี่ Fundamental ปนอยู่กับ Harmonic

ณ จุดที่เป็น Resonance Frequency ค่าอิมพีแดนซ์ของ L และ C จะหักล้างกันเป็นศูนย์สามารถสังเกตุได้จากรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงความถี่ที่ทำให้เกิดการ Resonance

โดยที่ $X_L = j\omega_0 L$ และ $X_C = \frac{1}{j\omega_0 C}$

Amplitude Control

จากวงจรจะสังเกตุเห็นได้ว่าถ้าความถี่ที่โวลต์เตจที่ตกคร่อมโหลดยังไม่ถึงจุดวิกฤตขนาดของความถี่ Fundamental ที่ตกคร่อมโหลดจะสามารถควบคุมได้จากการเปลี่ยนความถี่รีโซแนนซ์ โดยพลังงานจะถูกเก็บไว้ในโหลดซึ่งเราสามารถควบคุมได้โดยการควบคุมความถี่ในการสวิทช์ชิ่ง ซึ่งพลังงานนี้จะแสดงออกมาในรูปของความร้อน

ในการเปลี่ยนความถี่สวิทช์ชิ่ง ควรที่จะใช้ความถี่สวิทช์ชิ่งให้มีขนาดมากกว่าความถี่รีโซแนนซ์ ($f_s > f_0$) แต่ในการเพิ่มความถี่สวิทช์ชิ่งนั้นจะมีผลทำให้เกิด Harmonic ใน Square Wave มากขึ้น และจะมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพของ Filter ในการกำจัด Harmonic ขึ้นอีกด้วย

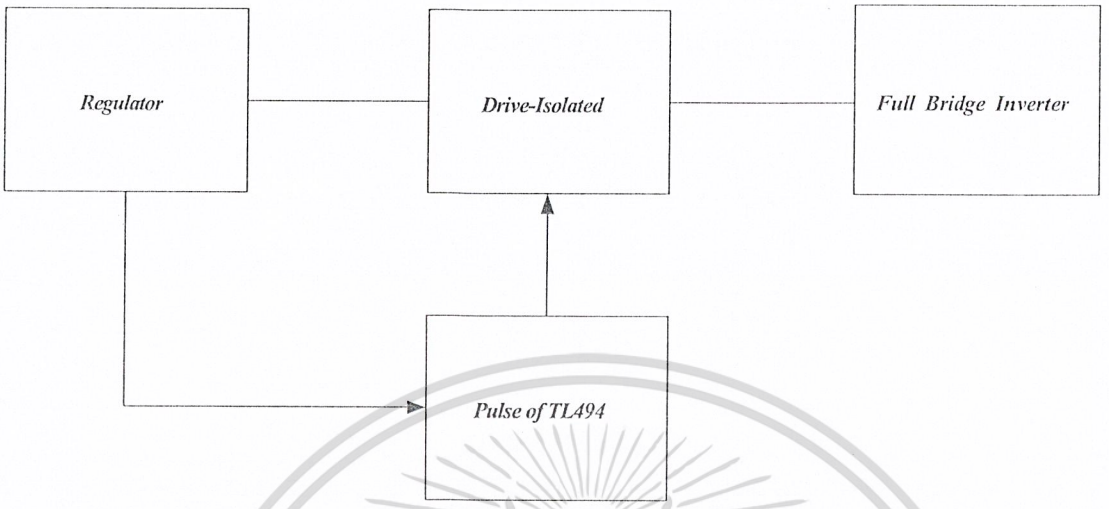
แต่ถ้าความถี่ที่ใช้ในการสวิทช์ชิ่งน้อยกว่าความถี่รีโซแนนซ์ ($f_s < f_0$) Harmonic ที่มีผลต่อวงจรมากที่สุดคือ Harmonic ลำดับที่ 3

3.1.3 วงจรขับ MOSFET

วงจรควบคุมสัญญาณขับเกทของมอสเฟตจะมีหน้าที่ในการทำให้มอสเฟตทำงานเป็นสวิทช์ปิด-เปิดเพื่อให้เกิดความถี่สูงที่โหลด ส่วนวงจรกำลังเป็นวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ เพราะฉะนั้นจึงต้องสร้างวงจรขับเกจขึ้นมา 2 ชุด สัญญาณที่มีเฟสตรงข้ามกันและในแต่ละชุดสัญญาณจะมี 2 สัญญาณที่มีเฟสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กัน เพื่อนำไปขับเกทของมอสเฟสให้สลับกันทำงานเป็นคู่ ซึ่งวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ได้จาก IC เบอร์ TL494



รูปที่ 3.6 แสดง Block diagram แสดงส่วนของวงจรควบคุม

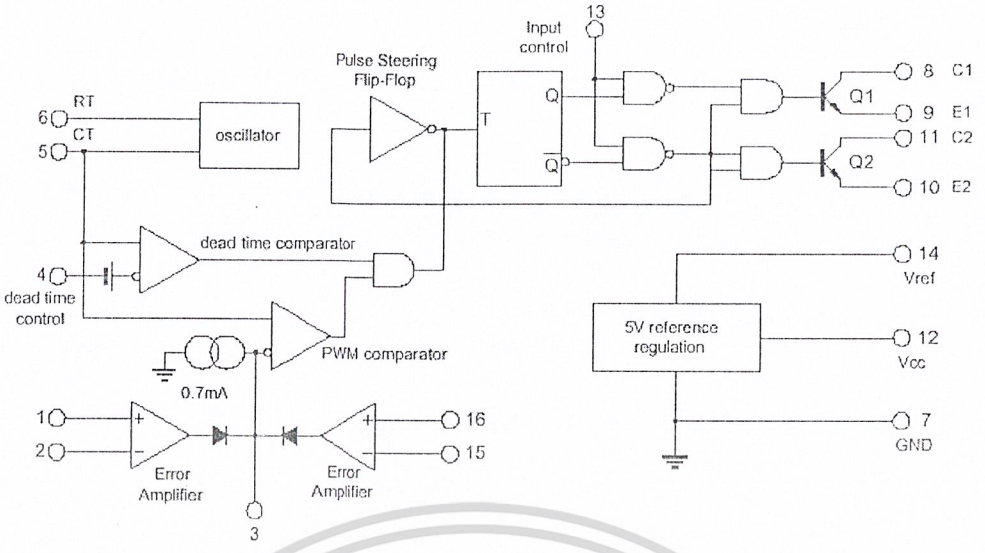
3.2 วงจรรักษาระดับแรงดัน (Regulator)

เป็นวงจรที่จ่ายแรงดันไฟตรงให้กับวงจรสร้างสัญญาณพัลส์และวงจรขับเกทซึ่งใช้ IC Regurator เบอร์ 7812 เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟตรงค่าบวกขนาด 12 V ให้คงที่

3.3 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์

IC เบอร์ TL494 เป็น IC ที่ออกแบบมาเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์โดยทำงานควบคุมจากโหมดแรงดัน ซึ่งโครงสร้างภายในและการจัดการขาของ แสดงในรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



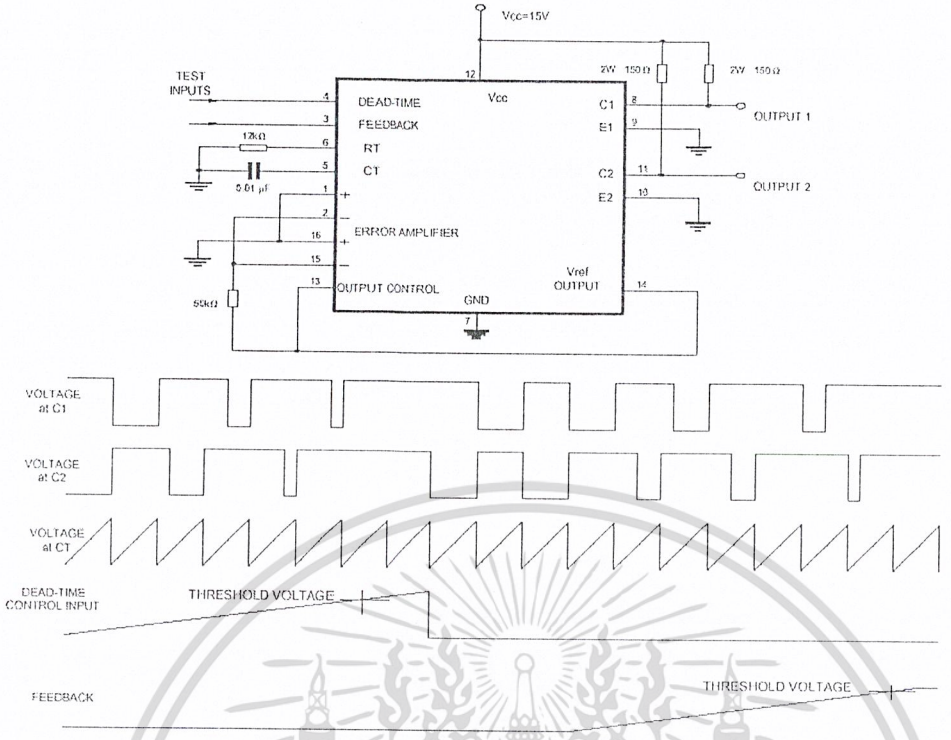
รูปที่ 3.7 แสดงการจัดโครงสร้างภายในและการจัดขาของ IC เบอร์ TL494

วงจรของ TL494 เป็นวงจร PWM ที่มีความถี่คงที่ คาบเวลาการทำงานของเอาท์พุทพัลส์ กำหนดได้โดยค่าของ R_T และ C_T จากภายนอกที่ขา 6 และ 5 ของ IC ค่าคาบเวลาการทำงานจะกำหนดได้จาก

$$T = \frac{R_T C_T}{1.1} \tag{3-7}$$

ความกว้างเอาท์พุทพัลส์ของ IC จะได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณฟันเลื่อยที่ขา 5 กับแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่าง (Error Amp) ทั้ง 2 ตัวที่ PWM Comparator ส่วน NOR GATE ที่ควบคุมทรานซิสเตอร์เอาท์พุท Q_1 และ Q_2 จะทำงานก็ต่อเมื่อขาของ Flip-Flop อยู่ในสภาวะ Low เท่านั้น ซึ่งจะเป็น Low ก็ต่อเมื่อแรงดันของสัญญาณฟันเลื่อยมีค่ามากกว่าแรงดันที่มาจาก Error Amp ทั้งสอง นั่นคือแรงดันป้อนกลับจากเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์หากมีค่าสูงขึ้นจะทำให้ความกว้างเอาท์พุทของ IC ลดลง ในทางกลับกันแรงดันที่ป้อนหากมีค่าลดลงความกว้างเอาท์พุทของ IC จะเพิ่มขึ้น ความกว้างเอาท์พุทพัลส์ของ IC สามารถกำหนดให้มีค่ามากที่สุดหรือมีค่าเท่ากับศูนย์ได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ขา 3 จาก 0.5 จนถึง 3.5 โวลต์ ส่วน Error Amp ทั้งสองตัวจะมีช่วงของอินพุทคอมมอนโหมดตั้งแต่ –0.3 ถึง V_{CC}-2 โวลต์ และสามารถใช้ตรวจจับแรงดันหรือกระแสที่เอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ได้ Error Amp ทั้งสองตัวจะให้เอาท์พุทในลักษณะให้สถานะ High (Active High) โดยต่ออยู่ในลักษณะ OR ที่ขา non-inverting ของ PWM Comparator การต่อกันในลักษณะนี้ Error Amp ตัวที่ทำให้เกิดความกว้างเอาท์พุทพัลส์ต่ำสุดจะเป็นตัวควบคุมความกว้างเอาท์พุทของ IC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

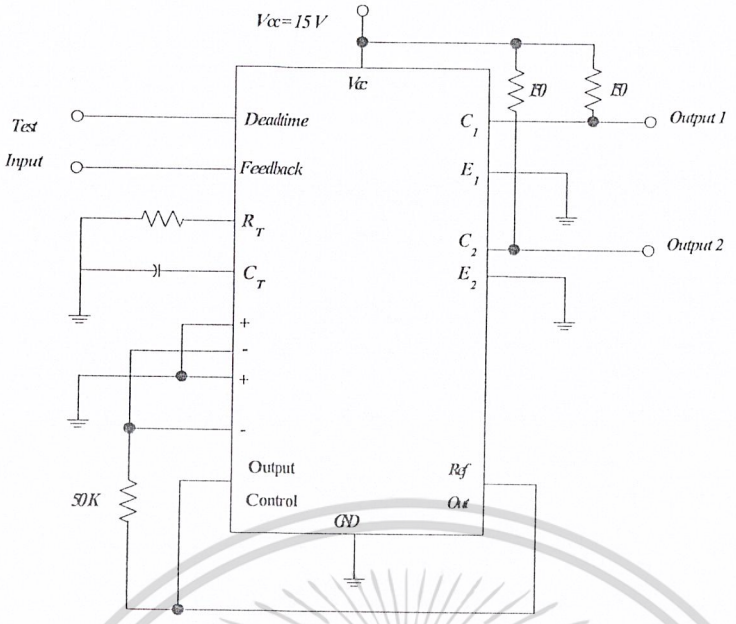


รูปที่ 3.8 แสดงรูปคลื่นลักษณะการทำงานของ TL494

TL494 สามารถให้ผู้ใช้กำหนดค่าเวลาเผื่อของวงจรได้เอง ด้วยการต่อแรงดันระหว่าง 0 ถึง 3.3 โวลต์ ที่ขา 4 ของ IC อย่างไรก็ตามหากแรงดันที่ขา 4 มีค่าเท่ากับ 0 โวลต์ค่าเผื่อเวลาต่ำสุดของ IC จะไม่ต่ำกว่า 4 เปอร์เซนต์ของค่าคาบเวลาการทำงานเนื่องจากมีแรงดันออฟเซต 120 มิลลิโวลต์ต่ออยู่ภายใน ดังนั้นช่วงเวลาสูงสุดของอินเวอร์เตอร์ที่ได้จาก IC จะเท่ากับ 48 เปอร์เซนต์ของค่าคาบเวลาเมื่อต่อขา 13 (Output Control) เข้ากับขา 14 (+5 V_{ref}) และมีค่าเท่ากับ 96 เปอร์เซนต์ของค่าคาบเวลาเมื่อต่อขา 13 ลงกราวด์

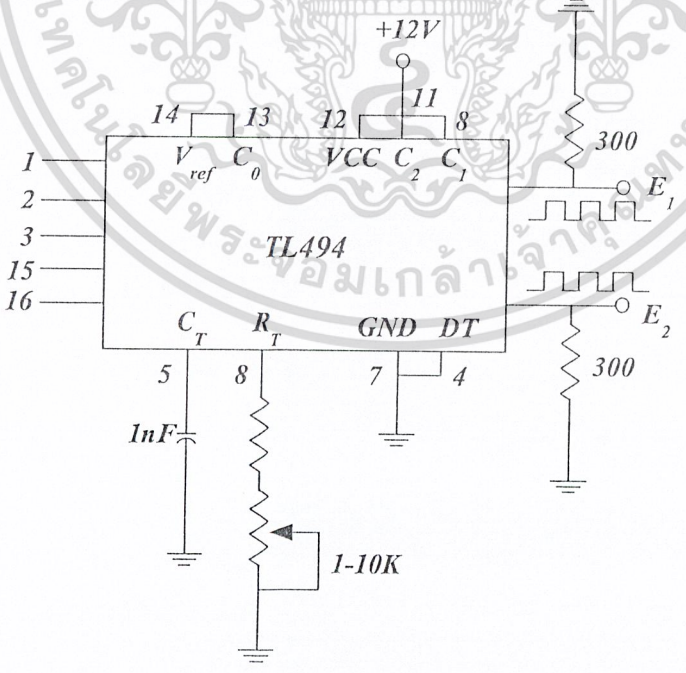
การเลือกใช้ Q_1 และ Q_2 ของ IC สามารถทำงานได้ 2 โหมด คือ ทำงานพร้อมกันหรือสลับกันทำงานซึ่งสามารถเลือกการทำงานได้ที่ขา 13 (Output Control) โดยขณะที่ดิสชาร์จ เอาท์พุทของ Dead Time Comparator จะให้พัลส์ออกมามีลักษณะเป็น High และหยุดการทำงานของ Q_1 และ Q_2 ถ้ากำหนดให้ขา 13 มีสถานะเป็น High โดยต่อเข้ากับขา 14 (+5 V_{ref}) Q_1 และ Q_2 จะสลับกันทำงานตามจังหวะของ Flip-Flop เพื่อใช้ขับอินเวอร์เตอร์แบบพุชพูล ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะเป็น 2 เท่าของค่าคาบสัญญาณฟันเลื่อยของ IC แต่ถ้ากำหนดให้ขา 13 มีสถานะเป็น Low โดยการต่อลงกราวด์ (ยกเลิก Flip-Flop) Q_1 และ Q_2 จะทำงานพร้อมกันและสามารถขนาน Q_1 และ Q_2 เข้าด้วยกันได้ ถ้าต้องการให้กระแสได้มากขึ้น ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะมีค่าเท่ากับค่าคาบเวลาของสัญญาณฟันเลื่อยของ IC (ช่วงนำกระแสสูงสุดเท่ากับ 96%ของคาบเวลา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงการต่อ Dead Time

TL494 ต้องการไฟเลี้ยงในช่วง V_{CC} = 7 ถึง 40 โวลต์ มีแรงดันอ้างอิงภายใน V_{ref} = 5โวลต์ และสามารถจ่ายกระแสได้ถึง 10 มิลลิแอมป์เพื่อใช้กับวงจรภายนอกได้ โดยมีค่าความถูกต้อง $\pm$1.5% ความคลาดเคลื่อนทางอุณหภูมิมีค่าน้อยกว่า 50 มิลลิโวลต์เมื่อการทำงานในช่วง 0 ถึง 70

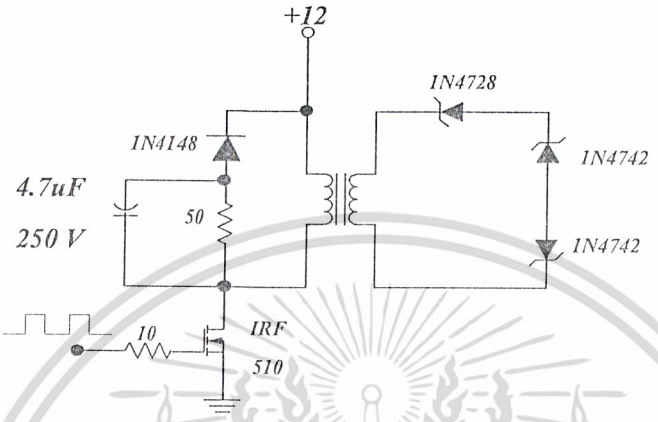


รูปที่ 3.10 แสดงการต่อวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ TL494

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจร Drive-Isolated

วงจรนี้จะมีหน้าที่รับสัญญาณพัลส์จากขา 9 และขา 10 ของ TL494 แล้วทำการ Isolate หรือแยกกราวด์ออกจากกัน จากนั้นจึงสร้างสัญญาณพัลส์เพื่อนำไปในการควบคุมการทำงานของวงจร Full Bridge Inverter ทั้งนี้เพื่อป้องกันการลัดวงจรถึงกันของเพาเวอร์มอสเฟตในวงจร Inverter โดยที่วงจรนี้มีส่วนประกอบดังรูป 3.11



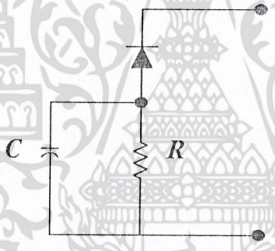
รูปที่ 3.11 แสดงวงจร Drive-Isolated

ในการใช้งานนั้นเราจะใช้หม้อแปลงความถี่ที่มี turn ratio เท่ากับ 1:1 จำนวน 4 ตัว โดยหม้อแปลงแต่ละตัวจะเป็นแบบแทปเดี่ยวกล่าวคือ หม้อแปลงจะมีขด primary และขด secondary อย่างละขด ทั้งนี้เพื่อสร้างสัญญาณที่เหมือนกันสองสัญญาณโดยใช้หม้อแปลงสองตัว โดยหม้อแปลงแต่ละตัวจะทำการสร้างสัญญาณและมีกราวด์แยกกันสำหรับใช้ควบคุมเพาเวอร์มอสเฟตหนึ่งคู่ของวงจร Full Bridge Inverter ให้สามารถทำงานพร้อมกันโดยมีลักษณะการทำงานดังต่อไปนี้คือ

เพาเวอร์มอสเฟต Q_1 จะรับสัญญาณพัลส์จากขา 10 ของ TL494 จึงทำให้ Q_1 มีลักษณะการทำงานเหมือนกับเป็นสวิสต์ นั่นคือจะนำกระแส (ON) และหยุดนำกระแส (OFF) สลับกันไป โดยเมื่อ Q_1 นำกระแสจะมีผลทำให้มีกระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง เพราะฉะนั้นจึงทำให้เกิดการเหนี่ยวนำที่ขดทุติยภูมิของหม้อแปลงแยกกราวด์ จึงทำให้เกิดสัญญาณพัลส์ที่เหมือนกันสองสัญญาณที่เกิดจากหม้อแปลงแยกกราวด์สองตัว (ตัวละหนึ่งสัญญาณ) สัญญาณสองสัญญาณที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเหมือนกันและมีลักษณะเหมือนกับสัญญาณจากขา 10 ของ TL494 ทุกประการ นั่นหมายความว่าเราได้ใช้หม้อแปลงความถี่สูงสองตัวในการสร้างและแยกสัญญาณพัลส์เพื่อนำไปใช้งานในการขับเพาเวอร์มอสเฟตหนึ่งคู่ (Q_1 และ Q_4) ของวงจร Full Bridge Inverter นั่นเอง ส่วนหม้อแปลงความถี่สูงอีกสองตัวนั้นจะมีหลักการทำงานเหมือนกับหม้อแปลงความถี่สูงชุดแรกทุกประการ เพียงแต่ว่าสัญญาณพัลส์จากขา 9 ของ TL494 ที่เข้าเพาเวอร์มอสเฟต Q_2 และ Q_3 จะกลับเฟสอยู่ 180 องศาจากสัญญาณพัลส์ขา 10 ของ TL494 เพราะฉะนั้นสัญญาณพัลส์ทั้งสองที่เกิดขึ้นทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงทั้งสองตัวจึงกลับเฟตจากหม้อแปลงสองตัวชุดแรกอยู่ 180 องศา ทั้งนี้เพื่อใช้ขับเพาเวอร์มอสเฟต Q_2 และ Q_3 ของวงจร Full Bridge Inverter นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าในวงจรจะมีวงจรสนับเบอร์ต่ออยู่ทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงทั้งสอง ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันแรงดันเกินหรือแรงดัน Spike ที่เกิดขึ้นขณะที่ Q_1 และ Q_2 หยุดนำกระแส (OFF) ไม่ให้เกินค่าปลอดภัยของตัวมันโดยที่จะมีหลักการทำงานดังนี้ ในขณะที่เพาเวอร์มอสเฟตหยุดนำกระแสนั้น ตัวเก็บประจุ C จะถูกชาร์จด้วยแรงดัน Spike ซึ่งเป็นผลรวมของแรงดันที่จ่ายให้กับหม้อแปลงกับพลังงานที่สะสมในตัวเหนี่ยวนำแฝงของหม้อแปลงขณะนำกระแสรวมกัน โดยที่ตัวต้านทาน R ที่ต่อขนานกับ C จะทำให้แรงดันตกคร่อม C มีค่าต่ำกว่าแรงดัน Spike ซึ่งจะทำให้ค่าแรงดัน Spike ที่ตกคร่อมเพาเวอร์มอสเฟตขณะหยุดนำกระแสถูกกันไว้ด้วยแรงดันที่ตกคร่อมตัว C เมื่อแรงดัน Spike มีค่าลดลงตัว C ก็จะคายประจุผ่านตัวต้านทาน R เพราะฉะนั้นแรงดัน Spike ที่ตกคร่อมตัวเพาเวอร์มอสเฟตขณะเริ่มหยุดนำกระแสจะมีค่าลดลงจนเกือบเท่าแรงดันที่จ่ายให้กับหม้อแปลงความถี่สูง นอกจากนี้ยังสามารถต่อวงจรสนับเบอร์ดังในรูปที่ 4.13 คร่อมตัวเพาเวอร์มอสเฟตเพื่อลดกำลังสูญเสียในรูปของความร้อนขณะเปลี่ยนสถานะโดยเฉพาะขณะเริ่มหยุดนำกระแส โดยจะควบคุมแรงดัน V_{DS} ของตัวเพาเวอร์มอสเฟตให้เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เพื่อให้กระแสที่ไหลผ่านตัวนำลดลงได้ทันกัน เพราะฉะนั้นจึงทำให้กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นมีค่าลดลงแต่เนื่องจากวงจรดังรูปที่ 3.11 ค่ากำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวเพาเวอร์มอสเฟตขณะเปลี่ยนสถานะมีค่าน้อย ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องต่อวงจรสนับเบอร์คร่อมที่ตัวเพาเวอร์มอสเฟต

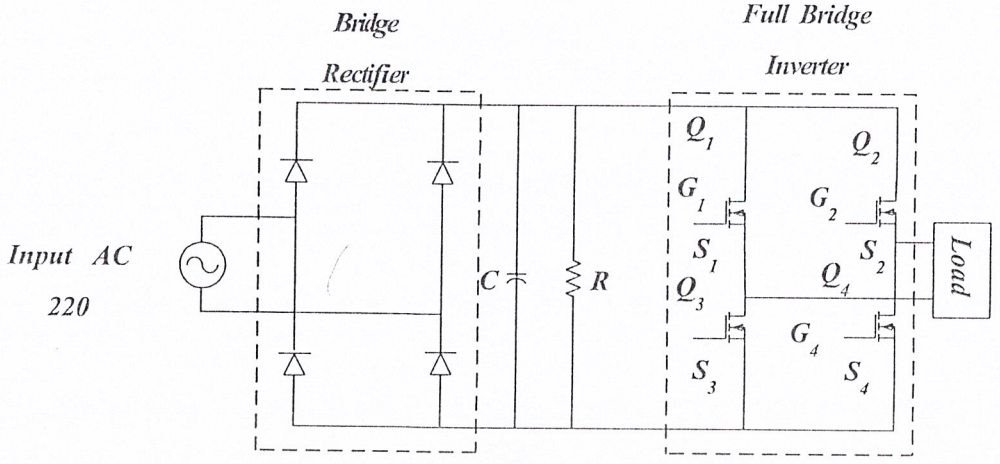


รูปที่ 3.12 แสดงวงจรสนับเบอร์

3.5 วงจร Full Bridge Inverter

เราเลือกใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับฮาลฟ์บริดจ์แล้วจะมีข้อดีกว่าตรงที่แรงดันเอาท์พุทที่ออกจากอินเวอร์เตอร์ซึ่งเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมนั้น จะมีระดับแรงดันเท่ากับแรงดันอินพุทไฟตรง แต่แบบฮาลฟ์บริดจ์จะมีเพียงครึ่งหนึ่งของระดับแรงดันอินพุทเท่านั้น ดังนั้นถ้าระดับแรงดันอินพุทของอินเวอร์เตอร์ทั้งสองแบบเท่ากันแบบฟูลบริดจ์จะสามารถจ่ายกำลังได้สูงกว่าแบบฮาลฟ์ถึงสองเท่า อินเวอร์เตอร์มีหลักการทำงานดังนี้คือ Power MOSFET ทั้งสี่ตัวจะทำงานโดยนำกระแสและหยุดนำกระแสสลับกันเป็นคู่ๆ ในแต่ละครึ่งคาบเวลา และเมื่อหยุดนำกระแสจะได้ Q_1 และ Q_3 นำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลาที่เหลือ ซึ่งจะทำงานอย่างนี้สลับกันเรื่อยไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงวงจร Full Bridge Inverter

3.6 การสร้างขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก

เนื่องจากหลักการทำงานของ Induction Oven นี้กำหนดให้มีการทำงานที่ความถี่สูงๆ(kHz) ทำให้เกิดมีผลของค่า สกินเอฟเฟคท์ (Skin Effect) เกิดขึ้น คือ จะมีกระแสไฟไหลเฉพาะที่พื้นผิวของตัวนำเท่านั้น จากเหตุผลดั่งกล่าวจึงมีผลต่อการเลือกวัสดุตัวนำที่จะนำมาทำเป็นขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กหรือว่าขดลวดเหนี่ยวนำ โดยวัสดุตัวนำนั้นจะต้องมีพื้นที่ผิวที่มากและบางเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการไหลของกระแส ดั้งนั้นจึงเลือกใช้แผ่นทองแดงแผ่นบางเบอร์ 4 ที่มีความหนา 0.2 มิลลิเมตร

ลักษณะของขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก คือ จะนำแผ่นทองแดงดังกล่าวมาตัดแบ่งเป็นแผ่นมีความกว้าง 5 มิลลิเมตร แล้วนำมาต่อเป็นเส้นยาว จากนั้นก็นำมาขดเป็นวงกลมโดยมีฉนวนที่เป็นกระดาษคั่นระหว่างแผ่นทองแดงแต่ละขด และขดเป็นวงประมาณ 73-74 รอบ หรือมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 19-20 เซนติเมตร หลังจากเสร็จขั้นตอนนี้แล้วก็จะนำขดลวดไปอาบฉนวนวานิช เบอร์ W-23 โดยจะแช่ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงเพื่อให้น้ำยาซึมเข้าไปในฉนวนที่เป็นกระดาษ หลังจากนั้นก็นำมาตากแดดจนแห้งสนิท ขั้นตอนต่อไปก็นำขดลวดที่ตากแดดจนแห้งสนิทแล้วนั้นมาราดเรซิน (Resin) ทั้งสองด้านเพื่อให้ขดลวดมีโครงสร้างที่แข็งแรงมากขึ้น การราดเรซิน(Resin)แต่ละด้านจะต้องตากแดดทิ้งไว้ด้านละ 8 ชั่วโมง เพื่อให้เรซินแห้งสนิทและต้องทำในลักษณะเดียวกันนี้กับขดลวดจำนวน 4 ขด เพื่อนำไปติดตั้งที่ผนังเตาอบ 4 ด้านด้วยกัน และรายละเอียดเกี่ยวกับการติดตั้งขดลวดจะกล่าวในขั้นตอนต่อไป

รายละเอียดของการติดตั้งขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก

ขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กจะใช้ทั้งหมด 4 ขด ด้วยกันโดยที่จะติดตั้งที่ผนังด้านข้างของเตาอบด้านละขด และด้านบนและด้านล่างด้านละหนึ่งขดเช่นเดียวกัน ซึ่งมีขั้นตอนในการติดตั้งดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการติดตั้งขดลวดเข้ากับแผ่นแมคคะไลท์(ขนาดความหนา 5.5 มิลลิเมตร) ที่มีความกว้างยาวเท่ากับผนังของเตาอบแต่ละด้านรวมทั้งหมด 5 ด้าน ซึ่งจะเจาะตรงกลางเป็นวงกลมเพื่อเอาขดลวดติดเข้าไป ยกเว้นที่ผนังด้านหลังของตู้เพราะเราจะไม่ติดตั้งขดลวดทางด้านนี้

ก่อนที่จะทำการยึดแผ่นแมคคะไลท์ที่มีขดลวดติดตั้งเรียบร้อยแล้วเข้าด้วยกันนั้น ต้องทำการคั่นใยหินระหว่างผนังของเตาอบกับแผ่นแมคคะไลท์เสียก่อน เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนภายในเตาอบและป้องกันความร้อนแผ่ออกมาจากตู้เตาอบมาสู่ขดลวดเพราะอาจทำให้ขดลวดเสียหายได้

ทำการยึดแผ่นแมคคะไลท์เข้ากับผนังของเตาอบ และควรให้ระยะห่างระหว่างขดลวดกับผนังภายในของเตาอบ (gap) ที่มีค่าต่ำสุดเพราะจะทำให้โหลดไม่ดึงกระแสสูงกว่าที่ควรจะเป็นซึ่งในที่นี้ใช้ gap ที่ 2.7 เซนติเมตร

หลังจากที่ติดตั้งขดลวดสร้างสนามแม่เหล็กเข้ากับผนังของเตาอบเรียบร้อยแล้ว ก็ทำการต่อขดลวดทั้ง 4 ขด เข้าด้วยกันโดยจะต่ออนุกรมทั้ง 4 ขด แล้วนำไปต่อเข้ากับส่วนของ Out Put ของวงจร Full Bridge Inverter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ชุดวงจรควบคุมและแสดงผล

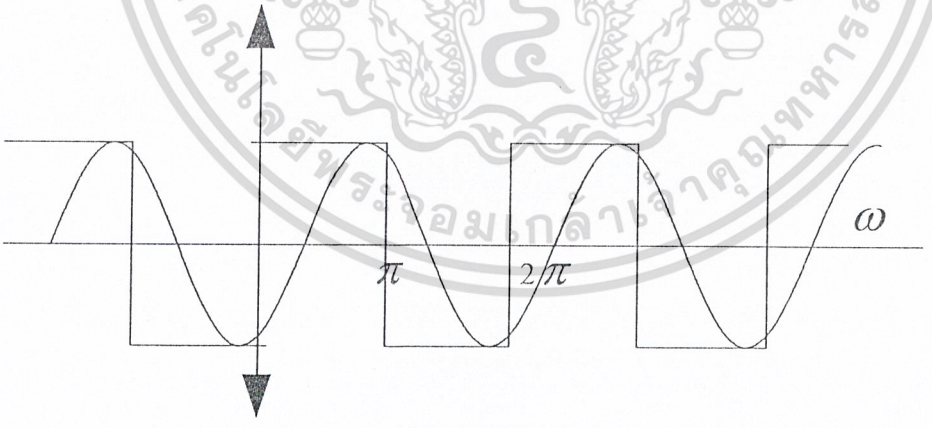
4.1 วงจรควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS 51)

สำหรับวงจรควบคุมในโครงงานนี้ทำงาน โดยการตรวจวัดอุณหภูมิภายในของเตาอบแบบเหนี่ยวนำด้วยเทอร์โมคัปเปิล (Thermocuple) ที่ติดตั้งไว้กับตัวเตาอบเหนี่ยวนำผ่านวงจรขยายแรงดัน แล้วส่งค่าแรงดันซึ่งมีค่าระหว่าง 0-5 โวลท์ แปลงค่าเป็นดิจิตอล โดยผ่านวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล แล้วส่งค่ากลับมายังวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS 51) ในรูปของสัญญาณดิจิตอล โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS 51) จะเป็นตัวมาควบคุมส่วนต่าง ๆ ของเตาอบเหนี่ยวนำในการ ปิด –เปิด , ตั้งเวลา , ตั้งอุณหภูมิ , ปรับความถี่และอุณหภูมิ ของตัวเตาอบเหนี่ยวนำ

4.1.1 หลักการทำงานของชุดวงจรควบคุม

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS 51) จะได้รับค่าอุณหภูมิภายในเตาอบเหนี่ยวนำที่วัดได้จากเทอร์โมคัปเปิล (Thermocuple) ว่ามีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS 51) จะทำการปรับอุณหภูมิโดยการไปปรับความถี่ที่ชุดขับเกทที่จ่ายให้กับชุดอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

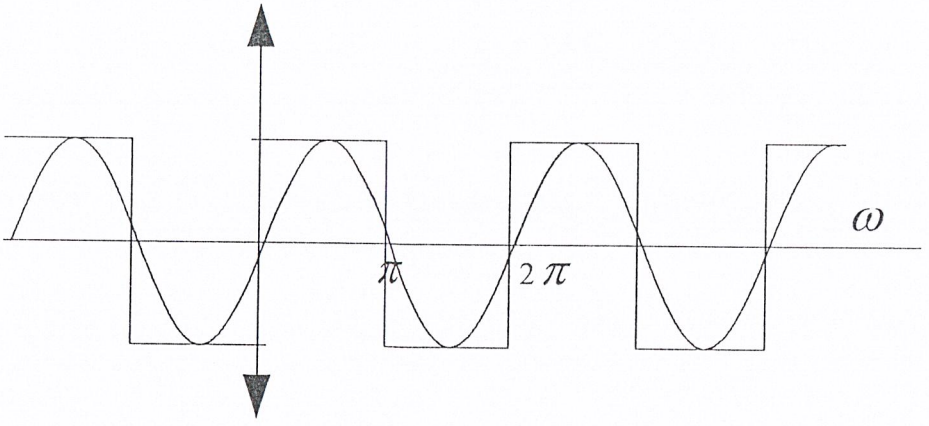
ถ้าอุณหภูมิภายในเตาอบเหนี่ยวนำมีค่ามากกว่าค่าที่ตั้งไว้ (อุณหภูมิภายในตู้ถึง 199 ^{o}C) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS 51) จะทำการปรับความถี่ที่ชุดขับเกทให้มีความถี่ที่สูงขึ้น ส่งผลให้ได้กำลังไฟฟ้าลดต่ำลงและอุณหภูมิภายในเตาอบเหนี่ยวนำก็จะลดลงเนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ลดต่ำลง



รูปที่ 4.1 แสดงกราฟกระแสและแรงดันเนื่องจากการปรับความถี่ให้สูงขึ้น

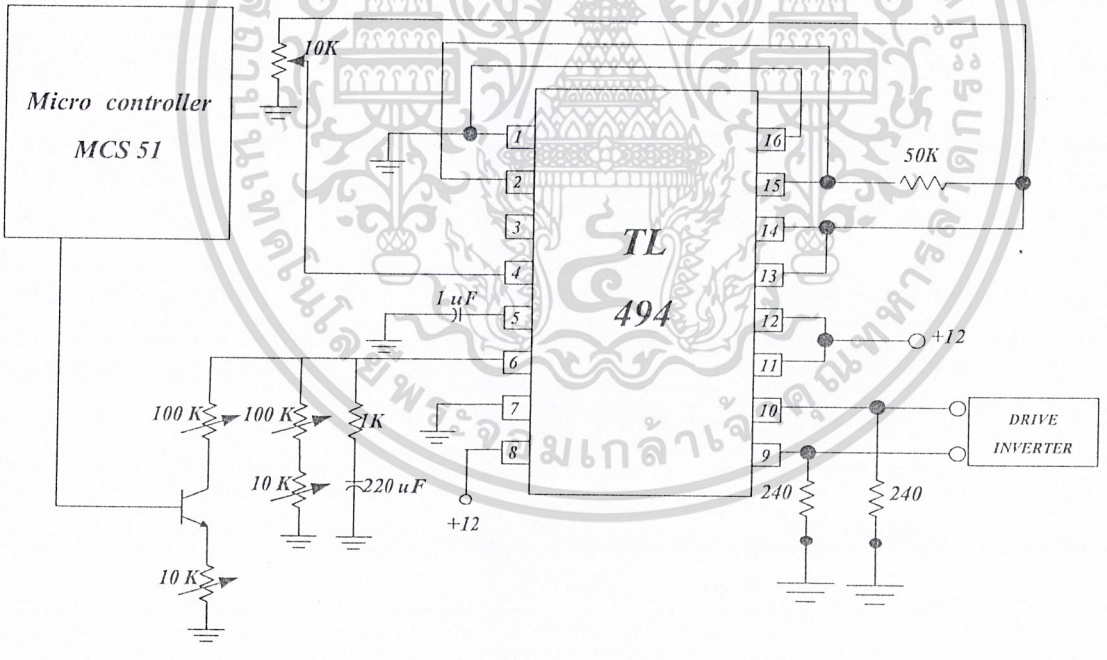
ถ้าอุณหภูมิภายในเตาอบเหนี่ยวนำมีค่าน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ (อุณหภูมิภายในตู้ถึง 199 ^{o}C) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS 51) จะทำการปรับความถี่ที่ชุดขับเกทให้มีความถี่ที่ต่ำลง ส่งผลให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงขึ้นและอุณหภูมิภายในเตาอบเหนี่ยวนำก็จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟกระแสและแรงดันเนื่องจากการปรับความถี่ให้ลดลง

ซึ่งในการปรับความถี่นั้นจะทำการปรับค่าความต้านทานที่ต่ออยู่กับขา 6 ของ IC TL 494 โดยถ้าปรับค่าความต้านทานมากความถี่ที่ได้ก็จะลดลง แต่ถ้าค่าความต้านทานน้อยความถี่ที่ได้จะสูงขึ้น โดยใช้สัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS 51) ไปปรับค่าความต้านทาน ภายในวงจร

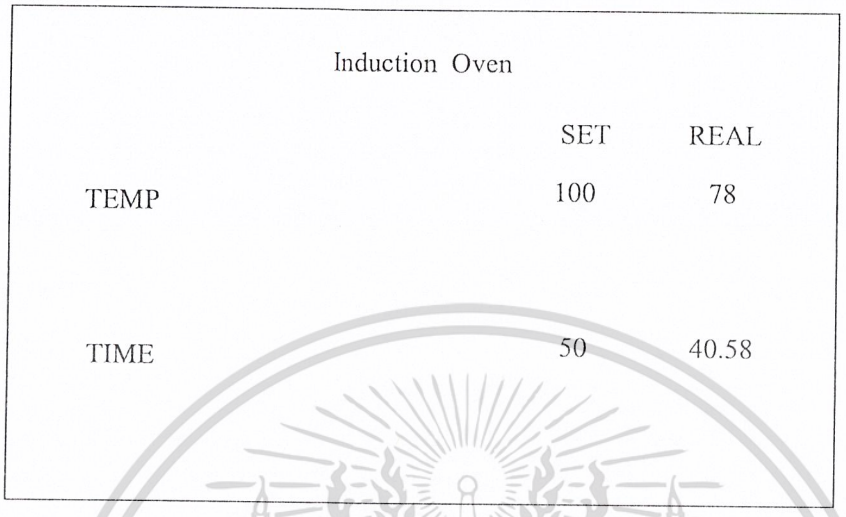


รูปที่ 4.3 แสดงการต่อชุดวงจรควบกับค่าความต้านทานที่ขา 6 ของ IC TL 494

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ส่วนแสดงผล

เราจะทำการป้อนอุณหภูมิและเวลาทางคีย์บอร์ด โดยค่าของอุณหภูมิที่กำหนดนั้นจะนำค่ามาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายในตู้ ซึ่งจะนำค่าทั้งหมดมาแสดงผลทางหน้าจอ LCD



รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างหน้าจอ LCD

จากรูปแสดงอุณหภูมิที่กำหนดที่ 100 °C โดยที่อุณหภูมิภายในแสดงอยู่ที่ 78 °C โดยค่าของการตั้งเวลาที่ 50 นาที โดยตอนนี้เหลือเวลาในการทำงาน 40.58 นาที โดยจอ LCD จะแสดงผลค่าต่าง ๆ ทั้งการตั้งอุณหภูมิ การตั้งเวลา รวมทั้งเปิด-ปิด เตาอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 การทดสอบชุดวงจรขับเกท (Drive Gate)

วัตถุประสงค์

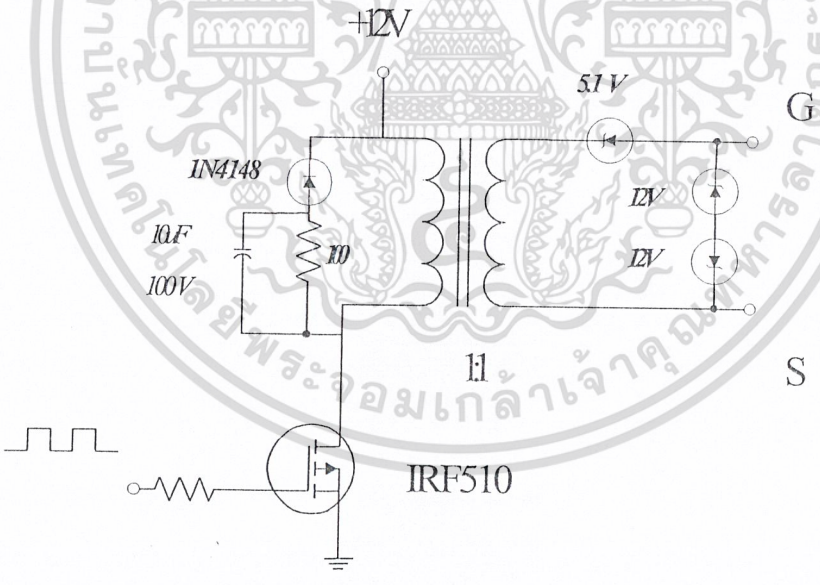
เพื่อต้องการสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยม (Square Wave) ไปขับขาเกทของ Inverter โดยที่สัญญาณพัลส์ที่ได้จะต้องมีลักษณะเดียวกันกับสัญญาณพัลส์ที่ได้จาก IC TL 494 แต่ต้องมีแอมปลิจูด (Amplitude) สูงกว่า

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. Variac 15 A 1 เฟส 1 ตัว
2. Storage Scope + หม้อแปลงแยกกราว์ด 1 ชุด
3. Probe × 10 1 เส้น
4. VOM (Hewlett Packard) 1 เครื่อง

