

การส่งสัญญาณ โดยใช้หม้อแปลงPCB

(Voltage Isolator with PCB Transformer)



เลขที่.....
เลขทะเบียน 45734
วัน, เดือน, ปี 13 ก.พ. 2546

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้ 21

ปริญญาโทปีการศึกษา 2544

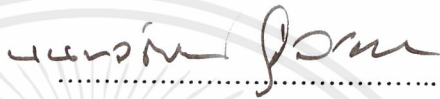
ภาควิชา วิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การส่งสัญญาณ โดยใช้หม้อแปลงPCB

ผู้จัดทำ

1. นาย วีระวัฒน์ ศิริรัตน์
2. นาย ชีรสิทธิ์ ปัญญาสมบัติ



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.นนทวัฒน์ จุลเคชะ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งสัญญาณ โดยใช้หม้อแปลง PCB

นาย วีระวัฒน์ ศิริรัตน์

นาย ชีรสิทธิ์ ปัญญาสมบัติ

ดร.นนทวัฒน์ จุลเดชะ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาและทดลองเกี่ยวกับการส่งสัญญาณรวมทั้งการ ไอ โชนเลท สัญญาณทางไฟฟ้า โดยใช้หม้อแปลงชนิดแผ่นปรินต์ ซึ่งเป็นหม้อแปลงที่เป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ แทนการใช้หม้อแปลงแบบดั้งเดิมที่ใช้แกนเหล็ก ทั้งนี้เพื่อลดปัญหาและข้อเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้หม้อแปลงแบบเดิม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและชุดข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage Isolator with PCB Transformer

Verawat Sirirat

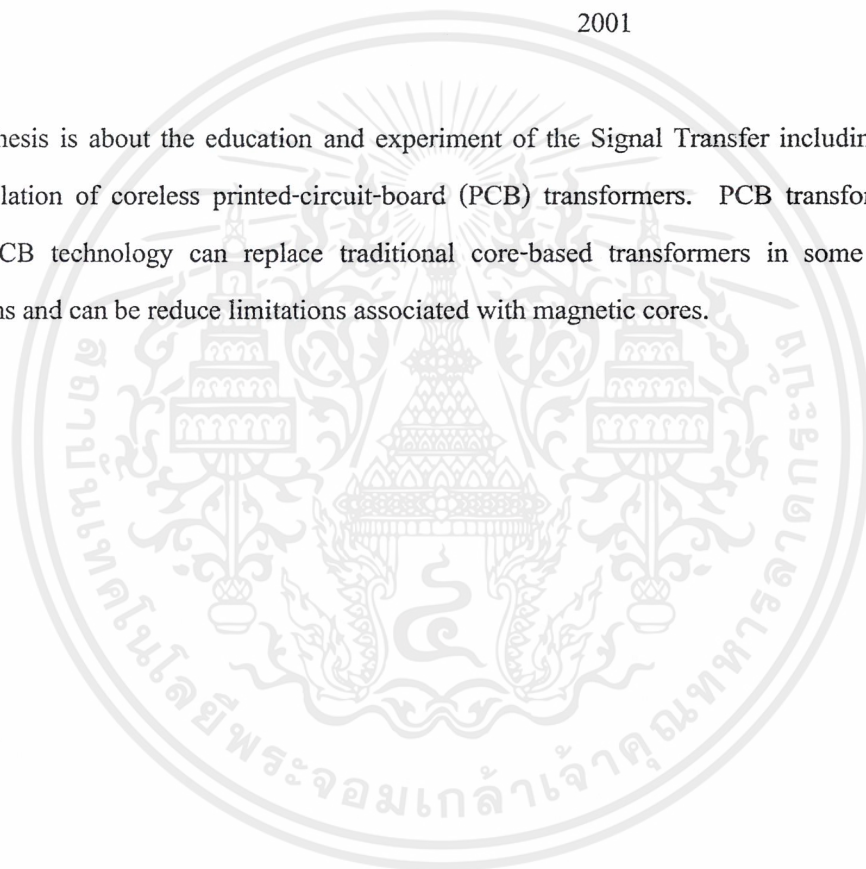
Therasith Panyasombat

Dr.Nontawat Chuladaycha Advisor

2001

Abstract

This thesis is about the education and experiment of the Signal Transfer including Voltage Signal Isolation of coreless printed-circuit-board (PCB) transformers. PCB transformers is a modern PCB technology can replace traditional core-based transformers in some industrial applications and can be reduce limitations associated with magnetic cores.



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ข
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	จ
สารบัญตาราง	ช
บทที่	
1 บทนำ	1
2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 การแยกกราวด์ทางไฟฟ้า	3
2.2 หม้อแปลงชนิดแผ่นปริ้นต์	3
2.2.1 การคำนวณค่าอินดักแตนซ์	5
2.2.2 คุณสมบัติต่างของหม้อแปลงแผ่นปริ้นต์	7
2.3 หลักการทำงานวงจรส่งสัญญาณ	11
2.3.1 วงจรปรับปรุงระดับสัญญาณ	11
2.3.2 การแปลงแรงดันเป็นความถี่	12
2.3.3 การปรับปรุงระดับสัญญาณความถี่สูง	12
2.3.5 วงจรเปรียบเทียบแรงดันความถี่สูง	13
2.3.6 การแปลงความถี่เป็นแรงดัน	13
3 การคำนวณและการสร้าง	14
4 การทดลองและผลการทดลอง	16
4.1 การทดลองวัดค่าแอมพลิจูด ที่ความถี่ต่างๆ	16
4.2 การทดลองวัดค่าอินดักแตนซ์ที่ความถี่ต่างๆ	17
4.3 การทดลองส่งผ่านสัญญาณระดับต่างๆ	17
5 บทวิจารณ์และสรุป	28
ภาคผนวก	30
กิตติกรรมประกาศ	67
หนังสืออ้างอิง	68

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 เทียบขนาดของหม้อแปลงชนิดแผ่นปรินต์ กับหม้อแปลงความถี่สูง	2
รูปที่ 2 โครงสร้างหม้อแปลงแผ่นปรินต์ และแสดงการเหนี่ยวนำระหว่างทั้งสองด้าน	4
รูปที่ 3 วงจรสมมูลของหม้อแปลงชนิดแผ่นปรินต์	4
รูปที่ 4 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ	5
รูปที่ 5 กราฟแสดงผลการแปรค่ารัศมีวงนอกกับจำนวนรอบที่คงที่	7
รูปที่ 6 กราฟแสดงผลการแปรค่าจำนวนรอบกับรัศมีที่คงที่	7
รูปที่ 7 กราฟแสดงผลการแปรค่าจำนวนรอบกับระยะระหว่างtrack(s)ที่คงที่	8
รูปที่ 8 กราฟแสดงผลการแปรค่าความหนาแผ่นวงจร	8
รูปที่ 9 กราฟแสดงผลการแปรค่าความกว้างของเส้นตัวนำ	9
รูปที่ 10 กราฟแสดงผลการแปรค่าความหนาของตัวนำ	9
รูปที่ 11 กราฟแสดงผลการทดลองการแปรค่าความถี่ที่ใช้	10
รูปที่ 12 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทั้ง 6 การทดลอง	10
รูปที่ 13 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรรวม	11
รูปที่ 14 หม้อแปลงแผ่นปรินต์ขนาด 1.5 เซนติเมตร ,2.0 เซนติเมตร และ 2.5 เซนติเมตร	14
รูปที่ 15 รูปวงจรรวม	15
รูปที่ 16 สัญญาณชุดปรับปรุงสัญญาณ(ที่อินพุตต่ำสุด)	18
รูปที่ 17 สัญญาณชุดแปลงแรงดันเป็นความถี่(ที่อินพุตต่ำสุด)	18
รูปที่ 18 สัญญาณชุดปรับปรุงสัญญาณความถี่สูง(ที่อินพุตต่ำสุด)	19
รูปที่ 19 สัญญาณชุดปรับปรุงสัญญาณ(ที่อินพุต0V)	19
รูปที่ 20 สัญญาณชุดแปลงแรงดันเป็นความถี่(ที่อินพุต0V)	20
รูปที่ 21 สัญญาณชุดปรับปรุงสัญญาณความถี่สูง(ที่อินพุต0V)	20
รูปที่ 22 สัญญาณชุดปรับปรุงสัญญาณ(ที่อินพุต5.3V)	21
รูปที่ 23 สัญญาณชุดแปลงแรงดันเป็นความถี่(ที่อินพุต5.3V)	21
รูปที่ 24 สัญญาณชุดปรับปรุงสัญญาณความถี่สูง(ที่อินพุต5.3V)	22
รูปที่ 25 สัญญาณชุดปฐมนุ้มนิว(ที่อินพุต5.3V)	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 26 สัญญาณขดทุติยภูมิ(ที่อินพุต5.3V)	23
รูปที่ 27 สัญญาณขดคอมพาสเตอร์ความถี่สูง(ที่อินพุต5.3V)	23
รูปที่ 28 สัญญาณขดปรับปรุงสัญญาณ(ที่อินพุต12V)	24
รูปที่ 29 สัญญาณขดแปลงแรงดันเป็นความถี่(ที่อินพุต12V)	24
รูปที่ 30 สัญญาณขดปรับปรุงสัญญาณความถี่สูง(ที่อินพุต12V)	25
รูปที่ 31 สัญญาณขดปฐมภูมิ(ที่อินพุต12V)	25
รูปที่ 32 สัญญาณขดทุติยภูมิ(ที่อินพุต12V)	26
รูปที่ 33 สัญญาณขดคอมพาสเตอร์ความถี่สูง(ที่อินพุต12V)	26
รูปที่ 34 กราฟความสัมพันธ์ของระดับสัญญาณอินพุตกับความถี่เอาต์พุต ของวงจรรวม	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของหม้อแปลงความถี่สูง กับ หม้อแปลง ชนิดแผ่นปรินต์	1
ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ความถี่กับแอมพลิจูดหม้อแปลงขนาดรัศมี 1.5 เซนติเมตร	16
ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ความถี่กับแอมพลิจูดหม้อแปลงขนาดรัศมี 2.0 เซนติเมตร	16
ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ความถี่กับแอมพลิจูดหม้อแปลงขนาดรัศมี 2.5 เซนติเมตร	16
ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ความถี่กับค่าอินดักแตนซ์หม้อแปลงขนาดรัศมี 1.5 เซนติเมตร	17
ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ความถี่กับค่าอินดักแตนซ์หม้อแปลงขนาดรัศมี 2.0 เซนติเมตร	17
ตารางที่ 7 ความสัมพันธ์ความถี่กับค่าอินดักแตนซ์หม้อแปลงขนาดรัศมี 2.5 เซนติเมตร	17



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันการไอโซเลตสัญญาณเราใช้หม้อแปลงความถี่สูง (high frequency core - based transformers) ซึ่งในการใช้งานยังคงมีข้อดีอยู่หลายประการด้วยกัน อาทิการถูกจำกัดความถี่ที่ใช้งาน รวมทั้งขนาดซึ่งยังคงเป็นอุปสรรคอยู่บ้างในการหาตำแหน่งวางในวงจร เนื่องจากหม้อแปลงแบบเดิมที่ใช้แกนยังคงมีขนาดใหญ่และเกิดปัญหาจากค่าความอิ่มตัวของสนามแม่เหล็ก (magnetic saturation) และค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก (core loss) เราสามารถขจัดสิ่งเหล่านี้ และลดขั้นตอนการเสียเวลาในการพันขดลวดได้ โดยการใช้หม้อแปลงชนิดแผ่นปริ้นต์ (coreless printed circuit board transformers, PCB) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ ซึ่งในปัจจุบันมีผู้ศึกษาและทำการทดลองอยู่น้อยมาก ทั้งนี้การใช้หม้อแปลงชนิดแผ่นปริ้นต์ ยังสามารถควบคุมค่าพารามิเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

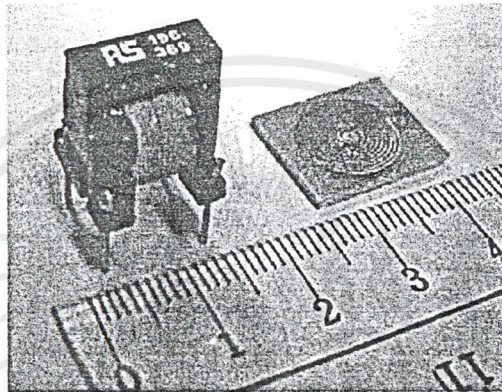
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของหม้อแปลงความถี่สูง กับ หม้อแปลงชนิดแผ่นปริ้นต์

หม้อแปลงความถี่สูง	หม้อแปลงชนิดแผ่นปริ้นต์
- ในความถี่สูงใช้แกนเฟอร์ไรต์ คือ แมกนีเซียม+สังกะสี หรือ นิกเกิล+สังกะสี ซึ่งมีราคาแพง	- ใช้แค่แผ่น PCB ราคาถูกกว่ามาก
- น้ำหนักมาก	- น้ำหนักเบา
- ขนาดใหญ่	- ขนาดเล็ก
- ใช้เวลามากในการทำหลายๆตัว	- ใช้เวลาทำเร็วและเที่ยงตรง
- เกิด loss ผลจากความร้อนในแกนเหล็ก	- ไม่มีผลจากความร้อนในแกนเหล็กเพราะไม่ใช้แกนเหล็ก
- อาจเกิดผลจาก skin effect	- ไม่มีผลจาก skin effect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1(ต่อ) เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของหม้อแปลงความถี่สูง กับ หม้อแปลงชนิดแผ่นปริ้นต์

หม้อแปลงความถี่สูง	หม้อแปลงชนิดแผ่นปริ้นต์
- ความยุ่งยากในการออกแบบวงจรน้อยกว่า	- ความยุ่งยากในการออกแบบวงจรมากกว่า
- มีสัญญาณรบกวน	- สัญญาณรบกวนมากต้องระวังในการออกแบบ



รูปที่ 1 เปรียบขนาดของหม้อแปลงชนิดแผ่นปริ้นต์ กับหม้อแปลงความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

โครงการนี้จะทำการศึกษาทดลองเกี่ยวกับการส่งสัญญาณ (signal transfer) โดยใช้หม้อแปลงชนิดแผ่นปริ้นต์ ในการส่งสัญญาณเพื่อแยกกราวด์ทางไฟฟ้า โดยวงจรที่ทำการทดลองเป็นวงจรที่มีหน้าที่ไอโซเลตความถี่ หม้อแปลงชนิดแผ่นปริ้นต์เป็นหม้อแปลงที่ไม่มีแกนเหล็กหรือไม่ใช้แกนเหล็ก ที่เป็นเช่นนี้ก็เพื่อต้องการลดหรือตัดปัญหาทางด้านข้อจำกัดทางความถี่ การอิมิตตัวของสนามแม่เหล็ก และลดการสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงพื้นฐานแบบเดิม ทั้งยังลดขั้นตอนในการพันขดลวดด้วยมือที่เป็นภาระและเสียเวลา ลดปัญหาความน่าเชื่อถือรวมทั้งความแน่ใจในคุณภาพของหม้อแปลงในกระบวนการผลิตที่ละมามากๆ ค่าพารามิเตอร์ของลายปริ้นต์สามารถควบคุมได้อย่างถูกต้องในเทคโนโลยีแผ่นปริ้นต์แนวใหม่

2.1 การแยกกราวด์ทางไฟฟ้า(Isolation)

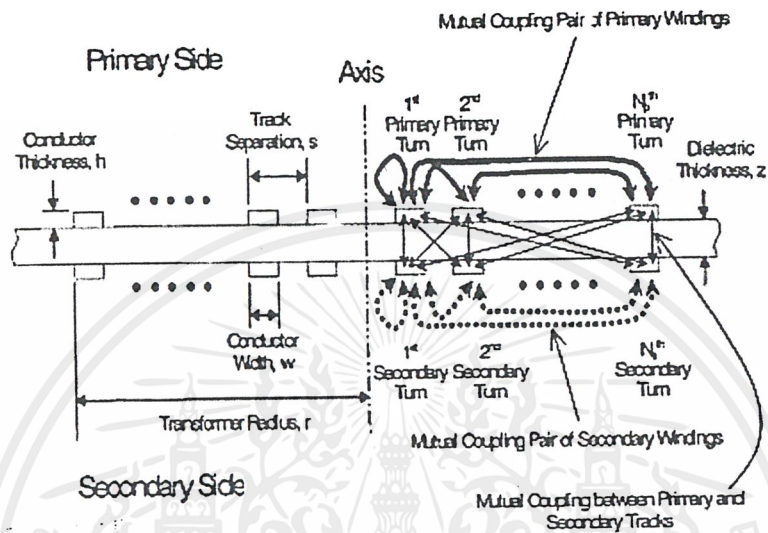
ในทางอุตสาหกรรมเราจะพบว่ามีกรณีผสมผสานอุปกรณ์หลายๆอย่างที่มีหน้าที่การทำงานต่างกันเข้าไว้ด้วยกัน เพื่อความถูกต้องและสะดวกรวดเร็วในการทำงาน เช่นใช้ทรานส์ดิวเซอร์ในการตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรขนาดใหญ่ แล้วนำไปประมวลผลหรือแสดงผลในคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะมีชุดที่ทำการปรับสัญญาณเพื่อลดสัญญาณรบกวนขนาดใหญ่ที่เกิดจากเครื่องจักร โดยเราจะใช้ชุดแยกกราวด์สัญญาณเป็นตัวป้องกันอุปกรณ์เครื่องวัดที่มีราคาแพงออกจากสัญญาณรบกวนเหล่านี้ จำเป็นต้องมีการแยกกราวด์กันระหว่างอุปกรณ์ที่สำคัญ เพื่อความปลอดภัยของอุปกรณ์ หากส่วนหนึ่งส่วนใดในวงจรเกิดความผิดพลาดเกิดกระแสไฟเกินหรือกระแสไฟกระชาก ทำให้อุปกรณ์ที่ต่ออยู่ข้างเคียงเสียหายได้ การแยกกราวด์ทางไฟฟ้าที่นิยมใช้กันอยู่มีสองแบบ คือ การใช้หม้อแปลงความถี่สูง และการใช้แสง(Optical Isolation)

2.2 หม้อแปลงชนิดแผ่นปริ้นต์(PCB Transformer)

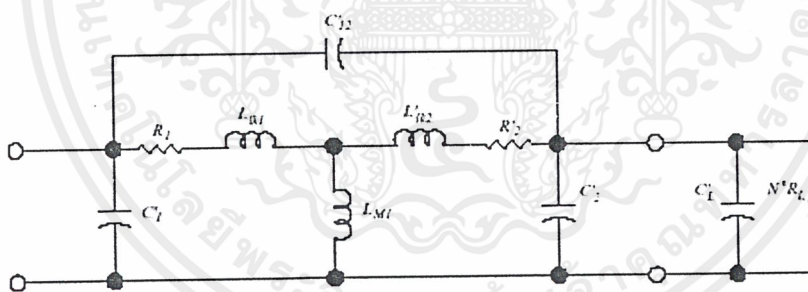
ทำงานโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก ระหว่างลายปริ้นต์รูปวงกลมกันหอย ทั้งสองด้านของแผ่นปริ้นต์สองหน้า ลายปริ้นต์ทั้งสองด้านแบ่งเป็นด้านปฐมภูมิ(primary) และ ด้านทุติยภูมิ(secondary) โดยจะวางซ้อนทับกันพอดี เพื่อให้ได้สัญญาณที่เป็นผลการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กที่ขดปฐมภูมิส่งผ่านให้ขดทุติยภูมิได้ดีที่สุด โดยมีย่านความถี่ที่ 750 kHz ถึง 1 MHz ซึ่งเป็นย่านที่มีค่าการส่งถ่ายทางความถี่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหม้อแปลงชนิดนี้ เพราะที่ความถี่ต่ำจะทำให้สนามแม่เหล็กที่ผลิตได้จะมีปริมาณน้อย ส่งผลให้ความสามารถในการเหนี่ยวนำของสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่เหล็กข้ามไปยังขดทุติยภูมิมีค่าน้อยตามลงไป แต่ถ้าหากเราใช้ความถี่มากจนเกินไปก็จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวน(noise)เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 2 โครงสร้างหม้อแปลงแผ่นปริ้นต์ และแสดงการเหนี่ยวนำระหว่างทั้งสองด้าน



รูปที่ 3 วงจรสมมูลของหม้อแปลงชนิดแผ่นปริ้นต์

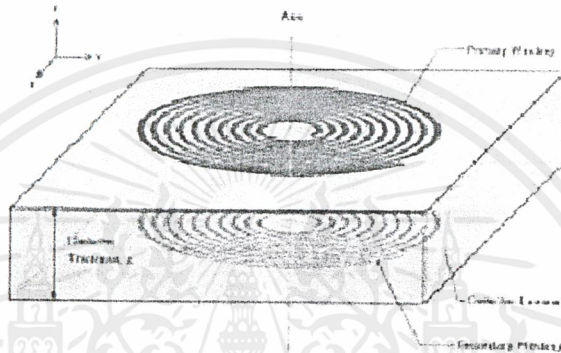
- R_1 = ความต้านทานของขด primary
- R_2 = ความต้านทานของขด secondary ที่เปรียบกับขด primary
- R_L = ความต้านทานโหลด
- L_{lk1} = Flux รั่วไหลในขด primary
- L_{lk2} = Flux รั่วไหลในขด secondary ที่เปรียบกับขด primary
- L_{M1} = ค่าความเหนี่ยวนำระหว่างขด primary
- C_1 = ค่า capacitance ของขด primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- C_2 = ค่า capacitance ของ secondary เปรียบกับขด primary
 C_{12} = ค่า capacitance ระหว่าง primary และ secondary
 n = อัตราส่วนจำนวนรอบ

2.2.1 การคำนวณค่าอินดักแตนซ์

PCB Transformer ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ ๆ



รูปที่ 4 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ

- primary winding
- dielectric laminate
- secondary winding

สมการการหา self-inductance ของ primary และ secondary

$$L_p = \sum_{j=1}^{N_p} \sum_{I=1}^{N_p} M_{ij} \quad (1)$$

$$L_s = \sum_{j=1}^{N_s} \sum_{I=1}^{N_s} M_{ij} \quad (2)$$

สมการการหา Mutual inductance ระหว่าง primary และ secondary

$$M_{ps} = \sum_{j=1}^{N_p} \sum_{I=1}^{N_s} M_{ij} \quad (3)$$

สมการการหา leakage inductance ขด primary

$$L_{lk} = L_p - M_{ps} \quad (4)$$

สมการการหา Mutual inductance between two circular tracks

$$M_{ij} = \frac{\mu_0 \pi}{h_1 \ln(r_2 / r_1) h_2 \ln(a_2 / a_1)} \int_0^{\infty} S(kr_2, kr_1) \cdot S(ka_2, ka_1) Q(kh_1, kh_2) e^{-k|z|} dk \quad (5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกำหนดให้

$$S(kr_2, kr_1) = \frac{J_0(kr_2) - J_0(kr_1)}{k}$$

$$S(ka_2, ka_1) = \frac{J_0(ka_2) - J_0(ka_1)}{k}$$

เมื่อ $Z > \frac{h_1 + h_2}{2}$

$$Q(kh_1, kh_2) = \frac{2}{k^2} (\cosh k \frac{h_1 + h_2}{2} - \cosh k \frac{h_1 - h_2}{2})$$

เมื่อ $Z = 0$, $h_1 - h_2 = h$

$$Q(kh_1, kh_2) = \frac{2}{k} (h - \frac{e^{-kh} - 1}{k}) \quad (6)$$

μ_0	permeability of vacuum;
$J_0(\cdot)$	first kind Bessel function of order zero;
a_1	inner radius of the i th circular track;
a_2	outer radius of the i th circular track;
h_1	height of the i th circular track;
r_1	inner radius of the j th circular track;
r_2	outer radius of the j th circular track;
h_2	height of the j th circular track;
z	separation between the circular tracks.

