

เครื่องกำเนิดสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม
PWM SIGNAL GENERATOR

นายเอกพจน์ อิ่มเขียว

รหัส 50381727

นายสุรพงศ์ มะหิณีแก้ว

รหัส 50383097

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 19 / ๙.ค. 2555
เลขทะเบียน..... 1573650x
เลขเรียกหนังสือ..... ม/อ.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๐๘๗๘ ค

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2553

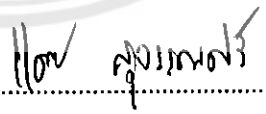


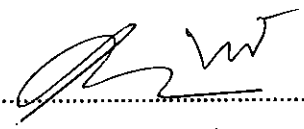
ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ เครื่องกำเนิดสัญญาณเพิ่ดับเบิ้ลยูเอ็ม
ผู้ดำเนินโครงการ นายเอกพจน์ อิ่มเขียว รหัส 50381727
นายสุรพงศ์ มะหิณีแก้ว รหัส 50383097
ที่ปรึกษาโครงการ ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2553

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์)


.....กรรมการ
(ดร. แคทรียา สุวรรณศรี)


.....กรรมการ
(ดร. สุวรรณ พลพิทักษ์ชัย)

ชื่อหัวข้อโครงการ	เครื่องกำเนิดสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็ม
ผู้ดำเนินโครงการ	นายเอกพจน์ อิ่มเขียว รหัส 50381727
	นายสุรพงศ์ มะหิณีแก้ว รหัส 50383097
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2553

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการสร้างสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มจากการเปรียบเทียบสัญญาณสามเหลี่ยมกับสัญญาณแรงดันกระแสตรง แนวคิดในการดำเนินโครงการมาจากปัญหาในการใช้ขั้วนำสวิตช์ในตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงด้วยไอซีสำเร็จรูป เช่น NE555 ทำให้ไม่สามารถปรับค่าความถี่สวิตชิง และไม่สามารถปรับค่าความถี่ที่เกิดที่แม่นยำได้ ส่งผลให้ได้ค่าแรงดันด้านออกของวงจรที่คลาดเคลื่อน ในโครงการนี้จึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณควบคุมสวิตช์ ที่สามารถเลือกค่าความถี่สวิตชิงและค่าความถี่ที่เกิดได้จากการมอดูเลตความกว้างพัลส์หรือพีคดับเบิลยูเอ็ม โดยการสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมด้วยไอซี LF351 มาเปรียบเทียบกับสัญญาณไฟแรงดันกระแสตรงซึ่งปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-12 V สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ได้สามารถปรับค่าความถี่ได้ตั้งแต่ 1.5-100 kHz และปรับค่าความถี่ที่เกิดได้ตั้งแต่ 0.1-1 โดยมีค่าของสัญญาณ 8.4 V สัญญาณที่ได้สามารถนำไปใช้ทดสอบการทำงานของตัวแปลงผันกำลังที่ค่าความถี่สวิตชิงและความถี่ที่เกิดต่าง ๆ

Project title PWM Signal Generator

Name Mr. Ekkaphot Imkheaw ID. 50381727
Mr. Surapong Maleekeaw ID. 50383097

Project advisor Mr. Niphat Jantaramin, Ph.D.

Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic year 2010

Abstract

The thesis presents PWM signal generation via comparison between triangle waveform and a dc control voltage. The idea of carrying this project arose from switch-drive problems in dc power converters using ICs such as NE555, by which desired switching frequency and precise duty cycle of the switch control signal are hardly obtained. Therefore, the output voltage of the converter is often unacceptably deviated from a desired value. In this project, a switch-control signal is generated by means of pulse-width modulation, where the frequency and duty cycle can be adjusted. The PWM signal generator is accordingly devised and constructed in such a way that a triangle waveform produced by LF351 is compared with a dc voltage that can be varied between 0 and 12 V. This generator produces the pulse train of which the frequency can be adjusted in a range of 1.5-100 kHz while the duty cycle can be varied in a range of 0.1-1, and the peak value of the signal is 8.4 V. In particular, the generated PWM signal can be applied to power converters for testing purposes at different switching frequency and duty cycle values.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญานิพนธ์ คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับคณะผู้ดำเนินงาน

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้สัมฤทธิผลและเครื่องมือวัดมาใช้งาน จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงการขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ผู้มอบความรักความเมตตา สติปัญญา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จนถึงปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจทำให้ได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุก ๆ คนในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงการที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายเอกพจน์ อิ่มเขียว

นายสุรพงศ์ มะหิณีแก้ว

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาบัตร.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ.....	3
1.6 งบประมาณ.....	3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 สัญญาณพีคแบบเบสิค.....	4
2.2 สัญญาณพินเล็ทและสัญญาณสามเหลี่ยม.....	6
2.3 ออปแอมป์.....	8
2.3.1 สัญลักษณ์และตัวถัง.....	8
2.3.2 คุณสมบัติของออปแอมป์.....	9
2.3.3 การทำงานของออปแอมป์.....	11
2.3.4 การต่อออปแอมป์ใช้งานทางอิเล็กทรอนิกส์.....	12
2.4 ตัวเรียงกระแส.....	13
2.4.1 ตัวเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น.....	14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.2 ตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบที่ใช้หม้อแปลงแทปกลาง	14
2.4.3 ตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์	15
2.4.4 วงจรกรองแบบใช้ตัวเก็บประจุ	16
2.5 ค่าควิตซ์ไคเกิล	16
บทที่ 3 การสร้างสัญญาณพีคดับยูเอ็ม	18
3.1 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม	18
3.1.1 การคำนวณหาความถี่	20
3.2 วงจรเปรียบเทียบ	20
3.2.1 ขั้นตอนการสร้างวงจร	21
3.3 วงจรสร้างไฟเลี้ยง	23
3.3.1 การเลือกใช้งานอุปกรณ์	23
3.3.2 ขั้นตอนการสร้างวงจร	23
3.4 การประกอบวงจรสร้างสัญญาณพีคดับยูเอ็ม	25
บทที่ 4 ผลการทดสอบ	27
4.1 การทดสอบวงจรสร้างไฟเลี้ยง	27
4.2 การทดสอบปรับค่าความถี่และควิตซ์ไคเกิล	28
4.3 การทดสอบหาขอบเขตการทำงาน	34
4.4 การทดสอบการขับมอสเฟตของวงจรทระดับแรงดัน	35
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	37
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ	37
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข	37
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	39
ภาคผนวก ก รายละเอียดของไอซีหมายเลข LM7815	40
ภาคผนวก ข รายละเอียดของไอซีหมายเลข LM7915	47
ภาคผนวก ค รายละเอียดของไอซีหมายเลข LF351	55
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ	64



สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

- 4.1 ค่าแรงดันด้านออก กระแสด้านเข้า กระแสด้านออกทั้งจากการทดลองและคำนวณ
ที่ค่าความถี่ 0.1 – 0.7 ความถี่ 30 kHz 35



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างการกำเนิดสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็ม.....	4
2.2 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มทั่วไป (ก) สัญญาณเอ็นพีคดับเบิลยูเอ็ม (ข) สัญญาณยูพีคดับเบิลยูเอ็ม.....	5
2.3 โครงสร้างการกำเนิดสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มอย่างง่าย.....	5
2.4 สัญญาณฟันเลื่อย.....	6
2.5 สัญญาณสามเหลี่ยม.....	6
2.6 ลักษณะของสัญญาณที่ได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็ม.....	7
2.7 สัญลักษณ์ของออปแอมป์.....	8
2.8 ตัวถังของออปแอมป์.....	9
2.9 การขยายสัญญาณกระแสสลับแบบรูปเปิดโดยใช้วงจรกลับเฟส.....	10
2.10 การขยายสัญญาณกระแสตรงแบบรูปเปิดโดยใช้วงจรกลับเฟส.....	10
2.11 การขยายสัญญาณกระแสสลับแบบรูปเปิดโดยใช้วงจร ไม่กลับเฟส.....	10
2.12 การขยายสัญญาณกระแสตรงแบบรูปเปิดโดยใช้วงจร ไม่กลับเฟส.....	11
2.13 การทำงานของออปแอมป์ที่อินพุตด้านเดียว.....	11
2.14 การทำงานของออปแอมป์ที่อินพุตสองด้านแบบผลต่าง.....	12
2.15 การทำงานของออปแอมป์ที่สองอินพุตแบบโหมดทั่วไป.....	12
2.16 ลักษณะวงจรป้อนกลับแบบลบ.....	13
2.17 ลักษณะวงจรป้อนกลับแบบบวก.....	13
2.18 ตัวเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น.....	14
2.19 ตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบมีแทปกลาง.....	15
2.20 ตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์.....	15
2.21 ตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้ตัวเก็บประจุกรอง.....	16
2.22 แรงดันด้านออกของวงจรสวิตชิงอย่างง่าย.....	17
3.1 รูปและขนาดต่างๆของ LF351.....	18
3.2 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมจาก LF351.....	19
3.3 สัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้สร้างขึ้นที่ความถี่ 1.5 kHz.....	19
3.4 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ.....	21
3.5 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่สร้างขึ้นที่ความถี่ 0.2 ความถี่ 10 kHz.....	21

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่สร้างขึ้นที่ควิตีไซเคิล 0.5 ความถี่ 25 kHz	22
3.7 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่สร้างขึ้นที่ควิตีไซเคิล 0.9 ความถี่ 45 kHz	22
3.8 แผนภาพวงจรสร้างไฟเลี้ยง.....	23
3.9 ลายวงจรสร้างไฟเลี้ยง.....	24
3.10 การติดตั้งวงจรสร้างไฟเลี้ยง.....	24
3.11 ลายวงจรของเครื่องกำเนิดสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็ม.....	25
3.12 การติดตั้งวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมและวงจรเปรียบเทียบ	25
3.13 ประกอบอุปกรณ์ลงกล่อง	26
4.1 สัญญาณแรงดันไฟเลี้ยง ± 15 V	27
4.2 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควิตีไซเคิล 0	28
4.3 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควิตีไซเคิล 0.1 ความถี่ 10 kHz.....	28
4.4 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควิตีไซเคิล 0.2 ความถี่ 20 kHz.....	29
4.5 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควิตีไซเคิล 0.3 ความถี่ 30 kHz.....	29
4.6 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควิตีไซเคิล 0.4 ความถี่ 40 kHz.....	29
4.7 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควิตีไซเคิล 0.5 ความถี่ 50 kHz.....	30
4.8 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควิตีไซเคิล 0.6 ความถี่ 60 kHz.....	30
4.9 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควิตีไซเคิล 0.7 ความถี่ 70 kHz.....	30
4.10 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควิตีไซเคิล 0.8 ความถี่ 80 kHz.....	31
4.11 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควิตีไซเคิล 0.9 ความถี่ 90 kHz.....	31
4.12 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควิตีไซเคิล 1	31
4.13 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควิตีไซเคิล 0.3	32
4.14 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควิตีไซเคิล 0.6	32
4.15 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควิตีไซเคิล 0.9	32
4.16 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ความถี่ 20 kHz	33
4.17 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ความถี่ 40 kHz	33
4.18 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ความถี่ 60 kHz	33
4.19 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ควิตีไซเคิล 0.1 ความถี่ 75 kHz.....	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 สัญญาณพีคัมเบิลยูเอ็มทีควิต์ไซเคิล 0.1 ความถี่ 100 kHz.....	34
4.21 วงจรทบระดับแรงดัน	35
4.22 กราฟแรงดันด้านออกของวงจรทบระดับแรงดันที่แรงดันด้านเข้า 12 V	36



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ตัวแปลงผันกำลังกระแสตรง (DC Converter) ถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสำคัญของการศึกษาในปัจจุบัน เนื่องจากนิสิตนักศึกษาในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงในการศึกษาทดลองต่าง ๆ โดยหลักการทำงานของตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงจะมีวงจรสวิตซิง (Switching circuit) ในการจ่ายสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (Square signal) ให้กับวงจร แต่ปัญหาที่พบคือ โดยส่วนใหญ่สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่ป้อนให้กับวงจรมันสร้างขึ้นจากไอซี NE555 ซึ่งเป็นไอซีสำเร็จรูป ทำให้สัญญาณที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสืบเนื่องจากการปรับค่าความถี่สวิตซิง และค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty cycle หรือ Duty ratio) ทำให้ยากปัญหานี้จึงเป็นเสมือนปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การศึกษาดทดลองเกิดความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

การสร้างสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ก็สามารถทำได้เช่นกัน แต่ยังมีข้อเสียคือเราจำเป็นต้องป้อนโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ทุกครั้งที่ต้องการสัญญาณที่มีค่าความถี่สวิตซิงและค่าดิวตี้ไซเคิลใหม่ ด้วยเหตุผลนี้จึงได้พัฒนาวงจรสร้างสัญญาณรูปพัลส์ที่สามารถปรับค่าความถี่สวิตซิงและค่าดิวตี้ไซเคิลได้โดยสะดวก และสัญญาณที่ได้ต้องมีความแม่นยำเหมาะสมที่จะใช้กับวงจรสวิตซิงเพื่อใช้ในการศึกษาและทดลองการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังต่าง ๆ ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์ควบคุมสวิตช์ด้วยหลักการมอดูเลตความกว้างพัลส์หรือพีดับเบิลยูเอ็ม โดยสามารถกำหนดความถี่และดิวตี้ไซเคิลที่ต้องการได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

สามารถนำวงจรเครื่องกำเนิดสัญญาณพีคเบิกลูเอ็่มที่สร้างขึ้นไปใช้จับสวิตซ์ใน
ตัวแปลงผันกำลังชนิดต่าง ๆ โดยสามารถปรับค่าความถี่และค่าคิวตี้ไซเคิลได้ถูกต้องตามความ
ต้องการของผู้ใช้

1.6 งบประมาณ

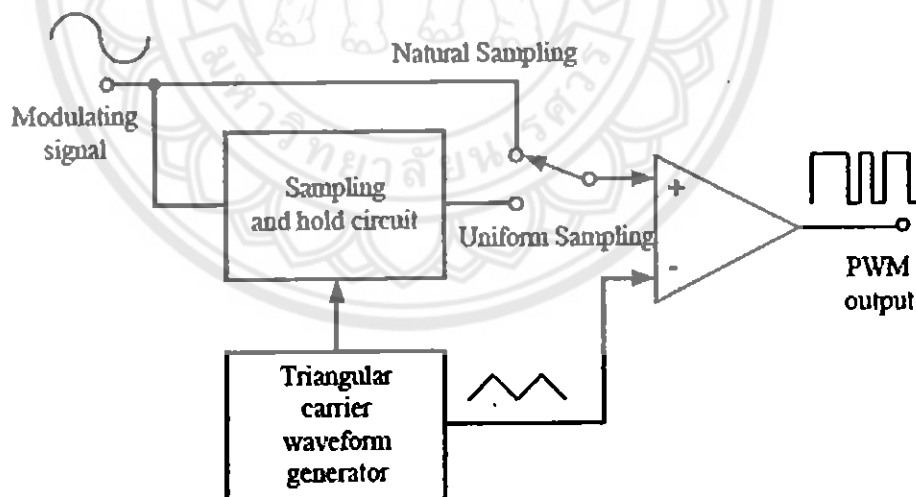
1) อุปกรณ์สร้างวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง	400 บาท
2) อุปกรณ์สร้างวงจรสัญญาณฟันเลื่อย	300 บาท
3) อุปกรณ์สร้างวงจรสัญญาณควบคุม	200 บาท
4) อุปกรณ์สร้างวงจรเปรียบเทียบ	300 บาท
5) ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริิญาานิพนธ์	800 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สองพันบาทถ้วน)	<u>2,000 บาท</u>
หมายเหตุ : ถัวเฉลี่ยทุกรายการ	

บทที่ 2

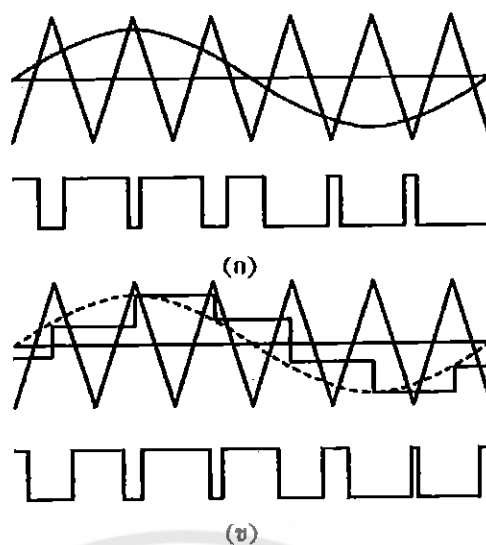
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 สัญญาณพืดับเบิลยูเอ็ม

สัญญาณพืดับเบิลยูเอ็ม (PWM หรือ Pulse Width Modulation) คือสัญญาณที่สามารถปรับความกว้างของพัลส์ (Pulse) ซึ่งเรียกว่าค่าคิวตี้ไซเคิลได้ โดยเป็นตัวกำหนดปริมาณของพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ เช่น ปรับความสว่างของหลอดไฟ ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ เป็นต้น สัญญาณพืดับเบิลยูเอ็ม สามารถแบ่งเป็น 2 รูปแบบใหญ่ ๆ แบบแรกคือสัญญาณพืดับเบิลยูเอ็มที่เกิดจากการสุ่มแบบธรรมชาติ (Natural sampling) โดยสัญญาณนี้เรียกว่าสัญญาณเ็นพืดับเบิลยูเอ็ม (NPWM) สัญญาณพืดับเบิลยูเอ็มอีกแบบหนึ่งคือสัญญาณพืดับเบิลยูเอ็มที่เกิดจากการสุ่มแบบยูนิฟอร์ม (Uniform sampling) เราจะเรียกสัญญาณนี้ว่าสัญญาณยูพืดับเบิลยูเอ็ม (UPWM) โครงสร้างของการสร้างสัญญาณพืดับเบิลยูเอ็มทั้งสองแบบเป็นดังในรูปที่ 2.1



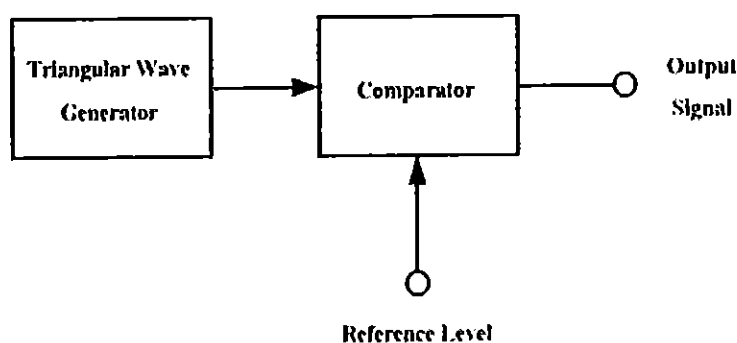
รูปที่ 2.1 โครงสร้างการกำเนิดสัญญาณพืดับเบิลยูเอ็ม



รูปที่ 2.2 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มทั่วไป (ก) สัญญาณเอ็นพีคดับเบิลยูเอ็ม (ข) สัญญาณยูพีคดับเบิลยูเอ็ม

กรณีเป็นการกำเนิดสัญญาณเอ็นพีคดับเบิลยูเอ็ม สัญญาณไซน์จะถูกเปรียบเทียบแรงดันกับสัญญาณสามเหลี่ยม สัญญาณที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบแรงดันก็จะเป็นสัญญาณเอ็นพีคดับเบิลยูเอ็มเช่นกัน ส่วนในกรณีของสัญญาณยูพีคดับเบิลยูเอ็ม สัญญาณไซน์จะผ่านวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ (Sample and hold) ก่อนเข้าเปรียบเทียบแรงดันกับสัญญาณสามเหลี่ยมจึงได้สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มทั้งสองแบบแสดงในรูปที่ 2.2

โครงสร้างสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มอย่างง่ายโดยทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2.3 ซึ่งสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ได้เป็นการเปรียบเทียบแรงดันระหว่างสัญญาณสามเหลี่ยมกับระดับอ้างอิง (Reference level)



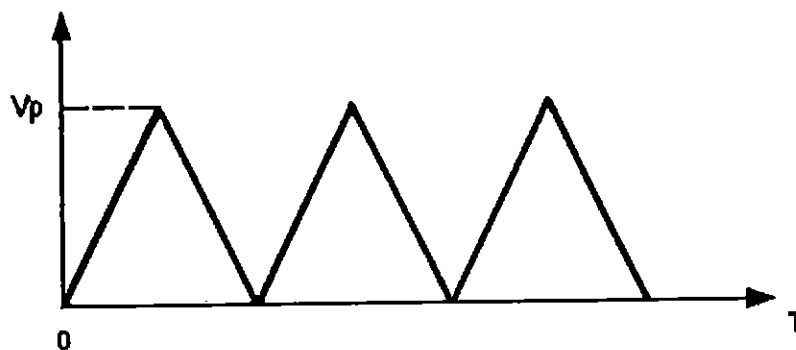
รูปที่ 2.3 โครงสร้างการกำเนิดสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มอย่างง่าย

2.2 สัญญาณฟันเลื่อยและสัญญาณสามเหลี่ยม

โดยหลักการแล้วการสร้างสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มนั้น ใช้การเปรียบเทียบสัญญาณไฟกระแสดตรงและสัญญาณฟันเลื่อย ซึ่งสัญญาณฟันเลื่อยเป็นสัญญาณที่มีคาบสัญญาณคงที่โดยมีความชันบวกน้อยและมีความชันทางลบมากเกือบ 90° [3] ดังแสดงในรูปที่ 2.4 แต่ในการสร้างวงจรเร้าก้ามนิคสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มนั้นสามารถสร้างสัญญาณได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างสัญญาณไฟกระแสดตรงและสัญญาณสามเหลี่ยมได้เช่นกันซึ่งลักษณะของสัญญาณสามเหลี่ยมก็จะมีลักษณะความชันทางบวกและทางลบเท่ากันและมีคาบสัญญาณคงที่ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งโดยหลักการแล้วเมื่อมีการเปรียบเทียบสัญญาณไฟกระแสดตรงกับสัญญาณไม่ว่าจะเป็นสัญญาณฟันเลื่อยหรือสัญญาณสามเหลี่ยม ข้อมได้สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่สามารถปรับค่าควิตซ์ให้ใกล้เคียงกันได้เหมือนกัน เหตุผลเพราะว่าสัญญาณทั้งสองมีคาบสัญญาณคงที่นั่นเอง