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูป

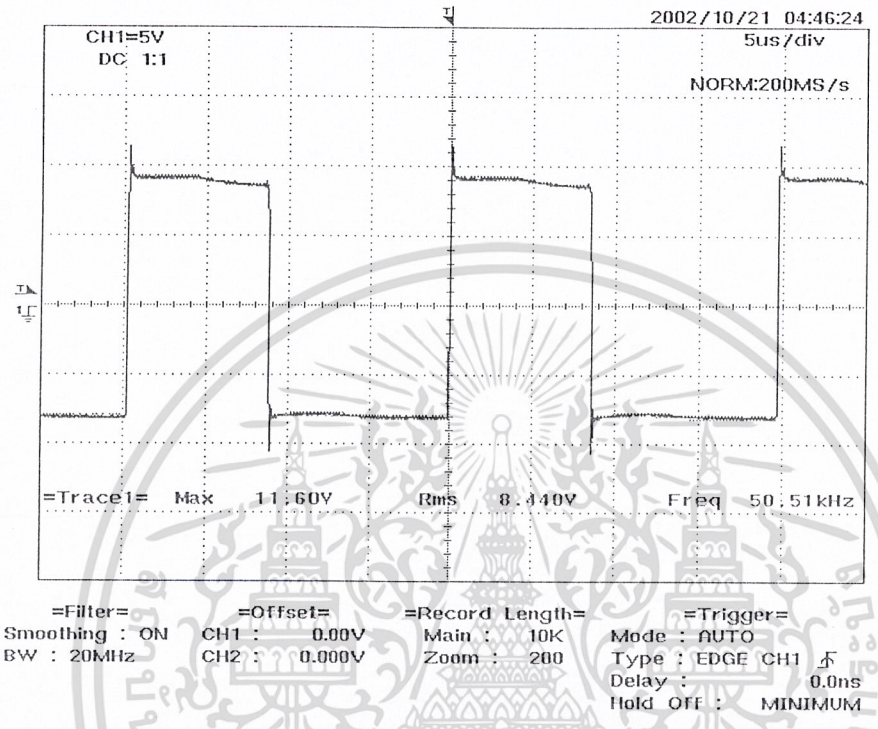


รูปที่ 5.1 แสดงวงจร Drive-Gate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

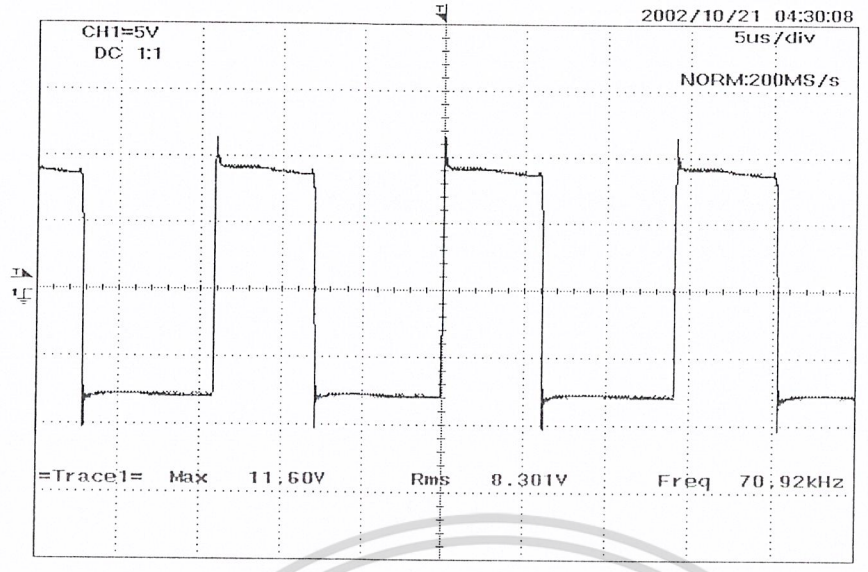
2. วัดสัญญาณที่ออกจากขาเกท (G) และ ขาซอส (S)
3. เปลี่ยนความถี่
4. ทำซ้ำข้อ 1 ถึง 3 ที่ความถี่ต่าง ๆ

ผลการทดลอง



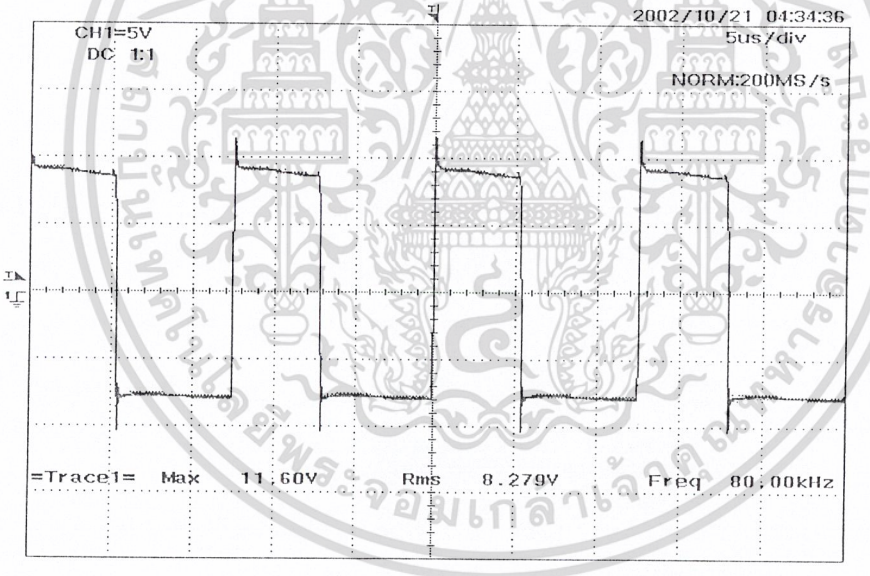
(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



=Filter=	=Offset=	=Record Length=	=Trigger=
Smoothing : ON	CH1 : 0.00V	Main : 10K	Mode : AUTO
BW : 20MHz	CH2 : 0.000V	Zoom : 200	Type : EDGE CH1
			Delay : 0.0ns
			Hold Off : MINIMUM

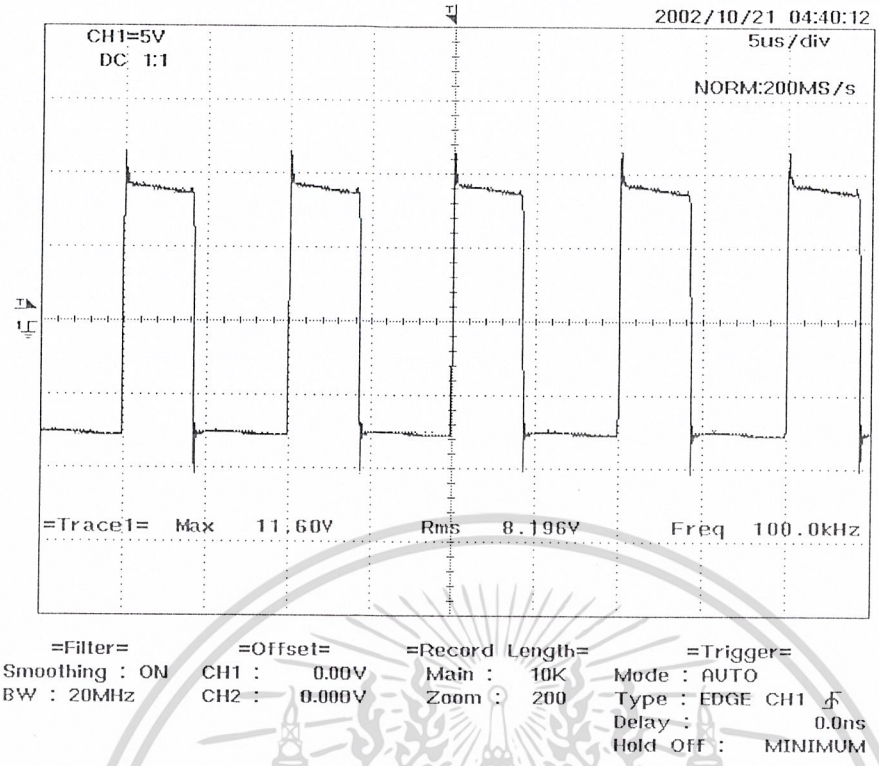
(ข)



=Filter=	=Offset=	=Record Length=	=Trigger=
Smoothing : ON	CH1 : 0.00V	Main : 10K	Mode : AUTO
BW : 20MHz	CH2 : 0.000V	Zoom : 200	Type : EDGE CH1
			Delay : 0.0ns
			Hold Off : MINIMUM

(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง)

รูปที่ 5.2 แสดงผลการทดลองสัญญาณขับเกทที่ความถี่ต่าง ๆ

สรุปผลการทดลอง

จากวงจรขับเกทเราจะใช้ IC TL 494 เป็นตัวสร้างสัญญาณพัลส์ซึ่งสามารถปรับความถี่ของสัญญาณพัลส์ได้แต่สัญญาณพัลส์ที่ได้มานั้นเราจะนำมาผ่านชุดหม้อแปลงเพื่อใช้เป็นจุดแยกกราวด์และเพิ่มระดับแรงดันและกระแสให้กับสัญญาณพัลส์ ในการขับ Inverter

5.2 การทดลองเพื่อหาระยะแก็บ (Gap)

วัตถุประสงค์

เพื่อหาระยะแก็บ (Gap) ระหว่างขดลวดกับตัวผนังของเตาอบเหนี่ยวที่เหมาะสม

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.	Variac 5 A. 1 เฟส	1	ตัว
2.	Variac 15 A. 1 เฟส	1	ตัว
3.	Storage Scope+หม้อแปลงแยกกราวด์	1	ชุด
4.	Probe×100	1	เส้น
5.	Probe×10	1	เส้น
6.	VOM (Hewlett Packard)	1	เครื่อง
7.	Ammeter AC (Amprobe)	1	เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำเตาอบแบบ Induction มาทำการป้อนไฟ AC ที่ได้จากชุด Inverter โดยมีพิกัดแรงดันขาเข้าชุด Inverter 220 V โดยผ่าน Variac 15 A
2. นำขดลวด 2 ขด มาอนุกรมกัน และใช้ระยะ Gap ที่ 0.09 มิลลิเมตร
3. ปรับค่าความถี่ที่เหมาะสม
4. วัดค่ากระแสและแรงดัน
5. ทำซ้ำข้อ 1 ถึง 5 แต่เพิ่มขดลวดเป็น 3 ขด 4 ขด ตามลำดับและเพิ่มระยะ Gap เป็น 1.8 , 2.7, 1.6 มิลลิเมตรตามลำดับ

จำนวนขด	ระยะGap	กระแส (A)	แรงดัน (V)	ความถี่ (KHz)
2 (อนุกรม)	0.9	4.7	220	45
	1.8	7.08	220	40.32
	2.7	11	220	37.74
	3.6	16	220	35
3 (อนุกรม)	0.9	4	220	33.78
	1.8	7	220	31
	2.7	10	220	30
4 (อนุกรม)	2.7	9.3	220	27

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองหาระยะแก็ป (Gap)

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองหาระยะแก็บ (Gap) จะเห็นว่าระยะยิ่งห่างกระแสยิ่งมากแต่ยิ่งนำขดลวดมาอนุกรมกันเพิ่มขึ้นจากเป็น 3 ขด และ 4 ขด ตามลำดับ กระแสก็ยังเพิ่มขึ้นแต่จะน้อยกว่า 2 ขดที่ระยะเท่ากัน ซึ่งจากการทดลองระยะแก็บที่เหมาะสมและเลือกใช้เป็นแบบ 4 ขด อนุกรม ระยแก็บ(Gap) 2.7 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในเตาอบที่พิกัดแรงดัน 220 V และมีกำลัง 1.5 kW.

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาถึงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในเตาอบแบบต่างๆที่เวลาเดียวกัน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.	Variac 5 A. 1 เฟส	1	ตัว
2.	Variac 15 A. 1 เฟส	1	ตัว
3.	Storage Scope+หม้อแปลงแยกกราวด์	1	ชุด
4.	Probe × 100	1	เส้น
5.	Probe × 10	1	เส้น
6.	VOM (Hewlett Packard)	2	เครื่อง
7.	Ammeter AC (Amprobe)	1	เครื่อง
8.	นาฬิกาจับเวลา	1	เครื่อง
9.	Thermocouple	1	ตัว

ขั้นตอนการทดลอง

ตอนที่ 1 (แบบ Heating)

1. นำเตาอบแบบ Heating มาทำการป้อนไฟ AC พิกัดแรงดัน 220 V. โดยผ่าน Variac 5 A. พร้อมทั้งจัดอุปกรณ์ต่าง ๆ ตามรูปที่ 5.3



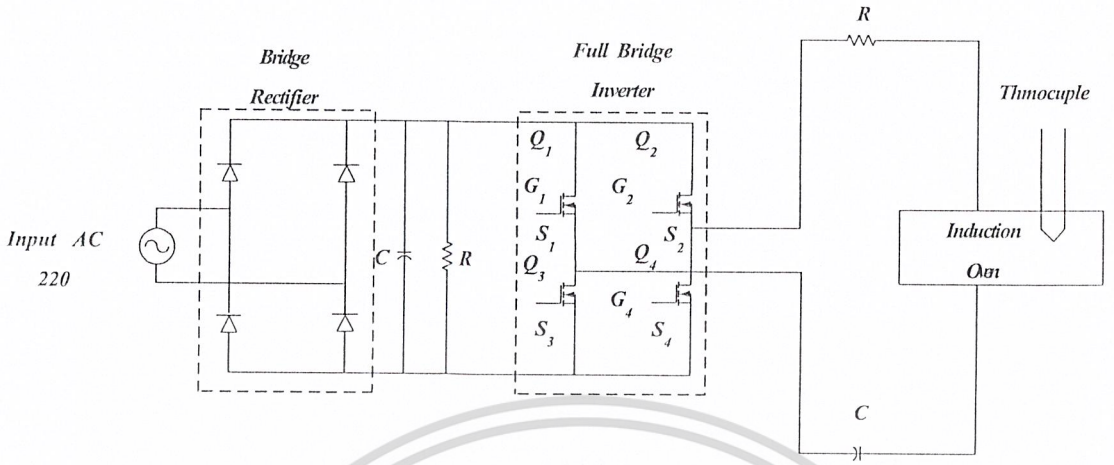
รูปที่ 5.3 แสดงการจัดอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในเตาอบแบบ Heating

2. ปรับ Switch ให้ความร้อนที่ระดับสูงสุดแล้วเริ่มจับเวลาโดยบันทึกค่าอุณหภูมิทุกๆ 3 นาที เป็นเวลาทั้งสิ้น 12 นาที

ตอนที่ 2 (แบบ Induction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุด Inverter 220 V โดยผ่าน Variac 15 A. พร้อมทั้งจัดอุปกรณ์ต่างๆตามรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 แสดงการจัดอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในเตาอบแบบ Induction

2. ปรับความถี่ให้ได้พิกัดกำลัง 1 kW. ที่ความถี่ค่าหนึ่งๆ (ในที่นี้เลือกใช้ที่ 26.6 kHz.) แล้วเริ่มจับเวลาโดยบันทึกค่าอุณหภูมิทุกๆ 3 นาที เป็นเวลาทั้งสิ้น 12 นาที

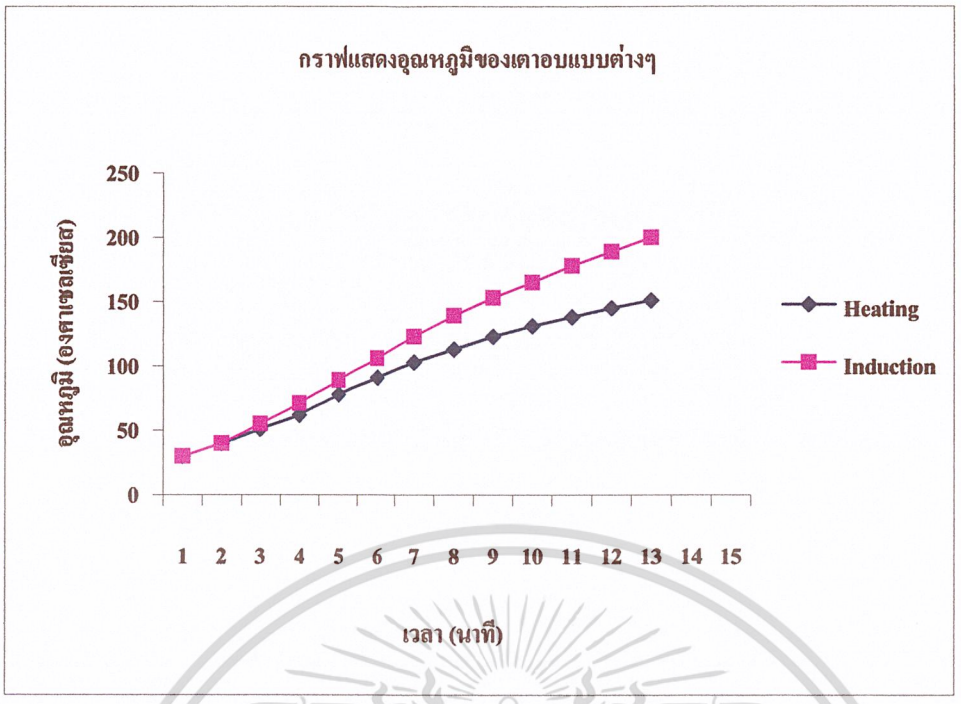
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$)	
	แบบHeating	แบบ Induction
0	30	30
1	40	40
2	51	55
3	62	71
4	78	89
5	91	106
6	103	123
7	113	139
8	123	153
9	131	165
10	138	178
11	145	189
12	151	200

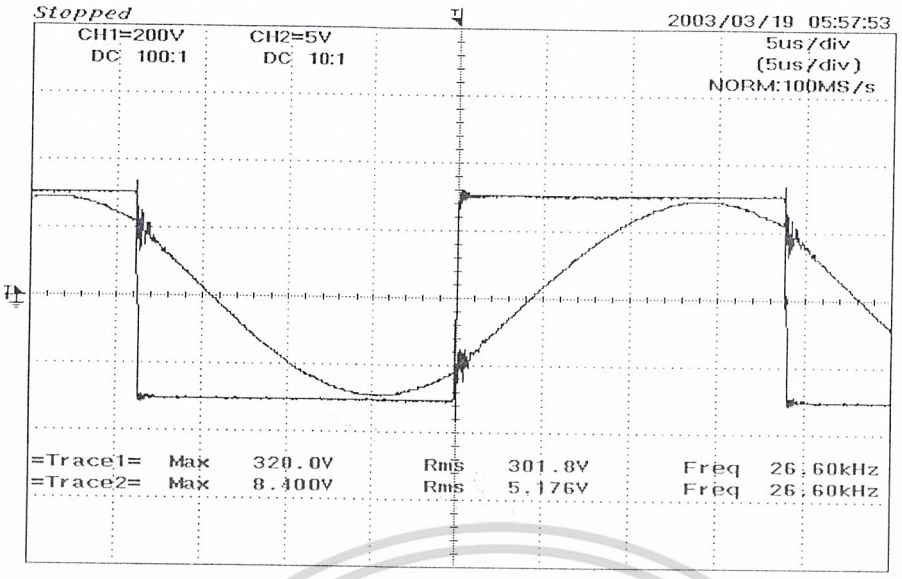
ตาราง 5.2 แสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในเตาอบแบบต่างๆที่พิกัดแรงดัน 220 V และมีกำลัง 1 kW.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในเตาอบแบบต่างๆที่พิกัดแรงดัน 220 V และมีกำลัง 1 kW.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แสดงสัญญาณ V และ I ของเตาอบแบบ Induction ณ ความถี่ 26.6 kHz ในเวลา 12นาที

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าที่เวลาเท่ากันและกำลังไฟฟ้าเท่ากันเตาอบแบบเหนี่ยวจะอุณหภูมิที่สูงกว่าเตาอบแบบหลอดความร้อน

5.4 การทดลองหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดและกำลังไฟฟ้าต่ำสุด

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาถึงสภาวะที่กำลังไฟฟ้าสูงสุดและสภาวะที่กำลังไฟฟ้าต่ำสุด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.Variac 5 A. 1 เฟส	1	ตัว
2. Variac 15 A. 1 เฟส	1	ตัว
3.Storage Scope+หม้อแปลงแยกกราวด์	1	ชุด
4.Probe × 100	1	เส้น
5. Probe × 10	1	เส้น
6.VOM (Hewlett Packad)	1	เครื่อง
7.Ammeter AC (Amprobe)	1	เครื่อง

ขั้นตอนการทดลอง

- ทดสอบที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด

1. นำเตาอบแบบ Induction มาทำการป้อนไฟ AC ที่ได้จากชุด Inverter โดยมีพิกัดแรงดันขาเข้าชุด Inverter 220 V โดยผ่าน Variac 15 A
2. ทำการปรับความถี่จนรูปคลื่นของกระแสและแรงดันเข้าใกล้กันมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. บันทึกการทดลอง

- ทดลองที่กำลังไฟฟ้าต่ำสุด

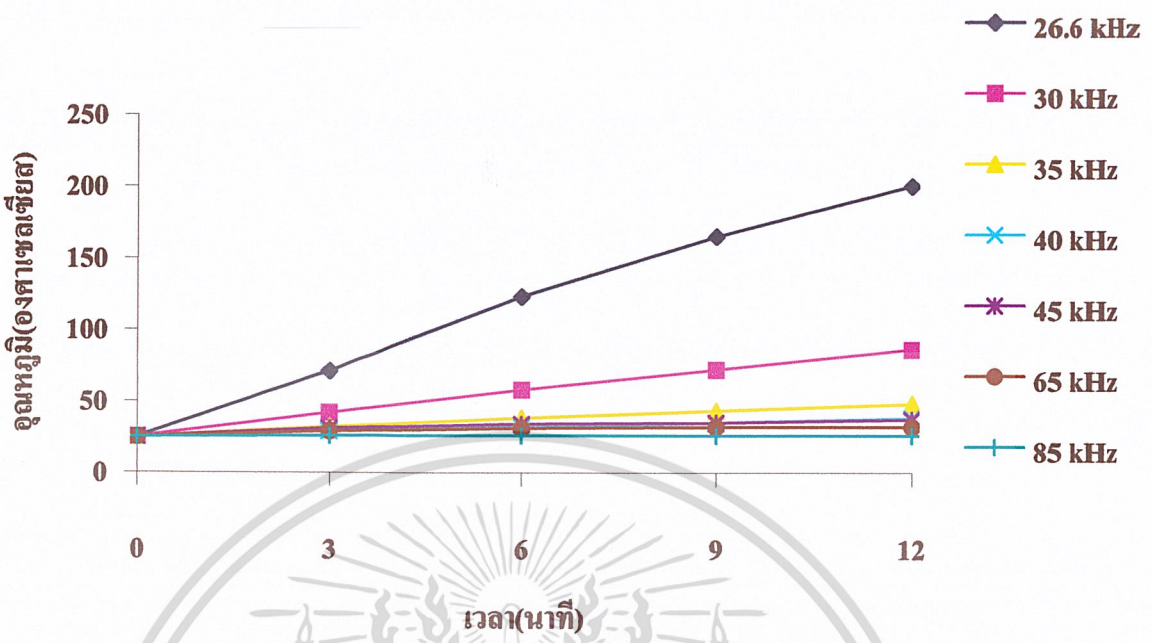
1. นำเตาอบแบบ Induction มาทำการป้อนไฟ AC ที่ได้จากชุด Inverter โดยมีพิกัดแรงดันขาเข้าชุด Inverter 220 V โดยผ่าน Variac 15 A
2. ทำการปรับความถี่จนรูปคลื่นของกระแสและแรงดันเข้าใกล้กันมากที่สุด
3. บันทึกการทดลอง

ผลการทดลอง

ความถี่ (kHz) / เวลา (นาที)	26.6	30	35	40	45	65	85
0	25°c	25°c	25°c	25°c	25°c	25°c	25°c
3	71°c	42°c	32°c	29°c	31°c	29°c	26°c
6	123°c	58°c	38°c	32°c	34°c	31°c	26°c
9	165°c	72°c	43°c	35°c	35°c	32°c	26°c
12	200°c	86°c	48°c	38°c	37°c	32°c	26°c

ตาราง 5.3 แสดงอุณหภูมิที่ความถี่ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงผลของสภาวะอุณหภูมิที่ความถี่ต่าง ๆ

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะพบที่ความถี่ยิ่งสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่ละน้อยจนเกือบไม่เพิ่มเลยและจากการทดลองนี้เราจะได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ความถี่ 26.6 KHz และกำลังไฟฟ้าต่ำสุดที่ความถี่ 85 KHz ซึ่งค่าของกำลังไฟฟ้าที่ได้นี้จะนำไปเป็นตัวตั้งค่าความต้านทานในวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
วิจารณ์โครงงาน

จากโครงงานของกลุ่มข้าพเจ้าในหัวข้อ เตาอบเหนี่ยวนำ เป็นการนำเอาความรู้ทาง เพาเวอร์อิเล็คทรอนิค(Power Electronic) และไมโครคอนโทรลเลอร์ มาใช้งานเกี่ยวกับ วงจรสวิทช์ชิ่ง วงจรขับเกท วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งวงจรเหล่านี้ถ้านำมาทำงานรวมกันจะสร้างกระแสที่ความถี่สูง เพื่อไปเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนซึ่งเอาท์พุตของวงจรสามารถนำไปประยุกต์ได้หลายรูปแบบเช่น เครื่องเชื่อม เครื่องหลอม เตาหุ้งต้ม รวมถึงเตาอบ โดยในโครงงานนี้ได้ใช้ขดลวดทองแดงมาเป็นตัวเหนี่ยวนำผนังเตาอบเพื่อทำให้เกิดความร้อน ซึ่งขดลวดที่ใช้นี้เป็นแบบขดลวดแบนกว้าง 0.5 เซนติเมตร เพื่อลดสกินเอฟเฟค(Skin effect)

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทำโครงงานนี้ ปัญหาหนึ่งก็คือ การแผ่ความร้อนของตู้อบมายังขดลวดเหนี่ยวนำ เนื่องจากว่าหลักการทำให้เกิดความร้อนของตู้อบนี้ เกิดจากการนำขดลวดแผ่นบางนำมาขดเป็นวงแล้วทำการเหนี่ยวนำทำให้ตู้อบเกิดความร้อนขึ้นมา เมื่อตู้อบมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆนั้นก็จะเกิดการแผ่กระจายความร้อนออกมารอบๆตู้ ความร้อนนี้ก็จะถูกแผ่มายังตัวขดลวดนี้ด้วย ทำให้ขดลวดเกิดความร้อนขึ้นมา ถ้าความร้อนยิ่งสูงมากๆอาจทำให้ฉนวนที่ตัวขดลวดเกิดการละลายได้และเกิดการลัดวงจรในที่สุด เลยต้องทำการป้องกันโดยการขยับขดลวดออกมาให้ห่างจากตัวตู้มากขึ้นแต่มันก็เป็นได้แค่ระยะทางหนึ่งเท่านั้น เพราะมันจะมีผลต่อการเหนี่ยวนำของขดลวดที่มีต่อตู้อบซึ่งระยะนี้คือ ระยะแก็พ(gap)นั่นเอง แต่ความร้อนจากตัวตู้ก็ยังคงส่งผลต่อขดลวด จึงทำการแก้ไขโดยการนำฉนวนกันความร้อนใยหิน มากั้นไว้ระหว่างขดลวดเหนี่ยวนำกับผนังตู้อบ แต่ก็ปรากฏว่าที่เวลาเพิ่มขึ้น ความร้อนจากตู้อบยังคงแผ่มายังขดลวดแต่ก็มีปริมาณที่ไม่มากนัก วิธีการแก้ไขปัญหานี้ในอนาคตก็คือ ต้องหาวัสดุที่สามารถป้องกันความร้อนที่แผ่ออกมาจากตู้อบตัวขดลวดที่มีประสิทธิภาพมากกว่าใยหินนั่นเอง

อีกปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นกับตู้อบเหนี่ยวนำนั่นก็คือ ปัญหาเรื่องน้ำหนักของตัวตู้อบและโครงสร้างทั้งหมดของเตาอบที่มีน้ำหนักมากเกินไป เป็นเพราะว่าตัวของตู้อบที่เป็นตัวถูกเหนี่ยวนำทำให้เกิดความร้อนนั้นทำมาจากเหล็กที่มีความหนาที่ค่าหนึ่งทำให้มีน้ำหนักมากและก็ไม่สามารถที่จะลดขนาดความหนาลงมา เพราะว่าเวลาเกิดความร้อนขึ้นที่ตู้เตาอบจะทำให้ตู้อบเกิดการโก่งงอได้ ต้องทำการแก้ไขปัญหานี้โดยการหาวัสดุที่สามารถนำมาใช้แทนเหล็กได้ โดยที่วัสดุที่นำมาใช้แทนเหล็กนั้นจะต้องมีน้ำหนักที่เบากว่าเหล็ก(ที่ความหนาเท่ากัน)และจะต้องมีสภาพการซึมซับสนามแม่เหล็กที่ใกล้เคียงหรือดีกว่าเหล็ก

สิ่งที่ต้องแก้ไขอีกอย่างหนึ่งก็คือในระบบ คอนโทรล จากระบบคอนโทรลที่ใช้ใน เตาอบเหนี่ยวนำซึ่งใช้ MCS-51 ควบคุมซึ่งระบบการทำงานในระบบ 8 bit ทำให้การควบคุมอุณหภูมิของ เตาอบเหนี่ยวนำมีความละเอียดน้อยซึ่งถ้าเราสามารถนำอุปกรณ์คอนโทรล ซึ่งมีความละเอียดมากกว่า 8 bit จะทำให้การประมวลผลของเตาอบเหนี่ยวนำ มีความละเอียด ในการใช้ MCS –51 จะมีผลเพียงแค่หลักหน่วย ($\pm$ 1°C) ซึ่งถ้าหากนำชุดคอนโทรลที่มากกว่า 8 bit เช่น 16 bit มาควบคุมจะสามารถทำให้อุณหภูมิที่แสดงอาจจะเป็นจุดทศนิยม ซึ่งจะมีความละเอียดในการประมวลผลมากกว่าที่ใช้อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

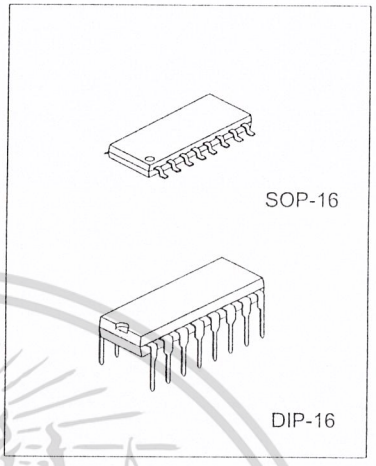
ภาคผนวก ก.

Data Sheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UTC TL494 LINEAR INTEGRATED CIRCUIT

VOLTAGE MODE PWM CONTROL CIRCUIT



DESCRIPTION

The UTC TL494 incorporates all the functions required in the construction of a pulse-width modulation switching circuit. Designed primarily for switching power supply control or DC-DC convectors, it offers the systems engineer the flexibility to tailor control circuitry to its own application.

FEATURES

*Complete PWM power control circuitry
*Uncommitted outputs for 200 mA sink or source current
*Output control selects single ended or push pull operation
*Internal circuitry prohibits double pulses over total range
*Easy synchronization

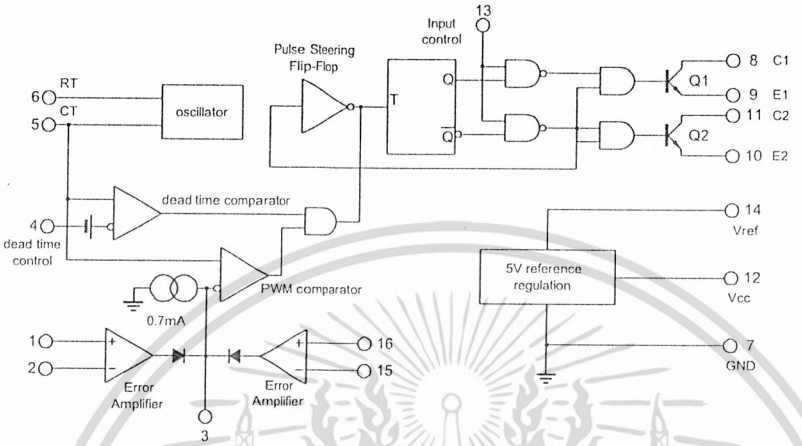
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS(Unless otherwise noted all is over operating free air temperature range)

PARAMETER	SYMBOL	VALUE	UNIT
Supply Voltage(note 1)	V_{CC}	41	V
Amplifier Input Voltage	V_I	V_{CC}+0.3	V
Collector Output Voltage	V_O	41	V
Collector Output Current	I_{CO}	250	mA
Continuous Total Dissipation at(or for below) 25°C Free Air Temperature(note 2)	P_D	1000	mW
Operating Temperature Range	T_{opr}	0 TO 70	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 TO 150	°C
Lead Temperature 1.6mm from Case for 60 Sec.	T_{case}	300	°C

note 1: All voltage values, except differential voltages are with respect to the network ground terminal.
note 2:For operation above 25°C free-air temperature, the dissipation derates with 9.2mW/°C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BLOCK DIAGRAM



RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

PARAMETER	SYMBOL	VALUE		UNIT
		MIN	MAX	
Supply Voltage	Vcc	7	40	V
Amplifier Input Voltage	Vi	-0.3	Vcc-2	V
Collector Output Voltage	Vo		40	V
Collector Output Current(each Transistor)	Ic		200	mA
Current into Feedback	If		0.3	mA
Timing Capacitor	C_T	0.47	10000	nF
Timing Resistor	R_T	1.8	500	kΩ
Oscillator Frequency	fosc	1	300	kHz
Operating Free-Air Temperature	Ta	0	70	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Over recommended operating free-air temperature range,V_{CC}=15V,f=1kHz,Unless otherwise specified)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Reference Section					
Output Voltage	Io=1mA	4.75	5	5.25	V
Input Regulation	Vcc=7V to 40V		2	25	mV
Output Regulation	Io=1 to 10mA		1	15	mV
Output Voltage Change with Temperature	ΔT_A=MIN to MAX(note 2)		0.2	1	%
Short-Circuit Output Current	Vref=0		35		mA
Oscillator Section					
Frequency	C_T=0.01μF,R_T=120kΩ		10		kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
Standard Deviation of Frequency		All Values of Vcc CT, RT, TA constant		10		%
Frequency Change with Voltage		Vcc=7v to 40V,Ta=25°C		0.1		%
Frequency Change with Temperature		CT=0.01μF,RT=12kΩ,ΔTA=MIN to MAX			12	%
Amplifier Section						
Input Offset Voltage	Error	Vo(pin 3)=2.5V		2	10	mV
Input Offset Current		Vo(pin 3)=2.5V		25	250	nA
Input Bias Current		Vo(pin 3)=2.5V		0.2	1	μA
Common-Mode Input Voltage Range	Error	Vcc=7V to 40 V	-0.3 to Vcc-2			V
Open-Loop Voltage Amplification		ΔVo=3V, Vo=0.5V to 3.5V	70	95		dB
Unity-Gain Bandwidth				800		kHz
Common-Mode Rejection Ratio	Error	Vcc=40V,TA=25°C	65	80		dB
Output Sink Current(pin 3)		VID=-15mV to -5V V(pin 3)=0.5V	0.3	0.7		mA
Output source Current(pin 3)		VID=15mV to -5V V(pin 3)=3.5V	-2			mA
Output Section						
Collector off-state current		VCE=40V,Vcc=40V		2	100	μA
Emitter off-state Current		VCC=VC=40V,VE=0			-100	μA
Collector -emitter Saturation Voltage	Common-emitter	VE=0,Ic=200mA		1.1	1.3	V
	Emitter-Follower	Vc=15V,IE=-200mA		1.5	2.5	
Output Control Input Current		Vi=Vref			3.5	mA
Dead Time Control Section						
Input bias (pin 4)		Vi=0 to 5.25V		-2	-10	μA
Maximum duty cycle, each output		VI(pin 40=0	45			%
Input threshold Voltage(pin 4)		Zero duty Cycle		3	3.3	V
		Maximum duty cycle	0			
PWM comparator Section						
Input Threshold Voltage(pin 3)		Zero Duty cycle		4	4.5	V
Input Sink Current (pin 3)		Vpin 3= 0.7V	0.3	0.7		mA
Total Device						
Standby Supply Current	Vcc=15V	pin 6 at Vref,all other Inputs and outputs open		6	10	mA
	Vcc=40V			9	15	
Average supply current		Vpin 4=2V		7.5		mA
Switching Characteristics,Ta=25 C						
Output Voltage Rise Time		Common-emitter configuration		100	200	ns
Output Voltage Fall Time				25	100	ns
Output Voltage Rise Time		Emitter-follower configuration		100	200	ns
Output Voltage Fall Time				40	100	ns

note 1:All typical Values except for temperature coefficient are at Ta=25°C.
note 2:For conditions shown as MIN or MAX, use appropriate value under recommended operating conditions.
note 3:Duration of the short-circuit should not exceed one second.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

note 4: Standard deviation is a measure of the statistical distribution the mean as derived from the formula :

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

TEST CIRCUIT

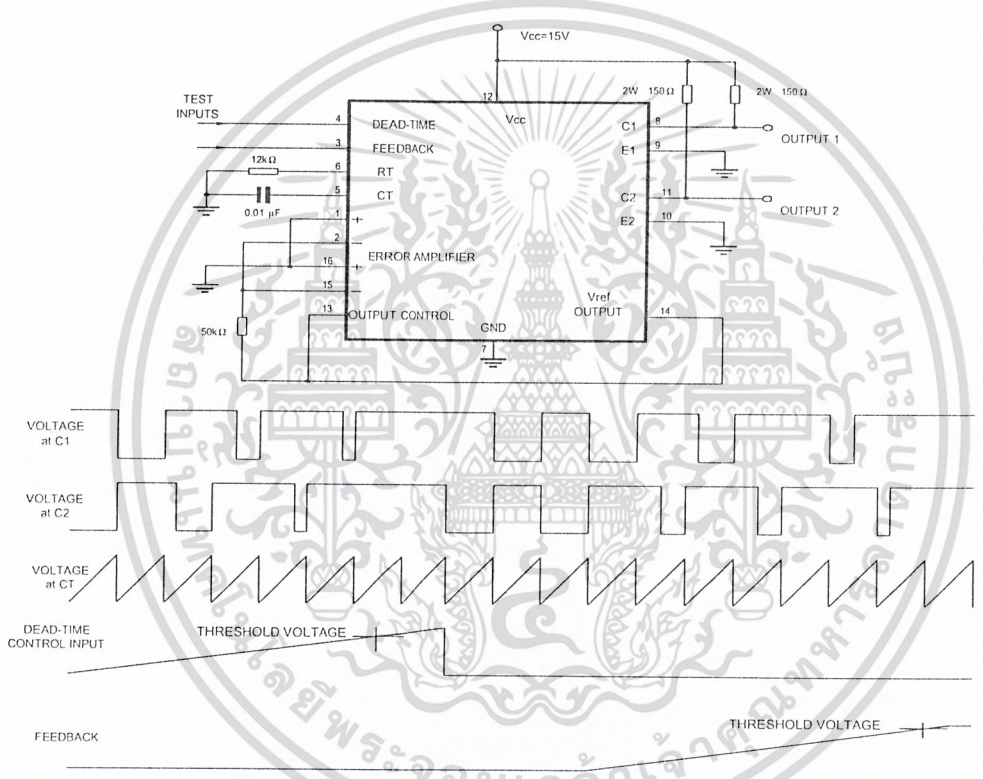


FIG 1. OPERATIONAL TEST CIRCUIT AND WAVEFORMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

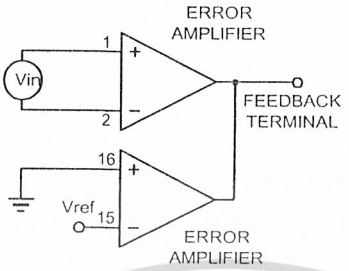


FIG 2. AMPLIFIER CHARACTERISTICS

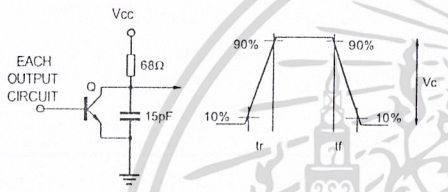


FIG. 3 COMMON-EMITTER CONFIGURATION

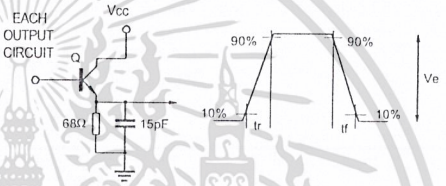
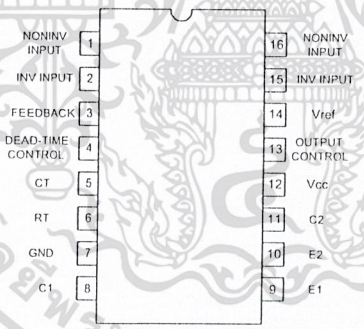


FIG. 4 EMITTER -FOLLOWER CONFIGURATION

PIN CONFIGURATIONS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

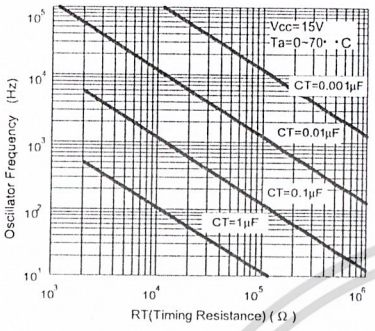


FIG 5. Oscillator Frequency and Frequency Variation Vs Timing Resistance

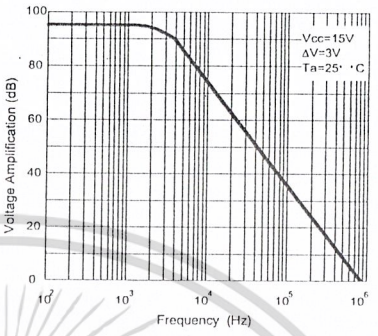


Fig.6 Amplifier Voltage Amplification

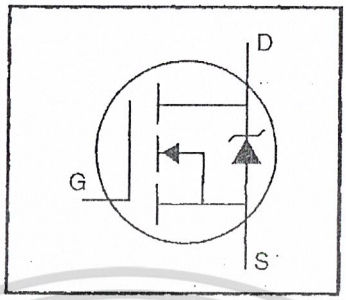
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International IOR Rectifier

IRF510

HEXFET® Power MOSFET

- Dynamic dv/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements



V_{DSS} = 100V

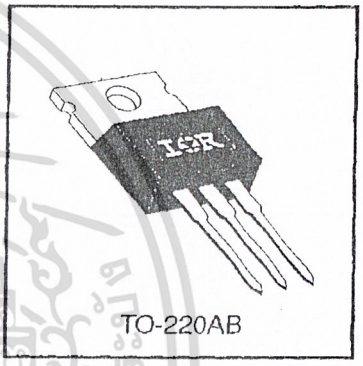
$R_{DS(on)}$ = 0.54Ω

I_D = 5.6A

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-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



TO-220AB

DATA SHEETS

Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
I_D @ T_C = 25°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10 V	5.6	A
I_D @ T_C = 100°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10 V	4.0	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	20	
P_D @ T_C = 25°C	Power Dissipation	43	W
	Linear Derating Factor	0.29	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	±20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	100	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ①	5.6	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	4.3	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	5.5	V/ns
T_J T_{STG}	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +175	°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)	

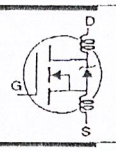
Thermal Resistance

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	—	3.5	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	—	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	—	62	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

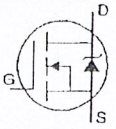
Electrical Characteristics @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	100	—	—	V	V_{GS}=0V, I_D= 250μA
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.12	—	V/°C	Reference to 25°C, I_D= 1mA
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.54	Ω	V_{GS}=10V, I_D=3.4A ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V_{DS}=V_{GS}, I_D= 250μA
g_{fs}	Forward Transconductance	1.3	—	—	S	V_{DS}=50V, I_D=3.4A ④
I_{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	V_{DS}=100V, V_{GS}=0V
		—	—	250		V_{DS}=80V, V_{GS}=0V, T_J=150°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	—	—	8.3	nC	I_D=5.6A
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	2.3		V_{DS}=80V
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	3.8		V_{GS}=10V See Fig. 6 and 13 ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	6.9	—	ns	V_{DD}=50V
t_r	Rise Time	—	16	—		I_D=5.6A
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	15	—		R_G=24Ω
t_f	Fall Time	—	9.4	—		R_D=8.4Ω See Figure 10 ④
L_D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact
L_S	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
C_{iss}	Input Capacitance	—	180	—	pF	V_{GS}=0V
C_{oss}	Output Capacitance	—	81	—		V_{DS}=25V
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	15	—		f=1.0MHz See Figure 5



Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	5.6	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	20		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	2.5	V	T_J=25°C, I_S=5.6A, V_{GS}=0V ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	100	200	ns	T_J=25°C, I_F=5.6A
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	0.44	0.88	μC	di/dt=100A/μs ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is neglegible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				



Notes:

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)

② V_{DD}=25V, starting T_J=25°C, L=4.8mH R_G=25Ω, I_{AS}=5.6A (See Figure 12)

③ I_{SD}≤5.6A, di/dt≤75A/μs, V_{DD}≤$V_{(BR)DSS}$, T_J≤175°C

④ Pulse width ≤ 300 μs; duty cycle ≤2%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