จากสมการที่ (1) ถึง (6) แสดงถึงค่า parameters ที่ขึ้นอยู่กับ geometry ของ PCB Transformer
ค่า inductive parameters ที่เปลี่ยนแปลงได้

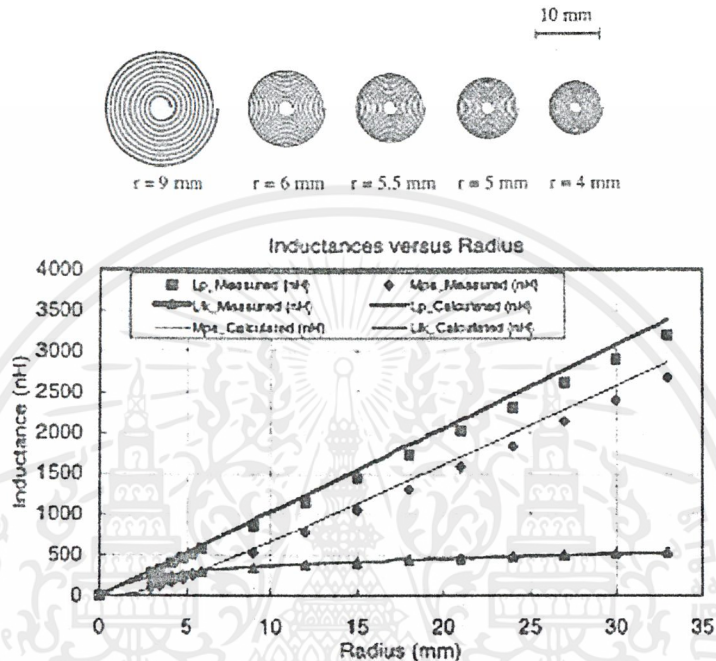
- 1) outermost radius (r);
- 2) number of turns (N);
- 3) conductor width (w);
- 4) lamination thickness (z);
- 5) conductor thickness (h).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 คุณสมบัติต่างของหม้อแปลงแผ่นปรีนส์

A. แปรค่ารัศมีวงนอก(outermost radius) กับจำนวนรอบที่คั้งที่(Transformer Series # 1)

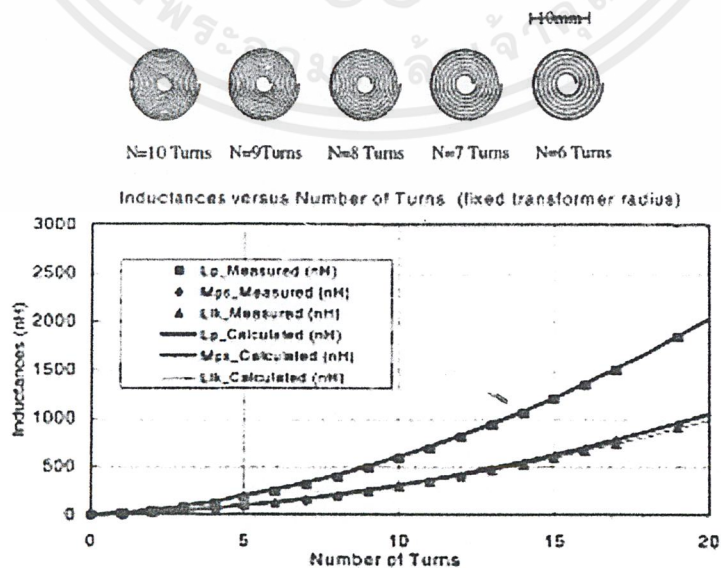
โดยแปรค่า outermost radius (r) จาก 3 mm ถึง 33 mm



รูปที่ 5 กราฟแสดงผลการแปรค่ารัศมีวงนอกกับจำนวนรอบที่คั้งที่

B. แปรค่าจำนวนรอบ (N) กับรัศมีที่คั้งที่ (Transformer Series # 2)

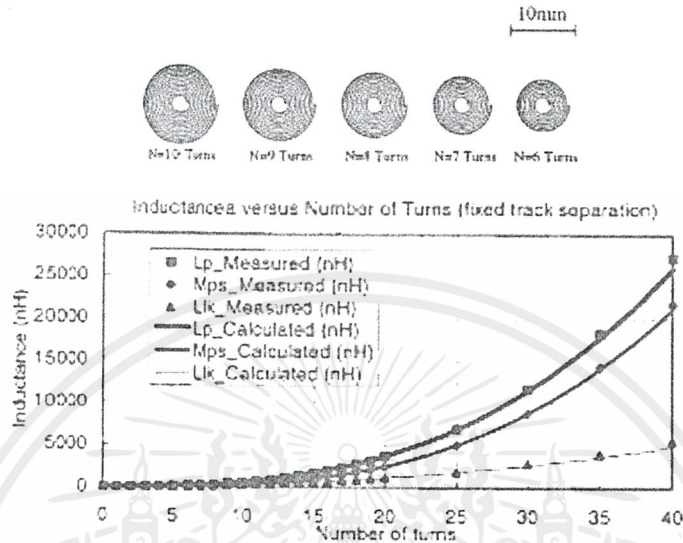
โดยแปรค่าจำนวนรอบ (N) ทั้งคั้ง primary และ secondary



รูปที่ 6 กราฟแสดงผลการแปรค่าจำนวนรอบกับรัศมีที่คั้งที่

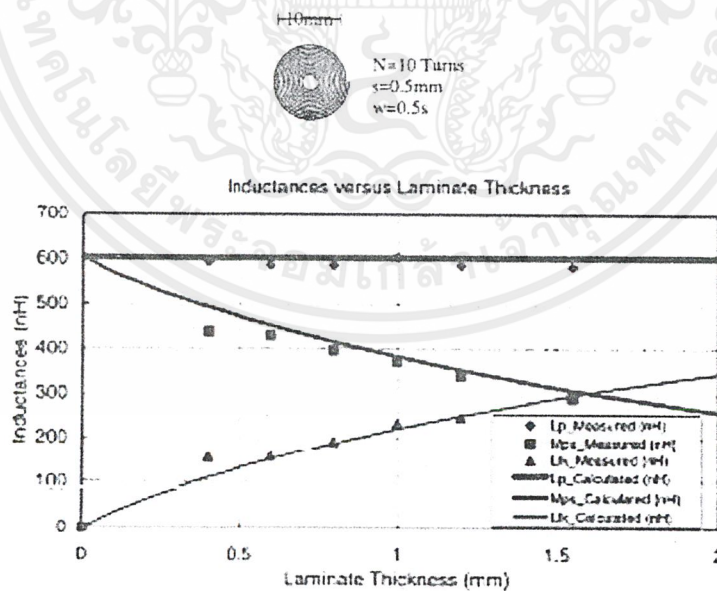
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- C. แปรค่าจำนวนรอบ (N) กับระยะระหว่าง track (s) ที่คงที่ (Transformer Series # 3)
โดยแปรค่าจำนวนรอบ (N) จาก 1 ถึง 40 รอบ



รูปที่ 7 กราฟแสดงผลการแปรค่าจำนวนรอบกับระยะระหว่างtrack(s)ที่คงที่

- D. แปรค่าความหนาแผ่นวงจรLaminate Thickness (z) (Transformer Series # 4)
โดยแปรค่าจาก 0.4 ถึง 1.55 mm

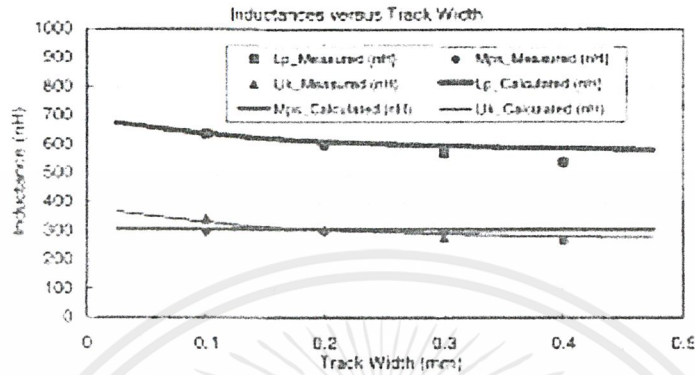


รูปที่ 8 กราฟแสดงผลการแปรค่าความหนาแผ่นวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E. แปรค่าความกว้างของเส้นตัวนำ (w) (Transformer Series # 5)

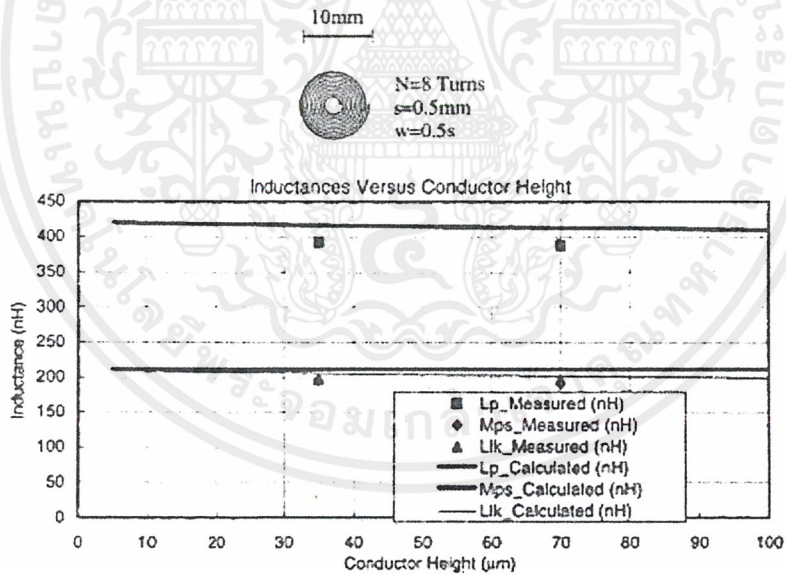
โดยแปรค่าจาก 0.1mm ถึง 0.4mm



รูปที่ 9 กราฟแสดงผลการแปรค่าความกว้างของเส้นตัวนำ

F. แปรค่าความหนาของตัวนำ (z) (Transformer Series # 6)

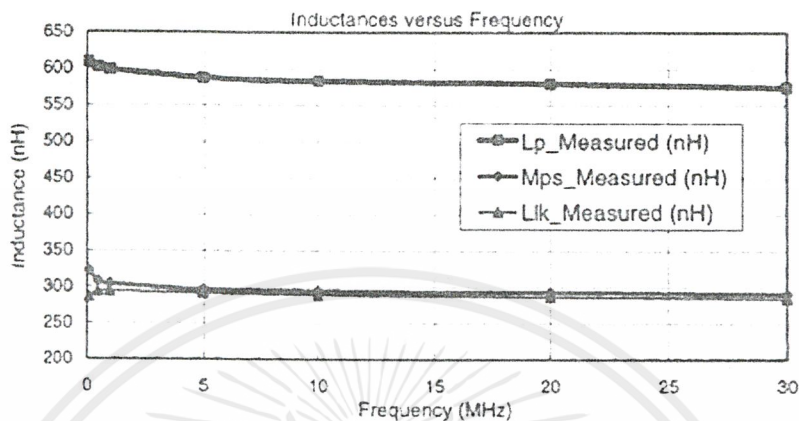
โดยแปรค่าจาก 1 μ m ถึง 100 μ m



รูปที่ 10 กราฟแสดงผลการแปรค่าความหนาของตัวนำ

G. แปรค่าความถี่ที่ใช้(MHz)

โดยแปรค่าจาก 1MHz ถึง 30MHz



รูปที่ 11 กราฟแสดงผลการทดลองการแปรค่าความถี่ที่ใช้

TABLE I
DESCRIPTION OF TRANSFORMER SERIES

Transformer Series	#1	#2	#3	#4	#5	#6
Outermost radius of the transformer, r	3-33 mm	6 mm	1-21 mm	6 mm	6 mm	6 mm
Number of primary turns, N_p	10 turns	1-20 turns	1-40 turns	10 turns	10 turns	8 turns
Number of secondary turns, N_s	10 turns	1-20 turns	1-40 turns	10 turns	10 turns	8 turns
Separation between primary tracks, s_p	$\frac{r}{12}$	$\frac{6}{N_p+2}$	0.5 mm	0.5 mm	0.5 mm	0.6 mm
Separation between secondary tracks, s_s	$\frac{r}{12}$	$\frac{6}{N_s+2}$	0.5 mm	0.5 mm	0.5 mm	0.6 mm
Conductor width of primary winding, w_p	$0.424s_p$	$0.5s_p$	$0.5s_p$	$0.5s_p$	$0.05s_p-0.95s_p$	$0.5s_p$
Conductor width of secondary winding, w_s	$0.424s_s$	$0.5s_s$	$0.5s_s$	$0.5s_s$	$0.05s_s-0.95s_s$	$0.5s_s$
Inner radius of the 1 st coil of the primary winding, a_p	$2r_p - \frac{w_p}{2} + \frac{s_p}{2}$	$2r_s - \frac{w_s}{2} + \frac{s_s}{2}$	$2r_p - \frac{w_p}{2} + \frac{s_p}{2}$	$2r_s - \frac{w_s}{2} + \frac{s_s}{2}$	$2r_s - \frac{w_s}{2} + \frac{s_s}{2}$	$2r_s - \frac{w_s}{2} + \frac{s_s}{2}$
Inner radius of the 1 st coil of the secondary winding, a_s	$2r_s - \frac{w_s}{2} + \frac{s_s}{2}$	$2r_s - \frac{w_s}{2} + \frac{s_s}{2}$	$2r_s - \frac{w_s}{2} + \frac{s_s}{2}$	$2r_s - \frac{w_s}{2} + \frac{s_s}{2}$	$2r_s - \frac{w_s}{2} + \frac{s_s}{2}$	$2r_s - \frac{w_s}{2} + \frac{s_s}{2}$
Conductor thickness, h	35 μ m	35 μ m	35 μ m	35 μ m	35 μ m	1-100 μ m
Laminate thickness, z	1.55 mm	1.55 mm	1.55 mm	0.4-1.55 mm	1.55 mm	1.55 mm

รูปที่ 12 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทั้ง 6 การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

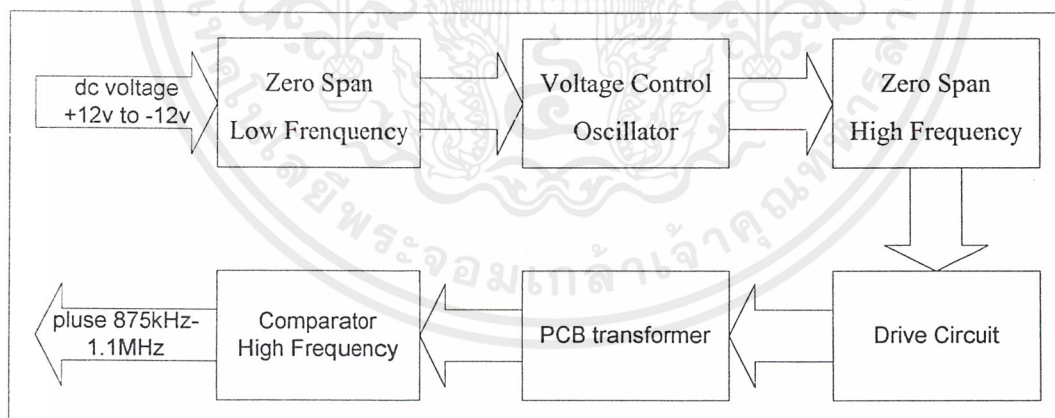
โดยการออกแบบให้หม้อแปลงชนิดแผ่นปริ้นส์ มีลักษณะเป็นวงกลมก็เพราะว่า การแพร่ของสนามแม่เหล็กจะมีลักษณะเป็นวงกลม ดังนั้นการออกแบบเป็นวงกลมจะเหมาะสมที่สุด การส่งผ่านสัญญาณความถี่สูงจากการมอดูเลตสัญญาณส่งผ่านระหว่างแผ่นปริ้นส์ในรูปสนามแม่เหล็ก เมื่อรับสนามแม่เหล็กแล้ว ทำการดีมอดูเลตสัญญาณ ให้เหลือแต่สัญญาณที่เราต้องการมาใช้ แต่สิ่งที่ต้องระวังในขั้นตอนนี้คือ สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในความถี่สูง

2.3 หลักการทำงานของวงจรส่งสัญญาณ

หน้าที่ของวงจรคือ ให้สัญญาณจากด้านหนึ่งไปแสดงผลอีกด้านหนึ่ง ในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง โดยไม่มีการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้า

แบ่งเป็นวงจรย่อยได้ 5 วงจร คือ

1. วงจรปรับปรุงระดับสัญญาณ
2. วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่
3. วงจรปรับปรุงระดับสัญญาณความถี่สูง
4. วงจรเพิ่มกำลังส่งผ่าน
5. วงจรคอมพาลเตเตอร์ความถี่สูง



รูปที่ 13 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรรวม

2.3.1 วงจรปรับปรุงระดับสัญญาณ(Zero and Span)

โดยปกติแล้วระดับสัญญาณต่างๆ ที่จะนำไปใช้มักจะไม่มีอยู่ในระดับที่เหมาะสมกับที่เราต้องการใช้ เช่น ในวงจรภาคแรกเราต้องการใช้ระดับสัญญาณอินพุตไฟตรงขนาด +12 โวลต์ถึง -12 โวลต์ ไปคอนโทรลความถี่ที่ออกมาจากไอซี LM566 ซึ่งเป็น ไอซีแปลงแรงดันเป็นความถี่ ซึ่งรับแรงดันคอนโทรลที่ 7.6 โวลต์ ถึง 11.6 โวลต์ เราต้องทำการจัดอัตราส่วนของแรงดันจากขนาด 24 โวลต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ลดลงมามีขนาด 4 โวลต์ คือลดลงมา 6 เท่า โดยจัดระดับสัญญาณโดยที่สัญญาณอินพุท +12 โวลต์ ปรับวงจรให้เอาท์พุทมาอยู่ที่ 7.6 โวลต์ ซึ่งก็คือค่าต่ำสุดที่ใช้ในการควบคุมวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ และที่อินพุท -12 โวลต์ ปรับวงจรให้เอาท์พุทมาอยู่ที่ 11.6 โวลต์ ซึ่งก็คือค่าสูงสุดที่ใช้ในการควบคุมวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่ สาเหตุที่ต้องจัดระดับสัญญาณให้ผกผันกันนี้เนื่องจากคุณสมบัติของวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่นั้น จะให้ความถี่ผกผันกับระดับแรงดันเช่นเดียวกัน

2.3.2 การแปลงแรงดันเป็นความถี่(Voltage to Frequency Conversion)

เมื่อเราทำการป้อนสัญญาณเข้าทางขดปฐมภูมิแล้ววัดค่าสัญญาณที่ได้ด้านขดทุติยภูมิจะได้ค่าระดับสัญญาณที่ลดลงเนื่องจากการสูญเสียของสนามแม่เหล็ก(leakage inductances)ระหว่างการส่งผ่าน หรือขนาดของสัญญาณที่เปลี่ยนไปอาจเป็นผลมาจากสัญญาณรบกวนเพราะเราต้องใช้สัญญาณความถี่สูง สัญญาณรบกวนเหล่านี้จะมีผลต่อขนาดของสัญญาณที่ส่งซึ่งในบางครั้งจะทำให้สัญญาณมีขนาดมากขึ้นหรือลดลง ในการป้องกันอันตรายจากสิ่งเหล่านี้เราอาจต้องใช้การส่งสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียลขึ้นมาใช้ ในการใช้งานเราจะทำการแปลงสัญญาณแรงดันเป็นความถี่ที่มีขนาดแอมพลิจูดคงที่แต่ความถี่เปลี่ยนไป ซึ่งสัญญาณรบกวนนี้จะทำให้ขนาดของสัญญาณที่ส่งมีค่าเปลี่ยนแปลงไปได้แต่ไม่สามารถที่จะทำให้ความถี่ของสัญญาณที่ส่งเปลี่ยนแปลงไปได้

ในการทดลองนี้เราทำการแปลงแรงดันเป็นความถี่โดยใช้ไอซีเบอร์ LM566 ซึ่งมีลักษณะการทำงานแบบแรงดันควบคุมความถี่(Voltage Control Oscillator) โดยเมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นความถี่พัลส์จะลดลง และเมื่อแรงดันลดลงความถี่พัลส์จะเพิ่มขึ้น แรงดันเป็นส่วนกลับกับความถี่ ความถี่จะเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 460kHz ถึง 1.1MHz

2.3.3 การปรับปรุงระดับสัญญาณความถี่สูง(High Frequency Zero and Span)

เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่นี้จะเป็นพัลส์ขนาดแอมพลิจูด 5 โวลต์และถูกยกระดับขึ้นมามีสัญญาณคงที่อีก 5 โวลต์ จึงทำให้ได้ความถี่ที่เปลี่ยนค่าแอมพลิจูดอยู่ที่ 5 และ 10 โวลต์ เราต้องทำการปรับระดับสัญญาณให้ลดลงมาเปลี่ยนแปลงอยู่ที่แอมพลิจูด 0 และ 5 โวลต์ เพื่อนำสัญญาณพัลส์นี้ไปควบคุมการทำงานของวงจรเพิ่มกำลังส่งผ่านของหม้อแปลง

2.3.4 การเพิ่มกำลังส่งผ่าน(Drive Circuit)

การส่งสัญญาณผ่านจากด้านปฐมภูมิไปด้านทุติยภูมินั้น สัญญาณปกติจะไม่สามารถส่งผ่านไปได้ จำเป็นต้องมีการเพิ่มกำลังของสัญญาณ โดยใช้สัญญาณปกติที่มีกำลังน้อยไปควบคุมการทำงานเปิด-ปิดของพาวเวอร์มอสเฟต(Power Mosfet) ที่มีแรงดันขนาด 5 โวลต์ซึ่งมีกำลังมากกว่า

ไหลผ่านหม้อแปลงด้านขดปฐมภูมิแทนสัญญาณที่จะส่งผ่าน โดยมีเซ็นเซอร์ไดโอดต่อขนานกับหม้อแปลงเพื่อป้องกันไม่ให้มีกระแสไหลย้อนกลับเนื่องจากผลของสนามแม่เหล็กขุดตัวเมื่อระดับของสัญญาณเปลี่ยนไป

2.3.5 วงจรเปรียบเทียบแรงดันความถี่สูง(Voltage-Comparator Circuit)

ใช้เปรียบเทียบแรงดันสองค่าที่ต่างกัน เพื่อหาว่าแรงดันด้านไหนมากกว่ากัน การทำงานของออปแอมป์กรณีนี้อาจไม่ใช่วงจรฟีดแบค เอาท์พุทที่ได้ของวงจรมีคือ เท่ากับแหล่งจ่ายที่จ่ายให้ตัวออปแอมป์ ในวงจรคอมพารเตอรืความถี่สูง ขาอินพุทลบต่อลงกราวด์ ขาอินพุทบวกต่อกับสัญญาณที่ออกจากหม้อแปลงด้านขดทุติยภูมิ โดยเอาท์พุทที่ได้จะเท่ากับแรงดันที่จ่ายให้คอมพารเตอรื เมื่อสัญญาณที่ขาอินพุทบวกมีค่ามากกว่าศูนย์ ซึ่งจะทำได้เอาท์พุทเป็นรูปพัลส์ที่สวยงามขึ้น

2.3.6 การแปลงความถี่เป็นแรงดัน(Frequency to Voltage Conversion)

จากการส่งสัญญาณจากแรงดันเป็นความถี่นั้นจะให้ข้อดีคือ สามารถที่จะลดผลการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดของสัญญาณออกไปได้ หลังจากที่เรทำการแปลงสัญญาณที่ส่งมาเป็นความถี่แล้วส่งผ่านหม้อแปลง เมื่อถึงตัวรับสัญญาณท้ายที่สุดเราจะต้องทำการแปลงสัญญาณความถี่นี้เป็นสัญญาณแรงดันเพื่อนำไปใช้อีกครั้ง

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

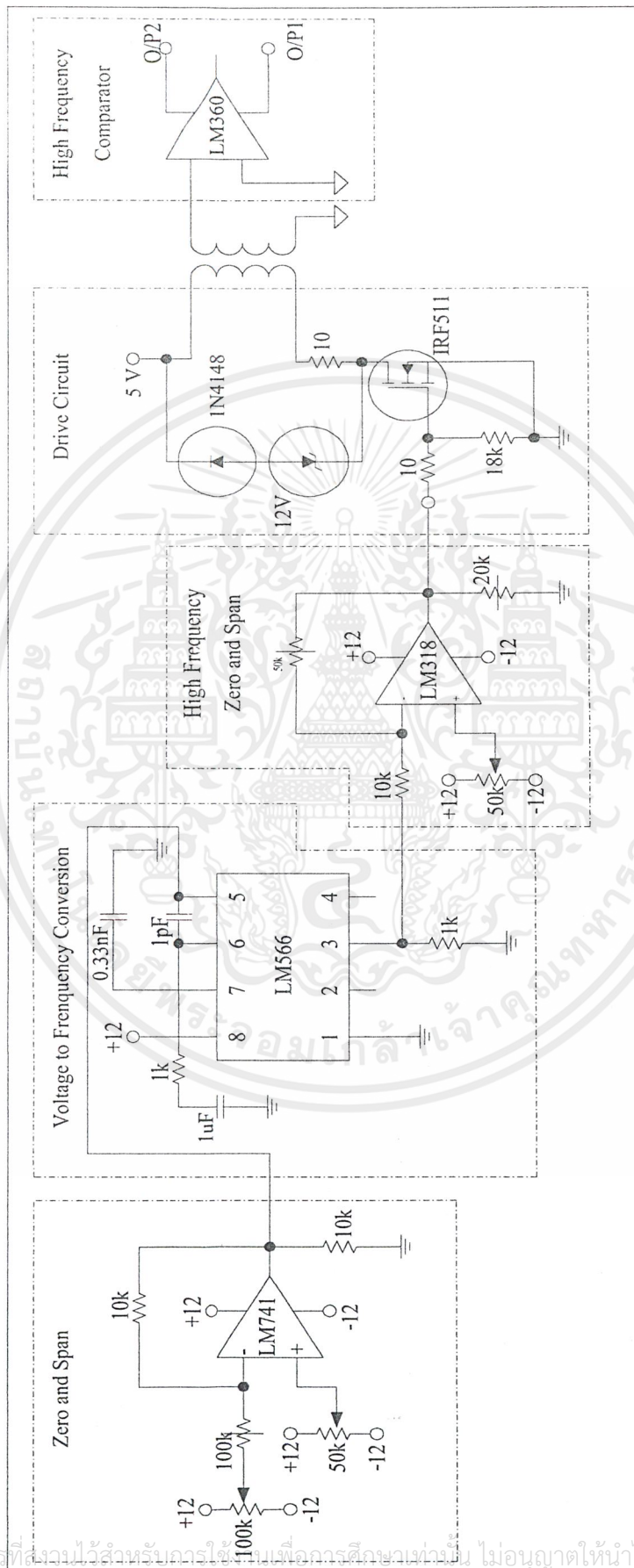
จากข้อมูลที่ได้ศึกษาค้นคว้าทำการออกแบบหม้อแปลง โดยเลือกที่จะสร้างหม้อแปลงทั้งหมด 3 ตัวที่มีค่าพารามิเตอร์ต่างกันคือ รัศมีขนาด 1.5 เซนติเมตร , 2 เซนติเมตร และ 2.5 เซนติเมตร โดยมีวงกลมกั้นหอย 10 รอบเท่ากัน