รูปที่ 2.4 สัญญาณฟันเลื่อย



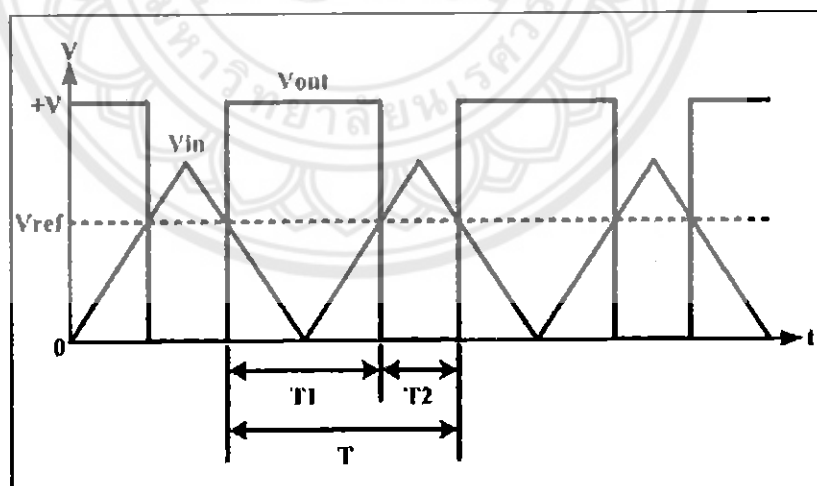
รูปที่ 2.5 สัญญาณสามเหลี่ยม

ในการใช้งานสามารถเลือกใช้สัญญาณทั้งสองทดแทนกันได้ แต่เหตุผลที่เลือกใช้งานสัญญาณสามเหลี่ยมแทนสัญญาณฟันเลื่อยคือ ในการสร้างสัญญาณฟันเลื่อยให้มีความชันด้านลบมีค่าเป็น 90° เป็นสัญญาณฟันเลื่อยโดยสมบูรณ์นั้นทำได้ยาก เพราะเมื่อมีการสร้างวงจรจริงแล้วสัญญาณที่ได้ก็จะมี ความคลาดเคลื่อนทำให้ไม่ได้รูปสัญญาณตามต้องการ แต่การสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมให้เป็นสัญญาณที่สมบูรณ์ทำได้ง่ายกว่า เพราะฉะนั้นในการสร้างสัญญาณที่ดับเบิลยูเอ็มจากวงจรสัญญาณสามเหลี่ยมจึงเป็นทางเลือกที่ดีกว่า

เมื่อนำสัญญาณสามเหลี่ยมและสัญญาณไฟกระส่ายตรงมาเปรียบเทียบสัญญาณแล้ว ลักษณะของสัญญาณต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.6 พบว่ามีค่าแรงดันอยู่สามค่าด้วยกันซึ่งแรงดันทั้งหมดนี้จะมีความสัมพันธ์กัน นั่นคือ แรงดันสามเหลี่ยม (V_{in}) แรงดันอ้างอิง (V_{ref}) และแรงดันด้านออก (V_{out}) ดังนั้นถ้าทำการพิจารณาถึงลักษณะรูปสัญญาณจะพบว่า

ถ้าแรงดัน V_{ref} นั้นมีค่ามากกว่าค่าของแรงดัน V_{in} จะได้ค่าของแรงดันสัญญาณด้านออก (V_{out}) ออกมามีค่าเท่ากับ $+V$

ถ้าแรงดัน V_{ref} นั้นมีค่าน้อยกว่าค่าของแรงดัน V_{in} จะได้ค่าของแรงดันสัญญาณด้านออก (V_{out}) ออกมามีค่าเท่ากับ 0 V



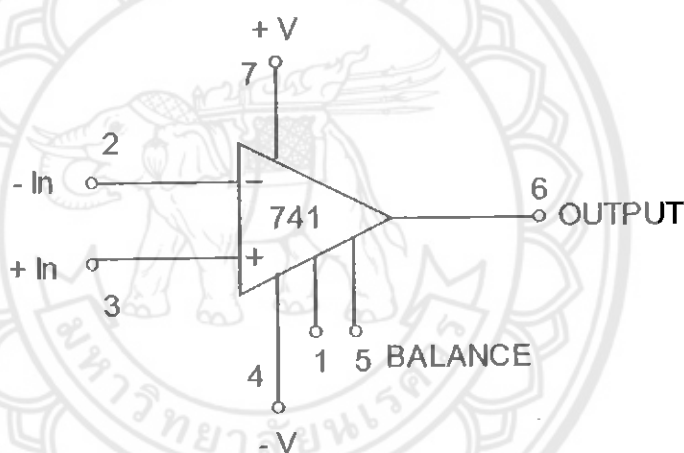
รูปที่ 2.6 ลักษณะของสัญญาณที่ได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณที่ดับเบิลยูเอ็ม

2.3 ออปแอมป์

ออปแอมป์ (Operational Amplifier) คืออุปกรณ์ที่มีอินพุตเป็นการขยายผลต่าง (Differential Amplifier) และมีเอาต์พุตเดี่ยว ซึ่งมีอัตราขยายสูงจึงมีการนำไปใช้ในวงจรต่าง ๆ เช่น วงจรขยาย (Amplifier circuit) หรือ วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator circuit) เป็นต้น

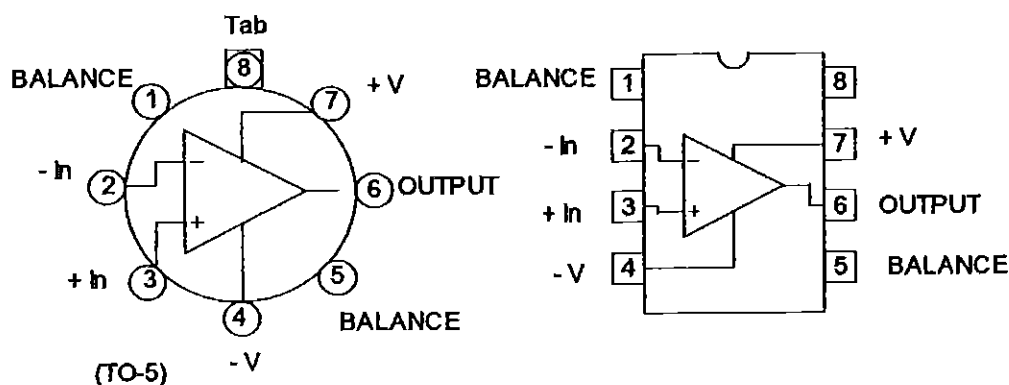
2.3.1 สัญลักษณ์และตัวถัง

สัญลักษณ์ออปแอมป์จะใช้รูปสามเหลี่ยมมีขาสำหรับต่ออุปกรณ์ภายนอก ดังรูปที่ 2.7 รูปสามเหลี่ยมแสดงถึงการขยายและทิศทางการไหลของสัญญาณ ส่วนชื่อขาของออปแอมป์ได้แสดงเปรียบเทียบกับจุดต่อกับวงจรภายใน



รูปที่ 2.7 สัญลักษณ์ของออปแอมป์

เนื่องจากวงจรที่ประกอบขึ้นมาเป็นออปแอมป์สร้างขึ้นบนแผ่นชิป (chip) ที่มีขนาดเล็กมาก ดังนั้นผู้ผลิตจึงต้องทำการบรรจุชิปนี้ลงในตัวถังซึ่งอาจเป็นพลาสติก เซรามิก แก้วหรือโลหะ โดยลักษณะตัวถังที่พบมีอยู่ 2 แบบคือ ตัวถังแบบโลหะกลม (TO-5) และตัวถังแบบคิป (DIP) ดังแสดงในรูปที่ 2.8



ก) แบบตัวถังโลหะกลม

ข) แบบคิป 8 ขา

รูปที่ 2.8 ตัวถังของออปแอมป์

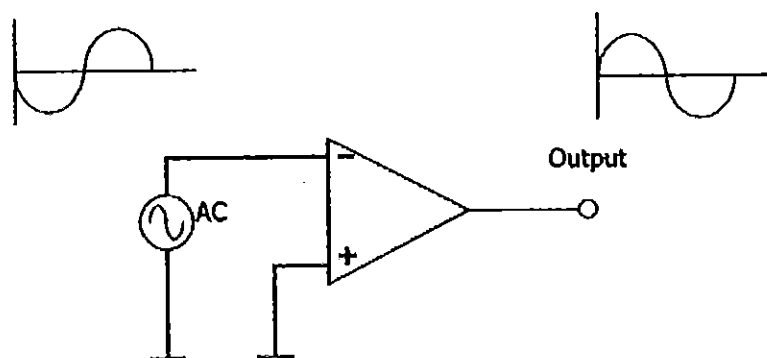
2.3.2 คุณสมบัติของออปแอมป์

ออปแอมป์มีคุณสมบัติตามอุดมคติ ดังนี้

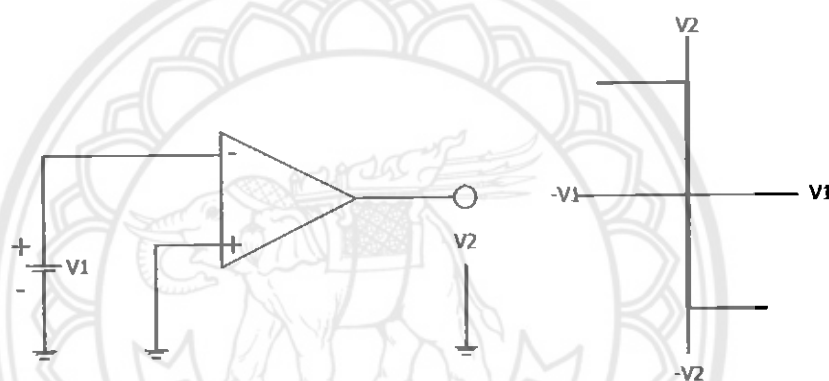
- 1) มีอัตราขยายแรงดันสูงมาก (Infinite voltage amplification :A)
- 2) มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูงมาก (Infinite input impedance : Z_{in})
- 3) มีค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ต่ำมาก (Zero output impedance : Z_{out})
- 4) มีความกว้างแถบความถี่ (ต่อการขยาย) (Infinite bandwidth)
- 5) มีอัตราขยายแรงดันทางด้านบวกและด้านลบเท่ากัน
- 6) แรงดันด้านออกเท่ากับศูนย์เมื่อแรงดันด้านเข้าเท่ากับศูนย์
- 7) ลักษณะของอินพุตมีลักษณะเป็นผลต่าง (Differential)

สัญลักษณ์ของออปแอมป์แบ่งเป็น 2 ส่วนคืออินพุตและเอาต์พุต นอกจากนี้ในรายละเอียดยังมีอีกหลายส่วน เช่น ภาคลับออฟเซต (Offset) ของกระแสและแรงดันจากสัญญาณของออปแอมป์ โดยขาของอินพุตมีคุณสมบัติดังนี้

- 1) ขาที่มีเครื่องหมายลบกำกับอยู่แบบกลับเฟส (Inverting) มีคุณสมบัติคือถ้าเราป้อนสัญญาณอินพุตเข้าขานี้ สัญญาณเอาต์พุตจะมีเฟสต่างกับสัญญาณอินพุต 180° (Out of phase 180°) ดังรูปที่ 2.9 และรูปที่ 2.10

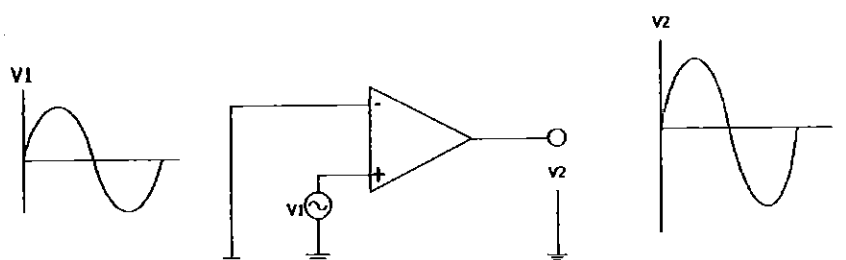


รูปที่ 2.9 การขยายสัญญาณกระแสสลับแบบรูปเปิดโดยใช้วงจรกลับเฟส

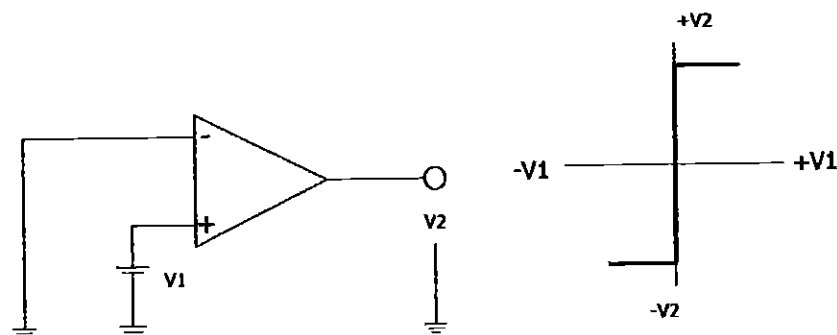


รูปที่ 2.10 การขยายสัญญาณกระแสตรงแบบรูปเปิดโดยใช้วงจรกลับเฟส

2) ขาที่มีเครื่องหมายบวกกำกับอยู่แบบไม่กลับเฟส (Non-inverting) มีคุณสมบัติคือถ้าป้อนสัญญาณอินพุตเข้าทางขานี้ จะได้สัญญาณเอาต์พุตมีเฟสเดียวกัน (In phase) กับสัญญาณทางอินพุตดังรูปที่ 2.11 และ รูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 การขยายสัญญาณกระแสสลับแบบรูปเปิดโดยใช้วงจรไม่กลับเฟส

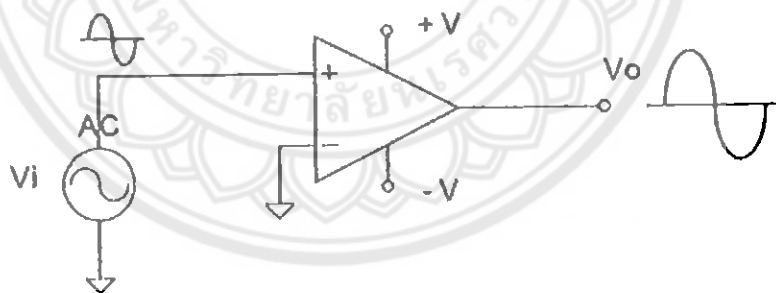


รูปที่ 2.12 การขยายสัญญาณกระแสตรงแบบรูปเปิดโดยใช้วงจรไม่กลับเฟส

2.3.3 การทำงานของออปแอมป์

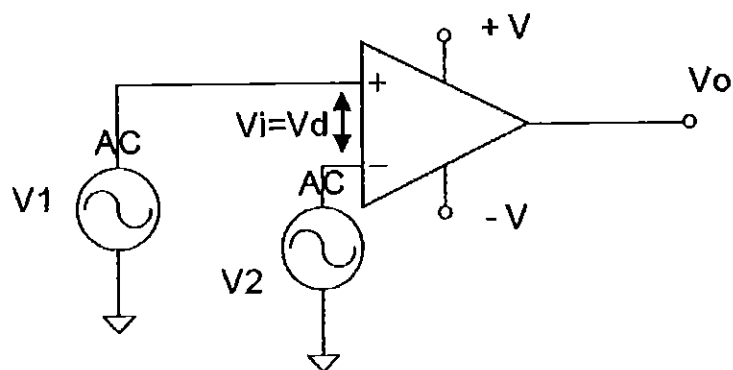
การทำงานของออปแอมป์สามารถแบ่งได้ตามลักษณะการทำงานได้ 2 ลักษณะคือ ลักษณะการทำงานที่อินพุตเดียวและสองอินพุต

1) การทำงานที่อินพุตเดียว (Single ended input) คือการป้อนสัญญาณอินพุตที่ขั้วใดขั้วหนึ่ง ส่วนขั้วที่เหลือต่อลงกราวด์ดังรูปที่ 2.13

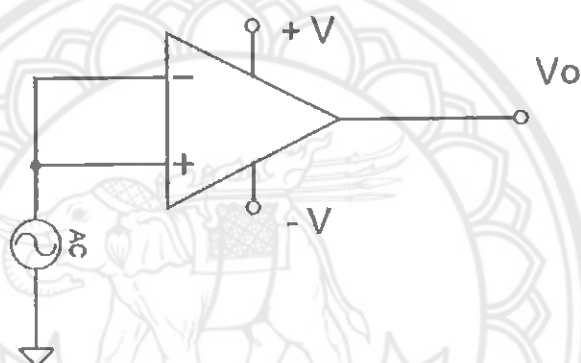


รูปที่ 2.13 การทำงานของออปแอมป์ที่อินพุตด้านเดียว

2) การทำงานที่อินพุตสองด้าน (Double Ended Input) คือการป้อนสัญญาณอินพุตทั้งสองด้าน ซึ่งแบ่งออกเป็นสองแบบคือ แบบผลต่างที่มีการป้อนสัญญาณอินพุตสองสัญญาณที่เป็นอิสระต่อกันให้กับขั้วอินพุตทั้งสองดังรูปที่ 2.14 และแบบโหมคทั่วไป (Common mode) ที่มีการป้อนสัญญาณอินพุตร่วมให้กับขั้วอินพุตทั้งสองของออปแอมป์ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 การทำงานของออปแอมป์ที่อินพุตสองด้านแบบผลต่าง

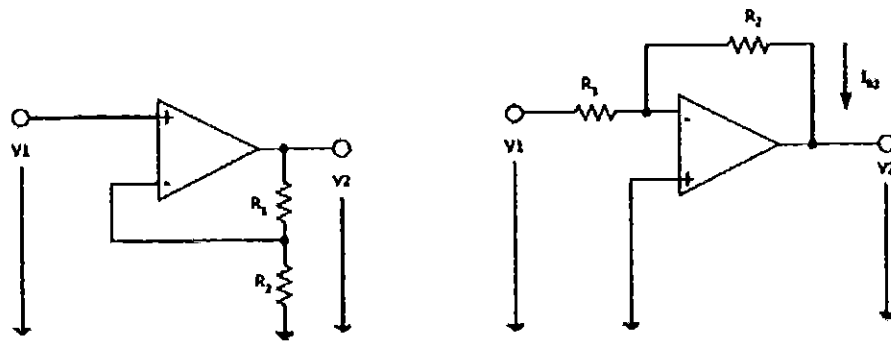


รูปที่ 2.15 การทำงานของออปแอมป์ที่อินพุตแบบโหมคทั่วไป

2.3.4 การต่อออปแอมป์ใช้งานทางอิเล็กทรอนิกส์

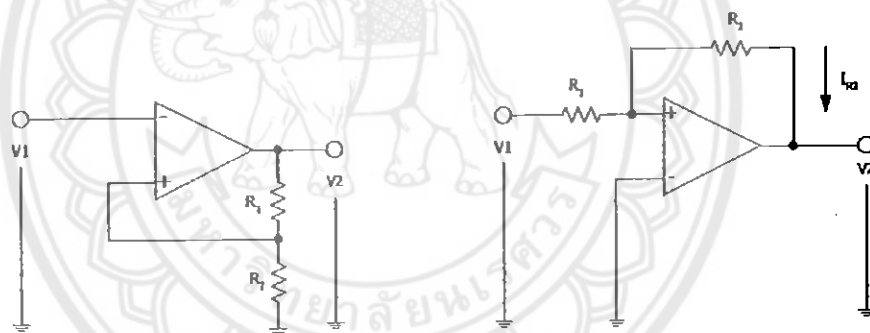
ในปัจจุบันออปแอมป์ได้ถูกออกแบบใช้งานด้านต่าง ๆ มากมายขึ้นอยู่กับความสามารถในการออกแบบเพื่อตอบสนองต่อการใช้งาน แต่หากเราแบ่งลักษณะการต่อการใช้งานโดยพิจารณาเรื่องการป้อนกลับ (Feedback) มาแบ่งสามารถแบ่งการต่อวงจรใช้งานได้ 2 ลักษณะคือ

- 1) การต่อวงจรใช้งานลักษณะการป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback) ซึ่งวงจรจำพวกนี้นำไปใช้เป็นวงจรขยายสัญญาณ ลักษณะวงจรดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ลักษณะวงจรป้อนกลับแบบลบ

2) การต่อวงจรใช้งานลักษณะการป้อนกลับแบบบวก (Positive feedback) วงจรจำพวกนี้ส่วนใหญ่นำไปใช้เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ และผลิตสัญญาณ ลักษณะวงจรแสดงดังรูปที่ 2.17



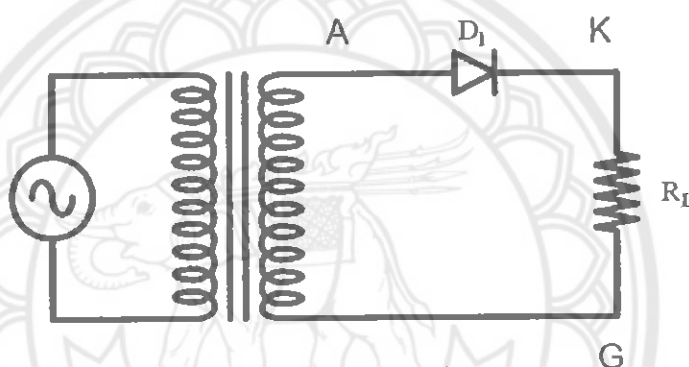
รูปที่ 2.17 ลักษณะวงจรป้อนกลับแบบบวก

2.4 ตัวเรียงกระแส

ตัวเรียงกระแส (Rectifier) คือ วงจรที่แปลงผันพลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงดันคงที่และความถี่ที่ทำให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้ไดโอดเป็นตัวเรียงกระแส สำหรับตัวเรียงกระแสแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ตัวเรียงกระแสครึ่งคลื่นและตัวเรียงกระแสเต็มคลื่น สำหรับตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นนั้นสามารถต่อไดโอดได้ 2 แบบ คือ ตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ใช้หม้อแปลงแทปกกลางและตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

