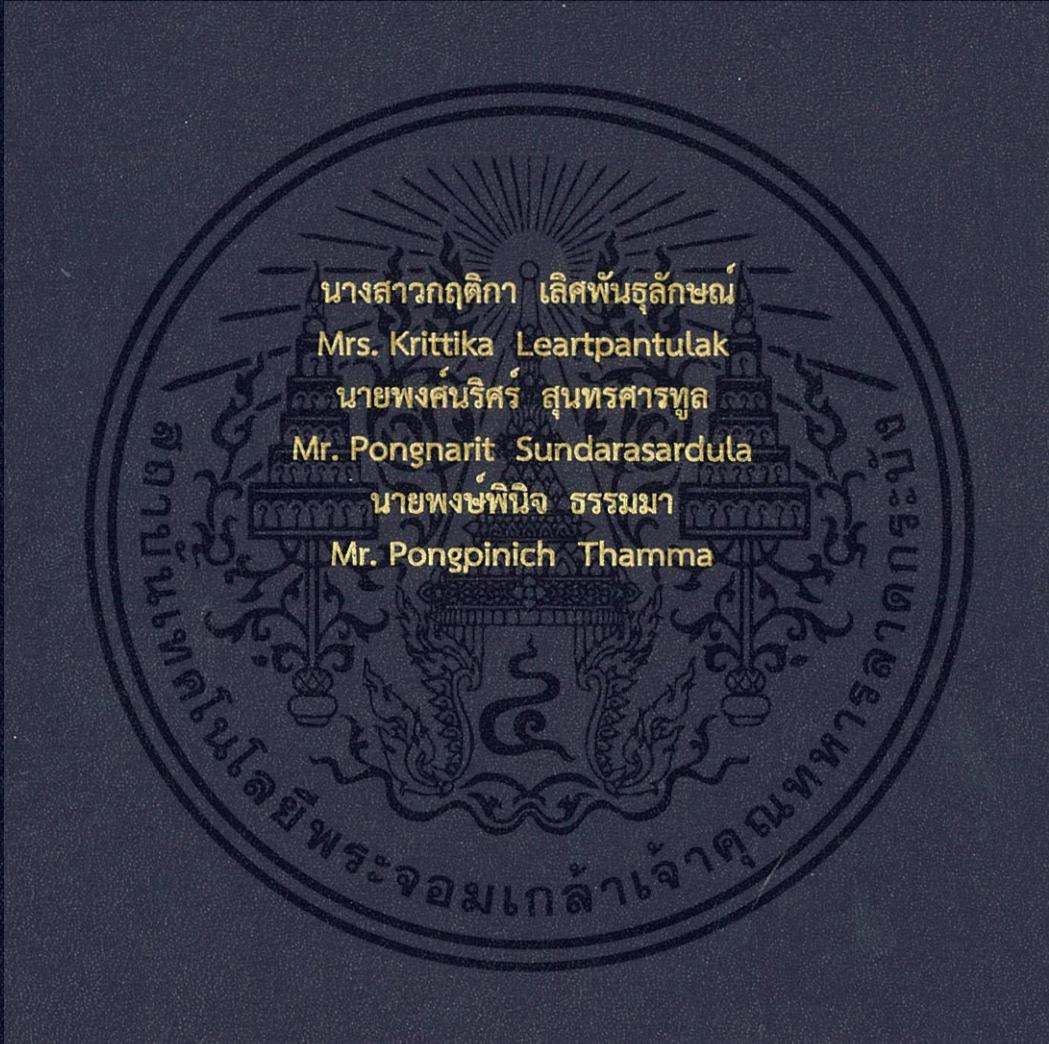


ระบบทดแทนเสียงกีตาร์
Surrogate Guitar



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2559

ระบบทดแทนเสียงกีตาร์

Surrogate Guitar

โดย

นางสาวกฤติกา เลิศพันธุ์ลักษณ์ รหัส 56010024
นายพงศ์นริศร์ สุนทรศารทูล รหัส 56010780
นายพงษ์พินิจ ธรรมมา รหัส 56010792

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ยุทธนา คิดใจเดียว

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ .ศ . 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบทดแทนเสียงกีตาร์

Surrogate Guitar

ผู้จัดทำ นางสาวกฤติกา เลิศพันธุ์ลักษณ์ 56010024

นายพงษ์นริศร์ สุนทรสารทูล 56010780

นายพงษ์พีณิจ ธรรมมา 56010792

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(ดร.ยุทธนา คิติใจเดียว)

อาจารย์ที่ปรึกษา

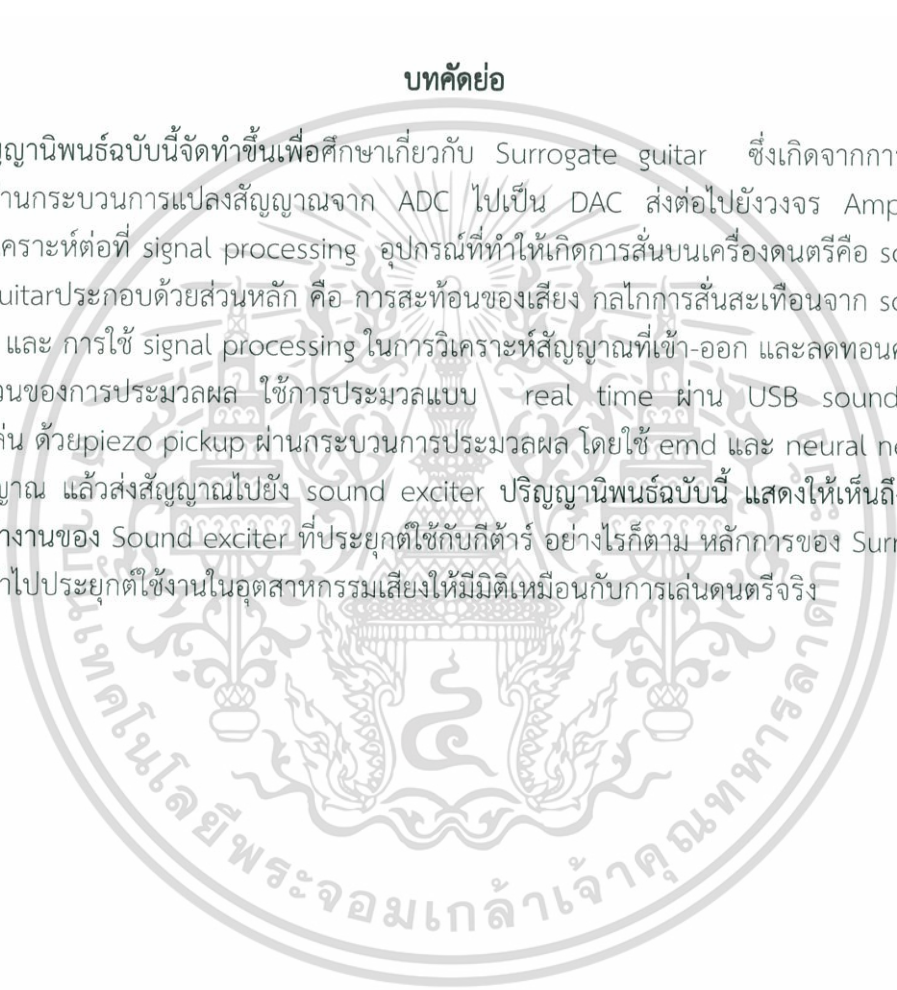
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อโครงการ	ระบบทดแทนเสียงกีตาร์	
นักศึกษา	นางสาวกฤติกา เลิศพันธุ์ลักษณ์	56010024
	นายพงศัณริศร์ สุนทรศารทูล	56010780
	นายพงษ์พินิจ ธรรมมา	56010792
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	
ปีการศึกษา	2559	
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท	ผศ.ดร. ยุทธนา คัดใจเดียว	

บทคัดย่อ

ปริญญาโทฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาเกี่ยวกับ Surrogate guitar ซึ่งเกิดจากการสั่นของเครื่องดนตรี โดยผ่านกระบวนการแปลงสัญญาณจาก ADC ไปเป็น DAC ส่งต่อไปยังวงจร Amplifier แล้วส่งสัญญาณไปวิเคราะห์ต่อที่ signal processing อุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการสั่นบนเครื่องดนตรีคือ sound exciter Surrogate guitar ประกอบด้วยส่วนหลัก คือ การสะท้อนของเสียง กลไกการสั่นสะท้อนจาก sound exciter ไปยัง bridge และ การใช้ signal processing ในการวิเคราะห์สัญญาณที่เข้า-ออก และลดทอนความเพี้ยน

ในส่วนของการประมวลผล ใช้การประมวลแบบ real time ผ่าน USB soundcard โดยรับเสียงกีตาร์ที่เล่น ด้วยpiezo pickup ผ่านกระบวนการประมวลผล โดยใช้ emd และ neural networkในการวิเคราะห์สัญญาณ แล้วส่งสัญญาณไปยัง sound exciter ปริญญาโทฉบับนี้ แสดงให้เห็นถึงการวิเคราะห์ต้นแบบการทำงานของ Sound exciter ที่ประยุกต์ใช้กับกีตาร์ อย่างไรก็ตาม หลักการของ Surrogate guitar คือ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมเสียงให้มีมิติเหมือนกับการเล่นดนตรีจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Surrogate Guitar
Student	Mrs. Krittika Leartpantulak Mr. Pongnarit Sundarasardula Mr. Pongpinich Thamma
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Assist. Prof. Dr. Yuttana Kitjaidure

ABSTRACT

This project was prepared in order to learn about a Surrogate guitar. That demonstrates and analyzes a working prototype of the sound exciter applied to a guitar. The Surrogate guitar system extracts vibrations from a source musical instrument to through the process of converting the signal from ADC and DAC to pass on to the amplifier circuit, the signal is sent to a signal analyzer and signal processing. The device causing vibration on the soundboard is “surrogate” instrument. The Surrogate Soundboard consists of a guitar body, Mechanical vibration of Bridge to the Soundboard, signal processing on incoming - outgoing signals and spikes that decrease distortion in guitar body.

In the signal processing part, the USB soundcard is used to process in real time by receiving and sampling input from piezo pickup. Then, the empirical method decomposition (EMD) technique and neural network are used in signal processing, afterwards sending signal out to the sound exciter. The concept of a Surrogate guitar can be applied in the audio industry such as live concert.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วย เนื่องจากการสนับสนุนและความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษาขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ยุทธนา คิดใจเดียว ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องของชิ้นงานและรายงาน รวมไปถึงช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ และเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ต่างๆที่ต้องใช้เกี่ยวกับโครงการขอขอบพระคุณผู้สนับสนุนหลัก คือ บิดา มารดา ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องค่าใช้จ่ายและคอยให้กำลังใจขอขอบคุณพี่ๆและเพื่อนๆในห้องโปรเจกต์ที่ช่วยให้คำแนะนำ ให้ความรู้และช่วยเหลือ แก้ไข และบุคคลอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึงทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือในการทำรายงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

รายงานนี้ จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการทำโครงการ โดยเนื้อหาจะกล่าวถึงทฤษฎี ขั้นตอนในการออกแบบ Sourrogate Guitar โดยประกอบไปด้วยส่วนของ Hardware คือ Power Amp. , Actuator , Bridge , Piezo Pickup , Pre-Amp และส่วนของ Software ใช้ MATLAB ในการวิเคราะห์สัญญาณเสียง ดังนั้น ผู้จัดทำหวังว่ารายงานนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่มีความสนใจอย่างสูงสุด

นางสาวกฤติกา เลิศพันธุลักษณ์

นายพงศ์นริศร์ สุนทรสารทูล

นายพงษ์พินิจ ธรรมมา

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
คำนำ	IV
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา	1
1.4 ขอบเขตของโครงการ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 Audio	2
2.2 วงจร Power Amplifier	3
2.2.1 ชนิดของเครื่องขยายเสียง	4
2.3 Actuator	6
2.4 Guitar	7
2.5 Bridge and Saddle Guitar	8
2.6 Transduce	8
2.7 วงจร Pre – Amplifier	9
2.8 Pre-emphasis	9
2.9 Empirical Mode Decomposition	10
2.10 Neural Network	13
2.10.1 เซลล์ประสาทชีวภาพ	14
2.10.2 เซลล์ประสาทเทียม	16
2.10.3 Model Neural Network	16
2.10.4 Adaline Model	17
บทที่ 3 หลักการทำงานและการออกแบบ	
3.1 Power Amplifier	21
3.1.1 การออกแบบบอร์ด Power Amplifier โดยใช้ LM1875	21
3.2 Pre Amplifier	22
3.2.1 การออกแบบบอร์ด Pre Amplifier	22
3.3 Actuator และตัวจับยึด และ Spike	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เนื้อหา	หน้า
3.4 Guitar Bridge.....	24
3.5 Signal Processing.....	24
3.5.1 Adaline.....	25
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ส่วนของ Hardware.....	27
4.2 ส่วนของ Software.....	28
4.2.1 Pre-emphasis.....	28
4.2.2 EMD.....	29
4.2.3 Neural Networks.....	30
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	33
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน.....	33
5.3 แนวทางการแก้ไขปัญหา.....	34
เอกสารอ้างอิง.....	35
ภาคผนวก.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบ Surrogate Guitar	2
รูปที่ 2.2 ความถี่เสียงของเครื่องดนตรีต่าง ๆ	2
รูปที่ 2.3 การขยายสัญญาณ	3
รูปที่ 2.4 ทรานซิสเตอร์ (Transistor) TR	3
รูปที่ 2.5 แอมป์หลอดสุญญากาศ (Vacum Tube)	4
รูปที่ 2.6 แอมป์ทรานซิสเตอร์ (Transistor)	4
รูปที่ 2.7 แอมป์มอสเฟส (MOSFET ,FET)	5
รูปที่ 2.8 แอมป์ที่ใช้งานรวม (Integrated circuit)	5
รูปที่ 2.9 Actuator	6
รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบต่างๆ ของ Speaker	6
รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของกีตาร์	7
รูปที่ 2.12 Bridge and Saddle Guitar มาตรฐาน	8
รูปที่ 2.13 Piezo Pickup	8
รูปที่ 2.14 กระบวนการทำ EMD	11
รูปที่ 2.15 สัญญาณอินพุต $x(t)$ ผ่านการทำ EMD	13
รูปที่ 2.16 รูปแบบพื้นฐาน Neural Network	14
รูปที่ 2.17 โครงสร้างเซลล์ประสาทชีวภาพ	15
รูปที่ 2.18 แบบจำลองเซลล์ประสาทเทียม	16
รูปที่ 2.19 เครือข่าย ADALINE	18
รูปที่ 2.20 ระบบลดสัญญาณรบกวนที่ไม่ใช้สัญญาณอ้างอิงจากภายนอก	18
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของ Surrogate Guitar	20
รูปที่ 3.2 Schematic ของบอร์ด Power Amplifier	21
รูปที่ 3.3 PCB ของบอร์ด Power Amplifier	21
รูปที่ 3.4 Schematic ของบอร์ด Pre Amplifier	22
รูปที่ 3.5 PCB ของบอร์ด Pre Amplifier	22
รูปที่ 3.6 Actuator	23
รูปที่ 3.7 ขาดังและตัวยึด Actuator	23
รูปที่ 3.8 ใช้ Spike ติดตั้งข้างล่าง Guitar เพื่อลดการสะท้อนของเสียง	23
รูปที่ 3.9 แผ่นไม้ที่ติดกับ Piezo pickup และ Bridge guitar	24
รูปที่ 3.10 สัญญาณที่ผ่านกระบวนการทำ emd แล้วแปลง fft เพื่อดูช่วงความถี่	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.11 Adaline ที่มี tap delay = 5	25
รูปที่ 3.12 Adaline ที่มี tap delay = 7	25
รูปที่ 3.13 Adaline ที่มี tap delay = 9	26
รูปที่ 3.14 Adaline ที่มี tap delay = 11	26
รูปที่ 4.1 Flow Chart ของอัลกอริทึม	27
รูปที่ 4.2 ประกอบ Surrogate Guitar เพื่อทดลองใส่เพลง	27
รูปที่ 4.3 ทดลองเปิดเพลงและเปรียบเทียบ signal	28
รูปที่ 4.4 สัญญาณเสียงที่เล่นจากกีตาร์จริง (รูปซ้าย) สัญญาณเสียงที่เล่นผ่าน surrogate guitar (รูปขวา)	28
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบเสียงเพลง ก่อนและหลังทำการ pre-emphasis รูปบนก่อนทำการ pre-emphasis รูปล่างก่อนทำการ pre-emphasis	28
รูปที่ 4.6 สัญญาณเสียงจากแหล่งกำเนิดผ่านการทำ EMD	29
รูปที่ 4.7 สัญญาณเสียงจาก surrogate guitar ผ่านการทำ EMD	29
รูปที่ 4.8 สัญญาณเสียงที่ผ่านการทำ adaline ในช่วงวินาทีที่ 0-0.30 วินาที	30
รูปที่ 4.9 สัญญาณเสียงที่ผ่านการทำ adaline ในช่วงวินาทีที่ 2 -2.25 วินาที	30
รูปที่ 4.10 สัญญาณจากแหล่งกำเนิดเสียง Guitar (รูปบน) สัญญาณจาก Surrogate guitar (รูปล่าง)	31
รูปที่ 4.11 Error จากแหล่งกำเนิดกับ surrogate guitar (รูปบน) Error จากการทำ neural networks (รูปล่าง)	31
รูปที่ 4.12 สัญญาณจากแหล่งกำเนิดเสียง Guitar (รูปบน) สัญญาณที่ผ่านการทำ neural networks (รูปล่าง)	32

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

Surrogate Soundboard คืออุปกรณ์กระจายเสียง ซึ่งเป็นระบบที่ช่วยทำให้เสียงมีความเหมือนเครื่องดนตรีจริง โดยใช้ซอฟต์แวร์ช่วยในการวิเคราะห์ปรับปรุงสัญญาณ ทำให้สามารถแก้ปัญหาการกระจายเสียงหรือความสมจริงของเครื่องดนตรีที่ผ่านการขยายเสียงผ่านลำโพงทั่วไป การขยายเสียงในการเล่นสดจะมีความสมจริงมากขึ้นโดยผ่านระบบนี้

ในปี 2015 Lamtharn Hantrakul ได้สร้าง Surrogate violin แบบ Offline ขึ้น ซึ่งเป็นระบบทดแทนเสียงไวโอลิน ซึ่งผู้จัดทำมีความสนใจอยากศึกษา และได้นำมาปรับปรุงและได้จัดทำระบบ Surrogate guitar ขึ้น โดยใช้ neural networks ช่วยในการวิเคราะห์สัญญาณแบบ real time

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาหลักการทำงานของการสั่น และการวิเคราะห์สัญญาณเสียง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการออกแบบ Surrogate guitar
- 1.2.3 เพื่อเรียนรู้และเข้าใจถึงปัญหาที่พบจากการทำชิ้นงานจริง ตลอดจนการหาวิธีการแก้ไข และการป้องกันปัญหานั้นๆ

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

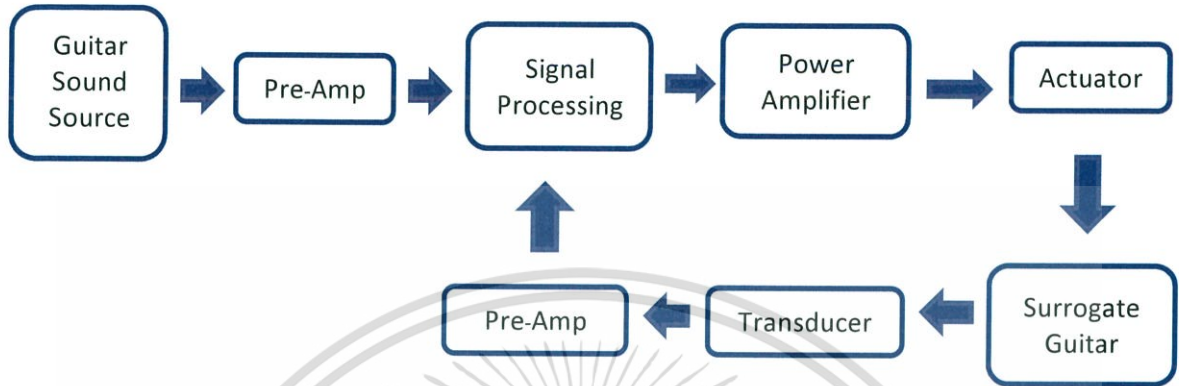
- 1.3.1 เข้าใจหลักการทำงานและออกแบบของ Surrogate guitar
- 1.3.2 สามารถสร้าง และวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนของสัญญาณได้ตามที่กำหนดขอบเขตไว้

1.4 ขอบเขตของโครงการ

ศึกษา ออกแบบและจัดทำ Surrogate guitar โดยออกแบบให้สามารถรับสัญญาณ เพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบความผิดเพี้ยนของสัญญาณ โดยทำการเปรียบเทียบสัญญาณจากเครื่องดนตรี และสัญญาณที่ได้จากการสั่นของ Surrogate guitar

บทที่ 2

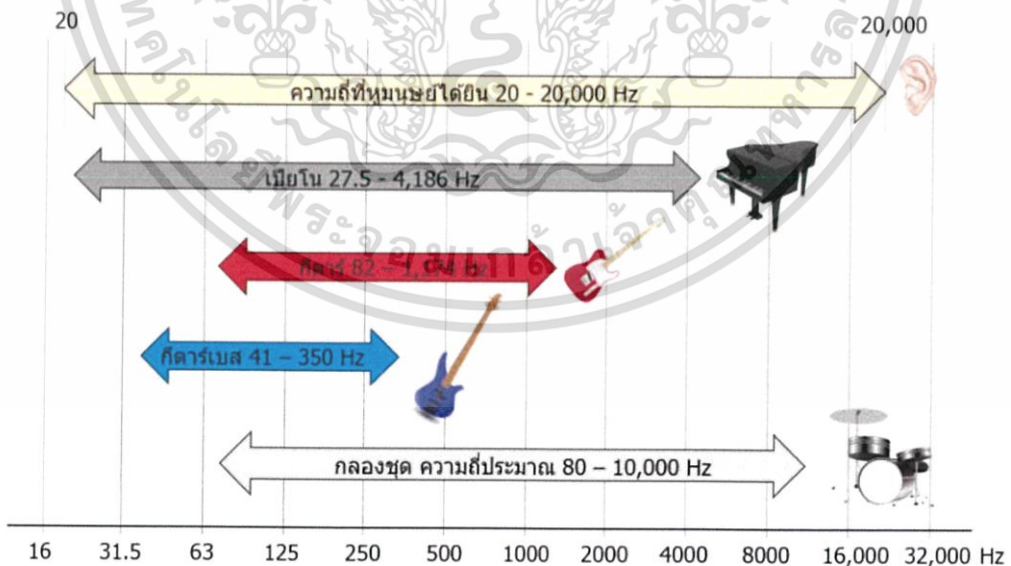
ทฤษฎี



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบ Surrogate Guitar

2.1 Audio

ความถี่ที่มนุษย์ได้ยินมนุษย์เราจะได้ยินเสียงความถี่ตั้งแต่ 20-20,000 Hz โดยเสียงที่ต่ำกว่า 20 Hz เราจะเรียกว่า อินฟราโซนิก และเสียงที่สูงๆขึ้นไปมากกว่า 20,000 Hz เรียกว่า อัลตราโซนิก ความถี่ของกีตาร์อยู่ที่ 80-1200 Hz ซึ่งในระบบ Surrogate Guitar เน้นการทดแทนความถี่ช่วง 200-2000 Hz

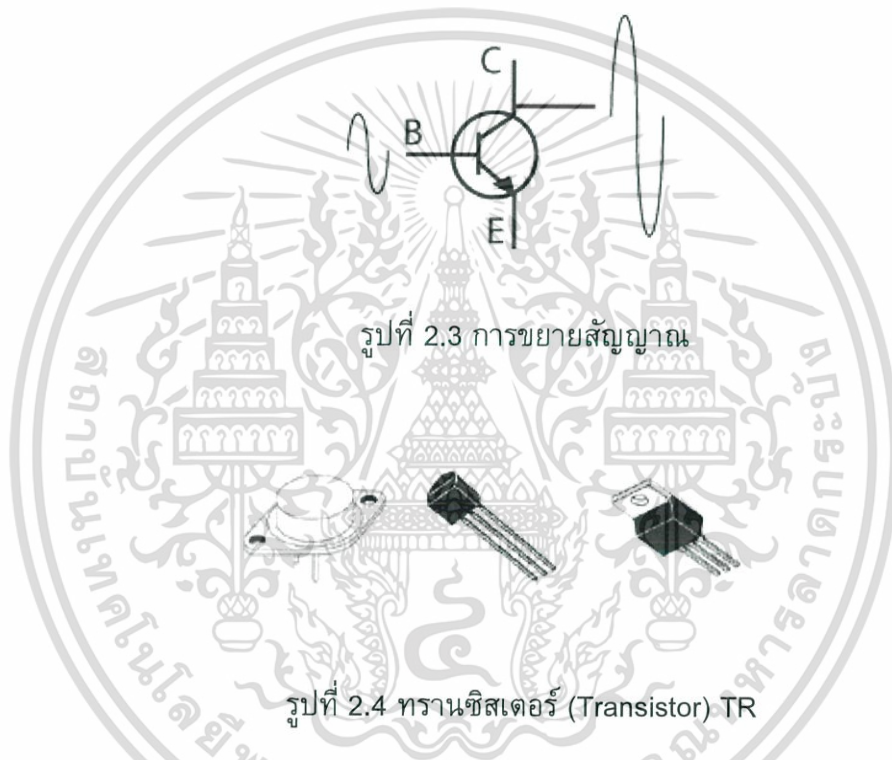


รูปที่ 2.2 ความถี่เสียงของเครื่องดนตรีต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วงจร Power Amplifier

เครื่องขยายเสียง หรือเครื่องขยายสัญญาณเสียง โดยคำว่าเครื่องขยายสัญญาณเสียง แอมพลิฟายเออร์ (Amplifier) หรืออาจเรียกว่า เพาเวอร์แอมพลิฟายเออร์ (Power Amplifier) นั้น เป็นวงจรเครื่อง หรืออุปกรณ์ทางระบบไฟฟ้า ที่ใช้ทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงขนาดเล็ก ให้มีขนาดสัญญาณเสียงที่สูงขึ้น หรือความดังมากขึ้น โดยตามอุดมคติ จะต้องขยายเสียงแล้วให้เสียงเหมือนจริง แต่มีความดังมากขึ้นนั่นเอง โดยเครื่องขยายเสียง, เครื่องขยายสัญญาณเสียง หรือ เพาเวอร์แอมพลิฟายเออร์ (Power Amplifier)