รูปที่ 14 หม้อแปลงแผ่นปรีนส์ขนาด 1.5 เซนติเมตร , 2.0 เซนติเมตร และ 2.5 เซนติเมตร

ทำการประกอบอุปกรณ์ลงบนแผ่นปรีนส์อ่อนประเภทประสังค์ โดยออกแบบให้ใช้สายไฟที่ใช้ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์แต่ละตัวมีขนาดเส้นที่สุกเพื่อลดผลของสัญญาณรบกวนที่จะเกิดขึ้นได้ง่ายในวงจรที่ใช้ความถี่สูง และประกอบหม้อแปลงขนาดเล็กที่สุดเข้ากับแผ่นปรีนส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 15 วงจรรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับผู้ใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองวัดค่าแอมพลิจูด ที่ความถี่ต่างๆ

เพื่อหาความสัมพันธ์ต่างๆ โดยใช้ความถี่ 500kHz , 1MHz และ 2MHz ทุกความถี่ใช้แอมพลิจูด 10 Vp-p

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ความถี่กับแอมพลิจูดหม้อแปลงขนาดรัศมี 1.5 เซนติเมตร

ความถี่	แอมพลิจูด ด้านปฐมภูมิ(Vp-p)	แอมพลิจูด ด้านทุติยภูมิ(Vp-p)	อัตราการส่งผ่าน ระดับแรงดัน
500 kHz	2	1.36	0.68
1 MHz	3	2.03	0.68
2 MHz	4.5	3.08	0.68

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ความถี่กับแอมพลิจูดหม้อแปลงขนาดรัศมี 2.0 เซนติเมตร

ความถี่	แอมพลิจูด ด้านปฐมภูมิ(Vp-p)	แอมพลิจูด ด้านทุติยภูมิ(Vp-p)	อัตราการส่งผ่าน ระดับแรงดัน
500 kHz	2.3	1.8	0.78
1 MHz	3.6	2.78	0.77
2 MHz	5.5	4.2	0.76

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ความถี่กับแอมพลิจูดหม้อแปลงขนาดรัศมี 2.5 เซนติเมตร

ความถี่	แอมพลิจูด ด้านปฐมภูมิ(Vp-p)	แอมพลิจูด ด้านทุติยภูมิ(Vp-p)	อัตราการส่งผ่าน ระดับแรงดัน
500 kHz	3	2.3	0.76
1 MHz	4.8	3.62	0.76
2 MHz	7	5.31	0.76

4.2 การทดลองวัดค่าอินดักแตนซ์ที่ความถี่ต่างๆ

เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าอินดักแตนซ์ โดยใช้ความถี่ 500kHz , 600kHz , 800kHz และ 1MHz ทุกความถี่ใช้แอมพลิจูด 10 Vp-p

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ความถี่กับค่าอินดักแตนซ์ห้อยแปลงขนาดรัศมี 1.5 เซนติเมตร

ความถี่	อินดักแตนซ์ ด้านปฐมภูมิ(μH)	อินดักแตนซ์ ด้านทุติยภูมิ(μH)
500kHz	1.567	1.398
600kHz	1.563	1.394
800kHz	1.556	1.388
1MHz	1.551	1.383

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์ความถี่กับค่าอินดักแตนซ์ห้อยแปลงขนาดรัศมี 2.0 เซนติเมตร

ความถี่	อินดักแตนซ์ ด้านปฐมภูมิ(μH)	อินดักแตนซ์ ด้านทุติยภูมิ(μH)
500kHz	2.249	2.077
600kHz	2.245	2.073
800kHz	2.238	2.067
1MHz	2.233	2.062

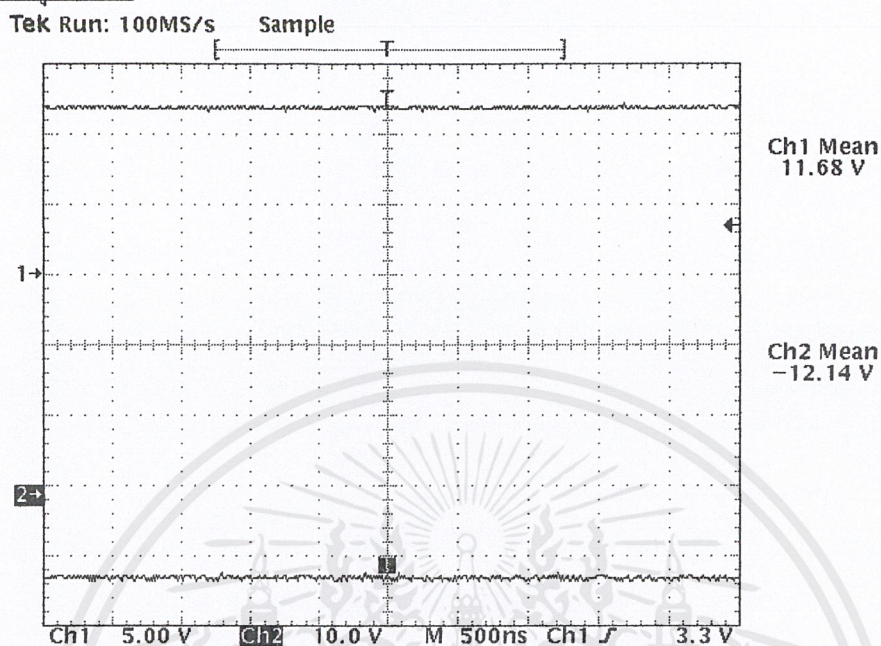
ตารางที่ 7 ความสัมพันธ์ความถี่กับค่าอินดักแตนซ์ห้อยแปลงขนาดรัศมี 2.5 เซนติเมตร

ความถี่	อินดักแตนซ์ ด้านปฐมภูมิ(μH)	อินดักแตนซ์ ด้านทุติยภูมิ(μH)
500kHz	2.826	2.572
600kHz	2.818	2.563
800kHz	2.804	2.550
1MHz	2.794	2.541

4.3 การทดลองส่งผ่านสัญญาณระดับต่างๆ

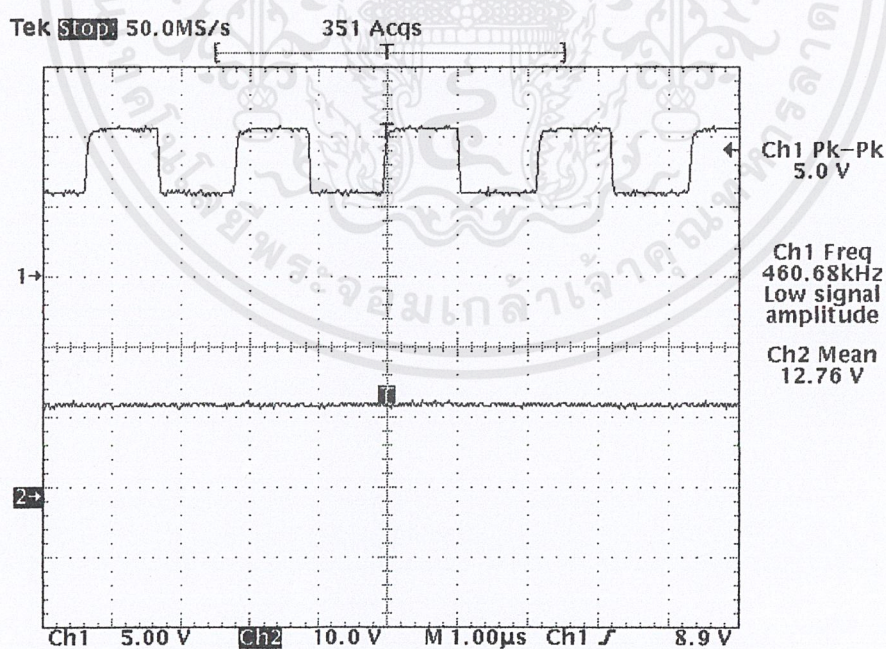
เราเลือกใช้ห้อยแปลงแผ่นปริ้นส์ขนาดที่เล็กที่สุดคือ ขนาดรัศมี 1.5เซนติเมตร ในการทดลองเพราะขนาดเล็กเป็นคุณสมบัติเด่นของห้อยแปลงชนิดนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อินพุตต่ำสุด -12V



รูปที่ 16 สัญญาณชุดปรับปรุงสัญญาณ(ที่อินพุตต่ำสุด)

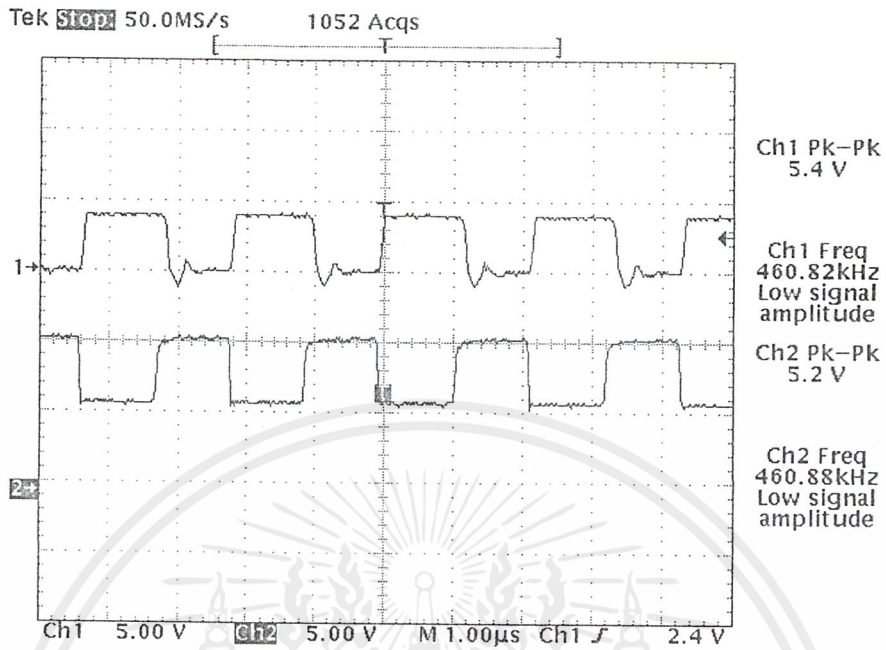
CH1 สัญญาณออก , CH2 สัญญาณเข้า



รูปที่ 17 สัญญาณชุดแปลงแรงดันเป็นความถี่(ที่อินพุตต่ำสุด)

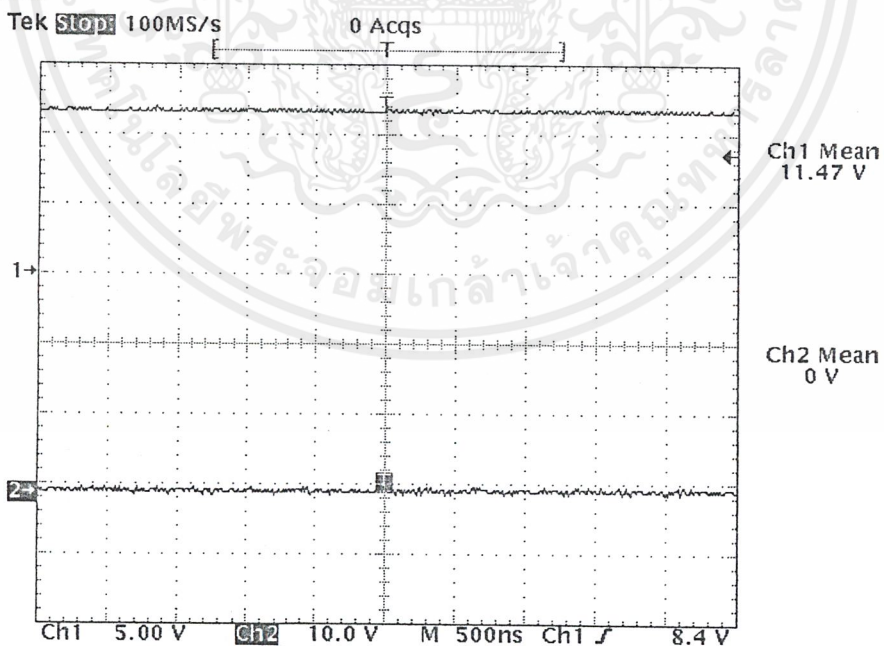
CH1 สัญญาณออก , CH2 สัญญาณเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



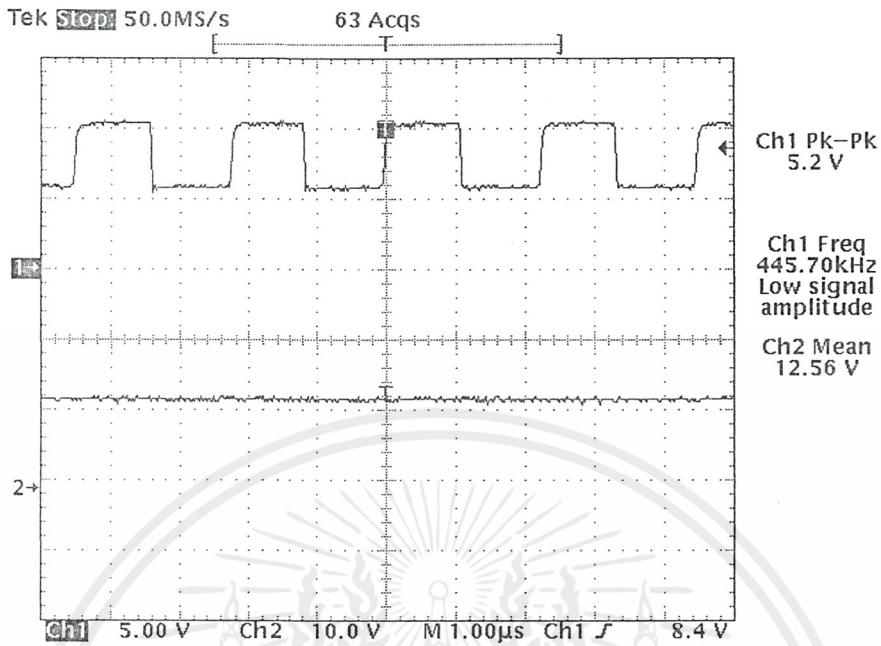
รูปที่ 18 สัญญาณชุดปรับปรุงสัญญาณความถี่สูง(ที่อินพุตต่ำสุด)
CH1 สัญญาณออก , CH2 สัญญาณเข้า

ที่อินพุต 0 V

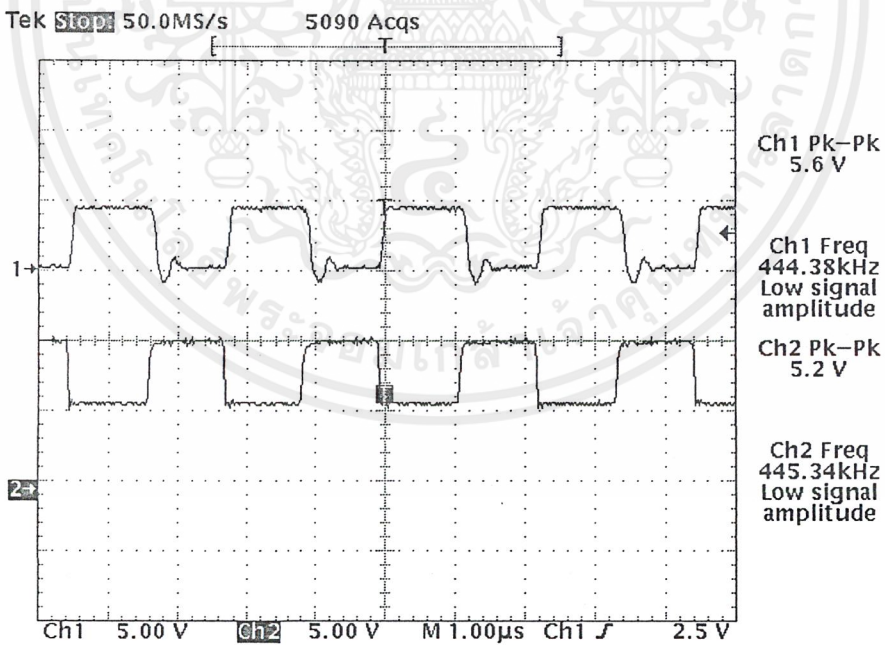


รูปที่ 19 สัญญาณชุดปรับปรุงสัญญาณ(ภาคที่หนึ่ง)
CH1 สัญญาณออก , CH2 สัญญาณเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



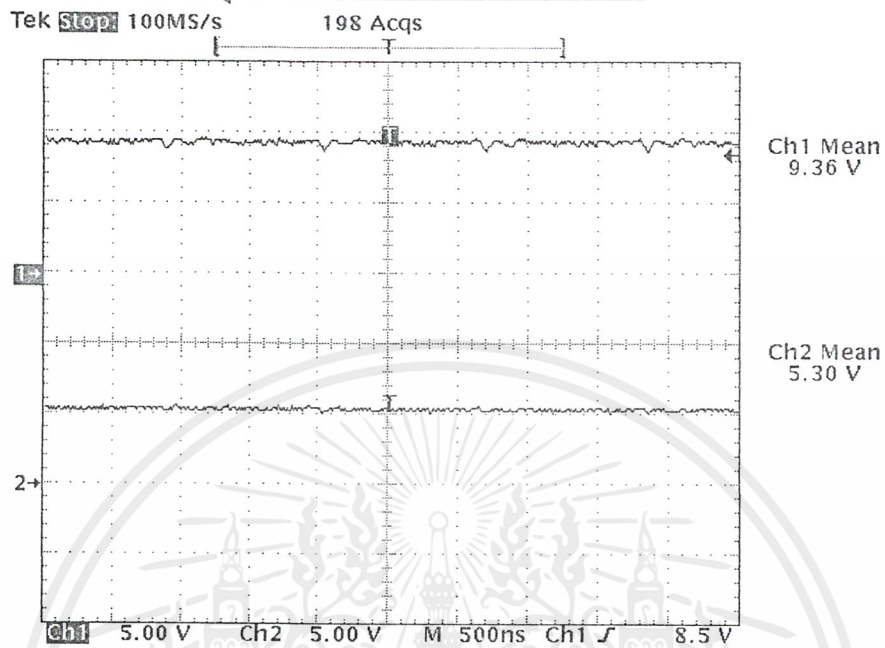
รูปที่ 20 สัญญาณชุดแปลงแรงดันเป็นความถี่
CH1 สัญญาณออก , CH2 สัญญาณเข้า



รูปที่ 21 สัญญาณชุดปรับปรุงสัญญาณความถี่สูง
CH1 สัญญาณออก , CH2 สัญญาณเข้า

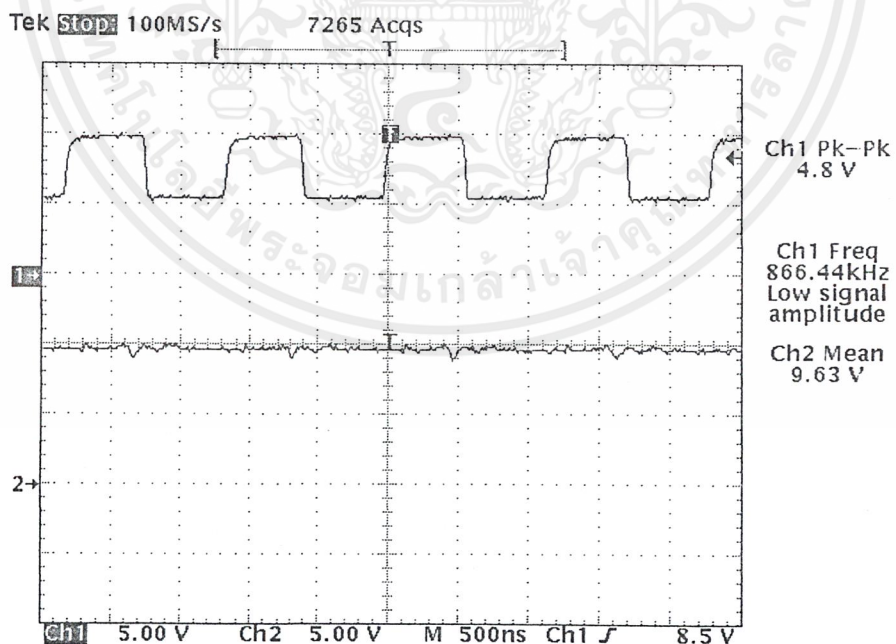
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อินพุต 5.3V เป็นความถี่ต่ำสุดที่สามารถส่งผ่านหม้อแปลง 875kHz



รูปที่ 22 สัญญาณชุดปรับปรุงสัญญาณ(ที่อินพุต 5.3V)

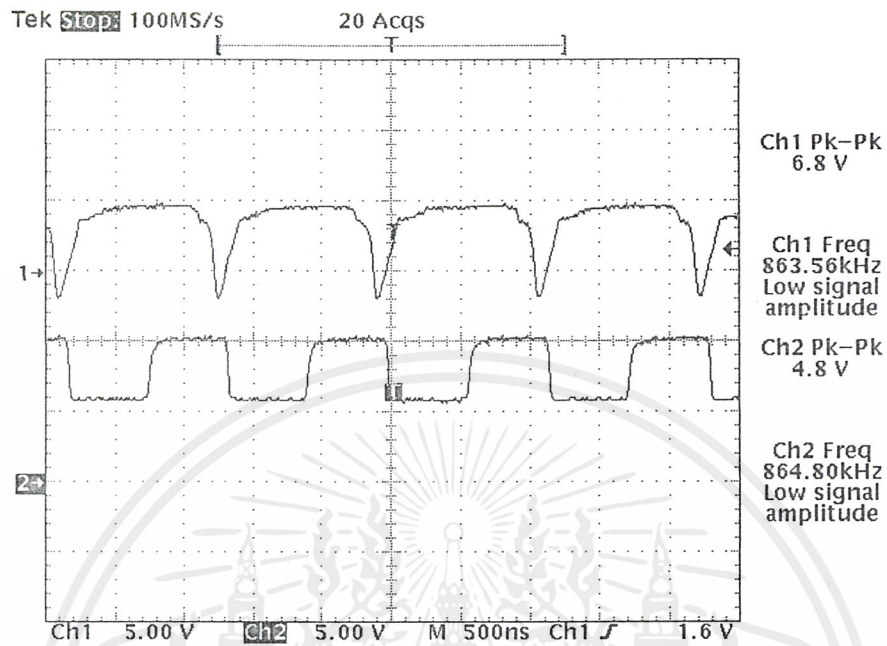
CH1 สัญญาณออก , CH2 สัญญาณเข้า



รูปที่ 23 สัญญาณชุดแปลงแรงดันเป็นความถี่(ที่อินพุต 5.3V)

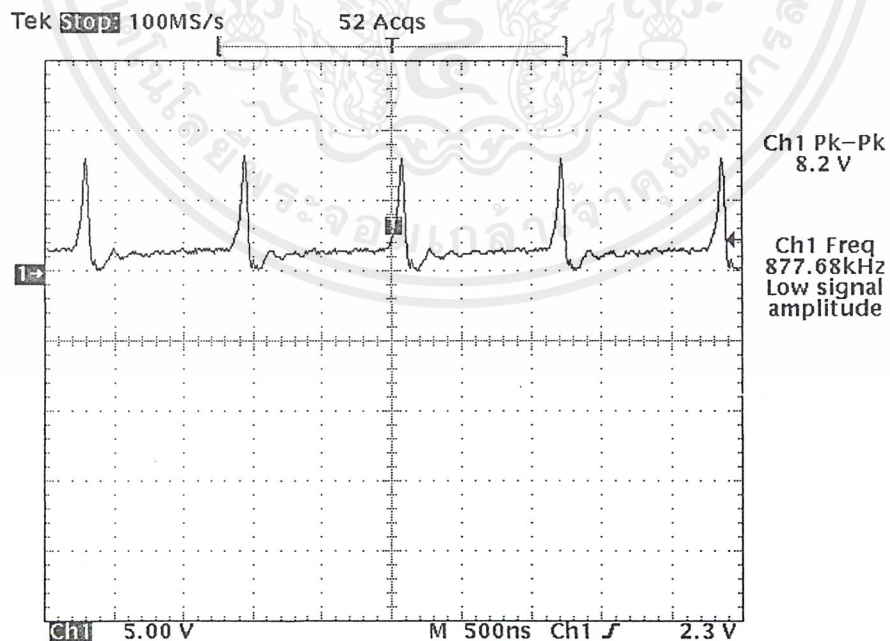
CH1 สัญญาณออก , CH2 สัญญาณเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



