

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

จักรยานพลังไฟฟ้า ELECTRIC BICYCLE



โดย

นาย จีรศักดิ์ บุญศักดิ์นิมิต

นาย เอกภูมิ อารีรัตน์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 36883
วัน, เดือน, ปี..... 29 ส.ค. 2543

หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาบัตร

จักรยานไฟฟ้า
(Electric Bicycle)

โดย

นาย จีรศักดิ์ บุญศักดิ์นิมิต 41012003
นาย เอกภูมิ อารีรัตน์ 41012038

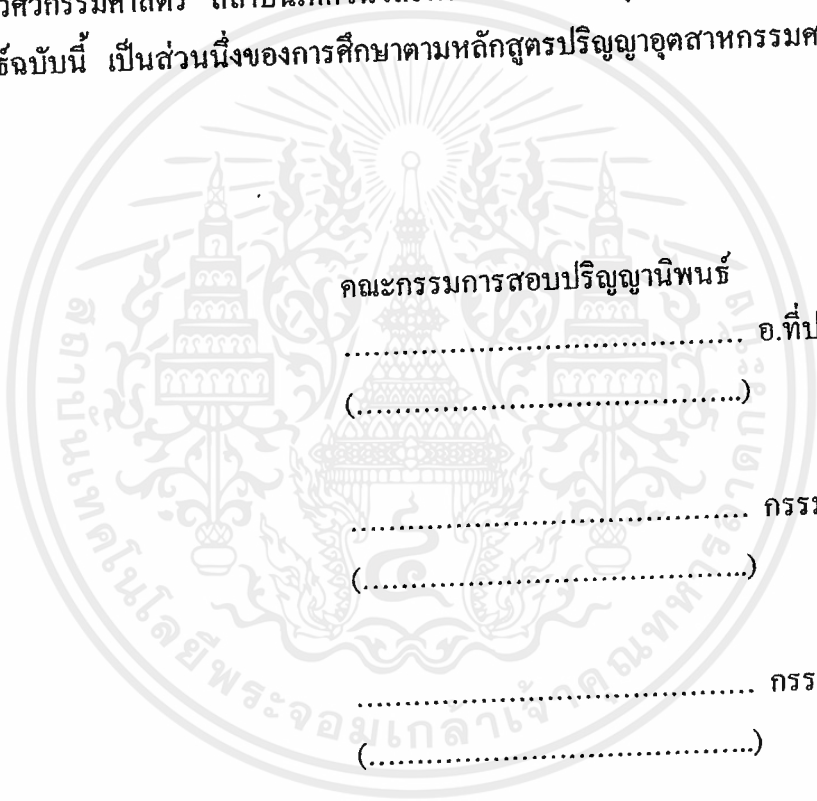
ภาควิชา

เทคนิคอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.สมภพ แก้วมีชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้
ปริญญาบัตรฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต



คณะกรรมการสอบปริญญาบัตร

อ.ที่ปรึกษา

(.....)

กรรมการ

(.....)

กรรมการ

(.....)

กรรมการ

(.....)

กรรมการ

(.....)

กรรมการ

(.....)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์	จักรยานพลังงานไฟฟ้า (Electric Bicycle)		
โดย	นายจิรศักดิ์	บุญศักดิ์นิमित	41012003
	นาย เอกภูมิ	อารีรัตน์	41012038
ภาควิชา	เทคนิคอุตสาหกรรม		
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.สมภพ	แก้วมิชัย	

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ได้เสนอวิธีการออกแบบจักรยานไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยวงจรวัดความเร็วรอบ วงจรควบคุมมอเตอร์ และวงจรขาเบรคเตอร์ เพื่อใช้ในการออกแบบรถจักรยานไฟฟ้าคันต่อไป ให้มีประสิทธิภาพและราคาต้นทุนต่ำลง โดยโครงการนี้เน้นการใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ภายในประเทศตัวอย่างเช่น มอเตอร์มือสอง หรือจักรยานที่ใช้อยู่ทั่วไปมาดัดแปลง

จักรยานไฟฟ้าจะทำงานได้โดย เซ็นเซอร์ (Sensors) ที่วัดความเร็วรอบที่ล้อหน้าจะส่งสัญญาณมาที่ชุดวัดความเร็วรอบ เมื่อรอบได้ตามที่กำหนดก็จะทำให้มอเตอร์ (motor) หมุนและขับเคลื่อนจักรยาน

PROJECT	ELECTRIC BICYCLE		
NAME	MR. JERASAK	BUNSAKNIMIT	41012003
	MR. EAKAPUME	AREERAT	41012038
ADVISOR	MR. SOMPOPE	KEAWMEECHAI	
LEVEL OF STUDY	BACHALOR'S DEGREE IN INDUSTRIAL (ELECTRONIC TECHNOLOGY)		
ACDEMIC	YEAR 1999		

ABSTRACT

This Electric Bicycle designed concept make a new choice for people who want vehicle type as It does clean environment. The feature is It has cheap cost , economies power and also It will be rebuild from any used bicycle. This project is consist of a measurement RPM circuit for calculating speed and Controlling motor circuit .

We really make a master model . We call its both bicycle or motorcycle. It could carrying you anywhere.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เกิดจากการร่วมมือร่วมใจของคณะทำงาน โดยได้รับความช่วยเหลือทางด้านคำแนะนำต่างๆ เป็นอย่างดีจากอาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์อีกหลายท่านในภาค รวมทั้ง เพื่อน ๆ ที่ให้กำลังใจ และคำแนะนำที่ดีอีกหลาย ๆ ด้าน

อ.สมภพ แก้วมีชัย เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำในทุก ๆ ด้าน และช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์

และที่ขาดมิได้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้มีพระคุณยิ่งทำให้เราได้เกิดมา และเรียนจนประสบความสำเร็จ จึงกล่าวขอบพระคุณทั้งหมดมาในที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นาย จิรศักดิ์

นาย เอกภูมิ

บุญศักดิ์นิมิต

อารีรัตน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	II
ABSTRACT	III
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผลโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์และจุดมุ่งหมายในการทำโครงการ	1
1.3 ส่วนประกอบของโครงการ	2
1.4 ขอบเขตของโครงการ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในโครงการ	4
2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	4
2.1.1 หลักการเบื้องต้นของมอเตอร์	5
2.1.2 การใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	7
2.1.3 ชนิดของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง	7
2.1.4 เครื่องกลแบบผสมพร้อมขั้วแทรก	10
2.2 ออปแอมป์	11
2.2.1 คุณสมบัติทั่วไป	12
2.2.2 ลักษณะการทำงาน	15
2.2.3 คุณสมบัติและพารามิเตอร์บางชนิดของออปแอมป์	17
2.2.4 ค่าใช้งานต่างๆที่ควรเข้าใจ	24
2.2.5 ชนิดของออปแอมป์และภาชนะรูปแบบต่างๆ	24
2.3 LM2917 Frequency to Voltage Converter	25
2.4 แบตเตอรี่	26
2.4.1 การประจุแบตเตอรี่	26
บทที่ 3 โครงสร้างของจักษยานไฟฟ้า	28
3.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ	28
3.1.1 ส่วนเซ็นเซอร์	28
3.1.2 ส่วนวงจรวัดความเร็ว	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)		หน้า
3.1.3 ชุดขับเคลื่อนของตัวรถ		30
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลองโครงการ		33
4.1 การทดลองวงจร		33
4.1.1 ชุดควบคุมความเร็ว		33
4.2 ข้อมูลจำเพาะจักรยานไฟฟ้า		35
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการ		36
5.1 สรุปผลการทำงานของโครงการ		36
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงการ		36
บรรณานุกรม		37
ภาคผนวก		38

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงปลอกโคอะแกรมของโรงงาน	2
รูปที่ 1.2 แสดงส่วนต่างๆของจักรยานที่ออกแบบ	2
รูปที่ 2.1 มอเตอร์คือเครื่องกลที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล	5
รูปที่ 2.2 แรงดูดและแรงผลักกันระหว่างตัวนำ	6
รูปที่ 2. 3 การจำแนกชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	8
รูปที่ 2. 4 แสดงการต่อภายในของมอเตอร์ขนาน	9
รูปที่ 2.5 แสดงการต่อภายในของมอเตอร์อนุกรม	10
รูปที่ 2.6 แสดง โครงสร้างของดีซีมอเตอร์	11
รูปที่ 2.7 แสดงปลอกโคอะแกรมของวงจรภายในภาคต่าง ๆ ของออปแอมป์	12
รูปที่ 2.8 แสดงสัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์	13
รูปที่ 2.9 แสดงวงจรภายในของออปแอมป์เบอร์ 741	14
รูปที่ 2.10 แสดงการต่อใช้งานออปแอมป์	15
รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขั้วต่าง ๆ	16
รูปที่ 2.12 แสดงการต่อปรับแรงดันออฟเซ็ท	18
รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วกับสัญญาณเอาต์พุท	20
รูปที่ 2.14 แสดงอัตราขยายของออปแอมป์ในควมถี่ต่าง ๆ	22
รูปที่ 2.15 แสดงการต่อวงจรแบบคิฟเฟอเรนเชียล	23
รูปที่ 2.16 แสดง โครงสร้างภายในของ ไอซี เบอร์ LM2917	26
รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของตัวเซ็นเซอร์และขาต่อใช้งาน	28
รูปที่ 3.2 แสดงตำแหน่งติดตั้งตัวเซ็นเซอร์บนจักรยาน	29
รูปที่ 3.3 แสดงการต่อใช้งานและวงจรภายใน	29
รูปที่ 3.4 แสดงการต่อวงจรวัดความเร็วรอบ	30
รูปที่ 3.5 แสดงวงจรขั้วรีเลย์	31
รูปที่ 3.6 แสดงจุดติดตั้งมอเตอร์บนจักรยาน	31
รูปที่ 3.7 แสดงรูปการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆบนจักรยานไฟฟ้า	32
รูปที่ 4.1 แสดงการต่อวงจรทดลอง	33

บทที่ 1

บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันนี้โลกเรามีสภาพอากาศที่แปรลงทุกวัน ซึ่งเกิดจากการทำของโรงงานอุตสาหกรรมเผาไหม้ที่ไม่หมดจดของเครื่องชนิดประเภทต่างๆ รวมทั้งการใช้สารทำความเย็นที่มีส่วนประกอบของสาร CFC ซึ่งเป็นตัวการทำลายชั้นบรรยากาศ และในปัจจุบันในประเทศต่างๆได้มีการรณรงค์ที่จะไม่ใช้สารและเครื่องชนิดดังกล่าว จึงพยายามหันมาใช้เครื่องชนิดที่ใช้ไฟฟ้าและสารทำความเย็นที่ไม่มีสาร CFC ดังนั้นเพื่อเป็นการทำตามนโยบายต่างๆ จึงพยายามหันมาใช้ไฟฟ้ากับอุปกรณ์ที่อำนวยความสะดวกต่างๆ

1.1 หลักการและเหตุผลของโครงการ

เนื่องจากในปัจจุบันราคาน้ำมันชนิดต่างๆได้มีราคาสูงขึ้นเรื่อยๆ และเป็นแหล่งพลังงานที่นับวันจะหมดไป เราจึงต้องหาพลังงานอื่นมาทดแทน พลังงานที่นำมาใช้แทนพลังงานน้ำมันเพื่อใช้ในการคมนาคมขนส่งก็มีหลายอย่างรวมทั้งพลังงานจากไฟฟ้า ทางผู้ผลิตหลายๆบริษัทได้มีการผลิตจักรยานไฟฟ้า รวมถึงมอเตอร์ไซค์ไฟฟ้า แต่ว่ายังมีราคาขายสูงอยู่ คณะผู้จัดทำจึงได้นำมาเป็นโครงการเพื่อจะได้นำมาลดต้นทุนในการผลิตจึงพยายามใช้อุปกรณ์ที่มีในประเทศ โดยการทำงานของจักรยานไฟฟ้านั้น จะมีตัววัดความเร็วรอบ โดยใช้หลักการของ Frequency to Voltage เมื่อรถเคลื่อนที่ได้ความเร็วที่ต้องการแล้วจึงให้ มอเตอร์ทำงานเพื่อเป็นการประหยัดและลดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการออกตัว

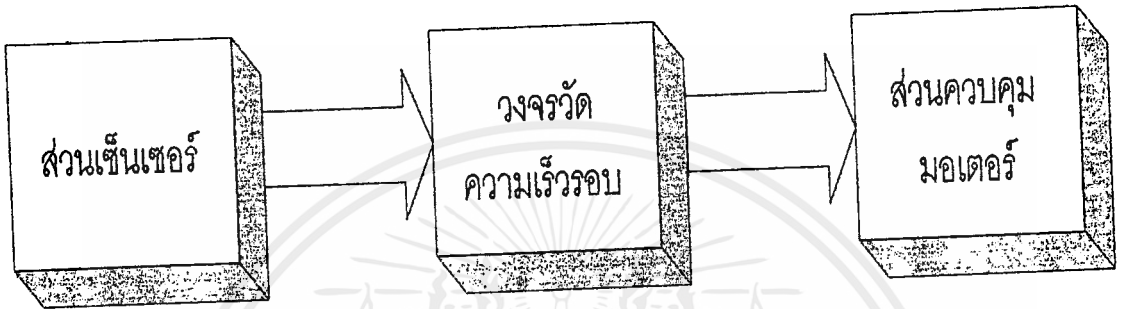
1.2 วัตถุประสงค์และจุดมุ่งหมายในการทำปริญญานิพนธ์

1. เพื่อสร้างจักรยานไฟฟ้าต้นแบบ เพื่อใช้ในการวิจัยและลดต้นทุนในการผลิตคันต่อไป เพื่อให้มีราคาถูกลง
2. จากโครงการนี้ ในภายภาคหน้าอาจจะนำประยุกต์กับ SOLAR SELL เพื่อนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้งานได้อีกทางหนึ่งโดยไม่ต้องใช้ Battery
3. เพื่อศึกษาถึงการทำงานของ มอเตอร์ ในการนำไปใช้งานต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม
4. เพื่อศึกษาวงจรการทำงานของวงจร Frequency to voltage โดยประยุกต์ใช้ IC เบอร์ LM2917

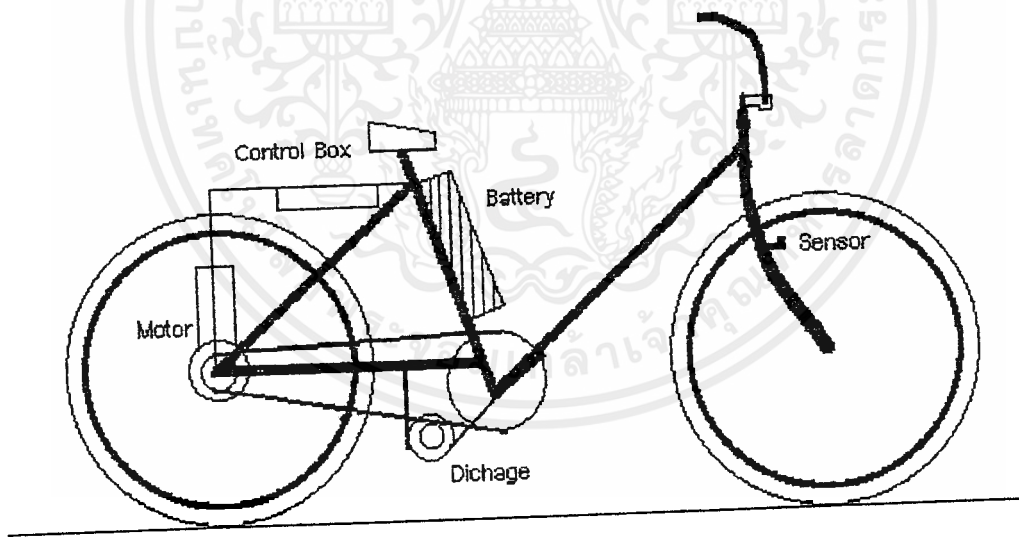
1.3 ส่วนประกอบของโครงการ

1. ส่วนเซ็นเซอร์
2. ส่วนวัดความเร็วรอบ
3. ส่วนควบคุมมอเตอร์

ซึ่งทั้ง 3 ส่วนประกอบกันดังบล็อกไดอะแกรม(BLOCK DIGRAM) ได้ดังรูป1.1และรถที่ออกแบบตามรูปที่1.2



รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของโครงการ



รูปที่1.2 แสดงส่วนต่างๆของจักรยานที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของโครงการงาน

ในการทำโครงการงานนี้ ในส่วนของมอเตอร์นั้น ได้นำเอามอเตอร์มือสองที่ใช้แล้วมาใช้จึง อาจทำให้จักรยานนั้นมีความเร็วไม่มากรวมทั้งรับน้ำหนักมากไม่ได้ รวมทั้งรถจักรยานที่ใช้เป็นรถ จักรยานที่ใช้โซ่แทนรถจักรยานที่ใช้สายพาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในโครงการ

ในการออกแบบและสร้างจักรยานไฟฟ้านี้ จำเป็นต้องมีการอ้างถึงทฤษฎีการทำงานและหลักการเบื้องต้นของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในโครงการ ตลอดจนข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์บางตัวเพื่อที่จะใช้เป็นแนวทางในการทำโครงการ ซึ่งจะขอกล่าวเฉพาะในรายละเอียดของทฤษฎีที่จำเป็นและได้นำมาประยุกต์ใช้ในโครงการเท่านั้น

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC MOTOR)

โดยทั่วไปมอเตอร์ที่มีขนาดวัตต์ต่ำ ๆ ขนาด 746 วัตต์ (1 แรงม้า) มักจะใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก

เป็นที่น่าสังเกตว่าในระยะเวลาสิบปีที่ผ่านมา มอเตอร์ขนาดเล็กถูกนำมาใช้งานเพิ่มมากขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรม โรงงานขนาดเล็ก สถานที่ทำงาน และตามบ้านเรือน ได้แก่ พัดลม เครื่องบด เครื่องปั่น เครื่องซักผ้า ปั้มน้ำ เครื่องกลึง เครื่องไส เครื่องเจาะ เครื่องคว้าน เครื่องเลื่อย เครื่องเจียรไน เป็นต้น ต่างก็ทำงานด้วยการขับหมุนของมอเตอร์ แม้ว่าแกนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ไม่จำเป็นต้องทำเป็นแบบเหล็กแผ่นอัดซ้อนกัน แต่มอเตอร์ชนิดนี้ที่มีขนาดเล็ก ๆ ซึ่งไม่ถึง 1 แรงม้า มักนิยมทำแกนขั้วแม่เหล็กเป็นเหล็กแผ่นอัดซ้อนกัน โดยที่แกนขั้วแม่เหล็กและโครงภายใน (yoke) เป็นแผ่นเดียวกัน แกนขั้วแม่เหล็กเป็นแบบขั้วที่ยื่นออก และพันขดลวดสนามแม่เหล็กเพียงขดเดียว มอเตอร์ชนิดนี้มักจะทำขั้วแม่เหล็กสองขั้วมากกว่า 4 ขั้ว ส่วนอาร์เมเจอร์ก็ทำเป็นแบบเหล็กแผ่นอัดซ้อนกันตลอดสำหรับพันขดลวด และสวมอยู่บนเพลาลูก

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมี 3 แบบ คือ มอเตอร์แบบอนุกรม มอเตอร์แบบขนาน และมอเตอร์แบบผสม มอเตอร์แบบอนุกรมใช้กับงานที่ต้องการแรงบิดสูงในขณะที่เริ่มหมุน และความเร็วรอบของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเมื่อโหลดลดลง มอเตอร์ชนิดนี้ไม่ควรใช้กับโหลดที่ต้องการความเร็วรอบคงที่ เว้นแต่ว่าโหลดมีค่าแน่นอน ส่วนมอเตอร์แบบขนานหรือแบบผสม ความเร็วรอบค่อนข้างคงที่เมื่อโหลดเปลี่ยนแปลง

การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทำได้หลายวิธีเช่น ในมอเตอร์แบบอนุกรมสามารถควบคุมความเร็วรอบได้โดยการนำความต้านทานมาต่ออนุกรมกับมอเตอร์ในวงจรวิธีนี้ทำให้ความเร็วลดลงได้ 1 ใน 4 ของความเร็วรอบสูงสุด สำหรับมอเตอร์แบบขนานและแบบผสม สามารถลดความเร็วรอบได้โดยนำความต้านทานมาต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ทำให้ความเร็วรอบลดลงได้ 1 ใน 10 หรือน้อยกว่าความเร็วรอบสูงสุด และให้แรงบิดได้เต็มที่ตามพิสัยตลอดช่วง

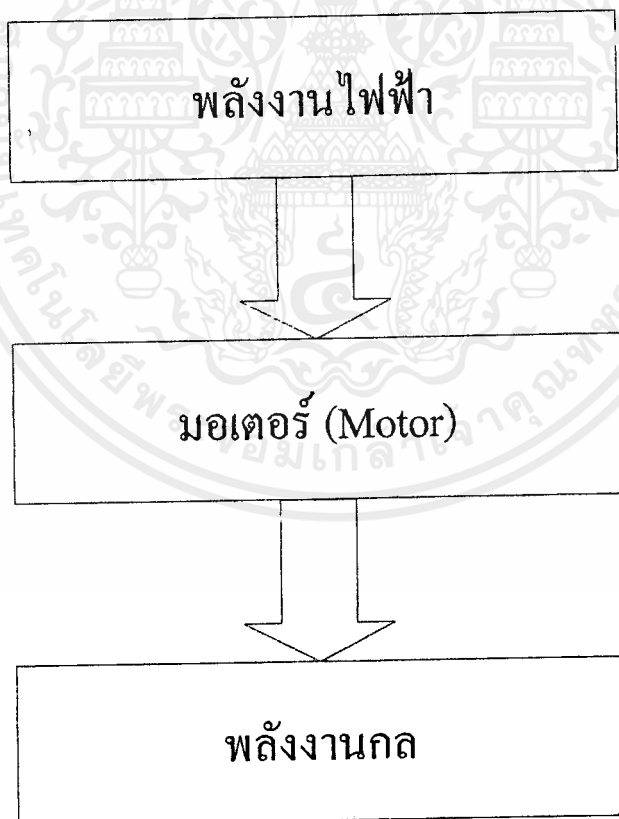
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของความเร็วที่ใช้งาน ความเร็วรอบของมอเตอร์ทั้งสองชนิดที่กล่าวอาจจะเพิ่มได้โดยใช้ตัวต้านทานต่ออนุกรมกับขดลวดขานาน ซึ่งความเร็วรอบอาจจะเพิ่มถึง 100 เปอร์เซ็นต์ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับการออกแบบมอเตอร์ ในกรณีนี้แรงบิดจะลดลงถ้าหากความเร็วรอบเพิ่มขึ้น

เนื่องจากการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับกันอย่างแพร่หลายทั้งเฟสเดียวและสามเฟส อาจทำให้คิดว่าไม่มีการใช้มอเตอร์กระแสไฟตรงแล้วก็ได้ ซึ่งเป็นจริงเฉพาะระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับตามปกติเท่านั้น แต่ไม่จริงในกรณีของเครื่องพิเศษทั่ว ๆ ไป ซึ่งยังคงใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงกันอยู่มากและมีเครื่องบางชนิดไม่สามารถใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับได้

2.1.1 หลักการเบื้องต้นของมอเตอร์

มอเตอร์คือเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า ให้เป็นพลังงานกล ตัวนำที่ให้กระแสไหลผ่านเมื่อวางใกล้กันจะให้แรงดูดและแรงผลักต่อกันดังนี้



รูป 2.1 มอเตอร์คือเครื่องกลที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล

-ตัวนำที่ทำให้กระแสไหลทางเดียวกัน จะให้แรงดูดต่อกัน และ

-ตัวนำที่ทำให้กระแสไหลสวนทางกัน จะทำให้แรงผลักกัน

แรงดูดและแรงผลักระหว่างตัวนำที่ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จำนวนได้จากสมการไฟฟ้าดังต่อไปนี้

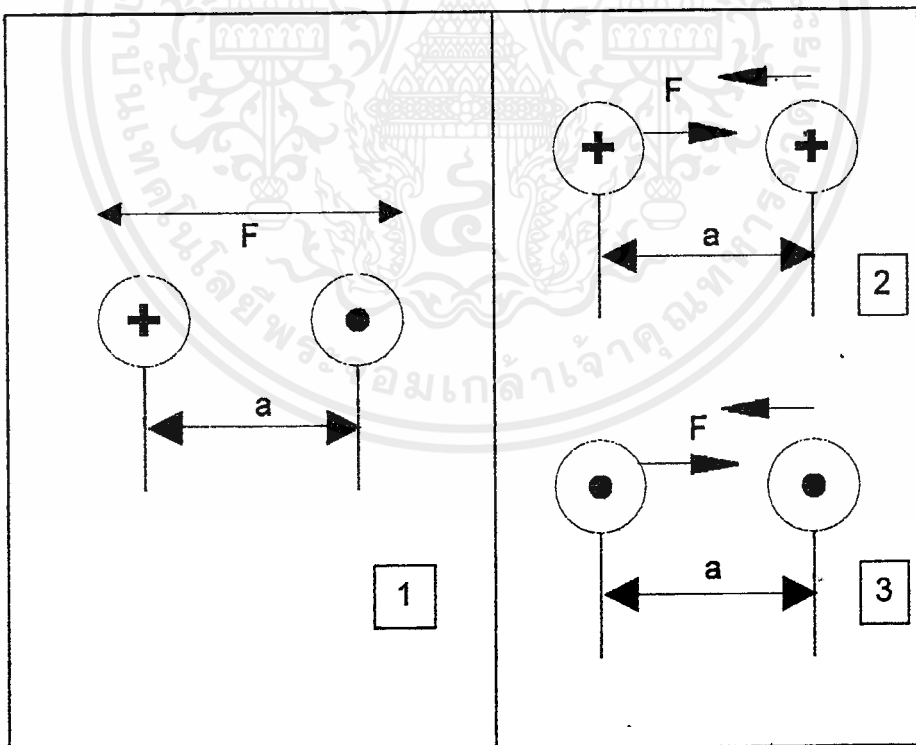
$$F = 2 \cdot 10^{-7} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \mathcal{L} / a \text{ [N]}$$

เมื่อ F = แรงดูดและแรงผลักต่อกันระหว่างตัวนำ

I_1 และ I_2 = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำทั้งสอง

\mathcal{L} = ความยาวตัวนำ

a = ระยะห่างระหว่างตัวนำ



รูปที่ 2.2 แรงดูดและแรงผลักกันระหว่างตัวนำ :

1 ตัวนำให้แรงผลักต่อกัน

2 และ 3 ตัวนำให้แรงดูดต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การใช้งานมอเตอร์กระแสไฟตรง

ตัวอย่างการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอย่างแท้จริงคือ มอเตอร์รถ ซึ่งมีใช้กับเก้าอี้คนใช้ เครื่องกลที่ใช้เป็นของเล่นเพื่อความเพลิดเพลินต่าง ๆ ยังใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอยู่ ถึงแม้จะมีใช้กันมานานแล้วก็ตามก็ยังมีการใช้คิดอยู่บ่อย ๆ โดยอุปกรณ์หรือเครื่องกลเหล่านั้นควรใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำ จะทำให้มีความปลอดภัยมากขึ้น และสามารถทนการใช้งานผิดพลาดอย่างแรงได้ดีกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กเป็นตัวอย่างการใช้งานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอีกแบบหนึ่งโดยกระแสไฟตรงที่ได้ออกมานำไปใช้กับเครื่องตัดรูดต้นไม้ นอกจากนั้นในเครื่องบิดยังใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ในเรือมีใบซึ่งใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและในรถยนต์ต่าง ๆ ยังคงใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอยู่ทั้ง ๆ ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับอยู่แล้วก็ตาม โดยแปลงไฟฟ้ากระแสสลับมาเป็นกระแสตรงเพื่อนำไปใช้กับเครื่องมือไฟฟ้าที่ใช้กับกระแสตรงทั้งหลาย

จะเห็นได้ว่าช่างไฟฟ้าอาจจะต้องทำงานเกี่ยวกับเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงในโอกาสใดก็ได้ และอาจจะพบกับความยุ่งยากต่าง ๆ ในการวิเคราะห์หาความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเพื่อจะได้ทำการซ่อมต่อไป ในอดีตนั้นเคยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงกันมาก่อน จึงทำให้ช่างไฟฟ้าต้องบริการงานทางด้านนี้ด้วย แต่ในปัจจุบันได้มีการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับกันอย่างแพร่หลาย จึงทำให้ช่างไฟฟ้าไม่ค่อยมีโอกาสได้ฝึกฝนเกี่ยวกับเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงมากนัก

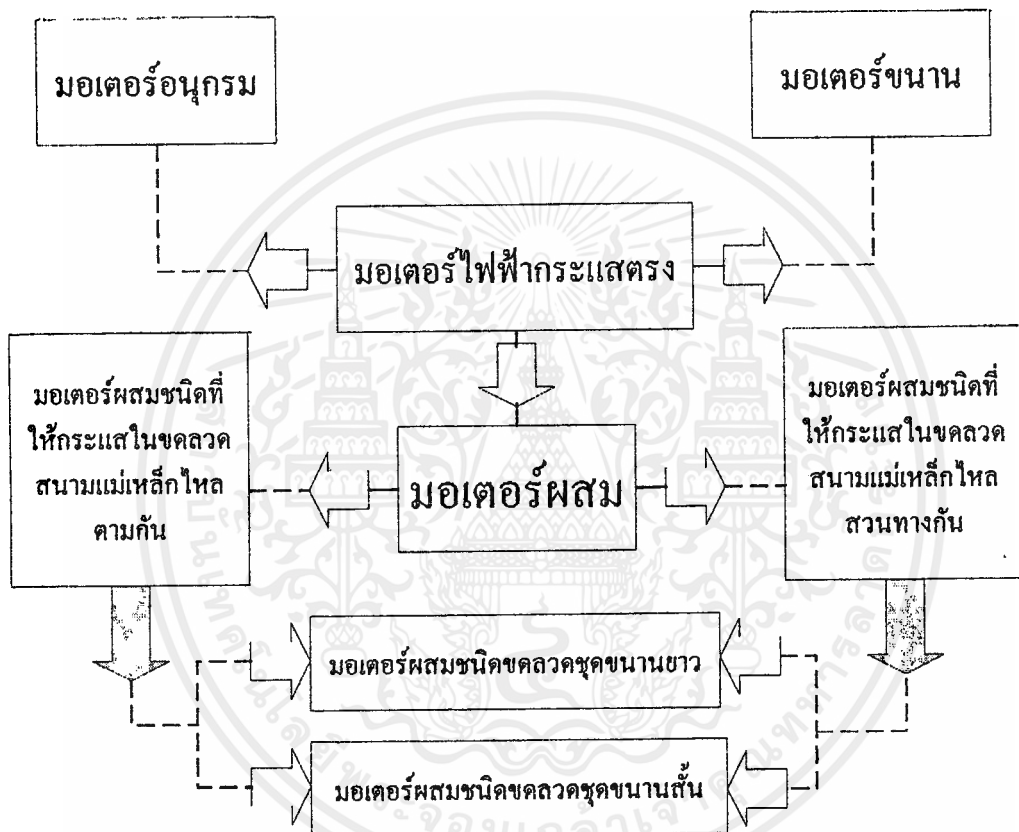
2.1.3 ชนิดของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

วิธีการต่อวงจรภายในของมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงมีอยู่ 3 วิธี ทั้งมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีลักษณะคล้ายกันมาก ข้อแตกต่างก็คือ มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นตัวถูกขับ

สิ่งที่สำคัญสำหรับช่างไฟฟ้าก็คือจะต้องจำแบบของการต่อวงจรชนิดต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำ และสามารถแยกชนิดได้อย่างชัดเจน ไม่สับสน

การจำแนกชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถจำแนกชนิดออกได้ทั้งตามลักษณะของการต่อขดลวดสนามแม่เหล็ก (หรือการพันขดลวดสนามแม่เหล็ก) และการไหลของกระแสผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กดังนี้

1. มอเตอร์อนุกรม (Series Motor)
2. มอเตอร์ขนาน (Shunt Motor)
3. มอเตอร์ผสม (Compound Motor)

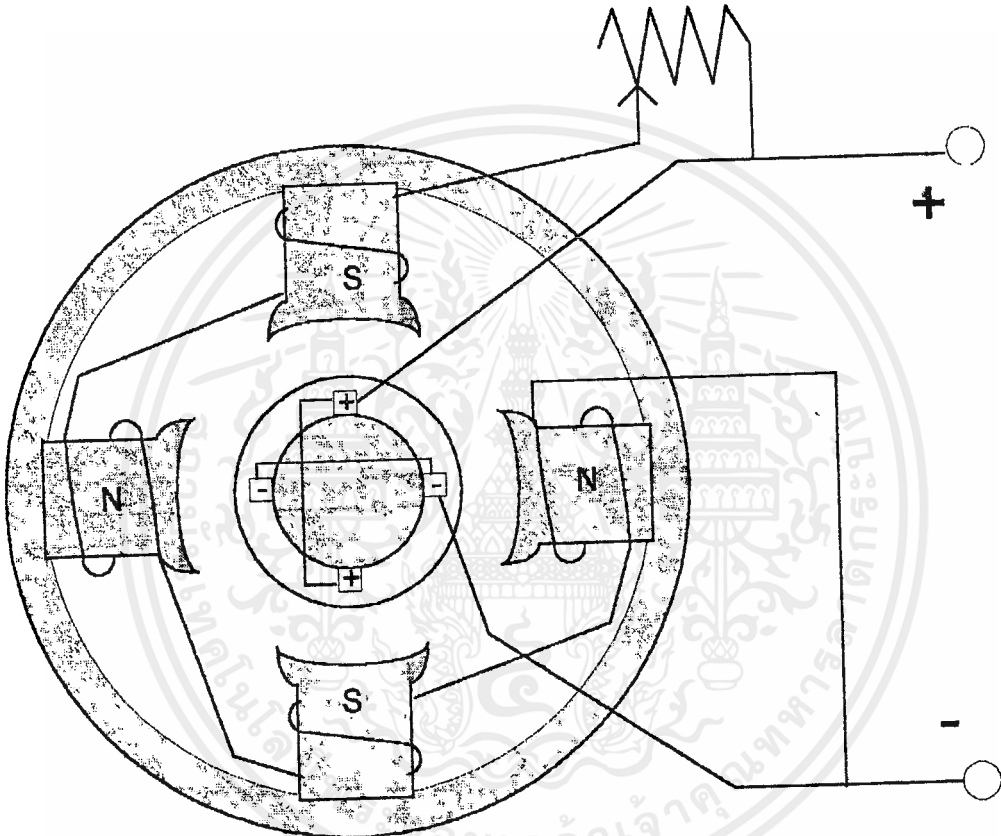


รูปที่ 2.3 การจำแนกชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1. การต่อขั้วแม่เหล็กแบบขนาน

การต่อวงจรแบบขนาน ซึ่งขดลวดอาร์เมเจอร์และขดลวดขั้วแม่เหล็กต่อขนานกัน ดังนั้นจึงทำให้ขดลวดขั้วแม่เหล็กแบบขนานต่อโดยตรงพร้อมกับสายจ่ายไฟ

จะเห็นได้ว่าขดลวดขั้วแม่เหล็กแบบขนานนี้ควรมีค่าความต้านทานสูงมากพอเพื่อให้มีกระแสไหลผ่านน้อย กระแสที่ไหลผ่านขดลวดขั้วแม่เหล็กเมื่อนำมาคูณกับจำนวนรอบของขดลวด จะได้จำนวน แอมแปร์-รอบ (A.T) แอมแปร์-รอบจะทำให้เกิดกำลังสนามแม่เหล็กในแต่ละขั้วแม่เหล็ก เนื่องจากมีกระแสไหลผ่านในขดลวดขั้วแม่เหล็กน้อย จึงต้องมีจำนวนรอบมากเพื่อให้ได้จำนวนแอมแปร์-รอบตามต้องการ



