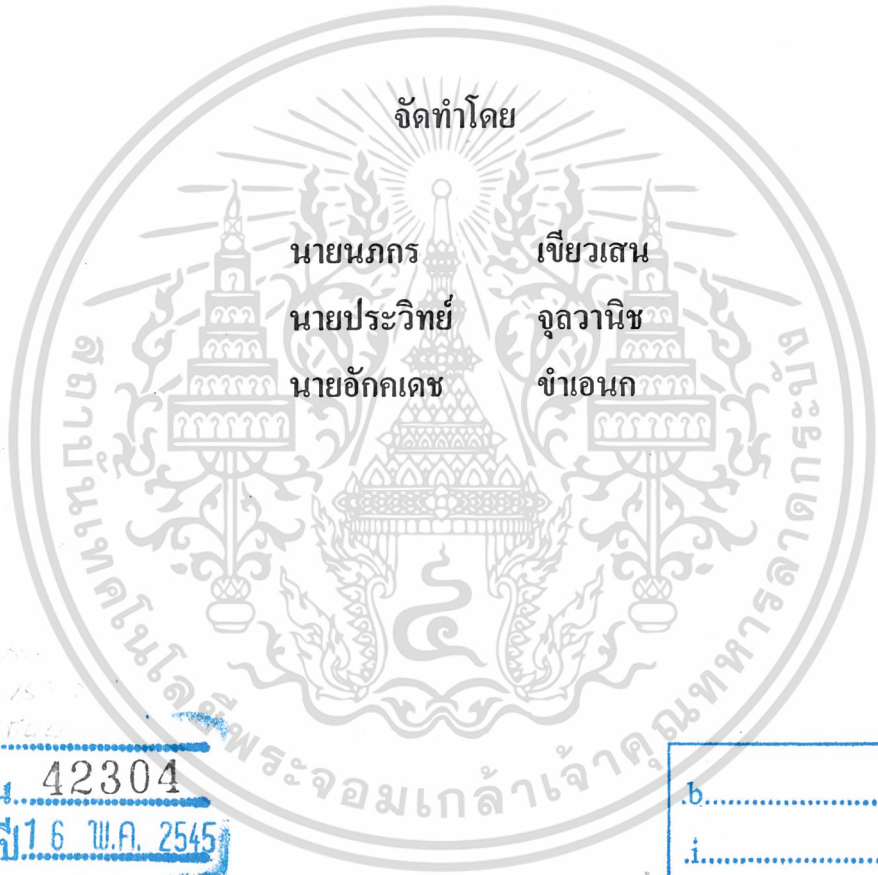


จักรยานพลังไฟฟ้า
ELECTRIC BICYCLE



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42304
วัน, เดือน, ปี 16 พ.ค. 2545

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

ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2544

หัวข้อปริญญาโท จักรยานพลังไฟฟ้า
(Electric Bicycle)

โดย นายนภกร เชี่ยวเสน 42015693
 นายประวิทย์ จุลวานิช 42015696
 นายอัคคเดช จำเอนก 42015714

ภาควิชา เทคโนโลยีอุตสาหกรรม
 อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สมภพ แก้วมีชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้
 ปริญญาโทฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต



คณะกรรมการสอบปริญญาโท
 อ.ที่ปรึกษา
 (.....)
 กรรมการ
 (.....)
 กรรมการ
 (.....)
 กรรมการ
 (.....)
 กรรมการ
 (.....)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	จักรยานพลังไฟฟ้า (Electric Bicycle)		
โดย	นายนภกร	เจี๊ยวเสน	42015693
	นายประวิทย์	จุลวานิช	42015696
	นายอัครเดช	จำเอนก	42015714
ภาควิชา	เทคนิคอุตสาหกรรม		
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สมภพ แก้วมีชัย		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้ ได้นำเสนอการพัฒนาจักรยานไฟฟ้าคันต้นแบบซึ่งประกอบด้วยวงจรวัดความเร็วรอบ วงจรควบคุมมอเตอร์ และวงจรชาร์จแบตเตอรี่ โดยโครงการนี้ ได้ทำการดัดแปลงโครงสร้างของรถจักรยาน และตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ อีกทั้งได้เปลี่ยนมอเตอร์ ตัวใหม่เพื่อประสิทธิภาพในการใช้งาน

จักรยานไฟฟ้าคันนี้จะทำงานได้โดยเซ็นเซอร์ (Sensors) ที่วัดความเร็วรอบที่ล้อหน้า แล้วส่งสัญญาณไปที่ชุดวัดความเร็วรอบ เมื่อรอบได้ตามที่กำหนดไว้ก็จะทำให้มอเตอร์ (motor) หมุนและขับเคลื่อนจักรยาน

PROJECT	ELECTRIC BICYCLE		
NAME	MR. NOPPAKON	KHIEWSSEN	42015693
	MR. PRAWIT	JULLAWANICH	42015696
	MR. URKADECH	KHUMARNEK	42015714
ADVISOR	MR. SOMPOPE	KEAWMEECHAI	
LEVEL OF STUDY	BACHALOR'S DEGREE IN INDUSTRIAL (TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY)		
ACADEMIC	YEAR 2001		

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 any where.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เกิดจากการร่วมมือร่วมใจของคณะทำงาน โดยได้รับความช่วยเหลือทางด้านคำแนะนำต่าง ๆ เป็นอย่างดีจากอาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์อีกหลายท่านในภาค รวมทั้งเพื่อน ๆ ที่ให้กำลังใจ และคำแนะนำที่ดีอีกหลาย ๆ ด้าน

อ.สมภพ แก้วมีชัย เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำในทุก ๆ ด้าน และช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์

และที่ขาดมิได้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้มีพระคุณยิ่งทำให้เราได้เกิดมา และเรียนจนประสบความสำเร็จ จึงกล่าวขอบพระคุณทั้งหมดมาในที่นี้ด้วย



สารบัญ

บทคัดย่อ	II
ABSTRACT	III
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล โครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์และจุดมุ่งหมายในการทำโครงการ	1
1.3 ส่วนประกอบของโครงการ	1
1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในโครงการ	3
2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	3
2.1.1 หลักการเบื้องต้นของมอเตอร์	4
2.1.2 การใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	5
2.1.3 ชนิดของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง	6
2.1.4 เครื่องกลแบบผสมพร้อมขั้วแทรก	9
2.2 ออปแอมป์	10
2.2.1 คุณสมบัติทั่วไป	10
2.2.2 ลักษณะการทำงาน	13
2.2.3 คุณสมบัติและพารามิเตอร์บางชนิดของออปแอมป์	15
2.2.4 ค่าใช้งานต่าง ๆ ที่ควรเข้าใจ	22
2.2.5 ชนิดของออปแอมป์และภาชนะรูปแบบต่าง ๆ	22
2.3 LM2917 Frequency to Voltage Converter	23
2.4 แบตเตอรี่	24
2.4.1 การประจุแบตเตอรี่	24
บทที่ 3 โครงสร้างของจักรยานไฟฟ้า	26
3.1 ส่วนประกอบต่างๆ	26
3.1.1 ส่วนเซ็นเซอร์	26
3.1.2 ส่วนวงจรวัดความเร็ว	26

3.1.3	ชุดขับเคลื่อนของตัวรถ	28
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลองโครงการ	30
4.1	การทดลองวงจร	30
4.1.1	ชุดควบคุมความเร็ว	30
4.1.2	ข้อมูลจำเพาะจักรยานไฟฟ้า	33
บทที่ 5	บทสรุปและข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการ	34
5.1	สรุปผลการทำงานของโครงการ	34
5.2	ปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงการ	34
	บรรณานุกรม	36
	ภาคผนวก	37



สารบัญรูป

รูปที่ 1.1	แสดงบล็อกไดอะแกรมของโครงการ	2
รูปที่ 2.1	มอเตอร์คือเครื่องกลที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล	4
รูปที่ 2.2	แรงคูดและแรงผลักรันระหว่างตัวนำ	5
รูปที่ 2.3	การจำแนกชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	7
รูปที่ 2.4	แสดงการต่อภายในของมอเตอร์ขนาน	8
รูปที่ 2.5	แสดงการต่อภายในของมอเตอร์อนุกรม	9
รูปที่ 2.6	แสดงโครงสร้างของคีมอเตอร์	10
รูปที่ 2.7	แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในภาคต่าง ๆ ของออปแอมป์	11
รูปที่ 2.8	แสดงสัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์	12
รูปที่ 2.9	แสดงวงจรภายในของออปแอมป์เบอร์ 741	13
รูปที่ 2.10	แสดงการต่อใช้งานออปแอมป์	14
รูปที่ 2.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขั้วต่าง ๆ	15
รูปที่ 2.12	แสดงการต่อปรับแรงดันออฟเซ็ท	16
รูปที่ 2.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราสควีกับสัญญาณเอาท์พุท	18
รูปที่ 2.14	แสดงอัตราขยายของออปแอมป์ในความถี่ต่าง ๆ	20
รูปที่ 2.15	แสดงการต่อวงจรแบบคิฟเฟอเรนเชียล	21
รูปที่ 2.16	แสดงโครงสร้างภายในของไอซี เบอร์ LM2917	24
รูปที่ 3.1	แสดงลักษณะของตัวเซ็นเซอร์และขาต่อใช้งาน	26
รูปที่ 3.2	แสดงการต่อใช้งานและวงจรภายในของไอซี	27
รูปที่ 3.3	แสดงการต่อวงจรวัดความเร็วรวม	28
รูปที่ 3.4	แสดงวงจรขั้วรีเลย์	29
รูปที่ 4.1	แสดงการต่อวงจรทดลอง	31

บทที่ 1

บทนำ

เนื่องจากในสภาพเศรษฐกิจปัจจุบันของประเทศขณะนี้ ได้ประสบปัญหาอย่างมากมาย ปัญหาการนำน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งมีราคาแพงก็เป็นอีกหนึ่งปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อประชาชนภายในประเทศ การนำจักรยานมาใช้แทนจักรยานยนต์ ที่ต้องใช้น้ำมันสำหรับการเดินทาง ในระยะทางไกล ๆ ก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้ประโยชน์ทางด้านสุขภาพอีกด้วย พลังงานที่สามารถนำมาใช้ ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงได้ก็คือ พลังงานไฟฟ้า ทางบริษัทผู้ผลิตจักรยานพลังงานไฟฟ้า กำลังพัฒนาการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจะต้องใช้ต้นทุนในการผลิตสูง จึงส่งผลให้ราคาซื้อสูงขึ้นตามไปด้วย จักรยานไฟฟ้าคันนี้จึงถูกนำมาพัฒนา ให้มีประสิทธิภาพสูงแต่ใช้ต้นทุนการผลิตต่ำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ในสภาวะปัจจุบันมีการรณรงค์ให้หันมาใช้พลังงานที่สามารถทดแทนพลังงานที่ได้จากน้ำมันมากขึ้นเนื่องจากเกิดมลภาวะกับสิ่งแวดล้อม คณะผู้จัดทำจึงเล็งเห็นและตระหนักถึงความสำคัญในข้อนี้ จึงได้นำโครงการจักรยาน พลังไฟฟ้ามาพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน โดยการทำงานนั้น จะมีตัววัดความเร็วรอบ โดยใช้หลักการวงจรแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า (Frequency to Voltage converter) ไปทำให้มอเตอร์ ทำงานขับเคลื่อนรถจักรยาน

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

1. เพื่อเป็นการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของจักรยานไฟฟ้า คันต้นแบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น อีกทั้งเพื่อลดต้นทุนการประดิษฐ์
2. เพื่อศึกษาถึงการทำงานของมอเตอร์ ในการนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านอื่น ๆ ต่อไปอย่างเหมาะสม
3. เพื่อศึกษาถึงการทำงานของวงจร Frequency to Voltage โดยประยุกต์ใช้ IC ในการนำมาตรวจวัดความเร็วรอบ

1.3 ส่วนประกอบของโครงงาน

1. ส่วนเซ็นเซอร์
2. ส่วนวัดความเร็วรอบ

3. ส่วนควบคุมมอเตอร์

ซึ่งทั้ง 3 ส่วนประกอบกันดังบล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) ได้ดังรูปที่ 1.1 และรถที่ ออกแบบตามรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของโครงการ

1.4 ขอบเขตของโครงการ

ชุดขับเคลื่อนรถยังคงใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งเป็นมอเตอร์ จึงอาจทำให้มีประสิทธิภาพได้สมบูรณ์มาก รวมทั้งแหล่งพลังงานเป็นแบตเตอรี่เซลล์แห้ง จึงอาจใช้งานได้ไม่นาน ต้องมีการชาร์จแบตเตอรี่อยู่อย่างสม่ำเสมอ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในโรงงาน

ในการออกแบบและสร้างจักรยานไฟฟ้านี้ จำเป็นต้องมีการอ้างถึงทฤษฎีการทำงานและหลักการเบื้องต้นของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในโรงงาน ตลอดจนข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์บางตัวเพื่อที่จะใช้เป็นแนวทางในการทำโรงงาน ซึ่งจะขอกล่าวเฉพาะในรายละเอียดของทฤษฎีที่จำเป็นและได้นำมาประยุกต์ใช้ใน โรงงานเท่านั้น

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC MOTOR)

โดยทั่วไปมอเตอร์ที่มีขนาดวัตต์ต่ำ ๆ ขนาด 746 วัตต์ (1 แรงม้า) มักจะใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก

เป็นที่น่าสังเกตว่าในระยะเวลาสิบปีที่ผ่านมา มอเตอร์ขนาดเล็กถูกนำมาใช้งานเพิ่มมากขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรม โรงงานขนาดเล็ก สถานที่ทำงาน และตามบ้านเรือน ได้แก่พัดลม เครื่องบด เครื่องปั่น เครื่องซักผ้า บิมน้ำ เครื่องกลึง เครื่องไส เครื่องเจาะ เครื่องคว้าน เครื่องเลื่อย เครื่องเจียรไน เป็นต้น ต่างก็ทำงานด้วยการขับหมุนของมอเตอร์ แม้ว่าแกนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ไม่จำเป็นต้องทำเป็นแบบเหล็กแผ่นอัดซ้อนกัน แต่มอเตอร์ชนิดนี้ที่มีขนาดเล็ก ๆ ซึ่งไม่ถึง 1 แรงม้า มักนิยมทำแกนขั้วแม่เหล็กเป็นเหล็กแผ่นอัดซ้อนกัน โดยที่แกนขั้วแม่เหล็กและโครงภายใน (yoke) เป็นแผ่นเดียวกัน แกนขั้วแม่เหล็กเป็นแบบขั้วที่ยื่นออก และพันขดลวด สนามแม่เหล็กเพียงชุดเดียว มอเตอร์ชนิดนี้มักจะทำขั้วแม่เหล็กสองขั้วมากกว่า 4 ขั้ว ส่วนอาร์เมเจอร์ก็ทำเป็นแบบเหล็กแผ่นอัดซ้อนกันตลอดสำหรับพันขดลวด และสวมอยู่บนเพลาลูกเหล็ก

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

การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ไฟฟ้ากระแสตรงทำได้หลายวิธีเช่นในมอเตอร์แบบอนุกรมสามารถควบคุมความเร็วรอบได้โดยการนำความต้านทานมาต่ออนุกรมกับมอเตอร์ในวงจร วิธีนี้ทำให้ความเร็วลดลงได้ 1 ใน 4 ของความเร็วรอบสูงสุด สำหรับมอเตอร์แบบขนานและแบบผสม สามารถลดความเร็วรอบได้โดยนำความต้านทานมาต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ทำให้ความเร็วรอบลดลงได้ 1 ใน 10 หรือน้อยกว่าความเร็วรอบสูงสุด และให้แรงบิดได้เต็มที่ตามพิกัดตลอดช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของความเร็วที่ใช้งาน ความเร็วรอบของมอเตอร์ทั้งสองชนิดที่กล่าวมาจะเพิ่มได้โดยใช้ตัวต้านทานต่ออนุกรมกับขดลวดขนาบ ซึ่งความเร็วรอบอาจจะเพิ่มถึง 100 เปอร์เซ็นต์ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การออกแบบมอเตอร์ ในกรณีนี้แรงบิดจะลดลงถ้าหากความเร็วรอบเพิ่มขึ้น

เนื่องจากการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับกันอย่างแพร่หลายทั้งเฟสเดียวและสามเฟส อาจทำให้คิดว่าไม่มีการใช้มอเตอร์กระแสไฟตรงแล้วก็ได้ ซึ่งเป็นจริงเฉพาะระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับตามปกติเท่านั้น แต่ไม่จริงในกรณีของเครื่องพิเศษทั่ว ๆ ไป ซึ่งยังคงใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงกันอยู่มากและมีเครื่องบางชนิดไม่สามารถใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับได้

2.1.1 หลักการเบื้องต้นของมอเตอร์

มอเตอร์คือเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ตัวนำที่ให้กระแสไหลผ่านเมื่อวางใกล้กันจะให้แรงดูดและแรงผลักต่อกันดังนี้



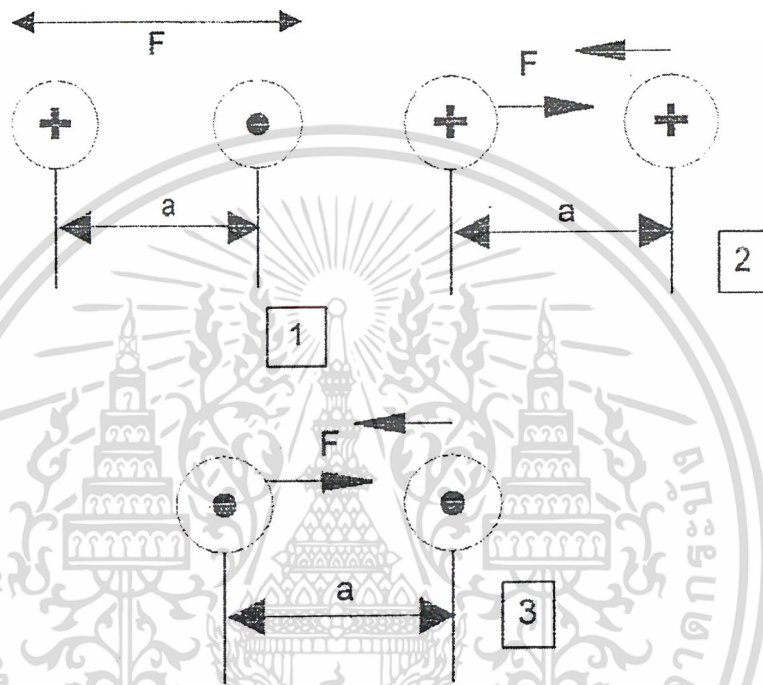
รูปที่ 2.1 มอเตอร์คือเครื่องกลที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล

- ตัวนำที่ทำให้กระแสไหลทางเดียวกัน จะให้แรงดูดต่อกัน และ
- ตัวนำที่ให้กระแสไหลสวนทางกัน จะทำให้แรงผลักกัน

แรงดูดและแรงผลักระหว่างตัวนำที่ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน คำนวณได้จากสมการไฟฟ้าดังต่อไปนี้

$$F = 2 \cdot 10^{-7} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{\ell}{a} \text{ [N]}$$

เมื่อ F = แรงดูดและแรงผลักต่อกันระหว่างตัวนำ
 I_1 และ I_2 = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำทั้งสอง
 \mathcal{G} = ความยาวตัวนำ
 a = ระยะห่างระหว่างตัวนำ



รูปที่ 2.2 แรงดูดและแรงผลักกันระหว่างตัวนำ

1 ตัวนำให้แรงผลักต่อกัน

2 และ 3 ตัวนำให้แรงดูดต่อกัน

2.1.2 การใช้งานมอเตอร์กระแสไฟตรง

ตัวอย่างการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอย่างแท้จริงคือ มอเตอร์รถ ซึ่งมีใช้กับเก้าอี้คนใช้ เครื่องกลที่ใช้เป็นของเล่นเพื่อความเพลิดเพลินต่าง ๆ ยังใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอยู่ ถึงแม้จะมีใช้กันมานานแล้วก็ตามก็ยังมีมีการใช้ผิคืออยู่บ่อย ๆ โดยอุปกรณ์หรือเครื่องกลเหล่านั้นควรใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำ จะทำให้มีความปลอดภัยมากขึ้น และสามารถทนการใช้งานผิดพลาดอย่างแรงได้ดีกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กเป็นตัวอย่างการใช้งานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอีกแบบหนึ่ง โดยกระแสไฟตรงที่ได้ออกมาจะไปใช้กับเครื่องตัดรื้อต้นไม้ นอกจากนั้นในเครื่องบิดยัง

ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ในเรือมีบีเอ็มซึ่งใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับอยู่แล้วก็ตาม โดยแปลงไฟฟ้ากระแสสลับมาเป็นกระแสตรงเพื่อนำไปใช้กับเครื่องมือไฟฟ้าที่ใช้กับกระแสตรงทั้งหลาย

จะเห็นได้ว่าช่างไฟฟ้าอาจจะต้องทำงานเกี่ยวกับเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงในโอกาสใดก็ได้ และอาจจะพบกับความยุ่งยากต่าง ๆ ในการวิเคราะห์หาความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเพื่อจะได้ทำการซ่อมต่อไป ในอดีตนั้นเคยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงกันมาก่อน จึงทำให้ช่างไฟฟ้าต้องบริการงานทางด้านนี้ด้วย แต่ในปัจจุบันได้มีการใช้ไฟฟ้ากระแสสลับกันอย่างแพร่หลาย จึงทำให้ช่างไฟฟ้าไม่ค่อยมีโอกาสได้ฝึกฝนเกี่ยวกับเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงมากนัก

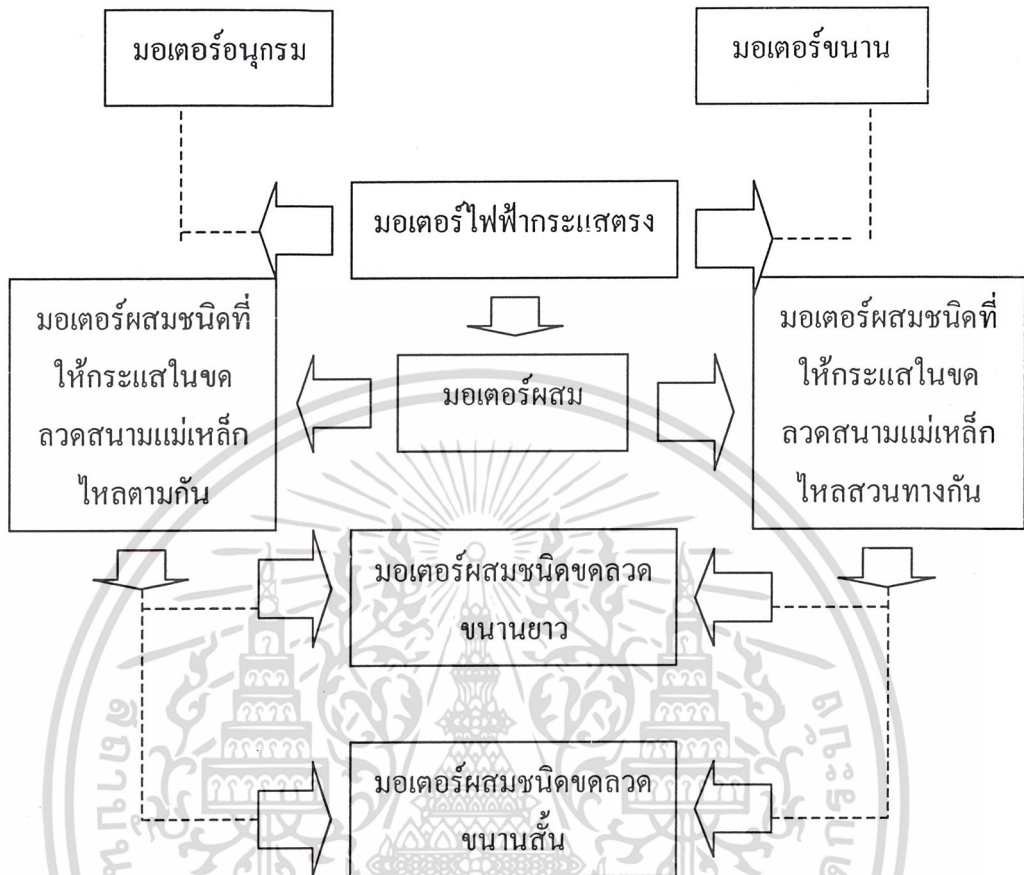
2.1.3 ชนิดของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