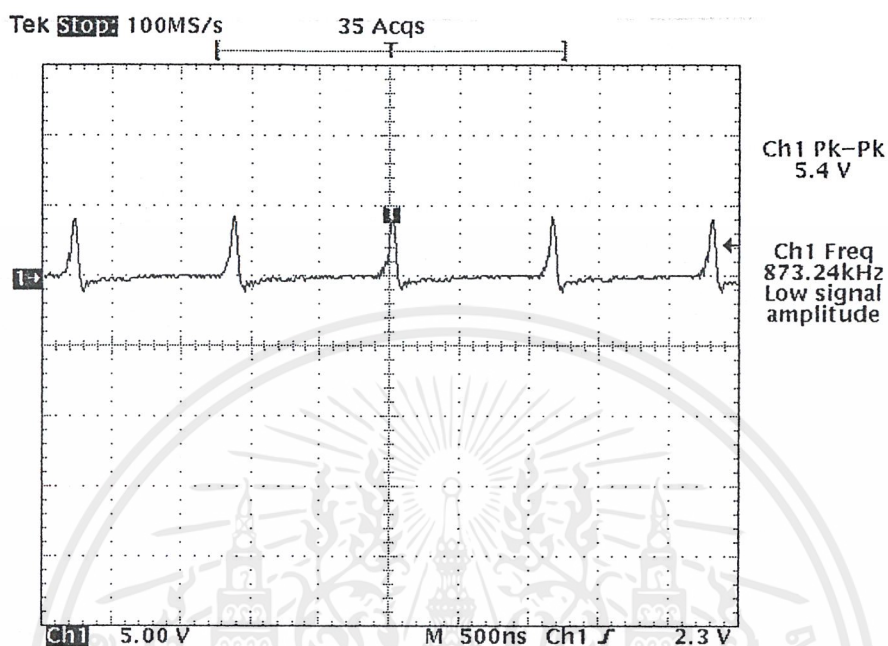
รูปที่ 24 สัญญาณชุดปรับปรุงสัญญาณความถี่สูง(ที่อินพุต5.3V)

CH1 สัญญาณออก , CH2 สัญญาณเข้า

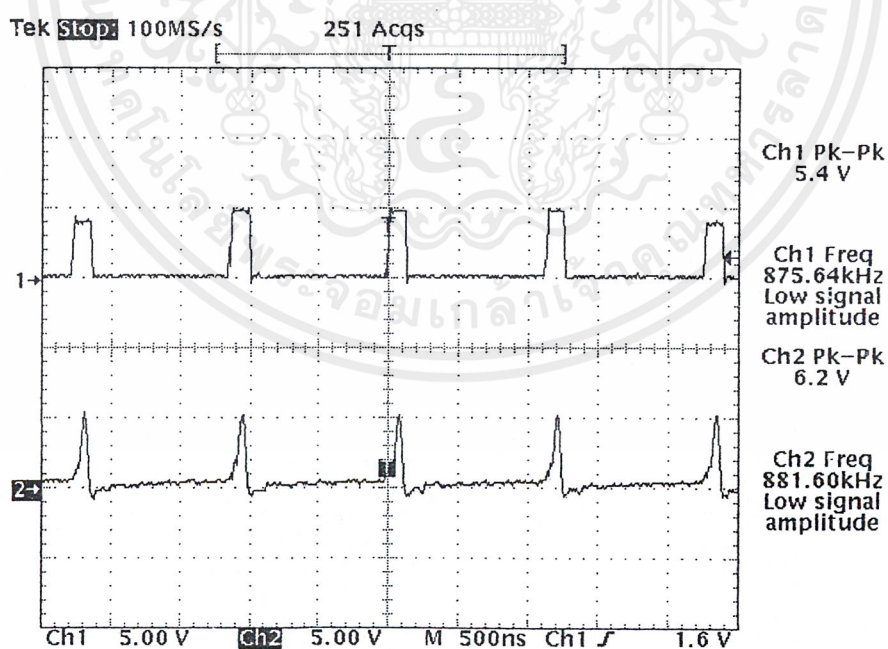


รูปที่ 25 สัญญาณชุดปฐมภูมิ(ที่อินพุต5.3V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 26 สัญญาณขดทุติยภูมิ(ที่อินพุต5.3V)

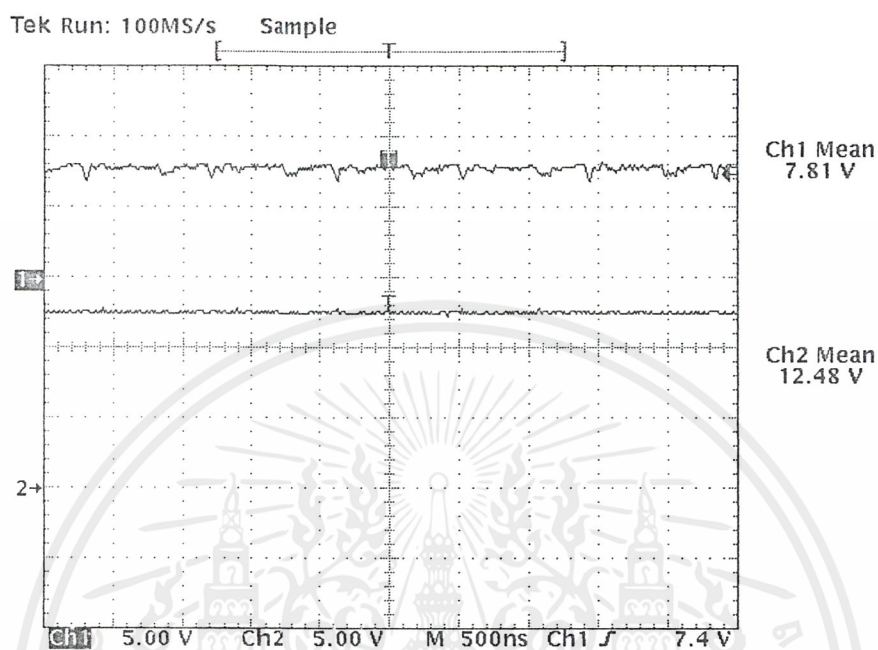


รูปที่ 27 สัญญาณชุดคอมพิวเตอร์ความถี่สูง(ที่อินพุต5.3V)

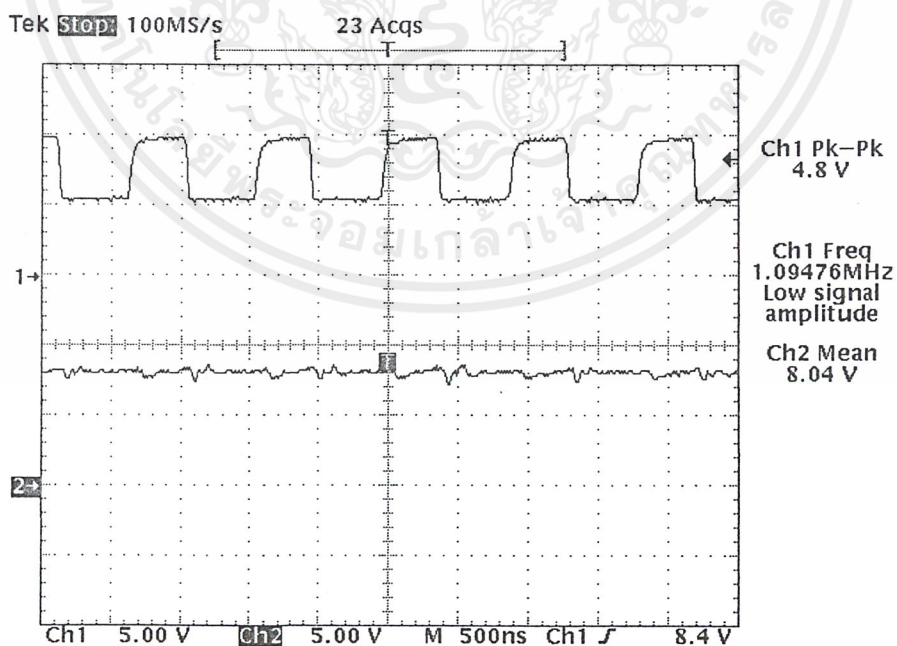
CH1 สัญญาณออก , CH2 สัญญาณเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อินพุตสูงสุด12V ความถี่สูงสุดที่สามารถส่งผ่านหม้อแปลงได้(1.09MHz)

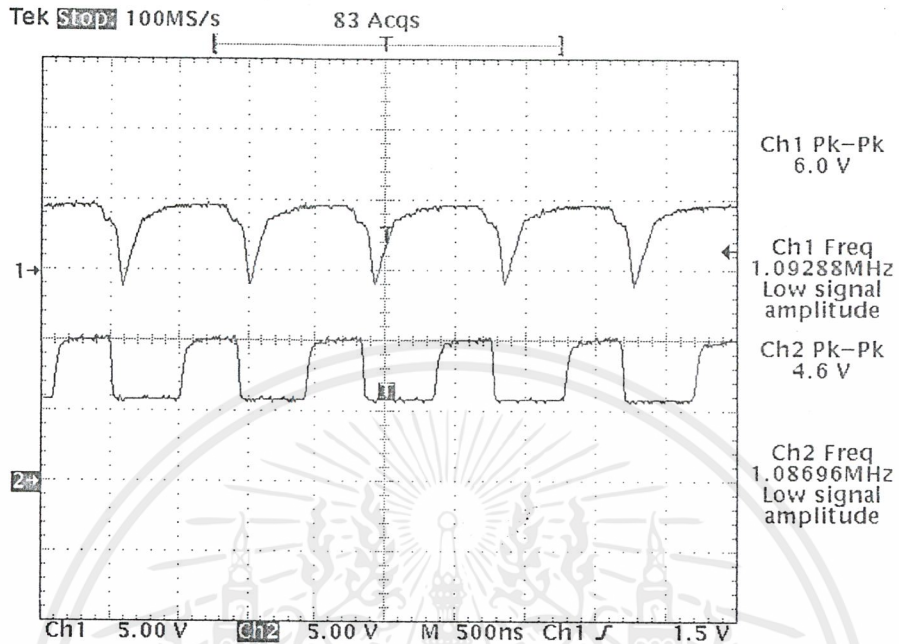


รูปที่ 28 สัญญาณชุดปรับปรุงสัญญาณ(ที่อินพุต12V)
CH1 สัญญาณออก , CH2 สัญญาณเข้า



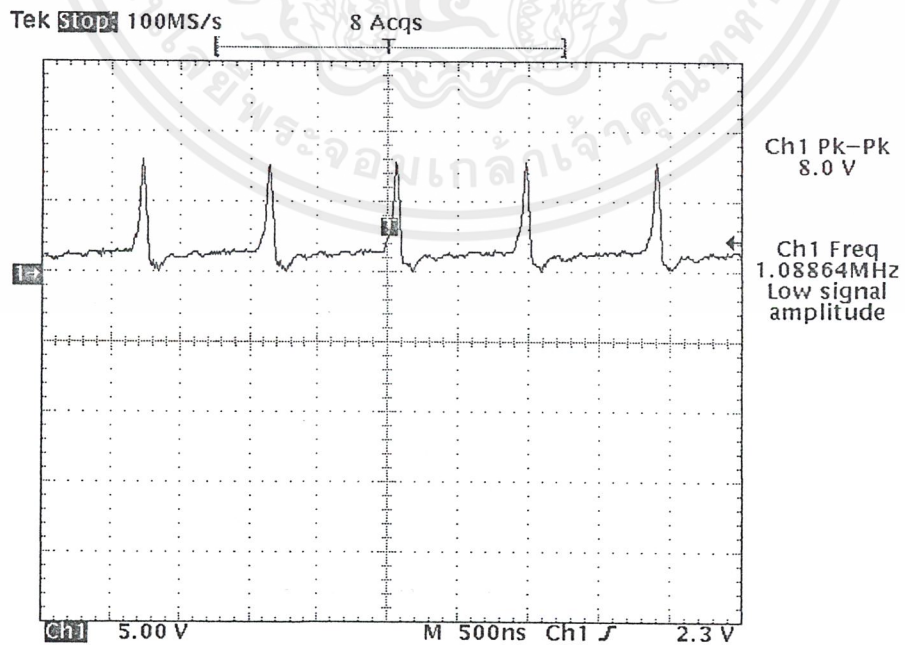
รูปที่ 29 สัญญาณชุดแปลงแรงดันเป็นความถี่(ที่อินพุต12V)
CH1 สัญญาณออก , CH2 สัญญาณเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



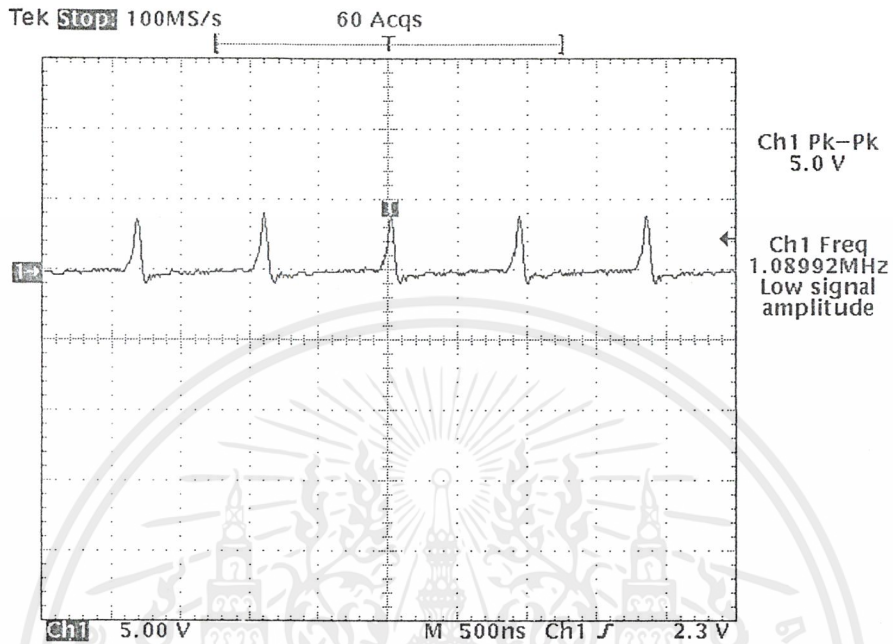
รูปที่ 30 สัญญาณชุดปรับปรุงสัญญาณความถี่สูง(ที่อินพุต12V)

CH1 สัญญาณออก , CH2 สัญญาณเข้า

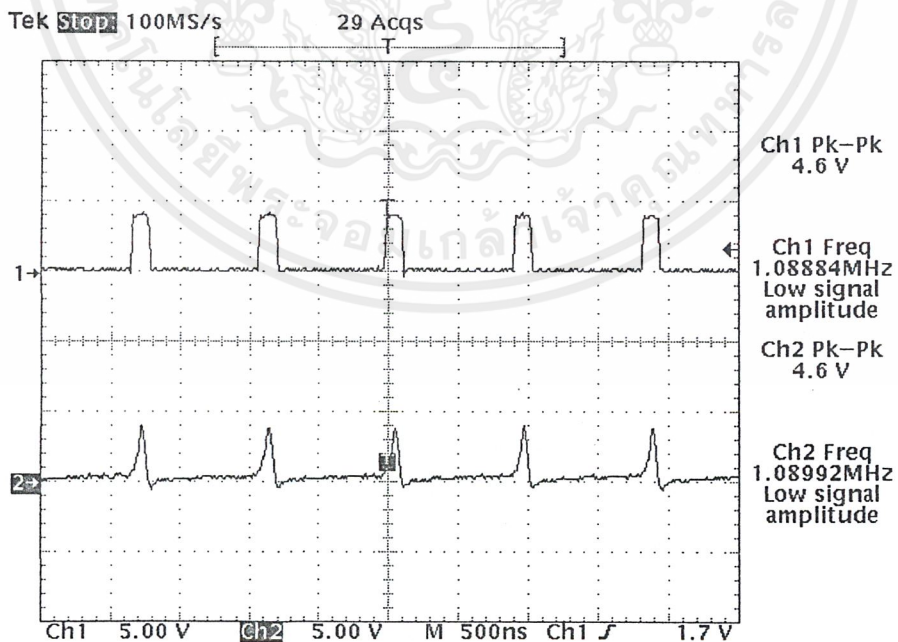


รูปที่ 31 สัญญาณชุดปฐมภูมิ(ที่อินพุต12V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



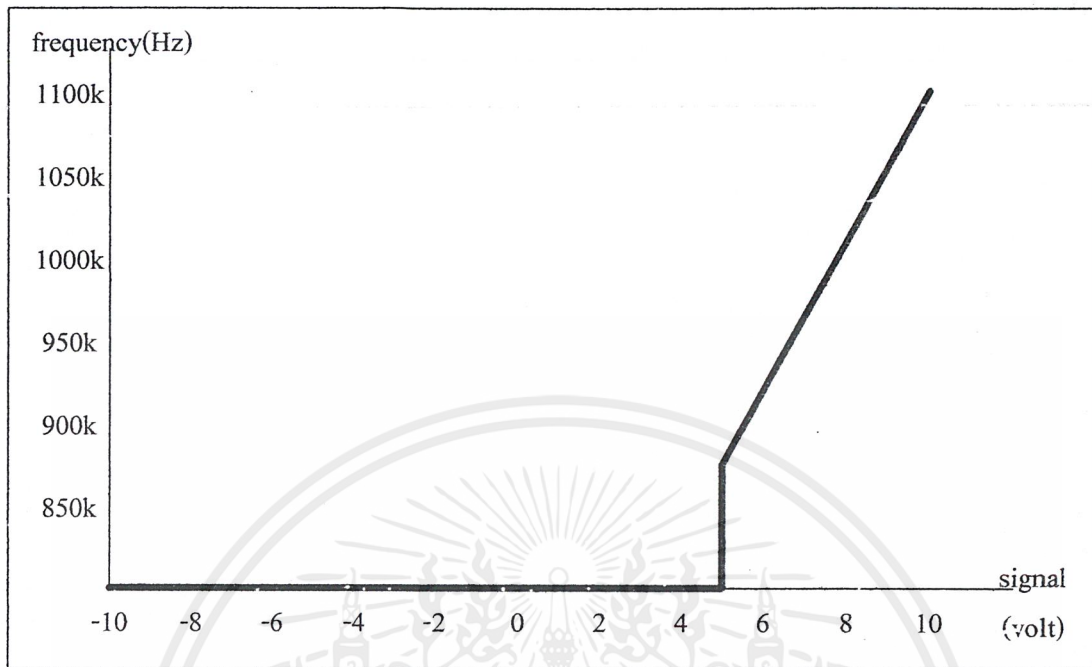
รูปที่ 32 สัญญาณขดทุติยภูมิ(ที่อินพุท12V)



รูปที่ 33 สัญญาณชุดคอมพาทเตอร์ความถี่สูง(ที่อินพุท12V)

CH1 สัญญาณออก , CH2 สัญญาณเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 34 กราฟความสัมพันธ์ของระดับสัญญาณอินพุตกับความถี่เอาต์พุตของวงจรรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

จากการทดลองป้อนสัญญาณความถี่ค่าต่างๆแล้ววัดค่าแอมพลิจูดหาขนาดของสัญญาณที่สามารถส่งผ่านไปได้อาจเห็นได้ว่าที่หม้อแปลงขนาดใหญ่จะมีประสิทธิภาพในการส่งผ่านสัญญาณที่ดีกว่าหม้อแปลงขนาดเล็ก และเมื่อความถี่เพิ่มมากขึ้นหม้อแปลงจะสามารถผลิตสนามแม่เหล็กเพื่อไปคล้องกับลายทองแดงด้านขดทุติยภูมิ เหนี่ยวนำเป็นสัญญาณด้านทุติยภูมิได้ดีขึ้นด้วย แต่จะสังเกตได้ว่าเมื่อส่งผ่านสัญญาณไปแล้วขนาดของสัญญาณจะเปลี่ยนไปแต่ความถี่ไม่เปลี่ยนแปลง จึงทำให้เลือกใช้การมอดูเลตทางความถี่เพื่อหลีกเลี่ยงผลของขนาดสัญญาณที่เปลี่ยนไป

เมื่อเปรียบเทียบผลการวัดค่าอินดักแตนซ์ที่หม้อแปลงทั้งสามขนาด กับรูปกราฟความสัมพันธ์ของอินดักแตนซ์กับขนาดหม้อแปลง จะเห็นว่าได้ค่าอินดักแตนซ์จะมีขนาดเพิ่มขึ้นตามขนาดของหม้อแปลง และค่าอินดักแตนซ์ที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกับอินดักแตนซ์ แสดงว่าสามารถสร้างหม้อแปลงซึ่งมีคุณสมบัติได้ถูกต้องตามต้นแบบ

จากการทดลองป้อนสัญญาณแบบกระแสตรงขนาด +12 โวลต์ ถึง -12 โวลต์ เข้าสู่ชุดทดลองแล้วดูผลของสัญญาณพัลส์ที่ได้ทางด้านขดทุติยภูมิทำให้ทราบว่า ความถี่ต่ำสุดที่หม้อแปลงยังทำงานได้ดีคือได้รูปพัลส์ที่สามารถใช้งานได้คือที่ 875kHz หากที่ความถี่ต่ำกว่านี้รูปพัลส์ที่ได้จะผิดเพี้ยนไปเนื่องจากผลของสนามแม่เหล็กที่สูญหายไประหว่างการส่งผ่านสัญญาณ และที่ความถี่สูงกว่านี้หม้อแปลงจะทำงานได้ดีคืออยู่ตามหลักทางทฤษฎี แต่จากการทดลองสามารถทดลองได้ที่ความถี่สูงสุดที่ 1.09MHz ที่ไม่สามารถทดลองที่ความถี่สูงกว่านี้ได้เนื่องจากวงจรการแปลงแรงดันเป็นความถี่ที่ใช้จะถูกจำกัดที่ความถี่ 1.1MHz

เมื่อเราวิเคราะห์จากกราฟที่ได้จากการทดลองแปรค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติเบื้องต้นของ PCB Transformers ดังนี้

- Series # 1 ที่จำนวนรอบเท่ากัน แต่รัศมีเพิ่มขึ้น จะทำให้ได้ค่า Mutual Inductance เพิ่มขึ้นด้วย ในลักษณะที่ค่อนข้างจะเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถควบคุมค่า Inductance ต่างๆ ได้ง่ายขึ้น
- Series # 2 ที่จำนวนรอบต่างกัน แต่รัศมีเท่ากัน จะทำให้ได้ค่า Mutual Inductance เพิ่มขึ้น ในลักษณะที่เป็นเส้นโค้งสมการกำลังสอง ทำให้ควบคุมค่า Inductance ต่างๆ ได้ยาก
- Series # 3 ที่จำนวนรอบต่างกัน และรัศมีลดลงตามจำนวนรอบ จะทำให้ได้ค่า Mutual Inductance เพิ่มขึ้น ในลักษณะที่เป็นเส้นโค้งสมการกำลังสาม ทำให้ควบคุมค่า Inductance ต่างๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยากขึ้น

Series # 4 ที่จำนวนรอบและรัศมีเท่ากัน แต่ความหนาของแผ่นPCB (laminare tickness) ต่างกัน ที่ความหนาน้อยๆจะได้ ค่าMutual Inductance เพิ่มขึ้น แต่ค่าLeakage Inductanceลดลง ที่ความหนามากขึ้นจะได้ ค่าMutual Inductance ลดลง แต่ค่าLeakage Inductanceเพิ่มขึ้น

Series # 5 ที่จำนวนรอบและรัศมีเท่ากัน แต่ความกว้างของลายPCBไม่เท่ากัน ผลที่ได้คือค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่วัดมีขนาดลดลงเมื่อลายวงจรมีความหนาเพิ่มขึ้น แต่จะเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

Series # 6 ที่จำนวนรอบและรัศมีเท่ากัน แต่ความหนาสูงของลายPCBไม่เท่ากัน ผลที่ได้คือค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่วัดมีขนาดไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

ที่จำนวนรอบและรัศมีเท่ากัน แต่ความถี่ใช้ไม่เท่าไม่เท่ากัน ผลที่ได้คือค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่วัดมีขนาดไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก มีพารามิเตอร์3อย่างที่ไม่ได้ผลต่อหม้อแปลงแผ่นปริ้นส์ คือ ความกว้าง,ความหนาสูงของลายวงจร และความถี่ที่ใช้งาน และสิ่งที่ทำให้เราสามารถควบคุมค่า Inductanceต่างๆคือ ขนาดรัศมี , จำนวนรอบ และความหนาของแผ่นปริ้นส์ โดยก่อนนำไปใช้ต้องออกแบบหาแต่ละพารามิเตอร์มีความสอดคล้องกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



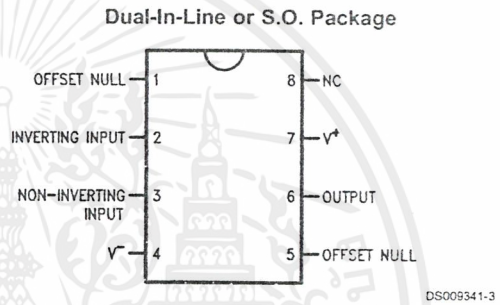
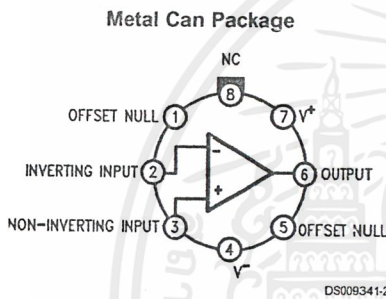
LM741 Operational Amplifier

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.