รูปที่ 2. 4 แสดงการต่อภายในของมอเตอร์ขนาน

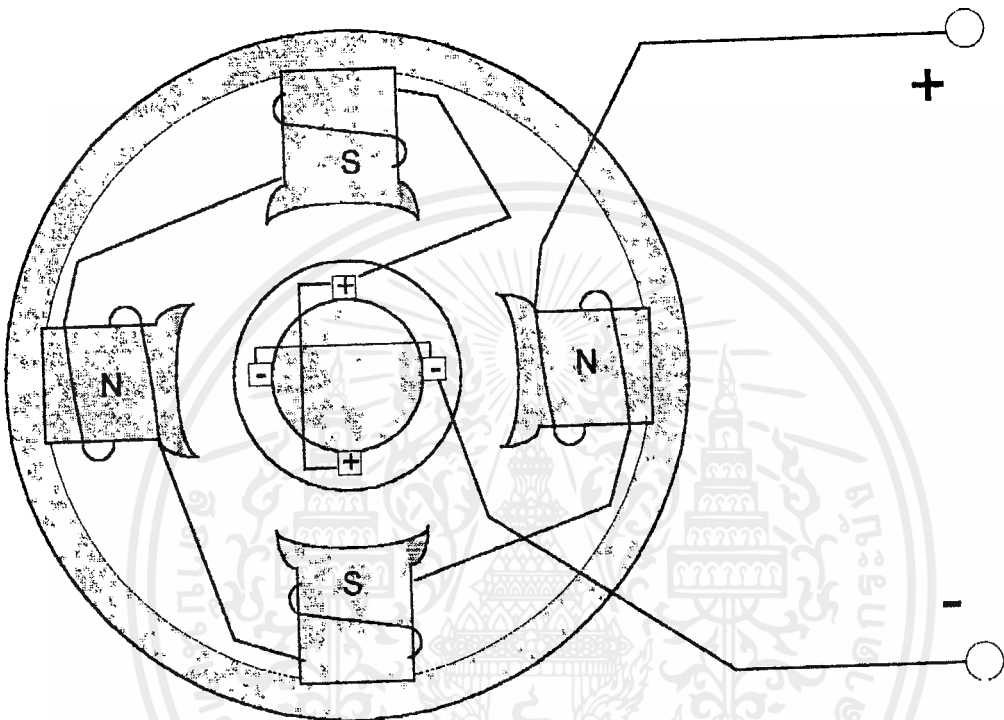
2. การต่อขั้วแม่เหล็กแบบอนุกรม

การต่อแบบนี้ขดลวดขั้วแม่เหล็กต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ ดังนั้นขดลวดแม่เหล็กจะมีกระแสทั้งหมดของมอเตอร์ผ่านด้วย ดังนั้นลวดตัวนำที่ใช้ทำขดลวดขั้วแม่เหล็กแบบอนุกรมจะต้องมีขนาดใหญ่ มีความต้านทานต่ำ และมีจำนวนรอบน้อยกว่าแบบขนาน

ตัวอย่างสมมติว่าต้องการ 1000 แอมแปร์-รอบ (ซึ่งจำนวนแอมแปร์-รอบจะเป็นตัวกำหนดจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดขั้วแม่เหล็ก) ถ้ามีกระแสผ่าน 1 แอมแปร์ (A) จะต้องพันลวดถึง 1000 รอบใช้ลวดมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.63 มม. สำหรับขดลวดขั้วแม่เหล็กแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุกรมที่จะทำให้เกิด 1000 แอมแปร์-รอบจะต้องใช้ขดลวดจำนวน 100 รอบโดยมีกระแสผ่าน 10 A (แอมแปร์) โดยพันด้วยลวดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 มม. ซึ่งตัวอย่างที่ยกมาอันหลังนี้เป็นของมอเตอร์ขนาด 570 วัตต์ 110 โวลต์



รูปที่ 2.5 แสดงการต่อภายในของมอเตอร์อนุกรม

3. การต่อขั้วแม่เหล็กแบบผสม

การต่อแบบผสมนี้ที่อยู่ในมอเตอร์ตัวหนึ่ง ซึ่งมีการต่อทั้งสองแบบ ซึ่งขดลวดขั้วแม่เหล็กแบบขนานก็ยังคงต่อขนานคร่อมสายจ่ายไฟ แต่อาร์เมเจอร์จะต่ออนุกรมกับขดลวดขั้วแม่เหล็กแบบอนุกรมสองขด

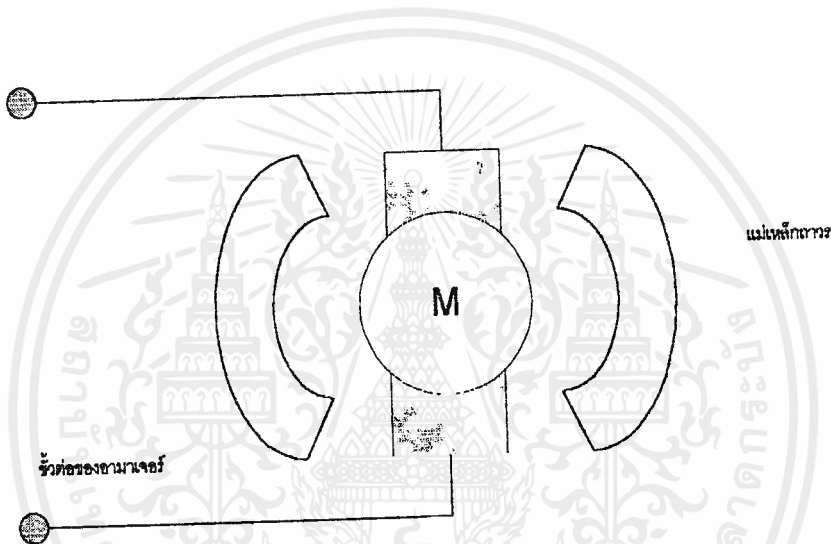
2.1.4 เครื่องกลแบบผสมพร้อมด้วยขั้วแทรก

การต่อแบบผสมเหมือนกับที่กล่าวมาแล้วเพียงแต่เพิ่มขดลวดขั้วแม่เหล็กแทรก (interpole winding) ซึ่งออกแบบไว้เพื่อควบคุมคอมมิวเตชันของเครื่องกลไฟฟ้า (ลดการเกิดประกายไฟที่แปรงถ่าน) ขั้วแม่เหล็กแทรกนี้จะต่อทำมุม 90° ทางไฟฟ้ากับขั้วแม่เหล็ก และต่ออนุกรมกับอาร์เม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจอร์เพื่อให้กระแสทั้งหมดไหลผ่านขดลวดนี้ จึงต้องใช้ลวดเส้นใหญ่มากพันขั้วแม่เหล็กแท่งนี้ เพื่อให้มีความต้านทานน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

ในโครงการนี้คือซีมอเตอร์ที่เป็นแบบแม่เหล็กถาวรได้ถูกนำมาใช้ ซึ่งมีคุณลักษณะดัง
รูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของซีมอเตอร์

มอเตอร์แบบนี้จะใช้การกระตุ้นฟิลด์ของมอเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวรซึ่งต่างจากแบบอื่นที่ใช้ขดลวดซึ่งแบบนี้จะให้เส้นแรงแม่เหล็กของฟิลด์ที่มีค่าคงที่ ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างกระแสอาร์มาเจอร์และแรงบิดจะมีค่าคงที่ด้วย ซึ่งจะมีข้อดีคือไม่มีการสูญเสียในฟิลด์ ทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าและมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับมอเตอร์แบบใช้ขดลวดในการกระตุ้น ที่มีขนาดกำลังม้าเท่ากันจึงเหมาะที่จะนำไปใช้กับงานที่ต้องการแรงบิดของโหลดสูงๆ

2.2 ออปแอมป์

ออปแอมป์ คือ อุปกรณ์ชนิดหนึ่งซึ่งถูกออกแบบมาให้สามารถทำงานได้หลายรูปแบบ และยังเน้นความสะดวกในการนำไปใช้งานอีกด้วย โดยสามารถประกอบเป็นวงจรได้โดยการต่อร่วมกับอุปกรณ์ภายนอกเพียงไม่กี่ตัวเท่านั้น ในอดีตออปแอมป์จะประกอบขึ้นจากอุปกรณ์หลายตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ถูกนำมาบรรจุไว้ในภาชนะขึ้นเดียวกัน ซึ่งนอกจากจะทำให้ออปแอมป์มีขนาดใหญ่แล้ว ยังอาจมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำด้วย แต่ปัจจุบัน เราสามารถซื้อออปแอมป์ในรูปแบบของวงจรรวม (IC) ได้ตามท้องตลาด และจากคุณสมบัติ IC ออปแอมป์ที่ได้พัฒนาขึ้นทำให้อุปกรณ์ชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย

2.2.1 คุณสมบัติทั่วไป

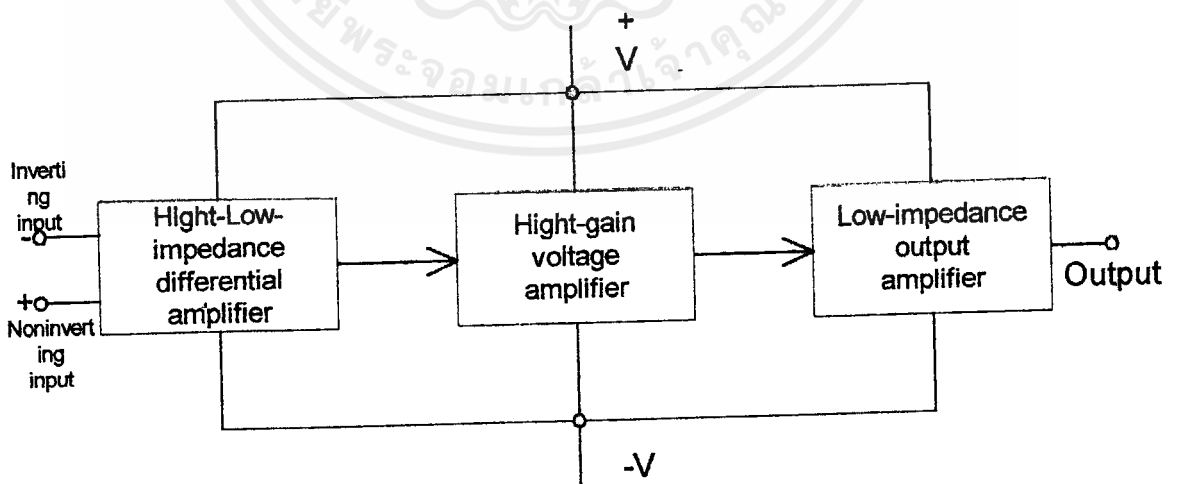
โดยทั่วไปแล้ว เราสามารถกล่าวได้ว่า ไอซีออปแอมป์ คือ อุปกรณ์โซลิดสเตท (SOLID STATE) ชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถตรวจวัดระดับสัญญาณไฟตรง และ ไฟสลับได้ และยังสามารถนำไปใช้ขยายสัญญาณได้อีกด้วย ไอซีออปแอมป์พื้นฐานจะต้องประกอบด้วยวงจรภายในภาคต่าง ๆ ดังนี้ คือ :

1. ดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ หรือ วงจรขยายผลต่าง (DIFFERENTIAL AMPLIFIER) ที่มีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงมาก

2. วงจรขยายแรงดันซึ่งมีอัตราขยายสูงมาก

3. วงจรขยายภาคเอาต์พุตที่มี เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำมาก

รูป 2.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในภาคต่าง ๆ ของออปแอมป์ดังกล่าว และจากรูปจะสังเกตเห็นว่า แรงดันไฟตรงที่จ่ายให้แก่ออปแอมป์มักประกอบด้วยไฟบวกและลบ เพื่อให้เอาต์พุตสามารถสวิงได้ทั้งซีกบวกและลบเทียบกับกราวด์



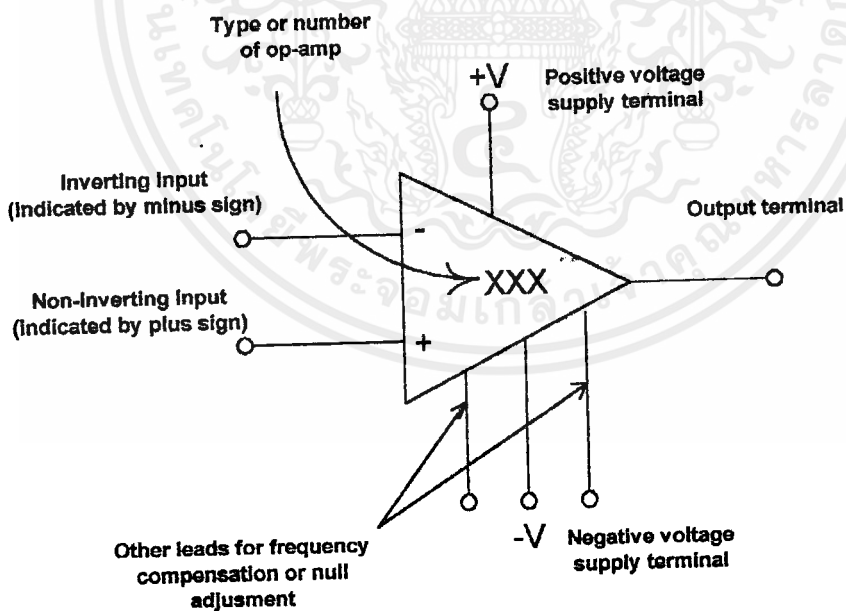
รูป 2.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในภาคต่าง ๆ ของออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคุณสมบัติของออปแอมป์ที่กล่าวมา ทำให้เราสามารถสรุปคุณสมบัติที่สำคัญบางประการของออปแอมป์ในอุดมคติ ดังนี้

1. เนื่องจากอินพุตอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์มีค่าสูงเป็นอนันต์ กระแสเข้าที่อินพุตจะต่ำจนเกือบเท่าศูนย์ หรืออีกนัยหนึ่ง ไม่มีกระแสอินพุตเข้าสู่ออปแอมป์เลย
2. อัตราขยายขณะเปิดลูป A (ขณะที่ยังไม่มีการป้อนกลับ) จะมีค่าสูงมาก ซึ่งหมายความว่าแรงดันระหว่างขั้วอินพุตควรมีค่าใกล้เคียงศูนย์ (เนื่องจาก $\frac{V_{out}}{A} = V_{in}$)
3. เอาท์พุทอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำมากจนไม่ทำตัวเป็นโหลดต่อภาคเอาท์พุตของวงจรขยาย

รูป 2.8 แสดงสัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์ ซึ่งประกอบด้วยขั้วอินพุต 2 ขั้ว ขั้วสำหรับแหล่งจ่ายไฟ 2 ขั้ว ขั้วเอาท์พุท 1 ขั้ว และขั้วสำหรับปรับออฟเซ็ท หรือการชดเชยความถี่อีก 2 ขั้ว

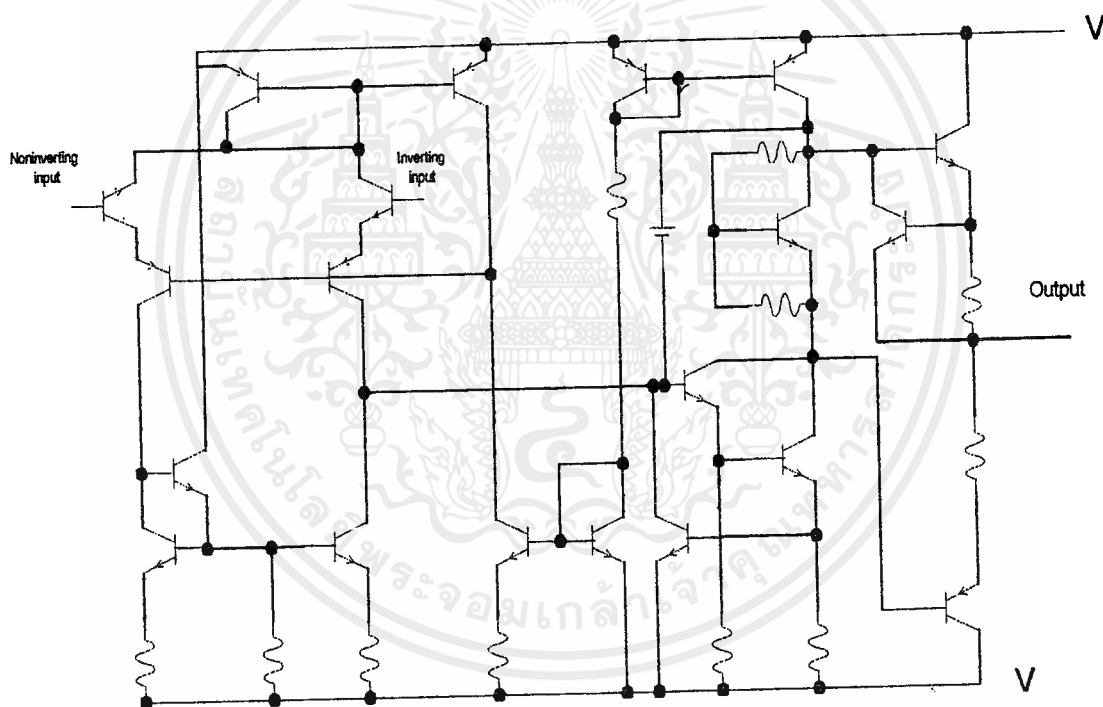


รูป 2.8 แสดงสัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้วอินพุททั้งสองของออปแอมป์มีลักษณะต่างกันดังนี้ คือ สำหรับขั้วลบ เมื่อป้อนไฟตรงหรือไฟสลับเข้าไป ในขณะที่ขั้วบวกต่อกันจุดอ้างอิงจุดหนึ่ง สัญญาณที่ออกมาที่เอาต์พุทจะกลับเฟสกับอินพุท 180° ส่วนการป้อนสัญญาณที่ขั้วบวก เอาต์พุทจะมีเฟสตรงข้ามกับอินพุท ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าเครื่องหลายที่อินพุท คือ การแสดงเฟสของเอาต์พุทเทียบกับอินพุท ส่วนขั้วสำหรับปรับออฟเซต หรือชดเชยความถี่นั้น โดยมากมักจะไม่ต้องแสดง ในวงจรทั่วไป

ในการนำออปแอมป์ไปใช้งานจริงนั้น เราอาจไม่จำเป็นต้องศึกษาให้ลึกซึ่งถึงวงจรภายในแต่อย่างไรก็ตาม ในรูป 2.9 จะแสดงวงจรภายในของออปแอมป์เบอร์ 741 ซึ่งผู้สนใจสามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมจากสเป็ค หรือ รายละเอียดของผู้ผลิต



รูป 2.9 แสดงวงจรภายในของออปแอมป์เบอร์ 741

จากวงจรในรูป 2.9 พบว่า ไอซีออปแอมป์จะประกอบด้วยทรานซิสเตอร์หลายตัว และมีตัวเก็บประจุน้อยมาก โดยมีเหตุผลที่ว่า ตัวเก็บประจุจะกินเนื้อที่ค่อนข้างมาก และยังคงไม่ให้สัญญาณไฟตรงผ่านได้อีกด้วย แต่ตัวเก็บประจุ 30 pF ที่ต่อไว้ในวงจรนั้น มีหน้าที่ในการช่วยชดเชยความถี่เท่านั้น

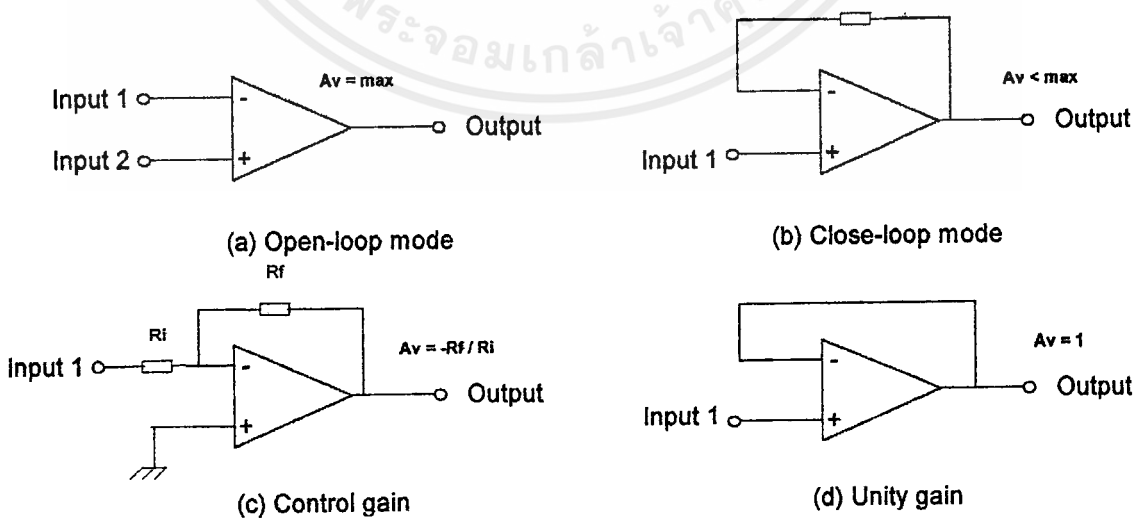
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากนำวงจรในรูป 2.9 มาเปรียบเทียบกับรูป 2.7 จะสามารถแยกวงจรออกเป็น 3 ภาค ได้ เช่นกัน โดยมีทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ทำหน้าที่เป็นคิฟเฟอร์เรนเซียลแอมป์ ทรานซิสเตอร์ Q_{16} Q_{17} ซึ่งถูกต้องแบบคาร์ลิตันทำหน้าที่เป็นวงจรขยายแรงดันที่มีอัตราขยายสูงมาก ส่วนภาคเอาต์พุตจะประกอบด้วย Q_{14} และ Q_{20} ทรานซิสเตอร์ Q_{15} นั้นมีไว้สำหรับจำกัดกระแสและป้องกันออปแอมป์เสียหาย เมื่อเอาต์พุตถูกลัดวงจร ส่วนอุปกรณ์ตัวอื่น ๆ จะมีหน้าที่ในการจัดไบอัส และช่วยในการขยายสัญญาณสำหรับออปแอมป์

2.2.2 ลักษณะการทำงาน

ออปแอมป์ในอุดมคติจะมีอัตราขยายเป็นอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติ อัตราขยายอาจมีค่าสูงสุดเพียง 10000 หรือ 1000000 เท่านั้น ซึ่งเรียกว่า อัตราขยายขณะเปิดคิฟเฟอร์ (Av) ดังรูป 2.10(a) ในขณะที่เกิดความแตกต่างของแรงดันเพียงเล็กน้อยระหว่างขั้วอินพุตทั้งสอง เอาต์พุตจะสามารถให้สัญญาณสูงขึ้นหลายเท่า (ตามค่าของอัตราขยาย Av) หากแต่จะถูกจำกัดด้วยขนาดของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่เราป้อนให้แก่ออปแอมป์ด้วย แต่ถึงเช่นนั้นก็ดี เอาต์พุตก็จะไม่สามารถมีค่าสูงสุดเท่าแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงได้จริง ทั้งนี้เกิดจากแรงดันที่ตกคร่อม Q_{14} , R_9 หรือ R_{10} , Q_{20} ในรูป 1-3 ทำให้แรงดันเอาต์พุตสูงสุดอาจมีค่าประมาณ 90% ของแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงเท่านั้น

จากคุณสมบัติข้างต้น เราสามารถนำออปแอมป์ในขณะเปิดคิฟเฟอร์ไปใช้งานเป็นคอมพาราเตอร์ (COMPARATOR) หรือวงจรเปรียบเทียบแรงดันได้ โดยเอาต์พุตจะเปลี่ยนทันทีเมื่อมีความแตกต่างของแรงดันเกิดขึ้นระหว่างขั้วอินพุตของออปแอมป์



รูป 2.10

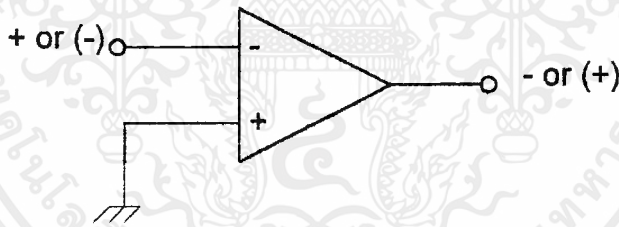
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ทว่า การทำงานของออปแอมป์ยังไม่สิ้นสุดเพียงเท่านั้น นอกจากนี้ จะพบว่าการใช้ ออปแอมป์ในลักษณะของลูปปิด (มีการป้อนกลับ) จะทำให้ออปแอมป์มีประโยชน์สูงมากขึ้น ดัง รูป 2.10 b การป้อนกลับในรูปในตัวต้าน RF เพียงตัวเดียว ซึ่งมีผลให้วงจรมีเสถียรภาพสูงขึ้น และมีสัญญาณรบกวนน้อยลง ในขณะที่เดียวกัน อัตราขยายแรงดันจะ 'ตกลง' ด้วย

วงจรในรูป 2.10 c แสดงการใช้ออปแอมป์โดยมีการป้อนสัญญาณเอาต์พุตกลับมายังอินพุต นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมอัตราขยายแรงดัน (ในขณะปิดลูป) ได้โดยอาศัยตัวต้านทาน 2 ตัว เท่านั้น ทำให้อัตราขยายแรงดัน A_v มีค่าดังสมการ :

$$A_v = -\frac{R_f}{R_i}$$

โดยที่เครื่องหมายลบแสดงถึงการกลับเฟสของเอาต์พุตเทียบกับอินพุต ส่วนวงจร 2.10 b แสดงการป้อนกลับในกรณีที $A_v = 1$ คุณสมบัติที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้ คือ คุณสมบัติทั่วไปของ ออปแอมป์ที่จะนำไปใช้ในบทต่อ ๆ ไป และนอกจากนี้ คุณสมบัติอีกประการที่ควรศึกษาคือ เรื่อง ความสัมพันธ์ของขั้วต่าง ๆ ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของออปแอมป์ ซึ่งสรุปไว้แล้วในรูป 2.11



รูป 2.11

1. ถ้าขั้ว - มีศักดาเป็นบวกสูงกว่าขั้ว + , เอาต์พุตเป็น -
2. ถ้าขั้ว - มีศักดาเป็นบวกต่ำกว่าขั้ว + , เอาต์พุตเป็น +

2.2.3 คุณสมบัติและพารามิเตอร์บางชนิดของออปแอมป์

1. อินพุทอิมพีแดนซ์

ในทางอุดมคติควรมีค่าเท่ากับอนันต์ แต่ในความเป็นจริง อินพุทอิมพีแดนซ์จะมีค่าประมาณ 1 เมกกะโอห์ม (1×10^6 โอห์ม) ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์นี้ยังมีค่ามากขึ้นเท่าใด ออปแอมป์ตัวนั้นก็ทำงานได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ เมื่อนำออปแอมป์ไปใช้งานในย่านความถี่สูง ควรระวังผลจากอินพุทคาปาซิแตนซ์ของวงจรด้วย ซึ่งมักมีค่าประมาณ 2 พิโคฟาร์ด (2×10^{-12} ฟาร์ด) เมื่อขั้วอินพุทขั้วหนึ่งต่อกับกราวด์

2. เอาท์พุทอิมพีแดนซ์

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ออปแอมป์ในอุดมคติจะมีเอาท์พุทอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์ แต่ในความเป็นจริง ค่านี้อาจมีได้ตั้งแต่ 25 ถึงหลายพัน โอห์มขึ้นไป แต่อย่างไรก็ตาม เรามักสมมติให้เอาท์พุทอิมพีแดนซ์ในวงจรมีค่าเป็นศูนย์ เพื่อง่ายต่อการคำนวณ และวิเคราะห์

จากคุณสมบัติของออปแอมป์ที่มีอินพุทอิมพีแดนซ์สูง และมีเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ต่ำ ออปแอมป์จึงเปรียบเสมือนเป็นอุปกรณ์ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นอิมพีแดนซ์แมต칭 (IMPEDANCE MATCHING) ที่ดี ตัวหนึ่ง

3. กระแสไบอัสด้านอินพุท

เนื่องจากอินพุทอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์ไม่เป็นอนันต์ ดังนั้น จึงมีกระแสน้อย ๆ (มีหน่วยเป็น นาโน (10^{-9}) ถึง ไมโคร (10^{-6}) แอมป์) ไหลผ่านชั้นอินพุททั้งสอง ซึ่งค่าเฉลี่ยของกระแสดังกล่าวถูกเรียกว่าเป็น ' กระแสไบอัสด้านอินพุท ' กระแสจะก่อให้เกิดความไม่สมดุลในวงจรภายใน ซึ่งจะเป็นผลกระทบต่อภาคเอาท์พุทด้วย ดังนั้น กระแสนี้ควรถูกกำจัดให้มีค่าต่ำสุด (อาจทำได้โดยการใช้ออปแอมป์ที่มีอินพุทเป็น FET)

4. แรงดันออฟเซต (OFFSET) ที่เอาท์พุท

แรงดันออฟเซตที่เอาท์พุทเกิดขึ้นจากกระแสไบอัสด้านอินพุท ซึ่งในทางอุดมคติ เมื่อแรงดันอินพุทระหว่างขั้วทั้งสองมีค่าเท่ากัน แรงดันที่เอาท์พุทควรเป็นศูนย์ แต่โดยทั่วไปมักไม่เป็นเช่นนั้น คือ มักมีแรงค่าหนึ่งปรากฏที่เอาท์พุทขณะที่อินพุทเป็นศูนย์ ซึ่งเราสามารถแก้ไขได้โดยการป้อนแรงดันหรือ กระแสออฟเซตที่อินพุท แล้วปรับจนได้ $V_{out} = 0$ โวลต์

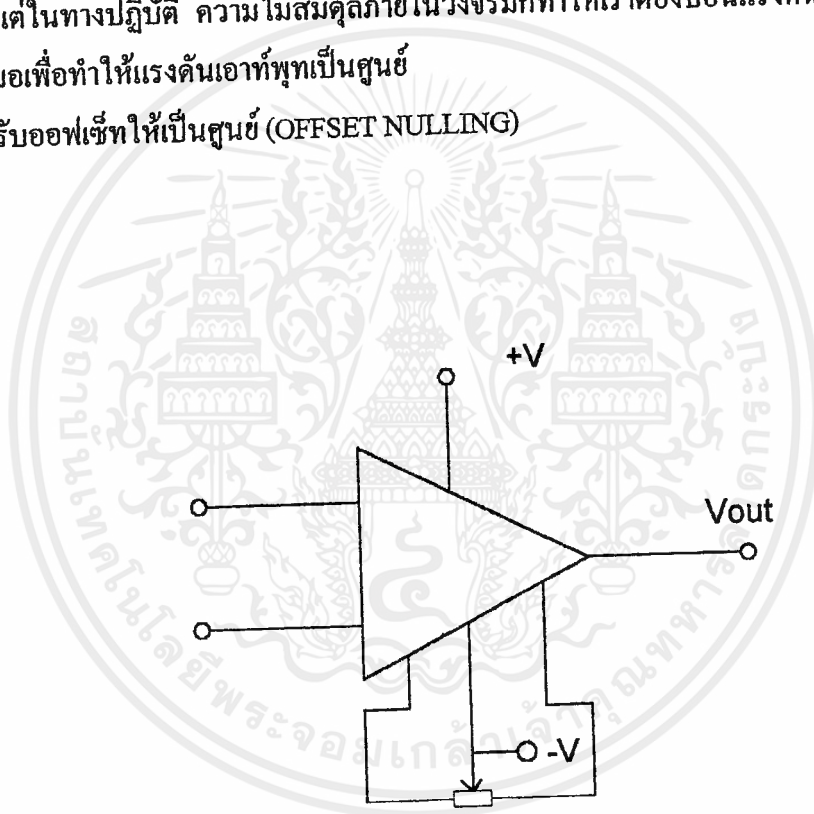
5. กระแสออฟเซตที่อินพุต

ในการปรับแรงดันออฟเซตที่เอาต์พุตให้มีค่าเป็นศูนย์ กระแสอินพุตทั้งสองขั้วควรมีค่าเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติ จะพบว่า เราต้องจ่ายกระแสให้แก่อินพุตขั้วหนึ่งมากกว่าอีกขั้วหนึ่งเสมอ เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งกระแสออฟเซตนี้อาจมีค่าประมาณ 20 มิลลิแอมป์

6. แรงดันออฟเซตที่อินพุต

ในอุดมคติ แรงดันเอาต์พุตจะเท่ากับศูนย์ก็ต่อเมื่อแรงดันระหว่างขั้วอินพุตมีค่าเป็นศูนย์เช่นกัน แต่ในทางปฏิบัติ ความไม่สมดุลภายในวงจรมักทำให้เราต้องป้อนแรงดันค่าหนึ่งแก่อินพุตใด ๆ เสมอ เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตเป็นศูนย์

7. การปรับออฟเซตให้เป็นศูนย์ (OFFSET NULLING)



Offset-voltage adjusting resistor

รูป 2.12

ในการปรับแรงดันเอาต์พุตให้เป็นศูนย์ หรือ การปรับแรงดันออฟเซตที่อินพุตให้เป็นศูนย์นั้น เราอาจใช้ขั้ว OFFSET NULLING ที่ผู้ผลิตได้เตรียมไว้ให้แล้ว โดยให้ศึกษาข้อมูลรายละเอียด

ของออปแอมป์เบอร์นั้น ๆ รูป 2.11 แสดงวงจรที่ใช้ในการตั้งค่าศูนย์ให้แก่ออปแอมป์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ตรวจสอบวงจรให้เรียบร้อยและเช็คอุปกรณ์ที่ต้องนำมาต่อ
2. ลดระดับสัญญาณอินพุตจนเหลือศูนย์ ถ้ามีตัวต้านทานต่ออนุกรมกับอินพุตอยู่ ให้ตรวจสอบดังนี้
 - ก) ถ้าตัวต้านทานนั้นมีค่าสูงกว่าอินพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิดสัญญาณอินพุตตั้งแต่ 1% ขึ้นไป ปลดตัวต้านทานไว้เช่นเดิม
 - ข) หากตัวต้านทานดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากันให้นำแหล่งกำเนิดสัญญาณอินพุตนั้นออก แล้วต่อตัวต้านทานที่มีขนาดเท่ากับอินพุตอิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิดอินพุตเข้าแทน
 - ค) ต่อโหนดเข้ายังอินเอาต์พุต
 - ง) ป้อนไฟตรงให้วงจร
 - จ) วัดแรงดันที่เอาต์พุตด้วย โวลท์มิเตอร์ หรือออสซิลโลสโคป (แรงดันเอาต์พุตอาจมีค่าเพียงไม่มีมิลลิโวลท์ ดังนั้น ควรใช้อุปกรณ์สำหรับวัดที่เหมาะสม)
 - ฉ) ปรับตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้จน V_{out} มีค่าเป็นศูนย์
 - ช) ถอดอุปกรณ์ที่เพิ่มเข้าไป แล้วต่อวงจรดังเดิม แต่ห้ามแตะต้องตัวต้านทานปรับค่าได้

8. ผลของอุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่ออุปกรณ์โซลิดสเตททุกชนิด รวมทั้งออปแอมป์ ดังนั้น ผลกระทบจากอุณหภูมิจะทำให้กระแสและแรงดันออฟเซ็ทเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเราเรียกการเปลี่ยนแปลงอันเกิดขึ้นจากอุณหภูมิตั้งแต่ 'คริป' ดังนั้น ในขณะที่ทำงาน ควรตรวจสอบด้วยว่าออปแอมป์จะมีเปอร์เซ็นต์การผิดพลาดมากน้อยเพียงใด หากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป