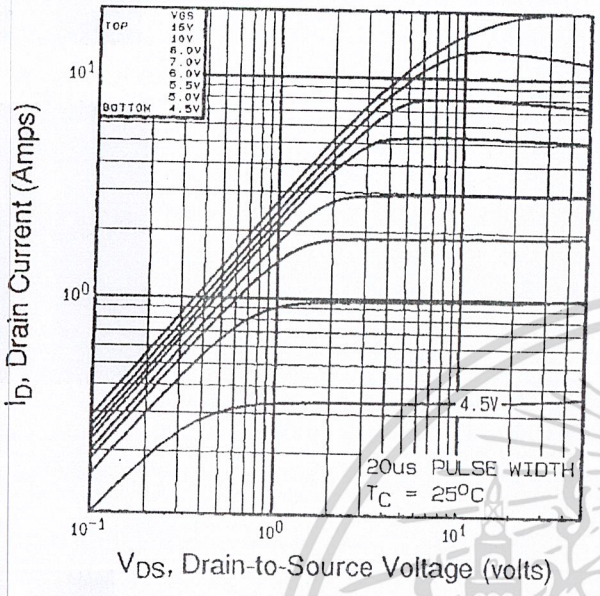


Fig 1. Typical Output Characteristics, T_C=25°C

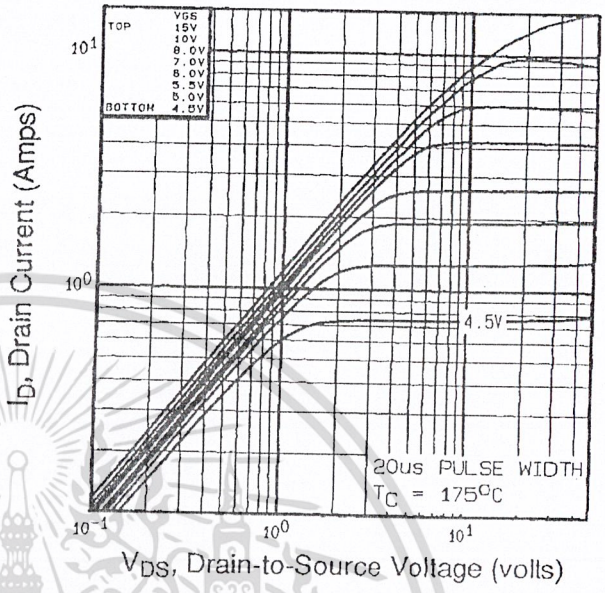


Fig 2. Typical Output Characteristics, T_C=175°C

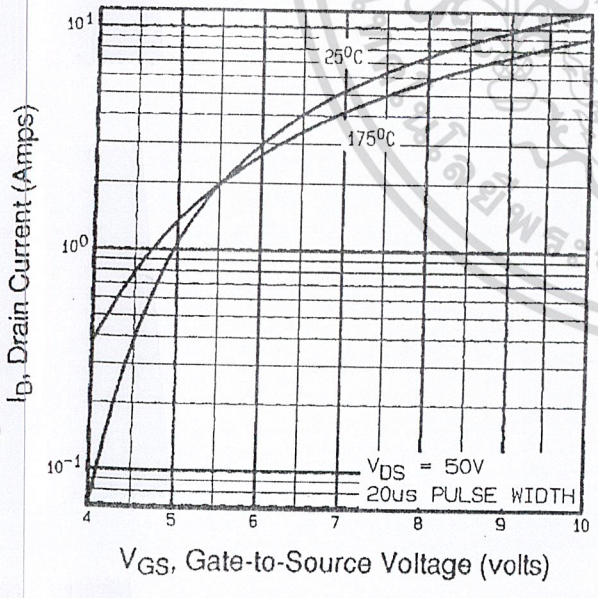


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

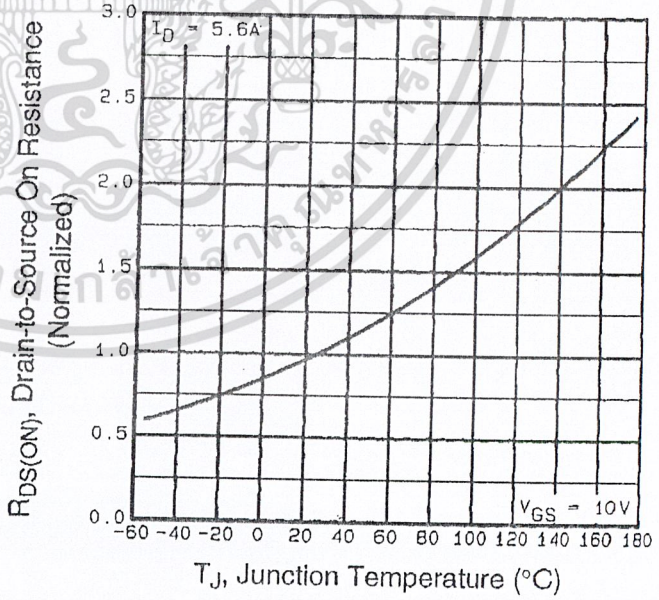


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

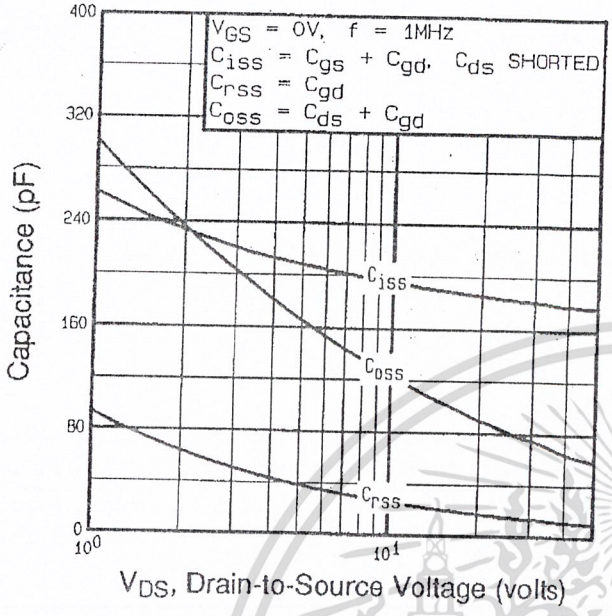


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

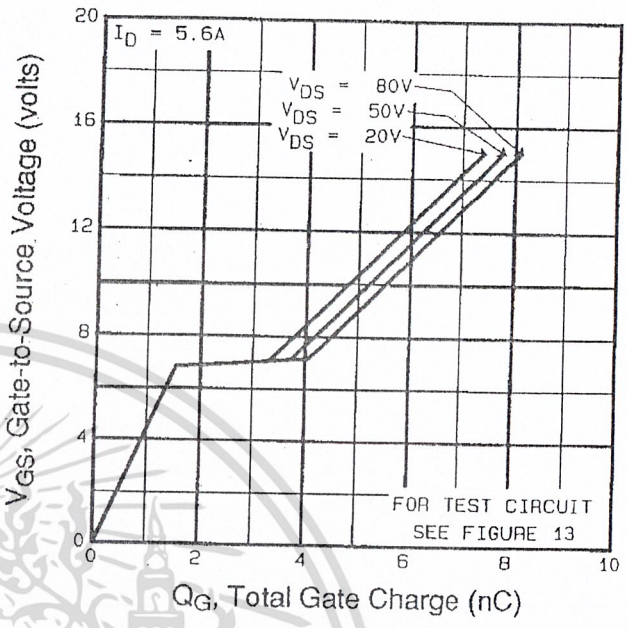


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

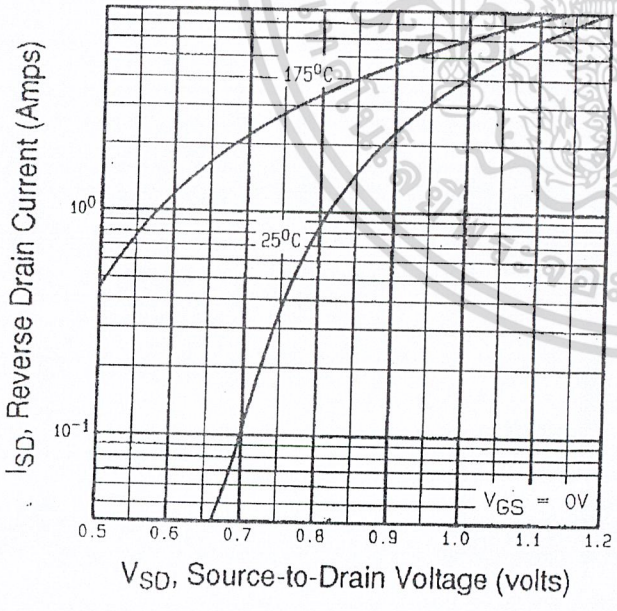


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

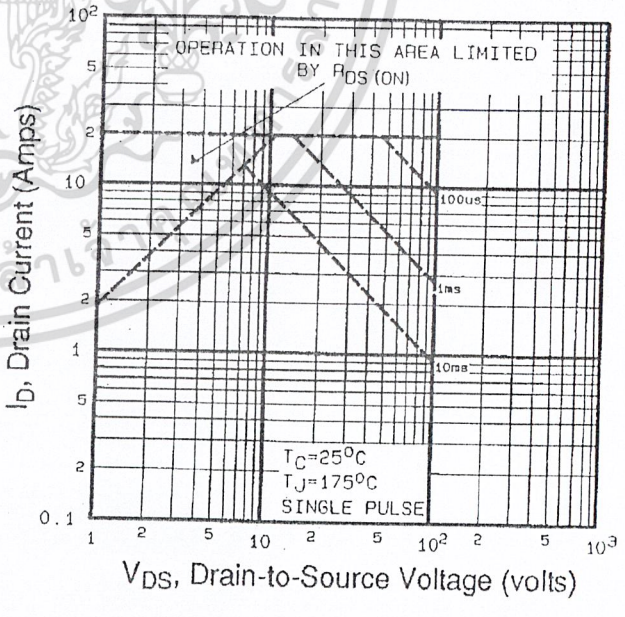


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

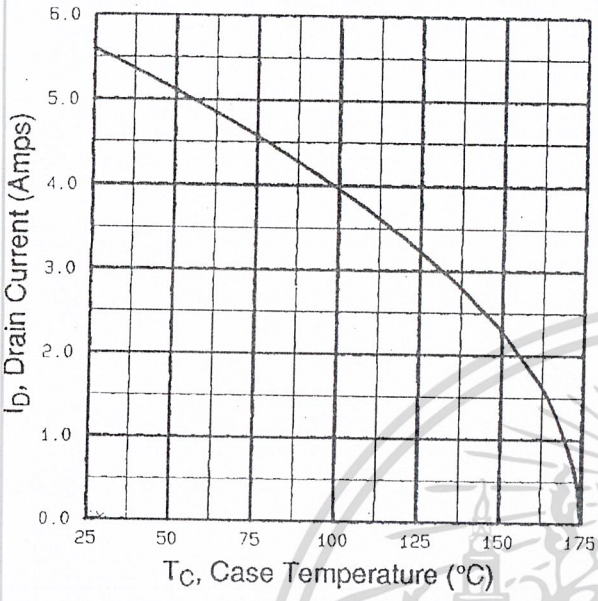


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

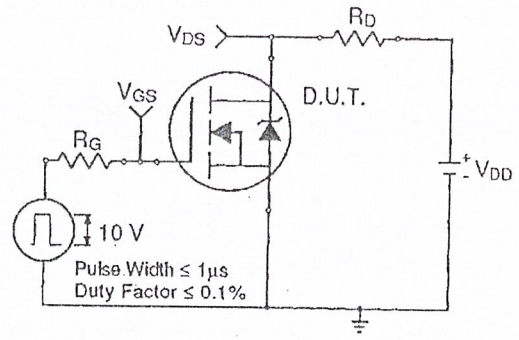


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

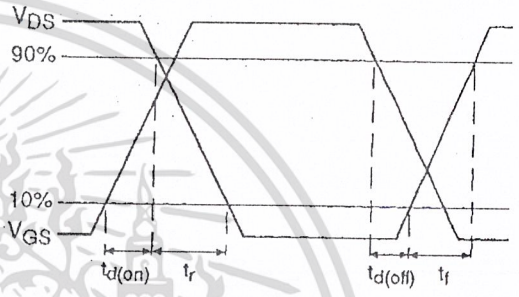


Fig 10b. Switching Time Waveforms

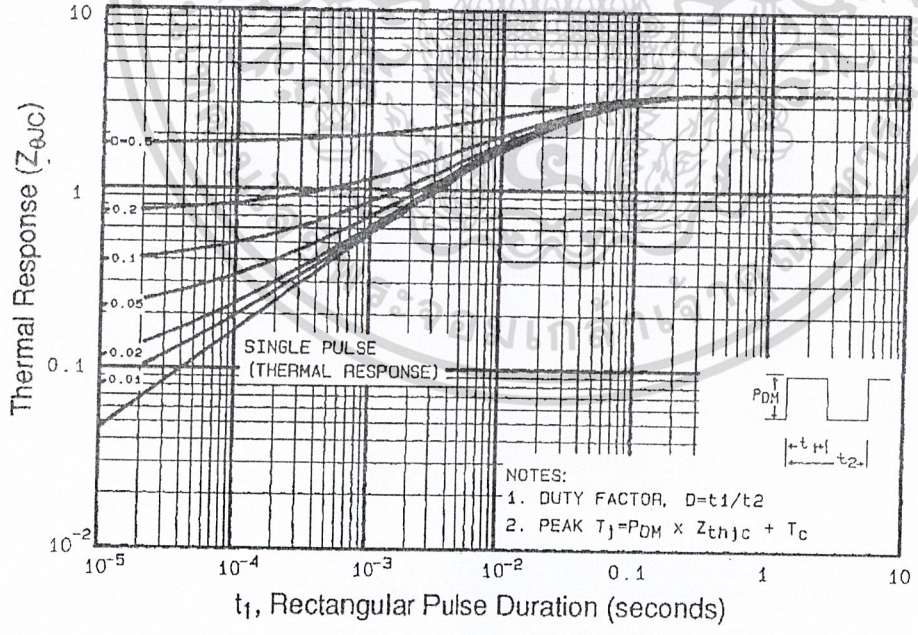


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

DATA SHEETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

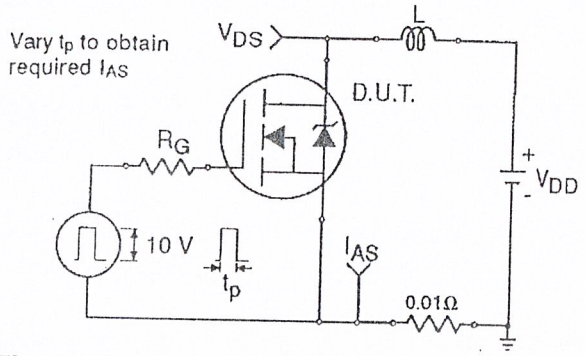


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

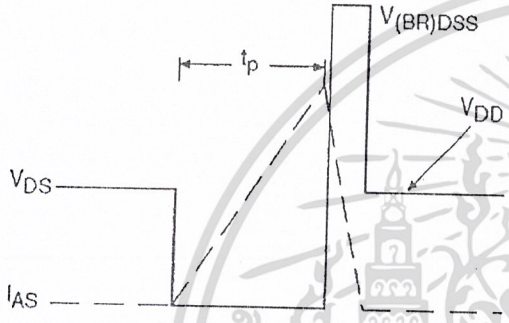


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

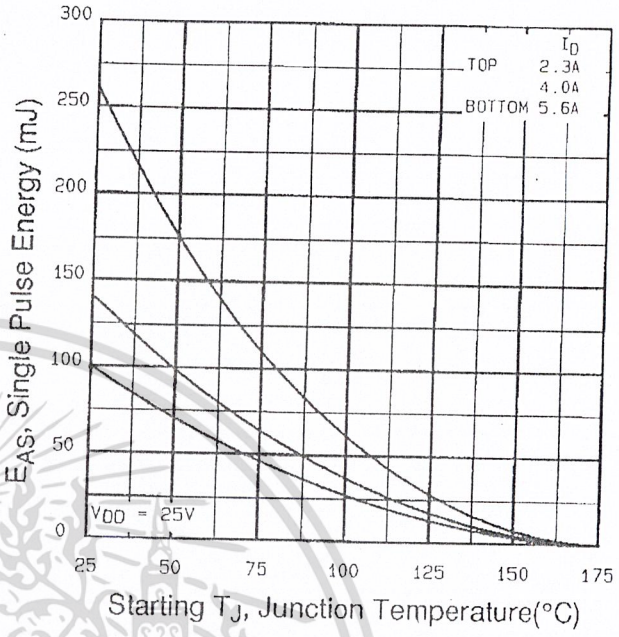


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

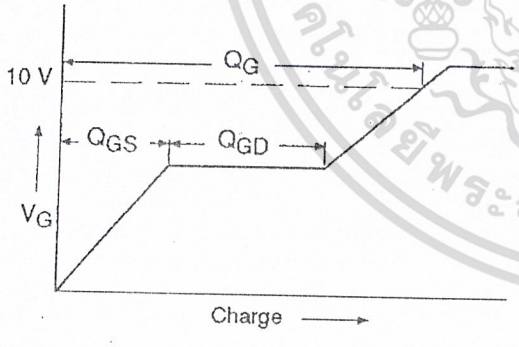


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

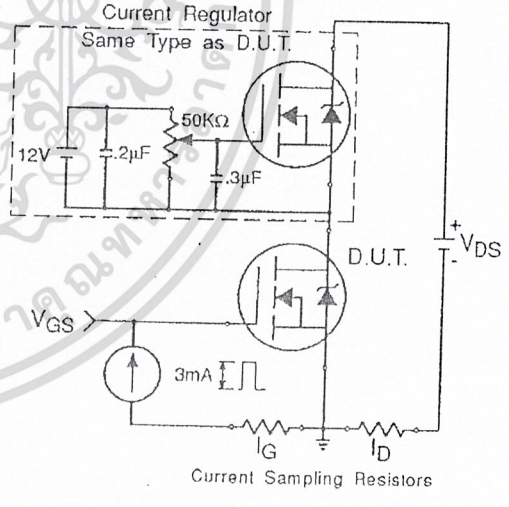


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

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

Appendix B: Package Outline Mechanical Drawing – See page 1509

Appendix C: Part Marking Information – See page 1516

Appendix E: Optional Leadforms – See page 1525

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

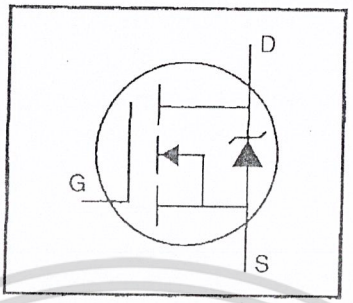
International
IOR Rectifier

PD-9.512B

IRFP460

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

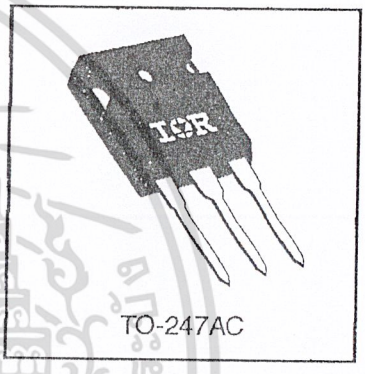
$R_{DS(on)}$ = 0.27Ω

I_D = 20A

Description

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

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



TO-247AC

DATA SHEETS

Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
I_D @ T_C = 25°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10 V	20	A
I_D @ T_C = 100°C	Continuous Drain Current, V_{GS} @ 10 V	13	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	80	
P_D @ T_C = 25°C	Power Dissipation	280	W
	Linear Derating Factor	2.2	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	±20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	960	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ①	20	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	28	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	3.5	V/ns
T_J T_{STG}	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +150	°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	—	—	0.45	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	—	0.24	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	—	40	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics @ T_J = 25°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= 250μA
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.63	—	V/°C	Reference to 25°C, I_D= 1mA
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.27	Ω	V_{GS}=10V, I_D=12A ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V_{DS}=V_{GS}, I_D= 250μA
g_{fs}	Forward Transconductance	13	—	—	S	V_{DS}=50V, I_D=12A ④
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°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	—	—	210	nC	I_D=20A
Q_{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	29		V_{DS}=400V
Q_{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	110		V_{GS}=10V See Fig. 6 and 13 ④
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	18	—	ns	V_{DD}=250V
t_r	Rise Time	—	59	—		I_D=20A
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	110	—		R_G=4.3Ω
t_f	Fall Time	—	58	—		R_D=13Ω 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	—	4200	—	pF	V_{GS}=0V
C_{oss}	Output Capacitance	—	870	—		V_{DS}= 25V
C_{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	350	—		f=1.0MHz See Figure 5

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I_S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	20	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I_{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	80		
V_{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	1.8	V	T_J=25°C, I_S=20A, V_{GS}=0V ④
t_{rr}	Reverse Recovery Time	—	570	860	ns	T_J=25°C, I_F=20A
Q_{rr}	Reverse Recovery Charge	—	5.7	8.6	μC	di/dt=100A/μs ④
t_{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is neglegible (turn-on is dominated by L_S+L_D)				

Notes:

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)

② V_{DD}=50V, starting T_J=25°C, L=4.3mH R_G=25Ω, I_{AS}=20A (See Figure 12)

③ I_{SD}≤20A, di/dt≤160A/μs, V_{DD}≤$V_{(BR)DSS}$, T_J≤150°C

④ Pulse width ≤ 300 μs; duty cycle ≤2%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

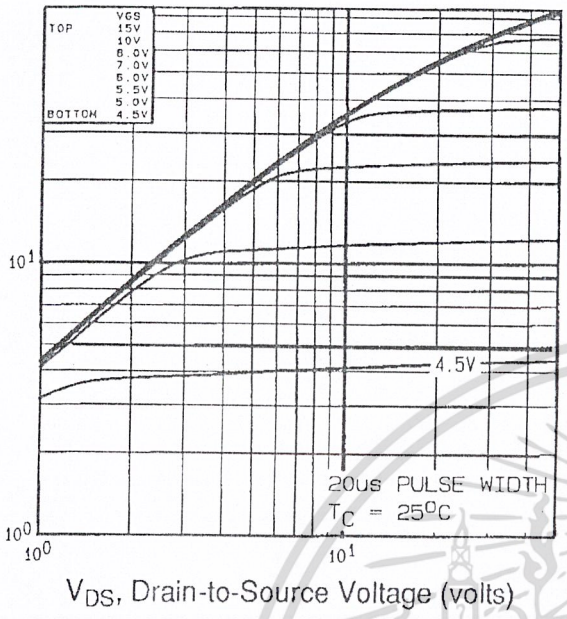


Fig 1. Typical Output Characteristics, T_C=25°C

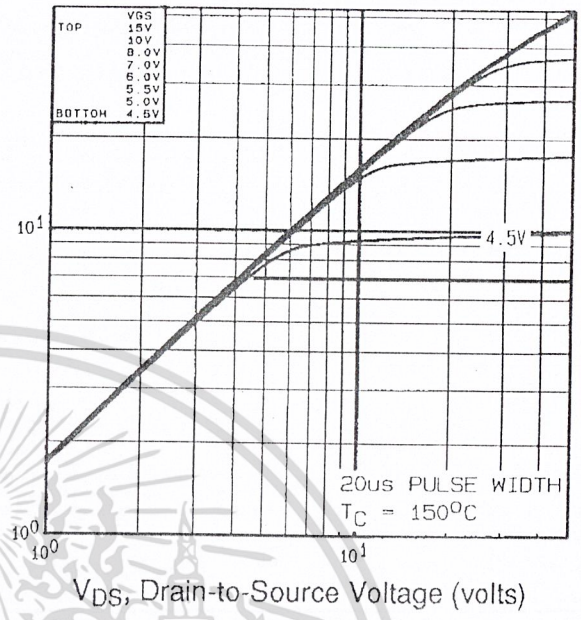


Fig 2. Typical Output Characteristics, T_C=150°C

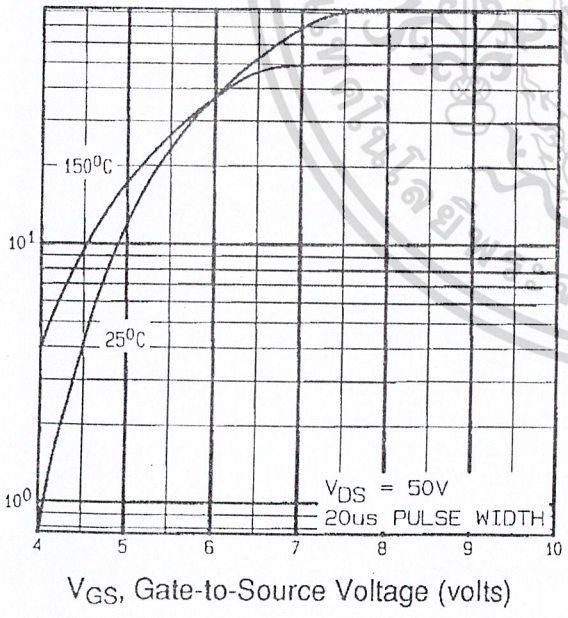


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

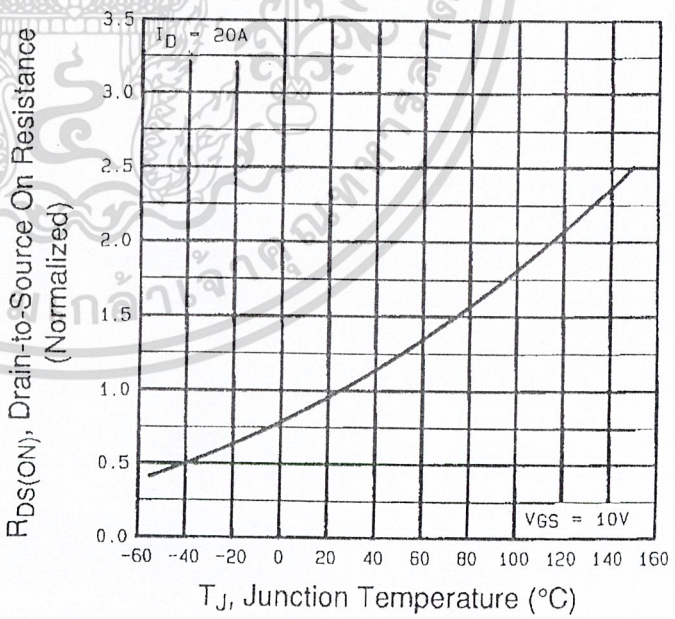


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

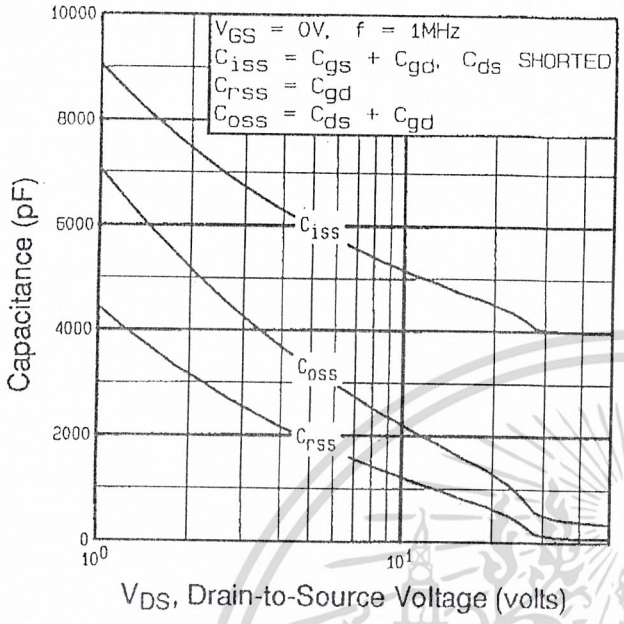


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

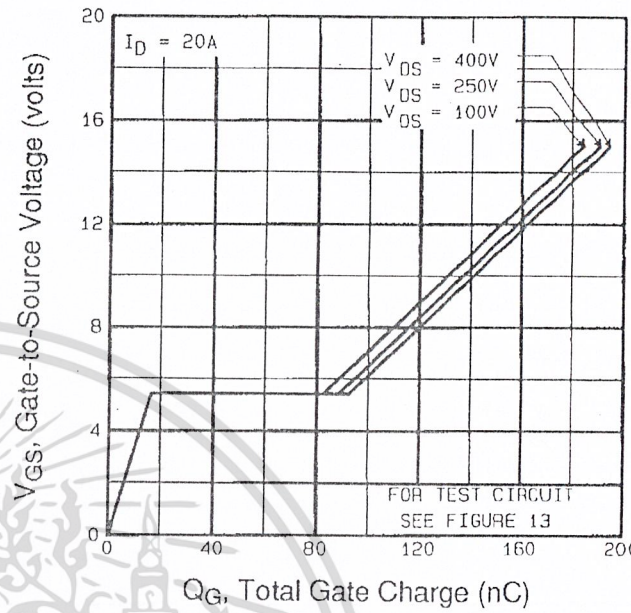


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

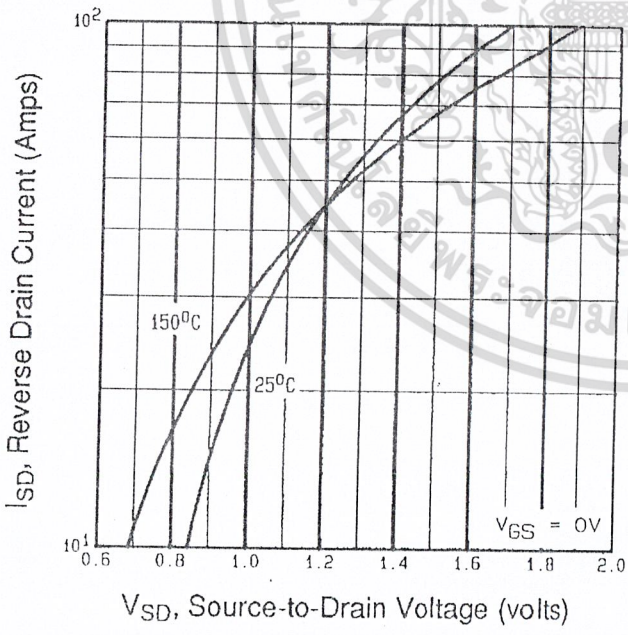


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

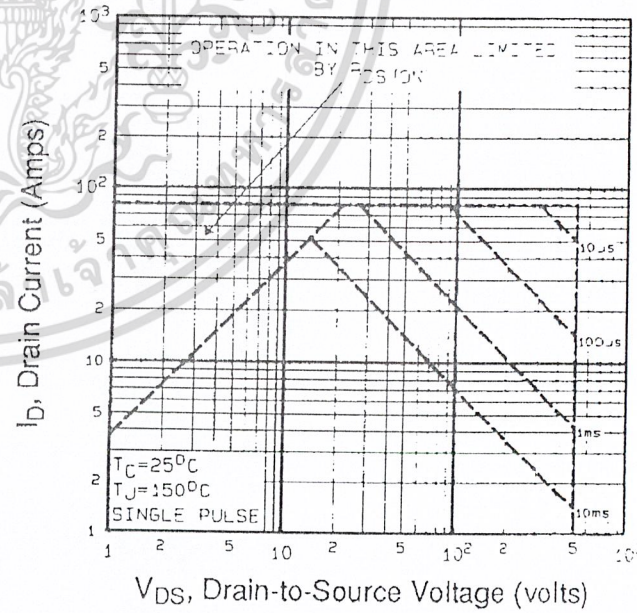


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

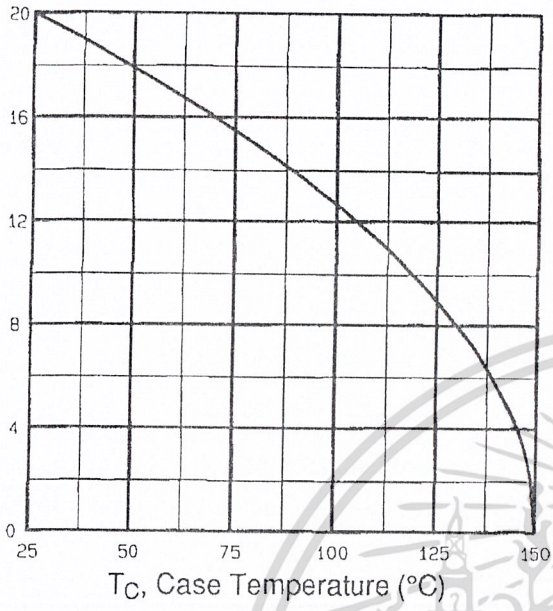


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

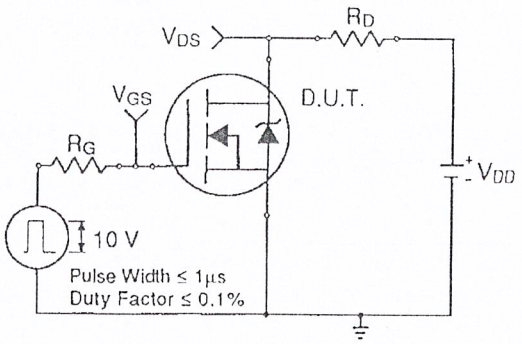


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

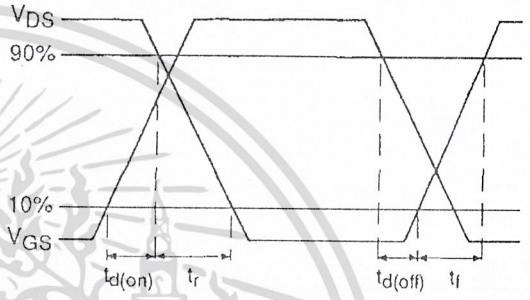


Fig 10b. Switching Time Waveforms

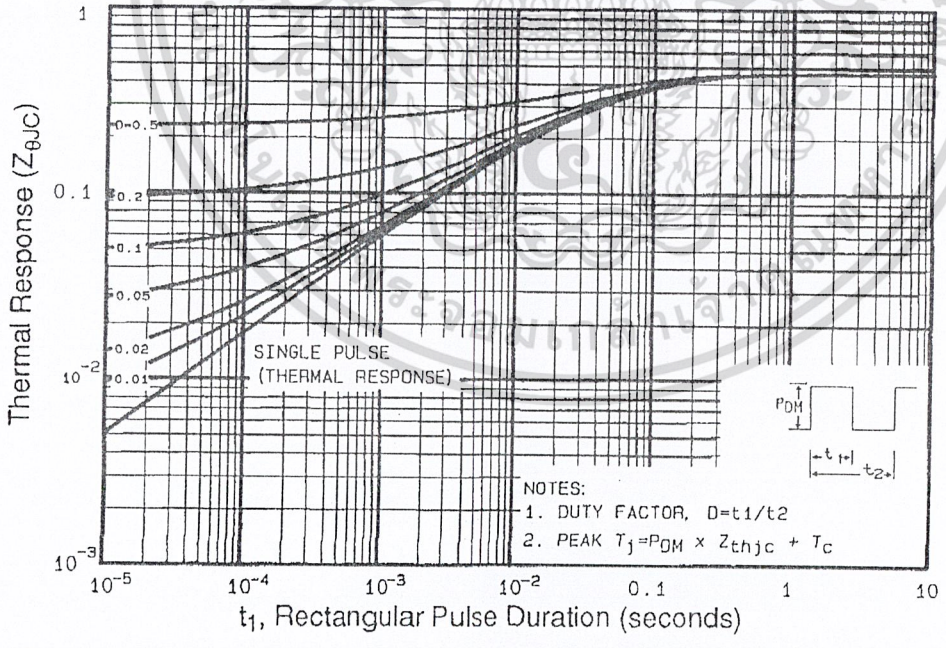


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

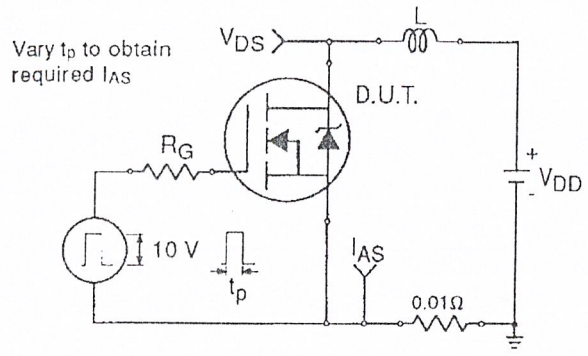


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

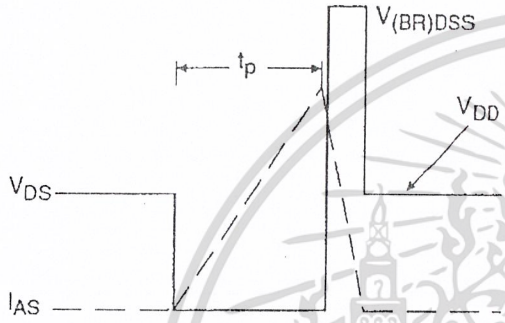


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

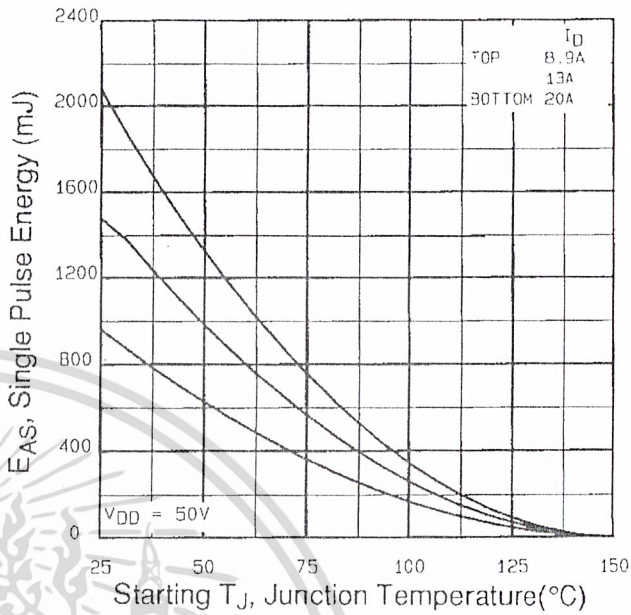


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

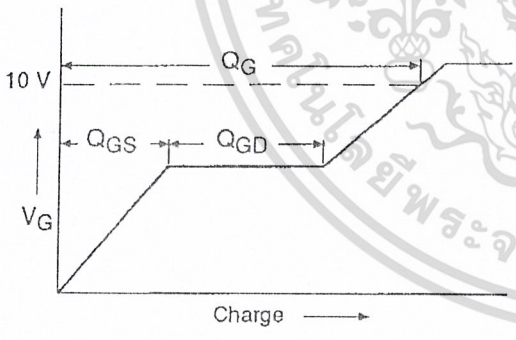


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

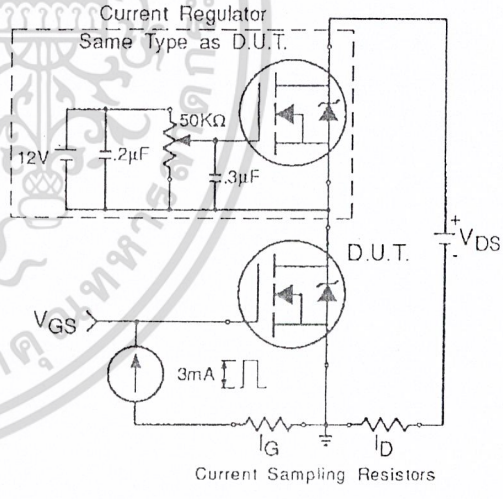


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

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

Appendix B: Package Outline Mechanical Drawing – See page 1511

Appendix C: Part Marking Information – See page 1517

International Rectifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

December 1994

LM108/LM208/LM308 Operational Amplifiers

General Description

The LM108 series are precision operational amplifiers having specifications a factor of ten better than FET amplifiers over a −55°C to +125°C temperature range.

The devices operate with supply voltages from ±2V to ±20V and have sufficient supply rejection to use unregulated supplies. Although the circuit is interchangeable with and uses the same compensation as the LM101A, an alternate compensation scheme can be used to make it particularly insensitive to power supply noise and to make supply bypass capacitors unnecessary.

The low current error of the LM108 series makes possible many designs that are not practical with conventional amplifiers. In fact, it operates from 10 MΩ source resistances, introducing less error than devices like the 709 with 10 kΩ sources. Integrators with drifts less than 500 μV/sec and analog time delays in excess of one hour can be made using capacitors no larger than 1 μF.

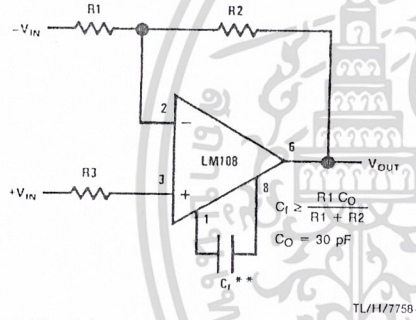
The LM108 is guaranteed from −55°C to +125°C, the LM208 from −25°C to +85°C, and the LM308 from 0°C to +70°C.

Features

- Maximum input bias current of 3.0 nA over temperature
- Offset current less than 400 pA over temperature
- Supply current of only 300 μA, even in saturation
- Guaranteed drift characteristics

Compensation Circuits

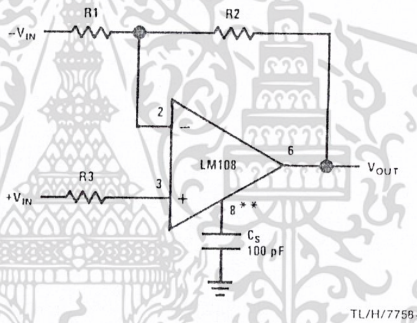
Standard Compensation Circuit



TL/H/7758–1

**Bandwidth and slew rate are proportional to $1/C_f$

Alternate* Frequency Compensation

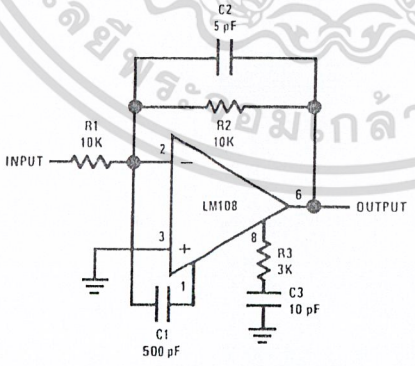


TL/H/7758–2

*Improves rejection of power supply noise by a factor of ten.

**Bandwidth and slew rate are proportional to $1/C_S$

Feedforward Compensation



TL/H/7758–3

©1995 National Semiconductor Corporation TL/H/7758

RRD-B30M115/Printed in U. S. A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.
(Note 5)

	LM108/LM208	LM308
Supply Voltage	±20V	±18V
Power Dissipation (Note 1)	500 mW	500 mW
Differential Input Current (Note 2)	±10 mA	±10 mA
Input Voltage (Note 3)	±15V	±15V
Output Short-Circuit Duration	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range (LM108)	−55°C to +125°C	0°C to +70°C
(LM208)	−25°C to + 85°C	
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C	−65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)		
DIP	260°C	260°C
H Package Lead Temp		
(Soldering 10 seconds)	300°C	300°C
Soldering Information		
Dual-In-Line Package		
Soldering (10 seconds)	260°C	
Small Outline Package		
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	
Infrared (15 seconds)	220°C	
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.		
ESD Tolerance (Note 6)	2000V	

Electrical Characteristics (Note 4)

Parameter	Condition	LM108/LM208			LM308			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25°C$		0.7	2.0		2.0	7.5	mV
Input Offset Current	$T_A = 25°C$		0.05	0.2		0.2	1	nA
Input Bias Current	$T_A = 25°C$		0.8	2.0		1.5	7	nA
Input Resistance	$T_A = 25°C$	30	70		10	40		MΩ
Supply Current	$T_A = 25°C$		0.3	0.6		0.3	0.8	mA
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25°C$, $V_S = \pm 15V$ $V_{OUT} = \pm 10V$, $R_L \geq 10\ k\Omega$	50	300		25	300		V/mV
Input Offset Voltage				3.0			10	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage			3.0	15		6.0	30	μV/°C
Input Offset Current				0.4			1.5	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current			0.5	2.5		2.0	10	pA/°C
Input Bias Current				3.0			10	nA
Supply Current	$T_A = +125°C$		0.15	0.4				mA
Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15V$, $V_{OUT} = \pm 10V$ $R_L \geq 10\ k\Omega$	25			15			V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15V$, $R_L = 10\ k\Omega$	±13	±14		±13	±14		V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 4) (Continued)

Parameter	Condition	LM108/LM208			LM308			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Voltage Range	$V_S = \pm 15V$	± 13.5			± 14			V
Common Mode Rejection Ratio		85	100		80	100		dB
Supply Voltage Rejection Ratio		80	96		80	96		dB

Note 1: The maximum junction temperature of the LM108 is 150°C, for the LM208, 100°C and for the LM308, 85°C. For operating at elevated temperatures, devices in the H08 package must be derated based on a thermal resistance of 160°C/W, junction to ambient, or 20°C/W, junction to case. The thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W, junction to ambient.

Note 2: The inputs are shunted with back-to-back diodes for overvoltage protection. Therefore, excessive current will flow if a differential input voltage in excess of 1V is applied between the inputs unless some limiting resistance is used.

