

การควบคุมออดิโอกราฟฟิควอลูมไลเซอร์และครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คของระบบไฮ-ไฟ

ออดิโอ บนหน้าต่างวินโดว

AUDIO GRAPHIC EQUALIZER AND CROSSOVER NETWORK

CONTROLLABLE OF HI-FI AUDIO SYSTEM ON WINDOWS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....

55763

เลขทะเบียน.....

วัน,เดือน,ปี 2 5 พ.ค. 2548

Blue rectangular stamp with Thai text and a grid pattern.

AUDIO GRAPHIC EQUALIZER AND CROSSOVER NETWORK  
CONTROLLABLE OF HI-FI AUDIO SYSTEM ON WINDOWS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การควบคุมออดิโอ กราฟฟิเคิลควอลิเซอ์ และครอสโอเวอร์  
เน็ตเวิร์ค ของ ระบบไฮ-ไฟ ออดิโอ บนหน้าต่างวินโดวส์  
Audio Graphic Equalizer and Crossover Network Controllable  
of Hi-Fi System on Windows

นักศึกษา

นายธนรัฐ นาคพิเชียร รหัสประจำตัว 44015691  
นายวัชรินทร์ แซ่เตียว รหัสประจำตัว 44015709

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

อ.คลชัย สุขเจริญผล  
ผศ.อุทัย ศรีธีรวิโรจน์

ระดับการศึกษา

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา

วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา

2546

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรม  
ศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



(อาจารย์คลชัย สุขเจริญผล)

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อุทัย ศรีธีรวิโรจน์)

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การควบคุมออกดีโอ กราฟฟิคอีควอไลเซอร์ และครอสโอเวอร์  
เน็ตเวิร์ค ของ ระบบไฮ-ไฟ ออดีโอ บนหน้าต่างวินโดว์

นักศึกษา นายธนรัฐ นาคพิเชียร รหัสประจำตัว 44015691  
นายวัชรินทร์ แซ่เตียว รหัสประจำตัว 44015709

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท อ.ดลชัย สุขเจริญผล  
ผศ.อุทัย ศรีธีรวิโรจน์

ระดับการศึกษา ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2546

### บทคัดย่อ

โครงการนี้ จะทำการออกแบบและสร้าง กราฟฟิคอีควอไลเซอร์ และครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค สำหรับระบบเสียง โดยการใช้Programmable digital potentiometer ในการควบคุมระดับสัญญาณเสียง ผ่านพอร์ตอนุกรม ของคอมพิวเตอร์ ซึ่งใช้ภาษา วิหวลเบสิก สำหรับติดต่อกับส่วนฮาร์ดแวร์

**Thesis Title** Audio Graphic Equalizer and Crossover Network Controllable of Hi-Fi Audio System on Window

**Student** Mr.Thanarat Nakpichien ID. 44015691  
Mr.Watcharin Saetiaw ID. 44015709

**Advisor** Mr.Dolchai Sookcharoenphol  
Asst.Uthai Sritiravirod

**Graduate Level** Bachelor Degree of Information Engineering

**Department** Information Engineering

**Academic Year** 2003

### Abstract

This project is a design and implements a graphic equalizer and two-band crossover network for home entertainment. A parameter can controllable by programmable digital potentiometer both sound signal level and cut-off frequency. Data between computers to hardware control can programming on the Windows that writing with VB language program and transfer to the hardware via serial port.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความอนุเคราะห์จากอาจารย์คลชัย สุขเจริญผล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา เป็นผู้ให้คำแนะนำชี้แนะแนวทางในการดำเนินงาน ข้อมูลต่างๆที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงาน รวมทั้งคำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งขอขอบคุณคุณเจตน์ ออสวัสดิ์ ที่ให้คำแนะนำในการดำเนินงานทั้งในด้านวงจร การเขียน โปรแกรม เครื่องมือ และอุปกรณ์ มาโดยตลอด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวคิดและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของ โครงการงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีวงจรครอส โอเวอร์เน็ตเวิร์ก	3
2.2 ทฤษฎีวงจรกราฟฟิคอีควอไลเซอร์	6
2.3 ทฤษฎีวงจรของความถี่	6
2.4 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์	18
บทที่ 3 การออกแบบ	25
3.1 การออกแบบวงจรปรับระดับสัญญาณเสียง	26
3.2 การออกแบบวงจรอีควอไลเซอร์	28
3.3 การออกแบบวงจรครอสโอเวอร์	29
3.4 การออกแบบวงจรควบคุมการปรับแต่ง	36
3.5 การออกแบบโปรแกรมติดต่อกับผู้ใช้และโปรแกรมควบคุมการปรับแต่ง	41
บทที่ 4 การปรับแต่งและผลการปรับแต่ง	46
4.1 การปรับระดับสัญญาณเสียง	46
4.2 การปรับจุดตัดความถี่ของวงจรครอสโอเวอร์	49
4.3 การปรับเวลาในการหน่วงสัญญาณ	56
4.4 การปรับอีควอไลเซอร์	59
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	73
บรรณานุกรม	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก Schematics	76
ภาคผนวก ข Source Code	82
ภาคผนวก ค Data Sheets	96



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การต่อวงจรแอกทีฟครอสโอเวอร์เน็ตเวอร์คแบบ 3 ทาง	3
รูปที่ 2.2 โครงสร้างการต่อแอกทีฟครอสโอเวอร์เน็ตเวอร์คแบบ 2 ทาง	4
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างวงจรกราฟฟิควอลไลเซอร์ 1 ออกเตฟ	6
รูปที่ 2.4 ผลการตอบสนองของวงจรกรองความถี่ต่ำ	8
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่ง	9
รูปที่ 2.6 ผลการตอบสนองของวงจรกรองความถี่สูง	9
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างวงจรกรองความถี่สูงอันดับหนึ่ง	10
รูปที่ 2.8 การตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่เป็นช่วง	10
รูปที่ 2.9 การตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่เป็นช่วงกว้าง	11
รูปที่ 2.10 การเลื่อนเฟส(Phase shift) ของสัญญาณ	12
รูปที่ 2.11 วงจรกรองความถี่ผ่านตลอด แบบ Phase Lag	13
รูปที่ 2.12 วงจรกรองความถี่ผ่านตลอด แบบ Phase Lead	13
รูปที่ 2.13 บล็อกการต่อวงจรกรองความถี่ผ่านตลอดกับวงจรกรองชนิดอื่นๆ	13
รูปที่ 2.14 ตัวอย่างวงจรกราฟฟิควอลไลเซอร์ 1 ออกเตฟ	14
รูปที่ 2.15 การต่อวงจรกราฟฟิควอลไลเซอร์ขนาด 10 ย่าน	14
รูปที่ 2.16 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์	15
รูปที่ 2.17 รูปแบบการรับส่งข้อมูลในโหมด I	21
รูปที่ 2.18 วงจรขับและรับสัญญาณที่ใช้กับมาตรฐาน RS-232-C	24
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของโครงการ	25
รูปที่ 3.2 วงจรภายในไอซีเบอร์ PGA2311	26
รูปที่ 3.3 โครงสร้างของการส่งข้อมูลเพื่อการควบคุมไอซี PGA2311	27
รูปที่ 3.4 ผังจังหวะเวลาของ Serial Peripheral Interface	27
รูปที่ 3.5 วงจรภายในไอซี TEA6360	28
รูปที่ 3.6 รูปแบบการรับส่งข้อมูลเพื่อควบคุมไอซี TEA6360	28
รูปที่ 3.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรแยกความถี่ชนิดสองทาง	29
รูปที่ 3.8 กราฟผลตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองสัญญาณ	30
รูปที่ 3.9 ระยะเวลาการเดินทางของเสียงจากลำโพงไปถึงผู้ฟัง	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.10 ระยะทางการเดินทางของเสียงเมื่อเปลี่ยนตำแหน่งของลำโพง	31
รูปที่ 3.11 วงจรกันชน	31
รูปที่ 3.12 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสอง	32
รูปที่ 3.13 วงจรเมื่อแปลงไปเป็น S domain	32
รูปที่ 3.14 วงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับสอง	34
รูปที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานและความถี่คัทออฟ ของวงจรกรองความถี่	35
รูปที่ 3.16 วงจรหน่วงสัญญาณ	35
รูปที่ 3.17 บล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุม	37
รูปที่ 3.12 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา	37
รูปที่ 3.13 วงจรรีเซ็ต	38
รูปที่ 3.14 วงจรติดต่อสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม	38
รูปที่ 3.15 การเชื่อมต่อสายสัญญาณในการควบคุมวงจรปรับระดับสัญญาณ	39
รูปที่ 3.16 การเชื่อมต่อสายสัญญาณในการควบคุมวงจรอีควอไลเซอร์ 5 ย่านความถี่	39
รูปที่ 3.17 แสดงวงจรสับเปลี่ยนค่าความต้านทาน	39
รูปที่ 3.18 การควบคุมการเปลี่ยนค่าความต้านทานของวงจรครอสโอเวอร์	40
รูปที่ 3.19 การควบคุมการเปลี่ยนค่าความต้านทานของวงจรหน่วงสัญญาณ	40
รูปที่ 3.20 รูปแบบในการรับส่งข้อมูลควบคุมการปรับแต่ง	41
รูปที่ 3.19 โฟลว์ชาทการทำงานของโปรแกรมติดต่อผู้ใช้	42
รูปที่ 3.20 หน้าต่างติดต่อกับผู้ใช้	42
รูปที่ 3.21 รายละเอียดหน้าจอการปรับระดับสัญญาณ	43
รูปที่ 3.22 รายละเอียดหน้าจอการปรับอีควอไลเซอร์	43
รูปที่ 3.23 รายละเอียดหน้าจอการปรับความถี่จุดตัดครอสโอเวอร์	43
รูปที่ 3.24 รายละเอียดหน้าจอการปรับเวลาในการหน่วงสัญญาณ	44
รูปที่ 3.25 โฟลว์ชาทการทำงานของโปรแกรมควบคุมการปรับแต่ง	45
รูปที่ 4.1 วิธีการปรับระดับสัญญาณเสียง	46
รูปที่ 4.2 วงจรปรับระดับสัญญาณเสียง	46
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตและพุทเมื่อปรับอัตราขยาย +12dB	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4 รูปสัญญาณเมื่อปรับอัตราขยาย 0dB	48
รูปที่ 4.5 รูปสัญญาณเมื่อปรับอัตราขยาย -12dB	48
รูปที่ 4.6 วิธีการปรับความถี่จุดตัดของวงจรครอสโอเวอร์	49
รูปที่ 4.7 วงจรแยกความถี่เสียงสำหรับระบบลำโพงที่ใช้ตัวขับ 2 ทาง	49
รูปที่ 4.8 วงจรสับเปลี่ยนค่าความต้านทาน	49
รูปที่ 4.9 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 200Hz	51
รูปที่ 4.10 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 400Hz	51
รูปที่ 4.11 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 600Hz	51
รูปที่ 4.12 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 800Hz	52
รูปที่ 4.13 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 1.0kHz	52
รูปที่ 4.14 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 1.2kHz	52
รูปที่ 4.15 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 1.4kHz	53
รูปที่ 4.16 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 1.6kHz	53
รูปที่ 4.17 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 1.8kHz	53
รูปที่ 4.18 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 2.0kHz	54
รูปที่ 4.19 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 2.2kHz	54
รูปที่ 4.20 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 2.4kHz	54
รูปที่ 4.21 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 2.6kHz	55
รูปที่ 4.22 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 2.8kHz	55
รูปที่ 4.23 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 3.0kHz	55
รูปที่ 4.24 วิธีการทดลองวงจรห้วงสัญญาณ	56
รูปที่ 4.25 วงจรห้วงสัญญาณ	56
รูปที่ 4.26 รูปสัญญาณเมื่อไม่ห้วงสัญญาณ	57
รูปที่ 4.27 รูปสัญญาณเมื่อห้วงสัญญาณไป 100 $\mu$ S	57
รูปที่ 4.28 สัญญาณเมื่อห้วงสัญญาณไป 200 $\mu$ S	57
รูปที่ 4.29 สัญญาณเมื่อห้วงสัญญาณไป 300 $\mu$ S	58
รูปที่ 4.30 บล็อกไดอะแกรมที่ใช้สำหรับการวัดสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.31 การเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต ณ. แบนด์ที่ 1 ที่ค่าเกน +12 dB	59
รูปที่ 4.32 เวฟฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 1 ที่ค่าเกน 0 dB	60
รูปที่ 4.33 เวฟฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 1 ที่ค่าเกน -12 dB	60
รูปที่ 4.34 เวฟฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 2 ที่ค่าเกน +12 dB	61
รูปที่ 4.35 เวฟฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 2 ที่ค่าเกน 0 dB	61
รูปที่ 4.36 เวฟฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 2 ที่ค่าเกน -12 dB	62
รูปที่ 4.37 เวฟฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 3 ที่ค่าเกน +12 dB	62
รูปที่ 4.38 เวฟฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 3 ที่ค่าเกน 0 dB	63
รูปที่ 4.39 เวฟฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 3 ที่ค่าเกน -12 dB	63
รูปที่ 4.40 เวฟฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 4 ที่ค่าเกน +12 dB	64
รูปที่ 4.41 เวฟฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 4 ที่ค่าเกน 0 dB	64
รูปที่ 4.42 เวฟฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 4 ที่ค่าเกน -12 dB	65
รูปที่ 4.43 เวฟฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 5 ที่ค่าเกน +12 dB	65
รูปที่ 4.44 เวฟฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 5 ที่ค่าเกน 0 dB	66
รูปที่ 4.45 เวฟฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 5 ที่ค่าเกน -12 dB	66
รูปที่ 4.46 กราฟแสดงขนาดของค่า Maximum Boost และ Maximum Cut ที่ความถี่ 59 Hz	68
รูปที่ 4.47 กราฟ Maximum Boost และ Maximum Cut ที่ความถี่ 205Hz	69
รูปที่ 4.48 กราฟ Maximum Boost และ Maximum Cut ที่ความถี่ 790Hz	70
รูปที่ 4.49 กราฟ Maximum Boost และ Maximum Cut ที่ความถี่ 2.95Khz	70
รูปที่ 4.50 กราฟ Maximum Boost และ Maximum Cut ที่ความถี่ 12Khz	71
รูปที่ 4.51 กราฟค่า FLAT ที่ 0 dB ที่ตลอดย่านความถี่	71
รูปที่ 4.52 กราฟรวมค่า Maximum Boost และ Maximum Cut ที่แต่ละย่านความถี่	72

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองวงจรปรับระดับสัญญาณ	47
ตารางที่ 4.2 แสดงการคำนวณค่าความต้านทานของวงจรแยกความถี่	50
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเกณฑ์ขยายสูงสุดและ ค่าเกณฑ์ขยายต่ำสุด	67



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 แนวคิดและที่มา

ในปัจจุบันมีการนำคอมพิวเตอร์มาควบคุมอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆมากขึ้น แต่การควบคุมยังมีข้อจำกัดอยู่ เช่น ควบคุมได้เพียงแค่การเปิด ปิดเท่านั้น ซึ่งยังไม่เพียงพอในการประยุกต์ใช้งานบางประเภท จึงเป็นที่มาของแนวคิดที่จะนำเสนอการควบคุมอุปกรณ์ผ่านคอมพิวเตอร์ โดยนำเสนอในรูปแบบการควบคุมการปรับแต่งสัญญาณเสียง และ คอมพิวเตอร์นั้นยังมีบทบาทสำคัญในการใช้งาน และ ให้ความบันเทิงในรูปแบบของสื่อผสมในแบบต่างๆ สิ่งบันเทิงอย่างหนึ่งที่สำคัญนั้นก็คือ การรับฟังเสียงไม่ว่าจะเป็นเสียงดนตรีหรือเสียงจากรูปแบบสื่อต่างๆนั้นผู้ฟังก็ยังคงต้องการคุณภาพเสียงที่ดีและแตกต่างกันออกไปของแต่ละบุคคลพร้อมความสะดวกในการปรับแต่งเสียงนั้นด้วย ดังนั้นเพื่อตอบสนองของความหลากหลายของคุณภาพเสียงและความสะดวกในการปรับแต่งสัญญาณเสียงสำหรับผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์ จึงมีวิธีการปรับแต่งคุณภาพเสียงที่ประกอบด้วย วงจรกราฟฟิกร็อกวไลเซอร์, ครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คและเพื่อความสะดวกในการปรับแต่งเหล่านี้ จึงได้มีการให้สามารถปรับแต่งสัญญาณเสียงผ่านคอมพิวเตอร์ได้

ในปฏิญานีพจน์ฉบับนี้ ได้ทำการศึกษาเรื่องการปรับแต่งและควบคุมเสียงผ่านคอมพิวเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ การปรับแต่งพร้อมควบคุมระดับเสียงผ่านคอมพิวเตอร์, การควบคุม และวงจรปรับแต่งเสียงสัญญาณเสียง (วงจรรอกวไลเซอร์และวงจรรอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค) ในส่วนของการปรับแต่งเสียงผ่านคอมพิวเตอร์จะประกอบด้วยส่วนแสดงการปรับย่านความถี่เสียงและปรับระดับความแรงของสัญญาณเสียง ส่วนการควบคุมจะรับคำสั่งมาจากการปรับผ่านคอมพิวเตอร์และนำไปควบคุมส่วนของวงจรปรับแต่งเสียงอีกครั้งหนึ่ง ส่วนวงจรรูปปรับแต่งเสียงนั้นใช้วงจรแอกทีฟฟิลเตอร์ชนิดต่างๆในการทำงานเพื่อให้สามารถปรับคุณภาพเสียงได้ตามความต้องการของผู้ฟัง

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการควบคุมสัญญาณเสียงทั้งขนาดและย่านความถี่โดยแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาวงจรฟิลเตอร์ที่ใช้กับสัญญาณเสียงและวงจรรอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค
- 1.2.3 เพื่อศึกษาขั้นตอนต่างๆของการออกแบบและพัฒนาวงจร
- 1.2.4 เพื่อศึกษาขั้นตอนต่างๆของการเขียน โปรแกรมการควบคุมอุปกรณ์ผ่านคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

ลักษณะของโครงการเป็นการออกแบบการปรับแต่งสัญญาณเสียงและควบคุมการปรับแต่งสัญญาณเสียงผ่านคอมพิวเตอร์พร้อมแสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ดังนี้

1.3.1 การออกแบบและสร้างวงจรปรับแต่งสัญญาณเสียง ซึ่งจะประกอบด้วยวงจร Active filter หลากๆย่านความถี่ย่อย ที่สามารถควบคุมอัตราขยาย

1.3.2 การออกแบบและสร้างวงจรปรับแต่งเสียงที่สามารถควบคุม Cut-off frequency ได้

1.3.3 โปรแกรมควบคุมการปรับแต่งสัญญาณเสียงพร้อมทั้งแสดงผลการปรับค่าพารามิเตอร์ๆ

โดย เขียนโปรแกรมด้วยไมโครซอฟต์วิซวลเบสิก ในการดำเนินการ



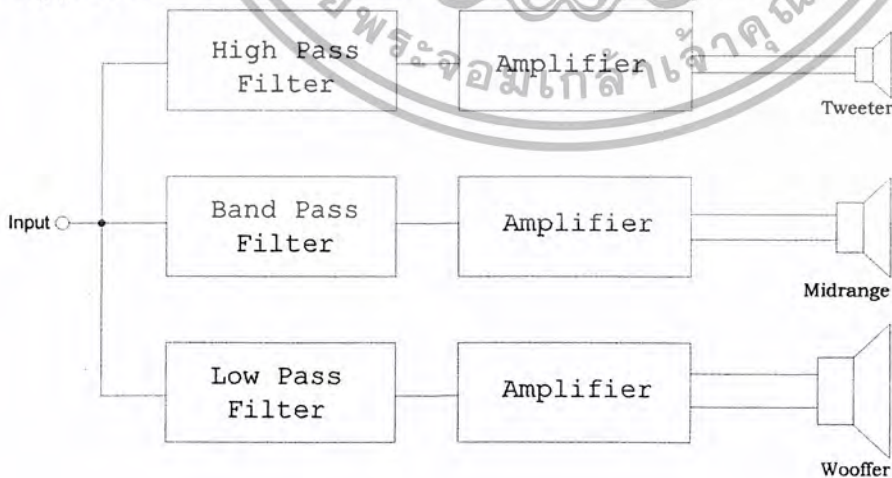
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค

วงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คคือวงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่แยกสัญญาณความถี่เสียงทางด้านขาเข้าของระบบ ออกเป็นช่วงๆที่มีความถี่ต่างๆกัน โดยแต่ละช่วงความถี่ที่แยกออกมานั้นจะถูกส่งออกไปยังภาคขยายสัญญาณของแต่ละช่วงความถี่แล้วส่งออกสู่ลำโพง เนื่องจากการใช้ลำโพงเพียงตัวเดียวนั้นไม่สามารถให้ผลการตอบสนองทางความถี่ได้ครบตลอดย่านความถี่เสียง ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุที่ต้องมีวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คเป็นตัวแยกสัญญาณความถี่ต่างๆ เพื่อให้ลำโพงสามารถตอบสนองต่อความถี่แต่ละย่านได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คที่ใช้จะมีทั้งแบบ 2 ทางหรือ 3 ทาง โดยแบบ 2 ทาง จะประกอบด้วยส่วนที่ทำหน้าที่แยกช่วงความถี่ต่ำและช่วงความถี่สูง ส่วนในแบบ 3 ทางนั้นจะประกอบด้วยส่วนที่ทำหน้าที่แยก ช่วงความถี่ต่ำ ช่วงความถี่สูง และช่วงความถี่กลาง ของความถี่เสียง ซึ่งชนิดของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คที่ใช้กันในปัจจุบันนั้นมีอยู่ 2 ชนิด คือ วงจรแบบพาสซีฟ และ วงจรแบบแอคทีฟ โดยแบบแอคทีฟครอส-โอเวอร์เน็ตเวิร์ค จะเป็นแบบที่สามารถปรับอัตราขยายของวงจรได้ และมีขนาดเล็กกว่าแบบ พาสซีฟ เนื่องจากสามารถใช้อุปกรณ์ ทรานซิสเตอร์ คาปาซิเตอร์ และออปแอมป์ประกอบเป็นวงจรแทนขดลวดอินดักแตนซ์ซึ่งมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก โดยครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบแอคทีฟนี้จะทำการแยกสัญญาณความถี่เสียงออกเป็นช่วงๆ(สูง กลาง และต่ำ)ก่อนเข้าทำการขยายที่ภาคขยายสัญญาณของแต่ละช่วงความถี่และส่งออกสู่ลำโพง แสดงได้ดังรูปที่ 2.1

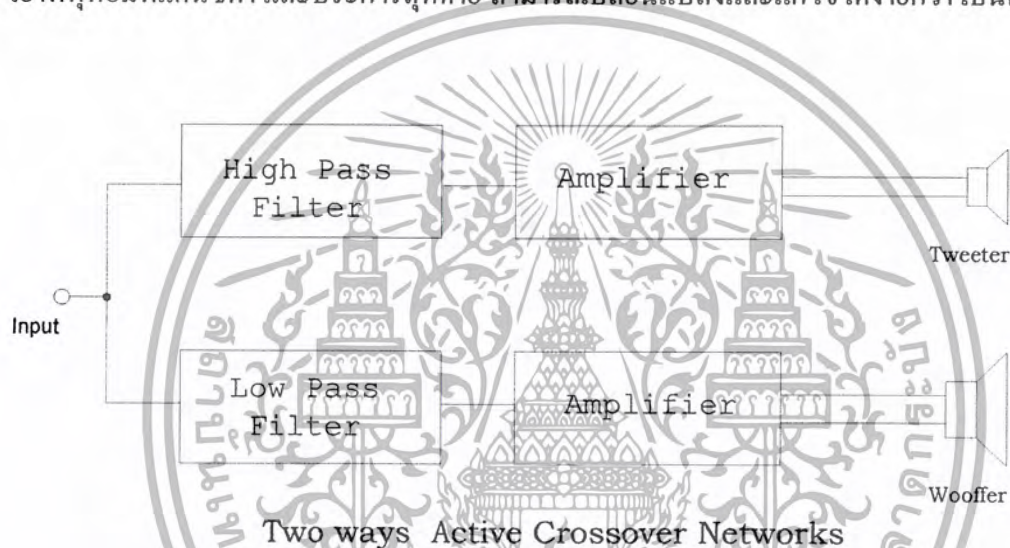


Three ways Active Crossover Networks

รูปที่ 2.1 การต่อวงจรแอคทีฟครอส โอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบ 3 ทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์กนั้นจะใช้วงจรกรองความถี่ทางไฟฟ้าที่ทำหน้าที่กำจัดสัญญาณความถี่ที่ไม่ต้องการออกไป และให้เฉพาะช่วงความถี่ที่ต้องการและเหมาะสมผ่านออกไปสู่ภาคขยายเสียงและลำโพงได้ ดังเช่น วงจรกรองช่วงความถี่สูงผ่าน (เสียงแหลม) ก็จะกำจัดช่วงความถี่ต่ำไม่ให้ผ่านไปได้ ให้ผ่านได้เฉพาะช่วงความถี่สูงเท่านั้น ส่วนวงจรกรองช่วงความถี่ต่ำผ่าน ก็จะกำจัดช่วงความถี่สูงไม่ให้ผ่าน ให้ผ่านได้เฉพาะช่วงความถี่ต่ำที่กำหนดเท่านั้น ซึ่งวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์กแบบแอกทีฟนั้นมีข้อดีกว่า แบบพาสซีฟอยู่หลายประการ เช่น 1.มีความคล่องตัวในการปรับค่าความถี่และอัตราขยายมากกว่า 2.มีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่า 3.มีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง เอาท์พุทอิมพีแดนซ์ต่ำ และประการสุดท้าย สามารถเปลี่ยนแปลงและแก้ไขได้ง่ายกว่า เป็นต้น



รูปที่ 2.2 โครงสร้างการต่อแอกทีฟครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์กแบบ 2 ทาง

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า วงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์กนั้นมีหน้าที่แยกความถี่เพื่อป้อนให้ลำโพงในแต่ละตัว(ลำโพงขับเสียงแหลม เสียงกลาง และเสียงทุ้ม) ซึ่งวงจรส่วนที่ทำหน้าที่นี้นั้นก็คือ วงจรกรองความถี่นั่นเอง โดยวงจรกรองความถี่ที่ใช้มีอยู่ 3 ชนิด คือ 1.วงจรกรองความถี่สูงผ่าน 2.วงจรกรองความถี่กลางผ่าน 3.วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ในส่วนของโครงงานนี้เราจะใช้วงจรแอกทีฟ ครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์กแบบ 2 ทาง คือประกอบด้วย วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน(เสียงทุ้ม) และวงจรกรองความถี่สูงผ่าน(เสียงแหลม) ดังแสดงในรูปที่ 2.2

คุณสมบัติของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค

วงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คที่มีคุณภาพที่ดีนั้นจะประกอบด้วยคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ

1. มีขนาด(Magnitude)ในการรวมกันของวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน และวงจรรองความถี่สูงผ่าน นั้นจะต้องราบเรียบ ดังสมการ  $M_s = |H_L(j\omega) + H_H(j\omega)| = 1$  เพื่อที่จะควบคุมสัญญาณความถี่เสียงที่ได้ทางเอาต์พุตให้คงที่

2. อัตราคัทออฟ(Cutoff Rate)มีความสูงชันมากพอ ทั้งทางด้านวงจรรองความถี่ต่ำผ่านและวงจรรองความถี่สูงผ่าน  $H_L(j\omega)$  และ  $H_H(j\omega)$  ในย่านห้ามแถบความถี่ผ่าน (Stop Band)

3. การตอบสนองของขั้วที่ยอมรับได้ในการรวมเอาต์พุตทั้งสอง จะต้องทำให้เกิดการอินเฟส (In-phase) กันทั้งในวงจรรองความถี่ต่ำ และวงจรรองความถี่สูง นั่นคือ  $(\phi_L(\omega) + \phi_H(\omega))$

4. ผลการตอบสนองทางเฟส (Phase Response) ในการรวมเอาต์พุตทั้งสองเข้าด้วยกันมีค่าเป็น  $\phi_S(\omega) = (\phi_L(\omega) + \phi_H(\omega))^{-1}$  และมีลักษณะที่ต้องการมากที่สุด คือเป็นแนวเชิงเส้น (Phase Linearity) คือ

$\phi_S(\omega) = -\tau\omega$  ซึ่งค่าของ  $\tau$  จะเทียบเท่ากับความล่าช้าของเวลา (Time Delay) ในการเชื่อมวงจร จากนั้นเราจะใช้ค่า  $H_L(s)$  และ  $H_H(s)$  แสดงค่าทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรรองความถี่ต่ำ และ วงจรรองความถี่สูงผ่าน ตามลำดับ จัดอยู่ในรูปของความถี่  $S = \sigma + j\omega$  ซึ่ง  $\omega = 2\pi f$  เป็นความถี่เชิงเรเดียน และส่วนในรูปของโพลาร์ จะเป็นดังสมการ

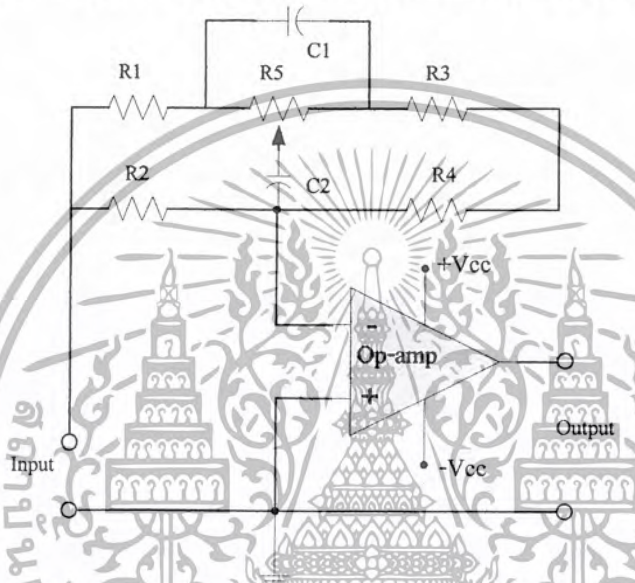
$$H(j\omega) = M(\omega)e^{j\phi(\omega)}$$

ซึ่ง  $M(\omega)$  เป็นค่าขนาดและ  $e^{j\phi(\omega)}$  เป็นเฟส โดยที่ตัวห้อย  $L$  หรือ  $H$  แสดงว่าเป็นฟังก์ชันของวงจร รองความถี่ต่ำ และวงจรรองความถี่สูงผ่าน ตามลำดับ และส่วนตัวห้อย  $s$  นั้นจะแสดงถึงการเชื่อม ฟังก์ชันระบบ(System Function)จากคุณสมบัติผลการตอบสนองทางเฟสของวงจร ครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คนั้นจะมีผลต่อรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณที่ออกจากลำโพง โดยรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณจะมีผลต่อการรับฟังของมนุษย์ ซึ่งในระบบของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบเดิมนั้น จะมีผลการตอบสนองทางเฟสไม่เป็นเชิงเส้น ทำให้รูปแบบการแพร่กระจายมีลักษณะที่ค่อนข้างแคบตลอดพื้นที่ ตามทิศทางของลำโพงโดยจะมีการเปลี่ยนแปลงตามความถี่ แต่ถ้าวางวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คนั้นมีผลการตอบสนองทางเฟสเป็น เชิงเส้นจะมีผลทำให้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่กว้างกว่าวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คแบบที่ให้ผลการตอบสนองทางเฟสไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งผู้ฟังจะได้รับฟังสัญญาณครบตลอดย่านความถี่เสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ทฤษฎีวงจรรกราฟฟิควอลไฮเซอร์

วงจรรกราฟฟิควอลไฮเซอร์ที่สลับซับซ้อนนั้นก็คือวงจรรควบคุมโทนเสียงหลายๆตัวที่มาต่อขนานกัน โดยวงจรรควบคุมโทนเสียงแต่ละส่วนก็จะมีค่าความถี่ตัดคนละความถี่ (Frequency cutoff) และมีช่วงผ่าน(Band Pass) ที่แคบๆ เพื่อควบคุมสัญญาณเสียงให้ได้ครบทั้งสเปกตรัมความถี่ ทำให้สามารถปรับแต่งค่าอัตราขยายของวงจรรที่ความถี่ต่างๆได้ตามความต้องการ โดยปกติค่าความถี่กึ่งกลาง ของวงจรรฟิเตอร์แต่ละส่วนย่อยนี้แต่ละตัวจะมีความถี่ต่างกันหนึ่งออกเตฟ



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างวงจรรกราฟฟิควอลไฮเซอร์ 10ออกเตฟ

จากรูปที่ 2.3 เป็น วงจรรตัวอย่างของวงจรรกราฟฟิควอลไฮเซอร์ ประกอบด้วย C2,R3 และ R4 เป็นส่วนของวงจรรปรับเสียงแหลมที่ถูกกำหนดค่าไว้ตายตัวไม่สามารถปรับค่าได้ และค่าความถี่ตัดของเบส(bass)และทรีเบิล(treble)ก็จะมีค่าใกล้เคียงกัน ส่งผลคอบสนองของเบสและทรีเบิลจะทับซ้อนกัน ดังนั้นวงจรรในรูปนี้ก็เสมือนวงจรรฟิเตอร์ย่านความถี่แคบที่สามารถปรับค่าอัตราขยายที่ความถี่กึ่งกลางได้ระหว่าง+12dBขยายสูงสุด และ ลดทอนต่ำสุด -12dB ด้วยการปรับค่าที่ R5

## 2.3 ทฤษฎีวงจรรรองความถี่

วงจรรรองความถี่ทางไฟฟ้าคือวงจรรทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าทางด้านเข้า เพื่อให้ได้ช่วงความถี่ของสัญญาณทางด้านเอาต์พุตตามต้องการ สัญญาณเหล่านี้ อาจพิจารณาในโดเมนของเวลาหรือโดเมนของความถี่ สำหรับการพิจารณาตามโดเมนของความถี่นั้น วงจรรรองความถี่เป็นอุปกรณ์สำหรับเลือกความถี่ ซึ่งยอมให้สัญญาณผ่านเฉพาะความถี่ที่ต้องการ และจะลดทอนสัญญาณที่ความถี่อื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแบ่งวงจรกรองความถี่อาจแบ่งตามกระบวนการสัญญาณที่ใช้คือวงจรกรองความถี่ทางอนาล็อก (Analog Filter) ที่ใช้สำหรับขบวนการทางอนาล็อกซึ่งก็คือสัญญาณที่มีฟังก์ชันที่แปรเปลี่ยนต่อเนื่องกับเวลา และวงจรกรองความถี่ดิจิทัล (Digital Filter) ที่ใช้สำหรับการประมวลผลเชิงเลข ซึ่งเป็นสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่อง และนอกจากนี้ยังแบ่งวงจรกรองความถี่ออกตามชนิดของ ชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างคือ 1.วงจรกรองความถี่แบบพาสซีฟ (Passive Filter) ซึ่งจะใช้เฉพาะอุปกรณ์พาสซีฟ คือประกอบด้วยตัวต้านทานไฟฟ้า ตัวเก็บประจุคาปาซิเตอร์ และขดลวดเหนี่ยวนำอินดักเตอร์ เท่านั้น 2.วงจรกรองแบบแอคทีฟ (Active Filter) จะทำงานโดยนำอุปกรณ์จำพวกแอกทีฟ เช่น ทรานซิสเตอร์หรือ ออปแอมป์มาต่อทำงานร่วมกับอุปกรณ์พาสซีฟในวงจรฟิลเตอร์

ในส่วนของการสโรวอร์เนตเวิร์คเราจะเลือกใช้เฉพาะวงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟ ซึ่งวงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟนั้นมีข้อได้เปรียบจากวงจรกรองแบบพาสซีฟ เนื่องจากการใช้วงจรกรองความถี่แบบแอคทีฟ นั้นจะนำออปแอมป์มาใช้ในช่วงความถี่เสียง (Audio Frequency) ซึ่งมีส่วนที่ดีกว่าวงจรกรองแบบพาสซีฟ โดยในวงจรกรองแบบแอคทีฟสามารถลดขดลวดตัวนำ (Inductor) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้วงจรมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก มีราคาแพง เมื่อเทียบกับวงจรกรองแบบแอคทีฟ ซึ่งจะใช้เพียงรีซิสเตอร์และคาปาซิเตอร์ในวงจร อีกทั้งการใช้ ขดลวดตัวนำนั้นยังทำให้ต้องใช้กำลังงาน (Power) มากขึ้นเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในตัว ของขดลวดตัวนำนั้นๆ

ข้อแตกต่างของวงจรกรองแบบแอคทีฟ และพาสซีฟ มีดังนี้คือ

1.การปรับค่าความถี่และค่าอัตราขยาย (Gain) ในวงจรกรองแบบแอคทีฟ มีความคล่องตัวกว่าในวงจรแบบพาสซีฟ โดยเฉพาะ ออปแอมป์ของวงจรกรองแบบแอคทีฟมีสัญญาณลดทอนต่ำ

2.วงจรกรองแบบแอคทีฟ ไม่มีปัญหาเรื่องโหลดคั้ง (Loading) ของวงจรขยายเนื่องจากมี Input Impedance สูง และ Output Impedance ต่ำซึ่งเป็นคุณสมบัติของตัวออปแอมป์ (Opamp) เอง

3.ราคาของวงจรกรองแบบแอคทีฟถูกกว่าแบบพาสซีฟ สาเหตุจากราคาของ ออปแอมป์ ในปัจจุบันมีราคาถูก ประกอบกับสามารถลดค่าของขดลวดตัวนำในวงจรได้ ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีในวงจรกรองแบบแอคทีฟ

4.สาเหตุอันเกิดจากรูปแบบของวงจรที่ต้องใช้ พาสซีฟเน็ตเวิร์ค กั้นอยู่ระหว่างแอมป์ปลิฟาย์กับลำโพง ทำให้ความต้านทานภายในของวงจรพาสซีฟ เกิดการสูญเสียพลังงานเป็นการลดทอนสัญญาณ ในตัวต้านทาน ทำให้กำลังที่จะขับออกทางลำโพงต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ทางด้านการแยกสัญญาณเสียงถึงแม้การใช้วงจรกรองแบบพาสซีฟสามารถตัด ความถี่ช่วงไหนก็ได้โดยไม่ยาก แต่เมื่อประกอบขึ้นเป็นวงจรแล้วการเปลี่ยนช่วงความถี่ตัด เพื่อให้มีความเหมาะสมกับลำโพงหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

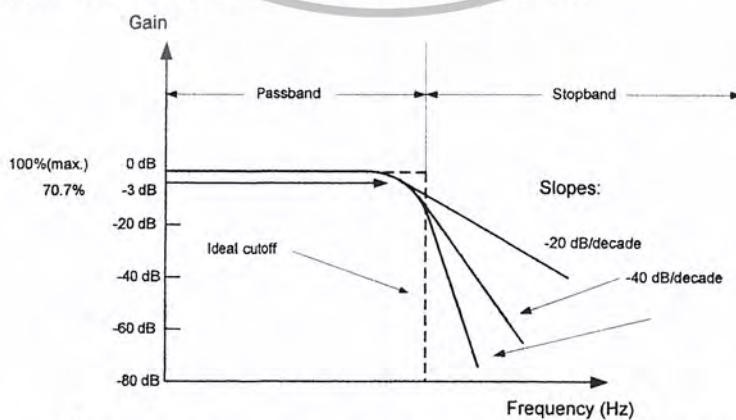
ห้องฟังเสียงนั้น จะทำได้ยากเนื่องจากต้องเปลี่ยนค่าขดลวดตัวนำ จึงเป็นเรื่องยากที่จะทำวงจรให้ได้ ดีและมีประสิทธิภาพสูงๆ อีกทั้งยังต้องลงทุนสูง ขอบการร่อดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ง่ายและดีกว่า เมื่อเราใช้ วงจรกรองแบบแอกทีฟ

### 2.3.1 ชนิดของวงจรกรองความถี่

วงจรความถี่ที่ใช้สำหรับเลือกความถี่ โดยให้สัญญาณผ่านได้ในย่านความถี่ที่ต้องการ ซึ่งเรียกย่านความถี่นั้นว่า " ย่านผ่านสัญญาณ (Passband) " และย่านสัญญาณความถี่ที่อยู่นอกเหนือจากย่านความถี่ที่ต้องการจะถูกลดทอน ซึ่งเรียกย่านนี้ว่า " ย่านหยุดสัญญาณ (Stopband) " และความถี่ที่อยู่ระหว่างย่านผ่านสัญญาณและหยุดสัญญาณเรียกว่า " ความถี่คัทออฟ (Cutoff Frequency) " ชนิดของวงจรกรองความถี่มีดังนี้

### 2.3.2 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass Filter)

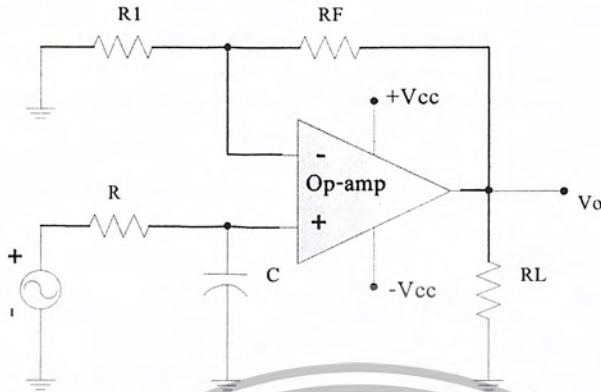
วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านคือวงจรที่ทำหน้าที่กรองเอาความถี่ต่ำที่กำหนดให้ผ่านไปได้ ส่วนความถี่ที่สูงกว่าที่เข้ามาจะถูกตัดออกหรือถูกบายพาสลงกราวด์ ซึ่งจะยอมให้ช่วงความถี่ต่ำผ่านไปได้ในย่านผ่านสัญญาณ (Passband) ตามที่ต้องการ และ ช่วงของ stopband นั้นเป็นช่วงที่ความถี่ของสัญญาณไม่สามารถผ่านออกไปได้ก็คือ ย่านของสัญญาณความถี่ที่สูงกว่าย่านความถี่ คัทออฟ ในทางอุดมคติ จากรูปที่ 2.1 เมื่อสัญญาณที่เข้ามามีความถี่ต่ำก็จะสามารถผ่านได้ เมื่อความถี่เพิ่มสูงขึ้นจนถึงค่าหนึ่งที่กำหนดไว้ก็จะไม่สามารถผ่านไปได้จะถูกตัดทิ้งไปหมด ซึ่งเราเรียกจุดนี้ว่า ความถี่คัทออฟ (Cut off frequency) แต่ในทางปฏิบัติจะพบว่าลักษณะความถี่ที่ถูกตัดออกไปนี้ไม่เป็นเช่นนั้น แต่จะค่อยๆถูกลดทอนอัตราการขยายลงเรื่อยๆ ลักษณะของรูปที่ได้จะมีสโลปที่ค่อยๆลาดชันลง จุดความถี่คัทออฟ ของกรรพที่ ได้คือจุดที่ขนาด  $V_{out}$  เท่ากับ 0.707 ของแรงดันสูงสุด (ถ้าให้อัตราขยายสูงสุดเท่ากับ 0 dB จุดความถี่คัทออฟก็จะเท่ากับ -3 dB)



รูปที่ 2.4 ผลการตอบสนองของวงจรกรองความถี่ต่ำต่ออันดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

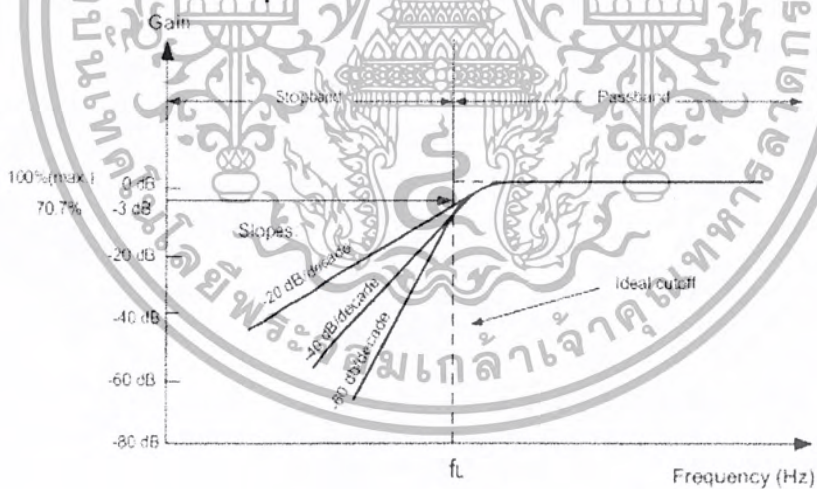
รูปที่ 2.4 ผลการตอบสนองของวงจรกรองความถี่ต่ำต่ออันดับ



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับหนึ่ง

### 2.3.2 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High pass Filter)

วงจรกรองความถี่สูงผ่านคือ วงจรที่ทำหน้าที่กรองให้ความถี่สูงที่กำหนดผ่านไปได้ ส่วนความถี่ที่ต่ำกว่าที่กำหนดจะถูกลดทอนลงหรือถูกตัดออกไป

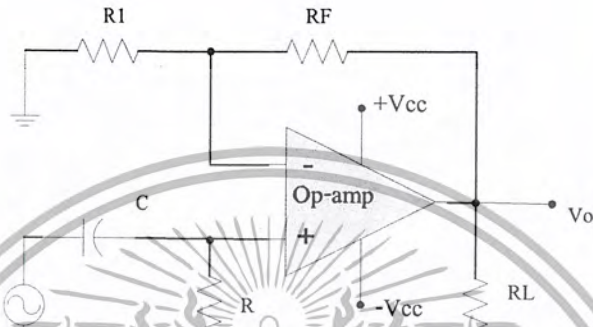


รูปที่ 2.6 ผลการตอบสนองของวงจรกรองความถี่สูงต่ออันดับ

จากรูปที่ 2.6 ในทางอุดมคติเราจะเห็นว่าที่ความถี่ต่ำกว่าที่กำหนดจุดตัดความถี่(Cutoff frequency) จะไม่มีสัญญาณปรากฏออกมา วงจรจะให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเมื่อความถี่ที่เข้ามานั้นมีค่าเท่ากับ หรือมากกว่าความถี่ที่กำหนดเท่านั้นแต่ในทางปฏิบัติจะไม่เป็นเช่นนั้น กล่าวคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

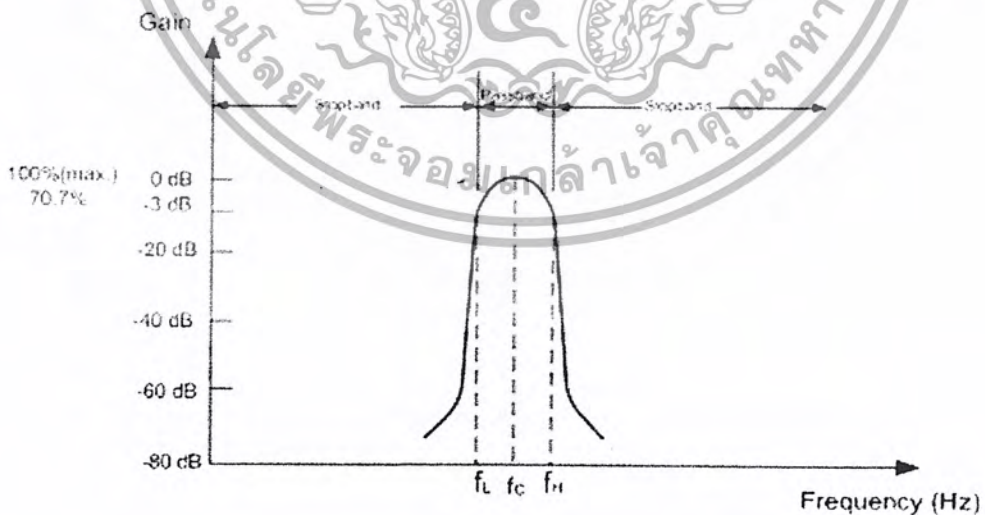
สัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าความถี่ที่เรากำหนดก็จะปรากฏออกมาด้วยแต่จะมีอัตราที่น้อยกว่า โดยอัตราขยายจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นเมื่อสัญญาณที่เข้ามามีความถี่เข้าใกล้กับความถี่ที่เรากำหนด จุดที่สัญญาณมีขนาดเท่ากับ 0.707 ของแรงดันสูงสุด คือที่ความถี่คัทออฟ( $f_c$ ) หรือจุดที่อัตราขยายเท่ากับ -3dB(ถ้าให้อัตราขยายสูงสุดเท่ากับ 0dB)



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างวงจรกรองความถี่สูงอันดับหนึ่ง

**2.3.3 วงจรกรองความถี่เป็นช่วงหรือกรองความถี่เฉพาะ(Band pass Filter)**

วงจรกรองความถี่เป็นช่วง คือวงจรที่ยอมให้ช่วงความถี่ของสัญญาณบางช่วงผ่านไปได้ตามที่กำหนดเท่านั้น ส่วนสัญญาณความถี่ช่วงอื่นจะถูกกลทอนลงไม่สามารถผ่านไปได้ จากรูป แสดง



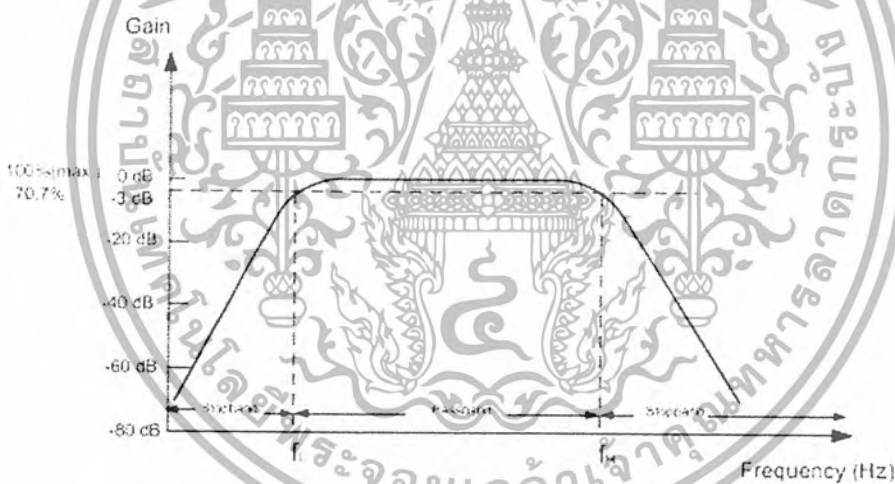
รูปที่ 2.8 การตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่เป็นช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่เป็นช่วง จากรูปจะเห็นว่า ที่ความถี่ที่เอาต์พุตมีขนาดสูงสุด เราเรียกว่าความถี่รีโซแนนซ์ และที่ความถี่ซึ่งแรงดันเอาต์พุตลดลงเหลือ 70.7 % ทั้งทางด้านที่ความถี่สูงขึ้นและที่ความถี่ลดลง เรียกว่า ความถี่คัทออฟ  $f_H$  และ  $f_L$  ตามลำดับ โดยที่ผลต่างของความถี่ทั้งสองนี้ ( $f_H - f_L$ ) จะแสดงเป็นแบนด์วิดท์(BW) ของวงจร ถ้าแบนด์วิดท์มีขนาดต่ำกว่า 10% ของความถี่ เรโซแนนซ์ จะเรียกวงจรนี้ว่า วงจรกรองความถี่ช่วงแคบ แต่จะเรียกเป็นวงจร กรองความถี่ช่วงกว้างเมื่อ

แบนด์วิดท์มีค่าสูงกว่า 10% ของความถี่เรโซแนนซ์ นอกจากนี้ยังนิยามสำหรับค่า Q(Quality Factor) เป็นอัตราส่วนระหว่างความถี่เรโซแนนซ์และแบนด์วิดท์ดังสมการ  $Q = f_r/BW$

วงจรที่มีค่า Q สูงมากเท่าใดแบนด์วิดท์ก็จะยิ่งแคบ ในกรณีที่ต้องการวงจรกรองความถี่เป็นช่วงๆที่มีช่วงกว้างๆเราสามารถใช่วงจรกรองความถี่ต่ำและวงจรกรองความถี่สูงผ่านมาต่อรวมกัน เป็นวงจรกรองความถี่ช่วงกว้างได้ ซึ่งจะแสดงกราฟได้ดังนี้



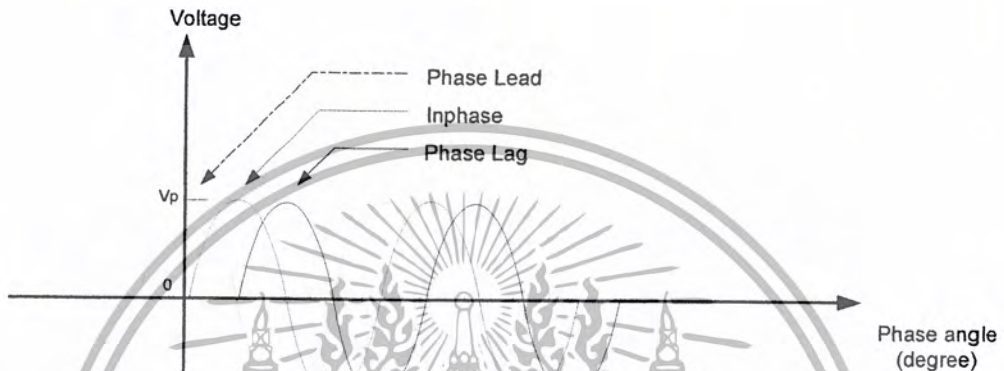
รูปที่ 2.9 การตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองความถี่เป็นช่วงกว้าง

### 2.3.4 วงจรกรองความถี่ผ่านตลอด ( All pass filter )

วงจรกรองความถี่ผ่านตลอด เป็นวงจรกรองความถี่ที่ให้สัญญาณผ่านทุกๆความถี่ตลอดย่านที่ต้องการ โดยไม่เกิดการลดทอนของสัญญาณ แต่ในขณะที่เดียวกันก็จะมี การเลื่อนหรือชิฟเฟสของสัญญาณไปด้วย เนื่องด้วยสัญญาณที่ผ่านวงจร กรองความถี่ในแบบต่างๆดังที่กล่าวมานั้นจะมีผลทำให้เฟสของสัญญาณทางด้านอินพุตและเอาต์-พุตมีเฟสต่างกันหรือเกิดการเลื่อน(Phase Shift) ระหว่างสัญญาณทางอินพุตกับเอาต์พุต ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ 2 กรณี คือ เฟสของสัญญาณด้านเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำหน้าเฟสด้าน(Phase Lead) อินพุตและเฟสของสัญญาณด้านเอาต์พุตล่าหลัง(Phase Lag) เฟส ด้านอินพุต ซึ่งมีผลมาจากคุณสมบัติของตัวเก็บประจุ(Capacitor)ที่ใช้ในวงจร เนื่องจากเรา จำเป็นต้องอาศัยตัวเก็บประจุในการทำควมถี่คัทออฟ (Frequency cutoff) แสดงได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.10 การเลื่อนเฟส(Phase shift) ของสัญญาณ

ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องใช้วงจรกรองความถี่ผ่าน(All pass filter) ทำหน้าที่เลื่อนเฟสของ สัญญาณกลับคืนมา โดยอาศัยวงจร RC Network ที่ขาอินพุตขั้วอนอินเวอร์ตของออปแอมป์ โดย วงจรกรองความถี่ผ่านมีคุณลักษณะทางเฟส ดังสมการ นี้คือ

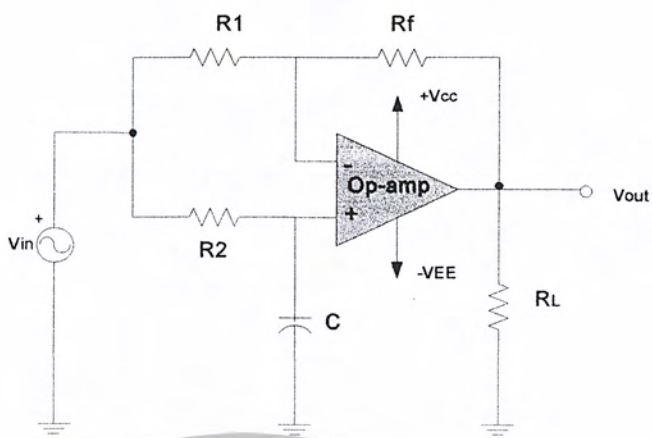
$$\phi = -2\tan^{-1}(2\pi fRC) \quad \text{เป็นสมการเลื่อนเฟส (Phase Shift) ของ Phase Lag วงจร} \\ \text{กรองความถี่ผ่านตลอด}$$

$$\phi = \pi - 2\tan^{-1}(2\pi fRC) \quad \text{เป็นสมการเลื่อนเฟส (Phase Shift) ของ Phase Lead วง} \\ \text{จรกรองความถี่ผ่านตลอด}$$

โดย  $\phi$  = เฟส  $R$  = ค่าความต้านทาน  $C$  = ค่าตัวเก็บประจุ  $f$  = ความถี่สัญญาณทางอิน พุต

ในส่วนของวงจรกรองความถี่ผ่านตลอดแสดงได้ดังรูปที่ 2.11 และ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 วงจรกรองความถี่ผ่านตลอด แบบ Phase-Lag



รูปที่ 2.12 วงจรกรองความถี่ผ่านตลอด แบบ Phase-Lead

ซึ่งวงจรกรองความถี่ผ่านตลอด(All pass filter)นี้จะนำมาต่อร่วมทางด้านเอาต์พุตของวงจรกรองความถี่ชนิดต่างๆดังที่กล่าวมา เพื่อทำการปรับเฟสของสัญญาณ แสดงได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.13 บล็อกการต่อวงจรกรองความถี่ผ่านตลอด (All-pass filter) กับวงจรกรองชนิดอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

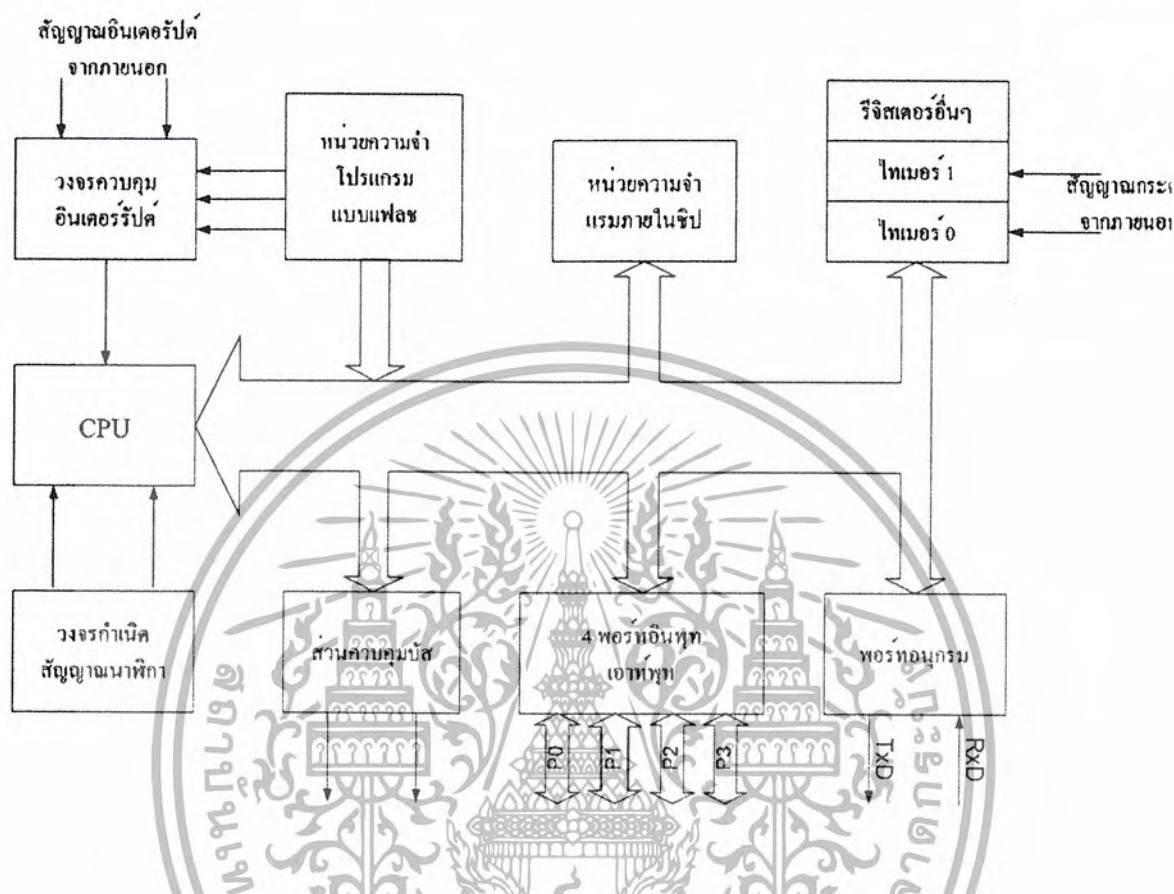
### 2.3.5 ความถี่คัทออฟ และ ลักษณะโรลออฟ

ความถี่คัทออฟ คือจุดหรือความถี่ที่ขนาดของเอาต์พุตจากวงจรรองความถี่ลดลง 0.707 หรือ -3dB ของขนาดสูงสุด ( $f_{CH}$  และ  $f_{CL}$ ) เช่นความถี่คัทออฟของวงจรรองความถี่ต่ำผ่านอยู่ที่ 500 Hz คิดเป็นอัตราส่วนของเอาต์พุตต่ออินพุตที่ -3 dB แต่อินพุตคิดเป็น 0dB ในช่วงที่ความถี่ต่ำกว่า 500Hz จะมีอัตราส่วนแรงดันเอาต์พุต กับแรงดันอินพุต -3dB หรือขนาดแรงดันอินพุตจะมีขนาด 0.707 เท่าของ แรงดันเอาต์พุตในช่วงความถี่ที่ผ่านได้

โรลออฟ คือ ลักษณะการลดลงของการสนองตอบความถี่ต่ำ จากจุดคัทออฟลงมาว่ามี ความชัน(slope) มากน้อยเพียงใด มักบอกเป็นหน่วย ดีบีออกเตป(dB/Octave) หมายความว่าเอาต์พุตของ วงจรรองความถี่ จะลดลงเท่าใด(dB) เช่น การสนองตอบของวงจรรองความถี่สูงผ่าน มี อัตราการ โรลออฟ -6dB/Octave หมายความว่า ณ ความถี่ต่ำกว่าจุดคัทออฟ  $f_{CH}/2$  จะมีเอาต์พุต -9dB และต่ำกว่า 4 เท่าจะมีเอาต์พุต -15 dB เป็นต้น ขนาดของการ โรลออฟจะสัมพันธ์กับอันดับ (Order)

อันดับจะมีความสัมพันธ์กับค่าโรลออฟ โดยที่อันดับสูงกว่า ค่าโรลออฟจะสูงด้วย เช่นวงจร รองความถี่อันดับ 1 มีโรลออฟ -6dB/Octave แล้ว วงจรรองความถี่อันดับ 2 จะมีโรลออฟ -12 dB/Octave จะเห็นว่าค่าโรลออฟจะมีค่าเป็นจำนวนเท่าตามอันดับ ดังนั้นจำนวนอันดับจะบอกได้ว่า วงจรรองความถี่นั้นๆ จะสามารถตัดความถี่ที่ไม่ต้องการทิ้งได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งการสร้าง วงจรกรองแบบแอกทีฟอันดับสูงๆ จะทำได้ยากกว่าวงจรรองความถี่อันดับต่ำๆ

## 2.4 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบ Flash



รูปที่ 2.16 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์

### 2.4.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
- ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้นับพันครั้ง
- หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบแรม
- ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง สามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์
- ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตอย่างน้อย 2 ตัว
- สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเทอร์พรัคได้ 6 ประเภท
- สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- มีวงจรถ่ายค่าสัญญาณนาฬิกาอยู่ภายในชิป
- มีวงจรถ่ายค่าสัญญาณอนุกรมแบบ SPI สำหรับในอนุกรม AT89Sxx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.2 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

- ขา VCC ใช้สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5V

- ขา GND เป็นขากราวด์ สำหรับต่อกราวด์ของระบบ

- ขาพอร์ต 0 (P0.0-P0.7) ขาที่ 32-39 แต่ละขาสามารถกำหนดได้เป็นทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าต้องการที่ ต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อกับด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนี้ขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วย เพื่อสลับการทำงานเป็นไปได้อย่างติดต่อกับแอดเดรสและขาข้อมูล

- ขาพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) ขาที่ 1-8 แต่ละขาสามารถกำหนดได้เป็นทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าต้องการที่ ต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้ โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อกับด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนี้ในอนุกรม AT89Sxx จะใช้ขา P1.0 เป็นขาอินพุตสำหรับนับค่าของไทมเมอร์ 2 และ P1.1 เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทมเมอร์ 2 ในขณะที่ขา P1.4 ถึง P1.7 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อแบบ SPI เพื่อทำการโปรแกรมข้อมูลในระบบ

- ขาพอร์ต 2 (P2.0-P2.7) ขาที่ 21-28 แต่ละขาสามารถกำหนดได้เป็นทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าต้องการที่ ต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อกับด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนี้ขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7)

- ขาพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) ขาที่ 10-17 แต่ละขาสามารถกำหนดได้เป็นทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าต้องการที่ ต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อกับด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนี้ขาพอร์ตนี้ยังมีหน้าที่การใช้งานพิเศษ ดังนี้

P3.0 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา RxD

P3.1 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา TxD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P3.2 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา  $\overline{INT0}$

P3.3 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา  $\overline{INT1}$

P3.4 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทมเมอร์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา T0

P3.5 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทมเมอร์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา T1

P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ  $\overline{WR}$  ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ  $\overline{RD}$  ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

- ขารีเซต (Reset) ขาที่ 9 ใช้ในการรีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซ็ตสถานะที่ขาที่ีต้องอยู่ในระดับรีเซ็ตอย่างน้อย 2 แมกซ์ซีไอเกิดโดยที่วงจรถูกกำหนดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างปกติ

- ขา  $\overline{ALE} / PROG$  (Address Latch Enable/Program pulse input) ขาที่ 30 เป็นขาที่ใช้ในการควบคุมการแลตช์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการงานหน่วยความจำภายนอก นอกจากนั้นขาี้ยังใช้เป็นขาสำหรับรับพัลส์ของการโปรแกรมสำหรับโปรแกรมข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในรุ่นใหม่ที่มีหน่วยความจำเป็นแบบอีพรอม

- ขา  $\overline{PSEN}$  (Program Store Enable) ขาที่ 29 ขาี้ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณออกมาที่ขาที่ 2 ครั้งในแต่ละแมกซ์ซีไอเกิด แต่ถ้าหากติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ขาี้จะไม่มีการส่งสัญญาณใดๆออกมา

- ขา  $\overline{EA} / V_{pp}$  (External Access enable/Programming voltage Input) ใช้สำหรับเลือกการติดต่อกับหน่วยความจำจากภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากขาี้เป็น “0” เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก แต่ถ้าหากขาี้เป็น “1” เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ติดต่อกับหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ที่ขาี้ยังใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับแรงดันไฟสูงสำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชต้องการแรงดันสำหรับการโปรแกรม +12V

- ขา XTAL 1 และ XTAL 2 เป็นขาสำหรับต่อคริสตอลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3 การจัดการหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในเบอร์ต่างๆที่นิยมใช้งานอันประกอบด้วยเบอร์ AT89C51 และ AT89C52 จะเห็นได้ว่าทั้งสองเบอร์สามารถติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ โดยสามารถเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายในอย่างเดียวหรือรวมกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกอย่างเดียวกก็ได้ โดยภายใน AT89C51 ที่เลือกใช้มีหน่วยความจำภายใน 4 กิโลไบต์

ในกรณีที่ใช้หน่วยความจำภายในและภายนอกรวมกัน หากใช้ AT89C51 ก็จะสามารถติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกได้ 60 กิโลไบต์ และถ้าใช้เบอร์ AT89C52 จะสามารถติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 56 กิโลไบต์

หน่วยความจำโปรแกรมใช้เก็บข้อมูลของโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือที่เรียกว่า โปรแกรมมอนิเตอร์ (Monitor Program) หากใช้หน่วยความจำภายนอกมักจะบรรจุอยู่ในหน่วยความจำชนิดอีพรอม (EPROM : Erasable Programmable Read-Only Memory)

หน่วยความจำโปรแกรมหมีแอดเดรสเริ่มต้นที่ 0000H เมื่อซีพียูได้รับการรีเซ็ตให้เริ่มต้นการทำงาน จะต้องมาเริ่มต้นที่แอดเดรส 0000H นี้เสมอ ซึ่งมีการสงวนพื้นที่บางตำแหน่งไว้สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์ 6 ประเภท ประเภทละ 8 ไบต์ ประกอบด้วย

- พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ 0 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0003H
- พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 0 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 000BH
- พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ 1 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0013H
- พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 1 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 001BH
- พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ของการสื่อสารอนุกรม กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0023H
- พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 2 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 002BH

### 2.4.4 พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์ 1 ชุด (วงจรสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์หมายถึงวงจรสื่อสารที่สามารถทำการรับและส่งข้อมูลในลักษณะ 2 ทิศทางได้ในเวลาเดียวกัน) โดยใช้ขาสัญญาณของพอร์ต 3 คือขา P3.0 เป็นขารับข้อมูลเข้าหรือ RxD และขา P3.1 เป็นขาส่งข้อมูลออกหรือ TxD โดยใช้วงจรสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แบบแฟลช เป็นแบบอะซิงโครนัส ปกติแล้วพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้ในการติดต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ โดยใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐาน RS-232 แต่ในปัจจุบันสามารถติดต่อในมาตรฐาน RS-422 หรือ RS-485 ได้แล้วโดยใช้ไอซีพิเศษที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณในการสื่อสารดังกล่าว

รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51 ดังนี้

#### 2.4.4.1 รีจิสเตอร์ควบคุมไทมเมอร์

เนื่องจากว่า การใช้พอร์ตอนุกรม นั้นมีสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงคืออัตราการรับ-ส่งข้อมูล หรือเรียกว่า อัตราบอด (Baud rate) จริงๆแล้ว คือจังหวะการเลื่อนข้อมูลเข้าออกจาก MCS-51 โดยอัตราบอดนี้สามารถสร้างขึ้นภายในชิพของ MCS-51 ได้จากไทมเมอร์เซนแนล 1 โดยทำงานในโหมด 2 คือ โหมดค่ากลับอัตโนมัติ ดังนั้นรีจิสเตอร์ที่ต้องการทำการโปรแกรมมีดังนี้

- TMOD ตำแหน่ง 89H ทำหน้าที่เลือกโหมดของไทมเมอร์
- TCON ตำแหน่ง 88H ทำหน้าที่เริ่มต้นการสร้างอัตราบอด
- TH1 ตำแหน่ง 8CH ทำหน้าที่ใส่ข้อมูลการนับของไทมเมอร์ 1 เพื่อสร้างอัตราบอด

#### 2.4.4.2 รีจิสเตอร์ควบคุมการลัดกำลัง

เนื่องจากว่า การสร้างอัตราบอดนั้นจะต้องนำบิตในรีจิสเตอร์ PCON มาใช้ในการคำนวณข้อมูลของ TH1 ดังนั้นรีจิสเตอร์ที่ใช้ก็คือ PCON ตำแหน่ง 87H ทำหน้าที่ในการคำนวณข้อมูลที่จะใส่ในรีจิสเตอร์ TH1 ดังนี้

7	6	5	4	3	2	1	0
SMOD	-	-	-	GF1	GF0	PD	IDL

บิตที่ 7 (SMOD) คือ บิตที่ใช้สำหรับเปลี่ยนแปลงแก้ไขอัตราการส่งข้อมูลอนุกรม โดยใช้โปรแกรมเซตให้เป็น 1 เป็นการเพิ่มอัตราการส่งขึ้นเท่าตัวเมื่อใช้ไทมเมอร์ 1 เข้าช่วย ถ้าเลือกใช้การรับส่งข้อมูลใน โหมด 1,2 และ 3 แต่ถ้าเคลียร์เป็น 0 จะใช้ไทมเมอร์ 1 ตามปกติที่เป็นอยู่ตามการกำหนดเริ่มต้นของโปรแกรม

บิตที่ 6-4 ไม่ใช้งาน

บิตที่ 3 (GF1) คือ แฟล็กใช้งานทั่วไป กำหนดโดยผู้ใช้ไม่เกี่ยวข้องกับการควบคุมใดๆ

บิตที่ 2 (GF0) คือ แฟล็กใช้งานทั่วไปเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิตที่ 1 (PD) คือ บิตที่แสดงการลดลงของกำลังไฟ (Power down) เช็คเป็น 1 โดยโปรแกรมเพื่อเข้าสู่โหมดการลดของกำลังไฟ ใช้ในไมโครโปรเซสเซอร์ที่เป็นแบบ CHMOS เท่านั้น

บิตที่ 0 (IDL) คือ บิตที่แสดงในโหมดไอดีล (idle) เช็คเป็น 1 โดยโปรแกรมเพื่อเข้าไอดีลในไมโครโปรเซสเซอร์ที่เป็นแบบ CHMOS เท่านั้น

#### 2.5.4.3 รีจิสเตอร์ควบคุมการอินเตอร์รัปต์

MCS-51สามารถใช้งานพอร์ตอนุกรมในลักษณะการอินเตอร์รัปต์ได้ จึงมีรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องคือ

- IE ตำแหน่ง A8H ทำหน้าที่ขอมให้เกิดการอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตอนุกรมได้หรือไม่
- IP ตำแหน่ง B8H ทำหน้าที่จัดลำดับความสำคัญของการอินเตอร์รัปต์

#### 2.4.4.4 รีจิสเตอร์ควบคุมพอร์ตอนุกรม

การใช้งานพอร์ตอนุกรมขึ้นอยู่กับรีจิสเตอร์โดยตรงคือ

- SBUF ตำแหน่ง 99H ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์การรับหรือส่งข้อมูลของพอร์ตอนุกรม
- SCON ตำแหน่ง 98H ทำหน้าที่ควบคุมและกำหนดโหมดการใช้งานพอร์ตอนุกรมทั้งหมด

ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

7	6	5	4	3	2	1	0
SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

บิตที่ 7 (SM0) คือ โหมดของพอร์ตอนุกรมบิต 0 ทำการเช็คหรือเคลียร์ โดยใช้โปรแกรม

บิตที่ 6 (SM1) คือ โหมดของพอร์ตอนุกรมบิต 1 ทำการเช็คหรือเคลียร์ โดยใช้โปรแกรม

SM0	SM1	Mode	Detail
0	0	0	รีจิสเตอร์แบบเลื่อนบิต; อัตราการส่ง = $f/12$
0	1	1	UART ชนิด 8 บิต; อัตราการส่งเปลี่ยนแปลงได้
1	0	2	UART ชนิด 9 บิต; อัตราการส่ง = $f/32$ หรือ $f/64$
1	1	3	UART ชนิด 9 บิต; อัตราการส่งเปลี่ยนแปลงได้