รูปที่ 2.3 การขยายสัญญาณ

รูปที่ 2.4 ทรานซิสเตอร์ (Transistor) TR

มีหลักการขั้นพื้นฐานมาจากการใช้ ทรานซิสเตอร์ (Transistor) TR หรือสารกึ่งตัวนำ ชนิดอื่น ๆ หรือ หลอดสุญญากาศ (Vacum tube) มาเป็นตัวทำหน้าที่ขยายสัญญาณเสียงเล็กๆให้ ดังมากขึ้น โดยในที่นี้จะขออธิบายพื้นฐานการขยายโดยใช้ ทรานซิสเตอร์ (Transistor)TR โดยการป้อนสัญญาณเข้าขั้ว บี B ของ ทรานซิสเตอร์ (Transistor) และจะได้สัญญาณออกทางขั้วซี C เป็นสัญญาณที่มีขนาดสูงขึ้น และนี่ก็คือแนวคิดในการประยุกต์สำหรับการออกแบบสร้างเครื่องขยายเสียงหลากหลายรูปแบบ โดยเอา อุปกรณ์ RC, R และอื่นๆ หลากอย่าง และคุณลักษณะ คุณสมบัติ ที่ต่างกันมาประยุกต์ สร้างเครื่องขยายเสียง ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ชนิดของเครื่องขยายเสียง

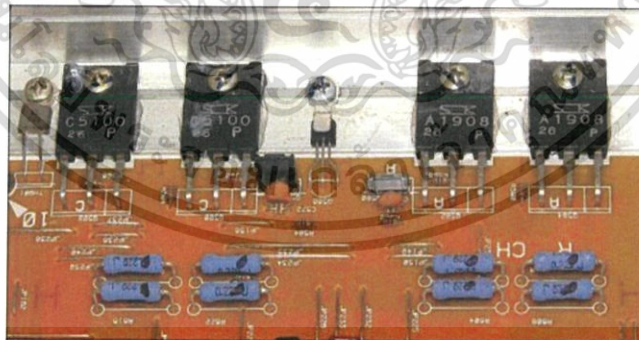
ชนิดของเครื่องขยายเสียงหรือเครื่องขยายสัญญาณเสียง แบ่งแยกตามวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวงจรภาคขยายเสียง

1. แอมป์หลอดสุญญากาศ (Vacum Tube) เป็นเครื่องขยายเสียงยุคแรกๆที่ใช้หลอดสุญญากาศ (Vacum Tube) ทำหน้าที่ขยายกำลังหลังของภาคขยายเสียง และยังคงมีใช้อยู่ในกลุ่มผู้หลงใหลในคุณภาพของเสียง และเอกลักษณ์ที่ดี ชัดเจน และชอบรูปแบบหลอดสุญญากาศ (Vacum Tube) แต่ข้อเสียคือกินกำลังไฟสูงมากเมื่อเทียบกับ เครื่องขยายเสียง แอมป์ลิฟายเออร์ (Amplifier) ชนิดอื่นๆ



รูปที่ 2.5 แอมป์หลอดสุญญากาศ (Vacum Tube)

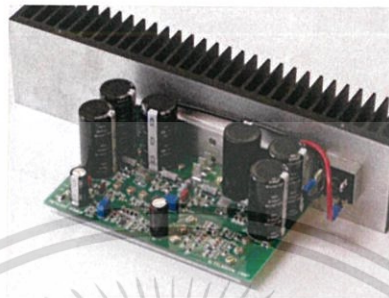
2. แอมป์ทรานซิสเตอร์ (Transistor) เป็นเครื่องขยายเสียงที่ใช้ทรานซิสเตอร์ (Transistor) ทำหน้าที่ขยายกำลังหลักของภาคขยายเสียง ที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากการออกแบบวงจรได้หลากหลายรูปแบบ จนพัฒนาให้มีคุณภาพเสียงที่ดี อัตราขยายเสียงสูงความผิดเพี้ยนต่ำ สามารถหาอุปกรณ์ ซ่อมแซมได้ไม่ ยาก



รูปที่ 2.6 แอมป์ทรานซิสเตอร์ (Transistor)

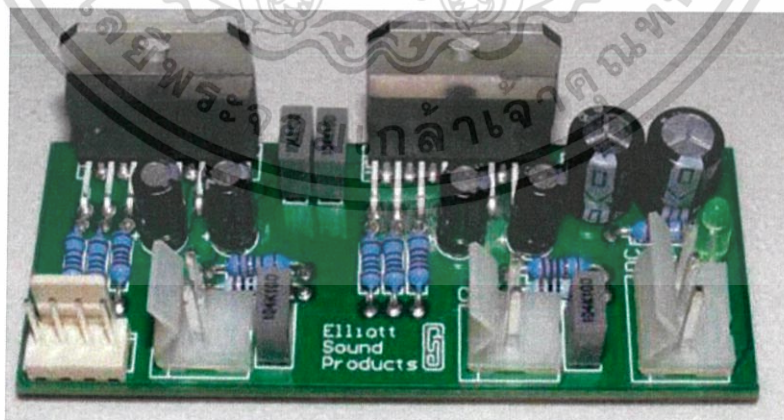
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แอมป์มอสเฟส (MOSFET ,FET) เป็นเครื่องขยายเสียงที่ใช้มอสเฟส (MOSFET ,FET) ทำหน้าที่ขยายกำลังหลักของภาคขยายเสียง ในยุคหลังจาก แอมป์หลอดสูญญากาศ (Vacum Tube) เครื่องขยายเสียงที่ออกแบบด้วย มอสเฟส (MOSFET ,FET) ให้คุณภาพเสียงที่อิม หนักแน่น กว่าการใช้ทรานซิสเตอร์ (Transistor)



รูปที่ 2.7 แอมป์มอสเฟส (MOSFET ,FET)

4. แอมป์ที่ใช้วงจรรวม (Integrated circuit) หรือเรียกย่อๆว่า ไอ ซี (IC) เป็นเครื่องขยายเสียงที่ใช้ วงจรรวม (Integrated circuit) ทำหน้าที่ขยายกำลังหลักของภาคขยายเสียง โดยอาศัยหลักการ รวมสารกึ่งตัวนำของอุปกรณ์ ทรานซิสเตอร์ (Transistor) หรือมอสเฟส (MOSFET ,FET) บวกอุปกรณ์ R, L ,C และอื่นๆ รวมกันให้เล็กลงอยู่บนตัวอุปกรณ์ ตัวเดียวที่มีหลายขาและเรียกว่า (Integrated circuit) หรือเรียกย่อๆว่า ไอ ซี (IC) นั่นเอง ข้อดีคือ มีขนาดเล็ก ความผิดพลาดน้อยเมื่อใช้ในอุณหภูมิตาม Spec กำหนด ให้คุณภาพเสียงดี เหมาะกับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก ไม่เปลืองพื้นที่ ราคาถูก ข้อเสียหากมีการออกแบอุปกรณ์ต่อพ่วง IC ที่ไม่ดี ทำให้ความร้อนขณะใช้งานสูง และความผิดพลาดสูงขึ้นได้ อีกทั้งกรณี IC เสีย ต้องเปลี่ยน IC ซึ่งเป็นตัวหลัก ตัวเดียว ซึ่งค่า ซ่อมจะสูงมาก



รูปที่ 2.8 แอมป์ที่ใช้วงจรรวม (Integrated circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

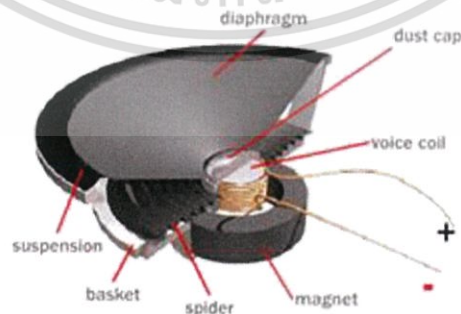
2.3 Actuator

แอกทูเอเตอร์ (actuator) คือส่วนที่มีหน้าที่ตอบสนองและปรับเปลี่ยนรูปร่าง ตำแหน่ง ความถี่ ธรรมชาติ หรือลักษณะเฉพาะทางกลอื่นๆ เพื่อตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ สนามไฟฟ้า และหรือสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.9 Actuator

ลำโพง (Speaker) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าเชิงกลอย่างหนึ่ง ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นเสียง มีด้วยกันหลายแบบ ซึ่งในโครงงานนี้ใช้แค่ส่วนดอก ซึ่งเป็น Actuator ชนิดหนึ่ง การทำงานของคอยล์เสียงใช้หลักการของแม่เหล็กไฟฟ้า โดยได้จากกฎของแอมแปร์ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในขดลวดหรือคอยล์ ภายในคอยล์จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นซึ่งจะเหนี่ยวนำให้แท่งเหล็กที่สอดอยู่เป็นแม่เหล็กไฟฟ้าปกติแม่เหล็กจะมีขั้วเหนือและขั้วใต้ ถ้านำแม่เหล็กสองแท่งมาอยู่ใกล้ๆกัน โดยนำขั้วเดียวกันมาชิดกันมันจะผลักรัน แต่ถ้าต่างขั้วกันมันจะดูดกันด้วยหลักการพื้นฐานนี้ จึงติดแม่เหล็กถาวรล้อมคอยล์เสียงและแท่งเหล็กไว้ เมื่อมีสัญญาณทางไฟฟ้าหรือสัญญาณเสียงที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับป้อนสัญญาณให้กับคอยล์เสียงขั้วแม่เหล็กภายในคอยล์เสียงจะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่เข้ามา ทำให้คอยล์เสียงขยับขึ้นและลงซึ่งจะทำให้ใบลำโพงขยับเคลื่อนที่ขึ้นและลงด้วยไปกระทบกับอากาศเกิดเป็นคลื่นเสียงขึ้น

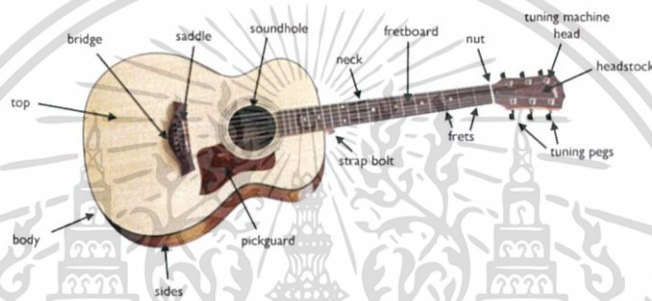


รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบต่างๆ ของ Speaker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 Guitar

กีตาร์ถือเป็นเครื่องดนตรีที่เก่าแก่ที่สุดชนิดหนึ่งของมนุษย์เพียงแต่ชื่อเรียกและรูปร่างย่อมแตกต่างกันไปตามแต่ละยุคสมัย ซึ่งเริ่มเป็นที่นิยมในแถบเปอร์เซียและตะวันออกกลางหลายประเทศ ต่อมาได้เผยแพร่ไปยังกรุงโรมโดยชาวโรมันหรือชาวมาัวร์ จากนั้นก็เริ่มได้รับความนิยมในสเปน ในยุโรป กีตาร์ มักเป็นที่นิยมในหมู่มุขชั้นสูง และมีเชื้อพระวงศ์หลายพระองค์ที่ให้ความสนใจและศึกษาอย่างเช่น Queen Elizabeth I ซึ่งโปรดกับ Lute I ซึ่งถือว่าเป็นต้นแบบของกีตาร์ ก็ว่าได้ แต่การพัฒนาที่แท้จริงนั้น ได้เกิดจากการที่นักดนตรีได้นำมันไปแสดงหรือเล่นร่วมกับวงดนตรีของประชาชนทั่ว ๆ ไป ทำให้มีการเผยแพร่ไปยังระดับประชาชน จนได้มีการนำไปผสมผสานเข้ากับเพลงพื้นบ้านทั่ว ๆ ไป และเกิดแนวดนตรี ในแบบต่าง ๆ มากขึ้น



รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของกีตาร์

ส่วนประกอบของกีตาร์

1. ไม้ด้านหน้า (top) ไม้ด้านหลัง (back) และไม้ด้านข้าง (side) ส่วนที่เว้าของ body บางที่เราเรียกว่า เอเวกีตาร์จะให้เสียงดีมาน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับไม้ ที่ใช้ทำลำตัวนี้ ซึ่งทั้งไม้ด้านหน้า ด้านข้าง และด้านหลัง มีผลต่อ มวลรวมเสียงของกีตาร์ทั้งสิ้น

2. โพรงเสียง (sound hole) คือส่วนที่เป็นกระบอก ทำหน้าที่เป็นลำโพงเสียงรับเสียงจากการสั่นของกีตาร์ทำให้เกิดเสียงก้องดังขึ้น มีลักษณะเป็นรูปกลม ๆ หรือบางครั้งก็ไม่กลม อยู่บนด้านหน้าของ body นั้นเอง ซึ่งอาจจะมีลายประดับต่าง ๆ อยู่รอบ ๆ โพรงเสียงเพื่อความสวยงาม สำหรับกีตาร์โฟล์ค มักจะมีแผ่นพลาสติกติดอยู่ด้านขอบโพรงเสียงได้สาย 1 เรียกว่า Pickgard เพื่อป้องกันการขีดข่วนกีตาร์จากการติดสายด้วยปิ๊กหรือเล็บ

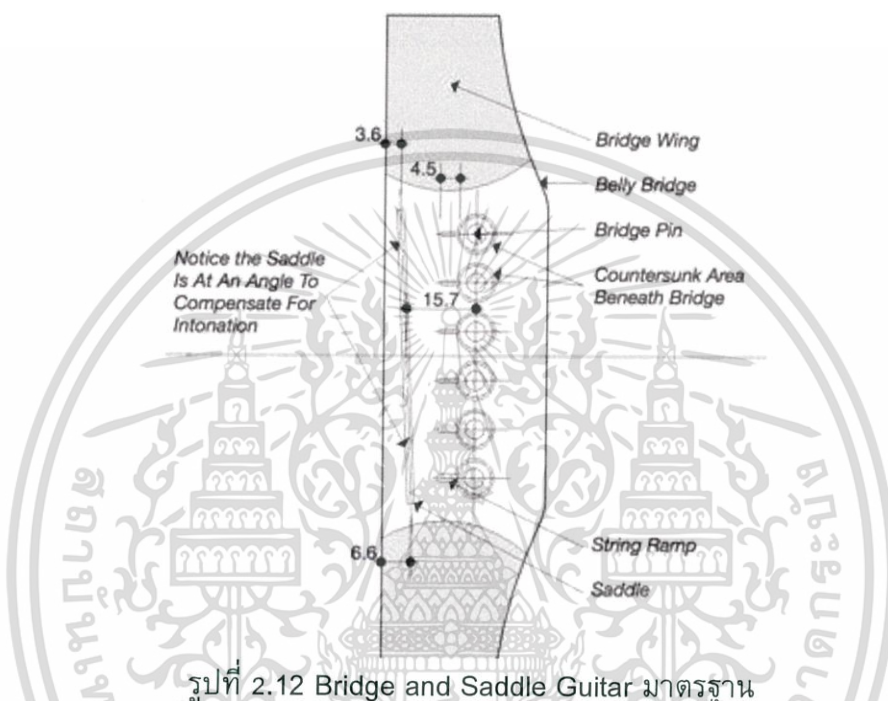
3. สะพานสาย (bridge) เป็นตัวที่ยึดสายให้ติดกับ body และยึดสายด้วยหมุดยึดสาย (pin)

4. หย่อง (saddle) จะฝังหรือยึดอยู่กับสะพานสาย เพื่อรองรับสายกีตาร์ทั้ง 6 สาย

2.5 Bridge and Saddle Guitar

สะพานสาย (bridge) เป็นตัวที่ยึดสายให้ติดกับ body มักทำมาจากไม้โรสวูดหรือไม้อีโบนี ถ้าเป็นกีตาร์คลาสสิกจะเจาะรูในแนวนานกับ body กีตาร์ 6 รูไว้ใช้พันสายกีตาร์ แต่ถ้าเป็นกีตาร์โฟล์คจะเจาะรูในแนวตั้งฉากกับ body และยึดสาย

หย่อง (saddle) จะฝังหรือยึดอยู่กับสะพานสาย เพื่อรองรับสายกีตาร์ทั้ง 6 สาย



รูปที่ 2.12 Bridge and Saddle Guitar มาตรฐาน

2.6 Transducer

คืออุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานจากรูปแบบหนึ่ง ไปเป็นรูปแบบหนึ่ง เช่น พลังงานกล เป็นพลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานแสง เป็นพลังงานไฟฟ้า Piezo Pickup เป็น Transducer ชนิด Passive ไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายในการทำงาน แปลงพลังงานกล เป็นพลังงานไฟฟ้า ติดตั้งอยู่ใน Bridge ข้างล่าง Saddle เพื่อรับแรงสั่น



รูปที่ 2.13 Piezo Pickup

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 วงจร Pre - Amplifier

หน้าที่หลักๆ ของปริแอมป์จะมียู่ด้วยกัน 2 ประการคือ

1. ทำหน้าที่ขยายสัญญาณในระดับต่ำเพื่อให้มีระดับที่เหมาะสมสำหรับการป้อนสู่ภาคขยายอื่น ๆ ต่อไป รวมถึงการทำตัวเป็นวงจรบัฟเฟอร์ (กันชน) เพื่อเชื่อมโยงอุปกรณ์ทางเสียงที่อิมพีแดนซ์หรือความต้านทานภายในต่างกันให้ทำงานร่วมกันได้

2. ทำหน้าที่ขยายสัญญาณพร้อมการปรับแต่ง และการปรุงแต่งเสียงซึ่งอาจกำหนดให้มีการขยายระดับสัญญาณให้สูงขึ้น หรือไม่มีการขยายสัญญาณก็ได้

เมื่อพิจารณาจากหน้าที่หลักทั้ง 2 ประการนี้แล้ว พอจะสรุปได้ว่าเมื่อมีสัญญาณออกมาจากหัวอ่านซีดีแล้ว ก็จะส่งผ่านมาทางปริแอมป์ภายในตัวเฮดยูนิตหรือวิทยุก่อนชุดหนึ่ง ซึ่งมักเป็นปริแอมป์ที่ทำการขยายให้สัญญาณนี้ให้มีระดับพอเหมาะ เพื่อที่จะส่งผ่านไปยังภาคอื่น ๆ ต่อไป

ในตัวปริแอมป์ที่ทำการขยายแยกต่างหากนี้ มักจะมีภาคประกอบทางเสียงอื่น ๆ บรรจุอยู่ด้วย เช่น วงจรชดเชยความถี่ที่ทำให้ย่านความถี่เสียงแต่ละย่านมีระดับเสียงที่สม่ำเสมอก่อนที่จะป้อนเข้าสู่วงจรปรับแต่ง หรือปรุงแต่งเสียง ที่เรียกกันว่าปุ่มปรับ BASS / TREBLE ซึ่งแน่นอน ด้วยเหตุต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้เสียงที่ได้ยินนุ่มนวลขึ้นกว่าเดิม สำหรับเพาเวอร์แอมป์รุ่นใหม่ ๆ นั้น มักจะมีความต้องการทางด้านกระแสสัญญาณอินพุตที่มากขึ้น เนื่องจากสภาพการทำงานของเพาเวอร์แอมป์รุ่นใหม่ ๆ สูงขึ้น แต่ในบางครั้งสัญญาณจากเฮดยูนิตที่ให้ออกมานั้นมีระดับต่ำเกินสำหรับการทำงานที่เต็มประสิทธิภาพของเพาเวอร์แอมป์ แม้ว่าจุดอินพุตของเพาเวอร์แอมป์จะมีปุ่มปรับ ความไวอินพุตมาให้ด้วยก็ตาม ดังนั้น การใช้ปริแอมป์เสริมเข้าไปในระบบ ช่วยปรับให้ระดับสัญญาณที่จะนำไปป้อนเข้ากับเพาเวอร์แอมป์นั้นสูงขึ้น หรือมีระดับที่เหมาะสมอย่างแท้จริงกับ การทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพของเพาเวอร์แอมป์ อันช่วยให้ภาคขยายในตัวเพาเวอร์แอมป์ทำงานที่ระดับประสิทธิภาพสูงสุด อีกทั้งยังช่วยให้ความร้อนสะสมภายในตัวเพาเวอร์แอมป์ลดลงอีกด้วย

2.8 Pre-emphasis

กระบวนการเกี่ยวกับเสียงทางดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์ การเน้นน้ำหนักเสียงเบื้องต้นเป็นกระบวนการที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการเพิ่มขนาดของสัญญาณในบางย่านความถี่ (ส่วนใหญ่จะเพิ่มในย่านความถี่สูง) และลดทอนเสียงในบางย่านความถี่ (ส่วนใหญ่จะเป็นย่านความถี่ต่ำ) เพื่อที่จะปรับปรุงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-noise ratio) โดยการลดความแตกต่างระหว่างขนาดของสัญญาณย่านความถี่ต่ำและย่านความถี่สูง ซึ่งเป็นส่วนช่วยในการลดจำนวนข้อมูลที่จะต้องบันทึกลงในสื่อประเภทต่าง ๆ แล้วจึงใช้การเน้นน้ำหนักเสียงกลับ (de-emphasis) ช่วยในการกู้คืนสัญญาณเสียงให้กลับเหมือนเดิม ระบบการเน้นน้ำหนักเสียงเบื้องต้นและการเน้นกลับ เรียกรวมว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการเน้นน้ำหนักเสียง (emphasis) เราสามารถหาคุณลักษณะทางความถี่ (Frequency curve) ได้โดยใช้ค่าคงที่เฉพาะทางเวลา (special time constants) และความถี่คัทออฟสามารถคำนวณได้จากค่าคงที่ทางเวลาเฉพาะนั้น

เมื่อเราให้ X_i ที่ $i = 1, 2, 3, \dots$ เป็นตัวอย่างข้อมูลในแต่ละการสุ่มตัวอย่าง i สมการการเน้นน้ำหนักเสียง จะเป็นตามสมการที่ (2.1) โดยที่ ตัวประกอบการเน้นน้ำหนักเสียงก่อน α คำนวณได้จากสมการที่ (2.2)

$$X_i = X_i - \alpha X_{i-1} \quad (2.1)$$

$$\alpha = \exp(-2\pi F\Delta t) \quad (2.2)$$

โดย Δt คือช่วงเวลาเก็บตัวอย่างของเสียงนั้น ในทุกๆตัวอย่าง X_i ของเสียง (ยกเว้น X_0) จะเปลี่ยนไป โดยจะถูกลดทอนด้วยขนาดตัวอย่างตัวก่อนหน้าคูณด้วยตัวประกอบ α และ f คือความถี่คัทออฟ

ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการเน้นน้ำหนักเสียง กับสัญญาณความถี่คัทออฟ 360 Hz และสัญญาณมีอัตราการสุ่มตัวอย่าง 44100 ตัวอย่างต่อวินาที เราสามารถคำนวณหาค่า α ได้ดังสมการที่ (2.3)

$$\alpha = \exp\left(-2 \times 3.1415 \times 360 \times \left(\frac{1}{44100}\right)\right) \quad (2.3)$$

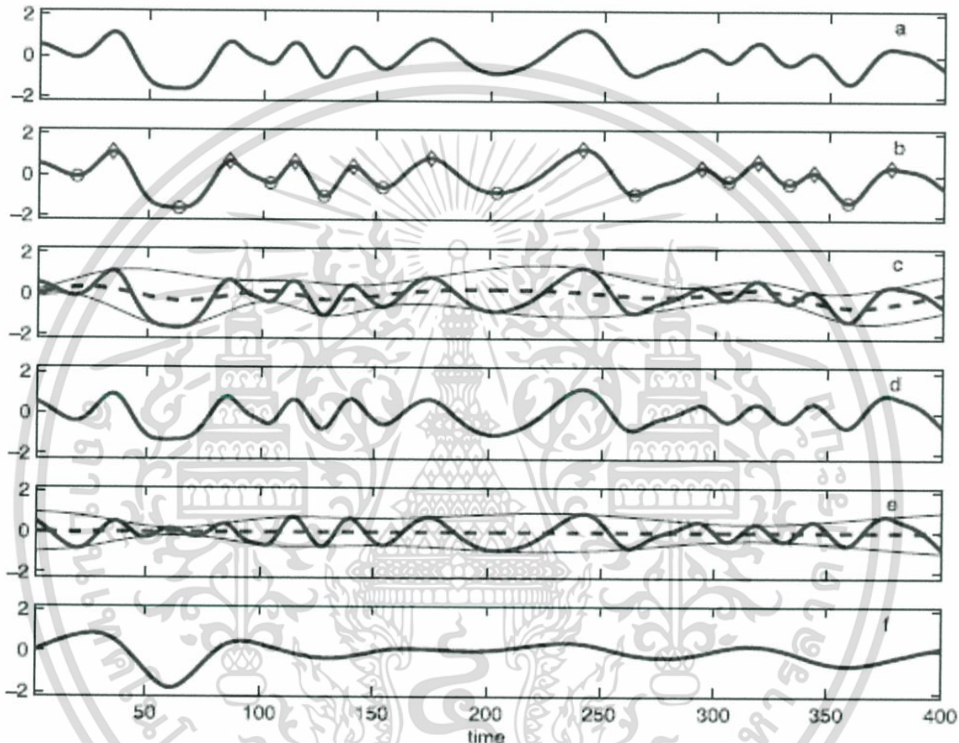
2.9 Empirical Mode Decomposition

Empirical mode decomposition - EMD คือ พื้นฐานของ HHT โดยแยกสัญญาณออกเป็น ส่วนประกอบย่อยๆ EMD นั้นสามารถเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์สัญญาณแบบอื่น เช่น การแปลงฟูเรียร์ และการแปลงเวฟเล็ต วิธีการของ EMD คือ การนำชุดข้อมูลที่มีความซับซ้อนมาขยายแบบ finite และเป็นจำนวนเล็กๆ ของส่วนประกอบ ส่วนประกอบนี้จะอยู่ในรูปที่สมบูรณ์และใกล้เคียงกับ orthogonal basis ของสัญญาณเดิม (สามารถอธิบายได้โดย intrinsic mode function (IMF))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก IMF ช่วงแรกจะมีส่วนประกอบที่มีการสั่น (ความถี่สูง) ซึ่งเราสามารถทิ้ง เพื่อลด ส่วนประกอบของความถี่สูง พื้นฐานของ EMD เป็นอัลกอริทึมที่เรียบง่าย และใช้กันอย่างกว้างขวางในการประมวลผลข้อมูล seismic ซึ่ง seismic คุณภาพสูง เป็นที่ต้องการสูง EMD นั้นสามารถปรับได้และมี ประสิทธิภาพสูง โดย EMD นั้นขยายข้อมูลในโดเมนของเวลา จึงสามารถประยุกต์ใช้กับกระบวนการที่ ไม่เป็นเชิงเส้น และไม่คงที่

สมมติฐานของ EMD คือ ณ เวลาใด ๆ ข้อมูลอาจจะมีความถี่ oscillatory modes อย่างง่ายของความถี่ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอยู่ร่วมกัน ซ้อนทับกัน องค์ประกอบแต่ละตัวจะเรียกว่า IMF