2.4.1 ตัวเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

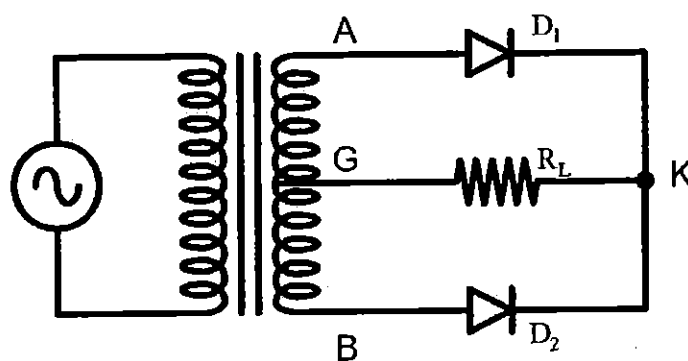
ตัวเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half wave rectifier circuit) จะเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ตัดเอาแรงดันไฟสลับที่ป้อนเข้ามาอาจเป็นครึ่งบวกหรือครึ่งลบแล้วแต่การจับวงจรไดโอด แรงดันที่ส่งออกมาที่พุดจะเป็นช่วง ๆ คือช่วงมีแรงดันและช่วงไม่มีแรงดันสลับกันไป วงจรประกอบด้วยไดโอดตัวเดียวดังรูปที่ 2.18 การทำงานของวงจรไฟกระแสสลับจะมาปรากฏที่ขาแอโนด โดยไดโอดจะยอมให้กระแสไหลผ่านได้ทางเดียวคือช่วงที่ได้รับไบอัสตรง ดังนั้นวงจรจะมีกระแสไหลเพียงช่วงบวกของไฟสลับเท่านั้น ถ้าช่วงลบจะไม่มีกระแสไหล แรงดันด้านออกที่ได้คือ $V_{O(avg)} = 0.318V_m$



รูปที่ 2.18 ตัวเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

2.4.2 ตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบที่ใช้หม้อแปลงแทปกลาง

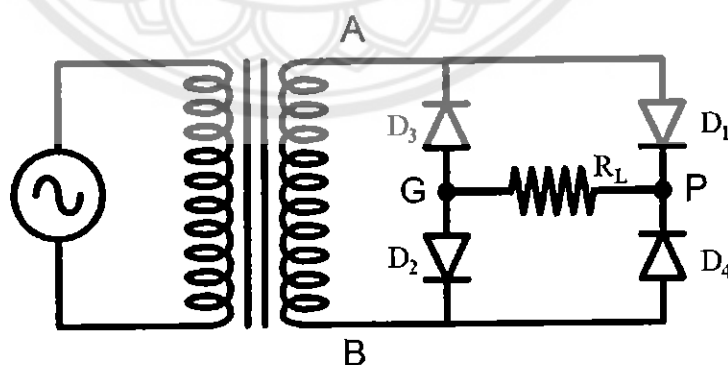
ตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบที่ใช้หม้อแปลงแทปกลาง (Center Tap Rectifier Circuit) จะสามารถเรียงแรงดันไฟสลับให้ออกเอาต์พุดได้ทั้งช่วงบวกและช่วงลบของแรงดันไฟสลับที่ป้อนเข้ามาที่อินพุตของวงจร โดยไม่มีส่วนใดของแรงดันไฟสลับถูกตัดทิ้งไป ลักษณะของวงจรจะใช้ไดโอด 2 ตัว ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟสลับเป็นสัญญาณไฟตรงโดยมีหม้อแปลงไฟฟ้าแบบมีแทปกลาง (Center Tap) ทำหน้าที่แบ่งเฟสให้เกิดการต่างเฟสกัน 180 องศา ระหว่างสัญญาณที่ออกจากส่วนบนและส่วนล่างของขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงเพื่อให้ไดโอดทั้ง 2 ตัวสลับกันทำงาน ดังรูปที่ 2.19 ดังนั้นวงจรจึงสามารถจ่ายกระแสได้เรียบและสูงกว่าวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น แรงดันเฉลี่ยที่ได้คือ $V_{O(avg)} = 0.636V_m$



รูปที่ 2.19 ตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบมีแทปกลาง

2.4.3 ตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

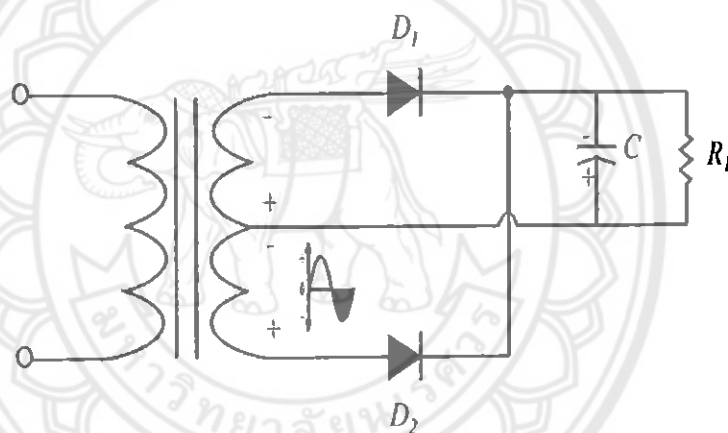
ตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (Full wave bridge rectifier) มีลักษณะเหมือนตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบที่ใช้หม้อแปลงแทปกลาง เพราะแรงดันเอาต์พุตที่ได้เป็นแบบเต็มคลื่น ข้อแตกต่างระหว่างการเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์และแบบเต็มคลื่นธรรมดาต่างกันตรงการต่อวงจรไดโอด แบบเต็มคลื่นจะใช้ไดโอด 2 ตัว แต่แบบบริดจ์จะใช้ไดโอด 4 ตัว และหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ก็แตกต่างกัน แบบเต็มคลื่นธรรมดาใช้หม้อแปลงมีแทปกลาง (Center Tap) มี 3 ขั้ว ส่วนแบบบริดจ์ใช้หม้อแปลง 2 ขั้วหรือ 3 ขั้วก็ได้ แสดงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

2.4.4 วงจรกรองแบบใช้ตัวเก็บประจุ

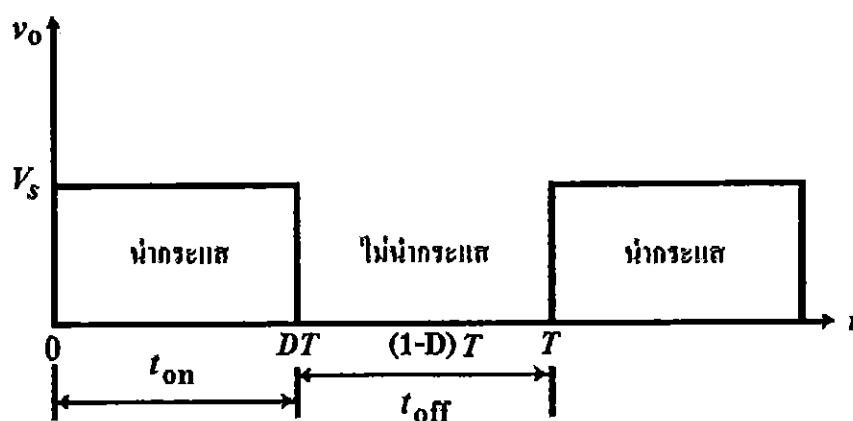
แรงดันได้จากวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นยังมีระลอกคลื่นปนอยู่ปริมาณสูง ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งาน จะต้องนำแรงดันนี้ไปผ่านวงจรกรองก่อนที่จะนำไปใช้งาน วงจรกรองแบบที่ง่ายและนิยมที่สุดก็คือ วงจรกรองแบบใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor Filter) โดยใช้ตัวเก็บประจุต่อขนานกับโหลดดังรูปที่ 2.21 ตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่เก็บประจุไว้ในช่วงเวลาใดโอดนำกระแสและทำหน้าที่คายประจุผ่านตัวต้านทานโหลดในช่วงเวลาที่ใดโอดไม่นำกระแส การทำงานของวงจรกรองจะทำการกรองแรงดันไฟตรงที่ยังไม่เรียบให้มีความราบเรียบยิ่งขึ้น สามารถนำไปใช้งานกับวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์กำลังได้ อีกทั้งแรงดันไฟตรงที่ได้เมื่อผ่านการกรองแรงดันแล้วจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม โดยคำนวณหาได้จากสูตร $V_{DC} = V_P = 1.414 V_{AC}$



รูปที่ 2.21 ตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้ตัวเก็บประจุกรอง

2.5 ค่าตัวแก้ไขเกิล

สัญญาณพีคแอมพลิจูดที่ไดจากวงจรสวิตซิงจะทำหน้าที่เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ มีโหมคการทำงานคือ โหมคนำกระแส และโหมคหยุดนำกระแส มีหลักการทำงานดังนี้ คือขณะที่สวิตช์นำกระแสแรงดันด้านออกจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า และขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแสแรงดันด้านออกจะมีค่าเท่ากับศูนย์โดยที่ช่วงเวลาในการนำกระแสและหยุดนำกระแสจะได้สัญญาณแรงดันด้านออกเป็นพัลส์ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 แรงดันด้านออกของวงจรสวิตชิงอย่างง่าย

จะพบว่าค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกจะถูกควบคุมได้จากการปรับค่าความถี่ของสัญญาณ D หมายถึง อัตราส่วนของเวลาที่สวิตช์นำกระแสต่อช่วงเวลาหนึ่งคาบการสวิตชิงมีความสัมพันธ์ดังนี้ คือ

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} \quad (2.30)$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$t_{on} = DT \text{ และ } t_{off} = (1-D)T$$

โดยที่ t_{on} คือ ช่วงเวลาที่นำกระแส

t_{off} คือ ช่วงเวลาที่ไม่นำกระแส

T คือ เวลาหนึ่งคาบ

การกำหนดค่า D นิยมบอกเป็นสองลักษณะ คือเป็นเลขเต็มหนึ่งและบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ ขณะที่บอกเป็นเลขเต็มหนึ่งค่าต่ำสุดของ D คือ 0 และค่าสูงสุดคือ 1 ขณะที่ถ้าบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ ค่าต่ำสุดคือ 0% และค่าสูงสุดคือ 100% [3]

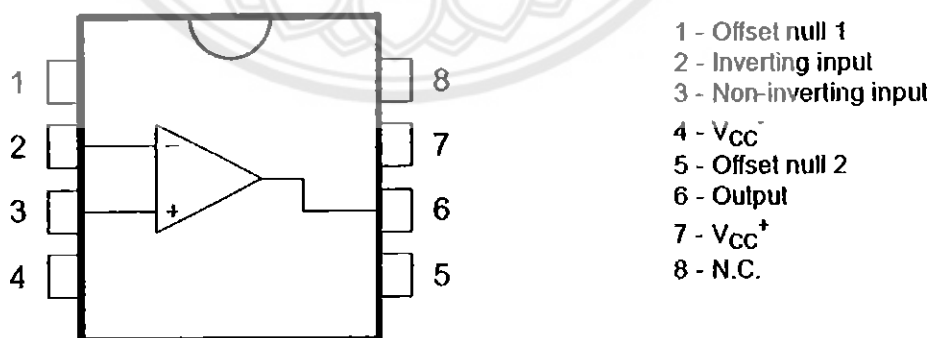
บทที่ 3

การสร้างสัญญาณพีคทูพีค

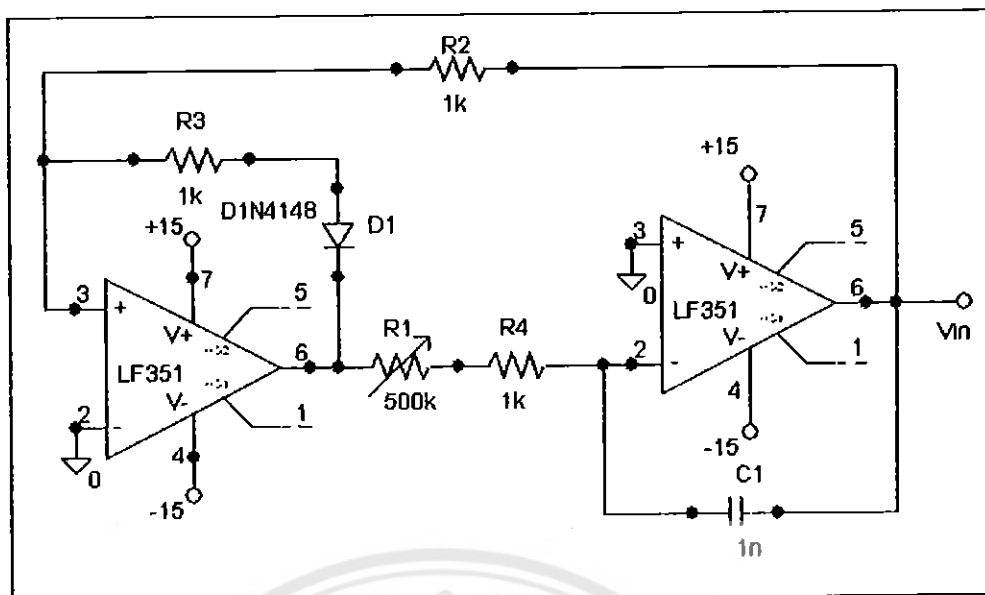
การสร้างสัญญาณพีคทูพีคในโครงงานนี้ใช้วงจรหลัก 3 วงจร คือ วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม วงจรเปรียบเทียบ และวงจรสร้างไฟเลี้ยวซึ่งจ่ายไฟกระแสตรงค่าบวกและค่าลบให้กับวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมและวงจรเปรียบเทียบ โดยจะได้อธิบายดังต่อไปนี้

3.1 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม

วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยม หรือสัญญาณค้ำเข้า (V_{in}) เป็นสัญญาณที่กำหนดความถี่ของสัญญาณพีคทูพีคให้ได้ตามต้องการ อุปกรณ์หลักในการสร้างวงจรคือ LF351 ลักษณะการใช้งานดังรูปที่ 3.1 ซึ่ง LF351 สร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมขึ้นจากหลักการป้อนกลับแรงดัน และสามารถวิเคราะห์การเกิดสัญญาณสามเหลี่ยมได้คือ ช่วงแรกที่สัญญาณสี่เหลี่ยมมีค่าเป็นบวก แรงดันค้ำออกของสัญญาณอินทิเกรเตอร์จะลดลงอย่างคงที่ แต่เมื่อสัญญาณสี่เหลี่ยมเปลี่ยนสถานะลดลงเป็นศูนย์ แรงดันค้ำออกของสัญญาณอินทิเกรเตอร์จะเพิ่มขึ้นด้วยความชันขนาดเท่ากับที่ลดลง วงจรการทำงานที่ออกแบบแสดงดังรูปที่ 3.2

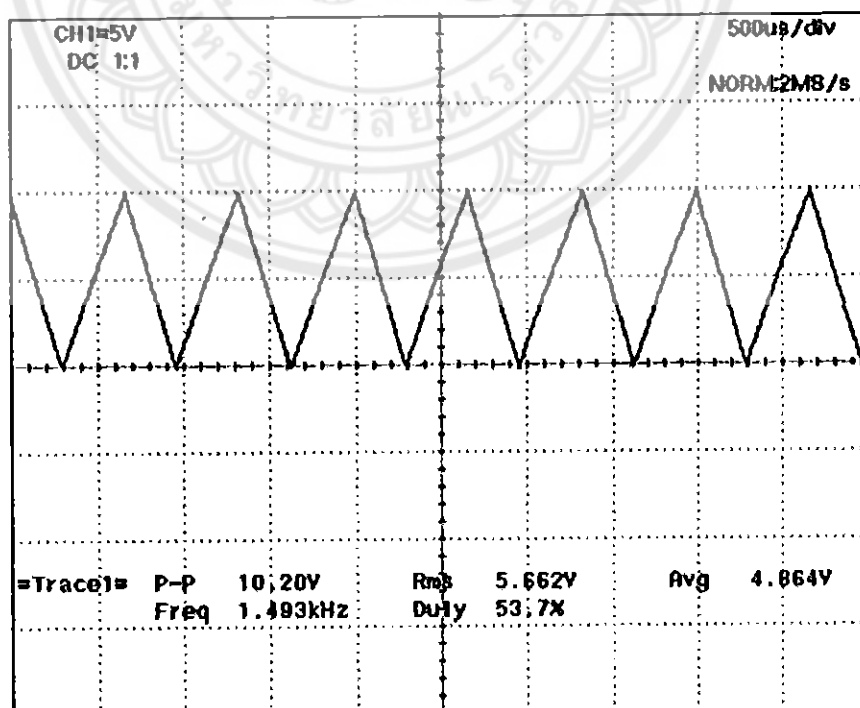


รูปที่ 3.1 รูปและขาต่างๆของ LF351



รูปที่ 3.2 วงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมจาก LF351

รูปสัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้จากการสร้างวงจรที่ความถี่ 1.5 kHz และมีค่าขอด 10.2 V แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 สัญญาณสามเหลี่ยมที่ได้สร้างขึ้นที่ความถี่ 1.5 kHz

3.1.1 การคำนวณหาความถี่

$$f = \frac{1}{2R_1C_1} \quad (3.1)$$

เมื่อกำหนดให้ $f = 1 \text{ kHz}$ มีค่า $C_1 = 1 \text{ nF}$

ดังนั้น

$$R_1 = \frac{1}{2fC_1} \quad (3.2)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (3.2)

$$R_1 = \frac{1}{2(1 \text{ kHz})(1 \text{ nF})} = 500 \text{ k}\Omega$$

และที่ $f = 100 \text{ kHz}$ และ $C_1 = 1 \text{ nF}$

จากสมการที่ (3.2) จะได้ว่า

$$R_1 = \frac{1}{2(100 \text{ kHz})(1 \text{ nF})} = 5 \text{ k}\Omega$$

ดังนั้นจึงได้พิกัดค่าความต้านทานที่ทำให้ได้ความถี่ที่ย่าน $1\text{-}100 \text{ kHz}$ คือ $5\text{-}500 \text{ k}\Omega$ -

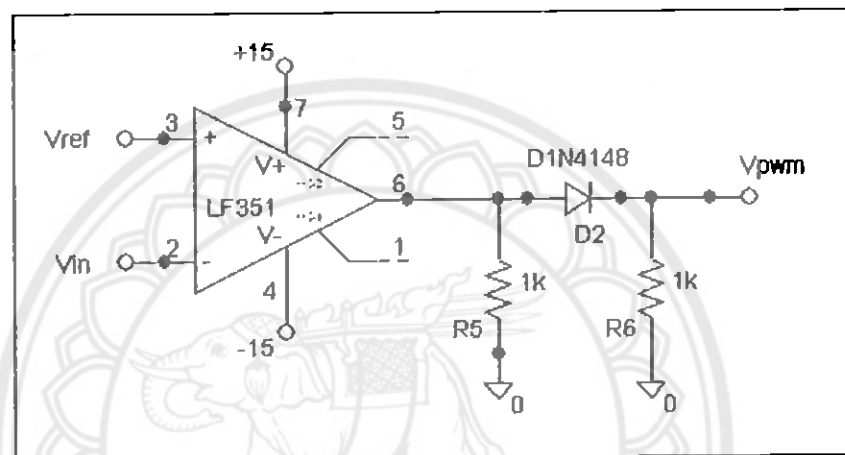
3.2 วงจรเปรียบเทียบ

ในการจะสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณที่ดับเบิลยูเอ็มที่สมบูรณ์ได้นั้น นอกจากจะประกอบด้วยสัญญาณสามเหลี่ยม (V_{in}) และสัญญาณไฟกระชากตรง (V_{ref}) วงจรสำคัญที่จะขาดไม่ได้ก็คือ วงจรเปรียบเทียบ ซึ่งจะทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณระหว่างสัญญาณสามเหลี่ยมและสัญญาณไฟกระชากตรงเพื่อให้ได้เป็นสัญญาณสวิตชิ่งนั่นเอง

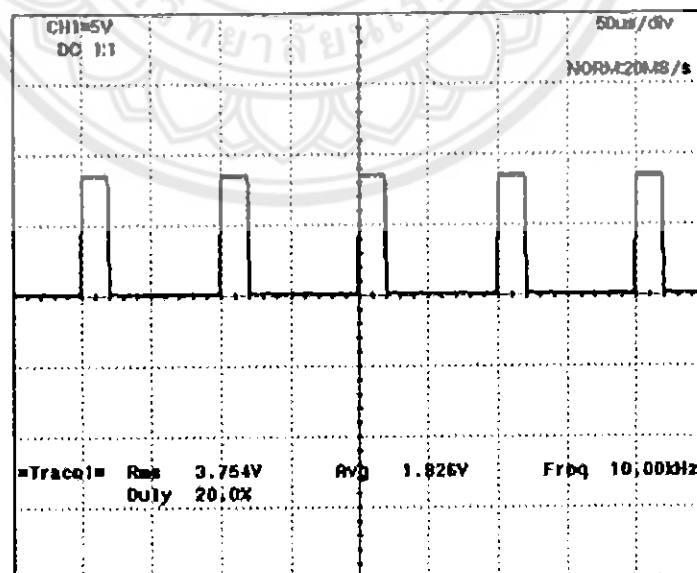
ในส่วนของวงจรเปรียบเทียบนั้น เราจะเลือกใช้งานออปแอมป์ LF351 ในการสร้างวงจรการทำงานด้วยเช่นกัน เนื่องจากต้องการให้การทำงานของวงจรเปรียบเทียบสอดคล้องกับค่าแรงดันและความถี่ของสัญญาณสามเหลี่ยม

3.2.1 ขั้นตอนการสร้างวงจร

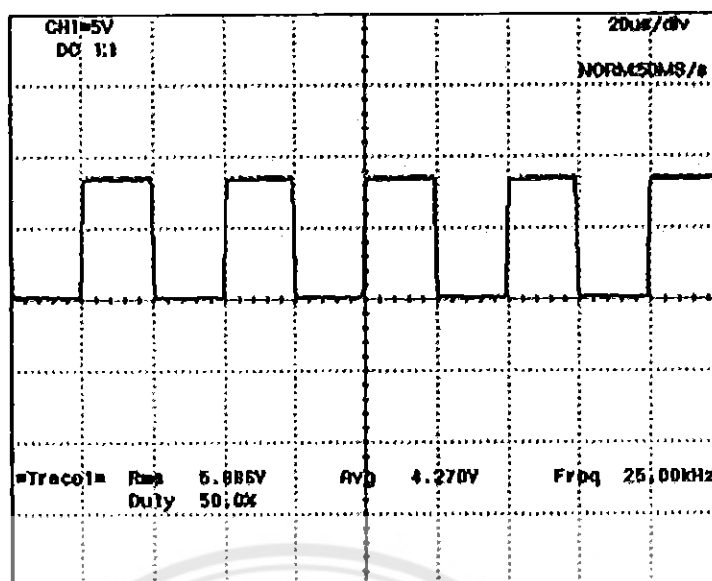
- 1) ออกแบบวงจรเปรียบเทียบ
- 2) ต่อวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมและวงจรสัญญาณไฟกระพริบเข้ากับวงจรเปรียบเทียบตามออกแบบไว้ดังรูปที่ 3.4 โดยต่อกับแผ่นโปรโตบอร์ด
- 3) วัดค่าแรงดันและสังเกตรูปสัญญาณแรงดันที่ได้จากออสซิลโลสโคปจากรูปที่ 3.5 ถึงรูปที่ 3.7