วิธีการต่อวงจรภายในของมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงมีอยู่ 3 วิธี ทั้งมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีลักษณะคล้ายกันมาก ข้อแตกต่างก็คือ มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นตัวถูกขับ

สิ่งที่สำคัญสำหรับช่างไฟฟ้าก็คือจะต้องจำแบบของการต่อวงจรชนิดต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำ และสามารถแยกชนิดได้อย่างชัดเจนไม่สับสน

การจำแนกชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถจำแนกชนิดออกได้ทั้งตามลักษณะของการต่อขดลวดสนามแม่เหล็ก (หรือการพันขดลวดสนามแม่เหล็ก) และการไหลของกระแสผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กดังนี้

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

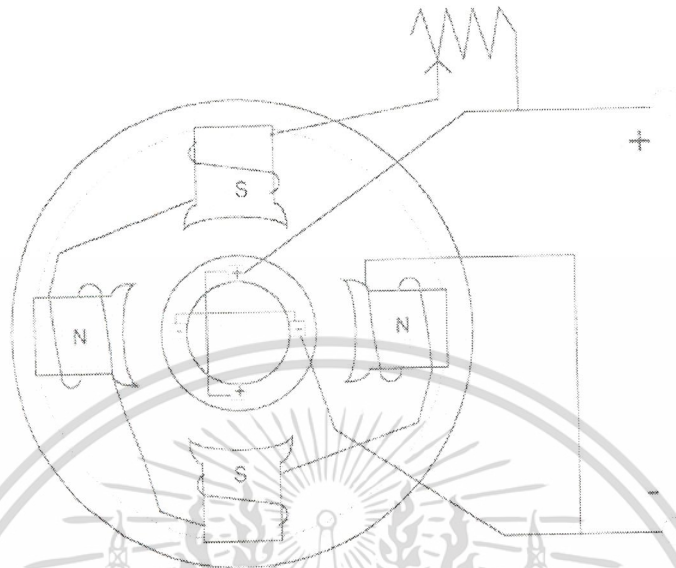


รูปที่ 2.3 การจำแนกชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1. การต่อขั้วแม่เหล็กแบบขนาน

การต่อขั้วแม่เหล็กแบบขนาน ซึ่งขดลวดอาร์เมเจอร์และขดลวดขั้วแม่เหล็กต่อขนานกัน ดังนั้นจึงทำให้ขดลวดขั้วแม่เหล็กแบบขนานต่อโดยตรงพร้อมกับสายจ่ายไฟ

จะเห็นได้ว่าขดลวดขั้วแม่เหล็กแบบขนานควรมีค่าความต้านทานสูงมากพอเพื่อให้มีกระแสไหลผ่านน้อย กระแสที่ไหลผ่านขดลวดขั้วแม่เหล็กเมื่อนำมาคูณกับจำนวนรอบของขดลวดจะได้จำนวน แอมแปร์-รอบ (A.T) แอมแปร์-รอบจะทำให้เกิดกำลังสนามแม่เหล็กในแต่ละขั้วแม่เหล็ก เนื่องจากมีกระแสไหลผ่านในขดลวดขั้วแม่เหล็กน้อย จึงต้องมีจำนวนรอบมากเพื่อให้ได้จำนวนแอมแปร์-รอบตามต้องการ

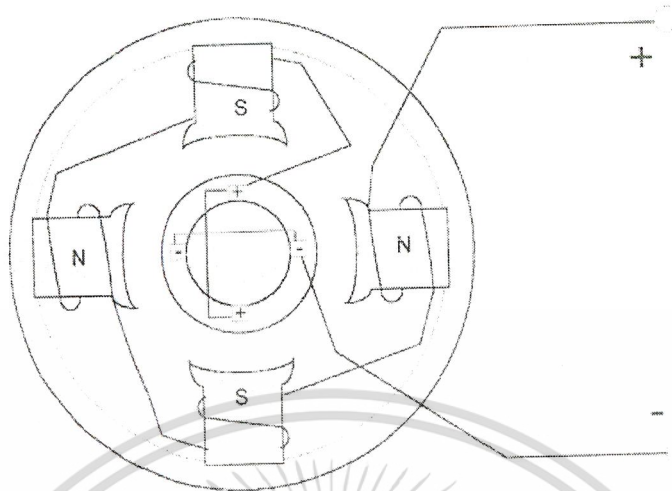


รูปที่ 2.4 แสดงการต่อภายในของมอเตอร์ขนาด

2. การต่อขั้วแม่เหล็กแบบอนุกรม

การต่อแบบนี้ขดลวดขั้วแม่เหล็กต่ออนุกรมกับอาร์มเจอร์ ดังนั้นขดลวดแม่เหล็กจะมีกระแสทั้งหมดของมอเตอร์ผ่านด้วย ดังนั้นลวดตัวนำที่ใช้ทำขดลวดขั้วแม่เหล็กแบบอนุกรมจะต้องมีขนาดใหญ่ มีความต้านทานต่ำ และมีจำนวนรอบน้อยกว่าแบบขนาน

ตัวอย่างสมมุติว่าต้องการ 1000 แอมแปร์-รอบ (ซึ่งจำนวนแอมแปร์-รอบจะเป็นตัวกำหนดจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดขั้วแม่เหล็ก) ถ้ามีกระแสผ่าน 1 แอมแปร์ (A) จะต้องพันลวดถึง 1000 รอบใช้ลวดมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.63 มม. สำหรับขดลวดขั้วแม่เหล็กแบบอนุกรมที่จะทำให้เกิด 1000 แอมแปร์-รอบจะต้องใช้ขดลวดจำนวน 100 รอบโดยมีกระแสผ่าน 10 A (แอมแปร์) โดยพันด้วยลวดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 มม. ซึ่งตัวอย่างที่ยกมาอันหลังนี้เป็นของมอเตอร์ขนาด 570 วัตต์ 110 โวลต์



รูปที่ 2.5 แสดงการต่อภายในของมอเตอร์อนุกรม

3. การต่อขั้วแม่เหล็กแบบผสม

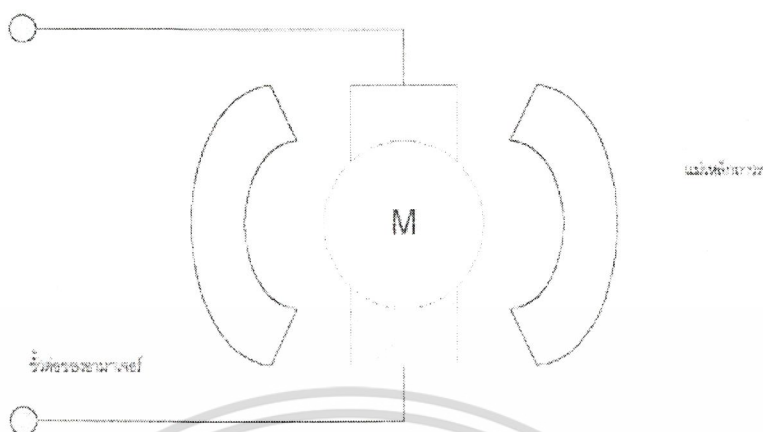
การต่อแบบผสมนี้ต่ออยู่ในมอเตอร์ตัวหนึ่ง ซึ่งมีการต่อทั้งสองแบบ ซึ่งขดลวดขั้วแม่เหล็กแบบขนานก็ยังคงต่อขนานคร่อมสายจ่ายไฟ แต่อาร์เมเจอร์จะต่ออนุกรมกับขดลวดขั้วแม่เหล็ก แบบอนุกรมสองขด

2.1.4 เครื่องกลแบบผสมพร้อมด้วยขั้วแทรก

การต่อแบบผสมเหมือนกับที่กล่าวมาแล้วเพียงแต่เพิ่มขดลวดขั้วแม่เหล็กแทรก (interple winding) ซึ่งออกแบบไว้เพื่อควบคุมคอมมิวเตชันของเครื่องกลไฟฟ้า (ลดการเกิดประกายไฟที่แปรงถ่าน) ขั้วแม่เหล็กแทรกนี้จะต่อทำมุม 90 องศา ทางไฟฟ้ากับขั้วแม่เหล็ก และต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์เพื่อให้กระแสทั้งหมดไหลผ่านขดลวดนี้ จึงต้องใช้ลวดเส้นใหญ่มากพันขั้วแม่เหล็กแทรกนี้ เพื่อให้มีความต้านทานน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

ในโครงงานนี้คือชิมอเตอร์ที่เป็นแบบแม่เหล็กการได้ถูกนำมาใช้ ซึ่งมีคุณลักษณะดัง รูปที่

2.6



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของดีซีมอเตอร์

มอเตอร์แบบนี้จะใช้การกระตุ้นฟลักซ์ของมอเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวรซึ่งต่างจากแบบอื่นที่ใช้ขดลวดซึ่งแบบนี้จะให้เส้นแรงแม่เหล็กของฟลักซ์ที่มีค่าคงที่ ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างกระแสอาร์มาเจอร์และแรงบิดจะมีค่าคงที่ด้วย ซึ่งจะมีข้อดีคือไม่มีการสูญเสียในฟลักซ์ ทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าและมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับมอเตอร์แบบใช้ขดลวดในการกระตุ้น ที่มีขนาดกำลังม้าเท่ากัน จึงเหมาะที่จะนำไปใช้กับงานที่ต้องการแรงบิดของโหลดสูง ๆ

2.2 ออปแอมป์

ออปแอมป์ คือ อุปกรณ์ชนิดหนึ่งซึ่งถูกออกแบบมาให้สามารถทำงานได้หลายรูปแบบ และยังเน้นความสะดวกในการนำไปใช้งานอีกด้วย โดยสามารถประกอบเป็นวงจรได้โดยการต่อร่วมกับอุปกรณ์ภายนอกเพียงไม่กี่ตัวเท่านั้น ในอดีตออปแอมป์จะประกอบขึ้นจากอุปกรณ์หลายตัวที่ถูกนำมาบรรจุไว้ในภาชนะชิ้นเดียวกัน ซึ่งนอกจากจะทำให้ออปแอมป์มีขนาดใหญ่แล้ว ยังอาจมีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำด้วย แต่ปัจจุบัน เราสามารถซื้อออปแอมป์ในรูปแบบของวงจรรวม (IC) ได้ตามท้องตลาด และจากคุณสมบัติ IC ออปแอมป์ที่ได้พัฒนาขึ้นทำให้อุปกรณ์ชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย

2.2.1 คุณสมบัติทั่วไป

โดยทั่วไปแล้ว เราสามารถกล่าวได้ว่า ไอซีออปแอมป์ คืออุปกรณ์โซลิดสเตท (SOLID STATE) ชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถตรวจวัดระดับสัญญาณไฟตรง และไฟสลับได้ และยังสามารถนำไปใช้ขยายสัญญาณได้อีกด้วย ไอซีออปแอมป์พื้นฐานจะต้องประกอบด้วยวงจรภายในภาคต่าง ๆ

ดังนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ หรือ วงจรขยายผลต่าง (DIFFERENTIAL AMPLIFIER) ที่มีอินพุทอิมพีแดนซ์สูงมาก
2. วงจรขยายแรงดันซึ่งมีอัตราขยายสูงมาก
3. วงจรขยายภาคเอาต์พุทที่มี เอาต์พุทอิมพีแดนซ์ต่ำมาก

รูป 2.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในภาคต่าง ๆ ของออปแอมป์ดังกล่าว และจากรูปจะสังเกตเห็นว่า แรงดันไฟตรงที่จ่ายให้แก่ออปแอมป์มักประกอบด้วยไฟบวกและลบ เพื่อให้เอาต์พุทสามารถสวิงได้ทั้งซีกบวกและลบเทียบกับกราวด์

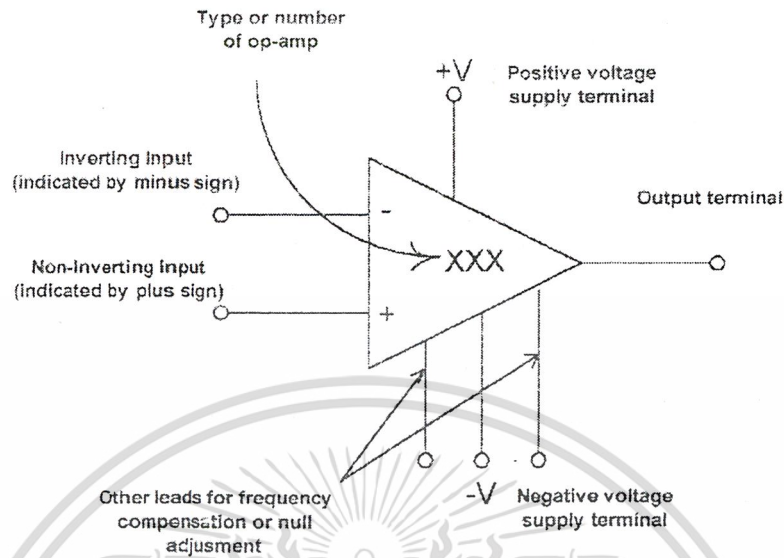


รูปที่ 2.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรภายในภาคต่าง ๆ ของออปแอมป์

จากคุณสมบัติของออปแอมป์ที่กล่าวมา ทำให้เราสามารถสรุปคุณสมบัติที่สำคัญบางประการของออปแอมป์ในอุดมคติ ดังนี้

1. เนื่องจากอินพุทอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์มีค่าสูงเป็นอนันต์ กระแสเข้าที่อินพุทจะต่ำจนเกือบเท่าศูนย์ หรืออีกนัยหนึ่ง ไม่มีกระแสอินพุทเข้าสู่ออปแอมป์เลย
2. อัตราขยายขณะเปิดลูป A (ขณะที่ยังไม่มีลูปป้อนกลับ) จะมีค่าสูงมาก ซึ่งหมายความว่าแรงดันระหว่างขั้วอินพุทควรมีค่าใกล้ศูนย์ (เนื่องจาก $V_{out}/A = V_{in}$)
3. เอาต์พุทอิมพีแดนซ์มีค่าต่ำมากจนไม่ทำตัวเป็นโหลดต่อภาคเอาต์พุทของวงจรขยาย

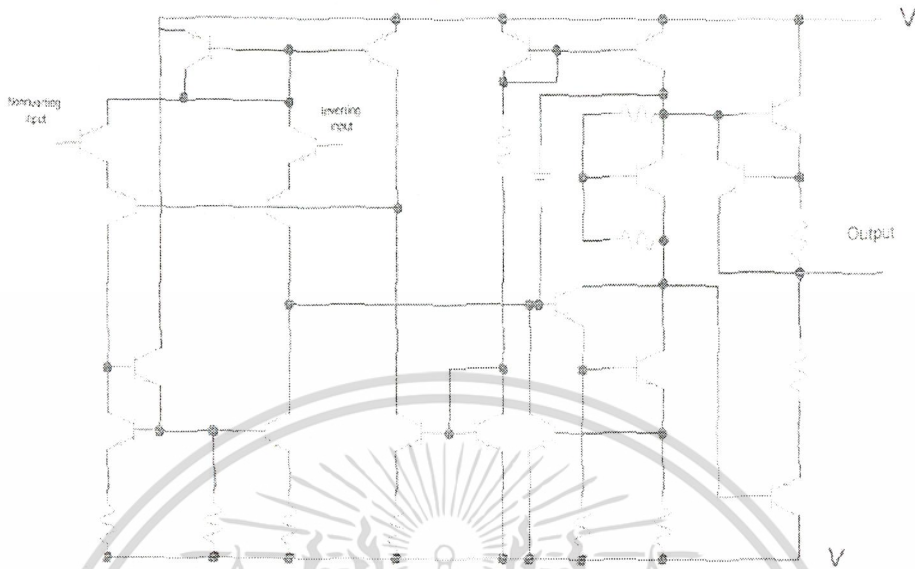
รูป 2.8 แสดงสัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์ ซึ่งประกอบด้วยขั้วอินพุท 2 ขั้ว ขั้วสำหรับแหล่งจ่ายไฟ 2 ขั้ว ขั้วเอาต์พุท 1 ขั้ว และขั้วสำหรับปรับออฟเซต หรือการชดเชยความถี่อีก 2 ขั้ว



รูป 2.8 แสดงสัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์

ขั้วอินพุตทั้งสองของออปแอมป์มีลักษณะต่างกันดังนี้ คือ สำหรับขั้วลบ เมื่อป้อนไฟตรงหรือไฟสลับเข้าไป ในขณะที่ขั้วบวกต่อกันจุดอ้างอิงจุดหนึ่ง สัญญาณที่ออกมาที่เอาต์พุตจะกลับเฟสกับอินพุต 180 องศา ส่วนการป้อนสัญญาณที่ขั้วบวก เอาต์พุตจะมีเฟสตรงข้ามกับอินพุต ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าเครื่องหลายที่อินพุต คือ การแสดงเฟสของเอาต์พุตเทียบกับอินพุต ส่วนขั้วสำหรับปรับออฟเซต หรือชดเชยความถี่นั้น โดยมากมักจะไม่ได้ถูกแสดง ในวงจรทั่วไป

ในการนำออปแอมป์ไปใช้งานจริงนั้น เราอาจไม่จำเป็นต้องศึกษาให้ลึกซึ้งถึงวงจรภายในแต่อย่างไรก็ตาม, ในรูป 2.9 จะแสดงวงจรภายในของออปแอมป์เบอร์ 741 ซึ่งผู้สนใจสามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมจากสเป็ค หรือรายละเอียดของผู้ผลิต



รูป 2.9 แสดงวงจรภายในของออปแอมป์เบอร์ 741

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

หากนำวงจรในรูป 2.9 มาเปรียบเทียบกับรูป 2.7 จะสามารถแยกวงจรออกเป็น 3 ภาค ได้เช่นกัน โดยมีทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ทำหน้าที่เป็นดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ ทรานซิสเตอร์ Q_{16} , Q_{17} ซึ่งถูกต่อแบบคาร์ลิงตันทำหน้าที่เป็นวงจรขยายแรงดันที่มีอัตราขยายสูงมาก ส่วนภาคเอาต์พุตจะประกอบด้วย Q_{14} , Q_{20} ทรานซิสเตอร์ Q_{15} นั้นมีไว้สำหรับจำกัดกระแสและป้องกันออปแอมป์เสียหาย เมื่อเอาต์พุตถูกลัดวงจร ส่วนอุปกรณ์ตัวอื่น ๆ จะมีหน้าที่ในการจัดไบอัส และช่วยในการขยายสัญญาณสำหรับออปแอมป์

2.2.2 ลักษณะการทำงาน

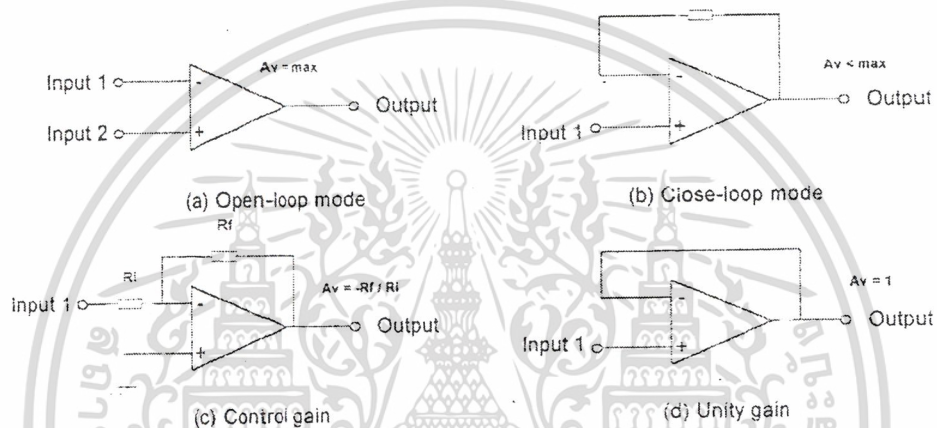
ออปแอมป์ในอุดมคติจะมีอัตราขยายเป็นอนันต์ แต่ในทางปฏิบัติ อัตราขยายอาจมีค่าสูงสุดเพียง 10000 หรือ 1000000 เท่านั้น ซึ่งเรียกว่า อัตราขยายขณะเปิดลูป (A_v) ดังรูป 2.10 (a) ในขณะที่เกิดความแตกต่างของแรงดันเพียงเล็กน้อยระหว่างขั้วอินพุตทั้งสอง เอาต์พุตจะสามารถให้สัญญาณสูงขึ้นหลายเท่า (ตามค่าของอัตราขยาย A_v) หากแต่จะถูกจำกัดด้วยขนาดของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่เราป้อนให้แก่ออปแอมป์ด้วย แต่ถึงเช่นนั้นก็ดี เอาต์พุตก็จะไม่สามารถมีค่าสูงสุดเท่าแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงได้จริง ทั้งนี้เกิดจากแรงดันที่ตกคร่อม Q_{14} , R_9 หรือ R_{10} , Q_{20} ในรูป 1-3 ทำให้แรงดันเอาต์พุตสูงสุดอาจมีค่าประมาณ 90% ของแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงเท่านั้น

จากคุณสมบัติข้างต้น เราสามารถนำออปแอมป์ในขณะเปิดลูปไปใช้งานเป็นคอมพาราเตอร์ (COMPARATOR) หรือวงจรเปรียบเทียบแรงดันได้ โดยเอาต์พุตจะเปลี่ยนทันทีเมื่อมีความแตกต่างของแรงดันเกิดขึ้นระหว่างขั้วอินพุตของออปแอมป์



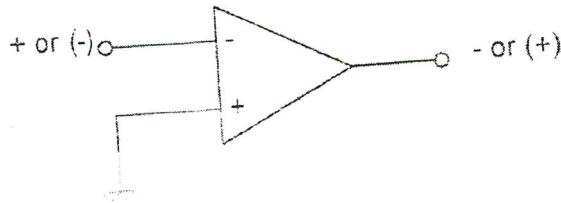
รูป 2.10

แต่ทว่า การทำงานของออปแอมป์ยังไม่สิ้นสุดเพียงเท่านั้น นอกจากนี้ จะพบว่าการใช้ออปแอมป์ในลักษณะของลูปปิด (มีการป้อนกลับ) จะทำให้ออปแอมป์มีประโยชน์สูงมากขึ้น ดังรูป 2.10 b การป้อนกลับในรูปในตัวต้าน R_f เพียงตัวเดียว ซึ่งมีผลให้วงจรมีเสถียรภาพสูงขึ้น และมีสัญญาณรบกวนน้อยลง ในขณะเดียวกัน อัตราขยายแรงดันจะลดลง ด้วย

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

$$A_v = -R_f/R_i$$

โดยที่เครื่องหมายลบแสดงถึงการกลับเฟสของเอาต์พุตเทียบกับอินพุต ส่วนวงจร 2.10b แสดงการป้อนกลับในกรณีที่ $A_v = 1$ คุณสมบัติที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้ คือ คุณสมบัติทั่วไปของออปแอมป์ที่จะนำไปใช้ในบทต่อ ๆ ไป และนอกจากนี้ คุณสมบัติอีกประการที่ควรศึกษาคือ เรื่องความสัมพันธ์ของขั้วต่าง ๆ ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของออปแอมป์ ซึ่งสรุปไว้แล้วในรูป 2.11



รูป 2.11

1. ถ้าขั้ว - มีศักดาเป็นบวกสูงกว่าขั้ว + เอาท์พุทเป็น -
2. ถ้าขั้ว - มีศักดาเป็นบวกต่ำกว่าขั้ว + เอาท์พุทเป็น +

2.2.3 คุณสมบัติและพารามิเตอร์บางชนิดของออปแอมป์

1. อินพุทอิมพีแดนซ์

ในทางอุดมคติควรมีค่าเท่ากับอนันต์ แต่ในความเป็นจริง อินพุทอิมพีแดนซ์จะมีค่าประมาณ 1 เมกะโอห์ม (1×10^6 โอห์ม) ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์นี้ยังมีค่ามากขึ้นเท่าใด ออปแอมป์ตัวนั้นก็ทำงานได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ เมื่อนำออปแอมป์ไปใช้งานในย่านความถี่สูง ควรระวังผลจากอินพุทคาปาซิแตนซ์ของวงจรด้วย ซึ่งมักมีค่าประมาณ 2 พิโคฟารัด (2×10^{-12} ฟารัด) เมื่อขั้วอินพุทขั้วหนึ่งต่อกับกราวด์

2. เอาท์พุทอิมพีแดนซ์

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ออปแอมป์ในอุดมคติจะมีเอาท์พุทอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์ แต่ในความเป็นจริง ค่านี้อาจมีได้ตั้งแต่ 25 ถึงหลายพันโอห์มขึ้นไป แต่อย่างไรก็ตาม เรามักสมมุติให้เอาท์พุทอิมพีแดนซ์ในวงจรมีค่าเป็นศูนย์ เพื่อง่ายต่อการคำนวณ และวิเคราะห์

จากคุณสมบัติของออปแอมป์ที่มีอินพุทอิมพีแดนซ์สูง และมีเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ต่ำ ออปแอมป์จึงเปรียบเสมือนเป็นอุปกรณ์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นอินพีแดนซ์แมทซ์ชิง (IMPEDANCE MATCHING) ที่ดี ตัวหนึ่ง

3. กระแสไบอัสด้านอินพุท

เนื่องจากอินพุทอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์ไม่เป็นอนันต์ ดังนั้น จึงมีกระแสค่าน้อย ๆ (มีหน่วยเป็น นาโน (10^9) ถึง ไมโคร (10^6) แอมแปร์) ไหลผ่านชั้นอินพุททั้งสอง ซึ่งค่าเฉลี่ยของกระแสดังกล่าวถูกเรียกว่าเป็น กระแสไบอัสด้านอินพุท กระแสจะก่อให้เกิดความไม่สมดุลในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใน ซึ่งจะเป็นผลกระทบต่อภาคเอาต์พุตด้วย ดังนั้น กระแสนี้ควรถูกกำจัดให้มีค่าต่ำสุด (อาจทำได้โดยการใช้ออฟเซตที่มีอินพุตเป็น FET)

4. แรงดันออฟเซต (OFFSET) ที่เอาต์พุต

แรงดันออฟเซตที่เอาต์พุตเกิดขึ้นจากกระแสไบอัสด้านอินพุต ซึ่งในทางอุดมคติ เมื่อแรงดันอินพุตระหว่างขั้วทั้งสองมีค่าเท่ากัน แรงดันที่เอาต์พุตควรเป็นศูนย์ แต่โดยทั่วไปมักไม่เป็นเช่นนั้น คือ มักมีแรงค่าหนึ่งปรากฏที่เอาต์พุตขณะที่อินพุตเป็นศูนย์ ซึ่งเราสามารถแก้ไขได้โดย การป้อนแรงดันหรือกระแสออฟเซตที่อินพุต แล้วปรับจนได้ $V_{out} = 0$ โวลต์.