รูปที่ 2.14 กระบวนการทำ EMD

สัญญาณอินพุต $x(t)$ คือ เส้นทึบในรูป a และ b โดยขั้นตอน sifting เริ่มด้วยการระบุ local extrema ทั้งหมด ในรูป b ใช้สัญลักษณ์ข้าวหลามตัดระบุจุด maxima และใช้สัญลักษณ์วงกลมระบุจุด minima แล้วลากเส้น cubic spline เชื่อม local maxima ทั้งหมดเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ upper envelope และเชื่อม local minima ด้วยเส้น cubic spline ได้ lower envelope ดังรูป c ซึ่งโดยทั่วไปข้อมูลทั้งหมด จะถูกตีกรอบด้วย 2 เส้นนี้ h จากนั้นหาเส้น m_1 หรือเส้นประตามรูป c เป็นเส้นที่เป็นค่าเฉลี่ยของ upper กับ lower envelope ผลต่างระหว่างอินพุต $x(t)$ กับ m_1 คือ protomode แรก เขียนแทนด้วย h_1 ดังรูป d ในสมการ $h_1 = x(t) - m_1$ ตัวแปร h_1 ถือว่าเป็น proto-IMF ที่จะเอามาวนลูบทำซ้ำ $h_1 - m_{11} = h_{11}$ หลังจากทำซ้ำไป k ครั้ง $h_{1(k-1)} - m_{1k} = h_{1k}$ จะได้ h_{1k} ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขของการเป็น IMF (ดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป e, ส่วนรูป f คือผลลัพธ์จากการลบรูป a ด้วยรูป e) มันก็จะกลายเป็น IMF $c_1 = h_{1k}$ เงื่อนไขการหยุด มีหลาย เช่น ผลต่าง normalized squared ระหว่างการทำ sifting 2 รอบที่ติดกัน ซึ่งนิยามจาก

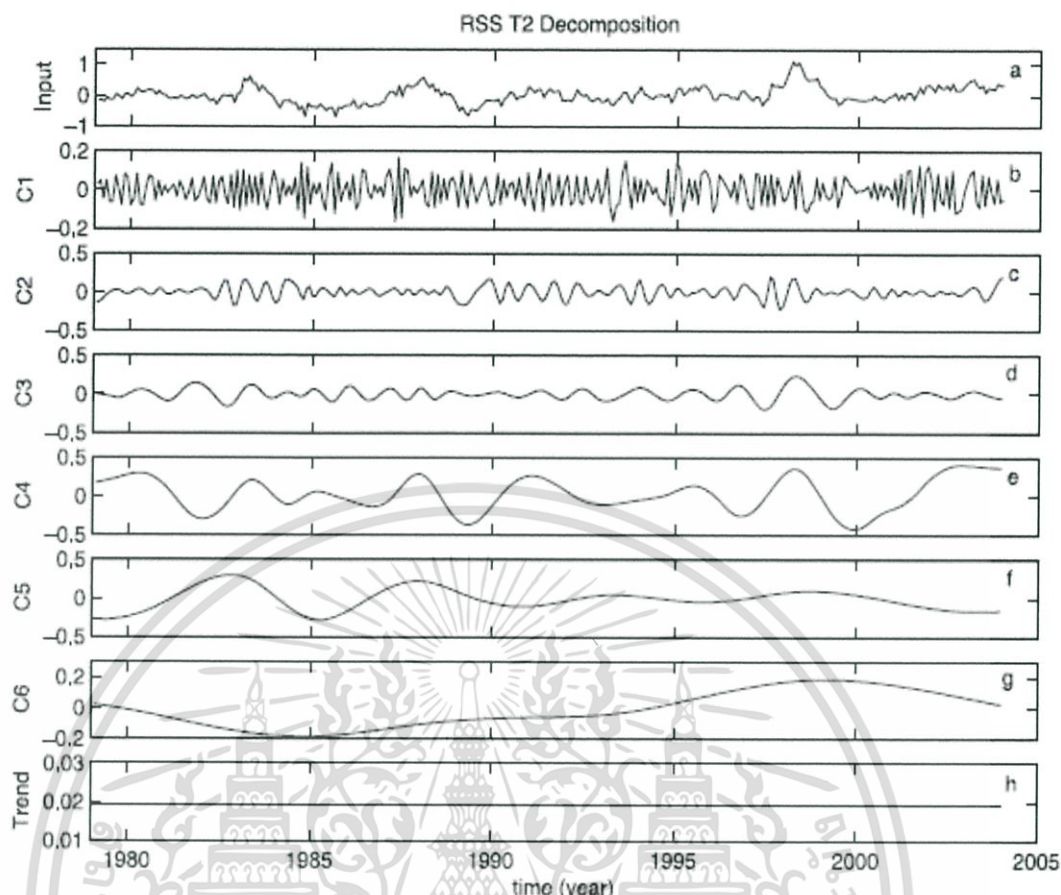
$$SD_k = \frac{\sum_{t=0}^T |h_{k-1}(t) - h_k(t)|^2}{\sum_{t=0}^T h_{k-1}^2(t)}$$

จะต้องน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ล่วงหน้าค่าหนึ่ง

IMF แรกควรมีส่วนที่สั้นด้วยคาบสั้นที่สุด (shortest-period oscillation) ในสัญญาณ เมื่อ นำไปลบออกจากสัญญาณจะได้ residue $r_1 = x(t) - c_1$ ซึ่งมีการสั้นด้วยคาบที่ยาวกว่า เราก็ใช้ residue เป็น data ใหม่ เอาไปผ่านกระบวนการ sifting เหมือนเดิมเพื่อให้ได้ IMF ของความถี่ต่ำกว่า การเอา residue ไปทำซ้ำนี้ เราจะหยุดเมื่อ r_n กลายเป็น monotonic function หรือเป็นฟังก์ชันที่มี extremum เดียว ซึ่งไม่อาจถอด IMF ออกมาได้อีก ฉะนั้นจะได้

$$x(t) = \sum_{j=1}^n c_j + r_n$$

ข้อมูลต้นฉบับ $x(t)$ แยกออกมาเป็น IMF จำนวน n ตัว และ final residue r_n ตัวอย่างแสดงดังรูปด้านล่าง เป็นการแยกข้อมูลจาก Remote Sensing System (RSS) T2 ตามรูป a ออกเป็น IMF รูป b-h จาก ความถี่สูงไปต่ำ

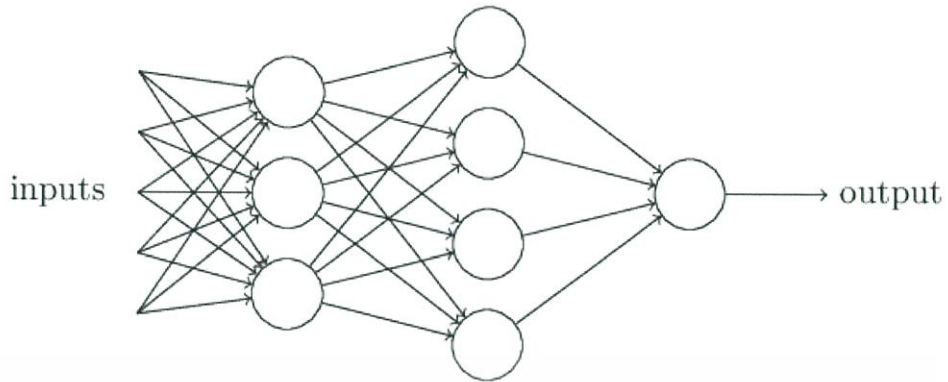


รูปที่ 2.15 สัญญาณอินพุต $x(t)$ ผ่านการทำ EMD

2.10 Neural Network

โครงข่ายประสาทเทียม หรือ ข่ายงานประสาทเทียม (artificial neural network) คือ โมเดลทางคณิตศาสตร์หรือโมเดลทางคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณแบบคอนเนคชันนิสต์ (connectionist) แนวคิดเริ่มต้นของเทคนิคนี้ได้มาจากการศึกษาโครงข่ายไฟฟ้าชีวภาพ (bioelectric network) ในสมอง ซึ่งประกอบด้วย เซลล์ประสาท (neurons) และ จุดประสานประสาท (synapses) ตามโมเดลนี้ ข่ายงานประสาทเกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาท จนเป็นเครือข่ายที่ทำงานร่วมกัน

นักวิจัยส่วนใหญ่ในปัจจุบันเห็นตรงกันว่าข่ายงานประสาทเทียมมีโครงสร้างแตกต่างจากข่ายงานในสมอง แต่ก็ยังเหมือนสมอง ในแง่ที่ว่าข่ายงานประสาทเทียม คือการรวมกลุ่มแบบขนานของหน่วยประมวลผลย่อยๆ และการเชื่อมต่อนี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดสติปัญญาของข่ายงาน เมื่อพิจารณาขนาดแล้ว สมองมีขนาดใหญ่กว่าข่ายงานประสาทเทียมอย่างมาก รวมทั้งเซลล์ประสาทยังมีความซับซ้อนกว่าหน่วยย่อยของข่ายงาน อย่างไรก็ตามก็ตีหน้าที่สำคัญของสมอง เช่นการเรียนรู้ ยังคงสามารถถูกจำลองขึ้นอย่างง่ายด้วยข่ายงานประสาท



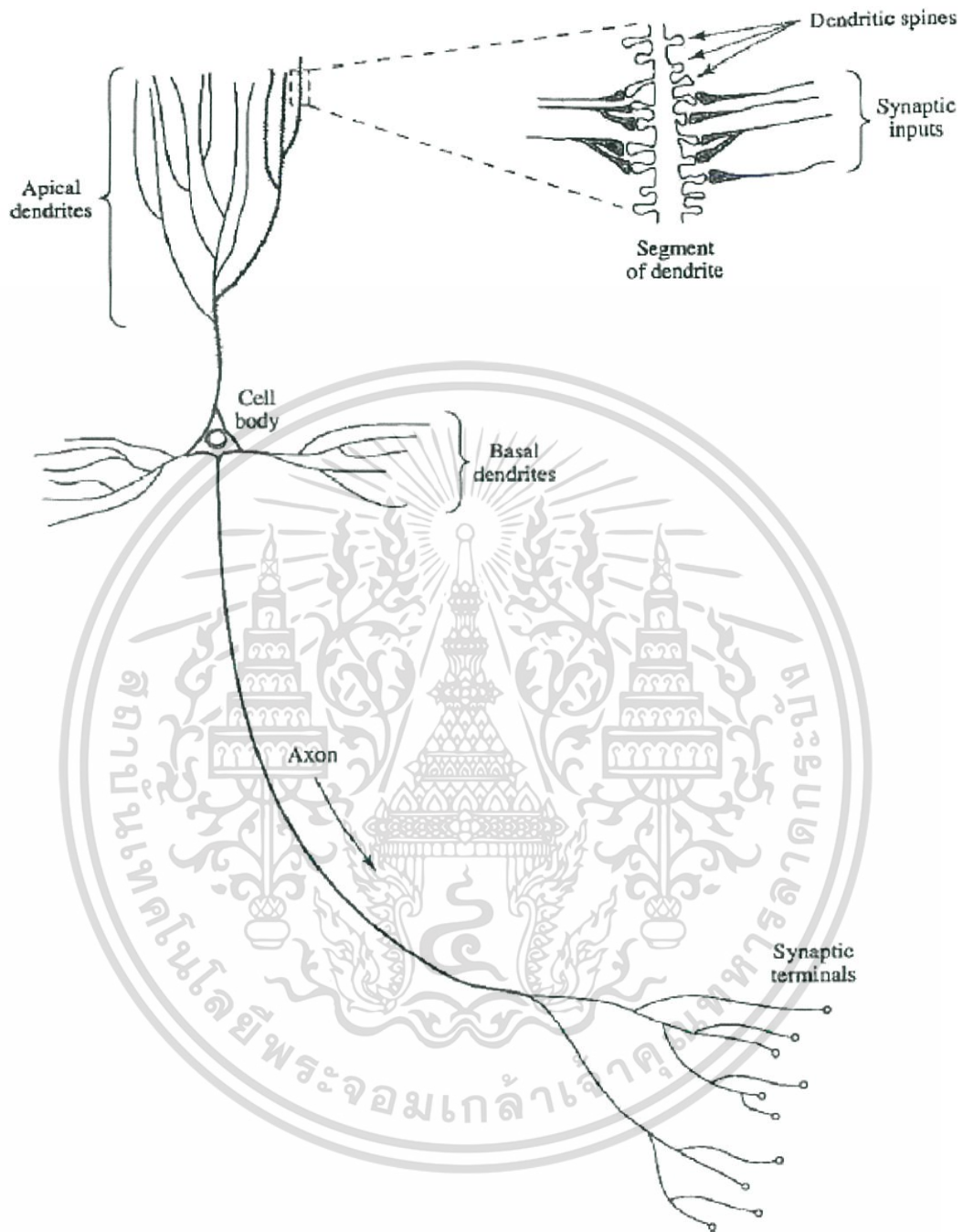
รูปที่ 2.16 รูปแบบพื้นฐาน Neural Network

2.10.1 เซลล์ประสาทชีวภาพ

ระบบคิดคำนึงของมนุษย์มีโครงสร้างพื้นฐานจากเซลล์สมองที่เรียกว่าเซลล์ประสาท (Neuron) เรียงเป็นชั้นๆ จำนวนมากประมาณ 10^{11} ยูนิต และมีการเชื่อมโยงภายในระหว่างเซลล์ประมาณ 10^5 ยูนิต ในแต่ละเซลล์ประสาทจะมีคุณลักษณะแตกต่างกันออกไปโดยมีการทำงานคล้ายกันคือ รับสัญญาณเข้าประมวลผล และส่งสัญญาณไฟฟ้าเคมีผ่านไปยังเซลล์ประสาทอื่น

เซลล์ประสาทประกอบด้วยเดนไดรต์ (Dendrites) ซึ่งเป็นส่วนแขนงที่ขยายออกจากตัวเซลล์เพื่อรับสัญญาณจากเซลล์ประสาทอื่นที่ส่งมาทางจุดเชื่อมต่อที่เรียกว่าไซแนปส์ (Synapse) และปลายในการส่งกระแสประสาทเรียกว่าแอกซอน (Axon) เซลล์ประสาททำงานด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี เมื่อมีการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าภายนอกหรือกระตุ้นด้วยเซลล์ด้วยกัน

กระแสประสาทจะวิ่งผ่านเดนไดรต์เข้าสู่ตัวเซลล์ (Cell Body) ซึ่งจะเป็นตัวตัดสินใจว่าต้องกระตุ้นเซลล์อื่นๆ ต่อหรือไม่ ถ้ากระแสประสาทแรงพอตัวเซลล์ก็จะกระตุ้นเซลล์อื่นโดยส่งผ่านทางแอกซอน



รูปที่ 2.17 โครงสร้างเซลล์ประสาทชีวภาพ

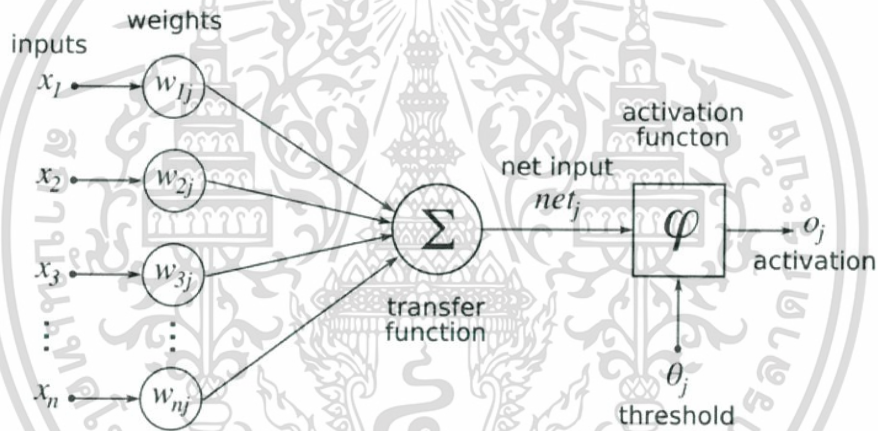
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2 เซลล์ประสาทเทียม

แบบจำลองของเซลล์ประสาททางชีวภาพ หรือที่เรียกว่าเซลล์ประสาทเทียม (Artificial Neuron) แสดงได้ดังรูปที่ 3.2 โดยประกอบด้วยโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญคือ หน่วย (Node) หรือ ยูนิท (Unit) ตัวแปรด้านเข้า (Input) ตัวแปรด้านออก (Output) และค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ประสาททางชีววิทยาและเซลล์ประสาทเทียมดังนี้

การประมวลผล จะเกิดขึ้นในหน่วยประมวลผลย่อยคือ หน่วย (Node) หรือ ยูนิท (Unit) ซึ่งจำลองมาจากลักษณะการทำงานของตัวเซลล์ การส่งสัญญาณระหว่างหน่วยด้วยส่วนที่เชื่อมติดกัน จาผลมาจากการเชื่อมต่อของเดนไดรต์ และแอกซอน

แต่ละการเชื่อมต่อประกอบด้วยค่าน้ำหนักที่แตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับอิทธิพลที่หน่วยจะได้รับจากหน่วยอื่นๆ ซึ่งจำลองมาจากไซแนปส์ โดยค่าน้ำหนักที่ได้รับจะทำหน้าที่เสมือนความรู้ที่ถูกรวบรวมไว้ใช้แก้ปัญหาเฉพาะอย่างของมนุษย์ ภายในหน่วยมีฟังก์ชันที่ใช้ในการกำหนดสัญญาณด้านออกที่เรียกว่า ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) หรือ ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function)



รูปที่ 2.18 แบบจำลองเซลล์ประสาทเทียม

2.10.3 Model Neural Network

ข่ายงานประสาทแบบป้อนไปหน้า (feedforward) ประกอบด้วยเซตของบัพ (node) ซึ่งอาจจะถูกกำหนดให้เป็นบัพอินพุต (input nodes) บัพเอาต์พุต (output nodes) หรือ บัพอยู่ระหว่างกลางซึ่งเรียกว่า บัพฮิดเดน (hidden nodes) มีการเชื่อมต่อระหว่างบัพ (หรือนิวรอน) โดยกำหนดค่าน้ำหนัก (weight) กำกับอยู่ที่เส้นเชื่อมทุกเส้น เมื่อข่ายงานเริ่มทำงาน จะมีการกำหนดค่าให้แก่บัพอินพุต โดยค่าเหล่านี้ อาจจะได้มาจากการกำหนดโดยมนุษย์ จากเซนเซอร์ที่วัดค่าต่างๆ หรือผลจากโปรแกรมอื่นๆ จากนั้นบัพอินพุต จะส่งค่าที่ได้รับ ไปตามเส้นเชื่อมขาออก โดยที่ค่าที่ส่งออกไปจะถูกคูณกับค่าน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเส้นเชื่อม บัพในชั้นถัดไปจะรับค่า ซึ่งเป็นผลรวมจากบัพต่างๆ แล้วจึงคำนวณผลอย่างง่าย โดยทั่วไปจะใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ (sigmoid function) แล้วส่งค่าไปยังชั้นถัดไป การคำนวณเช่นนี้จะเกิดขึ้นไปเรื่อยๆ ทีละชั้น จนถึงบัพเอาต์พุต โดยในยุคแรก (ราว ค.ศ. 1970) จำนวนชั้นจะถูกกำหนดไว้เป็นค่าคงที่ แต่ในปัจจุบันมีการนำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม มาช่วยออกแบบโครงสร้างของข่ายงาน นิวโรอีโวลูชัน (Neuroevolution)

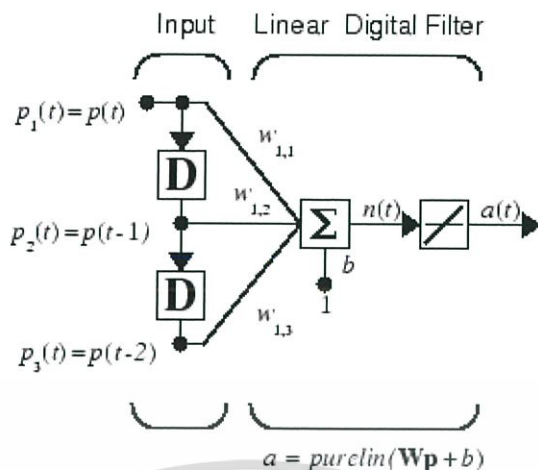
2.10.4 Adaline Model

ในปีค.ศ.1960 Bernard Widrow และนักเรียนบัณฑิตศึกษาของเขาชื่อว่า Marcian Hoff (Widrow and M. E. Hoff, 1960) จากมหาวิทยาลัยแอสแตนฟอร์ด ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้นำเสนอเครือข่าย ADALINE (Adaptive Linear Neuron) พร้อมกับกฎการเรียนรู้ที่เรียกว่าอัลกอริทึมกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุดหรือ LMS (least mean square) (Widrow, 1987) เครือข่าย ADALINE ลักษณะคล้ายคลึงกับเพอร์เซ็ปตรอน เพียงแต่แตกต่างกันที่ฟังก์ชันถ่ายโอนของ ADALINE เป็นฟังก์ชันเส้นตรงแทนที่จะเป็นฟังก์ชันฮาร์ดลิมีตเหมือนในกรณีของเพอร์เซ็ปตรอน ทั้ง ADALINE และเพอร์เซ็ปตรอนจึงมีจุดอ่อนคือสามารถแก้ปัญหาที่แบ่งแยกได้แบบเชิงเส้นเท่านั้น (lin-early separable) อย่างไรก็ตามอัลกอริทึม LMS ถือว่าประสิทธิภาพเหนือกว่ากฎการเรียนรู้แบบเพอร์เซ็ปตรอนมาก ถึงแม้ว่าการเรียนรู้แบบเพอร์เซ็ปตรอนจะรับประกันว่าเข้าสู่การแบ่งแยกอินพุตตามเป้าหมายที่ได้เสมอ แต่เครือข่ายที่ได้อาจจะค่อนข้างไวต่อสัญญาณรบกวน เนื่องจากเป้าหมายที่ใช้ในการเรียนรู้มีตำแหน่งอยู่ใกล้ กับเส้นแบ่งพื้นที่ ซึ่งต่างกับอัลกอริทึม LMS ที่คำนวณบนหลักของค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยที่น้อยที่สุด (minimized mean square error) ดังนั้นอัลกอริทึม LMS จะให้ผลของเส้นแบ่งพื้นที่ที่วางตัวไกลจากตำแหน่งของเป้าหมายมากที่สุด อัลกอริทึม LMS ยังมีการประยุกต์ใช้งานจริงได้มากกว่ากฎการเรียนรู้เพอร์เซ็ปตรอน

เครือข่าย ADALINE แสดงในสมการที่ (2.4) สังเกตว่ามีลักษณะคล้ายๆ กันกับเครือข่ายเพอร์เซ็ปตรอน เพียงแต่มีฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นฟังก์ชันเส้นตรง ดังนั้นจะได้เอาต์พุตของเครือข่ายคือ

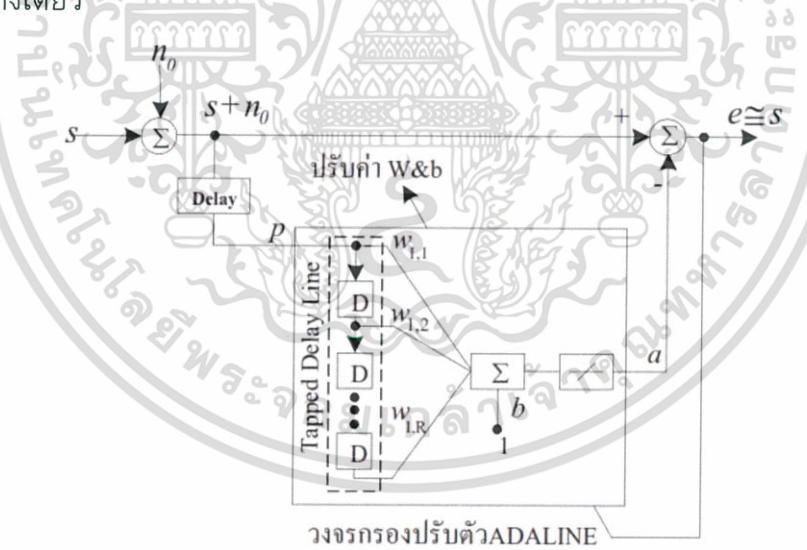
$$a = \text{purelin}(Wp+b) = Wp+b \quad (2.4)$$

โดยที่ a เป็นเอาต์พุตของเครือข่าย W คือเมตริกซ์น้ำหนักประสาท p คือเวกเตอร์อินพุต และ b คือเวกเตอร์ไบอัส



รูปที่ 2.19 เครือข่าย ADALINE

วงจรรองปรับตัว ADALINE คิดค้นขึ้นโดย Widrow – Hoff ทำได้โดยการเพิ่ม Tapped Delay Line เข้ากับโครงข่ายประสาท ADALINE แล้วจะได้วงจรรองปรับตัว ADALINE ซึ่งมีคุณลักษณะเด่นที่สำคัญ ได้แก่ โครงสร้างของวงจรรองมีความซับซ้อนของการคำนวณค่าน้ำหนัก และไบอัสไม่สูงมาก เนื่องจากโครงข่ายประสาท ADALINE มีเพียงชั้นอินพุต และชั้นเอาต์พุต และการคำนวณเป็นแบบป้อนไปข้างหน้าอย่างเดียว



รูปที่ 2.20 ระบบลดสัญญาณรบกวนที่ไม่ใช่สัญญาณอ้างอิงจากภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.20 สัญญาณที่วัดได้คือสัญญาณ s ที่มีสัญญาณรบกวนปนมาด้วย ซึ่งในที่นี้คือ $s+n_0$ ส่วนสัญญาณอ้างอิงที่จะป้อนให้แก่วงจร คือ สัญญาณ p ซึ่งเกิดจากการหน่วงเวลาของสัญญาณที่วัดได้ จากนั้นวงจรกรองสร้างสัญญาณเอาต์พุต (a) เพื่อประมาณค่าของสัญญาณรบกวน n_0 และนำไปหักล้างกับสัญญาณที่วัดได้ ผลลัพธ์ที่ได้คือค่าสัญญาณความผิดพลาด (e) โดยสัญญาณความผิดพลาดนี้เป็นเกณฑ์ในการปรับค่าน้ำหนัก (w) และไบอัส (b) ของวงจรกรอง ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$e(k) = (s + n_0)(k) - a(k) \quad (1)$$

$$a(k) = w^T p(k) + b = \sum w_i p(k-i+1) + b \quad (2)$$

ดังนั้นเงื่อนไขที่ดีที่สุดคือ $a \cong n_0$ จะได้ $e \cong s$ นั่นคือสามารถแยก n_0 ออกจาก s หรือได้สัญญาณที่ทำการกำจัดสัญญาณรบกวนแล้วนั่นเอง