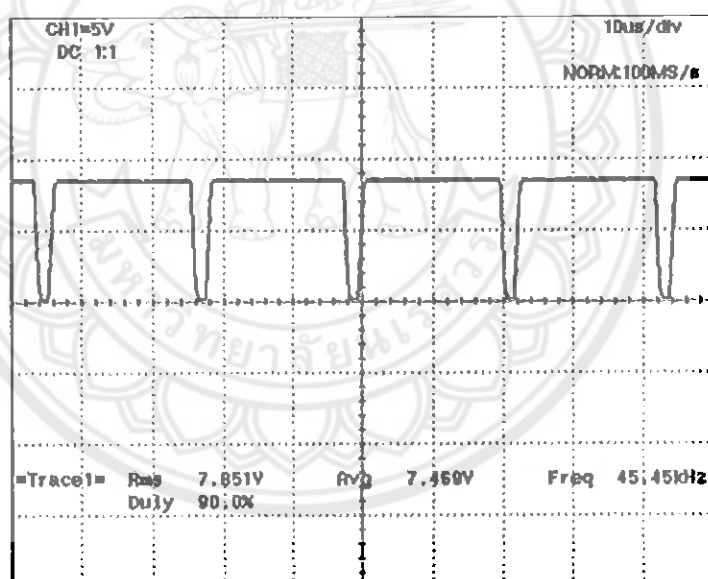
รูปที่ 3.4 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ



รูปที่ 3.5 สัญญาณพีคเบิ้ลยูเอ็มที่สร้างขึ้นที่ควิตซ์เซลล์ 0.2 ความถี่ 10 kHz



รูปที่ 3.6 สัญญาณพีคัปเบิ้ลยูเอ็มที่สร้างขึ้นที่ควิตซ์ไจเคล 0.5 ความถี่ 25 kHz



รูปที่ 3.7 สัญญาณพีคัปเบิ้ลยูเอ็มที่สร้างขึ้นที่ควิตซ์ไจเคล 0.9 ความถี่ 45 kHz

3.3 วงจรสร้างไฟเลี้ยง

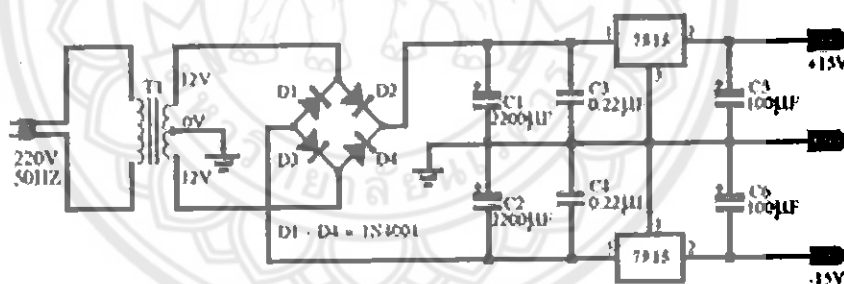
วงจรสร้างไฟเลี้ยงมีหน้าที่จ่ายไฟให้กับวงจร โดยมีการควบคุมระดับแรงดันด้านออกให้มีค่าคงที่ไว้ที่ $\pm 15\text{ V}$ เพื่อจ่ายไฟให้กับอปแอมป์และวงจรเปรียบเทียบแรงดันต่อไป

3.3.1 การเลือกใช้งานอุปกรณ์

วงจรสร้างไฟเลี้ยงนี้จะใช้หม้อแปลงที่มีแทปกลางแปลงแรงดันกระแสสลับจาก 220 V เป็น 12 V และทำการเรียงกระแสโดยวงจรกรองแบบใช้ตัวเก็บประจุ แล้วทำการควบคุมระดับแรงดันโดยใช้ไอซี LM7815 ควบคุมแรงดันด้านบวกและไอซี LM7915 ควบคุมแรงดันด้านลบ เพื่อให้ได้แรงดันไฟเลี้ยง $\pm 15\text{ V}$

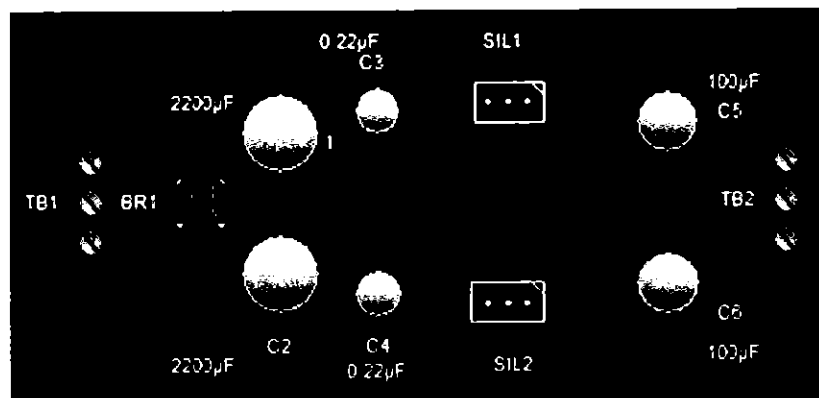
3.3.2 ขั้นตอนการสร้างวงจร

- 1) ออกแบบวงจรสร้างไฟเลี้ยง
- 2) ต่อยังวงจรสร้างไฟเลี้ยงตามที่ออกแบบไว้ดังรูปที่ 3.8 โดยต่อกับแผ่นโปรโตบอร์ด
- 3) วัดค่าแรงดันด้านและสังเกตรูปสัญญาณที่ได้โดยใช้ออสซิลโลสโคป



รูปที่ 3.8 แผนภาพวงจรสร้างไฟเลี้ยง

- 4) ทำการออกแบบลายวงจรด้วยโปรแกรม PCB Wizard สำหรับติดตั้งวงจรลงบนแผง PCB ได้ดังรูปที่ 3.9 และติดตั้งอุปกรณ์ตามลายวงจรที่ได้ออกแบบไว้ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 ลายวงจรสร้างไฟเลี้ยง

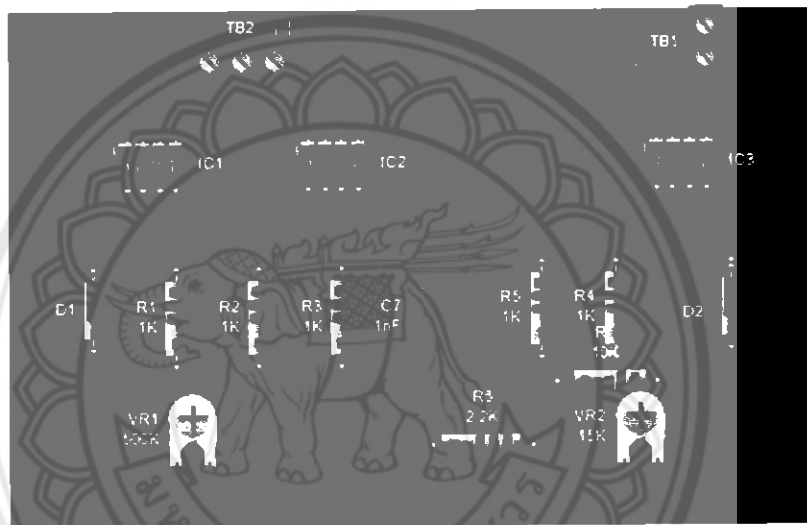


รูปที่ 3.10 การติดตั้งวงจรสร้างไฟเลี้ยง

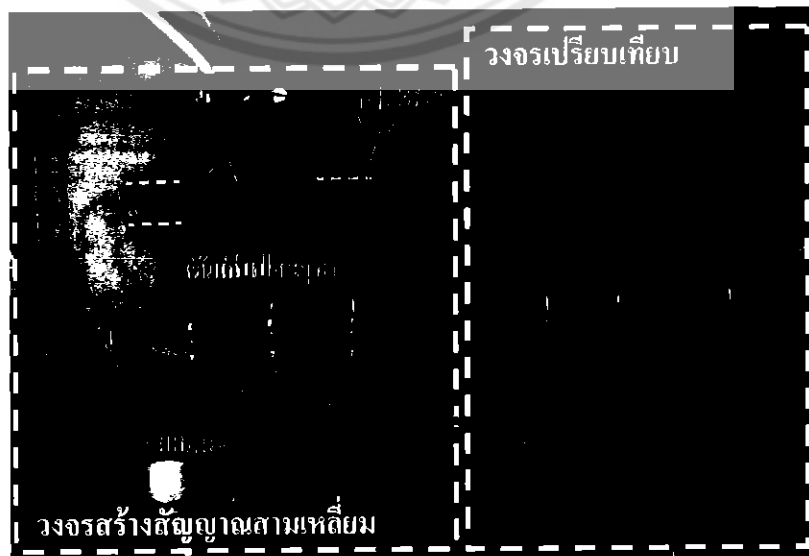
วงจรสร้างไฟเลี้ยงในที่นี้เลือกใช้ไอซี LM7815 และ LM7915 เนื่องจากต้องการให้ได้แรงดันไฟฟ้า 15 V และ -15 V เพื่อเป็นไฟเลี้ยงให้กับออปแอมป์และเป็นสัญญาณไฟกระแสดตรงที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับสัญญาณสามเหลี่ยม ซึ่งผลที่ได้จากการใช้แรงดันไฟฟ้า 15 V และ -15 V นี้ทำให้ได้ค่ายอดของสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มเป็น 8.4 V ซึ่งต่างจากการใช้ไอซี LM7812 และ LM7912 ที่ได้แรงดันไฟฟ้า 12 V และ -12 V เป็นไฟเลี้ยงให้กับออปแอมป์ ทำให้ได้ค่ายอดของสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มเพียง 6.64 V ซึ่งจะลดขอบเขตในการใช้งานให้น้อยลงด้วย

3.4 การประกอบวงจรสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม

หลังจากต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อทดลองการทำงานของวงจรต่าง ๆ บนโปรโตบอร์ด (Protoboard) แล้วจึงทำการออกแบบลายวงจรด้วยโปรแกรม PCB Wizard สำหรับติดตั้งวงจรทั้งหมดของวงจรสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มลงบนแผง PCB ได้ดังรูปที่ 3.11 ติดตั้งอุปกรณ์ตามลายวงจรที่ได้ออกแบบไว้ได้ดังรูปที่ 3.12 โดยประกอบอุปกรณ์ลงในกล่องเพื่อความสะดวกและความสะอาดต่อการใช้งานดังรูปที่ 3.13

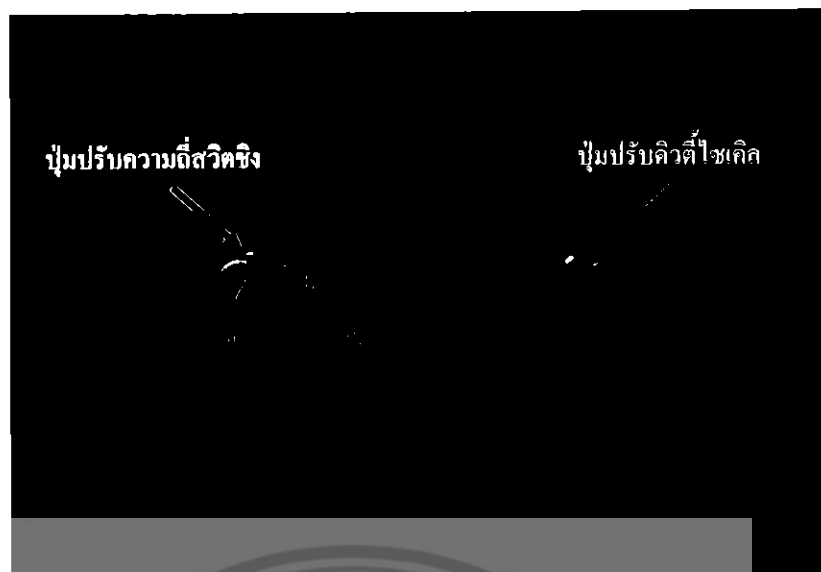


รูปที่ 3.11 ลายวงจรของเครื่องกำเนิดสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม



รูปที่ 3.12 การติดตั้งวงจรสร้างสัญญาณตามหลักและวงจรเปรียบเทียบ

1593650X
ร/ง.
08980
2557



รูปที่ 3.13 ประกอบอุปกรณ์ลงถ่อง



บทที่ 4

ผลการทดสอบ

หลังจากการศึกษางานของวงจรกำเนิดสัญญาณพีคทูพีคและวงจรผลิตความถี่ในบทที่ 2 และการออกแบบวงจรสร้างไฟเลี้ยง การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณสามเหลี่ยมและวงจรเปรียบเทียบในบทที่ 3 ผู้ดำเนินโครงการได้ทำการทดสอบการทำงานของวงจรดังกล่าวที่สร้างขึ้น โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 การทดสอบวงจรสร้างไฟเลี้ยง

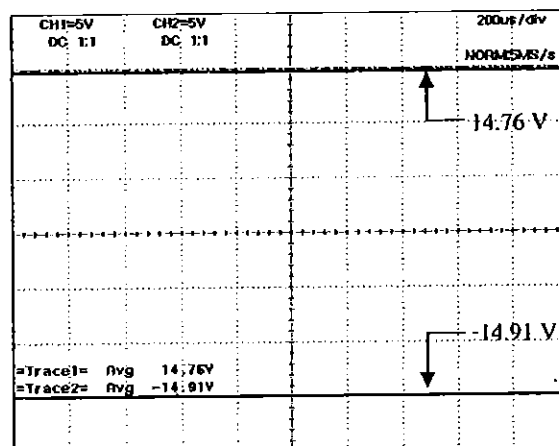
ส่วนที่ 2 การทดสอบปรับค่าความถี่และคิวดีไซเคิล

ส่วนที่ 3 การทดสอบเพื่อหาขอบเขตการทำงาน

ส่วนที่ 4 การทดสอบการขับมอสเฟตของวงจรทระดับแรงดัน

4.1 การทดสอบวงจรสร้างไฟเลี้ยง

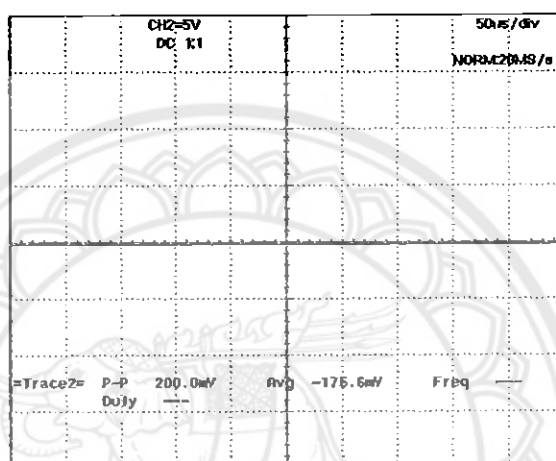
เครื่องกำเนิดสัญญาณพีคทูพีคที่สร้างขึ้นจำเป็นต้องใช้ไฟเลี้ยง 15 V และ -15 V แต่เนื่องจากการใช้งานไม่สามารถหาไฟเลี้ยงดังกล่าวได้ง่ายนักจึงต้องมีการสร้างวงจรไฟเลี้ยงขึ้นเพื่อความสะดวกในการใช้งาน ซึ่งในการสร้างวงจรจะมีการสูญเสียภายในเกิดขึ้น ส่งผลให้ระดับแรงดันลดลง ซึ่งได้แรงดันเท่ากับ 14.76 V และ -14.91 V โดยผลการทดสอบจะได้สัญญาณแรงดันดังรูปที่ 4.1



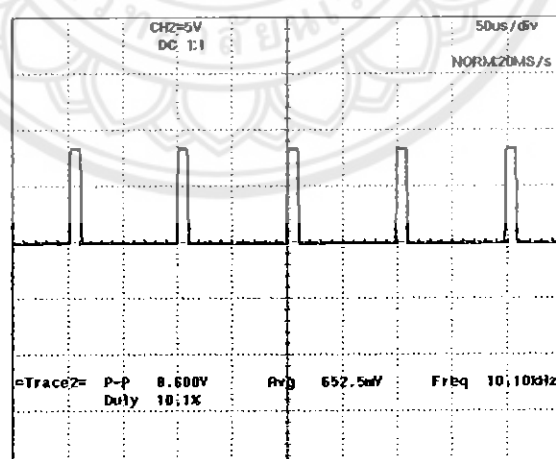
รูปที่ 4.1 สัญญาณแรงดันไฟเลี้ยง ± 15 V

4.2 การทดสอบปรับค่าความถี่และคิวดั้ไซเคิล

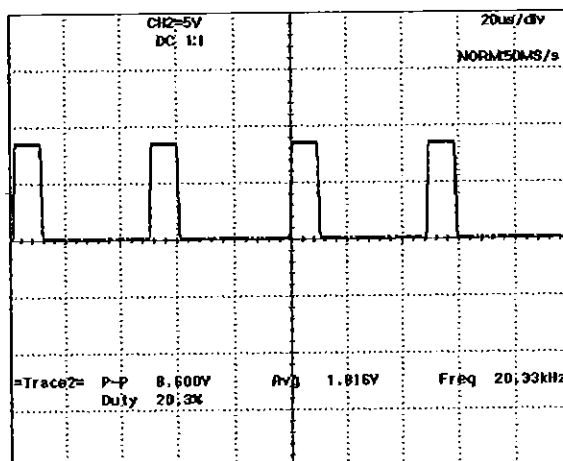
การทดสอบนี้วงจรไฟเลี้ยงจ่ายไฟ ± 15 V ให้กับเครื่องกำเนิดสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็ม แล้วทำการปรับค่าคิวดั้ไซเคิลที่ตัวต้านทานปรับค่าได้ $10\text{ k}\Omega$ และปรับค่าความถี่ที่ตัวต้านทานปรับค่าได้ $500\text{ k}\Omega$ ซึ่งการทดสอบมีการปรับค่าคิวดั้ไซเคิล $0 - 1$ ควบคู่กับการปรับค่าความถี่ตั้งแต่ $10 - 100\text{ kHz}$ โดยผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2 - รูปที่ 4.12



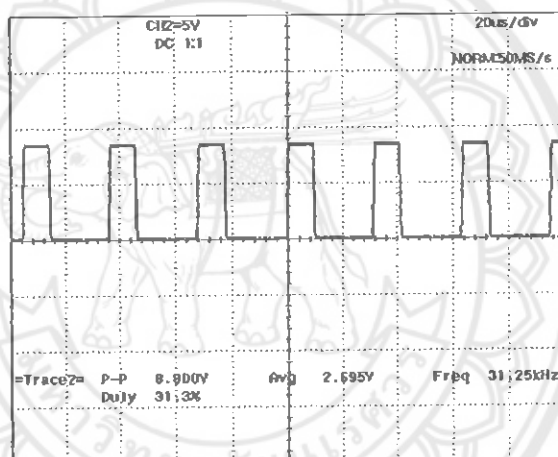
รูปที่ 4.2 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าคิวดั้ไซเคิล 0



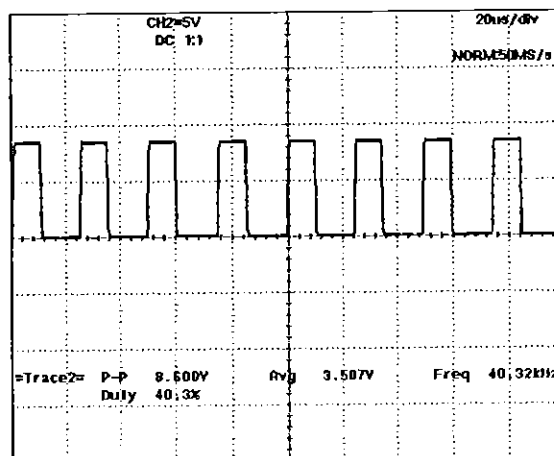
รูปที่ 4.3 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าคิวดั้ไซเคิล 0.1 ความถี่ 10 kHz



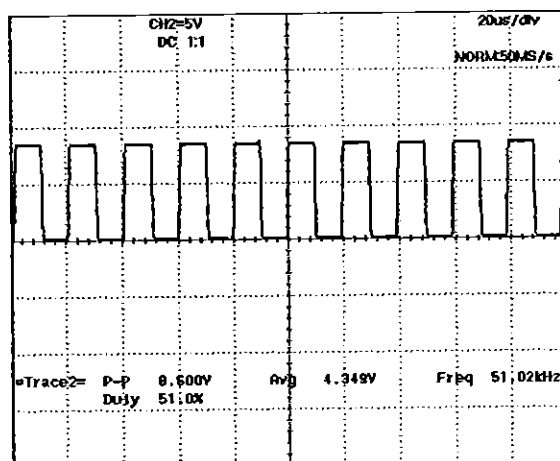
รูปที่ 4.4 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควิตซ์เกิด 0.2 ความถี่ 20 kHz



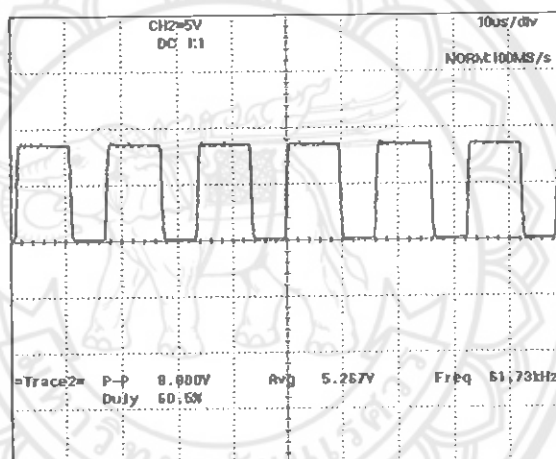
รูปที่ 4.5 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควิตซ์เกิด 0.3 ความถี่ 30 kHz