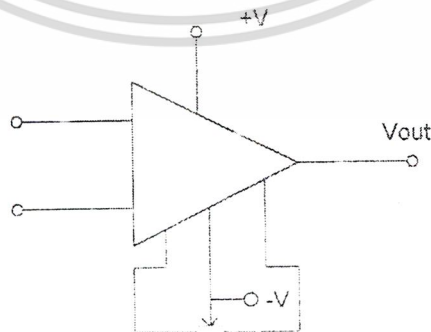
5. กระแสออฟเซตที่อินพุต

ในการปรับแรงดันออฟเซตที่เอาต์พุตให้มีค่าเป็นศูนย์ กระแสอินพุตทั้งสองขั้วควรมีค่าเท่ากัน แต่ในทางปฏิบัติ จะพบว่าเราต้องจ่ายกระแสให้แก่อินพุตขั้วหนึ่งมากกว่าอีกขั้วหนึ่งเสมอ เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งกระแสออฟเซตนี้อาจมีค่าประมาณ 20 มิลลิแอมป์

6. แรงดันออฟเซตที่อินพุต

ในอุดมคติ แรงดันเอาต์พุตจะเท่ากับศูนย์ก็ต่อเมื่อแรงดันระหว่างขั้วอินพุตมีค่าเป็นศูนย์เช่นกัน แต่ในทางปฏิบัติ ความไม่สมดุลภายในวงจรมักทำให้เราต้องป้อนแรงดันค่าหนึ่งแก่อินพุตใด ๆ เสมอเพื่อให้แรงดันเอาต์พุตเป็นศูนย์

7. การปรับออฟเซตให้เป็นศูนย์ (OFFSET NULLING)



Offset-voltage adjusting resistor

รูป 2.12

ในการปรับแรงดันเอาต์พุตให้เป็นศูนย์ หรือ การปรับแรงดันออฟเซ็ทที่อินพุตให้เป็นศูนย์ นั้น เราอาจใช้ตัว OFFSET NULLING ที่ผู้ผลิตได้เตรียมไว้ให้แล้ว โดยให้ศึกษาข้อมูลรายละเอียดของออปแอมป์เบอร์นั้น ๆ รูป 2.11 แสดงวงจรที่ใช้ในการตั้งค่าศูนย์ให้แก่ออปแอมป์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ตรวจสอบวงจรให้เรียบร้อยและเช็คอุปกรณ์ที่ต้องนำมาต่อ
2. ลดระดับสัญญาณอินพุตจนเหลือศูนย์ ถ้ามีตัวต้านทานต่ออนุกรมกับอินพุตอยู่ ให้ตรวจสอบดังนี้

ก) ถ้าตัวต้านทานนั้นมีค่าสูงกว่าอินพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิดสัญญาณอินพุตตั้งแต่ 1% ขึ้นไป ปล่อยให้ตัวต้านทานไว้เช่นเดิม

ข) หากตัวต้านทานดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับให้นำแหล่งกำเนิดสัญญาณอินพุตนั้นออก แล้วต่อตัวต้านทานที่มีขนาดเท่ากับอินพุตอิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิดอินพุตเข้าแทน

ค) ต่อโหนดเข้ายังอินเอาต์พุต

ง) ปิดไฟตรงให้วงจร

จ) วัดแรงดันที่เอาต์พุตด้วย โวลท์มิเตอร์ หรือออสซิลโลสโคป (แรงดันเอาต์พุตอาจมีค่าเพียงไม่มีมีตริโวลท์ ดังนั้น ควรใช้อุปกรณ์สำหรับวัดที่เหมาะสม)

ฉ) ปรับตัวต้านทานจนปรับค่าได้จน V_{out} มีค่าเป็นศูนย์

ช) ถอดอุปกรณ์ที่เพิ่มเข้าไป แล้วต่อวงจรดังเดิม แต่ห้ามแตะต้องตัวต้านทานปรับค่าได้

8. ผลของอุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่ออุปกรณ์โซลิดสเตตทุกชนิด รวมทั้งออปแอมป์ ดังนั้น ผลกระทบจากอุณหภูมิจะทำให้กระแสและแรงดันออฟเซ็ทเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเราเรียกการเปลี่ยนแปลงอันเกิดขึ้นจากอุณหภูมิว่า ดริฟท์ ดังนั้น ในขณะที่ทำงาน ควรตรวจสอบด้วยว่าออปแอมป์จะมีเปอร์เซ็นต์การผิดพลาดมากน้อยเพียงใด หากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป

9. การชดเชยความถี่

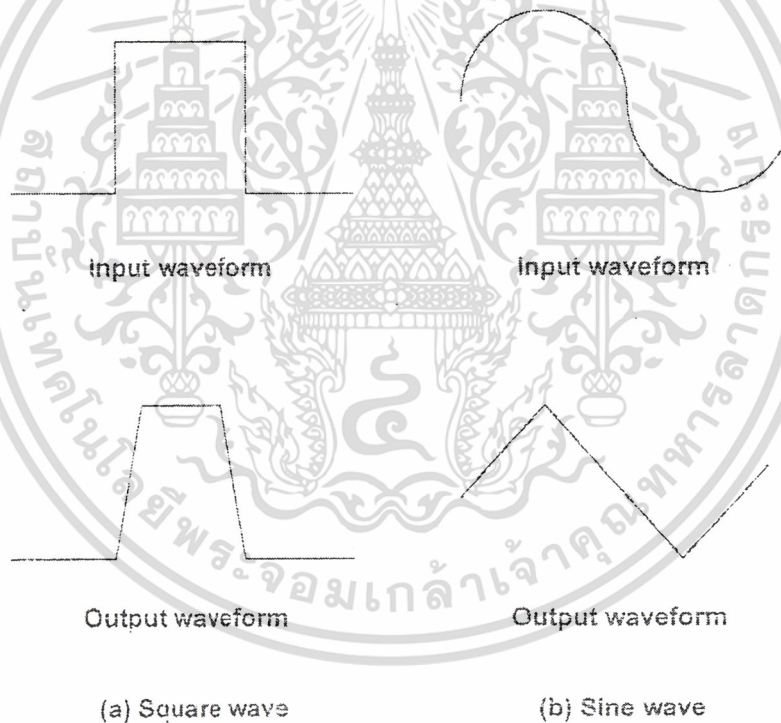
ปัญหาที่เกิดขึ้นกับออปแอมป์ที่ใช้ย่านความสูงก็คือ การออสซิลเลท (OSCILLATION) ซึ่งเกิดจากอัตราขยายที่มีค่าค่อนข้างสูงของออปแอมป์เอง และยังเกิดจากการเลื่อนเฟส (PHASE SHIFT) ณ จุดต่าง ๆ ภายในวงจร เป็นผลให้เราไม่สามารถควบคุมอัตราขยายของสัญญาณป้อน

กลับได้ วิธีแก้ปัญหาคือ ต่อตัวเก็บประจุคเซให้แก่วงจร ซึ่งจะทำให้อัตราขยายของออปแอมป์มีขนาดลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น

10. อัตราสลับ (SLEW RATE)

อัตราสลับ คืออัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแรงดันเอาต์พุตเทียบกับเวลา ดังสมการ

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



รูป 2.13

ตัวอย่างเช่น ออปแอมป์เบอร์ 741 ซึ่งมีอัตราสลับเท่ากับ 0.5 โวลท์ ไมโครวินาที แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแรงดัน เอาท์พุทสำหรับออปแอมป์ตัวนี้มีค่า 0.5 โวลท์ ภายในช่วงเวลา 1×10^{-6} วินาที โดยมีค่าปาดิเดนซ์ของตัวเก็บประจุเป็นตัวจำกัดอัตราสลับของออปแอมป์ (ตัวเก็บประจุที่ว่านี้อาจเป็นชนิดที่ต่อจากภายนอก หรือตัวเก็บประจุภายใน IC เองก็ได้) อัตราสลับที่มีค่าต่ำจะเป็นผลให้แรงดันที่เอาท์พุทมีการตอบสนองเปลี่ยนแปลงช้าลง เมื่อเทียบกับอินพุท ดังแสดงในรูป 2.13 เมื่อสัญญาณอินพุทมีความถี่สูงมากขึ้นเท่าใด อัตราสลับจะมีบทบาทต่อการตอบสนอง ณ เอาท์อย่างเด่นชัดยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากเอาท์พุทที่จะเพี้ยนมากขึ้น หากอัตราสลับมีค่าน้อยหรืออีกนัยหนึ่ง ออปแอมป์ที่มีอัตราสลับสูงจะมีแบนด์วิดท์กว้างกว่านั่นเอง

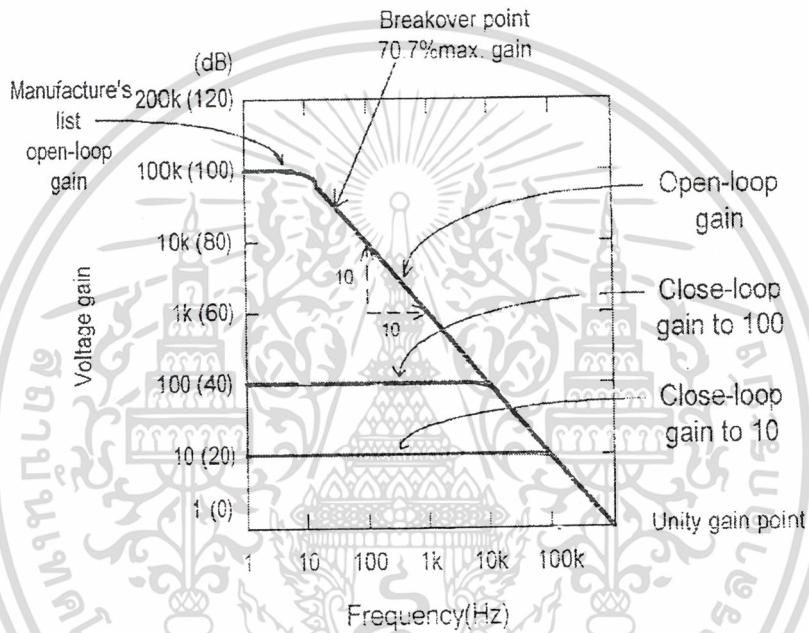
11. การตอบสนองต่อความถี่

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

โดยทั่วไป แบนด์วิดท์ของวงจรมักหมายถึงช่วงความถี่ที่อัตราขยายมีค่า 70.7% ของอัตราขยายสูงสุด จากตัวอย่างในรูป แบนด์วิดท์ของออปแอมป์ขณะเปิดลูป จะมีค่าประมาณ 10 เฮิรท์ ดังนั้น หากต้องการให้วงจรถูกออกแบบขึ้นสามารถทำงานได้ที่ความถี่อินพุทสูง ๆ จะต้องป้อนสัญญาณจากเอาท์พุทกลับมายังอินพุท (การป้อนกลับแบบลบ) ซึ่งจะทำให้อัตราขยายของลูปปิดลดลง แต่ในขณะที่เดียวกัน ความถี่ที่อัตราขยายเท่ากับ 70.7% ของอัตราขยายสูงสุดก็จะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราเท่ากัน ส่วนจุดที่มีอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง (UNITY-GAIN POINT) จะแสดงความถี่สูงสุดของออปแอมป์เมื่ออัตราขยายมีค่าเป็นหนึ่ง

12. ผลคูณของอัตราขยายและแบนด์วิดท์

จากที่ได้อธิบายมาในหัวข้อที่แล้วว่า เมื่ออัตราขยายลดลงเท่าใด ความถี่ก็จะสูงขึ้นด้วยจำนวนเท่าของค่านั้นด้วย ซึ่งแสดงว่า ผลคูณระหว่างอัตราขยายและแบนด์วิดท์จะมีค่าคงที่เสมอไป และเราสามารถหาค่านั้นได้จากจุดซึ่งมีอัตราขยายเท่ากับหนึ่ง (ค่านี้อาจหาได้จากคาต้าลิก) ผลคูณนี้มีประโยชน์อย่างมากในการประมาณความถี่สูงสุดที่วงจรมีสามารถทำงานได้ ตัวอย่างเช่น หากเราพบว่า ความถี่ที่อัตราขยายมีค่าเท่ากับหนึ่ง (หาจาก DATA SHEET) มีค่าเป็น 1 เมกะเฮิรท์ และอัตราขยายของวงจรถูกออกแบบมีค่าเท่ากับ 100 ดังนั้น ความถี่สูงสุดที่เราประมาณไว้ควรมีค่าอยู่ในราว



รูปที่ 2.14

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

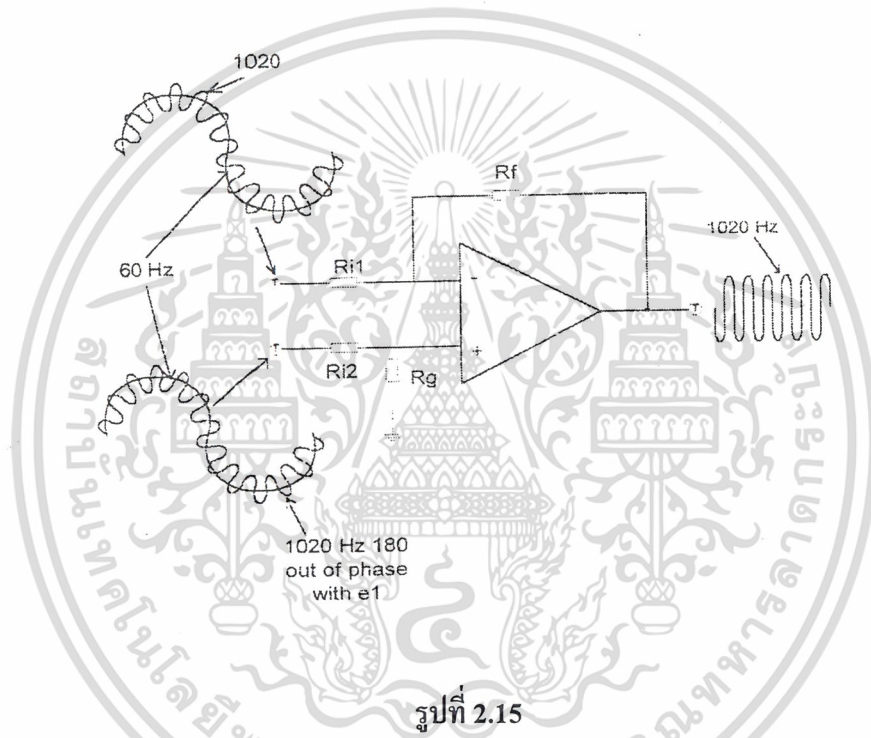
13. อัตราการลดสัญญาณชนิดคอมมอนโหมด (CMRR)

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

ตัวอย่างเช่น วงจรในรูป 2.15 สัญญาณในดิฟเฟอเรนเชียลโหมดสองตัวซึ่งมีความถี่ 1020

เฮิร์ตถูกป้อนเข้าไปยังขั้วอินพุทของออปแอมป์ แต่ในขณะเดียวกัน สัญญาณทั้งสองจะเก็บสัญญาณรบกวน 60 เฮิร์ตขึ้นมาในระหว่างเดินทาง ทำให้เกิดรูปคลื่นดังในภาพ ทว่า เมื่อป้อนสัญญาณเข้าไปแล้วสัญญาณรบกวนความถี่ 60 เฮิร์ตจะถูกกำจัดออกไปเนื่องจาก เป็นสัญญาณชนิดคอมมอนโหมด ซึ่งความสามารถในการกำจัดสัญญาณคอมมอนโหมดนี้ เราเรียกย่อว่า CMRR หาได้จากสมการ

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



รูปที่ 2.15

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

14. หน่วยเดซิเบล (dB)

การคำนวณอัตราขยายของวงจรใด ๆ สามารถหาได้จากสมการ

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

โดยที่ X อาจเป็นแรงดันหรือกระแสก็ได้ และโดยทั่วไปนิยมหาอัตราขยายจากสมการ

$$dB = 20 \log A_v$$

2.2.4 ค่าใช้งานต่างๆ ที่ควรเข้าใจ

การนำไอซีออปแอมป์ไปใช้งาน ผู้ใช้ควรศึกษาค่าชี้ทของบริษัทผู้ผลิตให้ละเอียดเสียก่อนเพื่อป้องกันออปแอมป์ชำรุด หรือเสียหาย 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) ความสามารถในการทนภาวะลัดวงจรที่เอาต์พุท (OUTPUT SHORT-CIRCUIT DURATION)
- ฉ) อุณหภูมิที่ใช้งาน (OPERATING TEMPERATURE)
- ช) อุณหภูมิที่ใส่เก็บอุปกรณ์ (STORAGE-TEMPERATURE)
- ณ) อุณหภูมิของขาอุปกรณ์ (LEAD TEMPERATURE) แสดงอุณหภูมิที่ไอซีสามารถทนได้ในขณะที่ถูกบัดกรี

2.2.5 ชนิดของออปแอมป์และภาชนะรูปแบบต่างๆ

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

กลุ่ม	ลักษณะการใช้งาน	คุณสมบัติพิเศษ
1	ใช้กับงานทั่วไป	ใช้งานได้ในช่วงความถี่ DC จนถึง 1 เมกะเฮิรต์
2	ใช้ได้กับสัญญาณ DC ได้ดี	มีค่าอินพุตอินพีเดนซ์สูงมาก ทำให้กระแสไบอัสมีค่าต่ำ
3	ใช้ได้กับสัญญาณ AC ได้ดี	มีแบนด์วิดท์กว้างมาก และอัตราสัณฐานมีค่าสูงมาก
4	ใช้กับแรงดันสูงและวงจรที่ต้องใช้กำลังมาก	สามารถใช้บั๊งโหลดได้โดยตรง
5	ชนิดที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัว	เช่น ออปแอมป์ชนิดที่สามารถโปรแกรมได้ เป็นต้น

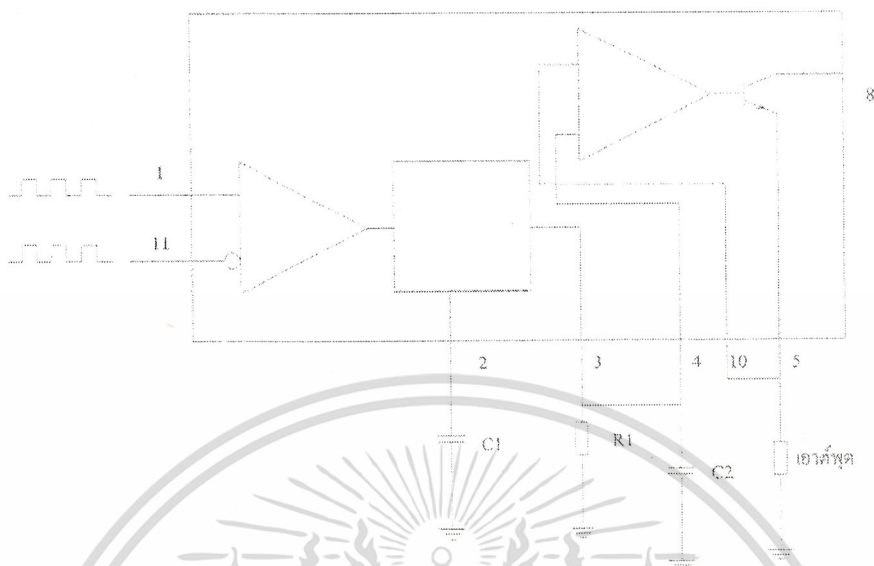
ตาราง 2-1

โดยทั่วไปตามท้องตลาด เราจะพบภาชนะในการบรรจุออปแอมป์ในลักษณะต่าง ๆ เช่น เป็นแบบภาชนะโลหะ ภาชนะแบบแบน DIP (DUAL-IN-LINE PACKAGE) และ MINI-DIP

2.3 LM2917 Frequency to Voltage Converter

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

ในกรณีขา 4 ผ่านตัวต้านทานลงกราวด์ดังรูป กระแสที่ไหลจะมีค่ามากที่สุด 10 มิลลิแอมป์ ตัวต้านทานที่ใช้จริงสามารถเลือกกระดบแรงดันที่ได้ออกมาซึ่งมีขนาดแปรตามความถี่ของพัลส์ที่ได้รับแรงดันส่วนนี้ส่งต่อไปยังภาคเปรียบเทียบ



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 แบตเตอรี่ที่ทำจากสารนิเกิลแคดเมียม
3. แบตเตอรี่แบบเปียก เนื่องจากมีสารละลายบรรจุอยู่ภายใน แบตเตอรี่ขั้นทุติยภูมิ ซึ่งนิยมใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าอยู่ในรถยนต์ โดยทั่วไป เนื่องจากสามารถนำไปประจุพลังงานได้ใหม่เมื่อใช้หมดแล้ว

2.4.1 การประจุแบตเตอรี่

ความจุของแบตเตอรี่ คือตัวกำหนดว่าแบตเตอรี่ลูกนั้นมีความสามารถในการจ่ายกระแสไปเป็นอย่างไร โดยจะบอกอัตราการจ่ายกระแสของแบตเตอรี่ลูกนั้นต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



บทที่ 3

โครงสร้างของจักรยานไฟฟ้า

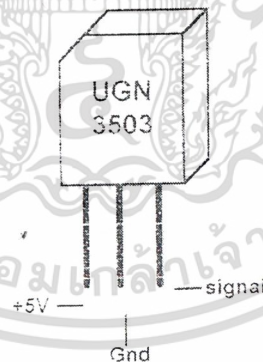
3.1 ส่วนประกอบต่างๆ

จากจักรยานธรรมดาเราได้เพิ่มเติมส่วนประกอบซึ่งเป็นวงจรไฟฟ้าเข้าไป ซึ่งวงจรไฟฟ้าแต่ละส่วนจะทำงานร่วมกันพอที่จะอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.1.1 ส่วนเซ็นเซอร์

ในส่วนของเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดความเร็วของรถจักรยานนั้นได้นำเอาเซ็นเซอร์เบอร์ UGN3503 มาใช้ในการวัดความเร็วรอบของรถ โดยติดแม่เหล็กไว้ที่ล้อของจักรยานและติดเซ็นเซอร์ไว้ในส่วนที่แม่เหล็กหมุนผ่าน โดยมีระยะห่างประมาณ 1 เซนติเมตร