สำหรับการปรับค่าน้ำหนักและไบอัสของวงจรกรองปรับตัว Widrow – Hoff หรือ อัลกอริทึมแบบ LMS โดยใช้เงื่อนไขการลดค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดกำลังสองให้ได้ค่าน้อยที่สุด ซึ่งอัลกอริทึมแบบ LMS มีสมการเพื่อคำนวณค่าน้ำหนักและไบอัส ดังสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ

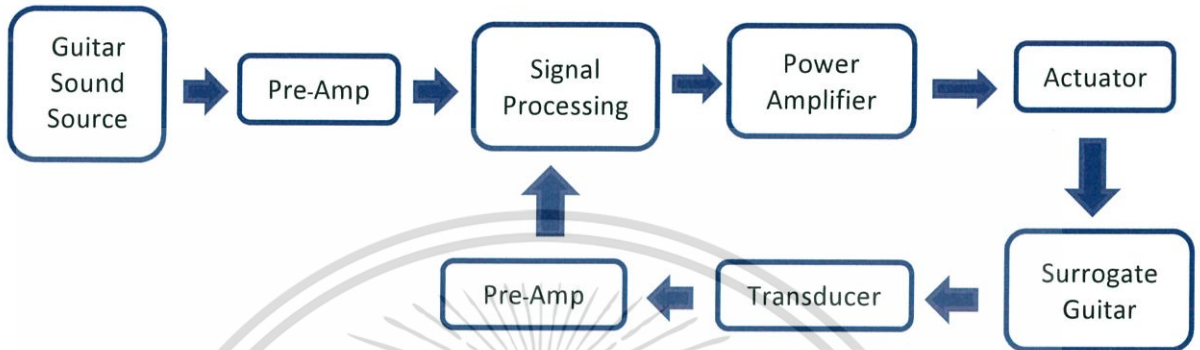
$$w(k+1) = w(k) + 2\alpha e(k)p(k) \quad (3)$$

$$b(k+1) = b(k) + 2\alpha e(k) \quad (4)$$

ค่าเริ่มต้นที่ใช้สำหรับกำหนดเป็นค่าน้ำหนักและค่าไบอัสเริ่มต้นให้แก่โครงข่าย สามารถกำหนดเป็นค่าใดๆก็ได้ แต่ค่าที่ต้องกำหนดให้เหมาะสมคือค่าอัตราการเรียนรู้ α (Learning Rate) เนื่องจากมีผลต่อเสถียรภาพและความเร็วในการลู่เข้า ซึ่งจะส่งผลต่อความสามารถในการกำจัดสัญญาณรบกวนของวงจรกรอง เราสามารถกำหนดค่า α ได้โดย $0 < \alpha < \frac{1}{\lambda_{max}}$ โดยค่า λ_{max} คือ ค่า Eigen Value

บทที่ 3

การทำงานและการออกแบบ

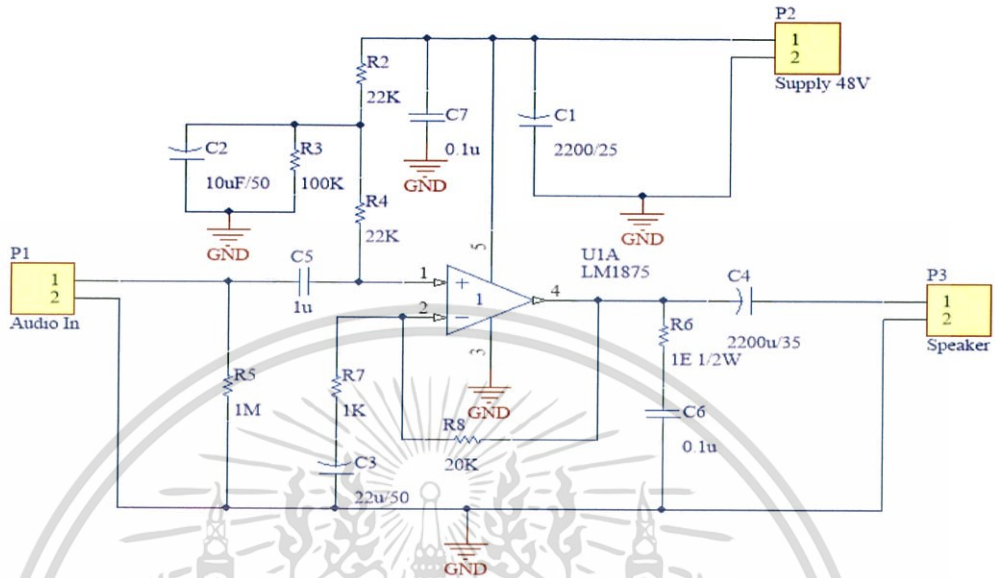


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของ Surrogate Guitar

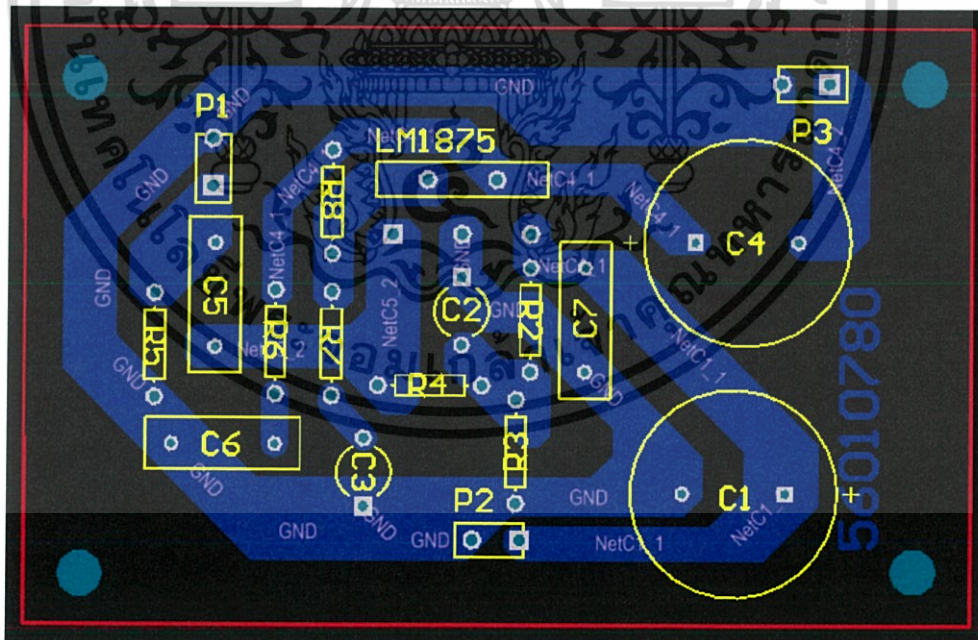
ในโครงการนี้ เป็นโครงการที่ศึกษาเกี่ยวกับการทดแทนเสียงกีตาร์แบบ real time ผู้จัดทำได้ใช้กีตาร์ Veelah D1-DEC มีการติดตั้ง piezo pickup ภายในเพื่อรับสัญญาณเสียงกีตาร์ ส่งต่อไปประมวลผลใน computer จากนั้นส่งสัญญาณเสียงกีตาร์ต่อไปยังวงจร power amplifier เพื่อขับ actuator โดยนำลำโพงมาประยุกต์ใช้เป็น actuator และทำโครงจับยึด actuator กับกีตาร์เข้าด้วยกัน ผู้จัดทำได้ปรับปรุง surrogate guitar โดยการนำ guitar saddle ออกและแทนที่ด้วย piezo pickup แล้วปิดด้วยแผ่นไม้ที่มีความเรียบ เพื่อรองรับตัว actuator จากนั้นรับสัญญาณจาก piezo pickup ส่งต่อไปยังวงจร pre amplifier เพื่อปรับขนาดสัญญาณให้มีความเหมาะสมในการประมวลผลของ computer โดยส่วนของการประมวลผลประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ คือ Pre-emphasis, EMD และ neural networks โดยเมื่อสัญญาณผ่าน Pre-emphasis จะทำให้สัญญาณในช่วงความถี่ต่ำมีขนาดลดลง ส่วนสัญญาณในช่วงความถี่สูงมีขนาดมากขึ้น เมื่อนำสัญญาณผ่าน EMD เป็นกระบวนการวิเคราะห์ช่วงความถี่ของสัญญาณกีตาร์ที่ต้องการแก้ไข และนำสัญญาณไปปรับปรุงในส่วน of neural networks

3.1 Power Amplifier

3.1.1 การออกแบบบอร์ด Power Amplifier โดยใช้ LM1875



รูปที่ 3.2 Schematic ของบอร์ด Power Amplifier

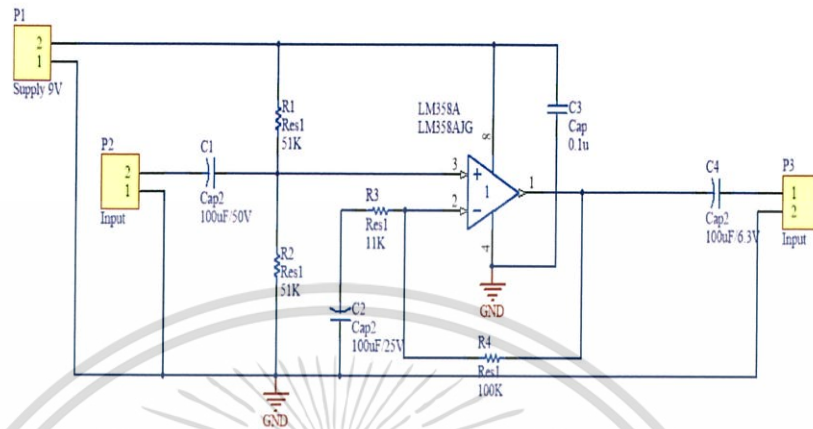


รูปที่ 3.3 PCB ของบอร์ด Power Amplifier

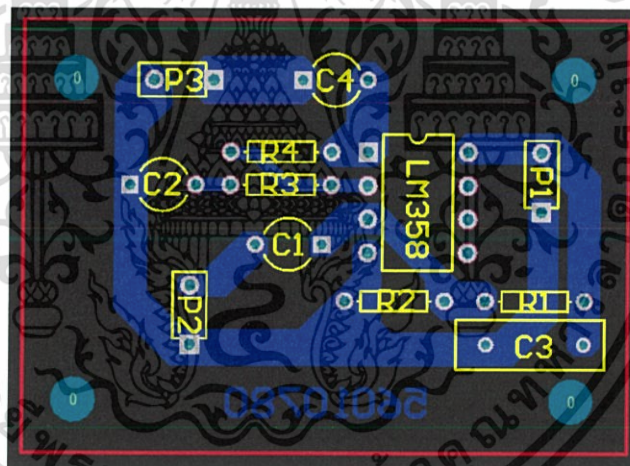
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 Pre Amplifier

3.2.1 การออกแบบบอร์ด Pre Amplifier



รูปที่ 3.4 Schematic ของบอร์ด Pre Amplifier

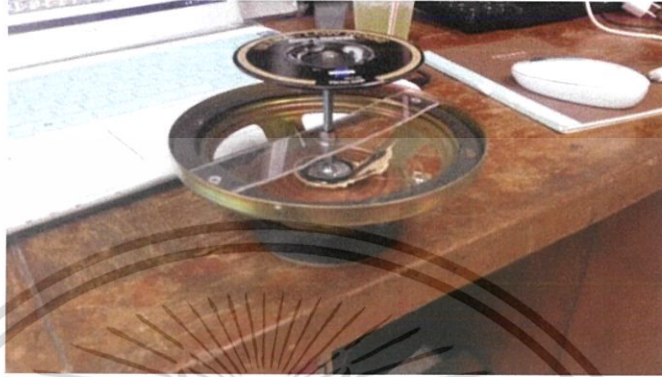


รูปที่ 3.5 PCB ของบอร์ด Pre Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 Actuator และตัวจับยึด และ Spike

ใช้ speaker ของลำโพงต่อคอมพิวเตอร์มาใช้เป็น actuator แล้วติดหมุดที่ dust cap ของลำโพง



รูปที่ 3.6 Actuator



รูปที่ 3.7 ขาตั้งและตัวยึด Actuator



รูปที่ 3.8 ใช้ Spike ติดตั้งข้างล่าง Guitar เพื่อลดการสะท้อนของเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 Guitar Bridge

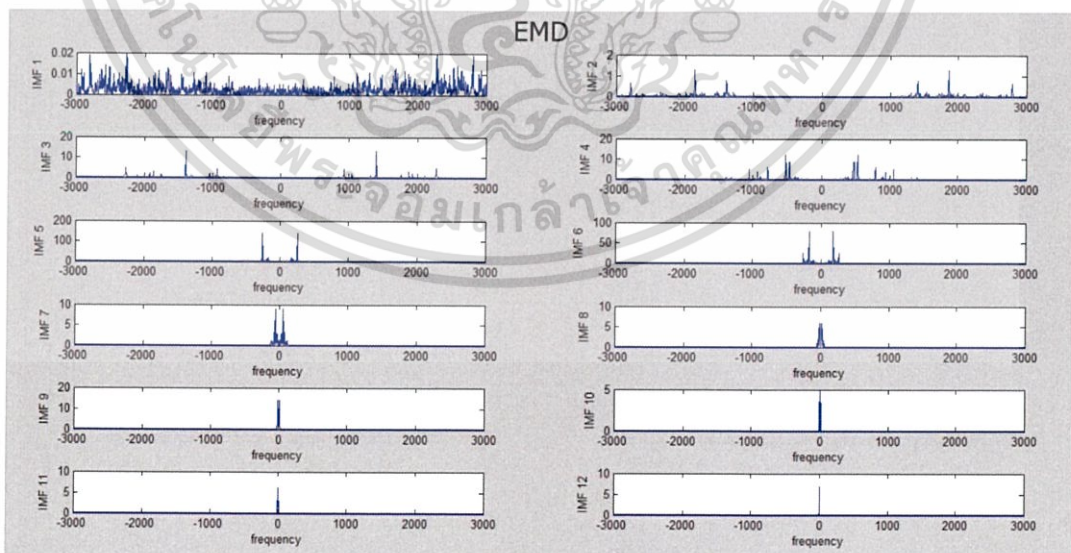
ติด piezo pickup แทน saddle ของกีตาร์และติดแผ่นไม้เนื้อแน่นกับbridgeและ piezo pickupเพื่อรับสัญญาณการสั่นจาก actuator



รูปที่ 3.9 แผ่นไม้ที่ติดกับ Piezo pickup และ Bridge guitar

3.5 Signal Processing

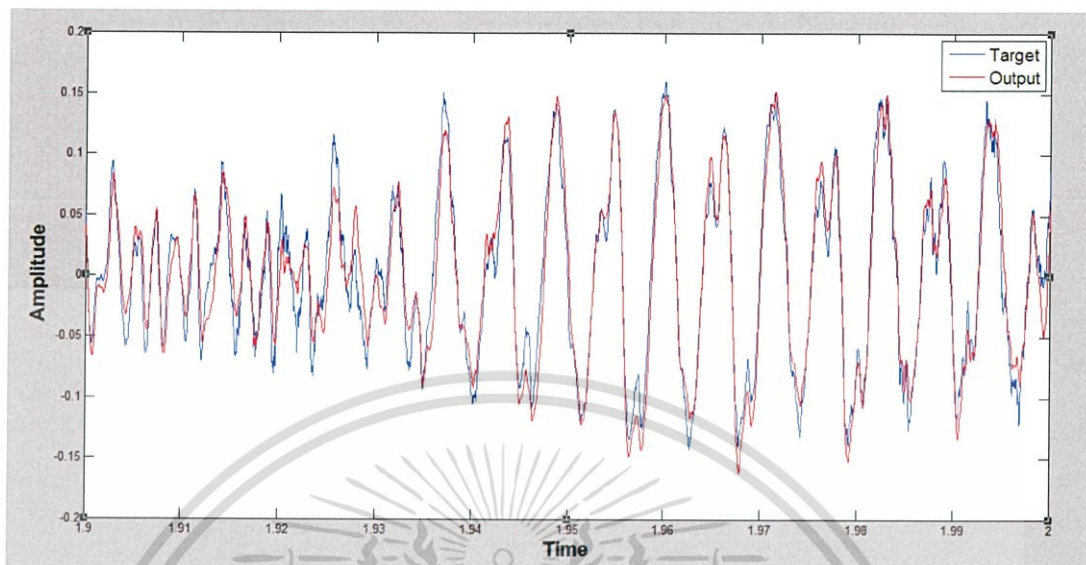
นำสัญญาณเสียงมาผ่านกระบวนการทำ EMD จะได้ IMF ออกมาหลายช่วง จากนั้นนำไปแปลง fft เพื่อดูช่วงสัญญาณความถี่ของแต่ละ IMF เพื่อเลือกความถี่ในช่วงของความถี่กีตาร์ คือ 100 – 2000 Hz ส่วนช่วงที่ไม่ใช่ความถี่ของกีตาร์เราสามารถยุบรวมกัน เพื่อลดเวลาในการประมวลผล



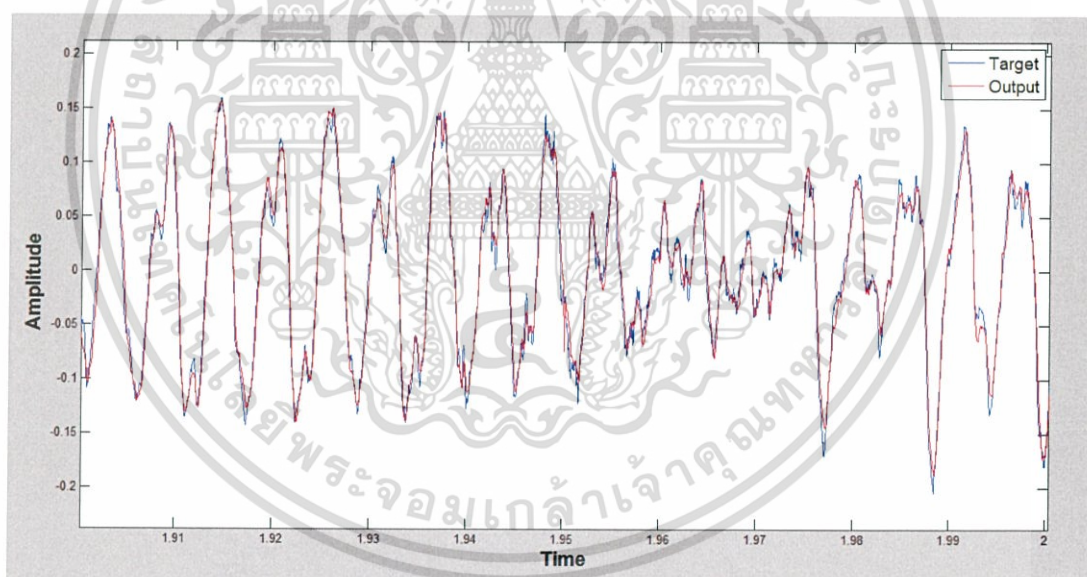
รูปที่ 3.10 สัญญาณที่ผ่านกระบวนการทำ emd แล้วแปลง fft เพื่อดูช่วงความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 Adaline

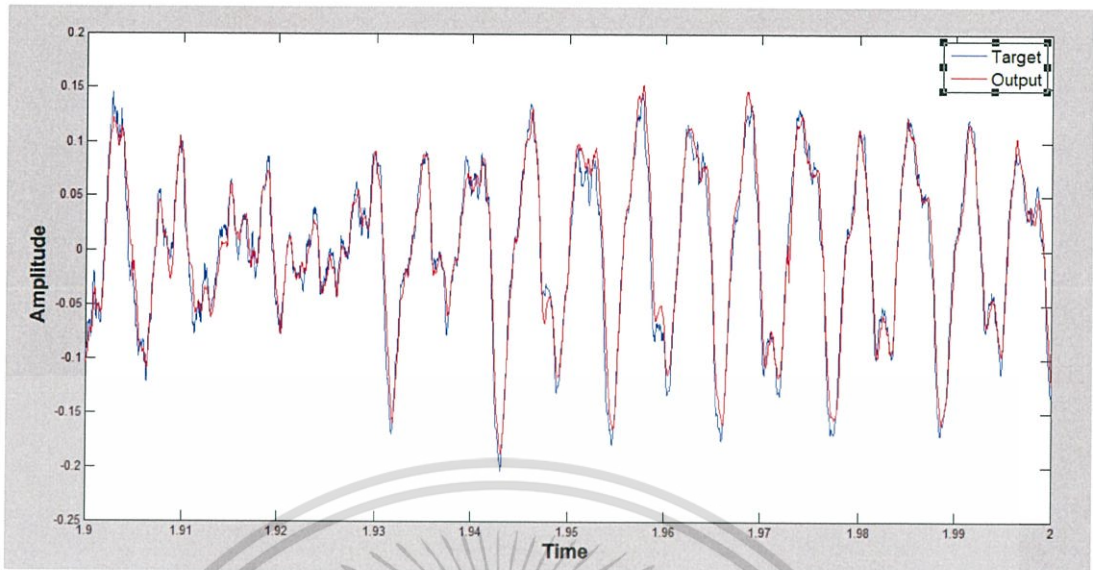


รูปที่ 3.11 Adaline ที่มี tap delay = 5

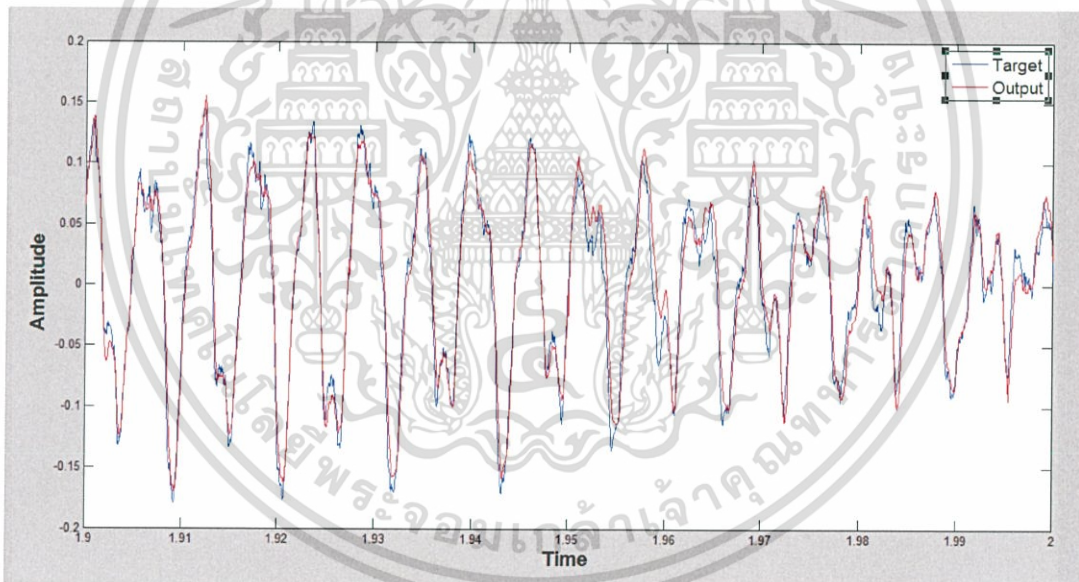


รูปที่ 3.12 Adaline ที่มี tap delay = 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 Adaline ที่มี tap delay = 9



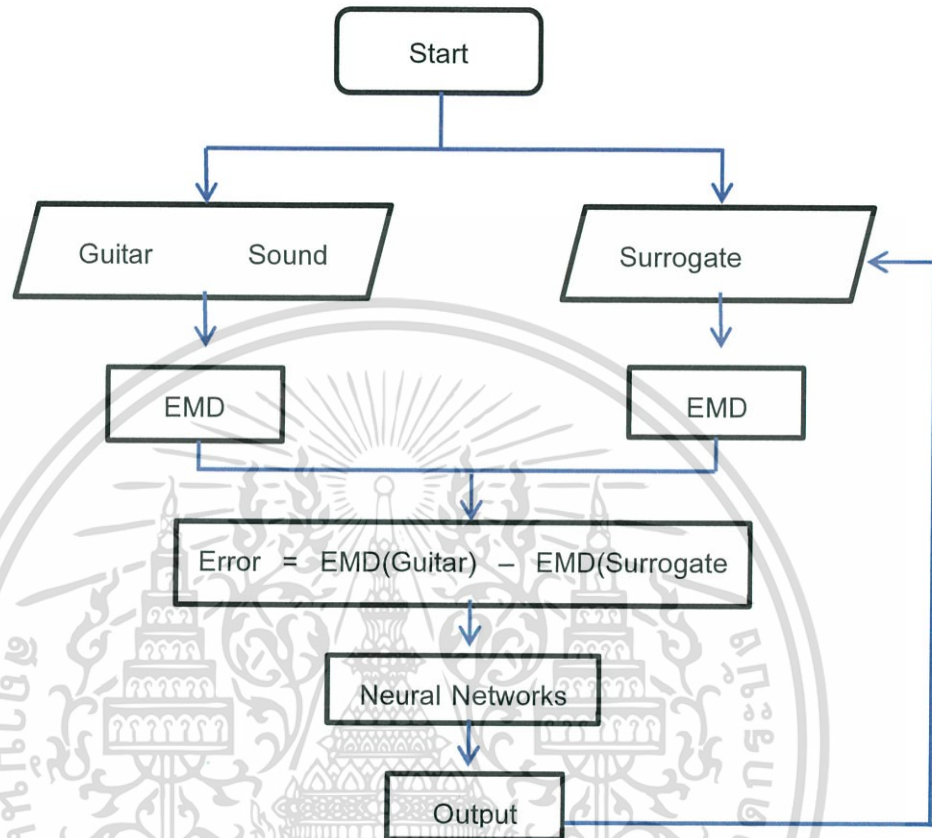
รูปที่ 3.14 Adaline ที่มี tap delay = 11

ยิ่งจำนวน tap delay มีค่ามาก จะทำให้การประมวลผลใช้เวลานานยิ่งขึ้น และเกิด phase shift ถ้า tap delay มีค่าน้อยข้อมูลอาจไม่เพียงพอทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น ในโปรเจกต์เล่มนี้ค่า tap delay ที่เหมาะสมที่เราเลือกใช้ คือ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง



รูปที่ 4.1 Flow Chart ของอัลกอริทึม

4.1 ส่วนของ Hardware

ทดลองเปิดเพลงจาก computer แล้วผ่าน exciter ที่วางไว้บน bridge guitar แล้วนำสัญญาณจาก piezo pickup กลับมา plot ใน MATLAB



รูปที่ 4.2 ประกอบเพื่อทดลองใส่เพลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