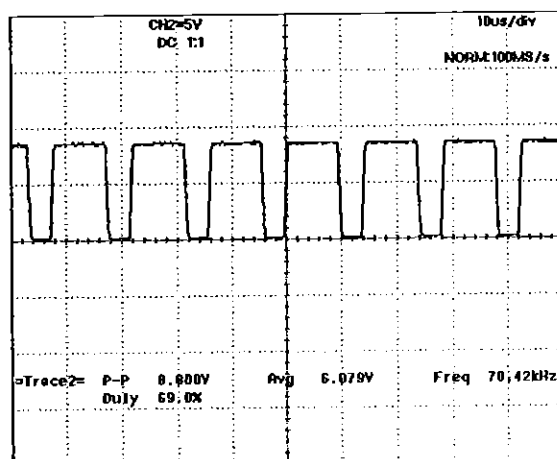
รูปที่ 4.6 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควิตซ์เกิด 0.4 ความถี่ 40 kHz



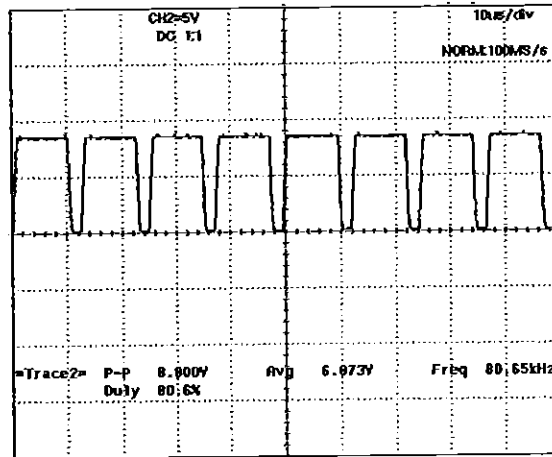
รูปที่ 4.7 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควัตซ์เกิด 0.5 ความถี่ 50 kHz



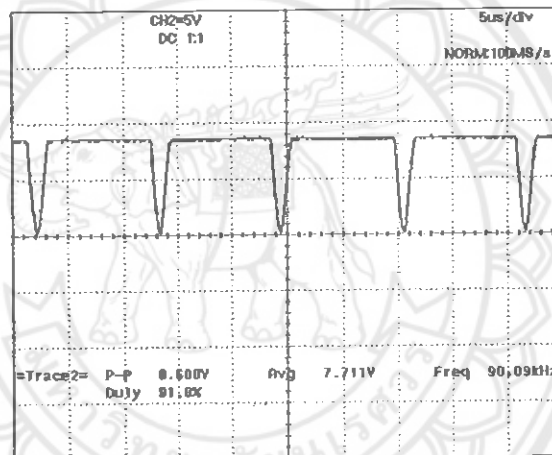
รูปที่ 4.8 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควัตซ์เกิด 0.6 ความถี่ 60 kHz



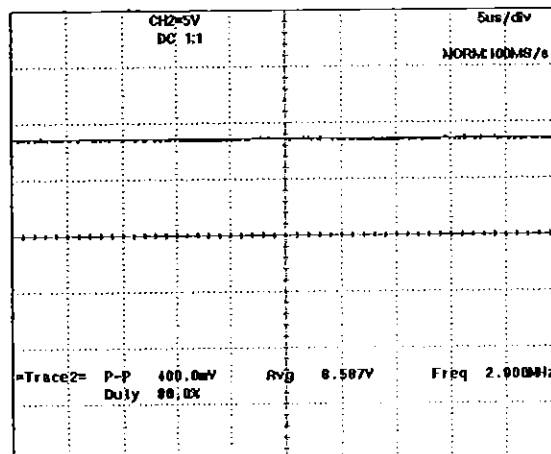
รูปที่ 4.9 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควัตซ์เกิด 0.7 ความถี่ 70 kHz



รูปที่ 4.10 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควัตซ์เกิด 0.8 ความถี่ 80 kHz

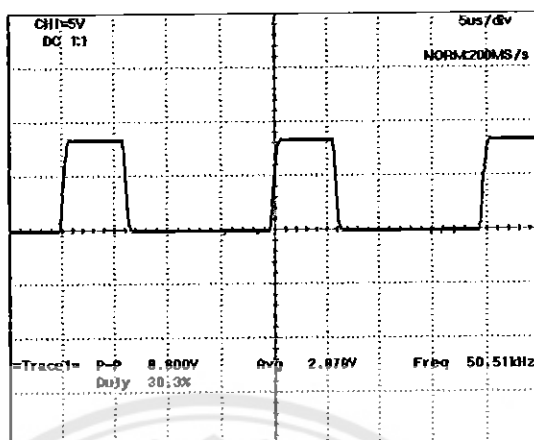


รูปที่ 4.11 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควัตซ์เกิด 0.9 ความถี่ 90 kHz

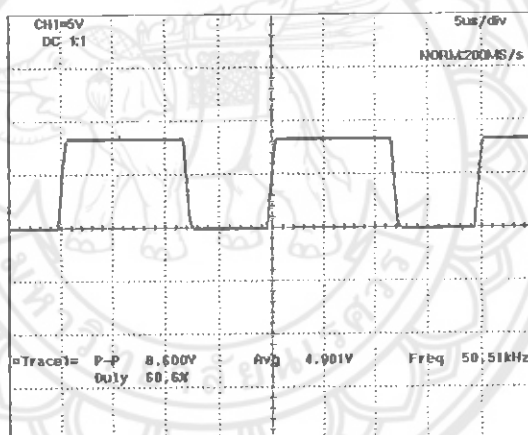


รูปที่ 4.12 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ค่าควัตซ์เกิด 1

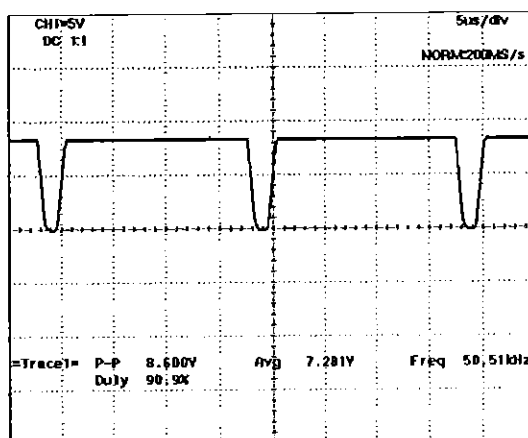
การทดสอบปรับควิตซ์ไคเกิล ที่ความถี่ 50 kHz แสดงดังรูปที่ 4.13-รูปที่ 4.15



รูปที่ 4.13 สัญญาณพัลส์เบิยูเอ็มที่ค่าควิตซ์ไคเกิล 0.3

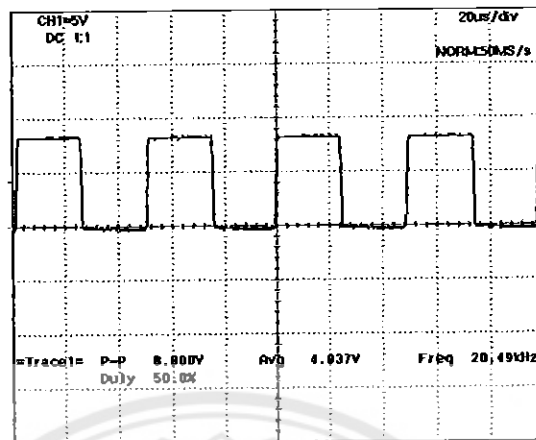


รูปที่ 4.14 สัญญาณพัลส์เบิยูเอ็มที่ค่าควิตซ์ไคเกิล 0.6

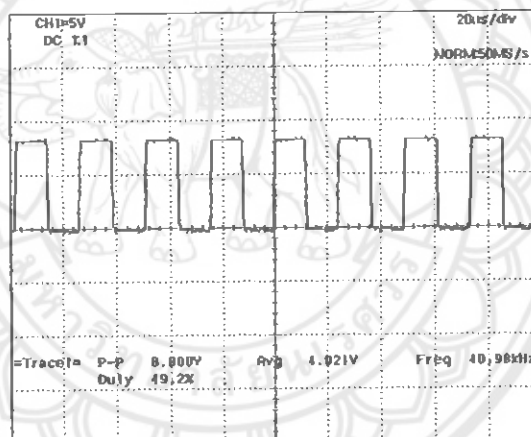


รูปที่ 4.15 สัญญาณพัลส์เบิยูเอ็มที่ค่าควิตซ์ไคเกิล 0.9

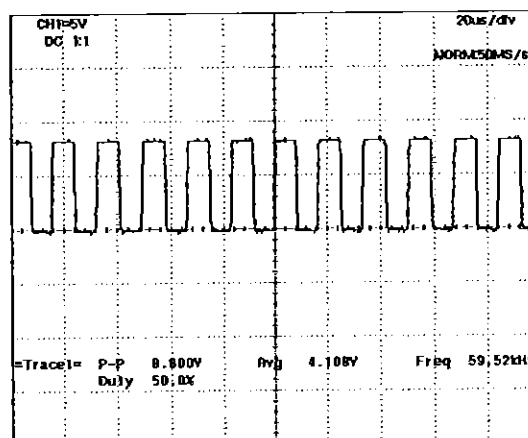
การทดสอบปรับความถี่ ที่ตัวรีเลย์เกิดที่ 0.5 แสดงดังรูปที่ 4.16-รูปที่ 4.18



รูปที่ 4.16 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ความถี่ 20 kHz



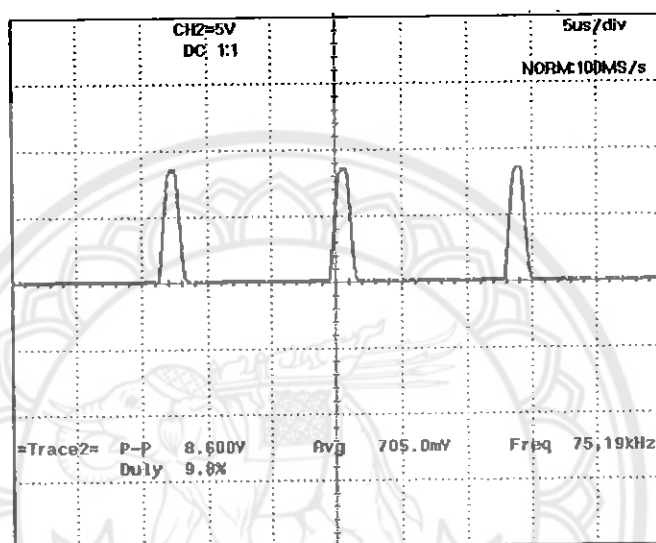
รูปที่ 4.17 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ความถี่ 40 kHz



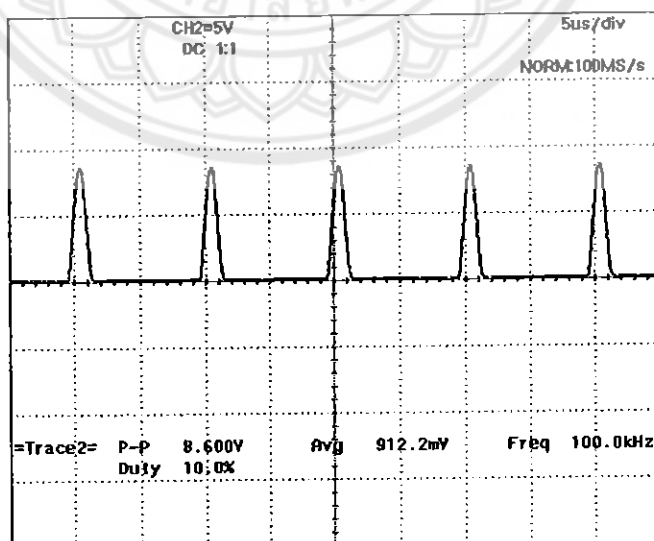
รูปที่ 4.18 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ความถี่ 60 kHz

4.3 การทดสอบหาขอบเขตการทำงาน

จากการทดสอบปรับค่าความถี่และคิวตี้ไซเคิลเพื่อหาขอบเขตการทำงาน พบว่าในช่วงความถี่ตั้งแต่ 1.5 – 70 kHz สามารถปรับค่าคิวตี้ไซเคิลได้ตั้งแต่ 0 – 1 และในช่วงความถี่มากกว่า 70 kHz จนถึง 100 kHz สามารถปรับคิวตี้ไซเคิลได้ตั้งแต่ 0.1 – 1 ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.19 และรูปที่ 4.20 ตามลำดับ



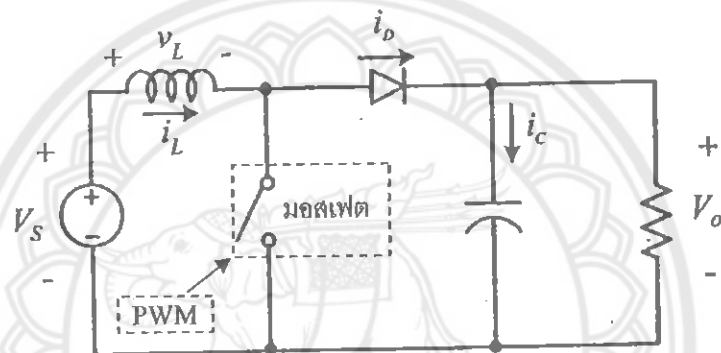
รูปที่ 4.19 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่คิวตี้ไซเคิล 0.1 ความถี่ 75 kHz



รูปที่ 4.20 สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่คิวตี้ไซเคิล 0.1 ความถี่ 100 kHz

4.4 การทดสอบการขับมอสเฟตของวงจรทบระดับแรงดัน

ในการทดสอบใช้สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มเป็นสัญญาณสวิตชิงให้กับวงจรทบระดับแรงดัน (Step-up converter หรือ Boost converter) นั้น เนื่องจากแรงดันของสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ได้มีค่าอยู่ที่ 8.4 V ซึ่งไม่เพียงพอต่อการใช้เป็นสัญญาณสวิตชิงให้กับมอสเฟตกำลังที่นำมาทดสอบจึงต้องมีวงจรขับ (Drive circuit) เพื่อเพิ่มระดับแรงดันเป็น 12 V ซึ่งสามารถนำไปขับมอสเฟตกำลังได้ ลักษณะการใช้งานแสดงดังรูปที่ 4.21 แต่ในบางกรณีที่ใช้นมอสเฟตกำลังที่มีพิกัดแรงดันน้อยกว่า 8.4 V ก็ไม่จำเป็นต้องใช้วงจรขับสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็ม ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 นำค่าที่ได้มาวาดกราฟได้ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.21 วงจรทบระดับแรงดัน

ตารางที่ 4.1 ค่าแรงดันด้านออก กระแสด้านเข้า กระแสด้านออกทั้งจากการทดลองและคำนวณ
ที่ค่าคิวตี้ไชเกิล 0.1 – 0.7 ความถี่ 30 kHz

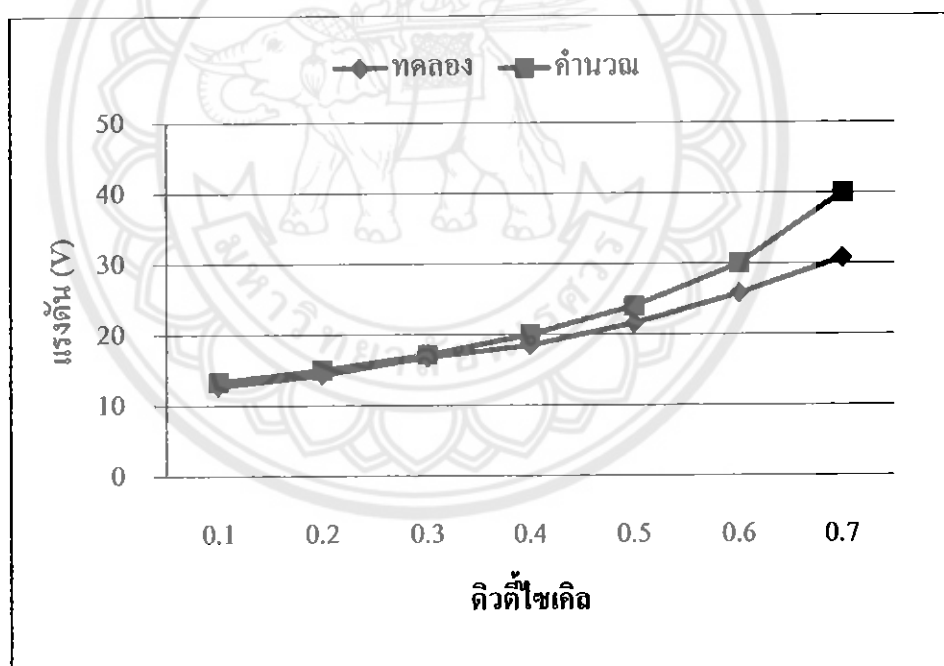
คิวตี้ ไชเกิล	แรงดันด้านออก (V)		กระแสด้านเข้า (A)		กระแสด้านออก (A)	
	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ
0.1	12.69	13.33	0.068	0.067	0.058	0.061
0.2	14.26	15.00	0.084	0.085	0.063	0.068
0.3	16.75	17.14	0.109	0.111	0.071	0.078
0.4	18.46	20.00	0.143	0.152	0.081	0.091
0.5	21.55	24.00	0.199	0.218	0.095	0.109
0.6	25.79	30.00	0.302	0.341	0.115	0.136
0.7	30.78	40.00	0.448	0.606	0.129	0.182

แรงดันด้านออกคำนวณได้จากสมการ $V_{out}/V_{in} = 1/(1-D)$ ซึ่ง $V_{in} = 12 \text{ V}$

กระแสด้านออกคำนวณได้จากสมการ $I_{out} = V_{out}/R$ ซึ่ง $R = 220 \Omega$

กระแสด้านเข้าคำนวณได้จากสมการ $V_{in} I_{in} = V_{out} I_{out}$ ถ้าไม่คิดการสูญเสียในระบบ

ผลการทดสอบจะเห็นว่าเมื่อปรับดิวตี้ไซเคิลเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันด้านออกของวงจรทบทระดับแรงดันนั้นเพิ่มขึ้นด้วยและนำค่าแรงดันด้านออกมาเปรียบเทียบกับกัน จะสังเกตได้ว่าค่าแรงดันด้านออกจากการทดลองจะมีค่าต่ำกว่าค่าแรงดันด้านออกจากการคำนวณ เนื่องจากมอสเฟต ไคโอด และตัวเหนี่ยวนำมีความต้านทานแฝงภายในอุปกรณ์ เมื่อดิวตี้ไซเคิลเพิ่มขึ้นทำให้มีกระแสไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจรสูงขึ้น นั่นคือทำให้แรงดันตกคร่อมที่มอสเฟต ไคโอด และตัวเหนี่ยวนำมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงดันด้านออกมีค่าลดลง แรงดันด้านออกที่ได้จากการทดลองจึงมีค่าแตกต่างกับค่าทฤษฎีเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.22 [5]



รูปที่ 4.22 กราฟแรงดันด้านออกของวงจรทบทระดับแรงดันที่แรงดันด้านเข้า 12 V

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการสรุปผลการดำเนินโครงการและพร้อมให้ข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการนี้ต่อไป

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

ในโครงการนี้เป็นการออกแบบและสร้างสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็ม โดยเปรียบเทียบสัญญาณไฟกระแสดตรง 15 V กับสัญญาณสามเหลี่ยมทำให้ได้สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็ม ซึ่งเมื่อต้องการใช้งานที่ความถี่ตั้งแต่ 1.5 – 100 kHz สามารถปรับค่าควิตี้ไซเคิลได้ 0.1 – 1 แต่เมื่อต้องการใช้งานที่ค่าควิตี้ไซเคิล 0 – 1 ก็ยังสามารถทำได้เช่นกัน แต่จะทำได้ในช่วงความถี่ 1.5 – 70 kHz ซึ่งการใช้งานโดยส่วนใหญ่จะใช้งานที่ค่าควิตี้ไซเคิล 0.1 – 0.9 ดังนั้นเครื่องกำเนิดสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มนี้สามารถตอบสนองต่อการใช้งานได้ตั้งแต่ 1.5 – 100 kHz

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

- 1) ค่าบอดของสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ได้คือ 8.4 V ซึ่งอาจมีค่าน้อยในการใช้งานในบางกรณี แนวทางแก้ไขคือใช้วงจรขับสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ได้หรือเลือกใช้ไอซีที่มีพิกัดแรงดันสูงกว่า 15 V และ -15 V ซึ่งจะทำได้แรงดันด้านออกของเครื่องกำเนิดสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่มากขึ้นด้วย
- 2) ในการใช้งานเครื่องกำเนิดสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มต้องระวังในเรื่องแรงดันเกินและกระแสเกิน ซึ่งอาจทำให้ไอซี LF351 และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ในวงจรเสียหายได้ แนวทางแก้ไขคือ เนื่องจากพิกัดแรงดันและกระแสของไอซีคือ 18 V และ 3.4 mA ตามลำดับ ดังนั้นจึงไม่ควรใช้งานกับแรงดันและกระแสมากกว่าที่กำหนด

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

เครื่องกำเนิดสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มนี้สามารถนำไปใช้งานสร้างสัญญาณพัลส์ให้กับ วงจรสวิตชิง เช่น การขับมอเตอร์สำหรับควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์และตัวแปลงผันกำลัง กระแสตรงชนิดต่าง ๆ โดยความถี่ที่สร้างได้มีค่าตั้งแต่ 1.5 kHz ถึง 100 kHz ซึ่งหากสามารถพัฒนา วงจรให้มีความถี่มากกว่า 100 kHz โดยที่รูปสัญญาณยังคงไม่เปลี่ยนแปลงจะทำให้เป็นประโยชน์ อย่างยิ่งสำหรับการใช้งานที่ต้องการความถี่สูง และหากสามารถพัฒนาให้ระดับค่ายอดของ สัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 15 V ได้ จะทำให้ลดวงจรขับสัญญาณลงซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายและเนื้อที่ในการสร้างวงจร และเมื่อมีการเพิ่มวงจรขับสัญญาณอาจทำให้มี การสูญเสียในวงจรเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพของวงจรพีคดับเบิลยูเอ็มลดลงด้วยเช่นกัน



เอกสารอ้างอิง

- [1] Jack Winzer, "Linear Integrated Circuit", Georgian College, Barrie, Ontario.
- [2] มนตรี ศิริปรัชญานันท์ และปราโมทย์ วาดเขียน "การกำเนิดสัญญาณผลอนุพันธ์ PWM ที่มีความถี่คงที่โดยใช้วงจรสมิตทริกเกอร์แบบใหม่", สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ, 2544.
- [3] ชิตชัย สุทธาศวิน "วงจรพัลส์เบื้องต้น", เอราวิชันการพิมพ์, กรุงเทพฯ, 2525.
- [4] ดร.สิทธิชัย โกโคขอุคม "วงจรป้อนกลับแบบลบและออสซิลเลเตอร์", มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
- [5] วีระเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ธาราธิ์เศรษฐ์ "อิเล็กทรอนิกส์กำลัง", ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ.พรินติ้ง, กรุงเทพฯ, 2547
- [6] นภัทร วัฒนเทพินทร์ "ทฤษฎีและการออกแบบวงจรพัลส์", บริษัทสยามสปอร์ต ซินดิเคท จำกัด, กรุงเทพฯ, 2547.