โดยเซ็นเซอร์จะทำงานโดยเมื่อต่อไฟเลี้ยง 5V และมีแม่เหล็กหมุนผ่านตัวเซ็นเซอร์ จะทำให้เกิดสัญญาณพัลส์ โดยความถี่ของสัญญาณพัลส์นั้นขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งที่แม่เหล็กผ่านตัวเซ็นเซอร์

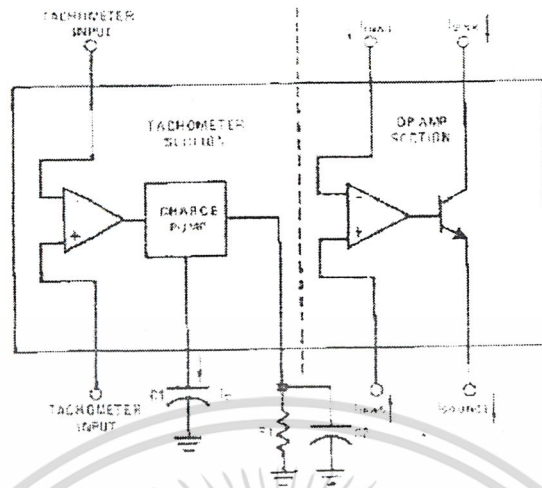


รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของตัวเซ็นเซอร์และขาต่อใช้งาน

3.1.2 ส่วนวงจรวัดความเร็ว

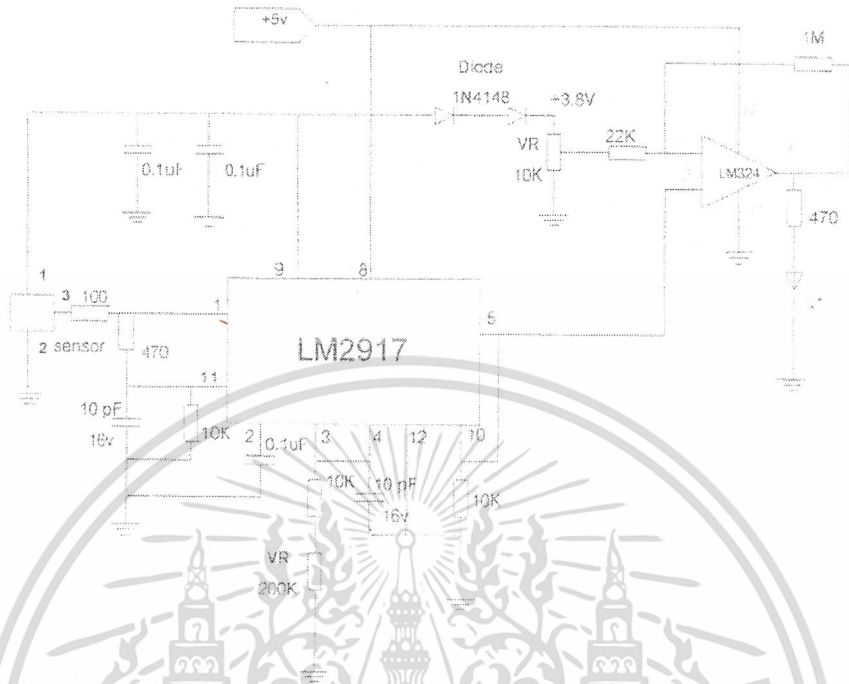
ในส่วนของวงจรวัดความเร็วนั้น ได้นำเอาวงจรที่เปลี่ยนความถี่เป็นแรงดัน (Frequency to Voltage Converters) และวงจรเปรียบเทียบ (Comparator) โดยใช้ไอซีเบอร์ LM2917 เป็นไอซีที่ใช้สำหรับเปลี่ยนความถี่เป็นแรงดันที่มีการใช้งานไม่ยากโดยต่อแค่ค่าความต้านทานและตัวเก็บประจุการต่อทดสอบและวงจรภายในดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2

และหลังจากได้แรงดันจากขาเอาต์พุทของไอซีเบอร์ LM2917 แล้วนำเอาไปผ่านวงจรเปรียบเทียบกับระดับแรงดันอ้างอิงโดยใช้ไดโอดต่ออนุกรมกันสองตัว ได้แรงดันอ้างอิงประมาณ 3.8 โวลต์มีวงจรใช้งานดังรูปที่ 3.3



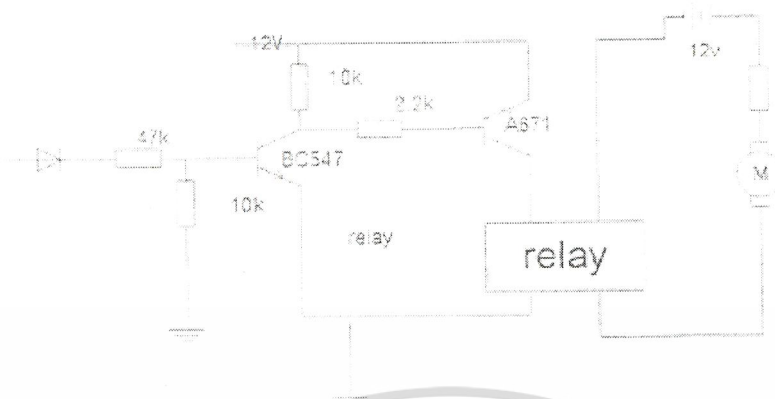
รูปที่ 3.3 แสดงการต่อวงจรวัดความเร็วรอบ

จากรูปวงจรจะเห็นว่ามิเตอร์ไฟไว้แสดงสถานะการทำงานของวงจรที่เอาท์พุทของออปแอมป์ โดยหลอดไฟจะติดได้ก็ต่อเมื่อแรงดันที่ขา 5 ของ ไอซี LM2917 มีค่ามากกว่าระดับแรงดันอ้างอิง

3.1.3 ชุดขับเคลื่อนของตัวรถ

ในส่วนการขับเคลื่อนรถจักรยานไฟฟ้านี้จะใช้ดีซีมอเตอร์ สาเหตุที่ใช้มอเตอร์ก็เพราะว่าดีซีมอเตอร์นั้นมีแรงบิดสูงที่ความเร็วรอบต่ำ ซึ่งเหมาะที่จะนำมาใช้ในการขับเคลื่อนรถ รวมทั้งแหล่งพลังงานที่ใช้มาจากแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์

ในส่วนของวงจรที่ใช้ควบคุมการขับเคลื่อนนั้นเราใช้ความเร็วคงที่จึงไม่มีวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์ขับเคลื่อนแต่อย่างใด โดยเทคนิคควบคุมการขับเคลื่อนก็คือใช้รีเลย์ขนาด 10 แอมป์ 12 โวลต์ มาใช้ตัดต่อการจ่ายแรงดันให้กับมอเตอร์ โดยแรงดันที่ใช้ควบคุมรีเลย์นั้นได้มาจากแรงดันที่ตกคร่อมหลอดแสดงสถานะผ่านวงจรขยายกระแสเพื่อให้เพียงพอต่อการนำมาขับรีเลย์ โดยต่อวงจรดังรูป



รูปที่ 3.4

ในการติดตั้งมอเตอร์นั้น เราทำการเชื่อมจุดยึดกับตัวถังจักรยานขึ้นมาใหม่ โดยทำจุดยึดบริเวณล้อหลังโดยใช้เฟืองของรถจักรยานยนต์มาใช้เนื่องจากมีราคาถูกและมีจำนวนขนาดเฟืองให้เลือกใช้มากกว่า มายึดติดกับมอเตอร์และล้อ โดยใช้โซ่เป็นตัวขับ

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลองโครงการ

ในการทดลองการทำงานของโครงการนี้ได้แบ่งออกเป็นสองส่วน คือการทดสอบวงจร และการทดสอบการใช้งานจักรยานไฟฟ้า

4.1 การทดลองวงจร

4.1.1 ชุดควบคุมความเร็ว

- การทดลองการทำงานของวงจรวัดความเร็ว
- การทดลองการทำงานของวงจรวัดความเร็วกับรีเลย์

วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรพร้อมทั้งปรับแต่ง
- เพื่อทดสอบการทำงานของวงจรร่วมกับรีเลย์

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

ตาราง 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ข้อมูลจำเพาะจักรยานไฟฟ้า

ระบบขับเคลื่อน	ดีซีมอเตอร์ขนาด 12 โวลต์
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)

บทที่ 5

บทสรุปแลข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการ

5.1 สรุปผลการทำงานของโครงการ

จากการทำงานมาถึงขั้นนี้ พอที่จะสรุปการทำโครงการได้ดังนี้ คือ จากการทดลองการใช้เซ็นเซอร์ UGN3503 ใช้งานได้ไม่ดีเท่าที่ควร อาจมีปัญหามาจากตัวอุปกรณ์ และขนาดของมอเตอร์ที่ใช้มีขนาดเล็กเกินไปมีกำลังไม่พอนไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ขับเคลื่อน จึงทำให้รถวิ่งช้าเนื่องจากเป็นมอเตอร์ที่ปีค้ำฝืน รวมทั้งขนาดความจุของแบตเตอรี่มีขนาดความจุน้อยเกินไปทำให้ระยะทางที่รถวิ่งได้น้อย

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงการ

ในการทำโครงการนี้ ได้ประสบปัญหาต่าง ๆ พอที่จะสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.2.1 ปัญหาเรื่องกำลังของมอเตอร์

เนื่องจากการทำโครงการนี้ได้ใช้มอเตอร์มือสองที่ใช้งานแล้วมาใช้เป็นมอเตอร์ขับเคลื่อนจักรยาน และมอเตอร์นั้นมีขนาดเล็กทำให้มีแรงขับเคลื่อนตัวรถไม่มากพอทำให้มีผลต่อความเร็วและการรับน้ำหนัก เพราะว่าดีซีมอเตอร์ของใหม่ ตามสเปฟิเคชัน (Specification) ที่เราต้องการนั้นมีราคาสูงกว่ามาก

แนวทางการแก้ไข

- ต้องหามอเตอร์ขับเคลื่อนตัวใหม่ที่มีความเร็ว และมีแรงมากกว่านี้มาใช้แทน
- หาขนาดเฟืองที่เหมาะสมมาใช้แทน

5.2.2 ปัญหาเรื่องความจุของแบตเตอรี่

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

แนวทางการแก้ไข

- เปลี่ยนไปใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาดความจุมากกว่านี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ผศ.ศุภชัย สุรินทร์วงศ์, เครื่องกลไฟฟ้า 1 ตอน 2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง, คววมลสมัย, 2541
2. อ.นรินทร์ เนาวประทีป, ออปแอมป์, สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2538
3. ชำนาญ นำดอกไม้, เครื่องแสดงตำแหน่งเกียร์, วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ซีเอ็ดยูเคชั่น, ฉบับ 197, 2542





รูปแสดงตำแหน่งติดตั้งชุดเซ็นเซอร์



รูปแสดงตำแหน่งติดตั้งมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงชุดควบคุมความเร็วรอบ



รูปแสดงส่วนต่างๆ ของจักรยาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3503

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.

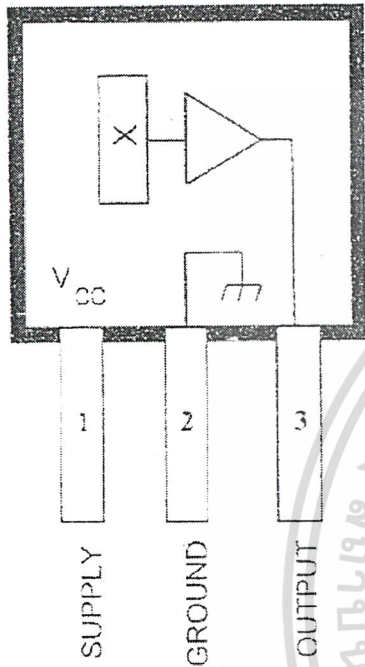
As motion detectors, gear tooth sensors, and proximity detectors, they are magnetically driven mirrors of mechanical events. As sensitive monitors of electromagnets, they can effectively measure a system's performance with negligible system loading while providing isolation from contaminated and electrically 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 $+85^{\circ}\text{C}$.

FEATURES

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



Dwg. PH-006

Pinning is shown viewed from branded side.

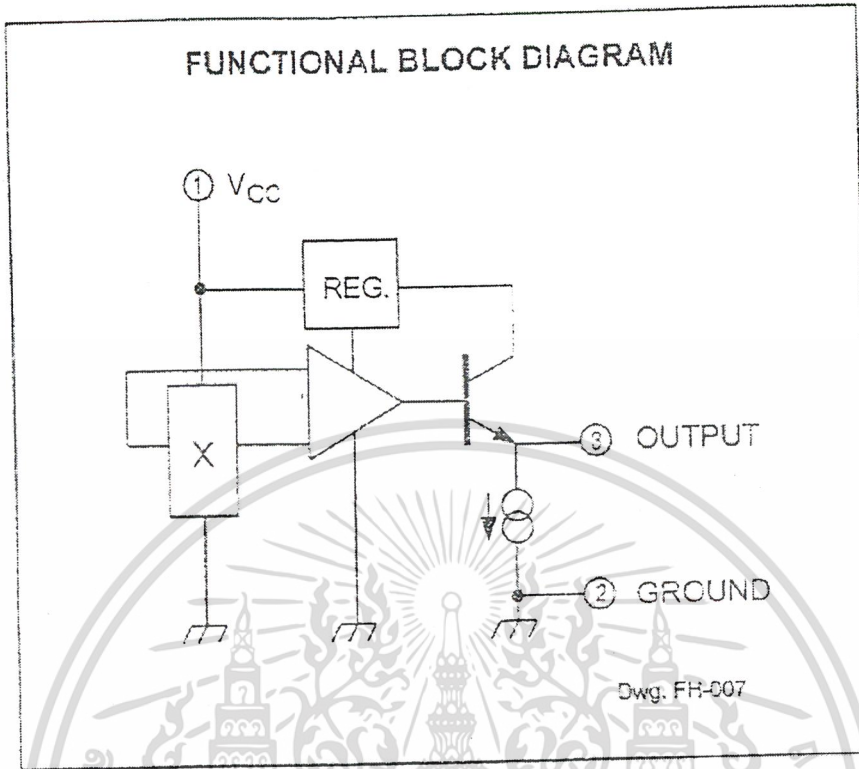
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage, V_{cc}	8 V
Magnetic Flux Density, B	Unlimited
Operating Temperature Range:	
T_A	-20°C to $+85^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature Range:	
T_j	-65°C to $+150^{\circ}\text{C}$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้กับ **Allegro** เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและเผยแพร่ข้อมูลและสิ่งอื่นใดของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

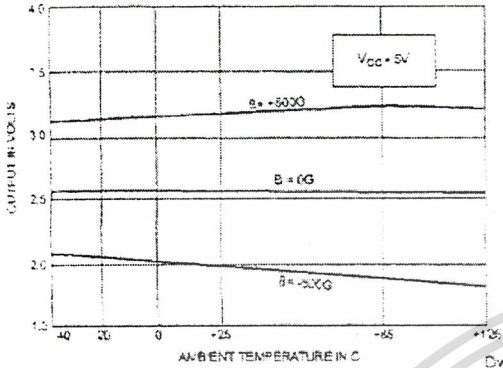


111 Northeast Cutoff, Box 15036
 Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-8000

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัท Allegro MicroSystems, Inc. การใช้งานโดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมาย
 ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

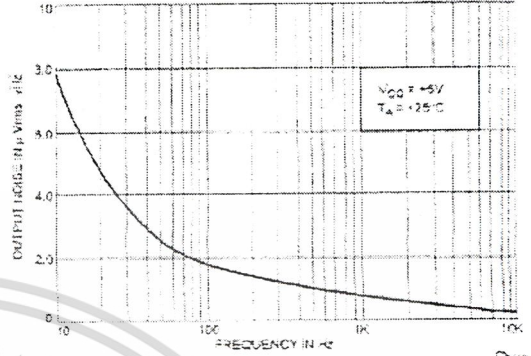
3503 RATIOMETRIC, LINEAR HALL-EFFECT SENSORS

OUTPUT VOLTAGE AS A FUNCTION OF TEMPERATURE



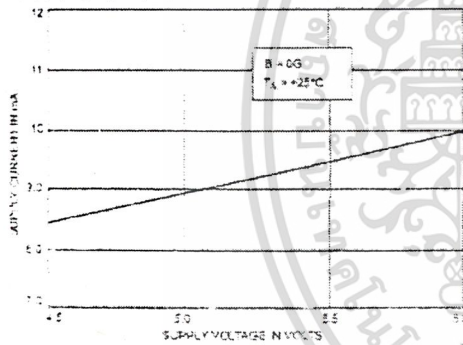
Dwg. A-12.573

OUTPUT NOISE AS A FUNCTION OF FREQUENCY



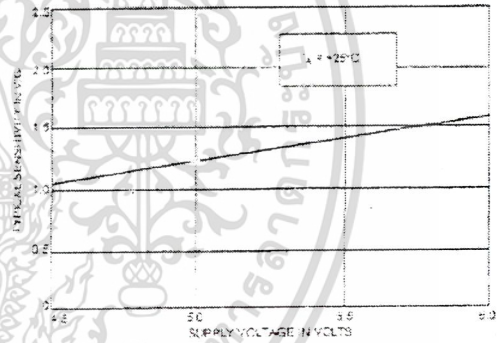
Dwg. A-12.505

SUPPLY CURRENT AS A FUNCTION OF SUPPLY VOLTAGE



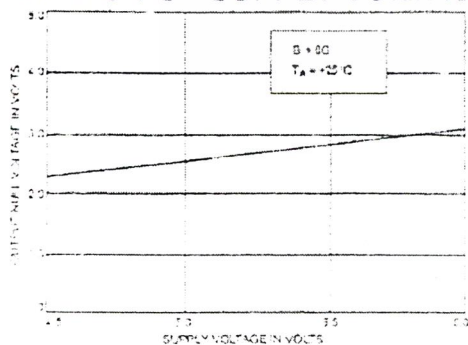
Dwg. A-12.506

DEVICE SENSITIVITY AS A FUNCTION OF SUPPLY VOLTAGE



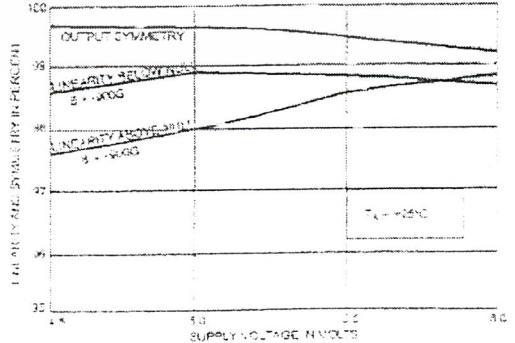
Dwg. A-12.507

OUTPUT NULL VOLTAGE AS A FUNCTION OF SUPPLY VOLTAGE



Dwg. A-12.508

LINEARITY AND SYMMETRY AS A FUNCTION OF SUPPLY VOLTAGE



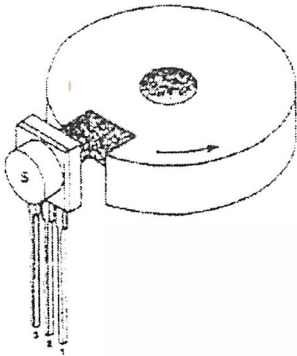
Dwg. A-12.509

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3503 RATIOMETRIC, LINEAR HALL-EFFECT SENSORS

OPERATION

NOTCH SENSOR



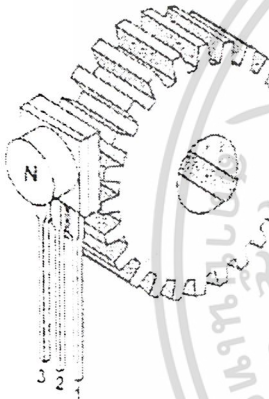
Dwg. A-12,574

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.

GEAR TOOTH SENSOR



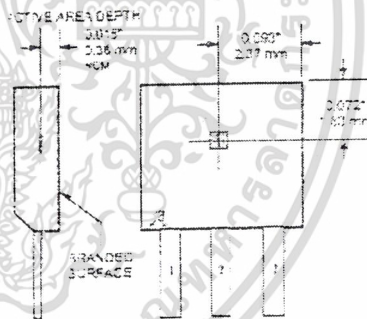
Dwg. A-12,572

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.

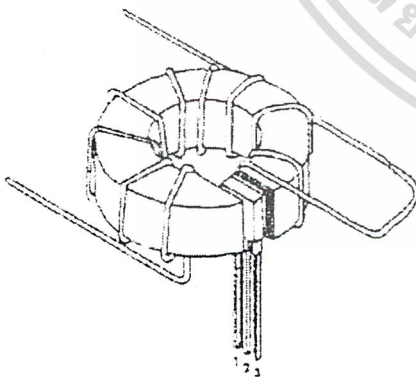
SENSOR LOCATIONS

SUFFIX "U"



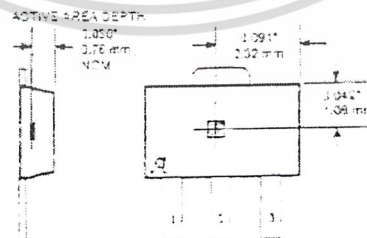
Dwg. W400240

CURRENT MONITOR



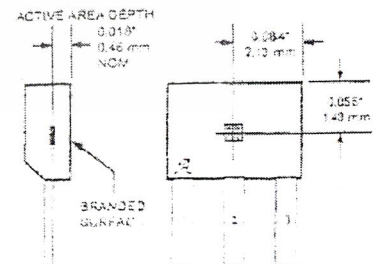
Dwg. A-12,513

SUFFIX "LT"



Dwg. W400241

SUFFIX "UA"



Dwg. W400242



112 Northeast Cutoff, Box 5036
Worcester, Massachusetts 01505-0036 (508) 853-5000

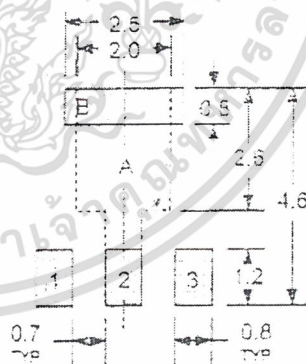
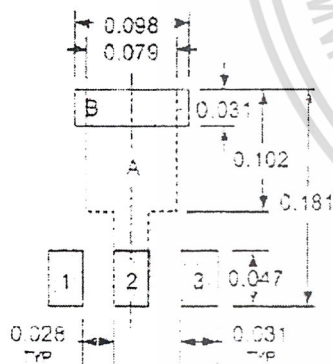
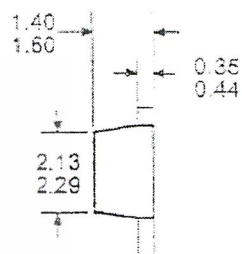
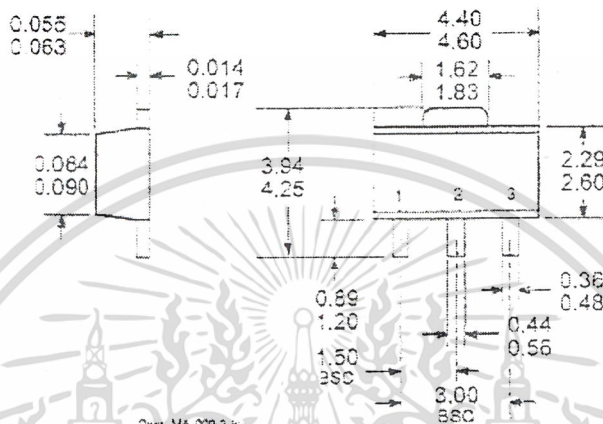
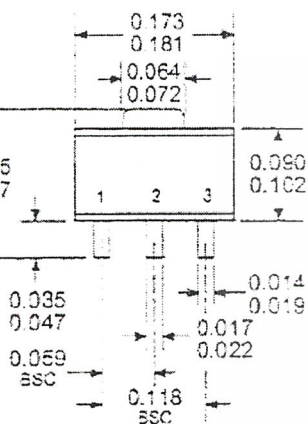
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3503 RATIOMETRIC, LINEAR HALL-EFFECT SENSORS

UGN3503LT (SOT-89/TO-243AA)

Dimensions in Inches
(for reference only)

Dimensions in Millimeters
(controlling dimensions)