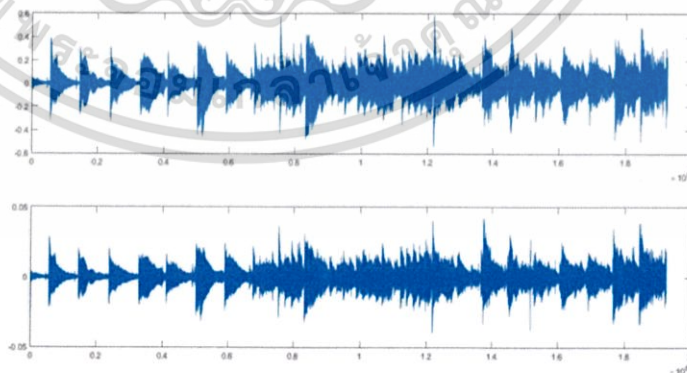
รูปที่ 4.3 ทดลองเปิดเพลงและเปรียบเทียบ signal



รูปที่ 4.4 สัญญาณเสียงที่เล่นจากกีตาร์จริง (รูปซ้าย) สัญญาณเสียงจาก surrogate guitar (รูปขวา)

4.2 ส่วนของ Software

4.2.1 Pre-emphasis

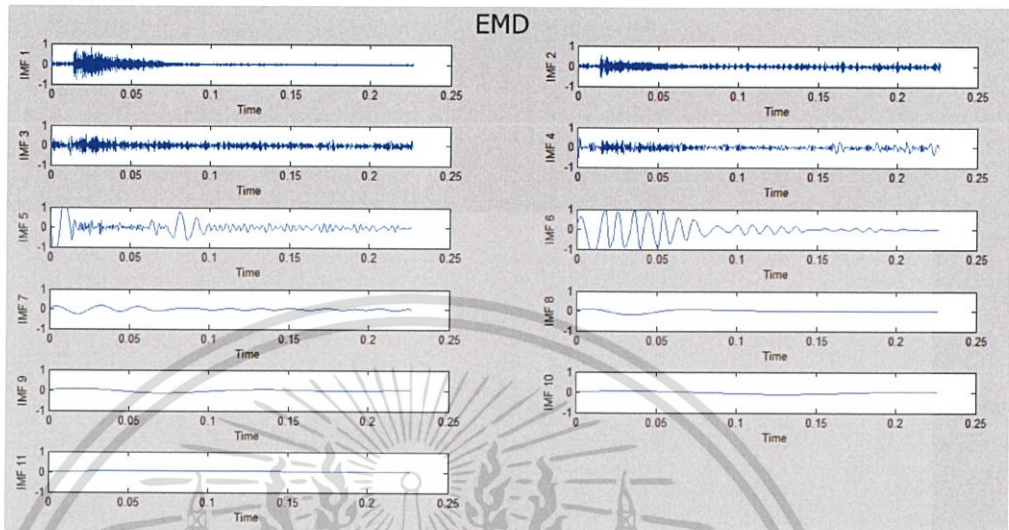


รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบเสียงเพลง ก่อนและหลังทำการ pre-emphasis รูปบนก่อนทำการ pre-emphasis รูปล่างก่อนทำการ pre-emphasis

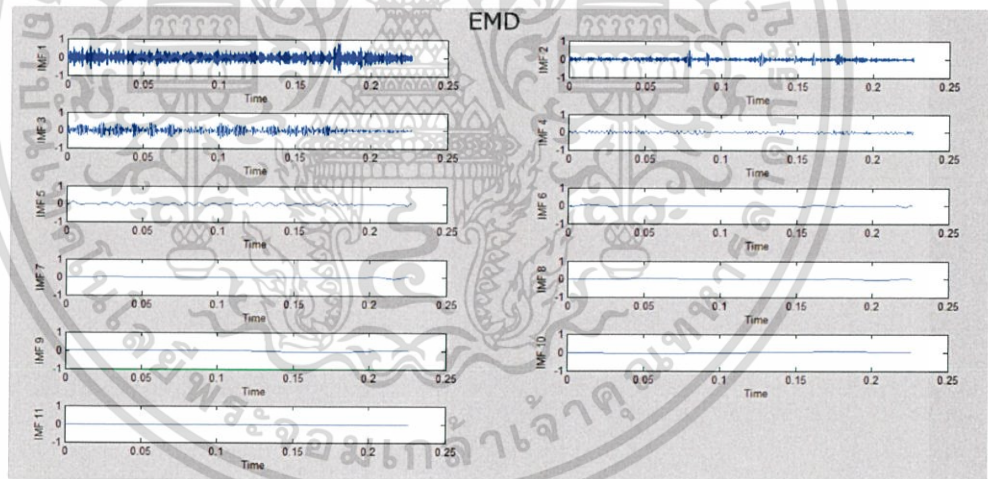
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 EMD

ทดลองนำสัญญาณสัญญาณเสียงเพลงในช่วงระยะเวลา 0.25 วินาที มาผ่านกระบวนการทำ EMD



รูปที่ 4.6 สัญญาณเสียงจากแหล่งกำเนิดผ่านการทำ EMD

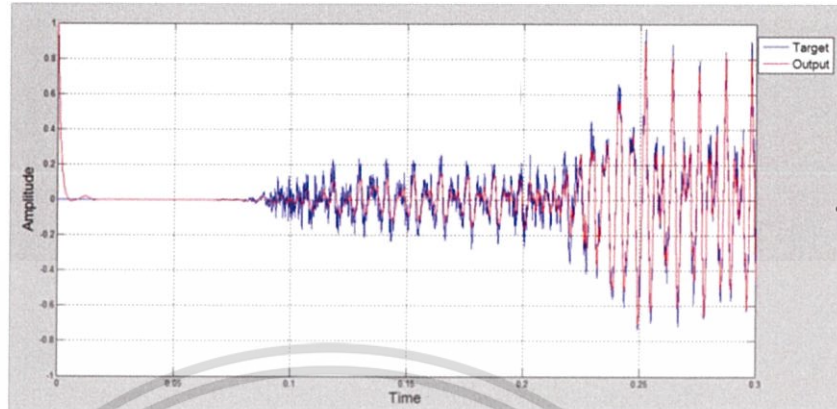


รูปที่ 4.7 สัญญาณเสียงจาก surrogate guitar ผ่านการทำ EMD

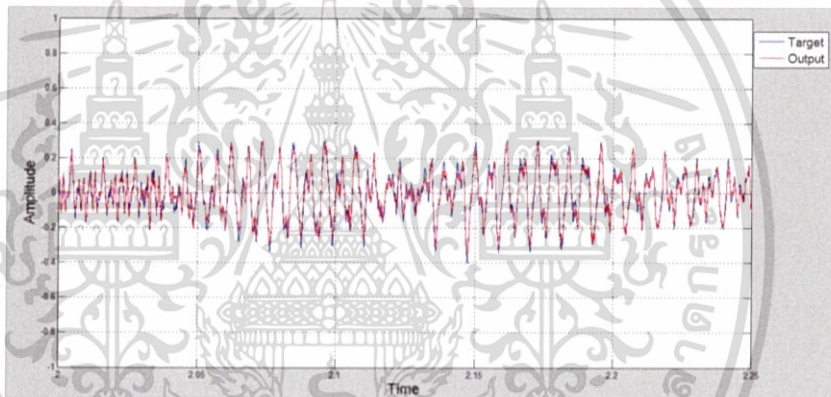
การทำ EMD จะเห็นได้ว่า ในขง IMF หลังๆ จะมีความละเอียดของแอมพลิจูดลดลง จนมีค่าประมาณ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 Neural Networks

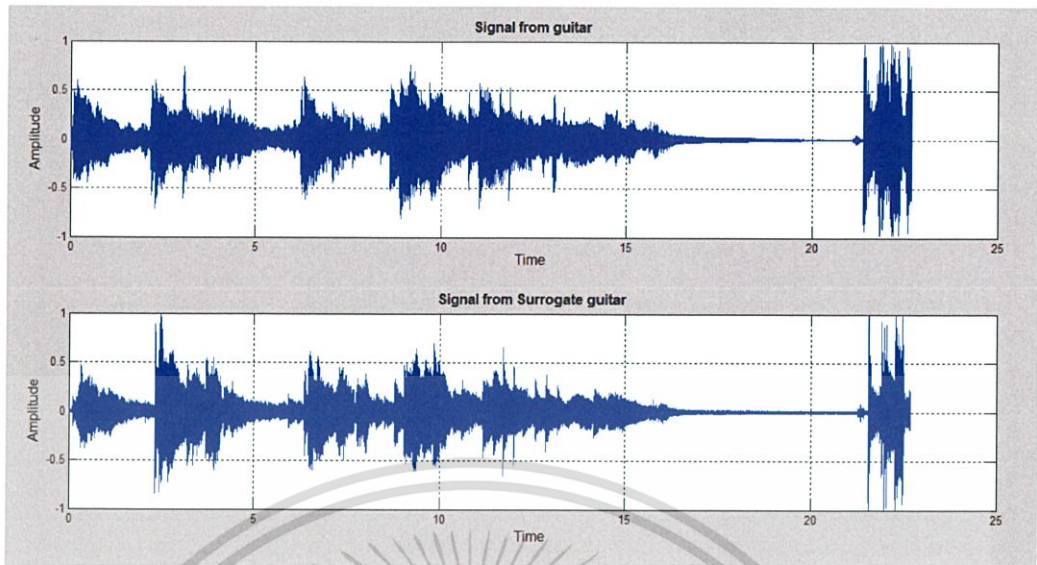


รูปที่ 4.8 สัญญาณเสียงที่ผ่านการทำ adaline ในช่วงวินาทีที่ 0-0.30 วินาที

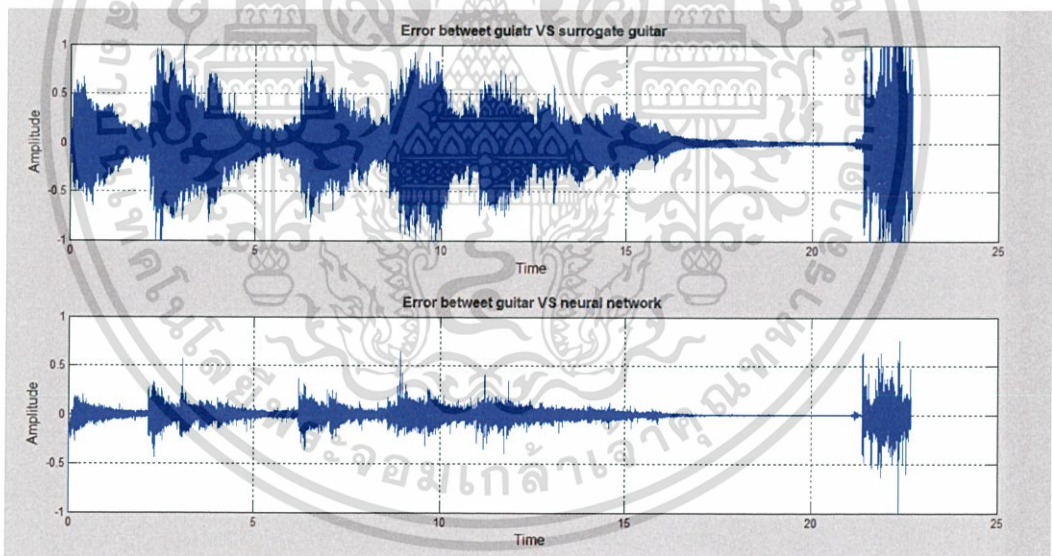


รูปที่ 4.9 สัญญาณเสียงที่ผ่านการทำ adaline ในช่วงวินาทีที่ 2 -2.25 วินาที

การทำ adaline neural networks พบว่าในช่วงวินาทีแรกสัญญาณเสียงจาก surrogate guitar ยังมีความเพี้ยน เมื่อผ่านไปช่วงหนึ่ง neural networks จะเรียนรู้สัญญาณที่มาจากกีตาร์ และจะปรับสัญญาณจาก surrogate guitar ให้เหมือนกับสัญญาณจากแหล่งกำเนิดเสียงกีตาร์

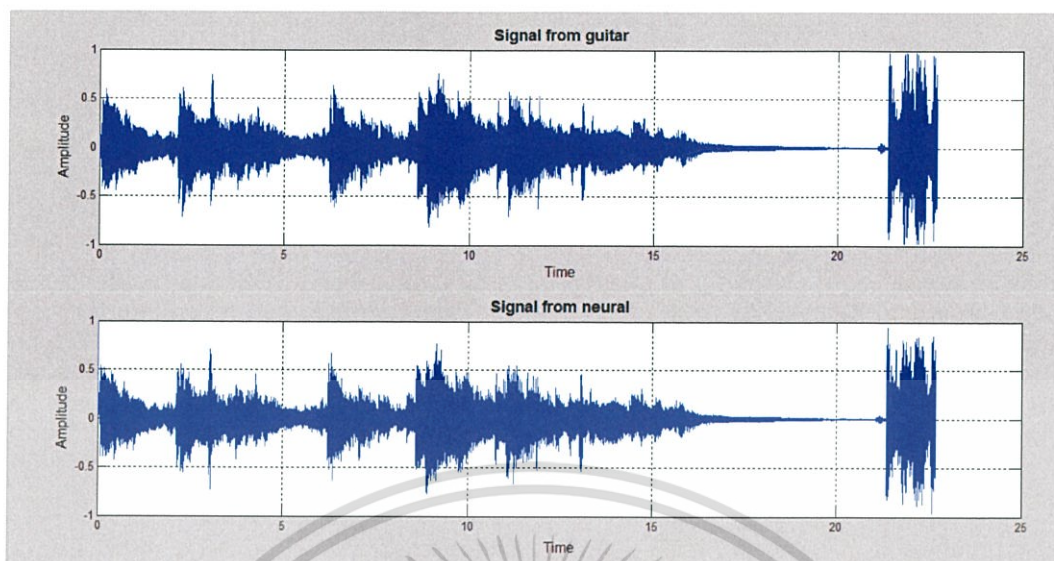


รูปที่ 4.10 สัญญาณจากแหล่งกำเนิดเสียง Guitar (รูปบน)
สัญญาณจาก Surrogate guitar (รูปล่าง)



รูปที่ 4.11 Error จากแหล่งกำเนิดกับ surrogate guitar (รูปบน)
Error จากการทำ neural networks (รูปล่าง)
เมื่อนำสัญญาณมาผ่าน neural networks พบว่าสัญญาณจะมี error ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 สัญญาณจากแหล่งกำเนิดเสียง Guitar (รูปบน)
 สัญญาณที่ผ่านการทำ neural networks (รูปล่าง)
 จะเห็นว่าเมื่อนำสัญญาณไปทำ neural สัญญาณที่ได้จะมีค่ากับสัญญาณจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในโครงการนี้ เป็นโครงการที่ศึกษาเกี่ยวกับการทดแทนเสียงกีตาร์แบบ real time ผู้จัดทำได้ใช้กีตาร์ Veelah D1-DEC เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณเสียงของกีตาร์เป็นกีตาร์ที่มีการติดตั้ง piezo pickup ภายในเพื่อรับสัญญาณเสียงกีตาร์ ส่งต่อไปประมวลผลใน computer จากนั้นส่งสัญญาณเสียงกีตาร์ต่อไปยังวงจร power amplifier เพื่อขับ actuator โดยนำลำโพงมาประยุกต์ใช้เป็น actuator และทำโครงจับยึด actuator กับกีตาร์เข้าด้วยกัน ผู้จัดทำได้ปรับปรุง surrogate guitar โดยการนำ guitar saddle ออกและแทนที่ด้วย piezo pickup แล้วปิดด้วยแผ่นไม้ที่มีความเรียบ เพื่อรองรับตัว actuator จากนั้นรับสัญญาณจาก piezo pickup ส่งต่อไปยังวงจร pre amplifier เพื่อปรับขนาดสัญญาณให้มีความเหมาะสมในการประมวลผลของ computer โดยส่วนของการประมวลผลประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ คือ Pre-emphasis, EMD และ neural networks โดยเมื่อสัญญาณผ่าน Pre-emphasis จะทำให้สัญญาณในช่วงความถี่ต่ำมีขนาดลดลง ส่วนสัญญาณในช่วงความถี่สูงมีขนาดมากขึ้น เมื่อนำสัญญาณผ่าน EMD เป็นกระบวนการวิเคราะห์ช่วงความถี่ของสัญญาณกีตาร์ที่ต้องการแก้ไข และนำสัญญาณไปปรับปรุงในส่วนของ neural networks

จากการทดลองเก็บข้อมูลสัญญาณเสียงกีตาร์และนำสัญญาณผ่านกระบวนการ neural networks แบบ adaline พบว่า สัญญาณเสียงกีตาร์ในช่วงแรก ยังมีความเพี้ยน เมื่อ neural networks เข้าสู่ steady state สัญญาณจาก surrogate guitar จะมีความคล้ายกับสัญญาณจากแหล่งกำเนิดเสียงกีตาร์

ในการประมวลผลแบบ real time ใน MATLAB จะต้องใช้ function DSP toolbox ซึ่งจะต้องสัค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง ผู้จัดทำจึงได้ใช้ Simulink ซึ่งเป็นอีกหนึ่งวิธีในการประมวลผลแบบ real time แต่การสร้างระบบใน Simulink นั้น จะต้องมีการเรียกใช้ m-code แต่ผู้จัดทำยังมีความรู้ไม่เพียงพอในกระบวนการดังกล่าว

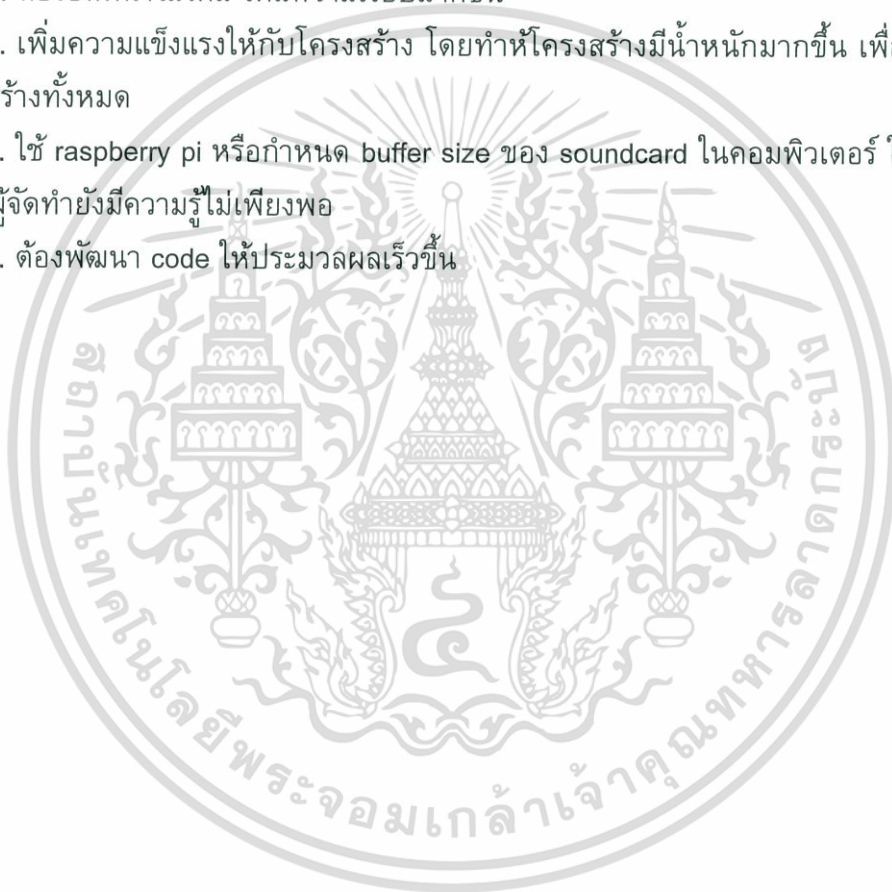
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน

1. ถ้าวาง actuator กดมากเกินไป จะทำให้ coil เสียรูปทรง ทำให้เสียงที่ออกมามีความเพี้ยนไป
2. จากการประยุกต์ใช้ actuator จากลำโพง ที่มีกำลังขับต่ำ ทำให้เสียงที่ออกมาไม่มีคุณภาพ
3. แผ่นไม้ที่ติดกับ bridge guitar มีความบาง จึงทำให้เกิดผิกรูเมื่อได้รับความชื้นจากอากาศเป็นเวลานาน ทำให้หน้าตัดทั้งแผ่นไม้เรียบ เมื่อใช้ไม้ที่ขนาดหนาขึ้น ตัวไม้จะทำหน้าที่เสมือน low pass filter ทำให้เสียงที่ความถี่สูงลดลง

4. โครงสร้างของฐานยัด actuator ยังไม่มีความเสถียร ระบบทั้งหมดจึงเกิดการสั่น ทำให้รายละเอียดของเสียงหายไป
5. สัญญาณจากเสียงกีตาร์ต้องผ่าน simulink ก่อน ทำให้เกิด delay
6. การประมวลผลของ software ทำให้เกิด delay เพิ่มขึ้น

5.3 แนวทางการแก้ไขปัญหา

1. เป็นปัญหาที่ยากจะแก้ไข เพราะต้องทดสอบหาจุดที่ดีที่สุดในการทดลอง
2. ซื้อ actuator ที่มีกำลังขับและมีค่า sensitivity สูง ซึ่งมีราคาแพง
3. ต้องขัดหน้าไม้ใหม่ ให้มีความเรียบมากขึ้น
4. เพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้าง โดยทำให้โครงสร้างมีน้ำหนักมากขึ้น เพื่อลดการสั่นของโครงสร้างทั้งหมด
5. ใช้ raspberry pi หรือกำหนด buffer size ของ soundcard ในคอมพิวเตอร์ ในการแก้ปัญหา นี้ แต่ผู้จัดทำยังมีความรู้ไม่เพียงพอ
6. ต้องพัฒนา code ให้ประมวลผลเร็วขึ้น



เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.zen-acoustic.com/sound-frequency.html>
- [2] <http://www.sut.ac.th/Engineering/Electrical/faculty/sarawut/stft.html>
- [3] <http://acousticthai.net/webboard/index.php?topic=26101.0>
- [4] <http://www.elec-za.com/>
- [5] <http://www.siambass.com/archive/index.php/t-29515.html>
- [6] <http://www.electronics-lab.com/project/20w-audio-amplifier-using>
- [7] <http://www.eleccircuit.com/amplifier-circuit/>
- [8] <http://www.zen-acoustic.com/sound-frequency.html>
- [9] <http://www.sut.ac.th/Engineering/Electrical/faculty/sarawut/stft.html>
- [10] J. C. Montesdeoca Contreras. "Audio noise canceler using Adaline Network in adaptive filter configuration" Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (EIConRusNW), 2015 IEEE NW Russia.
- [11] Zhaohua Wu and Norden E. Huang. "Ensemble Empirical Mode Decomposition : A Noise-Assisted Data Analysis Method" August 2005.
- [12] <http://home.npru.ac.th/sopapun/DS18.pdf>
- [13] https://en.wikipedia.org/wiki/Hilbert%E2%80%93Huang_transform#Empirical_mode_decomposition_28EMD.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Code แต่ละส่วน

1. Pre emphasis

```
x = filter([ 1 - 0.6], 1, u);
```

2. EMD

```
imfori = emd(dataA);
```

3. neural

```
numtap=3;
lr=0.1;
tol=0;
w=zeros(1,numtap);
b=0.1;
[ry,cy]=size(guitar);
n=1;
cUp=0;
ys = guitar;
ym = surrogate;
for k=numtap:1:cy
    for i=1:1:numtap
        p(i)=ys(k-(i-1))-ym(k-(i-1));
    end
    out(n)=sum(w.*p)+b;
    e(n)=ys(k)-out(n);
    if abs(e(n))>=tol
        % if error increase more than tolerance
        cUp=cUp+1;
        for i=1:1:numtap
            w(i)=w(i)+lr*2*e(n)*p(i);
        end
        b=b+lr*2*e(n);
    end
end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

n=n+1;
end
end

```

Code ทั้งหมด

```
clear, clc, close all
```

```
% surrogate guitar
```

```
load('001data.mat')
```

```
y001 = y001(:, 1);
```

```
% music from guitar
```

```
[x, fs] = audioread('001.flac');
```

```
xx = x(:, 1);
```

```
% signal parameter
```

```
xlen1 = (length(xx));
```

```
t1 = (0:xlen1-1)/fs;
```

```
dataA = xx(1:1000,1);
```

```
xlen2 = (length(dataA));
```

```
t2 = (0:xlen2-1)/fs;
```

```
winpts = 8000;
```

```
numtap=7;
```

```
nn=numtap-1;
```

```
tol=0;
```

```
[ry,cy]=size(dataA);
```

```
cUp=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

R1=1; R2=winpts;

T1=1; T2=8000;

for A=1:1000
    tic
        dataA = xx(R1:R2,1);

    R1=R1+1000;

    R2=R2+1000;

    imfori = emd(dataA);
    [size1, sizeori] = size(imfori);

    if A == 1
        dataB = y001(1:8000,1);

    elseif A == 2
        dataB = [y001(1001:8000,1)
                mysum'];

    elseif A == 3
        dataB = [y001(2001:8000,1)
                soun'];

    elseif A == 4
        dataB = [y001(3001:8000,1)
                soun'];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

elseif A == 5
    dataB = [y001(4001:8000,1)
            soun'];

elseif A == 6
    dataB = [y001(5001:8000,1)
            soun'];

elseif A == 7
    dataB = [y001(6001:8000,1)
            soun'];

elseif A == 8
    dataB = [y001(7001:8000,1)
            soun'];

elseif A > 8
    dataB = soun(1,T1:T2);
    T1 = T1+1000;
    T2 = T2+1000;

end

imfnew = emd(dataB);
[size2, sizenew] = size(imfnew);
if sizenew < sizeori
    j = sizeori-sizenew ;
    switch j
    case 1
        imfnew(end+1) = {zeros(1,winpts)};
    case 2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for i = 1:2
    imfnew(end+1) = {zeros(1,winpts)};
end
case 3
    for i = 1:3
        imfnew(end+1) = {zeros(1,winpts)};
    end
case 4
    for i = 1:4
        imfnew(end+1) = {zeros(1,winpts)};
    end
case 4
    for i = 1:4
        imfnew(end+1) = {zeros(1,winpts)};
    end
case 5
    for i = 1:5
        imfnew(end+1) = {zeros(1,winpts)};
    end
case 6
    for i = 1:6
        imfnew(end+1) = {zeros(1,winpts)};
    end
case 7
    for i = 1:7
        imfnew(end+1) = {zeros(1,winpts)};
    end
case 8
    for i = 1:8
        imfnew(end+1) = {zeros(1,winpts)};
    end
end
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

sizenew = sizeori ;

elseif sizenew > sizeori
    jj = sizenew-sizeori ;
    switch jj
        case 1
            imfori(end+1) = {zeros(1,winpts)};
        case 2
            for i = 1:2
                imfori(end+1) = {zeros(1,winpts)};
            end
        case 3
            for i = 1:3
                imfori(end+1) = {zeros(1,winpts)};
            end
        case 4
            for i = 1:4
                imfori(end+1) = {zeros(1,winpts)};
            end
        case 5
            for i = 1:5
                imfori(end+1) = {zeros(1,winpts)};
            end
        case 6
            for i = 1:6
                imfori(end+1) = {zeros(1,winpts)};
            end
        case 7
            for i = 1:7
                imfori(end+1) = {zeros(1,winpts)};
            end
        case 8

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        for i = 1:8
            imfori(end+1) = {zeros(1,winpts)};
            end
        end
        sizeori = sizenew ;
    end
end