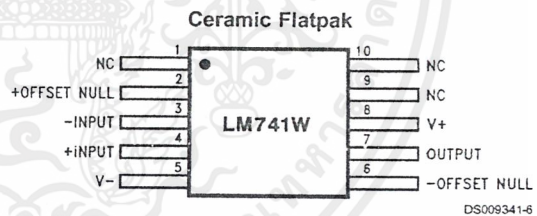
Connection Diagrams



Note 1: LM741H is available per JM38510/10101

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

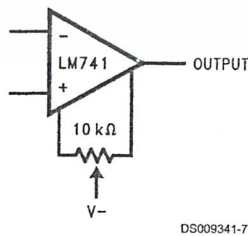
Order Number LM741J, LM741J/883, LM741CN
See NS Package Number J08A, M08A or N08E



Order Number LM741W/883
See NS Package Number W10A

Typical Application

Offset Nulling Circuit



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$					1.0	5.0		2.0	6.0	mV
	$R_S \leq 50\Omega$		0.8	3.0							mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 50\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$			4.0			6.0			7.5	mV
Average Input Offset Voltage Drift				15							$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	±10				±15			±15		mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.0	30		20	200		20	200	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			70		85	500			300	nA
Average Input Offset Current Drift				0.5							$\text{nA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	80		80	500		80	500	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			0.210			1.5			0.8	μA
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0		$\text{M}\Omega$
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX},$ $V_S = \pm 20\text{V}$	0.5									$\text{M}\Omega$
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$							±12	±13		V
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$					±12	±13				V

Electrical Characteristics (Note 5) (Continued)

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

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 $\pm 15V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

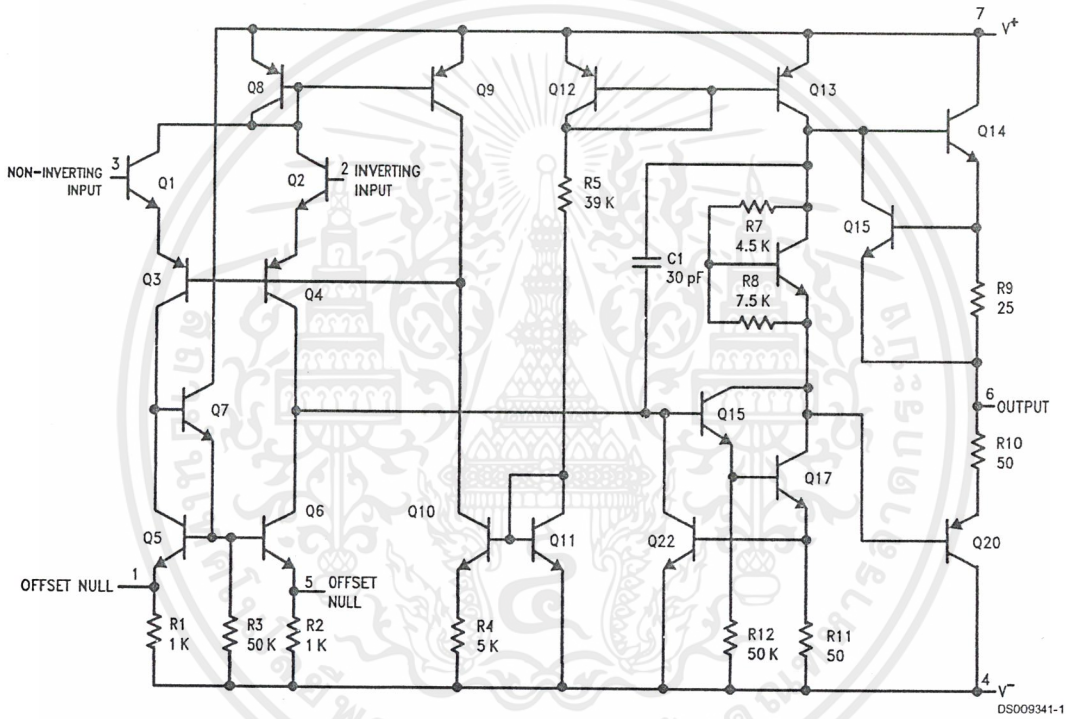
Note 5: Unless otherwise specified, these specifications apply for $V_S = \pm 15V$, $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ (LM741/LM741A). For the LM741C/LM741E, these specifications are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$.

Note 6: Calculated value from: BW (MHz) = $0.35/\text{Rise Time}(\mu s)$.

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

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

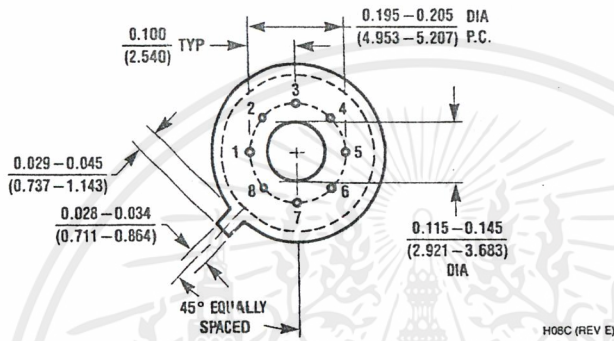
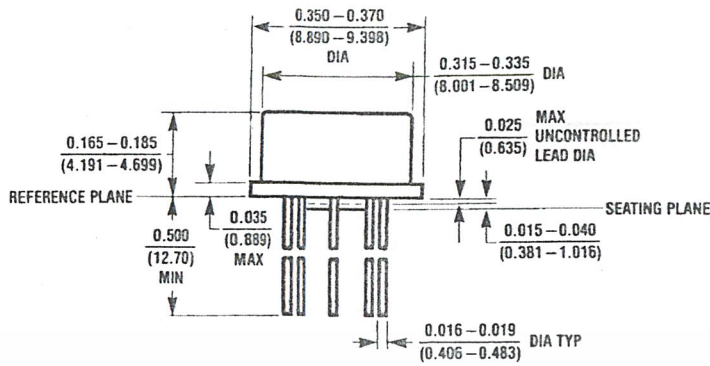
Schematic Diagram



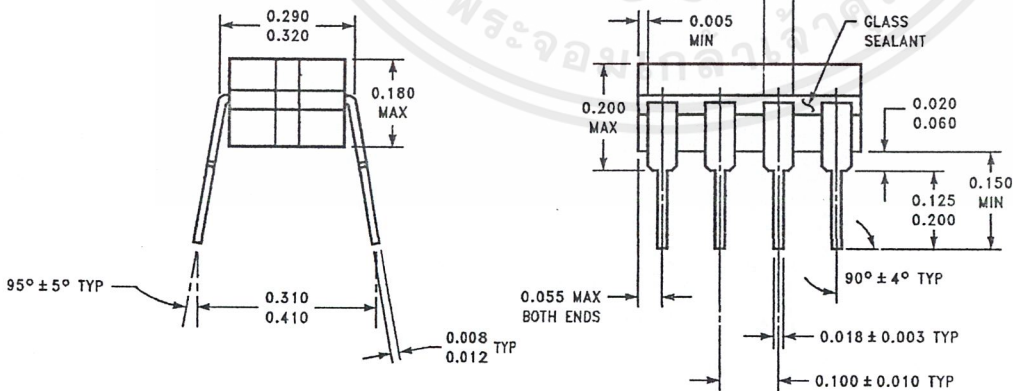
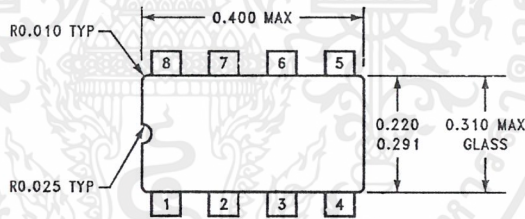
DS009341-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



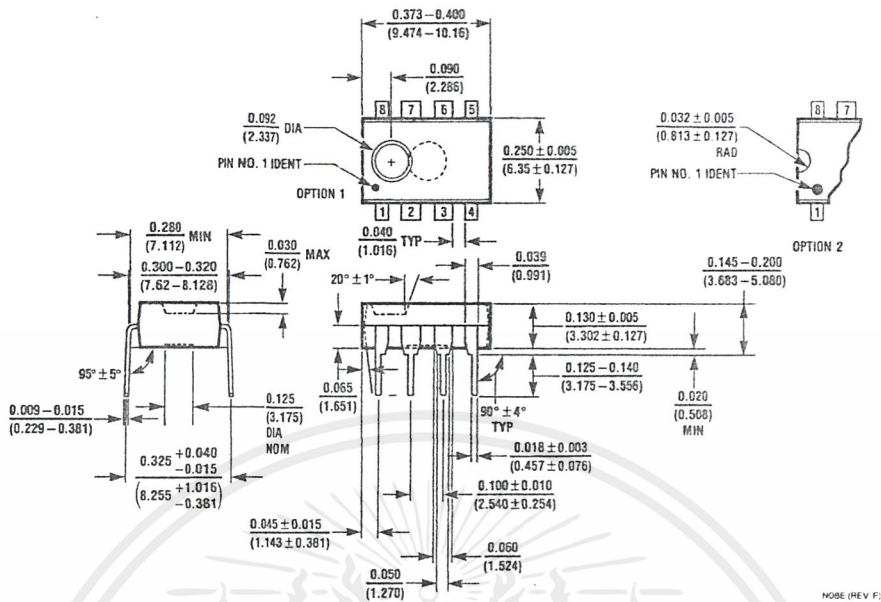
Metal Can Package (H)
 Order Number LM741H, LM741H/883, LM741AH/883, LM741AH-MIL or LM741CH
 NS Package Number H08C



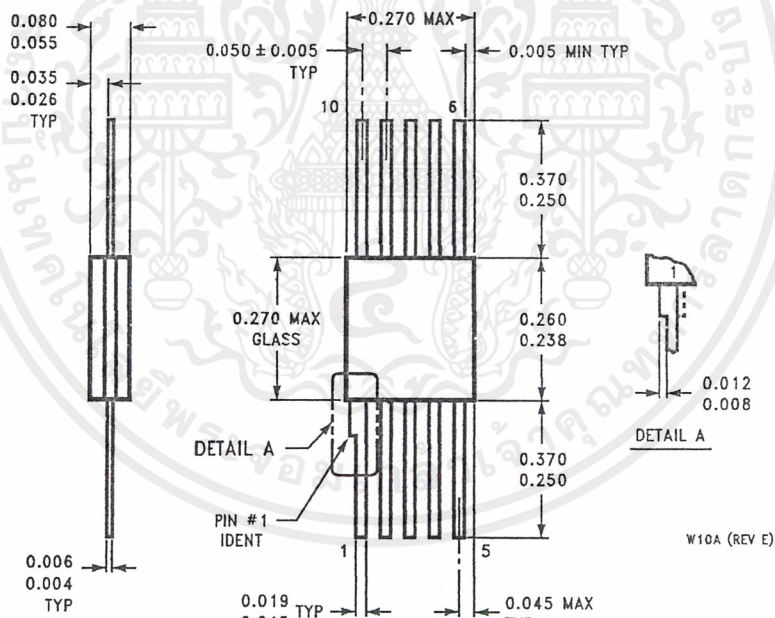
Ceramic Dual-In-Line Package (J)
 Order Number LM741J/883
 NS Package Number J08A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM565/LM565C Phase Locked Loop

General Description

The LM565 and LM565C are general purpose phase locked loops containing a stable, highly linear voltage controlled oscillator for low distortion FM demodulation, and a double balanced phase detector with good carrier suppression. The VCO frequency is set with an external resistor and capacitor, and a tuning range of 10:1 can be obtained with the same capacitor. The characteristics of the closed loop system—bandwidth, response speed, capture and pull in range—may be adjusted over a wide range with an external resistor and capacitor. The loop may be broken between the VCO and the phase detector for insertion of a digital frequency divider to obtain frequency multiplication.

The LM565H is specified for operation over the -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ military temperature range. The LM565CN is specified for operation over the 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$ temperature range.

Features

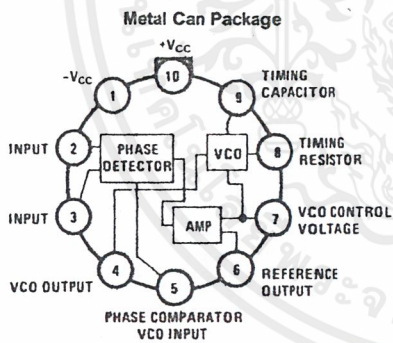
- 200 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ frequency stability of the VCO
- Power supply range of ± 5 to ± 12 volts with 100 ppm/% typical

- 0.2% linearity of demodulated output
- Linear triangle wave with in phase zero crossings available
- TTL and DTL compatible phase detector input and square wave output
- Adjustable hold in range from $\pm 1\%$ to $> \pm 60\%$

Applications

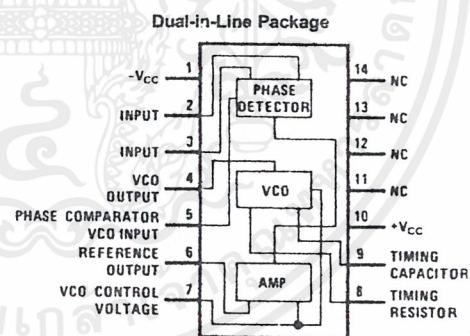
- Data and tape synchronization
- Modems
- FSK demodulation
- FM demodulation
- Frequency synthesizer
- Tone decoding
- Frequency multiplication and division
- SCA demodulators
- Telemetry receivers
- Signal regeneration
- Coherent demodulators

Connection Diagrams



Order Number LM565H
See NS Package Number H10C

DS007853-2



Order Number LM565CN
See NS Package Number N14A

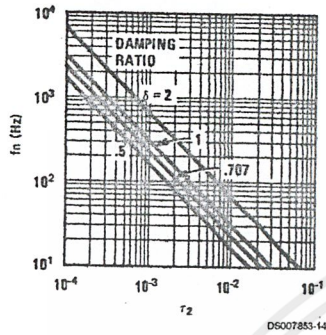
DS007853-3

Absolute Maximum Ratings (Note 1)		Operating Temperature Range						
If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.		LM565H	-55°C to +125°C					
Supply Voltage $\pm 12V$		LM565CN	0°C to +70°C					
Power Dissipation (Note 2)	1400 mW	Storage Temperature Range						
Differential Input Voltage	$\pm 1V$	-65°C to +150°C						
		Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)						
		260°C						
Electrical Characteristics								
AC Test Circuit, $T_A = 25^\circ C$, $V_{CC} = \pm 6V$								
Parameter	Conditions	LM565			LM565C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Power Supply Current			8.0	12.5		8.0	12.5	mA
Input Impedance (Pins 2, 3)	$-4V < V_2, V_3 < 0V$	7	10			5		k Ω
VCO Maximum Operating Frequency	$C_o = 2.7 \text{ pF}$	300	500		250	500		kHz
VCO Free-Running Frequency	$C_o = 1.5 \text{ nF}$ $R_o = 20 \text{ k}\Omega$ $f_o = 10 \text{ kHz}$	-10	0	+10	-30	0	+30	%
Operating Frequency Temperature Coefficient			-100			-200		ppm/°C
Frequency Drift with Supply Voltage			0.1	1.0		0.2	1.5	%/V
Triangle Wave Output Voltage		2	2.4	3	2	2.4	3	V_{P-P}
Triangle Wave Output Linearity			0.2			0.5		%
Square Wave Output Level		4.7	5.4		4.7	5.4		V_{P-P}
Output Impedance (Pin 4)			5			5		k Ω
Square Wave Duty Cycle		45	50	55	40	50	60	%
Square Wave Rise Time			20			20		ns
Square Wave Fall Time			50			50		ns
Output Current Sink (Pin 4)		0.6	1		0.6	1		mA
VCO Sensitivity	$f_o = 10 \text{ kHz}$		6600			6600		Hz/V
Demodulated Output Voltage (Pin 7)	$\pm 10\%$ Frequency Deviation	250	300	400	200	300	450	mV_{P-P}
Total Harmonic Distortion	$\pm 10\%$ Frequency Deviation		0.2	0.75		0.2	1.5	%
Output Impedance (Pin 7)			3.5			3.5		k Ω
DC Level (Pin 7)		4.25	4.5	4.75	4.0	4.5	5.0	V
Output Offset Voltage $ V_7 - V_6 $			30	100		50	200	mV
Temperature Drift of $ V_7 - V_6 $			500			500		$\mu V/^\circ C$
AM Rejection		30	40			40		dB
Phase Detector Sensitivity K_D			0.68			0.68		V/radian
<p>Note 1: 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. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.</p> <p>Note 2: The maximum junction temperature of the LM565 and LM565C is +150°C. For operation at elevated temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of +150°C/W junction to ambient or +45°C/W junction to case. Thermal resistance of the dual-in-line package is +85°C/W.</p>								

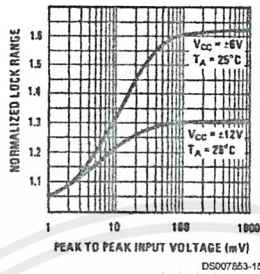
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

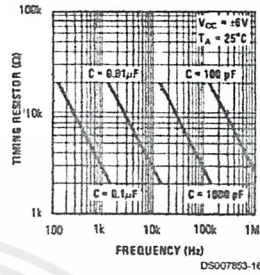
Power Supply Current as a Function of Supply Voltage



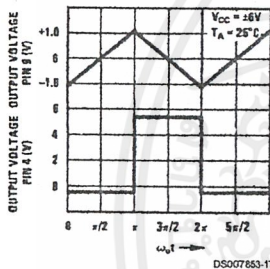
Lock Range as a Function of Input Voltage



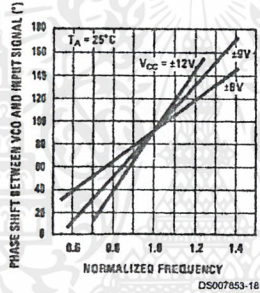
VCO Frequency



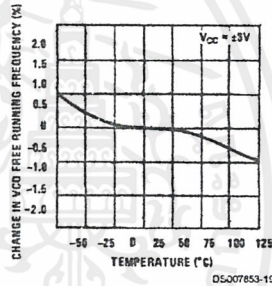
Oscillator Output Waveforms



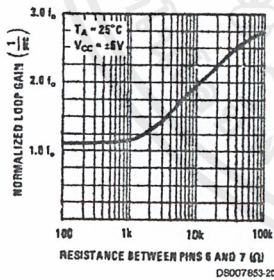
Phase Shift vs Frequency



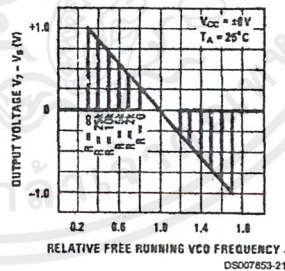
VCO Frequency as a Function of Temperature



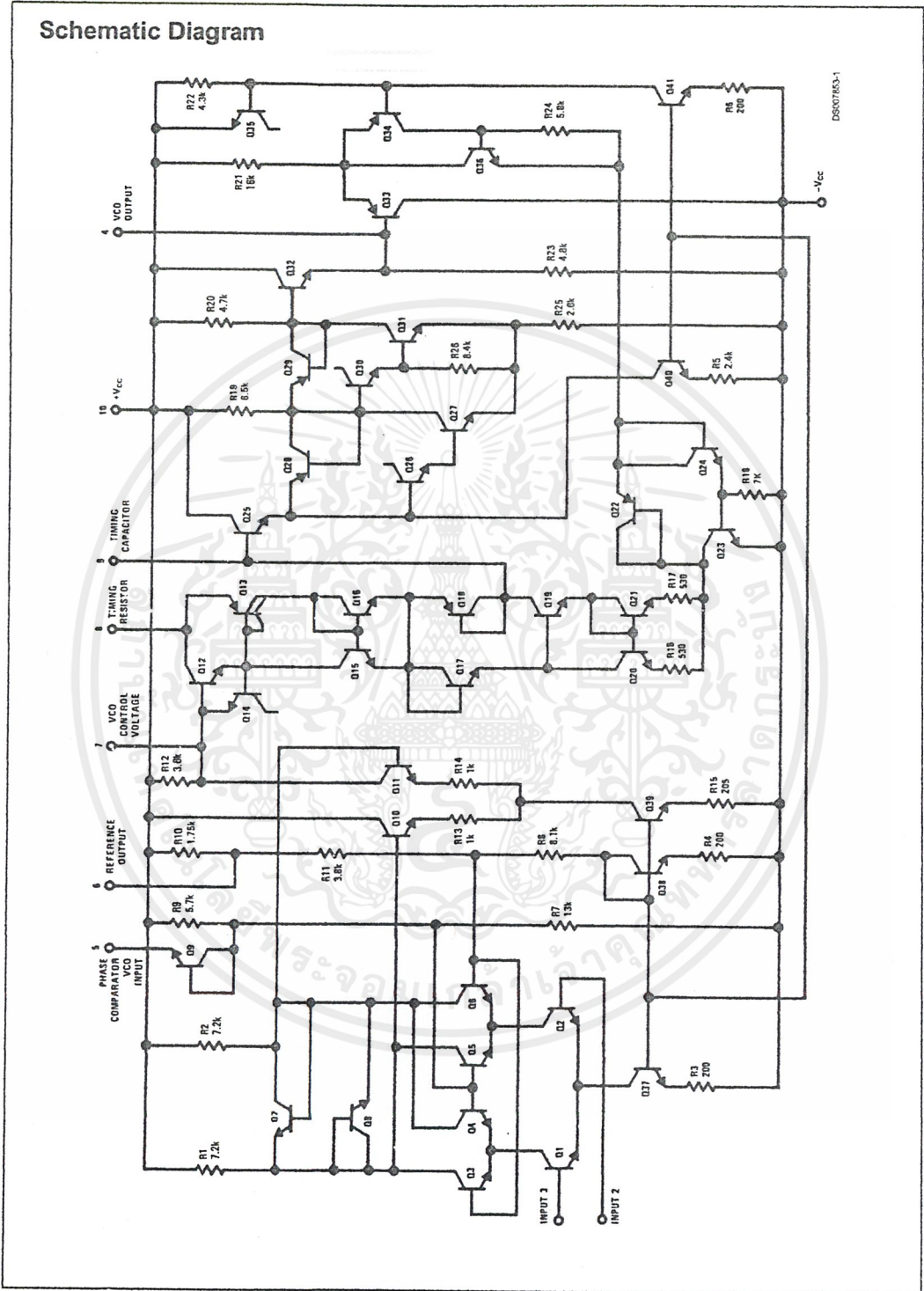
Loop Gain vs Load Resistance



Hold in Range as a Function of R_{6-7}

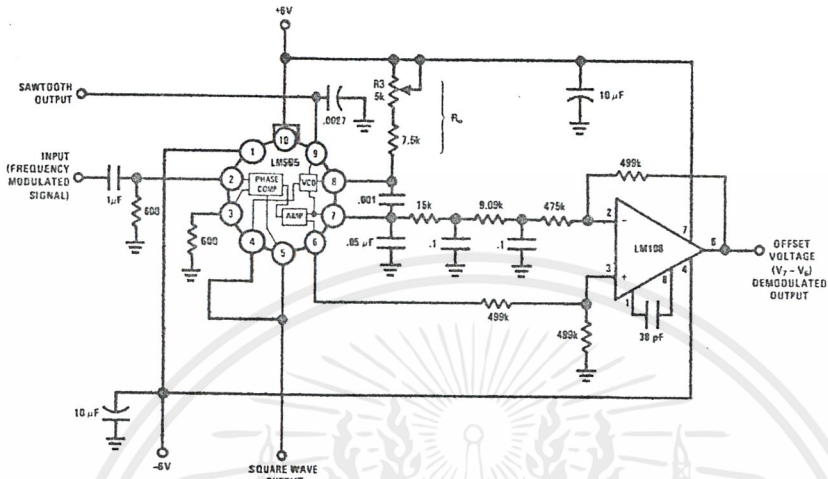


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Test Circuit

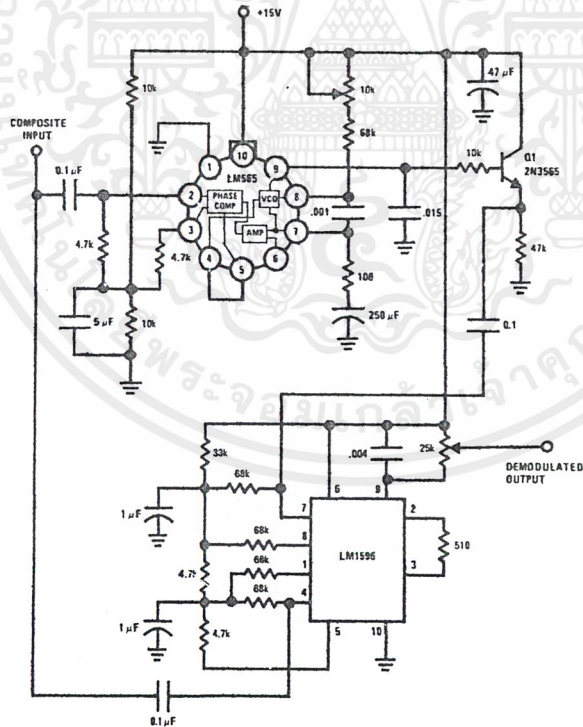


Note: S₁ open for output offset voltage (V₇ - V₆) measurement.