L7800 SERIES

POSITIVE VOLTAGE REGULATORS

- OUTPUT CURRENT TO 1.5A
- OUTPUT VOLTAGES OF 5; 5.2; 6; 8; 8.5; 9; 10; 12; 15; 18; 24V
- THERMAL OVERLOAD PROTECTION
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OUTPUT TRANSITION SOA PROTECTION

DESCRIPTION

The L7800 series of three-terminal positive regulators is available in TO-220, TO-220FP, TO-220FM, TO-3 and D²PAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications. These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltage and currents.

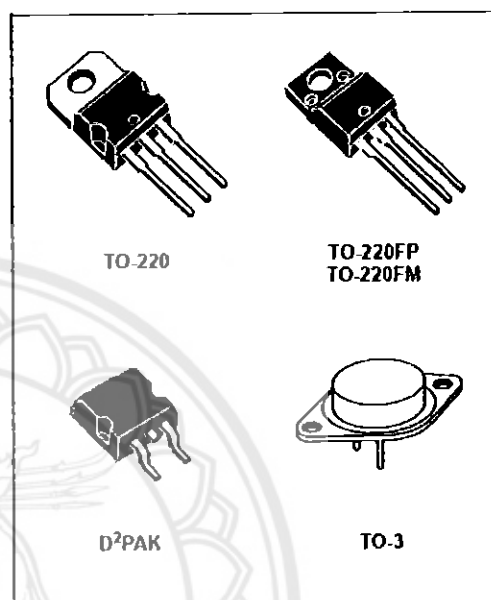
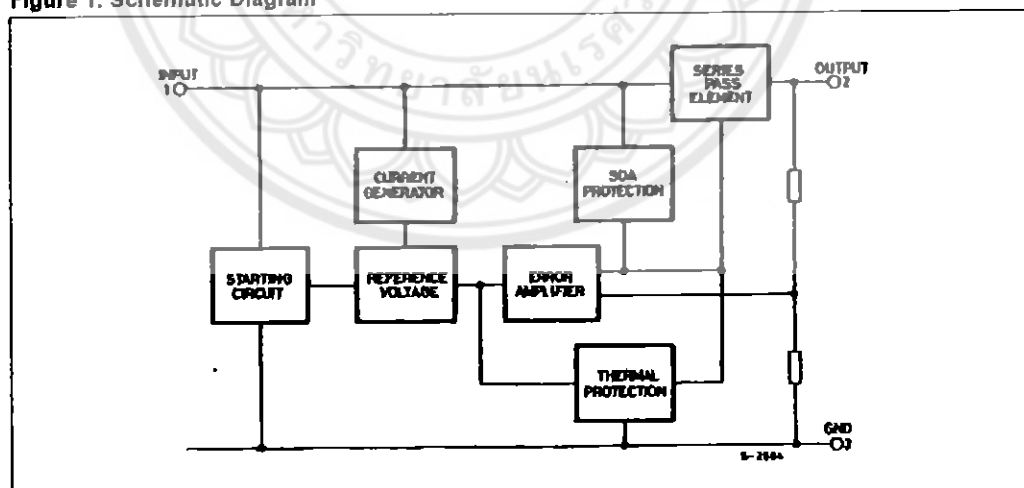


Figure 1: Schematic Diagram



L7800 SERIES

Table 1: Absolute Maximum Ratings

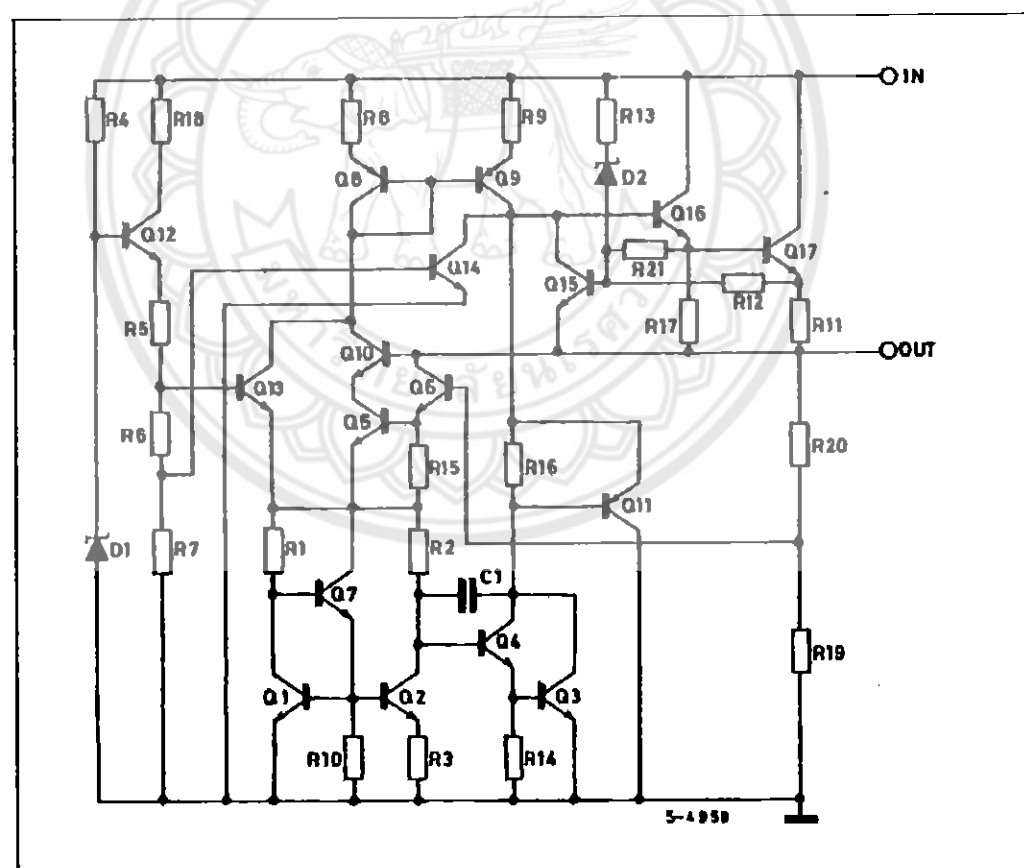
Symbol	Parameter		Value	Unit
V_I	DC Input Voltage	for $V_O = 5$ to 18V	35	V
		for $V_O = 20, 24V$	40	
I_O	Output Current		Internally Limited	
P_{tot}	Power Dissipation		Internally Limited	
T_{stg}	Storage Temperature Range		-65 to 150	°C
T_{op}	Operating Junction Temperature Range	for L7800	-55 to 150	°C
		for L7800C	0 to 150	

Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied.

Table 2: Thermal Data

Symbol	Parameter	D ² PAK	TO-220	TO-220FP	TO-220FM	TO-3	Unit
$R_{\theta ja}$	Thermal Resistance Junction-case Max	3	5	5	5	4	°C/W
$R_{\theta ja}$	Thermal Resistance Junction-ambient Max	62.5	50	60	60	35	°C/W

Figure 2: Schematic Diagram



L7800 SERIES

Figure 3: Connection Diagram (top view)

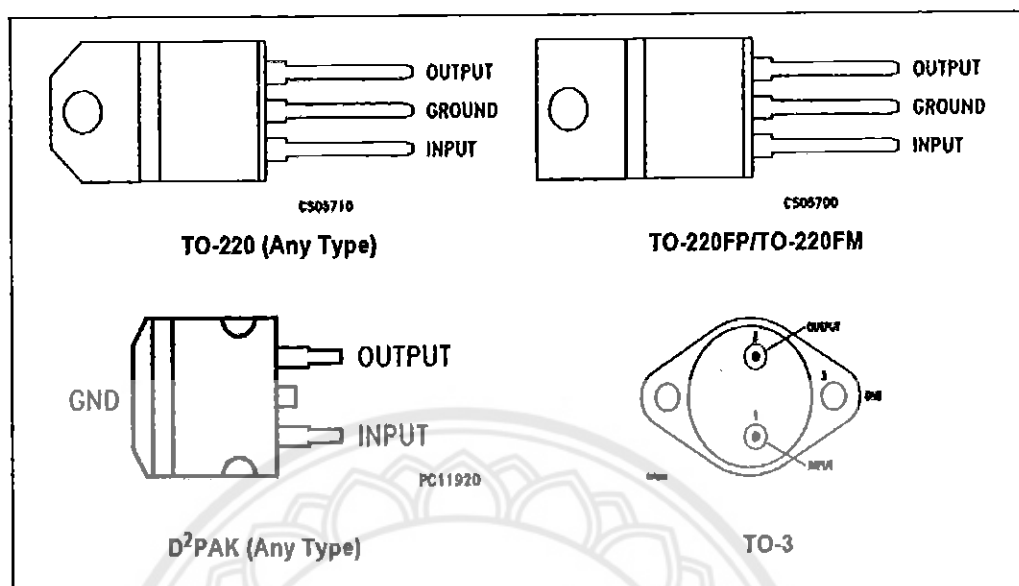
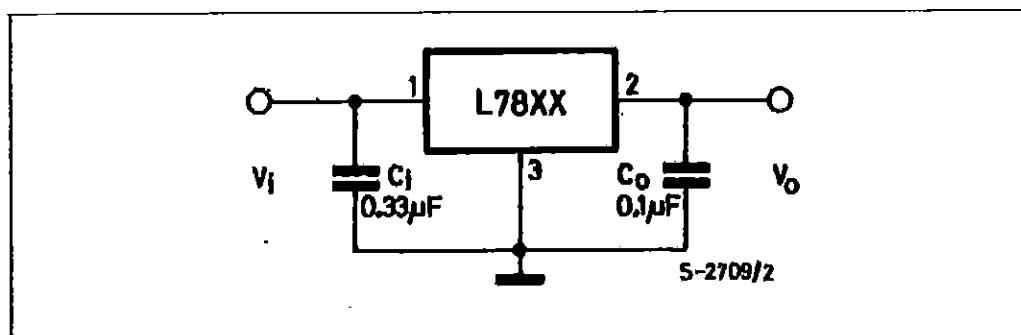


Table 3: Order Codes

TYPE	TO-220 (A Type)	TO-220 (C Type)	TO-220 (E Type)	D²PAK (A Type) (*)	D²PAK (C Type) (T & R)	TO-220FP	TO-220FM	TO-3
L7805								L7805T
L7805C	L7805CV	L7805C-V	L7805CV1	L7805CD2T	L7805C-D2TR	L7805CP	L7805CF	L7805CT
L7852C	L7852CV			L7852CD2T		L7852CP	L7852CF	L7852CT
L7806								L7806T
L7806C	L7806CV	L7806C-V		L7806CD2T		L7806CP	L7806CF	L7806CT
L7808								L7808T
L7808C	L7808CV	L7808C-V		L7808CD2T		L7808CP	L7808CF	L7808CT
L7885C	L7885CV			L7885CD2T		L7885CP	L7885CF	L7885CT
L7809C	L7809CV	L7809C-V		L7809CD2T		L7809CP	L7809CF	L7809CT
L7810C	L7810CV			L7810CD2T		L7810CP		
L7812								L7812T
L7812C	L7812CV	L7812C-V		L7812CD2T		L7812CP	L7812CF	L7812CT
L7815								L7815T
L7815C	L7815CV	L7815C-V		L7815CD2T		L7815CP	L7815CF	L7815CT
L7818								L7818T
L7818C	L7818CV			L7818CD2T		L7818CP	L7818CF	L7818CT
L7820								L7820T
L7820C	L7820CV			L7820CD2T		L7820CP	L7820CF	L7820CT
L7824								L7824T
L7824C	L7824CV			L7824CD2T		L7824CP	L7824CF	L7824CT

(*) Available in Tape & Reel with the suffix "-TR".

Figure 4: Application Circuits



TEST CIRCUITS

Figure 5: DC Parameter

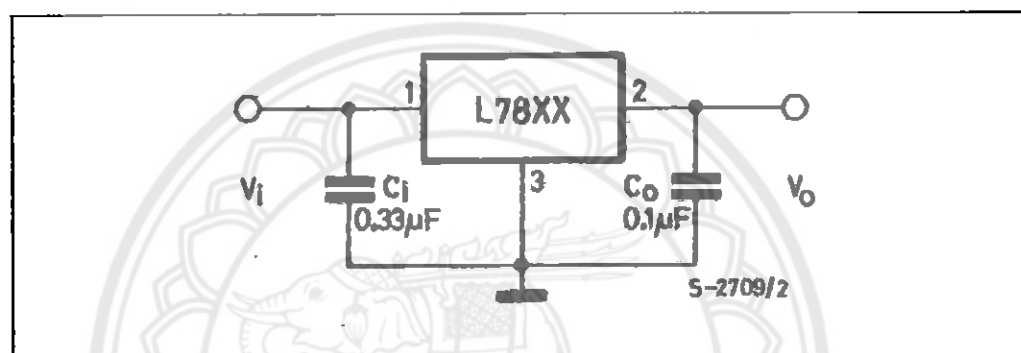


Figure 6: Load Regulation

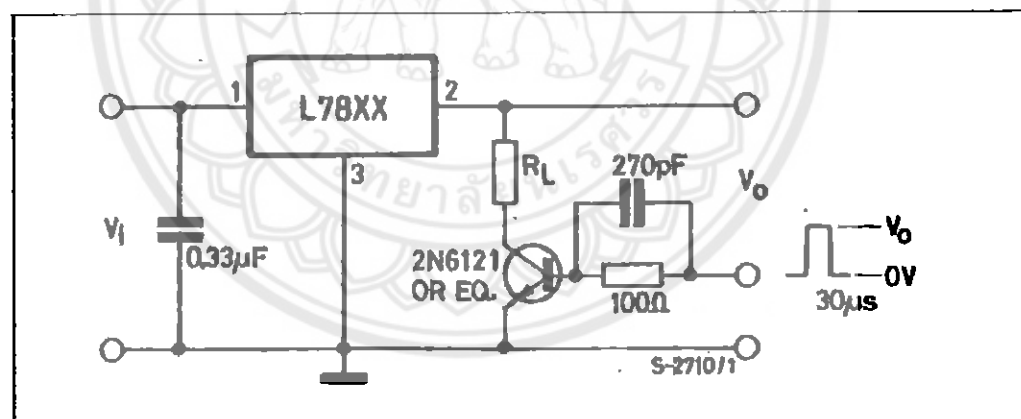


Table 6: Electrical Characteristics Of L7808 (refer to the test circuits, $T_J = -55$ to 150°C , $V_I = 14\text{V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ unless otherwise specified).

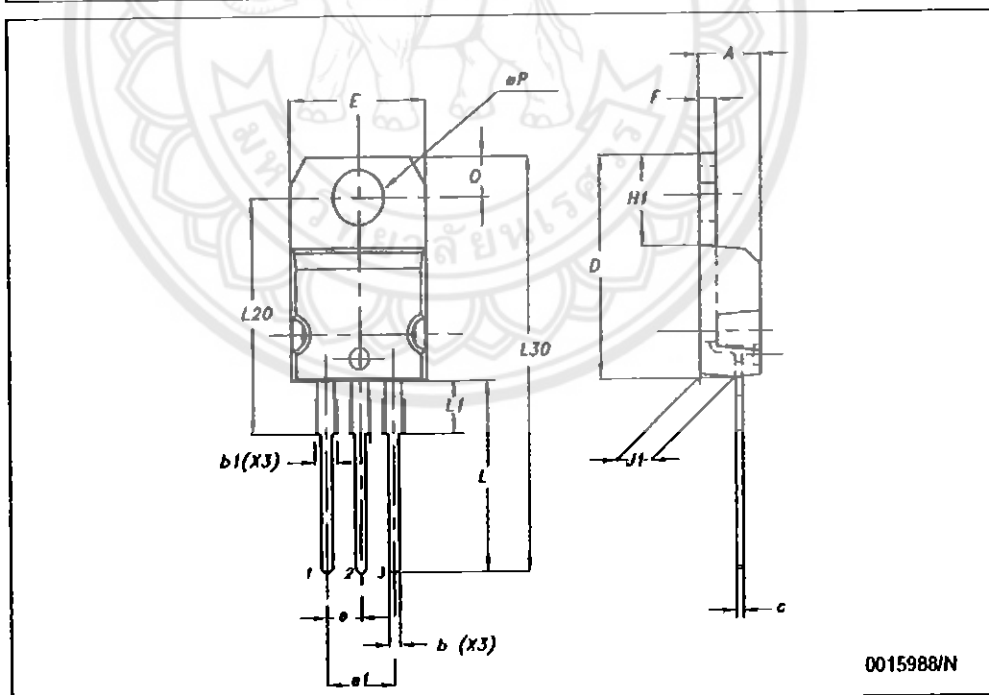
Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$	7.7	8	8.3	V
V_O	Output Voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$ $P_O \leq 15\text{ W}$ $V_I = 11.5\text{ to }23\text{ V}$	7.6	8	8.4	V
$\Delta V_{OL}(\%)$	Line Regulation	$V_I = 10.5\text{ to }25\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			80	mV
		$V_I = 11\text{ to }17\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	
$\Delta V_{OL}(\%)$	Load Regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			100	mV
		$I_O = 250\text{ to }750\text{ mA}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$			6	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$			0.5	mA
		$V_I = 11.5\text{ to }25\text{ V}$			0.8	
$\Delta V_O/\Delta T$	Output Voltage Drift	$I_O = 5\text{ mA}$		1		mV/ $^\circ\text{C}$
eN	Output Noise Voltage	$B = 10\text{ Hz to }100\text{ KHz}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$			40	$\mu\text{V}/V_O$
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_I = 11.5\text{ to }21.5\text{ V}$ $f = 120\text{ Hz}$	62			dB
V_d	Dropout Voltage	$I_O = 1\text{ A}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		2	2.5	V
R_O	Output Resistance	$f = 1\text{ KHz}$		16		m Ω
I_{sc}	Short Circuit Current	$V_I = 35\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.75	1.2	A
I_{scp}	Short Circuit Peak Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.2	3.3	A

(*) Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.

L7800 SERIES

TO-220 (A TYPE) MECHANICAL DATA

DIM.	mm.			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	4.40		4.60	0.173		0.181
b	0.61		0.88	0.024		0.034
b1	1.15		1.70	0.045		0.067
c	0.49		0.70	0.019		0.027
D	15.25		15.75	0.600		0.620
E	10.0		10.40	0.393		0.409
e	2.4		2.7	0.094		0.106
e1	4.95		5.15	0.194		0.203
F	1.23		1.32	0.048		0.051
H1	6.2		6.6	0.244		0.260
J1	2.40		2.72	0.094		0.107
L	13.0		14.0	0.511		0.551
L1	3.5		3.93	0.137		0.154
L20		16.4			0.645	
L30		28.9			1.138	
φP	3.75		3.85	0.147		0.151
Q	2.65		2.95	0.104		0.116





LM79XX Series

3-Terminal Negative Regulators

General Description

The LM79XX series of 3-terminal regulators is available with fixed output voltages of $-5V$, $-12V$, and $-15V$. These devices need only one external component—a compensation capacitor at the output. The LM79XX series is packaged in the TO-220 power package and is capable of supplying 1.5A of output current.

These regulators employ internal current limiting, safe area protection and thermal shutdown for protection against virtually all overload conditions.

Low ground pin current of the LM79XX series allows output voltage to be easily boosted above the preset value with a

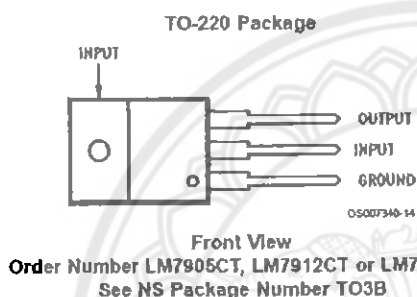
resistor divider. The low quiescent current drain of these devices with a specified maximum change with line and load ensures good regulation in the voltage boosted mode.

For applications requiring other voltages, see LM137 datasheet.

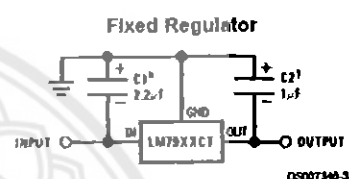
Features

- Thermal, short circuit and safe area protection
- High ripple rejection
- 1.5A output current
- 4% tolerance on preset output voltage

Connection Diagrams



Typical Applications



*Required if regulator is separated from filter capacitor by more than 3". For value given, capacitor must be solid tantalum. 25μF aluminum electrolytic may be substituted.

†Required for stability. For value given, capacitor must be solid tantalum. 25μF aluminum electrolytic may be substituted. Values given may be increased without limit.

For output capacitance in excess of 100μF, a high current diode from input to output (1N4001, etc.) will protect the regulator from momentary input shorts.

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

Input Voltage

 $(V_o = -5V)$

-25V

 $(V_o = -12V \text{ and } -15V)$

-35V

Input-Output Differential

 $(V_o = -5V)$

25V

 $(V_o = -12V \text{ and } -15V)$

30V

Power Dissipation (Note 2)

Internally Limited

Operating Junction Temperature Range

0°C to +125°C

Storage Temperature Range

-85°C to +150°C

Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)

230°C

Electrical Characteristics

Conditions unless otherwise noted: $I_{OUT} = 500mA$, $C_{IN} = 2.2\mu F$, $C_{OUT} = 1\mu F$, $0^\circ C \leq T_J \leq +125^\circ C$, Power Dissipation $\leq 1.5W$.