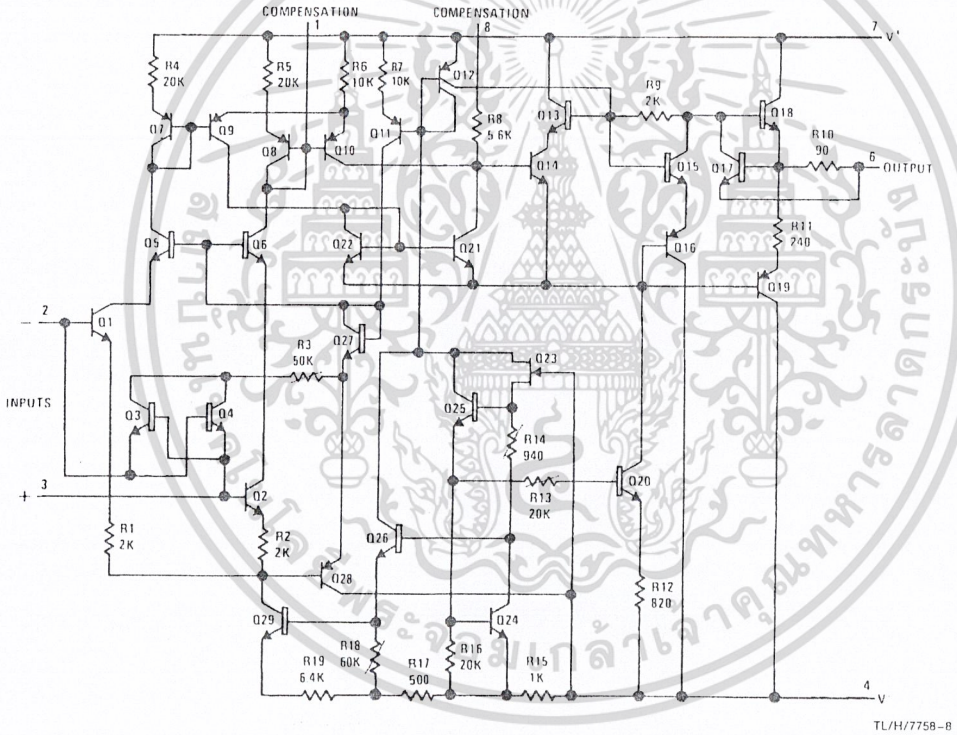
Note 3: For supply voltages less than $\pm 15V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 4: These specifications apply for $\pm 5V \leq V_S \leq \pm 20V$ and $-55°C \leq T_A \leq +125°C$, unless otherwise specified. With the LM208, however, all temperature specifications are limited to $-25°C \leq T_A \leq 85°C$, and for the LM308 they are limited to $0°C \leq T_A \leq 70°C$.

Note 5: Refer to RETS108X for LM108 military specifications and RETs 108AX for LM108A military specifications.

Note 6: Human body model, 1.5 kΩ in series with 100 pF.

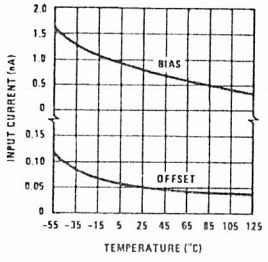
Schematic Diagram



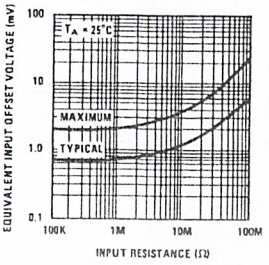
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics LM108/LM208

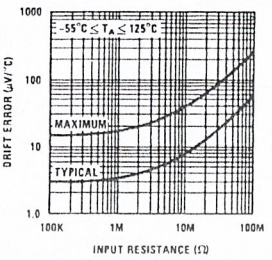
Input Currents



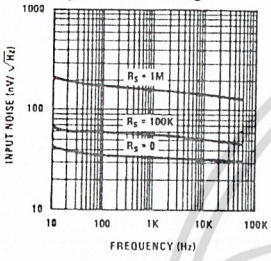
Offset Error



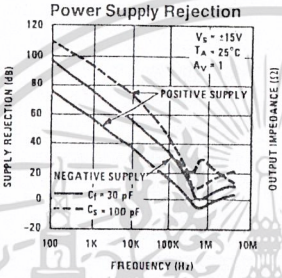
Drift Error



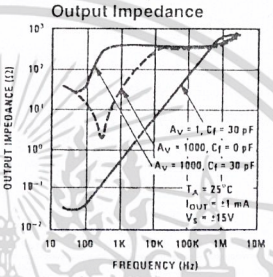
Input Noise Voltage



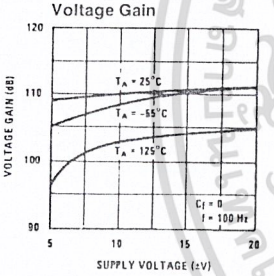
Power Supply Rejection



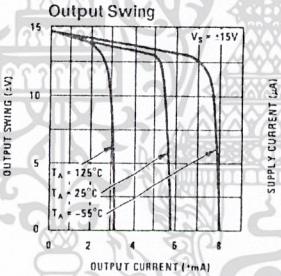
Closed Loop Output Impedance



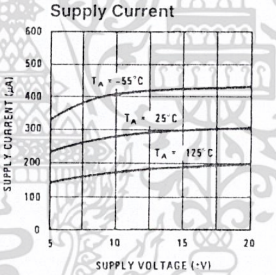
Voltage Gain



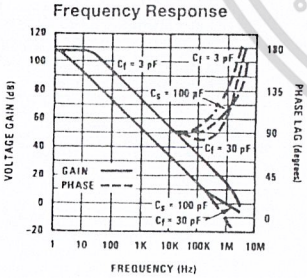
Output Swing



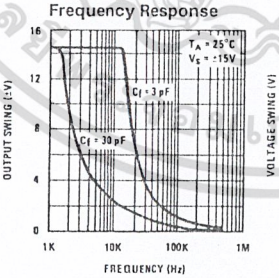
Supply Current



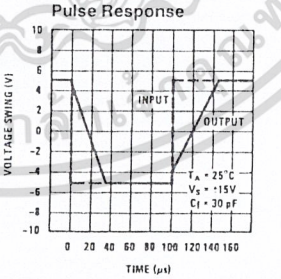
Open Loop Frequency Response



Large Signal Frequency Response



Voltage Follower Pulse Response

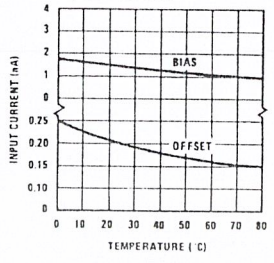


TL/H/7758–6

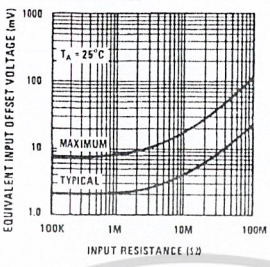
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics LM308

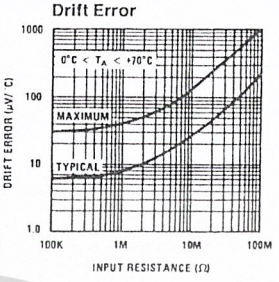
Input Currents



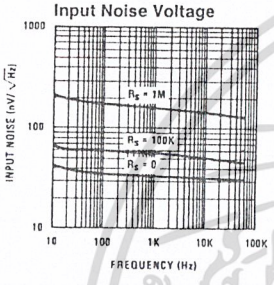
Offset Error



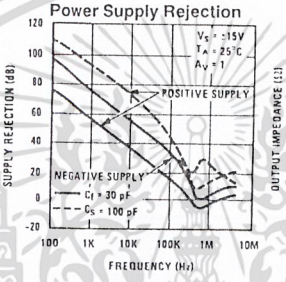
Drift Error



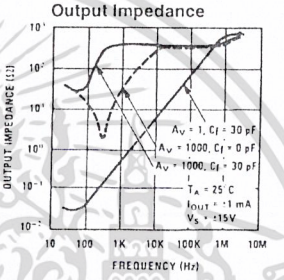
Input Noise Voltage



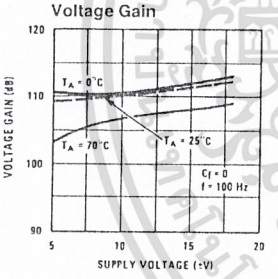
Power Supply Rejection



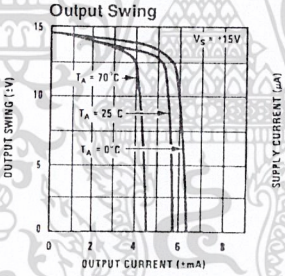
Closed Loop
Output Impedance



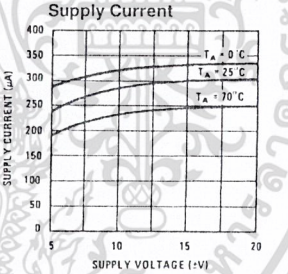
Voltage Gain



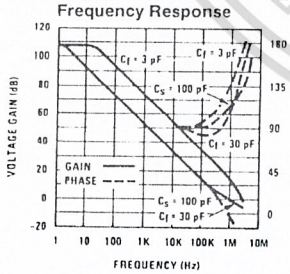
Output Swing



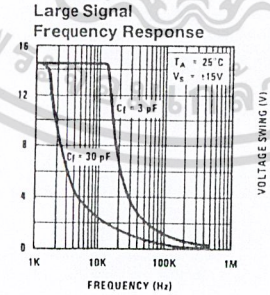
Supply Current



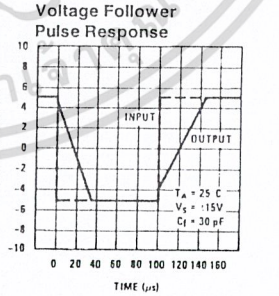
Open Loop
Frequency Response



Large Signal
Frequency Response



Voltage Follower
Pulse Response

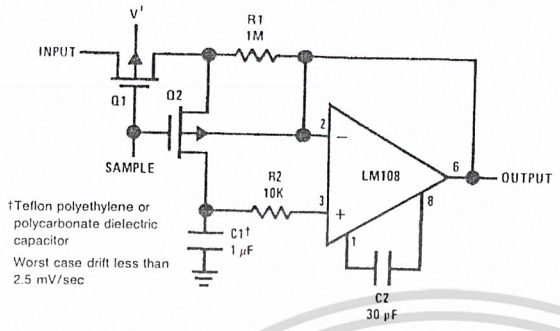


TL/H/7758–7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications

Sample and Hold

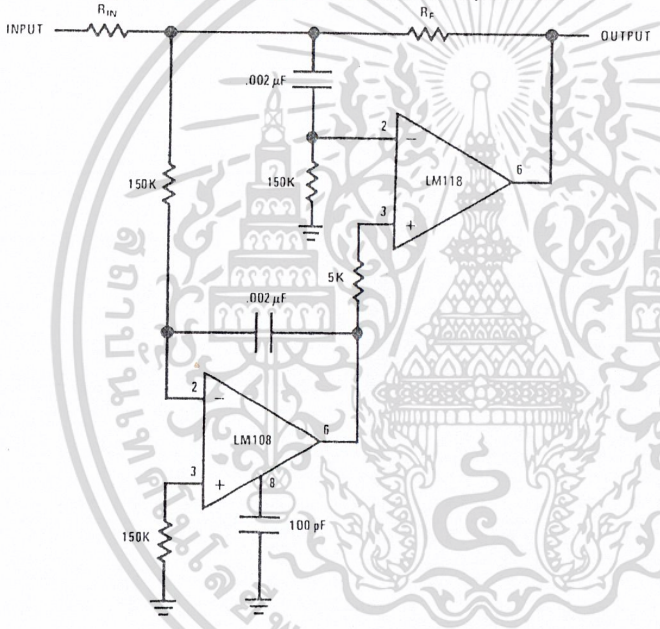


†Teflon polyethylene or polycarbonate dielectric capacitor

Worst case drift less than 2.5 mV/sec

TL/H/7758–4

High Speed Amplifier with Low Drift and Low Input Current

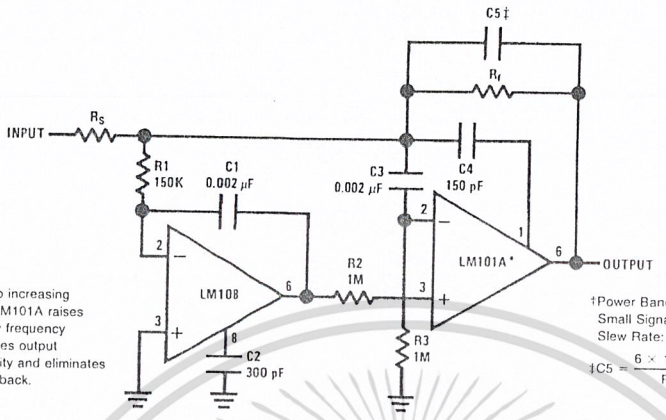


TL/H/7758–5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

Fast† Summing Amplifier



*In addition to increasing speed, the LM101A raises high and low frequency gain, increases output drive capability and eliminates thermal feedback.

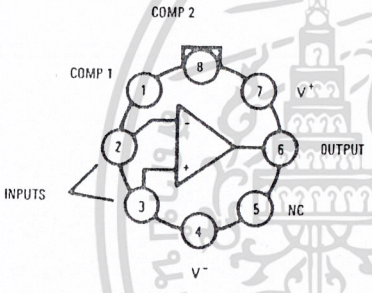
†Power Bandwidth: 250 KHz
Small Signal Bandwidth: 3.5 MHz
Slew Rate: 10V/μS

‡$C5 = \frac{6 \times 10^{-8}}{R_f}$

TL/H/7758–12

Connection Diagrams

Metal Can Package



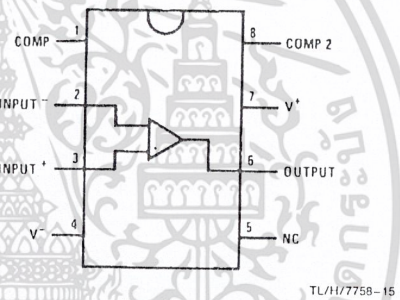
TL/H/7758–13

*Package is connected to Pin 4 (V−)

**Unused pin (no internal connection) to allow for input anti-leakage guard ring on printed circuit board layout.

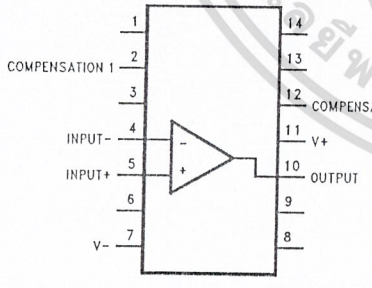
Order Number LM108H, LM108H/883, LM308AH or LM308H
See NS Package Number H08C

Dual-In-Line Package



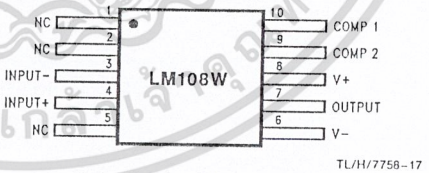
TL/H/7758–15

Top View
Order Number LM108J-8/883, LM308M or LM308N
See NS Package Number J08A, M08A or N08E



TL/H/7758–16

Top View
Order Number LM108J/883
See NS Package Number J14A



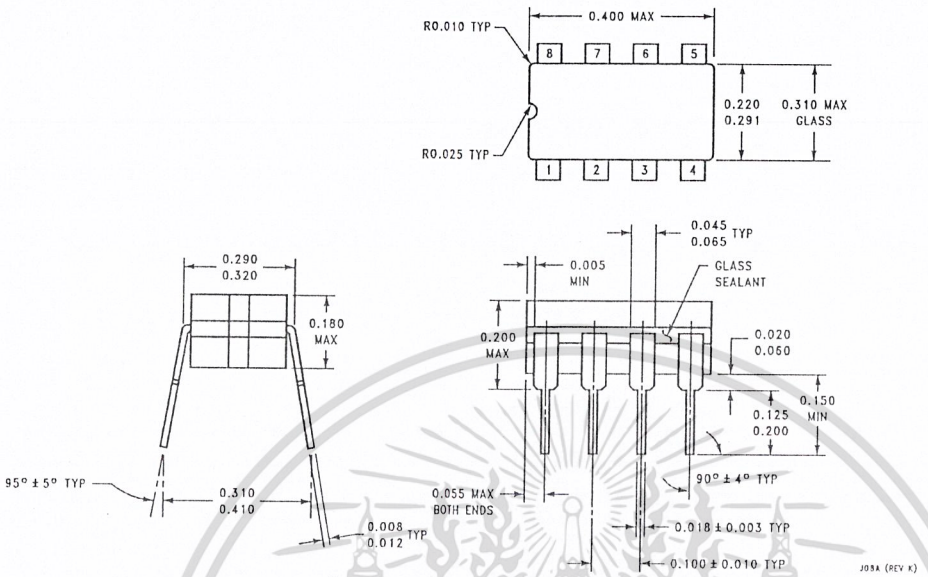
TL/H/7758–17

Order Number LM108W/883
See NS Package Number W10A

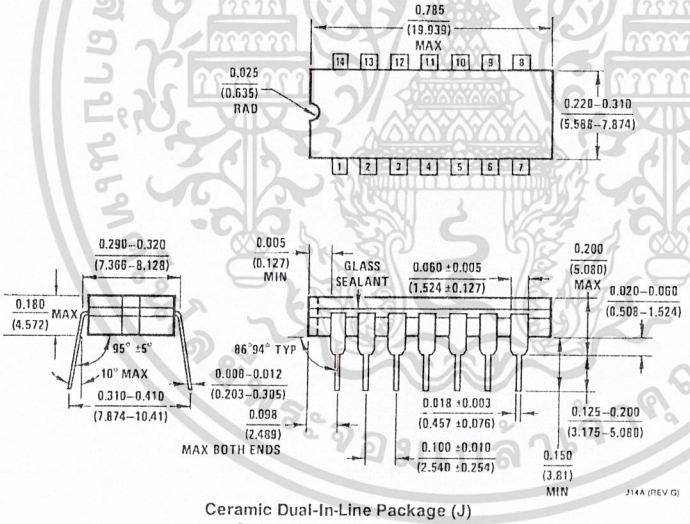
†Also available per JM38510/10104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters)



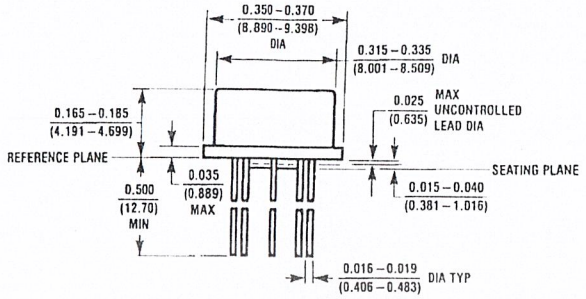
Ceramic Dual-In-Line Package (J)
Order Number LM108J/883
NS Package Number J08A

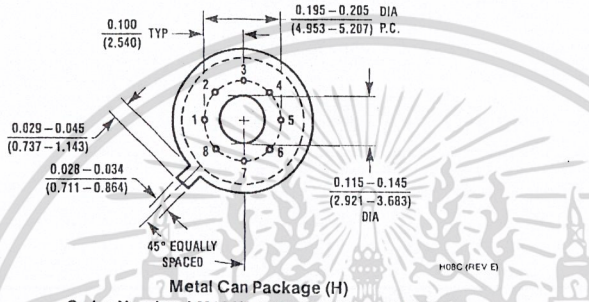


Ceramic Dual-In-Line Package (J)
Order Number LM108/883
NS Package Number J14A

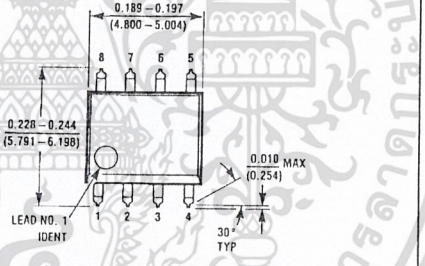
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

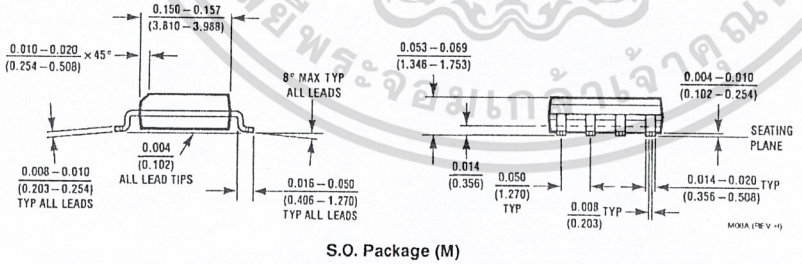
Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)





Metal Can Package (H)
Order Number LM108H, LM108H/883 or LM308H
NS Package Number H08C



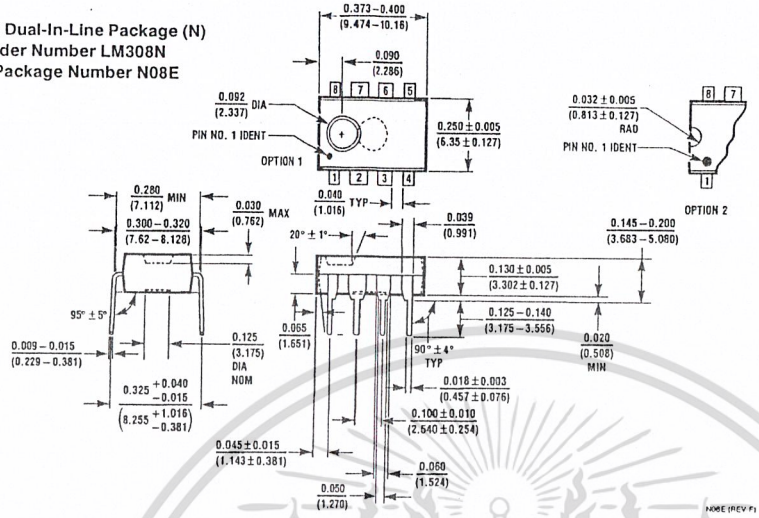


S.O. Package (M)
Order Number LM308M
NS Package Number M08A

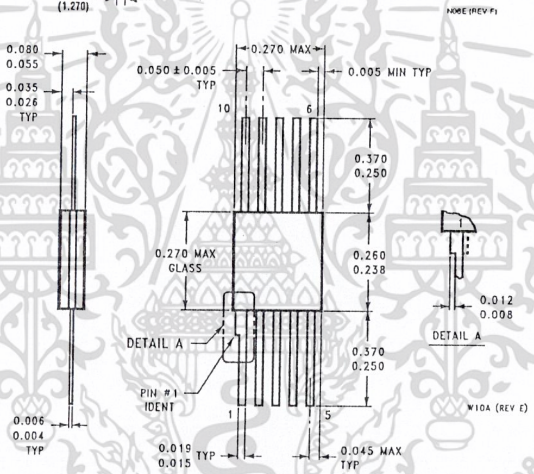
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)

Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number LM308N
NS Package Number N08E



Ceramic Flatpack Package (W)
Order Number LM108AW/883 or
LM108W/883
NS Package Number W10A



LIFE SUPPORT POLICY

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

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

National Semiconductor Corporation
1111 West Bardin Road
Arlington, TX 76017
Tel: 1(800) 272-9959
Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe
Fax: (+49) 0-180-530 85 86
Email: cnjwge@tevm2.nsc.com
Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85
English Tel: (+49) 0-180-532 78 32
Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58
Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
13th Floor, Straight Block,
Ocean Centre, 5 Canton Rd.
Tsimshatsui, Kowloon
Hong Kong
Tel: (852) 2737-1600
Fax: (852) 2736-9960

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-043-299-2309
Fax: 81-043-299-2408

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

November 2000

LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A Precision Temperature Sensors

General Description

The LM135 series are precision, easily-calibrated, integrated circuit temperature sensors. Operating as a 2-terminal zener, the LM135 has a breakdown voltage directly proportional to absolute temperature at +10 mV/°K. With less than 1Ω dynamic impedance the device operates over a current range of 400 µA to 5 mA with virtually no change in performance. When calibrated at 25°C the LM135 has typically less than 1°C error over a 100°C temperature range. Unlike other sensors the LM135 has a linear output.

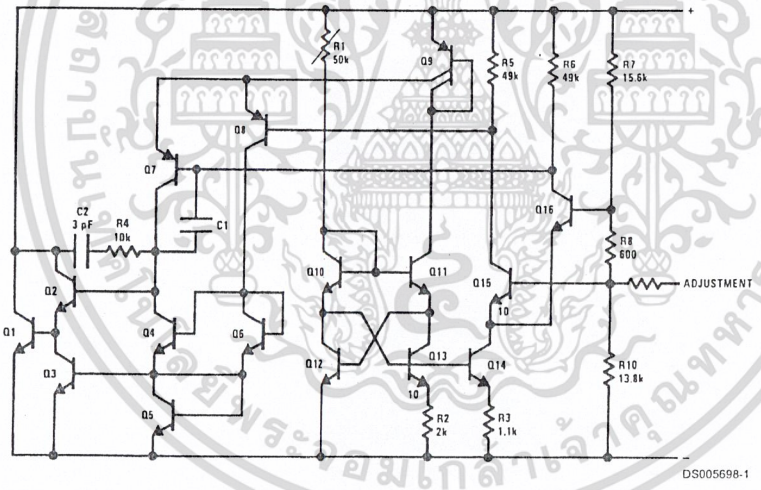
Applications for the LM135 include almost any type of temperature sensing over a −55°C to +150°C temperature range. The low impedance and linear output make interfacing to readout or control circuitry especially easy.

The LM135 operates over a −55°C to +150°C temperature range while the LM235 operates over a −40°C to +125°C temperature range. The LM335 operates from −40°C to +100°C. The LM135/LM235/LM335 are available packaged in hermetic TO-46 transistor packages while the LM335 is also available in plastic TO-92 packages.

Features

- Directly calibrated in °Kelvin
- 1°C initial accuracy available
- Operates from 400 µA to 5 mA
- Less than 1Ω dynamic impedance
- Easily calibrated
- Wide operating temperature range
- 200°C overrange
- Low cost

Schematic Diagram

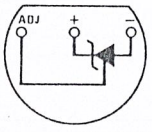


© 2000 National Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagrams

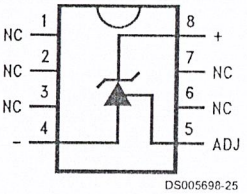
TO-92
Plastic Package



DS005698-8

Bottom View
Order Number LM335Z
or LM335AZ
See NS Package
Number Z03A

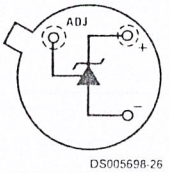
SO-8
Surface Mount Package



DS005698-25

Order Number LM335M
See NS Package
Number M08A

TO-46
Metal Can Package*



DS005698-26

*Case is connected to negative pin

Bottom View
Order Number LM135H,
LM135H-MIL, LM235H,
LM335H, LM135AH,
LM235AH or LM335AH
See NS Package
Number H03H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 4)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

Reverse Current	15 mA
Forward Current	10 mA
Storage Temperature	
TO-46 Package	−60°C to +180°C
TO-92 Package	−60°C to +150°C
SO-8 Package	−65°C to +150°C

Specified Operating Temp. Range

	Continuous	Intermittent (Note 2)
LM135, LM135A	−55°C to +150°C	150°C to 200°C
LM235, LM235A	−40°C to +125°C	125°C to 150°C
LM335, LM335A	−40°C to +100°C	100°C to 125°C

Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
TO-92 Package:	260°C
TO-46 Package:	300°C
SO-8 Package:	300°C
Vapor Phase (60 seconds):	215°C
Infrared (15 seconds):	220°C

Temperature Accuracy (Note 1)

LM135/LM235, LM135A/LM235A

Parameter	Conditions	LM135A/LM235A			LM135/LM235			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	T_C = 25°C, I_R = 1 mA	2.97	2.98	2.99	2.95	2.98	3.01	V
Uncalibrated Temperature Error	T_C = 25°C, I_R = 1 mA		0.5	1		1	3	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{MIN} \le T_C \le T_{MAX}$, I_R = 1 mA		1.3	2.7		2	5	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{MIN} \le T_C \le T_{MAX}$, I_R = 1 mA		0.3	1		0.5	1.5	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{MAX}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	I_R = 1 mA		0.3	0.5		0.3	1	°C

Temperature Accuracy (Note 1)

LM335, LM335A

Parameter	Conditions	LM335A			LM335			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	T_C = 25°C, I_R = 1 mA	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.04	V
Uncalibrated Temperature Error	T_C = 25°C, I_R = 1 mA		1	3		2	6	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{MIN} \le T_C \le T_{MAX}$, I_R = 1 mA		2	5		4	9	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{MIN} \le T_C \le T_{MAX}$, I_R = 1 mA		0.5	1		1	2	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{MAX}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	I_R = 1 mA		0.3	1.5		0.3	1.5	°C

Electrical Characteristics (Note 1)

Parameter	Conditions	LM135/LM235 LM135A/LM235A			LM335 LM335A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage Change with Current	400 μA≤I_R≤5 mA At Constant Temperature		2.5	10		3	14	mV
Dynamic Impedance	I_R=1 mA		0.5			0.6		Ω
Output Voltage Temperature Coefficient			+10			+10		mV/°C
Time Constant	Still Air		80			80		sec
	100 ft/Min Air		10			10		sec
	Stirred Oil		1			1		sec
Time Stability	T_C=125°C		0.2			0.2		°C/khr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 1) (Continued)

Note 1: Accuracy measurements are made in a well-stirred oil bath. For other conditions, self heating must be considered.

Note 2: Continuous operation at these temperatures for 10,000 hours for H package and 5,000 hours for Z package may decrease life expectancy of the device.

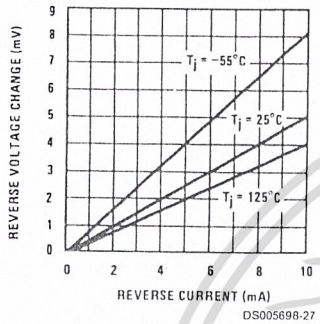
Note 3:

Thermal Resistance	TO-92	TO-46	SO-8
θ_{JA} (junction to ambient)	202°C/W	400°C/W	165°C/W
θ_{JC} (junction to case)	170°C/W	N/A	N/A

Note 4: Refer to RETS135H for military specifications.

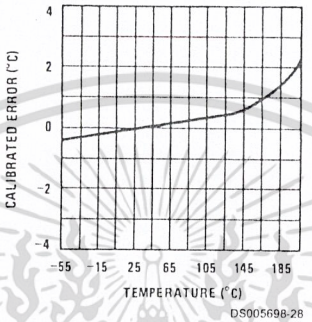
Typical Performance Characteristics

Reverse Voltage Change



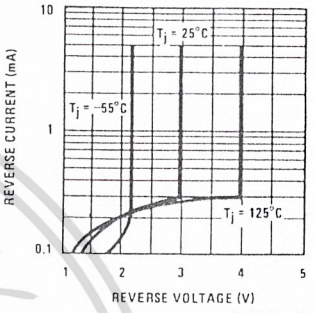
DS005698-27

Calibrated Error



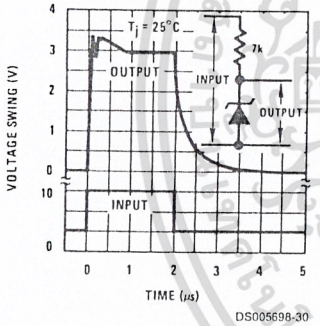
DS005698-28

Reverse Characteristics



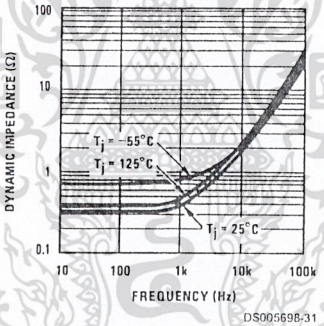
DS005698-29

Response Time



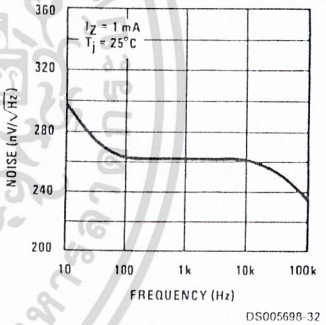
DS005698-30

Dynamic Impedance



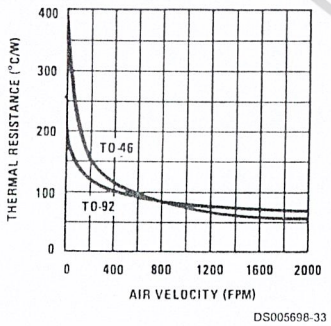
DS005698-31

Noise Voltage



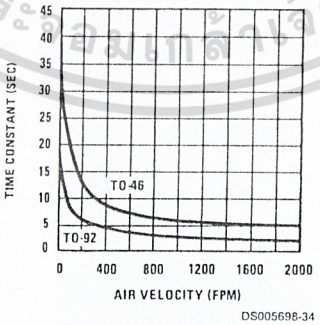
DS005698-32

Thermal Resistance Junction to Air



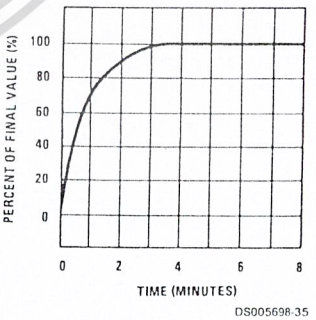
DS005698-33

Thermal Time Constant



DS005698-34

Thermal Response in Still Air

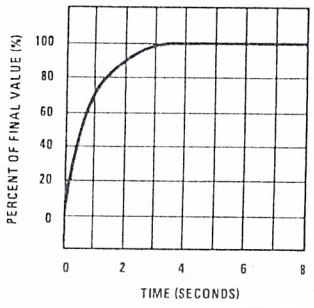


DS005698-35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

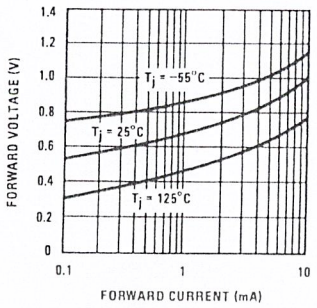
Typical Performance Characteristics (Continued)

Thermal Response in Stirred Oil Bath



DS005698-36

Forward Characteristics



DS005698-37

Application Hints

CALIBRATING THE LM135

Included on the LM135 chip is an easy method of calibrating the device for higher accuracies. A pot connected across the LM135 with the arm tied to the adjustment terminal allows a 1-point calibration of the sensor that corrects for inaccuracy over the full temperature range.

This single point calibration works because the output of the LM135 is proportional to absolute temperature with the extrapolated output of sensor going to 0V output at 0°K (−273.15°C). Errors in output voltage versus temperature are only slope (or scale factor) errors so a slope calibration at one temperature corrects at all temperatures.

The output of the device (calibrated or uncalibrated) can be expressed as:

$$V_{OUT_T} = V_{OUT_{T_o}} \times \frac{T}{T_o}$$

where T is the unknown temperature and T_o is a reference temperature, both expressed in degrees Kelvin. By calibrating the output to read correctly at one temperature the output at all temperatures is correct. Nominally the output is calibrated at 10 mV/°K.

To insure good sensing accuracy several precautions must be taken. Like any temperature sensing device, self heating can reduce accuracy. The LM135 should be operated at the lowest current suitable for the application. Sufficient current, of course, must be available to drive both the sensor and the calibration pot at the maximum operating temperature as well as any external loads.

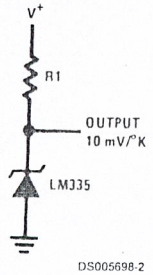
If the sensor is used in an ambient where the thermal resistance is constant, self heating errors can be calibrated out. This is possible if the device is run with a temperature stable current. Heating will then be proportional to zener voltage and therefore temperature. This makes the self heating error proportional to absolute temperature the same as scale factor errors.

WATERPROOFING SENSORS

Meltable inner core heat shrinkable tubing such as manufactured by Raychem can be used to make low-cost waterproof sensors. The LM335 is inserted into the tubing about ½" from the end and the tubing heated above the melting point of the core. The unfilled ½" end melts and provides a seal over the device.

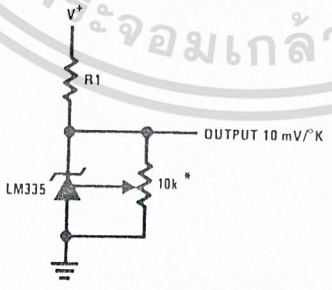
Typical Applications

Basic Temperature Sensor



DS005698-2

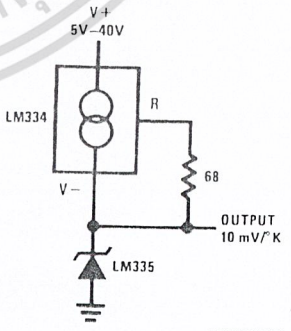
Calibrated Sensor



DS005698-9

*Calibrate for 2.982V at 25°C

Wide Operating Supply

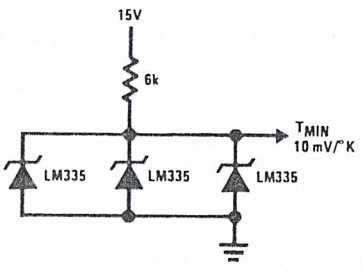


DS005698-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

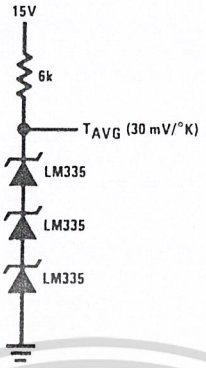
Typical Applications (Continued)

Minimum Temperature Sensing



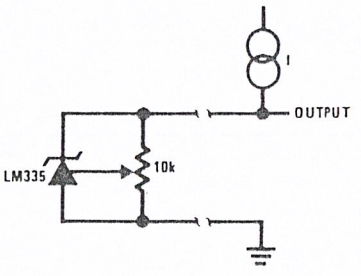
DS005698-4

Average Temperature Sensing



DS005698-18

Remote Temperature Sensing



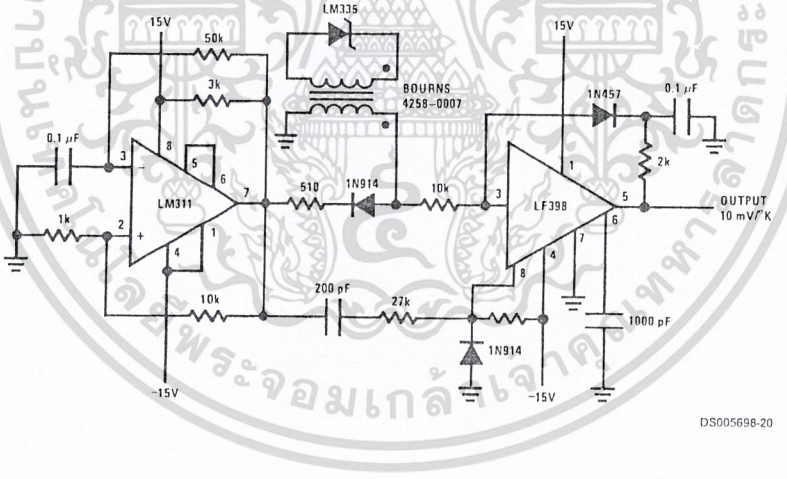
DS005698-19

Wire length for 1°C error due to wire drop

	I_R = 1 mA	I_R = 0.5 mA*
AWG	FEET	FEET
14	4000	8000
16	2500	5000
18	1600	3200
20	1000	2000
22	625	1250
24	400	800

*For I_R = 0.5 mA, the trim pot must be deleted.

Isolated Temperature Sensor

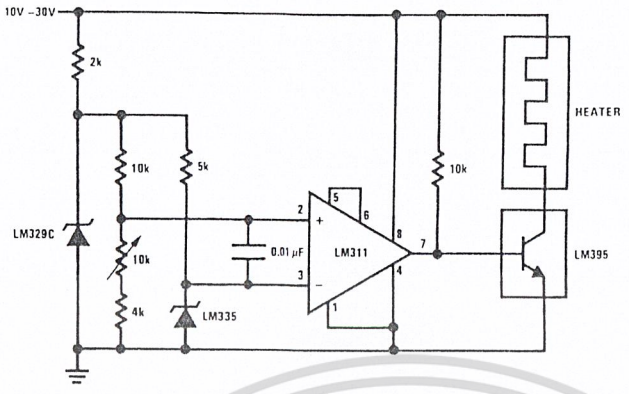


DS005698-20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

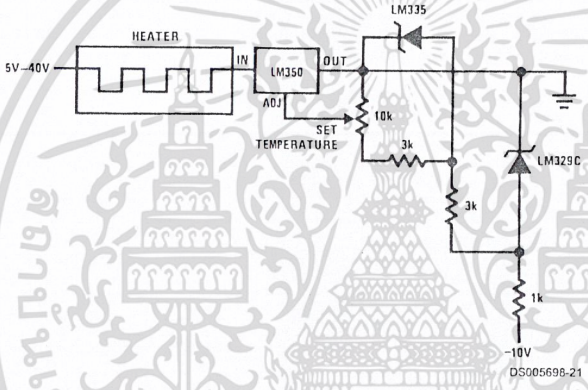
Typical Applications (Continued)

Simple Temperature Controller



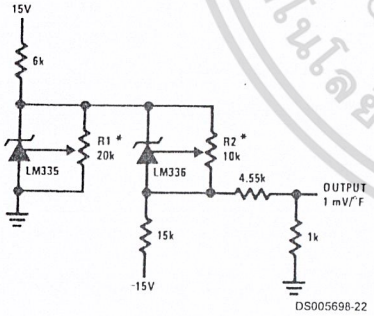
DS005698-5

Simple Temperature Control



DS005698-21

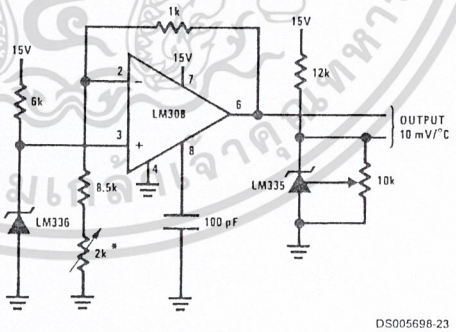
Ground Referred Fahrenheit Thermometer



DS005698-22

*Adjust R2 for 2.554V across LM336.
Adjust R1 for correct output.

Centigrade Thermometer



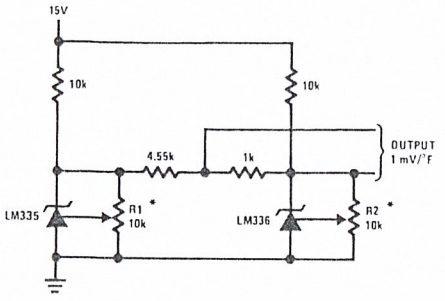
DS005698-23

*Adjust for 2.7315V at output of LM308

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

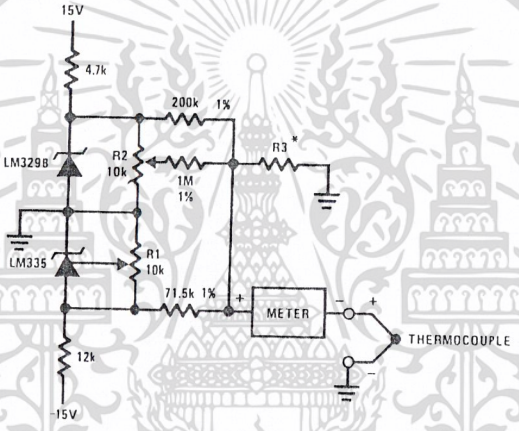
Fahrenheit Thermometer



DS005698-24

*To calibrate adjust R2 for 2.554V across LM336.
Adjust R1 for correct output.