9. การชดเชยความถี่

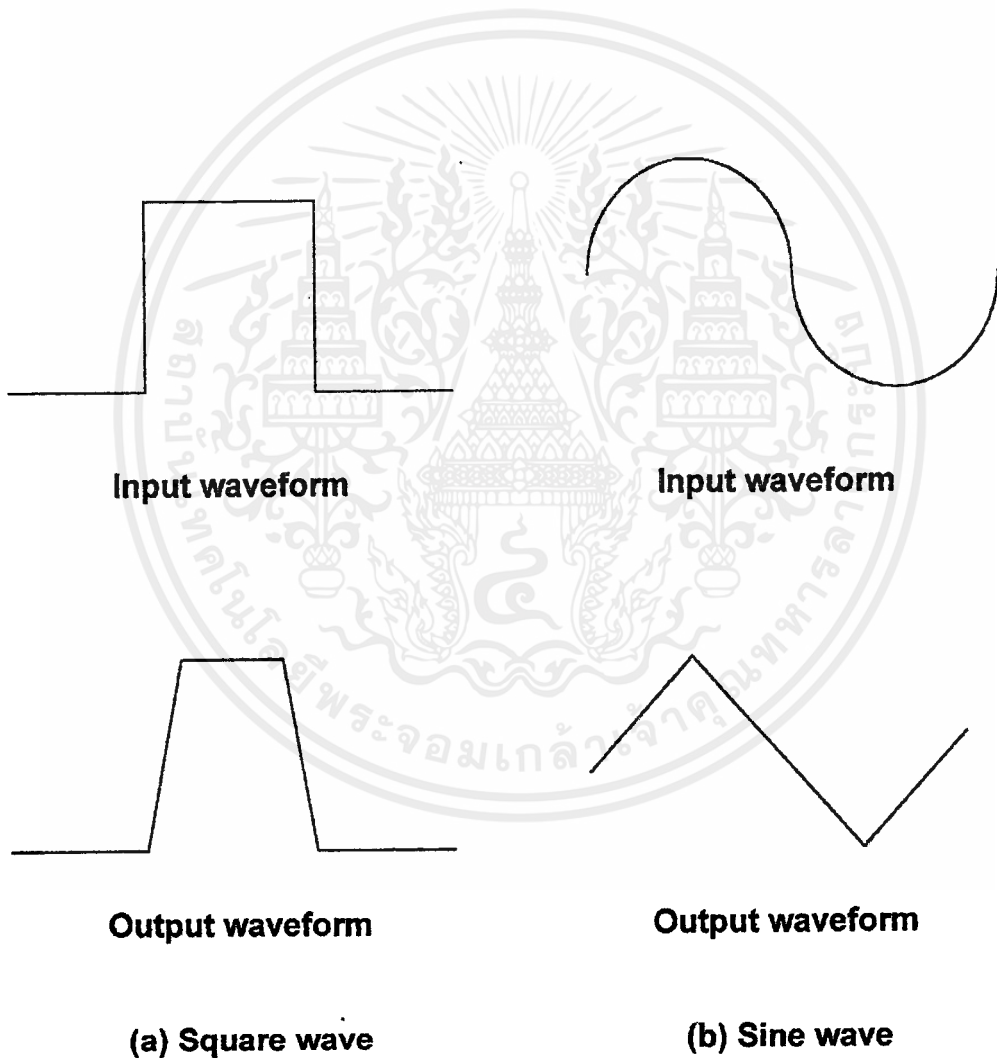
ปัญหาที่เกิดขึ้นกับออปแอมป์ที่ใช้ย่านความสูงก็คือ การออสซิลเลท (OSCILLATION) ซึ่งเกิดจากอัตราขยายที่มีค่าค่อนข้างสูงของออปแอมป์เอง และยังเกิดจากการเลื่อนเฟส (PHASE SHIFT) ณ จุดต่าง ๆ ภายในวงจร เป็นผลให้เราไม่สามารถควบคุมอัตราขยายของสัญญาณป้อนกลับได้ วิธีแก้ปัญหาก็คือ ต่อตัวเก็บประจุชดเชยให้แก่วงจร ซึ่งจะทำได้ถ้าอัตราขยายของออปแอมป์มีขนาดลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. อัตราสลัว (SLEW RATE)

อัตราสลัว คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแรงดันเอาต์พุตเทียบกับเวลา ดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{อัตราสลัว} &= \frac{\text{การเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแรงดันเอาต์พุต}}{\text{การเปลี่ยนแปลงเวลา}} \\ &= \frac{\Delta V_{\text{out}} (\text{max})}{\Delta t} \end{aligned}$$



รูปที่ 2.13

ตัวอย่างเช่น ออปแอมป์เบอร์ 741 ซึ่งมีอัตราสลับเท่ากับ 0.5 โวลต์/ไมโครวินาที แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแรงดัน เอาท์พุทสำหรับออปแอมป์ตัวนี้มีค่า 0.5 โวลต์ ภายในช่วงเวลา 1×10^6 วินาที โดยมีค่าปาดิเดนซ์ของตัวเก็บประจุเป็นตัวจำกัดอัตราสลับของออปแอมป์ (ตัวเก็บประจุที่ว่าเป็นอาจเป็นชนิดที่ต่อจากภายนอก หรือตัวเก็บประจุภายใน IC เองก็ได้) อัตราสลับที่มีค่าต่ำจะเป็นผลให้แรงดันที่เอาท์พุทมีการตอบสนองเปลี่ยนแปลงช้าลง เมื่อเทียบกับอินพุท ดังแสดงในรูป 2.13 เมื่อสัญญาณอินพุทมีความถี่สูงมากขึ้นเท่าใด อัตราสลับจะมีบทบาทต่อการตอบสนอง ณ เอาท์พุทอย่างเด่นชัดยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากเอาท์พุทที่จะเพี้ยนมากขึ้น หากอัตราสลับมีค่าน้อยหรืออีกนัยหนึ่ง ออปแอมป์ที่มีอัตราสลับสูงจะมีแบนด์วิดท์กว้างกว่านั่นเอง

11. การตอบสนองต่อความถี่

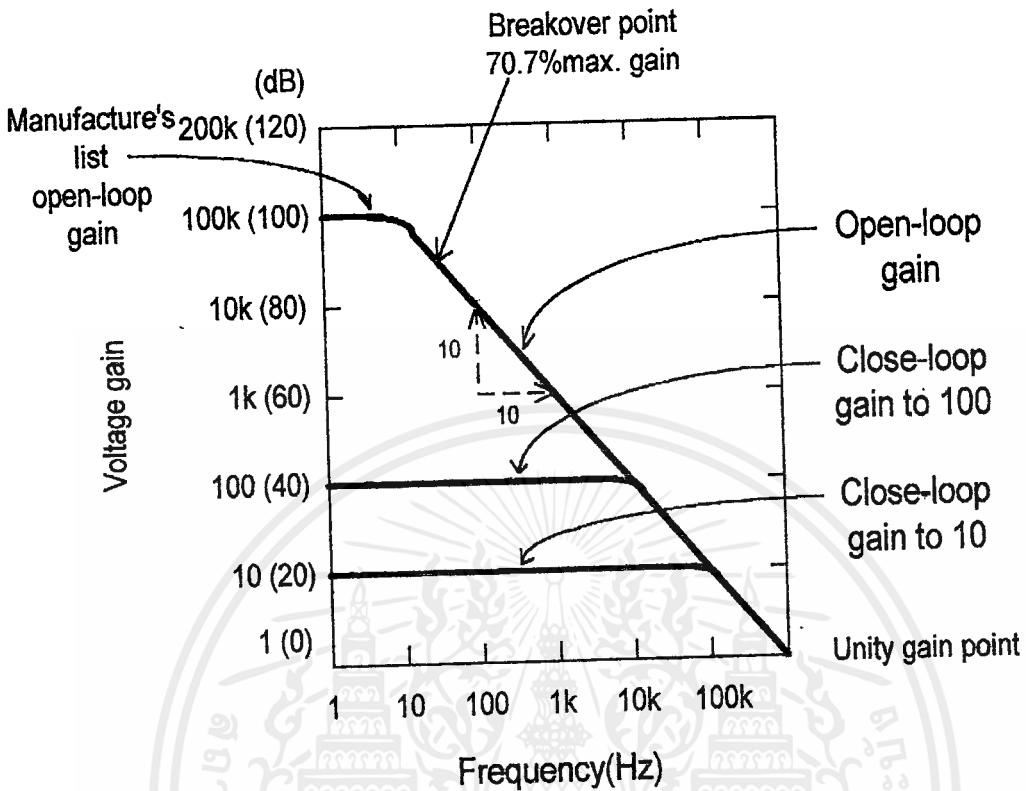
อัตราขยายของออปแอมป์จะลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น ดังแสดงในรูป 2.14 จะพบว่า อัตราขยายที่ผู้ผลิตแสดงไว้ในตารางข้อมูล (DATA SHEET) จะเป็นอัตราขยายที่ความถี่ 0 เฮิรท์ หรือไฟตรง (ซึ่งแสดงให้เห็นความถี่สูงสุดของออปแอมป์) ในการทำงานแบบลูปเปิด จะเห็นได้ว่า วงจรมีเสถียรภาพต่ำมาก นั่นคือ เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นสิบเท่า อัตราขยายลดลง 10 เท่าทันที

โดยทั่วไป แบนด์วิดท์ของวงจรจะหมายถึงช่วงความถี่ที่อัตราขยายมีค่า 70.7% ของอัตราขยายสูงสุด จากตัวอย่างในรูป แบนด์วิดท์ของออปแอมป์ขณะเปิดลูป จะมีค่าประมาณ 10 เฮิรท์ซ ดังนั้น หากต้องการให้วงจรที่ออกแบบขึ้นสามารถทำงานได้ที่ความถี่อินพุทสูง ๆ จะต้องป้อนสัญญาณจากเอาท์พุทกลับมายังอินพุท (การป้อนกลับแบบลบ) ซึ่งจะทำให้อัตราขยายของลูปปิดลดลง แต่ในขณะเดียวกัน ความถี่ที่อัตราขยายเท่ากับ 70.7% ของอัตราขยายสูงสุดก็จะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราเท่ากัน ส่วนจุดที่มีอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง (UNITY-GAIN POINT) จะแสดงความถี่สูงสุดของออปแอมป์เมื่ออัตราขยายมีค่าเป็นหนึ่ง

12. ผลคูณของอัตราขยายและแบนด์วิดท์

จากที่ได้อธิบายมาในหัวข้อที่แล้วว่า เมื่ออัตราขยายลดลงเท่าใด ความถี่ก็จะสูงขึ้นด้วยจำนวนเท่าของค่านั้นด้วย ซึ่งแสดงว่า ผลคูณระหว่างอัตราขยายและแบนด์วิดท์จะมีค่าคงที่เสมอไปและเราสามารถหาค่านั้นได้จากจุดซึ่งมีอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง (ค่านี้จะหาได้จากตารางข้อมูล) นี้มีประโยชน์อย่างมากในการประมาณความถี่สูงสุดที่วงจรสามารถทำงานได้ ตัวอย่างเช่น หากเราพบว่า ความถี่ที่อัตราขยายมีค่าเท่ากับหนึ่ง (หาจาก DATA SHEET) มีค่าเป็น 1 เมกกะเฮิรท์ซ และอัตราขยายของวงจรที่ออกแบบมีค่าเท่ากับ 100 ดังนั้น ความถี่สูงสุดที่เราประมาณไว้ควรมีค่าอยู่ในราว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14

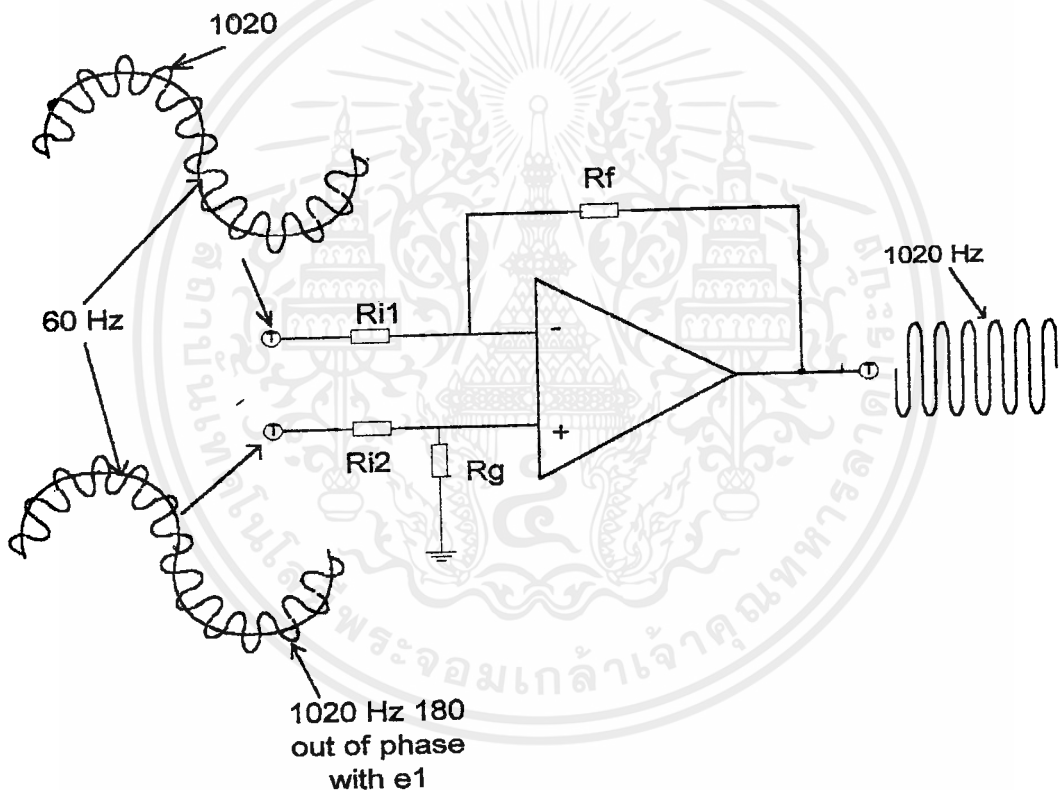
$$BW \text{ (แบนด์วิดท์)} = \frac{1,000,000}{100} = 10 \text{ กิโลเฮิรตซ์}$$

13. อัตราการลดสัญญาณชนิดคอมมอน โหมด (CMRR)

COMMON-MODE REJECTION RATIO เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของออปแอมป์ที่ได้มาจากภาคอินพุตที่เป็นดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ หมายความว่า หากสัญญาณที่เข้ามายังขั้วอินพุตทั้งสองมีเฟสตรงกัน และยังมีขนาดเท่ากัน (สัญญาณแบบนี้เรียกว่าอยู่ในคอมมอนโหมด) สัญญาณทั้งสองนี้จะถูกกำจัดทิ้งไป ดังนั้น เอาท์พุทจะเป็นศูนย์ ส่วนสัญญาณที่มีขนาดต่างกันและมีเฟสต่างกันจะเรียกว่าอยู่ในดิฟเฟอเรนเชียลโหมด

ตัวอย่างเช่น วงจรในรูป 2.15 สัญญาณในดิฟเฟอเรนเชียลโหมดสองตัวซึ่งมีความถี่ 1020 เฮิรต์ ถูกป้อนเข้าไปยังขั้วอินพุทของออปแอมป์ แต่ในขณะเดียวกัน สัญญาณทั้งสองจะเก็บสัญญาณรบกวน 60 เฮิรต์ขึ้นมาในระหว่างเดินทาง ทำให้เกิดรูปคลื่นดังในภาพ ทว่า เมื่อป้อนสัญญาณเข้าไปแล้ว สัญญาณรบกวนความถี่ 60 เฮิรต์จะถูกกำจัดออกไป เนื่องจากเป็นสัญญาณชนิดคอมมอนโหมด ซึ่งความสามารถในการกำจัดสัญญาณคอมมอนโหมดนี้ เราเรียกชื่อว่า CMRR หาได้จากสมการ

$$CMRR = A_D/A_{cm} \frac{A_D}{A_{cm}} \frac{A_D}{A_{cm}}$$



รูปที่ 2.15

โดย A_D คือ อัตราขยายสำหรับสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียล ส่วน A_{cm} คือ อัตราขยายสำหรับสัญญาณคอมมอนโหมด ดังนั้น ยิ่ง CMRR ของออปแอมป์มีค่าสูงเท่าไร หมายความว่า สัญญาณรบกวนจะถูกกำจัดลงมากขึ้นเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. หน่วยเดซิเบล (dB)

การคำนวณอัตราขยายของวงจรใด ๆ สามารถหาได้จากสมการ

$$A_x = X_{out}/X_{in}$$

โดยที่ x อาจเป็นแรงดัน หรือกระแสก็ได้ และโดยทั่วไปนิยามหาอัตราขยายจากสมการ

$$\text{dB} = 20 \log A_v$$

2.2.4 ค่าใช้งานต่าง ๆ ที่ควรเข้าใจ

การนำไอซีออปแอมป์ไปใช้งาน ผู้ใช้ควรศึกษาาคำชี้ของบริษัผู้ผลิตให้ละเอียดเสียก่อนเพื่อป้องกันออปแอมป์ชำรุด หรือ เสียหาย ค่าต่าง ๆ ที่ควรรู้ได้แก่

ก) แรงดันจากแหล่งจ่ายไปเลี้ยง $\pm V$ (SUPPLY VOLTAGE)

ข) กำลังที่สูญเสียในตัวไอซี (POWER DISSIPATION) ซึ่งแสดงกำลังสูงสุดที่อุปกรณ์สามารถปลดปล่อยออกมาโดยที่อุณหภูมิไม่สูง จนทำให้ไอซีพัง

ค) แรงดันสูงสุดระหว่างขั้วอินพุท (DIFFERENTIAL INPUT VOLTAGE)

ง) แรงดันสูงสุดที่อินพุทแต่ละขั้ว (INPUT VOLTAGE)

จ) ความสามารถในการทนภาวะลัดวงจรที่เอาท์พุท (OUTPUT SHORT-CIRCUIT DURATION)

ฉ) อุณหภูมิที่ใช้งาน (OPERATING TEMPERATURE)

ช) อุณหภูมิที่ใส่เก็บอุปกรณ์ (STORAGE-TEMPERATURE)

ฅ) อุณหภูมิของขาอุปกรณ์ (LEAD TEMPERATURE) แสดงอุณหภูมิที่ไอซีสามารถทนได้ในขณะที่ถูกปิดกรี

2.2.5 ชนิดของออปแอมป์และภาชนะรูปแบบต่าง ๆ

ออปแอมป์ได้ถูกค้นพบขึ้นเป็นเวลานานพอสมควรแล้ว แต่ทว่า การนำออปแอมป์ในรูปแบบของไอซี ซึ่งสามารถใช้งานได้ดีนั้นเพิ่มจะเริ่มต้นในปี ค.ศ. 1963 เท่านั้น นำโดยการเสนออปแอมป์เบอร์ $\mu A 702$ ของบริษัท FAIRCHILD SEMICONDUCTOR จนกระทั่งปัจจุบันออปแอมป์ได้ถูกพัฒนาขึ้นจนมีความสามารถสูงกว่าเดิมมาก แต่อย่างไรก็ตาม เรายังสามารถแบ่งชนิดออปแอมป์ได้เป็นกลุ่มหรือตระกูล ดังตาราง 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่ม	ลักษณะการใช้งาน	คุณสมบัติพิเศษ
1	ใช้กับงานทั่วไป	ใช้งานได้ในช่วงความถี่ DC จนถึง 1 เมกะเฮิรซ์
2	ใช้ได้กับสัญญาณ DC ได้ดี	มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูงมาก ทำให้กระแสไบอัสมีค่าต่ำ
3	ใช้ได้กับสัญญาณ AC ได้ดี	มีแบนด์วิดท์กว้างมาก และอัตราสแควร์มีค่าสูงมาก
4	ใช้กับแรงดันสูงและวงจรที่ต้องใช้กำลังมาก	สามารถขับบังโหลดได้โดยตรง
5	ชนิดที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัว	เช่น ออปแอมป์ชนิดที่สามารถโปรแกรมได้ เป็นต้น

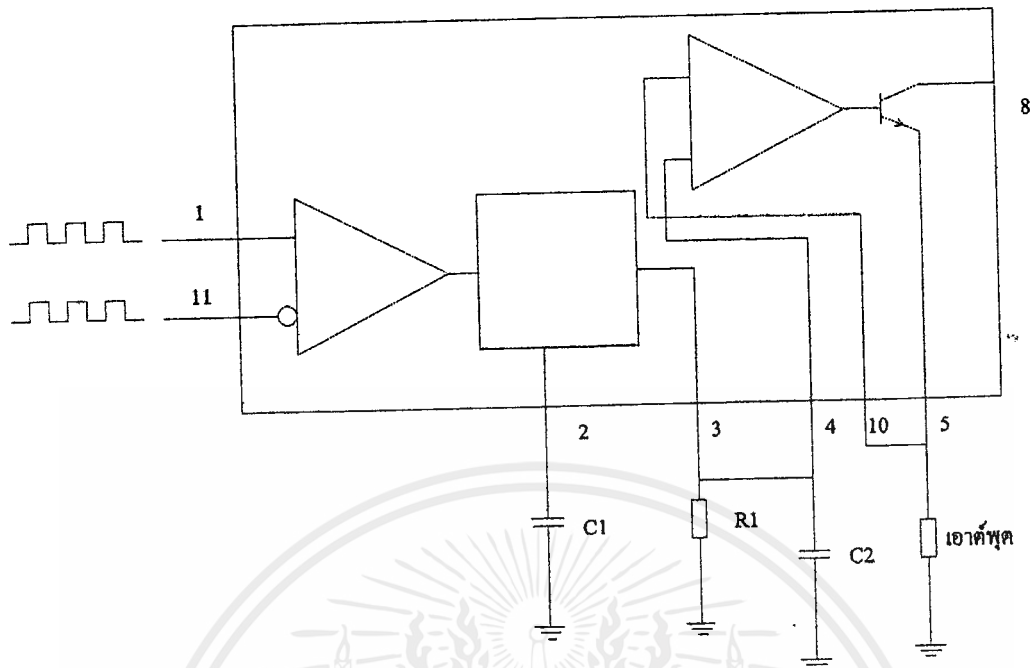
(ตาราง 2-1)

โดยทั่วไปตามท้องตลาด เราจะพบภาชนะในการบรรจุออปแอมป์ในลักษณะต่าง เช่นเป็นแบบภาชนะโลหะ ภาชนะแบบแบน ,DIP (DUAL-IN-LINE PACKAGE) และ MINI-DIP

2.3 LM2917 Frequency to Voltage Converter

เป็น IC ที่ใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณความถี่ เป็นแรงดันไฟฟ้า โครงสร้างภายในเป็นดังรูป โดย IC LM2917 เป็นแบบตะขาบ 14ขา มีโครงสร้างดังรูป พัลส์อินพุตจะเข้าที่ขา 1 ผ่านวงจรชmittทริกเกอร์เข้าวงจร charge pump เพื่อเปลี่ยนความถี่ให้เป็นแรงดัน โดยแรงดันที่ได้จาก charge pump เท่ากับความถี่ที่เข้า X แรงดันไฟเลี้ยง X R1 X C1 ส่วน C2 ช่วยลดการกระเพื่อมของสัญญาณทางด้านเอาต์พุต เอาต์พุตที่ได้จะเข้าสู่วงจรเปรียบเทียบ

ในกรณีขา 4 ผ่านตัวต้านทานลงกราวด์ดังรูป กระแสที่ไหลจะมีค่ามากที่สุด 10 มิลลิแอมป์ ตัวต้านทานที่ใช้จริงสามารถเลือกกระดับแรงดันที่ได้ออกมาซึ่งมีขนาดแปรตามความถี่ของพัลส์ที่ได้รับแรงดันส่วนนี้ส่งต่อไปยังภาคเปรียบเทียบ



รูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างภายในของ ไอซี เบอร์ LM2917

2.4 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่ เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่สำคัญในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าแก่อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ในรถยนต์ในขณะที่เครื่องยนต์ยังไม่ทำงาน อุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหลายที่อยู่ในรถยนต์จะได้รับพลังงานจากแบตเตอรี่ การจ่ายและการรับพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่ เกิดขึ้นได้ด้วยปฏิกิริยาทางเคมีภายในแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่เรารู้จักกัน โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. แบตเตอรี่แห้ง เช่น ถ่านไฟฉาย เราเรียกว่า แบตเตอรี่ขั้นปฐมภูมิ ซึ่งเมื่อใช้พลังงานที่ประจุไว้แล้ว ไม่สามารถนำไปประจุไฟเพื่อกลับไปใช้งานใหม่ได้ ยกเว้น แบตเตอรี่ที่ทำจากสารนี้เกิดแคดเมียม

2. แบตเตอรี่แบบเปียก เนื่องจากมีสารละลายบรรจุอยู่ภายใน แบตเตอรี่แบบนี้เป็น แบตเตอรี่ขั้นทุติยภูมิ ซึ่งนิยมใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าอยู่ในรถยนต์โดยทั่วไป เนื่องจากสามารถนำไปประจุพลังงานได้ใหม่เมื่อใช้หมดแล้ว

2.4.1 การประจุของแบตเตอรี่

ความจุของแบตเตอรี่ คือตัวกำหนดว่าแบตเตอรี่ลูกนั้นมีความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าเป็นอย่างไร โดยจะบอกอัตราการจ่ายกระแสของแบตเตอรี่ลูกนั้นต่อชั่วโมง

ความจุของแบตเตอรี่จะผันแปรไปตามอุณหภูมิ ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ที่มีความจุ 100 แอมแปร์-ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิลดลงเหลือ 0 องศา จะเหลือค่าความจุ 90 แอมแปร์-ชั่วโมง เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง -15 องศาเซลเซียส จะเหลือค่าความจุเพียง 70 แอมแปร์-ชั่วโมง นี่เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การสตาร์ทเครื่องยนต์ติดยากในพื้นที่ที่อุณหภูมิเย็นจัด

แบตเตอรี่ที่มีประจุอยู่เต็ม หากทิ้งไว้โดยไม่มีการใช้งาน มันจะมีการคายประจุออก เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นภายในอย่างช้า ๆ ซึ่งเราเรียกว่า “การคายประจุโดยตัวเอง” (Self discharge) ปฏิกิริยาการคายประจุโดยตัวเองนี้ จะทำให้แบตเตอรี่สูญเสียพลังงานไปวันละประมาณ 0.5% ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และวันละประมาณ 1% ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ดังนั้น จึงควรจะนำแบตเตอรี่ที่ไม่มีการใช้งานไปทำการประจุใหม่ทุก ๆ 2 สัปดาห์ เพื่อให้แบตเตอรี่มีประจุเต็มอยู่เสมอ และเพื่อป้องกันการเกาะตัวของเกลือกำมะถันที่จะไปจับกับแผ่นตะกั่ว ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลึกลง และเป็นการยากที่จะแก้ไขให้กลับคืนสู่สภาพเดิมได้

บทที่ 3

โครงสร้างของจักรยานไฟฟ้า

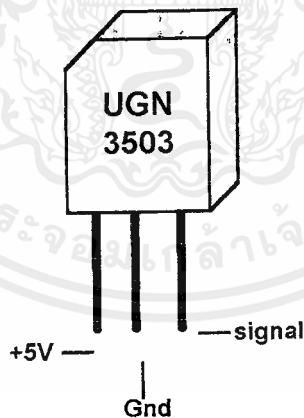
3.1 ส่วนประกอบต่างๆ

จากจักรยานธรรมดาเราได้เพิ่มเติมส่วนประกอบซึ่งเป็นวงจรไฟฟ้าเข้าไป ซึ่งวงจรไฟฟ้าแต่ละส่วนจะทำงานร่วมกันพอที่จะอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.1.1 ส่วนเซ็นเซอร์

ในส่วนของเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดความเร็วของรถจักรยานนั้น ได้นำเอาเซ็นเซอร์เบอร์ UGN3503 มาใช้ในการวัดความเร็วรอบของรถ โดยติดแม่เหล็กไว้ที่ล้อของจักรยานและติดเซ็นเซอร์ไว้ในส่วนที่แม่เหล็กหมุนผ่าน โดยมีระยะห่างประมาณ 1 เซ็นติเมตร

โดยเซ็นเซอร์จะทำงานโดยเมื่อต่อไฟเลี้ยง 5V และมีแม่เหล็กหมุนผ่านตัวเซ็นเซอร์ จะทำให้เกิดสัญญาณพัลส์ โดยความถี่ของสัญญาณพัลส์นั้นขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งที่แม่เหล็กผ่านตัวเซ็นเซอร์



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของตัวเซ็นเซอร์และขาต่อใช้งาน

และรูปที่ 3.2 แสดงถึงตำแหน่งที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ไว้ที่ตะเกียบด้านหน้าของจักรยานส่วนแม่เหล็กติดไว้ที่วงล้อหน้าของจักรยาน

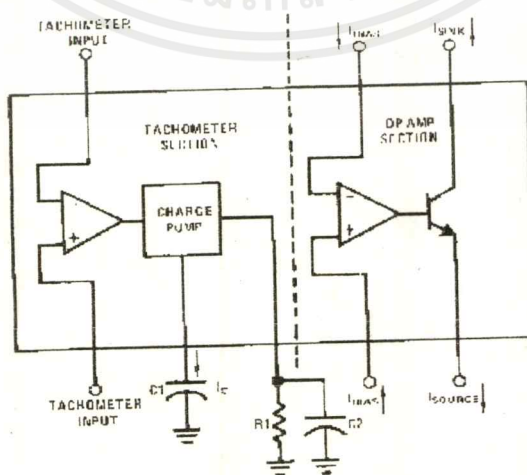
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2

3.1.2 ส่วนวงจรวัดความเร็ว

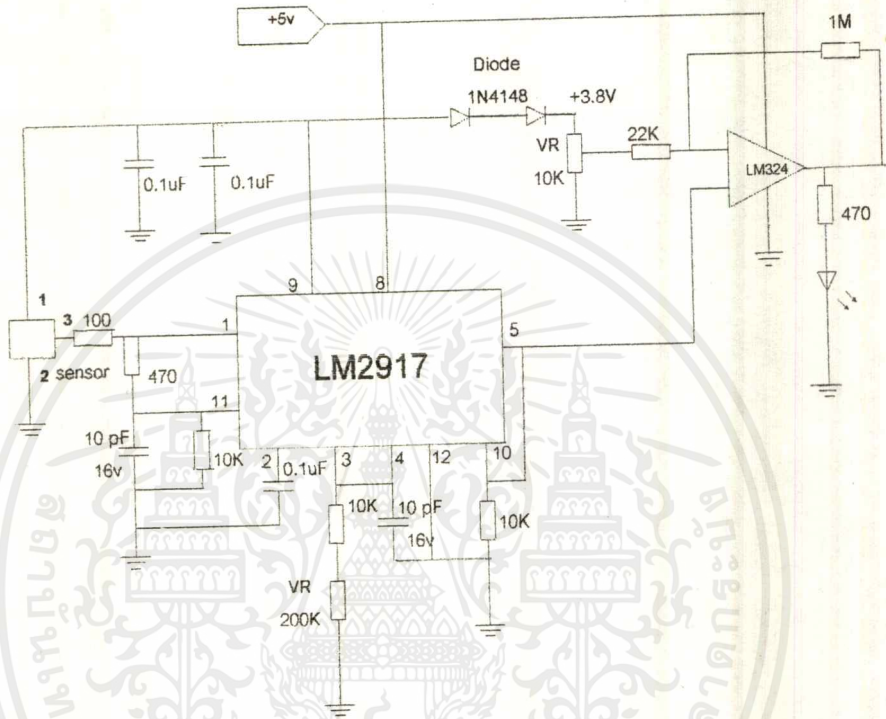
ในส่วนของวงจรวัดความเร็วนั้น ได้นำเอาวงจรที่เปลี่ยนความถี่เป็นแรงดัน (Frequency to Voltage Converters) และวงจรเปรียบเทียบ (Comparator) โดยใช้ไอซีเบอร์ LM2917 เป็นไอซีที่ใช้สำหรับเปลี่ยนความถี่เป็นแรงดันที่มีการใช้งานไม่ยาก โดยต่อแค่ค่าความต้านทานและตัวเก็บประจุ การต่อทดสอบและวงจรภายในดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และหลังจากได้แรงดันจากขาเอาต์พุทของไอซีเบอร์ LM2917 แล้วนำเอาไปผ่านวงจรเปรียบเทียบกับระดับแรงดันอ้างอิงโดยใช้ไดโอดต่ออนุกรมกันสองตัว ได้แรงดันอ้างอิงประมาณ 3.8 โวลต์ที่มีวงจรใช้งานดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงการต่อวงจรวัดความเร็วรอบ

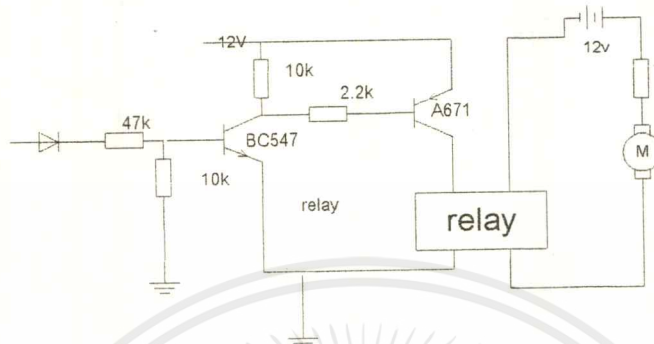
จากรูปวงจรจะเห็นว่า มีหลอดไฟไว้แสดงสถานะการทำงานของวงจรที่เอาต์พุทของออปแอมป์ โดยหลอดไฟจะติดได้ก็ต่อเมื่อแรงดันที่ขา 5 ของ ไอซี LM2917 มีค่ามากกว่าระดับแรงดันอ้างอิง

3.1.3 ชุดขับเคลื่อนของตัวรถ

ในส่วนการขับเคลื่อนรถจักรยานไฟฟ้านี้จะใช้มอเตอร์ สาเหตุที่ใช้มอเตอร์ก็เพราะว่า มอเตอร์นั้นมีแรงบิดสูงที่ความเร็วรอบต่ำ ซึ่งเหมาะที่จะนำมาใช้ในการขับเคลื่อนรถ รวมทั้งแหล่งพลังงานที่ใช้มาจากแบตเตอรี่ (battery) ขนาด 12 โวลต์

ในส่วนของวงจรที่ใช้ควบคุมการขับเคลื่อนนั้น เราใช้ความเร็ววงที่จึงไม่มีวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ขับเคลื่อนแต่อย่างใด โดยเทคนิคควบคุมการขับเคลื่อนก็คือใช้รีเลย์ขนาด 10 แอมป์ 12 โวลต์ มาใช้ตัดต่อการจ่ายแรงดันให้กับมอเตอร์ โดยแรงดันที่ใช้ควบคุมรีเลย์นั้น ได้มาจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันที่ตกคร่อมหลอดไฟแสดงสถานะมาผ่านวงจรขยายกระแสเพื่อให้เพียงพอต่อการนำมาขับรีเลย์โดยต่อวงจรดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.5

ในการติดตั้งมอเตอร์นั้น เราทำการเชื่อมจุดยึดกับตัวถังจักรยานขึ้นมาใหม่ โดยทำจุดยึดบริเวณล้อหลัง โดยใช้เฟืองของรถจักรยานยนต์มาใช้เนื่องจากมีราคาถูกและมีจำนวนขนาดเฟืองให้เลือกใช้มากกว่า มายึดติดกับมอเตอร์และล้อโดยใช้โซ่เป็นตัวขับ ดังรูป 3.6



รูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่กล่าวมาข้างต้น ส่วนประกอบต่างๆ ของจักรยานไฟฟ้าได้ติดตั้งบนตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงในรูป 3.7



รูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลองโครงการ

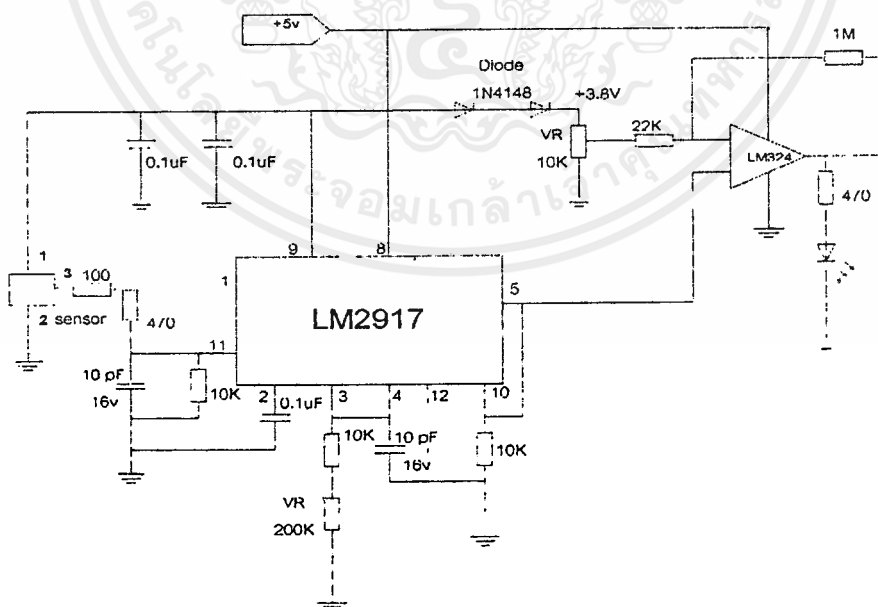
ในการทดลองการทำงานของโครงการนี้ได้แบ่งออกเป็นสองส่วนคือการทดสอบวงจรและการทดสอบการใช้งานจักรยานไฟฟ้า

4.1 การทดลองวงจร

4.1.1 ชุดควบคุมความเร็ว

- การทดลองการทำงานของวงจรวัดความเร็ว
- การทดลองการทำงานของวงจรวัดความเร็วกับรีเลย์

วัตถุประสงค์ - เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรพร้อมทั้งปรับแต่ง
- เพื่อทดสอบการทำงานของวงจรร่วมกับรีเลย์



รูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง

1. ต่อดวงจรตามรูป
2. วัดระดับแรงดันอ้างอิงที่ขาคาโอดของไดโอด
3. สังเกตสภาวะของ LED เมื่อปิดความต้านทานแบบปรับค่าหมด
4. ป้อนความถี่เข้าที่ขาสัญญาณ ประมาณ 50 Hz และหมุนความต้านทานแบบปรับค่าให้ LED ติด
ป้อนความถี่ตามตารางสังเกต LED

บันทึกการทดลอง

1. วัดระดับแรงดันอ้างอิงที่ขาคาโอดของไดโอด = $3.85V$
2. สังเกตสภาวะของ LED เมื่อปิดความต้านทานแบบปรับค่าหมด LED ดับ
3. ป้อนความถี่เข้าที่ขาสัญญาณ ประมาณ 50 Hz และหมุนความต้านทานแบบปรับค่าให้ LED ติด
ป้อนความถี่ตามตารางสังเกต LED

ความถี่ (Hz)	สภาวะ LED (ติด/ดับ)
10	ดับ
20	ดับ
30	ดับ
50	ติด
70	ติด
50	ติด
30	ดับ
20	ดับ
10	ดับ

ตาราง 3.1

4.2 ข้อมูลจำเพาะจักรยานไฟฟ้า

ระบบขับเคลื่อน	ดีซีมอเตอร์ ที่ปิดน้ำฝน ขนาด 12 โวลท์
แบตเตอรี่	ชนิดแห้ง ขนาด 12 V / 10 Ah
เครื่องชาร์จ	วงจรชาร์จแบตเตอรี่อย่างรวดเร็ว ขนาด 220 โวลท์
ความเร็วสูงสุด	20 กม./ชม. (โดยประมาณ)
ระยะทาง/การประจุไฟ	15 กม. (โดยประมาณ)
ระยะเวลาชาร์จ	4 ชั่วโมง
น้ำหนักโดยรวม	35 กิโลกรัม (น้ำหนักโดยประมาณ รวมตัวรถ, ระบบขับเคลื่อนและแบตเตอรี่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการ

5.1 สรุปผลการทำงานของโครงการ

จากการทำงานมาถึงขั้นนี้ พอที่จะสรุปการทำโครงการได้ดังนี้คือ จากการทดลองการใช้เซ็นเซอร์ UGN3503 ใช้งานได้ไม่ดีเท่าที่ควร อาจมีปัญหามาจากตัวอุปกรณ์ และขนาดของมอเตอร์ที่ใช้มีขนาดเล็กเกินไปมีกำลังไม่พอไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ขับเคลื่อน จึงทำให้รถวิ่งช้าเนื่องจากเป็นมอเตอร์ที่ปิดน้ำฝน รวมทั้งขนาดความจุของแบตเตอรี่มีขนาดความจุน้อยเกินไปทำให้ระยะทางที่รถวิ่งได้น้อย

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงการ

ในการทำโครงการนี้ได้ประสบปัญหาต่าง ๆ พอที่จะสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.2.1 ปัญหาเรื่องกำลังของมอเตอร์

เนื่องจากในการทำโครงการนี้ได้ใช้มอเตอร์มือสองที่ใช้งานแล้วมาใช้เป็นมอเตอร์ขับเคลื่อนจักรยาน และมอเตอร์นั้นมีขนาดเล็กทำให้มีแรงขับเคลื่อนตัวรถไม่มากพอทำให้มีผลต่อความเร็วและการรับน้ำหนัก เพราะว่าดีซีมอเตอร์ของใหม่ ตามสเปฟิเคชัน (Specification) ที่เราต้องการนั้นมีราคาสูงกว่ามาก

แนวทางการแก้ไข

- ต้องหามอเตอร์ขับเคลื่อนตัวใหม่ที่มีความเร็ว และมีแรงมากกว่านี้มาใช้แทน
- หาขนาดเฟืองที่เหมาะสมมาใช้แทน

5.2.2 ปัญหาเรื่องความจุของแบตเตอรี่

เนื่องจากในโครงการนี้ความจุของแบตเตอรี่เป็นเรื่องที่สำคัญมากเพราะว่ามีผลต่อระยะทางที่จักรยานจะขับเคลื่อนไปได้ ถ้าความจุของแบตเตอรี่มีน้อย รถจักรยาน ไฟฟ้าก็จะวิ่งได้ระยะทางน้อย และถ้าความจุของแบตเตอรี่มีมากก็จะทำให้รถจักรยานไฟฟ้าวิ่งได้ไกล โครงการนี้ใช้แบตเตอรี่ขนาด 12V/10A จึงทำให้ระยะที่จักรยานวิ่งได้ไม่ไกลมาก

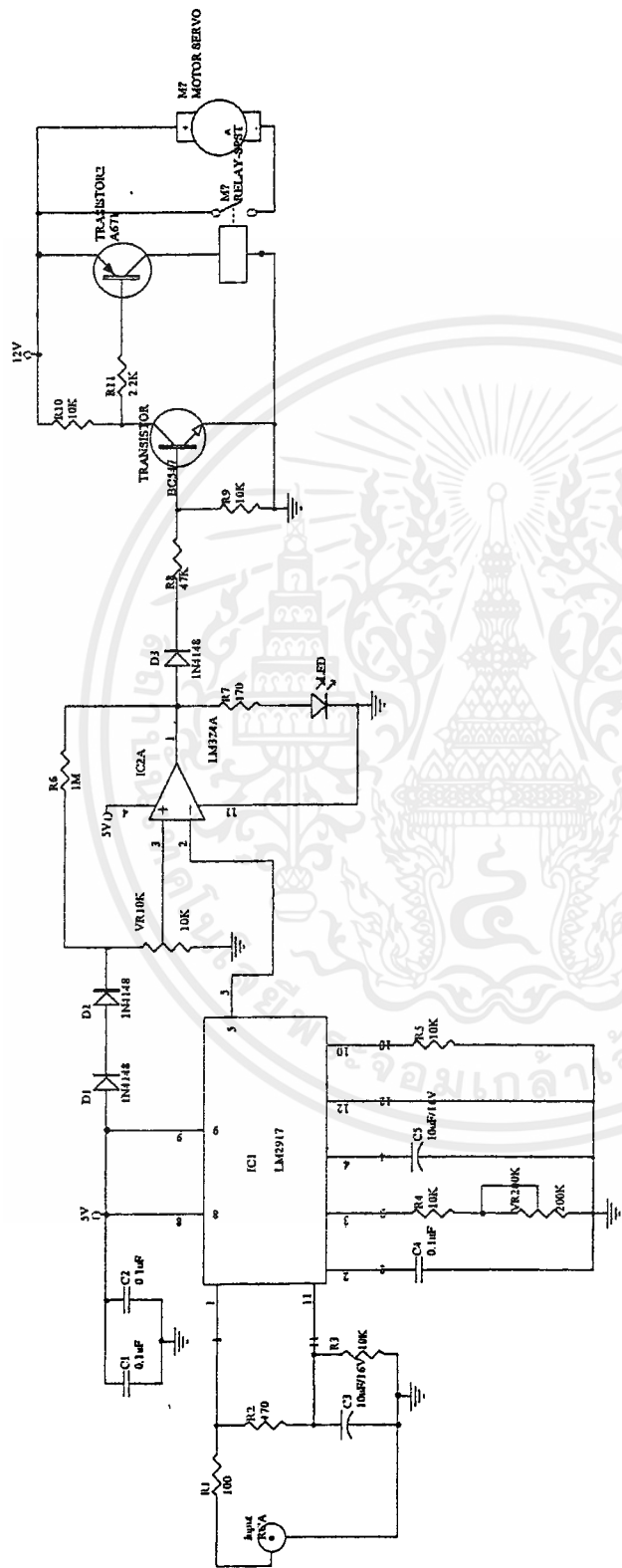
แนวทางการแก้ไข

- เปลี่ยนไปใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาดความจุมากกว่านี้

บรรณานุกรม

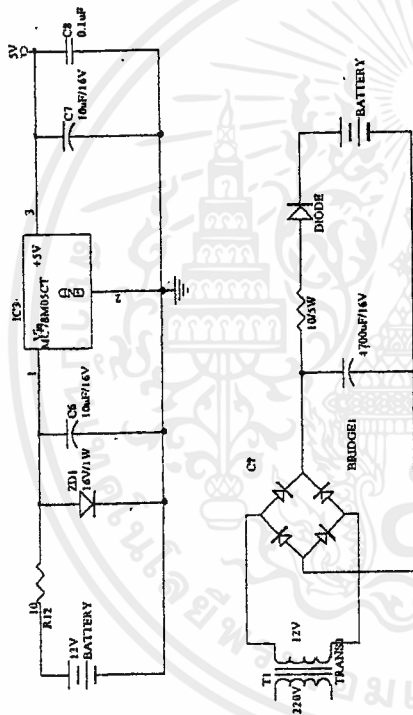
1. ผศ.สุภชัย สุรินทร์วงศ์ , เครื่องกลไฟฟ้า 1 ตอน 2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง , ดวงกมลสมัย , 2541
2. อ.นรินทร์ เนาวประทีป , ออปแอมป์ , สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ , 2538
3. ชำนาญ น้ำดอกไม้ , เครื่องแสดงตำแหน่งเกียร์ , วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ , ซีเอ็ดดูเคชั่น , ฉบับที่ 197 , 2542





Title	
Size	Number
B	1
Date:	18 May 2000
File:	E:\PROJEC-NCBP\19CH
Sheet of	Drawn By
6	
Revision	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title

Size

Number

Revision

Date

Sheet of

Drawn By

FILE

8.11.2008

6

8.11.2008

8.11.2008

8.11.2008

8.11.2008

8.11.2008

8.11.2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RATIOMETRIC, LINEAR HALL-EFFECT SENSORS

The UGN3503LT, UGN3503U, and UGN3503UA Hall-effect sensors accurately track extremely small changes in magnetic flux density—changes generally too small to operate Hall-effect switches.

As motion detectors, gear tooth sensors, and proximity detectors, they are magnetically driven mirrors of mechanical events. As sensitive monitors of electromagnets, they can effectively measure a system's performance with negligible system loading while providing isolation from contaminated and electrically noisy environments.

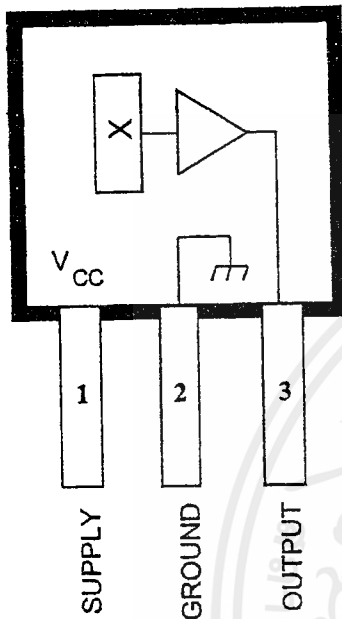
Each Hall-effect integrated circuit includes a Hall sensing element, linear amplifier, and emitter-follower output stage. Problems associated with handling tiny analog signals are minimized by having the Hall cell and amplifier on a single chip.

Three package styles provide a magnetically optimized package for most applications. Package suffix 'LT' is a miniature SOT-89/TO-243AA transistor package for surface-mount applications; suffix 'U' is a miniature three-lead plastic SIP, while 'UA' is a three-lead ultra-mini-SIP. All devices are rated for continuous operation over the temperature range of -20°C to +85°C.

FEATURES

- Extremely Sensitive
- Flat Response to 23 kHz
- Low-Noise Output
- 4.5 V to 6 V Operation
- Magnetically Optimized Package

Pinning is shown viewed from branded side.



Dwg. PH-006

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

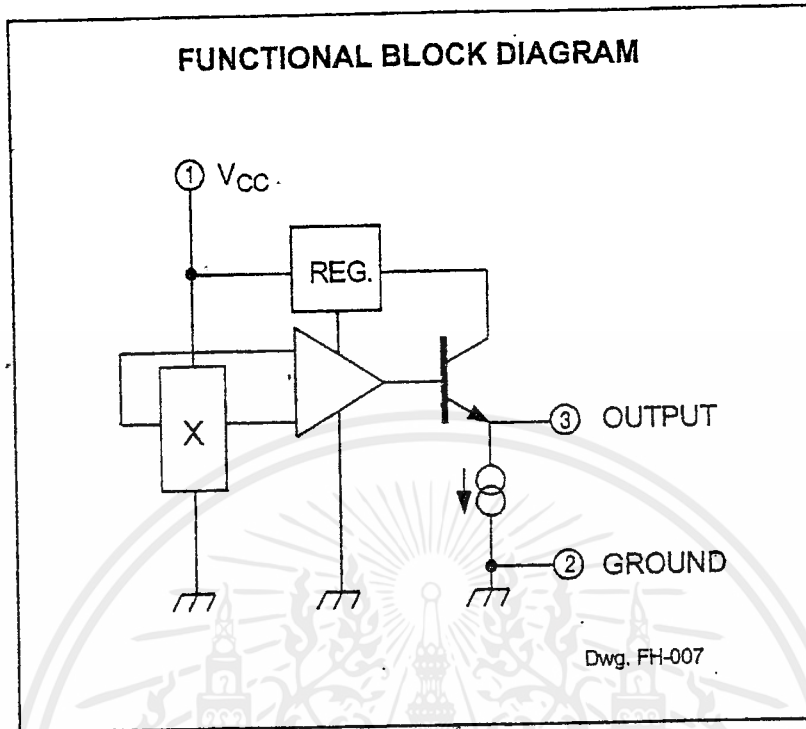
Supply Voltage, V_{CC}	8 V
Magnetic Flux Density, B	Unlimited
Operating Temperature Range,	
T_A	-20°C to +85°C
Storage Temperature Range,	
T_S	-65°C to +150°C

Always order by complete part number, e.g., **UGN3503UA**.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3503
RATIOMETRIC,
LINEAR
HALL-EFFECT SENSORS



ELECTRICAL CHARACTERISTICS at $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 5\text{ V}$

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Limits			Units
			Min.	Typ.	Max.	
Operating Voltage	V_{CC}		4.5	—	6.0	V
Supply Current	I_{CC}		—	9.0	13	mA
Quiescent Output Voltage	V_{OUT}	$B = 0\text{ G}$	2.25	2.50	2.75	V
Sensitivity	ΔV_{OUT}	$B = 0\text{ G to } \pm 900\text{ G}$	0.75	1.30	1.75	mV/G
Bandwidth (-3 dB)	BW		—	23	—	kHz
Broadband Output Noise	V_{out}	$BW = 10\text{ Hz to } 10\text{ kHz}$	—	90	—	μV
Output Resistance	R_{OUT}		—	50	220	Ω

All output-voltage measurements are made with a voltmeter having an input impedance of at least 10 k Ω .

Magnetic flux density is measured at most sensitive area of device located 0.016" (0.41 mm) below the branded face of the 'U' package; 0.020" (0.51 mm) below the branded face of the 'UA' package; and 0.030" (0.76 mm) below the branded face of the 'LT' package.

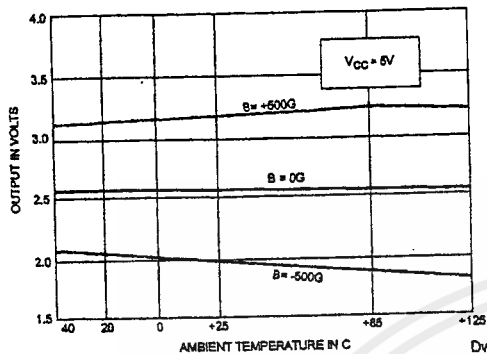


115 Northeast Cutoff, Box 15036
 Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
 Copyright © 1985, 1999, Allegro MicroSystems, Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

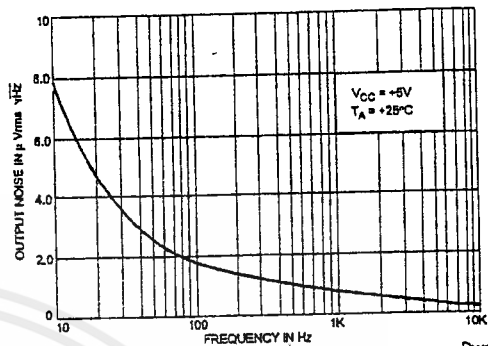
3503 RATIOMETRIC, LINEAR HALL-EFFECT SENSORS

OUTPUT VOLTAGE AS A FUNCTION OF TEMPERATURE



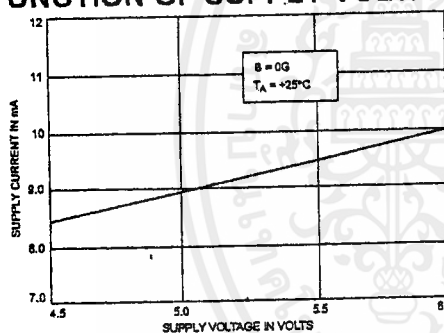
Dwg. A-12,573

OUTPUT NOISE AS A FUNCTION OF FREQUENCY



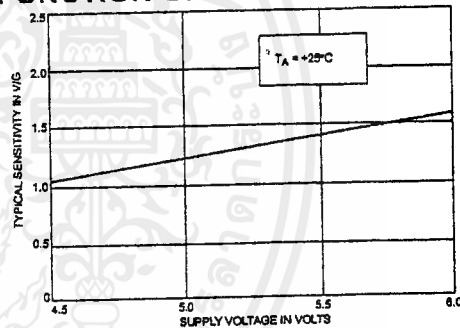
Dwg. A-12,505

SUPPLY CURRENT AS A FUNCTION OF SUPPLY VOLTAGE



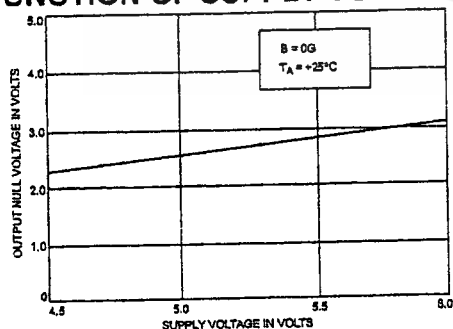
Dwg. A-12,506

DEVICE SENSITIVITY AS A FUNCTION OF SUPPLY VOLTAGE



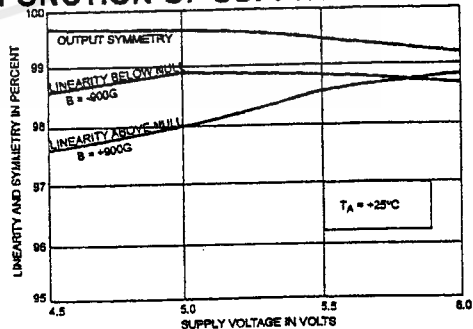
Dwg. A-12,507

OUTPUT NULL VOLTAGE AS A FUNCTION OF SUPPLY VOLTAGE



Dwg. A-12,508

LINEARITY AND SYMMETRY AS A FUNCTION OF SUPPLY VOLTAGE

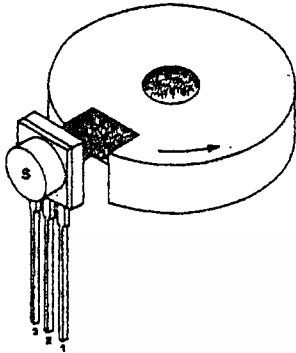


Dwg. A-12,509

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

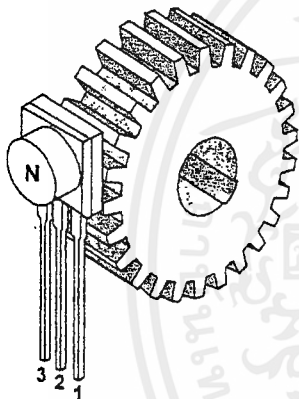
3503 RATIOMETRIC, LINEAR HALL-EFFECT SENSORS

NOTCH SENSOR



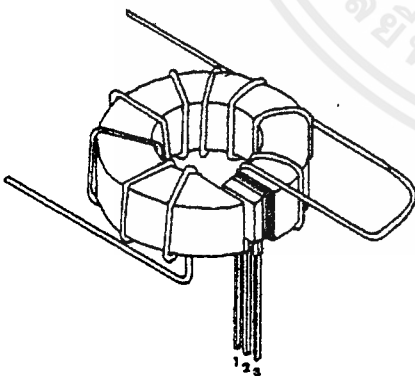
Dwg. A-12,574

GEAR TOOTH SENSOR



Dwg. A-12,512

CURRENT MONITOR



Dwg. A-12,513

OPERATION

The output null voltage ($B = 0$ G) is nominally one-half the supply voltage. A south magnetic pole, presented to the branded face of the Hall-effect sensor will drive the output higher than the null voltage level. A north magnetic pole will drive the output below the null level.

In operation, instantaneous and proportional output-voltage levels are dependent on magnetic flux density at the most sensitive area of the device. Greatest sensitivity is obtained with a supply voltage of 6 V, but at the cost of increased supply current and a slight loss of output symmetry. The sensor's output is usually capacitively coupled to an amplifier that boosts the output above the millivolt level.

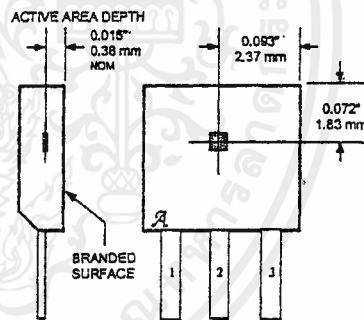
In two applications shown, a permanent bias magnet is attached with epoxy glue to the back of the epoxy package. The presence of ferrous material at the face of the package acts as a flux concentrator.

The south pole of a magnet is attached to the back of the package if the Hall-effect IC is to sense the presence of ferrous material. The north pole of a magnet is attached to the back surface if the integrated circuit is to sense the absence of ferrous material.

Calibrated linear Hall devices, which can be used to determine the actual flux density presented to the sensor in a particular application, are available.

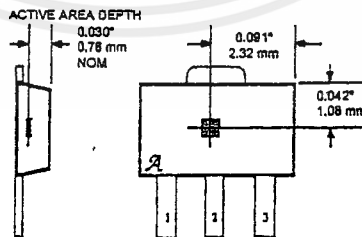
SENSOR LOCATIONS

SUFFIX "U"



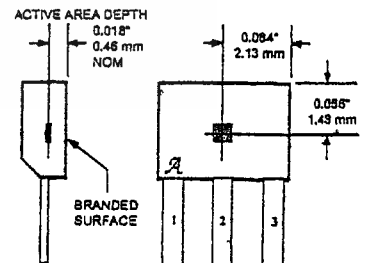
Dwg. MH-009-6C

SUFFIX "LT"



Dwg. MH-008-8

SUFFIX "UA"



Dwg. MH-011-3C



115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

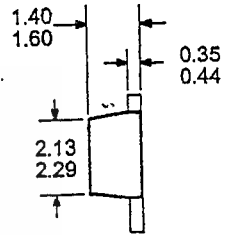
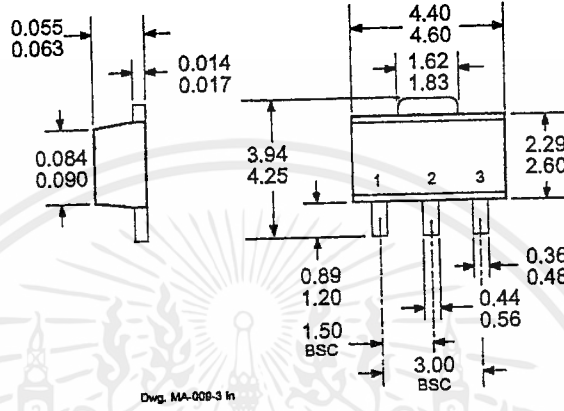
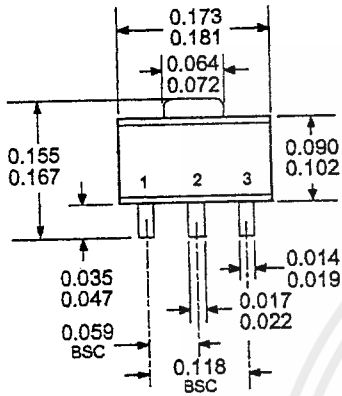
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3503 RATIOMETRIC, LINEAR HALL-EFFECT SENSORS

UGN3503LT (SOT-89/TO-243AA)

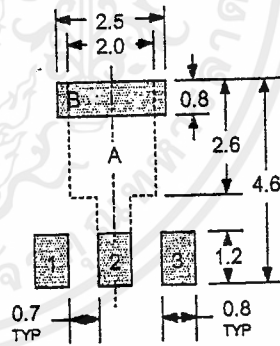
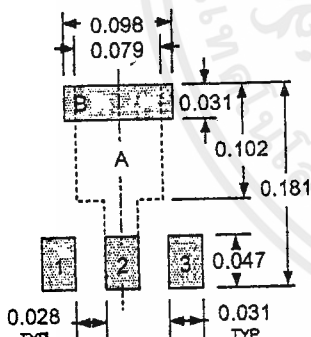
Dimensions in Inches
(for reference only)

Dimensions in Millimeters
(controlling dimensions)



Dwg. MA-008-3 in

Dwg. MA-008-3 mm



Pads 1, 2, 3, and A — Standard SOT-89 Layout
 Pads 1, 2, 3, and B — Low-Stress Version
 Pads 1, 2, and 3 only — Lowest Stress, But Not Self Aligning

Pads 1, 2, 3, and A — Standard SOT-89 Layout
 Pads 1, 2, 3, and B — Low-Stress Version
 Pads 1, 2, and 3 only — Lowest Stress, But Not Self Aligning

Dwg. MA-012-3 in

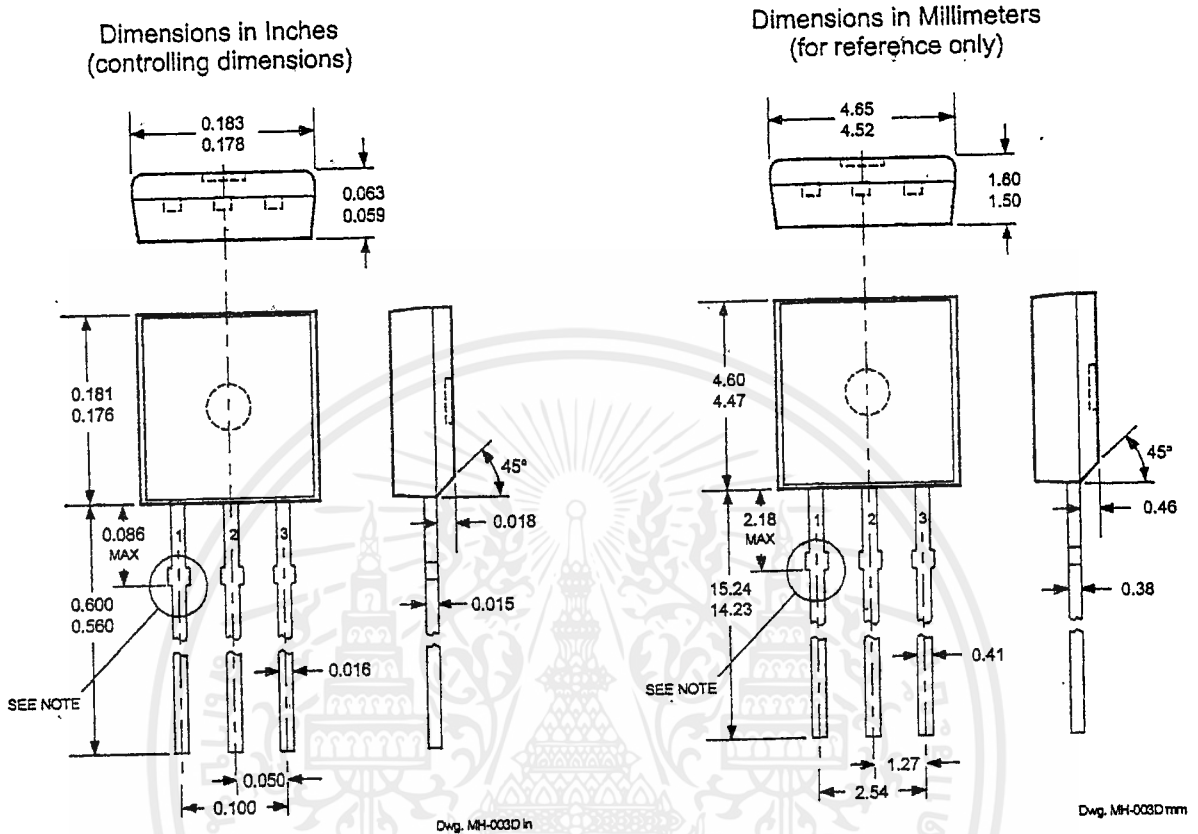
Dwg. MA-012-3 mm

NOTE: Exact body and lead configuration at vendor's option within limits shown.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3503
RATIOMETRIC,
LINEAR
HALL-EFFECT SENSORS

UGN3503U



Devices in the 'U' package are
NOT RECOMMENDED FOR NEW DESIGN

- NOTES:
1. Tolerances on package height and width represent allowable mold offsets. Dimensions given are measured at the widest point (parting line).
 2. Exact body and lead configuration at vendor's option within limits shown.
 3. Height does not include mold gate flash.
 4. Recommended minimum PWB hole diameter to clear transition area is 0.035" (0.89 mm).
 5. Minimum lead length was 0.500" (12.70 mm). If existing product to the original specifications is not acceptable, contact sales office before ordering.



115 Northeast Cutoff, Box 15036
 Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

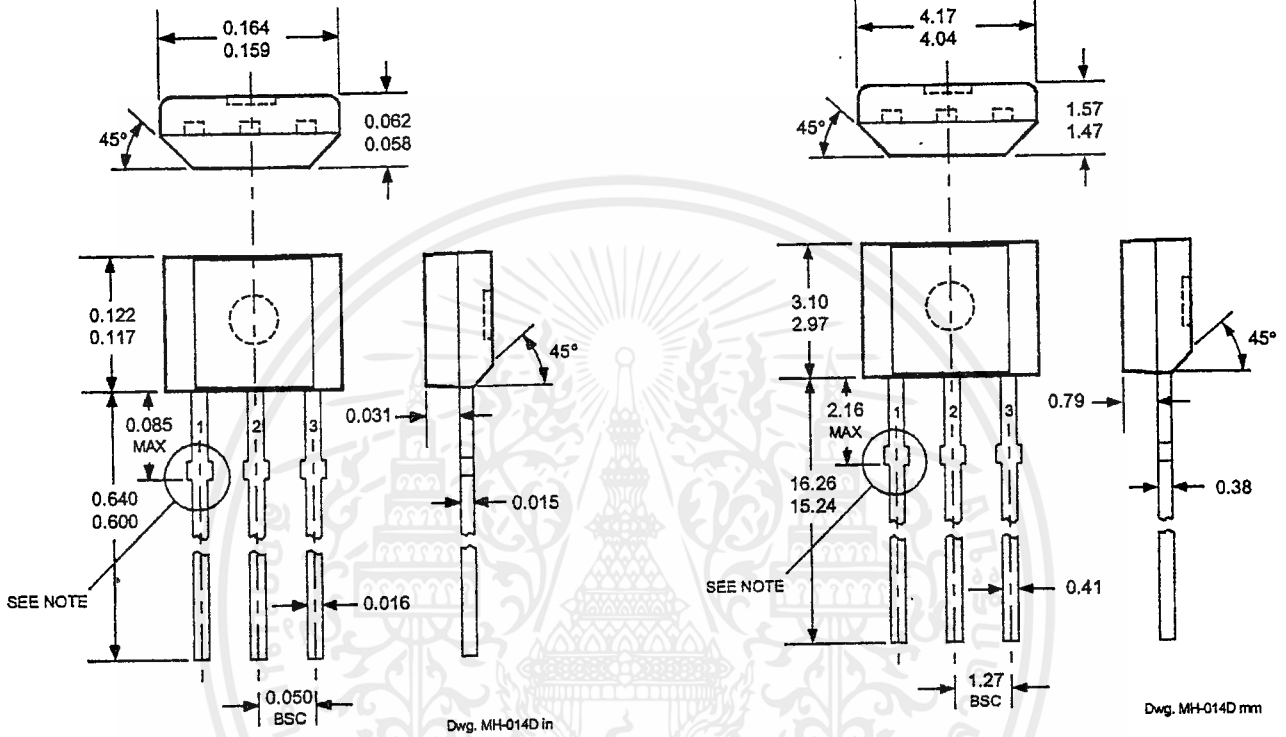
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3503
RATIOMETRIC,
LINEAR
HALL-EFFECT SENSORS

UGN3503UA

Dimensions in Inches
(controlling dimensions)

Dimensions in Millimeters
(for reference only)



- NOTES: 1. Tolerances on package height and width represent allowable mold offsets. Dimensions given are measured at the widest point (parting line).
2. Exact body and lead configuration at vendor's option within limits shown.
3. Height does not include mold gate flash.
4. Minimum lead length was 0.500" (12.70 mm). If existing product to the original specifications is not acceptable, contact sales office before ordering.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3503
RATIOMETRIC,
LINEAR
HALL-EFFECT SENSORS



Allegro MicroSystems, Inc. reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the design of its products.

The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, Inc. assumes no responsibility for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use.



115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM2907/LM2917 Frequency to Voltage Converter

General Description

The LM2907, LM2917 series are monolithic frequency to voltage converters with a high gain op-amp/comparator designed to operate a relay, lamp, or other load when the input frequency reaches or exceeds a selected rate. The tachometer uses a charge pump technique and offers frequency doubling for low ripple, full input protection in two versions (LM2907-8, LM2917-8) and its output swings to ground for a zero frequency input.

Advantages

- Output swings to ground for zero frequency input
- Easy to use; $V_{OUT} = f_{IN} \times V_{CC} \times R1 \times C1$
- Only one RC network provides frequency doubling
- Zener regulator on chip allows accurate and stable frequency to voltage or current conversion (LM2917)

Features

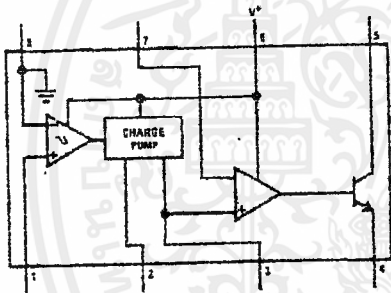
- Ground referenced tachometer input interfaces directly with variable reluctance magnetic pickups
- Op amp/comparator has floating transistor output
- 50 mA sink or source to operate relays, solenoids, meters, or LEDs

- Frequency doubling for low ripple
- Tachometer has built-in hysteresis with either differential input or ground referenced input
- Built-in zener on LM2917
- $\pm 0.3\%$ linearity typical
- Ground referenced tachometer is fully protected from damage due to swings above V_{CC} and below ground

Applications

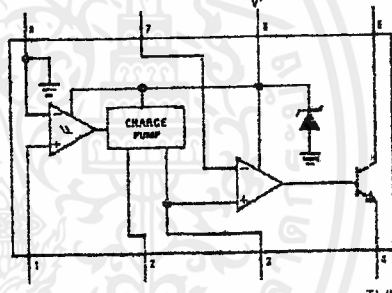
- Over/under speed sensing
- Frequency to voltage conversion (tachometer)
- Speedometers
- Breaker point dwell meters
- Hand-held tachometer
- Speed governors
- Cruise control
- Automotive door lock control
- Clutch control
- Horn control
- Touch or sound switches

Block and Connection Diagrams Dual-In-Line and Small Outline Packages, Top Views



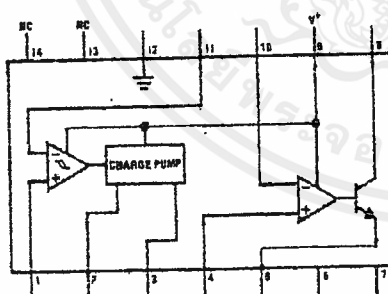
TL/H/7942-1

Order Number LM2907M-8 or LM2907N-8
See NS Package Number M08A or N08E



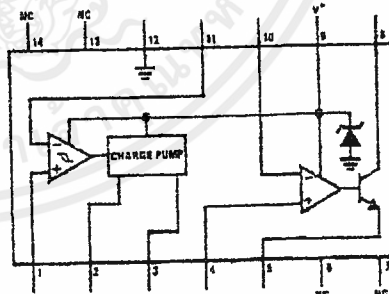
TL/H/7942-2

Order Number LM2917M-8 or LM2917N-8
See NS Package Number M08A or N08E



TL/H/7942-3

Order Number LM2907N
See NS Package Number N14A



TL/H/7942-4

Order Number LM2917M or LM2917N
See NS Package Number M14A or N14A

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

Supply Voltage	28V
Supply Current (Zener Options)	25 mA
Collector Voltage	28V
Differential Input Voltage	
Tachometer	28V
Op Amp/Comparator	28V
Input Voltage Range	
Tachometer LM2907-8, LM2917-8	±28V
LM2907, LM2917	0.0V to +28V
Op Amp/Comparator	0.0V to +28V

Power Dissipation	
LM2907-8, LM2917-8	1200 mW
LM2907-14, LM2917-14	1560 mW
(See Note 1)	

Operating Temperature Range	-40°C to +185°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 seconds)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (80 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 $V_{CC} = 12 V_{DC}$, $T_A = 25^\circ C$, see test circuit

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
TACHOMETER						
	Input Thresholds	$V_{IN} = 250 \text{ mVp-p @ } 1 \text{ kHz (Note 2)}$	±10	±25	±40	mV
	Hysteresis	$V_{IN} = 250 \text{ mVp-p @ } 1 \text{ kHz (Note 2)}$		30		mV
	Offset Voltage	$V_{IN} = 250 \text{ mVp-p @ } 1 \text{ kHz (Note 2)}$				
	LM2907/LM2917			3.5	10	mV
	LM2907-8/LM2917-8			5	15	mV
	Input Bias Current	$V_{IN} = \pm 50 \text{ mV}_{DC}$		0.1	1	μA
V_{OH}	Pin 2	$V_{IN} = +125 \text{ mV}_{DC}$ (Note 3)		8.9		V
V_{OL}	Pin 2	$V_{IN} = -125 \text{ mV}_{DC}$ (Note 3)		2.3		V
I_2, I_3	Output Current	$V_2 = V_3 = 6.0 \text{ V}$ (Note 4)	140	180	240	μA
I_3	Leakage Current	$I_2 = 0, V_3 = 0$			0.1	μA
K	Gain Constant	(Note 3)	0.9	1.0	1.1	
	Linearity	$f_{IN} = 1 \text{ kHz, } 5 \text{ kHz, } 10 \text{ kHz (Note 5)}$	-1.0	0.3	+1.0	%
OP/AMP COMPARATOR						
V_{OS}		$V_{IN} = 6.0 \text{ V}$		3	10	mV
I_{BIAS}		$V_{IN} = 6.0 \text{ V}$		50	500	nA
	Input Common-Mode Voltage		0		$V_{CC} - 1.5 \text{ V}$	V
	Voltage Gain			200		V/mV
	Output Sink Current	$V_C = 1.0$	40	50		mA
	Output Source Current	$V_E = V_{CC} - 2.0$		10		mA
	Saturation Voltage	$I_{SINK} = 5 \text{ mA}$		0.1	0.5	V
		$I_{SINK} = 20 \text{ mA}$			1.0	V
		$I_{SINK} = 50 \text{ mA}$		1.0	1.5	V

Electrical Characteristics $V_{CC} = 12 V_{DD}$, $T_A = 25^\circ C$, see test circuit (Continued)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ZENER REGULATOR						
	Regulator Voltage	$R_{DROD} = 470\Omega$		7.56		V
	Series Resistance			10.5	15	Ω
	Temperature Stability			+1		mV/°C
	TOTAL SUPPLY CURRENT			9.8	6	mA

Note 1: For operation in ambient temperatures above $25^\circ C$, the device must be derated based on a $150^\circ C$ maximum junction temperature and a thermal resistance of $101^\circ C/W$ junction to ambient for LM2907-8 and LM2917-8, and $79^\circ C/W$ junction to ambient for LM2907-14 and LM2917-14.