บิตที่ 5 (SM2) ใช้เป็นบิตแสดงการติดต่อแบบไมโครโปรเซสเซอร์หลายตัว (Multi-Processor Communication) เช็คและเคลียร์ค่าโดยโปรแกรมควบคุม ในกรณีนี้จะใช้เฉพาะโหมด 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 3 เมื่อบิตนี้ถูกเซตเป็น 1 การอินเทอร์รัพท์จะไม่เกิดขึ้นเมื่อใช้งานในโหมด 1 อินเทอร์รัพท์จะเกิดขึ้นเมื่อได้รับบิตหยุดที่ถูกต้องแล้ว ถ้าโหมด 0 บิตนี้จะถูกเคลียร์เป็น 0

บิตที่ 4 REN เป็นบิตอีนามาเบิลการรับ บิตนี้จะถูกเซตเป็น 1 เมื่อต้องการรับสัญญาณอนุกรม และจะถูกเคลียร์เป็น 0 เมื่อไม่ต้องการรับสัญญาณอนุกรม

บิตที่ 3 TB8 ใช้เลือกว่าจะให้ส่งบิต 8 หรือไม่ใช่ สำหรับกรณีรับข้อมูลในโหมด 2 หรือ 3 บิตหยุดในโหมด 1 ส่วนในโหมด 0 จะไม่ใช้งานบิตนี้

บิตที่ 2 RB0 ใช้เลือกว่าจะให้รับบิต 8 หรือไม่ใช่ สำหรับกรณีรับข้อมูลในโหมด 2 หรือ 3 บิตหยุดในโหมด 1 ส่วนในโหมด 0 จะไม่ใช้งานบิตนี้

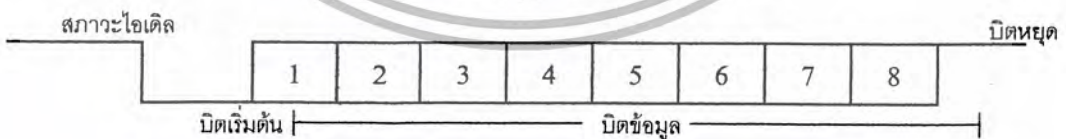
บิตที่ 1 TI แฟล็กอินเทอร์รัพท์ เมื่อส่งข้อมูลในโหมด 0 จะถูกเซตเป็น 1 หลังจากส่งบิต 7 ออกไป การเคลียร์บิตนี้จะทำได้โดยใช้โปรแกรม

บิตที่ 0 RI แฟล็กอินเทอร์รัพท์ เมื่อรับข้อมูลในโหมด 0 จะถูกเซตเป็น 1 หลังจากรับบิต 7 เข้ามาแล้ว ในโหมดอื่นๆ จะเซตเป็น 1 เมื่อรับบิตหยุดได้ครั้งหนึ่ง การเคลียร์บิตนี้จะทำได้โดยใช้โปรแกรม

การอ้างอิงแบบเบบบิตแอดเดรสของรีจิสเตอร์นี้คือ SCON.0 – SCON.7

#### 2.4.4.5 การส่งข้อมูลอนุกรมในโหมด 1 (Standard UART)

การส่งข้อมูลในโหมดนี้จะเป็นการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส 8 บิตข้อมูล 1 บิตเริ่มต้นและ 1 บิตหยุด การทำงานในโหมดนี้จะทำโดยการกำหนดข้อมูลในรีจิสเตอร์ SCON บิต SM0 และบิต SM1 ให้มีค่าเป็น “01” ซึ่งเป็นการกำหนดให้รีจิสเตอร์ SBUF กลายเป็นตัวรับส่งข้อมูลขนาด 10 บิต แบบฟูลดูเพลกซ์ (Full Duplex) ซึ่งสามารถรับ และส่งข้อมูลได้ภายในเวลาเดียวกัน โดยใช้ขา RXD ทำหน้าที่รับสัญญาณอนุกรมที่เข้ามา และขา TXD ทำการส่งข้อมูลแบบอนุกรมออกไปภายนอก



รูปที่ 2.17 รูปแบบการรับส่งข้อมูลในโหมด 1

การส่งข้อมูลจะเริ่มต้นด้วยการส่งบิตเริ่มต้น (Start bit) ออกไปก่อนแล้วตามด้วยบิตข้อมูล (โดยส่ง 0 ออกไปก่อน) จากนั้นจึงเป็นการส่งบิตหยุด (Stop bit) แฟล็ก TI จะเซตเมื่อส่งข้อมูลครบทั้ง 10 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรับข้อมูลจะเริ่มจากลอจิกในสายสัญญาณเปลี่ยนสถานะจาก 0 เป็น 1 (ขอบบวกของบิตเริ่มต้น) บิตเริ่มต้นจะถูกข้ามไปไม่สนใจ จะสุ่มเอาข้อมูลอีก 8 บิตที่เหลือเข้ารีจิสเตอร์เลื่อนบิตภายในพอร์ตอนุกรมเมื่อครบทั้ง 8 บิตแล้ว สิ่งต่อไปนี้จะเกิดขึ้น

บิต 9 (บิตหยุด) จะถูกเก็บเข้าไปในบิต RB8 ของ SCON

SBUF จะทำการ โหลดข้อมูลทั้ง 8 บิตเข้าตัวเอง

แฟล็ก RI เซ็ต

สิ่งที่กล่าวมาทั้งหมดจะเป็นจริงต่อเมื่อ

RI = 0

SM2 = 1 และบิตหยุดที่รับเข้ามาเป็น 1 หรืออีกกรณีหนึ่งคือ SM2 = 0

#### 2.4.4.5.1 การคำนวณอัตราบอดของโหมด 1

อัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส หรือ อัตราบอดเรตที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 มีด้วยกันหลายค่าตั้งแต่ 110 ถึง 19,200 บิตต่อวินาที โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์เนื่องจากอัตราบอดเรตคือค่าของจำนวนบิตที่สามารถส่งได้ใน 1 วินาที

ไทม์เมอร์ 1 จะถูกใช้เป็นตัวสร้างอัตราบอด เมื่อกำหนดการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมในโหมด 1 โดยไทม์เมอร์ 1 จะถูกใช้ให้ทำงานในโหมด 2 (โหลดค่าเข้าไปอัตโนมัติ) การคำนวณจะเป็นดังนี้

$$F_{buad} = \frac{2SMOD \times \text{Oscillator Frequency}}{32_D \times 12_D \times [256_D - (TH1)]}$$

เมื่อ SMOD เป็นบิตควบคุมอยู่ในรีจิสเตอร์ PCON ซึ่งเป็น 0 หรือ 1 ก็ได้ถ้าเป็น 0 จะเป็นความถี่ปกติถ้าเป็น 1 ความถี่จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าได้ดังที่กล่าวมาแล้วในรีจิสเตอร์ PCON

ถ้าไทม์เมอร์ 1 ไม่ถูกใช้งานในโหมด 2 ค่าอัตราบอดจะเป็น

$$F_{buad} = \frac{2SMOD \times (\text{timer 1 overflow frequency})}{32_D}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ลักษณะของการสื่อสารตามมาตรฐาน

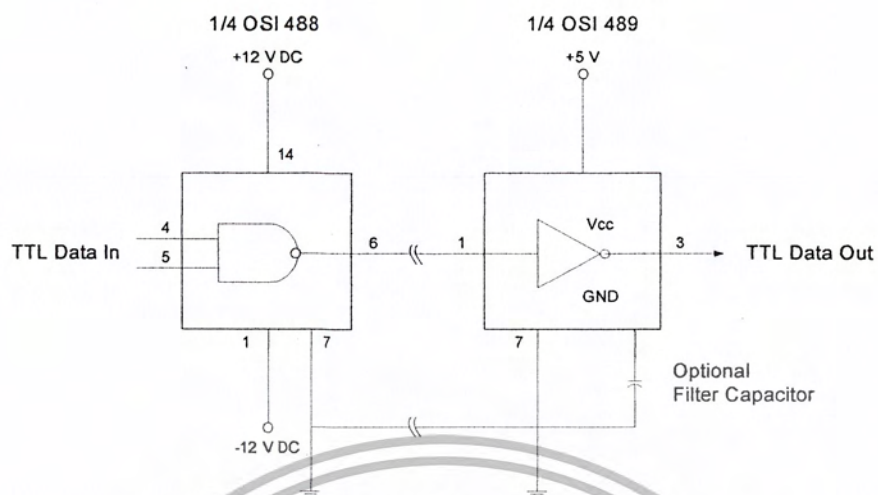
ในปัจจุบันสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารส่วนใหญ่จะใช้สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal) เป็นหลักและสัญญาณสื่อสารที่ใช้ส่วนมากจะเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีระดับสัญญาณแบบ TTL ซึ่งถ้าทำการติดต่อสื่อสารในลักษณะของระดับสัญญาณแบบ TTL แล้วจะสามารถทำการติดต่อสื่อสารได้โดยตรง แต่ในหลายกรณีที่มีความจำเป็นที่จะต้องสื่อสารด้วยสัญญาณในระดับอื่นที่ไม่ใช่ระดับสัญญาณแบบ TTL หรือไม่ได้เป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งทำให้เกิดปัญหาในการสื่อสาร แต่ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยอาศัยการแปลงสัญญาณที่ต้องการสื่อสารให้เป็นสัญญาณตามมาตรฐาน โดยที่แต่ละมาตรฐานจะมีข้อกำหนดที่แตกต่างกันไป ในที่นี้จะกล่าวถึงมาตรฐานสำคัญที่ใช้ในการสื่อสารดังนี้

### 2.5.1 ลักษณะการเชื่อมต่อตามมาตรฐาน RS-232-C

มาตรฐาน RS-232-C เป็นมาตรฐานที่ได้รับการพัฒนามานานและถูกใช้งานกันอย่างแพร่หลาย และใช้เป็นมาตรฐานในการเชื่อมต่อ DTE(Data Terminal Equipment) เข้ากับ DCE(Data Communication Equipment) เช่น การต่อคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเข้ากับโมเด็ม

ลักษณะการเชื่อมต่อตามมาตรฐาน RS-232-C นั้นจะใช้สายสัญญาณเพียงคู่เดียวในการส่งสัญญาณ โดยสามารถส่งสัญญาณไปได้ในทิศทางเดียว อัตราเร็วสูงสุดในการส่งข้อมูลมีค่าเท่ากับ 20 kbps (กิโลบิตต่อวินาที) และระยะทางที่ใช้ในการส่งข้อมูลไม่ควรเกิน 50 ฟุต สำหรับการส่งข้อมูลจะใช้ระดับแรงดันแทนค่าทางตรรก (Logic) ของข้อมูล โดยระดับแรงดันที่มีค่าอยู่ระหว่าง -5 โวลต์ ถึง -15 โวลต์ จะแทนค่าสถานะ 0 และระดับแรงดันที่มีค่าอยู่ระหว่าง +5 โวลต์ ถึง +15 โวลต์ จะแทนค่าสถานะ 1 ส่วนในช่วงระดับแรงดันที่มีค่าอยู่ระหว่าง -5 โวลต์ ถึง +5 โวลต์ นั้นจะใช้ในการแบ่งแยกระดับสถานะของสัญญาณระหว่างสถานะ 0 และสถานะ 1

ตัวอย่างของวงจรที่ใช้ในการเชื่อมต่อตามมาตรฐาน RS-232-C จะแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 2.18 โดยจะมีการแปลงระดับสัญญาณแบบ TTL ไปเป็นระดับแรงดันสัญญาณตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน RS-232-C แล้วส่งไปตามสายสัญญาณและแปลงกลับจากระดับแรงดันสัญญาณในมาตรฐาน RS-232-C ไปเป็นระดับสัญญาณแบบ TTL



รูปที่ 2.18 วงจรขับและรับสัญญาณที่ใช้กับมาตรฐาน RS-232-C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

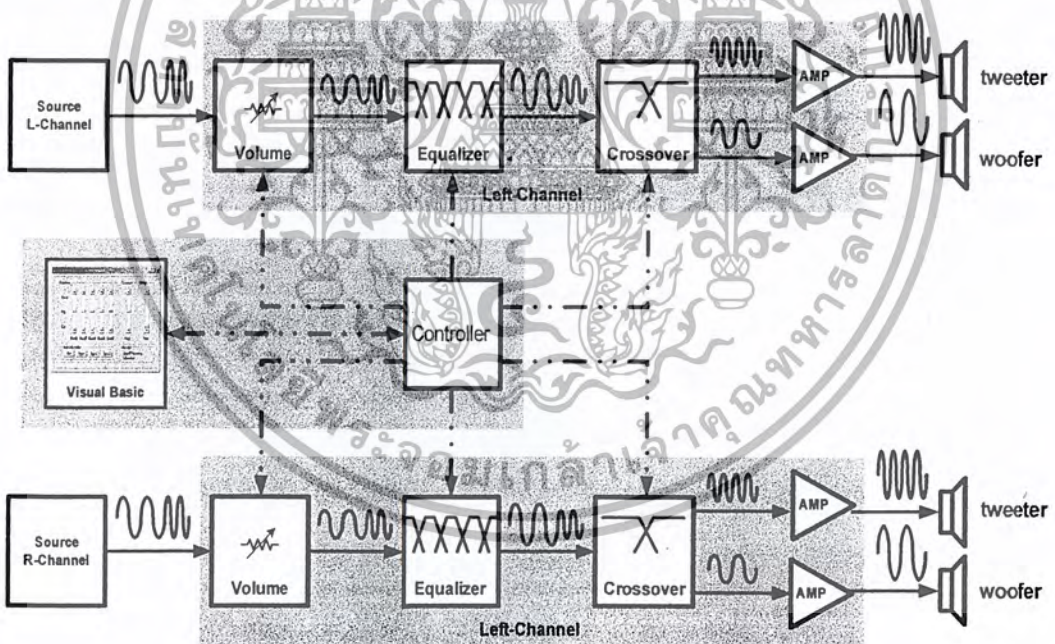
## บทที่ 3

### การออกแบบ

การออกแบบของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในโครงการนี้สามารถแบ่งออกเป็นส่วนย่อยๆ ได้

6 ส่วนดังรูปที่ 3.1 ซึ่งประกอบไปด้วย

1. วงจรควบคุมระดับสัญญาณเสียง (Volume Control)
2. วงจรอีควอลไลเซอร์ (5 Band Graphic Equalizer)
3. วงจรครอสโอเวอร์ (2-Ways Active Crossover Network)
4. วงจรควบคุมการปรับแต่ง (Microcontroller)
5. โปรแกรมติดต่อกับผู้ใช้ (User interface by Visual Basic Program)
6. ส่วนโปรแกรมควบคุมการปรับแต่ง (Assemble Program)



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดในโครงการ

หลักการการทำงานเริ่มจากแหล่งกำเนิดสัญญาณเสียงป้อนสัญญาณเสียงให้กับวงจรปรับระดับสัญญาณเสียงเพื่อควบคุมระดับเสียงตามที่ต้องการ หลังจากนั้นสัญญาณเสียงจะป้อนสู่วงจรอีควอลไลเซอร์ซึ่งสามารถปรับเพิ่มหรือลดระดับสัญญาณเสียงได้ 5 ย่านความถี่ จากนั้นสัญญาณเสียงถูกส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

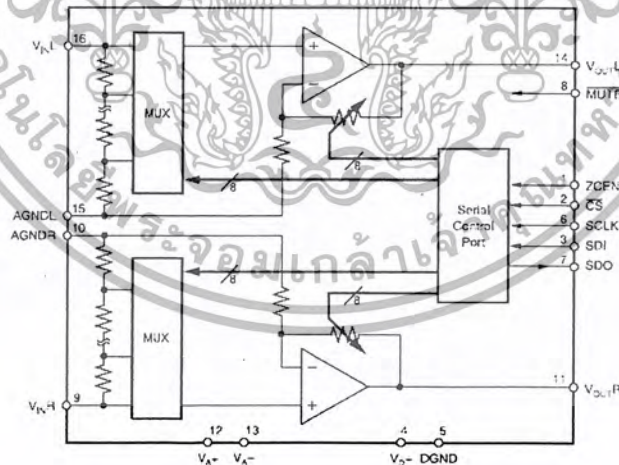
ผ่านไปยังวงจรครอสโอเวอร์ชนิดสองทาง จะได้สัญญาณเสียงออกมาเป็นสองช่วงความถี่คือ สัญญาณเสียงช่วงความถี่สูง และสัญญาณเสียงช่วงความถี่ต่ำ สัญญาณเสียงแต่ละช่วงความถี่จะถูกขยายโดยวงจรขยายเสียงเพื่อป้อนให้กับลำโพงแต่ละย่านความถี่ต่อไป

การทำงานในส่วนควบคุมและติดต่อกับผู้ใช้เริ่มจากการแสดงหน้าจอการปรับแต่งทางเครื่องคอมพิวเตอร์ให้ผู้ใช้ได้ปรับค่าต่างๆแล้วส่งข้อมูลการปรับแต่งไปยังวงจรควบคุมการปรับแต่ง เมื่อวงจรควบคุมได้รับข้อมูล จะทำการส่งสัญญาณไปควบคุมการปรับค่าตามที่ผู้ใช้ต้องการ

### 3.1 การออกแบบวงจรปรับระดับสัญญาณเสียง

การออกแบบวงจรปรับระดับเสียงหลายแบนด์(5 แบนด์) ในโครงการนี้เลือกใช้ไอซีสำเร็จรูปเบอร์ PGA2311 ของบริษัท Bum-Brown ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

- สามารถควบคุมระดับสัญญาณได้ 2 ช่องสัญญาณ
- สามารถปรับอัตราขยายและอัตราลดทอนสัญญาณได้ตั้งแต่ +31.5dB ถึง -95.5dB โดยมีความละเอียดต่างกันระดับละ  $\pm 0.5$  dB
- ใช้สัญญาณและการเชื่อมต่อเพื่อการควบคุมแบบ Serial Peripheral Interface สำหรับวงจรภายในแสดงไว้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของวงจรภายในไอซีเบอร์ PGA2311

วิธีการในการควบคุมการปรับระดับสัญญาณของไอซี PGA2311 ใช้มาตรฐานการเชื่อมต่อและการส่งสัญญาณข้อมูลแบบ Serial Peripheral Interface ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.3 ข้อมูลที่ส่งนั้นจะ

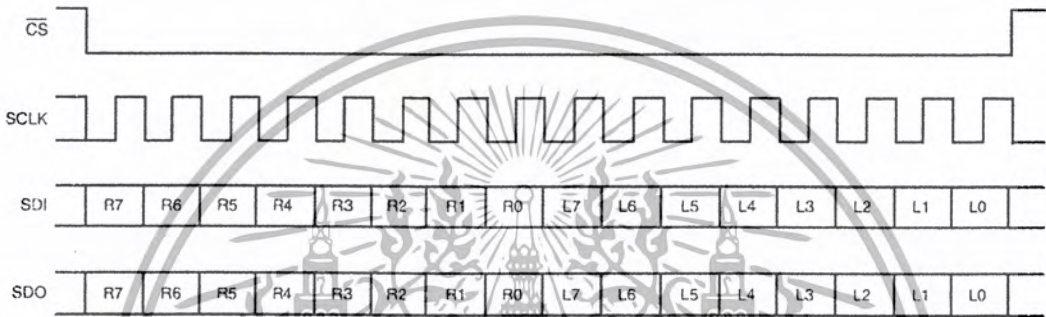
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการกำหนดอัตราขยายมีขนาดของข้อมูล 2 ไบท์ โดยไบท์แรก (R[7:0])จะเป็นการกำหนดอัตราขยายของสัญญาณข้างขวา(R-channel) และ ไบท์ที่สองเป็นการกำหนดอัตราขยายของสัญญาณข้างซ้าย(L-channel) ซึ่งอัตราขยายสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Gain(dB) = 31.5 - [0.5w(255 - N)]$$

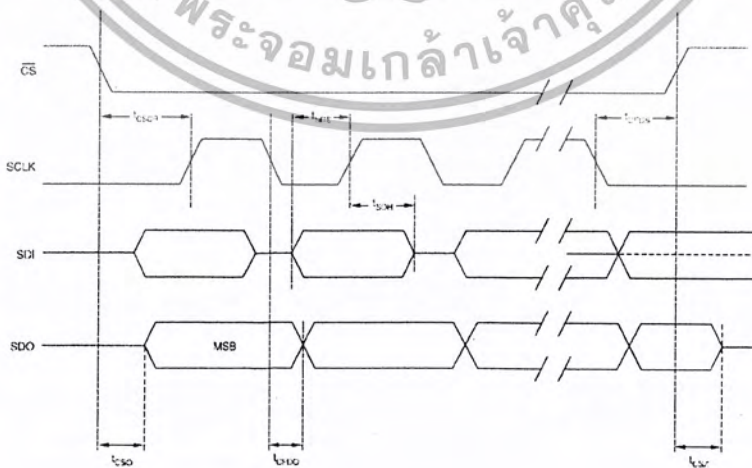
เมื่อ N มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 255

โดยอัตราขยายจะมีค่า +31.5dB เมื่อ N = 255 และอัตราขยายจะมีค่า -95.5dB เมื่อ N = 1



Gain Byte Format is MSB First, Straight Binary  
 R0 is the Least Significant Bit of the Right Channel Gain Byte  
 R7 is the Most Significant Bit of the Right Channel Gain Byte  
 L0 is the Least Significant Bit of the Left Channel Gain Byte  
 L7 is the Most Significant Bit of the Left Channel Gain Byte  
 SDI is latched on the rising edge of SCLK  
 SDO transitions on the falling edge of SCLK

รูปที่ 3.3 โครงสร้างของการส่งข้อมูลเพื่อการควบคุม ไอซี PGA2311



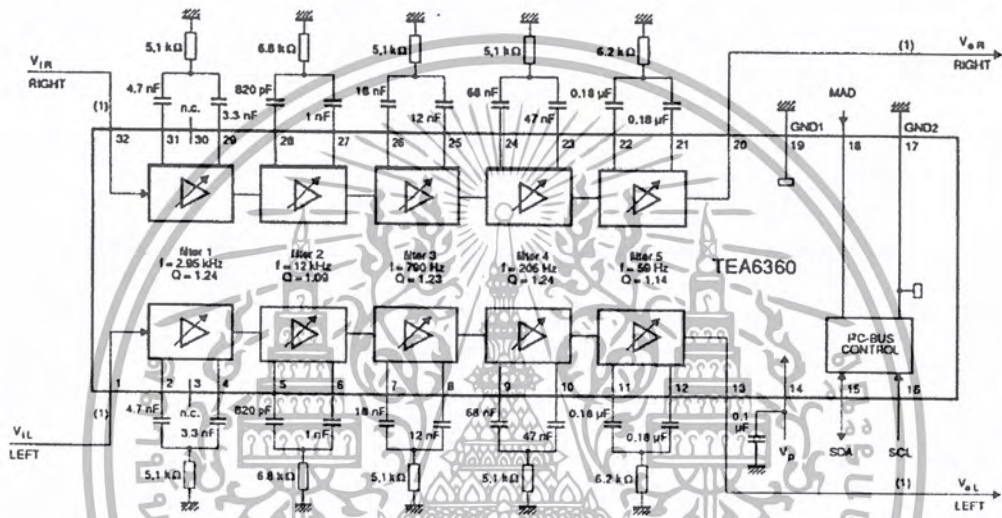
รูปที่ 3.4 ห่วงจังหวะเวลาของ Serial Peripheral Interface

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การออกแบบวงจรไอควอลไลเซอร์

การออกแบบวงจรไอควอลไลเซอร์ 5 ย่านความถี่ในโครงงานนี้เลือกใช้ไอซีสำเร็จรูปเบอร์ TEA6360 ของบริษัท Philips ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ

- ปรับระดับสัญญาณเสียงได้ 5 ย่านความถี่แบบสเตอริโอ
- ประกอบไปด้วยวงจรกรองความถี่ 5 วงจรต่อข้าง
- ควบคุมการปรับระดับสัญญาณในแบบมาตรฐาน I<sup>2</sup>C



รูปที่ 3.5 วงจรภายในไอซี TEA6360

จากรูปเราสามารถปรับระดับสัญญาณเสียงได้ 5 ย่านความถี่กลางคือ 59Hz, 209Hz, 790Hz, 2.95kHz และ 12kHz โดยในแต่ละย่านความถี่สามารถปรับอัตราการขยายและลดทอนได้ 11 ระดับ คือ +12dB, +9.6dB, +7.2dB, +4.8dB, +2.4dB, 0dB, -2.4dB, -4.8dB, -7.2dB, -9.6dB และ -12dB

#### I<sup>2</sup>C-BUS PROTOCOL

##### I<sup>2</sup>C-bus format

S	SLAVE ADDRESS	A	SUBADDRESS	A	DATA	P
---	---------------	---	------------	---	------	---

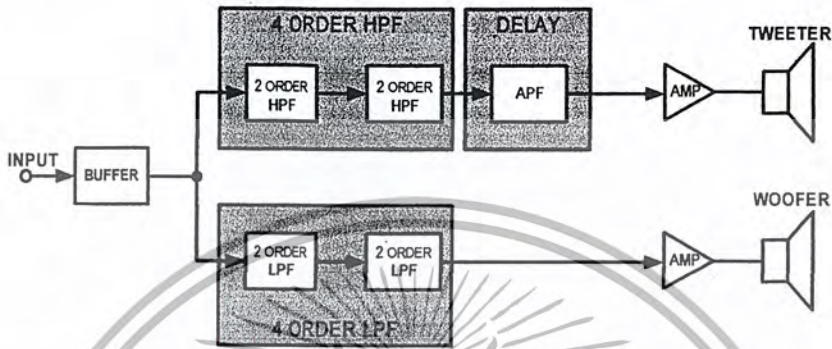
- S = start condition
- SLAVE ADDRESS = 1000 0100 when pin 18 is set LOW or 1000 0110 when pin 18 is set HIGH or open-circuit
- A = acknowledge, generated by the slave
- SUBADDRESS = subaddress byte, see Table 1
- DATA = data byte, see Table 1
- P = stop condition

### รูปที่ 3.6 โครงสร้างของเฟรมในการรับส่งข้อมูลเพื่อควบคุมไอซี TEA6360

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การออกแบบวงจรครอสโอเวอร์(Two-Ways crossover Network)

วงจรครอสโอเวอร์แบบสองทาง ประกอบไปด้วยวงจรกันชน วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน วงจรกรองความถี่สูงผ่าน และวงจรหน่วงสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 3.7



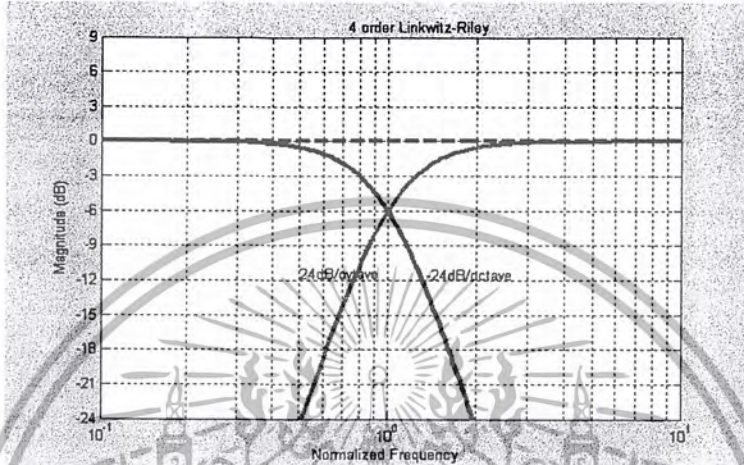
รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมของวงจรแยกความถี่แบบสองทาง

การทำงานของวงจรครอสโอเวอร์ชนิดสองทาง ประกอบไปด้วยวงจรกันชนทำหน้าที่เป็นโหลดอิมพีแดนซ์สูงสำหรับวงจรปริแอมป์รีไฟเออร์ และยังทำหน้าที่เป็นวงจรกรองความถี่สูงผ่านเพื่อกันสัญญาณกระแสตรงไม่ให้ผ่านไปยังวงจรส่วนอื่นๆต่อไป สัญญาณที่ออกจากวงจรกันชนจะถูกป้อนเป็นสัญญาณอินพุทให้กับวงจรกรองความถี่สูงผ่านและวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน สำหรับวงจรกรองความถี่สูงผ่านจะใช้วงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับสองแบบบัทเตอร์เวิร์ท 2 วงจรต่อกันแบบคาสเคดเพื่อให้ได้เป็นวงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับสี่ แบบลิงค์วิทซ์-ไรเลย์ และเช่นเดียวกับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านจะใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสองแบบบัทเตอร์เวิร์ท 2 วงจรต่อกันแบบคาสเคดเพื่อให้ได้เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสี่ แบบลิงค์วิทซ์-ไรเลย์ สาเหตุที่ต้องใช้วงจรกรองความถี่แบบลิงค์วิทซ์-ไรเลย์นั้น เพราะผลรวมของสัญญาณช่วงความถี่ย่านสูงและสัญญาณช่วงความถี่เสียงย่านต่ำจะมีขนาดคงที่ตลอดช่วงความถี่ย่านออกดีโอซึ่งลักษณะดังกล่าวเราเรียกว่า All-Pass Function ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และวงจรกรองความถี่ทั้ง 2 จะมีลักษณะเฟสที่ตรงกัน(In-Phase) ในทุกความถี่ตลอดย่านออกดีโอ และจากคุณสมบัติของวงจรกรองความถี่ดังกล่าวโดยเฉพาะในช่วงใกล้บริเวณจุดตัดความถี่(Cut-Off Frequency) ซึ่งตรงกับช่วงการเปลี่ยน อัตราการลดทอนของระดับแรงดันไฟฟ้าในรูปของเฟสเซอร์จะมีอัตราที่ลดลงอย่างเท่าๆกันและมีเฟสเดียวกันตลอด ดังแสดงในรูป 3.8

ดังนั้นเนื่องจากใช้วงจรกรองสัญญาณ อันดับสี่ ที่มีความชันของการกรองสัญญาณ 24dB/Octave ทำให้การผิดพลาดของสัญญาณในด้านขนาดของสัญญาณมีผลต่อขนาดของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมน้อย และถึงแม้ว่าขนาดของสัญญาณที่ออกจากลำโพงทั้งลำโพงเสียงสูงและเสียงต่ำจะมีขนาดที่เท่ากันหรือจะเรียกได้ว่าราบเรียบนั้นแต่การผิดพลาดจากเฟสของสัญญาณนั้นยังคงมีผลกระทบต่อ การรับฟังอยู่



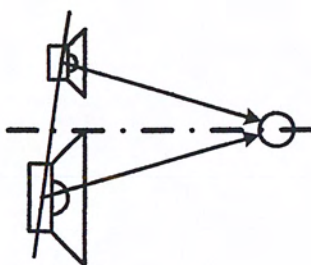
รูปที่ 3.8 กราฟผลตอบสนองต่อความถี่ของวงจรกรองสัญญาณ

### 3.3.1 การจัดวางตำแหน่งของตัวขับ

โดยทั่วไปเราสามารถวางลำโพงได้ฝั่งบนด้าน(Front Baffle) ของตู้ลำโพงซึ่งวิธีนี้จะง่ายต่อการติดตั้งในด้านการผลิตแต่เราพบว่าเนื่องจากระยะการเดินทางของสัญญาณเสียงสูงจากตัวขับเสียงสูง (Tweeter) และสัญญาณเสียงต่ำจากตัวขับเสียงต่ำ (Woofer) ที่เดินทางมาถึงผู้ฟังมีระยะไม่เท่ากันดังรูปที่ 3.9 ดังนั้นเราสามารถแก้ไขได้ 2 วิธีคือ

1. เปลี่ยนตำแหน่งการวางของลำโพงเสียงสูงดังรูปที่ 3.10 ให้ตำแหน่งของจุดกำเนิดเสียงของตัวขับทั้ง 2 วางในตำแหน่งที่ตรงกัน
2. ใช้วงจรหน่วงสัญญาณ(All-Pass Filter) หรือเรียกย่อว่าวงจร APF ทำการแก้ไขระยะเวลาการเดินทางของเสียงให้ถูกต้อง โดยสัญญาณเสียงช่วงความถี่สูงที่ได้จากวงจรกรองความถี่สูงจะถูกส่งต่อไปที่วงจรหน่วงสัญญาณซึ่งสร้างจากวงจรกรองทุกความถี่ผ่านอันดับหนึ่ง ซึ่งการทำงานของวงจรกรองทุกความถี่ผ่านนั้นจะให้สัญญาณเอาท์พุทที่เหมือนกับสัญญาณอินพุทแต่มีเฟสของสัญญาณเอาท์พุทเลื่อนไปจากสัญญาณอินพุทจาก 0 ถึง -180 องศา ซึ่งเป็นเหมือนการหน่วงสัญญาณออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวทช.จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

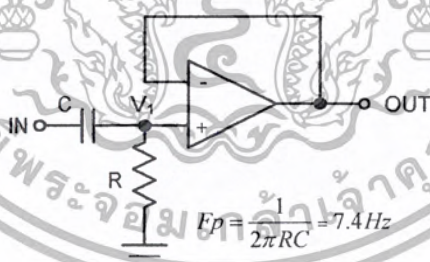


รูปที่ 3.9 ระยะทางการเดินทางของเสียงจากลำโพงไปถึงผู้ฟัง



รูปที่ 3.1 ระยะทางการเดินทางของเสียงเมื่อเปลี่ยนตำแหน่งของลำโพง

### 3.3.2 วงจรกั้นชน



รูปที่ 3.11 วงจรกั้นชน

จากรูป

$$v_o = \frac{R}{R - jX_C} v_{in}$$

สมการ(3.1)

เมื่อ  $j = \sqrt{-1}$  และ  $-jX_C = \frac{1}{2\pi fC}$

แทนค่าในสมการ(3.1) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_i = \frac{j2\pi fRC}{1 + j2\pi fRC} v_{in}$$

และแรงดันเอาต์พุต

$$v_o = v_i$$

ดังนั้น

$$\frac{v_o}{v_{in}} = \frac{j(f/f_H)}{1 + j(f/f_H)}$$

เมื่อ  $f$  = ความถี่ของสัญญาณอินพุต

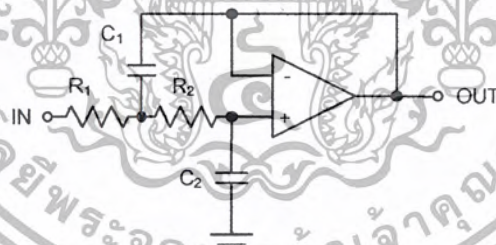
$$f_L = \frac{1}{2\pi RC} = \text{ความถี่ low cutoff}$$

สูตรในการคำนวณความถี่  $f_L = \frac{1}{2\pi RC}$

เลือกใช้ค่า  $C = 1\mu F, R = 21.5k\Omega$

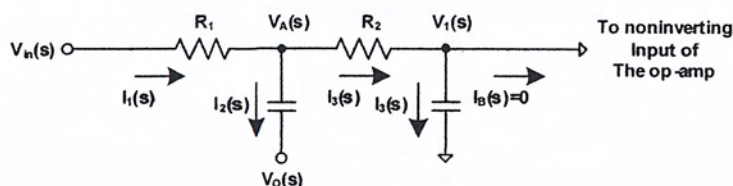
$$\text{ดังนั้น } f_L = \frac{1}{2\pi \times 1k\Omega \times 1\mu F} \approx 7.4\text{Hz}$$

### 3.33 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสอง



รูปที่ 3.12 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับสอง

เราสามารถเขียนใหม่ได้เป็น



รูปที่ 3.13 วงจรเมื่อแปลงไปเป็น S domain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเมื่อใช้ KCL ที่ node  $V_A(S)$  เราสามารถหาสมการของกระแสได้ดังนี้

$$I_1 = I_2 + I_3$$

หรือ 
$$\frac{V_m - V_A}{R_1} = \frac{V_A - V_o}{R_2} + \frac{V_A - V_i}{R_2}$$
 สมการ(3.2)

และ 
$$V_i = \frac{I/SC_2}{R_2 + (I/SC_2)} V_A \quad \text{since } R_f \cong \infty, I_B \cong 0$$

$$= \frac{V_A}{R_2 C_2 S + 1}$$

หรือ 
$$V_A = (R_2 C_2 S + 1) V_i$$

แทนค่า  $v_o$  ในสมการ(3.2)เพื่อหาค่า  $v_i$  จะได้

$$V_i = \frac{(R_2)(V_m) + (R_2 R_1 C_2 S)(V_o)}{(R_2 C_2 S + 1)(R_1 + R_2 + R_2 R_1 C_2 S) - R_1}$$

และเนื่องจาก

$$V_o = V_i$$

ดังนั้น

$$\frac{V_o}{V_m} = \frac{I}{S^2 + \frac{R_2 C_2 + R_1 C_2}{R_1 R_2 C_1 C_2} S + \frac{I}{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$
 สมการ(3.3)

และเมื่อเทียบสมการ(3.3)กับสมการ transfer function ของ 2<sup>nd</sup> order lowpass filters

$$L(S) = \frac{\omega_o^2}{S^2 + \frac{\omega_o}{Q_o} S + \omega_o^2} = \frac{I}{S^2 + \frac{R_2 C_2 + R_1 C_2}{R_1 R_2 C_1 C_2} S + \frac{I}{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