THERMOCOUPLE COLD JUNCTION COMPENSATION
Compensation for Grounded Thermocouple



DS005698-6

*Select R3 for proper thermocouple type

THERMO-COUPLE	R3 (±1%)	SEEBECK COEFFICIENT
J	377Ω	52.3 µV/°C
T	308Ω	42.8 µV/°C
K	293Ω	40.8 µV/°C
S	45.8Ω	6.4 µV/°C

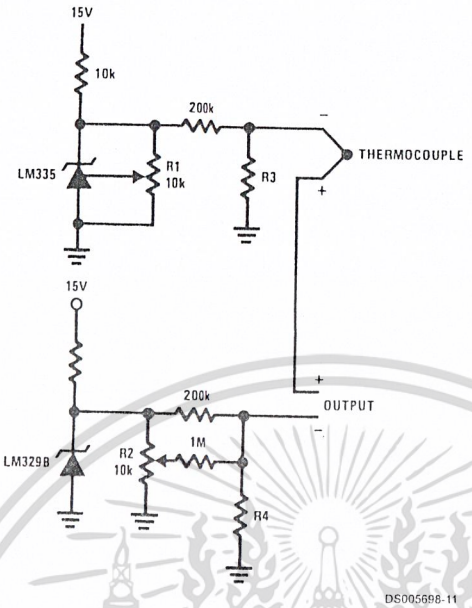
Adjustments: Compensates for both sensor and resistor tolerances
1. Short LM329B
2. Adjust R1 for Seebeck Coefficient times ambient temperature (in degrees K) across R3.
3. Short LM335 and adjust R2 for voltage across R3 corresponding to thermocouple type

J	14.32 mV	K	11.17 mV
T	11.79 mV	S	1.768 mV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

Single Power Supply Cold Junction Compensation



*Select R3 and R4 for thermocouple type

THERMO-COUPLE	R3	R4	SEEBECK COEFFICIENT
J	1.05K	385Ω	52.3 μV/°C
T	856Ω	315Ω	42.8 μV/°C
K	816Ω	300Ω	40.8 μV/°C
S	128Ω	46.3Ω	6.4 μV/°C

Adjustments:

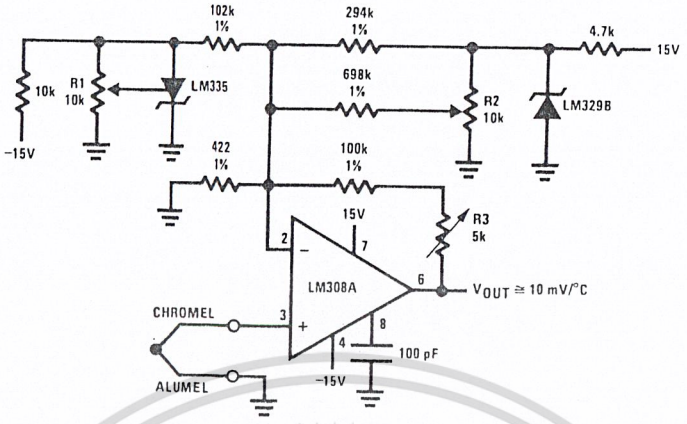
1. Adjust R1 for the voltage across R3 equal to the Seebeck Coefficient times ambient temperature in degrees Kelvin.
2. Adjust R2 for voltage across R4 corresponding to thermocouple

J	14.32 mV
T	11.79 mV
K	11.17 mV
S	1.768 mV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

Centigrade Calibrated Thermocouple Thermometer



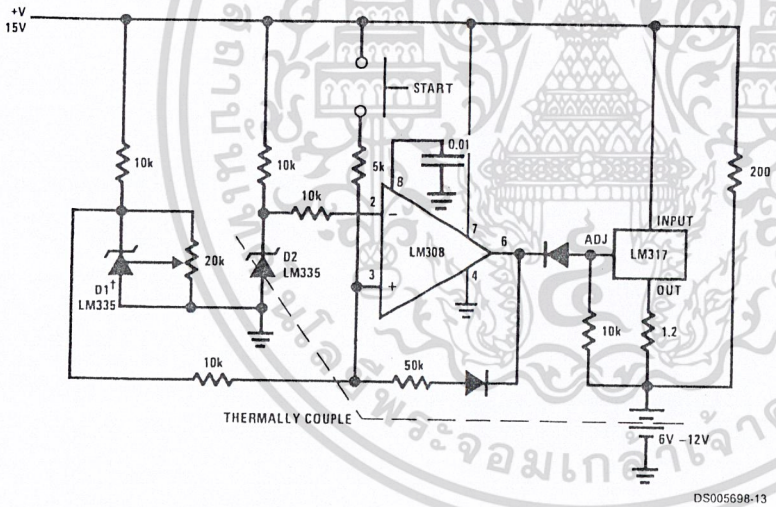
DS005698-12

Terminate thermocouple reference junction in close proximity to LM335.

Adjustments:

1. Apply signal in place of thermocouple and adjust R3 for a gain of 245.7.
2. Short non-inverting input of LM308A and output of LM329B to ground.
3. Adjust R1 so that V_{OUT} = 2.982V @ 25˚C.
4. Remove short across LM329B and adjust R2 so that V_{OUT} = 246 mV @ 25˚C.
5. Remove short across thermocouple.

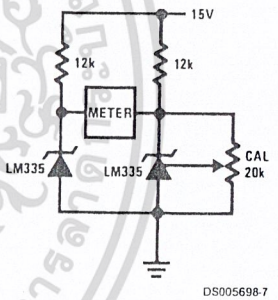
Fast Charger for Nickel-Cadmium Batteries



DS005698-13

†Adjust D1 to 50 mV greater V_Z than D2.
Charge terminates on 5˚C temperature rise. Couple D2 to battery.

Differential Temperature Sensor

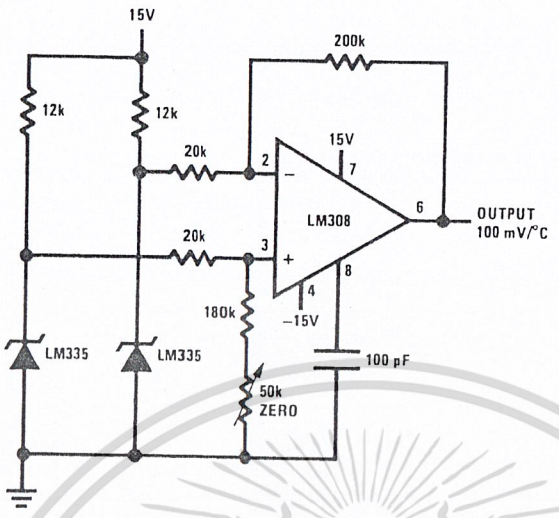


DS005698-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

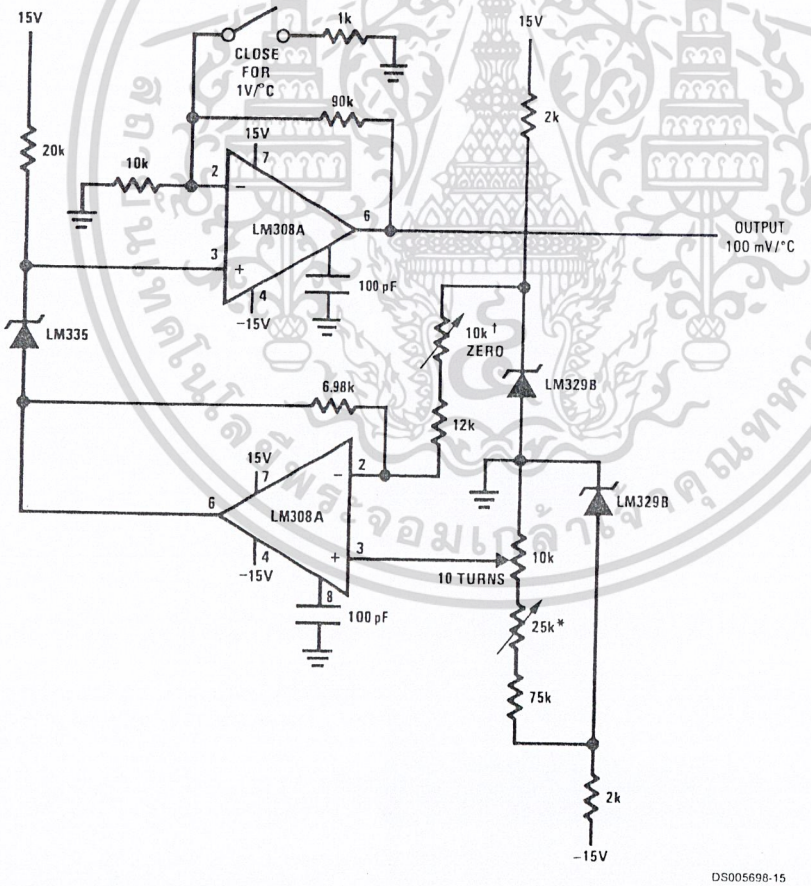
Typical Applications (Continued)

Differential Temperature Sensor



DS005698-14

Variable Offset Thermometer



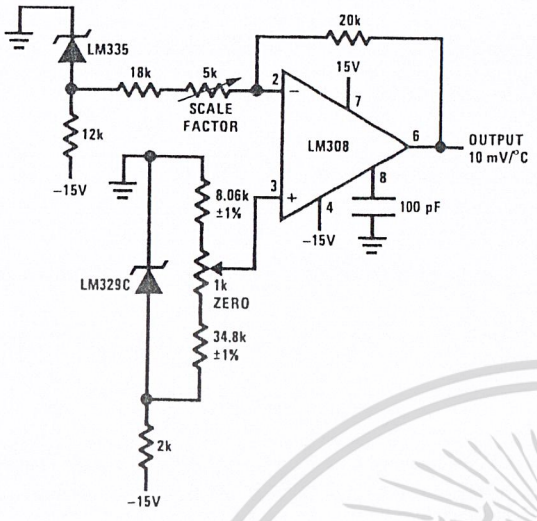
DS005698-15

†Adjust for zero with sensor at 0°C and 10T pot set at 0°C
*Adjust for zero output with 10T pot set at 100°C and sensor at 100°C
Output reads difference between temperature and dial setting of 10T pot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

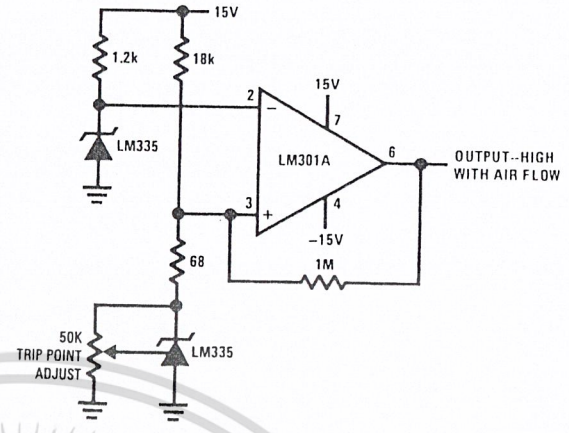
Typical Applications (Continued)

Ground Referred Centigrade Thermometer



DS005698-16

Air Flow Detector*



DS005698-17

*Self heating is used to detect air flow

Definition of Terms

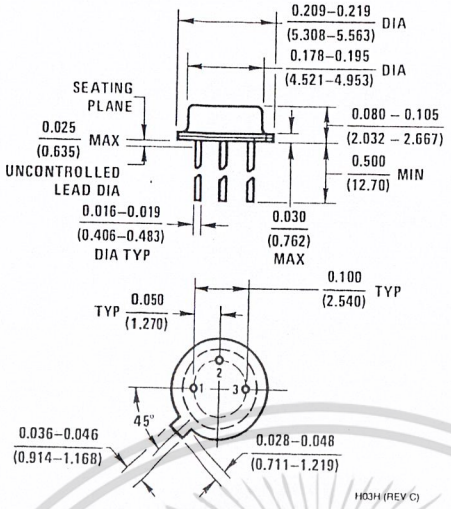
Operating Output Voltage: The voltage appearing across the positive and negative terminals of the device at specified conditions of operating temperature and current.

Uncalibrated Temperature Error: The error between the operating output voltage at 10 mV/°K and case temperature at specified conditions of current and case temperature.

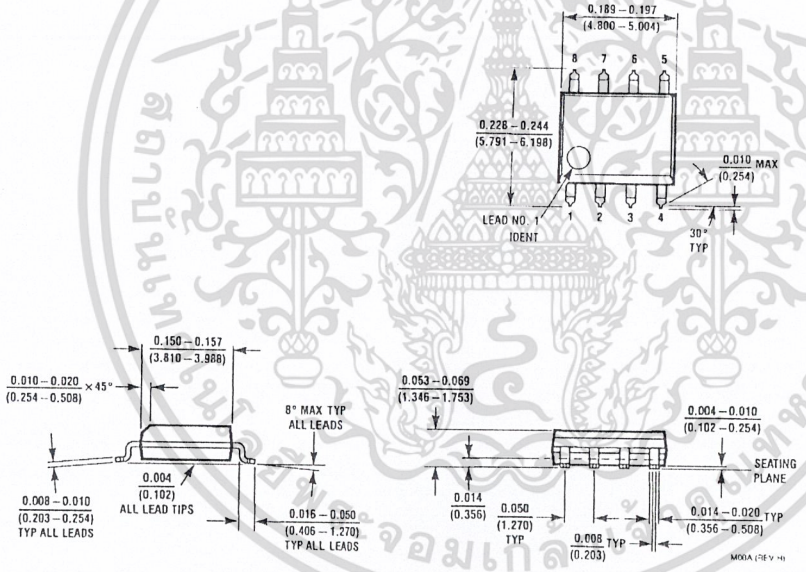
Calibrated Temperature Error: The error between operating output voltage and case temperature at 10 mV/°K over a temperature range at a specified operating current with the 25°C error adjusted to zero.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



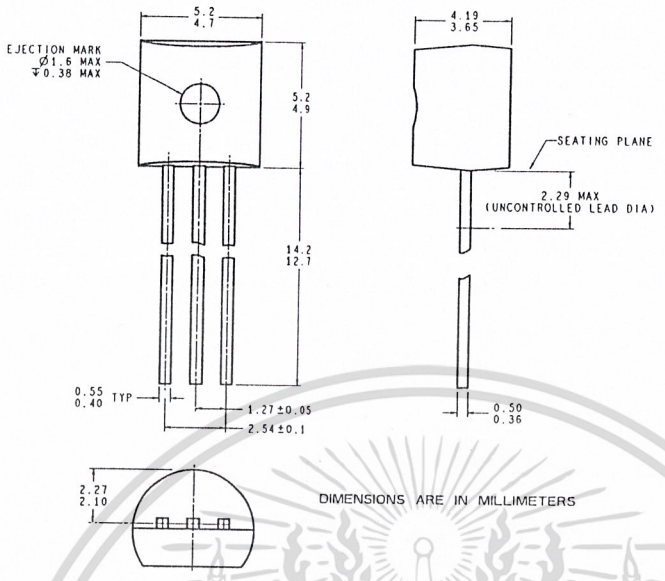
Metal Can Package (H)
Order Number LM135H, LM235H, LM335H, LM135AH, LM235AH or LM335AH
NS Package Number H03H



8-Lead Molded Small Outline Package (M)
Order Number LM335M
NS Package Number M08A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



Plastic Package
Order Number LM335Z or LM335AZ
NS Package Z03A

LIFE SUPPORT POLICY

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

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

National Semiconductor Corporation
Americas
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com
www.national.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

August 2000

LM741
Operational Amplifier

General Description

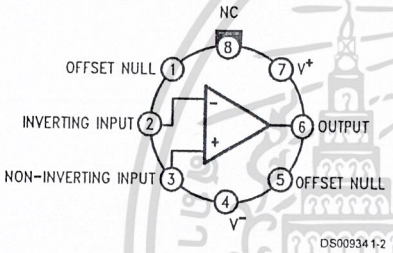
The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications.

The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

The LM741C is identical to the LM741/LM741A except that the LM741C has their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of −55°C to +125°C.

Connection Diagrams

Metal Can Package

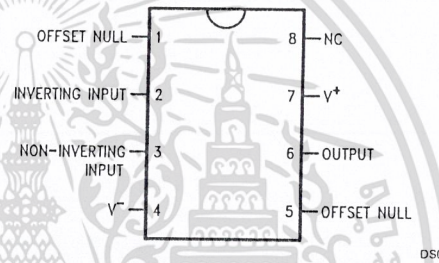


DS009341-2

Note 1: LM741H is available per JM38510/10101

Order Number LM741H, LM741H/883 (Note 1), **LM741AH/883 or LM741CH**
See NS Package Number H08C

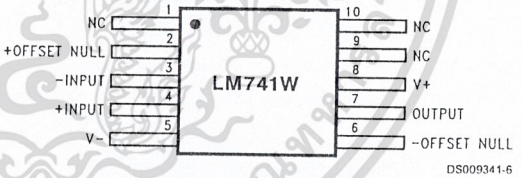
Dual-In-Line or S.O. Package



DS009341-3

Order Number LM741J, LM741J/883, LM741CN
See NS Package Number J08A, M08A or N08E

Ceramic Flatpak

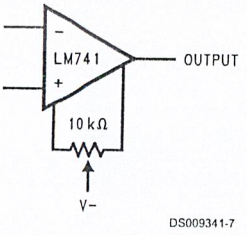


DS009341-6

Order Number LM741W/883
See NS Package Number W10A

Typical Application

Offset Nulling Circuit



DS009341-7

© 2000 National Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

(Note 7)

	LM741A	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation (Note 3)	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V
Input Voltage (Note 4)	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	−55°C to +125°C	−55°C to +125°C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C	−65°C to +150°C	−65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	150°C	100°C
Soldering Information			
N-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C
M-Package			
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

ESD Tolerance (Note 8)	400V	400V	400V

Electrical Characteristics (Note 5)

Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	T_A = 25°C										
	$R_S \le 10\ k\Omega$					1.0	5.0		2.0	6.0	mV
	$R_S \le 50\Omega$		0.8	3.0							mV
	$T_{AMIN} \le T_A \le T_{AMAX}$										
	$R_S \le 50\Omega$			4.0							mV
	$R_S \le 10\ k\Omega$						6.0			7.5	mV
Average Input Offset Voltage Drift				15							µV/°C
Input Offset Voltage Adjustment Range	T_A = 25°C, V_S = ±20V	±10				±15			±15		mV
Input Offset Current	T_A = 25°C		3.0	30		20	200		20	200	nA
	$T_{AMIN} \le T_A \le T_{AMAX}$			70		85	500			300	nA
Average Input Offset Current Drift				0.5							nA/°C
Input Bias Current	T_A = 25°C		30	80		80	500		80	500	nA
	$T_{AMIN} \le T_A \le T_{AMAX}$			0.210			1.5			0.8	µA
Input Resistance	T_A = 25°C, V_S = ±20V	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0		MΩ
	$T_{AMIN} \le T_A \le T_{AMAX}$, V_S = ±20V	0.5									MΩ
Input Voltage Range	T_A = 25°C							±12	±13		V
	$T_{AMIN} \le T_A \le T_{AMAX}$				±12	±13					V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 5) (Continued)

Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	T_A = 25°C, $R_L \geq 2$ kΩ										
	V_S = ±20V, V_O = ±15V	50									V/mV
	V_S = ±15V, V_O = ±10V				50	200		20	200		V/mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$, $R_L \geq 2$ kΩ,										
	V_S = ±20V, V_O = ±15V	32									V/mV
	V_S = ±15V, V_O = ±10V				25			15			V/mV
	V_S = ±5V, V_O = ±2V	10									V/mV
Output Voltage Swing	V_S = ±20V										
	$R_L \geq 10$ kΩ	±16									V
	$R_L \geq 2$ kΩ	±15									V
	V_S = ±15V										
	$R_L \geq 10$ kΩ				±12	±14		±12	±14		V
	$R_L \geq 2$ kΩ				±10	±13		±10	±13		V
Output Short Circuit Current	T_A = 25°C	10	25	35		25			25		mA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	10		40							mA
Common-Mode Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$										
	$R_S \leq 10$ kΩ, V_{CM} = ±12V				70	90		70	90		dB
	$R_S \leq 50$Ω, V_{CM} = ±12V	80	95								dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$, V_S = ±20V to V_S = ±5V										
	$R_S \leq 50$Ω	86	96								dB
	$R_S \leq 10$ kΩ				77	96		77	96		dB
Transient Response	T_A = 25°C, Unity Gain										
Rise Time			0.25	0.8		0.3			0.3		µs
Overshoot			6.0	20		5			5		%
Bandwidth (Note 6)	T_A = 25°C	0.437	1.5								MHz
Slew Rate	T_A = 25°C, Unity Gain	0.3	0.7			0.5			0.5		V/µs
Supply Current	T_A = 25°C					1.7	2.8		1.7	2.8	mA
Power Consumption	T_A = 25°C										
	V_S = ±20V		80	150							mW
	V_S = ±15V					50	85		50	85	mW
LM741A	V_S = ±20V										
	$T_A = T_{AMIN}$			165							mW
	$T_A = T_{AMAX}$			135							mW
LM741	V_S = ±15V										
	$T_A = T_{AMIN}$					60	100				mW
	$T_A = T_{AMAX}$					45	75				mW

Note 2: "Absolute Maximum Ratings" indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 5) (Continued)

Note 3: For operation at elevated temperatures, these devices must be derated based on thermal resistance, and T_j max. (listed under "Absolute Maximum Ratings"). $T_j = T_A + (\theta_{jA} P_D)$.

Thermal Resistance	Cerdip (J)	DIP (N)	HO8 (H)	SO-8 (M)
θ_{jA} (Junction to Ambient)	100˚C/W	100˚C/W	170˚C/W	195˚C/W
θ_{jC} (Junction to Case)	N/A	N/A	25˚C/W	N/A

Note 4: For supply voltages less than ±15V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

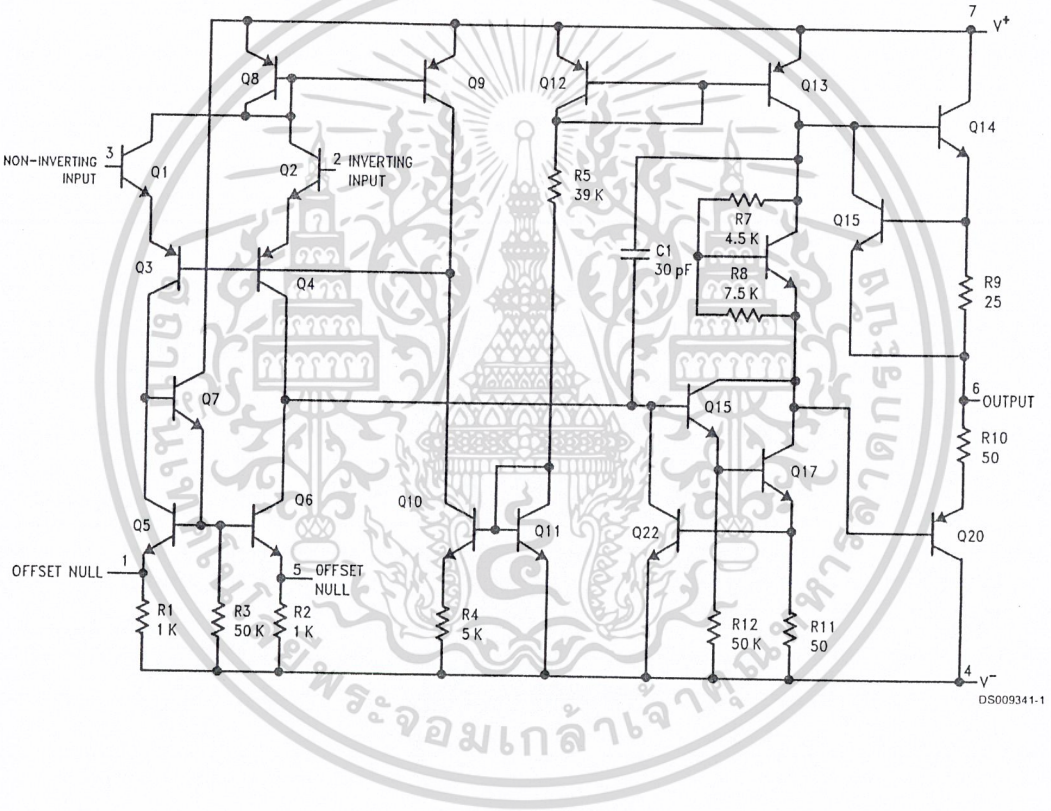
Note 5: Unless otherwise specified, these specifications apply for V_S = ±15V, −55˚C ≤ T_A ≤ +125˚C (LM741/LM741A). For the LM741C/LM741E, these specifications are limited to 0˚C ≤ T_A ≤ +70˚C.

Note 6: Calculated value from: BW (MHz) = 0.35/Rise Time(μs).

Note 7: For military specifications see RETS741X for LM741 and RETS741AX for LM741A.

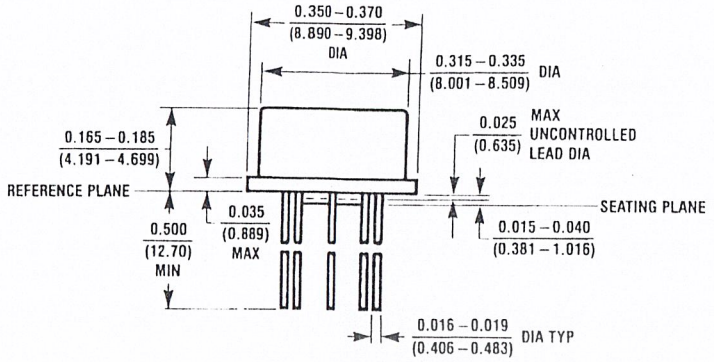
Note 8: Human body model, 1.5 kΩ in series with 100 pF.

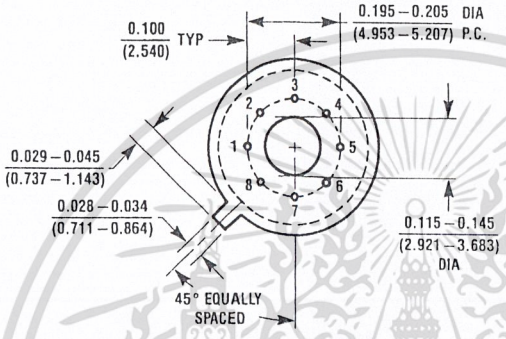
Schematic Diagram



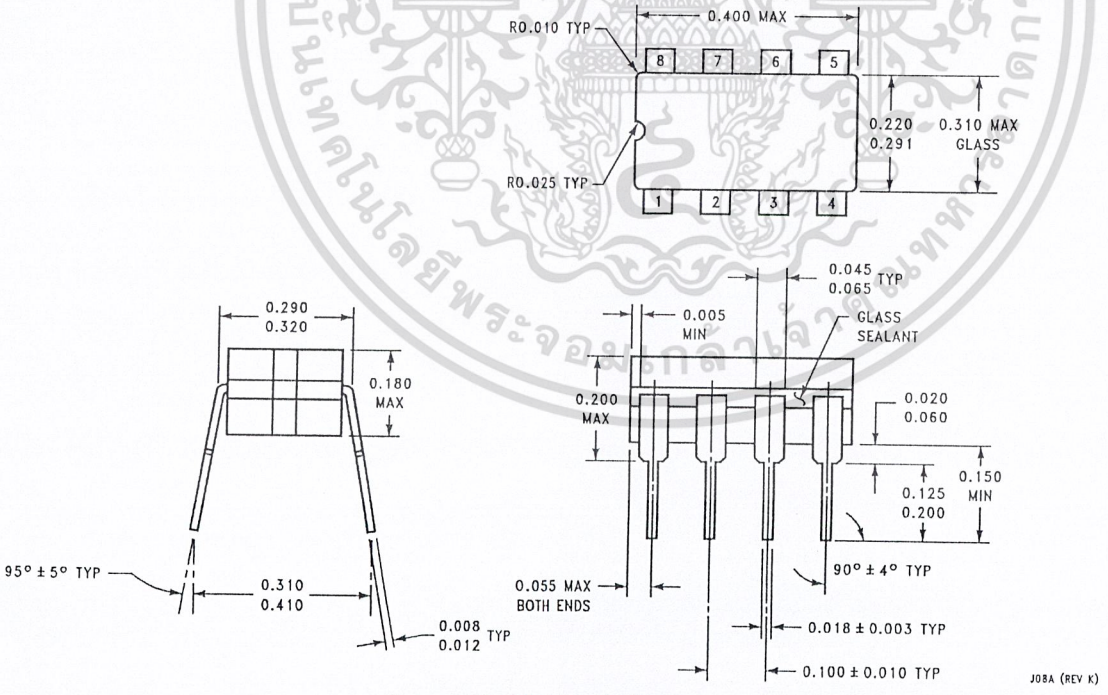
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted





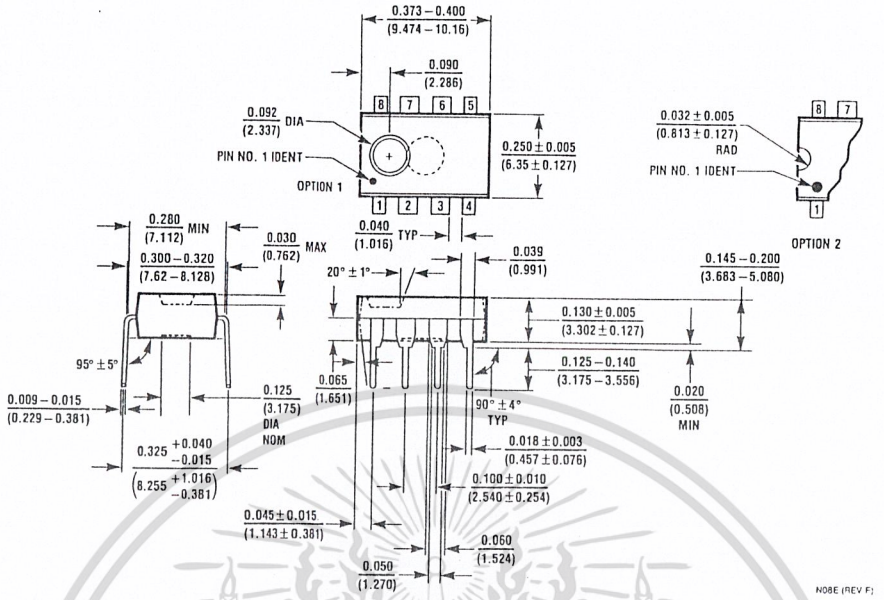
Metal Can Package (H)
Order Number LM741H, LM741H/883, LM741AH/883, LM741AH-MIL or LM741CH
NS Package Number H08C



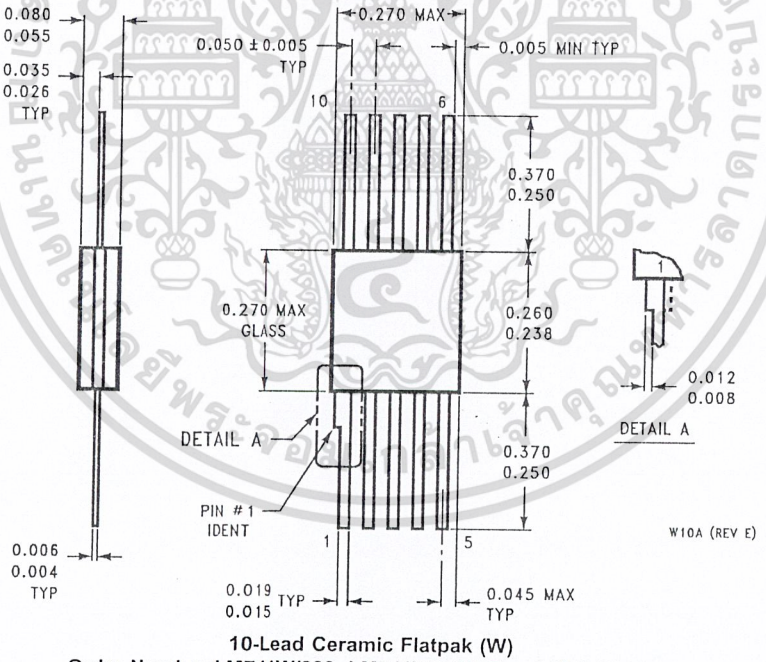
Ceramic Dual-In-Line Package (J)
Order Number LM741J/883
NS Package Number J08A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



Dual-In-Line Package (N)
Order Number LM741CN
NS Package Number N08E



10-Lead Ceramic Flatpak (W)
Order Number LM741W/883, LM741WG-MPR or LM741WG/883
NS Package Number W10A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Notes

LIFE SUPPORT POLICY

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

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

National Semiconductor Corporation
Americas
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com
www.national.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR TM

www.fairchildsemi.com

TL494

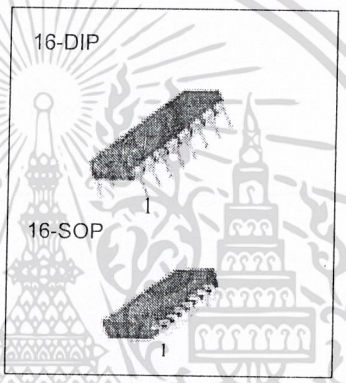
SMPS Controller

Features

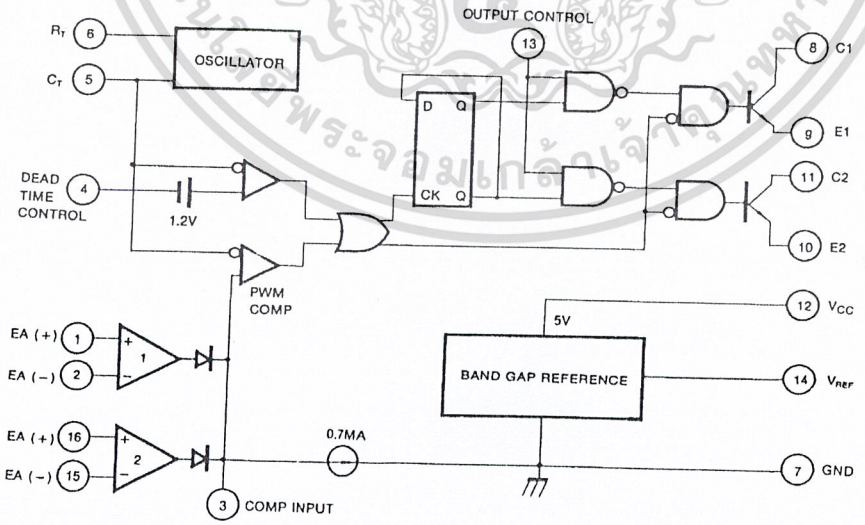
- Internal regulator provides a stable 5V reference supply trimmed to 5%
- Uncommitted output TR for 200mA sink or source current
- Output control for push-pull or single-ended operation
- Variable duty cycle by dead time control (pin 4) Complete PWM control circuit
- On-chip oscillator with master or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

Description

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



Internal Block Diagram



©2000 Fairchild Semiconductor International
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	V_{CC}	42	V
Collector Supply Voltage	V_C	42	V
Output Current	I_O	250	mA
Amplifier Input Voltage	V_{IN}	V_{CC} + 0.3	V
Power Dissipation (T_A = 25°C)	P_D	1 (TL494CN) 0.9 (TL494CD)	W
Operating Temperature Range	T_{OPR}	0 ~ +70	°C
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 ~ + 150	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics

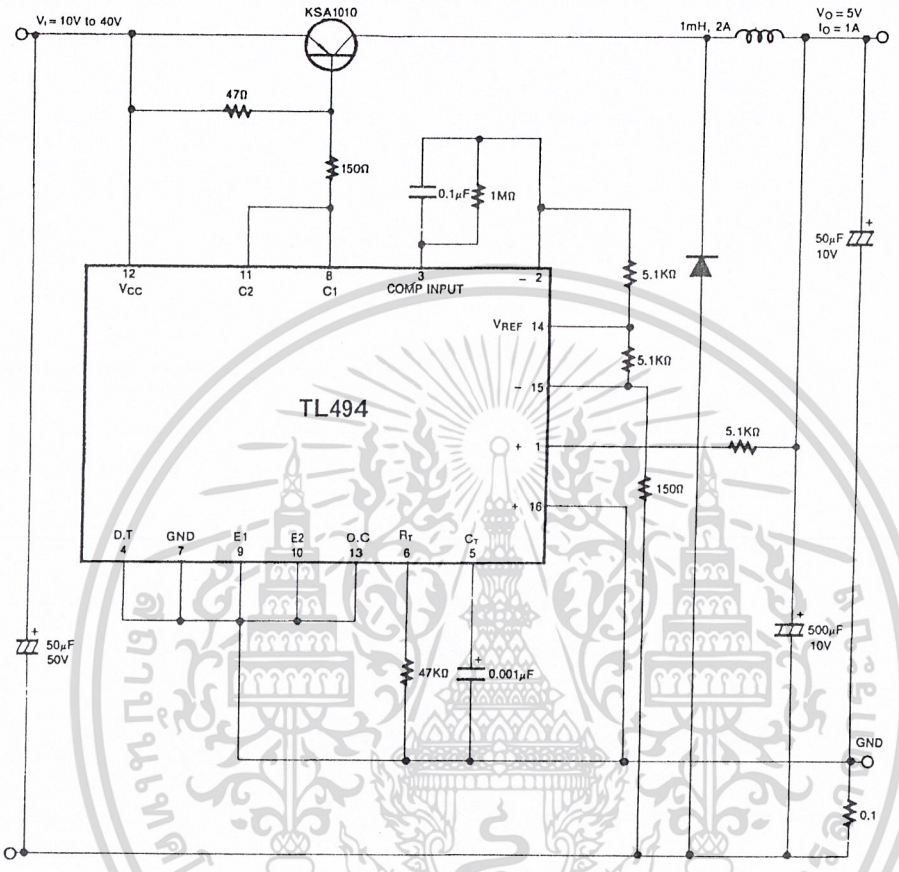
(V_{CC} = 20V, f = 10KHz, T_A = 0°C to + 70°C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
REFERENCE SECTION						
Reference Output Voltage	V_{REF}	I_{REF} = 1mA	4.75	5.0	5.25	V
Line Regulation	ΔV_{REF}	V_{CC} = 7V to 40V	-	2.0	25	mV
Temperature Coefficient of V_{REF}	$\Delta V_{REF}/\Delta T$	T_A = 0°C to 70°C	-	0.01	0.03	%/°C
Load Regulation	ΔV_{REF}	I_{REF} = 1mA to 10mA	-	1.0	15	mV
Short-Circuit Output Currnet	I_{SC}	V_{REF} = 0V	10	35	50	mA
OSCILLATOR SECTION						
Oscillation Frequency	f	C_T = 0.01μF, R_T = 12KΩ	-	10	-	KHz
Frequency Change with Temperature	$\Delta f/\Delta T$	C_T = 0.01μF, R_T = 12KΩ	-	-	2	%
DEAD TIME CONTROL SECTION						
Input Bias Current	I_{BIAS}	V_{CC} = 15V, 0V≤V_4≤5.25V	-	-2.0	-10	μA
Maximum Duty Cycle	$D_{(MAX)}$	V_{CC} = 15V, V_4 = 0V O.C Pin = V_{REF}	45	-	-	%
Input Threshold Voltage	V_{ITH}	Zero Duty Cycle	-	3.0	3.3	V
		Max. Duty Cycle	0	-	-	
ERROR AMP SECTION						
Input Offset Voltage	V_{IO}	V_3 = 2.5V	-	2.0	10	mV
Input Offset Current	I_{IO}	V_3 = 2.5V	-	25	250	mA
Input Bias Current	I_{BIAS}	V_3 = 2.5V	-	0.2	1.0	μA
Common Mode Input Voltage	V_{CM}	7V ≤ V_{CC} ≤ 40V	-0.3	-	V_{CC}	V
Open-Loop Voltage Gain	G_{VO}	0.5V ≤ V_3 ≤3 .5V	70	95	-	dB
Unit-Gain Bandwidth	BW	-	-	650	-	KHz
PWM COMPARATOR SECTION						
Input Threshold Voltage	V_{ITH}	Zero Duty Cycle	-	4	4.5	V
Input Sink Currnet	I_{SINK}	V_3=0.7V	-0.3	-0.7	-	mV
OUTPUT SECTION						
Output Saturation Voltage Common Emitter	$V_{CE(SAT)}$	V_E = 0, I_C = 200mA	-	1.1	1.3	V
Common Collector	$V_{CC(SAT)}$	V_C = 15V, I_E = -200mA	-	1.5	2.5	
Collector Off-State Currnet	$I_{C(OFF)}$	V_{CC} = 40V, V_{CE} = 40V	-	2	100	μA
Emitter Off-State Current	$I_{E(OFF)}$	V_{CC} = V_C = 40V, V_E = 0	-	-	-100	
TOTAL DEVICE						
Supply Current	I_{CC}	Pin 6 = V_{REF}, V_{CC} = 15V	-	6	10	mA
OUTPUT SWITCHING CHARACTERISTIC						
Rise Time	t_R	-	-	-	-	-
Common Emitter	-	-	-	100	200	ns
Common Collector	-	-	-	100	200	
Fall Time	t_F	-	-	-	-	-
Common Emitter	-	-	-	25	100	ns
Common Collector	-	-	-	40	100	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Application

Pulse Width Modulated Step-down Converter

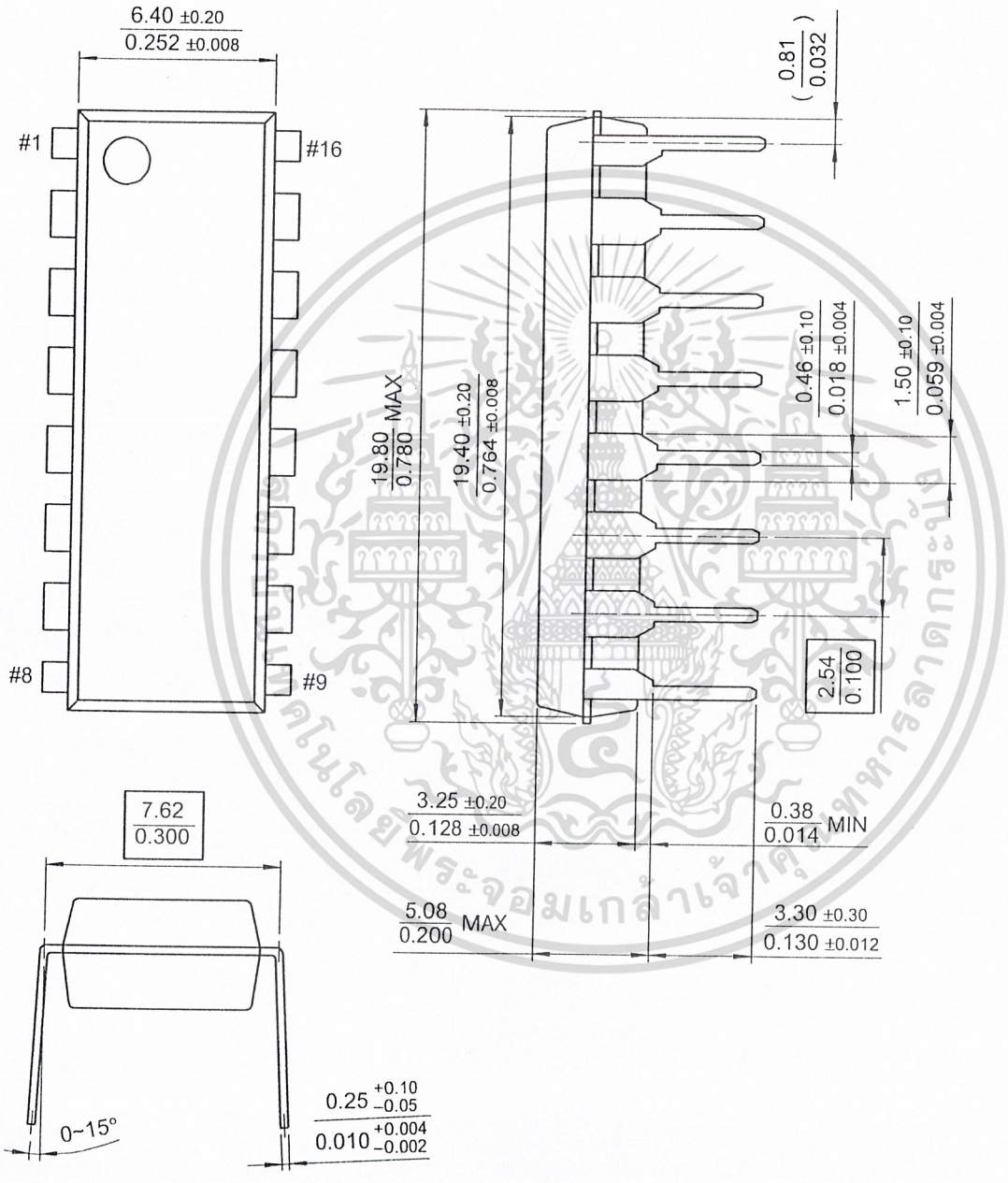


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mechanical Dimensions

Package

16-DIP

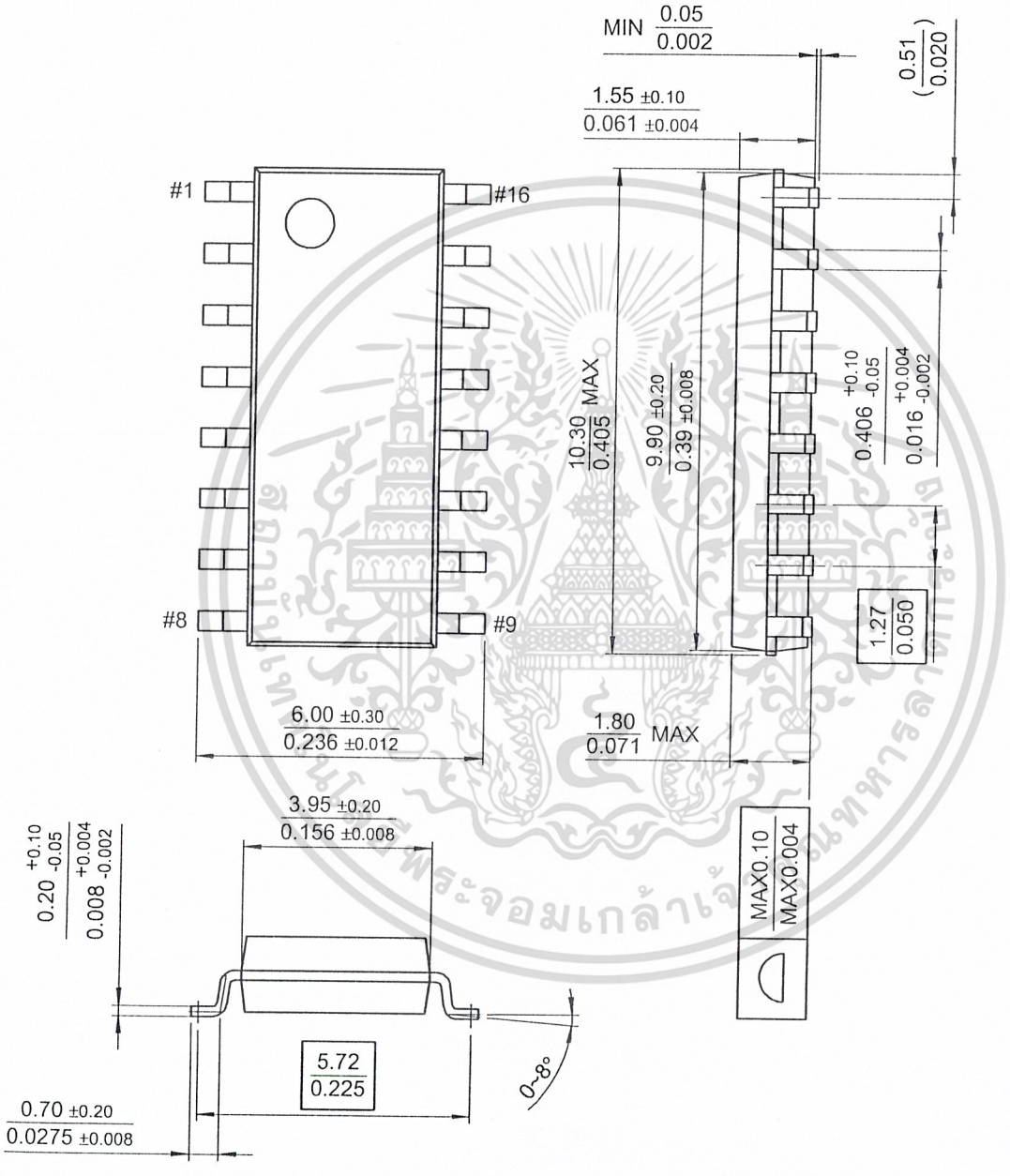


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mechanical Dimensions (Continued)

Package

16-SOP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ordering Information

Product Number	Package	Operating Temperature
TL494CN	16 DIP	0 ~ + 70°C
TL494CD	16 SOP	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LIFE SUPPORT POLICY

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

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

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

7/12/00 0.0m 001
Stock#DSxxxxxxxx
© 2000 Fairchild Semiconductor International

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HARRIS Semiconductor

ADC0802, ADC0803 ADC0804

8-Bit, Microprocessor-Compatible, A/D Converters

August 1997

Features

- 80C48 and 80C80/85 Bus Compatible - No Interfacing Logic Required
- Conversion Time < 100μs
- Easy Interface to Most Microprocessors
- Will Operate in a "Stand Alone" Mode
- Differential Analog Voltage Inputs
- Works with Bandgap Voltage References
- TTL Compatible Inputs and Outputs
- On-Chip Clock Generator
- 0V to 5V Analog Voltage Input Range (Single + 5V Supply)
- No Zero-Adjust Required

Description

The ADC0802 family are CMOS 8-Bit, successive-approximation A/D converters which use a modified potentiometric ladder and are designed to operate with the 8080A control bus via three-state outputs. These converters appear to the processor as memory locations or I/O ports, and hence no interfacing logic is required.