Part Number			LM7906C			Units	
Output Voltage			-5V				
Input Voltage (unless otherwise specified)			-10V				
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max		
V _O	Output Voltage	T _J = 25°C	-4.8	-5.0	-5.2	V	
		5mA ≤ I _{OUT} ≤ 1A, P ≤ 15W	-4.75		-5.25	V	
				(-20 ≤ V _{IN} ≤ -7)		V	
ΔV _O	Line Regulation	T _J = 25°C, (Note 3)		8	50	mV	
					(-25 ≤ V _{IN} ≤ -7)		V
				2	15	mV	
				(-12 ≤ V _{IN} ≤ -8)		V	
ΔV _O	Load Regulation	T _J = 25°C, (Note 3) 5mA ≤ I _{OUT} ≤ 1.5A 250mA ≤ I _{OUT} ≤ 750mA		15	100	mV	
				5	50	mV	
I _Q	Quiescent Current	T _J = 25°C		1	2	mA	
ΔI _Q	Quiescent Current Change	With Line			0.5	mA	
					(-25 ≤ V _{IN} ≤ -7)		V
		With Load, 5mA ≤ I _{OUT} ≤ 1A			0.5	mA	
V _n	Output Noise Voltage	T _A = 25°C, 10Hz ≤ f ≤ 100Hz		125		μV	
	Ripple Rejection	f = 120Hz	54	66		dB	
					(-18 ≤ V _{IN} ≤ -8)	V	
	Dropout Voltage	T _J = 25°C, I _{OUT} = 1A		1.1		V	
I _{OMAX}	Peak Output Current	T _J = 25°C		2.2		A	
	Average Temperature Coefficient of Output Voltage	I _{OUT} = 5mA, 0°C ≤ T _J ≤ 100°C		0.4		mV/°C	

Electrical Characteristics

Conditions unless otherwise noted: $I_{OUT} = 500mA$, $C_{IN} = 2.2\mu F$, $C_{OUT} = 1\mu F$, $0^\circ C \leq T_J \leq +125^\circ C$, Power Dissipation $\leq 1.5W$.

Conditions unless otherwise noted: $I_{OUT} = 500mA$, $V_{IN} = 22V$, $V_{OUT} = -12V$, $V_{CS} = -12V$, $T_J = 25^\circ C$, Power Dissipation = 15W.										Units
Part Number			LM7912C			LM7916C				
Output Voltage			-12V			-16V				
Input Voltage (unless otherwise specified)			-19V			-23V				
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^\circ C$	-11.5	-12.0	-12.5	-14.4	-15.0	-15.6	V	
		$5mA \leq I_{OUT} \leq 1A$	-11.4		-12.6	-14.25		-15.75	V	
		$P \leq 15W$	$(-27 \leq V_{IN} \leq -14.5)$				$(-30 \leq V_{IN} \leq -17.5)$		V	
ΔV_O	Line Regulation	$T_J = 25^\circ C$, (Note 3)		5	80		5	100	mV	
									V	
									mV	
									V	
ΔV_O	Load Regulation	$T_J = 25^\circ C$, (Note 3)								

Electrical Characteristics (Continued)

Conditions unless otherwise noted: $I_{OUT} = 500\text{mA}$, $C_{IN} = 2.2\mu\text{F}$, $C_{OUT} = 1\mu\text{F}$, $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$, Power Dissipation $\leq 1.5\text{W}$.

Conditions unless otherwise noted: $I_{OUT} = 500\text{mA}$, $V_{IN} = 2.2\text{V}$, $I_{OUT} = 1\text{A}$, $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$, Power Dissipation = 1.0W.			LM7912C			LM7915C			Units
Part Number			-12V			-16V			
Output Voltage			-19V			-23V			
Input Voltage (unless otherwise specified)									
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
		$5\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 1.5\text{A}$		15	200		15	200	mV
		$250\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 750\text{mA}$		5	75		5	75	mV
I_Q	Quiescent Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		1.5	3		1.5	3	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	With Line			0.5			0.5	mA
					$(-30 \leq V_{IN} \leq -14.5)$			$(-30 \leq V_{IN} \leq -17.5)$	V
		With Load, $5\text{mA} \leq I_{OUT} \leq 1\text{A}$			0.5			0.5	mA
V_n	Output Noise Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $10\text{Hz} \leq f \leq 100\text{Hz}$		300			375		μV
	Ripple Rejection	$f = 120\text{Hz}$	54	70		54	70		dB
					$(-25 \leq V_{IN} \leq -15)$			$(-30 \leq V_{IN} \leq -17.5)$	V
	Dropout Voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{OUT} = 1\text{A}$		1.1			1.1		V
$I_{O\text{MAX}}$	Peak Output Current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.2			2.2		A
	Average Temperature Coefficient of Output Voltage	$I_{OUT} = 5\text{mA}$, $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 100^\circ\text{C}$		-0.8			-1.0		mV/°C

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee Specific Performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.

Note 2: Refer to Typical Performance Characteristics and Design Considerations for details.

Note 3: Regulation is measured at a constant junction temperature by pulse testing with a low duty cycle. Changes in output voltage due to heating effects must be taken into account.

Design Considerations

The LM79XX fixed voltage regulator series has thermal overload protection from excessive power dissipation, internal short circuit protection which limits the circuit's maximum current, and output transistor safe-area compensation for reducing the output current as the voltage across the pass transistor is increased.

Although the internal power dissipation is limited, the junction temperature must be kept below the maximum specified temperature (125°C) in order to meet data sheet specifications. To calculate the maximum junction temperature or heat sink required, the following thermal resistance values should be used:

θ_{JA} = Junction-to-Ambient Thermal Resistance
 θ_{JC} = Junction-to-Case Thermal Resistance
 θ_{CA} = Case-to-Ambient Thermal Resistance
 θ_{CS} = Case-to-Heat Sink Thermal Resistance
 θ_{SA} = Heat Sink-to-Ambient Thermal Resistance

Package	Typ θ_{JC} °C/W	Max θ_{JC} °C/W	Typ θ_{JA} °C/W	Max θ_{JA} °C/W
TO-220	3.0	5.0	60	40

$$P_{D\text{MAX}} = \frac{T_{J\text{MAX}} - T_A}{\theta_{JC} + \theta_{CA}} \text{ or } \frac{T_{J\text{MAX}} - T_A}{\theta_{JA}}$$

$$\theta_{CA} = \theta_{CS} + \theta_{SA} \text{ (without heat sink)}$$

Solving for T_J :

$$T_J = T_A + P_D (\theta_{JC} + \theta_{CA}) \text{ or } \\ = T_A + P_D \theta_{JA} \text{ (without heat sink)}$$

Where:

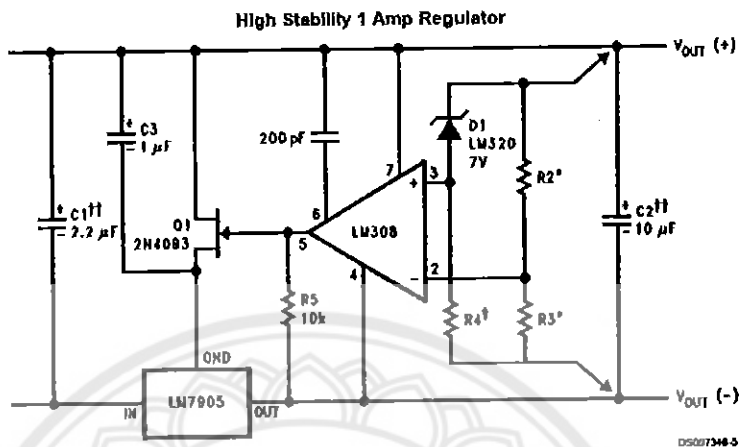
T_J = Junction Temperature
 T_A = Ambient Temperature
 P_D = Power Dissipation

Typical Applications

Bypass capacitors are necessary for stable operation of the LM79XX series of regulators over the input voltage and output current ranges. Output bypass capacitors will improve the transient response by the regulator.

The bypass capacitors, (2.2 μ F on the input, 1.0 μ F on the output) should be ceramic or solid tantalum which have good

high frequency characteristics. If aluminum electrolytics are used, their values should be 10 μ F or larger. The bypass capacitors should be mounted with the shortest leads, and if possible, directly across the regulator terminals.

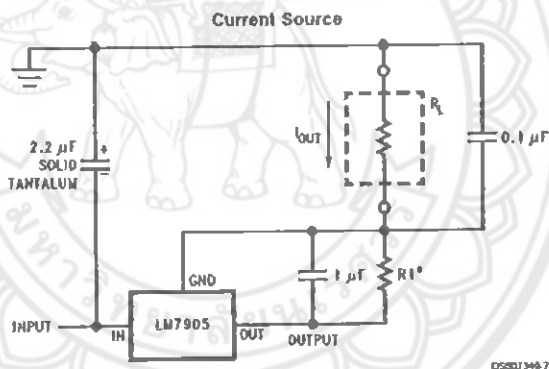


Load and line regulation $\leq 0.01\%$ temperature stability $\leq 0.2\%$

†Determine Zener current

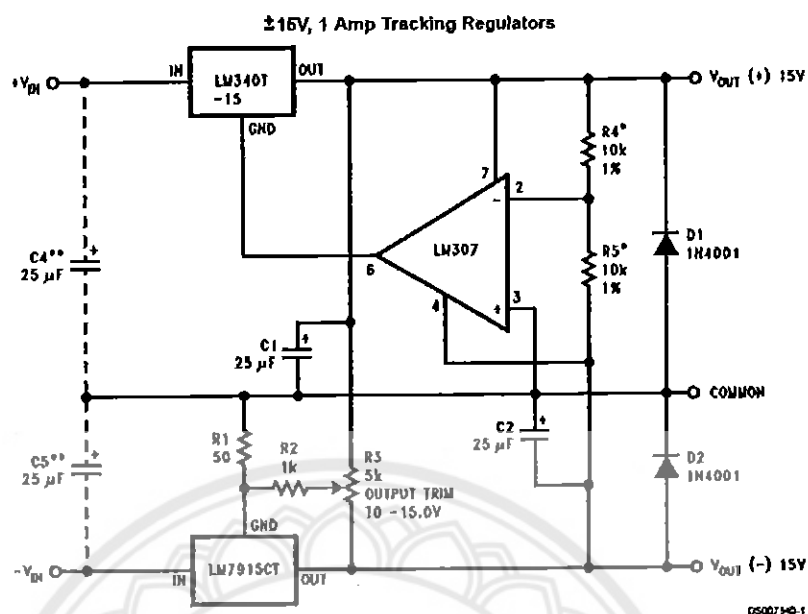
‡Solid tantalum

*Select resistors to set output voltage. 2 ppm/°C tracking suggested



$$I_{OUT} = 1 \text{ mA} + \frac{5V}{R1}$$

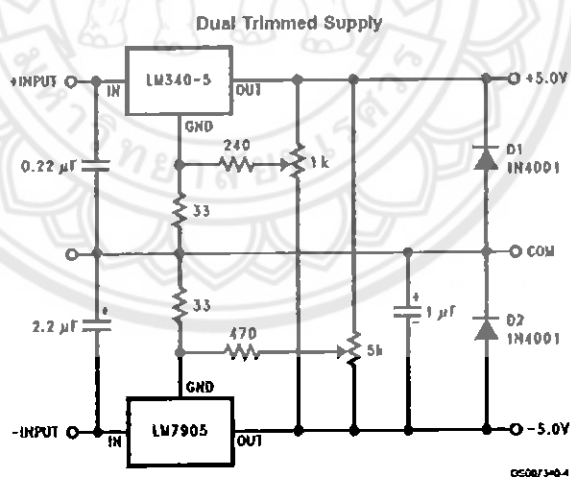
Typical Applications (Continued)



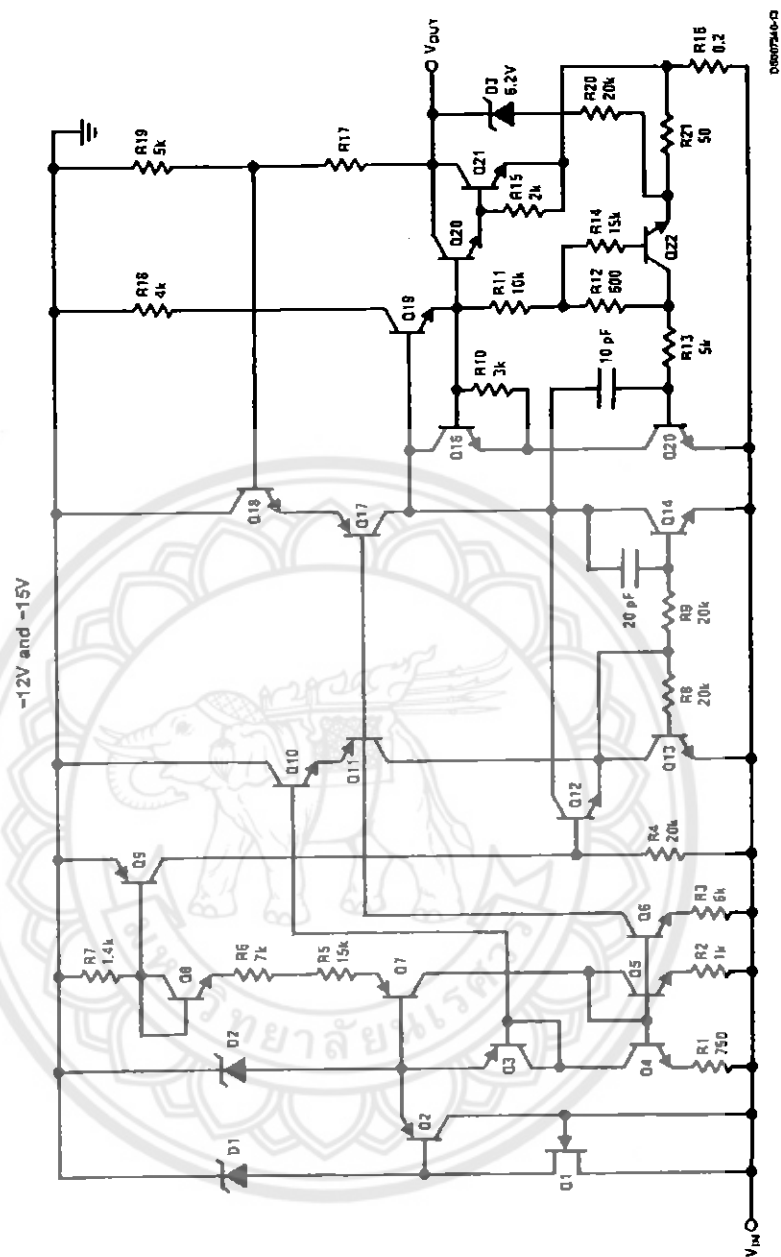
	(-15)	(+15)
Load Regulation at $\Delta I_L = 1A$	40mV	2mV
Output Ripple, $C_{IN} = 3000\mu F$, $I_L = 1A$	100 μV_{rms}	100 μV_{rms}
Temperature Stability	50mV	50mV
Output Noise $10Hz \leq f \leq 10kHz$	150 μV_{rms}	150 μV_{rms}

*Resistor tolerance of R4 and R5 determine matching of (+) and (-) outputs.

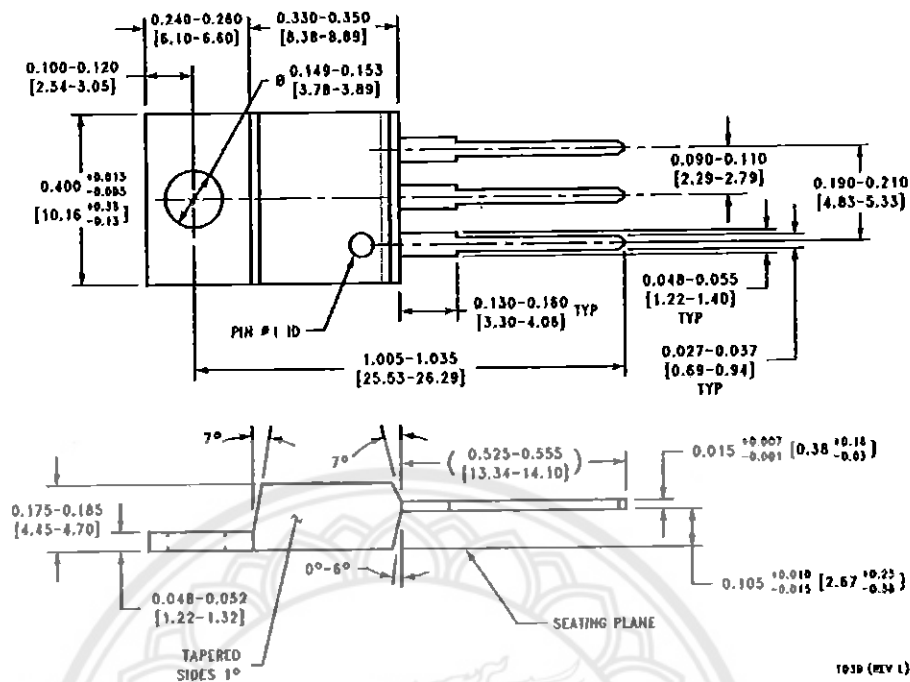
**Necessary only if raw supply filter capacitors are more than 3" from regulators.



Schematic Diagrams (Continued)



Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



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.

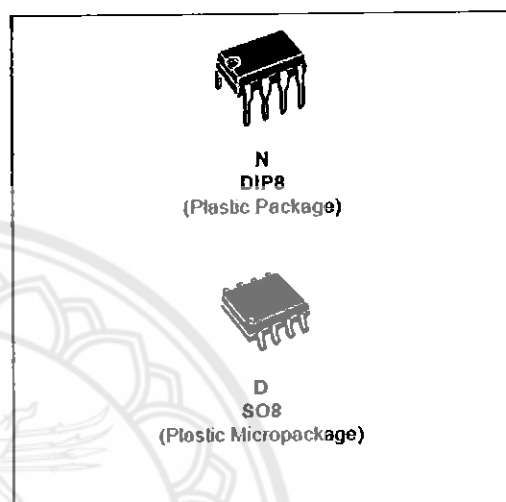




LF151
LF251 - LF351

WIDE BANDWIDTH SINGLE J-FET OPERATIONAL AMPLIFIER

- INTERNALLY ADJUSTABLE INPUT OFFSET VOLTAGE
- LOW POWER CONSUMPTION
- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : 16V/ μ s (typ)

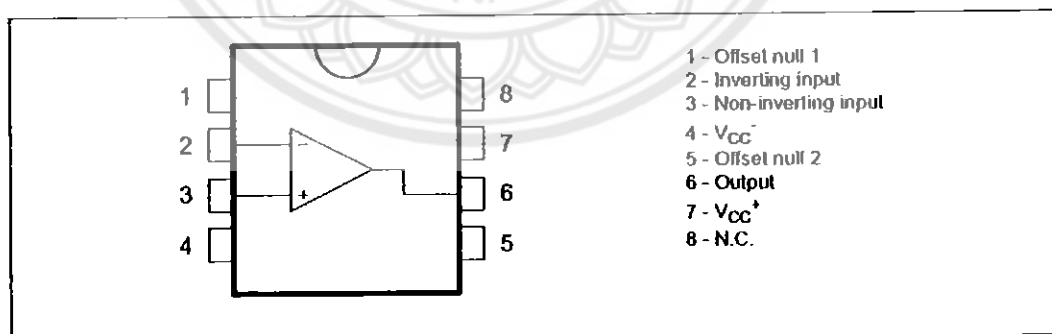


DESCRIPTION

These circuits are high speed J-FET input single-operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

PIN CONNECTIONS (top view)

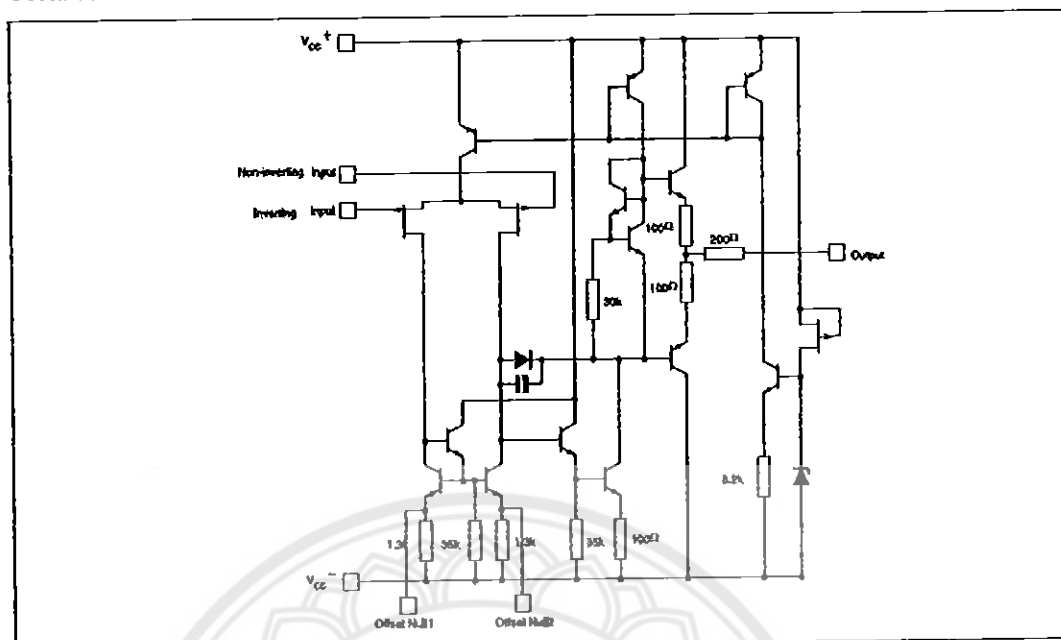


ORDER CODE

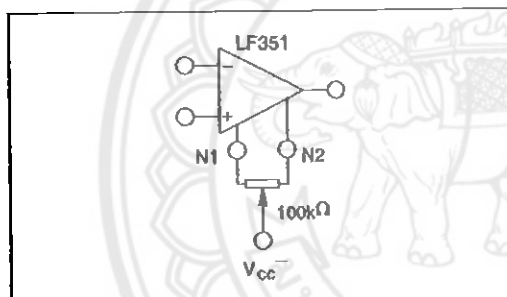
Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
LF351	0°C, +70°C	•	•
LF251	-40°C, +105°C	•	•
LF151	-55°C, +125°C	•	•