```

```

h = zeros(1,1000);
hh = zeros(1,1000);

```

```

for pp = 1: sizeori
    n=1;
    ysa = cat(1,imfori{pp}(1,1:1000));
    ysb = cat(1,imfori{pp}(1,1001:2000));
    ysc = cat(1,imfori{pp}(1,2001:3000));
    ysd = cat(1,imfori{pp}(1,3001:4000));
    yse = cat(1,imfori{pp}(1,4001:5000));
    ysf = cat(1,imfori{pp}(1,5001:6000));
    ysg = cat(1,imfori{pp}(1,6001:7000));
    ysh = cat(1,imfori{pp}(1,7001:8000));

    yma = cat(1,imfnew{pp}(1,1:1000));
    ymb = cat(1,imfnew{pp}(1,1001:2000));
    ymc = cat(1,imfnew{pp}(1,2001:3000));
    ymd = cat(1,imfnew{pp}(1,3001:4000));
    yme = cat(1,imfnew{pp}(1,4001:5000));
    ymf = cat(1,imfnew{pp}(1,5001:6000));
    ymg = cat(1,imfnew{pp}(1,6001:7000));
    ymh = cat(1,imfnew{pp}(1,7001:8000));

    if pp<5
        lr=0.1;
    end
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

elseif pp>=5 && pp<9
    lr=0.05;
elseif pp>=9 && pp<11
    lr=0.005;
elseif pp>=11
    lr=0.0001;
end

if A==1
    w=zeros(1,numtap);
    b=0.1;
else
    w = weigh(:,pp)';
    weigh(1:numtap,20) = zeros(1);
    b = bias(1,pp);
    bias(1,20) =0.1;
end

for k=1:1:ry
    p = [ysa(k)-yma(k) ysb(k)-ymb(k) ysc(k)-ymc(k) ysd(k)-ymd(k) yse(k)-yme(k) ysf(k)-ymf(k) ysg(k)-ymg(k)];
    out(n)=sum(w.*p)+b;
    e(n)=ysh(k)-out(n);

    if abs(e(n))>=tol
        % if error increase more than tolerance
        cUp=cUp+1;
    end

    for i=1:1:numtap
        w(i)=w(i)+lr*2*e(n)*p(i);
    end
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        b=b+lr*2*e(n);
        end

    n=n+1;
end

if A==1 && pp==1
    weigh = w' ;
    bias = b;

elseif A==1 && pp>1
    weigh = [weigh w'];
    bias = [bias b];
elseif A>1
    weigh(:,pp) = w';
    bias(1,pp) = b;
end

eval(sprintf('h(%d,:) = out;',pp));
eval(sprintf('hh(%d,:) = e;',pp));
mysum = sum(h);
mysume = sum(hh);
end

if A==1
    soun = mysum;
elseif A>1
    soun = [soun mysum];
end

if A==1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
error = mysume;  
elseif A>1  
    error = [error mysume];  
end  
end
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LMx58, LMx58x, LM2904, LM2904V Dual Operational Amplifiers

1 Features

- Wide Supply Ranges
 - Single Supply: 3 V to 32 V (26 V for LM2904)
 - Dual Supplies: ± 1.5 V to ± 16 V (± 13 V for LM2904)
- Low Supply-Current Drain, Independent of Supply Voltage: 0.7 mA Typical
- Wide Unity Gain Bandwidth: 0.7 MHz
- Common-Mode Input Voltage Range Includes Ground, Allowing Direct Sensing Near Ground
- Low Input Bias and Offset Parameters
 - Input Offset Voltage: 3 mV Typical
A Versions: 2 mV Typical
 - Input Offset Current: 2 nA Typical
 - Input Bias Current: 20 nA Typical
A Versions: 15 nA Typical
- Differential Input Voltage Range Equal to Maximum-Rated Supply Voltage: 32 V (26 V for LM2904)
- Open-Loop Differential Voltage Gain: 100 dB Typical
- Internal Frequency Compensation
- On Products Compliant to MIL-PRF-38535, All Parameters are Tested Unless Otherwise Noted. On All Other Products, Production Processing Does Not Necessarily Include Testing of All Parameters.

2 Applications

- Blu-ray Players and Home Theaters
- Chemical and Gas Sensors
- DVD Recorder and Players
- Digital Multimeter: Bench and Systems
- Digital Multimeter: Handhelds
- Field Transmitter: Temperature Sensors
- Motor Control: AC Induction, Brushed DC, Brushless DC, High-Voltage, Low-Voltage, Permanent Magnet, and Stepper Motor
- Oscilloscopes
- TV: LCD and Digital
- Temperature Sensors or Controllers Using Modbus
- Weigh Scales

3 Description

These devices consist of two independent, high-gain frequency-compensated operational amplifiers designed to operate from a single supply or split supply over a wide range of voltages.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LMx58, LMx58x, LM2904, LM2904V	VSSOP (8)	3.00 mm × 3.00 mm
	SOIC (8)	4.90 mm × 3.90 mm
	SO (8)	5.20 mm × 5.30 mm
	TSSOP (8)	3.00 mm × 4.40 mm
LMx58, LMx58x, LM2904V	PDIP (8)	9.81 mm × 6.35 mm
	CDIP (8)	9.60 mm × 6.67 mm
	LCCC (20)	8.89 mm × 8.89 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Symbol (Each Amplifier)



Table of Contents

1 Features	1	8.1 Overview	12
2 Applications	1	8.2 Functional Block Diagram	12
3 Description	1	8.3 Feature Description	13
4 Revision History	2	8.4 Device Functional Modes	13
5 Pin Configuration and Functions	3	9 Application and Implementation	14
6 Specifications	4	9.1 Application Information	14
6.1 Absolute Maximum Ratings	4	9.2 Typical Application	14
6.2 ESD Ratings	4	10 Power Supply Recommendations	15
6.3 Recommended Operating Conditions	4	11 Layout	15
6.4 Thermal Information	5	11.1 Layout Guidelines	15
6.5 Electrical Characteristics for LMx58	5	11.2 Layout Examples	16
6.6 Electrical Characteristics for LM2904	6	12 Device and Documentation Support	17
6.7 Electrical Characteristics for LM158A and LM258A ..	6	12.1 Documentation Support	17
6.8 Electrical Characteristics for LM358A	7	12.2 Related Links	17
6.9 Operating Conditions	8	12.3 Trademarks	17
6.10 Typical Characteristics	9	12.4 Electrostatic Discharge Caution	17
7 Parameter Measurement Information	11	12.5 Glossary	17
8 Detailed Description	12	13 Mechanical, Packaging, and Orderable Information	17

4 Revision History

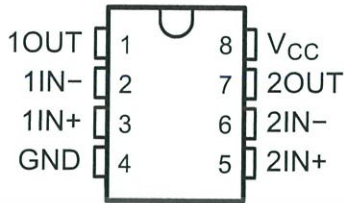
NOTE: Page numbers for previous revisions may differ from page numbers in the current version.

Changes from Revision S (January 2014) to Revision T	Page
• Added <i>Applications</i> section, <i>ESD Ratings</i> table, <i>Feature Description</i> section, <i>Device Functional Modes</i> , <i>Application and Implementation</i> section, <i>Power Supply Recommendations</i> section, <i>Layout</i> section, <i>Device and Documentation Support</i> section, and <i>Mechanical, Packaging, and Orderable Information</i> section	1

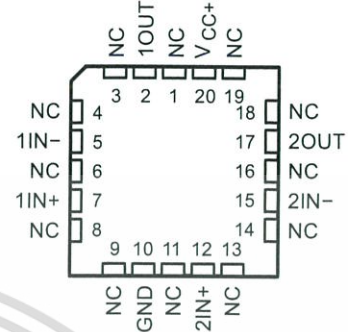
Changes from Revision R (July 2010) to Revision S	Page
• Converted this data sheet from the QS format to DocZone using the PDF on the web	1
• Deleted <i>Ordering Information</i> table	1
• Updated <i>Features</i> to include Military Disclaimer	1
• Added Typical Characteristics section	9
• Added ESD warning	17

5 Pin Configuration and Functions

D, DGK, P, PS, PW and JG Package
8-Pin SOIC, VSSOP, PDIP, SO, TSSOP and CDIP
(Top View)



FK Package
20-Pin LCCC
(Top View)



NC - No internal connection

Pin Functions

NAME	PIN		I/O	DESCRIPTION
	LCCC NO.	SOIC, SSOP, CDIP, PDIP, SO, TSSOP, CFP NO.		
1IN-	5	2	I	Negative input
1IN+	7	3	I	Positive input
1OUT	2	1	O	Output
2IN-	15	6	I	Negative input
2IN+	12	5	I	Positive input
2OUT	17	7	O	Output
GND	10	4	—	Ground
NC	1	—	—	Do not connect
	3			
	4			
	6			
	8			
	9			
	11			
	13			
	14			
16				
18				
19				
V _{CC}	—	8	—	Power supply
V _{CC+}	20	—	—	Power supply

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)⁽¹⁾

		LMx58, LMx58x, LM2904V		LM2904		UNIT
		MIN	MAX	MIN	MAX	
V _{CC}	Supply voltage ⁽²⁾	-0.3	±16 or 32	-0.3	±13 or 26	V
V _{ID}	Differential input voltage ⁽³⁾	-32	32	-26	26	V
V _I	either input Input voltage	-0.3	32	-0.3	26	V
Duration of output short circuit (one amplifier) to ground at (or below) T _A = 25°C, V _{CC} ≤ 15 V ⁽⁴⁾		Unlimited		Unlimited		s
T _A	Operating free air temperature	LM158, LM158A	-55	125		°C
		LM258, LM258A	-25	85		
		LM358, LM358A	0	70		
		LM2904	-40	125	-40	
T _J	Operating virtual junction temperature	150		150		°C
	Case temperature for 60 seconds	FK package	260			°C
	Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds	JG package	300	300		°C
T _{stg}	Storage temperature	-65	150	-65	150	°C

- (1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions* is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) All voltage values (except differential voltages and V_{CC} specified for the measurement of I_{OS}) are with respect to the network GND.
- (3) Differential voltages are at IN+, with respect to IN-.
- (4) Short circuits from outputs to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction.

6.2 ESD Ratings

		VALUE	UNIT
V _(ESD)	Electrostatic discharge	Human-body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 ⁽¹⁾	±500
		Charged-device model (CDM), per JEDEC specification JESD22-C101	±1000

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

6.3 Recommended Operating Conditions

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

		LMx58, LMx58x, LM2904V		LM2904		UNIT	
		MIN	MAX	MIN	MAX		
V _{CC}	Supply voltage	3	30	3	26	V	
V _{CM}	Common-mode voltage	0	V _{CC} - 2	0	V _{CC} - 2	V	
T _A	Operating free air temperature	LM158	-55	125		°C	
		LM2904	-40	125	-40		125
		LM358	0	70			
		LM258	-25	85			

6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾	LMx58, LMx58x, LM2904V, LM2904						LMx58, LMx58x, LM2904 V	LMx58, LMx58x, LM2904 V	UNIT
	D (SOIC)	DGK (VSSOP)	P (PDIP)	PS (SO)	PW (TSSOP)	FK (LCCC)	JG (CDIP)		
	8 PINS	8 PINS	8 PINS	8 PINS	8 PINS	20 PINS	8 PINS		
R _{θJA}	Junction-to-ambient thermal resistance	97	172	85	95	149	—	—	°C/W
R _{θJC(top)}	Junction-to-case (top) thermal resistance	72.2	—	—	—	—	5.61	14.5	

(1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *IC Package Thermal Metrics* application report, SPRA953.

6.5 Electrical Characteristics for LMx58

at specified free-air temperature, V_{CC} = 5 V (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ⁽¹⁾	T _A ⁽²⁾	LM158 LM258			LM358			UNIT
			MIN	TYP ⁽³⁾	MAX	MIN	TYP ⁽³⁾	MAX	
V _{IO}	V _{CC} = 5 V to MAX, V _{IC} = V _{ICR(min)} , V _O = 1.4 V	25°C	3		5	3		7	mV
		Full range			7			9	
αV _{IO}		Full range		7			7		μV/°C
I _{IO}	V _O = 1.4 V	25°C	–2		30	2		50	nA
		Full range			100			150	
αI _{IO}		Full range		10			10		pA/°C
I _{IB}	V _O = 1.4 V	25°C	–20		–150	–20		–250	nA
		Full range			–300			–500	
V _{ICR}	V _{CC} = 5 V to MAX	25°C	0 to V _{CC} – 1.5			0 to V _{CC} – 1.5			V
		Full range		0 to V _{CC} – 2			0 to V _{CC} – 2		
V _{OH}	R _L ≥ 2 kΩ	25°C							V
	R _L ≥ 10 kΩ	25°C							
	V _{CC} = MAX	Full range		26		26			
V _{OL}	R _L ≥ 10 kΩ	25°C		27	28		27	28	mV
		Full range		5	20		5	20	
A _{VD}	V _{CC} = 15 V, V _O = 1 V to 11 V, R _L ≥ 2 kΩ	25°C	50		100	25		100	V/mV
		Full range		25		15			
CMRR	V _{CC} = 5 V to MAX, V _{IC} = V _{ICR(min)}	25°C	70		80	65		80	dB
k _{SVR}	V _{CC} = 5 V to MAX	25°C	65		100	65		100	dB
V _{O1} /V _{O2}	f = 1 kHz to 20 kHz	25°C		120			120		dB
I _O	V _{CC} = 15 V, V _{ID} = 1 V, V _O = 0	Source	25°C	–20	–30	–20	–30		mA
			Full range	–10		–10			
	V _{CC} = 15 V, V _{ID} = –1 V, V _O = 15 V	Sink	25°C	10	20	10	20		
			Full range	5		5			
	V _{ID} = –1 V, V _O = 200 mV	25°C	12	30	12	30		μA	
I _{OS}	V _{CC} at 5 V, GND at –5 V, V _O = 0	25°C		±40	±60		±40	±60	mA
I _{CC}	V _O = 2.5 V, No load	Full range		0.7	1.2		0.7	1.2	mA
	V _{CC} = MAX, V _O = 0.5 V _{CC} , No load	Full range		1	2		1	2	

(1) All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified. MAX V_{CC} for testing purposes is 26 V for LM2902 and 30 V for the others.

(2) Full range is –55°C to 125°C for LM158, –25°C to 85°C for LM258, and 0°C to 70°C for LM358, and –40°C to 125°C for LM2904.

(3) All typical values are at T_A = 25°C

6.6 Electrical Characteristics for LM2904

at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ⁽¹⁾		T_A ⁽²⁾	LM2904			UNIT
				MIN	TYP ⁽³⁾	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX,}$ $V_{IC} = V_{ICR(min)},$ $V_O = 1.4\text{ V}$	Non-A-suffix devices	25°C		3	7	mV
			Full range			10	
		A-suffix devices	25°C		1	2	
			Full range			4	
αV_{IO} Average temperature coefficient of input offset voltage			Full range		7	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
I_{IO} Input offset current	$V_O = 1.4\text{ V}$	Non-V device	25°C		2	50	nA
			Full range			300	
		V-suffix device	25°C		2	50	
			Full range			150	
αI_{IO} Average temperature coefficient of input offset current			Full range		10	$\text{pA}/^\circ\text{C}$	
I_{IB} Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$		25°C		-20	-250	nA
			Full range			-500	
V_{ICR} Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX}$		25°C		0 to $V_{CC} - 1.5$		V
			Full range		0 to $V_{CC} - 2$		
V_{OH} High-level output voltage	$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = \text{MAX,}$ Non-V device	$R_L = 2\text{ k}\Omega$	25°C		$V_{CC} - 1.5$		V
			Full range		22		
		$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	25°C		23	24	
			Full range		26		
		$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	25°C		27	28	
V_{OL} Low-level output voltage	$R_L \leq 10\text{ k}\Omega$		Full range		5	20	mV
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$V_{CC} = 15\text{ V,}$ $V_O = 1\text{ V to }11\text{ V,}$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$		25°C		25	100	V/mV
			Full range		15		
CMRR Common-mode rejection ratio	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX,}$ $V_{IC} = V_{ICR(min)}$	Non-V device	25°C		50	80	dB
		V-suffix device	25°C		65	80	
k_{SVR} Supply-voltage rejection ratio ($\Delta V_{CC} / \Delta V_{IO}$)	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX}$		25°C		65	100	dB
V_{O1} / V_{O2} Crosstalk attenuation	$f = 1\text{ kHz to }20\text{ kHz}$		25°C			120	dB
I_O Output current	$V_{CC} = 15\text{ V,}$ $V_{IO} = 1\text{ V,}$ $V_O = 0$	Source	25°C		-20	-30	mA
			Full range			-10	
	$V_{CC} = 15\text{ V,}$ $V_{IO} = -1\text{ V,}$ $V_O = 15\text{ V}$	Sink	25°C		10	20	
			Full range			5	
	$V_{IO} = -1\text{ V, } V_O = 200\text{ mV}$	Non-V device	25°C			30	
		V-suffix device	25°C			12	
I_{OS} Short-circuit output current	V_{CC} at 5 V, $V_O = 0$, GND at -5 V		25°C		± 40	± 60	mA
I_{CC} Supply current (four amplifiers)	$V_O = 2.5\text{ V, No load}$		Full range		0.7	1.2	mA
	$V_{CC} = \text{MAX, } V_O = 0.5 V_{CC, \text{ No load}}$		Full range		1	2	

- (1) All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified. MAX V_{CC} for testing purposes is 26 V for LM2902 and 32 V for LM2902V.
- (2) Full range is -55°C to 125°C for LM158, -25°C to 85°C for LM258, 0°C to 70°C for LM358, and -40°C to 125°C for LM2904.
- (3) All typical values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

6.7 Electrical Characteristics for LM158A and LM258A