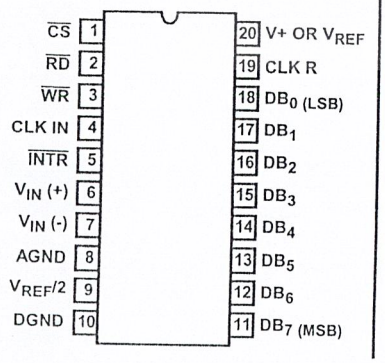
The differential analog voltage input has good common-mode-rejection and permits offsetting the analog zero-input-voltage value. In addition, the voltage reference input can be adjusted to allow encoding any smaller analog voltage span to the full 8 bits of resolution.

Ordering Information

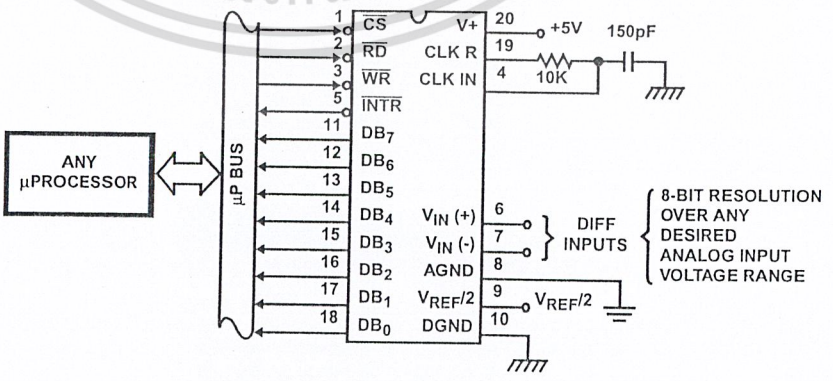
PART NUMBER	ERROR	EXTERNAL CONDITIONS	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO
ADC0802LCN	$\pm^1/_2$ LSB	$V_{REF}/2 = 2.500V_{DC}$ (No Adjustments)	0 to 70	20 Ld PDIP	E20.3
ADC0802LCD	$\pm^3/_4$ LSB		-40 to 85	20 Ld CERDIP	F20.3
ADC0802LD	±1 LSB		-55 to 125	20 Ld CERDIP	F20.3
ADC0803LCN	$\pm^1/_2$ LSB	$V_{REF}/2$ Adjusted for Correct Full Scale Reading	0 to 70	20 Ld PDIP	E20.3
ADC0803LCD	$\pm^3/_4$ LSB		-40 to 85	20 Ld CERDIP	F20.3
ADC0803LCWM	±1 LSB		-40 to 85	20 Ld SOIC	M20.3
ADC0803LD	±1 LSB		-55 to 125	20 Ld CERDIP	F20.3
ADC0804LCN	±1 LSB	$V_{REF}/2 = 2.500V_{DC}$ (No Adjustments)	0 to 70	20 Ld PDIP	E20.3
ADC0804LCD	±1 LSB		-40 to 85	20 Ld CERDIP	F20.3
ADC0804LCWM	±1 LSB		-40 to 85	20 Ld SOIC	M20.3

Pinout

ADC0802, ADC0803, ADC0804
(PDIP, CERDIP)
TOP VIEW



Typical Application Schematic



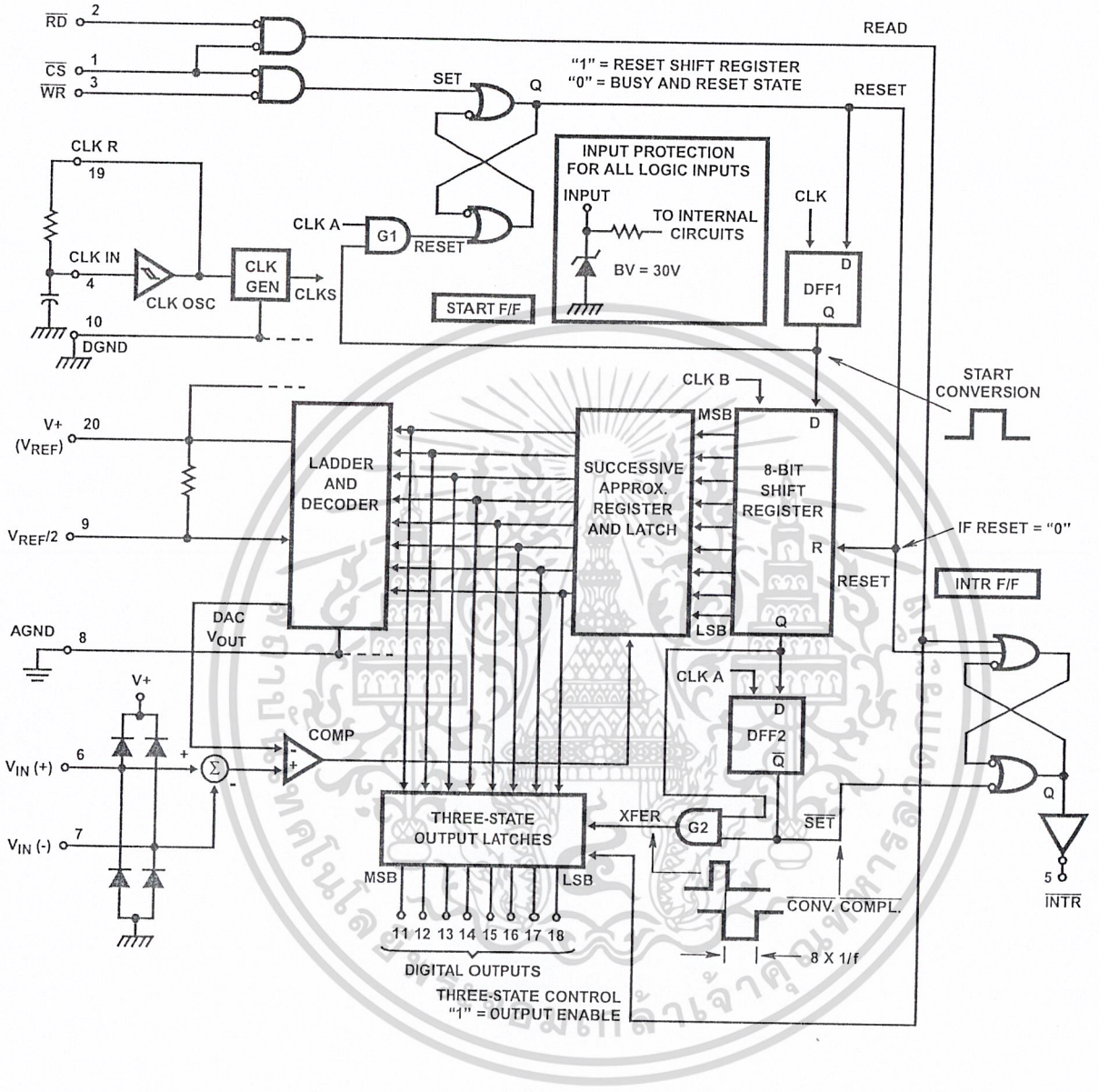
CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Users should follow proper IC Handling Procedures.

Copyright © Harris Corporation 1997

File Number 3094.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage 6.5V
Voltage at Any Input . . . . . -0.3V to (V^+ +0.3V)

Operating Conditions

Temperature Range
- ADC0802/03LD . . . . . -55°C to 125°C
- ADC0802/03/04LCD . . . . . -40°C to 85°C
- ADC0802/03/04LCN . . . . . 0°C to 70°C
- ADC0803/04LCWM . . . . . -40°C to 85°C

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 1)	θ_{JA} (°C/W)	θ_{JC} (°C/W)
PDIP Package	125	N/A
CERDIP Package	80	20
SOIC Package	120	N/A

Maximum Junction Temperature
- Hermetic Package . . . . . 175°C
- Plastic Package . . . . . 150°C

Maximum Storage Temperature Range . . . . . -65°C to 150°C
Maximum Lead Temperature (Soldering, 10s) . . . . . 300°C
(SOIC - Lead Tips Only)

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

1. θ_{JA} is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

Electrical Specifications (Notes 1, 7)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
CONVERTER SPECIFICATIONS V+ = 5V, T_A = 25°C and f_{CLK} = 640kHz, Unless Otherwise Specified					
Total Unadjusted Error					
ADC0802	$V_{REF}/2$ = 2.500V	-	-	$\pm 1/2$	LSB
ADC0803	$V_{REF}/2$ Adjusted for Correct Full Scale Reading	-	-	$\pm 1/2$	LSB
ADC0804	$V_{REF}/2$ = 2.500V	-	-	±1	LSB
$V_{REF}/2$ Input Resistance	Input Resistance at Pin 9	1.0	1.3	-	kΩ
Analog Input Voltage Range	(Note 2)	GND-0.05	-	(V+) + 0.05	V
DC Common-Mode Rejection	Over Analog Input Voltage Range	-	$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB
Power Supply Sensitivity	V+ = 5V ±10% Over Allowed Input Voltage Range	-	$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB
CONVERTER SPECIFICATIONS V+ = 5V, 0°C to 70°C and f_{CLK} = 640kHz, Unless Otherwise Specified					
Total Unadjusted Error					
ADC0802	$V_{REF}/2$ = 2.500V	-	-	$\pm 1/2$	LSB
ADC0803	$V_{REF}/2$ Adjusted for Correct Full Scale Reading	-	-	$\pm 1/2$	LSB
ADC0804	$V_{REF}/2$ = 2.500V	-	-	±1	LSB
$V_{REF}/2$ Input Resistance	Input Resistance at Pin 9	1.0	1.3	-	kΩ
Analog Input Voltage Range	(Note 2)	GND-0.05	-	(V+) + 0.05	V
DC Common-Mode Rejection	Over Analog Input Voltage Range	-	$\pm 1/8$	$\pm 1/4$	LSB
Power Supply Sensitivity	V+ = 5V ±10% Over Allowed Input Voltage Range	-	$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB
CONVERTER SPECIFICATIONS V+ = 5V, -25°C to 85°C and f_{CLK} = 640kHz, Unless Otherwise Specified					
Total Unadjusted Error					
ADC0802	$V_{REF}/2$ = 2.500V	-	-	$\pm 3/4$	LSB
ADC0803	$V_{REF}/2$ Adjusted for Correct Full Scale Reading	-	-	$\pm 3/4$	LSB
ADC0804	$V_{REF}/2$ = 2.500V	-	-	±1	LSB
$V_{REF}/2$ Input Resistance	Input Resistance at Pin 9	1.0	1.3	-	kΩ
Analog Input Voltage Range	(Note 2)	GND-0.05	-	(V+) + 0.05	V
DC Common-Mode Rejection	Over Analog Input Voltage Range	-	$\pm 1/8$	$\pm 1/4$	LSB
Power Supply Sensitivity	V+ = 5V ±10% Over Allowed Input Voltage Range	-	$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Specifications (Notes 1, 7) (Continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
CONVERTER SPECIFICATIONS V+ = 5V, -55°C to 125°C and f_{CLK} = 640kHz, Unless Otherwise Specified					
Total Unadjusted Error					
ADC0802	$V_{REF}/2$ = 2.500V	-	-	±1	LSB
ADC0803	$V_{REF}/2$ Adjusted for Correct Full Scale Reading	-	-	±1	LSB
$V_{REF}/2$ Input Resistance	Input Resistance at Pin 9	1.0	1.3	-	kΩ
Analog Input Voltage Range	(Note 2)	GND-0.05	-	(V+) + 0.05	V
DC Common-Mode Rejection	Over Analog Input Voltage Range	-	$\pm 1/8$	$\pm 1/4$	LSB
Power Supply Sensitivity	V+ = 5V ±10% Over Allowed Input Voltage Range	-	$\pm 1/8$	$\pm 1/4$	LSB
AC TIMING SPECIFICATIONS V+ = 5V, and T_A = 25°C, Unless Otherwise Specified					
Clock Frequency, f_{CLK}	V+ = 6V (Note 3)	100	640	1280	kHz
	V+ = 5V	100	640	800	kHz
Clock Periods per Conversion (Note 4), t_{CONV}		62	-	73	Clocks/Conv
Conversion Rate In Free-Running Mode, CR	$\overline{INTR}$ tied to $\overline{WR}$ with $\overline{CS}$ = 0V, f_{CLK} = 640kHz	-	-	8888	Conv/s
Width of $\overline{WR}$ Input (Start Pulse Width), $t_{W(WR)I}$	$\overline{CS}$ = 0V (Note 5)	100	-	-	ns
Access Time (Delay from Falling Edge of $\overline{RD}$ to Output Data Valid), t_{ACC}	C_L = 100pF (Use Bus Driver IC for Larger C_L)	-	135	200	ns
Three-State Control (Delay from Rising Edge of $\overline{RD}$ to HI-Z State), t_{1H}, t_{0H}	C_L = 10pF, R_L = 10K (See Three-State Test Circuits)	-	125	250	ns
Delay from Falling Edge of $\overline{WR}$ to Reset of $\overline{INTR}$, t_{WI}, t_{RI}		-	300	450	ns
Input Capacitance of Logic Control Inputs, C_{IN}		-	5	-	pF
Three-State Output Capacitance (Data Buffers), C_{OUT}		-	5	-	pF
DC DIGITAL LEVELS AND DC SPECIFICATIONS V+ = 5V, and T_{MIN} to T_{MAX}, Unless Otherwise Specified					
CONTROL INPUTS (Note 6)					
Logic "1" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN), V_{INH}	V+ = 5.25V	2.0	-	V+	V
Logic "0" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN), V_{INL}	V+ = 4.75V	-	-	0.8	V
CLK IN (Pin 4) Positive Going Threshold Voltage, $V+_{CLK}$		2.7	3.1	3.5	V
CLK IN (Pin 4) Negative Going Threshold Voltage, $V-_{CLK}$		1.5	1.8	2.1	V
CLK IN (Pin 4) Hysteresis, V_H		0.6	1.3	2.0	V
Logic "1" Input Current (All Inputs), I_{INHI}	V_{IN} = 5V	-	0.005	1	µA
Logic "0" Input Current (All Inputs), I_{INLO}	V_{IN} = 0V	-1	-0.005	-	µA
Supply Current (Includes Ladder Current), I+	f_{CLK} = 640kHz, T_A = 25°C and $\overline{CS}$ = HI	-	1.3	2.5	mA
DATA OUTPUTS AND $\overline{INTR}$					
Logic "0" Output Voltage, V_{OL}	I_O = 1.6mA, V+ = 4.75V	-	-	0.4	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Specifications (Notes 1, 7) (Continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Logic "1" Output Voltage, V_{OH}	I_O = -360µA, V+ = 4.75V	2.4	-	-	V
Three-State Disabled Output Leakage (All Data Buffers), I_{LO}	V_{OUT} = 0V	-3	-	-	µA
	V_{OUT} = 5V	-	-	3	µA
Output Short Circuit Current, I_{SOURCE}	V_{OUT} Short to Gnd T_A = 25°C	4.5	6	-	mA
Output Short Circuit Current, I_{SINK}	V_{OUT} Short to V+ T_A = 25°C	9.0	16	-	mA

NOTES:

1. All voltages are measured with respect to GND, unless otherwise specified. The separate AGND point should always be wired to the DGND, being careful to avoid ground loops.
2. For $V_{IN(-)} \geq V_{IN(+)}$ the digital output code will be 0000 0000. Two on-chip diodes are tied to each analog input (see Block Diagram) which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the V+ supply. Be careful, during testing at low V+ levels (4.5V), as high level analog inputs (5V) can cause this input diode to conduct - especially at elevated temperatures, and cause errors for analog inputs near full scale. As long as the analog V_{IN} does not exceed the supply voltage by more than 50mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0V to 5V input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of 4.950V over temperature variations, initial tolerance and loading.
3. With V+ = 6V, the digital logic interfaces are no longer TTL compatible.
4. With an asynchronous start pulse, up to 8 clock periods may be required before the internal clock phases are proper to start the conversion process.
5. The $\overline{CS}$ input is assumed to bracket the $\overline{WR}$ strobe input so that timing is dependent on the $\overline{WR}$ pulse width. An arbitrarily wide pulse width will hold the converter in a reset mode and the start of conversion is initiated by the low to high transition of the $\overline{WR}$ pulse (see Timing Diagrams).
6. CLK IN (pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately.
7. None of these A/Ds requires a zero-adjust. However, if an all zero code is desired for an analog input other than 0V, or if a narrow full scale span exists (for example: 0.5V to 4V full scale) the $V_{IN(-)}$ input can be adjusted to achieve this. See the Zero Error description in this data sheet.

Timing Waveforms

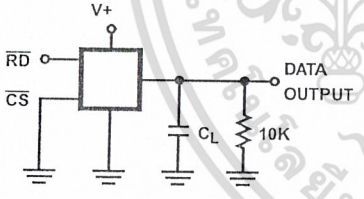


FIGURE 1A. t_{1H}

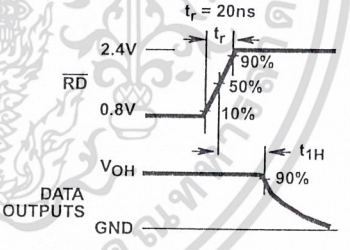


FIGURE 1B. t_{1H}, C_L = 10pF

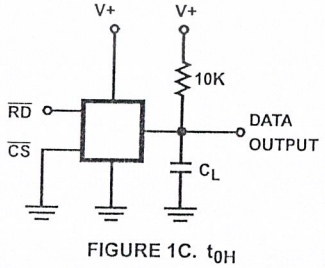


FIGURE 1C. t_{0H}

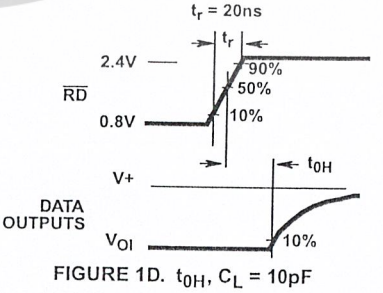


FIGURE 1D. t_{0H}, C_L = 10pF

FIGURE 1. THREE-STATE CIRCUITS AND WAVEFORMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Curves

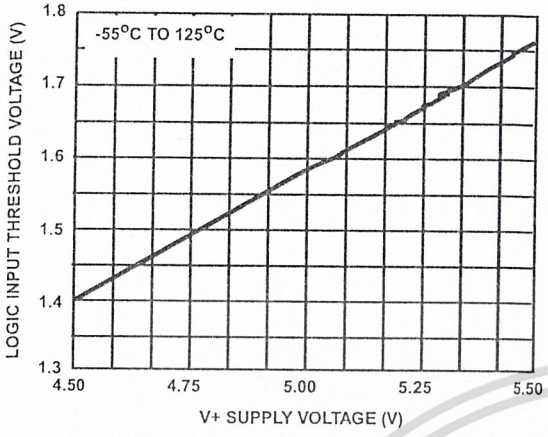


FIGURE 2. LOGIC INPUT THRESHOLD VOLTAGE vs SUPPLY VOLTAGE

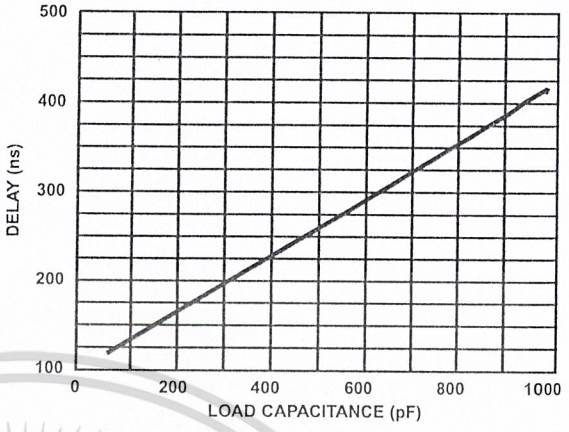


FIGURE 3. DELAY FROM FALLING EDGE OF $\overline{RD}$ TO OUTPUT DATA VALID vs LOAD CAPACITANCE

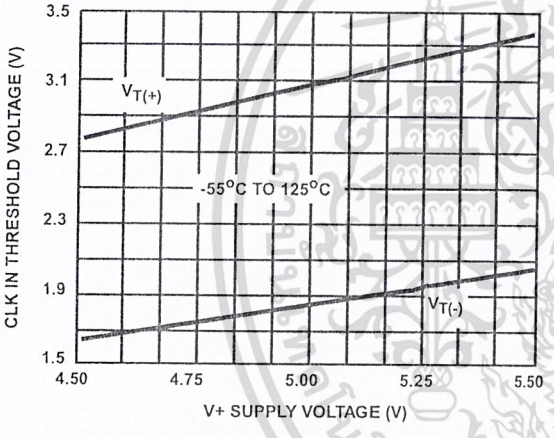


FIGURE 4. CLK IN SCHMITT TRIP LEVELS vs SUPPLY VOLTAGE

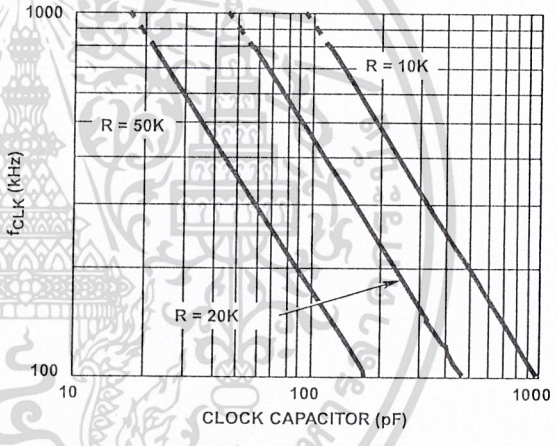


FIGURE 5. f_{CLK} vs CLOCK CAPACITOR

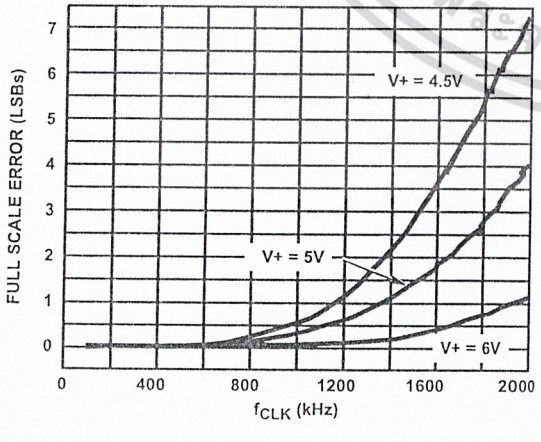


FIGURE 6. FULL SCALE ERROR vs f_{CLK}

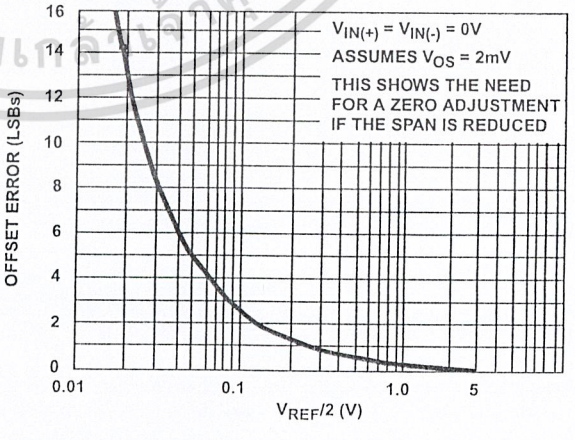


FIGURE 7. EFFECT OF UNADJUSTED OFFSET ERROR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Curves (Continued)

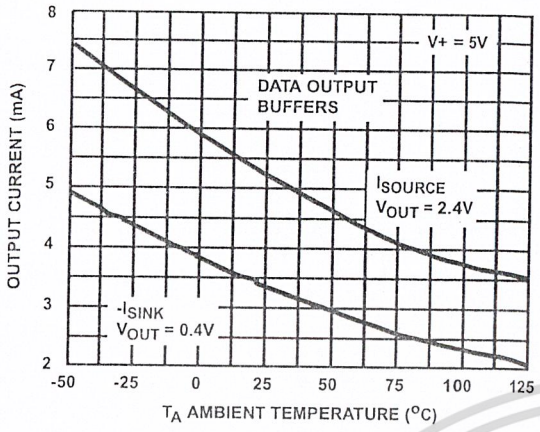


FIGURE 8. OUTPUT CURRENT vs TEMPERATURE

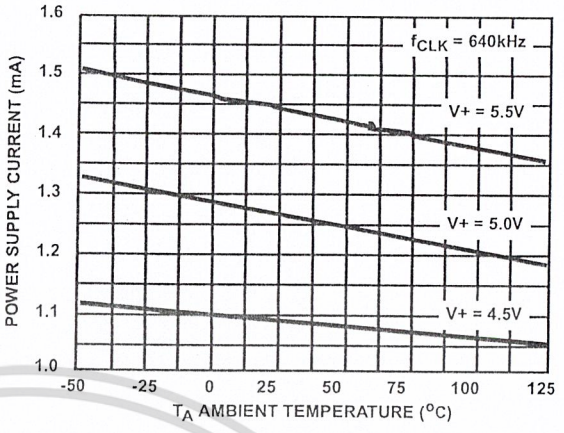


FIGURE 9. POWER SUPPLY CURRENT vs TEMPERATURE

Timing Diagrams

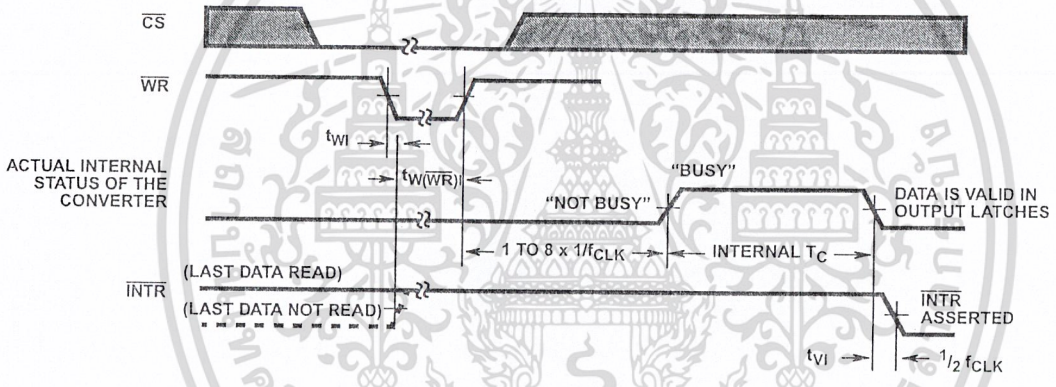


FIGURE 10A. START CONVERSION

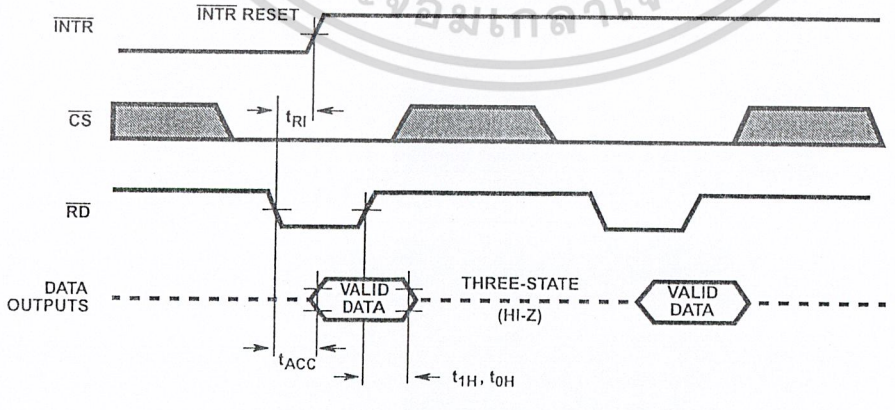


FIGURE 10B. OUTPUT ENABLE AND RESET INTR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

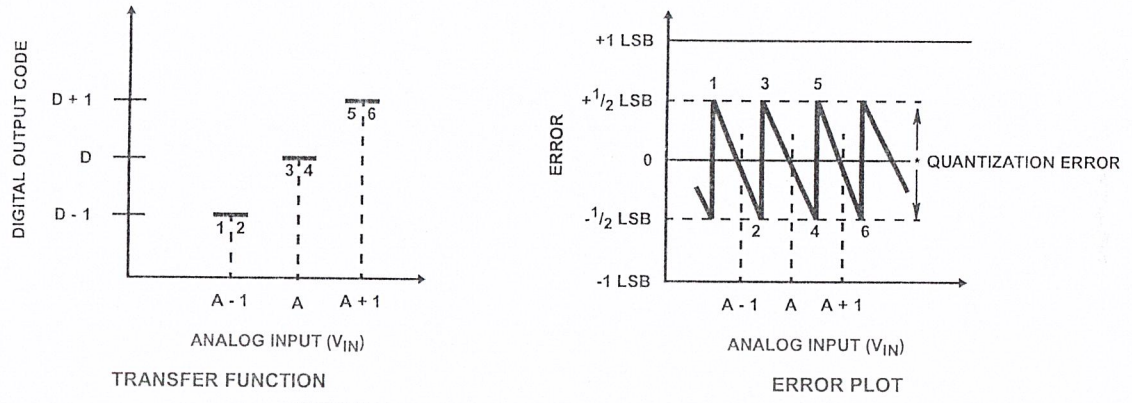


FIGURE 11A. ACCURACY = ±0 LSB; PERFECT A/D

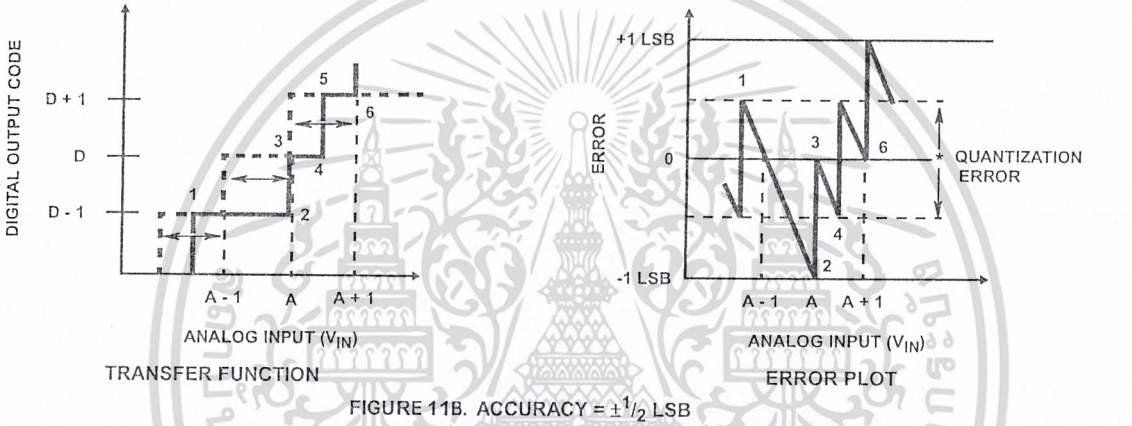


FIGURE 11B. ACCURACY = $\pm^1/_2$ LSB

FIGURE 11. CLARIFYING THE ERROR SPECS OF AN A/D CONVERTER

Understanding A/D Error Specs

A perfect A/D transfer characteristic (staircase wave-form) is shown in Figure 11A. The horizontal scale is analog input voltage and the particular points labeled are in steps of 1 LSB (19.53mV with 2.5V tied to the $V_{REF}/2$ pin). The digital output codes which correspond to these inputs are shown as D-1, D, and D+1. For the perfect A/D, not only will center-value (A - 1, A, A + 1, . . .) analog inputs produce the correct output digital codes, but also each riser (the transitions between adjacent output codes) will be located $\pm^1/_2$ LSB away from each center-value. As shown, the risers are ideal and have no width. Correct digital output codes will be provided for a range of analog input voltages which extend $\pm^1/_2$ LSB from the ideal center-values. Each tread (the range of analog input voltage which provides the same digital output code) is therefore 1 LSB wide.

The error curve of Figure 11B shows the worst case transfer function for the ADC0802. Here the specification guarantees that if we apply an analog input equal to the LSB analog voltage center-value, the A/D will produce the correct digital code.

Next to each transfer function is shown the corresponding error plot. Notice that the error includes the quantization uncertainty of the A/D. For example, the error at point 1 of Figure 11A is $+^1/_2$ LSB because the digital code appeared $^1/_2$ LSB in advance of the center-value of the tread. The error plots always have a constant negative slope and the abrupt upside steps are always 1 LSB in magnitude, unless the device has missing codes.

Detailed Description

The functional diagram of the ADC0802 series of A/D converters operates on the successive approximation principle (see Application Notes AN016 and AN020 for a more detailed description of this principle). Analog switches are closed sequentially by successive-approximation logic until the analog differential input voltage [$V_{IN(+)}$ - $V_{IN(-)}$] matches a voltage derived from a tapped resistor string across the reference voltage. The most significant bit is tested first and after 8 comparisons (64 clock cycles), an 8-bit binary code (1111 1111 = full scale) is transferred to an output latch.

The normal operation proceeds as follows. On the high-to-low transition of the WR input, the internal SAR latches and the shift-register stages are reset, and the INTR output will be set high. As long as the CS input and WR input remain low, the A/D will remain in a reset state. Conversion will start from 1 to 8 clock periods after at least one of these inputs makes a low-to-high transition. After the requisite number of clock pulses to complete the conversion, the INTR pin will make a high-to-low transition. This can be used to interrupt a processor, or otherwise signal the availability of a new conversion. A RD operation (with CS low) will clear the INTR line high again.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The device may be operated in the free-running mode by connecting INTR to the WR input with CS = 0. To ensure start-up under all possible conditions, an external WR pulse is required during the first power-up cycle. A conversion-in-process can be interrupted by issuing a second start command.

Digital Operation

The converter is started by having CS and WR simultaneously low. This sets the start flip-flop (F/F) and the resulting "1" level resets the 8-bit shift register, resets the Interrupt (INTR) F/F and inputs a "1" to the D flip-flop, DFF1, which is at the input end of the 8-bit shift register. Internal clock signals then transfer this "1" to the Q output of DFF1. The AND gate, G1, combines this "1" output with a clock signal to provide a reset signal to the start F/F. If the set signal is no longer present (either WR or CS is a "1"), the start F/F is reset and the 8-bit shift register then can have the "1" clocked in, which starts the conversion process. If the set signal were to still be present, this reset pulse would have no effect (both outputs of the start F/F would be at a "1" level) and the 8-bit shift register would continue to be held in the reset mode. This allows for asynchronous or wide CS and WR signals.

After the "1" is clocked through the 8-bit shift register (which completes the SAR operation) it appears as the input to DFF2. As soon as this "1" is output from the shift register, the AND gate, G2, causes the new digital word to transfer to the Three-State output latches. When DFF2 is subsequently clocked, the $\overline{Q}$ output makes a high-to-low transition which causes the INTR F/F to set. An inverting buffer then supplies the $\overline{INTR}$ output signal.

When data is to be read, the combination of both $\overline{CS}$ and $\overline{RD}$ being low will cause the INTR F/F to be reset and the three-state output latches will be enabled to provide the 8-bit digital outputs.

Digital Control Inputs

The digital control inputs (CS, RD, and WR) meet standard TTL logic voltage levels. These signals are essentially equivalent to the standard A/D Start and Output Enable control signals, and are active low to allow an easy interface to microprocessor control busses. For non-microprocessor based applications, the CS input (pin 1) can be grounded and the standard A/D Start function obtained by an active low pulse at the WR input (pin 3). The Output Enable function is achieved by an active low pulse at the RD input (pin 2).

Analog Operation

The analog comparisons are performed by a capacitive charge summing circuit. Three capacitors (with precise ratioed values) share a common node with the input to an auto-zeroed comparator. The input capacitor is switched between $V_{IN(+)}$ and $V_{IN(-)}$, while two ratioed reference capacitors are switched between taps on the reference voltage divider string. The net charge corresponds to the weighted difference between the input and the current total value set by the successive approximation register. A correction is made to offset the comparison by $^1/_2$ LSB (see Figure 11A).

Analog Differential Voltage Inputs and Common-Mode Rejection

This A/D gains considerable applications flexibility from the analog differential voltage input. The $V_{IN(-)}$ input (pin 7) can be used to automatically subtract a fixed voltage value from the input reading (tare correction). This is also useful in 4mA - 20mA current loop conversion. In addition, common-mode noise can be reduced by use of the differential input.

The time interval between sampling $V_{IN(+)}$ and $V_{IN(-)}$ is $4^1/_2$ clock periods. The maximum error voltage due to this slight time difference between the input voltage samples is given by:

$$\Delta V_E(MAX) = (V_{PEAK})(2\pi f_{CM})\left[\frac{4.5}{f_{CLK}}\right]$$

where:

ΔV_E is the error voltage due to sampling delay,

V_{PEAK} is the peak value of the common-mode voltage,

f_{CM} is the common-mode frequency.

For example, with a 60Hz common-mode frequency, f_{CM}, and a 640kHz A/D clock, f_{CLK}, keeping this error to $^1/_4$ LSB (~5mV) would allow a common-mode voltage, V_{PEAK}, given by:

$$V_{PEAK} = \frac{\left[\Delta V_{E(MAX)}(f_{CLK})\right]}{(2\pi f_{CM})(4.5)},$$

or

$$V_{PEAK} = \frac{(5\times10^{-3})(640\times10^{3})}{(6.28)(60)(4.5)} \cong 1.9V.$$

The allowed range of analog input voltage usually places more severe restrictions on input common-mode voltage levels than this.

An analog input voltage with a reduced span and a relatively large zero offset can be easily handled by making use of the differential input (see Reference Voltage Span Adjust).

Analog Input Current

The internal switching action causes displacement currents to flow at the analog inputs. The voltage on the on-chip capacitance to ground is switched through the analog differential input voltage, resulting in proportional currents entering the $V_{IN(+)}$ input and leaving the $V_{IN(-)}$ input. These current transients occur at the leading edge of the internal clocks. They rapidly decay and do not inherently cause errors as the on-chip comparator is strobed at the end of the clock perlod.

Input Bypass Capacitors

Bypass capacitors at the inputs will average these charges and cause a DC current to flow through the output resistances of the analog signal sources. This charge pumping action is worse for continuous conversions with the $V_{IN(+)}$ input voltage at full scale. For a 640kHz clock frequency with the $V_{IN(+)}$ input at 5V, this DC current is at a maximum of approximately 5μA. Therefore, **bypass capacitors should not be used at the analog inputs or the $V_{REF}/2$** pin for high resistance sources (>1kΩ). If input bypass capacitors are necessary for noise filtering and high source resistance is desirable to minimize capacitor size, the effects of the voltage drop across this input resistance, due to the average value of the input current, can be compensated by a full scale adjustment while the given source resistor and input bypass capacitor are both in place. This is possible because the average value of the input current is a precise linear function of the differential input voltage at a constant conversion rate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Input Source Resistance

Large values of source resistance where an input bypass capacitor is not used will not cause errors since the input currents settle out prior to the comparison time. If a low-pass filter is required in the system, use a low-value series resistor (≤1kΩ) for a passive RC section or add an op amp RC active low-pass filter. For low-source-resistance applications (≤1kΩ), a 0.1μF bypass capacitor at the inputs will minimize EMI due to the series lead inductance of a long wire. A 100Ω series resistor can be used to isolate this capacitor (both the R and C are placed outside the feedback loop) from the output of an op amp, if used.

Stray Pickup

The leads to the analog inputs (pins 6 and 7) should be kept as short as possible to minimize stray signal pickup (EMI). Both EMI and undesired digital-clock coupling to these inputs can cause system errors. The source resistance for these inputs should, in general, be kept below 5kΩ. Larger values of source resistance can cause undesired signal pickup. Input bypass capacitors, placed from the analog inputs to ground, will eliminate this pickup but can create analog scale errors as these capacitors will average the transient input switching currents of the A/D (see Analog Input Current). This scale error depends on both a large source resistance and the use of an input bypass capacitor. This error can be compensated by a full scale adjustment of the A/D (see Full Scale Adjustment) with the source resistance and input bypass capacitor in place, and the desired conversion rate.

Reference Voltage Span Adjust

For maximum application flexibility, these A/Ds have been designed to accommodate a 5V, 2.5V or an adjusted voltage reference. This has been achieved in the design of the IC as shown in Figure 12.

Notice that the reference voltage for the IC is either $^1/_2$ of the voltage which is applied to the V+ supply pin, or is equal to the voltage which is externally forced at the $V_{REF}/2$ pin. This allows for a pseudo-ratiometric voltage reference using, for the V+ supply, a 5V reference voltage. Alternatively, a voltage less than 2.5V can be applied to the $V_{REF}/2$ input. The internal gain to the $V_{REF}/2$ input is 2 to allow this factor of 2 reduction in the reference voltage.

Such an adjusted reference voltage can accommodate a reduced span or dynamic voltage range of the analog input voltage. If the analog input voltage were to range from 0.5V to 3.5V, instead of 0V to 5V, the span would be 3V. With 0.5V applied to the $V_{IN(-)}$ pin to absorb the offset, the reference voltage can be made equal to $^1/_2$ of the 3V span or 1.5V. The A/D now will encode the $V_{IN(+)}$ signal from 0.5V to 3.5V with the 0.5V input corresponding to zero and the 3.5V input corresponding to full scale. The full 8 bits of resolution are therefore applied over this reduced analog input voltage range. The requisite connections are shown in Figure 13. For expanded scale inputs, the circuits of Figures 14 and 15 can be used.