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

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

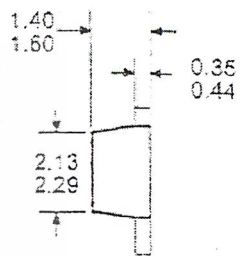
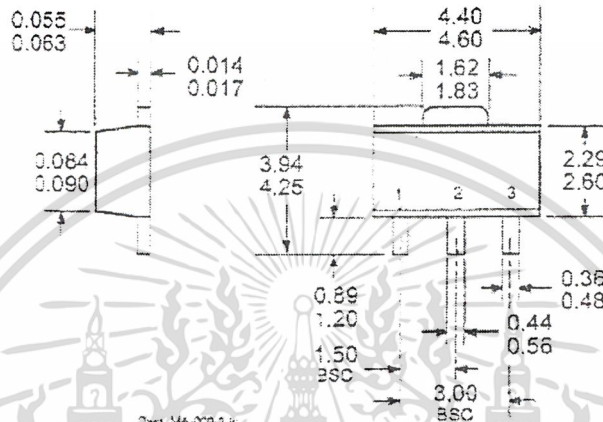
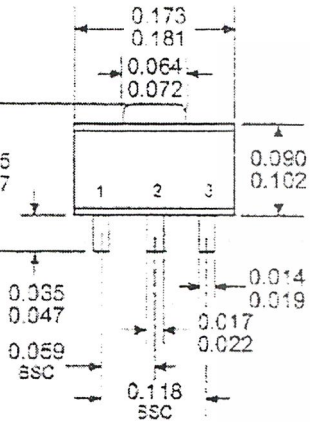
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3503 RATIOMETRIC, LINEAR HALL-EFFECT SENSORS

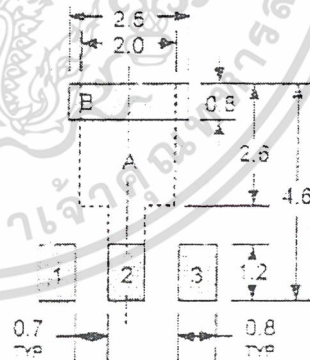
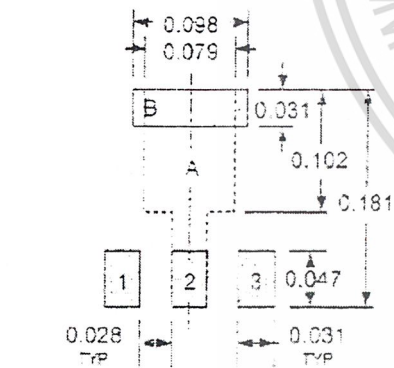
UGN3503LT (SOT-89/TO-243AA)

Dimensions in Inches
(for reference only)

Dimensions in Millimeters
(controlling dimensions)



Dwg. MA-012-3 in



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

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

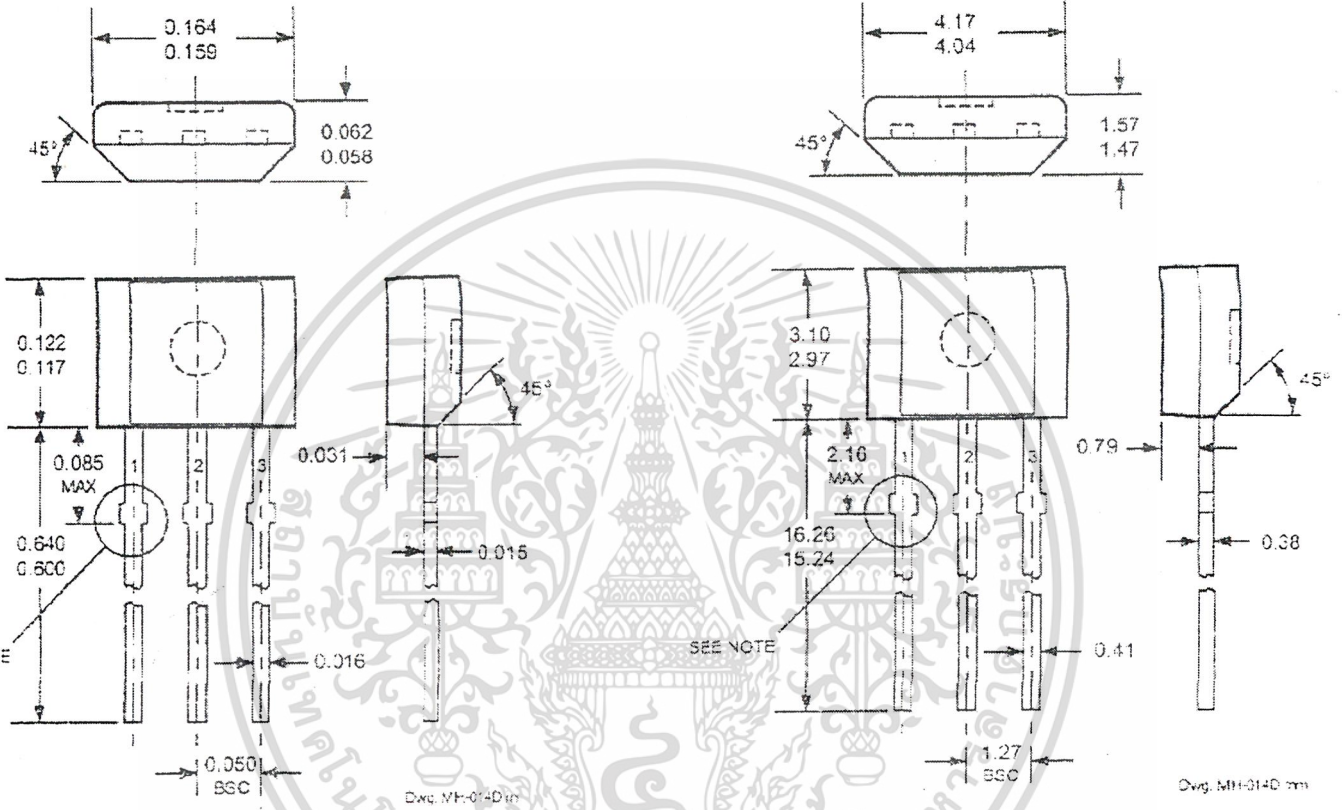
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3503
RATIOMETRIC,
LINEAR
HALL-EFFECT SENSORS

UGN3503UA

Dimensions in Inches
 (controlling dimensions)

Dimensions in Millimeters
 (for reference only)



- CS: 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

Allegro
MicroSystems, Inc.

115 Northeast Corridor, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 353-5000

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัท Allegro MicroSystems, Inc. ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

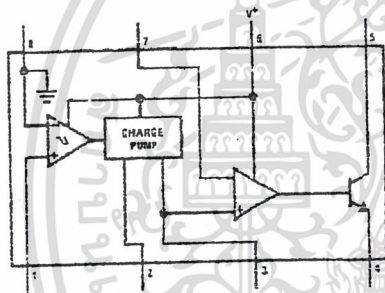
- Ground referenced tachometer input interfaces directly with variable reluctance magnetic pickups
- Op amp/comparator has floating transistor output
- 50 mA sink or source to operate relays, solenoids, meters, or LEDs

- 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

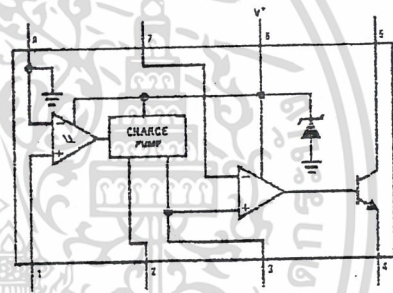
- Over/under speed sensing
- Frequency to voltage conversion (tachometer)
- Speedometers
- Breaker point dwell meters
- Hand-held tachometer
- Speed governors
- Cruise control
- Automotive door lock control
- Clutch control
- Horn control
- Touch or sound switches

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



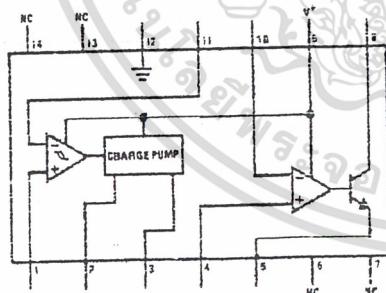
TL/H/7942-1

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



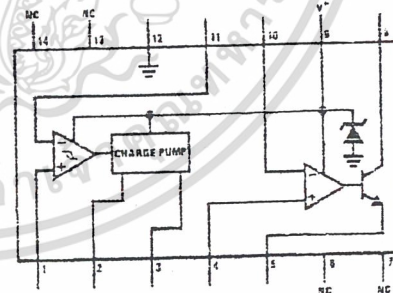
TL/H/7942-2

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 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	26V
Supply Current (Zener Options)	25 mA
Collector Voltage	26V
Differential Input Voltage	
Tachometer	28V
Op Amp/Comparator	28V
Input Voltage Range	
Tachometer LM2907-8, LM2917-8	$\pm 28V$
LM2907, LM2917	0.0V to +26V
Op Amp/Comparator	0.0V to +26V

Power Dissipation	
LM2907-8, LM2917-8	1200 mW
LM2907-14, LM2917-14	1580 mW
(See Note 1)	
Operating Temperature Range	-40°C to +85°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 (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

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

Electrical Characteristics $V_{CC} = 12 V_{DC}$, $T_A = 25^\circ C$, see test circuit

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
TACHOMETER						
	Input Thresholds	$V_{IN} = 250 \text{ mV}_{p-p} @ 1 \text{ kHz}$ (Note 2)	± 10	± 25	± 40	mV
	Hysteresis	$V_{IN} = 250 \text{ mV}_{p-p} @ 1 \text{ kHz}$ (Note 2)		30		mV
	Offset Voltage	$V_{IN} = 250 \text{ mV}_{p-p} @ 1 \text{ kHz}$ (Note 2)		3.5	10	mV
	LM2907/LM2917			5	15	mV
	LM2907-8/LM2917-8					
	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)		8.3		V
V_{CL}	Pin 2	$V_{IN} = -125 \text{ mV}_{DC}$ (Note 3)		2.3		V
I_2, I_3	Output Current	$V_2 = V_3 = 6.0V$ (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}		$V_{IN} = 6.0V$		3	10	mV
I_{BIAS}		$V_{IN} = 6.0V$		50	500	nA
	Input Common-Mode Voltage		0		$V_{CC} - 1.5V$	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 $V_{CC} = 12 V_{DC}$, $T_A = 25^\circ C$, see test circuit (Continued)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ZENER REGULATOR						
	Regulator Voltage	$R_{DROPO} = 470\Omega$		7.56		V
	Series Resistance			10.5	15	Ω
	Temperature Stability			+1		mV/ $^\circ C$
	TOTAL SUPPLY CURRENT			3.8	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 $+V_{TH} - (-V_{TH})$, 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 $f_{IN} = 5$ kHz from a straight line defined by the V_{OUT} @ 1 kHz and V_{OUT} @ 10 kHz. $C1 = 1000$ pF, $R1 = 58k$ and $C2 = 0.22$ mF.

General Description (Continued)

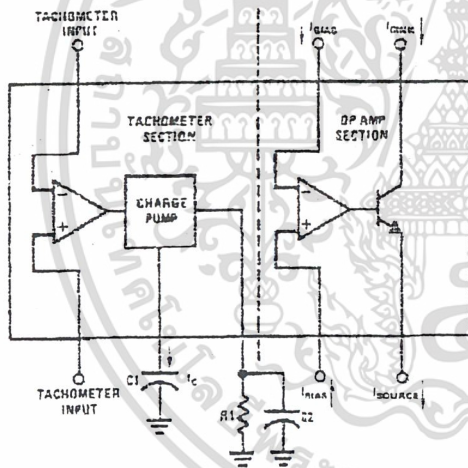
The op amp/comparator is fully compatible with the tachometer and has a floating transistor as its output. This feature allows either a ground or supply referred load of up to 50 mA. The collector may be taken above V_{CC} up to a maximum V_{CE} of 28V.

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.

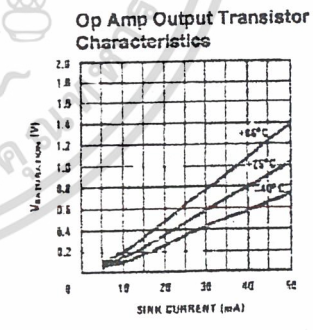
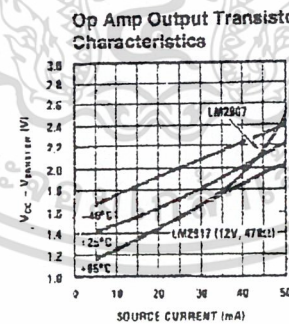
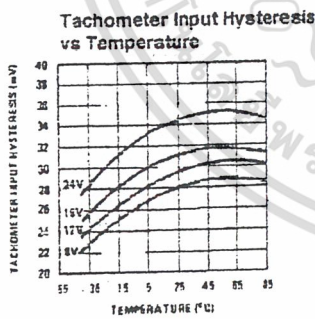
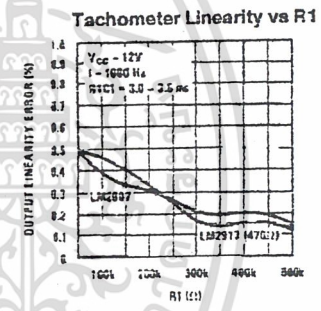
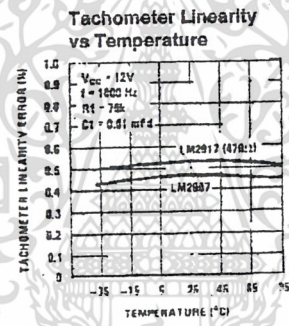
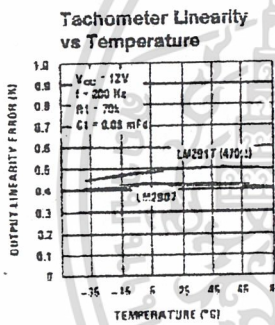
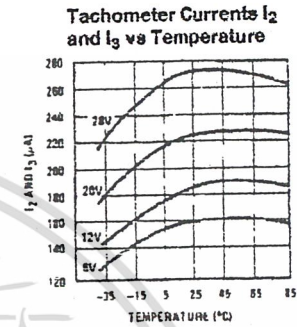
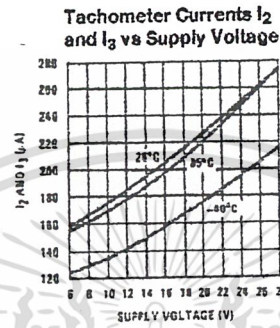
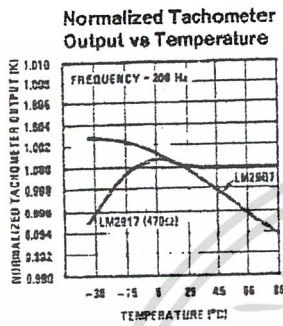
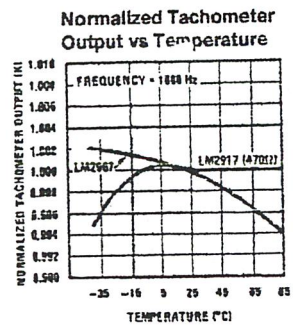
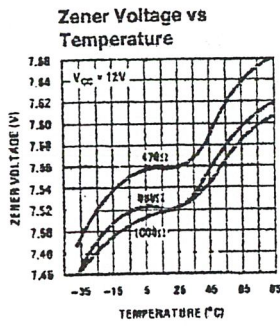
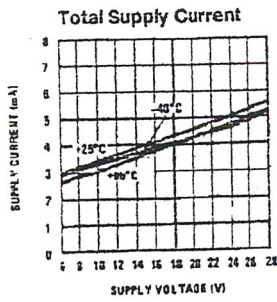
Test Circuit and Waveform



Tachometer Input Threshold Measurement



Typical Performance Characteristics



TL/H7942-5

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:

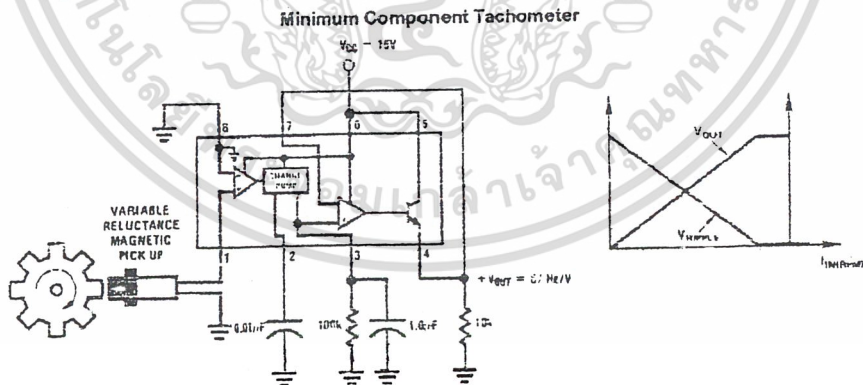
$$\frac{\Delta Q}{T} = i_c(AV_{IN}) = C1 \times \frac{V_{CC}}{2} \times (2f_{IN}) = V_{CC} \times f_{IN} \times C1$$

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



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 :

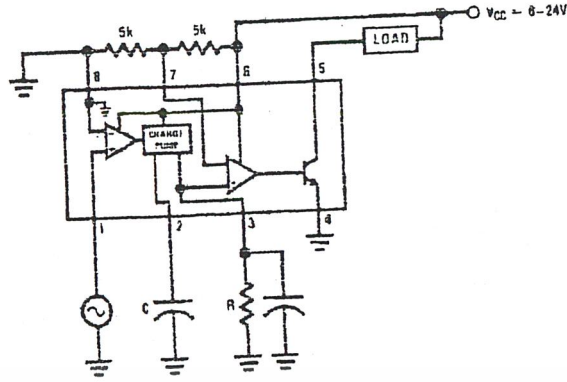
$$f_{MAX} = \frac{I_2}{C1 \times V_{CC}}$$

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 470 Ω will minimize the zener voltage variation to 160 mV. If the resistance goes under 400 Ω or over 600 Ω the zener variation quickly rises above 200 mV for the same input variation.

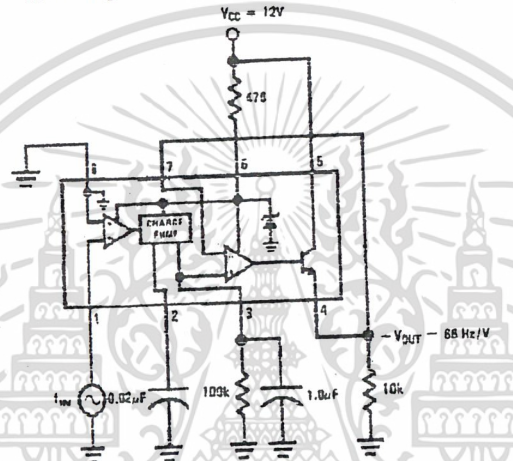
Typical Applications (Continued)

"Speed Switch" Load is Energized When $f_{IN} \geq \frac{1}{2RC}$



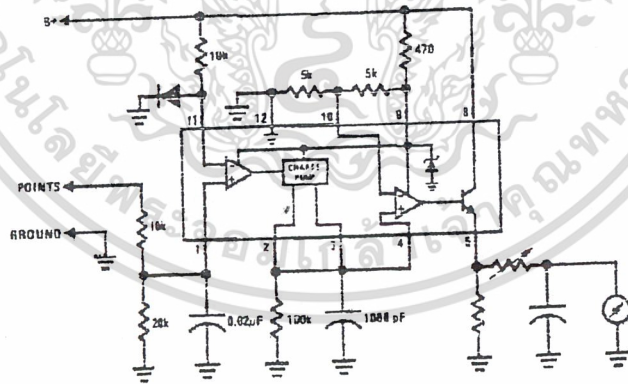
TL/H/7942-9

Zener Regulated Frequency to Voltage Converter



TL/H/7942-10

Breaker Point Dwell Meter

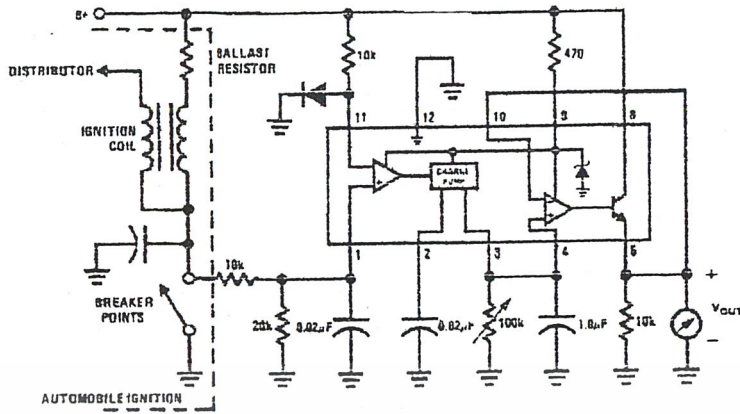


TL/H/7942-11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

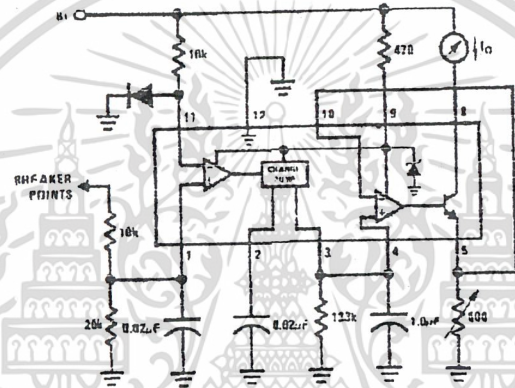
Typical Applications (Continued)

Voltage Driven Meter Indicating Engine RPM
 $V_o = 6V @ 400 \text{ Hz or } 6000 \text{ ERPM (8 Cylinder Engine)}$



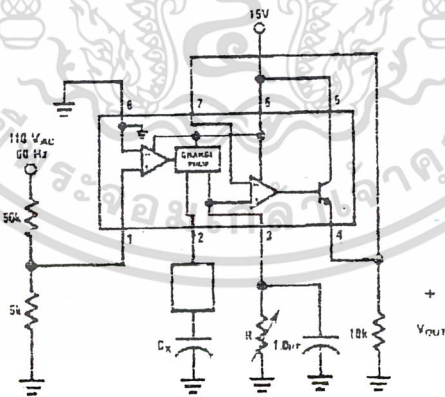
TL/H/7942-12

Current Driven Meter Indicating Engine RPM
 $I_o = 10 \text{ mA @ } 300 \text{ Hz or } 6000 \text{ ERPM (6 Cylinder Engine)}$



TL/H/7942-13

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

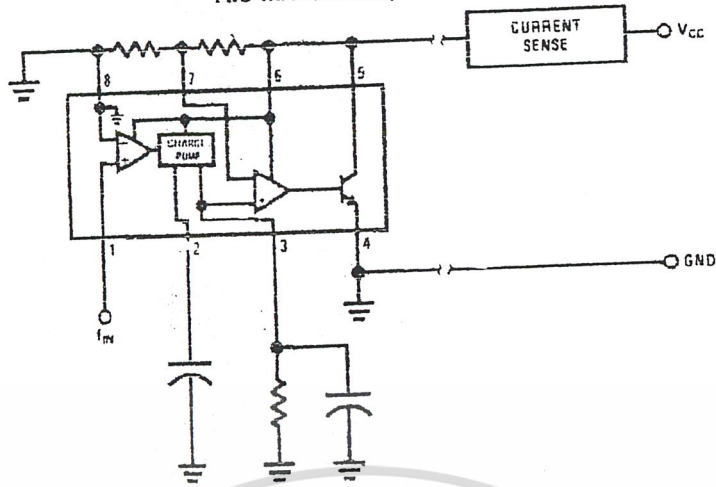


TL/H/7942-14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

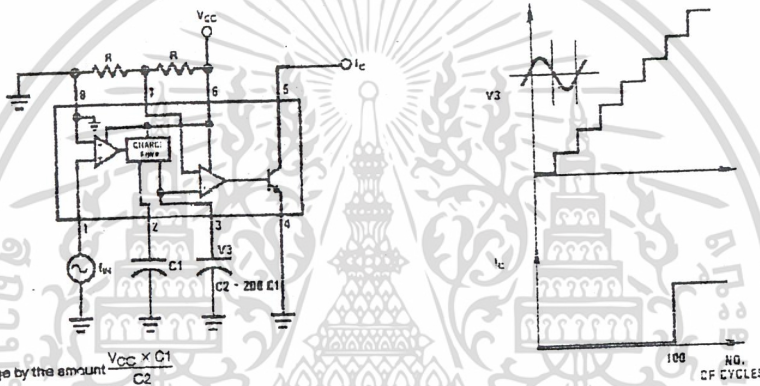
Typical Applications (Continued)