Note 2: Hysteresis is the sum $+V_{TH} - (-V_{TL})$, offset voltage is their difference. See test circuit.

Note 3: V_{OH} is equal to $\frac{1}{4} \times V_{CC} - 1 V_{BE}$, V_{OL} is equal to $\frac{1}{4} \times V_{CC} - 1 V_{BE}$ therefore $V_{OH} - V_{OL} = V_{CC}/2$. The difference, $V_{OH} - V_{OL}$ and the mirror gain, I_2/I_3 , are the two factors that cause the tachometer gain constant to vary from 1.0.

Note 4: Be sure when choosing the time constant $R1 \times C1$ that $R1$ is such that the maximum anticipated output voltage at pin 3 can be reached with $I_3 \times R1$. The maximum value for $R1$ is limited by the output resistance of pin 3 which is greater than $10 M\Omega$ typically.

Note 5: Nonlinearity is defined as the deviation of V_{OUT} (at pin 3) for $f_N = 6$ kHz from a straight line defined by the V_{OUT} at 1 kHz and V_{OUT} at 10 kHz. $C1 = 1000$ pF, $R1 = 58k$ and $C2 = 0.22$ mF.

General Description (Continued)

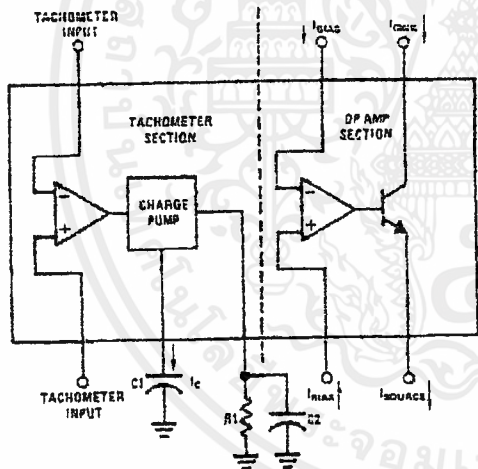
The op amp/comparator is fully compatible with the tachometer and has a floating transistor as its output. This feature allows either a ground or supply referred load of up to 50 mA. The collector may be taken above V_{CC} up to a maximum V_{CE} of 26V.

The two basic configurations offered include an 8-pin device with a *ground referenced tachometer* input and an internal connection between the tachometer output and the op amp non-inverting input. This version is well suited for single speed or frequency switching or fully buffered frequency to voltage conversion applications.

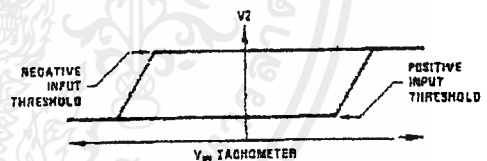
The more versatile configurations provide differential tachometer input and uncommitted op amp inputs. With this version the tachometer input may be floated and the op amp becomes suitable for active filter conditioning of the tachometer output.

Both of these configurations are available with an active shunt regulator connected across the power leads. The regulator clamps the supply such that stable frequency to voltage and frequency to current operations are possible with any supply voltage and a suitable resistor.

Test Circuit and Waveform



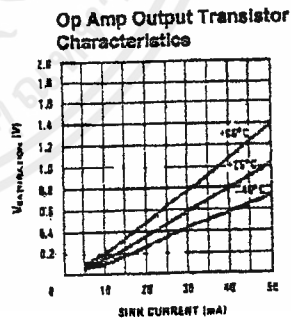
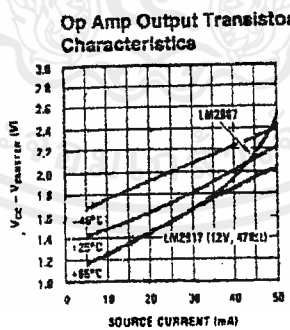
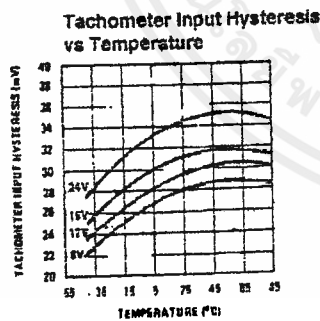
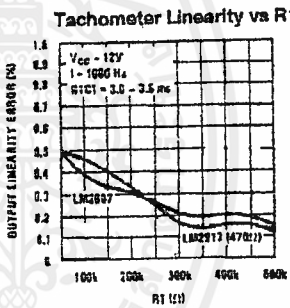
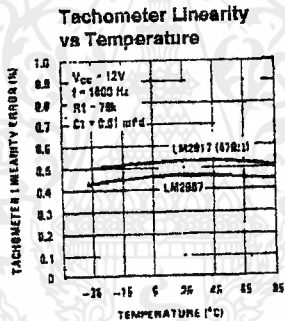
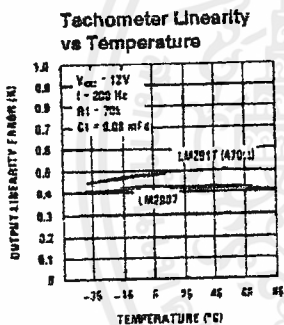
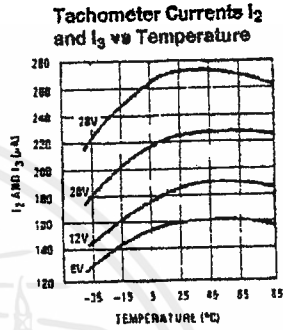
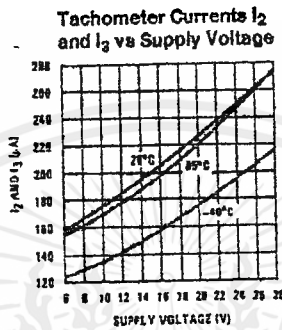
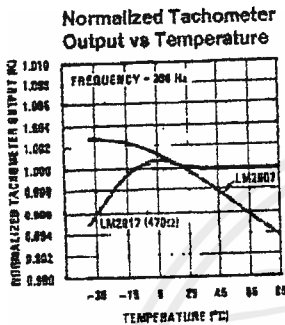
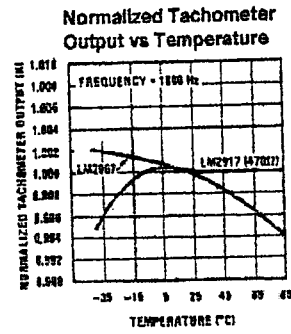
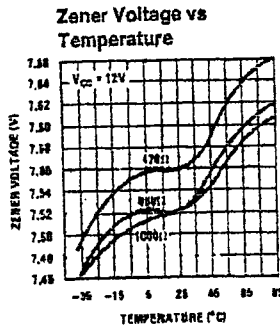
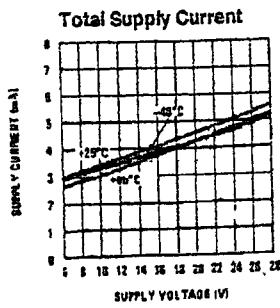
Tachometer Input Threshold Measurement



TL/H/7942-7

TL/H/7942-8

Typical Performance Characteristics



TL/H/7942-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information

The LM2907 series of tachometer circuits is designed for minimum external part count applications and maximum versatility. In order to fully exploit its features and advantages let's examine its theory of operation. The first stage of operation is a differential amplifier driving a positive feedback flip-flop circuit. The input threshold voltage is the amount of differential input voltage at which the output of this stage changes state. Two options (LM2907-8, LM2917-8) have one input internally grounded so that an input signal must swing above and below ground and exceed the input thresholds to produce an output. This is offered specifically for magnetic variable reluctance pickups which typically provide a single-ended ac output. This single input is also fully protected against voltage swings to $\pm 28V$, which are easily attained with these types of pickups.

The differential input options (LM2907, LM2917) give the user the option of setting his own input switching level and still have the hysteresis around that level for excellent noise rejection in any application. Of course in order to allow the inputs to attain common-mode voltages above ground, input protection is removed and neither input should be taken outside the limits of the supply voltage being used. It is very important that an input not go below ground without some resistance in its lead to limit the current that will then flow in the epi-substrate diode.

Following the input stage is the charge pump where the input frequency is converted to a dc voltage. To do this requires one timing capacitor, one output resistor, and an integrating or filter capacitor. When the input stage changes state (due to a suitable zero crossing or differential voltage on the input) the timing capacitor is either charged or discharged linearly between two voltages whose difference is $V_{CC}/2$. Then in one half cycle of the input frequency or a time equal to $1/2 f_{IN}$ the change in charge on the timing capacitor is equal to $V_{CC}/2 \times C1$. The average amount of current pumped into or out of the capacitor then is:

$$\frac{\Delta Q}{T} = I_{C(AVG)} = C1 \times \frac{V_{CC}}{2} \times (2f_{IN}) = V_{CC} \times f_{IN} \times C1$$

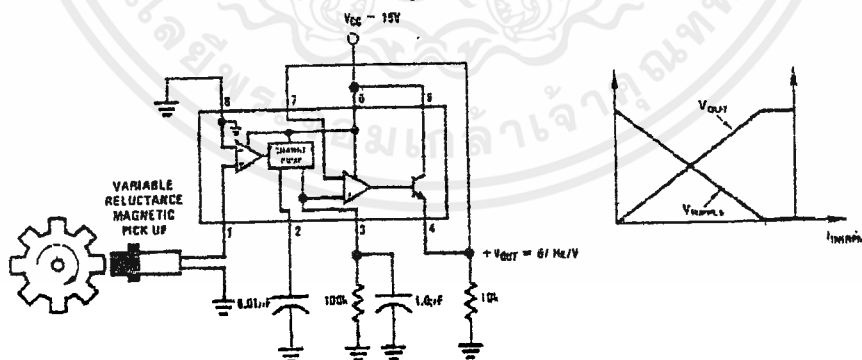
The output circuit mirrors this current very accurately into the load resistor R1, connected to ground, such that if the pulses of current are integrated with a filter capacitor, then $V_O = I_C \times R1$, and the total conversion equation becomes:

$$V_O = V_{CC} \times f_{IN} \times C1 \times R1 \times K$$

Where K is the gain constant—typically 1.0.

Typical Applications

Minimum Component Tachometer



TL/H7242-5

The size of C2 is dependent only on the amount of ripple voltage allowable and the required response time.

CHOOSING R1 AND C1

There are some limitations on the choice of R1 and C1 which should be considered for optimum performance. The timing capacitor also provides internal compensation for the charge pump and should be kept larger than 500 pF for very accurate operation. Smaller values can cause an error current on R1, especially at low temperatures. Several considerations must be met when choosing R1. The output current at pin 3 is internally fixed and therefore $V_O/R1$ must be less than or equal to this value. If R1 is too large, it can become a significant fraction of the output impedance at pin 3 which degrades linearity. Also output ripple voltage must be considered and the size of C2 is affected by R1. An expression that describes the ripple content on pin 3 for a single R1C2 combination is:

$$V_{RIPPLE} = \frac{V_{CC}}{2} \times \frac{C1}{C2} \times \left(1 - \frac{V_{CC} \times f_{IN} \times C1}{I_2}\right) \text{ pk-pk}$$

It appears R1 can be chosen independent of ripple, however response time, or the time it takes V_{OUT} to stabilize at a new voltage increases as the size of C2 increases, so a compromise between ripple, response time, and linearity must be chosen carefully.

As a final consideration, the maximum attainable input frequency is determined by V_{CC} , C1 and I_2 :

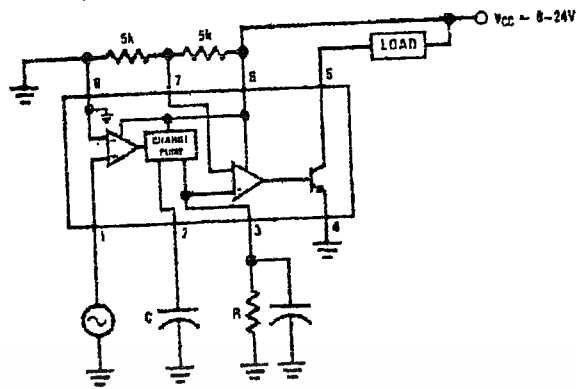
$$f_{MAX} = \frac{I_2}{C1 \times V_{CC}}$$

USING ZENER REGULATED OPTIONS (LM2917)

For those applications where an output voltage or current must be obtained independent of supply voltage variations, the LM2917 is offered. The most important consideration in choosing a dropping resistor from the unregulated supply to the device is that the tachometer and op amp circuitry alone require about 3 mA at the voltage level provided by the zener. At low supply voltages there must be some current flowing in the resistor above the 3 mA circuit current to operate the regulator. As an example, if the raw supply varies from 9V to 16V, a resistance of 470Ω will minimize the zener voltage variation to 160 mV. If the resistance goes under 400Ω or over 600Ω the zener variation quickly rises above 200 mV for the same input variation.

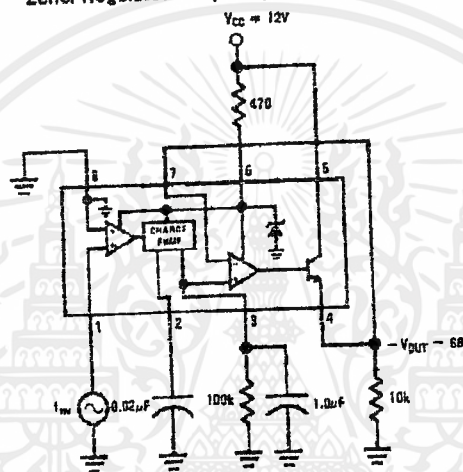
Typical Applications (Continued)

"Speed Switch" Load is Energized When $f(N) \geq \frac{1}{2RC}$



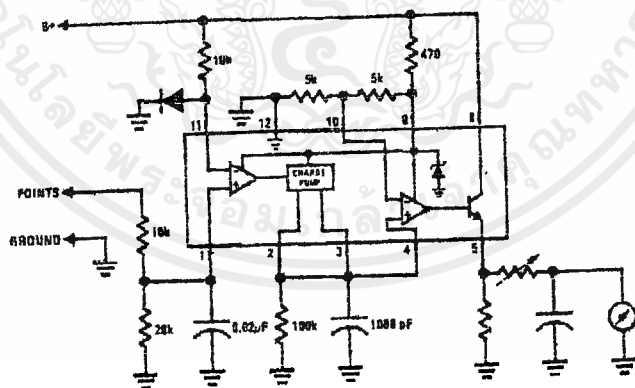
TL/H/7942-9

Zener Regulated Frequency to Voltage Converter



TL/H/7942-10

Breaker Point Dwell Meter

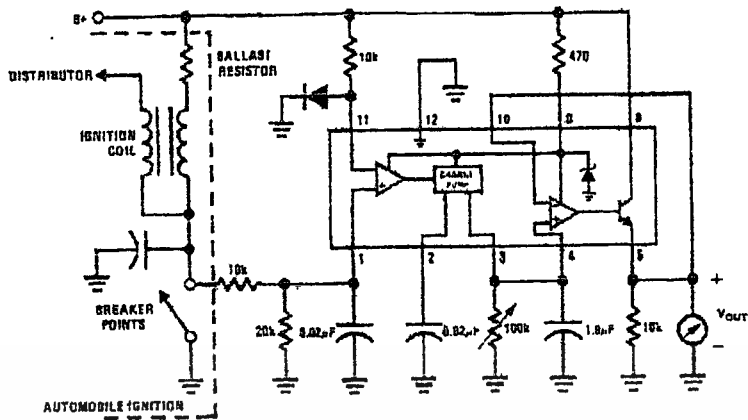


TL/H/7942-11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

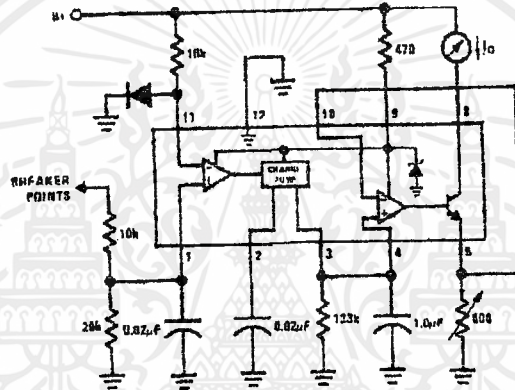
Typical Applications (Continued)

Voltage Driven Meter Indicating Engine RPM
 $V_o = 6V @ 400 \text{ Hz or } 6000 \text{ ERPM (5 Cylinder Engine)}$



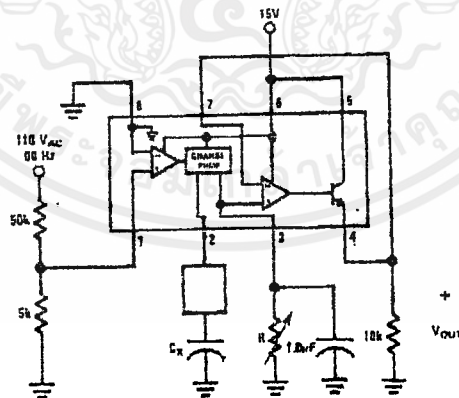
TL/H/7942-12

Current Driven Meter Indicating Engine RPM
 $I_o = 10 \text{ mA @ } 300 \text{ Hz or } 6000 \text{ ERPM (5 Cylinder Engine)}$



TL/H/7942-13

Capacitance Meter
 $V_{out} = 1V-10V \text{ for } C_x = 0.01 \text{ to } 0.1 \text{ mFd}$
 $(R = 111k)$

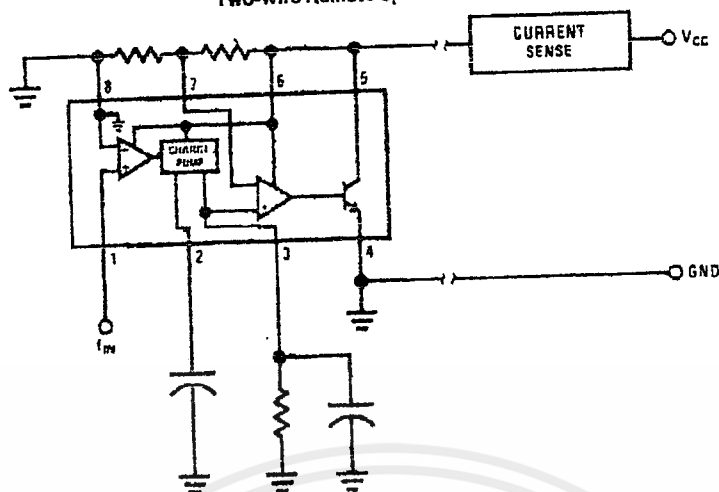


TL/H/7942-14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

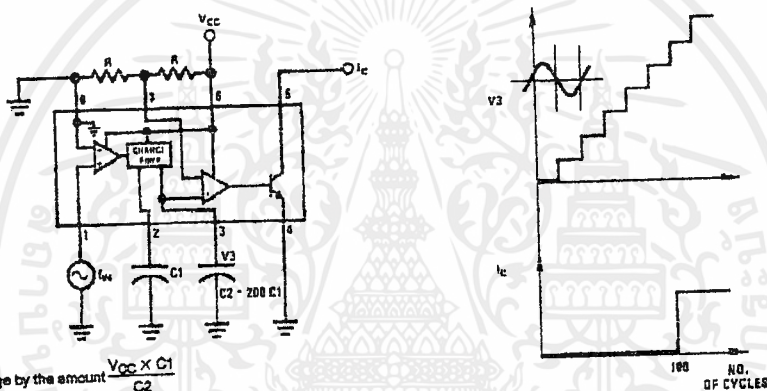
Typical Applications (Continued)

Two-Wire Remote Speed Switch



TL/H/7942-15

100 Cycle Delay Switch



V_3 steps up in voltage by the amount $\frac{V_{CC} \times C_1}{C_2}$ for each complete input cycle (2 zero crossings)

Example:

If $C_2 = 200 C_1$ after 100 consecutive input cycles,
 $V_3 = 1/2 V_{CC}$

TL/H/7942-10

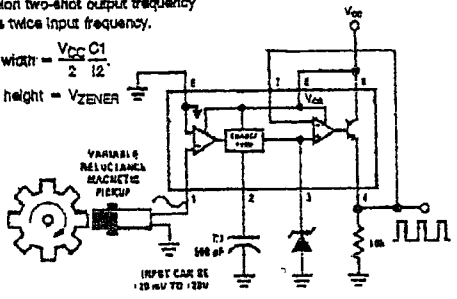
Typical Applications (Continued)

Variable Reluctance Magnetic Pickup Buffer Circuits

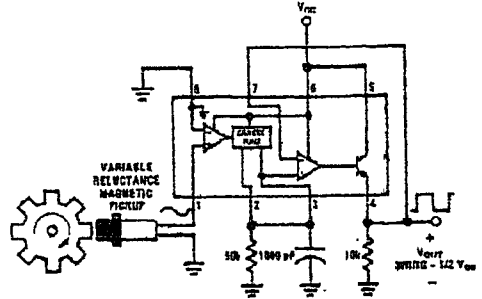
Precision two-shot output frequency equals twice input frequency.

$$\text{Pulse width} = \frac{V_{CC} C1}{2 I_Z}$$

$$\text{Pulse height} = V_{ZENER}$$

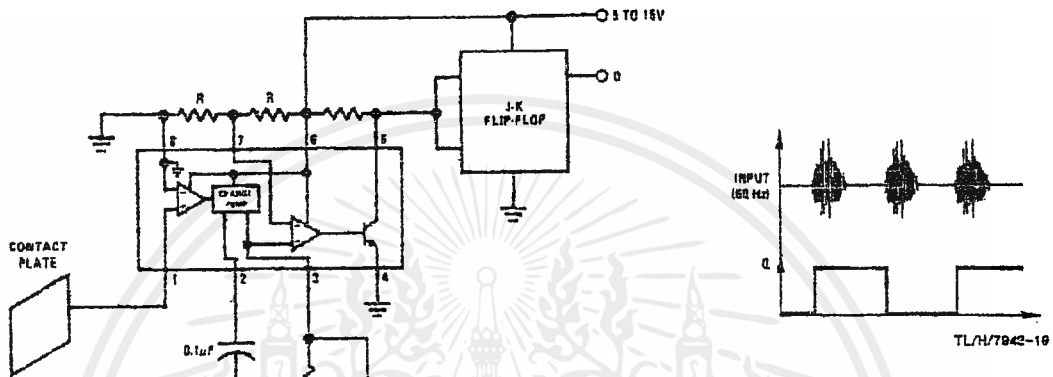


TL/H/7842-39



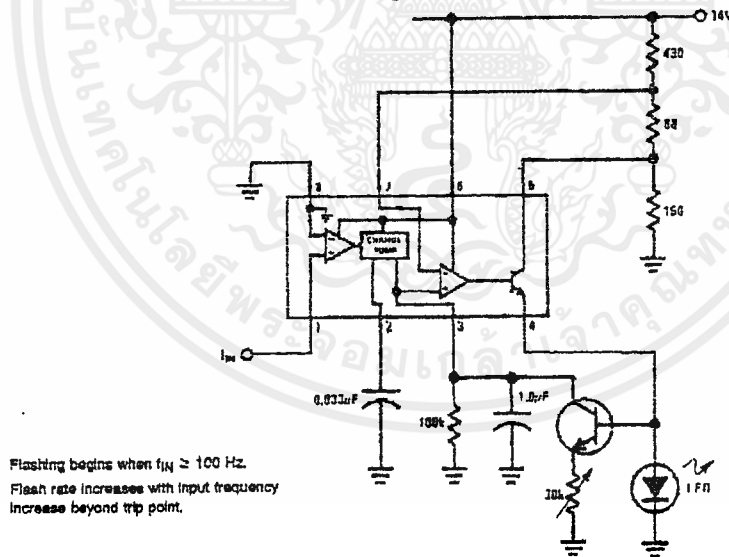
TL/H/7842-17

Finger Touch or Contact Switch



TL/H/7842-18

Flashing LED Indicates Overspeed



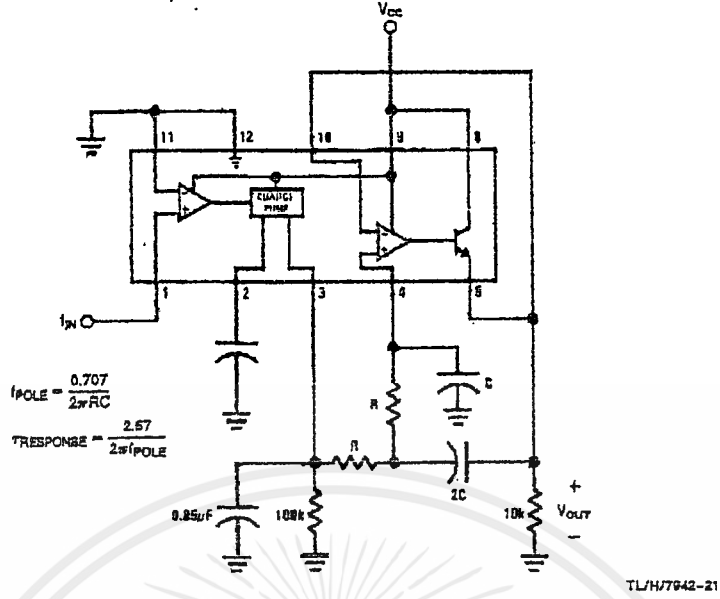
Flashing begins when $f_{IN} \geq 100$ Hz.
Flash rate increases with input frequency increase beyond trip point.

TL/H/7842-20

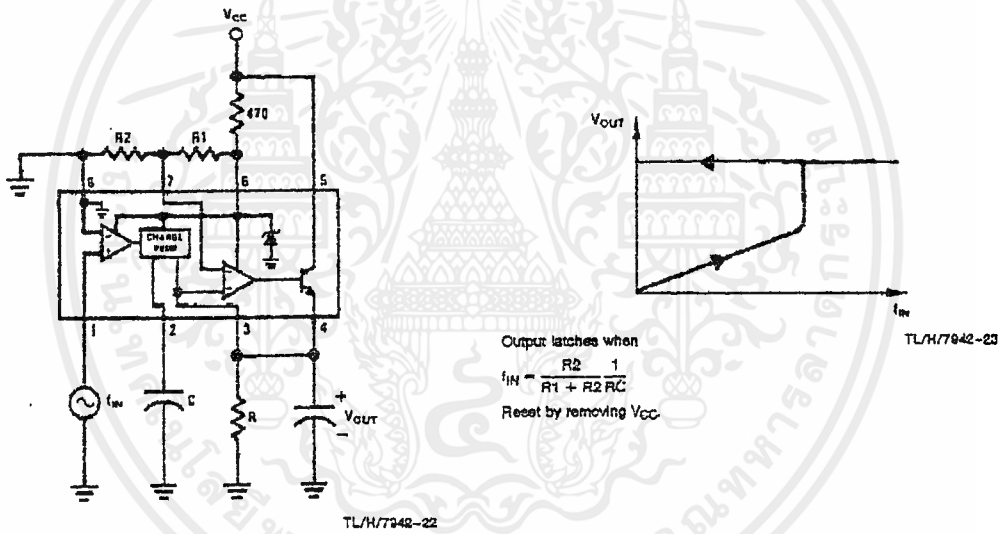
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

Frequency to Voltage Converter with 2 Pole Butterworth Filter to Reduce Ripple

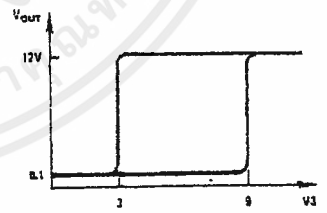
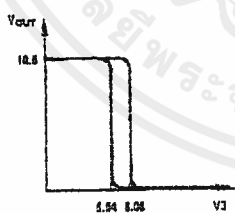
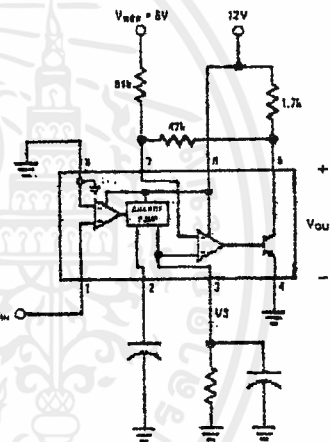
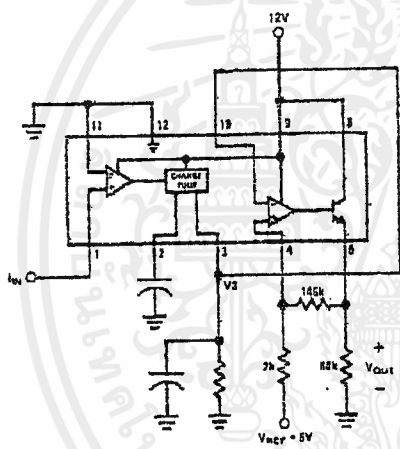
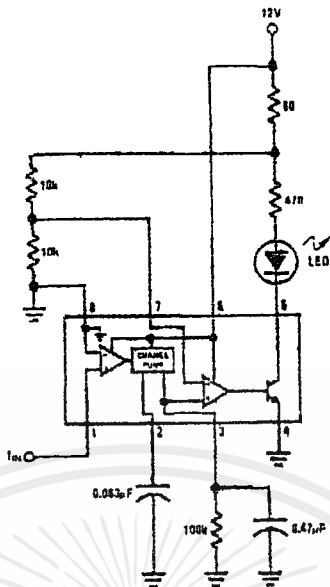


Overspeed Latch



Typical Applications (Continued)

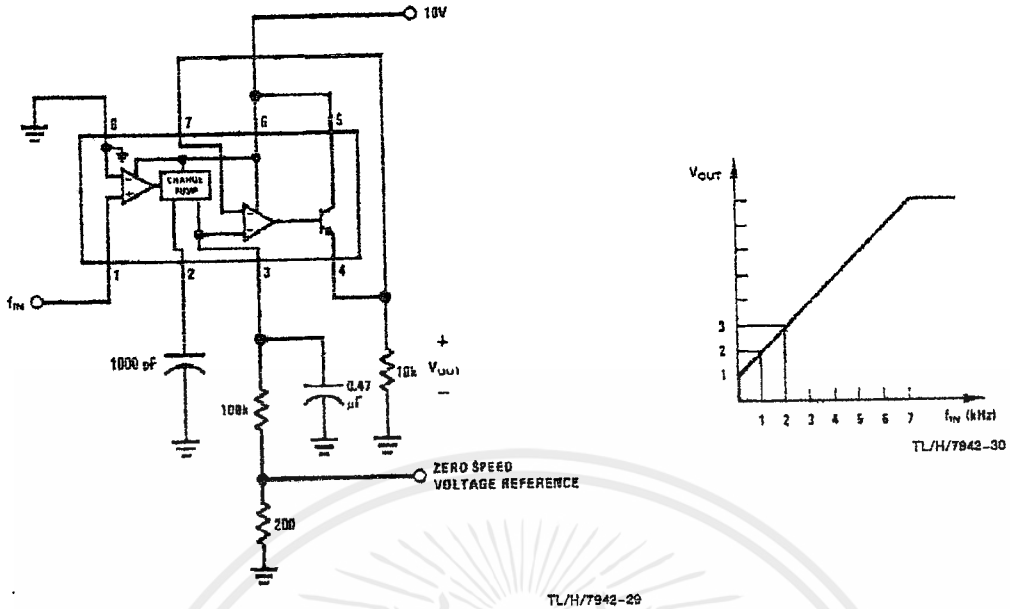
Some Frequency Switch Applications May Require Hysteresis in the Comparator Function Which can be implemented in Several Ways:



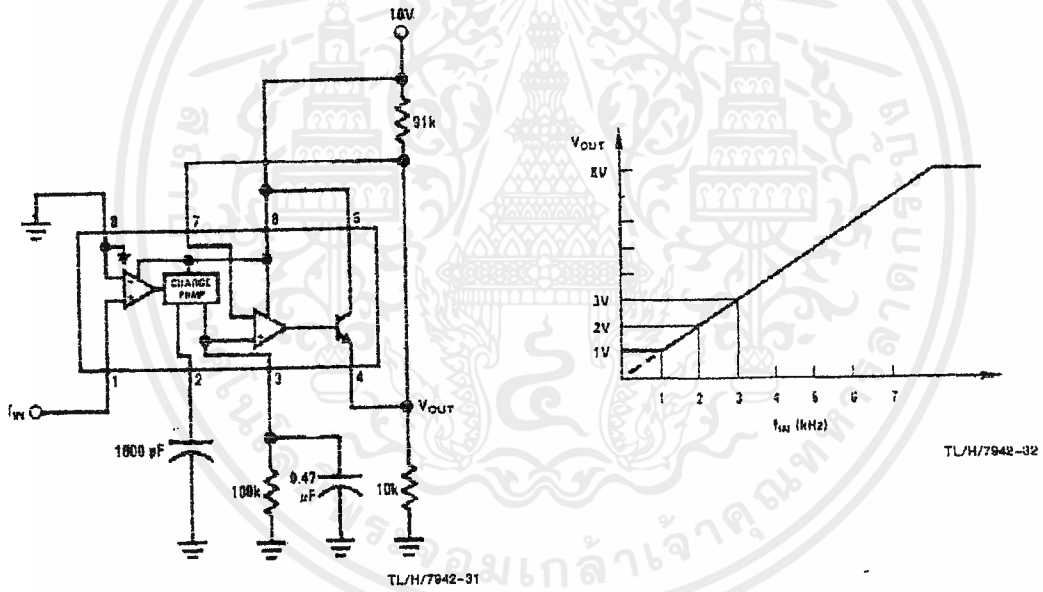
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

Changing the Output Voltage for an Input Frequency of Zero



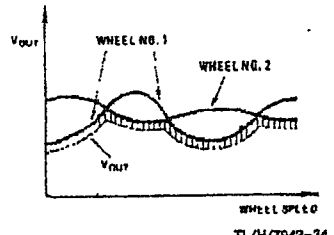
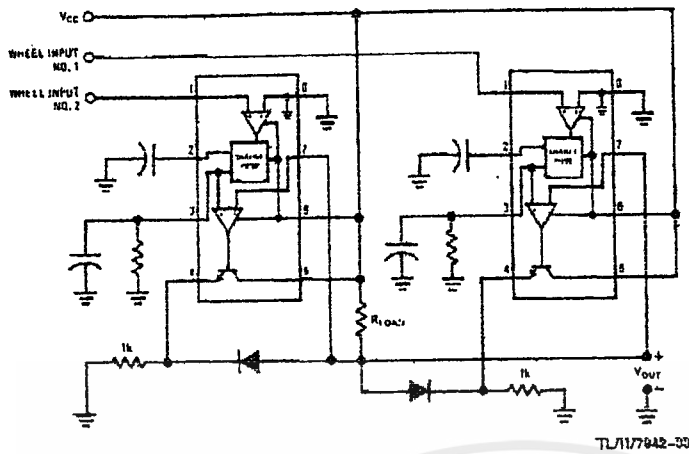
Changing Tachometer Gain Curve or Clamping the Minimum Output Voltage



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Anti-Skid Circuit Functions

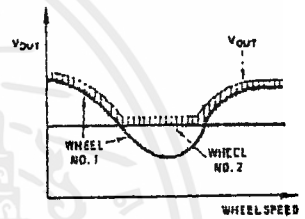
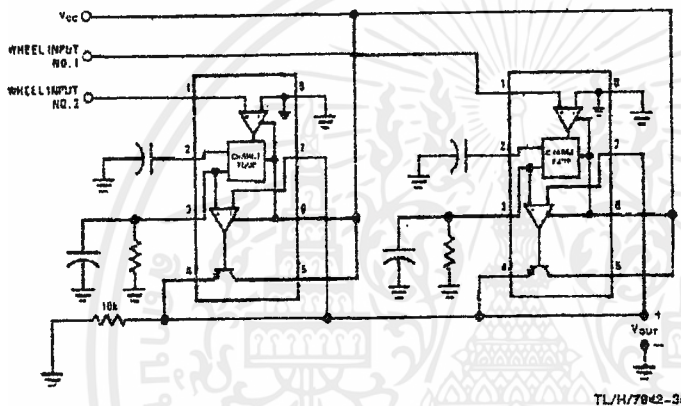
"Select-Low" Circuit



V_{OUT} is proportional to the lower of the two input wheel speeds.