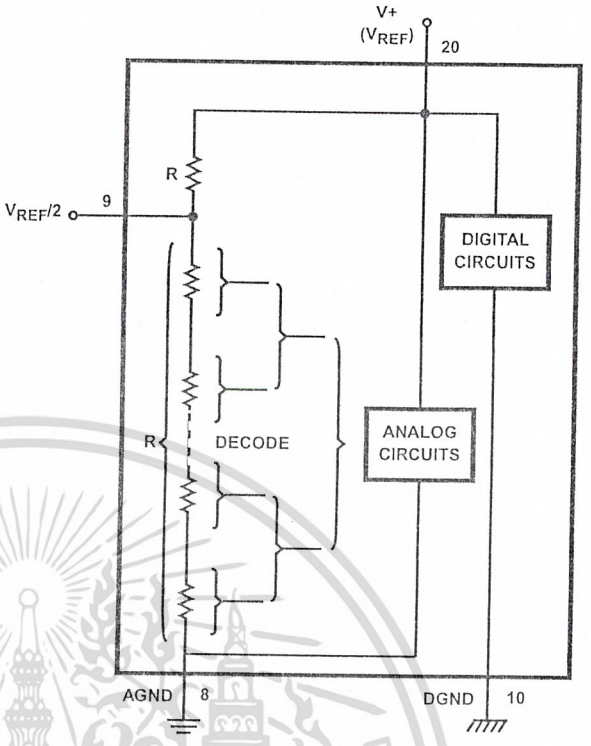


FIGURE 12. THE $V_{REFERENCE}$ DESIGN ON THE IC

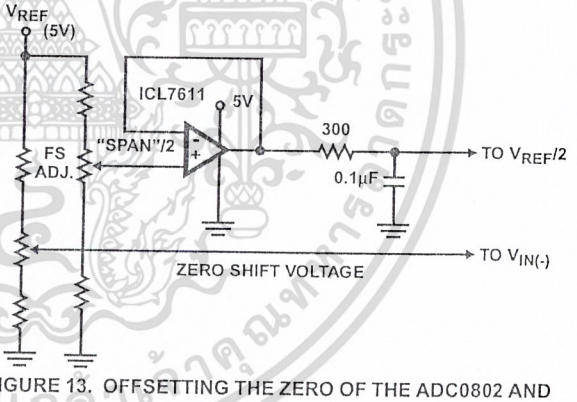


FIGURE 13. OFFSETTING THE ZERO OF THE ADC0802 AND PERFORMING AN INPUT RANGE (SPAN) ADJUSTMENT

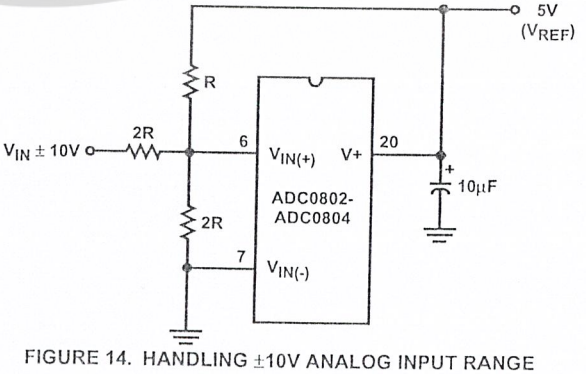


FIGURE 14. HANDLING ±10V ANALOG INPUT RANGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

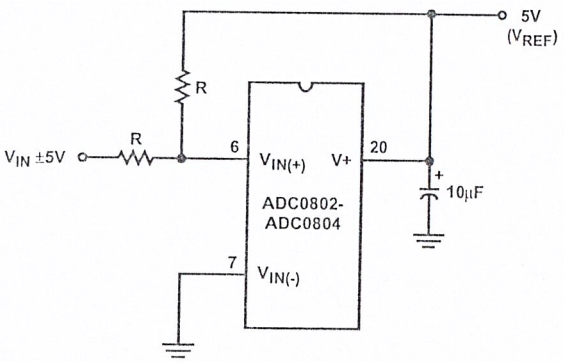


FIGURE 15. HANDLING ±5V ANALOG INPUT RANGE

Reference Accuracy Requirements

The converter can be operated in a pseudo-ratiometric mode or an absolute mode. In ratiometric converter applications, the magnitude of the reference voltage is a factor in both the output of the source transducer and the output of the A/D converter and therefore cancels out in the final digital output code. In absolute conversion applications, both the initial value and the temperature stability of the reference voltage are important accuracy factors in the operation of the A/D converter. For $V_{REF}/2$ voltages of 2.5V nominal value, initial errors of ±10mV will cause conversion errors of ±1 LSB due to the gain of 2 of the $V_{REF}/2$ input. In reduced span applications, the initial value and the stability of the $V_{REF}/2$ input voltage become even more important. For example, if the span is reduced to 2.5V, the analog input LSB voltage value is correspondingly reduced from 20mV (5V span) to 10mV and 1 LSB at the $V_{REF}/2$ input becomes 5mV. As can be seen, this reduces the allowed initial tolerance of the reference voltage and requires correspondingly less absolute change with temperature variations. Note that spans smaller than 2.5V place even tighter requirements on the initial accuracy and stability of the reference source.

In general, the reference voltage will require an initial adjustment. Errors due to an improper value of reference voltage appear as full scale errors in the A/D transfer function. IC voltage regulators may be used for references if the ambient temperature changes are not excessive.

Zero Error

The zero of the A/D does not require adjustment. If the minimum analog input voltage value, $V_{IN(MIN)}$, is not ground, a zero offset can be done. The converter can be made to output 0000 0000 digital code for this minimum input voltage by biasing the A/D $V_{IN(-)}$ input at this $V_{IN(MIN)}$ value (see Applications section). This utilizes the differential mode operation of the A/D.

The zero error of the A/D converter relates to the location of the first riser of the transfer function and can be measured by grounding the $V_{IN(-)}$ input and applying a small magnitude positive voltage to the $V_{IN(+)}$ input. Zero error is the difference between the actual DC input voltage which is necessary to just cause an output digital code transition from 0000 0000 to 0000 0001 and the ideal $^1/_2$ LSB value ($^1/_2$ LSB = 9.8mV for $V_{REF}/2$ = 2.500V).

Full Scale Adjust

The full scale adjustment can be made by applying a differential input voltage which is $1^1/_2$ LSB down from the desired analog full scale voltage range and then adjusting the magnitude of the $V_{REF}/2$ input (pin 9) for a digital output code which is just changing from 1111 1110 to 1111 1111. When offsetting the zero and using a span-adjusted $V_{REF}/2$ voltage, the full scale adjustment is made by inputting V_{MIN} to the $V_{IN(-)}$ input of the A/D and applying a voltage to the $V_{IN(+)}$ input which is given by:

$$V_{IN(+)}f_{SADJ} = V_{MAX} - 1.5\left[\frac{(V_{MAX} - V_{MIN})}{256}\right],$$

where:

V_{MAX} = the high end of the analog input range,

and

V_{MIN} = the low end (the offset zero) of the analog range. (Both are ground referenced.)

Clocking Option

The clock for the A/D can be derived from an external source such as the CPU clock or an external RC network can be added to provide self-clocking. The CLK IN (pin 4) makes use of a Schmitt trigger as shown in Figure 16.

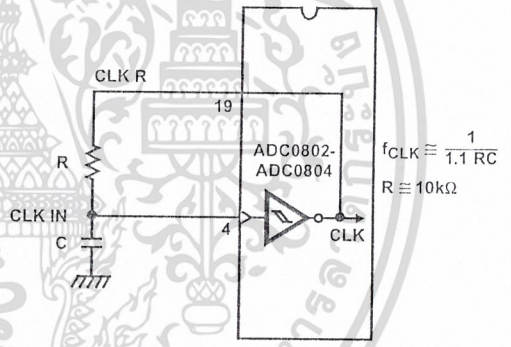


FIGURE 16. SELF-CLOCKING THE A/D

Heavy capacitive or DC loading of the CLK R pin should be avoided as this will disturb normal converter operation. Loads less than 50pF, such as driving up to 7 A/D converter clock inputs from a single CLK R pin of 1 converter, are allowed. For larger clock line loading, a CMOS or low power TTL buffer or PNP input logic should be used to minimize the loading on the CLK R pin (do not use a standard TTL buffer).

Restart During a Conversion

If the A/D is restarted ($\overline{CS}$ and $\overline{WR}$ go low and return high) during a conversion, the converter is reset and a new conversion is started. The output data latch is not updated if the conversion in progress is not completed. The data from the previous conversion remain in this latch.

Continuous Conversions

In this application, the $\overline{CS}$ input is grounded and the $\overline{WR}$ input is tied to the $\overline{INTR}$ output. This $\overline{WR}$ and $\overline{INTR}$ node should be momentarily forced to logic low following a power-up cycle to insure circuit operation. See Figure 17 for details.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

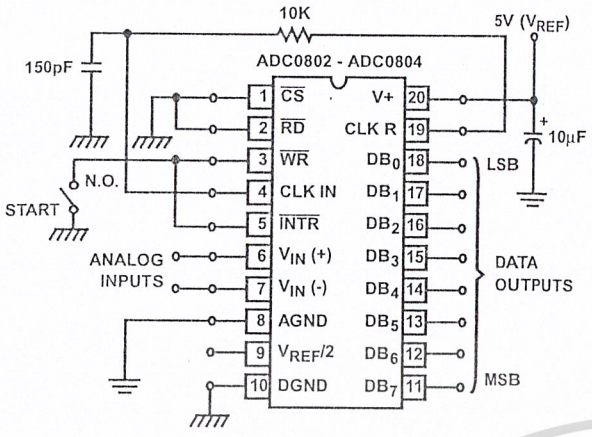


FIGURE 17. FREE-RUNNING CONNECTION

Driving the Data Bus

This CMOS A/D, like MOS microprocessors and memories, will require a bus driver when the total capacitance of the data bus gets large. Other circuitry, which is tied to the data bus, will add to the total capacitive loading, even in three-state (high-impedance mode). Back plane busing also greatly adds to the stray capacitance of the data bus.

There are some alternatives available to the designer to handle this problem. Basically, the capacitive loading of the data bus slows down the response time, even though DC specifications are still met. For systems operating with a relatively slow CPU clock frequency, more time is available in which to establish proper logic levels on the bus and therefore higher capacitive loads can be driven (see Typical Performance Curves).

At higher CPU clock frequencies time can be extended for I/O reads (and/or writes) by inserting wait states (8080) or using clock-extending circuits (6800).

Finally, if time is short and capacitive loading is high, external bus drivers must be used. These can be three-state buffers (low power Schottky is recommended, such as the 74LS240 series) or special higher-drive-current products which are designed as bus drivers. High-current bipolar bus drivers with PNP inputs are recommended.

Power Supplies

Noise spikes on the V+ supply line can cause conversion errors as the comparator will respond to this noise. A low-inductance tantalum filter capacitor should be used close to the converter V+ pin, and values of 1μF or greater are recommended. If an unregulated voltage is available in the system, a separate 5V voltage regulator for the converter (and other analog circuitry) will greatly reduce digital noise on the V+ supply. An ICL7663 can be used to regulate such a supply from an input as low as 5.2V.

Wiring and Hook-Up Precautions

Standard digital wire-wrap sockets are not satisfactory for breadboarding with this A/D converter. Sockets on PC boards can be used. All logic signal wires and leads should be grouped and kept as far away as possible from the analog signal leads. Exposed leads to the analog inputs can cause undesired digital noise and hum pickup; therefore, shielded leads may be necessary in many applications.

A single-point analog ground should be used which is separate from the logic ground points. The power supply bypass capacitor and the self-clocking capacitor (if used) should both be returned to digital ground. Any $V_{REF}/2$ bypass capacitors, analog input filter capacitors, or input signal shielding should be returned to the analog ground point. A test for proper grounding is to measure the zero error of the A/D converter. Zero errors in excess of $^1/_4$ LSB can usually be traced to improper board layout and wiring (see Zero Error for measurement). Further information can be found in Application Note AN018.

Testing the A/D Converter

There are many degrees of complexity associated with testing an A/D converter. One of the simplest tests is to apply a known analog input voltage to the converter and use LEDs to display the resulting digital output code as shown in Figure 18.

For ease of testing, the $V_{REF}/2$ (pin 9) should be supplied with 2.560V and a V+ supply voltage of 5.12V should be used. This provides an LSB value of 20mV.

If a full scale adjustment is to be made, an analog input voltage of 5.090V (5.120 - $1^1/_2$ LSB) should be applied to the $V_{IN(+)}$ pin with the $V_{IN(-)}$ pin grounded. The value of the $V_{REF}/2$ input voltage should be adjusted until the digital output code is just changing from 1111 1110 to 1111 1111. This value of $V_{REF}/2$ should then be used for all the tests.

The digital-output LED display can be decoded by dividing the 8 bits into 2 hex characters, one with the 4 most-significant bits (MS) and one with the 4 least-significant bits (LS). The output is then interpreted as a sum of fractions times the full scale voltage:

$$V_{OUT} = \left(\frac{MS}{16} + \frac{LS}{256}\right)(5.12)V\ .$$

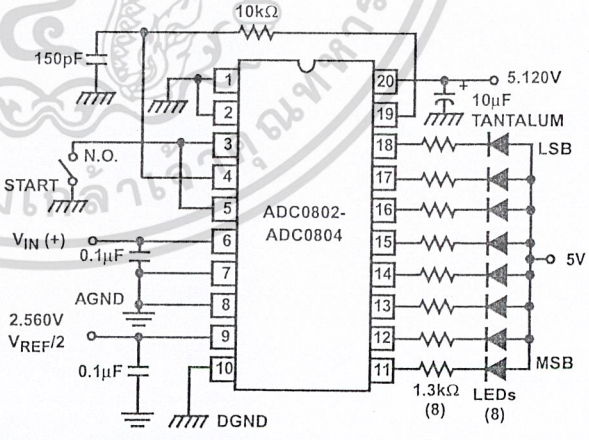


FIGURE 18. BASIC TESTER FOR THE A/D

For example, for an output LED display of 1011 0110, the MS character is hex B (decimal 11) and the LS character is hex (and decimal) 6, so:

$$V_{OUT} = \left(\frac{11}{16} + \frac{6}{256}\right)(5.12) = 3.64V.$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figures 19 and 20 show more sophisticated test circuits.

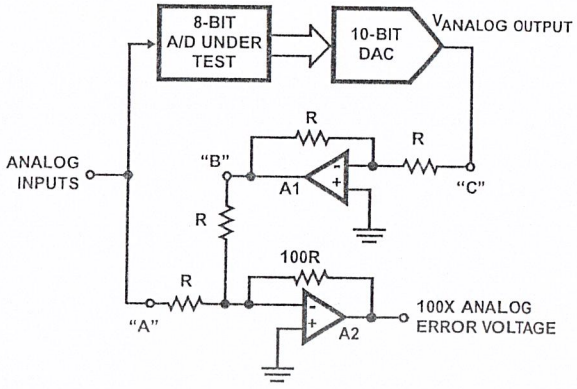


FIGURE 19. A/D TESTER WITH ANALOG ERROR OUTPUT. THIS CIRCUIT CAN BE USED TO GENERATE "ERROR PLOTS" OF FIGURE 11.

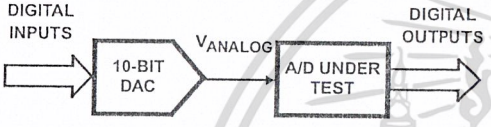


FIGURE 20. BASIC "DIGITAL" A/D TESTER

Typical Applications

Interfacing 8080/85 or Z-80 Microprocessors

This converter has been designed to directly interface with 8080/85 or Z-80 Microprocessors. The three-state output capability of the A/D eliminates the need for a peripheral interface device, although address decoding is still required to generate the appropriate $\overline{CS}$ for the converter. The A/D can be mapped into memory space (using standard memory-address decoding for $\overline{CS}$ and the $\overline{MEMR}$ and $\overline{MEMW}$ strobes) or it can be controlled as an I/O device by using the $\overline{I/OR}$ and $\overline{I/OW}$ strobes and decoding the address bits A0 → A7 (or address bits A8 → A15, since they will contain the same 8-bit address information) to obtain the $\overline{CS}$ input. Using the I/O space provides 256 additional addresses and may allow a simpler 8-bit address decoder, but the data can only be input to the accumulator. To make use of the additional memory reference instructions, the A/D should be mapped into memory space. See AN020 for more discussion of memory-mapped vs I/O-mapped interfaces. An example of an A/D in I/O space is shown in Figure 21.

The standard control-bus signals of the 8080 ($\overline{CS}$, $\overline{RD}$ and $\overline{WR}$) can be directly wired to the digital control inputs of the A/D, since the bus timing requirements, to allow both starting the converter, and outputting the data onto the data bus, are met. A bus driver should be used for larger microprocessor systems where the data bus leaves the PC board and/or must drive capacitive loads larger than 100pF.

It is useful to note that in systems where the A/D converter is 1 of 8 or fewer I/O-mapped devices, no address-decoding circuitry is necessary. Each of the 8 address bits (A0 to A7) can be directly used as $\overline{CS}$ inputs, one for each I/O device.

Interfacing the Z-80 and 8085

The Z-80 and 8085 control buses are slightly different from that of the 8080. General $\overline{RD}$ and $\overline{WR}$ strobes are provided and separate memory request, $\overline{MREQ}$, and I/O request, $\overline{IORQ}$, signals have to be combined with the generalized strobes to provide the appropriate signals. An advantage of operating the A/D in I/O space with the Z-80 is that the CPU will automatically insert one wait state (the $\overline{RD}$ and $\overline{WR}$ strobes are extended one clock period) to allow more time for the I/O devices to respond. Logic to map the A/D in I/O space is shown in Figure 22. By using $\overline{MREQ}$ in place of $\overline{IORQ}$, a memory-mapped configuration results.

Additional I/O advantages exist as software DMA routines are available and use can be made of the output data transfer which exists on the upper 8 address lines (A8 to A15) during I/O input instructions. For example, MUX channel selection for the A/D can be accomplished with this operating mode.

The 8085 also provides a generalized $\overline{RD}$ and $\overline{WR}$ strobe, with an IO/$\overline{M}$ line to distinguish I/O and memory requests. The circuit of Figure 22 can again be used, with IO/$\overline{M}$ in place of $\overline{IORQ}$ for a memory-mapped interface, and an extra inverter (or the logic equivalent) to provide $\overline{IO}$/M for an I/O-mapped connection.

Interfacing 6800 Microprocessor Derivatives (6502, etc.)

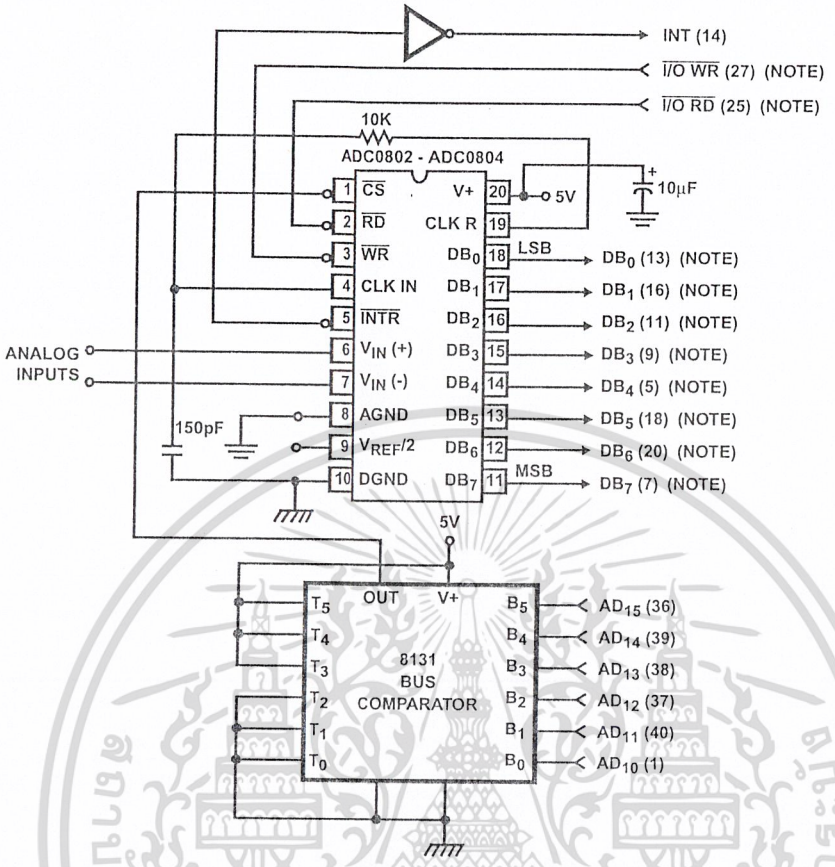
The control bus for the 6800 microprocessor derivatives does not use the RD and WR strobe signals. Instead it employs a single R/W line and additional timing, if needed, can be derived from the $\phi 2$ clock. All I/O devices are memory-mapped in the 6800 system, and a special signal, VMA, indicates that the current address is valid. Figure 23 shows an interface schematic where the A/D is memory-mapped in the 6800 system. For simplicity, the CS decoding is shown using $^1/_2$ DM8092. Note that in many 6800 systems, an already decoded $\overline{4/5}$ line is brought out to the common bus at pin 21. This can be tied directly to the CS pin of the A/D, provided that no other devices are addressed at HEX ADDR: 4XXX or 5XXX.

In Figure 24 the ADC0802 series is interfaced to the MC6800 microprocessor through (the arbitrarily chosen) Port B of the MC6820 or MC6821 Peripheral Interface Adapter (PIA). Here the CS pin of the A/D is grounded since the PIA is already memory-mapped in the MC6800 system and no CS decoding is necessary. Also notice that the A/D output data lines are connected to the microprocessor bus under program control through the PIA and therefore the A/D RD pin can be grounded.

Application Notes

NOTE #	DESCRIPTION	AnswerFAX DOC. #
AN016	"Selecting A/D Converters"	9016
AN018	"Do's and Don'ts of Applying A/D Converters"	9018
AN020	"A Cookbook Approach to High Speed Data Acquisition and Microprocessor Interfacing"	9020
AN030	"The ICL7104 - A Binary Output A/D Converter for Microprocessors"	9030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



NOTE: Pin numbers for 8228 System Controller: Others are 8080A.

FIGURE 21. ADC0802 TO 8080A CPU INTERFACE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

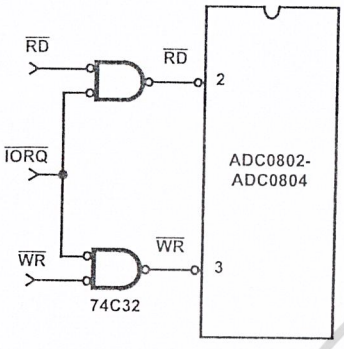
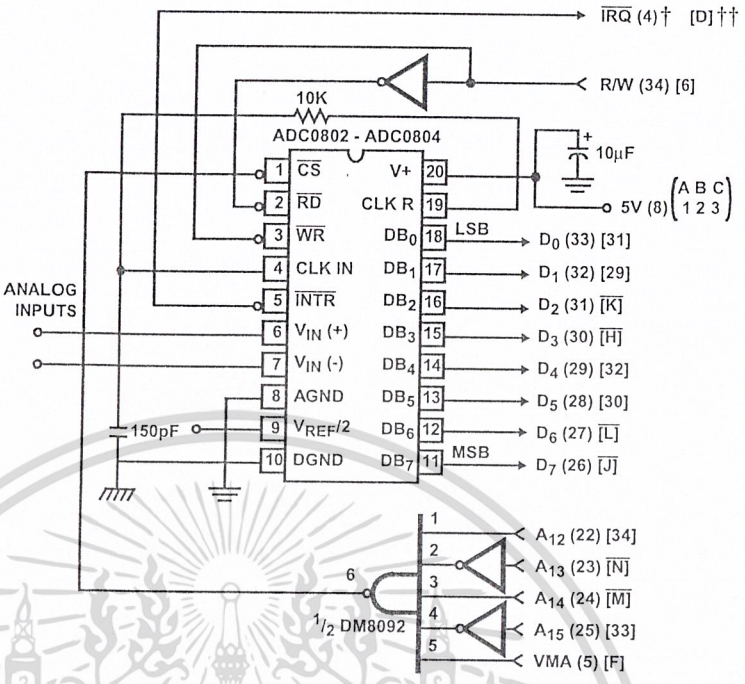


FIGURE 22. MAPPING THE A/D AS AN I/O DEVICE FOR USE WITH THE Z-80 CPU



† Numbers in parentheses refer to MC6800 CPU Pinout.
†† Numbers or letters in brackets refer to standard MC6800 System Common Bus Code.

FIGURE 23. ADC0802 TO MC6800 CPU INTERFACE

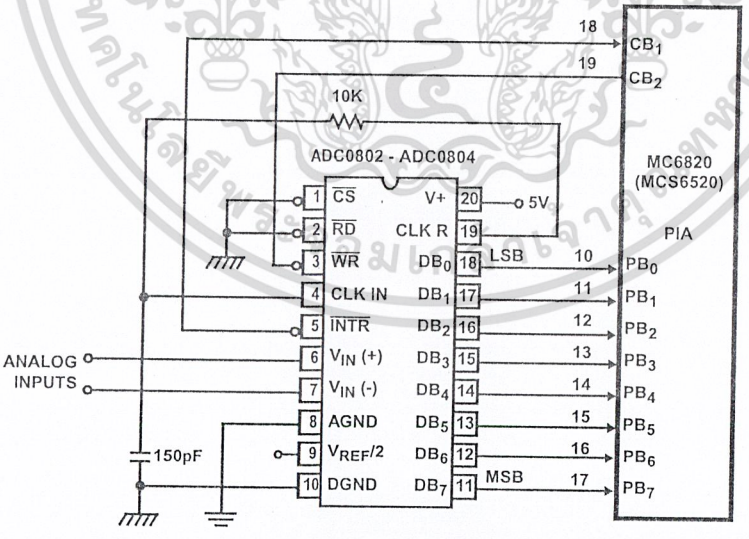


FIGURE 24. ADC0802 TO MC6820 PIA INTERFACE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Die Characteristics

DIE DIMENSIONS:

(101 mils x 93 mils) x 525µm x 25µm

METALLIZATION:

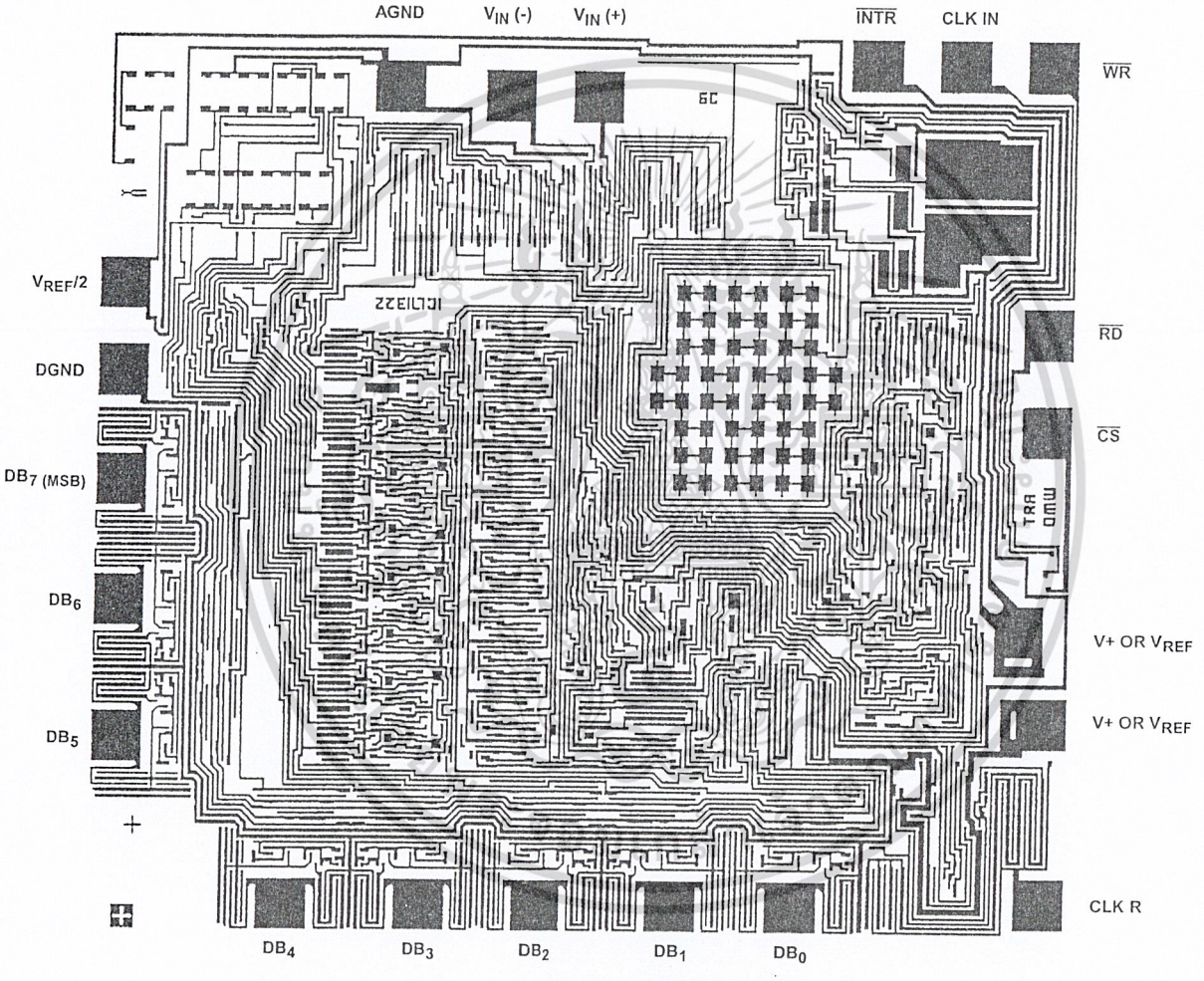
Type: Al
Thickness: 10kÅ ±1kÅ

PASSIVATION:

Type: Nitride over Silox
Nitride Thickness: 8kÅ
Silox Thickness: 7kÅ

Metallization Mask Layout

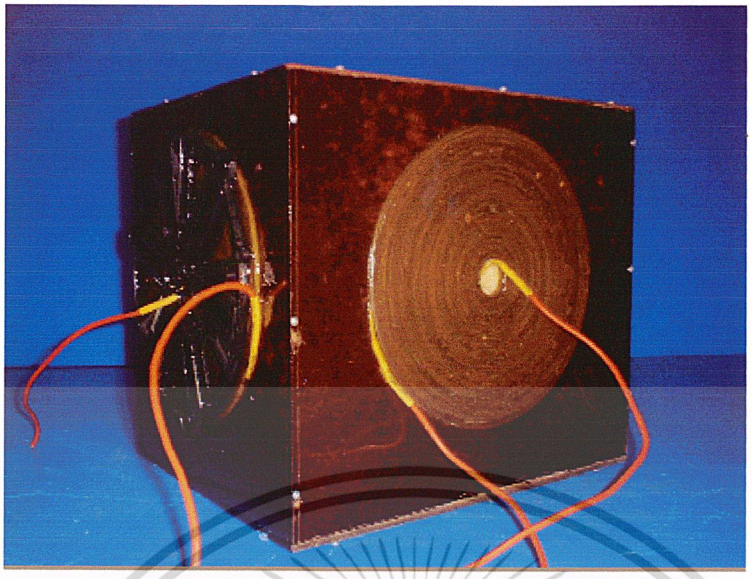
ADC0802, ADC0803, ADC0804



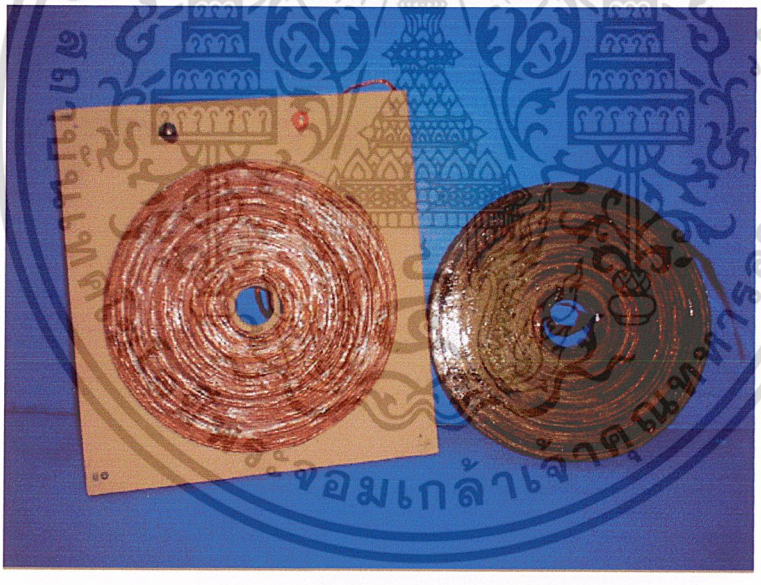
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
รูปชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

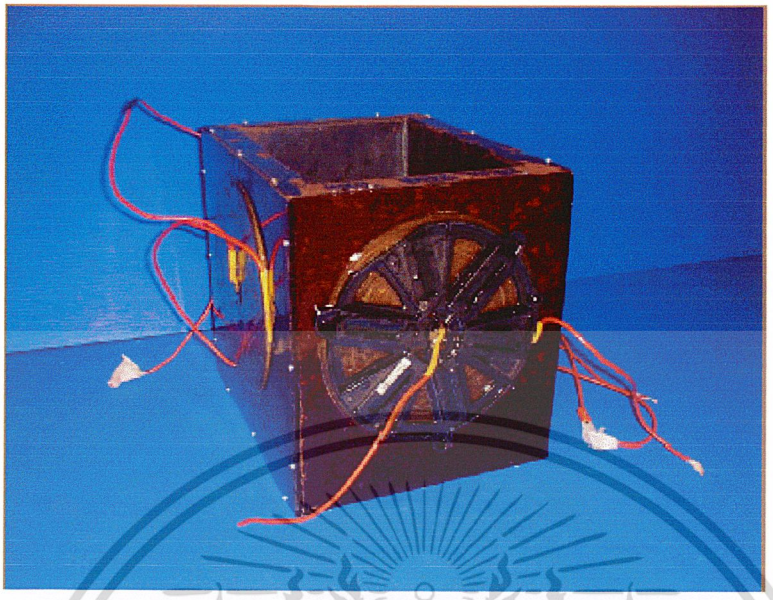


รูปที่ ข.1 แสดงโครงสร้างภายในของเตาอบ

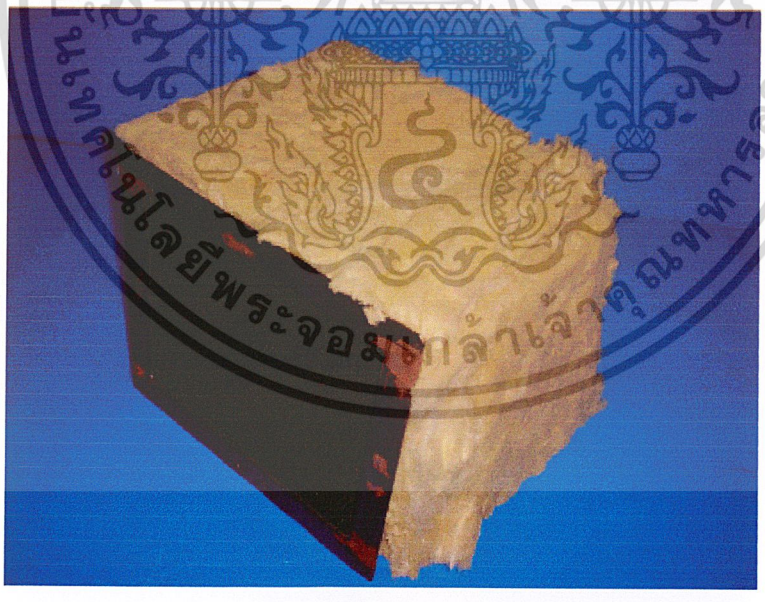


รูปที่ ข.2 แสดงขดลวดชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 แสดงขดลวดด้านที่ติดแกนเฟอร์ไรท์ด้วย



รูปที่ ข.4 แสดงการติดชั้นฉนวนกับผนังเตาอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค.

โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;*******************************************************************************
; Program               : LCD Display 01
; Description           : LCD Display Show , 16 Char from ROM , Shift Display
; For                   : NX-51 Version 2.0 (Philips P89C51RD2)
;                       : MCS-51 Microcontroller Training System
; Filename              : E1501.ASM
; Assembler             : RAD51
; Copyright (C) 2000 Innovative Experiment Co.,Ltd.
;*******************************************************************************
;-------------------------------------------------------------------------
; Define Port&Pin Name
;-------------------------------------------------------------------------
FREQUENCY       BIT     P2.6
CONTACT         BIT     P2.7
LIMIT           BIT     P3.0
LCD_RW          BIT     P3.1
STOP_AD         BIT     P3.2
LCD_EN          BIT     P3.6    ; LCD Module Enable (Active High : Level)
LCD_RS          BIT     P3.7    ; LCD Module Register Select
;-------------------------------------------------------------------------
; Define User Register
;-------------------------------------------------------------------------
LCD_ADDR        EQU     030H    ; For keep LCD Address
LCD_DATA        EQU     031H    ; For keep LCD Data
;-------------------------------------------------------------------------
; Main Program.
;-------------------------------------------------------------------------
MAIN:   ORG     0000H           ; Reset Vector
                                ; Initial all port for NX-51 V.2.0
        MOV     P0,#000H        ; Clear Databus
        MOV     P1,#000         ; INPUT A/D
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV     P2,#00111111B       ; KEYBORD
        MOV     P3,#000H            ; TOTAL
        MOV     R0,#30H             ; REAL TEMP
        MOV     R1,#30H             ; REAL TIME
        CLR     LCD_RW
        CLR     LCD_EN
        CLR     LCD_RS
        LCALL   INIT_LCD            ; Call LCD Initial subroutine
OFF:    SETB    P2.2
        LCALL   LCD_CLR
        LCALL   LCD_CUR_OFF
        LCALL   DELAY_100ms
        LCALL   DELAY_100ms
        LCALL   DELAY_100ms
        CLR     P2.2
        JNB     P2.5,OPEN
        SETB    P2.2
        AJMP    OFF
OPEN:   SETB    P2.2
        LCALL   BEGIN               ; SHOW PRODUCER
ENTER:  LCALL   BEG                 ; SHOW PUSH ENTER
        CLR     P2.1
        JNB     P2.5,WAIT
        SETB    P2.1
        CLR     P2.2
        JNB     P2.5,OFF
        SETB    P2.2
        LJMP    ENTER
WAIT:   SETB    P2.1
        LCALL   WAIT_1              ; SHOW WAIT...
        LCALL   SET_TEMP            ; SET TEMP AND SET TIME
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                                        ; INPUT R0 AND R1
DOOR:       JB          LIMIT,DOOR_1
            CLR         P2.2
            JNB         P2.5,OFF
            SETB        P2.2
            LCALL       ADOOR           ; SHOW CLOSE DOOR AND PUSH ENTER
            LJMP        DOOR
DOOR_1:     CLR         P2.1
            JNB     P2.5,DOOR_2
            SETB        P2.1
            CLR         P2.2
            JNB         P2.5,OFF
            SETB        P2.2
            LCALL       ADOOR_1             ; SHOW PUSH ENTER
            LJMP        DOOR
DOOR_2:     SETB        P2.1
            LCALL       LCD_CLR
            LCALL       INDUCTION_OVEN
            LCALL       SET_REAL
            LCALL       TEMP
            LCALL       SSETVALUE_LCD       ; SHOW SET TEMP
            LCALL       TIME
            LCALL       SETVALUE_LCD        ; SHOW SET TIME
            SETB        CONTACT
COUNTER:    LCALL       VALUE_LCD
            LCALL       MMSEC
            DJNZ        R1,COUNTER          ; R1 UNEQUAL 0
            CLR         CONTACT
            SETB        FREQUENCY           ; LOW POWER
REA:        LCALL       REALDY
            CLR         P2.2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                JNB             P2.5,OFF_11
                SETB            P2.2
                JB              LIMIT,REA
                 LJMP           ENTER
OFF_11:         LJMP            OFF
;-------------------------------------------------------------------------------------------
;                               OPERATION
;-------------------------------------------------------------------------------------------
OPERATION:      MOV             B,R0
                MOV             A,P1
                DIV             AB
                CJNE            A,#0,OPER_1
                CLR             FREQUENCY           ; LOW FREQUENCY AND HIGH POWER
                RET
OPER_1:         SETB            FREQUENCY           ; HIGH FREQUENCY AND LOW POWER
                RET
;-------------------------------------------------------------------------------------------
;INPUT TEMPERATURE AND TIME      INPUT TEMPERATURE
;-------------------------------------------------------------------------------------------
SET_TEMP:       SETB            P2.0
                LCALL           LCD_CLR
                LCALL           INDUCTION_OVEN
                LCALL           ENTER_TEMP
                LCALL           DURING_200_C
                LCALL           SSSETVALUE_LCD      ; INSIDE TEMPERATURE
                LCALL           SET
;-------------------------------------------------------------------------------------------
                MOV             R0,#30H
                MOV             R1,#30H
                MOV             R2,#30H
VALUE_TEMP_100:     LCALL       SSSETVALUE_LCD      ; INSIDE TEMPERATURE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV         A,R0
                MOV         LCD_ADDR,#060H
                LCALL       SET_ADDR_LCD
                LCALL       LCD_BLINK               ; Blink Cursor
                LCALL       DELAY_100ms             ; Delay
                CLR         P2.0
                JNB         P2.3,VAL
                JNB         P2.4,VALUE_TEMP_10
                SETB        P2.0
                CLR         P2.1
                JNB         P2.3,VALUE_MORE_TEMP100
                JNB         P2.4,VALUE_LESS_TEMP100
                JNB         P2.5,VAL_1
                SETB        P2.1
                CLR         P2.2
                JNB         P2.5,OFF_1
                SETB        P2.2
                LJMP        VALUE_TEMP_100
VAL:            LJMP        VALUE_TEMP_1
VAL_1:          LJMP        SET_TIME
VALUE_MORE_TEMP100:     SETB        P2.1
                CJNE        A,#31H,VALUE_MORE_TEMP100_1
                MOV         A,#2FH
VALUE_MORE_TEMP100_1:   ADD         A,#1
                MOV         LCD_DATA,A              ;
                LCALL       WRCHAR_LCD              ; Write x100
                MOV             R0,A
                LJMP        VALUE_TEMP_100
VALUE_LESS_TEMP100:     SETB        P2.1
                CJNE        A,#30H,VALUE_LESS_TEMP100_1
                MOV         A,#32H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
VALUE_LESS_TEMP100_1:   SUBB    A,#1
                        MOV     LCD_DATA,A          ;
                        LCALL   WRCHAR_LCD          ; Write x100
                        MOV     R0,A
                        LJMP    VALUE_TEMP_100
OFF_1                   LJMP    OFF
;-------------------------------------------------------------------------------------------
VALUE_TEMP_10:  LCALL   SSSETVALUE_LCD      ; INSIDE TEMPERATURE
                MOV     A,R1
                MOV     LCD_ADDR,#061H
                LCALL   SET_ADDR_LCD
                LCALL   LCD_BLINK                   ; Blink Cursor
                LCALL   DELAY_100ms                 ; Delay
                CLR     P2.0
                JNB     P2.3,VALUE_TEMP_100
                JNB     P2.4,VALUE_TEMP_1
                SETB    P2.0
                CLR     P2.1
                JNB     P2.3,VALUE_MORE_TEMP10
                JNB     P2.4,VALUE_LESS_TEMP10
                JNB     P2.5,VAL_2
                SETB    P2.1
                CLR     P2.2
                JNB     P2.5,OFF_2
                SETB    P2.2
                LJMP    VALUE_TEMP_10
VAL_2:          LJMP    SET_TIME
VALUE_MORE_TEMP10:      SETB    P2.1
                CJNE    A,#39H,VALUE_MORE_TEMP10_1
                MOV     A,#2FH
VALUE_MORE_TEMP10_1:    ADD     A,#1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV         LCD_DATA,A                      ;
                LCALL       WRCHAR_LCD                      ; Write x10
                MOV         R1,A
                LJMP        VALUE_TEMP_10
VALUE_LESS_TEMP10:  SETB    P2.1
                CJNE        A,#30H,VALUE_LESS_TEMP10_1
                MOV         A,#3AH
VALUE_LESS_TEMP10_1:  SUBB  A,#1
                MOV         LCD_DATA,A                      ;
                LCALL       WRCHAR_LCD                      ; Write x10
                MOV         R1,A
                LJMP        VALUE_TEMP_10
OFF_2           LJMP        OFF
;-------------------------------------------------------------------------------
VALUE_TEMP_1:   LCALL       SSSETVALUE_LCD      ; OUTSIDE TEMPERATURE
                MOV         A,R2
                MOV         LCD_ADDR,#062H
                LCALL       SET_ADDR_LCD
                LCALL       LCD_BLINK           ; Blink Cursor
                LCALL       DELAY_100ms         ; Delay
                CLR         P2.0
                JNB         P2.3,VALUE_TEMP_10
                JNB         P2.4,VAL_3
                SETB        P2.0
                CLR         P2.1
                JNB         P2.3,VALUE_MORE_TEMP1
                JNB         P2.4,VALUE_LESS_TEMP1
                JNB         P2.5,SET_TIME
                SETB        P2.1
                CLR         P2.2
                JNB         P2.5,OFF_3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                SETB        P2.2
                LJMP        VALUE_TEMP_1
VAL_3:          LJMP        VALUE_TEMP_100
VALUE_MORE_TEMP1:   SETB    P2.1
                CJNE        A,#39H,VALUE_MORE_TEMP1_1
                MOV         A,#2FH
VALUE_MORE_TEMP1_1: ADD     A,#1
                MOV         LCD_DATA,A              ;
                LCALL       WRCHAR_LCD              ; Write x1
                MOV         R2,A
                LJMP        VALUE_TEMP_1
VALUE_LESS_TEMP1:   SETB    P2.1
                CJNE        A,#30H,VALUE_LESS_TEMP1_1
                MOV         A,#3AH
VALUE_LESS_TEMP1_1: SUBB    A,#1
                MOV         LCD_DATA,A              ;
                LCALL       WRCHAR_LCD              ; Write x1
                MOV         R2,A
                LJMP        VALUE_TEMP_1
OFF_3           LJMP        OFF
;-------------------------------------------------------------------------------
SET_TIME:       MOV         B,#100
                MOV         A,R0
                SUBB        A,#30H
                MUL         AB
                MOV         R0,A
                MOV         B,#10
                MOV         A,R1
                SUBB        A,#30H
                MUL         AB
                ADD         A,R0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV             R0,A
                MOV             A,R2
                SUBB            A,#30H
                ADD             A,R0
                MOV             R0,A            ; REAL TEMP VALUE
                MOV             B,P1
                DIV             AB
                CJNE            A,#0,EEE        ; TEMP INPUT LESS THAN TEMP INSIDE OVEN
                LJMP            SET_TEMP
EEE:            SETB            P2.1
                LCALL           LCD_CLR
                LCALL           INDUCTION_OVEN
                LCALL           ENTER_TIME
                LCALL           DURING_200_MIN
                LCALL           SET