และกำหนดให้  $R = R_1 = R_2$  ดังนั้น

$$\omega_o = \frac{1}{R\sqrt{C_1 C_2}}$$

$$Q_o = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{C_1}{C_2}}$$

$$R = \frac{1}{2Q_o \omega_o C_2}$$

$$C_1 = 4Q_o^2 C_2$$

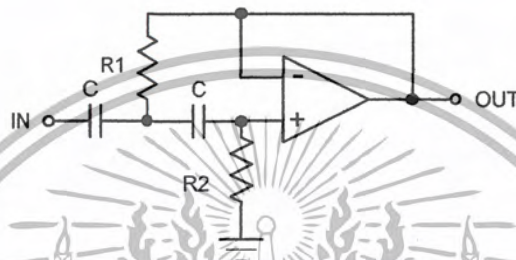
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเช่น กำหนดให้  $Q_o = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0.707$ ,  $C_2 = 22nF$

ดังนั้น  $C_1 = 2C_2 = 44nF$

สำหรับการคำนวณค่าความต้านทานจะกล่าวถึงในหัวข้อ 3.3.4

### 3.3.4 วงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับสอง



รูปที่ 3.14 วงจรกรองความถี่สูงผ่านอันดับสอง

จากรูปจะเห็นได้ที่เราสามารถแปลงวงจรกรองความถี่ต่ำเป็นวงจรกรองความถี่สูงได้ โดยการสลับตำแหน่งของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ ดังนั้นจะได้สูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$\omega_o = \frac{1}{C\sqrt{R_1R_2}}$$

$$Q_o = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{R_2}{R_1}}$$

$$C = \frac{2Q_o}{\omega_o R_2}$$

$$R_1 = \frac{R_2}{4Q_o^2}$$

กำหนดให้  $Q_o = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0.707$ ,  $C = 22nF$

ดังนั้น  $R_2 = 2R_1$

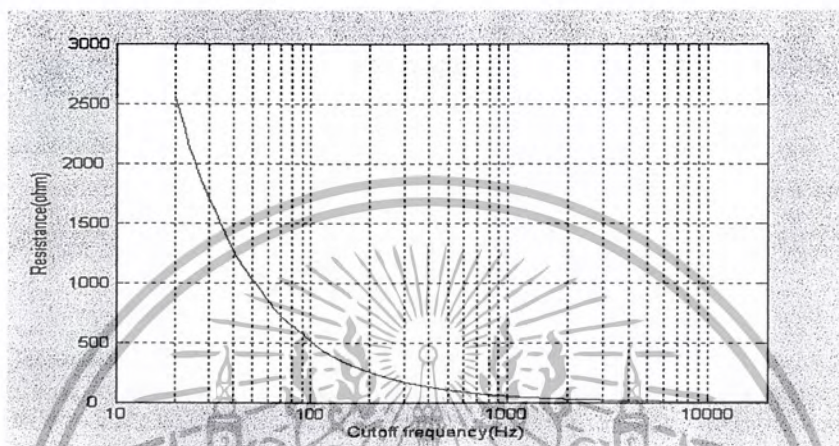
### 3.3.5 การคำนวณค่าความต้านทาน

การคำนวณค่าความต้านทานของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านและสูงผ่านอันดับสอง  
การคำนวณค่าความต้านทานใช้สูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

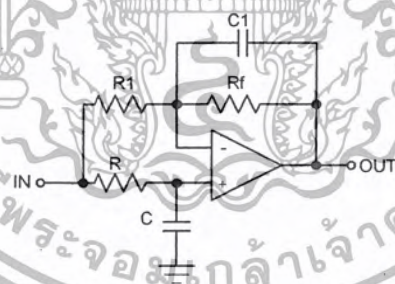
$$R = \frac{1}{2\sqrt{2}\pi F_p C}$$

เมื่อแทนค่า  $C = 22\text{nF}$  และแทนค่าความถี่  $F_p$  จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานและความถี่คัทออฟ ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานและความถี่คัทออฟของวงจรกรองความถี่

### 3.3.6 วงจรหน่วงสัญญาณ



รูปที่ 3.16 วงจรหน่วงสัญญาณ

จากรูปที่ 3.16 แสดงวงจรหน่วงสัญญาณซึ่งสร้างมาจากวงจรกรองความถี่ผ่านคลออด ซึ่งถ้าให้  $R_f = R_1$  เราจะหา  $v_o$  ได้โดยอาศัยทฤษฎี Superposition

$$v_o = v_{in} + \frac{-jX_C}{R - jX_C} v_{in} \quad (2)$$

แต่  $-j = 1/j$  และ  $X_C = 1/2\pi fC$

แทนค่า  $X_C$  ในสมการจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_o = v_{in} \left( -1 + \frac{2}{j2\pi fRC + 1} \right)$$

หรือ

$$\frac{v_o}{v_{in}} = \frac{1 - j2\pi fRC}{1 + j2\pi fRC}$$

จากสมการแสดงให้เห็นว่า  $|v_o| = |v_{in}|$  ในทุกความถี่ และการเลื่อนเฟสหาได้จาก

$$\phi = -2 \tan^{-1}(2\pi fRC)$$

แต่  $f_o = 1/2\pi RC$

ดังนั้น

$$\phi = -2 \tan^{-1} \left( \frac{f}{f_o} \right)$$

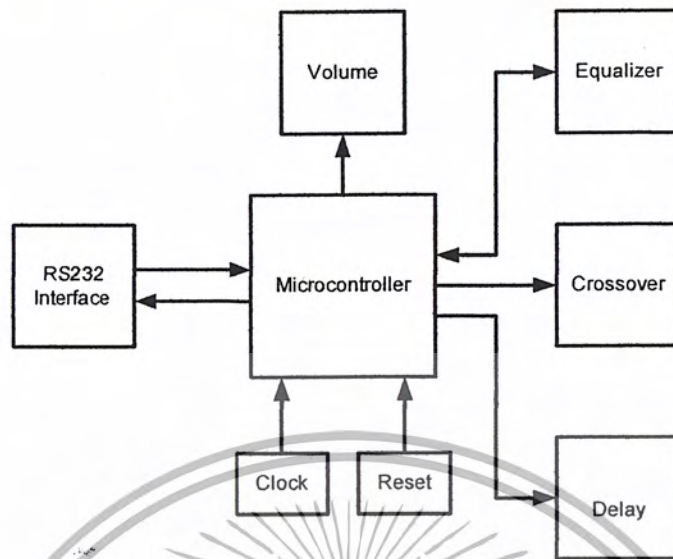
และเราสามารถหาค่า Group delay ของวงจรดังกล่าวได้จาก

$$t_g = -\frac{d\phi}{d\omega} = \frac{2RC}{1 + (f/f_o)^2}$$

### 3.3 การออกแบบวงจรควบคุมการปรับแต่ง

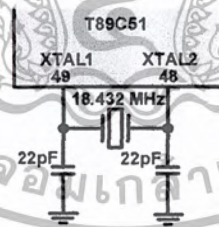
วงจรควบคุมประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรติดต่อสื่อสารผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมของคอมพิวเตอร์ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา วงจรรีเซ็ต วงจรในการสับเปลี่ยนค่าความต้านทาน สายสัญญาณในการควบคุมวงจรควบคุมระดับสัญญาณเสียง สายสัญญาณในการควบคุมวงจรอ็อกวไลเซอร์ 5 บิต ความถี่ สายสัญญาณในการควบคุมวงจรสับเปลี่ยนค่าความต้านทานของวงจรครอสโอเวอร์และวงจรหน่วงสัญญาณ ดังรูปที่ 3.17

การทำงานของวงจรควบคุมการปรับแต่งประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS51 เบอร์ T89C51RD2 ของบริษัท ATMEL ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านวงจรติดต่อสื่อสารอนุกรม ซึ่งทำการสื่อสารผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมของคอมพิวเตอร์ เมื่อรับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลข้อมูลเพื่อทำการปรับค่าต่างๆ โดยการส่งสัญญาณไปควบคุมวงจรสับเปลี่ยนค่าความต้านทานของวงจรครอสโอเวอร์และวงจรหน่วงสัญญาณ หรือส่งสัญญาณไปปรับเปลี่ยนค่าของวงจรอ็อกวไลเซอร์ แล้วส่งสัญญาณตอบรับการทำงานกลับไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านวงจรติดต่อสื่อสารอีกครั้ง



รูปที่ 3.17 บล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุม

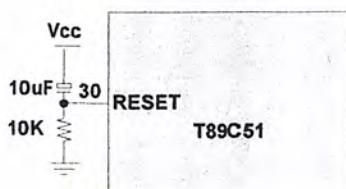
การกำเนิดสัญญาณนาฬิกาใช้วงจรตามรูปที่ 3.12 โดยใช้ความถี่คริสตอล 18.432 MHz และใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ในโหมดธรรมดา คือ 12 Clock / Machine Cycle ดังนั้นใน 1 Machine Cycle จะมีความยาวประมาณ 0.651  $\mu$ s ซึ่งความยาวที่คำนวณได้นี้จะใช้ในการคำนวณในส่วนของโปรแกรมหน่วงเวลา และในการกำหนดอัตราการรับส่งข้อมูล



รูปที่ 3.12 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

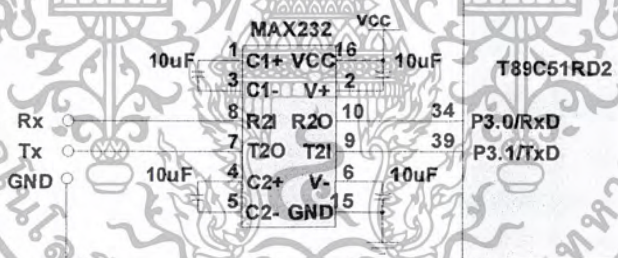
การรีเซ็ตไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้วงจรในรูปที่ 3.13 โดยวงจรรีเซ็ตจะทำงานทุกครั้งเมื่อป้อนไฟเลี้ยงให้แก่วงจรเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์กลับสู่สถานะเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 วงจรรีเซ็ต

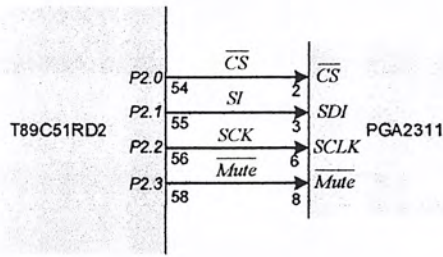
การรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์นั้นใช้วงจรดังรูปที่ 3.14 ซึ่งเป็นการใช้ช่องทางการสื่อสารทางพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ เพื่อรับและส่งข้อมูลที่อัตรา 9600 bps โดยวงจรถ่ายผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้ไอซีสำเร็จรูปเบอร์ MAX232 ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณข้อมูลที่มีระดับสัญญาณ  $\pm 15V$  ที่ออกมาจากพอร์ตอนุกรมให้เป็นสัญญาณที่มีระดับสัญญาณ +5V และ 0V แล้วส่งสัญญาณนี้ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ในทางกลับกัน MAX232 ก็ยังทำหน้าที่แปลงสัญญาณข้อมูลระดับ +5V และ 0V ที่ออกมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เป็นระดับสัญญาณ  $\pm 15V$  เพื่อส่งให้คอมพิวเตอร์ต่อไป



รูปที่ 3.14 วงจรติดต่อสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม

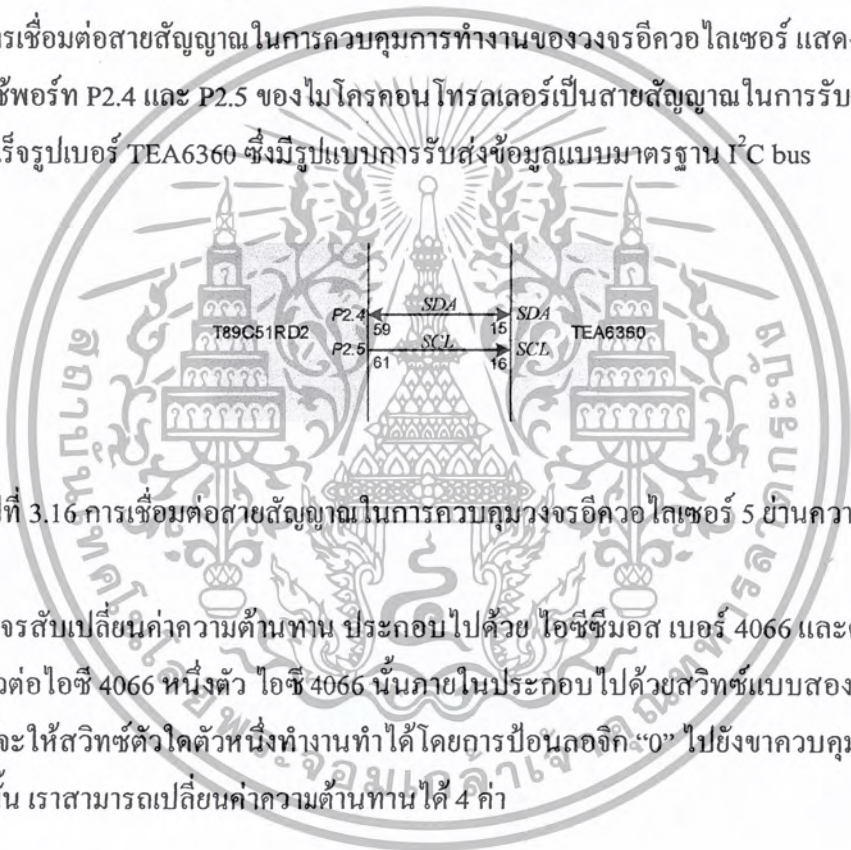
การเชื่อมต่อสายสัญญาณในการควบคุมการทำงานของวงจรปรับระดับสัญญาณแสดงไว้ในรูปที่ 3.15 โดยทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้พอร์ท P2.0-P2.3 ในการส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงานของไอซีสำเร็จรูปเบอร์ PGA2311 สำหรับรูปแบบการส่งข้อมูลและการเชื่อมต่อใช้มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ Serial Peripheral Interface ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



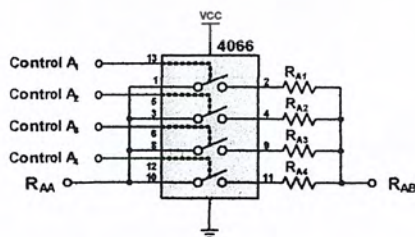
รูปที่ 3.15 การเชื่อมต่อสายสัญญาณในการควบคุมวงจรปรับระดับสัญญาณ

การเชื่อมต่อสายสัญญาณในการควบคุมการทำงานของวงจรถ่ายไอควอลไดเซอร์ แสดงไว้ในรูปที่ 3.16 โดยใช้พอร์ท P2.4 และ P2.5 ของไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นสายสัญญาณในการรับส่งข้อมูลกับไอซีสำเร็จรูปเบอร์ TEA6360 ซึ่งมีรูปแบบการรับส่งข้อมูลแบบมาตรฐาน I<sup>2</sup>C bus



รูปที่ 3.16 การเชื่อมต่อสายสัญญาณในการควบคุมวงจรถ่ายไอควอลไดเซอร์ 5 ย่านความถี่

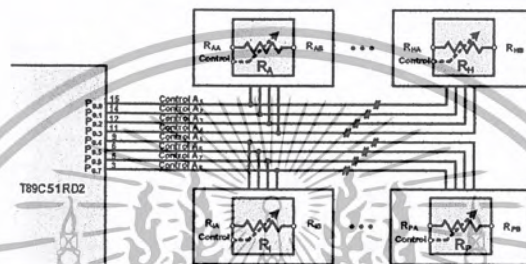
วงจรสับเปลี่ยนค่าความต้านทาน ประกอบไปด้วย ไอซีซีมอส เบอร์ 4066 และตัวต้านทานจำนวนสี่ตัวต่อไอซี 4066 หนึ่งตัว ไอซี 4066 นั้นภายในประกอบไปด้วยสวิตช์แบบสองทางจำนวนสี่ตัว การที่จะให้สวิตช์ตัวใดตัวหนึ่งทำงานทำได้โดยการป้อนลอจิก “0” ไปยังขาควบคุมของสวิตช์ตัวนั้น ดังนั้น เราสามารถเปลี่ยนค่าความต้านทานได้ 4 ค่า



รูปที่ 3.17 วงจรสับเปลี่ยนค่าความต้านทาน

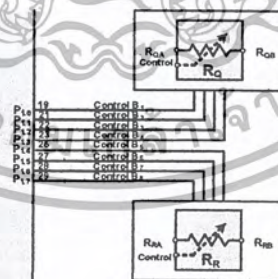
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการควบคุมการสับเปลี่ยนค่าความต้านทานของวงจรครอสโอเวอร์ ประกอบด้วยความต้านทานที่จะแปรค่าจำนวน 8 ตัวต่อข้าง(ซ้าย/ขวา) แต่ทั้งนี้การสับเปลี่ยนค่าความต้านทานต้องทำการสับเปลี่ยนไปพร้อมๆกันทุกตัวในวงจร ดังนั้นการควบคุมจึงสามารถใช้สัญญาณควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ชุดเดียวกันได้ ดังรูปที่ 3.16 ซึ่งแสดงการควบคุมการสับเปลี่ยนค่าความต้านทานของวงจรครอสโอเวอร์ทั้งสองข้าง (ซ้าย/ขวา) โดยใช้สัญญาณควบคุมสี่สัญญาณต่อข้าง คือ Control A<sub>1</sub>-A<sub>4</sub> สำหรับข้างซ้ายและ Control A<sub>5</sub>-A<sub>8</sub> สำหรับข้างขวา



รูปที่ 3.18 การควบคุมการเปลี่ยนค่าความต้านทานของวงจรครอสโอเวอร์

การควบคุมการสับเปลี่ยนค่าความต้านทานของวงจรหน่วงสัญญาณ ต้องการแปรค่าความต้านทานเพียงตัวเดียวต่อข้าง โดยใช้สัญญาณควบคุม Control B<sub>1</sub>-B<sub>4</sub> สำหรับข้างซ้าย และ Control B<sub>5</sub>-B<sub>8</sub> สำหรับข้างขวา



รูปที่ 3.19 การควบคุมการเปลี่ยนค่าความต้านทานของวงจรหน่วงสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การออกแบบโปรแกรมติดต่อกับผู้ใช้และโปรแกรมควบคุมการปรับแต่ง

ในการออกแบบโปรแกรมติดต่อกับผู้ใช้และโปรแกรมควบคุมการปรับแต่งจำเป็นต้องมีรูปแบบการรับส่งข้อมูลที่เป็นแบบเดียวกัน โดยมีรูปแบบการรับส่งข้อมูลดังรูป



รูปที่ 3.20 รูปแบบในการรับส่งข้อมูลควบคุมการปรับแต่ง

รายละเอียดของขบวนข้อมูล

Header: จุดเริ่มต้นของขบวนข้อมูล มีขนาด 1 ไบต์

Device(C/D/E): ชนิดของวงจรที่ต้องการควบคุม มีขนาด 1 ไบต์ โดยมีวงจรที่ต้องการควบคุมอยู่ 3 ชนิด คือ C = Crossover Network, D = Delay, E = Equalizer และการตอบรับ 2 ชนิด คือ A = Acknowledge, N = Negative

Data Length: มีขนาด 1 ไบต์ เป็นการบอกความยาวของข้อมูล

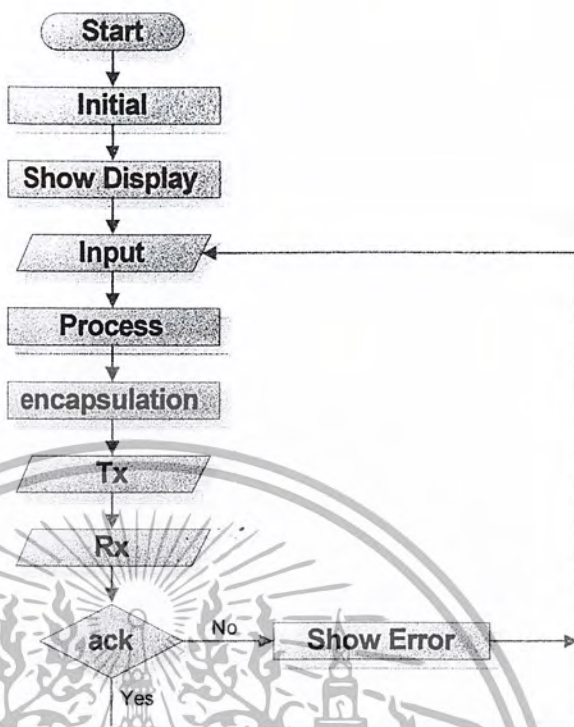
Data: ข้อมูลในการควบคุมการปรับแต่ง โดยขนาดของข้อมูลจะขึ้นอยู่กับความต้องการของวงจรที่จะปรับแต่ง

Stop: จุดสิ้นสุดขบวนข้อมูล มีขนาด 1 ไบต์

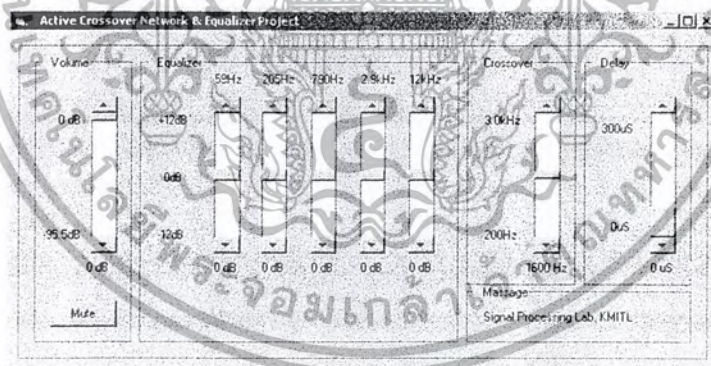
#### 3.4.1 การออกแบบโปรแกรมติดต่อกับผู้ใช้

โปรแกรมติดต่อกับผู้ใช้ในโครงการนี้เขียนขึ้นโดยใช้ภาษาวิซวลเบสิกซึ่งมีการทำงานโดยคร่าวๆดังนี้ เมื่อเริ่มเปิดโปรแกรมใช้งานจะทำการตั้งค่าเริ่มต้นให้กับส่วนต่างๆในโปรแกรม เช่น ส่วนของการสื่อสารอนุกรม ส่วนค่าเริ่มต้นในการแสดงผลเป็นต้น หลังจากนั้นจะรอรับค่าอินพุตจากการปรับเปลี่ยนค่าของผู้ใช้แล้วจะทำการประมวลผลข้อมูลที่จะใช้ในการส่งข้อมูลไปให้ส่วนควบคุมการปรับแต่งสัญญาณเสียง แต่ก่อนทำการส่งข้อมูลจะทำการเติมข้อมูลในส่วนเริ่มต้นและส่วนสิ้นสุดข้อมูลลงไป แล้วจึงทำการส่งขบวนข้อมูลออกไป เมื่อส่งขบวนข้อมูลจนหมด โปรแกรมจะรอรับข้อมูลตอบรับที่จะส่งกลับมาจากส่วนควบคุมการปรับแต่ง หลังจากได้รับข้อมูลตอบรับจะทำการตรวจสอบข้อมูลตอบรับว่าเป็นการตอบรับชนิดใด และกลับไปรอรับอินพุตจากการปรับแต่งของผู้ใช้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



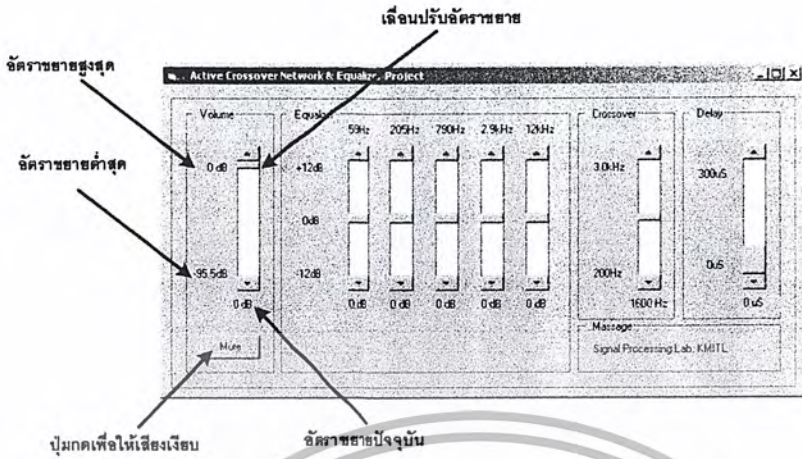
รูปที่ 3.19 ไฟล์จากการทำงานของโปรแกรมติดต่อผู้ใช้



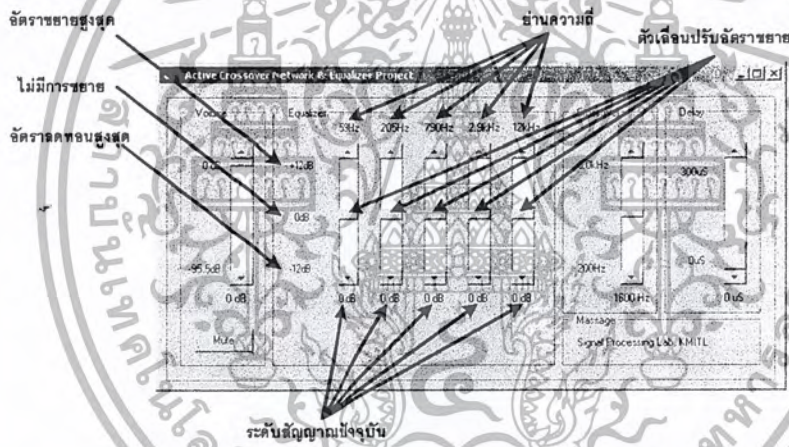
รูปที่ 3.20 หน้าจอติดต่อกับผู้ใช้

จากรูปที่ 3.20 เป็นหน้าจอแสดงผลเพื่อให้ผู้ใช้ปรับแต่งค่าต่างๆ ซึ่งรายละเอียดการปรับแต่งในส่วนต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 3.21 ถึงรูปที่ 3.24

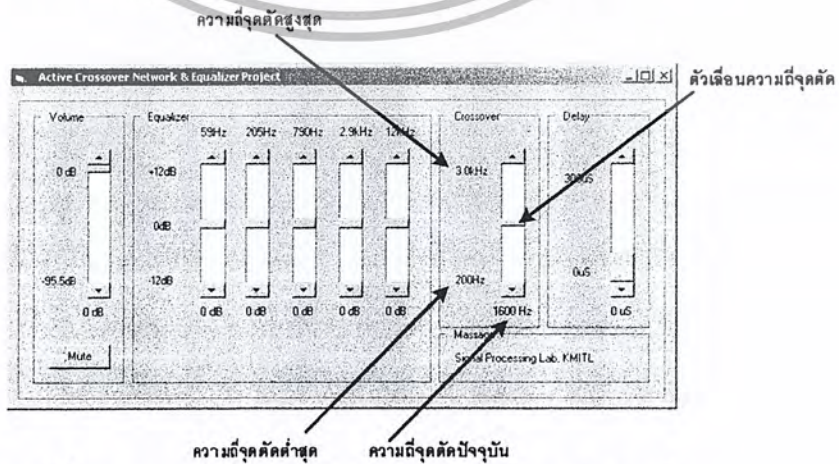
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 รายละเอียดหน้าจอการปรับระดับสัญญาณ

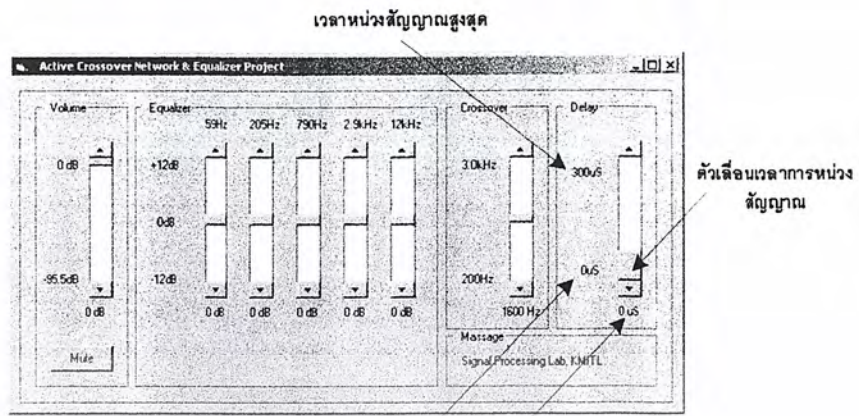


รูปที่ 3.22 รายละเอียดหน้าจอการปรับอีควอไลเซอร์



รูปที่ 3.23 รายละเอียดหน้าจอการปรับความถี่ครอสโอเวอร์

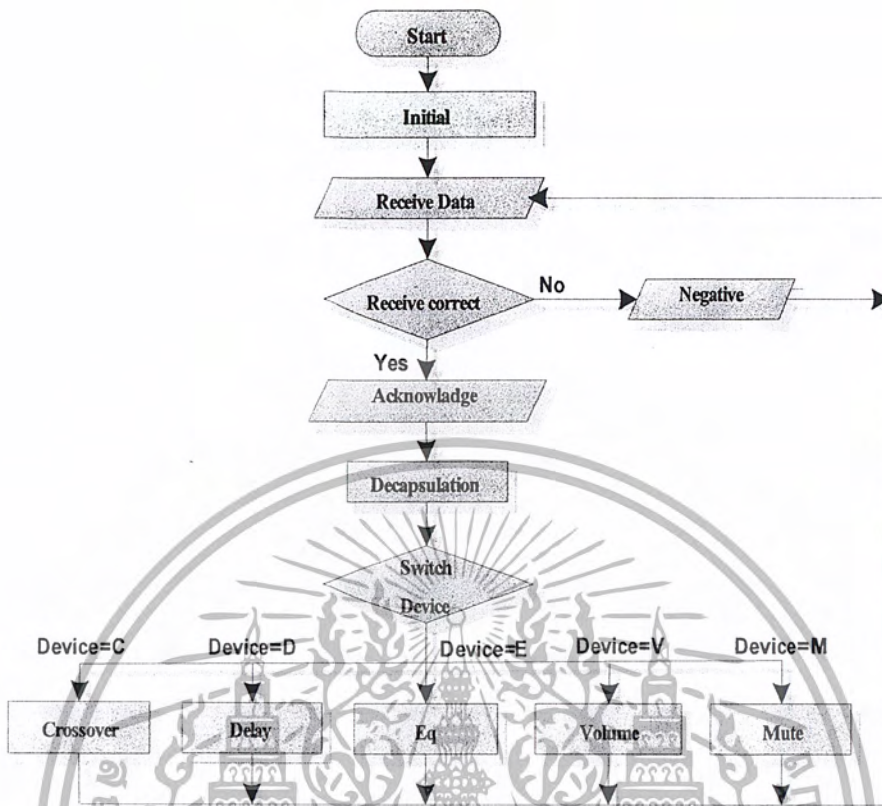
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 รายละเอียดหน้าจอการปรับเวลาในการหน่วงสัญญาณ

### 3.4.2 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการปรับแต่ง

การทำงานเริ่มจากตั้งค่าเริ่มต้นการทำงานของส่วนต่างๆ ได้แก่ ส่วนสื่อสารข้อมูลอนุกรม ส่วนควบคุมการปรับระดับสัญญาณ ส่วนควบคุมวงจรถอไอเซอร์ 5 ย่านความถี่ ส่วนควบคุมวงจรรอสโอเวอร์ และส่วนควบคุมวงจรม่วงสัญญาณ หลังจากนั้นจึงรอรับข้อมูลอินพุตจากโปรแกรมติดต่อผู้ใช้ เมื่อได้รับข้อมูลจะทำการตรวจสอบความถูกต้องของขบวนข้อมูล ถ้าไม่ถูกต้อง โปรแกรมจะส่งผลตอบปฏิเสธกลับไปให้ส่วนติดต่อผู้ใช้เพื่อให้ส่งข้อมูลมาใหม่อีกครั้ง หากข้อมูลที่ได้รับได้นั้นถูกต้องก็จะเอาข้อมูลส่วนที่บอกจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดขบวนข้อมูลออกเพื่อนำข้อมูลที่เหลือมาแยกว่าต้องการจะปรับแต่งวงจรในส่วนใด และเมื่อทำการส่งสัญญาณไปควบคุมเรียบร้อยแล้ว จะส่งข้อมูลตอบรับกลับไปยังส่วนแสดงผล แล้วกลับไปรอรับข้อมูลต่อไป



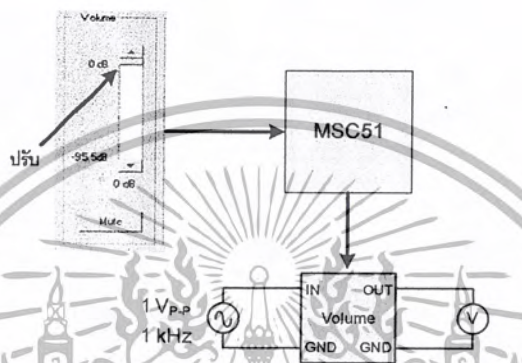
รูปที่ 3.25 ไฟล์การทำงานการทำงานของโปรแกรมควบคุมการปรับแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

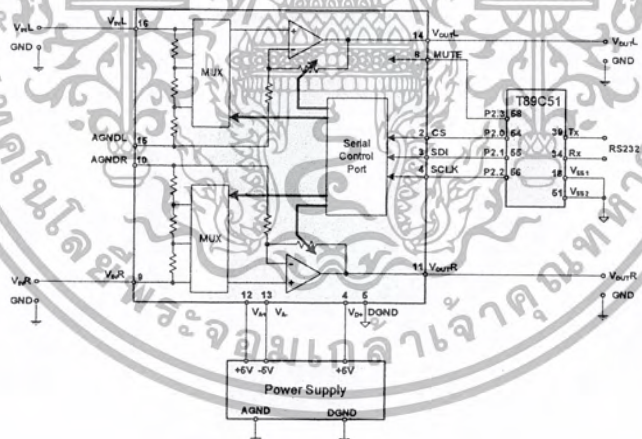
## บทที่ 4

### การปรับแต่งและผลการปรับแต่ง

#### 4.1 การปรับระดับสัญญาณเสียง



รูปที่ 4.1 วิธีการปรับระดับสัญญาณเสียง



รูปที่ 4.2 วงจรปรับระดับสัญญาณเสียง

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 เป็นการทดลองโดยป้อนสัญญาณคลื่นไซน์ขนาด  $1V_{p-p}$  ความถี่ 1kHz แล้ววัดแรงดันเอาต์พุต และเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สูตร

$$Gain(dB) = 3.15 - [0.5w(255 - N)]$$

เมื่อ N คือรหัสที่ใช้ควบคุมการปรับระดับสัญญาณ

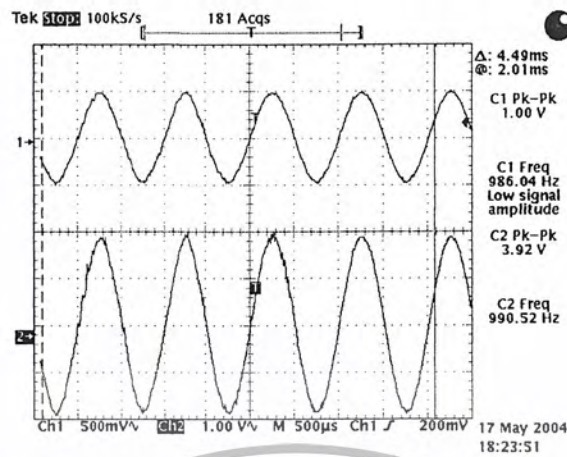
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองวงจรปรับระดับสัญญาณ

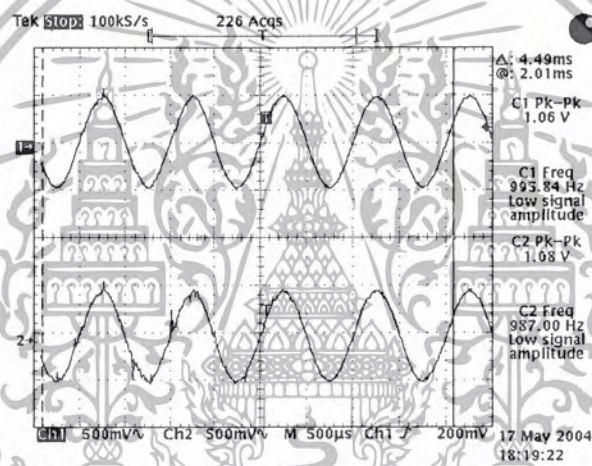
N	แรงดันที่วัดได้ (V)	แรงดันที่วัดได้ (dB)	แรงดันที่คำนวณได้ (dB)
214	3.6	+11.1	+11
212	3.2	+10.1	+10
210	2.8	+8.9	+9
208	2.5	+7.9	+8
206	2.3	+7.2	+7
204	2.0	+6.0	+6
202	1.8	+5.1	+5
200	1.6	+4.0	+4
198	1.4	+2.9	+3
196	1.28	+2.1	+2
194	1.15	+1.2	+1
192	1.04	+0.3	0
190	0.88	-1.1	-1
188	0.8	-1.9	-2
186	0.7	-3.0	-3
184	0.64	-3.8	-4
182	0.58	-4.7	-5
180	0.5	-6.0	-6
178	0.46	-6.7	-7
176	0.42	-7.5	-8
174	0.38	-8.4	-9
172	0.34	-9.3	-10
170	0.3	-10.4	-11

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับที่คำนวณได้ ซึ่งเมื่อทดลองป้อนสัญญาณเสียงแล้วนำเอาที่พุดต่อผ่านวงจรขยายเสียงก็สามารถปรับระดับสัญญาณได้ และรูปที่ 4.3 ถึงรูปที่ 4.5 แสดงรูปสัญญาณอินพุต (บน) เทียบกับเอาต์พุต (ล่าง) โดยป้อนอินพุตคลื่นไซน์ขนาด  $1V_{p-p}$  ความถี่ 1kHz