TL/H/7942-33

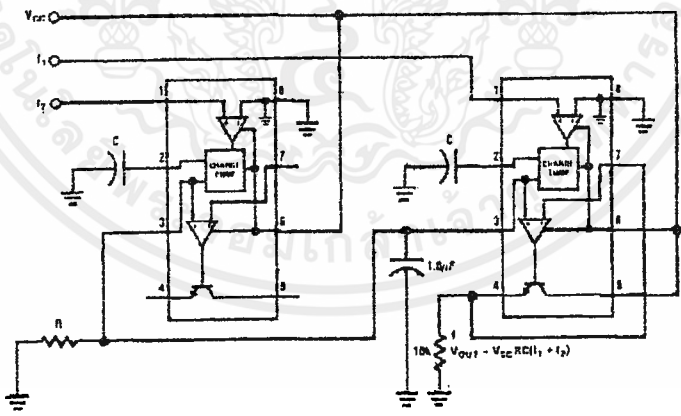
"Select-High" Circuit



V_{OUT} is proportional to the higher of the two input wheel speeds.

TL/H/7942-35

"Select-Average" Circuit

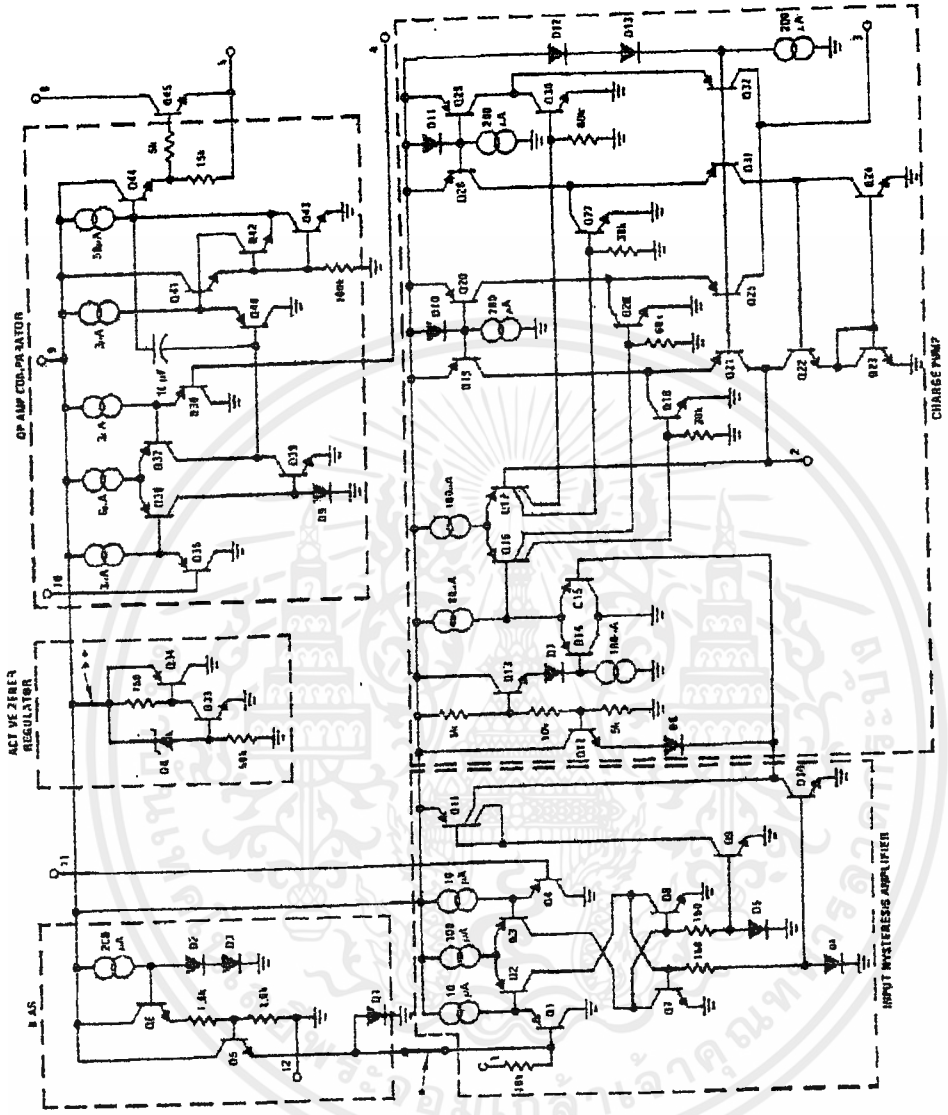


TL/H/7942-37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Equivalent Schematic Diagram

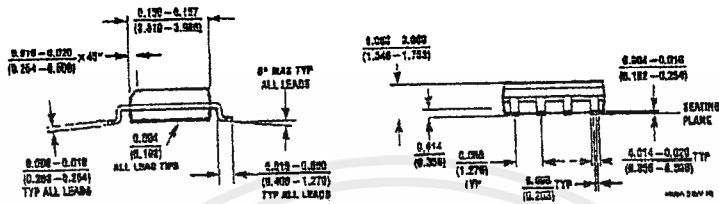
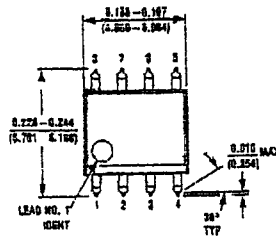
TL017642-38



*This connection made on LM2907-0 and LM2917-8 only.
 **The connection made on LM2917 and LM2917-8 only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions Inches (millimeters)

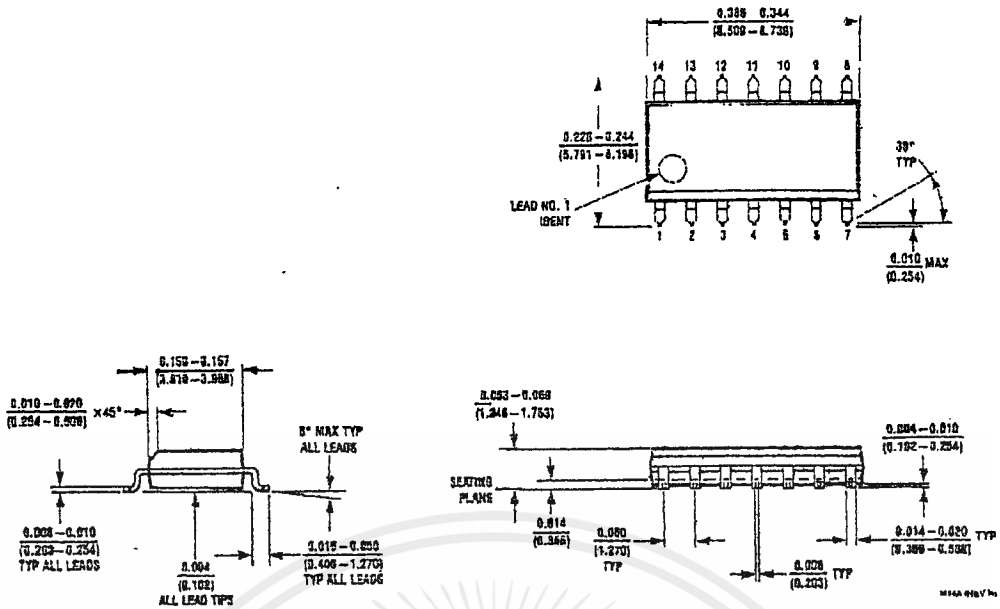


**8-Lead (0.150" Wide) Molded Small Outline Package, JEDEC
Order Number LM2907M-8 or LM2917M-8
NS Package Number M02A**

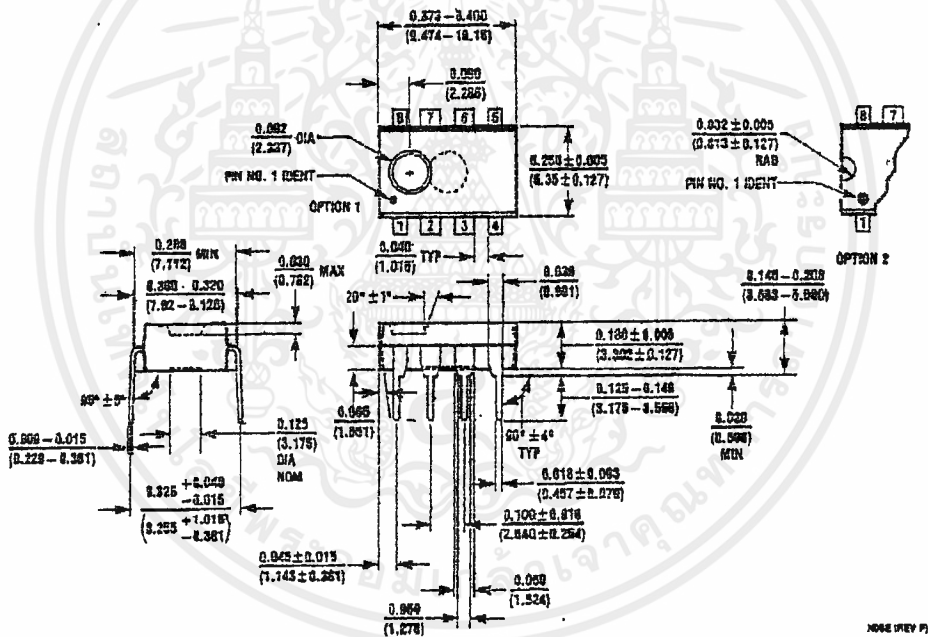


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions Inches (millimeters) (Continued)

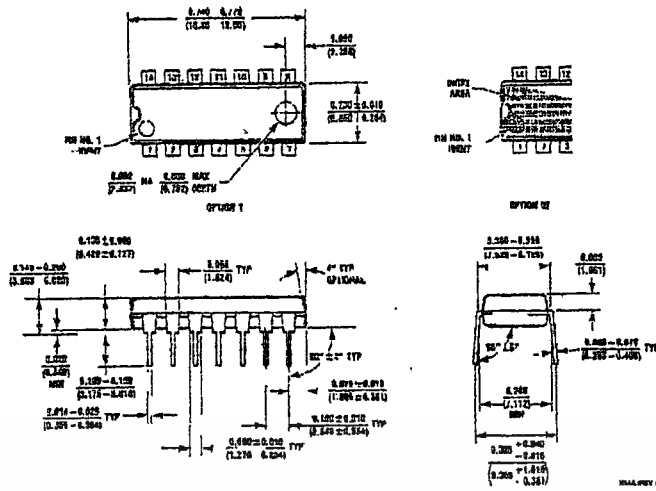


Molded SO Package (M)
Order Number LM2917M
NS Package Number M14A



Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number LM2907N-8 or LM2917N-8
NS Package Number N08E

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number LM2907N or LM2917N
NS Package Number N14A

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 78017
Tel: 1(800) 272-9958
Fax: 1(800) 737-7016

National Semiconductor Europe
Fax: (+49) 0-180-530 85 86
Email: cnjwgs@swm2.nsc.com
Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85
English Tel: (+49) 0-180-532 78 82
Français Tel: (+49) 0-180-532 93 88
Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
13th Floor, Straight Block,
Ocean Centre, 6 Canton Rd.,
Tsimshatsui, Kowloon
Hong Kong
Tel: (852) 2737-1800
Fax: (852) 2735-9260

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-045-299-2309
Fax: 81-045-299-2408

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

LM78XX Series Voltage Regulators

General Description

The LM78XX series of three terminal regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. One of these is local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow these regulators to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment. Although designed primarily as fixed voltage regulators these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

The LM78XX series is available in an aluminum TO-3 package which will allow over 1.0A load current if adequate heat sinking is provided. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistor is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

Considerable effort was expended to make the LM78XX series of regulators easy to use and minimize the number of external components. It is not necessary to bypass the output,

although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

For output voltage other than 5V, 12V and 15V the LM117 series provides an output voltage range from 1.2V to 57V.

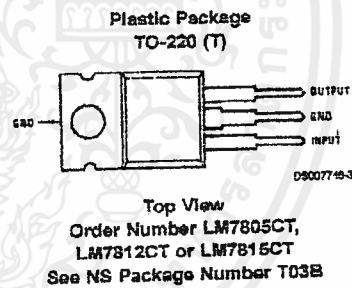
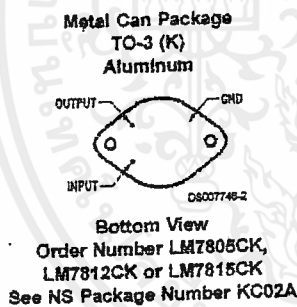
Features

- Output current in excess of 1A
- Internal thermal overload protection
- No external components required
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in the aluminum TO-3 package

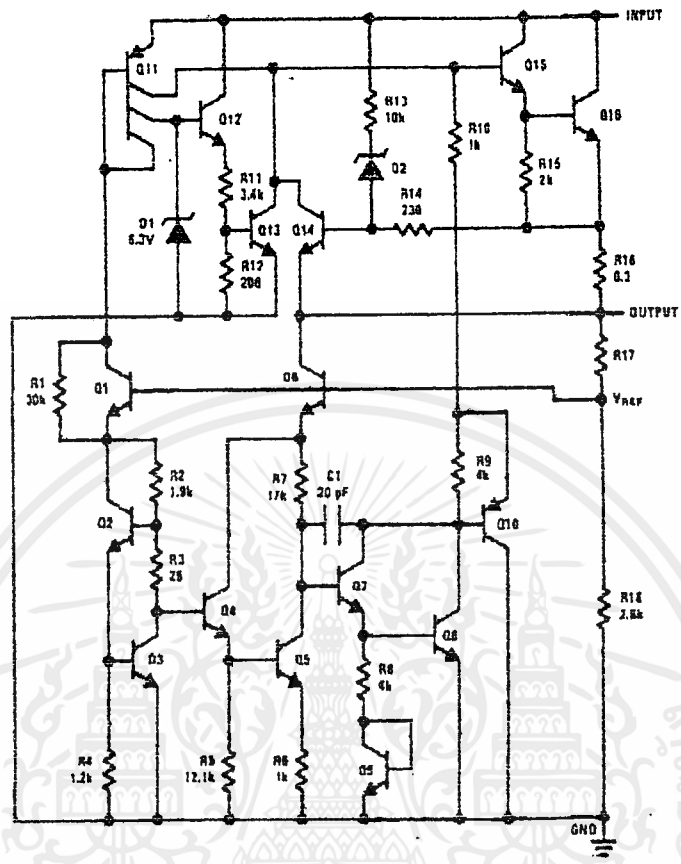
Voltage Range

LM7805C	5V
LM7812C	12V
LM7815C	15V

Connection Diagrams



Schematic



08027748-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 3)

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

Input Voltage
 $(V_O = 5V, 12V \text{ and } 15V)$ 35V
 Internal Power Dissipation (Note 1) Internally Limited
 Operating Temperature Range (T_A) 0°C to +70°C

Maximum Junction Temperature
 (K Package) 150°C
 (T Package) 150°C
 Storage Temperature Range 65°C to +150°C
 Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)
 TO-3 Package K 300°C
 TO-220 Package T 230°C

Electrical Characteristics LM78XXC (Note 2)

0°C ≤ T_J ≤ 125°C unless otherwise noted.

		Output Voltage			5V			12V			15V			Units
		Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V			
Symbol	Parameter	Conditions		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}, 5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$		4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6	V	
		$P_D \leq 15\text{ W}, 5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$		4.75		5.25	11.4		12.6	4.25		15.75	V	
		$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$		(7.5 ≤ V_{IN} ≤ 20)			(14.5 ≤ V_{IN} ≤ 27)			(17.5 ≤ V_{IN} ≤ 30)			V	
ΔV_O	Line Regulation	$I_O = 500\text{ mA}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	3		50	4		120	4		150	mV	
			ΔV_{IN}	(7 ≤ V_{IN} ≤ 25)			(14.5 ≤ V_{IN} ≤ 30)			(17.5 ≤ V_{IN} ≤ 30)			V	
		0°C ≤ T_J ≤ +125°C	ΔV_{IN}	50			120			150			mV	
			ΔV_{IN}	(8 ≤ V_{IN} ≤ 20)			(15 ≤ V_{IN} ≤ 27)			(18.5 ≤ V_{IN} ≤ 30)			V	
		$I_O \leq 1\text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	50			120			150			mV	
ΔV_{IN}	(7.5 ≤ V_{IN} ≤ 20)			(14.6 ≤ V_{IN} ≤ 27)			(17.7 ≤ V_{IN} ≤ 30)			V				
ΔV_O	Load Regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$	$5\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$	10		50	12		120	12		150	mV	
			$250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$	25			60			75			mV	
		$5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}, 0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$	50			120			150			mV		
I_Q	Quiescent Current	$I_O \leq 1\text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$	8			8			8			mA	
			0°C ≤ T_J ≤ +125°C	8.5			8.5			8.5			mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_O \leq 1\text{ A}$	0.5			0.5			0.5			mA	
			$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$	1.0			1.0			1.0			V	
			$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$	1.0			1.0			1.0			mA	
V_N	Output Noise Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}, 10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$	$I_O \leq 1\text{ A}, T_J = 25^\circ\text{C}$	62		80	55		72	54		70	dB	
			$f = 120\text{ Hz}$	62			55			54			dB	
$\frac{\Delta V_{\text{IN}}}{\Delta V_{\text{OUT}}}$	Ripple Rejection	$V_{\text{MIN}} \leq V_{\text{IN}} \leq V_{\text{MAX}}$	$I_O \leq 500\text{ mA}, 0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$	(8 ≤ V_{IN} ≤ 18)			(16 ≤ V_{IN} ≤ 25)			(18.5 ≤ V_{IN} ≤ 28.5)			V	
			$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$	2.0			2.0			2.0			V	
R_O	Dropout Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_{\text{OUT}} = 1\text{ A}$	$f = 1\text{ kHz}$	8			18			19			mΩ	
			$f = 1\text{ kHz}$	2.0			2.0			2.0			V	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics LM78XXC (Note 2) (Continued)

0 C ≤ T_J ≤ 125 C unless otherwise noted.

Output Voltage			5V			12V			15V			Units
Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V			
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Short-Circuit Current	T _J = 25 C	2.1			1.5			1.2			A
	Peak Output Current	T _J = 25 C	2.4			2.4			2.4			A
	Average TC of V _{OUT}	0 C ≤ T _J ≤ +125 C, I _O = 5 mA	0.6			1.5			1.8			mV/ C
V _{IN}	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	T _J = 25 C, I _O ≤ 1A	7.5			14.6			17.7			V

Note 1: Thermal resistance of the TO-3 package (K, KC) is typically 4 C/W junction to case and 35 C/W case to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package (T) is typically 4 C/W junction to case and 50 C/W case to ambient.

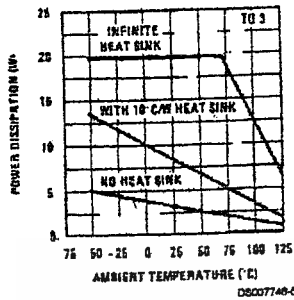
Note 2: All characteristics are measured with capacitor across the input of 0.22 μF, and a capacitor across the output of 0.1 μF. All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques (t_w ≤ 10 ms, duty cycle ≤ 5%). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

Note 3: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. For guaranteed specifications and the test conditions, see Electrical Characteristics.

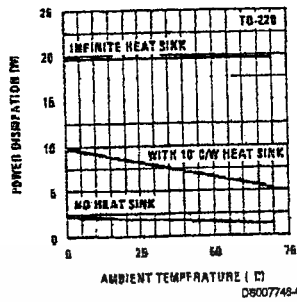
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

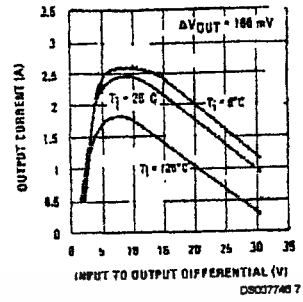
Maximum Average Power Dissipation



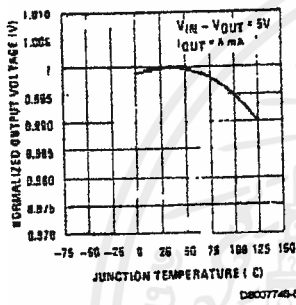
Maximum Average Power Dissipation



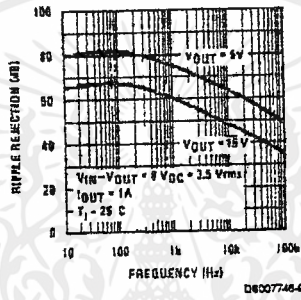
Peak Output Current



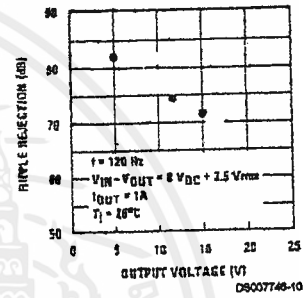
Output Voltage (Normalized to 1V at $T_J = 25^\circ\text{C}$)



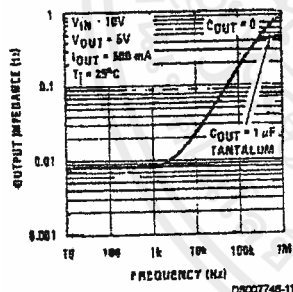
Ripple Rejection



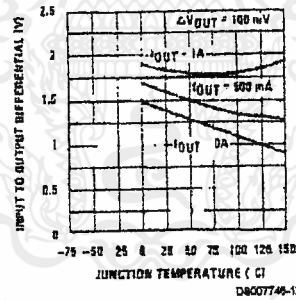
Ripple Rejection



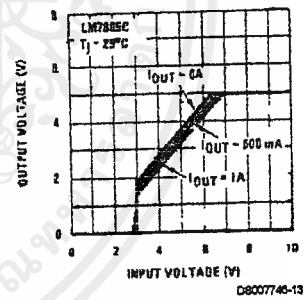
Output Impedance



Dropout Voltage



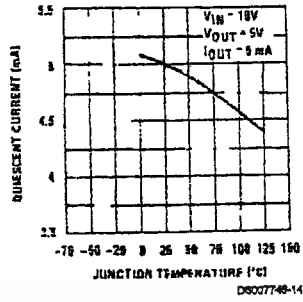
Dropout Characteristics



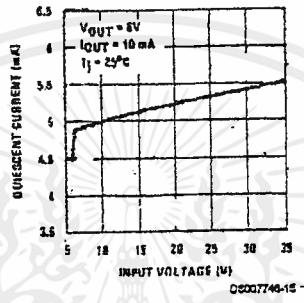
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

Quiescent Current

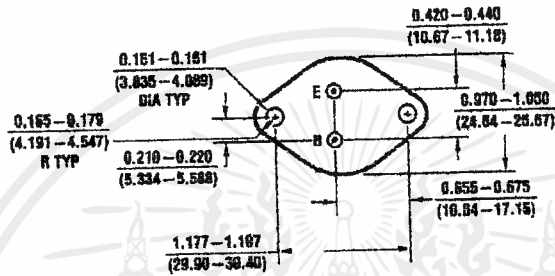
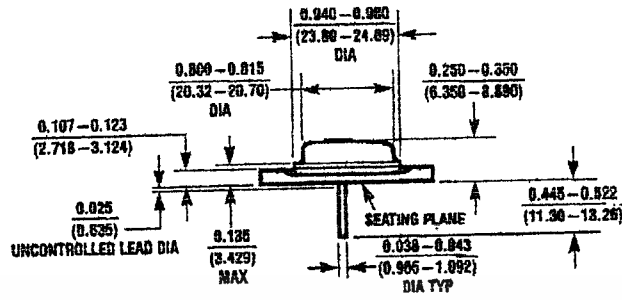


Quiescent Current



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted

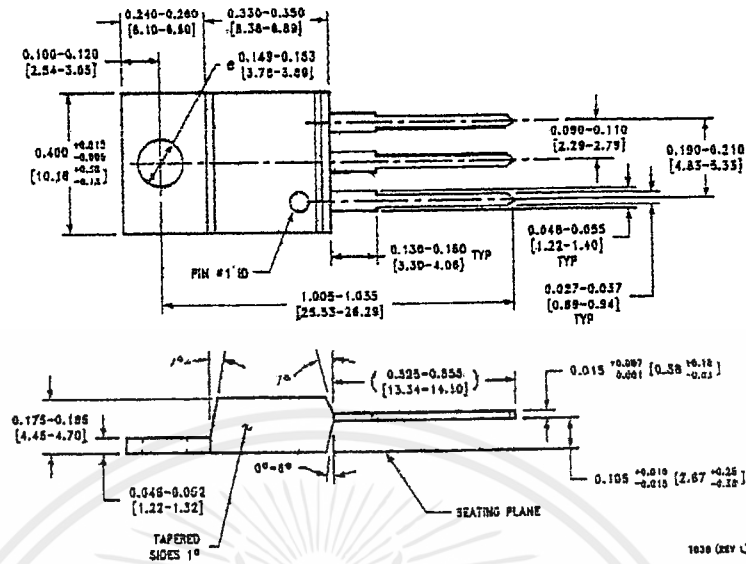


Aluminum Metal Can Package (KC)
 Order Number LM7805CK, LM7812CK or LM7815CK
 NS Package Number KC02A

KC02A (REV C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



TO-220 Package (T)
Order Number LM7805CT, LM7812CT or LM7815CT
NS Package Number T03B

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) 1 80-530 85 85
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 1 80-530 85 85
English Tel: +49 (0) 1 80-532 78 32
Francaise Tel: +49 (0) 1 80-532 93 58
Italiano Tel: +49 (0) 1 80 534 18 80

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544486
Fax: 65-2504466
Email: asa.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7667
Fax: 81-3-5639-7607

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

LM124/LM224/LM324/LM2902 Low Power Quad Operational Amplifiers

General Description

The LM124 series consists of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, DC gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM124 series can be directly operated off of the standard +5V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional $\pm 15V$ power supplies.

Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage
- The unity gain cross frequency is temperature compensated
- The input bias current is also temperature compensated

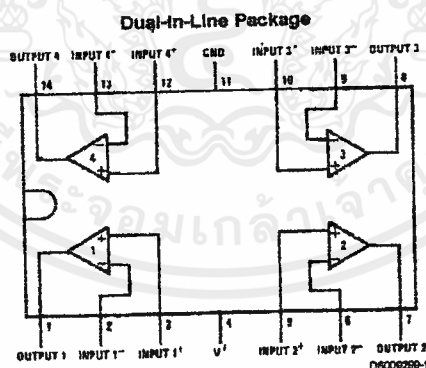
Advantages

- Eliminates need for dual supplies
- Four internally compensated op amps in a single package
- Allows directly sensing near GND and V_{OUT} also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

Features

- Internally frequency compensated for unity gain
- Large DC voltage gain 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain) 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
Single supply 3V to 32V
or dual supplies $\pm 1.5V$ to $\pm 16V$
- Very low supply current drain (700 μA)—essentially independent of supply voltage
- Low input biasing current 45 nA (temperature compensated)
- Low input offset voltage 2 mV and offset current: 5 nA
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing 0V to $V^+ - 1.5V$

Connection Diagram



Top View

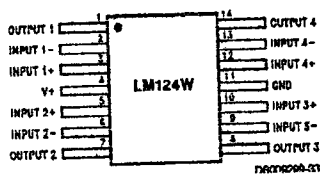
Order Number LM124J, LM124AJ, LM124J/883 (Note 2), LM124AJ/883 (Note 1), LM224J, LM224AJ, LM324J, LM324M, LM324AM, LM2902M, LM324N, LM324AN or LM2902N, LM124AJRQML and LM124AJRQMLV (Note 3)
See NS Package Number J14A, M14A or N14A

Note 1: LM124A available per JM38510/11006

Note 2: LM124 available per JM38510/11005

Connection Diagram (Continued)

Note 3: See STD Mil DWG 5902R99504 for Radiation Tolerant Device



Order Number LM124AW/883 or LM124W/883
 LM124AWRQML and LM124AWRQMLV(Note 3)
 See NS Package Number WH4B
 LM124AWGRQML and LM124AWGRQMLV(Note 3)
 See NS Package Number WG14A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 12)

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

	LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A	LM2902
Supply Voltage, V^*	32V	26V
Differential Input Voltage	32V	.26V
Input Voltage	0.3V to +32V	0.3V to +26V
Input Current	50 mA	50 mA
($V_{IN} < 0.3V$) (Note 6)		
Power Dissipation (Note 4)		
Molded DIP	1130 mW	1130 mW
Cavity DIP	1260 mW	1260 mW
Small Outline Package	800 mW	800 mW
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 5) $V^* \leq 15V$ and $T_A = 25^\circ C$	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range		40°C to +85°C
LM324/LM324A	0°C to +70°C	
LM224/LM224A	25°C to +85°C	
LM124/LM124A	55°C to +125°C	
Storage Temperature Range	65°C to +150°C	65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	260°C	260°C
Soldering Information		
Dual-In-Line Package		
Soldering (10 seconds)	260°C	260°C
Small Outline Package		
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.		
ESD Tolerance (Note 13)	250V	250V

Electrical Characteristics

$V^* = +5.0V$, (Note 7), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM124A			LM224A			LM324A			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Input Offset Voltage	(Note 8) $T_A = 25^\circ C$		1	2			1	3		2	3	mV
Input Bias Current (Note 9) $I_{IN(+)}$	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$		20	50		40	80		45	100		nA
Input Offset Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$		2	10		2	15		5	30		nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)	$V^* = 30V$, (LM2902, $V^* = 26V$), $T_A = 25^\circ C$	0		$V^* - 1.5$	0		$V^* - 1.5$	0		$V^* - 1.5$		V
Supply Current	Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ On All Op Amps $V^* = 30V$ (LM2902 $V^* = 26V$) $V^* = 5V$		1.5	3		1.5	3		1.5	3		mA
			0.7	1.2		0.7	1.2		0.7	1.2		
Large Signal Voltage Gain	$V^* = 15V$, $R_L \geq 2k\Omega$, ($V_O = 1V$ to $11V$), $T_A = 25^\circ C$	60		100	60		100	26		100		V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	DC, $V_{CM} = 0V$ to $V^* - 1.5V$, $T_A = 25^\circ C$	70		85	70		85	65		85		dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)

$V^* = +5.0V$, (Note 7), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM124A			LM224A			LM324A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Power Supply Rejection Ratio	$V^* = 5V$ to $30V$ (LM2902, $V^* = 5V$ to $26V$), $T_A = 25^\circ C$	65	100		65	100		65	100		dB
Amplifier-to-Amplifier Coupling (Note 11)	$f = 1$ kHz to 20 kHz, $T_A = 25^\circ C$ (Input Referred)		120			120			120		dB
Output Current	Source $V_{IN}^* = 1V$, $V_{IN} = 0V$, $V^* = 15V$, $V_O = 2V$, $T_A = 25^\circ C$	20	40		20	40		20	40		mA
	Sink $V_{IN} = 1V$, $V_{IN}^* = 0V$, $V^* = 15V$, $V_O = 2V$, $T_A = 25^\circ C$	10	20		10	20		10	20		mA
	$V_{IN} = 1V$, $V_{IN}^* = 0V$, $V^* = 15V$, $V_O = 200$ mV, $T_A = 25^\circ C$	12	50		12	50		12	50		μA
Short Circuit to Ground	(Note 5) $V^* = 15V$, $T_A = 25^\circ C$		40	60		40	60		40	60	mA
Input Offset Voltage	(Note 8)			4		4			4		mV
Input Offset Voltage Drift	$R_B = 0\Omega$		7	20		7	20		7	30	$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current	$I_{IN(+)} I_{IN(-)}, V_{CM} = 0V$			30		30			75		nA
Input Offset Current Drift	$R_B = 0\Omega$		10	200		10	200		10	300	$pA/^\circ C$
Input Bias Current	$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}$		40	100		40	100		40	200	nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)	$V^* = +30V$ (LM2902, $V^* = 26V$)	0		$V^* 2$	0		$V^* 2$	0		$V^* 2$	V
Large Signal Voltage Gain	$V^* = +15V$ (V_O Swing = $1V$ to $11V$) $R_L \geq 2$ k Ω	25			25			15			V/mV
	$R_L = 2$ k Ω	26			26			26			V
Output Voltage Swing	V_{OH} $V^* = 30V$ (LM2902, $V^* = 26V$)	27	28		27	28		27	28		mV
	V_{OL} $V^* = 5V$, $R_L = 10$ k Ω	5	20		5	20		5	20		mV
Output Current	Source $V_O = 2V$ $V_{IN}^* = +1V$, $V_{IN} = 0V$, $V^* = 15V$	10	20		10	20		10	20		mA
	Sink $V_{IN} = +1V$, $V_{IN}^* = 0V$, $V^* = 15V$	10	15		5	8		5	8		mA

Electrical Characteristics

$V^* = +5.0V$, (Note 7), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM124/LM224			LM324			LM2902			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 8) $T_A = 25^\circ C$	2	5		2	7		2	7		mV
Input Bias Current (Note 8)	$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}, V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$	45	150		45	250		45	250		nA
Input Offset Current	$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}, V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$	3	30		5	50		5	50		nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)	$V^* = 30V$, (LM2902, $V^* = 26V$), $T_A = 25^\circ C$	0		$V^* 1.5$	0		$V^* 1.5$	0		$V^* 1.5$	V
Supply Current	Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ On All Op Amps										mA
	$V^* = 30V$ (LM2902 $V^* = 26V$)		1.5	3		1.5	3		1.5	3	
	$V^* = 5V$		0.7	1.2		0.7	1.2		0.7	1.2	
Large Signal Voltage Gain	$V^* = 15V$, $R_L \geq 2$ k Ω , ($V_O = 1V$ to $11V$), $T_A = 25^\circ C$	50	100		25	100		25	100		V/mV

Electrical Characteristics (Continued) $V^+ = +5.0V$, (Note 7), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM124/LM224			LM324			LM2902			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Common-Mode Rejection Ratio	DC, $V_{CM} = 0V$ to $V^+ - 1.5V$, $T_A = 25^\circ C$	70	85		65	85		50	70		dB
Power Supply Rejection Ratio	$V^+ = 5V$ to $30V$ (LM2902, $V^+ = 5V$ to $26V$), $T_A = 25^\circ C$	65	100		65	100		50	100		dB
Amplifier-to-Amplifier Coupling (Note 11)	$f = 1\text{ kHz}$ to 20 kHz , $T_A = 25^\circ C$ (Input Referred)		120			120			120		dB
Output Current	Source $V_{IN}^+ = 1V$, $V_{IN}^- = 0V$, $V^+ = 15V$, $V_O = 2V$, $T_A = 25^\circ C$	20	40		20	40		20	40		mA
	Sink $V_{IN}^+ = 1V$, $V_{IN}^- = 0V$, $V^+ = 15V$, $V_O = 2V$, $T_A = 25^\circ C$	10	20		10	20		10	20		mA
	$V_{IN}^+ = 1V$, $V_{IN}^- = 0V$, $V^+ = 15V$, $V_O = 200\text{ mV}$, $T_A = 25^\circ C$	12	50		12	50		12	50		μA
Short Circuit to Ground	(Note 6) $V^+ = 15V$, $T_A = 25^\circ C$		40	60		40	60		40	60	mA
Input Offset Voltage	(Note 8)			7			9			10	mV
Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\Omega$			7			7			7	$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0V$					100			150		nA
Input Offset Current Drift	$R_S = 0\Omega$			10			10			10	$\text{pA}/^\circ C$
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$		40	300		40	500		40	500	nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)	$V^+ = +30V$ (LM2902, $V^+ = 26V$)	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	V
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15V$ (V_O Swing = $1V$ to $11V$) $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$		26			16			15		V/mV
Output Voltage Swing	V_{OH} $V^+ = 30V$ (LM2902, $V^+ = 26V$)			$R_L = 2\text{ k}\Omega$	26			22			V
	V_{OL} $V^+ = 5V$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$		27	28		27	28		23	24	
Output Current	Source $V_O = 2V$		10	20		10	20		10	20	mA
	Sink		5	8		5	8		5	8	

Note 4: For operating at high temperatures, the LM324/LM324A/LM2902 must be derated based on a $+125^\circ C$ maximum junction temperature and a thermal resistance of 88 C/W which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM224/LM224A and LM124/LM124A can be derated based on a $+150^\circ C$ maximum junction temperature. The dissipation is the total of all four amplifiers — use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate $6f$ to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.