N - Dual in Line Package (DIP)
D - Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)

SCHEMATIC DIAGRAM



INPUT OFFSET VOLTAGE NULL CIRCUIT



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	LF151	LF251	LF351	Unit
V_{CC}	Supply voltage - note 1)		± 18		V
V_I	Input Voltage - note 2)		± 15		V
V_{Id}	Differential Input Voltage - note 3)		± 30		V
P_{tot}	Power Dissipation		680		mW
	Output Short-circuit Duration - note 4)		Infinite		
T_{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	$^{\circ}\text{C}$
T_{stg}	Storage Temperature Range		-65 to +150		$^{\circ}\text{C}$

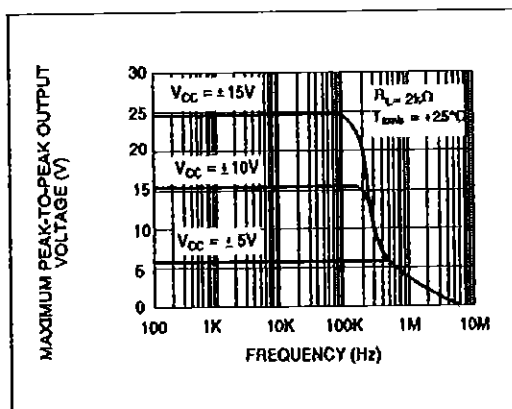
1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V_{CC}^{+} and V_{CC}^{-} .
2. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
3. Differential voltages are the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS $V_{CC} = \pm 15V$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$ (unless otherwise specified)

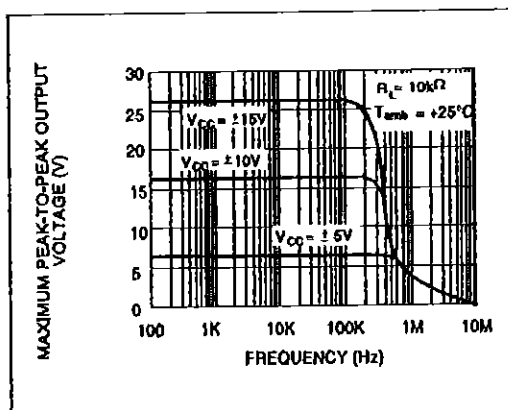
Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_{io}	Input Offset Voltage ($R_S = 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		3	10 13	mV
DV_{io}	Input Offset Voltage Drift		10		$\mu V/^{\circ}C$
I_{io}	Input Offset Current- note 1) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	100 4	pA nA
I_{ib}	Input Bias Current -note 1 $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		20	200 20	nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain ($R_L = 2k\Omega$, $V_O = \pm 10V$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S = 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	80 80	86		dB
I_{CC}	Supply Current, no load $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1.4	3.4 3.4	mA
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range	± 11	+15 -12		V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_S = 10k\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	70 70	86		dB
I_{OS}	Output Short-circuit Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	10 10	40	60 60	mA
$\pm V_{opp}$	Output Voltage Swing $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$ $R_L = 2k\Omega$ $R_L = 10k\Omega$ $R_L = 2k\Omega$ $R_L = 10k\Omega$	10 12 10 12	12 13.5		V
SR	Slew Rate $V_i = 10V$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$, unity gain	12	16		V/ μs
t_r	Rise Time $V_i = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$, unity gain		0.1		μs
K_{ov}	Overshoot $V_i = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$, unity gain		10		%
GBP	Gain Bandwidth Product $f = 100kHz$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$, $V_{in} = 10mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$	2.5	4		MHz
R_i	Input Resistance		10^{12}		Ω
THD	Total Harmonic Distortion ($f = 1kHz$, $A_v = 20dB$ $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$, $V_O = 2V_{pp}$)		0.01		
e_n	Equivalent Input Noise Voltage $R_S = 100\Omega$, $f = 1kHz$		15		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
ϕ_m	Phase Margin		45		Degrees

1. The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every $10^{\circ}C$ increase in the junction temperature.**MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT**

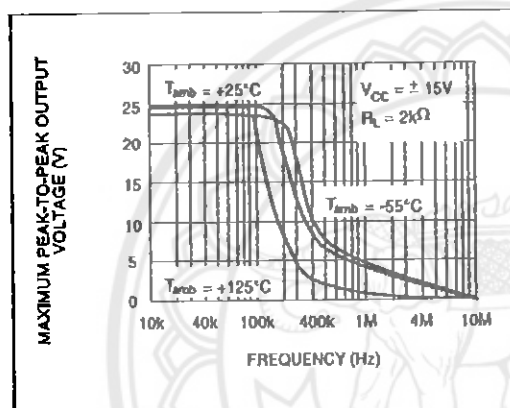
VOLTAGE versus FREQUENCY



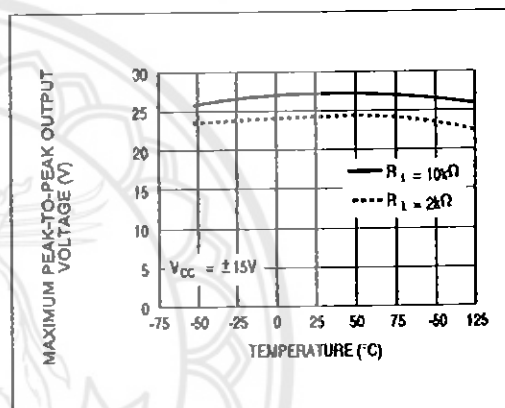
VOLTAGE versus FREQUENCY



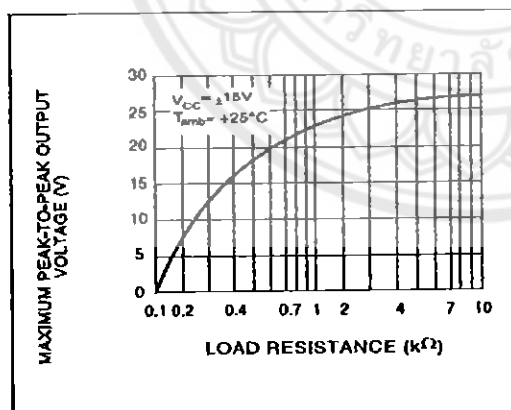
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus FREQUENCY



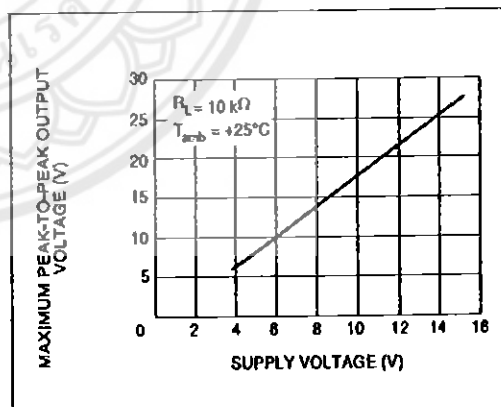
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus FREE AIR TEMP.



MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus LOAD RESISTANCE



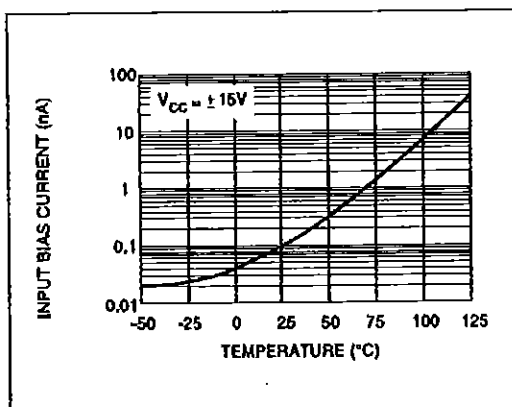
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus SUPPLY VOLTAGE



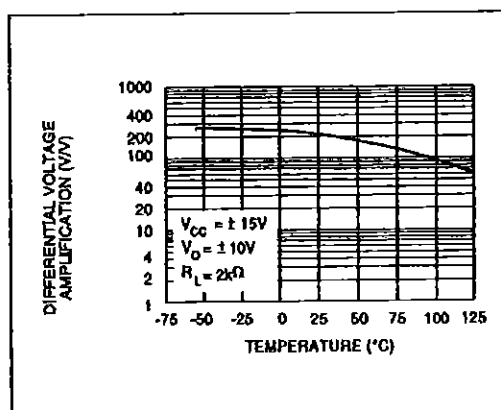
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT

INPUT BIAS CURRENT versus FREE AIR

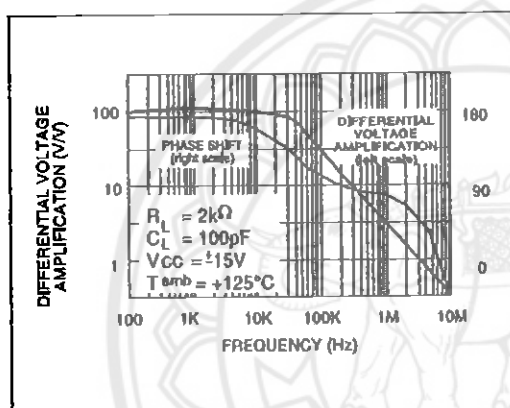
TEMPERATURE



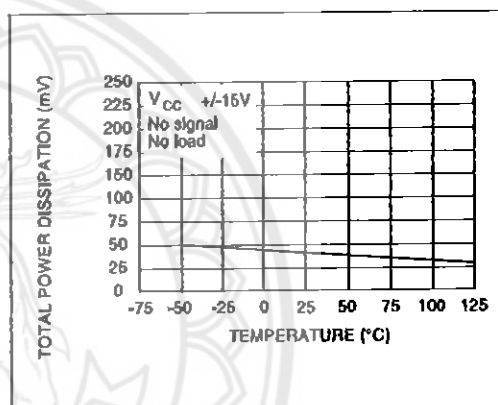
AMPLIFICATION versus FREE AIR TEMP.



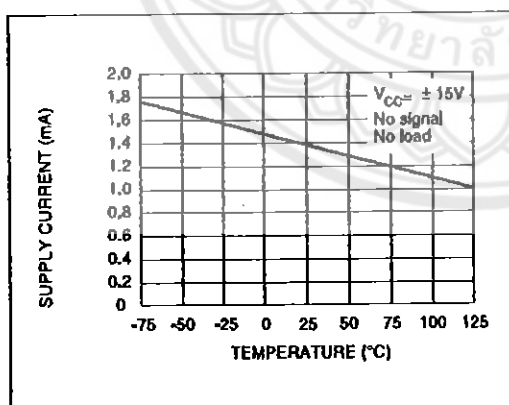
LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION AND PHASE SHIFT versus FREQUENCY



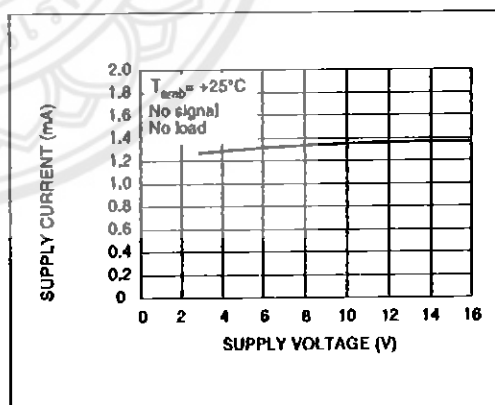
TOTAL POWER DISSIPATION versus FREE AIR TEMPERATURE



SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER versus FREE AIR TEMPERATURE



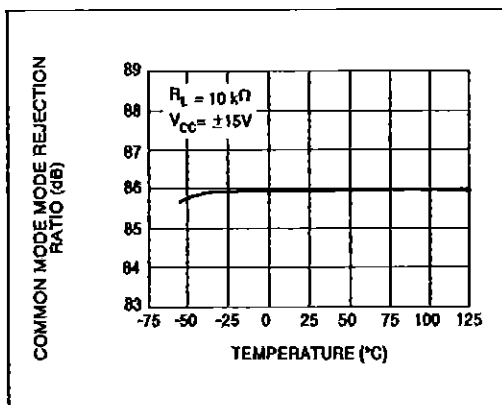
SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER versus SUPPLY VOLTAGE



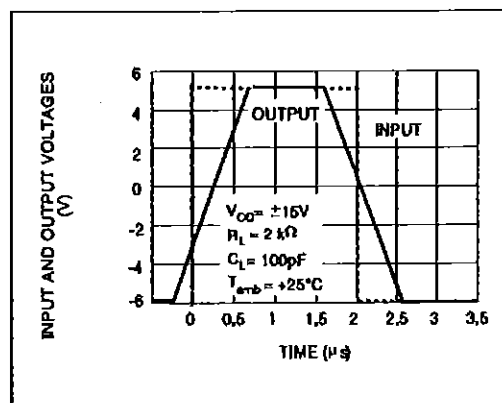
LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE

COMMON MODE REJECTION RATIO versus

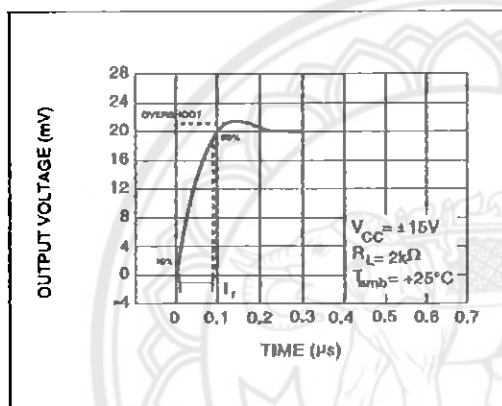
FREE AIR TEMPERATURE



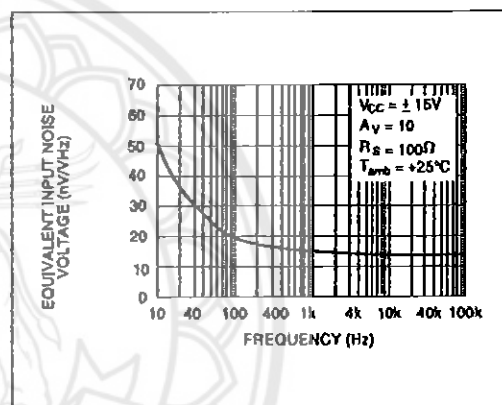
VOLTAGE FOLLOWER LARGE SIGNAL PULSE RESPONSE



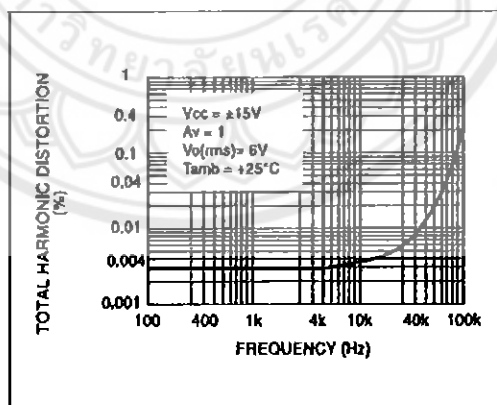
OUTPUT VOLTAGE versus ELAPSED TIME



EQUIVALENT INPUT NOISE VOLTAGE versus FREQUENCY



TOTAL HARMONIC DISTORTION versus FREQUENCY



PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

Figure 1 : Voltage Follower

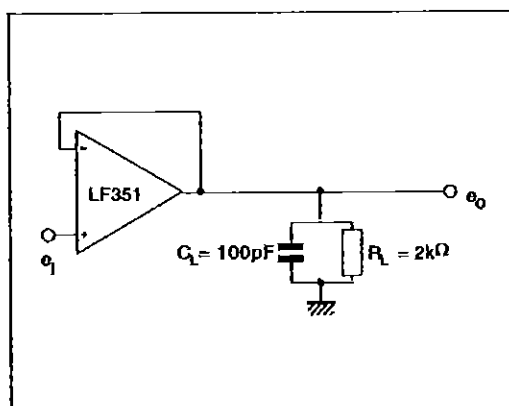
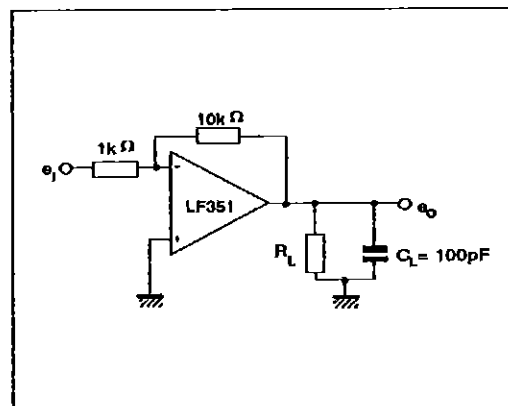
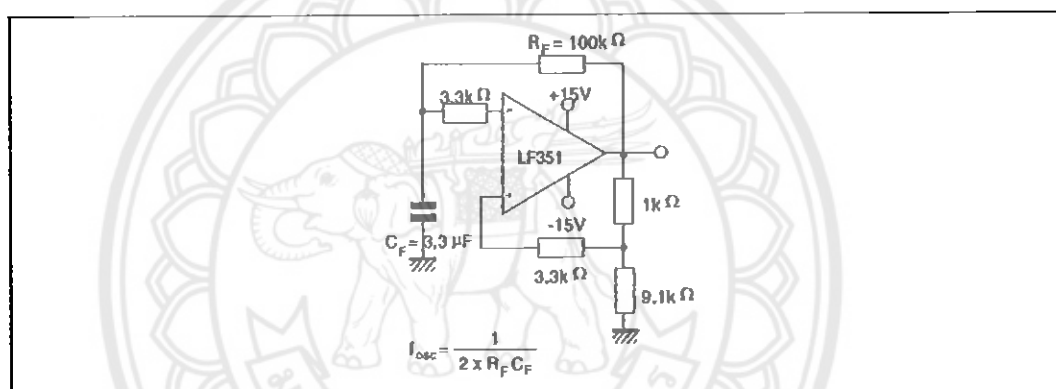


Figure 2 : Gain-of-10 inverting amplifier

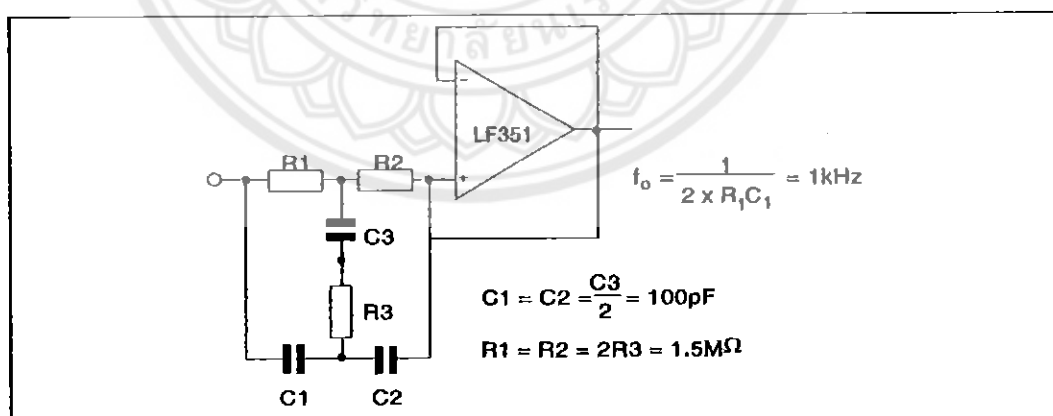


TYPICAL APPLICATION

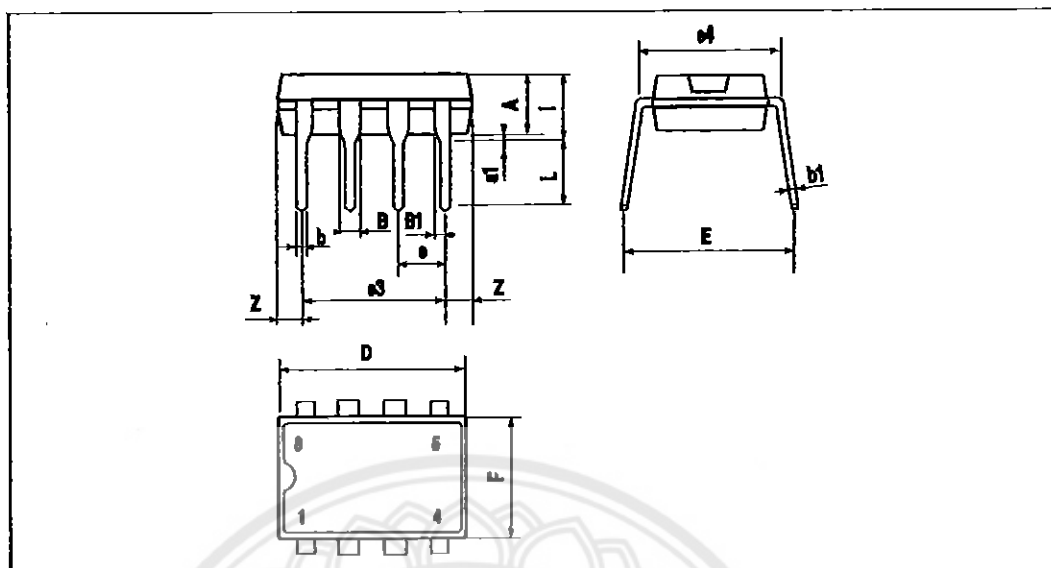
(0.5Hz) SQUARE WAVE OSCILLATOR



HIGH Q NOTCH FILTER



PACKAGE MECHANICAL DATA
8 PINS - PLASTIC DIP



Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A		3.32			0.131	
a1	0.51			0.020		
B	1.15		1.65	0.045		0.065
b	0.356		0.55	0.014		0.022
b1	0.204		0.304	0.008		0.012
D			10.92			0.430
E	7.95		9.75	0.313		0.384
e		2.54			0.100	
e3		7.62			0.300	
e4		7.62			0.300	
F			6.6			0.260
i			5.08			0.200
L	3.18		3.81	0.125		0.150
Z			1.52			0.060

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายเอกพจน์ อิ่มเขียว
 ภูมิลำเนา 341 หมู่ 7 ต. หนองกรด อ. บรรพตพิสัย จ. นครสวรรค์
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนหนองกรดพิทยาคม
 จ.นครสวรรค์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

Email: tum_ee@hotmail.com



ชื่อ นายสุรพงศ์ มะหฺลิแก้ว
 ภูมิลำเนา 41 หมู่ 13 ต. เติมนบุรี อ. เติม จ. ลำปาง
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนเถินวิทยา
 จ.ลำปาง
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร

Email: crystal_27@live.com