at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ⁽¹⁾	T_A ⁽¹⁾	LM158A			LM258A			UNIT
			MIN	TYP ⁽²⁾	MAX	MIN	TYP ⁽²⁾	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$V_{CC} = 5\text{ V to }30\text{ V,}$ $V_{IC} = V_{ICR(min)},$ $V_O = 1.4\text{ V}$	25°C			2		2	3	mV
		Full range			4			4	

- (1) All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified. MAX V_{CC} for testing purposes is 26 V for LM2904 and 30 V for others.
- (2) All typical values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

Electrical Characteristics for LM158A and LM258A (continued)

at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ⁽¹⁾	T_A ⁽¹⁾	LM158A			LM258A			UNIT		
			MIN	TYP ⁽²⁾	MAX	MIN	TYP ⁽²⁾	MAX			
αV_{IO}	Average temperature coefficient of input offset voltage	Full range		7	15 ⁽³⁾		7	15	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$		
I_{IO}	Input offset current	25°C		2	10		2	15	nA		
		Full range			30			30			
αI_{IO}	Average temperature coefficient of input offset current	Full range		10	200		10	200	$\text{pA}/^\circ\text{C}$		
I_{IB}	Input bias current	25°C		-15	-50		-15	-80	nA		
		Full range			-100			-100			
V_{ICR}	Common-mode input voltage range	25°C		0 to $V_{CC} - 1.5$			0 to $V_{CC} - 1.5$		V		
		Full range		0 to $V_{CC} - 2$			0 to $V_{CC} - 2$				
V_{OH}	High-level output voltage	25°C	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	$V_{CC} - 1.5$			$V_{CC} - 1.5$			V	
		Full range	$V_{CC} = 30\text{ V}$	$R_L = 2\text{ k}\Omega$	26		26				
			$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$		27	28	27	28			
V_{OL}	Low-level output voltage	Full range	$R_L \leq 10\text{ k}\Omega$		5	20		5	20	mV	
A_{VD}	Large-signal differential voltage amplification	25°C	$V_{CC} = 15\text{ V}, V_O = 1\text{ V to }11\text{ V}, R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	50	100		50	100	V/mV		
		Full range		25		25					
CMRR	Common-mode rejection ratio	25°C		70	80		70	80	dB		
k_{SVR}	Supply-voltage rejection ratio ($\Delta V_O / \Delta V_{IO}$)	25°C		65	100		65	100	dB		
V_{O1} / V_{O2}	Crosstalk attenuation	$f = 1\text{ kHz to }20\text{ kHz}$	25°C		120		120		dB		
I_O	Output current	25°C	$V_{CC} = 15\text{ V}, V_{ID} = 1\text{ V}, V_O = 0$	Source	-20	-30	-60	-20	-30	-60	mA
		Full range			-10		-10				
			25°C	$V_{CC} = 15\text{ V}, V_{ID} = -1\text{ V}, V_O = 15\text{ V}$	Sink	10	20		10	20	
		Full range			5		5				
		25°C	$V_{ID} = -1\text{ V}, V_O = 200\text{ mV}$		12	30		12	30	μA	
I_{OS}	Short-circuit output current	25°C	V_{CC} at 5 V, GND at -5 V, $V_O = 0$		± 40	± 60		± 40	± 60	mA	
I_{CC}	Supply current (four amplifiers)	Full range	$V_O = 2.5\text{ V}, \text{No load}$		0.7	1.2		0.7	1.2	mA	
		Full range	$V_{CC} = \text{MAX V}, V_O = 0.5\text{ V}, \text{No load}$		1	2		1	2		

(3) On products compliant to MIL-PRF-38535, this parameter is not production tested.

6.8 Electrical Characteristics for LM358A

at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ⁽¹⁾	T_A ⁽²⁾	LM358A			UNIT	
			MIN	TYP ⁽³⁾	MAX		
V_{IO}	Input offset voltage	25°C		2	3	mV	
		Full range			5		
αV_{IO}	Average temperature coefficient of input offset voltage	Full range		7	20	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$	
I_{IO}	Input offset current	25°C	$V_O = 1.4\text{ V}$		2	30	nA
		Full range				75	
αI_{IO}	Average temperature coefficient of input offset current	Full range		10	300	$\text{pA}/^\circ\text{C}$	

- All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified. MAX V_{CC} for testing purposes is 26 V for LM2904 and 30 V for others.
- All characteristics are measured under open-loop conditions, with zero common-mode input voltage, unless otherwise specified. MAX V_{CC} for testing purposes is 26 V for LM2904 and 30 V for others.
- All typical values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

Electrical Characteristics for LM358A (continued)

at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ⁽¹⁾		T_A ⁽²⁾	LM358A			UNIT
				MIN	TYP ⁽³⁾	MAX	
I_{IB} Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$		25°C		-15	-100	nA
			Full range			-200	
V_{ICR} Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 30\text{ V}$		25°C	0 to $V_{CC} - 1.5$			V
			Full range	0 to $V_{CC} - 2$			
V_{OH} High-level output voltage	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = 30\text{ V}$		25°C	$V_{CC} - 1.5$			V
			Full range	$R_L = 2\text{ k}\Omega$	26		
				$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	27		
V_{OL} Low-level output voltage	$R_L \leq 10\text{ k}\Omega$		Full range	5	20	mV	
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_O = 1\text{ V to }11\text{ V}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$		25°C	25	100	V/mV	
			Full range	15			
CMRR Common-mode rejection ratio			25°C	65	80	dB	
k_{SVR} Supply-voltage rejection ratio ($\Delta V_{DD} / \Delta V_{IO}$)			25°C	65	100	dB	
V_{O1} / V_{O2} Crosstalk attenuation	$f = 1\text{ kHz to }20\text{ kHz}$		25°C		120	dB	
I_O Output current	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_{ID} = 1\text{ V}$, $V_O = 0$	Source	25°C	-20	-30	-60	
			Full range	-10			
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $V_{ID} = -1\text{ V}$, $V_O = 15\text{ V}$	Sink	25°C	10	20	mA	
			Full range	5			
$V_{ID} = -1\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$		25°C		30	μA		
I_{OS} Short-circuit output current	V_{CC} at 5 V, GND at -5 V, $V_O = 0$		25°C	± 40	± 60	mA	
I_{CC} Supply current (four amplifiers)	$V_O = 2.5\text{ V}$, No load		Full range	0.7	1.2	mA	
	$V_{CC} = \text{MAX V}$, $V_O = 0.5\text{ V}$, No load		Full range	1	2		

6.9 Operating Conditions

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

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TYP	UNIT
SR Slew rate at unity gain	$R_L = 1\text{ M}\Omega$, $C_L = 30\text{ pF}$, $V_I = \pm 10\text{ V}$ (see Figure 11)	0.3	V/ μs
B_1 Unity-gain bandwidth	$R_L = 1\text{ M}\Omega$, $C_L = 20\text{ pF}$ (see Figure 11)	0.7	MHz
V_n Equivalent input noise voltage	$R_S = 100\ \Omega$, $V_I = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ kHz}$ (see Figure 12)	40	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$

6.10 Typical Characteristics

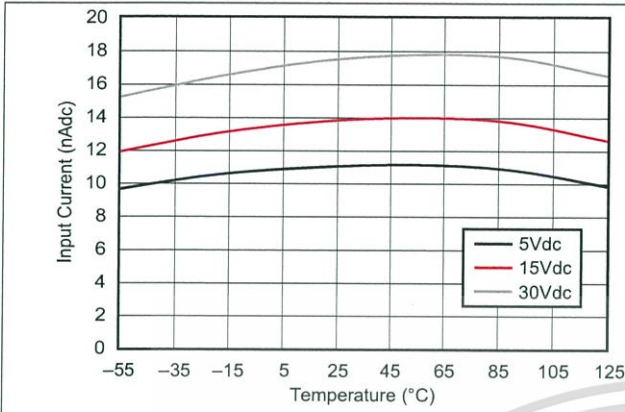


Figure 1. Input Current vs. Temperature

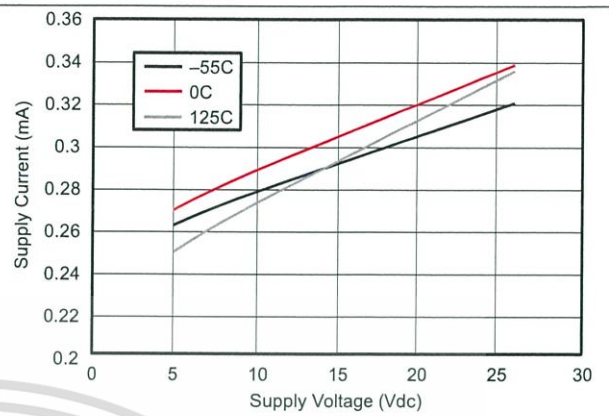


Figure 2. Supply Current vs. Supply Voltage

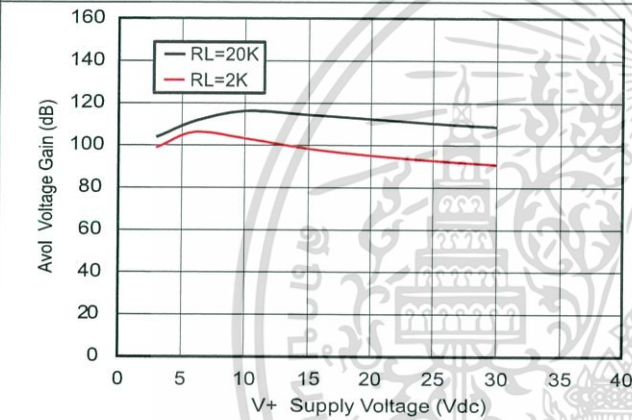


Figure 3. Voltage Gain vs. Supply Voltage

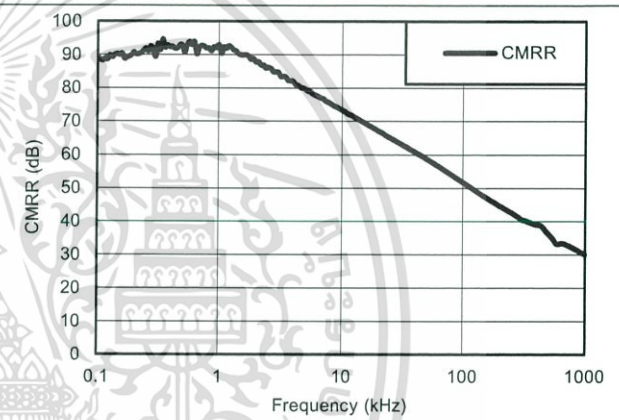


Figure 4. Common-mode Rejection Ratio vs. Frequency

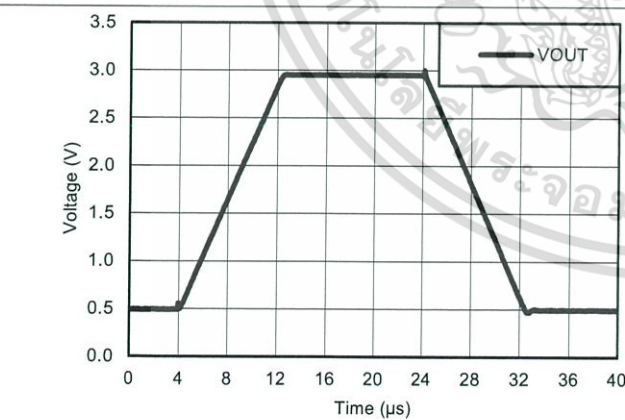


Figure 5. Voltage Follower Large Signal Response (50 pF)

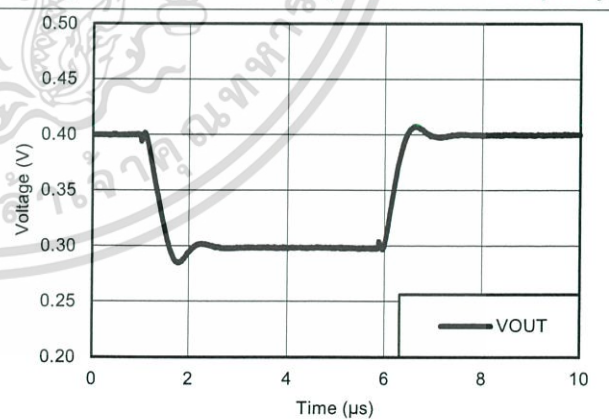


Figure 6. Voltage Follower Small Signal Response (50 pF)

Typical Characteristics (continued)

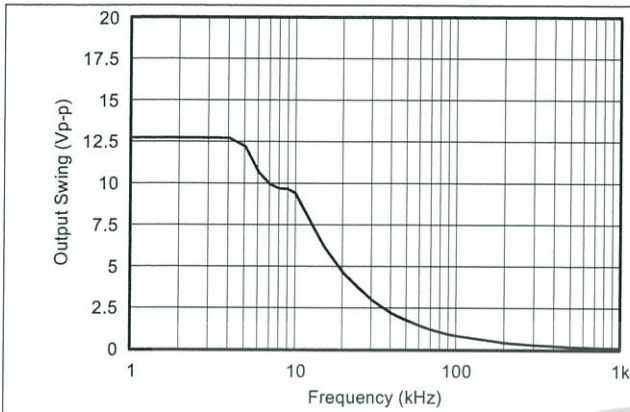


Figure 7. Maximum Output Swing vs. Frequency
($V_{CC} = 15\text{ V}$)

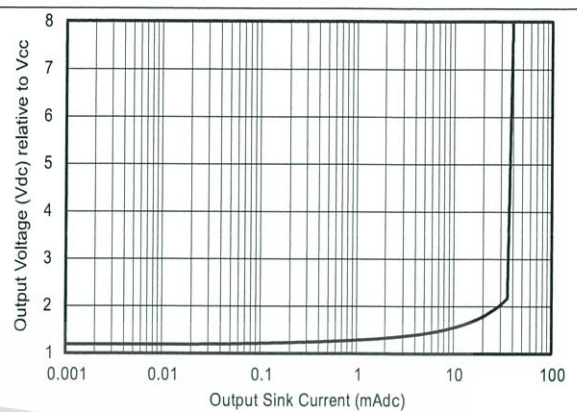


Figure 8. Output Sourcing Characteristics

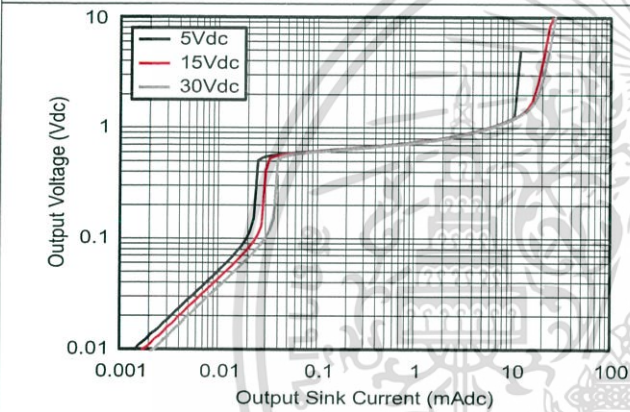


Figure 9. Output Sinking Characteristics

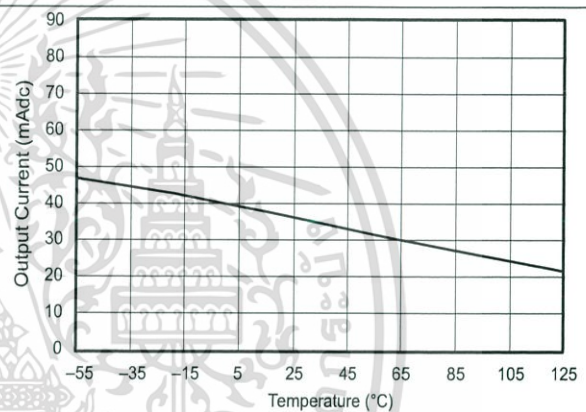


Figure 10. Source Current Limiting

7 Parameter Measurement Information

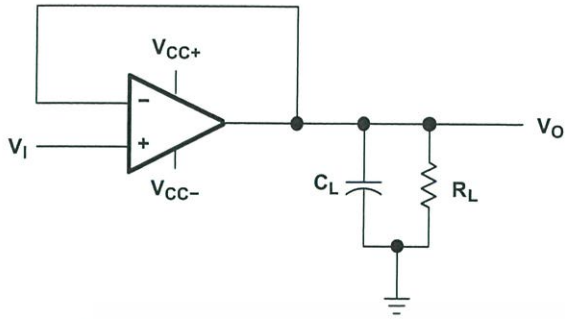


Figure 11. Unity-Gain Amplifier

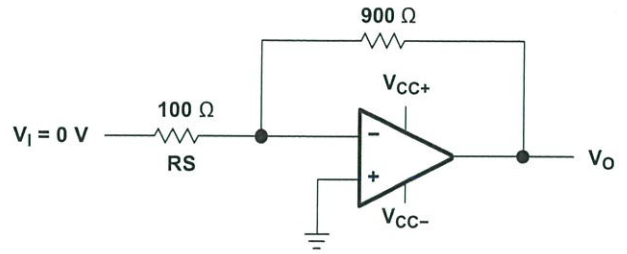


Figure 12. Noise-Test Circuit



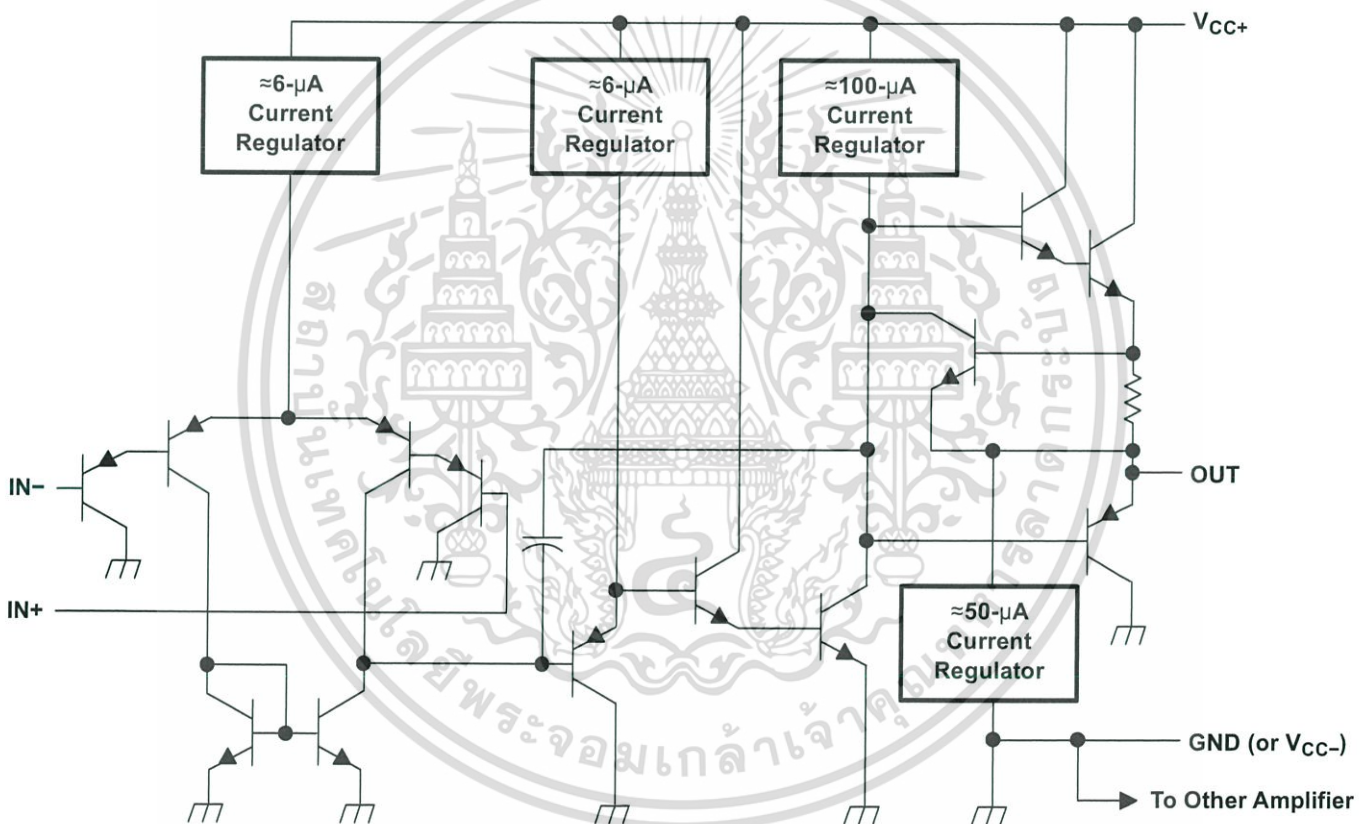
8 Detailed Description

8.1 Overview

These devices consist of two independent, high-gain frequency-compensated operational amplifiers designed to operate from a single supply over a wide range of voltages. Operation from split supplies also is possible if the difference between the two supplies is 3 V to 32 V (3 V to 26 V for the LM2904 device), and V_{CC} is at least 1.5 V more positive than the input common-mode voltage. The low supply-current drain is independent of the magnitude of the supply voltage.

Applications include transducer amplifiers, DC amplification blocks, and all the conventional operational amplifier circuits that now can be implemented more easily in single-supply-voltage systems. For example, these devices can be operated directly from the standard 5-V supply used in digital systems and easily can provide the required interface electronics without additional ± 5 -V supplies.

8.2 Functional Block Diagram



COMPONENT COUNT	
Epi-FET	1
Diodes	2
Resistors	7
Transistors	51
Capacitors	2

8.3 Feature Description

8.3.1 Unity-Gain Bandwidth

The unity-gain bandwidth is the frequency up to which an amplifier with a unity gain may be operated without greatly distorting the signal. These devices have a 0.7-MHz unity-gain bandwidth.

8.3.2 Slew Rate

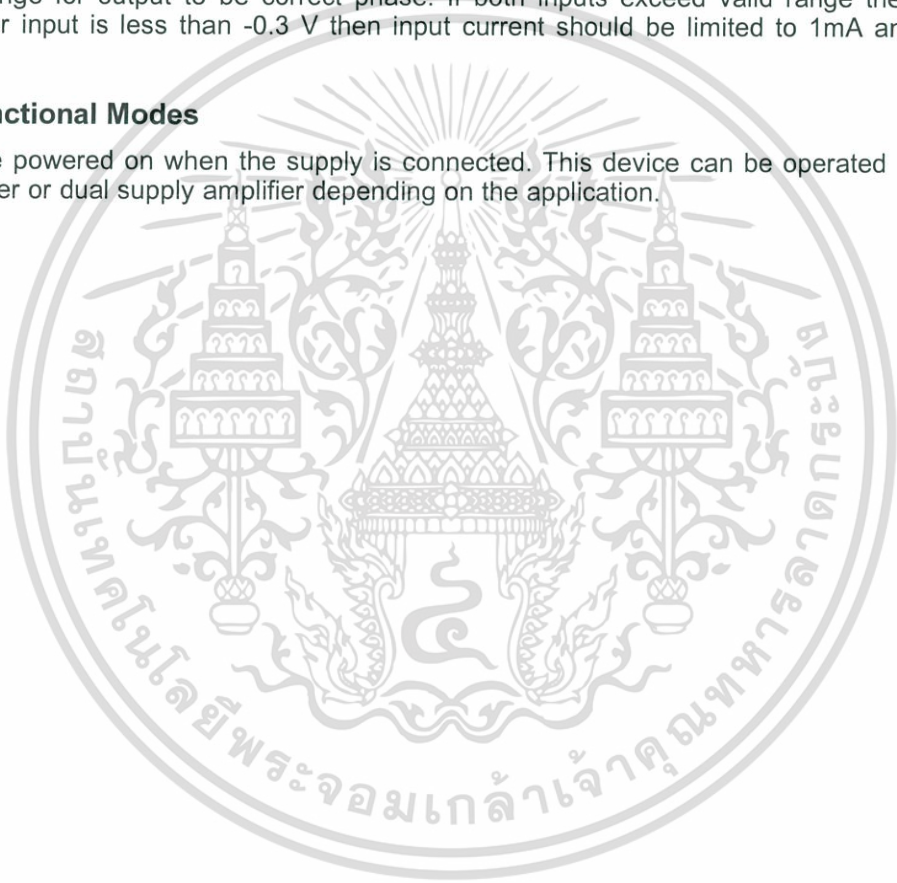
The slew rate is the rate at which an operational amplifier can change its output when there is a change on the input. These devices have a 0.3-V/ μ s slew rate.

8.3.3 Input Common Mode Range

The valid common mode range is from device ground to $V_{CC} - 1.5$ V ($V_{CC} - 2$ V across temperature). Inputs may exceed V_{CC} up to the maximum V_{CC} without device damage. At least one input must be in the valid input common mode range for output to be correct phase. If both inputs exceed valid range then output phase is undefined. If either input is less than -0.3 V then input current should be limited to 1mA and output phase is undefined.

8.4 Device Functional Modes

These devices are powered on when the supply is connected. This device can be operated as a single supply operational amplifier or dual supply amplifier depending on the application.



9 Application and Implementation

NOTE

Information in the following applications sections is not part of the TI component specification, and TI does not warrant its accuracy or completeness. TI's customers are responsible for determining suitability of components for their purposes. Customers should validate and test their design implementation to confirm system functionality.

9.1 Application Information

The LMx58 and LM2904 operational amplifiers are useful in a wide range of signal conditioning applications. Inputs can be powered before V_{CC} for flexibility in multiple supply circuits.

9.2 Typical Application

A typical application for an operational amplifier in an inverting amplifier. This amplifier takes a positive voltage on the input, and makes it a negative voltage of the same magnitude. In the same manner, it also makes negative voltages positive.

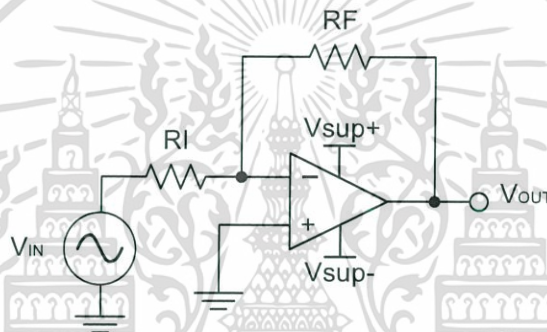


Figure 13. Application Schematic

9.2.1 Design Requirements

The supply voltage must be chosen such that it is larger than the input voltage range and output range. For instance, this application will scale a signal of ± 0.5 V to ± 1.8 V. Setting the supply at ± 12 V is sufficient to accommodate this application.

9.2.2 Detailed Design Procedure

Determine the gain required by the inverting amplifier using Equation 1 and Equation 2:

$$A_v = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \quad (1)$$

$$A_v = \frac{1.8}{-0.5} = -3.6 \quad (2)$$

Once the desired gain is determined, choose a value for R_I or R_F . Choosing a value in the kilohm range is desirable because the amplifier circuit will use currents in the milliamp range. This ensures the part will not draw too much current. This example will choose 10 k Ω for R_I which means 36 k Ω will be used for R_F . This was determined by Equation 3.

$$A_v = -\frac{R_F}{R_I} \quad (3)$$

Typical Application (continued)

9.2.3 Application Curve

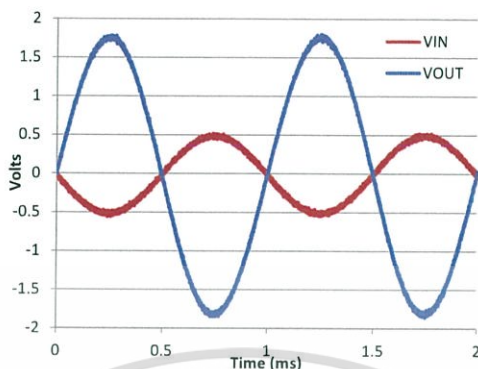


Figure 14. Input and Output Voltages of the Inverting Amplifier

10 Power Supply Recommendations

CAUTION

Supply voltages larger than 32 V for a single supply (26 V for the LM2904), or outside the range of ± 16 V for a dual supply (± 13 V for the LM2904) can permanently damage the device (see the [Absolute Maximum Ratings](#)).

Place 0.1- μ F bypass capacitors close to the power-supply pins to reduce errors coupling in from noisy or high impedance power supplies. For more detailed information on bypass capacitor placement, refer to the [Layout](#).

11 Layout

11.1 Layout Guidelines

For best operational performance of the device, use good PCB layout practices, including:

- Noise can propagate into analog circuitry through the power pins of the circuit as a whole, as well as the operational amplifier. Bypass capacitors are used to reduce the coupled noise by providing low impedance power sources local to the analog circuitry.
 - Connect low-ESR, 0.1- μ F ceramic bypass capacitors between each supply pin and ground, placed as close to the device as possible. A single bypass capacitor from V+ to ground is applicable for single supply applications.
- Separate grounding for analog and digital portions of circuitry is one of the simplest and most-effective methods of noise suppression. One or more layers on multilayer PCBs are usually devoted to ground planes. A ground plane helps distribute heat and reduces EMI noise pickup. Make sure to physically separate digital and analog grounds, paying attention to the flow of the ground current.
- To reduce parasitic coupling, run the input traces as far away from the supply or output traces as possible. If it is not possible to keep them separate, it is much better to cross the sensitive trace perpendicular as opposed to in parallel with the noisy trace.
- Place the external components as close to the device as possible. Keeping RF and RG close to the inverting input minimizes parasitic capacitance, as shown in [Layout Examples](#).
- Keep the length of input traces as short as possible. Always remember that the input traces are the most sensitive part of the circuit.
- Consider a driven, low-impedance guard ring around the critical traces. A guard ring can significantly reduce leakage currents from nearby traces that are at different potentials.

LM1875 20W Audio Power Amplifier

 Check for Samples: **LM1875**

FEATURES

- Up to 30 Watts Output Power
- A_{VO} Typically 90 dB
- Low Distortion: 0.015%, 1 kHz, 20 W