DS007853-6

Typical Applications

2400 Hz Synchronous AM Demodulator

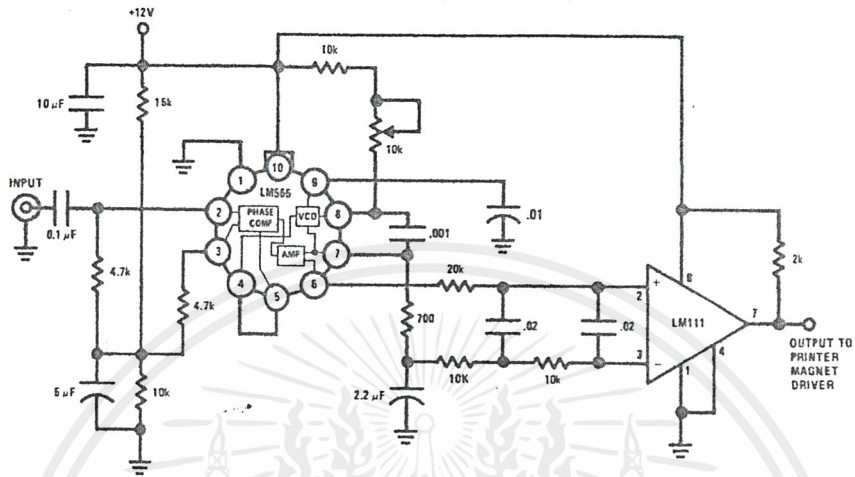


DS007853-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

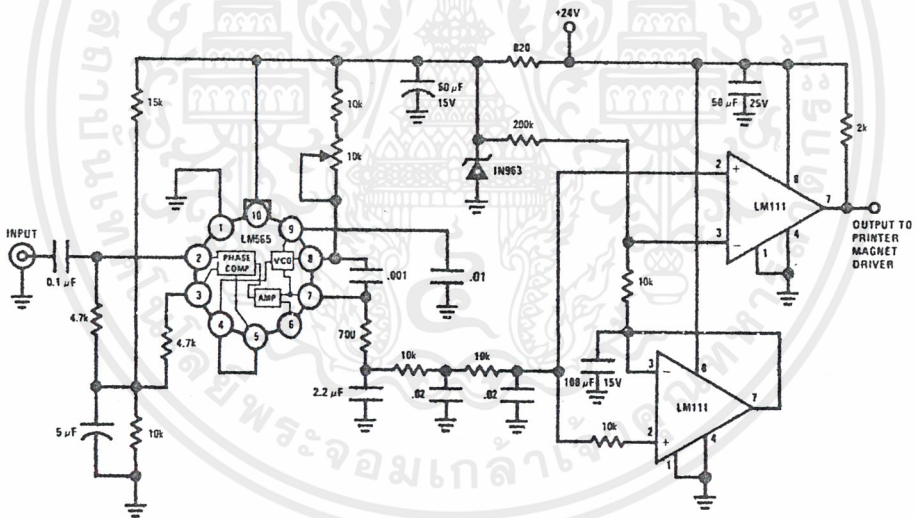
Typical Applications (Continued)

FSK Demodulator (2025-2225 cps)



DS007853-7

FSK Demodulator with DC Restoration



DS007853-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM566C Voltage Controlled Oscillator

General Description

The LM566CN is a general purpose voltage controlled oscillator which may be used to generate square and triangular waves, the frequency of which is a very linear function of a control voltage. The frequency is also a function of an external resistor and capacitor.

The LM566CN is specified for operation over the 0°C to +70°C temperature range.

Features

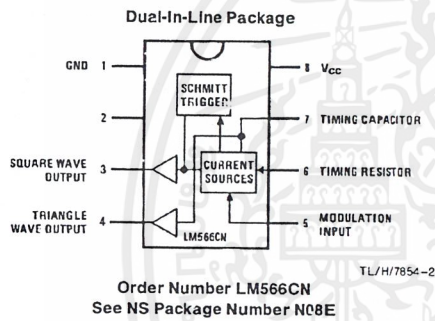
- Wide supply voltage range: 10V to 24V
- Very linear modulation characteristics

- High temperature stability
- Excellent supply voltage rejection
- 10 to 1 frequency range with fixed capacitor
- Frequency programmable by means of current, voltage, resistor or capacitor

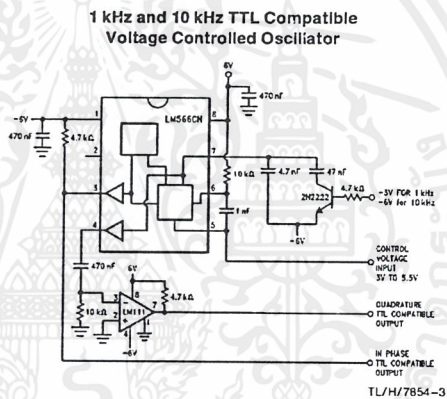
Applications

- FM modulation
- Signal generation
- Function generation
- Frequency shift keying
- Tone generation

Connection Diagram



Typical Application



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

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

Power Supply Voltage	26V
Power Dissipation (Note 1)	1000 mW
Operating Temperature Range, LM566CN	0°C to +70°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	+260°C

Electrical Characteristics $V_{CC} = 12V, T_A = 25^\circ C, AC$ Test Circuit

Parameter	Conditions	LM566C			Units
		Min	Typ	Max	
Maximum Operating Frequency	$R_O = 2k$ $C_O = 2.7 pF$	0.5	1		MHz
VCO Free-Running Frequency	$C_O = 1.5 nF$ $R_O = 20k$ $f_O = 10 kHz$	-30	0	+30	%
Input Voltage Range Pin 5		$\frac{3}{4} V_{CC}$		V_{CC}	
Average Temperature Coefficient of Operating Frequency			200		ppm/°C
Supply Voltage Rejection	10-20V		0.1	2	%/V
Input Impedance Pin 5		0.5	1		MΩ
VCO Sensitivity	For Pin 5, From 8-10V, $f_O = 10 kHz$	6.0	6.6	7.2	kHz/V
FM Distortion	± 10% Deviation		0.2	1.5	%
Maximum Sweep Rate			1		MHz
Sweep Range			10:1		
Output Impedance Pin 3			50		Ω
Pin 4			50		Ω
Square Wave Output Level	$R_{L1} = 10k$	5.0	5.4		Vp-p
Triangle Wave Output Level	$R_{L2} = 10k$	2.0	2.4		Vp-p
Square Wave Duty Cycle		40	50	60	%
Square Wave Rise Time			20		ns
Square Wave Fall Time			50		ns
Triangle Wave Linearity	+1V Segment at $\frac{1}{2} V_{CC}$		0.5		%

Note 1: The maximum junction temperature of the LM566CN is 150°C. For operation at elevated junction temperatures, maximum power dissipation must be derated based on a thermal resistance of 115°C/W, junction to ambient.

Applications Information

The LM566CN may be operated from either a single supply as shown in this test circuit, or from a split (±) power supply. When operating from a split supply, the square wave output (pin 3) is TTL compatible (2 mA current sink) with the addition of a 4.7 kΩ resistor from pin 3 to ground.

A 0.001 μF capacitor is connected between pins 5 and 6 to prevent parasitic oscillations that may occur during VCO switching.

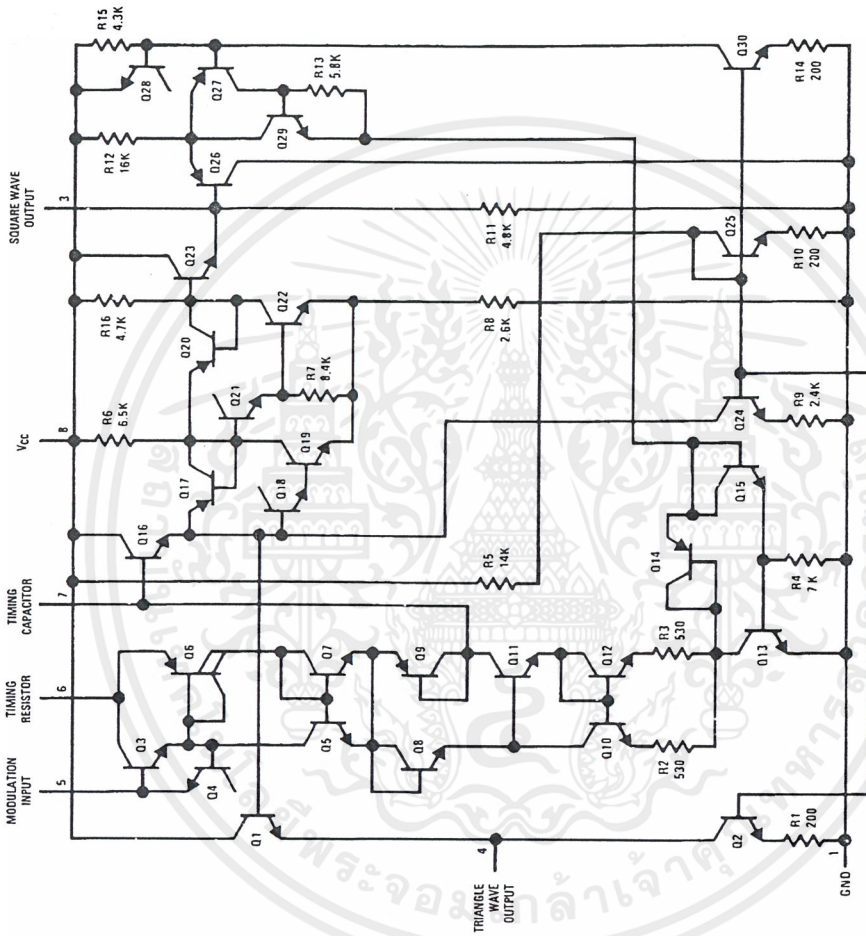
$$f_O = \frac{2.4(V^+ - V_5)}{R_O C_O V^+}$$

where

$$2K < R_O < 20K$$

and V_5 is voltage between pin 5 and pin 1.

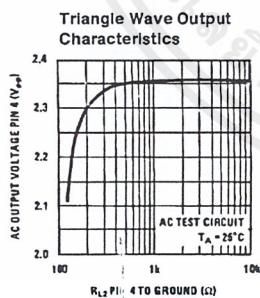
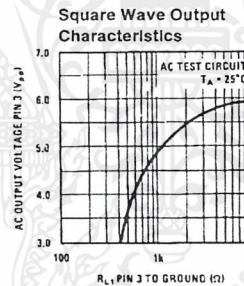
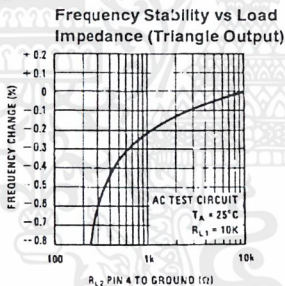
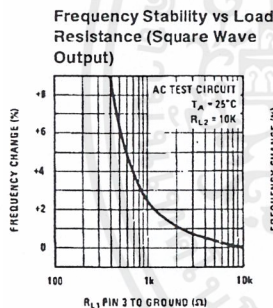
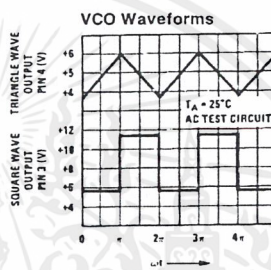
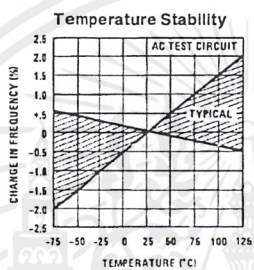
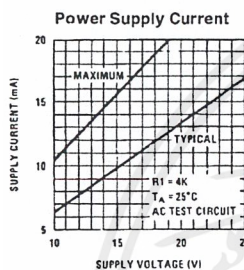
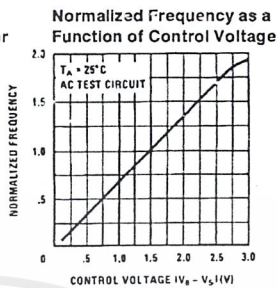
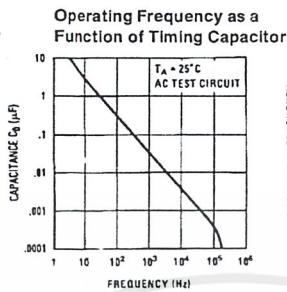
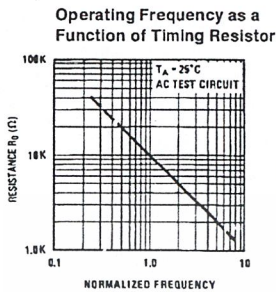
Schematic Diagram



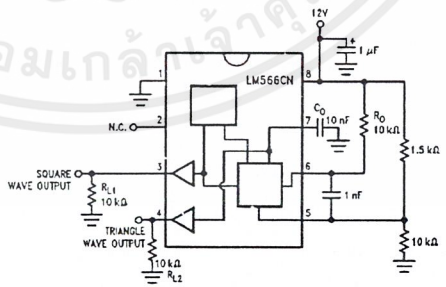
TL/H/7854-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics



AC Test Circuit



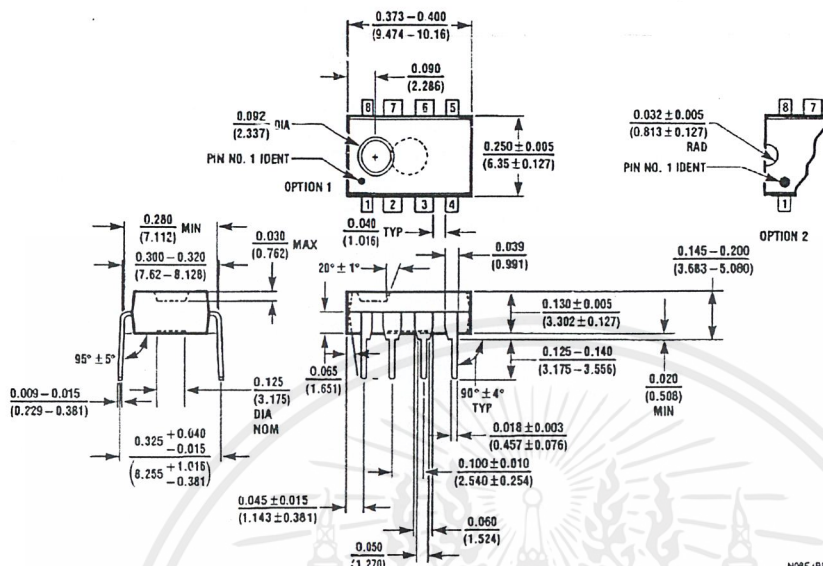
TL/H/7854-5

TL/H/7854-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM566C Voltage Controlled Oscillator

Physical Dimensions inches (millimeters)



Molded Dual-In-Line Package (N)
 Order Number LM566CN
 NS Package Number N08E

N08E (REV F)

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) 0-189-530 85 86
 Email: cnjwge@tadm2.nsc.com
 Deutsch Tel: (+49) 0-189-530 85 85
 English Tel: (+49) 0-189-532 78 32
 Français Tel: (+49) 0-189-532 03 56
 Italiano Tel: (+49) 0-189-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
 13th Floor, Straight Block,
 Ocean Centre, 5 Canton Rd.,
 Simshatsui, Kowloon
 Hong Kong
 Tel: (852) 2737-1600
 Fax: (852) 2736-9060

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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM118, LM218, LM318 FAST GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS063A – JUNE 1976 – REVISED APRIL 1994

- Small-Signal Bandwidth . . . 15 MHz Typ
- Slew Rate . . . 50 V/ μ s Min
- Bias Current . . . 250 nA Max (LM118, LM218)
- Supply Voltage Range . . . ± 5 V to ± 20 V
- Internal Frequency Compensation
- Input and Output Overload Protection
- Same Pin Assignments as General-Purpose Operational Amplifiers

description

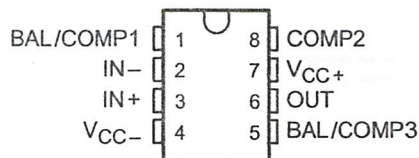
The LM118, LM218, and LM318 are precision, fast operational amplifiers designed for applications requiring wide bandwidth and high slew rate. They feature a factor-of-ten increase in speed over general-purpose devices without sacrificing dc performance.

These operational amplifiers have internal unity-gain frequency compensation. This considerably simplifies their application, since no external components are necessary for operation. However, unlike most internally compensated amplifiers, external frequency compensation may be added for optimum performance. For inverting applications, feed-forward compensation boosts the slew rate to over 150 V/ μ s and almost double the bandwidth. Overcompensation can be used with the amplifier for greater stability when maximum bandwidth is not needed. Further, a single capacitor may be added to reduce the settling time for 0.1% error band to under 1 μ s.

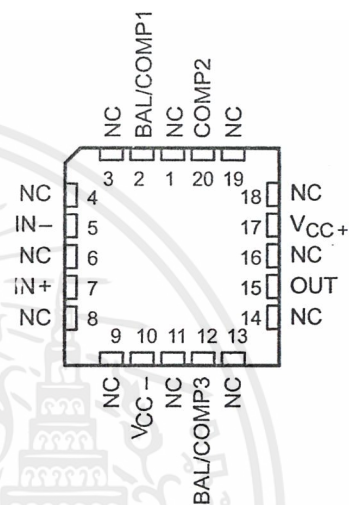
The high speed and fast settling time of these operational amplifiers make them useful in A/D converters, oscillators, active filters, sample-and-hold circuits, and general-purpose amplifiers.

The LM118 is characterized for operation from -55°C to 125°C . The LM218 is characterized for operation from -25°C to 85°C , and the LM318 is characterized for operation from 0°C to 70°C .

D, JG, OR P PACKAGE
(TOP VIEW)

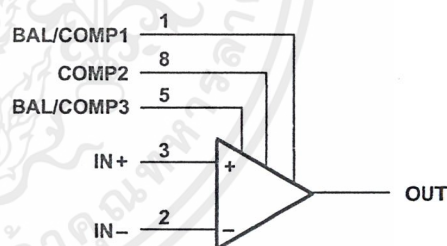


FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC – No internal connection

symbol



Pin numbers shown are for the D, JG, and P packages.

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

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1994, Texas Instruments Incorporated
On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM118, LM218, LM318 FAST GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

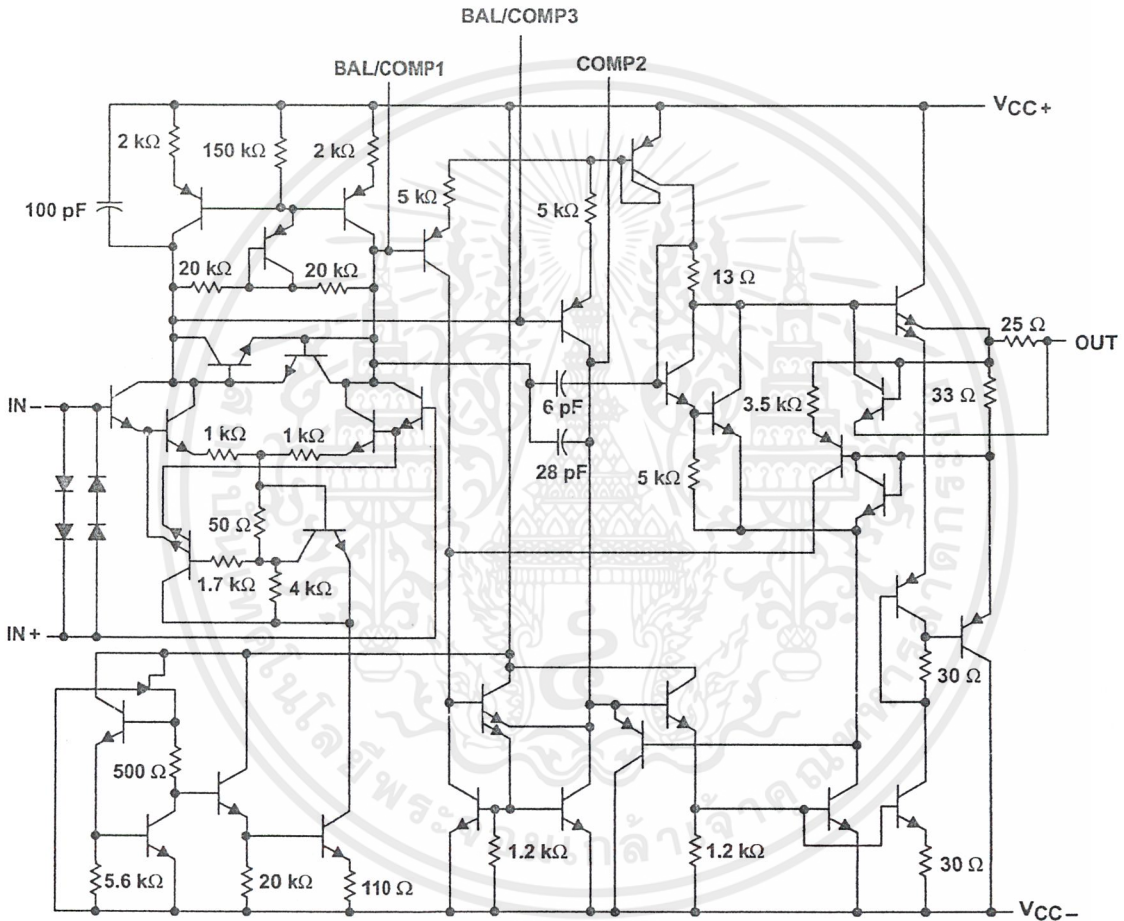
SLOS063A – JUNE 1976 – REVISED APRIL 1994

AVAILABLE OPTIONS

T _A	V _{IO} max AT 25°C	PACKAGE			
		SMALL OUTLINE (D)	CHIP CARRIER (FK)	CERAMIC DIP (JG)	PLASTIC DIP (P)
0°C to 70°C	10 mV	LM318D	—	—	LM318P
-25°C to 85°C	4 mV	LM218D	—	—	LM218P
-55°C to 125°C	4 mV	LM118D	LM118FK	LM118JG	LM118P

The D package is available taped and reeled. Add the suffix R to the device type (e.g., LM318DR).

schematic



Component values shown are nominal.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50
LM118, LM218, LM318
FAST GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS063A – JUNE 1976 – REVISED APRIL 1994

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	LM118	LM218	LM318	UNIT
Supply voltage, V_{CC+} (see Note 1)	20	20	20	V
Supply voltage, V_{CC-} (see Note 1)	-20	-20	-20	V
Input voltage, V_I (either input, see Notes 1 and 2)	± 15	± 15	± 15	V
Differential input current, V_{ID} (see Note 3)	± 10	± 10	± 10	mA
Duration of output short circuit (see Note 4)	unlimited	unlimited	unlimited	
Continuous total power dissipation	See Dissipation Rating Table			
Operating free-air temperature range, T_A	-55 to 125	-25 to 85	0 to 70	$^{\circ}\text{C}$
Storage temperature range	-65 to 150	-65 to 150	-65 to 50	$^{\circ}\text{C}$
Case temperature for 60 seconds	FK package	260		$^{\circ}\text{C}$
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	D or P package	260	260	$^{\circ}\text{C}$
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds	JG package	300		$^{\circ}\text{C}$

- NOTES: 1. All voltage values, unless otherwise noted, are with respect to the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-} .
 2. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 V, whichever is less.
 3. The inputs are shunted with two opposite-facing base-emitter diodes for overvoltage protection. Therefore, excessive current flows if a different input voltage in excess of approximately 1 V is applied between the inputs unless some limiting resistance is used.
 4. The output can be shorted to ground or either power supply. For the LM118 and LM218 only, the unlimited duration of the short circuit applies at (or below) 85 $^{\circ}\text{C}$ case temperature or 75 $^{\circ}\text{C}$ free-air temperature.