Note 5: Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V^+ . At values of supply voltage in excess of $+15V$, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

Note 6: This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the V^+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than $-0.3V$ (at $25^\circ C$).

Note 7: These specifications are limited to $55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$ for the LM124/LM124A. With the LM224/LM224A, all temperature specifications are limited to $25^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$, the LM324/LM324A temperature specifications are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$, and the LM2902 specifications are limited to $40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$.

Note 8: $V_O \leq 1.4V$, $R_S = 0\Omega$ with V^+ from $5V$ to $30V$; and over the full input common-mode range ($0V$ to $V^+ - 1.5V$) for LM2902, V^+ from $5V$ to $26V$.

Note 9: The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output, so no loading change exists on the input lines.

Note 10: The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than $0.3V$ (at $25^\circ C$). The upper end of the common-mode voltage range is $V^+ - 1.5V$ (at $25^\circ C$), but either or both inputs can go to $+32V$ without damage ($+26V$ for LM2902), independent of the magnitude of V^+ .

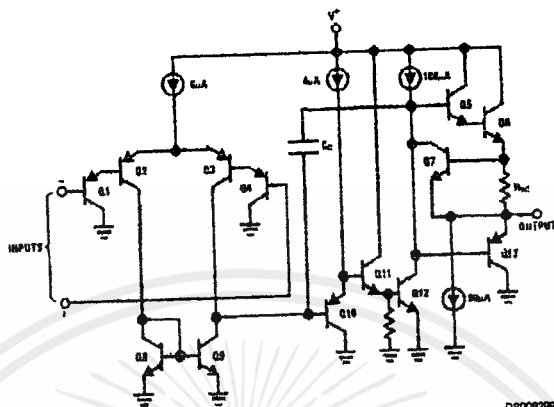
Note 11: Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

Note 12: Refer to RETS124AX for LM124A military specifications and refer to RETS124X for LM124 military specifications.

Electrical Characteristics (Continued)

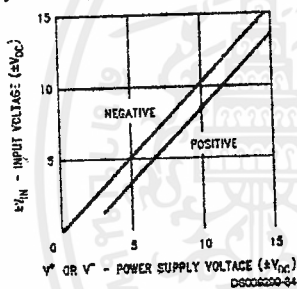
Note 13: Human body model, 1.5 kΩ in series with 100 pF.

Schematic Diagram (Each Amplifier)

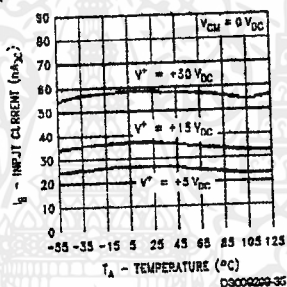


Typical Performance Characteristics

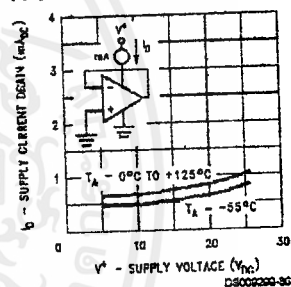
Input Voltage Range



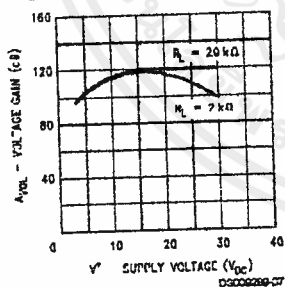
Input Current



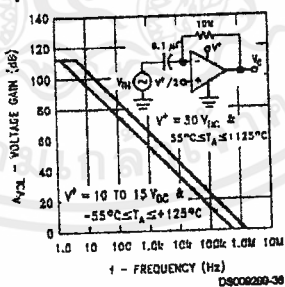
Supply Current



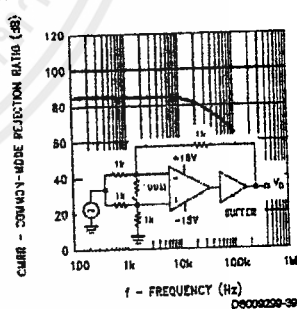
Voltage Gain



Open Loop Frequency Response



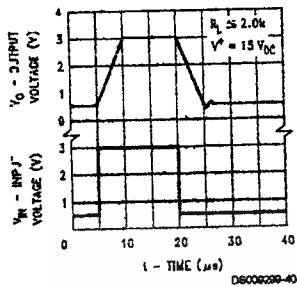
Common Mode Rejection Ratio



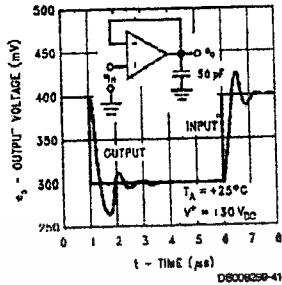
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

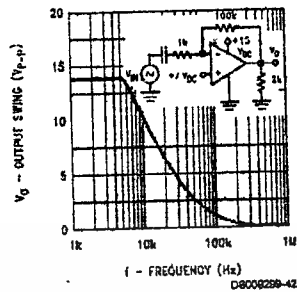
Voltage Follower Pulse Response



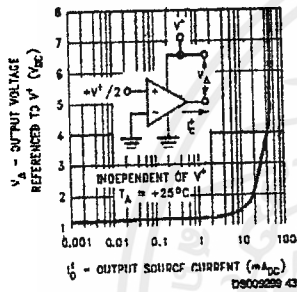
Voltage Follower Pulse Response (Small Signal)



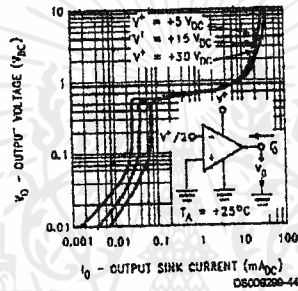
Large Signal Frequency Response



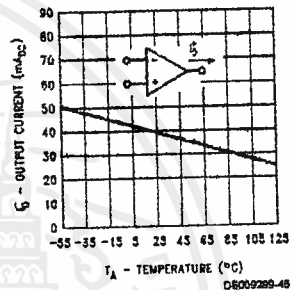
Output Characteristics Current Sourcing



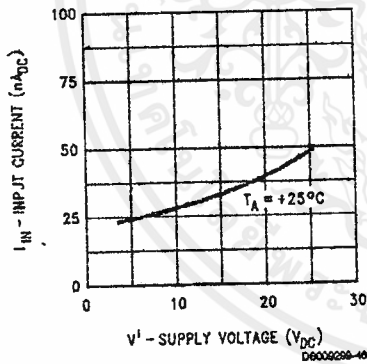
Output Characteristics Current Sinking



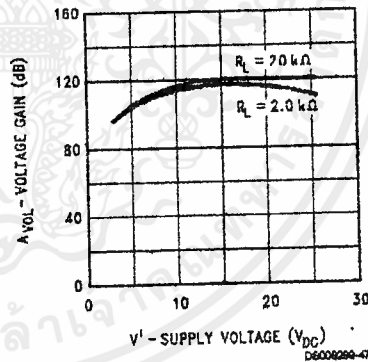
Current Limiting



Input Current (LM2902 only)



Voltage Gain (LM2902 only)



Application Hints

The LM124 series are op amps which operate with only a single power supply voltage, have true-differential inputs, and remain in the linear mode with an input common-mode voltage of 0 V_{DC} . These amplifiers operate over a wide range of power supply voltage with little change in performance characteristics. At 25 $^\circ C$ amplifier operation is possible down to a minimum supply voltage of 2.3 V_{DC} .

The pinouts of the package have been designed to simplify PC board layouts. Inverting inputs are adjacent to outputs for all of the amplifiers and the outputs have also been placed at the corners of the package (pins 1, 7, 8, and 14).

Precautions should be taken to insure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a

Application Hints (Continued)

test socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

Large differential input voltages can be easily accommodated and, as input differential voltage protection diodes are not needed, no large input currents result from large differential input voltages. The differential input voltage may be larger than V^+ without damaging the device. Protection should be provided to prevent the input voltages from going negative more than $0.3 V_{DC}$ (at 25 C). An input clamp diode with a resistor to the IC input terminal can be used.

To reduce the power supply drain, the amplifiers have a class A output stage for small signal levels which converts to class B in a large signal mode. This allows the amplifiers to both source and sink large output currents. Therefore both NPN and PNP external current boost transistors can be used to extend the power capability of the basic amplifiers. The output voltage needs to raise approximately 1 diode drop above ground to bias the on-chip vertical PNP transistor for output current sinking applications.

For ac applications, where the load is capacitively coupled to the output of the amplifier, a resistor should be used, from the output of the amplifier to ground to increase the class A bias current and prevent crossover distortion.

Where the load is directly coupled, as in dc applications, there is no crossover distortion.

Capacitive loads which are applied directly to the output of the amplifier reduce the loop stability margin. Values of 50 pF can be accommodated using the worst-case

non-inverting unity gain connection. Large closed loop gains or resistive isolation should be used if larger load capacitance must be driven by the amplifier.

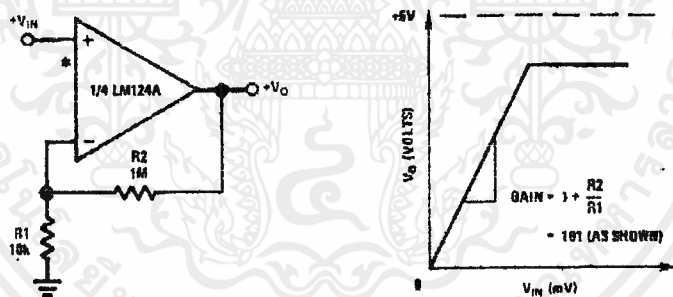
The bias network of the LM124 establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of from $3 V_{DC}$ to $30 V_{DC}$.

Output short circuits either to ground or to the positive power supply should be of short time duration. Units can be destroyed, not as a result of the short circuit current causing metal fusing, but rather due to the large increase in IC chip dissipation which will cause eventual failure due to excessive junction temperatures. Putting direct short-circuits on more than one amplifier at a time will increase the total IC power dissipation to destructive levels. If not properly protected with external dissipation limiting resistors in series with the output leads of the amplifiers. The larger value of output source current which is available at 25 C provides a larger output current capability at elevated temperatures (see typical performance characteristics) than a standard IC op amp.

The circuits presented in the section on typical applications emphasize operation on only a single power supply voltage. If complementary power supplies are available, all of the standard op amp circuits can be used. In general, introducing a pseudo-ground (a bias voltage reference of $V^+/2$) will allow operation above and below this value in single power supply systems. Many application circuits are shown which take advantage of the wide input common-mode voltage range which includes ground. In most cases, input biasing is not required and input voltages which range to ground can easily be accommodated.

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$)

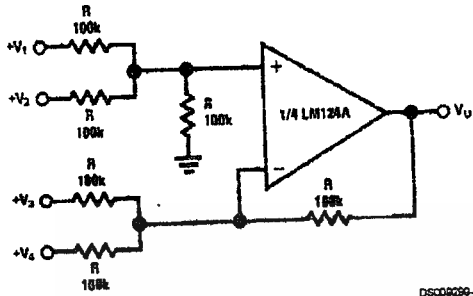
Non-Inverting DC Gain (0V Input = 0V Output)



*R not needed due to temperature independent I_{IN}

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

DC Summing Amplifier
($V_{INi} \geq 0 V_{DC}$ and $V_O \geq V_{DC}$)

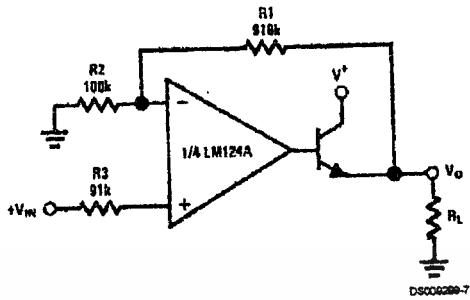


Where: $V_O = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$
($V_1 + V_2$) \geq ($V_3 + V_4$) to keep $V_O > 0 V_{DC}$

DS000299-6

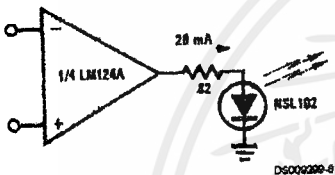
$V_O = 0 V_{DC}$ for $V_{IN} = 0 V_{DC}$
 $A_V = 10$

Power Amplifier



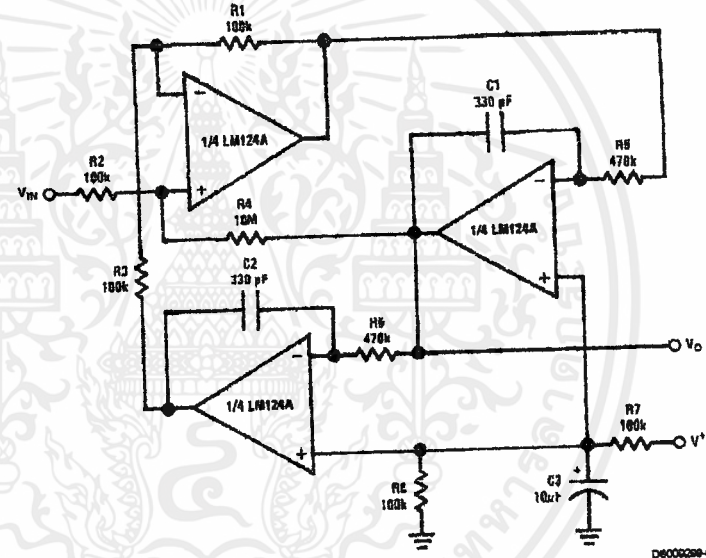
DS000299-7

LED Driver



DS000299-8

"BI-QUAD" RC Active Bandpass Filter



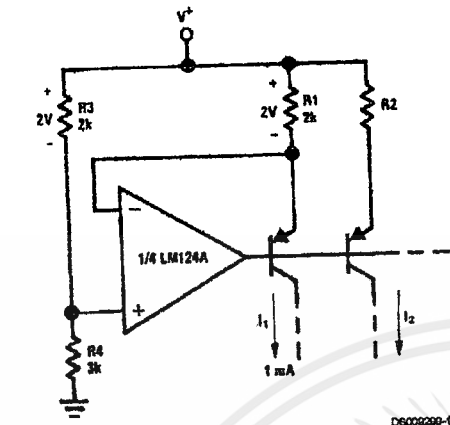
DS000299-9

$f_o = 1 \text{ kHz}$
 $Q = 50$
 $A_V = 100 \text{ (40 dB)}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

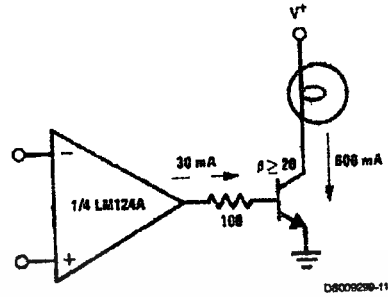
Fixed Current Sources



D600229-10

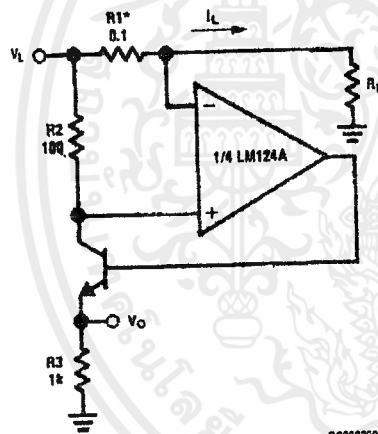
$$I_2 = \left(\frac{R1}{R2} \right) I_1$$

Lamp Driver



D600229-11

Current Monitor



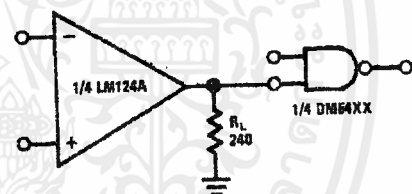
D600229-12

$$V_O = \frac{1V(I_L)}{1A}$$

$$V_L \leq V^+ - 2V$$

*(Increase R1 for I_L small)

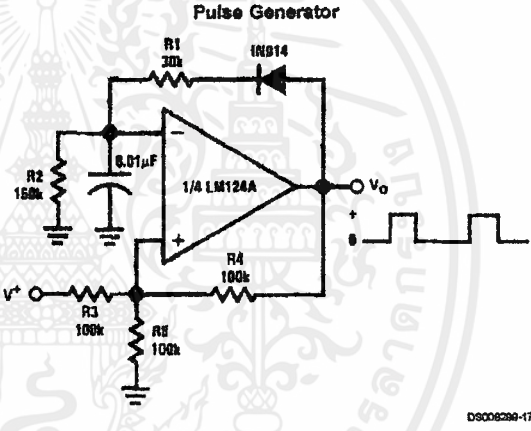
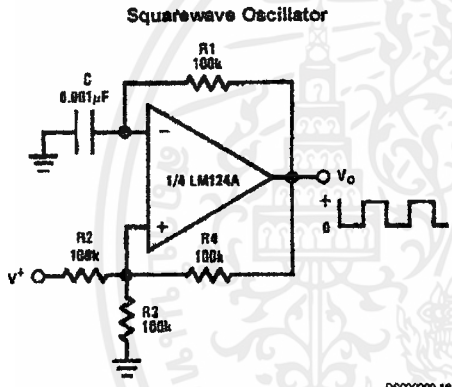
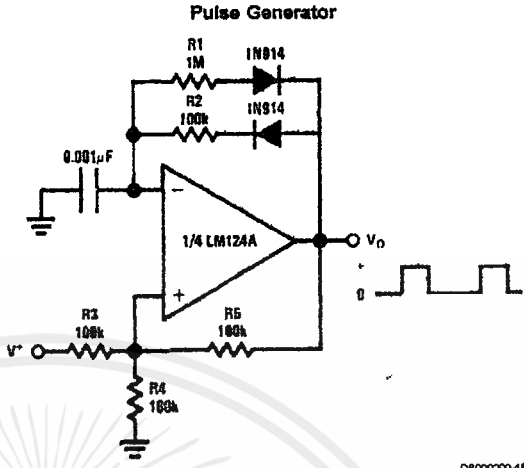
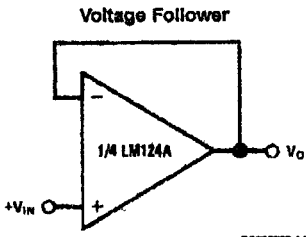
Driving TTL



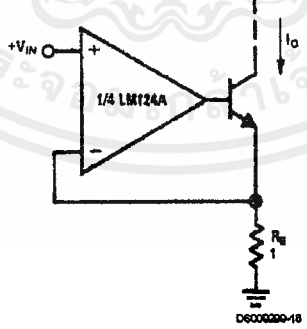
D600229 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DD}$) (Continued)



High Compliance Current Sink

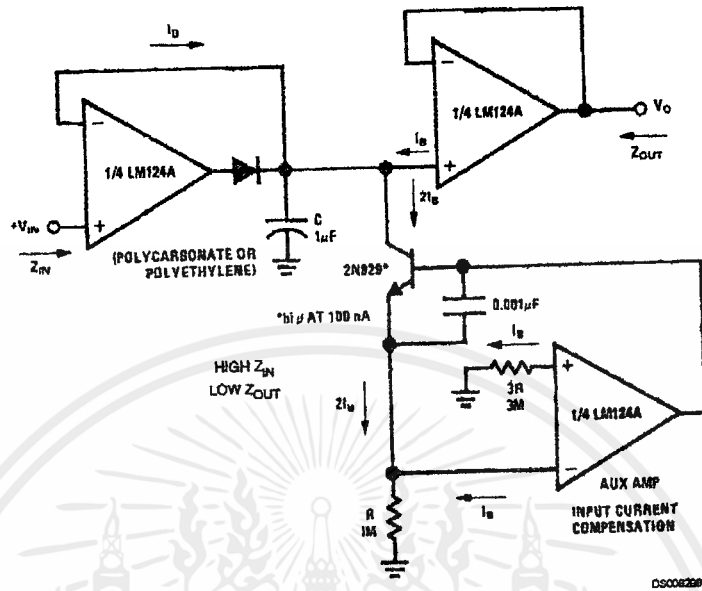


$I_O = 1 \text{ amp/volt } V_{IN}$
(increase R_E for I_O small)

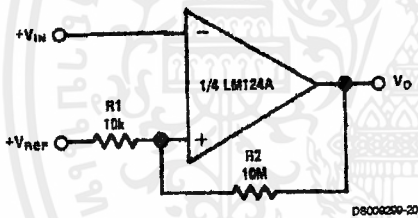
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

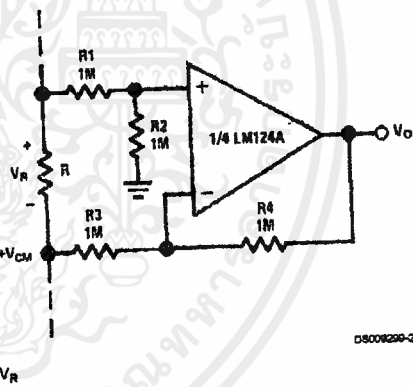
Low Drift Peak Detector



Comparator with Hysteresis



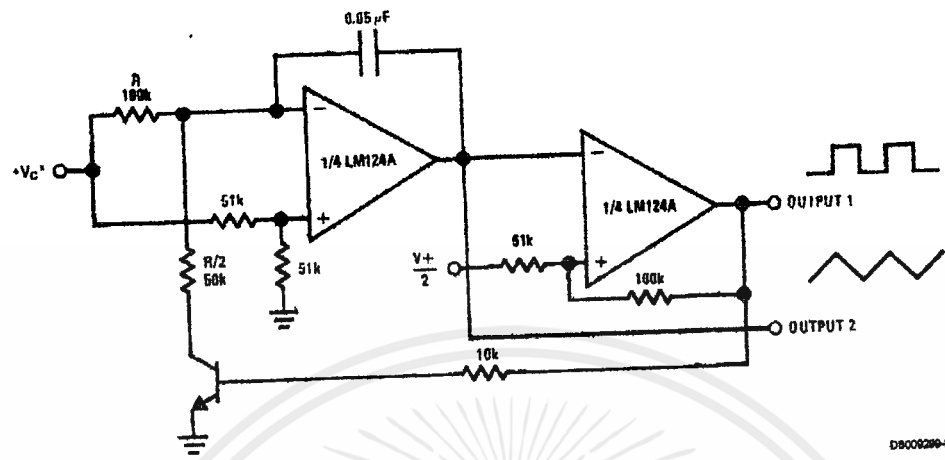
Ground Referencing a Differential Input Signal



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

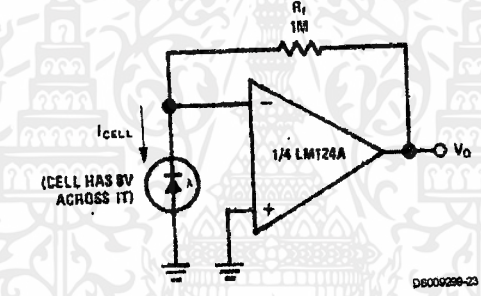
Voltage Controlled Oscillator Circuit



D800229-22

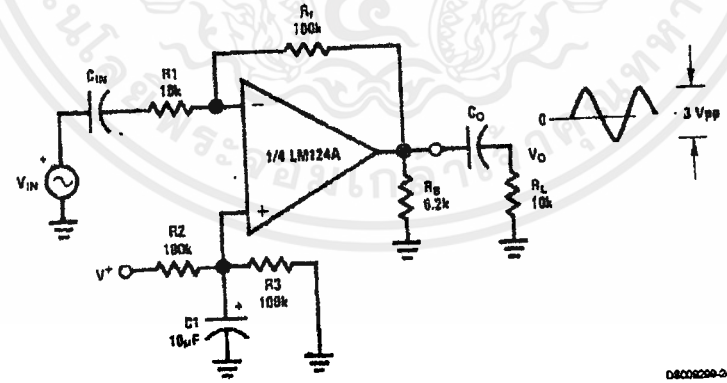
*Wide control voltage range: $0 V_{DC} \leq V_C \leq 2(V^+ - 1.5 V_{DC})$

Photo Voltaic-Cell Amplifier



D800229-23

AC Coupled Inverting Amplifier



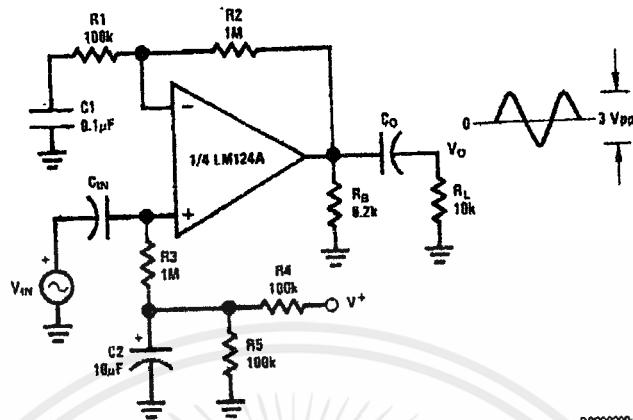
D800229-24

$A_v = \frac{R_f}{R_1}$ (As shown, $A_v = 10$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

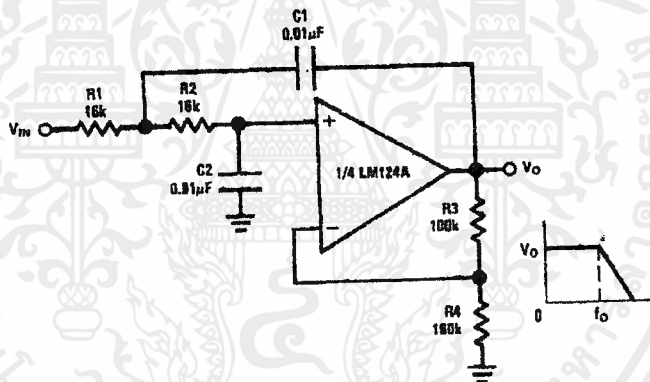
AC Coupled Non-Inverting Amplifier



D8000299-25

$A_V = 1 + \frac{R_2}{R_1}$
 $A_V = 11$ (As shown)

DC Coupled Low-Pass RC Active Filter



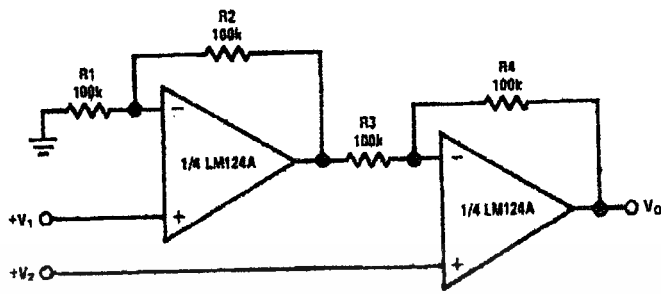
D8000299-26

$f_o = 1 \text{ kHz}$
 $Q = 1$
 $A_V = 2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

High Input Z, DC Differential Amplifier



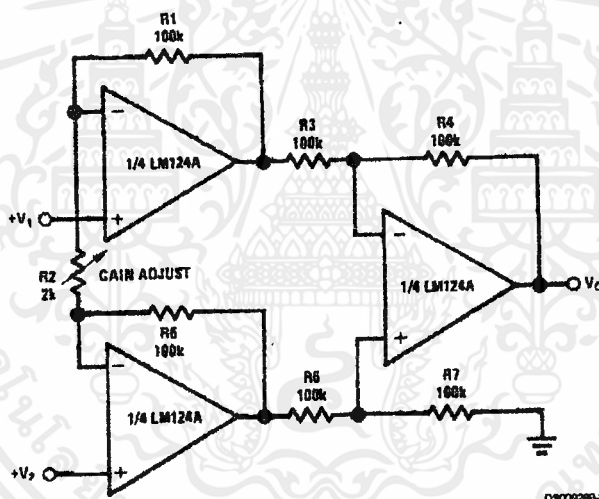
DS006289-27

For $\frac{R1}{R2} = \frac{R4}{R3}$ (CMRR depends on this resistor ratio match)

$$V_O = 1 + \frac{R4}{R3} (V_2 - V_1)$$

As shown: $V_O = 2(V_2 - V_1)$

High Input Z Adjustable-Gain DC Instrumentation Amplifier



DS006290-28

If $R1 = R5$ & $R3 = R4 = R6 = R7$ (CMRR depends on match)

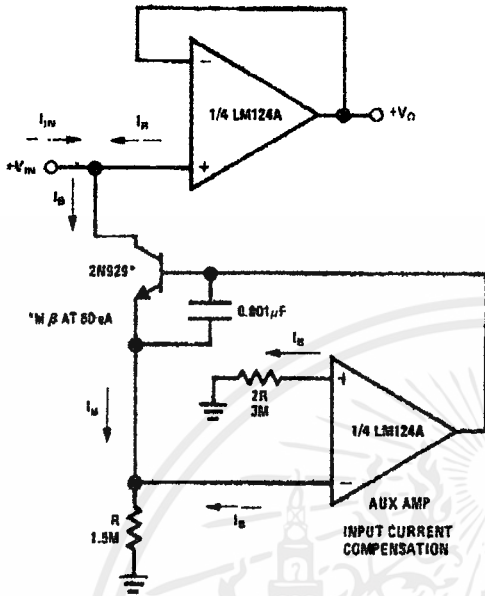
$$V_O = 1 + \frac{2R1}{R2} (V_2 - V_1)$$

As shown $V_O = 101 (V_2 - V_1)$

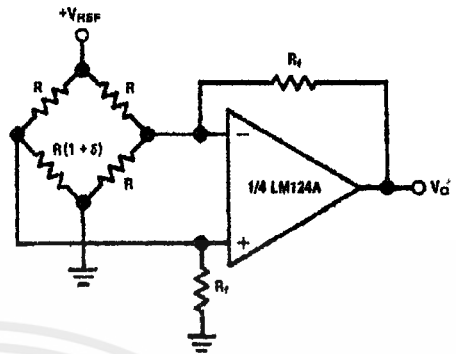
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

Using Symmetrical Amplifiers to Reduce Input Current (General Concept)



Bridge Current Amplifier

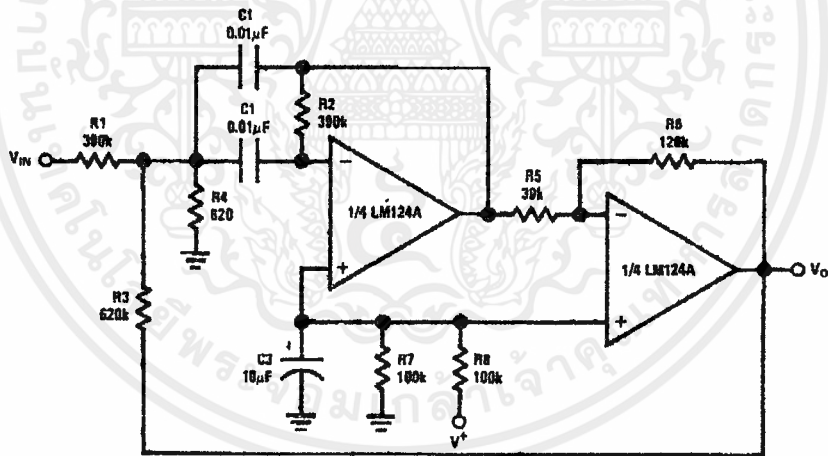


For $\delta \ll 1$ and $R_f \gg R$

$$V_O = V_{REF} \left(\frac{\delta}{2} \right) \frac{R_f}{R}$$

D8006289-30

Bandpass Active Filter

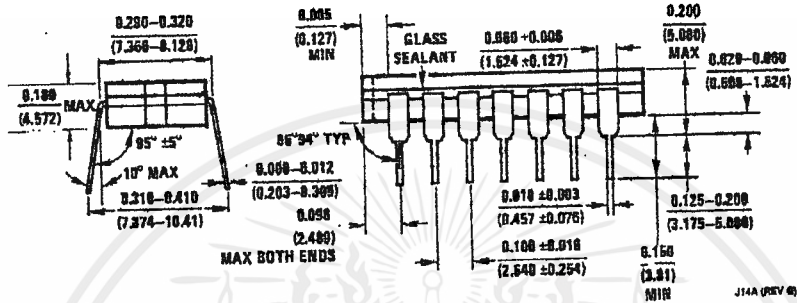
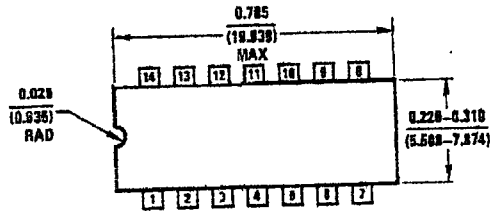


$f_0 = 1 \text{ kHz}$
 $Q = 25$

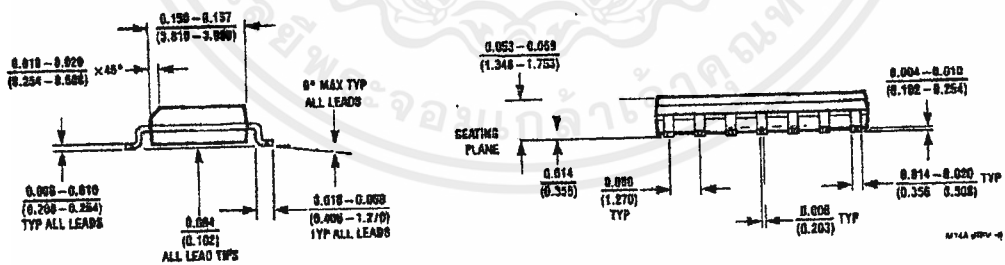
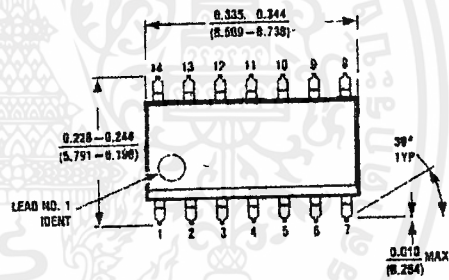
D8006220-31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



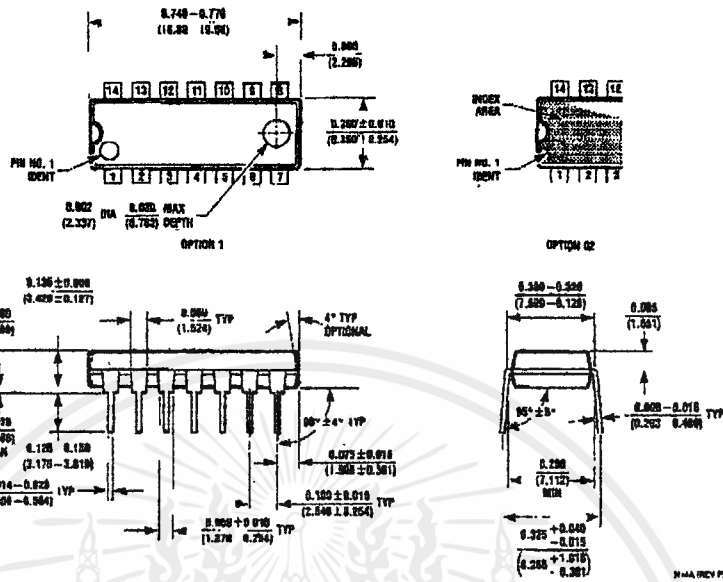
Ceramic Dual-In-Line Package (J)
 Order Number LM124J, LM124AJ, LM124AJ/883, LM124J/883, LM224J, LM224AJ or LM324J
 NS Package Number J14A



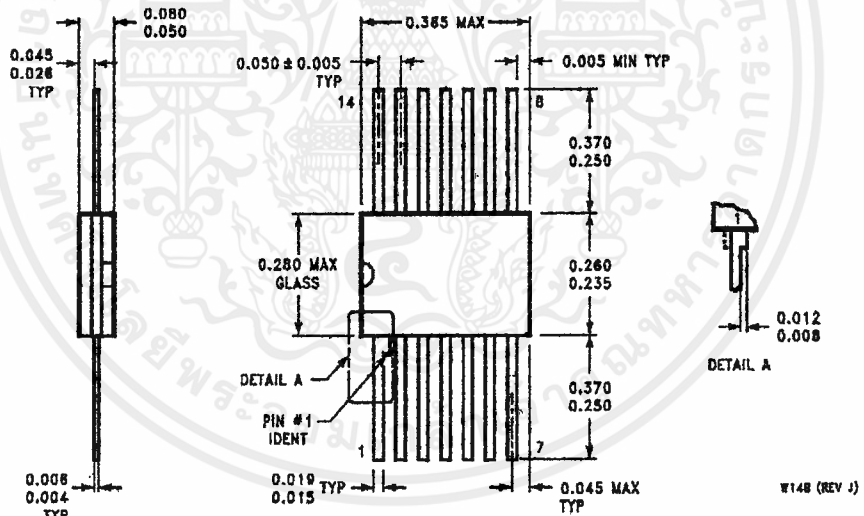
S.O. Package (M)
 Order Number LM324M, LM324AM or LM2902M
 NS Package Number M14A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



Molded Dual-In-Line Package (N)
 Order Number LM324N, LM324AN or LM2902N
 NS Package Number N14A



Ceramic Flatpak Package
 Order Number LM124AW/883 or LM124W/883
 NS Package Number W14B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


Notes



LIFE SUPPORT POLICY

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

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

 <p>National Semiconductor Corporation Americas Tel: 1-800-272-9959 Fax: 1-800-737-7018 Email: support@nsc.com www.national.com</p>	<p>National Semiconductor Europe Fax: +49 (0) 1 80-630 85 88 Email: europe.support@nsc.com Deutsch Tel: +49 (0) 1 80-630 85 85 English Tel: +49 (0) 1 80-632 78 32 Français Tel: +49 (0) 1 80-632 83 58 Italiano Tel: +49 (0) 1 80 634 16 80</p>	<p>National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group Tel: 65-2644466 Fax: 65-2504488 Email: ase.support@nsc.com</p>	<p>National Semiconductor Japan Ltd. Tel: 81-3-5638-7560 Fax: 81-3-5638-7507</p>
---	---	--	---

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.