;---------------
;INPUT TIME
;---------------
                MOV             R1,#30H
                MOV             R2,#30H
                MOV             R3,#30H
VALUE_TIME_100:     MOV             A,R1
                MOV             LCD_ADDR,#060H
                LCALL           SET_ADDR_LCD
                LCALL           LCD_BLINK               ; Blink Cursor
                LCALL           DELAY_100ms             ; Delay
                CLR             P2.0
                JNB             P2.5,JUMP_1             ; BACK
                JNB             P2.3,JUMP_10
                JNB             P2.4,VALUE_TIME_10
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                SETB        P2.0
                CLR         P2.1
                JNB         P2.3,VALUE_MORE_TIME100
                JNB         P2.4,VALUE_LESS_TIME100
                JNB         P2.5,JUMP_100       ; WORK
                SETB        P2.1
                CLR         P2.2
                JNB         P2.5,OFF_4
                SETB        P2.2
                LJMP        VALUE_TIME_100
JUMP_1:         LJMP        SET_TEMP
JUMP_10:        LJMP        VALUE_TIME_1
JUMP_100:       LJMP    WORK
VALUE_MORE_TIME100:     SETB        P2.1
                CJNE        A,#31H,VALUE_MORE_TIME100_1
                MOV             A,#2FH
VALUE_MORE_TIME100_1:   ADD         A,#1
                MOV         LCD_DATA,A          ;
                LCALL       WRCHAR_LCD              ; Write x100
                MOV         R1,A
                LJMP        VALUE_TIME_100
VALUE_LESS_TIME100:     SETB        P2.1
                CJNE        A,#30H,VALUE_LESS_TIME100_1
                MOV         A,#32H
VALUE_LESS_TIME100_1:   SUBB        A,#1
                MOV         LCD_DATA,A              ;
                LCALL       WRCHAR_LCD              ; Write x100
                MOV         R1,A
                LJMP        VALUE_TIME_100
OFF_4           LJMP        OFF
;-------------------------------------------------------------------------------------------
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
VALUE_TIME_10:      MOV         A,R2
                    MOV         LCD_ADDR,#061H
                    LCALL       SET_ADDR_LCD
                    LCALL       LCD_BLINK           ; Blink Cursor
                    LCALL       DELAY_100ms         ; Delay
                    CLR         P2.0
                    JNB         P2.5,JUMP_2         ; BACK
                    JNB         P2.3,VALUE_TIME_100
                    JNB         P2.4,VALUE_TIME_1
                    SETB        P2.0
                    CLR         P2.1
                    JNB         P2.3,VALUE_MORE_TIME10
                    JNB         P2.4,VALUE_LESS_TIME10
                    JNB         P2.5,JUMP_20        ; WORK
                    SETB        P2.1
                    CLR         P2.2
                    JNB         P2.5,OFF_5
                    SETB        P2.2
                    LJMP        VALUE_TIME_10
JUMP_2:             LJMP        SET_TEMP
JUMP_20:            LJMP        WORK
VALUE_MORE_TIME10:  SETB        P2.1
                    CJNE        A,#39H,VALUE_MORE_TIME10_1
                    MOV         A,#2FH
VALUE_MORE_TIME10_1:ADD         A,#1
                    MOV         LCD_DATA,A          ;
                    LCALL       WRCHAR_LCD          ; Write x10
                    MOV         R2,A
                    LJMP        VALUE_TIME_10
VALUE_LESS_TIME10:  SETB        P2.1
                    CJNE        A,#30H,VALUE_LESS_TIME10_1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV         A,#3AH
VALUE_LESS_TIME10_1:    SUBB        A,#1
                MOV         LCD_DATA,A          ;
                LCALL       WRCHAR_LCD          ; Write x10
                MOV         R2,A
                LJMP        VALUE_TIME_10
OFF_5           LJMP        OFF
;-------------------------------------------------------------------------------
VALUE_TIME_1:       MOV         A,R3
                MOV         LCD_ADDR,#062H
                LCALL       SET_ADDR_LCD
                LCALL       LCD_BLINK           ; Blink Cursor
                LCALL       DELAY_100ms         ; Delay
                CLR         P2.0
                JNB         P2.5,JUMP_3         ; BACK
                JNB         P2.3,VALUE_TIME_10
                JNB         P2.4,JUMP_30
                SETB        P2.0
                CLR         P2.1
                JNB         P2.3,VALUE_MORE_TIME1
                JNB         P2.4,VALUE_LESS_TIME1
                JNB         P2.5,WORK           ; WORK
                SETB        P2.1
                CLR         P2.2
                JNB         P2.5,OFF_6
                SETB        P2.2
                LJMP        VALUE_TIME_1
JUMP_3:         LJMP        SET_TEMP
JUMP_30:        LJMP    VALUE_TIME_100
VALUE_MORE_TIME1:       SETB        P2.1
                CJNE        A,#39H,VALUE_MORE_TIME1_1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV         A,#2FH
VALUE_MORE_TIME1_1:     ADD         A,#1
                MOV         LCD_DATA,A              ;
                LCALL       WRCHAR_LCD              ; Write x1
                MOV         R3,A
                LJMP        VALUE_TIME_1
VALUE_LESS_TIME1:       SETB        P2.1
                CJNE        A,#30H,VALUE_LESS_TIME1_1
                 MOV        A,#3AH
VALUE_LESS_TIME1_1:     SUBB        A,#1
                MOV         LCD_DATA,A              ;
                LCALL       WRCHAR_LCD              ; Write x1
                MOV         R3,A
                LJMP        VALUE_TIME_1
OFF_6           LJMP        OFF
;-------------------------------------------------------------------------------
WORK:           SETB        P2.1
                MOV         B,#100
                MOV         A,R1
                SUBB        A,#30H
                MUL         AB
                MOV         R1,A
                MOV         B,#10
                MOV         A,R2
                SUBB        A,#30H
                MUL         AB
                ADD         A,R1
                MOV         R1,A
                MOV         A,R3
                SUBB        A,#30H
                ADD         A,R1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     R1,A                    ; REAL TIME VALUE
                CJNE    A,#0,EAR_11
                LJMP    SET_TIME
EAR_11:         RET
;-------------------------------------------------------------------------------------------
;                       MINUTE
;-------------------------------------------------------------------------------------------
VALUE_LCD:      MOV     A,R1
                PUSH    ACC
                SUBB    A,#1
                MOV     B,#100                  ;
                DIV     AB                      ; Divide by 100
                ADD     A,#030H                 ; Convert to ASCII
                CJNE    A,#030H,VALUE_LCD_100   ; Check x100 = 0 ?
                MOV     A,#'0'                  ; 0 => Write Space
VALUE_LCD_100:  MOV     LCD_ADDR,#060H
                LCALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     LCD_DATA,A              ;
                LCALL   WRCHAR_LCD              ; Write x100
                MOV     A,B                     ;
                MOV     B,#10                   ;
                DIV     AB                      ; Divide by 10
                ADD     A,#030H                 ; Convert to ASCII
                CJNE    A,#030H,VALUE_LCD_10    ; Check x100 = 0 ?
                MOV     A,#'0'
VALUE_LCD_10:   MOV     LCD_ADDR,#061H
                LCALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     LCD_DATA,A              ;
                LCALL   WRCHAR_LCD              ; Write x10
                MOV     A,B                     ; Get Remainder x1
                ADD     A,#030H                 ; Convert to ASCII
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CJNE        A,#030H,VALUE_LCD_1     ; Check x100 = 0 ?
                MOV         A,#'0'
VALUE_LCD_1:    MOV         LCD_ADDR,#062H
                LCALL       SET_ADDR_LCD
                MOV         LCD_DATA,A              ;
                LCALL       WRCHAR_LCD              ; Write x1
                POP         ACC
                MOV         R1,A
                RET
;-------------------------------------------------------------------------
;                       SEC
;-------------------------------------------------------------------------
MMSEC:          MOV         R2,#6
MSEC:           MOV         A,R2
                PUSH        ACC
                ADD         A,#2FH
                MOV         LCD_ADDR,#064H
                LCALL       SET_ADDR_LCD
                MOV         LCD_DATA,A
                LCALL       WRCHAR_LCD
                MOV         R2,#0AH
SEC:            MOV         A,R2
                PUSH        ACC
                ADD         A,#2FH
                MOV         LCD_ADDR,#065H
                LCALL       SET_ADDR_LCD
                MOV         LCD_DATA,A
                LCALL       WRCHAR_LCD
                LCALL       WDELAY_100ms            ; WORK.....
                LCALL       OPERATION               ; WORK....
                LCALL       SSSSETVALUE_LCD         ; INSIDE OVEN
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                POP     ACC
                MOV     R2,A
                DJNZ    R2,SEC
                POP     ACC
                MOV     R2,A
                DJNZ    R2,MSEC
                RET                                     ; Return
S_TIME:         LJMP    SET_TIME
;-------------------------------------------------------------------------
SETVALUE_LCD:   MOV     A,R1                            ; SHOW SET TIME
                MOV     B,#100                          ;
                DIV     AB                              ; Divide by 100
                ADD     A,#030H                         ; Convert to ASCII
                CJNE    A,#030H,SETVALUE_LCD_100        ; Check x100 = 0 ?
                MOV     A,#'0'                          ; 0 => Write Space
SETVALUE_LCD_100:       MOV     LCD_ADDR,#05BH
                LCALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     LCD_DATA,A                      ;
                LCALL   WRCHAR_LCD                      ; Write x100
                MOV     A,B                             ;
                MOV     B,#10                           ;
                DIV     AB                              ; Divide by 10
                ADD     A,#030H                         ; Convert to ASCII
                CJNE    A,#030H,SETVALUE_LCD_10         ; Check x100 = 0 ?
                MOV     A,#'0'
SETVALUE_LCD_10:        MOV     LCD_ADDR,#05CH
                LCALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     LCD_DATA,A                      ;
                LCALL   WRCHAR_LCD                      ; Write x10
                MOV     A,B                             ; Get Remainder x1
                ADD     A,#030H                         ; Convert to ASCII
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                CJNE    A,#030H,SETVALUE_LCD_1      ; Check x100 = 0 ?
                MOV     A,#'0'
SETVALUE_LCD_1:         MOV     LCD_ADDR,#05DH
                LCALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     LCD_DATA,A                  ;
                LCALL   WRCHAR_LCD                  ; Write x1
                RET
;-------------------------------------------------------------------------------
SSETVALUE_LCD:          MOV     A,R0                ; SHOW SET TEMP
                MOV     B,#100                      ;
                DIV     AB                          ; Divide by 100
                ADD     A,#030H                     ; Convert to ASCII
                CJNE    A,#030H,SSETVALUE_LCD_100   ; Check x100 = 0 ?
                MOV     A,#'0'                      ; 0 => Write Space
SSETVALUE_LCD_100:      MOV     LCD_ADDR,#01BH
                LCALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     LCD_DATA,A                  ;
                LCALL   WRCHAR_LCD                  ; Write x100
                MOV     A,B                         ;
                MOV     B,#10                       ;
                DIV     AB                          ; Divide by 10
                ADD     A,#030H                     ; Convert to ASCII
                CJNE    A,#030H,SSETVALUE_LCD_10    ; Check x100 = 0 ?
                MOV     A,#'0'
SSETVALUE_LCD_10:       MOV     LCD_ADDR,#01CH
                LCALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     LCD_DATA,A                  ;
                LCALL   WRCHAR_LCD                  ; Write x10
                MOV     A,B                         ; Get Remainder x1
                ADD     A,#030H                     ; Convert to ASCII
                CJNE    A,#030H,SSETVALUE_LCD_1     ; Check x100 = 0 ?
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     A,#'0'
SSETVALUE_LCD_1:        MOV     LCD_ADDR,#01DH
                LCALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     LCD_DATA,A              ;
                LCALL   WRCHAR_LCD              ; Write x1
                RET
;-------------------------------------------------------------------------------
SSSETVALUE_LCD:         MOV     A,P1            ; SET A/D
                MOV     B,#100                  ;
                DIV     AB                      ; Divide by 100
                ADD     A,#030H                 ; Convert to ASCII
                CJNE    A,#030H,SSSETVALUE_LCD_100      ; Check x100 = 0 ?
                MOV     A,#'0'                  ; 0 => Write Space
SSSETVALUE_LCD_100:     MOV     LCD_ADDR,#015H
                LCALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     LCD_DATA,A              ;
                LCALL   WRCHAR_LCD              ; Write x100
                MOV     A,B                     ;
                MOV     B,#10                   ;
                DIV     AB                      ; Divide by 10
                ADD     A,#030H                 ; Convert to ASCII
                CJNE    A,#030H,SSSETVALUE_LCD_10 ; Check x100 = 0 ?
                MOV     A,#'0'
SSSETVALUE_LCD_10:      MOV     LCD_ADDR,#016H
                LCALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     LCD_DATA,A              ;
                LCALL   WRCHAR_LCD              ; Write x10
                MOV     A,B                     ; Get Remainder x1
                ADD     A,#030H                 ; Convert to ASCII
                CJNE    A,#030H,SSSETVALUE_LCD_1  ; Check x100 = 0 ?
                MOV     A,#'0'
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
SSSETVALUE_LCD_1:       MOV         LCD_ADDR,#017H
                LCALL       SET_ADDR_LCD
                MOV         LCD_DATA,A              ;
                LCALL       WRCHAR_LCD              ; Write x1
                RET
;-------------------------------------------------------------------------------
SSSSETVALUE_LCD:        MOV         A,P1            ; SHOW INSIDE SET A/D
                MOV         B,#100                  ;
                DIV         AB                      ; Divide by 100
                ADD         A,#030H                 ; Convert to ASCII
                CJNE        A,#030H,SSSSETVALUE_LCD_100 ; Check x100 = 0 ?
                MOV         A,#'0'                  ; 0 => Write Space
SSSSETVALUE_LCD_100:    MOV         LCD_ADDR,#021H
                LCALL       SET_ADDR_LCD
                MOV         LCD_DATA,A              ;
                LCALL       WRCHAR_LCD              ; Write x100
                MOV         A,B                     ;
                MOV         B,#10                   ;
                DIV         AB                      ; Divide by 10
                ADD         A,#030H                 ; Convert to ASCII
                CJNE        A,#030H,SSSSETVALUE_LCD_10      ; Check x100 = 0 ?
                MOV         A,#'0'
SSSSETVALUE_LCD_10:     MOV         LCD_ADDR,#022H
                LCALL       SET_ADDR_LCD
                MOV         LCD_DATA,A              ;
                LCALL       WRCHAR_LCD              ; Write x10
                MOV         A,B                     ; Get Remainder x
                ADD         A,#030H                 ; Convert to ASCII
                CJNE        A,#030H,SSSSETVALUE_LCD_1 ; Check x100 = 0 ?
                MOV         A,#'0'
SSSSETVALUE_LCD_1:      MOV         LCD_ADDR,#023H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                LCALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     LCD_DATA,A              ;
                LCALL   WRCHAR_LCD              ; Write x1
                RET
;-------------------------------------------------------------------------------
;                       PRODUCER
;-------------------------------------------------------------------------------
BEGIN:          LCALL   ROW_1                   ; SELECT ROW LCD
                MOV     DPTR,#TITLE_18          ; Index Pointer ROM to Show LCD
                LCALL   WRLINE_LCD              ; 00H-0FH (Increase automatic)
                LCALL   ROW_2                   ; SELECT ROW LCD
                MOV     DPTR,#TITLE_1           ; Index Pointer ROM to Show LCD
                LCALL   WRLINE_LCD              ; 10H-1FH (Increase automatic)
                LCALL   ROW_3                   ; SELECT ROW LCD      ;
                MOV     DPTR,#TITLE_18          ; Index Pointer ROM to Show LCD
                LCALL   WRLINE_LCD              ; 40H-4FH (Increase automatic)
                LCALL   ROW_4                   ; SELECT ROW LCD
                MOV     DPTR,#TITLE_18          ; Index Pointer ROM to Show LCD
                LCALL   WRLINE_LCD
                LCALL   DELAY_100ms             ; Delay
;-------------------------------------------------------------------------------
                LCALL   ROW_1                   ; SELECT ROW LCD
                MOV     DPTR,#TITLE_1           ; Index Pointer ROM to Show LCD
                LCALL   WRLINE_LCD              ; 00H-0FH (Increase automatic)
                LCALL   ROW_2                   ; SELECT ROW LCD
                MOV     DPTR,#TITLE_18          ; Index Pointer ROM to Show LCD
                LCALL   WRLINE_LCD              ; 10H-1FH (Increase automatic)
                LCALL   ROW_3                   ; SELECT ROW LCD      ;
                MOV     DPTR,#TITLE_2           ; Index Pointer ROM to Show LCD
                LCALL   WRLINE_LCD              ; 40H-4FH (Increase automatic)
                LCALL   ROW_4                   ; SELECT ROW LCD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        MOV     DPTR,#TITLE_18      ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD
        LCALL   DELAY_100ms         ; Delay
;-------------------------------------------------------------------------------
        LCALL   ROW_1               ; SELECT ROW LCD
        MOV     DPTR,#TITLE_1       ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD          ; 00H-0FH (Increase automatic)
        LCALL   ROW_2               ; SELECT ROW LCD
        MOV     DPTR,#TITLE_3       ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD          ; 10H-1FH (Increase automatic)
        LCALL   ROW_3               ; SELECT ROW LCD     ;
        MOV     DPTR,#TITLE_4       ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD          ; 40H-4FH (Increase automatic)
        LCALL   ROW_4               ; SELECT ROW LCD
        MOV     DPTR,#TITLE_5       ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD
        LCALL   DELAY_100ms         ; Delay
;-------------------------------------------------------------------------------
        LCALL   ROW_1               ; SELECT ROW LCD
        MOV     DPTR,#TITLE_1       ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD          ; 00H-0FH (Increase automatic)
        LCALL   ROW_2               ; SELECT ROW LCD
        MOV     DPTR,#TITLE_6       ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD          ; 10H-1FH (Increase automatic)
        LCALL   ROW_3               ; SELECT ROW LCD     ;
        MOV     DPTR,#TITLE_7       ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD          ; 40H-4FH (Increase automatic)
        LCALL   ROW_4               ; SELECT ROW LCD
        MOV     DPTR,#TITLE_8       ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD
        LCALL   DELAY_100ms         ; Delay
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;-------------------------------------------------------------------------------------
        LCALL   ROW_1           ; SELECT ROW LCD
        MOV     DPTR,#TITLE_9   ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 00H-0FH (Increase automatic)
        LCALL   ROW_2           ; SELECT ROW LCD
        MOV     DPTR,#TITLE_10  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 10H-1FH (Increase automatic)
        LCALL   ROW_3           ; SELECT ROW LCD      ;
        MOV     DPTR,#TITLE_11  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 40H-4FH (Increase automatic)
        LCALL   ROW_4           ; SELECT ROW LCD
        MOV     DPTR,#TITLE_17  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD
        LCALL   DELAY_100ms     ; Delay
;-------------------------------------------------------------------------------------
        LCALL   ROW_1           ; SELECT ROW LCD
        MOV     DPTR,#TITLE_1   ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 00H-0FH (Increase automatic)
        LCALL   ROW_2           ; SELECT ROW LCD
        MOV     DPTR,#TITLE_12  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 10H-1FH (Increase automatic)
        LCALL   ROW_3           ; SELECT ROW LCD      ;
        MOV     DPTR,#TITLE_13  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 40H-4FH (Increase automatic)
        LCALL   ROW_4           ; SELECT ROW LCD
        MOV     DPTR,#TITLE_14  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD
        LCALL   DELAY_100ms     ; Delay
;-------------------------------------------------------------------------------------
        LCALL   ROW_1           ; SELECT ROW LCD
        MOV     DPTR,#TITLE_1   ; Index Pointer ROM to Show LCD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 00H-0FH (Increase automatic)
        LCALL   ROW_2           ; SELECT ROW LCD
        MOV     DPTR,#TITLE_15  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 10H-1FH (Increase automatic)
        LCALL   ROW_3           ; SELECT ROW LCD      ;
        MOV     DPTR,#TITLE_16  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 40H-4FH (Increase automatic)
        LCALL   ROW_4           ; SELECT ROW LCD
        MOV     DPTR,#TITLE_17  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD
        LCALL   DELAY_100ms     ; Delay
        RET
;-------------------------------------------------------------------------------
BEG:    LCALL   ROW_1           ; SELECT ROW LCD
        MOV     DPTR,#TITLE_18  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 00H-0FH (Increase automatic)
        LCALL   ROW_2           ; SELECT ROW LCD
        MOV     DPTR,#TITLE_18  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 10H-1FH (Increase automatic)
        LCALL   ROW_3           ; SELECT ROW LCD      ;
        MOV     DPTR,#TITLE_19  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD      ; 40H-4FH (Increase automatic)
        LCALL   ROW_4           ; SELECT ROW LCD
        MOV     DPTR,#TITLE_18  ; Index Pointer ROM to Show LCD
        LCALL   WRLINE_LCD
        LCALL   DELAY_100ms     ; Delay
        LCALL   LCD_CLR
        RET
;-------------------------------------------------------------------------------
;                       WAIT...
;-------------------------------------------------------------------------------
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
WAIT_1:  LCALL   LCD_CLR
         LCALL   ROW_1              ; SELECT ROW LCD
         MOV     DPTR,#TITLE_1      ; Index Pointer ROM to Show LCD
         LCALL   WRLINE_LCD
         MOV     LCD_ADDR,#01AH
         LCALL   SET_ADDR_LCD
         MOV     LCD_DATA,#'W'
         LCALL   WRCHAR_LCD
         MOV     LCD_DATA,#'a'
         LCALL   WRCHAR_LCD
         MOV     LCD_DATA,#'i'
         LCALL   WRCHAR_LCD
         MOV     LCD_DATA,#'t'
         LCALL   WRCHAR_LCD
         LCALL   DELAY_100ms        ; Delay
         LCALL   DELAY_100ms        ; Delay
         MOV     R4,#3
LOOP:    MOV     LCD_ADDR,#020H
         LCALL   SET_ADDR_LCD
         MOV     LCD_DATA,#' '
         LCALL   WRCHAR_LCD
         MOV     LCD_ADDR,#01EH
         LCALL   SET_ADDR_LCD
         MOV     LCD_DATA,#'.'
         LCALL   WRCHAR_LCD
         LCALL   DELAY_100ms        ; Delay
         LCALL   DELAY_100ms        ; Delay
         MOV     LCD_ADDR,#01EH
         LCALL   SET_ADDR_LCD
         MOV     LCD_DATA,#' '
         LCALL   WRCHAR_LCD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV     LCD_ADDR,#01FH
                LCALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     LCD_DATA,#'.'
                LCALL   WRCHAR_LCD
                LCALL   DELAY_100ms     ; Delay
                LCALL   DELAY_100ms     ; Delay
                MOV     LCD_ADDR,#01FH
                LCALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     LCD_DATA,#' '
                LCALL   WRCHAR_LCD
                MOV     LCD_ADDR,#020H
                LCALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     LCD_DATA,#'.'
                LCALL   WRCHAR_LCD
                LCALL   DELAY_100ms     ; Delay
                LCALL   DELAY_100ms     ; Delay
                DJNZ    R4,LOOP
                RET
;-------------------------------------------------------------------------------
;SLIDE
;-------------------------------------------------------------------------------
INDUCTION_OVEN: MOV     LCD_ADDR,#003H
                LCALL   SET_ADDR_LCD
                LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
                LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
                MOV     LCD_DATA,#'I'
                LCALL   WRCHAR_LCD
                LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
                LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
                MOV     LCD_DATA,#'n'
                LCALL   WRCHAR_LCD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'d'
LCALL   WRCHAR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'u'
LCALL   WRCHAR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'c'
LCALL   WRCHAR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'t'
LCALL   WRCHAR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'i'
LCALL   WRCHAR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'o'
LCALL   WRCHAR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'n'
LCALL   WRCHAR_LCD
MOV     LCD_ADDR,#00DH
LCALL   SET_ADDR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'O'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'v'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'e'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'n'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        RET
ENTER_TIME:     MOV     LCD_ADDR,#042H
        LCALL   SET_ADDR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'E'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'n'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'t'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'e'
LCALL   WRCHAR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'r'
LCALL   WRCHAR_LCD
MOV     LCD_ADDR,#048H
LCALL   SET_ADDR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'T'
LCALL   WRCHAR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'i'
LCALL   WRCHAR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'m'
LCALL   WRCHAR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'e'
LCALL   WRCHAR_LCD
MOV     LCD_ADDR,#04DH
LCALL   SET_ADDR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'D'
LCALL   WRCHAR_LCD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'u'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'r'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'i'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'n'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'g'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        RET
DURING_200_MIN:  MOV    LCD_ADDR,#015H
        LCALL   SET_ADDR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'1'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'-'
        LCALL   WRCHAR_LCD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'1'
LCALL   WRCHAR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'9'
LCALL   WRCHAR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'9'
LCALL   WRCHAR_LCD
MOV     LCD_ADDR,#01BH
LCALL   SET_ADDR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms
MOV     LCD_DATA,#'M'
LCALL   WRCHAR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'i'
LCALL   WRCHAR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'n'
LCALL   WRCHAR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'u'
LCALL   WRCHAR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                LCALL       DELAY_10ms          ; Delay
                MOV         LCD_DATA,#'t'
                LCALL       WRCHAR_LCD
                LCALL       LCD_BLINK           ; Blink Cursor
                LCALL       DELAY_10ms          ; Delay
                MOV         LCD_DATA,#'e'
                LCALL       WRCHAR_LCD
                RET
ENTER_TEMP:     MOV         LCD_ADDR,#042H
                LCALL       SET_ADDR_LCD
                LCALL       LCD_BLINK           ; Blink Cursor
                LCALL       DELAY_10ms          ; Delay
                MOV         LCD_DATA,#'E'
                LCALL       WRCHAR_LCD
                LCALL       LCD_BLINK           ; Blink Cursor
                LCALL       DELAY_10ms          ; Delay
                MOV         LCD_DATA,#'n'
                LCALL       WRCHAR_LCD
                LCALL       LCD_BLINK           ; Blink Cursor
                LCALL       DELAY_10ms          ; Delay
                MOV         LCD_DATA,#'t'
                LCALL       WRCHAR_LCD
                LCALL       LCD_BLINK           ; Blink Cursor
                LCALL       DELAY_10ms          ; Delay
                MOV         LCD_DATA,#'e'
                LCALL       WRCHAR_LCD
                LCALL       LCD_BLINK           ; Blink Cursor
                LCALL       DELAY_10ms          ; Delay
                MOV         LCD_DATA,#'r'
                LCALL       WRCHAR_LCD
                MOV         LCD_ADDR,#048H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
LCALL   SET_ADDR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'T'
LCALL   WRCHAR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'e'
LCALL   WRCHAR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'m'
LCALL   WRCHAR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'p'
LCALL   WRCHAR_LCD
MOV     LCD_ADDR,#04DH
LCALL   SET_ADDR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'D'
LCALL   WRCHAR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'u'
LCALL   WRCHAR_LCD
LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
MOV     LCD_DATA,#'r'
LCALL   WRCHAR_LCD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
                LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
                MOV     LCD_DATA,#'i'
                LCALL   WRCHAR_LCD
                LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
                LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
                MOV     LCD_DATA,#'n'
                LCALL   WRCHAR_LCD
                LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
                LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
                MOV     LCD_DATA,#'g'
                LCALL   WRCHAR_LCD
                RET
DURING_200_C:   MOV     LCD_ADDR,#015H
                LCALL   SET_ADDR_LCD
                LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
                LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
                MOV     LCD_DATA,#'0'
                LCALL   WRCHAR_LCD
                LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
                LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
                MOV     LCD_DATA,#'0'
                LCALL   WRCHAR_LCD
                LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
                LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
                MOV     LCD_DATA,#'0'
                LCALL   WRCHAR_LCD
                LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
                LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
                MOV     LCD_DATA,#'-'
                LCALL   WRCHAR_LCD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'1'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'9'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'9'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        MOV     LCD_ADDR,#01DH
        LCALL   SET_ADDR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#""
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'C'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        RET
SET_REAL: MOV   LCD_ADDR,#047H
        LCALL   SET_ADDR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'S'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'e'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'t'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        MOV     LCD_ADDR,#04DH
        LCALL   SET_ADDR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'R'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'e'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'a'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'T'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        RET
TEMP:   MOV     LCD_ADDR,#014H
        LCALL   SET_ADDR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'T'
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'e'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'m'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'p'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        RET
TIME:   MOV     LCD_ADDR,#054H
        LCALL   SET_ADDR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'T'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'i'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'m'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'e'
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        LCALL   WRCHAR_LCD
        MOV     LCD_ADDR,#063H
        LCALL   SET_ADDR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'.'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        RET
SET:    MOV     LCD_ADDR,#057H
        LCALL   SET_ADDR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'S'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'e'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'t'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        MOV     LCD_ADDR,#060H
        LCALL   SET_ADDR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'0'
        LCALL   WRCHAR_LCD
        LCALL   LCD_BLINK       ; Blink Cursor
        LCALL   DELAY_10ms      ; Delay
        MOV     LCD_DATA,#'0'
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                LCALL     WRCHAR_LCD
                LCALL     LCD_BLINK          ; Blink Cursor
                LCALL     DELAY_10ms         ; Delay
                MOV       LCD_DATA,#'0'
                LCALL     WRCHAR_LCD
                RET
;-------------------------------------------------------------------------------------------
ADOOR:          LCALL     ROW_1              ; SELECT ROW LCD
                MOV       DPTR,#TITLE_18     ; Index Pointer ROM to Show LCD
                LCALL     WRLINE_LCD         ; 00H-0FH (Increase automatic)
                LCALL     ROW_2              ; SELECT ROW LCD
                MOV       DPTR,#TITLE_20     ; Index Pointer ROM to Show LCD
                LCALL     WRLINE_LCD         ; 10H-1FH (Increase automatic)
                LCALL     ROW_3              ; SELECT ROW LCD     ;
                MOV       DPTR,#TITLE_19     ; Index Pointer ROM to Show LCD
                LCALL     WRLINE_LCD         ; 40H-4FH (Increase automatic)
                LCALL     ROW_4              ; SELECT ROW LCD
                MOV       DPTR,#TITLE_18     ; Index Pointer ROM to Show LCD
                LCALL     WRLINE_LCD
                LCALL     DELAY_100ms        ; Delay
                LCALL     LCD_CLR
                RET
;-------------------------------------------------------------------------------------------
ADOOR_1:        LCALL     ROW_1              ; SELECT ROW LCD
                MOV       DPTR,#TITLE_18     ; Index Pointer ROM to Show LCD
                LCALL     WRLINE_LCD         ; 00H-0FH (Increase automatic)
                LCALL     ROW_2              ; SELECT ROW LCD
                MOV       DPTR,#TITLE_18     ; Index Pointer ROM to Show LCD
                LCALL     WRLINE_LCD         ; 10H-1FH (Increase automatic)
                LCALL     ROW_3              ; SELECT ROW LCD     ;
                MOV       DPTR,#TITLE_19; Index Pointer ROM to Show LCD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                LCALL   WRLINE_LCD      ; 40H-4FH (Increase automatic)
                LCALL   ROW_4           ; SELECT ROW LCD
                MOV     DPTR,#TITLE_18  ; Index Pointer ROM to Show LCD
                LCALL   WRLINE_LCD
                LCALL   DELAY_100ms     ; Delay
                LCALL   LCD_CLR
                RET
;-------------------------------------------------------------------------------------------------
REALDY:         LCALL   ROW_1           ; SELECT ROW LCD
                MOV     DPTR,#TITLE_18  ; Index Pointer ROM to Show LCD
                LCALL   WRLINE_LCD      ; 00H-0FH (Increase automatic)
                LCALL   ROW_2           ; SELECT ROW LCD
                MOV     DPTR,#TITLE_18  ; Index Pointer ROM to Show LCD
                LCALL   WRLINE_LCD      ; 10H-1FH (Increase automatic)
                LCALL   ROW_3           ; SELECT ROW LCD     ;
                MOV     DPTR,#TITLE_21  ; Index Pointer ROM to Show LCD
                LCALL   WRLINE_LCD      ; 40H-4FH (Increase automatic)
                LCALL   ROW_4           ; SELECT ROW LCD
                MOV     DPTR,#TITLE_18  ; Index Pointer ROM to Show LCD
                LCALL   WRLINE_LCD
                LCALL   DELAY_100ms     ; Delay
                LCALL   LCD_CLR
                RET
;-----------------------------------------------------------------------
; ROW LCD
;-----------------------------------------------------------------------
ROW_1:          MOV     LCD_ADDR,#000H  ; Set Address 00H
                ACALL   SET_ADDR_LCD    ;
                RET
ROW_2:          MOV     LCD_ADDR,#040H  ; Set Address 40H
                ACALL   SET_ADDR_LCD    ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                RET
ROW_3:          MOV         LCD_ADDR,#014H      ; Set Address 10H
                ACALL       SET_ADDR_LCD        ;
                RET
ROW_4:          MOV         LCD_ADDR,#054H      ; Set Address 50H
                ACALL       SET_ADDR_LCD        ;
                RET
;-------------------------------------------------------------------------
; LCD Initialize
;-------------------------------------------------------------------------
INIT_LCD:       ACALL       DELAY_100ms         ; Delay
                CLR         LCD_RS              ; Clear LCD_RS Pin
                MOV         P0,#00111000B       ; 8bit Mode
                ACALL       LCD_CLK             ; Pulse LCD Clock
                ACALL       DELAY_10ms          ; Delay
                MOV         P0,#00111000B       ; 8bit Mode
                ACALL       LCD_CLK             ; Pulse LCD Clock
                ACALL       LCD_OFF             ; Display Off
                ACALL       LCD_CLR             ; Clear Display
                MOV         P0,#00000110B       ; Entry Mode
                ACALL       LCD_CLK             ; Pulse LCD Clock
                ACALL       LCD_HOME            ; Return Home Display
;-------------------------------------------------------------------------
; LCD Clear Display
;-------------------------------------------------------------------------
LCD_CLR:        CLR         LCD_RS              ; Clear LCD_RS Pin
                MOV         P0,#00000001B       ; Display Clear
                ACALL       LCD_CLK             ; Pulse LCD Clock
                RET
;-------------------------------------------------------------------------
; LCD Return Home
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;-------------------------------------------------------------------
LCD_HOME:   CLR     LCD_RS          ; Clear LCD_RS Pin
            MOV     P0,#00000010B   ; Return Home
            ACALL   LCD_CLK         ; Pulse LCD Clock
            RET
;-------------------------------------------------------------------
; LCD Display Off
;-------------------------------------------------------------------
LCD_OFF:    CLR     LCD_RS          ; Clear LCD_RS Pin
            MOV     P0,#00001000B   ; Display Off
            ACALL   LCD_CLK         ; Pulse LCD Clock
            RET
;-------------------------------------------------------------------
; LCD Clk
;-------------------------------------------------------------------
LCD_CLK:    SETB    LCD_EN          ; Pulse Clock to LCD_EN
            ACALL   LCD_DELAY
            CLR     LCD_EN
            ACALL   LCD_DELAY
            RET
;-------------------------------------------------------------------
; LCD Display On
;-------------------------------------------------------------------
LCD_ON:     CLR     LCD_RS          ; Clear LCD_RS Pin
            MOV     P0,#00001100B   ; Display On
            ACALL   LCD_CLK         ; Pulse LCD Clock
            RET
;-------------------------------------------------------------------
; LCD Cursor On
;-------------------------------------------------------------------
LCD_BLINK:  CLR     LCD_RS          ; Clear LCD_RS Pin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                MOV         P0,#00001111B       ; Display Cursor and Blink
                ACALL       LCD_CLK             ; Pulse LCD Clock
                RET
;-------------------------------------------------------------------------
; LCD Cursor Off
;-------------------------------------------------------------------------
LCD_CUR_OFF:    CLR         LCD_RS              ; Clear LCD_RS Pin
                MOV         P0,#00001100B       ; Display Cursor and Blink
                ACALL       LCD_CLK             ; Pulse LCD Clock
                RET
;-------------------------------------------------------------------------
; LCD Left Shift Display
;-------------------------------------------------------------------------
LCD_LSHF:       CLR         LCD_RS              ; Clear LCD_RS Pin
                MOV         P0,#00011000B       ; Left Shift Display
                ACALL       LCD_CLK             ; Pulse LCD Clock
                RET
;-------------------------------------------------------------------------
; LCD Right Shift Display
;-------------------------------------------------------------------------
LCD_RSHF:       CLR         LCD_RS              ; Clear LCD_RS Pin
                MOV         P0,#00011100B       ; Right Shift Display
                LCALL       LCD_CLK             ; Pulse LCD Clock
                RET
;-------------------------------------------------------------------------
; Set LCD Address
; I/P:          LCD_ADDR
;-------------------------------------------------------------------------
SET_ADDR_LCD:   CLR         LCD_RS              ; Clear LCD_RS Pin
                PUSH        ACC
                MOV         A,LCD_ADDR          ; Move LCD_ADDR to ACC.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                SETB    ACC.7           ; Set bit ACC.7
                MOV     P0,A            ; Move to DATABUS
                LCALL   LCD_CLK         ; Pulse LCD Clock
                POP     ACC
                RET
;-------------------------------------------------------------------------
; Write Character to show LCD
; I/P:          LCD_DATA
;-------------------------------------------------------------------------
WRCHAR_LCD:     SETB    LCD_RS          ; Set LCD_RS Pin
                MOV     P0,LCD_DATA     ; Move LCD_DATA to DATABUS
                LCALL   LCD_CLK         ; Pulse LCD Clock
                LCALL   LCD_ON          ; Display On
                RET
;-------------------------------------------------------------------------
; Write Line of 16 Character from ROM
; I/P:          DPTR : Locate ROM Address
;-------------------------------------------------------------------------
WRLINE_LCD:     PUSH    ACC
                MOV     R0,#0           ; Clear loop counter
WRLINE_LCD_1:   SETB    LCD_RS          ; Set LCD_RS Pin
                CLR     A               ; Clear ACC.
                MOVC    A,@A+DPTR       ; Move data from @DPTR to ACC.
                MOV     P0,A            ; Move ACC. to DATABUS
                LCALL   LCD_CLK         ; Pulse LCD Clock
                INC     DPTR            ; Increase Pointer
                INC     R0              ; Increase loop counter
                CJNE    R0,#20,WRLINE_LCD_1 ; Do until 16 times
                LCALL   LCD_ON          ; Display On
                POP     ACC
                RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
;-------------------------------------------------------------------
; Dummy Delay time LCD_DELAY, 10m, 100m, 1s
;-------------------------------------------------------------------
LCD_DELAY:    MOV       R7,#002          ; Do 2 times
LCD_DELAY_1:  MOV       R6,#0E6H         ; Each loop = 1 ms
LCD_DELAY_2:  NOP
              NOP                        ; P89C51RD2 addition
              NOP
              NOP
              NOP
              NOP                        ; End
              DJNZ      R6,LCD_DELAY_2
              DJNZ      R7,LCD_DELAY_1
              RET
DELAY_10ms:   MOV       R7,#010          ; Do 10 times
DELAY_10ms_1: MOV       R6,#0E6H         ; Each loop = 1 ms
DELAY_10ms_2: NOP
              NOP                        ; P89C51RD2 addition
              NOP
              NOP
              NOP                        ; End
              DJNZ      R6,DELAY_10ms_2
              DJNZ      R7,DELAY_10ms_1
              RET
DELAY_100ms:  MOV       R7,#100          ; Do 100 times
DELAY_100ms_1:MOV       R6,#0E6H         ; Each loop = 1 ms
DELAY_100ms_2:NOP
              NOP                        ; P89C51RD2 addition
              NOP
              NOP
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                NOP
                NOP                             ; End
                DJNZ        R6,DELAY_100ms_2
                DJNZ        R7,DELAY_100ms_1
                RET
DELAY_1s:       MOV         R5,#100             ; Do 100 times
DELAY_1s_1:     LCALL       DELAY_10ms
                DJNZ        R5,DELAY_1s_1
                RET
;---------------------------------------------------------------------
; Dummy Delay time LCD_DELAY, 10m, 100m, 1s SPACIAL
;---------------------------------------------------------------------
WLCD_DELAY:MOV          R7,#002             ; Do 2 times
WLCD_DELAY_1:MOV        R6,#0E6H            ; Each loop = 1 ms
WLCD_DELAY_2:NOP
                NOP                         ; P89C51RD2 addition
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP                         ; End
                DJNZ        R6,WLCD_DELAY_2
                DJNZ        R7,WLCD_DELAY_1
                RET
WDELAY_10ms:MOV         R7,#010             ; Do 10 times
WDELAY_10ms_1:MOV       R6,#0E6H            ; Each loop = 1 ms
WDELAY_10ms_2:NOP
                NOP                         ; P89C51RD2 addition
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP                         ; End
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                DJNZ        R6,WDELAY_10ms_2
                DJNZ        R7,WDELAY_10ms_1
                RET
WDELAY_100ms:MOV        R7,#100             ; Do 100 times
WDELAY_100ms_1:MOV      R6,#0E6H            ; Each loop = 1 ms
WDELAY_100ms_2:NOP
                NOP                         ; P89C51RD2 addition
                NOP
                NOP
                NOP
                NOP                         ; End
                DJNZ        R6,WDELAY_100ms_2
                DJNZ        R7,WDELAY_100ms_1
                RET
WDELAY_1s:      MOV         R5,#100         ; Do 100 times
WDELAY_1s_1: LCALL      WDELAY_10ms
                DJNZ        R5,WDELAY_1s_1
                RET
;-------------------------------------------------------------------
;Define Constant < Store in Flash EEPROM Program Memory >
;-------------------------------------------------------------------
;                                                   0123456789ABCDEF
TITLE_1:                    DB          '   Induction Oven    '
TITLE_2:                    DB          '    Produce By       '
TITLE_3:                    DB          ' Mr. Kamol Patep     '
TITLE_4:                    DB          '  43015106  3/1W     '
TITLE_5:                    DB          '      Manager        '
TITLE_6:                    DB          ' Mr.Yongyut Mekod    '
TITLE_7:                    DB          '  43015132  3/1W     '
TITLE_8:                    DB          '    Architecture     '
TITLE_9:                    DB          '  Mr.Narongchai      '
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
TITLE_10:   DB   '   Sateenviriya   '
TITLE_11:   DB   '   43015163  3/2W   '
TITLE_12:   DB   '   Mr.Sujet Puchonk   '
TITLE_13:   DB   '   43015186  3/2W   '
TITLE_14:   DB   '   Secretary   '
TITLE_15:   DB   '   Mr.Harin Hayeeson   '
TITLE_16:   DB   '   43015190  3/2W   '
TITLE_17:   DB   '   Miscellany   '
TITLE_18:   DB   '   '
TITLE_19:   DB   '   Push Enter   '
TITLE_20:   DB   '   Close Door   '
TITLE_21:   DB   '   Realdy   '
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ธารากร เนยเขียว , พิจิตร พอกแก้ว, สุชาติ เก่งขุนทด "เตาหุ้งต้มโดยใช้ฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์รีโซแนนซ์แบบอนุกรม" ปริญญานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง , 2544

[2] ณัฐพล ดอนสกุล , ณัฐพล รินทกุล, นันทภูมิ ไวทยกุล "เตาอบเหนี่ยวนำ"ปริญญานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2543

[3] สุศักดิ์ ทองธรรมชาติ "วงจรไฟฟ้ามูลฐาน": หน้า 92-130, 2526

[4] ไมตรี วรวุฒิจรรยากุล "ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า": หน้า 125-137, 2538

[5] สมบูรณ์ มาลานนท์ , สมคิด วิริยะประสิทธิชัย "แหล่งจ่ายไฟแบบสวิทชิ่ง": หน้า 51-85

[6] สุวัฒน์ ดั่น "สวิตชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย": หน้า 78-85 , 133-139 , 177-187

[7] สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์ "เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม" :พิมพ์ครั้งที่ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ชิ้นนี้ ได้สำเร็จลุล่วงด้วยดีตามวัตถุประสงค์ ทั้งนี้เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากบุคคลดังต่อไปนี้

1. รศ.ดร.วิริยะ พิเชษฐจำเริญ

2. คุณอานัต ถึงสาคร (พี่นัต) พี่ป.โทผู้ให้ความช่วยเหลือที่ดีที่สุดในทุกๆด้าน แม้อารมณ์จะแปรปรวนบ้างในบางเวลา

3. คุณศักดา พรหมเหมือน (พี่เทพ) หนึ่งในความช่วยเหลือและความสนุกที่ได้รับเป็นส่วนหนึ่งจากเขาผู้นี้

4. เพื่อนๆกลุ่มโปรเจคต์ใกล้เคียงที่ให้ความสนุกสนานยามค่ำคืน

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์และบุคคลดังกล่าวทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนให้ความรู้อันเป็นประโยชน์ คำปรึกษาและความช่วยเหลือต่างๆที่มีให้ ตลอดจนช่วยจัดหาอุปกรณ์ต่างๆที่ขาดเหลือในการทำโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้