DISSIPATION RATING TABLE

PACKAGE	$T_A \leq 25^{\circ}\text{C}$ POWER RATING	DERATING FACTOR	DERATE ABOVE T_A	$T_A = 70^{\circ}\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 85^{\circ}\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 125^{\circ}\text{C}$ POWER RATING
D	500 mW	5.8 mW/ $^{\circ}\text{C}$	64 $^{\circ}\text{C}$	464 mW	377 mW	145 mW
FK	500 mW	11.0 mW/ $^{\circ}\text{C}$	105 $^{\circ}\text{C}$	500 mW	500 mW	275 mW
JG	500 mW	8.4 mW/ $^{\circ}\text{C}$	90 $^{\circ}\text{C}$	500 mW	500 mW	210 mW
P	500 mW	8.0 mW/ $^{\circ}\text{C}$	88 $^{\circ}\text{C}$	500 mW	500 mW	200 mW



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM118, LM218, LM318

FAST GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS063A – JUNE 1976 – REVISED APRIL 1994

electrical characteristics at specified free-air temperature (see Note 5)

PARAMETER	TEST CONDITION [†]	T _A [‡]	LM118, LM218			LM318			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V _{IO} Input offset voltage	V _O = 0	25°C		2	4		4	10	mV
		Full range			6			15	
I _{IO} Input offset current	V _O = 0	25°C		6	50		30	200	nA
		Full range			100			300	
I _{IB} Input bias current	V _O = 0	25°C		120	250		150	500	nA
		Full range			500			750	
V _{ICR} Common-mode input voltage range	V _{CC±} = ±15 V	Full range	±11.5			±11.5			V
V _{OM} Maximum peak output voltage swing	V _{CC±} = ±15 V, R _L = 2 kΩ	Full range	±12	±13		±12	±13		V
A _{VD} Large-signal differential voltage amplification	V _{CC±} = ±15 V, V _O = ±10 V, R _L ≥ 2 kΩ	25°C	50	200		25	200		V/mV
		Full range	25			20			
B ₁ Unity-gain bandwidth	V _{CC±} = ±15 V	25°C		15		15			MHz
r _i Input resistance		25°C	1*	3		0.5	3	MΩ	
CMRR Common-mode rejection ratio	V _{IC} = V _{ICRmin}	Full range	80	100		70	100		dB
k _{SVR} Supply-voltage rejection ratio (ΔV _{CC} /ΔV _{IO})		Full range	70	80		65	80		dB
I _{CC} Supply current	V _O = 0, No load	25°C		5	8		5	10	mA

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

† All characteristics are measured under open-loop conditions with common-mode input voltage unless otherwise specified.

‡ Full range for LM118 is -55°C to 125°C, full range for LM218 is -25°C to 85°C, and full range for LM318 is 0°C to 70°C.

NOTE 5: Unless otherwise noted, V_{CC} = ±5 V to ±20 V. All typical values are at V_{CC±} = ±15 V and T_A = 25°C.operating characteristics, V_{CC±} = ±15 V, T_A = 25°C

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
SR Slew rate at unity gain	ΔV _I = 10 V, C _L = 100 pF, See Figure 1	50*	70		V/μs

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

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

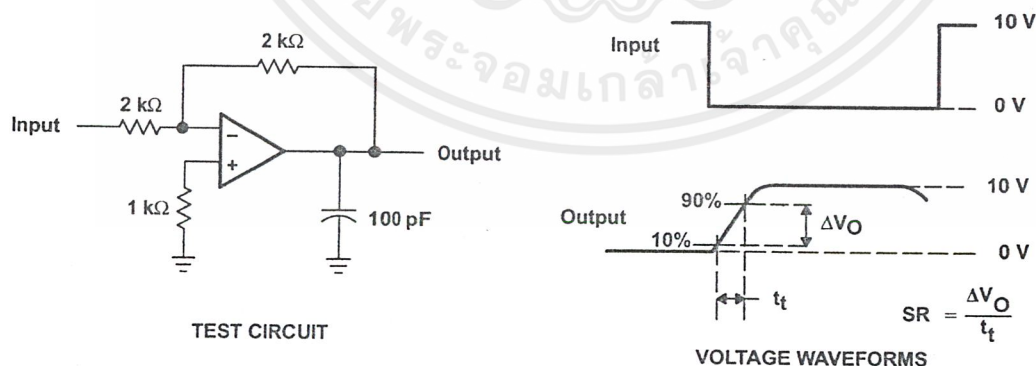


Figure 1. Slew Rate

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments and its subsidiaries (TI) reserve the right to make changes to their products or to discontinue any product or service without notice, and advise customers to obtain the latest version of relevant information to verify, before placing orders, that information being relied on is current and complete. All products are sold subject to the terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgement, including those pertaining to warranty, patent infringement, and limitation of liability.

TI warrants performance of its semiconductor products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are utilized to the extent TI deems necessary to support this warranty. Specific testing of all parameters of each device is not necessarily performed, except those mandated by government requirements.

CERTAIN APPLICATIONS USING SEMICONDUCTOR PRODUCTS MAY INVOLVE POTENTIAL RISKS OF DEATH, PERSONAL INJURY, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE ("CRITICAL APPLICATIONS"). TI SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS OR OTHER CRITICAL APPLICATIONS. INCLUSION OF TI PRODUCTS IN SUCH APPLICATIONS IS UNDERSTOOD TO BE FULLY AT THE CUSTOMER'S RISK.

In order to minimize risks associated with the customer's applications, adequate design and operating safeguards must be provided by the customer to minimize inherent or procedural hazards.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right of TI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used. TI's publication of information regarding any third party's products or services does not constitute TI's approval, warranty or endorsement thereof.

Copyright © 1998, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM160/LM360 High Speed Differential Comparator

General Description

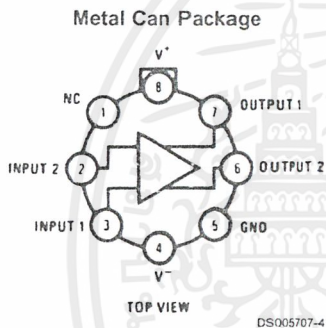
The LM160/LM360 is a very high speed differential input, complementary TTL output voltage comparator with improved characteristics over the $\mu\text{A}760/\mu\text{A}760\text{C}$, for which it is a pin-for-pin replacement. The device has been optimized for greater speed, input impedance and fan-out, and lower input offset voltage. Typically delay varies only 3 ns for overdrive variations of 5 mV to 400 mV.

Complementary outputs having minimum skew are provided. Applications involve high speed analog to digital converters and zero-crossing detectors in disk file systems.

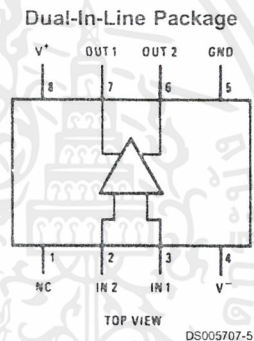
Features

- Guaranteed high speed: 20 ns max
- Tight delay matching on both outputs
- Complementary TTL outputs
- High input impedance
- Low speed variation with overdrive variation
- Fan-out of 4
- Low input offset voltage
- Series 74 TTL compatible

Connection Diagrams



Order Number LM160H/883 (Note 1)
See NS Package Number H08C



Order Number LM360M, LM360MX or LM360N
See NS Package Number M08A or N08E

Note 1: Also available in SMD# 5962-8767401

Absolute Maximum Ratings (Notes 6, 8)

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

Positive Supply Voltage	+8V
Negative Supply Voltage	-8V
Peak Output Current	20 mA
Differential Input Voltage	±5V
Input Voltage	$V^+ \geq V_{IN} \geq V^-$
ESD Tolerance (Note 9)	1600V
Operating Temperature Range	
LM160	-55°C to +125°C
LM360	0°C to +70°C

Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	260°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.	

Electrical Characteristics(T_{MIN} ≤ T_A ≤ T_{MAX})

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Operating Conditions					
Supply Voltage V _{CC} ⁺		4.5	5	6.5	V
Supply Voltage V _{CC} ⁻		-4.5	-5	-6.5	V
Input Offset Voltage	R _S ≤ 200Ω		2	5	mV
Input Offset Current			0.5	3	μA
Input Bias Current			5	20	μA
Output Resistance (Either Output)	V _{OUT} = V _{OH}		100		Ω
Response Time					
	T _A = 25°C, V _S = ±5V (Notes 2, 7)		13	25	ns
	T _A = 25°C, V _S = ±5V (Notes 3, 7)		12	20	ns
	T _A = 25°C, V _S = ±5V (Notes 4, 7)		14		ns
Response Time Difference between Outputs					
(t _{pd} of +V _{IN1}) - (t _{pd} of -V _{IN2})	T _A = 25°C (Notes 2, 7)		2		ns
(t _{pd} of +V _{IN2}) - (t _{pd} of -V _{IN1})	T _A = 25°C (Notes 2, 7)		2		ns
(t _{pd} of +V _{IN1}) - (t _{pd} of +V _{IN2})	T _A = 25°C (Notes 2, 7)		2		ns
(t _{pd} of -V _{IN1}) - (t _{pd} of -V _{IN2})	T _A = 25°C (Notes 2, 7)		2		ns
Input Resistance	f = 1 MHz		17		kΩ
Input Capacitance	f = 1 MHz		3		pF
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage	R _S = 50Ω		8		μV/°C
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current			7		nA/°C
Common Mode Input Voltage Range	V _S = ±6.5V	±4	±4.5		V
Differential Input Voltage Range		±5			V
Output High Voltage (Either Output)	I _{OUT} = -320 μA, V _S = ±4.5V	2.4	3		V
Output Low Voltage (Either Output)	I _{SINK} = 6.4 mA		0.25	0.4	V
Positive Supply Current	V _S = ±6.5V		18	32	mA
Negative Supply Current	V _S = ±6.5V		-9	-16	mA

Note 2: Response time measured from the 50% point of a 30 mVp-p 10 MHz sinusoidal input to the 50% point of the output.

Note 3: Response time measured from the 50% point of a 2 Vp-p 10 MHz sinusoidal input to the 50% point of the output.

Electrical Characteristics (Continued)

Note 4: Response time measured from the start of a 100 mV input step with 5 mV overdrive to the time when the output crosses the logic threshold.

Note 5: Typical thermal impedances are as follows:

Cavity DIP (J):	θ_{JA}	135°C/W	Header (H):	θ_{JA}	165°C/W	(Still Air):
Molded DIP (N):	θ_{JA}	130°C/W		θ_{JC}	67°C/W	(400 LFM Air Flow):
				θ_{JC}	25°C/W	

Note 6: The device may be damaged if used beyond the maximum ratings.

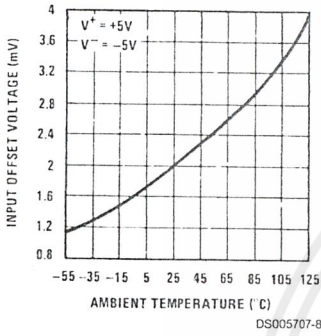
Note 7: Measurements are made in AC Test Circuit, Fanout = 1

Note 8: Refer to RETS 160X for LM160H, LM160J-14 and LM160J military specifications.

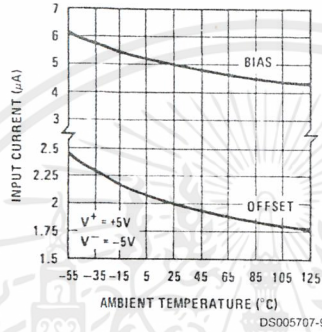
Note 9: Human body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

Typical Performance Characteristics

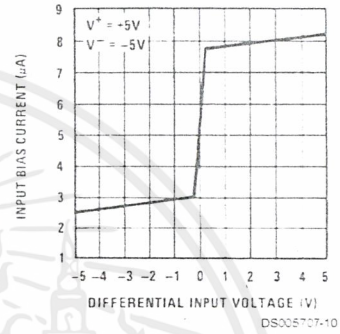
Offset Voltage



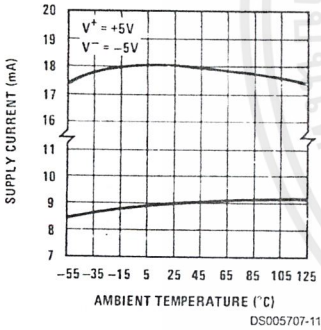
Input Current vs Ambient Temperature



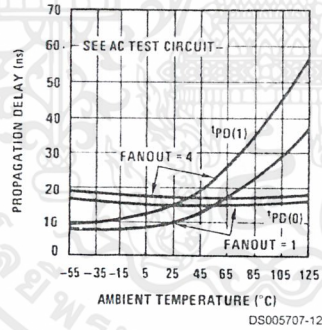
Input Characteristics



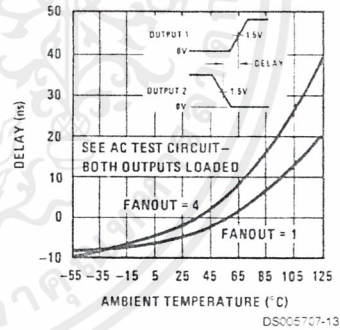
Supply Current vs Ambient Temperature



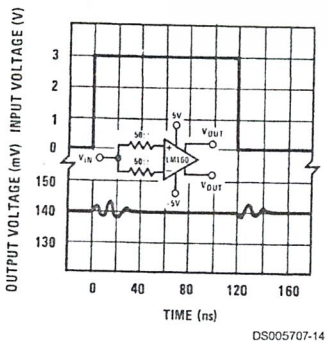
Propagation Delay vs Ambient Temperature



Delay of Output 1 With Respect to Output 2 vs Ambient Temperature

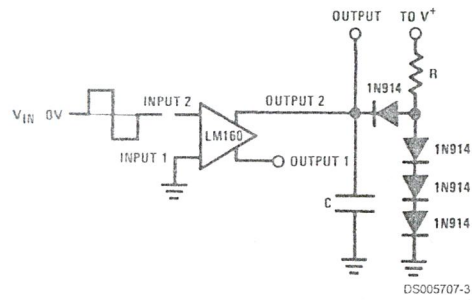


Common-Mode Pulse Response



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

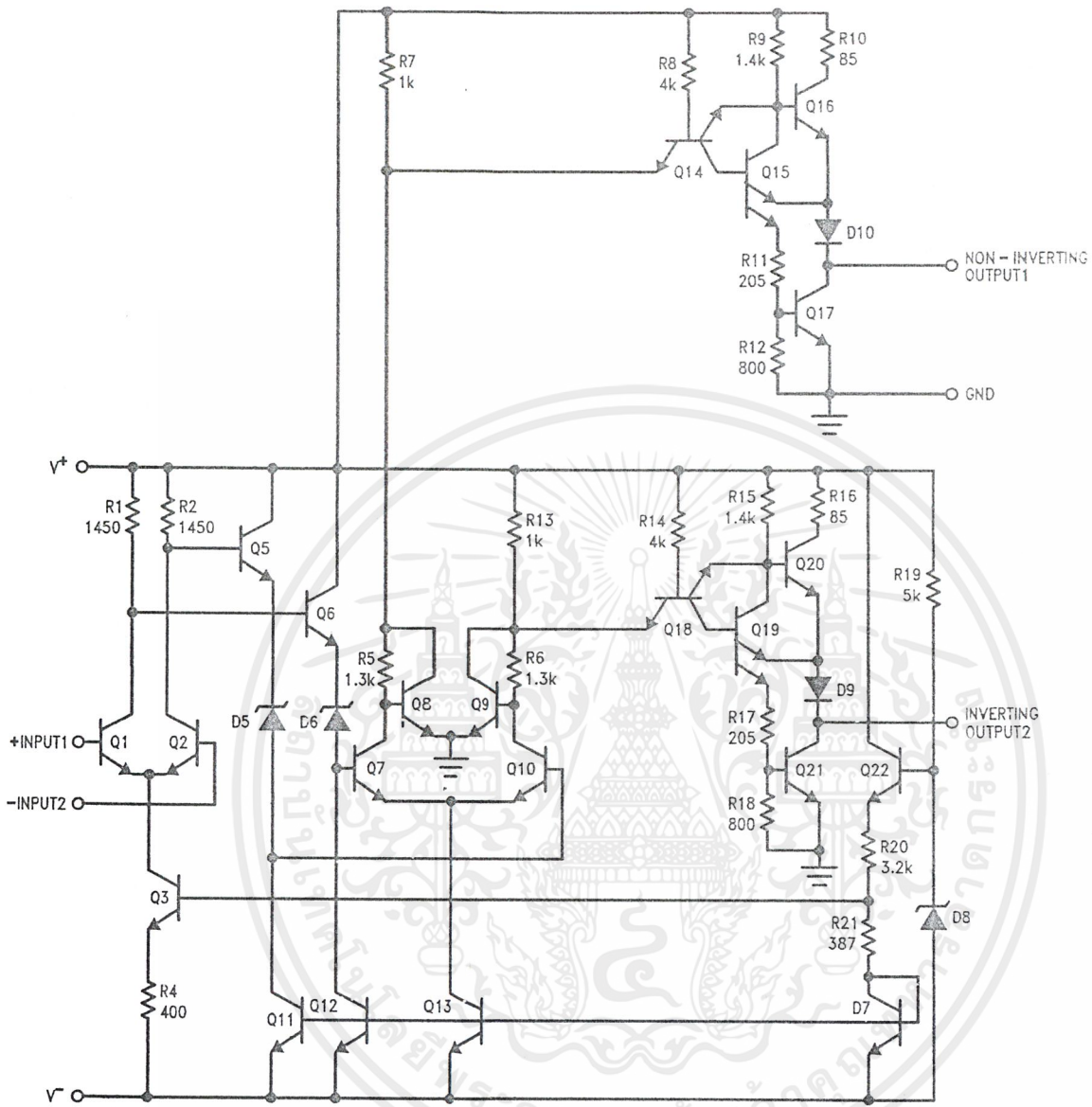
AC Test Circuit



$V_{IN} = \pm 50 \text{ mV}$ FANOUT=1 FANOUT=4
 $V^+ = +5V$ $R = 2.4k$ $R = 630\Omega$
 $V^- = -5V$ $C = 15 \text{ pF}$ $C = 30 \text{ pF}$



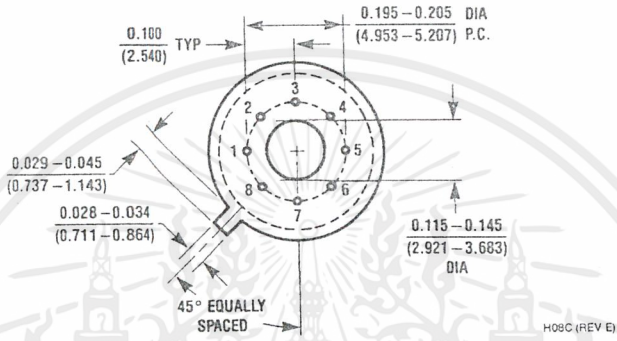
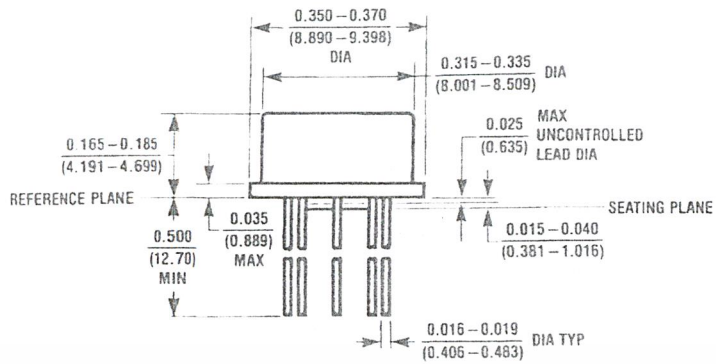
Schematic Diagram



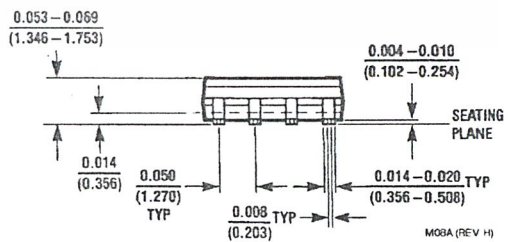
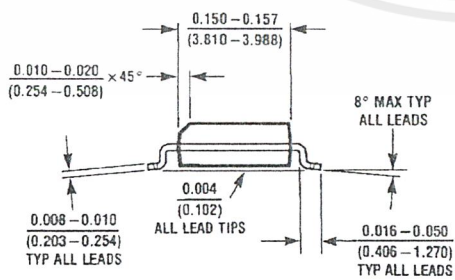
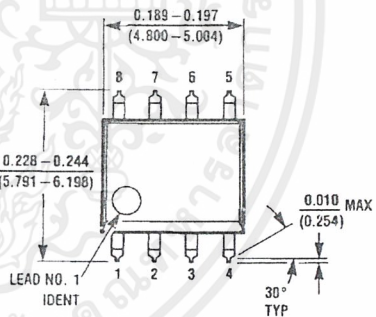
DS005717-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



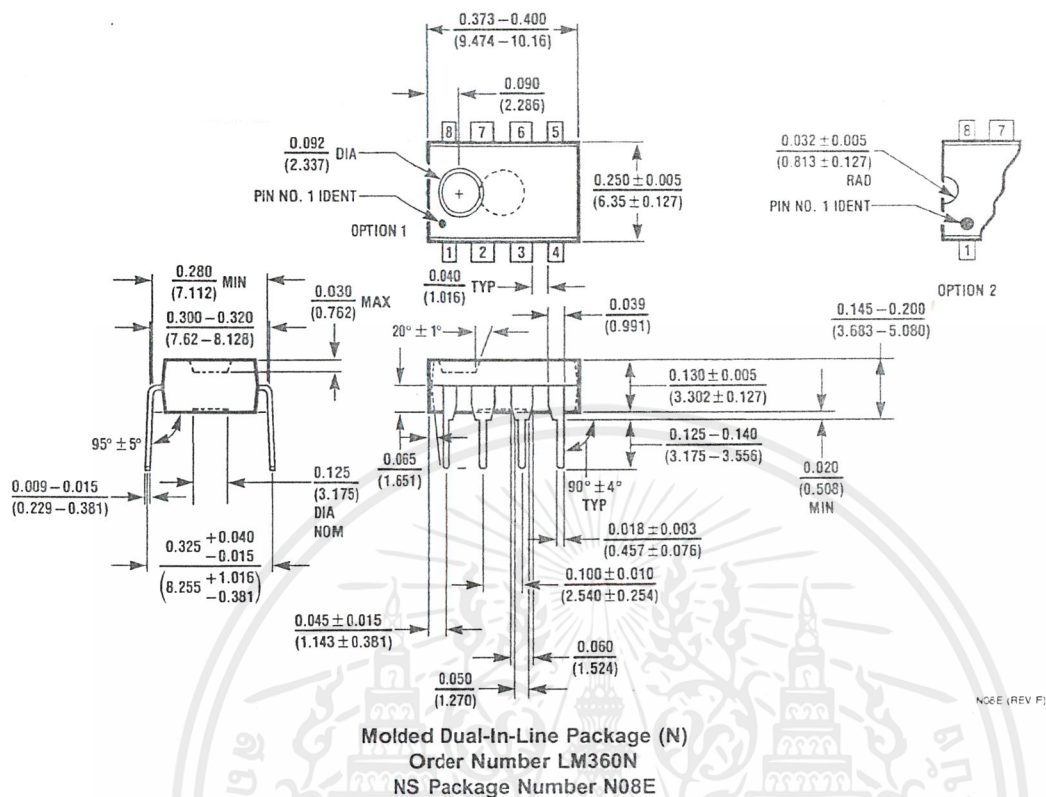
Metal Can Package (H)
 Order Number LM160H/883
 NS Package Number H08C



Molded Dual-In-Line Package (M)
 Order Number LM360M or LM360MX
 NS Package Number M08A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF510, IRF511, IRF512, IRF513

4.9A, and 5.6A, 80V and 100V, 0.54 and 0.74 Ohm,
N-Channel Power MOSFETs

January 1998

Features

- 4.9A, and 5.6A, 80V and 100V
- $r_{DS(ON)} = 0.54\Omega$ and 0.74Ω
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
 - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

Description

These are N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistors. They are advanced power MOSFETs designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching converters, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA17441.

Symbol

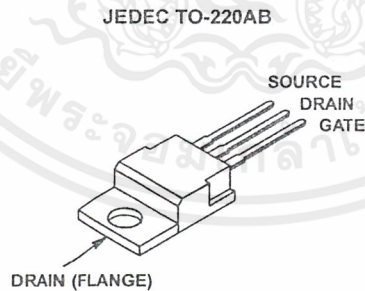


Ordering Information

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRF510	TO-220AB	IRF510
IRF511	TO-220AB	IRF511
IRF512	TO-220AB	IRF512
IRF513	TO-220AB	IRF513

NOTE: When ordering, include the entire part number.