Two-Wire Remote Speed Switch



TL/H/7942-15

100 Cycle Delay Switch



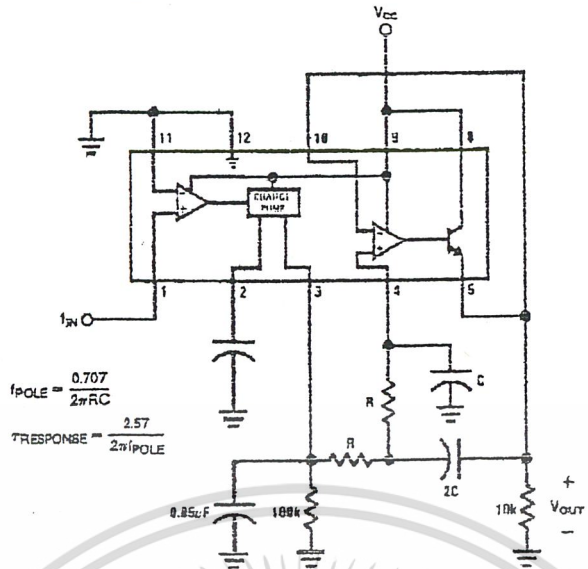
V_3 steps up in voltage by the amount $\frac{V_{CC} \times C_1}{C_2}$ for each complete input cycle (2 zero crossings)
 Example:
 if $C_2 = 200 C_1$ after 100 consecutive input cycles.
 $V_3 = 1/2 V_{CC}$

TL/H/7942-16

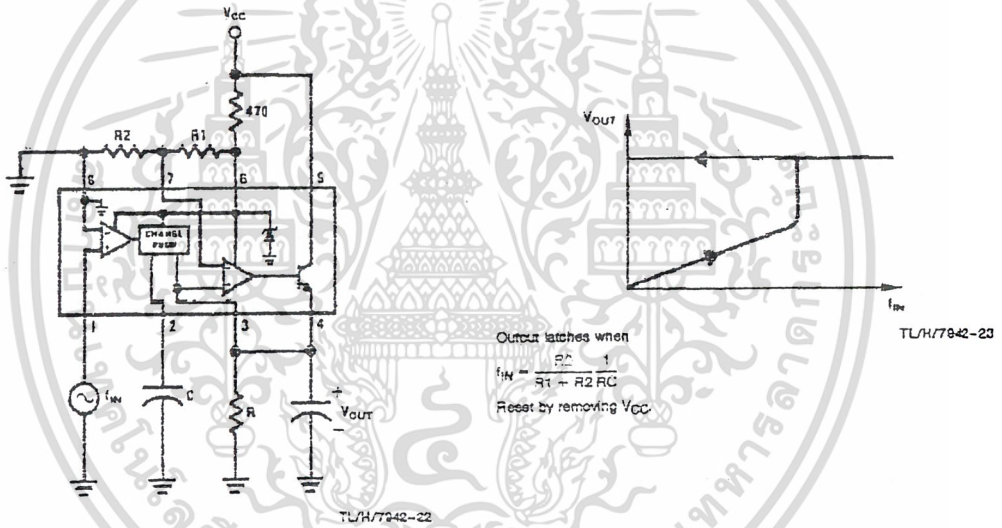
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

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

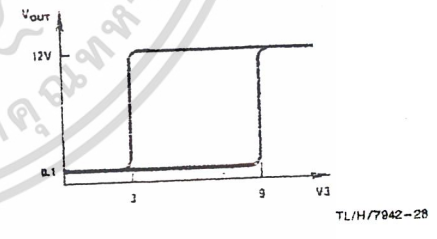
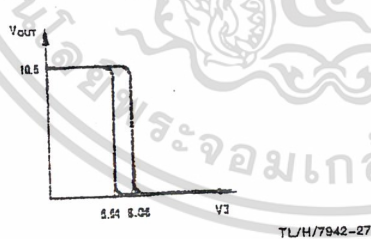
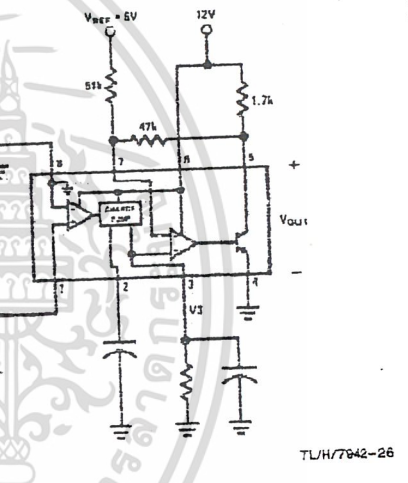
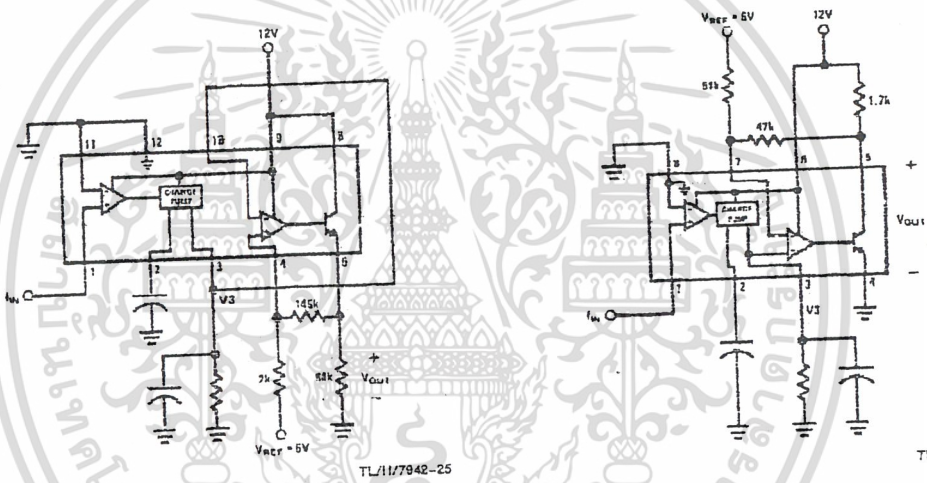
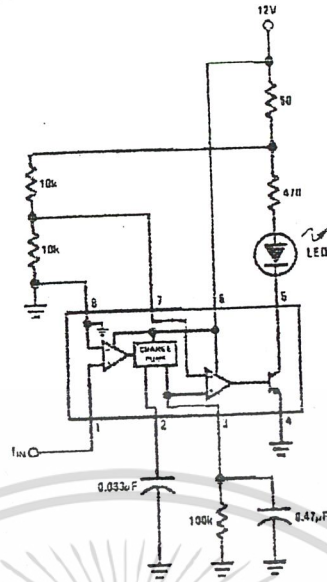


Overspeed Latch



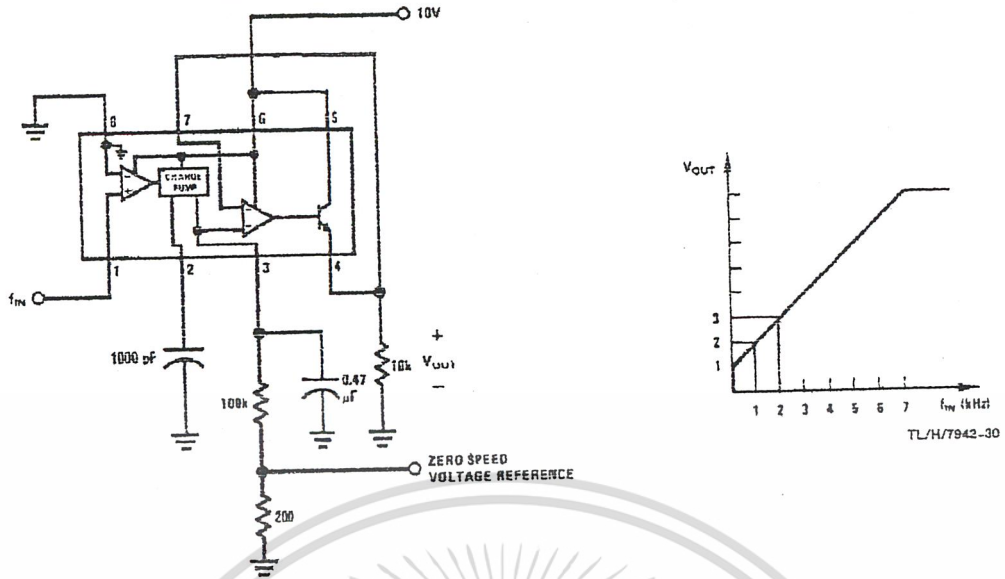
Typical Applications (Continued)

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

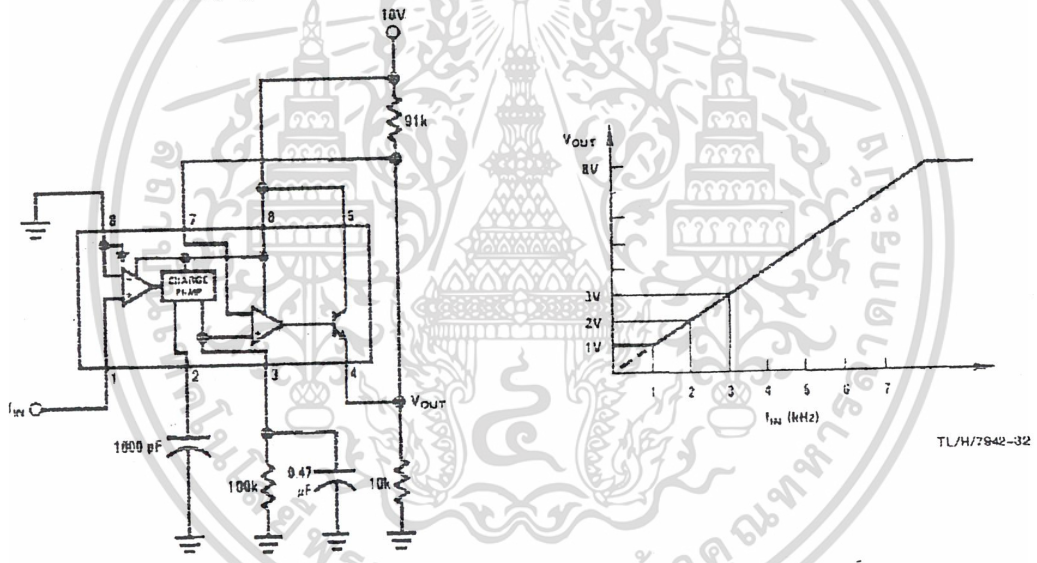


Typical Applications (Continued)

Changing the Output Voltage for an Input Frequency of Zero



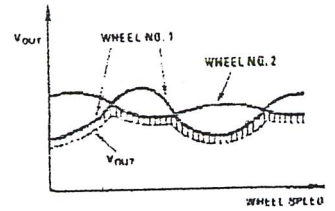
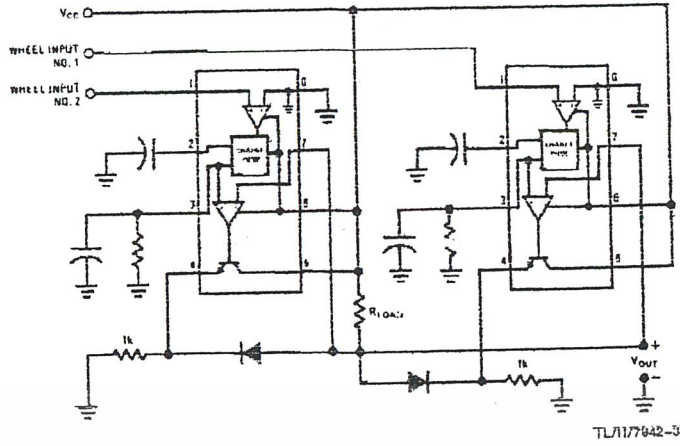
Changing Tachometer Gain Curve or Clamping the Minimum Output Voltage



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Anti-Skid Circuit Functions

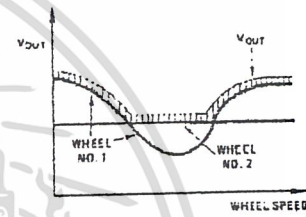
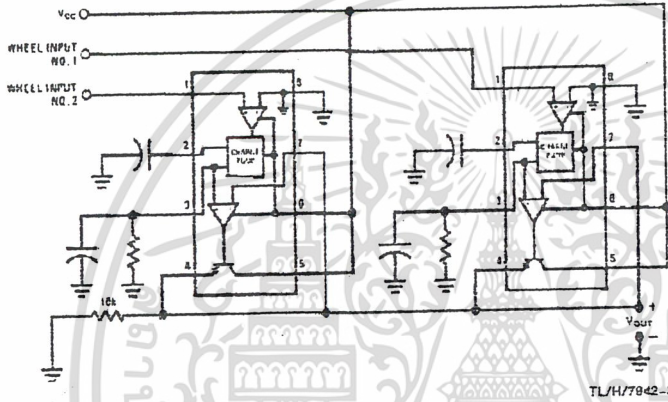
"Select-Low" Circuit



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

TL/H/7942-33

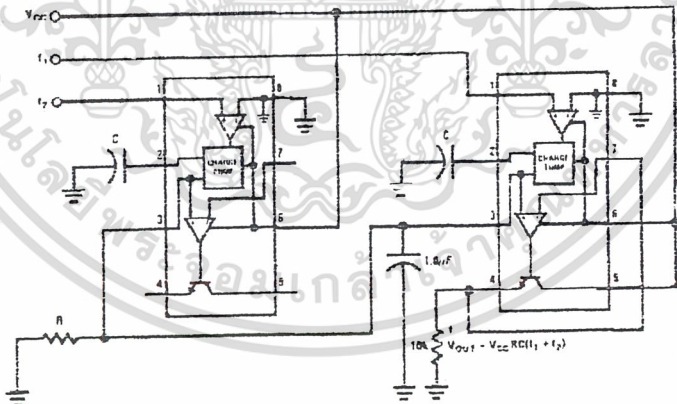
"Select-High" Circuit



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

TL/H/7942-35

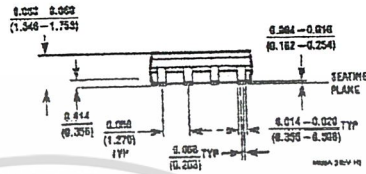
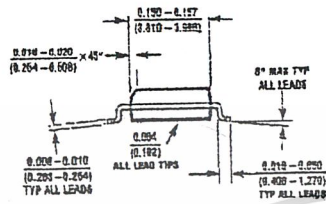
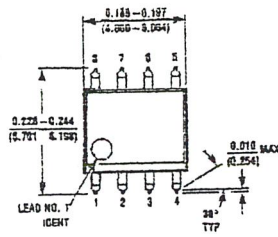
"Select-Average" Circuit



TL/H/7942-37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters)

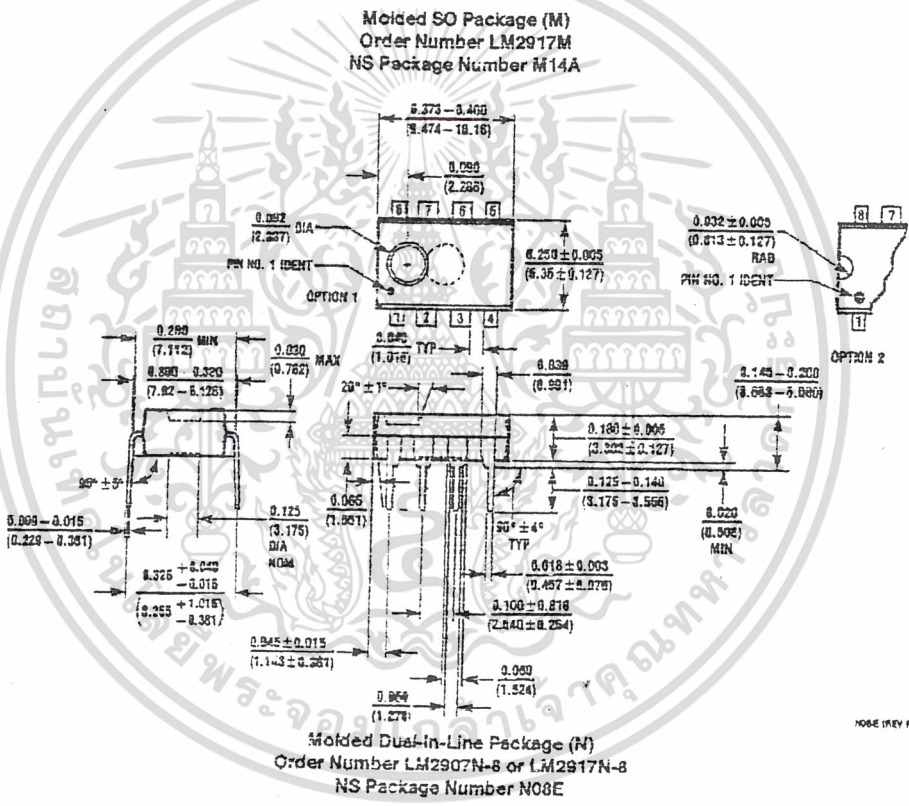
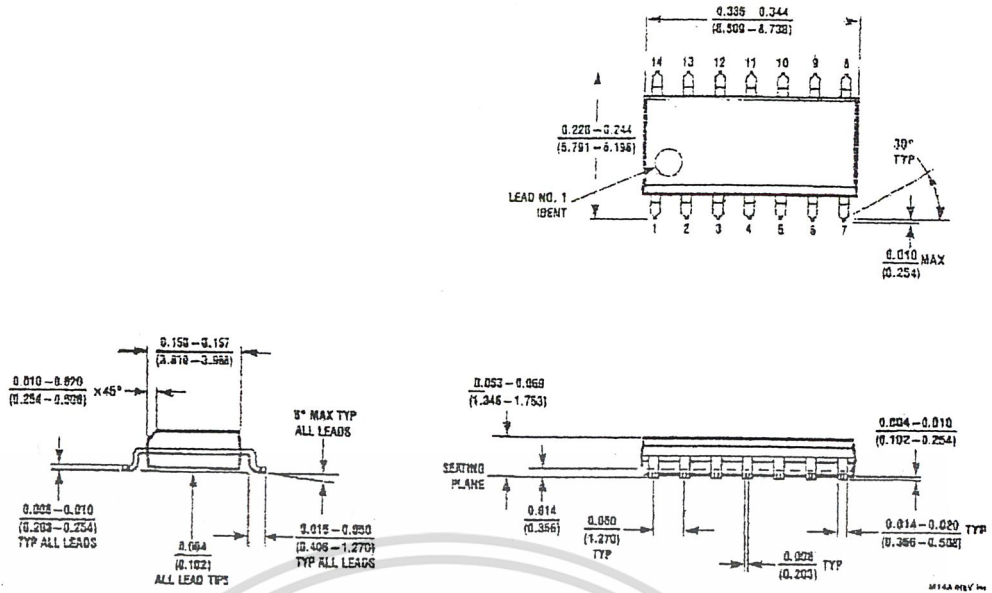


8-Lead (0.150" Wide) Molded Small Outline Package, JEDEC
Order Number LM2907M-8 or LM2917M-8
NS Package Number M08A



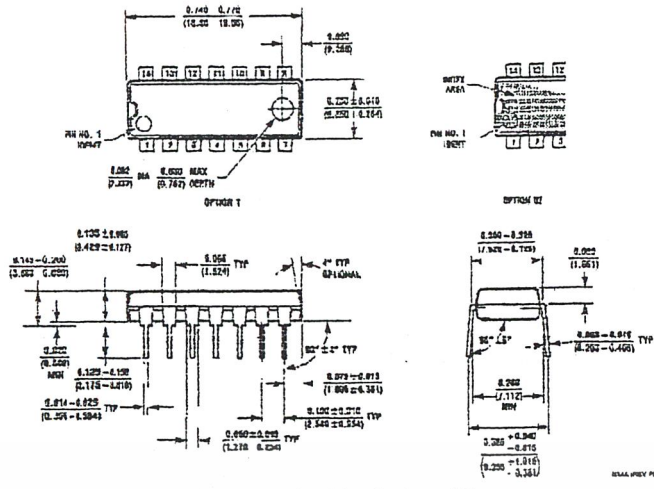
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions Inches (millimeters) (Continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 Barton Road
Arlington, TX 76017
Tel: 1(800) 272-9659
Fax: 1(800) 737-7016

National Semiconductor Europe
Fax: (+49) 0-180-530 85 86
Email: cnjwgs@sem2.nsc.com
Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85
English Tel: (+49) 0-180-532 78 32
Französisch Tel: (+49) 0-180-532 93 28
Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 50

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
3rd Floor, Straight Block,
Ocean Centre, 6 Canton Rd.
Tsimshatsui, Kowloon
Hong Kong
Tel: (852) 2737-1650
Fax: (852) 2735-5960

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-043-299-2309
Fax: 81-043-299-2406

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 this 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.

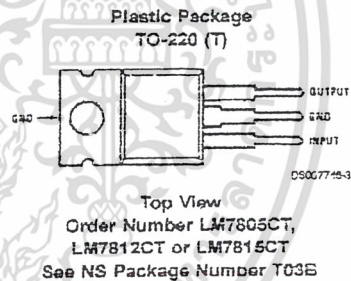
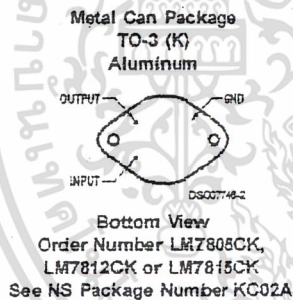
Features