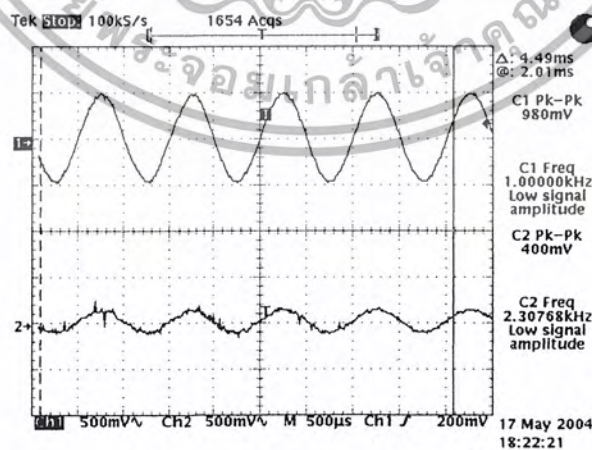
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเมื่อปรับอัตราขยาย +12dB



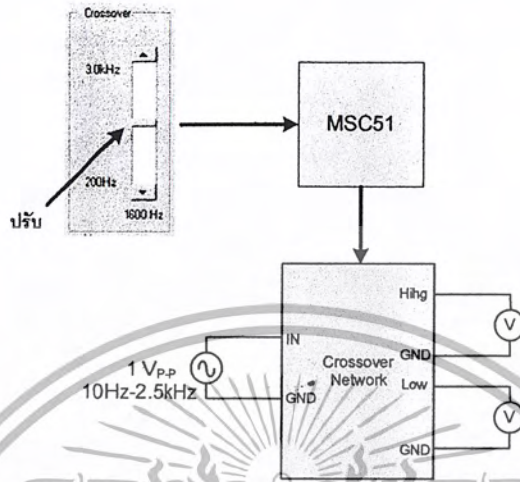
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเมื่อปรับอัตราขยาย 0dB



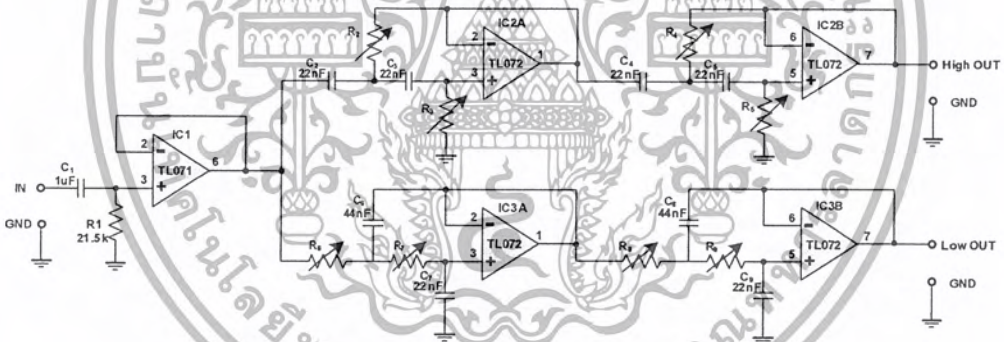
รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเมื่อปรับอัตราขยาย -12dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

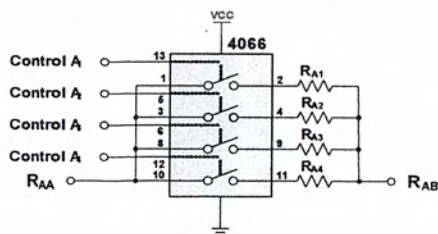
## 4.2 การปรับความถี่จุดตัดของวงจรครอสโอเวอร์



รูปที่ 4.6 วิธีการปรับความถี่จุดตัดของวงจรครอสโอเวอร์



รูปที่ 4.7 วงจรแยกความถี่เสียงสำหรับระบบลำโพงที่ใช้ตัวขับ 2 ทาง



รูปที่ 4.8 วงจรสับเปลี่ยนค่าความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

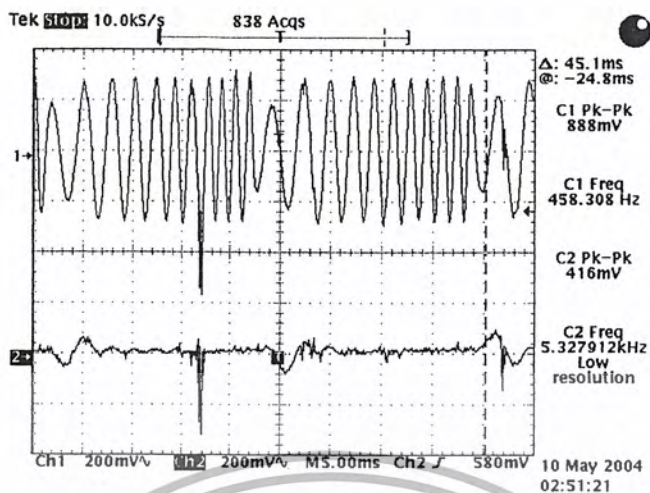
จากรูปที่ 4.6 , 4.7 และ 4.8 เป็นการทดลองวงจรครอส โอเวอร์ โดยการป้อนสัญญาณชานจ์ขนาด  $1 V_{pp}$  และกวาดความถี่ตั้งแต่ 10 Hz ถึง 2.5 kHz แล้วทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตความถี่ต่ำเทียบกับเอาต์พุตความถี่สูง เมื่อปรับจุดตัดความถี่ไปที่ความถี่ต่างๆ สำหรับการปรับจุดตัดความถี่ทำได้โดยใช้วงจรสับเปลี่ยนค่าความต้านทานโดยค่าความต้านทานที่ใช้ในนั้นสามารถดูได้จากตารางที่ 4.2 ซึ่งค่าที่แสดงในตารางนั้นเป็นค่าความต้านทานของ  $R_2, R_4, R_6, R_7, R_8$  และ  $R_9$  ส่วน  $R_3$  กับ  $R_5$  จะใช้ค่าความต้านทานที่มีค่าเป็นสองเท่าของค่าในตาราง

ตารางที่ 4.2 แสดงการคำนวณค่าความต้านทานของวงจรแยกความถี่

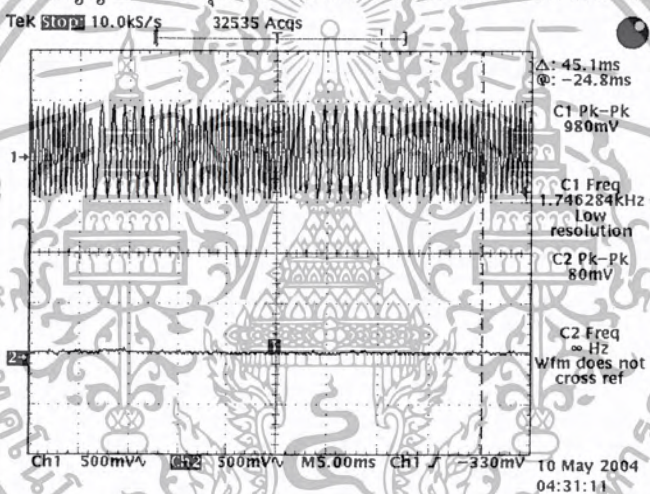
ความถี่คัทออฟ (kHz)	ค่าความต้านทานจากการคำนวณ (kohm)	ค่าความต้านทานที่ใช้ (kohm)	หมายเหตุ
0.2	25.5	25.5	$R_1$
0.4	12.8	13.0	$R_2$
0.6	8.5	8.61	$R_2//R_1$
0.8	6.4	6.49	$R_3$
1.0	5.1	5.17	$R_3//R_1$
1.2	4.3	4.33	$R_3//R_2$
1.4	3.7	3.7	$R_3//R_2//R_1$
1.6	3.2	3.3	$R_4$
1.8	2.8	2.92	$R_4//R_1$
2.0	2.6	2.63	$R_4//R_2$
2.2	2.3	2.39	$R_4//R_2//R_1$
2.4	2.1	2.19	$R_4//R_3$
2.6	2.0	2.01	$R_4//R_3//R_1$
2.8	1.8	1.87	$R_4//R_3//R_2$
3.0	1.7	1.74	$R_4//R_3//R_2//R_1$

ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.9 ถึงรูปที่ 4.23 โดยสัญญาณด้านบนของรูปเป็นเอาต์พุตความถี่สูง ส่วนสัญญาณด้านล่างเป็นเอาต์พุตความถี่ต่ำ

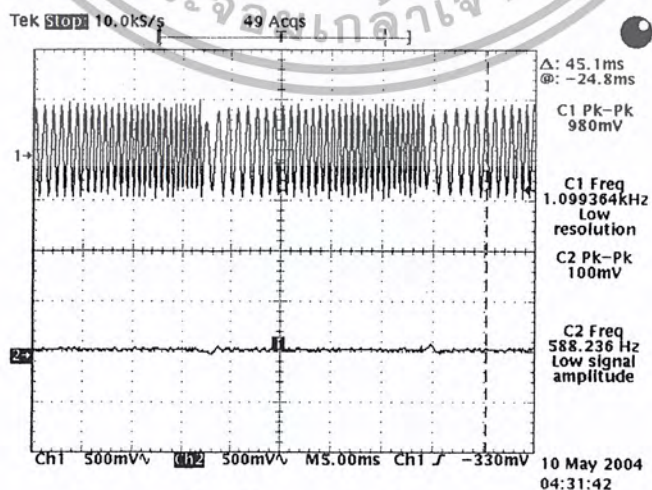
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่ที่ออฟไว้ที่ตำแหน่ง 200Hz

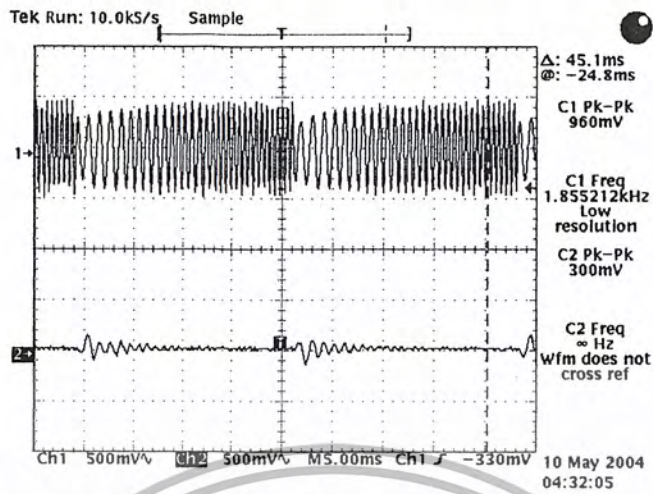


รูปที่ 4.10 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่ที่ออฟไว้ที่ตำแหน่ง 400Hz

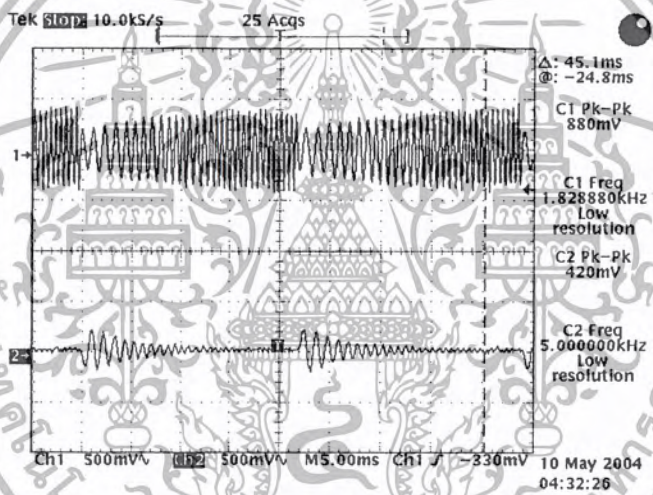


รูปที่ 4.11 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่ที่ออฟไว้ที่ตำแหน่ง 600Hz

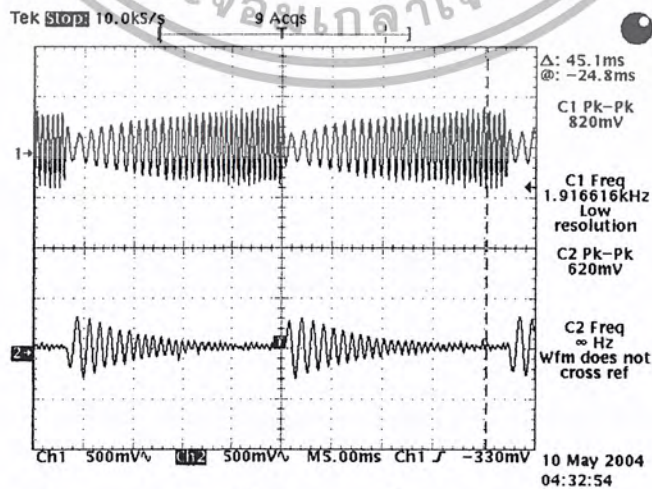
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 800Hz

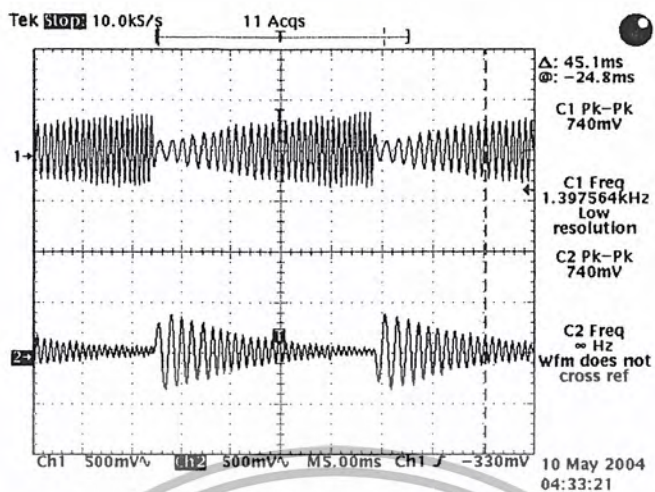


รูปที่ 4.13 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 1.0kHz

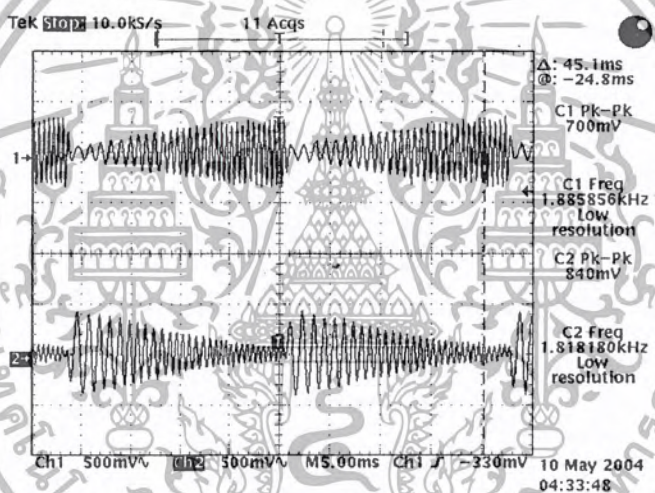


รูปที่ 4.14 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 1.2kHz

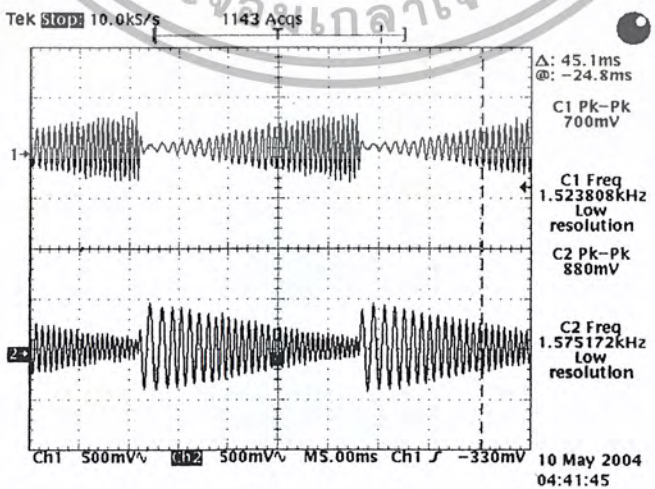
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 1.4kHz

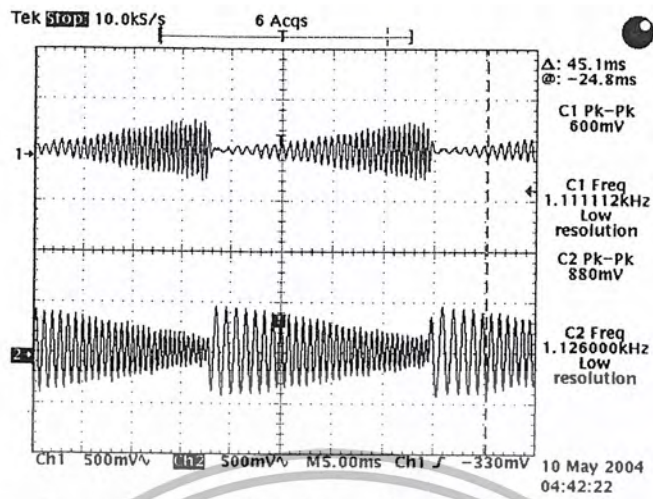


รูปที่ 4.16 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 1.6kHz

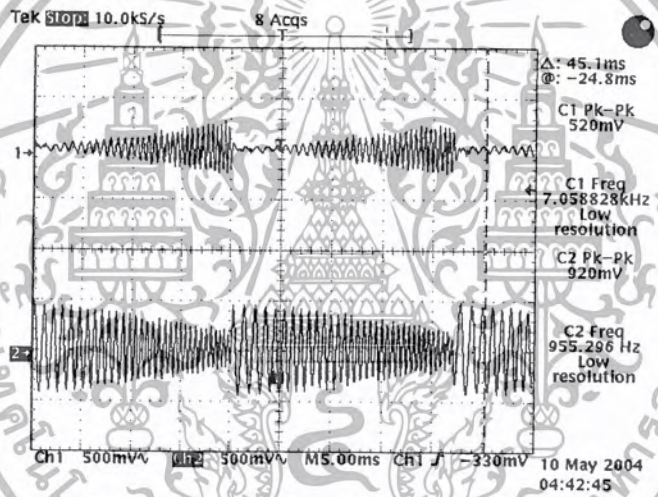


รูปที่ 4.17 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 1.8kHz

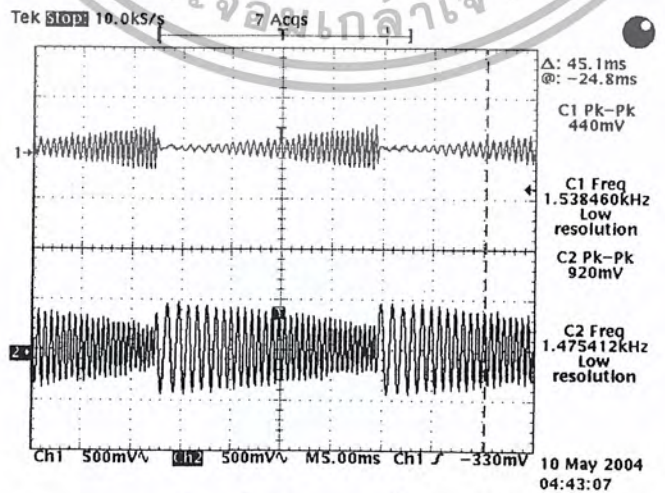
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 2.0kHz

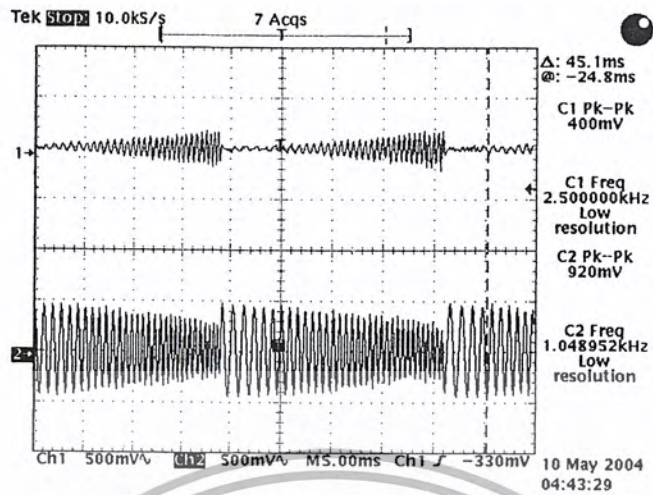


รูปที่ 4.19 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 2.2kHz

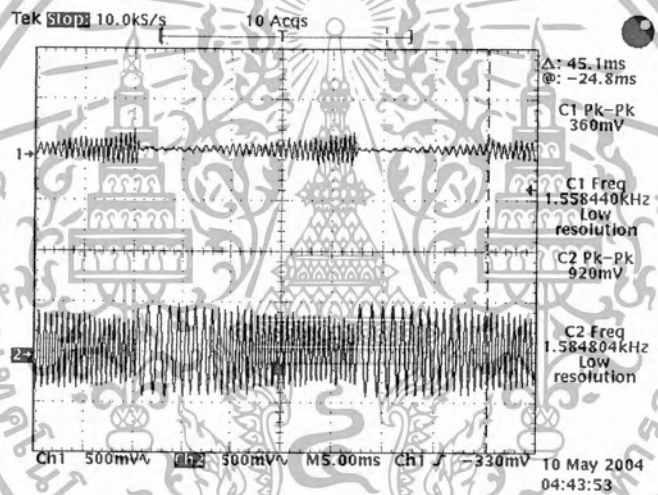


รูปที่ 4.20 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 2.4kHz

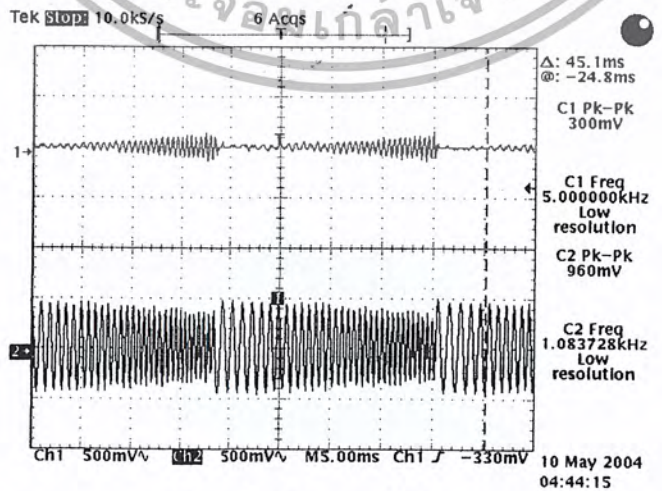
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 2.6kHz



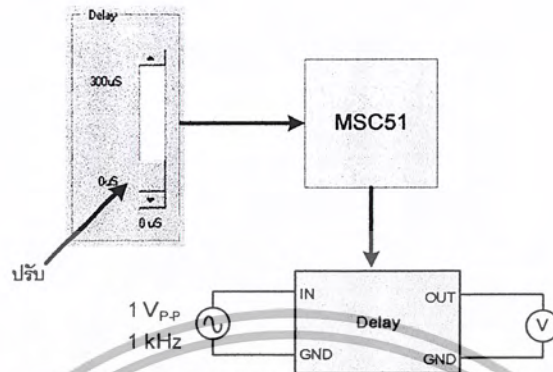
รูปที่ 4.22 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 2.8kHz



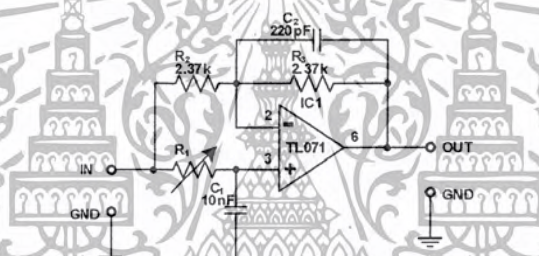
รูปที่ 4.23 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อปรับความถี่คัทออฟไว้ที่ตำแหน่ง 3.0kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การปรับเวลาในการหน่วงสัญญาณ

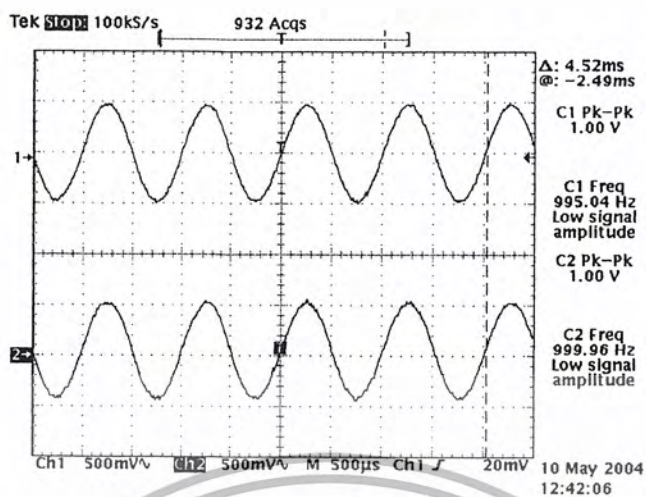


รูปที่ 4.24 วิธีการทดลองวงจรหน่วงสัญญาณ

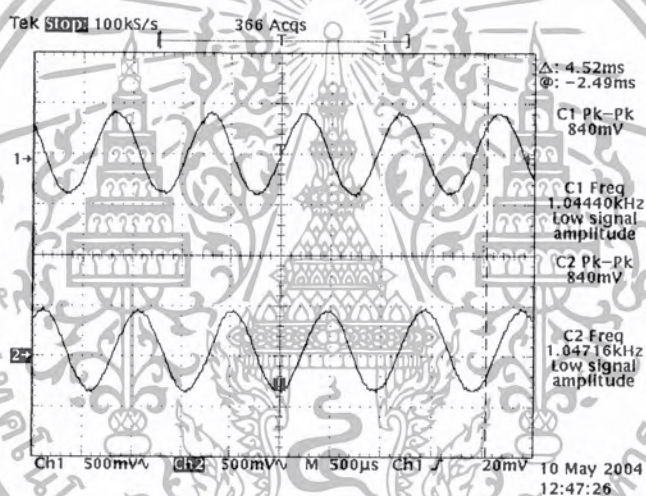


รูปที่ 4.25 วงจรหน่วงสัญญาณ

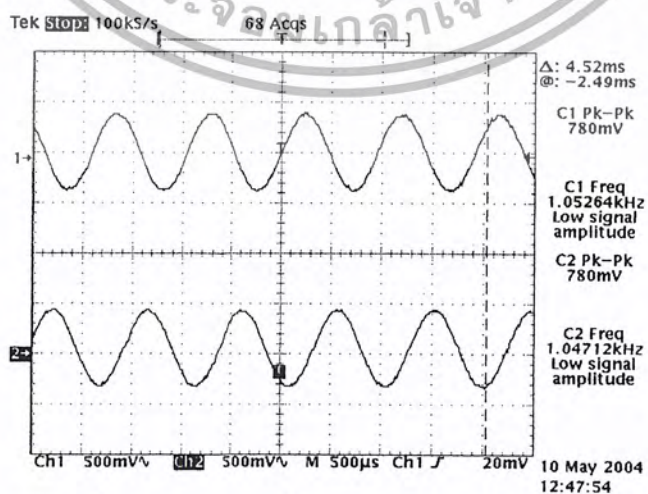
จากรูปที่ 4.24 และรูปที่ 4.25 แสดงวิธีการปรับเวลาของวงจรหน่วงสัญญาณ โดยการป้อนสัญญาณชานซ์ขนาด  $1 V_{p-p}$  ความถี่  $1 kHz$  แล้วทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตเปรียบเทียบกับอินพุตเมื่อปรับการหน่วงสัญญาณไปที่ค่าต่างๆ โดยใช้ค่าความต้านทาน  $1 \text{ ohm}$  สำหรับการไม่หน่วงสัญญาณ,  $5 \text{ kohm}$  สำหรับการหน่วงสัญญาณ  $100 \mu s$ ,  $10 \text{ kohm}$  สำหรับการหน่วงสัญญาณ  $200 \mu s$  และ  $15 \text{ kohm}$  สำหรับการหน่วงสัญญาณ  $300 \mu s$  สำหรับผลการทดลองแสดงไว้ในรูปแบบที่ 4.26 ถึงรูปที่ 4.29 โดยสัญญาณด้านบนเป็นสัญญาณอินพุต และสัญญาณด้านล่างเป็นสัญญาณเอาต์พุต



รูปที่ 4.26 รูปสัญญาณเมื่อไม่หน่วงสัญญาณ

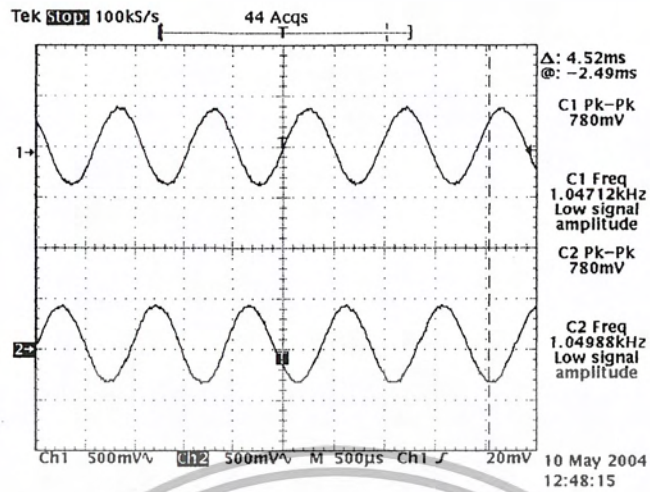


รูปที่ 4.27 รูปสัญญาณเมื่อหน่วงสัญญาณไป 100 µs



รูปที่ 4.28 สัญญาณเมื่อหน่วงสัญญาณไป 200 µs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

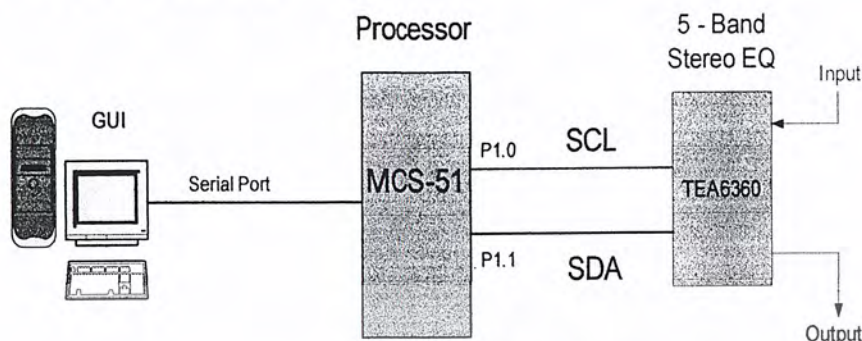


รูปที่ 4.29 สัญญาณเมื่อหน่วงสัญญาณไป 300  $\mu$ s



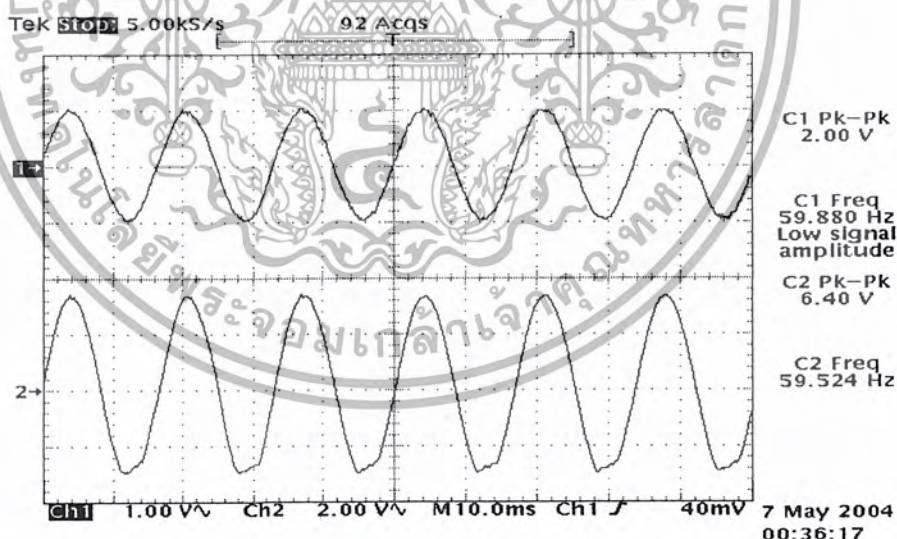
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การปรับอีควอไลเซอร์



รูปที่ 4.30 บล็อกไดอะแกรมที่ใช้สำหรับการวัดสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต

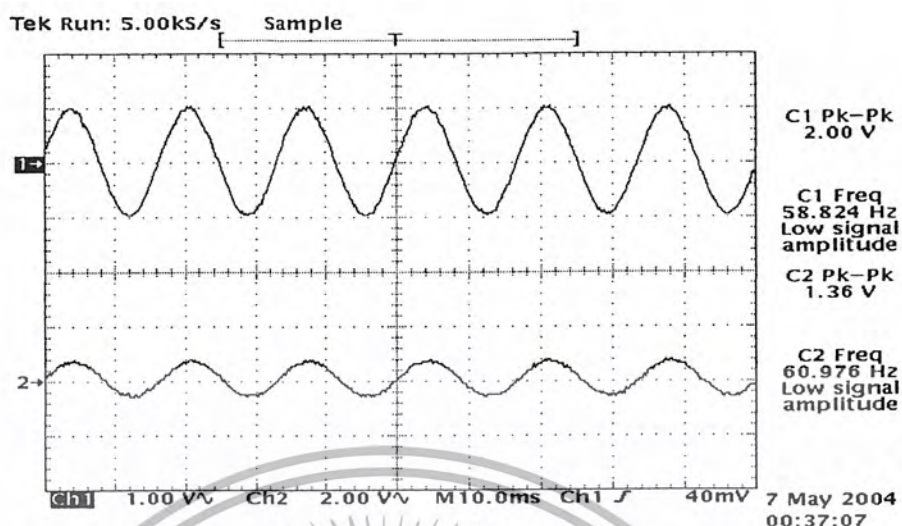
จากรูปแสดงการส่งข้อมูลควบคุมไปยังวงจรรกราฟิเคออีควอไลเซอร์ เพื่อทดสอบวัดสัญญาณที่อินพุตและเอาต์พุตของวงจรรกราฟิเคออีควอไลเซอร์ ซึ่งรูปสัญญาณที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.31 ถึงรูปที่ 4.45



รูปที่ 4.31 การเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต ณ. แบนด์ที่ 1 ที่ค่าเกน +12 dB (ค่าควบคุมเท่ากับ 50H)

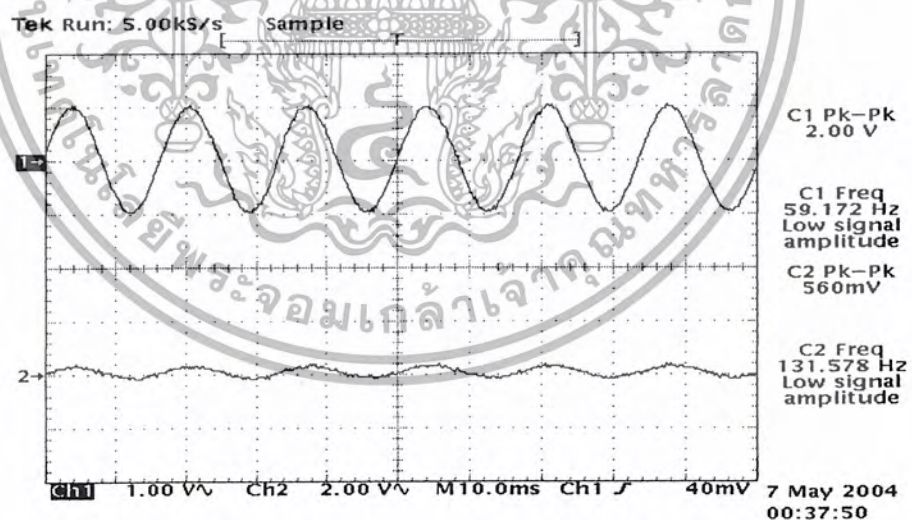
จากกราฟแสดงให้เห็นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเมื่อป้อนสัญญาณไซน์ 2Vp-p ด้วยความถี่ 59.8 Hz ที่แบนด์ที่ 1 และส่งค่าควบคุมการขยายด้วยเลขฐานสิบหกเท่ากับ 50H จากวิซวลเบสิคผ่านพอร์ตอนุกรม ที่ค่าเกนขยายสูงสุด(Maximum boost) เท่ากับ +12dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 เวกฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 1 ที่ค่าเกน 0 dB (ค่าควบคุมเท่ากับ 00H)

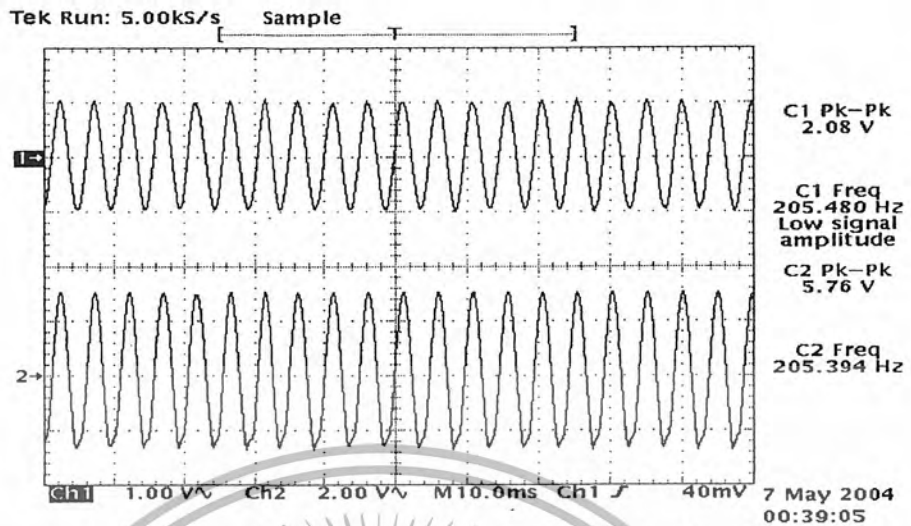
จากกราฟแสดงให้เห็นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเมื่อป้อนสัญญาณไซน์ 2Vp-p ด้วยความถี่ 59.8 Hz ที่แบนด์ที่ 1 และส่งค่าควบคุมการขยายด้วยเลขฐานสิบหกเท่ากับ 00H จากวิซวลเบสิคผ่านพอร์ตอนุกรม ที่ค่าเกนขยายเท่ากับ 0 dB