- Wide Power Bandwidth: 70 kHz
- Protection for AC and DC Short Circuits to Ground
- Thermal Protection with Parole Circuit
- High Current Capability: 4A
- Wide Supply Range 16V-60V
- Internal Output Protection Diodes
- 94 dB Ripple Rejection
- Plastic Power Package TO-220

APPLICATIONS

- High Performance Audio Systems
- Bridge Amplifiers
- Stereo Phonographs
- Servo Amplifiers
- Instrument Systems

Connection Diagram

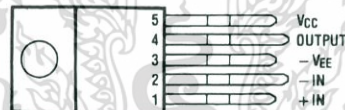


Figure 1. NDH0005D, KC0005A,
NEB0005E, NEB0005B,
Front View

DESCRIPTION

The LM1875 is a monolithic power amplifier offering very low distortion and high quality performance for consumer audio applications.

The LM1875 delivers 20 watts into a 4Ω or 8Ω load on ±25V supplies. Using an 8Ω load and ±30V supplies, over 30 watts of power may be delivered. The amplifier is designed to operate with a minimum of external components. Device overload protection consists of both internal current limit and thermal shutdown.

The LM1875 design takes advantage of advanced circuit techniques and processing to achieve extremely low distortion levels even at high output power levels. Other outstanding features include high gain, fast slew rate and a wide power bandwidth, large output voltage swing, high current capability, and a very wide supply range. The amplifier is internally compensated and stable for gains of 10 or greater.

 Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

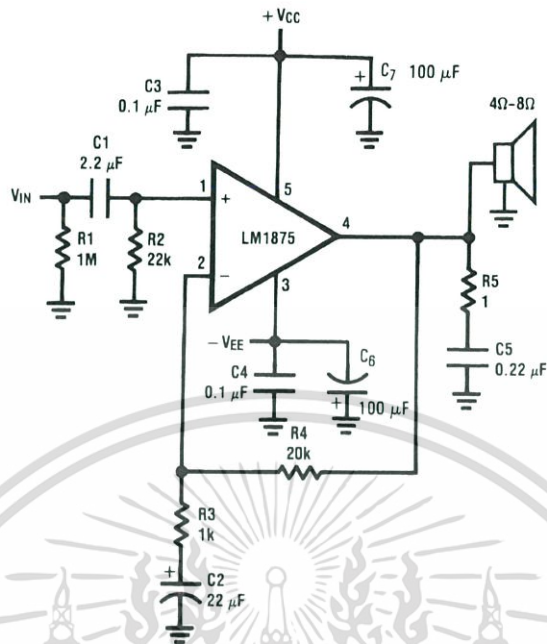
All trademarks are the property of their respective owners.

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

การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้เชิงพาณิชย์ Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated

ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามลอกทำซ้ำหรือดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

Absolute Maximum Ratings⁽¹⁾

Supply Voltage		60V
Input Voltage		$-V_{EE}$ to V_{CC}
Storage Temperature		-65°C to $+150^{\circ}\text{C}$
Junction Temperature		150°C
Lead Temperature	(Soldering, 10 seconds)	260°C
	θ_{JC}	3°C
	θ_{JA}	73°C

(1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not ensure specific performance limits.

Electrical Characteristics

$V_{CC}=+25V$, $-V_{EE}=-25V$, $T_{AMBIENT}=25^{\circ}C$, $R_L=8\Omega$, $A_V=20$ (26 dB), $f_o=1$ kHz, unless otherwise specified.

Parameter	Conditions	Typical	Tested Limits	Units
Supply Current	$P_{OUT}=0W$	70	100	mA
Output Power ⁽¹⁾	THD=1%	25		W
THD ⁽¹⁾	$P_{OUT}=20W$, $f_o=1$ kHz	0.015		%
	$P_{OUT}=20W$, $f_o=20$ kHz	0.05	0.4	%
	$P_{OUT}=20W$, $R_L=4\Omega$, $f_o=1$ kHz	0.022		%
	$P_{OUT}=20W$, $R_L=4\Omega$, $f_o=20$ kHz	0.07	0.6	%
Offset Voltage		± 1	± 15	mV
Input Bias Current		± 0.2	± 2	μA
Input Offset Current		0	± 0.5	μA
Gain-Bandwidth Product	$f_o=20$ kHz	5.5		MHz
Open Loop Gain	DC	90		dB
PSRR	V_{CC} , 1 kHz, 1 Vrms	95	52	dB
	V_{EE} , 1 kHz, 1 Vrms	83	52	dB
Max Slew Rate	20W, 8 Ω , 70 kHz BW	8		V/ μs
Current Limit	$V_{OUT} = V_{SUPPLY} - 10V$	4	3	A
Equivalent Input Noise Voltage	$R_S=600\Omega$, CCIR	3		$\mu Vrms$

(1) Assumes the use of a heat sink having a thermal resistance of 1°C/W and no insulator with an ambient temperature of 25°C. Because the output limiting circuitry has a negative temperature coefficient, the maximum output power delivered to a 4 Ω load may be slightly reduced when the tab temperature exceeds 55°C.

Typical Applications For Single Supply Operation

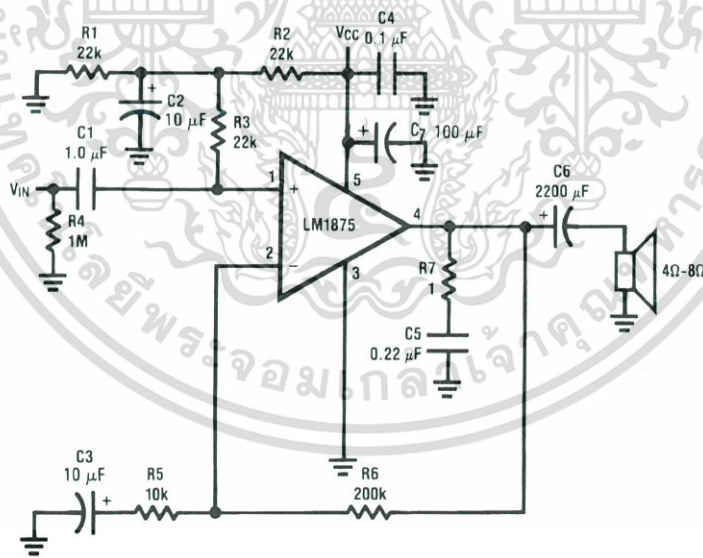


Figure 2.

Typical Performance Characteristics

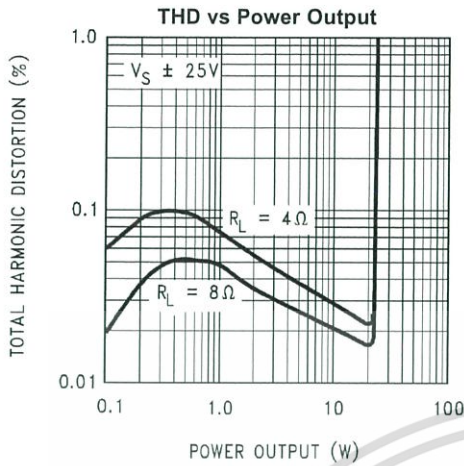


Figure 3.

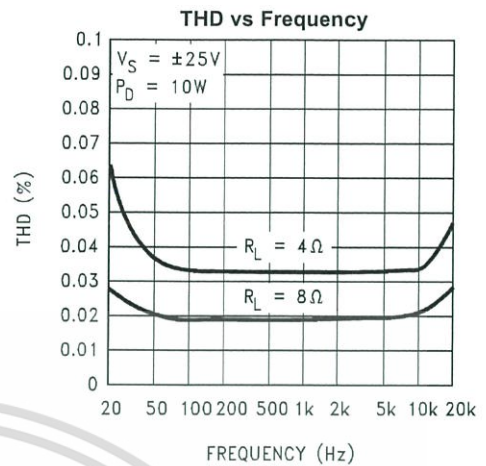


Figure 4.

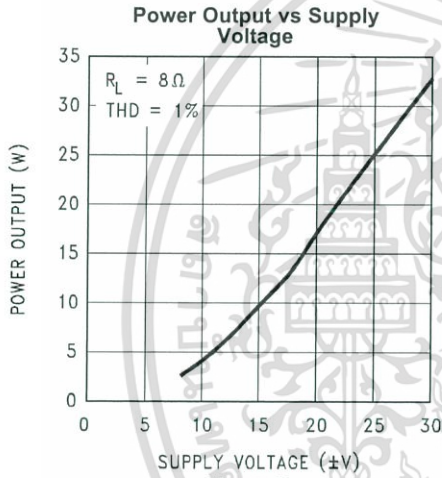


Figure 5.

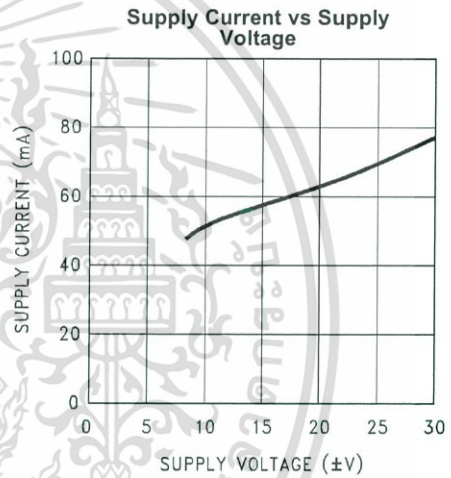


Figure 6.

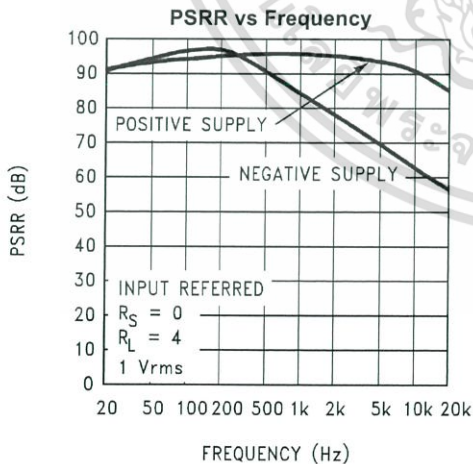
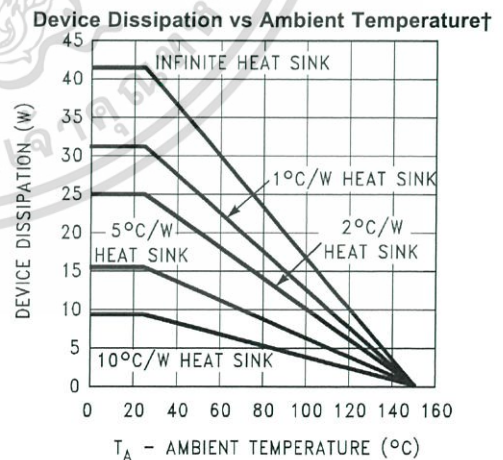


Figure 7.



† ϕ INTERFACE = 1 $^{\circ}C/W$.
See Application Hints.

Figure 8.

Typical Performance Characteristics (continued)

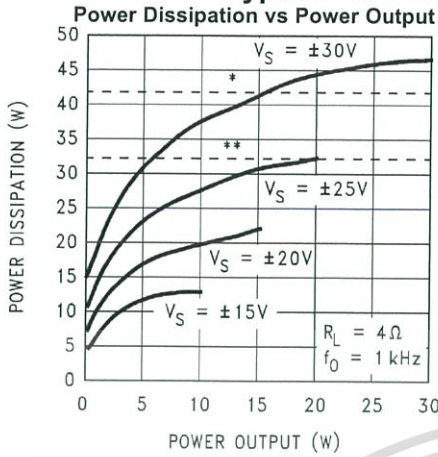


Figure 9.

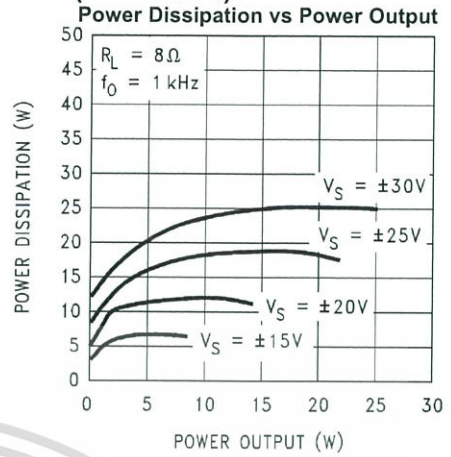


Figure 10.

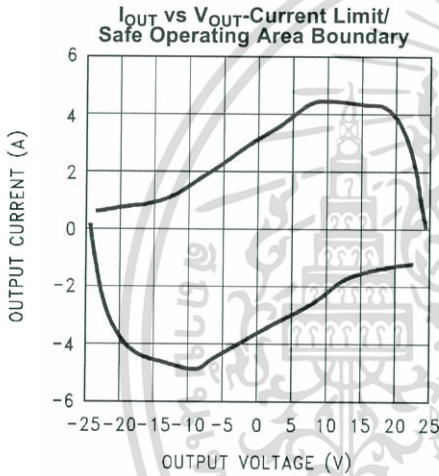


Figure 11.

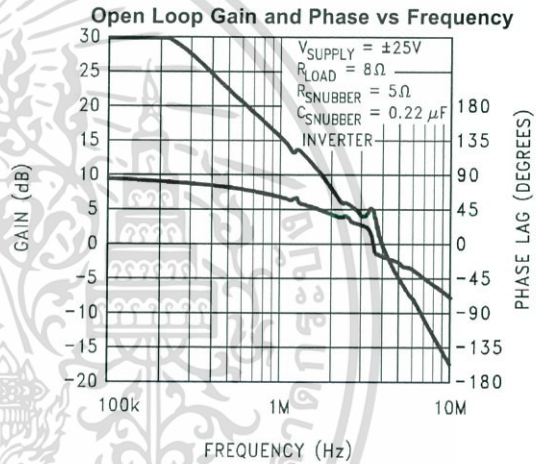


Figure 12.

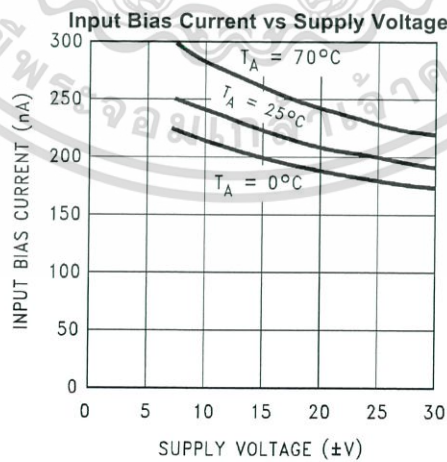
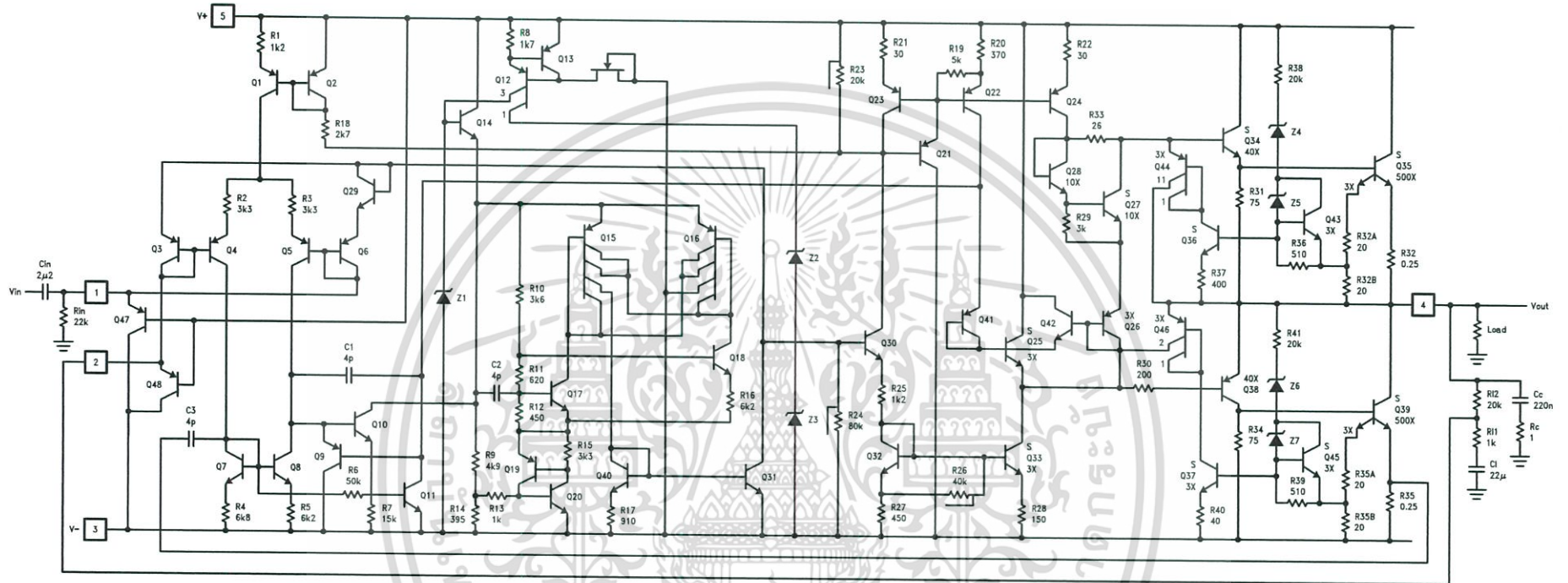


Figure 13.

Schematic Diagram



APPLICATION HINTS

STABILITY

The LM1875 is designed to be stable when operated at a closed-loop gain of 10 or greater, but, as with any other high-current amplifier, the LM1875 can be made to oscillate under certain conditions. These usually involve printed circuit board layout or output/input coupling.

Proper layout of the printed circuit board is very important. While the LM1875 will be stable when installed in a board similar to the ones shown in this data sheet, it is sometimes necessary to modify the layout somewhat to suit the physical requirements of a particular application. When designing a different layout, it is important to return the load ground, the output compensation ground, and the low level (feedback and input) grounds to the circuit board ground point through separate paths. Otherwise, large currents flowing along a ground conductor will generate voltages on the conductor which can effectively act as signals at the input, resulting in high frequency oscillation or excessive distortion. It is advisable to keep the output compensation components and the 0.1 μF supply decoupling capacitors as close as possible to the LM1875 to reduce the effects of PCB trace resistance and inductance. For the same reason, the ground return paths for these components should be as short as possible.

Occasionally, current in the output leads (which function as antennas) can be coupled through the air to the amplifier input, resulting in high-frequency oscillation. This normally happens when the source impedance is high or the input leads are long. The problem can be eliminated by placing a small capacitor (on the order of 50 pF to 500 pF) across the circuit input.

Most power amplifiers do not drive highly capacitive loads well, and the LM1875 is no exception. If the output of the LM1875 is connected directly to a capacitor with no series resistance, the square wave response will exhibit ringing if the capacitance is greater than about 0.1 μF . The amplifier can typically drive load capacitances up to 2 μF or so without oscillating, but this is not recommended. If highly capacitive loads are expected, a resistor (at least 1 Ω) should be placed in series with the output of the LM1875. A method commonly employed to protect amplifiers from low impedances at high frequencies is to couple to the load through a 10 Ω resistor in parallel with a 5 μH inductor.

DISTORTION

The preceding suggestions regarding circuit board grounding techniques will also help to prevent excessive distortion levels in audio applications. For low THD, it is also necessary to keep the power supply traces and wires separated from the traces and wires connected to the inputs of the LM1875. This prevents the power supply currents, which are large and nonlinear, from inductively coupling to the LM1875 inputs. Power supply wires should be twisted together and separated from the circuit board. Where these wires are soldered to the board, they should be perpendicular to the plane of the board at least to a distance of a couple of inches. With a proper physical layout, THD levels at 20 kHz with 10W output to an 8 Ω load should be less than 0.05%, and less than 0.02% at 1 kHz.

CURRENT LIMIT AND SAFE OPERATING AREA (SOA) PROTECTION

A power amplifier's output transistors can be damaged by excessive applied voltage, current flow, or power dissipation. The voltage applied to the amplifier is limited by the design of the external power supply, while the maximum current passed by the output devices is usually limited by internal circuitry to some fixed value. Short-term power dissipation is usually not limited in monolithic audio power amplifiers, and this can be a problem when driving reactive loads, which may draw large currents while high voltages appear on the output transistors. The LM1875 not only limits current to around 4A, but also reduces the value of the limit current when an output transistor has a high voltage across it.

When driving nonlinear reactive loads such as motors or loudspeakers with built-in protection relays, there is a possibility that an amplifier output will be connected to a load whose terminal voltage may attempt to swing beyond the power supply voltages applied to the amplifier. This can cause degradation of the output transistors or catastrophic failure of the whole circuit. The standard protection for this type of failure mechanism is a pair of diodes connected between the output of the amplifier and the supply rails. These are part of the internal circuitry of the LM1875, and needn't be added externally when standard reactive loads are driven.

THERMAL PROTECTION

The LM1875 has a sophisticated thermal protection scheme to prevent long-term thermal stress to the device. When the temperature on the die reaches 170°C, the LM1875 shuts down. It starts operating again when the die temperature drops to about 145°C, but if the temperature again begins to rise, shutdown will occur at only 150°C. Therefore, the device is allowed to heat up to a relatively high temperature if the fault condition is temporary, but a sustained fault will limit the maximum die temperature to a lower value. This greatly reduces the stresses imposed on the IC by thermal cycling, which in turn improves its reliability under sustained fault conditions.

Since the die temperature is directly dependent upon the heat sink, the heat sink should be chosen for thermal resistance low enough that thermal shutdown will not be reached during normal operation. Using the best heat sink possible within the cost and space constraints of the system will improve the long-term reliability of any power semiconductor device.

POWER DISSIPATION AND HEAT SINKING

The LM1875 must always be operated with a heat sink, even when it is not required to drive a load. The maximum idling current of the device is 100 mA, so that on a 60V power supply an unloaded LM1875 must dissipate 6W of power. The 54°C/W junction-to-ambient thermal resistance of a TO-220 package would cause the die temperature to rise 324°C above ambient, so the thermal protection circuitry will shut the amplifier down if operation without a heat sink is attempted.

In order to determine the appropriate heat sink for a given application, the power dissipation of the LM1875 in that application must be known. When the load is resistive, the maximum average power that the IC will be required to dissipate is approximately:

$$P_{D(MAX)} \approx \frac{V_S^2}{2\pi^2 R_L} + P_Q$$

where

- V_S is the total power supply voltage across the LM1875
- R_L is the load resistance
- P_Q is the quiescent power dissipation of the amplifier

The above equation is only an approximation which assumes an "ideal" class B output stage and constant power dissipation in all other parts of the circuit. The curves of "Power Dissipation vs Power Output" give a better representation of the behavior of the LM1875 with various power supply voltages and resistive loads. As an example, if the LM1875 is operated on a 50V power supply with a resistive load of 8Ω, it can develop up to 19W of internal power dissipation. If the die temperature is to remain below 150°C for ambient temperatures up to 70°C, the total junction-to-ambient thermal resistance must be less than

$$\frac{150^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}}{19\text{W}} = 4.2^\circ\text{C/W.}$$

Using $\theta_{JC} = 2^\circ\text{C/W}$, the sum of the case-to-heat-sink interface thermal resistance and the heat-sink-to-ambient thermal resistance must be less than 2.2°C/W. The case-to-heat-sink thermal resistance of the TO-220 package varies with the mounting method used. A metal-to-metal interface will be about 1°C/W if lubricated, and about 1.2°C/W if dry.

If a mica insulator is used, the thermal resistance will be about 1.6°C/W lubricated and 3.4°C/W dry. For this example, we assume a lubricated mica insulator between the LM1875 and the heat sink. The heat sink thermal resistance must then be less than

$$4.2^\circ\text{C/W} - 2^\circ\text{C/W} - 1.6^\circ\text{C/W} = 0.6^\circ\text{C/W.}$$

This is a rather large heat sink and may not be practical in some applications. If a smaller heat sink is required for reasons of size or cost, there are two alternatives. [EM00001]The maximum ambient operating temperature can be reduced to 50°C (122°F), resulting in a 1.6°C/W heat sink, or the heat sink can be isolated from the chassis so the mica washer is not needed. This will change the required heat sink to a 1.2°C/W unit if the case-to-heat-sink interface is lubricated.

NOTE

When using a single supply, maximum transfer of heat away from the LM1875 can be achieved by mounting the device directly to the heat sink (tab is at ground potential); this avoids the use of a mica or other type insulator.

The thermal requirements can become more difficult when an amplifier is driving a reactive load. For a given magnitude of load impedance, a higher degree of reactance will cause a higher level of power dissipation within the amplifier. As a general rule, the power dissipation of an amplifier driving a 60° reactive load (usually considered to be a worst-case loudspeaker load) will be roughly that of the same amplifier driving the resistive part of that load. For example, a loudspeaker may at some frequency have an impedance with a magnitude of 8Ω and a phase angle of 60°. The real part of this load will then be 4Ω, and the amplifier power dissipation will roughly follow the curve of power dissipation with a 4Ω load.

Component Layouts

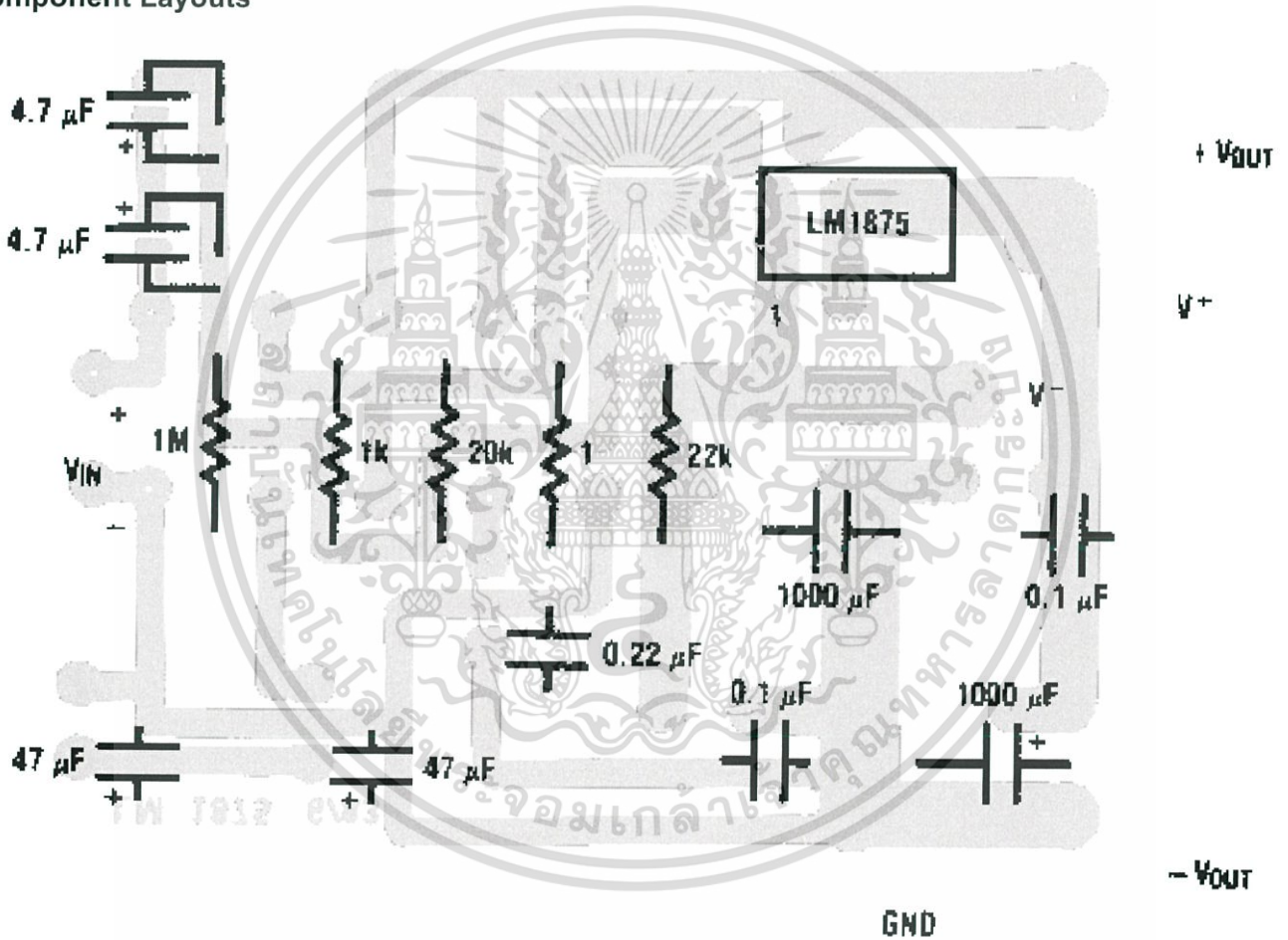


Figure 14. Split Supply

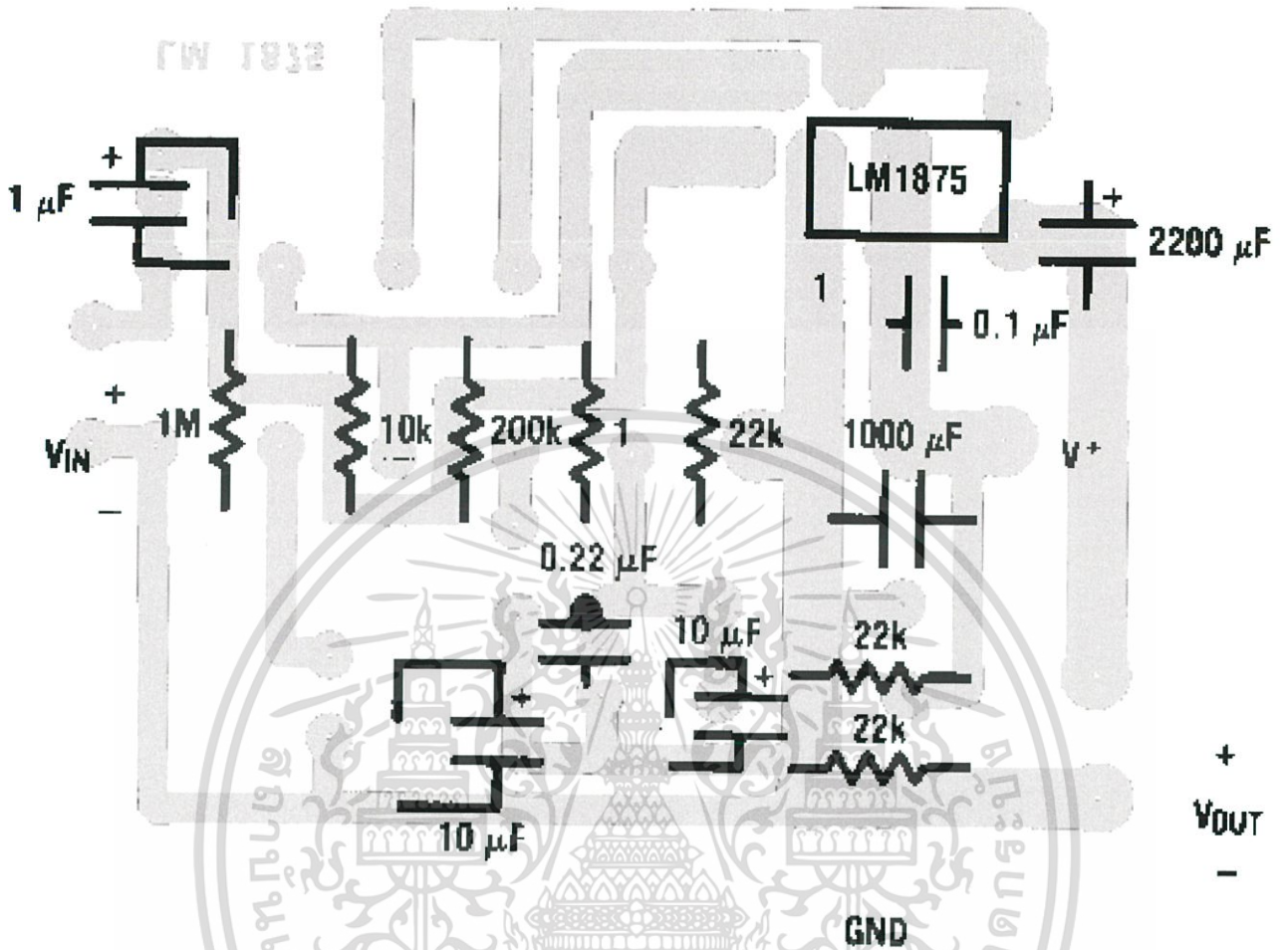


Figure 15. Single Supply