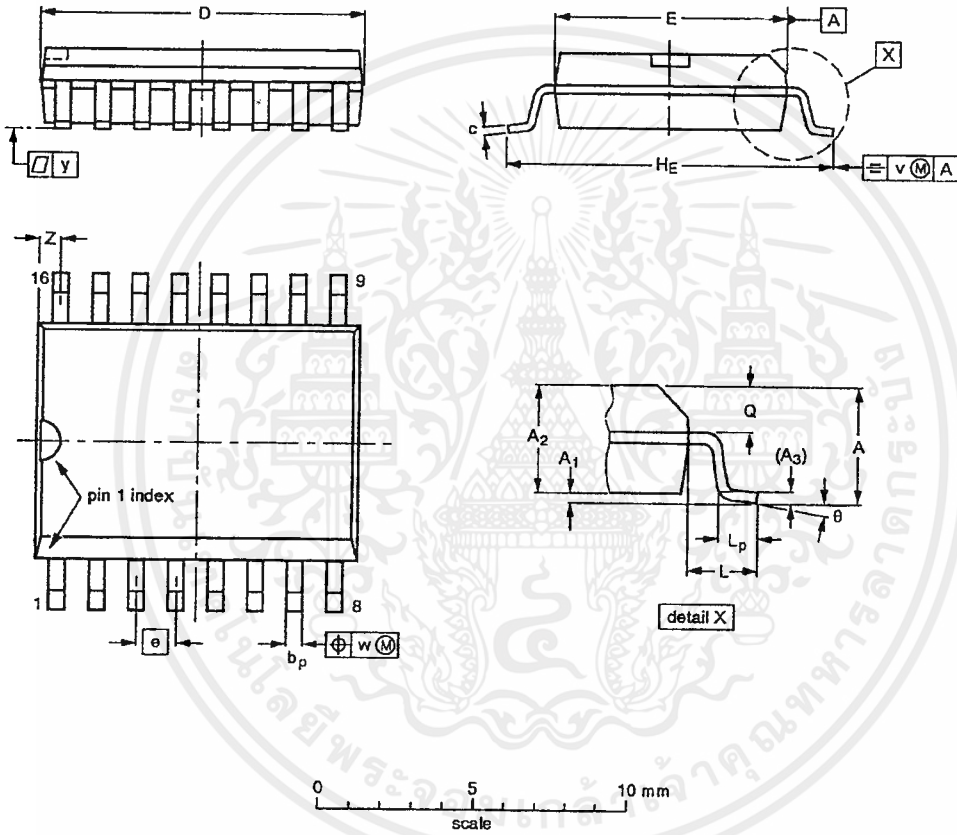
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Internally-compensated dual low noise operational amplifier

NE/SA/SE5532/5532A

SO16: plastic small outline package; 16 leads; body width 7.5 mm

SOT162-1



DIMENSIONS (Inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A ₁	A ₂	A ₃	b _p	c	D ⁽¹⁾	E ⁽¹⁾	e	H _E	L	L _p	Q	v	w	y	z ⁽¹⁾	0
mm	2.65	0.30 0.10	2.45 2.25	0.25	0.49 0.36	0.32 0.23	10.5 10.1	7.6 7.4	1.27	10.65 10.00	1.4	1.1 0.4	1.1 1.0	0.25	0.25	0.1	0.9 0.4	8° 0°
inches	0.10	0.012 0.004	0.096 0.089	0.01	0.019 0.014	0.013 0.009	0.41 0.40	0.30 0.29	0.050	0.42 0.39	0.055	0.043 0.016	0.043 0.039	0.01	0.01	0.004	0.035 0.016	

Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.15 mm maximum per side are not included.

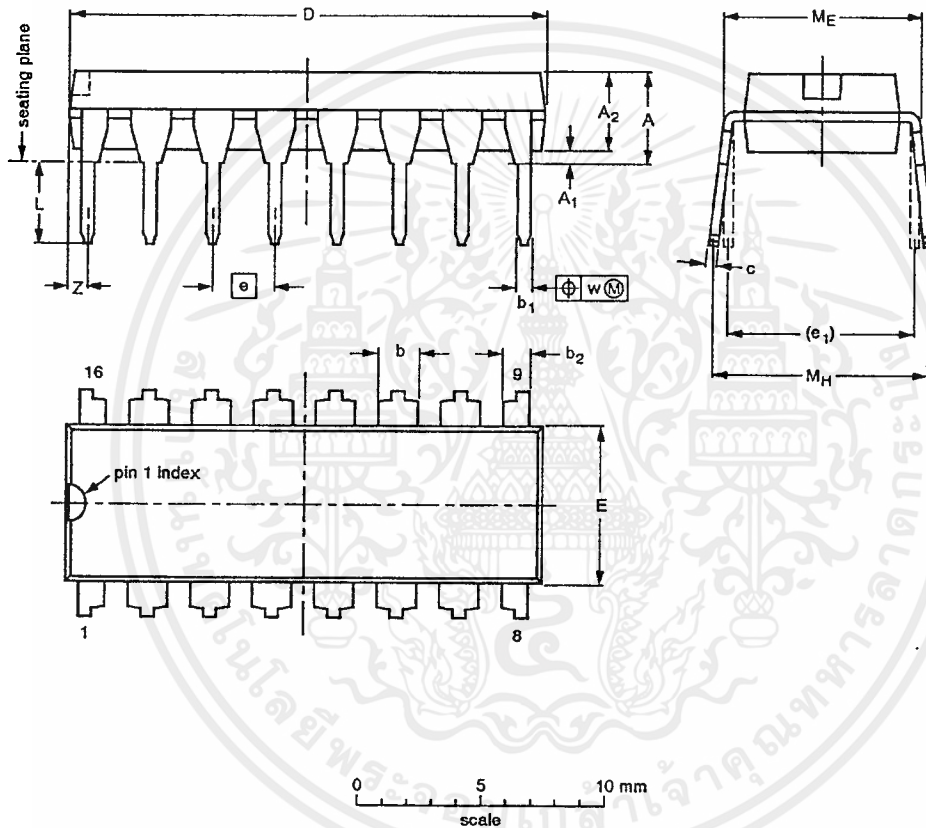
OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ			
SOT162-1	075E03	MS-013AA				92-11-17 95-01-24

Internally-compensated dual low noise operational amplifier

NE/SA/SE5532/5532A

DIP16: plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil)

SOT38-4



DIMENSIONS (Inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A ₁ min.	A ₂ max.	b	b ₁	b ₂	c	D ⁽¹⁾	E ⁽¹⁾	e	e ₁	L	ME	M _H	w	Z ⁽¹⁾ max.
mm	4.2	0.51	3.2	1.73 1.30	0.53 0.38	1.25 0.85	0.36 0.23	19.50 18.55	6.48 6.20	2.54	7.62	3.60 3.05	8.25 7.80	10.0 8.3	0.254	0.76
inches	0.17	0.020	0.13	0.068 0.051	0.021 0.015	0.049 0.033	0.014 0.009	0.77 0.73	0.26 0.24	0.10	0.30	0.14 0.12	0.32 0.31	0.39 0.33	0.01	0.030

Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.25 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ			
SOT38-4						92-11-17 95-01-14

Internally-compensated dual low noise operational amplifier

NE/SA/SE5532/5532A

DEFINITIONS

Data Sheet Identification	Product Status	Definition
<i>Objective Specification</i>	Formative or In Design	This data sheet contains the design target or goal specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
<i>Preliminary Specification</i>	Preproduction Product	This data sheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Philips Semiconductors reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design and supply the best possible product.
<i>Product Specification</i>	Full Production	This data sheet contains Final Specifications. Philips Semiconductors reserves the right to make changes at any time without notice, in order to improve design and supply the best possible product.

Philips Semiconductors and Philips Electronics North America Corporation reserve the right to make changes, without notice, in the products, including circuits, standard cells, and/or software, described or contained herein in order to improve design and/or performance. Philips Semiconductors assumes no responsibility or liability for the use of any of these products, conveys no license or title under any patent, copyright, or mask work right to these products, and makes no representations or warranties that these products are free from patent, copyright, or mask work right infringement, unless otherwise specified. Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. Philips Semiconductors makes no representation or warranty that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification.

LIFE SUPPORT APPLICATIONS

Philips Semiconductors and Philips Electronics North America Corporation Products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of a Philips Semiconductors and Philips Electronics North America Corporation Product can reasonably be expected to result in a personal injury. Philips Semiconductors and Philips Electronics North America Corporation customers using or selling Philips Semiconductors and Philips Electronics North America Corporation Products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips Semiconductors and Philips Electronics North America Corporation for any damages resulting from such improper use or sale.

Philips Semiconductors
811 East Arques Avenue
P.O. Box 3409
Sunnyvale, California 94088-3409
Telephone 800-234-7381

© Copyright Philips Electronics North America Corporation 1997
All rights reserved. Printed in U.S.A.

print code

Date of release: 04-96

Document order number:

9397 750 01699

Let's make things better.

Philips
Semiconductors



PHILIPS

1997 Sept 29

12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการค้าเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NE5534, NE5534A, SE5534, SE5534A LOW-NOISE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS070 – JULY 1979 – REVISED SEPTEMBER 1990

- Equivalent Input Noise Voltage
3.5 nV/√Hz
- Unity-Gain Bandwidth . . . 10 MHz Typ
- Common-Mode Rejection Ratio
100 dB Typ
- High DC Voltage Gain . . . 100 V/mV Typ
- Peak-to-Peak Output Voltage Swing
32 V Typ With $V_{CC\pm} = \pm 18$ V and $R_L = 600 \Omega$
- High Slew Rate . . . 13 V/μs Typ
- Wide Supply Voltage Range ± 3 V to ± 20 V
- Low Harmonic Distortion
- Designed to Be Interchangeable With
Signetics NE5534, NE5534A, SE5534,
and SE5534A

description

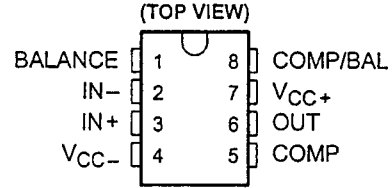
The NE5534, NE5534A, SE5534, and SE5534A are monolithic high-performance operational amplifiers combining excellent dc and ac characteristics. Some of the features include very low noise, high output drive capability, high unity-gain and maximum-output-swing bandwidths, low distortion, and high slew rate.

These operational amplifiers are internally compensated for a gain equal to or greater than three. Optimization of the frequency response for various applications can be obtained by use of an external compensation capacitor between COMP and COMP/BAL. The devices feature input-protection diodes, output short-circuit protection, and offset-voltage nulling capability.

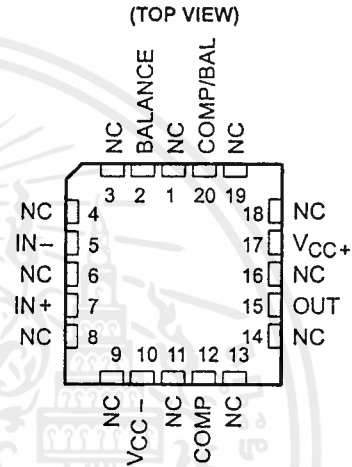
For the NE5534A, a maximum limit is specified for equivalent input noise voltage.

The NE5534 and NE5534A are characterized for operation from 0°C to 70°C. The SE5534 and SE5534A are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C.

NE5534, NE5534A . . . D OR P PACKAGE
SE5534, SE5534A . . . JG PACKAGE

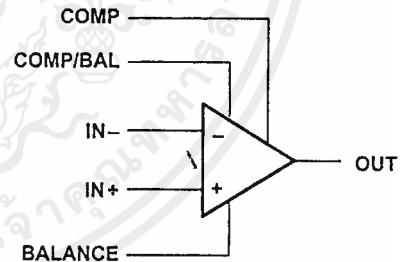


SE5534, SE5534A . . . FK PACKAGE



NC – No internal connection

symbol



SE5534A FROM TI NOT RECOMMENDED
FOR NEW DESIGNS

AVAILABLE OPTIONS

T _A	V _{IO} max AT 25°C	PACKAGE			
		SMALL OUTLINE (D)	CERAMIC (FK)	CERAMIC DIP (JG)	PLASTIC DIP (P)
0°C to 70°C	4 mV	NE5534D NE5534AD	— —	— —	NE5534P NE5534AP
-55°C to 125°C	2 mV	— —	SE5534FK SE5534AFK	SE5534JG SE5534AJG	— —

The D package is available taped and reeled. Add the suffix R to the device type (e.g., NE5534DR).

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

Copyright © 1990, Texas Instruments Incorporated

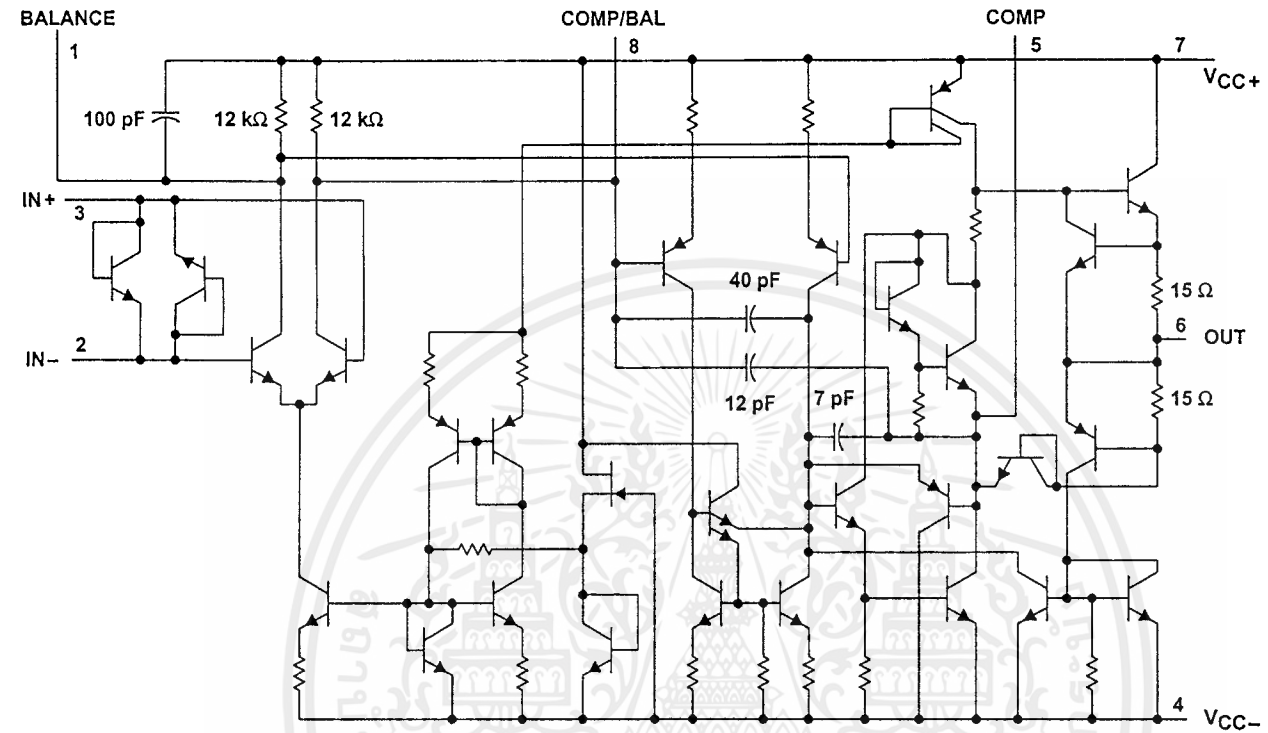
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ผู้อื่นลอกเลียนแบบหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

NE5534, NE5534A, SE5534, SE5534A LOW-NOISE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS070 – JULY 1979 – REVISED SEPTEMBER 1990

schematic



All component values shown are nominal.
Pin numbers shown are for D, JG, and P packages.

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

Supply voltage, V_{CC+} (see Note 1)	22 V
Supply voltage, V_{CC-} (see Note 1)	-22 V
Input voltage either input (see Notes 1 and 2)	V_{CC+}
Input current (see Note 3)	± 10 mA
Duration of output short circuit (see Note 4)	unlimited
Continuous total power dissipation	See Dissipation Rating Table
Operating free-air temperature range:	
NE5534, NE5534A	0°C to 70°C
SE5534, SE5534A	-55°C to 125°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C
Case temperature for 60 seconds: FK package	260°C
Lead temperature range 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds: JG package	300°C
Lead temperature range 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds: D or P package	260°C

- NOTES:
- All voltage values, except differential voltages, are with respect to the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-} .
 - The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage.
 - Excessive current will flow if a differential input voltage in excess of approximately 0.6 V is applied between the inputs unless some limiting resistance is used.
 - The output may be shorted to ground or to either power supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure the maximum dissipation rating is not exceeded.

NE5534, NE5534A, SE5534, SE5534A LOW-NOISE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS070 – JULY 1979 – REVISED SEPTEMBER 1990

DISSIPATION RATING TABLE

PACKAGE	$T_A \leq 25^\circ\text{C}$ POWER RATING	DERATING FACTOR ABOVE $T_A = 25^\circ\text{C}$	$T_A = 70^\circ\text{C}$ POWER RATING	$T_A = 125^\circ\text{C}$ POWER RATING
D	725 mW	5.8 mW/°C	464 mW	N/A
FK (see Note 5)	1375 mW	11.0 mW/°C	880 mW	275 mW
JG	1050 mW	8.4 mW/°C	672 mW	210 mW
P	1000 mW	8.0 mW/°C	640 mW	N/A

NOTE 5: For the FK package, power rating and derating factor will vary with actual mounting technique used. The values stated here are believed to be conservative.

recommended operating conditions

	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage, V_{CC+}		5	15	V
Supply voltage, V_{CC-}	-5		-15	V

electrical characteristics, $V_{CC} \pm \pm 15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†		NE5534, NE5534A			SE5534, SE5534A			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$V_O = 0$, $R_S = 50\ \Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.5	4		0.5	2	mV	
		$T_A = \text{Full range}$			5		3		
I_{IO} Input offset current	$V_O = 0$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	20	300		10	200	nA	
		$T_A = \text{Full range}$			400		500		
I_{IB} Input bias current	$V_O = 0$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	500	1500		400	800	nA	
		$T_A = \text{Full range}$			2000		1500		
V_{ICR} Common-mode input voltage range			± 12	± 13		± 12	± 13	V	
$V_{O(PP)}$ Maximum peak-to-peak output voltage swing	$R_L \geq 600\ \Omega$	$V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$	24	26		24	26	V	
		$V_{CC\pm} = \pm 18\text{ V}$	30	32		30	32		
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$V_O = \pm 10\text{ V}$, $R_L \geq 600\ \Omega$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	25	100		50	100	V/mV	
		$T_A = \text{Full range}$	15			25			
A_{vd} Small-signal differential voltage amplification	$f = 10\text{ kHz}$	$C_C = 0$		6		6		V/mV	
		$C_C = 22\text{ pF}$		2.2		2.2			
B_{OM} Maximum-output-swing bandwidth	$V_O = \pm 10\text{ V}$, $V_{CC\pm} = \pm 18\text{ V}$, $R_L \geq 600\ \Omega$,	$C_C = 0$		200		200		kHz	
		$C_C = 22\text{ pF}$		95		95			
		$V_O = \pm 14\text{ V}$, $C_C = 22\text{ pF}$		70		70			
B_1 Unity-gain bandwidth	$C_C = 22\text{ pF}$,	$C_L = 100\text{ pF}$		10		10		MHz	
r_i Input resistance			30	100		50	100	k Ω	
z_o Output impedance	$A_{VD} = 30\text{ dB}$, $C_C = 22\text{ pF}$,	$R_L \geq 600\ \Omega$, $f = 10\text{ kHz}$		0.3		0.3		Ω	
CMRR Common-mode rejection ratio	$V_O = 0$, $R_S = 50\ \Omega$	$V_{IC} = V_{ICRmin}$	70	100		80	100	dB	
kSVR Supply voltage rejection ratio ($\Delta V_{CC}/\Delta V_{IO}$)	$V_{CC+} = \pm 9\text{ V to } \pm 15\text{ V}$, $V_O = 0$,	$R_S = 50\ \Omega$	80	100		86	100	dB	
I_{OS} Output short-circuit current				38		38		mA	
I_{CC} Supply current	$V_O = 0$, No load	$T_A = 25^\circ\text{C}$	4	8		4	6.5	mA	
		$T_A = \text{Full range}$					9		

† All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode input voltage unless otherwise specified. Full range is $T_A = 0^\circ\text{C}$ to 70°C for NE5534 and NE5534A and -55°C to 125°C for SE5534 and SE5534A.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ INSTRUMENTS ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

NE5534, NE5534A, SE5534, SE5534A LOW-NOISE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS070 – JULY 1979 – REVISED SEPTEMBER 1990

operating characteristics, $V_{CC} \pm = \pm 15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	SE5534, NE5534			SE5534A, NE5534A			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
SR Slew rate at unity gain	$C_C = 0$	13			13			V/ μs
	$C_C = 22\text{ pF}$	6			6			
t_r Rise time	$V_I = 50\text{ mV}$, $A_{VD} = 1$, $R_L = 600\ \Omega$, $C_C = 22\text{ pF}$,	20			20			ns
Overshoot factor	$C_L = 100\text{ pF}$	20%			20%			
t_r Rise time	$V_I = 50\text{ mV}$, $A_{VD} = 1$, $R_L = 600\ \Omega$, $C_C = 47\text{ pF}$,	50			50			ns
Overshoot factor	$C_L = 500\text{ pF}$	35%			35%			
V_n Equivalent input noise voltage	$f = 30\text{ Hz}$	7			5.5	7		nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
	$f = 1\text{ kHz}$	4			3.5	4.5		
I_n Equivalent input noise current	$f = 30\text{ Hz}$	2.5			1.5			pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
	$f = 1\text{ kHz}$	0.6			0.4			
\bar{F} Average noise figure	$R_S = 5\text{ k}\Omega$, $f = 10\text{ Hz to } 20\text{ kHz}$				0.9			dB

TYPICAL CHARACTERISTICS†

NORMALIZED INPUT BIAS CURRENT
AND INPUT OFFSET CURRENT
vs
FREE-AIR TEMPERATURE

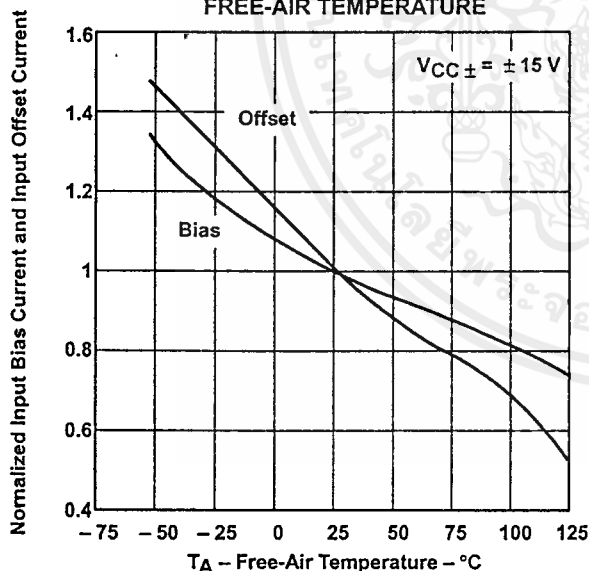


Figure 1

MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE
vs
FREQUENCY

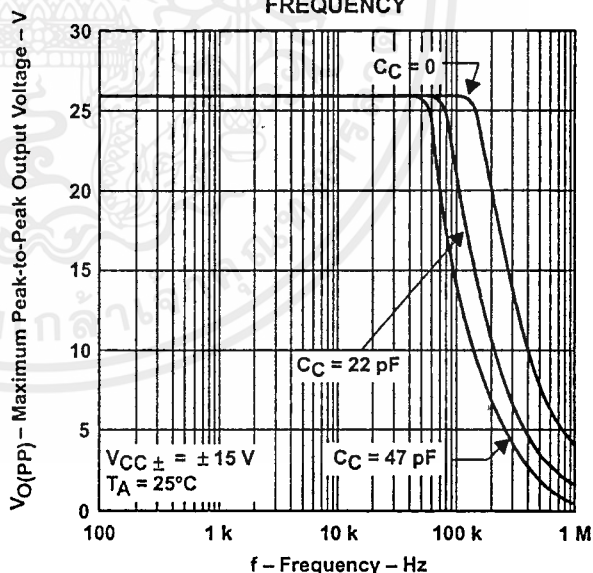


Figure 2

† Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices.

NE5534, NE5534A, SE5534, SE5534A LOW-NOISE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS070 – JULY 1979 – REVISED SEPTEMBER 1990

TYPICAL CHARACTERISTICS†

LARGE-SIGNAL
DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION
vs
FREQUENCY

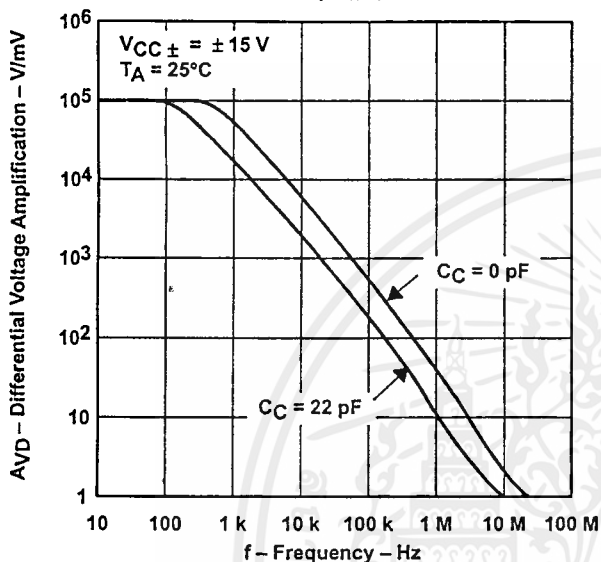


Figure 3

NORMALIZED SLEW RATE AND
UNITY-GAIN BANDWIDTH
vs
SUPPLY VOLTAGE

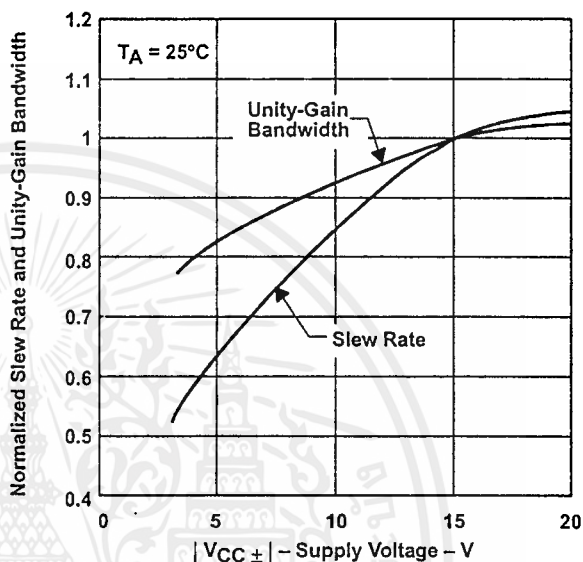


Figure 4

NORMALIZED SLEW RATE AND
UNITY-GAIN BANDWIDTH
vs
FREE-AIR TEMPERATURE

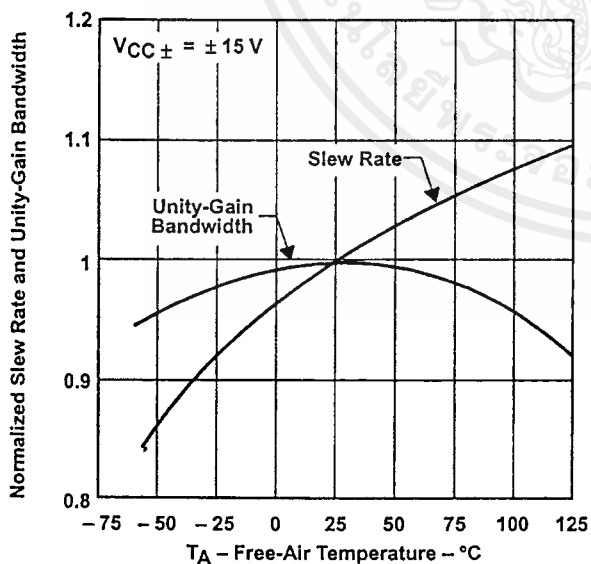


Figure 5

TOTAL HARMONIC DISTORTION
vs
FREQUENCY

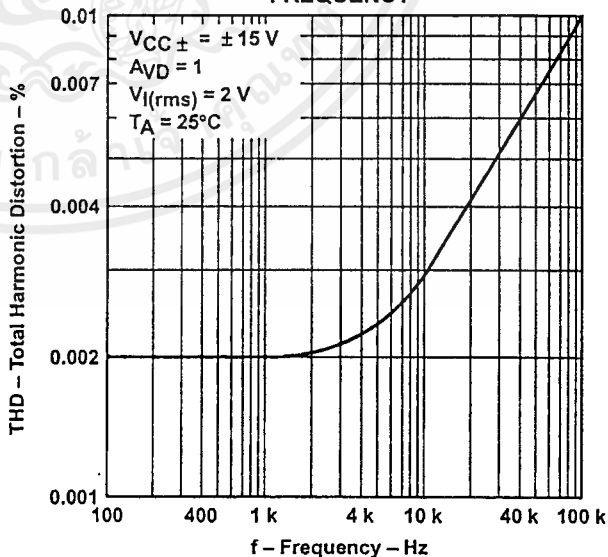


Figure 6

† Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices.



NE5534, NE5534A, SE5534, SE5534A
LOW-NOISE OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS070 – JULY 1979 – REVISED SEPTEMBER 1990

TYPICAL CHARACTERISTICS

EQUIVALENT INPUT NOISE VOLTAGE
vs
FREQUENCY

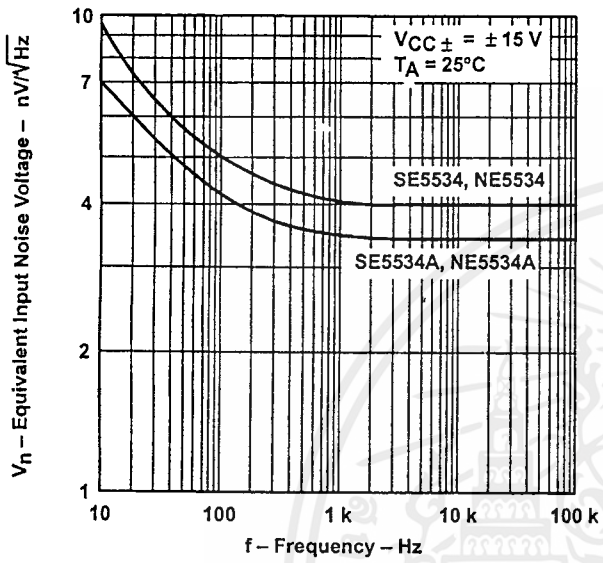


Figure 7

EQUIVALENT INPUT NOISE CURRENT
vs
FREQUENCY

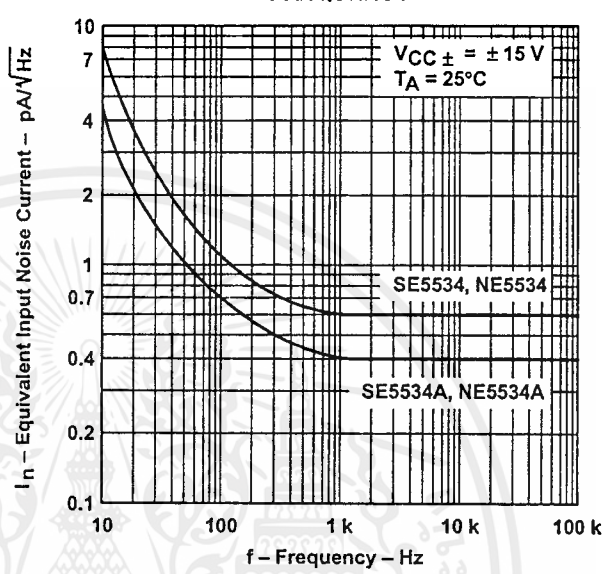


Figure 8

TOTAL EQUIVALENT INPUT NOISE VOLTAGE
vs
SOURCE RESISTANCE

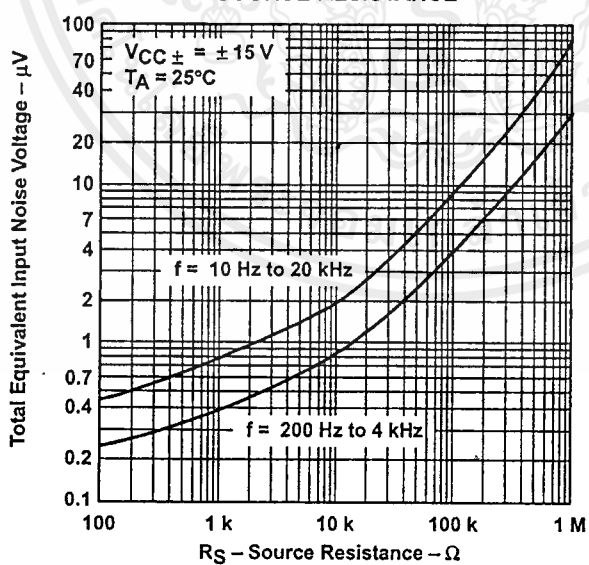


Figure 9



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