รูปที่ 4.33 เวกฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 1 ที่ค่าเกน -12 dB (ค่าควบคุมเท่ากับ 05H)

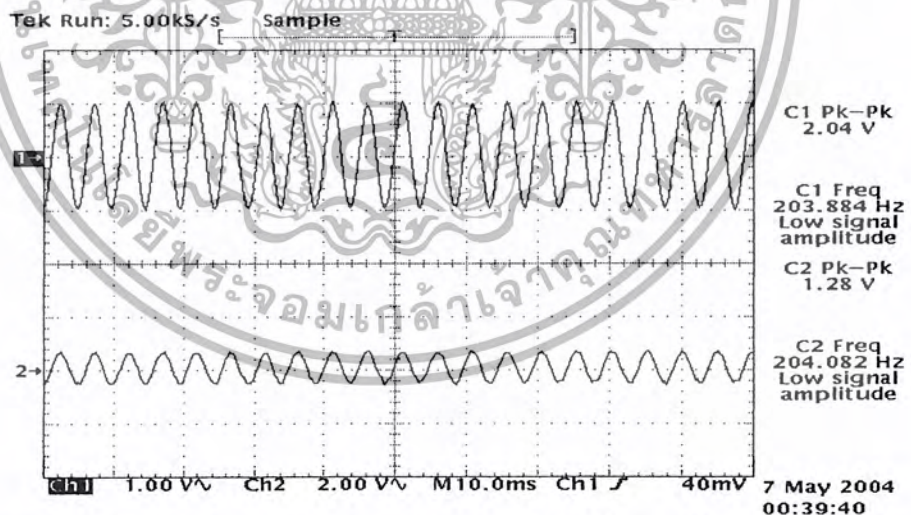
จากกราฟแสดงให้เห็นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเมื่อป้อนสัญญาณไซน์ 2Vp-p ด้วยความถี่ 59.8 Hz ที่แบนด์ที่ 1 และส่งค่าควบคุมการขยายด้วยเลขฐานสิบหกเท่ากับ 05H จากวิซวลเบสิคผ่านพอร์ตอนุกรม ที่ค่าเกนขยายเท่ากับ -12 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 เวกฟอร์มของสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทที่แบนด์ที่ 2 ที่ค่าเกน +12 dB (ค่าควบคุมเท่ากับ 50H)

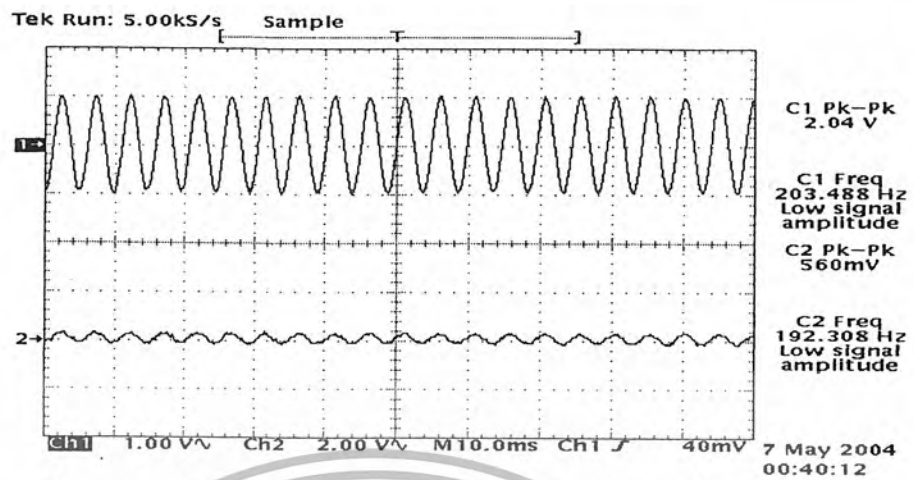
จากกราฟแสดงให้เห็นสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทเมื่อป้อนสัญญาณชานน์ 2Vp-p ด้วยความถี่ 205 Hz ที่แบนด์ที่ 2 และส่งค่าควบคุมการขยายด้วยเลขฐานสิบหกเท่ากับ 50H จากวิซวลเบสิคผ่านพอร์ตคอนกรม ที่ค่าเกนขยายเท่ากับ +12 dB



รูปที่ 4.35 เวกฟอร์มของสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทที่แบนด์ที่ 2 ที่ค่าเกน 0 dB (ค่าควบคุมเท่ากับ 00H)

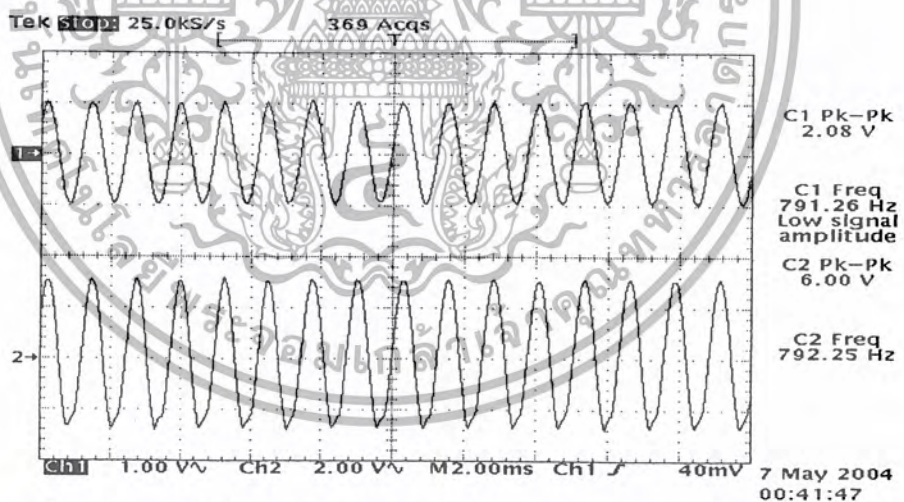
จากกราฟแสดงให้เห็นสัญญาณอินพุทและเอาต์พุทเมื่อป้อนสัญญาณชานน์ 2Vp-p ด้วยความถี่ 205 Hz ที่แบนด์ที่ 2 และส่งค่าควบคุมการขยายด้วยเลขฐานสิบหกเท่ากับ 00H จากวิซวลเบสิคผ่านพอร์ตคอนกรม ที่ค่าเกนขยายเท่ากับ 0 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 เวกฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 2 ที่ค่าเกน -12 dB (ค่าควบคุมเท่ากับ 05H)

จากกราฟแสดงให้เห็นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเมื่อป้อนสัญญาณไซน์ 2Vp-p ด้วยความถี่ 205 Hz ที่แบนด์ที่ 2 และส่งค่าควบคุมการขยายด้วยเลขฐานสิบหกเท่ากับ 05H จากวิซวลเบสิคผ่านพอร์ตอนุกรม ที่ค่าเกนขยายเท่ากับ -12 dB



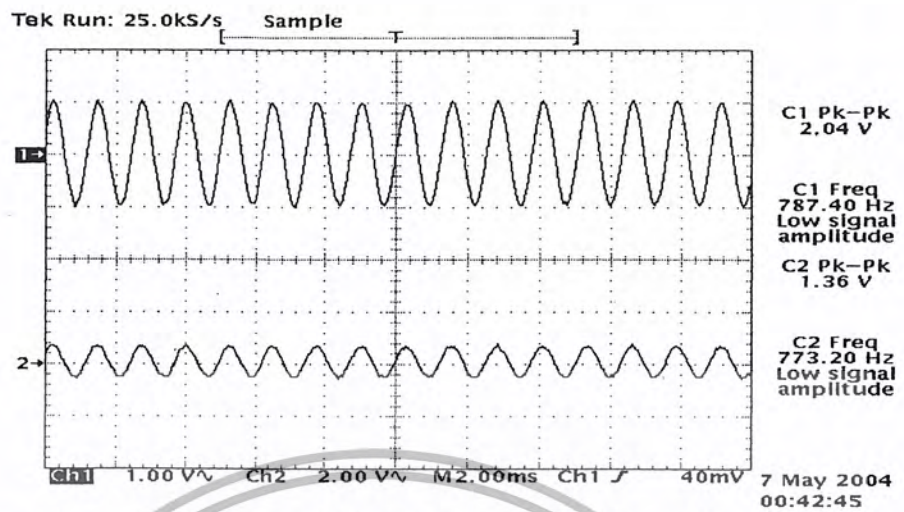
รูปที่ 4.37 เวกฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 3 ที่ค่าเกน +12

dB

(ค่าควบคุมเท่ากับ 50H)

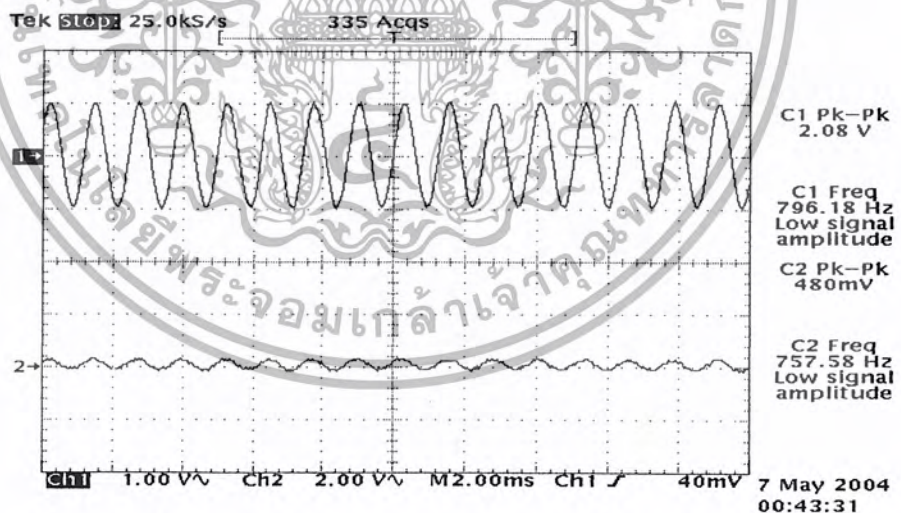
จากกราฟแสดงให้เห็นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเมื่อป้อนสัญญาณไซน์ 2Vp-p ด้วยความถี่ 790 Hz ที่แบนด์ที่ 3 และส่งค่าควบคุมการขยายด้วยเลขฐานสิบหกเท่ากับ 50H จากวิซวลเบสิคผ่านพอร์ตอนุกรม ที่ค่าเกนขยายเท่ากับ +12 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.38 เวกฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 3 ที่ค่าเกน 0 dB (ค่าควบคุมเท่ากับ 00H)

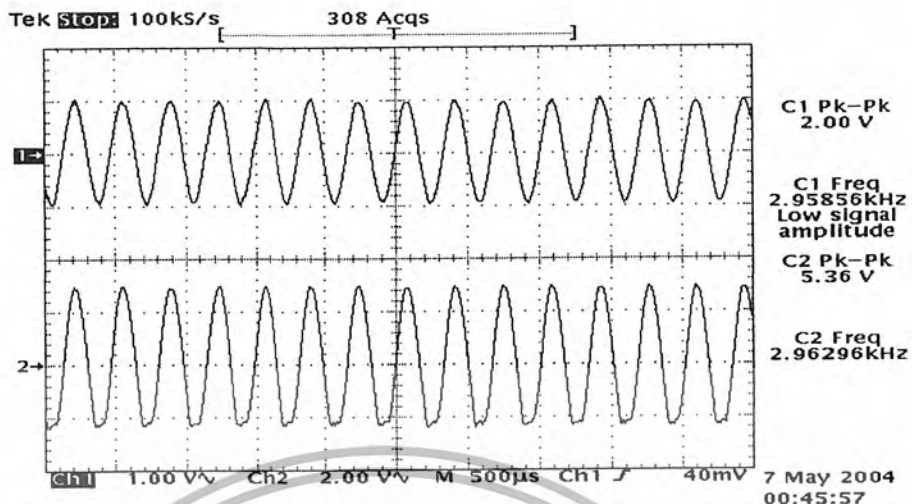
จากกราฟแสดงให้เห็นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเมื่อป้อนสัญญาณไซน์ 2Vp-p ด้วยความถี่ 790 Hz ที่แบนด์ที่ 3 และส่งค่าควบคุมการขยายด้วยเลขฐานสิบหกเท่ากับ 00H จากวิซวลเบสิคผ่านพอร์ตอนุกรม ที่ค่าเกนขยายเท่ากับ 0 dB



รูปที่ 4.39 เวกฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 3 ที่ค่าเกน -12 dB (ค่าควบคุมเท่ากับ 05H)

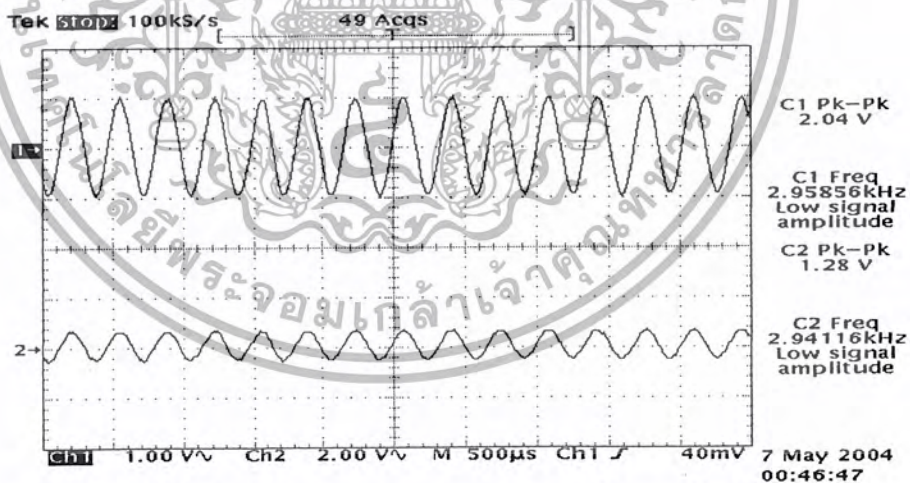
จากกราฟแสดงให้เห็นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเมื่อป้อนสัญญาณไซน์ 2Vp-p ด้วยความถี่ 790 Hz ที่แบนด์ที่ 3 และส่งค่าควบคุมการขยายด้วยเลขฐานสิบหกเท่ากับ 05H จากวิซวลเบสิคผ่านพอร์ตอนุกรม ที่ค่าเกนขยายเท่ากับ -12 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.40 เวก์ฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 4 ที่ค่าเกน+12 dB (ค่าควบคุมเท่ากับ 50H)

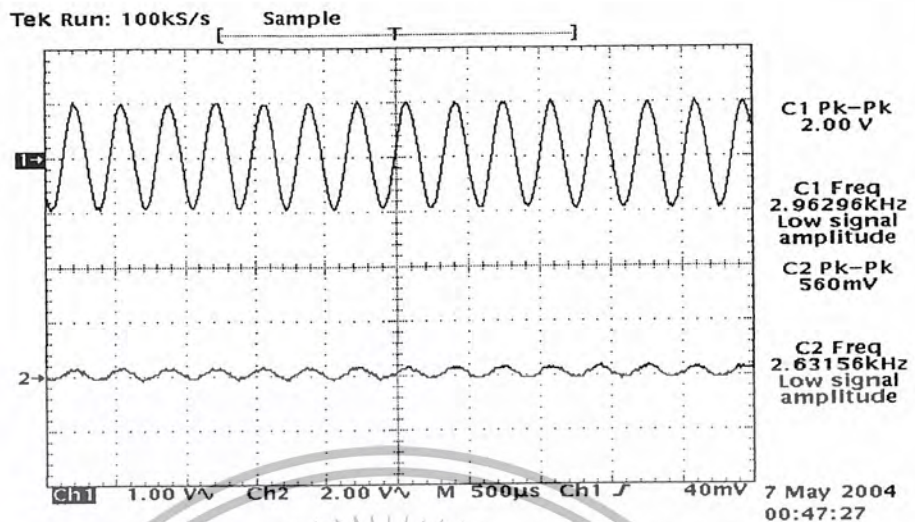
จากกราฟแสดงให้เห็นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเมื่อป้อนสัญญาณชานน์ 2Vp-p ด้วยความถี่ 2.95 KHz ที่แบนด์ที่ 4 และส่งค่าควบคุมการขยายด้วยเลขฐานสิบหกเท่ากับ 50H จากวิซวลเบสิกผ่านพอร์ตอนุกรม ที่ค่าเกนขยายเท่ากับ+12 dB



รูปที่ 4.41 เวก์ฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 4 ที่ค่าเกน 0 dB (ค่าควบคุมเท่ากับ 00H)

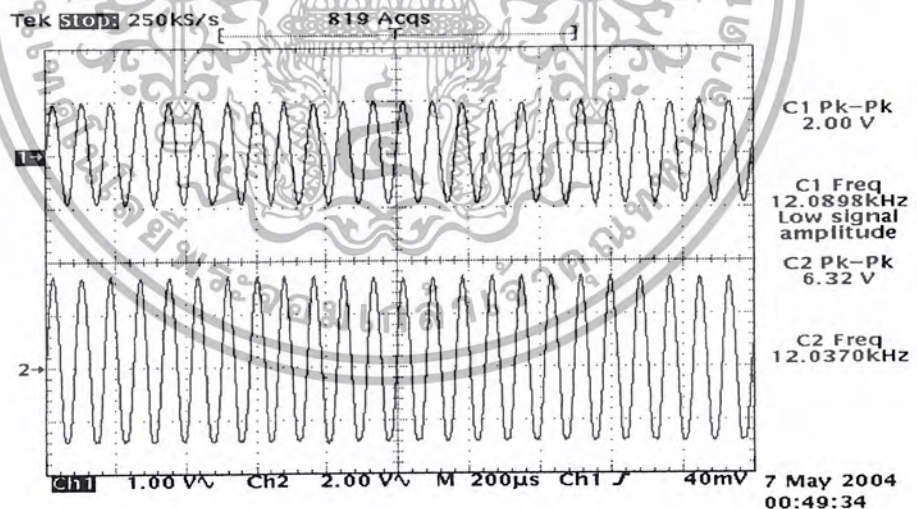
จากกราฟแสดงให้เห็นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเมื่อป้อนสัญญาณชานน์ 2Vp-p ด้วยความถี่ 2.95 KHz ที่แบนด์ที่ 4 และส่งค่าควบคุมการขยายด้วยเลขฐานสิบหกเท่ากับ 00H จากวิซวลเบสิกผ่านพอร์ตอนุกรม ที่ค่าเกนขยายเท่ากับ 0 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.42 เวกฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 4 ที่ค่าเกน -12 dB (ค่าควบคุมเท่ากับ 05H)

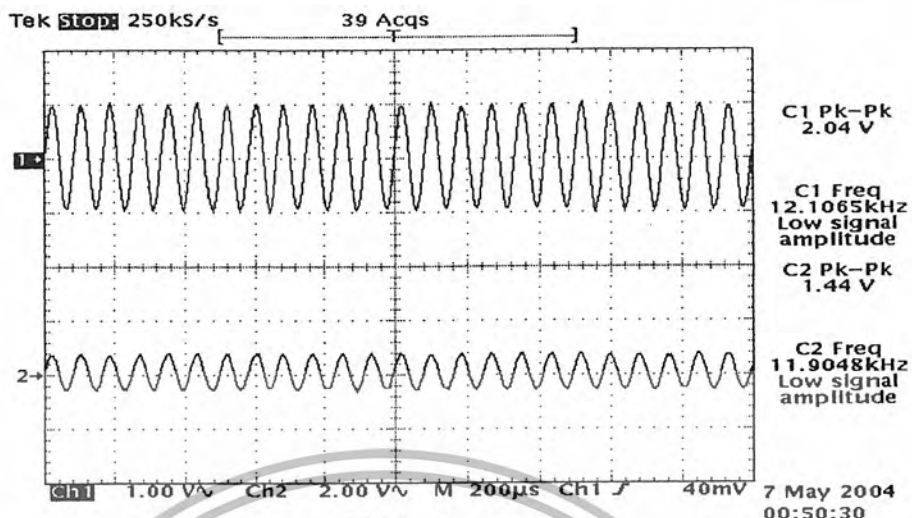
จากกราฟแสดงให้เห็นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเมื่อป้อนสัญญาณชานซ์ 2Vp-p ด้วยความถี่ 2.95 KHz ที่แบนด์ที่ 4 และส่งค่าควบคุมการขยายด้วยเลขฐานสิบหกเท่ากับ 05H จากวิซวลเบสิคผ่านพอร์ตอนุกรม ที่ค่าเกนขยายเท่ากับ -12 dB



รูปที่ 4.43 เวกฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 5 ที่ค่าเกน +12 dB (ค่าควบคุมเท่ากับ 50H)

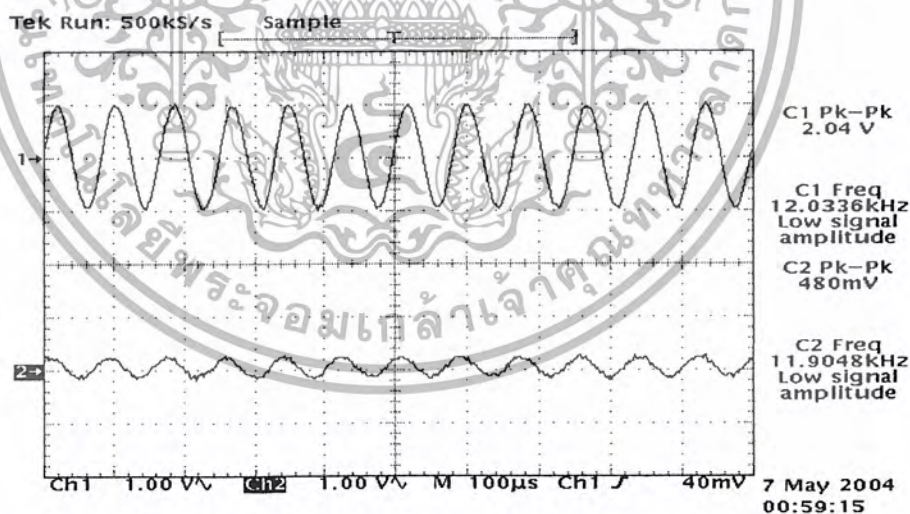
จากกราฟแสดงให้เห็นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเมื่อป้อนสัญญาณชานซ์ 2Vp-p ด้วยความถี่ 12 KHz ที่แบนด์ที่ 5 และส่งค่าควบคุมการขยายด้วยเลขฐานสิบหกเท่ากับ 05H จากวิซวลเบสิคผ่านพอร์ตอนุกรม ที่ค่าเกนขยายเท่ากับ +12 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.44 เวกฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 5 ที่ค่าเกน 0 dB (ค่าควบคุมเท่ากับ 00H)

จากกราฟแสดงให้เห็นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเมื่อป้อนสัญญาณชานซ์ 2Vp-p ด้วยความถี่ 12 KHz ที่แบนด์ที่ 5 และส่งค่าควบคุมการขยายด้วยเลขฐานสิบหกเท่ากับ 00H จากวิซวลเบสิคผ่านพอร์ตอนุกรม ที่ค่าเกนขยายเท่ากับ 0 dB



รูปที่ 4.45 เวกฟอร์มของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตที่แบนด์ที่ 5 ที่ค่าเกน -12 dB (ค่าควบคุมเท่ากับ 05H)

จากกราฟแสดงให้เห็นสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตเมื่อป้อนสัญญาณชานซ์ 2Vp-p ด้วยความถี่ 12 KHz ที่แบนด์ที่ 5 และส่งค่าควบคุมการขยายด้วยเลขฐานสิบหกเท่ากับ 05H จากวิซวลเบสิคผ่านพอร์ตอนุกรม ที่ค่าเกนขยายเท่ากับ -12 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเกณฑ์ขยายสูงสุด(Maximum Boost) และ ค่าเกณฑ์ขยายต่ำสุด(Maximum Cut)

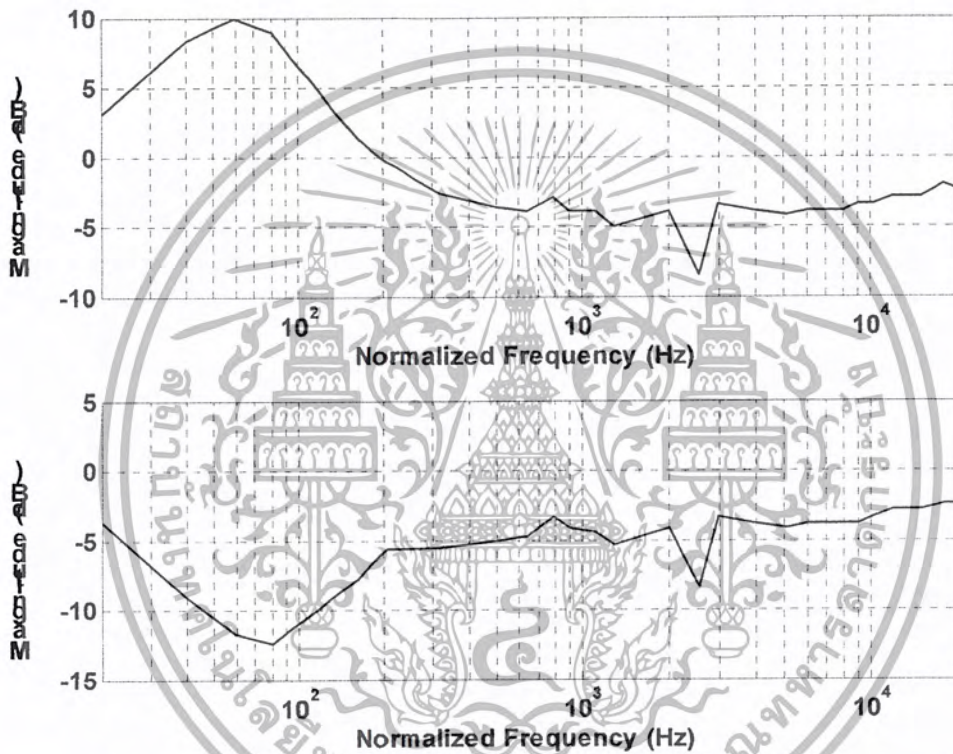
\* ค่า max และ min หน่วยเป็น Vp-p

Frequency (Hz)	Flat (Vp-p)	59Hz		205Hz		790Hz		2.95KHz		12KHz	
		max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
20	1.48	2.84	1.3	1.78	1.62	1.66	1.66	1.66	1.66	1.60	1.66
40	1.48	5.2	0.7	1.84	1.38	1.48	1.48	1.48	1.46	1.48	1.4
59	1.36	6.3	0.52	2	1.12	1.44	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
80	1.36	5.62	0.48	2.24	0.9	1.36	1.22	1.28	1.26	1.28	1.26
160	1.36	2.34	0.82	5.26	0.44	1.54	1.06	1.22	1.18	1.2	1.2
205	1.36	1.92	1.04	5.8	0.48	1.72	1.08	1.28	1.24	1.24	1.24
320	1.36	1.48	1.06	3.94	0.57	2.46	0.8	1.27	1.14	1.2	1.18
500	1.36	1.32	1.12	2.24	0.88	3.92	0.56	1.16	1.12	1.32	1.24
640	1.36	1.28	1.16	1.9	0.94	5.52	0.42	1.54	1.06	1.22	1.18
790	1.36	1.44	1.36	1.76	1.2	6	0.48	1.84	1.12	1.44	1.28
900	1.36	1.28	1.24	1.64	1.12	5.64	0.52	1.92	1.04	1.32	1.24
1,100	1.36	1.28	1.20	1.52	1.16	4.32	0.6	2.28	0.96	1.32	1.24
1,280	1.36	1.12	1.08	1.26	1.04	3.32	0.58	2.3	0.74	1.22	1.04
2,000	1.36	1.28	1.24	1.28	1.24	2.28	0.92	4.56	0.64	1.68	1.20
2,560	1.36	0.76	0.76	0.8	0.74	1.16	0.62	3.48	0.26	0.94	0.94
2,950	1.36	1.36	1.36	1.44	1.36	1.76	1.12	5.44	0.48	1.92	1.12
4,000	1.36	1.28	1.28	1.28	1.28	1.52	1.20	4.8	0.64	2.4	0.96
5,120	1.36	1.24	1.24	1.26	1.22	1.4	1.16	3.58	0.68	3	0.76
6,000	1.36	1.28	1.28	1.28	1.28	1.44	1.28	3.04	0.96	3.76	0.8
7,000	1.36	1.28	1.28	1.28	1.28	1.44	1.28	2.64	0.96	4.48	0.72
8,000	1.44	1.28	1.28	1.36	1.36	1.44	1.28	2.4	1.12	5.28	0.72
9,000	1.44	1.36	1.28	1.36	1.36	1.44	1.44	2.24	1.12	5.92	0.64
10,240	1.36	1.36	1.36	1.38	1.38	1.42	1.36	2.06	1.14	6.38	0.48
12,000	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.52	1.44	1.92	1.44	6.32	0.56
15,000	1.52	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.84	1.44	5.92	0.64
18,000	1.6	1.6	1.52	1.6	1.6	1.6	1.6	1.76	1.44	5.28	0.8
20,480	1.36	1.52	1.52	1.52	1.52	1.54	1.52	1.74	1.46	4.78	0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ในวาระนี้ได้ค้น ห้สิน อีกที่พจนมีให้ดัดแปลงนี้ยงา และต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

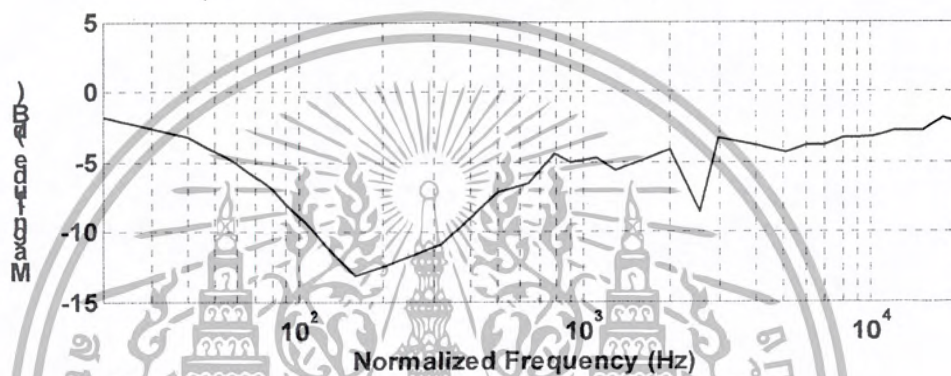
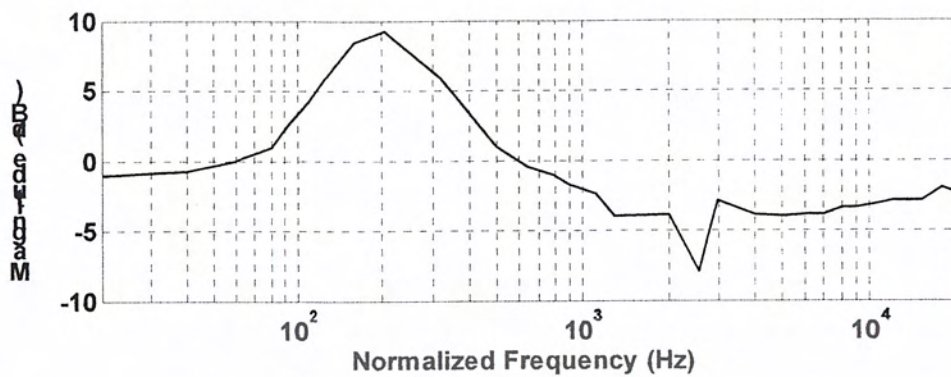
จากตารางที่ 1 เป็นค่าแรงดันเอาต์พุต เมื่อทดลองป้อนแรงดันอินพุต 2Vp-p ที่ความถี่ต่างๆ พร้อมกับส่งค่าควบคุมการขยายสูงสุด (Maximum Boost) เท่ากับ 50H และค่าควบคุมการขยายต่ำสุด (Maximum Cut) เท่ากับ 05H ที่แต่ละแบนด์ของวงจรกราฟฟิควอลเทจเซอร์ขนาด 5 แบนด์ที่ใช้สำหรับโครงการนี้

กราฟแสดงค่าการขยายสูงสุด(Maximum Boost) และค่าขยายต่ำสุด (Maximum Cut) ของกราฟฟิควอลเทจเซอร์ทั้ง 5 แบนด์



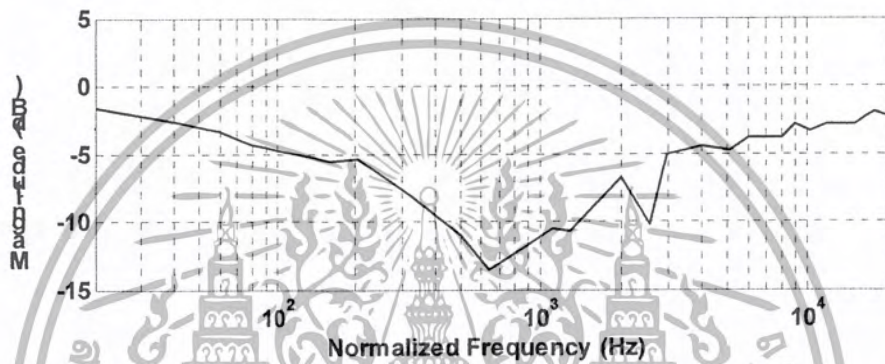
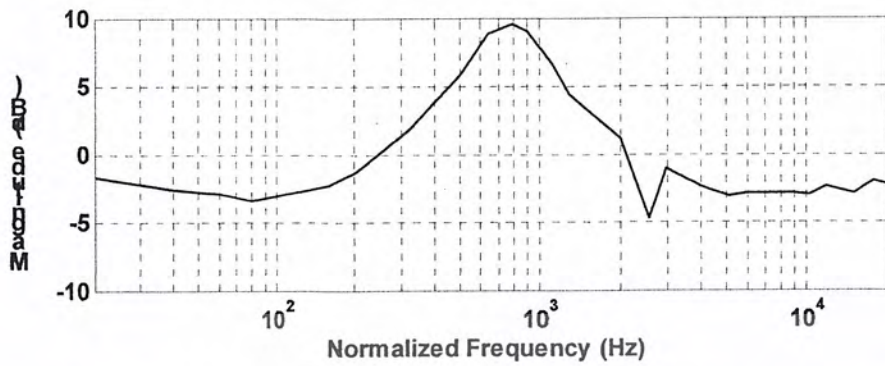
รูปที่ 4.46 กราฟแสดงขนาดของค่า Maximum Boost และ Maximum Cut ที่ความถี่ 59 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

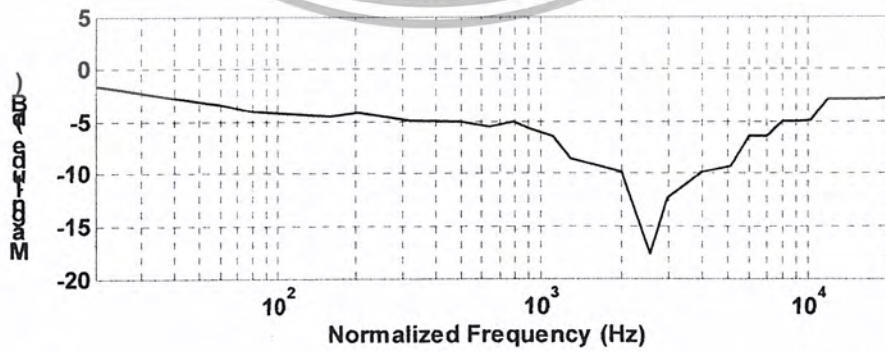
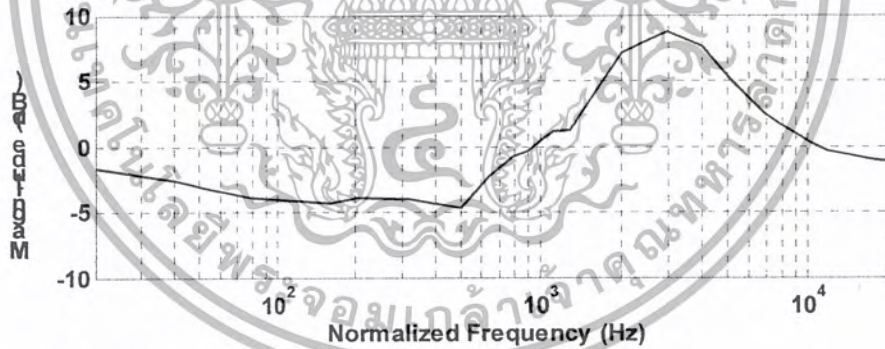


รูปที่ 4.47 กราฟ Maximum Boost และ Maximum Cut ที่ความถี่ 205Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