Packaging



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

Copyright © Harris Corporation 1997

File Number **1573.2**

5-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF510, IRF511, IRF512, IRF513

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

	IRF510	IRF511	IRF512	IRF513	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1) V_{DS}	100	80	100	80	V
Drain to Gate Voltage ($R_{GS} = 20k\Omega$) (Note 1) V_{DGR}	100	80	100	80	V
Continuous Drain Current I_D	5.6	5.6	4.9	4.9	A
$T_C = 100^\circ\text{C}$ I_D	4	4	3.4	3.4	A
Pulsed Drain Current (Note 3) I_{DM}	20	20	18	18	A
Gate to Source Voltage V_{GS}	± 20	± 20	± 20	± 20	V
Maximum Power Dissipation P_D	43	43	43	43	W
Linear Derating Factor	0.29	0.29	0.29	0.29	$W/^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4) E_{AS}	19	19	19	19	mJ
Operating and Storage Temperature Range T_J, T_{STG}	-55 to 175	-55 to 175	-55 to 175	-55 to 175	$^\circ\text{C}$
Maximum Temperature for Soldering					$^\circ\text{C}$
Leads at 0.063in (1.6mm) from 25ase for 10s T_L	300	300	300	300	$^\circ\text{C}$
Package Body for 10s, See Techbrief 334 T_{pkg}	260	260	260	260	$^\circ\text{C}$

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:

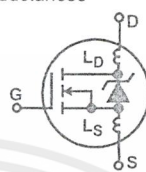
1. $T_J = 25^\circ\text{C}$ to 150°C .

Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified


PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu\text{A}$, (Figure 10)				
IRF510 IRF512			100	-	-	V
IRF511, IRF513			80	-	-	V
Gate to Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}, I_D = 250\mu\text{A}$	2.0	-	4.0	V
Zero-Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0V$	-	-	25	μA
		$V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$	-	-	250	μA
On-State Drain Current (Note 2)	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times r_{DS(ON)MAX}, V_{GS} = 10V$, (Figure 7)				
IRF510, IRF511			5.6	-	-	A
IRF512, IRF513			4.9	-	-	A
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20V$	-	-	± 100	nA
Drain to Source On Resistance (Note 2)	$r_{DS(ON)}$	$V_{GS} = 10V, I_D = 3.4A$, (Figures 8, 9)				
IRF510, IRF511			-	0.4	0.54	Ω
IRF512, IRF513			-	0.5	0.74	Ω
Forward Transconductance (Note 2)	g_{fs}	$V_{GS} = 50V, I_D = 3.4A$, (Figure 12)	1.3	2.0	-	S
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$	$I_D = 5.6A, R_{GS} = 24\Omega, V_{DD} = 50V, R_L = 9\Omega$	-	8	11	ns
Rise Time	t_r	$V_{DD} = 50V, V_{GS} = 10V$, (Figures 17, 18)	-	25	36	ns
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$	MOSFET switching times are essentially independent of operating temperature	-	15	21	ns
Fall Time	t_f		-	12	21	ns
Total Gate Charge (Gate to Source + Gate to Drain)	$Q_{g(TOT)}$	$V_{GS} = 10V, I_D = 5.6A, V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, I_{G(REF)} = 1.5mA$ (Figures 14, 19, 20)	-	5.0	7.7	nC
Gate to Source Charge	Q_{gs}	Gate charge is essentially independent of operating temperature	-	2.0	-	nC
Gate to Drain "Miller" Charge	Q_{gd}		-	3.0	-	nC

IRF510, IRF511, IRF512, IRF513

Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified (Continued)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Capacitance	C_{ISS}	$V_{GS} = 0\text{V}$, $V_{DS} = 25\text{V}$, $f = 1.0\text{MHz}$, (Figure 11)		-	135	-	pF
Output Capacitance	C_{OSS}			-	80	-	pF
Reverse-Transfer Capacitance	C_{RSS}			-	20	-	pF
Internal Drain Inductance	L_D	Measured From the Contact Screw On Tab To Center of Die	Modified MOSFET Symbol Showing the Internal Devices Inductances 	-	3.5	-	nH
		Measured From the Drain Lead, 6mm (0.25in) From Package to Center of Die		-	4.5	-	nH
Internal Source Inductance	L_S	Measured From The Source Lead, 6mm (0.25in) From Header to Source Bonding Pad			-	7.5	-
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta JC}$			-	-	3.5	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	Free air operation		-	-	80	$^\circ\text{C/W}$

Source to Drain Diode Specifications

PARAMETER	SYMBOL	Test Conditions		MIN	TYP	MAX	UNITS
Continuous Source to Drain Current	I_{SD}	Modified MOSFET Symbol Showing the Integral Reverse P-N Junction Diode 		-	-	5.6	A
Pulse Source to Drain Current (Note 3)	I_{SDM}			-	-	20	A
Source to Drain Diode Voltage (Note 2)	V_{SD}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 5.6\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 13)		-	-	2.5	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 5.6\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$		4.6	96	200	ns
Reverse Recovered Charge	Q_{RR}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 5.6\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$		0.17	0.4	0.83	μC

NOTES:

2. Pulse test: pulse width $\leq 300\mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$.
3. Repetitive rating: pulse width limited by max junction temperature. See Transient Thermal Impedance curve (Figure 3).
4. $V_{DD} = 25\text{V}$, start $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 910\mu\text{H}$, $R_G = 25\Omega$, peak $I_{AS} = 5.6\text{A}$ (See Figure 15, 16).

IRF510, IRF511, IRF512, IRF513

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified

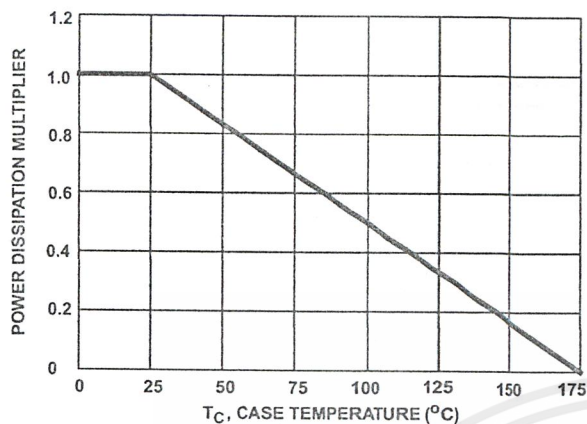


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

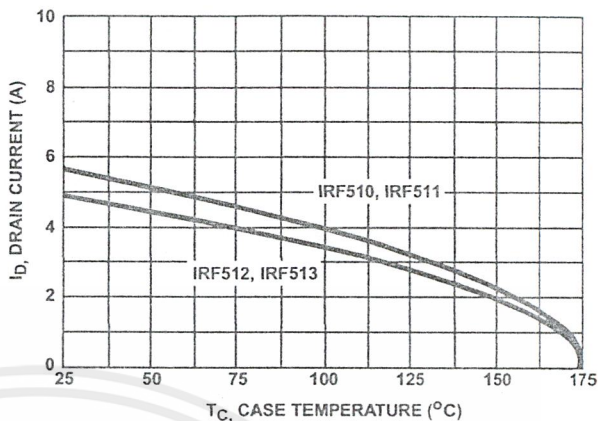


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

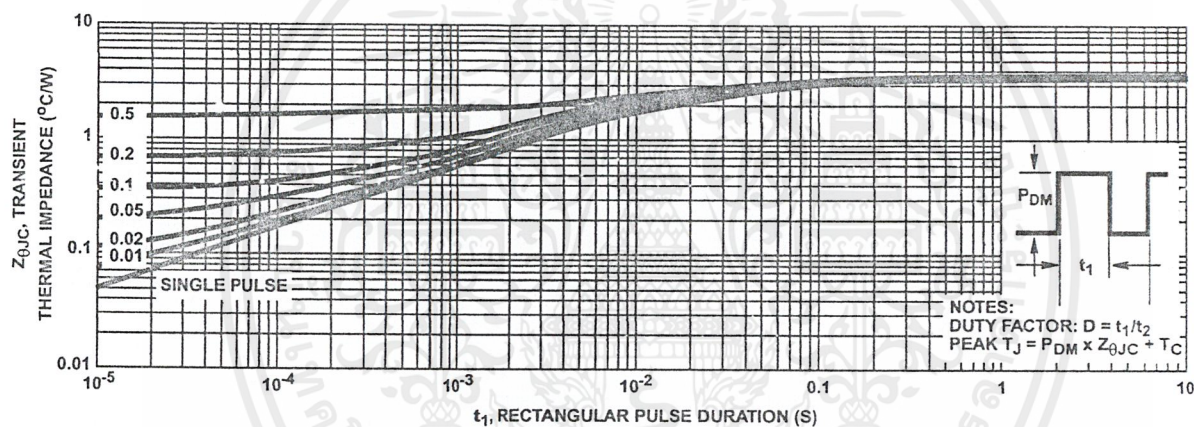


FIGURE 3. MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

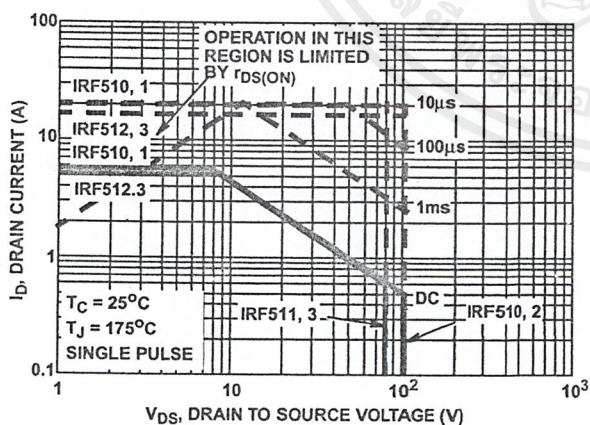


FIGURE 4. FORWARD BIAS SAFE OPERATING AREA

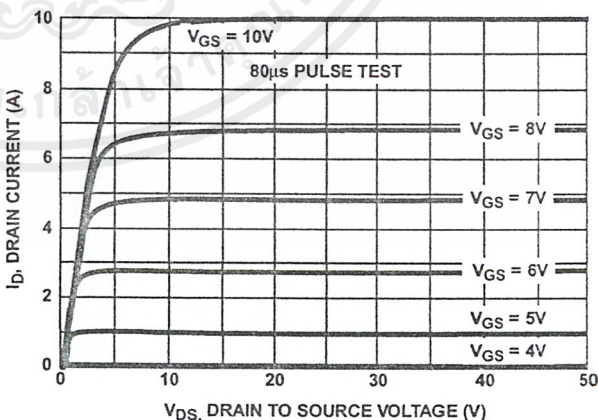


FIGURE 5. OUTPUT CHARACTERISTICS

IRF510, IRF511, IRF512, IRF513

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

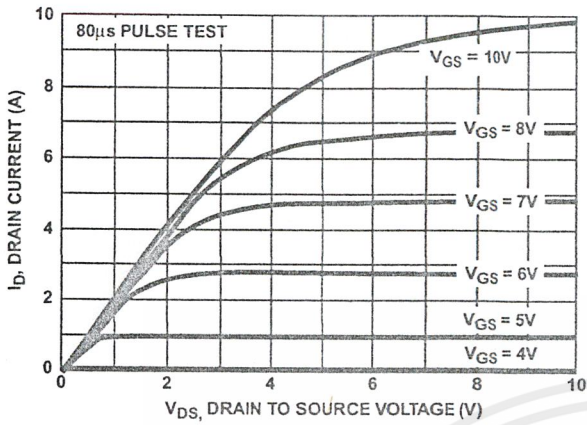


FIGURE 6. SATURATION CHARACTERISTICS

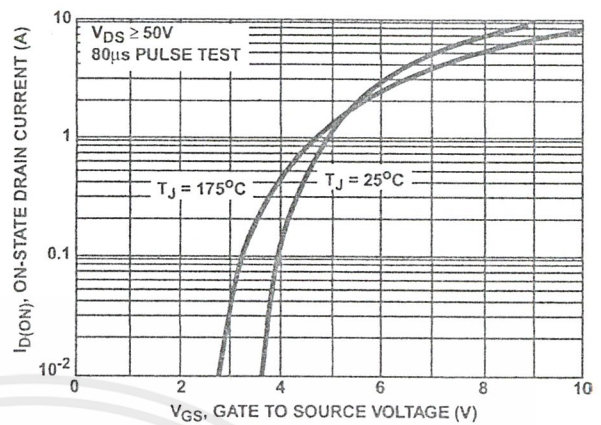


FIGURE 7. TRANSFER CHARACTERISTICS

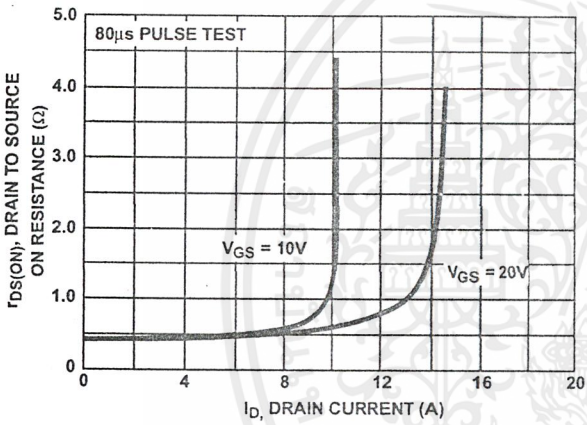


FIGURE 8. DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs GATE VOLTAGE AND DRAIN CURRENT

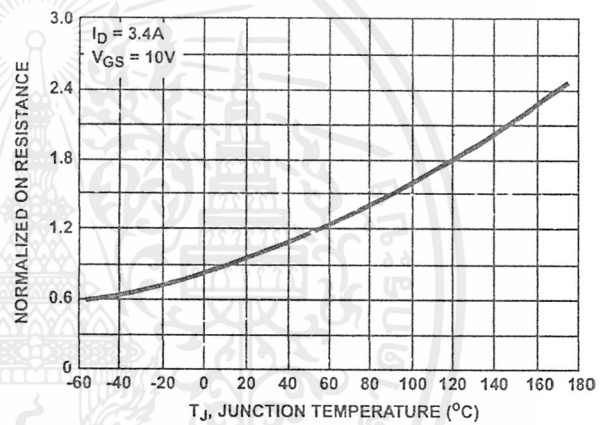


FIGURE 9. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs JUNCTION TEMPERATURE

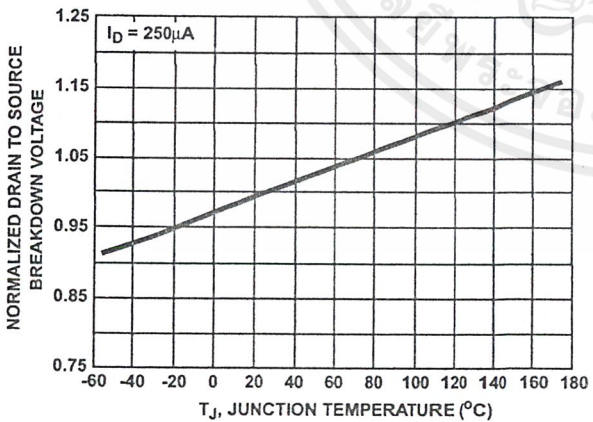


FIGURE 10. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE BREAKDOWN VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

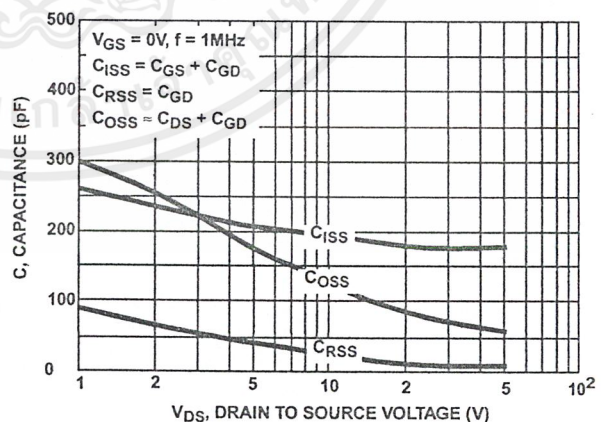


FIGURE 11. CAPACITANCE vs DRAIN TO SOURCE VOLTAGE

IRF510, IRF511, IRF512, IRF513

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

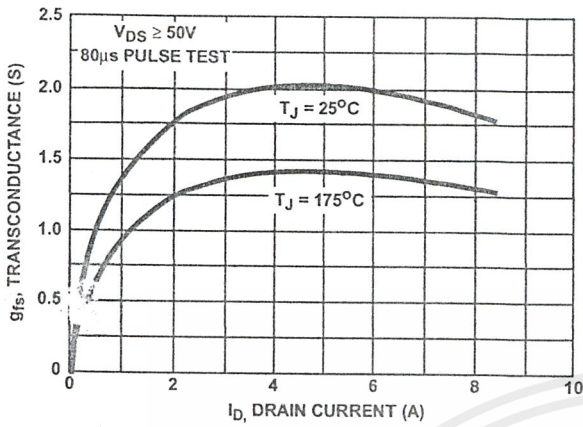


FIGURE 12. TRANSCONDUCTANCE vs DRAIN CURRENT

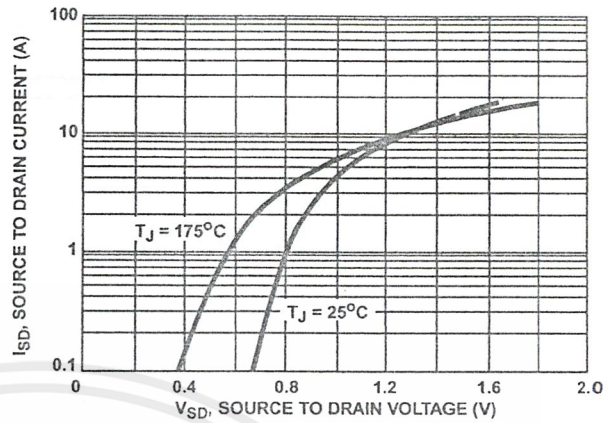


FIGURE 13. SOURCE TO DRAIN DIODE VOLTAGE

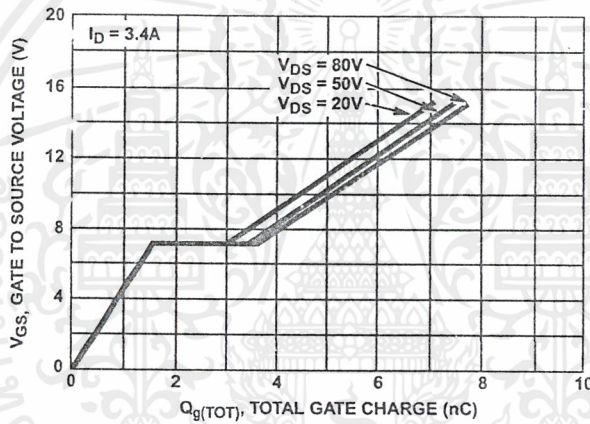


FIGURE 14. GATE TO SOURCE VOLTAGE vs GATE CHARGE

IRF510, IRF511, IRF512, IRF513

Test Circuits and Waveforms

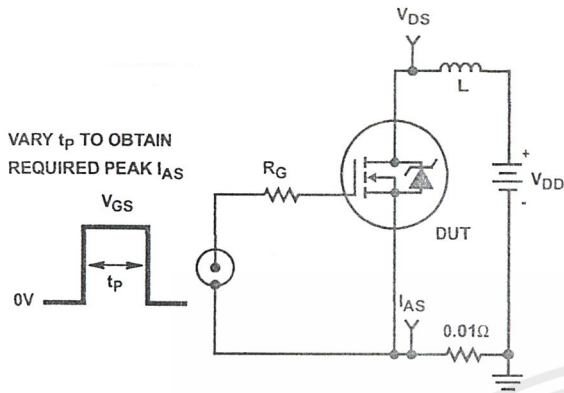


FIGURE 15. UNCLAMPED ENERGY TEST CIRCUIT

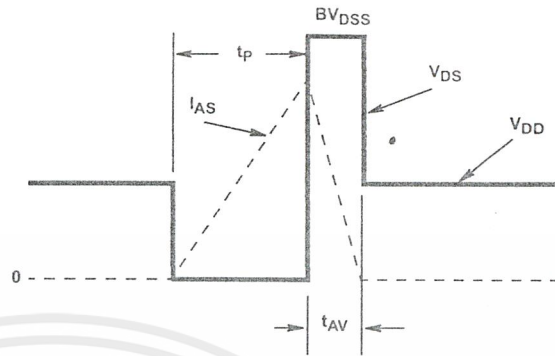


FIGURE 16. UNCLAMPED ENERGY WAVEFORMS

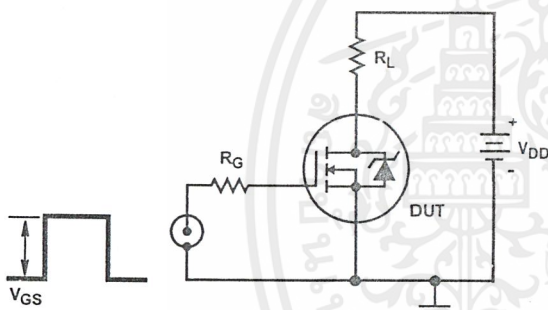


FIGURE 17. SWITCHING TIME TEST CIRCUIT

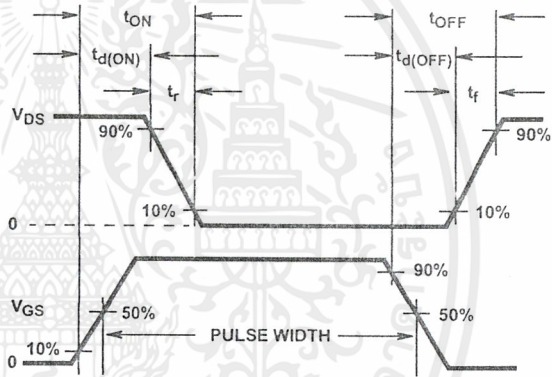


FIGURE 18. RESISTIVE SWITCHING WAVEFORMS

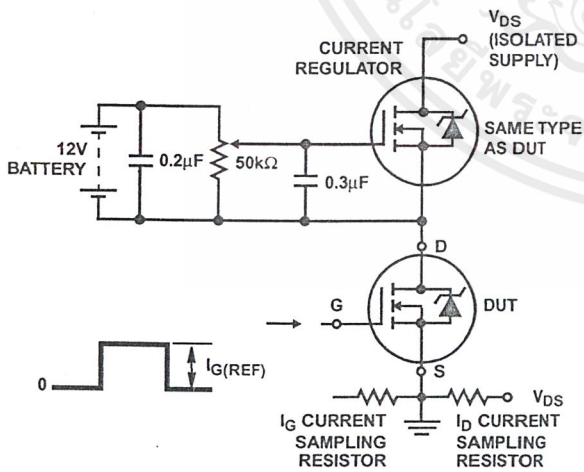


FIGURE 19. GATE CHARGE TEST CIRCUIT

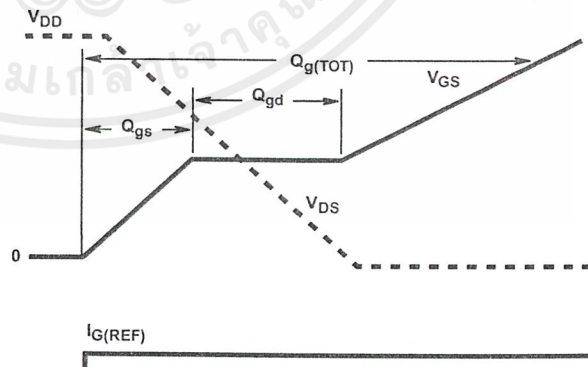


FIGURE 20. GATE CHARGE WAVEFORM

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการปริญญาโทนิพนธ์ฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.นนทวัฒน์ จุลเดชะ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ) ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำข้อคิดที่เป็นประโยชน์ในการทดลอง และช่วยตรวจสอบแก้ไขปริญญาโทนิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จตามเป้าหมาย

ขอขอบพระคุณอาจารย์กรรมการสอบทุกท่านที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ทำให้ปริญญาโทนิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ และภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้สนับสนุนเงินทุนและอนุญาตให้ใช้เครื่องมือ, อุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม ที่ได้กรุณาอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ในการศึกษาค้นคว้า และเพื่อน ๆ ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการนี้

หนังสืออ้างอิง

1. อำนวย สกฤษสุโข, “เอกสารการสอนวิชา Feedback Control”, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 163 หน้า, 2541
2. S.Y.(Ron)Hui, S.C.Tang and Henry Shu-Hung Chung, “PCB ransformers”, IEEE Circuit and Systems, vol.11, no.3,Third Quarter 2000,pp. 3-14.
3. S.Y.(Ron)Hui, S.C.Tang and Henry Shu-Hung Chung, “Characterization of Coreless printed circuit Board(PCB) Transformers”, IEEE Transactions on Power Electronics, vol.15, no.6, November 2000, pp. 1275-1285.
4. S.Y.(Ron)Hui, S.C.Tang and Henry Shu-Hung Chung, “A low-Profile Power Converter Using Printed-Circuit Board(PCB) Power Transformer with Ferrite Polymer Composite”, IEEE Transactions on Power Electronics, vol.16, no.4, July 2001, pp. 493-498.
5. W.G. Hurley and M.C. Duffy, “Calculation of Self and Mutual Impedances in Planar Magnetic Structures”, IEEE Transactions on Magnetics, vol.31, no.4, July 1995, pp. 2416-2422.