- 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

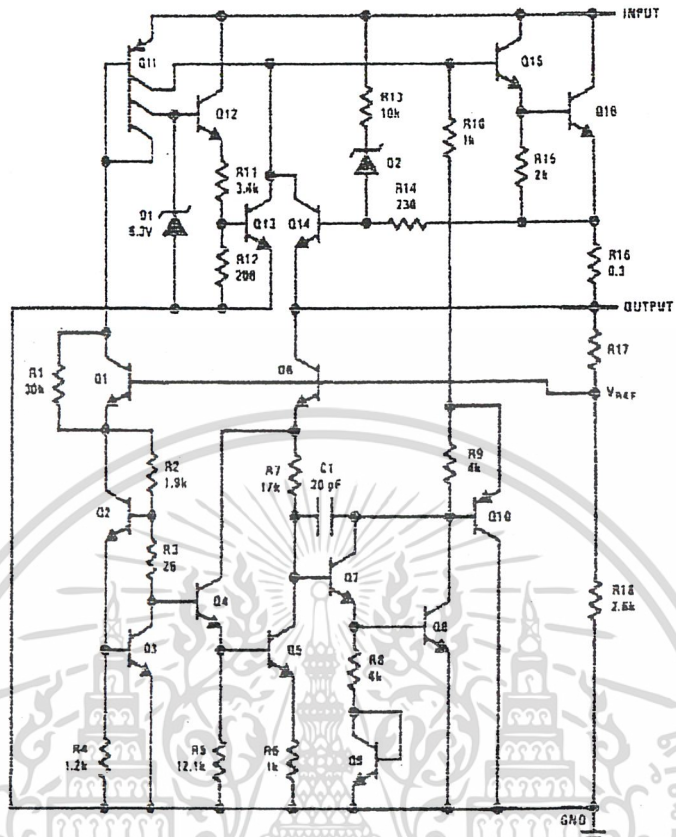
Voltage Range

LM7805C	5V
LM7812C	12V
LM7815C	15V

Connection Diagrams



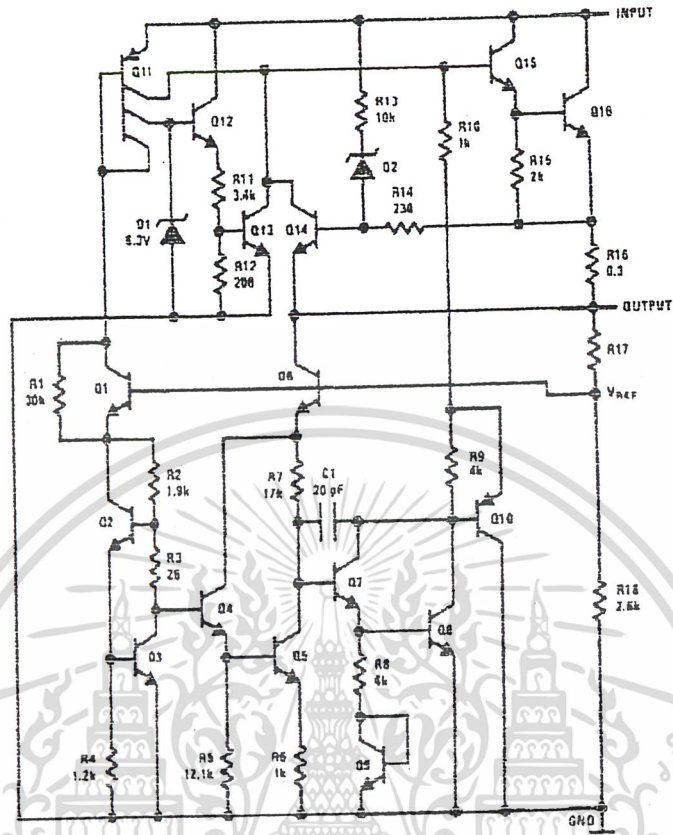
Schematic



06007748-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schematic



06007748-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

($V_O = 5V, 12V$ 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

85 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 \leq T_J \leq 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	$T_J = 25\text{ C}, 5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$			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				
		$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$			(7.5 \leq $V_{IN} \leq$ 20)			(14.5 \leq $V_{IN} \leq$ 27)			(17.5 \leq $V_{IN} \leq$ 30)			V				
ΔV_O	Line Regulation	$I_O = 500\text{ mA}$	$T_J = 25\text{ C}$			3		50		4		120		4		150		mV
			ΔV_{IN}			(7 \leq $V_{IN} \leq$ 26)			14.5 \leq $V_{IN} \leq$ 30)			(17.5 \leq $V_{IN} \leq$ 30)			V			
		$0\text{ C} \leq T_J \leq +125\text{ C}$			50			120			150			mV				
		ΔV_{IN}			(8 \leq $V_{IN} \leq$ 20)			(15 \leq $V_{IN} \leq$ 27)			(18.5 \leq $V_{IN} \leq$ 30)			V				
		$I_O \leq 1\text{ A}$	$T_J = 25\text{ C}$			50		120		150		150		mV				
			ΔV_{IN}			(7.5 \leq $V_{IN} \leq$ 20)			(14.6 \leq $V_{IN} \leq$ 27)			(17.7 \leq $V_{IN} \leq$ 30)			V			
$0\text{ C} \leq T_J \leq +125\text{ C}$			25			80			75			mV						
ΔV_{IN}			(8 \leq $V_{IN} \leq$ 12)			(16 \leq $V_{IN} \leq$ 22)			(20 \leq $V_{IN} \leq$ 26)			V						
ΔV_O	Load Regulation	$T_J = 25\text{ C}$	$5\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$			10		50		12		120		12		150		mV
			$250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$			25		60		60		75		75		mV		
		$5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}, 0\text{ C} \leq T_J \leq +125\text{ C}$			50		120		150		150		150		mV			
I_Q	Quiescent Current	$I_O \leq 1\text{ A}$	$T_J = 25\text{ C}$			8		8		8		8		8		mA		
			$0\text{ C} \leq T_J \leq +125\text{ C}$			8.5		8.5		8.5		8.5		8.5		mA		
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$			0.5		0.5		0.5		0.5		0.5		mA			
		$T_J = 25\text{ C}, I_O \leq 1\text{ A}$			1.0		1.0		1.0		1.0		1.0		mA			
		$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$			(7.5 \leq $V_{IN} \leq$ 20)			(14.8 \leq $V_{IN} \leq$ 27)			(17.8 \leq $V_{IN} \leq$ 30)			V				
I_Q	Quiescent Current	$I_O \leq 500\text{ mA}, 0\text{ C} \leq T_J \leq +125\text{ C}$			1.0		1.0		1.0		1.0		1.0		mA			
		$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$			(7 \leq $V_{IN} \leq$ 25)			(14.5 \leq $V_{IN} \leq$ 30)			(17.5 \leq $V_{IN} \leq$ 30)			V				
V_N	Output Noise Voltage	$T_A = 25\text{ C}, 10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$			40		75		90		90		90		μV			
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple Rejection	$I_O \leq 1\text{ A}, T_J = 25\text{ C}$ or $f = 120\text{ Hz}$	$I_O \leq 500\text{ mA}$			62		80		55		72		54		70		dB
			$0\text{ C} \leq T_J \leq +125\text{ C}$			52		55		55		54		54		dB		
		$V_{MIN} \leq V_{IN} \leq V_{MAX}$			(8 \leq $V_{IN} \leq$ 18)			(18 \leq $V_{IN} \leq$ 25)			(18.5 \leq $V_{IN} \leq$ 28.5)			V				
R_O	Dropout Voltage	$T_J = 25\text{ C}, I_{OUT} = 1\text{ A}$			2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		V			
	Output Resistance	$f = 1\text{ kHz}$			8		18		19		19		19		$\text{m}\Omega$			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics LM78XXC (Note 2) (Continued)

0 C ≤ T_J ≤ 125 C unless otherwise noted.

Output Voltage			5V			12V			16V			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.

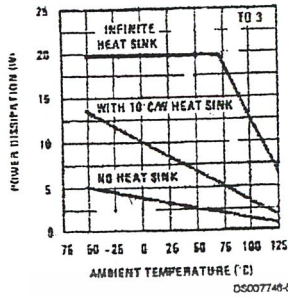
Note 3: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. For guaranteed specifications and the test conditions, see Electrical Characteristics.



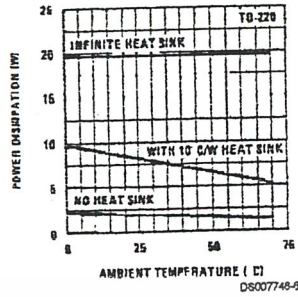
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

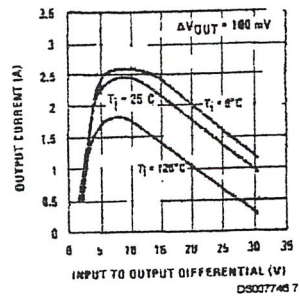
Maximum Average Power Dissipation



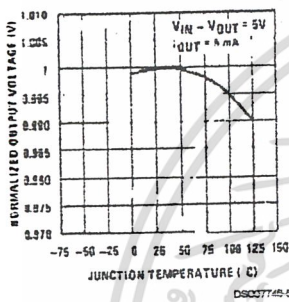
Maximum Average Power Dissipation



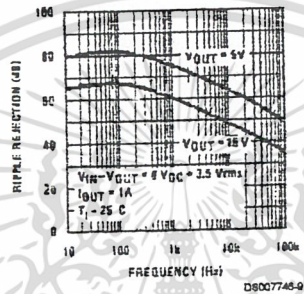
Peak Output Current



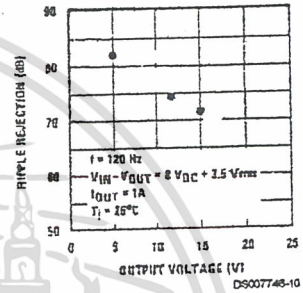
Output Voltage (Normalized to 1V at $T_j = 25^\circ\text{C}$)



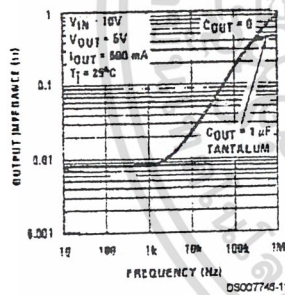
Ripple Rejection



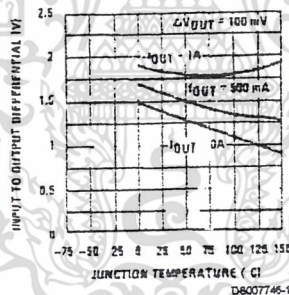
Ripple Rejection



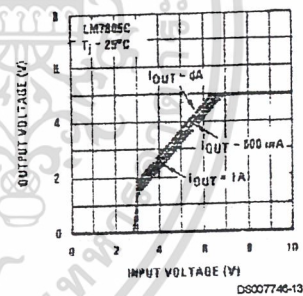
Output Impedance



Dropout Voltage



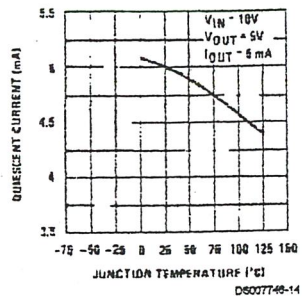
Dropout Characteristics



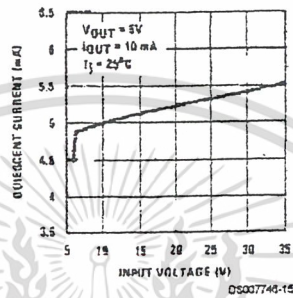
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

Quiescent Current

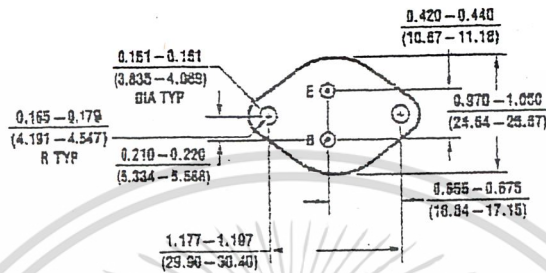
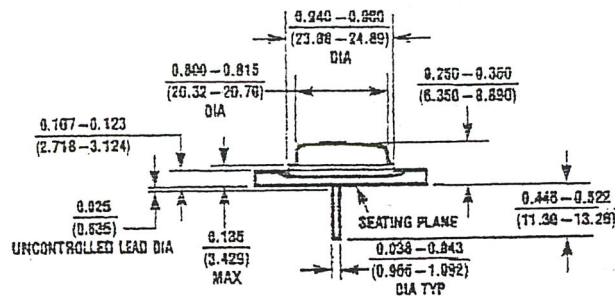


Quiescent Current



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



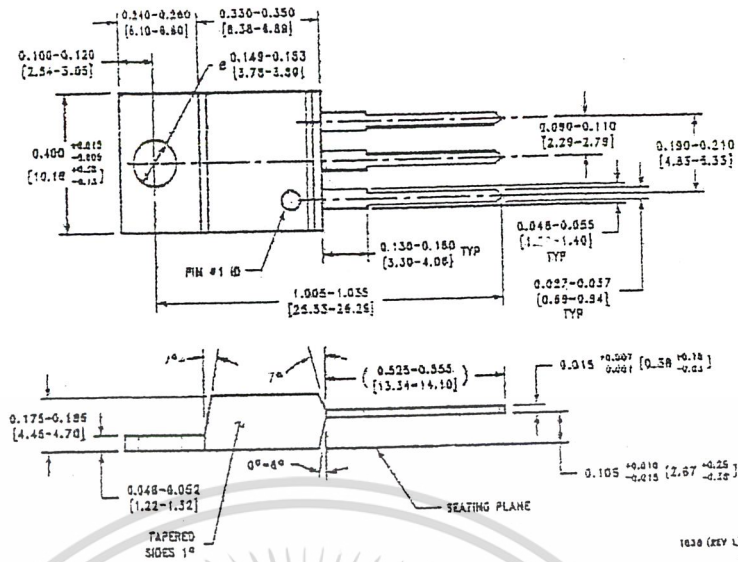
KC02A (REV C)

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

 <p>National Semiconductor Corporation Americas Tel: 1-800-272-9909 Fax: 1-800-737-7018 Email: support@nsc.com www.national.com</p>	<p>National Semiconductor Europe Fax: +49 (0) 1 80-530 86 86 Email: europe.support@nsc.com German Tel: +49 (0) 1 80-530 85 85 English Tel: +49 (0) 1 80-532 78 32 French Tel: +49 (0) 1 80-532 33 56 Italian Tel: +49 (0) 1 80 534 15 90</p>	<p>National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group Tel: 65-2544466 Fax: 65-2504466 Email: asa.support@nsc.com</p>	<p>National Semiconductor Japan Ltd. Tel: 81-3-5633-7560 Fax: 81-3-5639-7507</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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

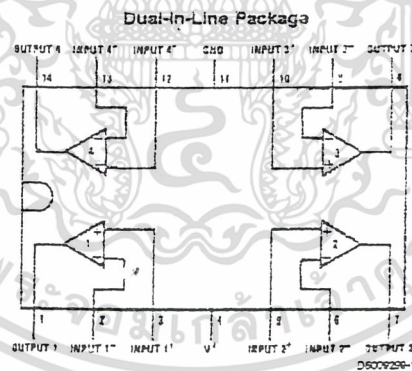
Advantages

- 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



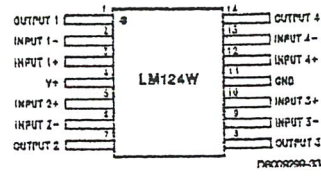
Top View

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 JM39510/11005
Note 2: LM124 available per JM39510/11005

Connection Diagram (Continued)

Note 3: See STD Mil DWG 5962R995C for Radiation Tolerant Device



Order Number LM124AW/883 or LM124W/883
 LM124AWRQML and LM124AWRQMLV (Note 3)
 See NS Package Number W14B
 LM124AWGRQML and LM124AWGRQMLV (Note 3)
 See NS Package Number WG14A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ($V_{IN} < 0.3V$) (Note 6)	50 mA	50 mA
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)	$I_{IN(1)}$ or $I_{IN(2)}$; $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$		20	50		40	80		45	100	nA
Input Offset Current	$I_{IN(1)}$ or $I_{IN(2)}$; $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$		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
Large Signal Voltage Gain	$V^* = 15V$, $R_L \geq 2k\Omega$, ($V_O = 1V$ to $11V$), $T_A = 25^\circ C$	50	100		50	100		25	100		V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	DC, $V_{CM} = 0V$ to $V^* - 1.5V$, $T_A = 25^\circ C$	70	85		70	85		85	85		dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 C	65	100		65	100		65	100		dB
Amplifier-to-Amplifier Coupling (Note 11)	f = 1 kHz to 20 kHz, T _A = 25 C (Input Referred)		120			120			120		dB
Output Current	Source V _{IN} * = 1V, V _{IN} ' = 0V, V* = 15V, V _O = 2V, T _A = 25 C	20	40		20	40		20	40		mA
	Sink V _{IN} = 1V, V _{IN} ' = 0V, V* = 15V, V _O = 2V, T _A = 25 C	10	20		10	20		10	20		mA
	V _{IN} = 1V, V _{IN} ' = 0V, V* = 15V, V _O = 200 mV, T _A = 25 C	12	50		12	50		12	50		μA
Short Circuit to Ground	(Note 5) V* = 15V, T _A = 25 C		40	60		40	60		40	60	mA
Input Offset Voltage	(Note 8)		7	20		7	20		7	30	mV
Input Offset Voltage Drift	R _g = 0Ω									75	μV/C
Input Offset Current	I _{IN(+)} , I _{IN(-)} , V _{CM} = 0V R _g = 0Ω			30			30				nA
Input Offset Current Drift			10	200		10	200		10	300	pA/C
Input Bias Current	I _{IN(+)} or I _{IN(-)}	0	40	100	0	40	100	0	40	200	nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)	V* = +30V (LM2902, V* = 26V)										V
Large Signal Voltage Gain	V* = +15V (V _O Swing = 1V to 11V) R _L ≥ 2 kΩ	25			25			15			V/mV
Output Voltage Swing	V _{OH} V* = 30V (LM2902, V* = 26V)	R _L = 2 kΩ	26		26		26		26		V
		R _L = 10 kΩ	27	28		27	28		27	28	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	

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 C		2	5		2	7		2	7	mV
Input Bias Current (Note 9)	I _{IN(+)} or I _{IN(-)} , V _{CM} = 0V, T _A = 25 C		45	150		45	250		45	250	nA
Input Offset Current	I _{IN(+)} or I _{IN(-)} , V _{CM} = 0V, T _A = 25 C		3	30		5	50		5	50	nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)	V* = 30V, (LM2902, V* = 26V), T _A = 25 C										V
Supply Current	Over Full Temperature Range R _L = ∞ On All Op Amps V* = 30V (LM2902 V* = 26V) V* = 5V		1.5	3		1.5	3		1.5	3	mA
Large Signal Voltage Gain	V* = 15V, R _L ≥ 2kΩ, (V _O = 1V to 11V), T _A = 25 C	50	100		25	100		25	100		V/mV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 5) $V^+ = 15V$, $T_A = 25^\circ C$		40	60		40	60		40	60	mA	
Input Offset Voltage	(Note 2)			7		7			7		$\mu V/^\circ C$	
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			45	200	nA	
Input Offset Current Drift	$R_S = 0\Omega$			10		10			10		$pA/^\circ C$	
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 $11V$) $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$		25			15			15		V/mV	
Output Voltage Swing	V_{OH} $V^+ = 30V$ (LM2902, $V^+ = 26V$)		$R_L = 2\text{ k}\Omega$	26		26		23	24		V	
	V_{OL} $V^+ = 5V$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$			27	28		27	28		23	24	
Output Current	Source $V_O = 2V$			5	20		5	20		5	100	mV
	Sink	$V_{IN}^+ = +1V$, $V_{IN}^- = 0V$, $V^+ = 15V$		10	20		10	20		10	20	mA
		$V_{IN}^- = +1V$, $V_{IN}^+ = 0V$, $V^+ = 15V$		5	8		5	8		5	8	mA

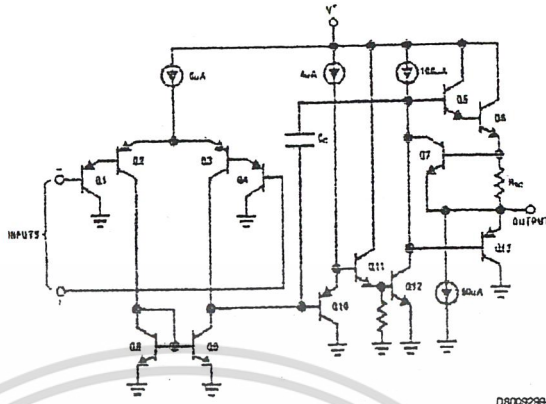
- Note 4:** For operating at high temperatures, the LM324/LM324A/LM2902 must be derated based on a $+125^\circ C$ maximum junction temperature and a thermal resistance of 88 C/W which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM224/LM224A and LM124/LM124A 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 and 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:** $V_O = 1.4V$, $R_S = 0\Omega$ 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)

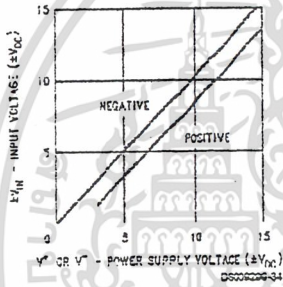
Note 13: Human body model, 1.5 kΩ in series with 100 pF.

Schematic Diagram (Each Amplifier)

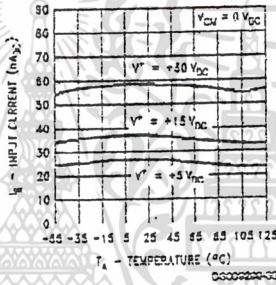


Typical Performance Characteristics

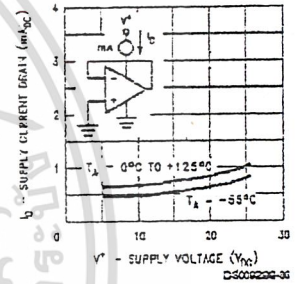
Input Voltage Range



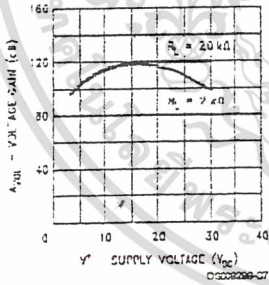
Input Current



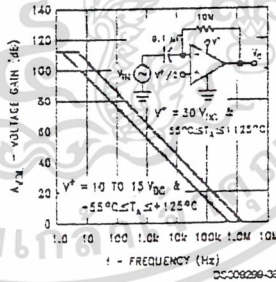
Supply Current



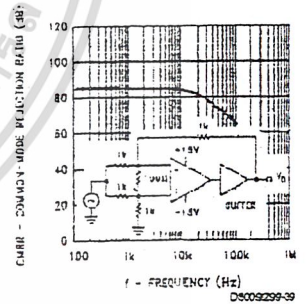
Voltage Gain



Open Loop Frequency Response

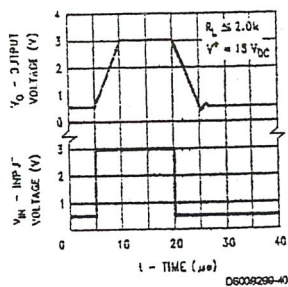


Common Mode Rejection Ratio



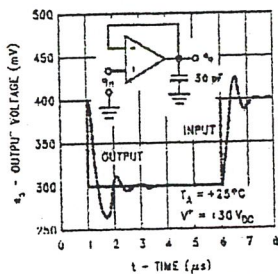
Typical Performance Characteristics (Continued)

Voltage Follower Pulse Response



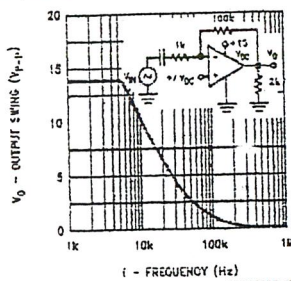
DS009299-40

Voltage Follower Pulse Response (Small Signal)



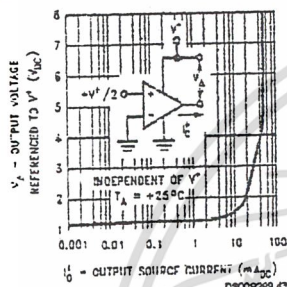
DS009299-41

Large Signal Frequency Response



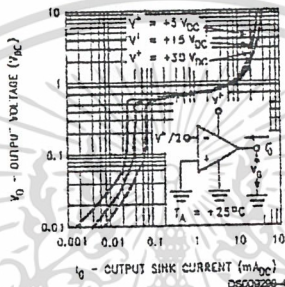
DS009299-42

Output Characteristics Current Sourcing



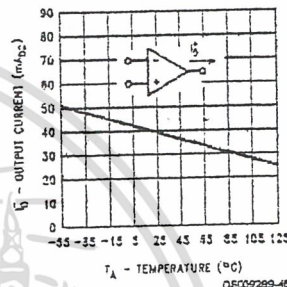
DS009299-43

Output Characteristics Current Sinking



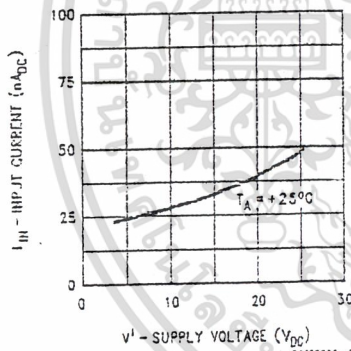
DS009299-44

Current Limiting



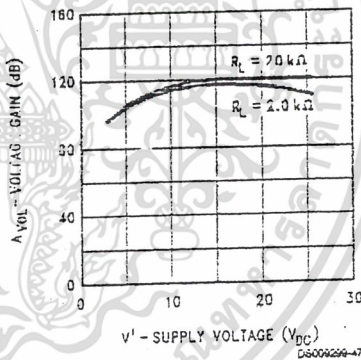
DS009299-45

Input Current (LM2902 only)



DS009299-46

Voltage Gain (LM2902 only)



DS009299-47

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

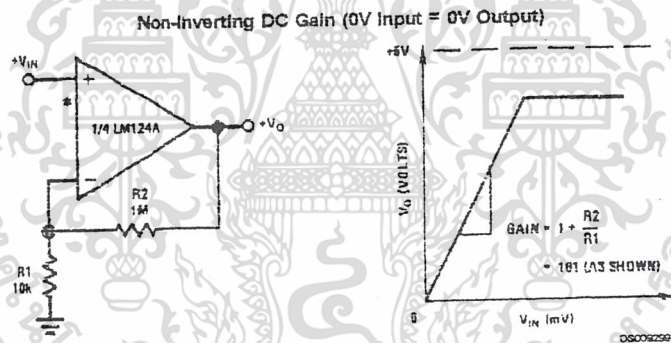
non-inverting unity gain connection. Large closed loop gains or resistive isolation should be used if larger load capacitance must be driven by the amplifier.

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.