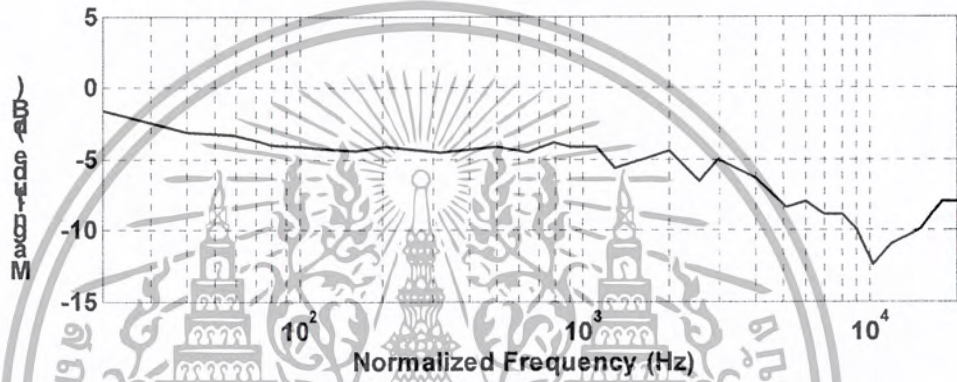
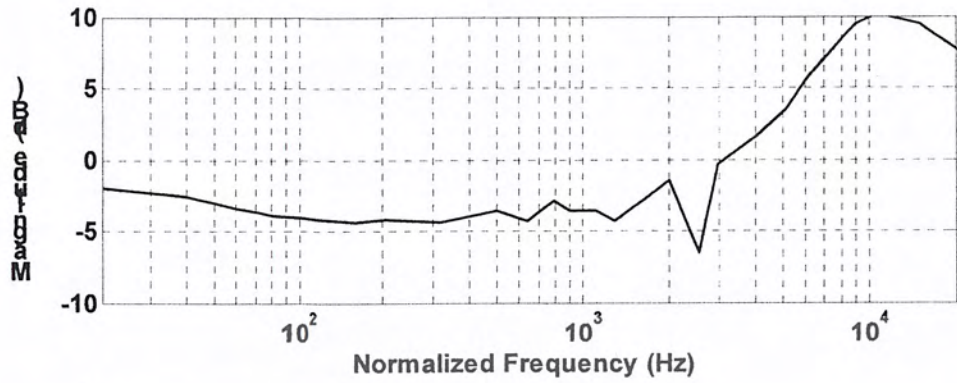


รูปที่ 4.48 กราฟ Maximum Boost และ Maximum Cut ที่ความถี่ 790Hz

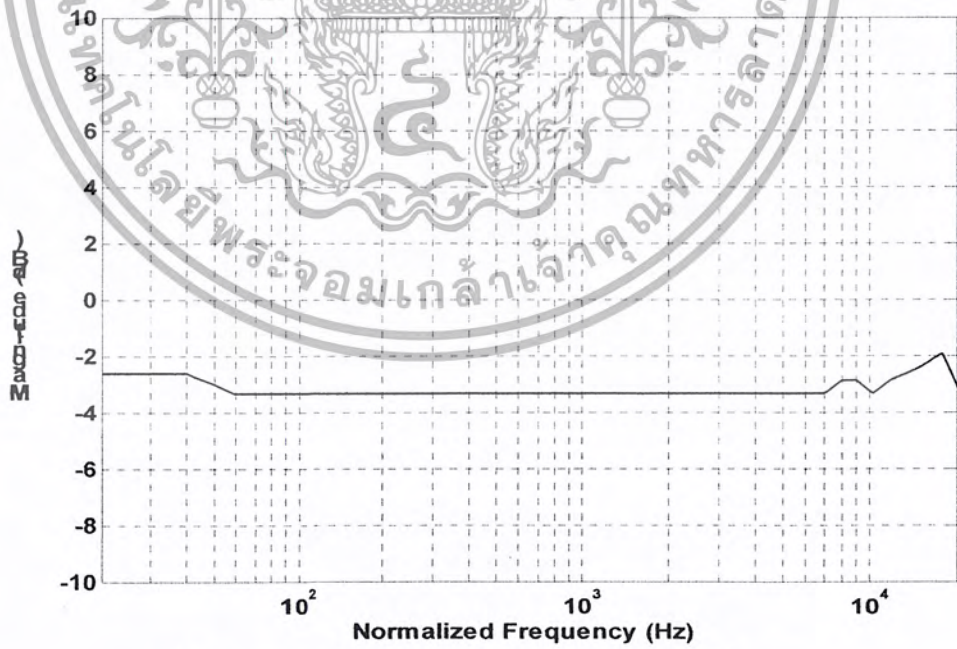


รูปที่ 4.49 กราฟ Maximum Boost และ Maximum Cut ที่ความถี่ 2.95KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

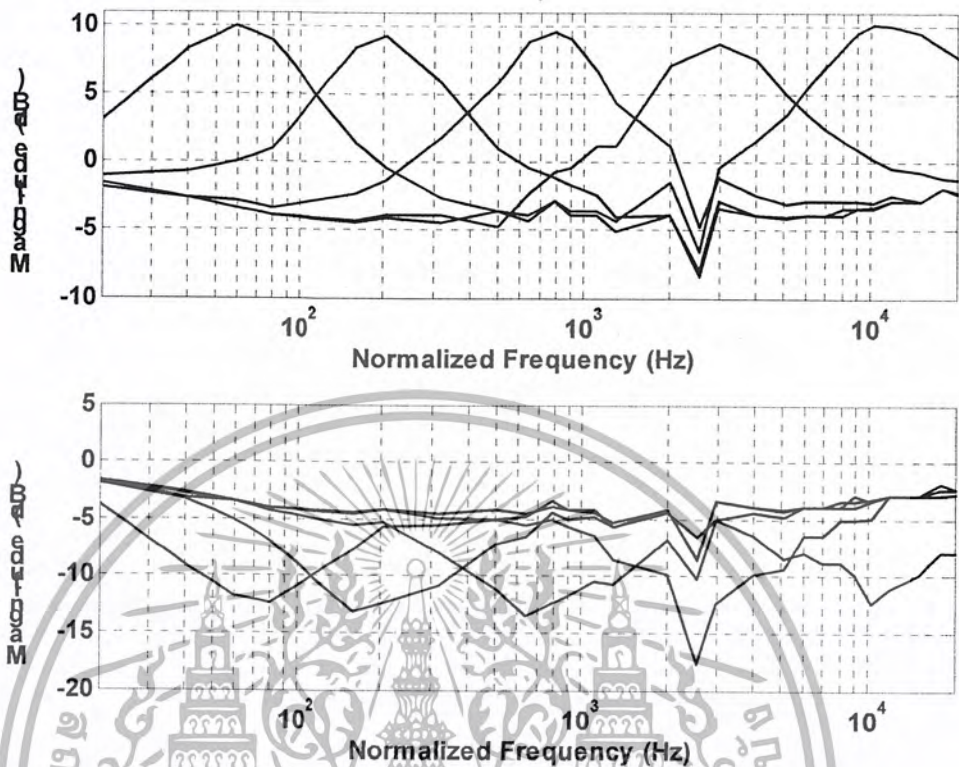


รูปที่ 4.50 กราฟ Maximum Boost และ Maximum Cut ที่ความถี่ 12Khz



รูปที่ 4.51 กราฟค่า FLAT ที่ 0 dB ที่ตลอดย่านความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.52 กราฟรวมค่า Maximum Boost และ Maximum Cut ที่แต่ละย่านความถี่

จากรูปกราฟที่ 4.46 ถึง 4.52 เป็นการนำค่าที่ได้จากการทดลองบนที่กลดตารางแล้วนำมาพล็อตได้รูปกราฟดังที่แสดงไว้ นั้นจะเห็นได้ว่ากราฟที่ได้นั้นยังไม่ราบเรียบมากนัก ค่า Flat ที่ได้ก็อยู่ต่ำกว่า 0 dB เล็กน้อย และค่า Maximum boost/cut นั้นยังไม่ตรงกันมากนัก แต่ก็อยู่ในจุดที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจากการที่ได้ศึกษาข้อมูลจากเค้าชี้ตของไอซีเบอร์ TEA6360 พบว่าค่าอุปกรณ์ภายนอกที่ต่อร่วมกับ ไอซีเบอร์ TEA6360 นั้นมีผลต่อค่า Centre frequency, bandwidth and maximum boost/cut ดังนั้น จึงควรเลือกค่าอุปกรณ์ที่ต่อร่วมกับ ไอซีดังกล่าวให้มีค่าผิดพลาดน้อยที่สุด และป้อนค่าความถี่กลางของแต่ละแบนด์ที่ใช้ในการทดลองด้วยค่าที่ถูกต้องที่สุด และเพื่อให้ได้กราฟที่ราบเรียบควรทดลองป้อนความถี่ตัวอย่างหลายๆค่าในการทดสอบ

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองในการส่งค่าแอดเดรสและค่าควบคุมการขยายของวงจรกราฟฟิคอีควอไลเซอร์จากหน้าจอกอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม(RS-232) ซึ่งใช้สื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) เพื่อควบคุมการขยายของวงจรกราฟฟิคอีควอไลเซอร์ส่วนการติดต่สื่อสารกับวงจรกราฟฟิค อีควอไลเซอร์นั้นจะใช้การสื่อสารแบบI<sup>2</sup>C-BUS ซึ่งผลที่ได้นั้น สามารถควบคุมการขยาย (Boost และ Cut) ได้ 10 ระดับตั้งแต่ +12dB ถึง -12 dB ดังแสดงไว้ในบทที่ 4 ซึ่งสามารถควบคุมการขยายของแต่ละแบนด์ได้เป็นอย่างดี

#### ปัญหาที่เกิดขึ้น

- จากผลการทดลองในบทที่ 4 นั้นจะเห็นว่าค่า Maximum boost และ Maximum cut ในแต่ละแบนด์นั้นยังได้ค่าไม่เท่ากัน ค่า Flat ที่ได้นั้น ไม่อยู่ที่ 0dB เมื่อส่งค่าควบคุมปรับการขยายด้วย 00H ตามตารางข้อมูลของการควบคุมของไอซีเบอร์ TEA6360 ซึ่งค่าที่ได้นั้นจะต่ำกว่า 0dB อยู่เล็กน้อย และกราฟแสดงการขยายที่พล็อตได้ในแต่ละแบนด์ของวงจรกราฟฟิค อีควอไลเซอร์นั้นยังไม่ราบเรียบมากนัก
- อุปกรณ์ที่ต้องการใช้นั้นไม่มีการนำเข้ามาจำหน่ายภายในประเทศ ทำให้ต้องมีการออกแบบโรงงานใหม่และต้องรอการสั่งซื้ออุปกรณ์จากต่างประเทศค่อนข้างนาน ทำให้การทำงานล่าช้าออกไป

#### แนวทางการแก้ไขปัญหา

- จากการศึกษาข้อมูลจากเดต้าของไอซี TEA 6360 ซึ่งเป็น ไอซีวงจรกราฟฟิคอีควอไลเซอร์ 5 แบนด์ พบว่าค่าของอุปกรณ์ที่ต่อรวมจากภายนอกนั้นมีผลต่อค่าความถี่กลาง, แบนด์วิดท์และค่าการขยายสูงสุด/ต่ำสุด (Centre frequency, bandwidth and maximum boost/cut)ของแต่ละแบนด์ เพราะฉะนั้นจึงควรจะต้องเลือกค่าอุปกรณ์ที่ใช้ให้มีค่าผิดพลาดน้อยที่สุด
- ทดลองป้อนค่าความถี่หลายๆค่าให้มากขึ้นเพื่อให้สามารถพล็อตกราฟออกมาได้ราบเรียบและใกล้เคียงมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

จากแนวความคิดและการออกแบบการควบคุมออติโอ กราฟฟิคอีควอไลเซอร์ และครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คของระบบไฮ-ไฟ ออติโอ บนหน้าต่างวินโดว์นี้สามารถสร้างขึ้นมาใช้งานได้จริงตามวัตถุประสงค์ที่ออกแบบไว้และสามารถนำไปใช้งานได้มีประสิทธิภาพ ดังนั้นเพื่อทำให้เกิดการพัฒนาต่อไปและสามารถใช้งานได้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ตลอดจนสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลาย ทางคณะผู้จัดทำเห็นว่า ควรมีการพัฒนา การควบคุมออติโอ กราฟฟิค อีควอไลเซอร์ และครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คของระบบไฮ-ไฟ ออติโอ บนหน้าต่างวินโดว์ ดังนี้

1. ในการปรับพารามิเตอร์ต่างๆในวงจร ถ้าปรับอย่างละเอียดก็จะได้คุณสมบัติการตอบสนองที่ดี
2. การส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์และวงจรที่ใช้งาน ควรจะเป็นระบบไร้สายโดยอาจใช้มาตรฐานของบลูทูธ ซึ่งจะทำได้ติดตั้งและเคลื่อนย้ายได้สะดวกมากยิ่งขึ้น
3. การแสดงค่าการเปลี่ยนจุดตัดความถี่ของวงจรครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์ค และค่าพารามิเตอร์ต่างๆบนหน้าต่างวินโดว์นั้น ควรปรับปรุงให้สามารถแสดงเป็นกราฟได้ ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้สามารถเห็นค่าการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนและเข้าใจได้ง่ายขึ้น
4. ในส่วนของวงจรกราฟฟิค อีควอไลเซอร์ ถ้าขยายแบนด์ให้มากขึ้นก็จะทำให้สามารถปรับค่าความถี่ได้ละเอียดมากขึ้น ซึ่งส่งต่อคุณภาพของสัญญาณที่ได้

ในลำดับสุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำหวังว่า โครงการงาน การควบคุมออติโอ กราฟฟิคอีควอไลเซอร์ และครอสโอเวอร์เน็ตเวิร์คของระบบไฮ-ไฟ ออติโอ บนหน้าต่างวินโดว์ นี้คงเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจศึกษา และค้นคว้าเกี่ยวกับโครงการดังกล่าวได้เป็นอย่างดีในการพัฒนาต่อไป

## บรรณานุกรม

1. ดลชัย สุขเจริญผล, “เอกสารประกอบการสอนวิชา Electronic Communication”, ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร, 2537.
2. นิกร สุขุมตันติ, “การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2533.
3. Don Lancaster's, “Active Filter Cookbook”, Newnes, 1975.
4. Jan Axelson, “Serial Port Complete”, Lakeview Research, Madison, 1998.
5. Ramakant A. Gayakwad, “Op-Amps and Linear Integrated Circuits”, Prentice Hall, 1993.
6. S. H. Linkwitz, “Active Crossover Network for Noncoincident Drivers”, J. Audio Eng. Soc., Vol. 24, No. 1, 1976.
7. S. Linkwitz, “Design Electronics and Acoustics”, [www.linkwitzlab.com](http://www.linkwitzlab.com)
8. S. P. Lipshitz and J. Vanderkool, “A Family of Linear-Phase Crossover Networks of High Slope Derived by Time Delay”, J. Audio Eng. Soc., Vol. 31, No. 1/2, 1983.
9. U. Zolzer, “Digital Audio Signal Processing”, John Wiley and Sons, New-York, 1997.
10. W. K. Chen, “Passive and Active Filters: Theory and Implementation”, Wiley and Sons, New-York, 1986.

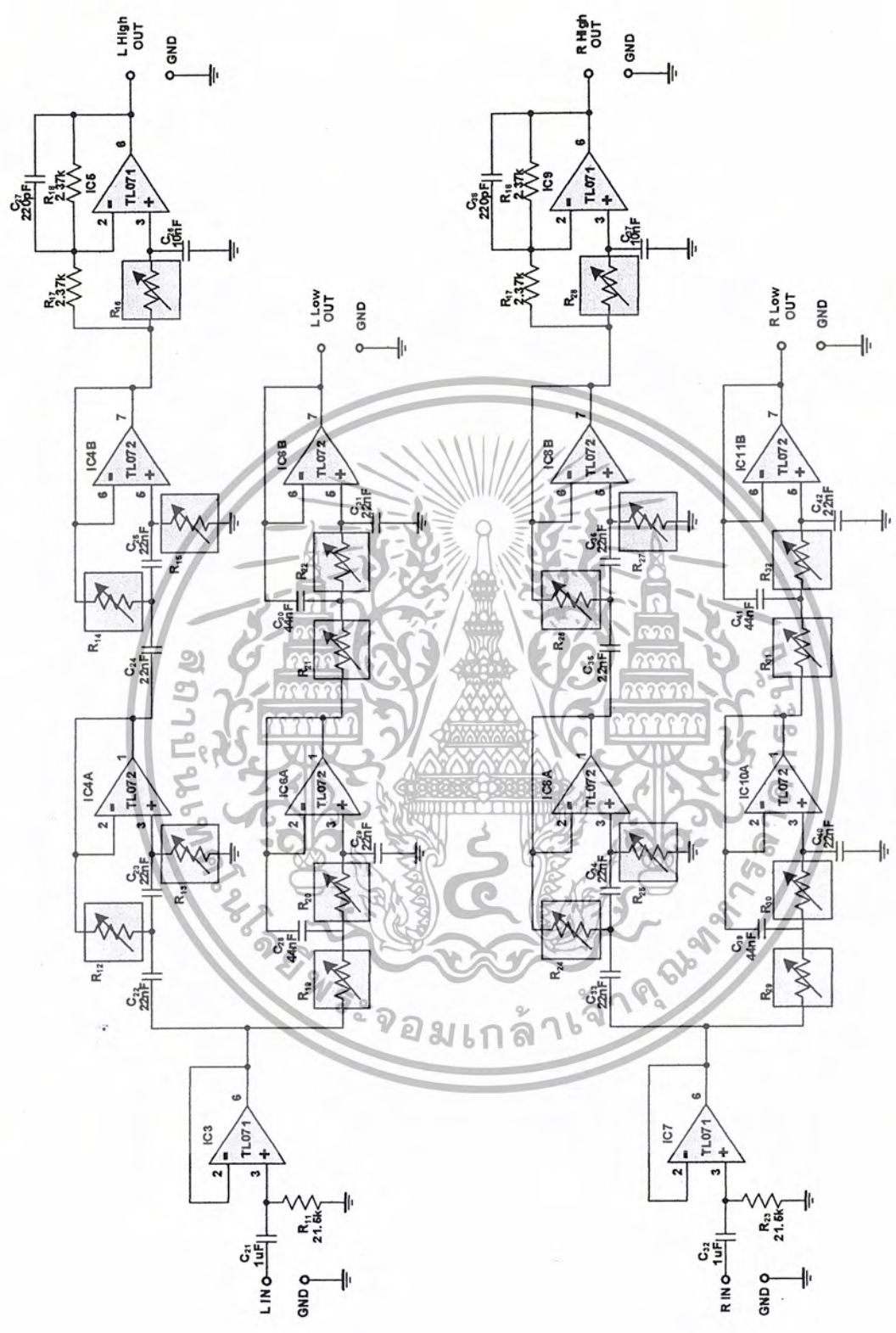


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



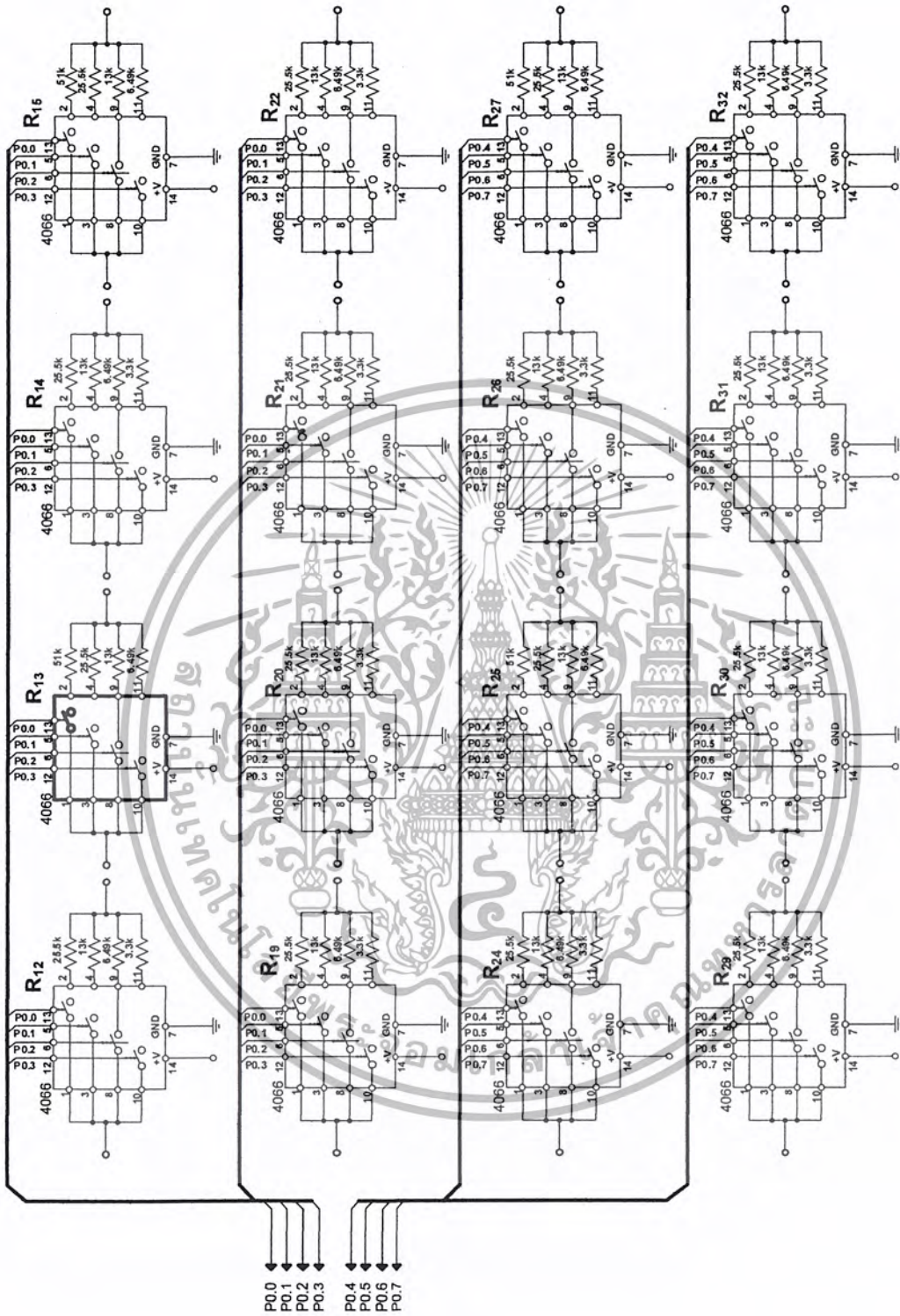
วงจรมีระบบที่สนับสนุนการแปลงสัญญาณและควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



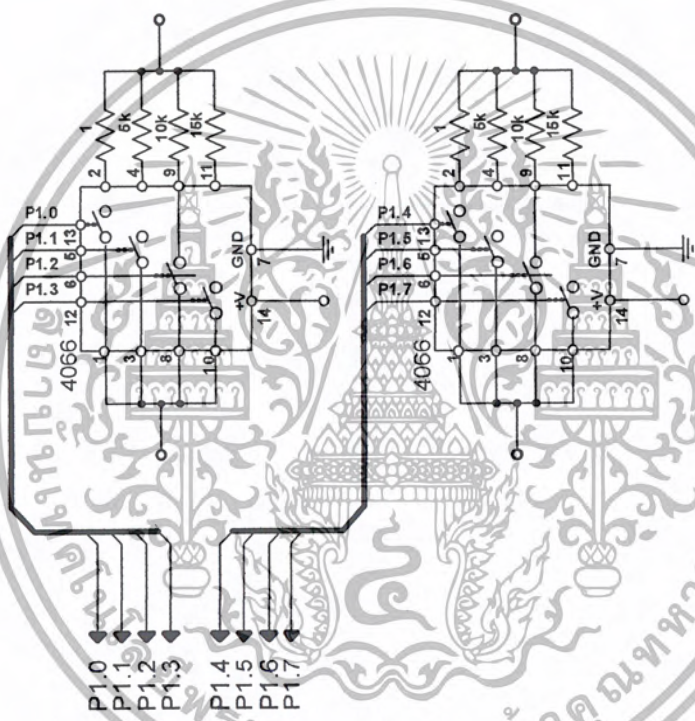
วงจรมิกเซอร์เสียง 2 ทางแต่ละทางหนึ่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



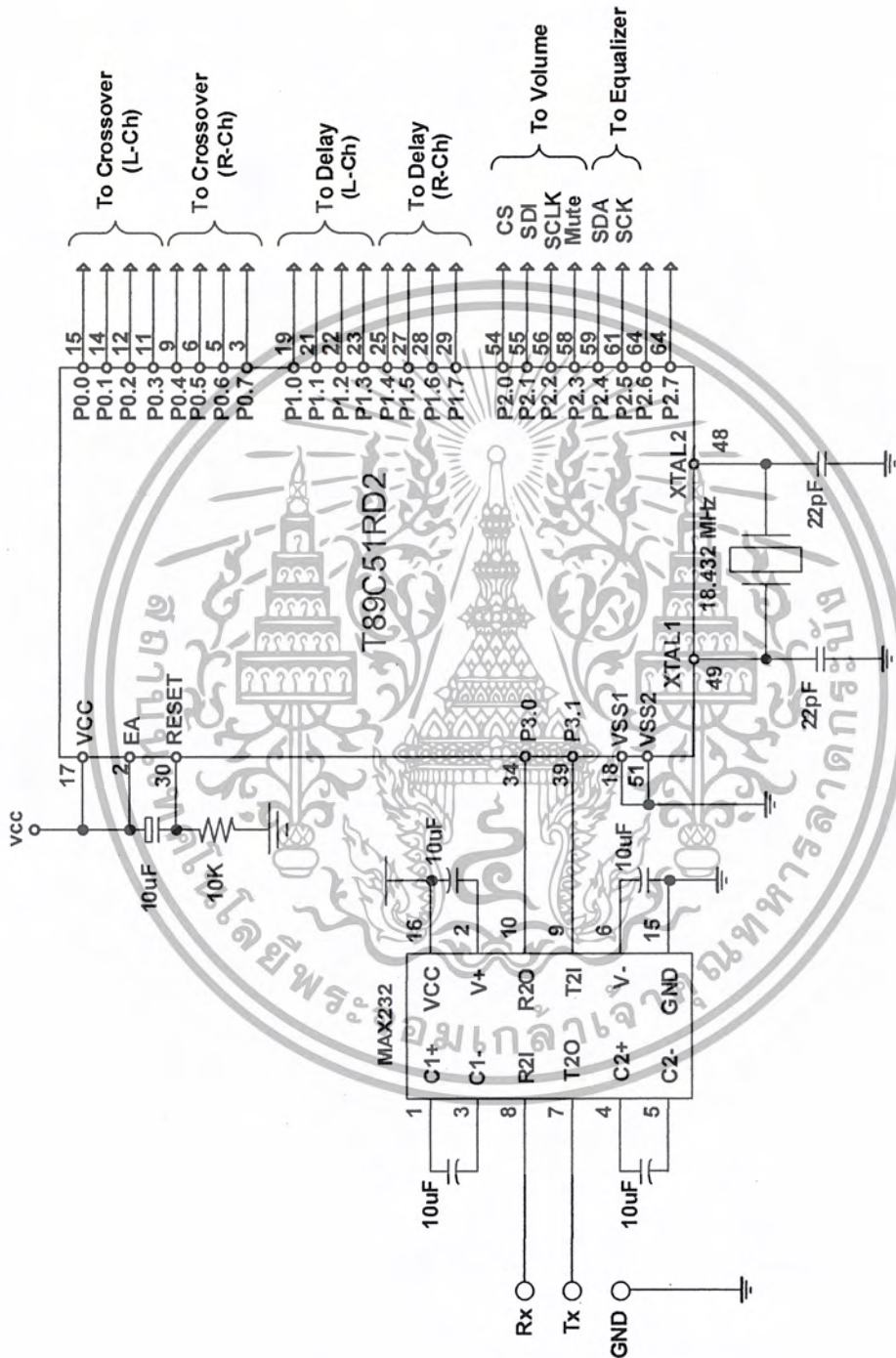
วงจรสับเปลี่ยนความต้านทาน(ของวงจรครอสโวจอร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรสับเปลี่ยนค่าตามตำแหน่ง (ของวงจรหน่วงสัญญาณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรควบคุมการปรับแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรมภาษาแอสเซมบลีสำหรับ T89C51RD2

Line I	Addr	Code	Source		
1:	B	00A0	CS	EQU	P2.0
2:	B	00A1	SI	EQU	P2.1
3:	B	00A2	SCK	EQU	P2.2
4:	B	00A3	MUTE	EQU	P2.3
5:	B	00A4	SCL	EQU	P2.4
6:	B	00A5	SDA	EQU	P2.5
7:	N	002F	FLAG	EQU	02FH
8:	B	78	I2C_ACK	BIT	FLAG.0
9:	N	0040	I2C_ADDR	EQU	040H
10:	N	0041	I2C_DATA	EQU	041H
11:	N	0042	IO_DATA	EQU	042H
12:	N	0043	ADDR_IN	EQU	043H
13:	N	0044	DATA_IN	EQU	044H
14:	N	0086	TEA6360_ID	EQU	10000110B
15:	N	0000		ORG	0000H
16:	0000	75 81 80		MOV	SP,#80H
17:	0003	78 30		MOV	RO,#30H
18:	0005	75 89 20	INIT_RS232:	MOV	TMOD,#20H
19:	0008	75 98 52		MOV	SCON,#52H
20:	000B	75 8D FB		MOV	TH1,#0FBH
21:	000E	75 8B FB		MOV	TL1,#0FBH
22:	0011	D2 8E		SETB	TR1
23:	0013	D2 A0	INIT_SPI:	SETB	CS
24:	0015	C2 A1		CLR	SI
25:	0017	C2 A2		CLR	SCK
26:	0019	75 80 11	INIT_CROSS:	MOV	PO,#11H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Line I	Addr	Code	Source		
27:	001C	75 90 88	INIT_DELAY:	MOV	P1,#88H
28:	001F	75 43 00	INIT_TEA6360:	MOV	ADDR_IN,#00H
29:	0022	75 44 00		MOV	DATA_IN,#00H
30:	0025	31 36		ACALL	WR_TEA6360
31:	0027	75 43 01		MOV	ADDR_IN,#01H
32:	002A	75 44 00		MOV	DATA_IN,#00H
33:	002D	31 36		ACALL	WR_TEA6360
34:	002F	75 43 02		MOV	ADDR_IN,#02H
35:	0032	75 44 00		MOV	DATA_IN,#00H
36:	0035	31 36		ACALL	WR_TEA6360
37:	0037	75 43 03		MOV	ADDR_IN,#03H
38:	003A	75 44 00		MOV	DATA_IN,#00H
39:	003D	31 36		ACALL	WR_TEA6360
40:	003F	75 43 04		MOV	ADDR_IN,#04H
41:	0042	75 44 00		MOV	DATA_IN,#00H
42:	0045	31 36		ACALL	WR_TEA6360
43:	0047	11 66	MAIN:	ACALL	RD_PACK
44:	0049	E5 31	CHK_DEVICE:	MOV	A,31H
45:	004B	B4 4D 02	CHK_MUTE:	CJNE	A,#"M",CHK_VOL
46:	004E	01 9F		AJMP	MUT
47:	0050	B4 56 02	CHK_VOL:	CJNE	A,#"V",CHK_CROSS
48:	0053	01 A7		AJMP	VOL
49:	0055	B4 43 02	CHK_CROSS:	CJNE	A,#"C",CHK_DELAY
50:	0058	01 EA		AJMP	CROSS
51:	005A	B4 44 02	CHK_DELAY:	CJNE	A,#"D",CHK_EQ
52:	005D	01 FA		AJMP	DELAY
53:	005F	B4 45 35	CHK_EQ:	CJNE	A,#"E",NAG
54:	0062	21 08		AJMP	EQUA
55:	0064	01 47		AJMP	MAIN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Line I	Addr	Code	Source		
56:	0066	78 30	RD_PACK:	MOV	R0,#30H
57:	0068	11 87		ACALL	RD_CHAR
58:	006A	B4 3E 2A		CJNE	A,#">",NAG
59:	006D	F6		MOV	@R0,A
60:	006E	08		INC	R0
61:	006F	11 87		ACALL	RD_CHAR
62:	0071	F6		MOV	@R0,A
63:	0072	08		INC	R0
64:	0073	11 87		ACALL	RD_CHAR
65:	0075	F6		MOV	@R0,A
66:	0076	94 30		SUBB	A,#"0"
67:	0078	FF		MOV	R7,A
68:	0079	08		INC	R0
69:	007A	11 87	RD_DATA:	ACALL	RD_CHAR
70:	007C	F6		MOV	@R0,A
71:	007D	08		INC	R0
72:	007E	DF FA		DJNZ	R7,RD_DATA
73:	0080	11 87		ACALL	RD_CHAR
74:	0082	B4 23 12		CJNE	A,#"#",NAG
75:	0085	F6		MOV	@R0,A
76:	0086	22		RET	
77:	0087	30 98 FD	RD_CHAR:	JNB	RI,\$
78:	008A	C2 98		CLR	RI
79:	008C	E5 99		MOV	A,SBUF
80:	008E	22		RET	
81:	008F	F5 99	WR_CHAR:	MOV	SBUF,A
82:	0091	30 99 FD		JNB	TI,\$
83:	0094	C2 99		CLR	TI
84:	0096	22		RET	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Line I	Addr	Code	Source		
85:	0097	74 4E	NAG:	MOV	A,#"N"
86:	0099	11 8F		ACALL	WR_CHAR
87:	009B	C2 98		CLR	RI
88:	009D	01 47		AJMP	MAIN
89:	009F	B2 A3	MUT:	CPL	MUTE
90:	00A1	74 4D		MOV	A,#"M"
91:	00A3	11 8F		ACALL	WR_CHAR
92:	00A5	01 47		AJMP	MAIN
93:	00A7	D2 A0	VOL:	SETB	CS
94:	00A9	C2 A1		CLR	SI
95:	00AB	C2 A2		CLR	SCK
96:	00AD	11 E5		ACALL	SPI_DELAY
97:	00AF	C2 A0		CLR	CS
98:	00B1	11 E5		ACALL	SPI_DELAY
99:	00B3	7E 08		MOV	R6,#08H
100:	00B5	E5 33		MOV	A,33H
101:	00B7	11 CF		ACALL	SPI_LOOP
102:	00B9	7E 08		MOV	R6,#08H
103:	00BB	E5 33		MOV	A,33H
104:	00BD	11 CF		ACALL	SPI_LOOP
105:	00BF	11 E5		ACALL	SPI_DELAY
106:	00C1	D2 A0		SETB	CS
107:	00C3	11 E5		ACALL	SPI_DELAY
108:	00C5	C2 A2		CLR	SCK
109:	00C7	C2 A1		CLR	SI
110:	00C9	74 56		MOV	A,#"V"
111:	00CB	11 8F		ACALL	WR_CHAR
112:	00CD	01 47		AJMP	MAIN
113:	00CF	33	SPI_LOOP:	RLC	A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Line I	Addr	Code	Source		
114:	00D0	40 04		JC	HIGH_BIT
115:	00D2	C2 A1	LOW_BIT:	CLR	SI
116:	00D4	01 D8		AJMP	RET_BIT
117:	00D6	D2 A1	HIGH_BIT:	SETB	SI
118:	00D8	11 E5	RET_BIT:	ACALL	SPI_DELAY
119:	00DA	D2 A2		SETB	SCK
120:	00DC	11 E5		ACALL	SPI_DELAY
121:	00DE	C2 A2		CLR	SCK
122:	00E0	11 E5		ACALL	SPI_DELAY
123:	00E2	DE EB		DJNZ	R6,SPI_LOOP
124:	00E4	22		RET	
125:	00E5	7B 07	SPI_DELAY:	MOV	R3,#07H
126:	00E7	DB FE		DJNZ	R3,\$
127:	00E9	22		RET	
128:	00EA	E5 33	CROSS:	MOV	A,33H
129:	00EC	54 0F		ANL	A,#0FH
130:	00EE	C4		SWAP	A
131:	00EF	FC		MOV	R4,A
132:	00F0	C4		SWAP	A
133:	00F1	4C		ORL	A,R4
134:	00F2	F5 90		MOV	P1,A
135:	00F4	74 43		MOV	A,#"C"
136:	00F6	11 8F		ACALL	WR_CHAR
137:	00F8	01 47		AJMP	MAIN
138:	00FA	E5 33	DELAY:	MOV	A,33H
139:	00FC	90 01 D2		MOV	DPTR,#TABLE1
140:	00FF	93		MOVC	A,@A+DPTR
141:	0100	F5 80		MOV	P0,A
142:	0102	74 44		MOV	A,#"D"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Line I	Addr	Code	Source		
143:	0104	11 8F		ACALL	WR_CHAR
144:	0106	01 47		AJMP	MAIN
145:	0108	75 43 00	EQUA:	MOV	ADDR_IN,#00H
146:	010B	85 33 44		MOV	DATA_IN,33H
147:	010E	31 36		ACALL	WR_TEA6360
148:	0110	75 43 01		MOV	ADDR_IN,#01H
149:	0113	85 34 44		MOV	DATA_IN,34H
150:	0116	31 36		ACALL	WR_TEA6360
151:	0118	75 43 02		MOV	ADDR_IN,#02H
152:	011B	85 35 44		MOV	DATA_IN,35H
153:	011E	31 36		ACALL	WR_TEA6360
154:	0120	75 43 03		MOV	ADDR_IN,#03H
155:	0123	85 36 44		MOV	DATA_IN,36H
156:	0126	31 36		ACALL	WR_TEA6360
157:	0128	75 43 04		MOV	ADDR_IN,#04H
158:	012B	85 37 44		MOV	DATA_IN,37H
159:	012E	31 36		ACALL	WR_TEA6360
160:	0130	74 45		MOV	A,#"E"
161:	0132	11 8F		ACALL	WR_CHAR
162:	0134	01 47		AJMP	MAIN
163:	0136	75 40 86	WR_TEA6360:	MOV	I2C_ADDR,#TEA6360_ID
164:	0139	31 8E		ACALL	I2C_START
165:	013B	31 6B		ACALL	I2C_SLAVE
166:	013D	85 43 41		MOV	I2C_DATA,ADDR_IN
167:	0140	31 4A		ACALL	I2C_DATA_WR
168:	0142	85 44 41		MOV	I2C_DATA,DATA_IN
169:	0145	31 4A		ACALL	I2C_DATA_WR
170:	0147	31 A0		ACALL	I2C_STOP
171:	0149	22		RET	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Line I	Addr	Code	Source		
172:	014A	C0 E0	I2C_DATA_WR:	PUSH	ACC
173:	014C	D2 78		SETB	I2C_ACK
174:	014E	E5 41		MOV	A,I2C_DATA
175:	0150	7D 08		MOV	R5,#008
176:	0152	33	I2C_DATA_WR_1:	RLC	A
177:	0153	92 A5		MOV	SDA,C
178:	0155	31 B0		ACALL	I2C_CLK
179:	0157	DD F9		DJNZ	R5,I2C_DATA_WR_1
180:	0159	D2 A5		SETB	SDA
181:	015B	31 CB		ACALL	I2C_DELAY
182:	015D	D2 A4		SETB	SCL
183:	015F	31 CB		ACALL	I2C_DELAY
184:	0161	20 A5 02		JB	SDA,I2C_DATA_WR_2
185:	0164	C2 78		CLR	I2C_ACK
186:	0166	C2 A4	I2C_DATA_WR_2:	CLR	SCL
187:	0168	D0 E0		POP	ACC
188:	016A	22		RET	
189:	016B	C0 E0	I2C_SLAVE:	PUSH	ACC
190:	016D	D2 78		SETB	I2C_ACK
191:	016F	E5 40		MOV	A,I2C_ADDR
192:	0171	31 8E		ACALL	I2C_START
193:	0173	7D 08		MOV	R5,#008
194:	0175	33	I2C_SLAVE_1:	RLC	A
195:	0176	92 A5		MOV	SDA,C
196:	0178	31 B0		ACALL	I2C_CLK
197:	017A	DD F9		DJNZ	R5,I2C_SLAVE_1
198:	017C	D2 A5		SETB	SDA
199:	017E	31 CB		ACALL	I2C_DELAY
200:	0180	D2 A4		SETB	SCL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Line I	Addr	Code	Source		
201:	0182	31 CB		ACALL	I2C_DELAY
202:	0184	20 A5 02		JB	SDA,I2C_SLAVE_2
203:	0187	C2 78		CLR	I2C_ACK
204:	0189	C2 A4	I2C_SLAVE_2:	CLR	SCL
205:	018B	D0 E0		POP	ACC
206:	018D	22		RET	
207:	018E	30 A4 02	I2C_START:	JNB	SCL,I2C_START_1
208:	0191	C2 A4		CLR	SCL
209:	0193	D2 A5	I2C_START_1:	SETB	SDA
210:	0195	D2 A4		SETB	SCL
211:	0197	31 CB		ACALL	I2C_DELAY
212:	0199	C2 A5		CLR	SDA
213:	019B	31 CB		ACALL	I2C_DELAY
214:	019D	C2 A4		CLR	SCL
215:	019F	22		RET	
216:	01A0	30 A4 02	I2C_STOP:	JNB	SCL,I2C_STOP_1
217:	01A3	C2 A4		CLR	SCL
218:	01A5	C2 A5	I2C_STOP_1:	CLR	SDA
219:	01A7	31 CB		ACALL	I2C_DELAY
220:	01A9	D2 A4		SETB	SCL
221:	01AB	31 CB		ACALL	I2C_DELAY
222:	01AD	D2 A5		SETB	SDA
223:	01AF	22		RET	
224:	01B0	31 CB	I2C_CLK:	ACALL	I2C_DELAY
225:	01B2	D2 A4		SETB	SCL
226:	01B4	31 CB		ACALL	I2C_DELAY
227:	01B6	C2 A4		CLR	SCL
228:	01B8	22		RET	
229:	01B9	C2 A5	I2C_ACK_BIT:	CLR	SDA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Line I	Addr	Code	Source		
230:	01BB	31 CB		ACALL	I2C_DELAY
231:	01BD	31 B0		ACALL	I2C_CLK
232:	01BF	D2 A5		SETB	SDA
233:	01C1	22		RET	
234:	01C2	D2 A5	I2C_NACK_BIT:	SETB	SDA
235:	01C4	31 CB		ACALL	I2C_DELAY
236:	01C6	31 B0		ACALL	I2C_CLK
237:	01C8	D2 A4		SETB	SCL
238:	01CA	22		RET	
239:	01CB	7E 07	I2C_DELAY:	MOV	R6,#07H
240:	01CD	00	I2C_DELAY_1:	NOP	
241:	01CE	00		NOP	
242:	01CF	DE FC		DJNZ	R6,I2C_DELAY_1
243:	01D1	22		RET	
244:	01D2	00 11 22 44	TABLE1:	DB	00H,11H,22H,44H,88H
	01D6	88			
245:				END	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรมภาษาวิซวลเบสิก