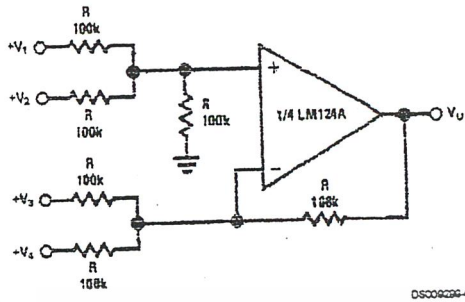
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$)



*R1 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 $V_O \geq V_{DC}$)

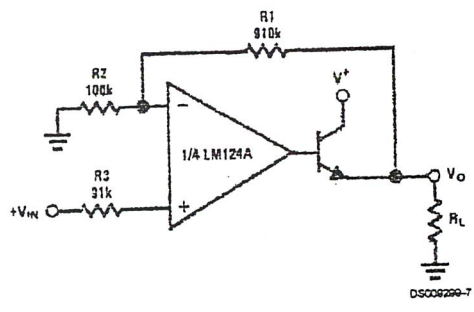


DS009299-4

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

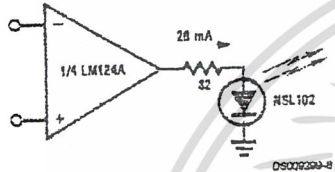
Where: $V_O = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$
($V_1 + V_2 \geq (V_3 + V_4)$ to keep $V_O > 0 V_{DC}$)

Power Amplifier



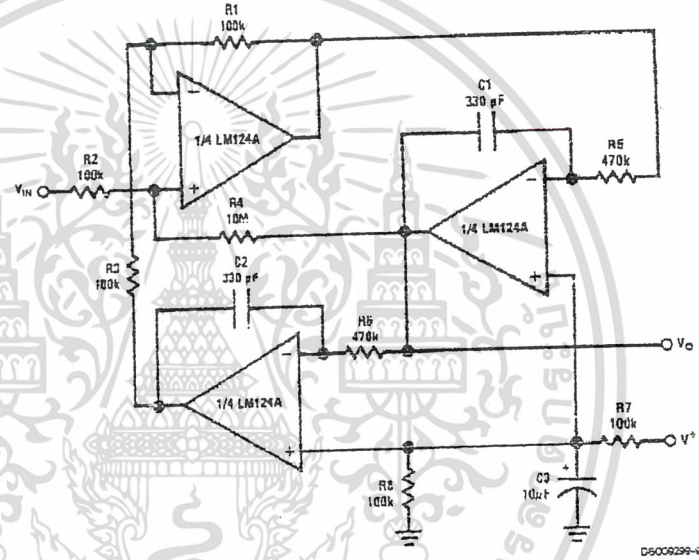
DS009299-7

LED Driver



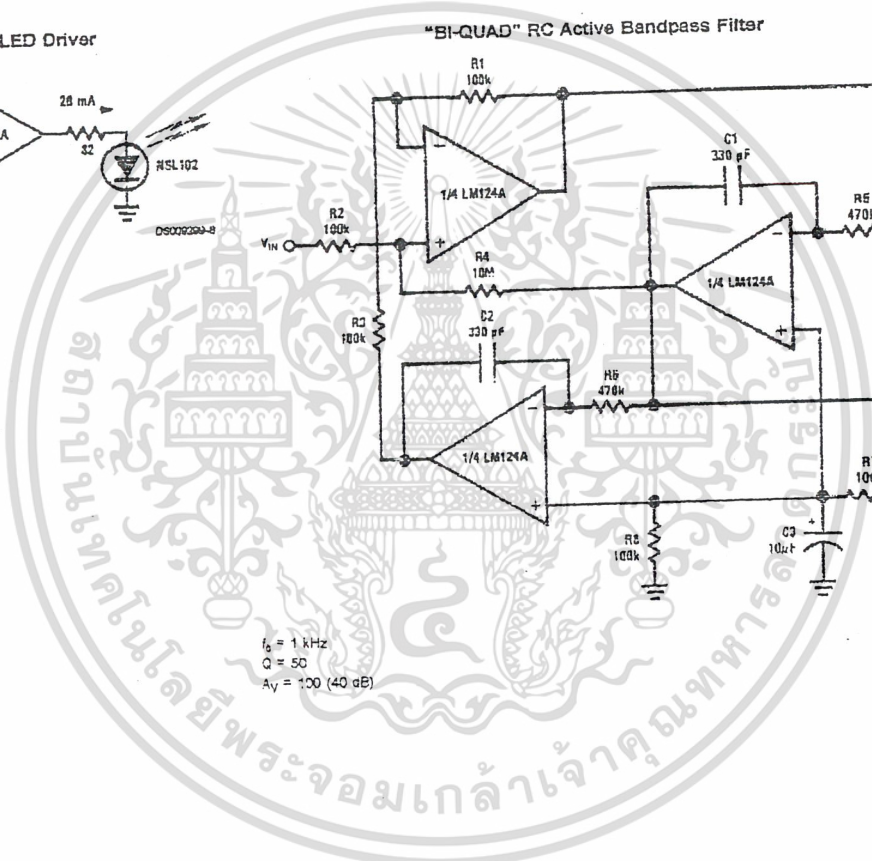
DS009299-8

"BI-QUAD" RC Active Bandpass Filter



DS009299-9

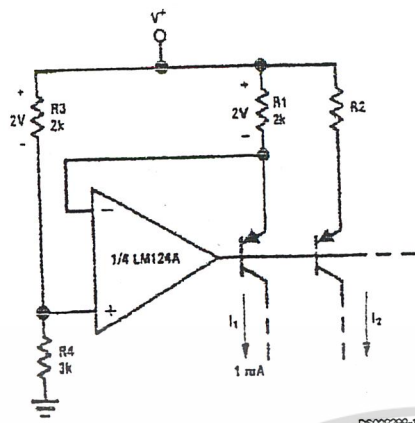
$f_0 = 1 \text{ kHz}$
 $Q = 50$
 $A_V = 100 \text{ (40 dB)}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

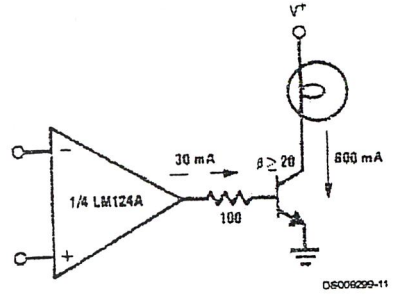
Fixed Current Sources



DS009299-10

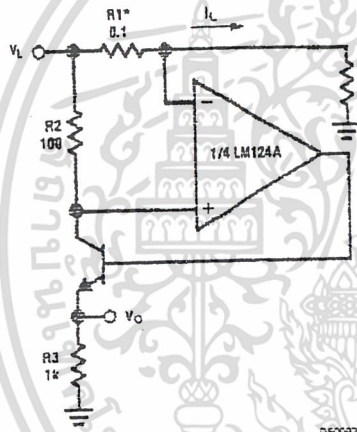
$$I_2 = \left(\frac{R1}{R2} \right) I_1$$

Lamp Driver



DS009299-11

Current Monitor



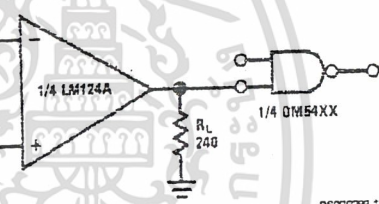
DS009299-12

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

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

*(Increase R1 for I_L small)

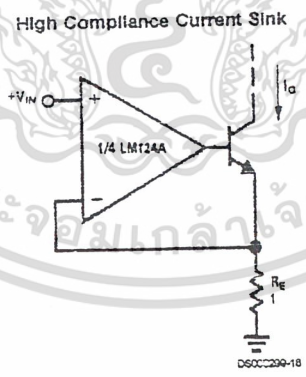
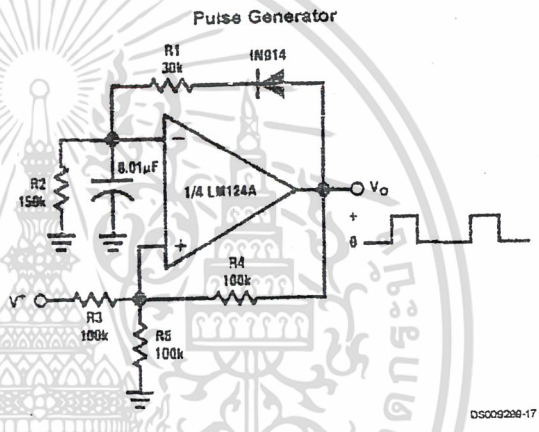
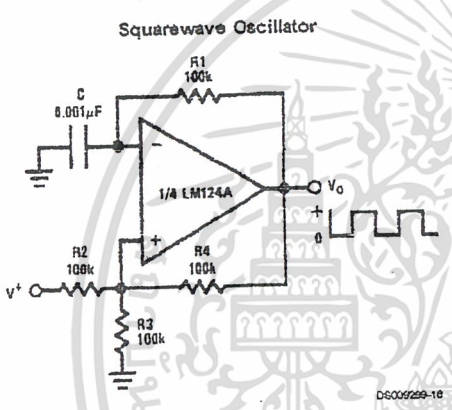
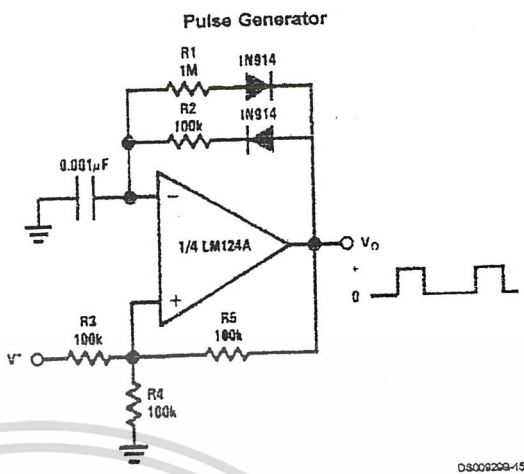
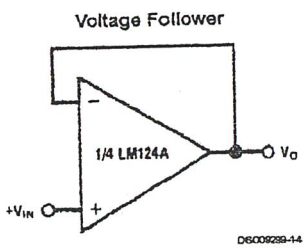
Driving TTL



DS009299-13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

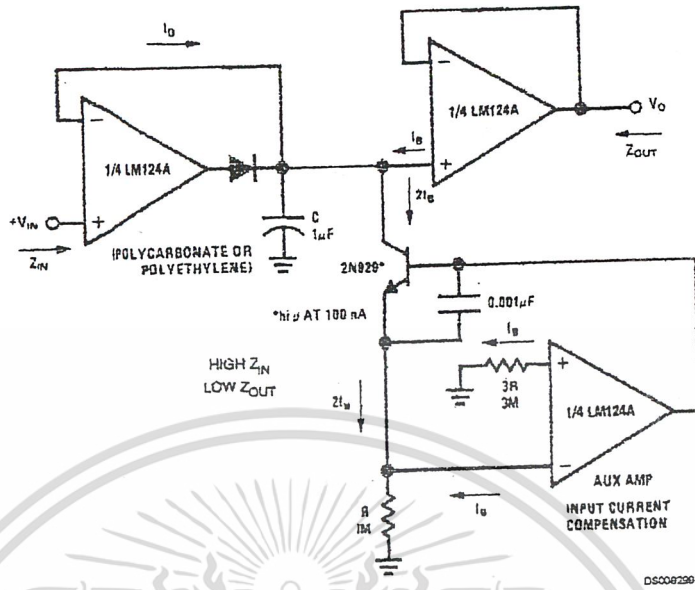


$I_O = 1 \text{ amp/volt } V_{IN}$
 (increase R_E for I_O small)

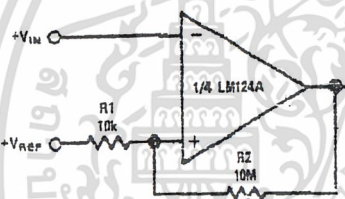
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

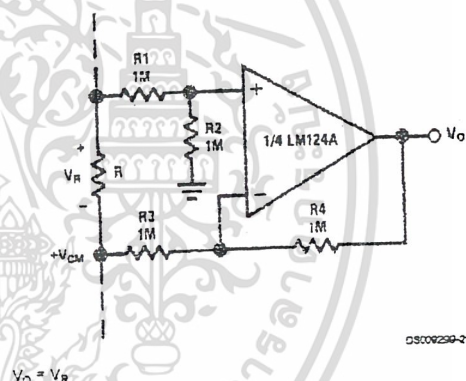
Low Drift Peak Detector



Comparator with Hysteresis



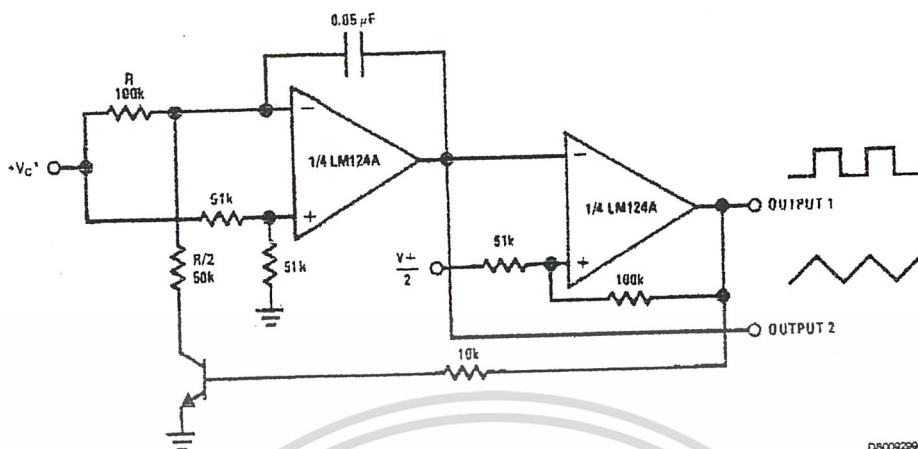
Ground Referencing a Differential Input Signal



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

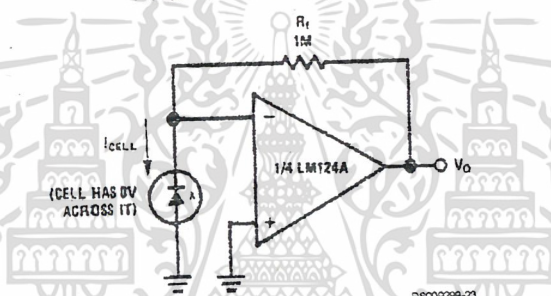
Voltage Controlled Oscillator Circuit



D8009299-22

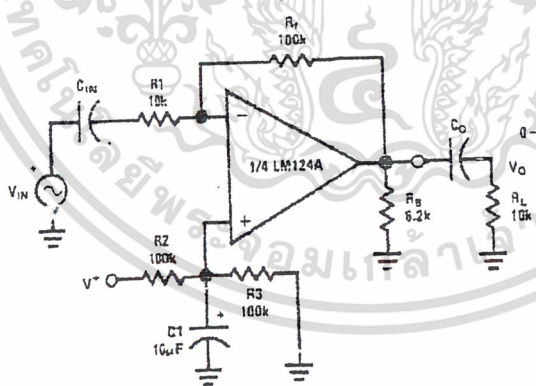
*Wide control voltage range: $0 V_{DC} \leq V_C \leq 2 (V^+ - 1.5 V_{DC})$

Photo Voltaic-Cell Amplifier



D8009299-23

AC Coupled Inverting Amplifier



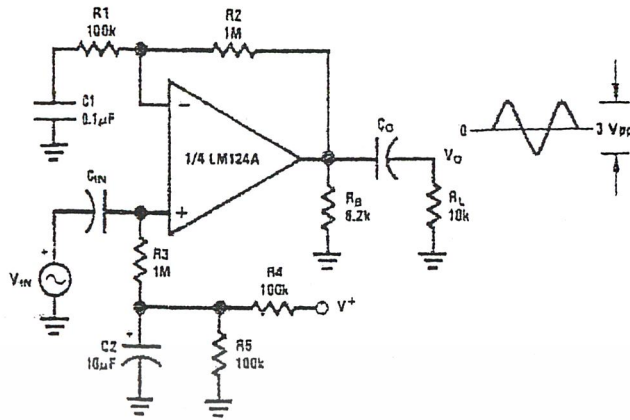
D8008299-24

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

AC Coupled Non-Inverting Amplifier

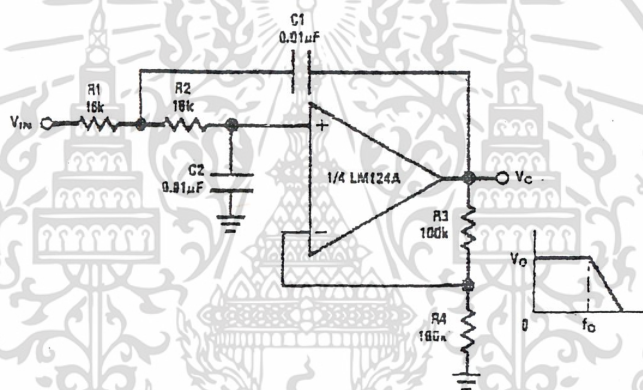


D8009299-25

$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$A_v = 11$ (As shown)

DC Coupled Low-Pass RC Active Filter



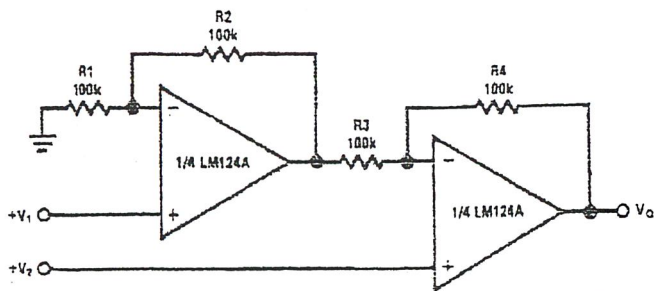
D8009299-25

$f_c = 1 \text{ kHz}$
 $Q = 1$
 $A_v = 2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

High Input Z, DC Differential Amplifier



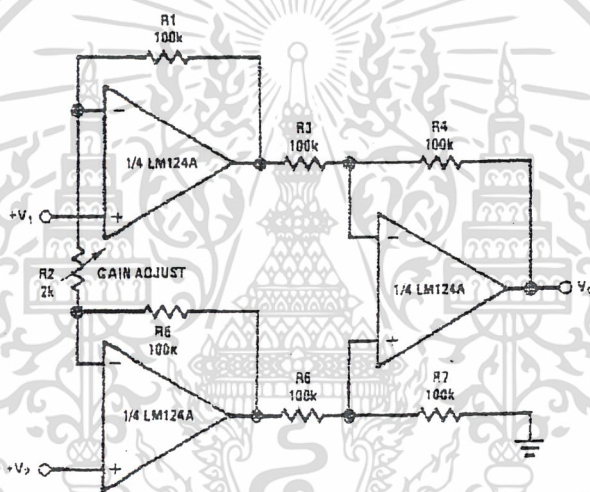
DS009298-27

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



DS009299-28

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

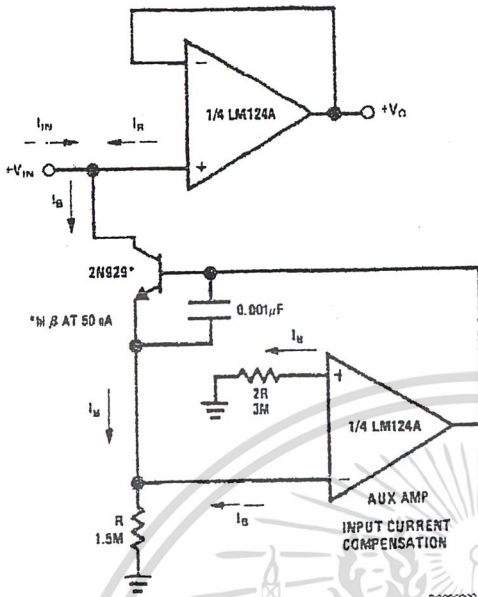
$$V_O = 1 + \frac{2R1}{R2} (V_2 - V_1)$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

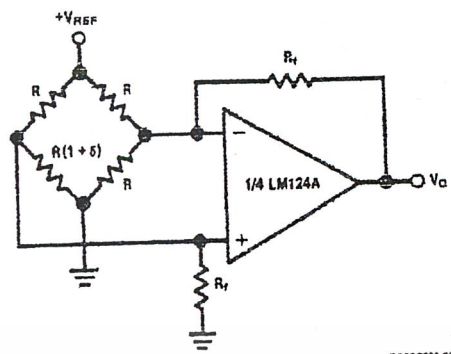
Typical Single-Supply Applications ($V^+ = 5.0 V_{DC}$) (Continued)

Using Symmetrical Amplifiers to Reduce Input Current (General Concept)



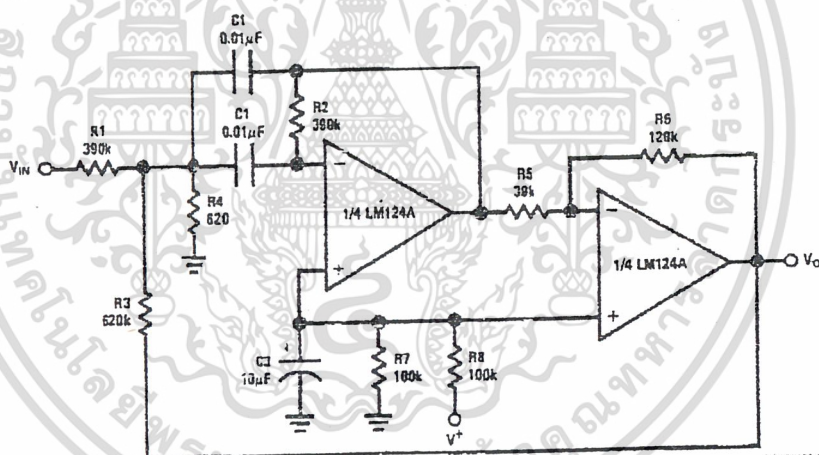
For $\delta \ll 1$ and $R_f \gg R$
 $V_o = V_{REF} \left(\frac{\delta}{2} \right) \frac{R_f}{R}$

Bridge Current Amplifier



DS009299-30

Bandpass Active Filter

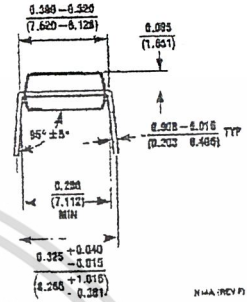
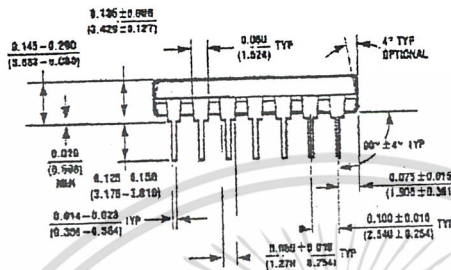
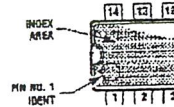
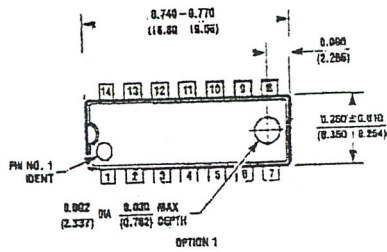


DS009299-31

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

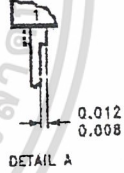
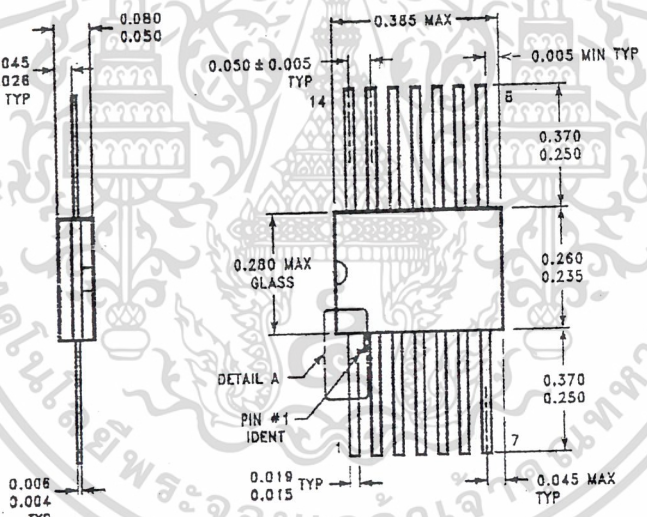
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



N14A (REV F)

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



W14B (REV J)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


Notes



LIFE SUPPORT POLICY

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

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

 <p>National Semiconductor Corporation America 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 80-530 85 86 Email: europe.support@nsc.com Deutsch Tel: +49 (0) 1 80-530 85 85 English Tel: +49 (0) 1 80-532 78 32 Français Tel: +49 (0) 1 80-532 93 58 Italiano Tel: +49 (0) 1 80 534 16 80</p>	<p>National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group Tel: 65-2544466 Fax: 65-2504468 Email: sea.support@nsc.com</p>	<p>National Semiconductor Japan Ltd. Tel: 81-3-5639-7560 Fax: 81-3-5639-7507</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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้