Dim b1 As Variant

Dim b2 As Variant

Dim b3 As Variant

Dim b4 As Variant

Dim b5 As Variant

Dim msg As String

Private Sub Command1\_Click()

MSComm1.Output = ">M10#"

If VScroll1.Enabled = True Then

VScroll1.Enabled = False

ElseIf VScroll1.Enabled = False Then

VScroll1.Enabled = True

End If

End Sub

Private Sub Form\_Load()

Form1.Caption = " Active Crossover Network & Equalizer Project"

Frame1.Caption = ""

Frame2.Caption = " Volume"

Frame3.Caption = " Equalizer"

Frame4.Caption = " Crossover"

Frame5.Caption = " Delay"

Frame6.Caption = " Massage"

Label18.Caption = "0 dB"

Label19.Caption = "0 dB"

Label20.Caption = "0 dB"

Label22.Caption = "0 dB"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Label23.Caption = "0 dB"
Label3.Caption = " 0 dB"
Label14.Caption = (16 - VScroll7.value) * 200 & " Hz"
Label17.Caption = (4 - VScroll8.value) & " uS"
Label21.Caption = "Signal Processing Lab, KMITL"
MSComm1.CommPort = 2
MSComm1.Settings = "9600,N,8,1"
MSComm1.PortOpen = True

```

```
End Sub
```

```
Private Sub Timer1_Timer()
```

```
  If MSComm1.InBufferCount > 0 Then
```

```
    Label21.Caption = MSComm1.Input
```

```
    MSComm1.InBufferCount = 0
```

```
  End If
```

```
  Select Case Label21.Caption
```

```
    Case "V": Label21.Caption = "Volume Acknowledge"
```

```
    Case "M": Label21.Caption = "Mute Acknowledge"
```

```
    Case "C": Label21.Caption = "Crossover Network Acknowledge"
```

```
    Case "D": Label21.Caption = "Delay Acknowledge"
```

```
    Case "E": Label21.Caption = "Equalizer Acknowledge"
```

```
    Case "N": Label21.Caption = "Error"
```

```
  End Select
```

```
End Sub
```

```
Private Sub VScroll1_Change()
```

```
  Dim v_value As String
```

```
  v_value = 256 - VScroll1.value
```

```
  Label3.Caption = 31.5 - (0.5 * (255 - ((v_value)))) & " dB"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MSComm1.Output = ">V1" & Chr(v_value) & "#"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub VScroll2_Change()
```

```
Label18.Caption = VScroll2.value * (-2.4) & " dB"
```

```
b1 = eq_change(VScroll2.value)
```

```
msg = ">E5" & Chr(b4) & Chr(b5) & Chr(b3) & Chr(b2) & Chr(b1) & "#"
```

```
MSComm1.Output = msg
```

```
End Sub
```

```
Private Sub VScroll3_Change()
```

```
Label19.Caption = VScroll3.value * (-2.4) & " dB"
```

```
b2 = eq_change(VScroll3.value)
```

```
msg = ">E5" & Chr(b4) & Chr(b5) & Chr(b3) & Chr(b2) & Chr(b1) & "#"
```

```
MSComm1.Output = msg
```

```
End Sub
```

```
Private Sub VScroll4_Change()
```

```
Label20.Caption = VScroll4.value * (-2.4) & " dB"
```

```
b3 = eq_change(VScroll4.value)
```

```
msg = ">E5" & Chr(b4) & Chr(b5) & Chr(b3) & Chr(b2) & Chr(b1) & "#"
```

```
MSComm1.Output = msg
```

```
End Sub
```

```
Private Sub VScroll5_Change()
```

```
Label22.Caption = VScroll5.value * (-2.4) & " dB"
```

```
b4 = eq_change(VScroll5.value)
```

```
msg = ">E5" & Chr(b4) & Chr(b5) & Chr(b3) & Chr(b2) & Chr(b1) & "#"
```

```
MSComm1.Output = msg
```

```
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Private Sub VScroll6_Change()
    Label23.Caption = VScroll6.value * (-2.4) & " dB"
    b5 = eq_change(VScroll6.value)
    msg = ">E5" & Chr(b4) & Chr(b5) & Chr(b3) & Chr(b2) & Chr(b1) & "#"
    MSComm1.Output = msg
End Sub

```

```

Private Sub VScroll7_Change()
    Dim c_value As String
    c_value = 16 - VScroll7.value
    Label14.Caption = c_value * 200 & " Hz"
    MSComm1.Output = ">C1" & Chr(c_value$) & "#"
End Sub

```

```

Private Sub VScroll8_Change()
    Dim d_value As String
    d_value = 4 - VScroll8.value
    Label17.Caption = d_value * 100 & " uS"
    MSComm1.Output = ">D1" & Chr(d_value$ + 1) & "#"
End Sub

```

```

Private Function eq_change(value As Integer)
    If value <= 0 Then
        eq_change = value * (-10)
    Else
        eq_change = value
    End If
End Function

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Stereo Audio Volume Control

### FEATURES

- **DIGITALLY-CONTROLLED ANALOG VOLUME CONTROL**  
Two Independent Audio Channels  
Serial Control Interface  
Zero Crossing Detection  
Mute Function
- **WIDE GAIN AND ATTENUATION RANGE**  
+31.5dB to -95.5dB with 0.5dB Steps
- **LOW NOISE AND DISTORTION**  
120dB Dynamic Range  
0.0004% THD+N at 1kHz (U-Grade)  
0.0002% THD+N at 1kHz (A-Grade)
- **NOISE-FREE LEVEL TRANSITIONS**
- **LOW INTERCHANNEL CROSSTALK:**  
-130dBFS
- **POWER SUPPLIES:** ±5V Analog, +5V Digital
- **AVAILABLE IN DIP-16 AND SOL-16 PACKAGES**
- **PIN AND SOFTWARE COMPATIBLE WITH THE CRYSTAL CS3310**

### APPLICATIONS

- AUDIO AMPLIFIERS
- MIXING CONSOLES
- MULTI-TRACK RECORDERS
- BROADCAST STUDIO EQUIPMENT
- MUSICAL INSTRUMENTS
- EFFECTS PROCESSORS
- A/V RECEIVERS
- CAR AUDIO SYSTEMS

### DESCRIPTION

The PGA2311 is a high-performance, stereo audio volume control designed for professional and high-end consumer audio systems. Using high performance operational amplifier stages internal to the PGA2311 yields low noise and distortion, while providing the capability to drive 600Ω loads directly without buffering. The 3-wire serial control interface allows for connection to a wide variety of host controllers, in addition to support for daisy-chaining of multiple PGA2311 devices.



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.

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

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Supply Voltage, $V_{A+}$	+5.5V
$V_{A-}$	-5.5V
$V_{D+}$	+5.5V
$V_{A+}$ to $V_{D+}$	< ±0.3V
Analog Input Voltage	0V to $V_{A+}$ , $V_{A-}$
Digital Input Voltage	-0.3V to $V_{D+}$
Operating Temperature Range	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Junction Temperature	+150°C
Lead Temperature (soldering, 10s)	+300°C
Package Temperature (IR reflow, 10s)	+235°C



**ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY**

This integrated circuit can be damaged by ESD. Texas Instruments recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

**PACKAGE/ORDERING INFORMATION**

PRODUCT	PACKAGE-LEAD	PACKAGE DESIGNATOR(1)	OPERATING TEMPERATURE RANGE	PACKAGE MARKING	ORDERING NUMBER	TRANSPORT MEDIA, QUANTITY
PGA2311 (U-Grade)	DIP-16	N	-40°C to +85°C	PGA2311P	PGA2311P	Rails
	SOL-16	DW		PGA2311U	PGA2311U	Rails
				PGA2311U	PGA2311U/1K	Tape and Reel, 1000
PGA2311 (A-Grade)	DIP-16	N	-40°C to +85°C	PGA2311PA	PGA2311PA	Rails
	SOL-16	DW		PGA2311UA	PGA2311UA	Rails
				PGA2311UA	PGA2311UA/1K	Tape and Reel, 1000

NOTES: (1) For the most current specifications and package information, refer to our web site at [www.ti.com](http://www.ti.com).

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_{A+} = +5\text{V}$ ,  $V_{A-} = -5\text{V}$ ,  $V_{D+} = +5\text{V}$ ,  $R_L = 100\text{k}\Omega$ ,  $C_L = 20\text{pF}$ . BW measure = 10Hz to 20kHz, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	PGA2311P, U (U-Grade)			PGA2311PA, UA (A-Grade)			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
<b>DC CHARACTERISTICS</b>								
Step Size	Gain Setting = 31.5dB		0.5			0.5		dB
Gain Error			±0.05			±0.05		dB
Gain Matching				±0.05			±0.05	dB
Input Resistance				10			10	kΩ
Input Capacitance			3			3	pF	
<b>AC CHARACTERISTICS</b>								
THD+N	$V_{IN} = 2\text{Vrms}$ , $f = 1\text{kHz}$		0.0004	0.001		0.0002	0.0004	%
Dynamic Range	$V_{IN} = \text{AGND}$ , Gain = 0dB	116	120		116	120		dB
Voltage Range, Input and Output		$(V_{A-}) + 1.25$		$(V_{A+}) - 1.25$	$(V_{A-}) + 1.25$		$(V_{A+}) - 1.25$	V
Output Noise	$V_{IN} = \text{AGND}$ , Gain = 0dB		2.5	4		2.5	4	μVrms
Interchannel Crosstalk	$f = 1\text{kHz}$		-130			-130		dBFS
<b>OUTPUT BUFFER</b>								
Offset Voltage	$V_{IN} = \text{AGND}$ , Gain = 0dB		0.25	0.5		0.25	0.5	mV
Load Capacitance Stability			100			100		pF
Short-Circuit Current			50			50		mA
Unity-Gain Bandwidth, Small Signal			10			10		MHz

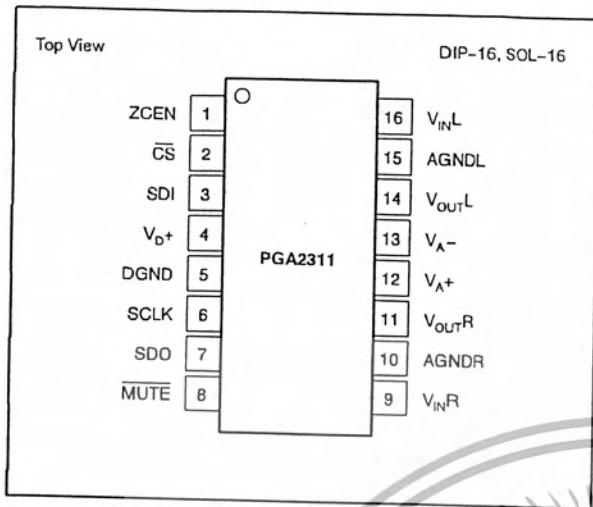
## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Cont.)

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_{A+} = +5\text{V}$ ,  $V_{A-} = -5\text{V}$ ,  $V_{D+} = +5\text{V}$ ,  $R_L = 100\text{k}\Omega$ ,  $C_L = 20\text{pF}$ , BW measure = 10Hz to 20kHz, unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	PGA2311P, U (U-Grade)			PGA2311PA, UA (A-Grade)			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
<b>DIGITAL CHARACTERISTICS</b>								
High-Level Input Voltage, $V_{IH}$		+2.0		$V_{D+}$	+2.0		$V_{D+}$	V
Low-Level Input Voltage, $V_{IL}$		-0.3		0.8	-0.3		0.8	V
High-Level Output Voltage, $V_{OH}$	$I_O = 200\mu\text{A}$	$(V_{A+}) - 1.0$			$(V_{D+}) - 1.0$			V
Low-Level Output Voltage, $V_{OL}$	$I_O = -3.2\text{mA}$			0.4			0.4	V
Input Leakage Current			1	10		1	10	$\mu\text{A}$
<b>SWITCHING CHARACTERISTICS</b>								
Serial Clock (SCLK) Frequency	$f_{SCLK}$	0		6.25	0		6.25	MHz
Serial Clock (SCLK) Pulse Width LOW	$t_{PH}$	80			80			ns
Serial Clock (SCLK) Pulse Width HIGH	$t_{PL}$	80			80			ns
MUTE Pulse Width LOW	$t_{MI}$	2.0			2.0			ms
<b>Input Timing</b>								
SDI Setup Time	$t_{SDS}$	20			20			ns
SDI Hold Time	$t_{SDH}$	20			20			ns
$\overline{\text{CS}}$ Falling to SCLK Rising	$t_{CSCR}$	90			90			ns
SCLK Falling to $\overline{\text{CS}}$ Rising	$t_{CFCS}$	35			35			ns
<b>Output Timing</b>								
$\overline{\text{CS}}$ LOW to SDO Active	$t_{CSO}$			35			35	ns
SCLK Falling to SDO Data Valid	$t_{CFDO}$			60			60	ns
$\overline{\text{CS}}$ HIGH to SDO High Impedance	$t_{CSZ}$			100			100	ns
<b>POWER SUPPLY</b>								
Operating Voltage								
$V_{A+}$		+4.75	+5	+5.25	+4.75	+5	+5.25	V
$V_{A-}$		-4.75	-5	-5.25	-4.75	-5	-5.25	V
$V_{D+}$		+4.75	+5	+5.25	+4.75	+5	+5.25	V
Quiescent Current								
$I_{A+}$	$V_{A+} = +5\text{V}$		8	10		8	10	mA
$I_{A-}$	$V_{A-} = -5\text{V}$		10	12		10	12	mA
$I_{D+}$	$V_{D+} = +5\text{V}$		0.5	1.0		0.5	1.0	mA
Power-Supply Rejection Ratio PSRR (250Hz)			100			100		dB
<b>TEMPERATURE RANGE</b>								
Operating Range								
Storage Range		-10		+85	-40		+85	$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, $J_C$		-65		+150	-65		+150	$^\circ\text{C}$
DIP-16			60			60		$^\circ\text{C/W}$
SOL-16			50			50		$^\circ\text{C/W}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PIN CONFIGURATION**



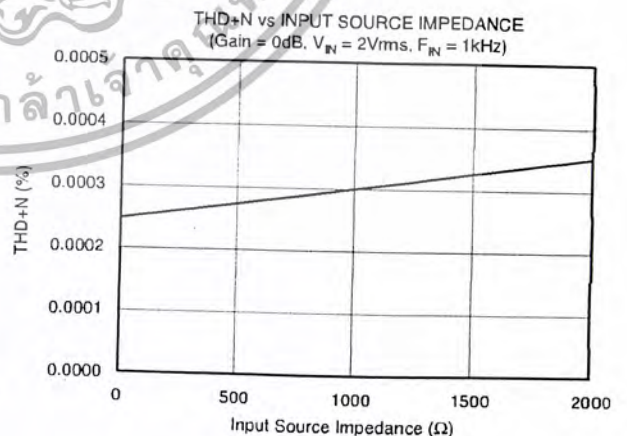
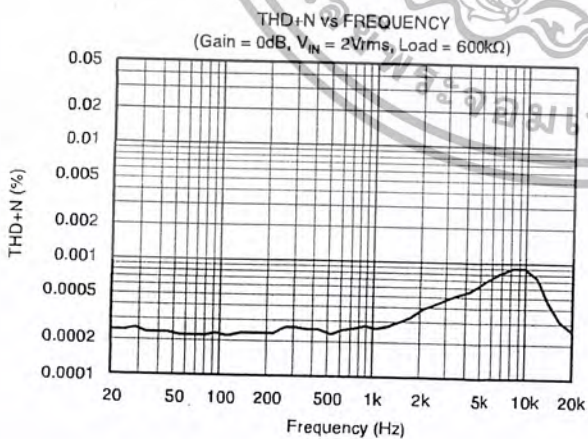
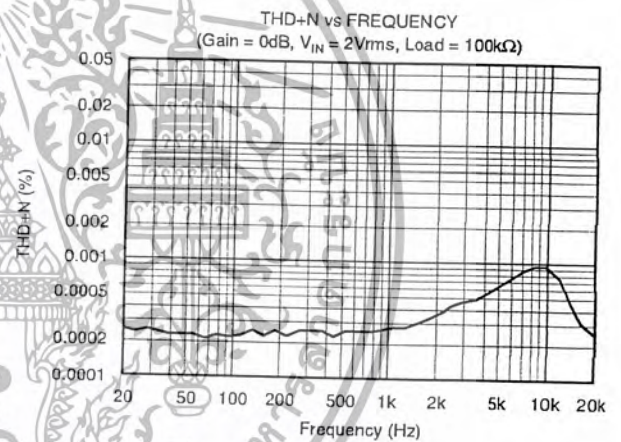
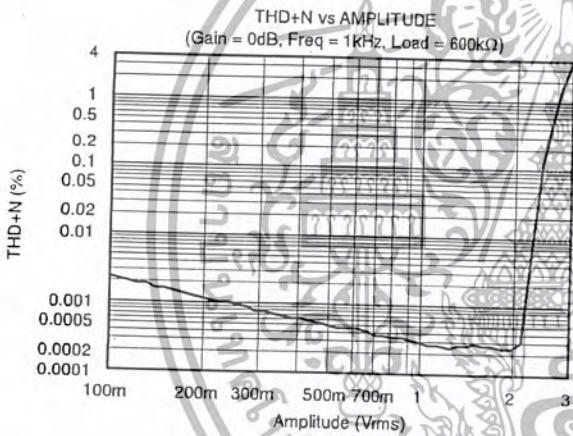
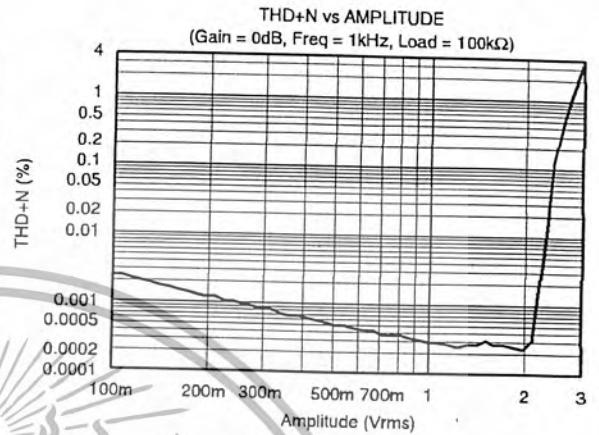
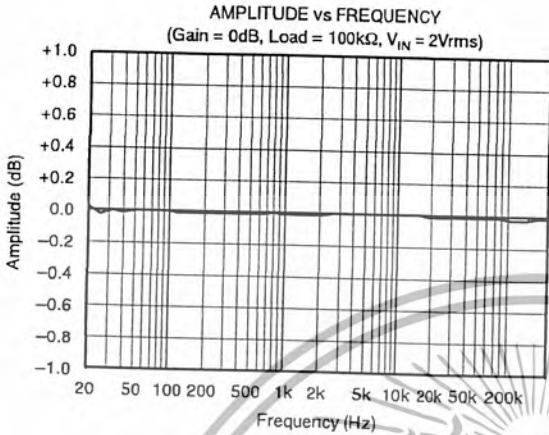
**PIN ASSIGNMENTS**

PIN	NAME	FUNCTION
1	ZCEN	Zero Crossing Enable Input (Active HIGH)
2	$\overline{CS}$	Chip Select Input (Active LOW)
3	SDI	Serial Data input
4	$V_{D+}$	Digital Power Supply, +5V
5	DGND	Digital Ground
6	SCLK	Serial Clock Input
7	SDO	Serial Data Output
8	MUTE	Mute Control Input (Active LOW)
9	$V_{INR}$	Analog Input, Right Channel
10	AGNDR	Analog Ground, Right Channel
11	$V_{OUTR}$	Analog Output, Right Channel
12	$V_{A+}$	Analog Power Supply, +5V
13	$V_{A-}$	Analog Power Supply, -5V
14	$V_{OUTL}$	Analog Output, Left Channel
15	AGNDL	Analog Ground, Left Channel
16	$V_{INL}$	Analog Input, Left Channel



# TYPICAL CHARACTERISTICS

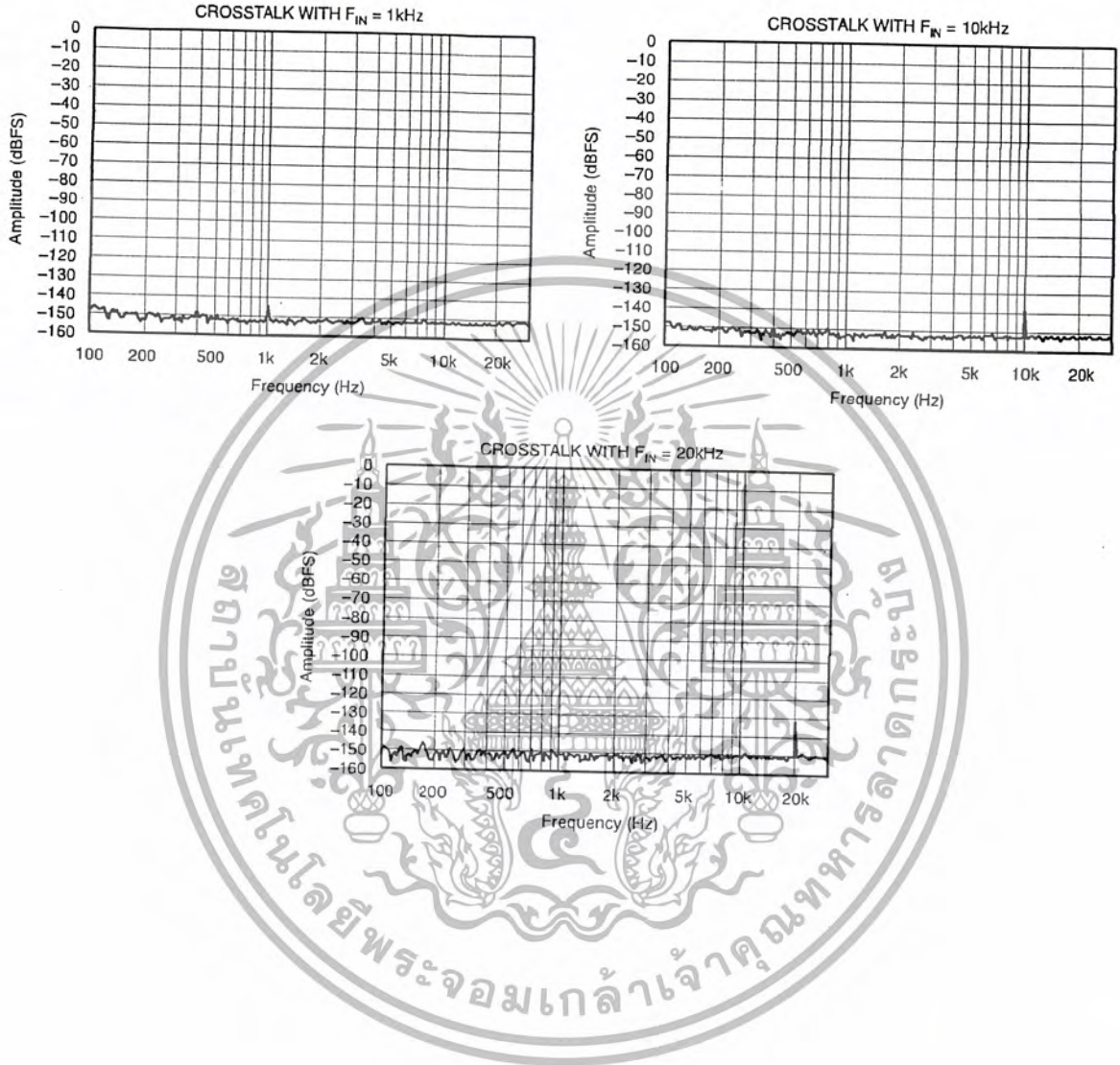
At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_{A+} = +5\text{V}$ ,  $V_{A-} = -5\text{V}$ ,  $V_{D+} = +5\text{V}$ ,  $R_L = 100\text{k}\Omega$ ,  $C_L = 20\text{pF}$ , BW measure = 10Hz to 20kHz, unless otherwise noted.  
 (NOTE: All plots taken with PGA2311 A-Grade.)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## TYPICAL CHARACTERISTICS (Cont.)

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_{A+} = +5\text{V}$ ,  $V_{A-} = -5\text{V}$ ,  $V_{D+} = +5\text{V}$ ,  $R_L = 100\text{k}\Omega$ ,  $C_L = 20\text{pF}$ , BW measure = 10Hz to 20kHz, unless otherwise noted.  
 (NOTE: All plots taken with PGA2311 A-Grade.)



# DATA SHEET



## TEA6360 5-band stereo equalizer circuit

Preliminary specification  
File under Integrated Circuits, IC01

May 1991

Philips  
Semiconductors



PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางธุรกิจ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5-band stereo equalizer circuit

TEA6360

## FEATURES

- Monolithic integrated 5-band stereo equalizer circuit
- Five filters for each channel
- Centre frequency, bandwidth and maximum boost/cut defined by external components
- Choice for variable or constant Q-factor via I<sup>2</sup>C software
- Defeat mode
- All stages are DC-coupled
- I<sup>2</sup>C-bus control for all functions
- Two different modul addresses programmable.



## GENERAL DESCRIPTION

The 5-band stereo equalizer is an I<sup>2</sup>C-bus controlled tone processor for application in car radio sets, TV sets and music centres. It offers the possibility of sound control as well as equalization of sound pressure behaviour of different rooms or loudspeakers, especially in cars.

## QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
V <sub>p</sub>	supply voltage (pin 14)	7	8.5	13.2	V
I <sub>p</sub>	supply current	–	24.5	–	mA
V <sub>1,32</sub>	input voltage range	–	2.1 to V <sub>P-1</sub>	–	V
V <sub>o</sub>	maximum output signal level (RMS value, pins 13 and 20)	–	1.1	–	V
G <sub>v</sub>	total signal gain, all filters linear	–0.5	–	0	dB
B	–1 dB frequency response (linear)	0 to 20	–	–	kHz
T <sub>amb</sub>	operating ambient temperature	–40	–	85	°C

## ORDERING INFORMATION

EXTENDED TYPE NUMBER	PACKAGE			
	PINS	PIN POSITION	MATERIAL	CODE
TEA6360(1)	32	shrink DIL	plastic	SOT232
TEA6360/T(2)	32	mini-pack	plastic	SOT287

## Notes

1. SOT232; SOT232-1; 1996 August 08.
2. SOT287; SOT287-1; 1996 August 08.

5-band stereo equalizer circuit

TEA6360

PINNING

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
V <sub>IL</sub>	1	audio frequency input LEFT
F1LA	2	connection A for filter 1 LEFT (f = 2.95 kHz)
n.c.	3	not connected
F1LB	4	connection B for filter 1 LEFT (f = 2.95 kHz)
F2LA	5	connection A for filter 2 LEFT (f = 12 kHz)
F2LB	6	connection B for filter 2 LEFT (f = 12 kHz)
F3LA	7	connection A for filter 3 LEFT (f = 790 Hz)
F3LB	8	connection B for filter 3 LEFT (f = 790 Hz)
F4LA	9	connection A for filter 4 LEFT (f = 205 Hz)
F4LB	10	connection B for filter 4 LEFT (f = 205 Hz)
F5LA	11	connection A for filter 5 LEFT (f = 59 Hz)
F5LB	12	connection B for filter 5 LEFT (f = 59 Hz)
V <sub>oL</sub>	13	audio frequency output LEFT
V <sub>P</sub>	14	supply voltage (+8.5 V)
SDA	15	I <sup>2</sup> C-bus data line
SCL	16	I <sup>2</sup> C-bus clock line
GND2	17	ground 2 (I <sup>2</sup> C-bus ground)
MAD	18	modul address
GND1	19	ground 1 (analog ground)
V <sub>oR</sub>	20	audio frequency output RIGHT
F5RB	21	connection B for filter 5 RIGHT (f = 59 Hz)
F5RA	22	connection A for filter 5 RIGHT (f = 59 Hz)
F4RB	23	connection B for filter 4 RIGHT (f = 205 Hz)
F4RA	24	connection A for filter 4 RIGHT (f = 205 Hz)
F3RB	25	connection B for filter 3 RIGHT (f = 790 Hz)
F3RA	26	connection A for filter 3 RIGHT (f = 790 Hz)
F2RB	27	connection B for filter 2 RIGHT (f = 12 kHz)
F2RA	28	connection A for filter 2 RIGHT (f = 12 kHz)
F1RB	29	connection B for filter 1 RIGHT (f = 2.95 kHz)
n.c.	30	not connected
F1RA	31	connection A for filter 1 RIGHT (f = 2.95 kHz)
V <sub>IR</sub>	32	audio frequency input RIGHT

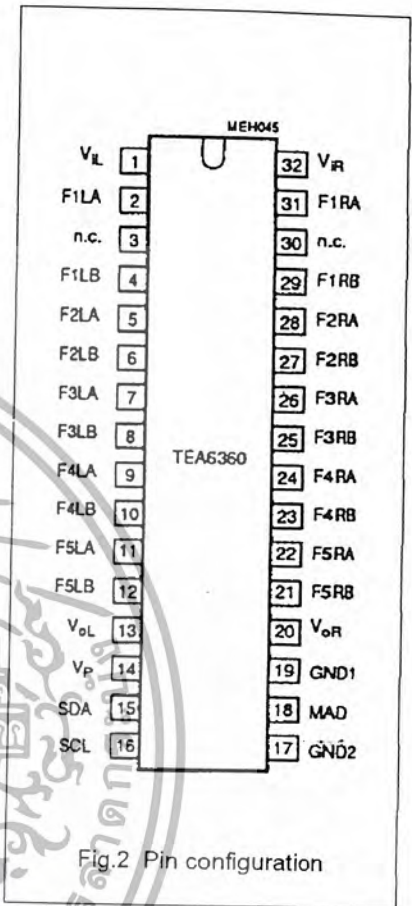


Fig.2 Pin configuration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5-band stereo equalizer circuit

TEA6360

## FUNCTIONAL DESCRIPTION

The TEA6360 is performed with two stereo channels (RIGHT and LEFT), each one consists of five equal filter amplifiers (Fig.1).

The centre frequencies for the different filters as well as the bandwidth and the control ranges for boost and cut depend on the external components. Each filter can have different external components but for one definite pair of filters the centre frequency as well as the control range for boost and cut are the same. That means, they have symmetrical curves for boost and cut.

The control range (maximum value in dB) is divided into five steps and one extra step for the linear position.

At maximum gain of 12 dB the typical step resolution is 2.4 dB. The internal resistor chain of each filter amplifier is optimized for 12 dB maximum gain. Therefore the typical gain factors for 15 dB application are as follows:

step 1	=	2.7	dB
step 2	=	5.5	dB
step 3	=	8.4	dB
step 4	=	11.6	dB
step 5	=	15.0	dB

The control of the different filters is obtained by selecting the appropriate subaddress byte (Table 1).

## LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134).  
Ground pins 19, 28 and 43 connected together.

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	MAX.	UNIT
$V_P$	supply voltage (pin 14)	0	13.2	V
$V_n$	voltage on all pins, grounds excluded	0	$V_P$	V
$P_{tot}$	total power dissipation	0	500	mW
$T_{stg}$	storage temperature range	-40	150	°C
	storage temperature range	-40	150	°C
$T_{amb}$	operating ambient temperature range	-40	85	°C
$V_{ESD}$	electrostatic handling <sup>(1)</sup> for all pins		±500	V

## Note

- Equivalent to discharging a 200 pF capacitor through a 0  $\Omega$  series resistor.

The position of the filter in the left channel and that in the right channel is always the same (stereo).

The position of the boost part and the cut part is independently controllable (Tables 2 and 3).

The quality factor of the filter has its maximum in the maximum position (steps 5), if boost (cut on step 0) or cut (boost on step 0) is used. The quality factor decreases also with the step number (variable quality factor).

In this mode the control pattern are according to Table 4.

A different control is necessary to achieve a constant quality factor over the whole control range. For boost with a constant quality factor over the boost range position +5 is selected and boost control is then performed using cut. This control technique is applied to the cut range with position -5 selected and the boost is varied (Table 5).

The cut part has to follow the boost part in each filter for economic reasons. So the signal is first amplified and then attenuated. This has to be taken into account for the internal level diagram in case of constant quality factor.

This may result in a mode between constant Q and non-constant Q mode; for example for the position +2 it is not necessary to amplify by step +5 and then attenuate by -3 step. The combination of step +4 and step -2 to reach position +2 is a good result (quasi constant quality factor, Table 6).

## 5-band stereo equalizer circuit

TEA6360

## CHARACTERISTICS

$V_P = 8.5\text{ V}$ ;  $f_i = 1\text{ kHz}$  ( $R_S = 600\ \Omega$ ),  $R_L = 10\text{ k}\Omega$ ,  $T_{\text{amb}} = 25\text{ }^\circ\text{C}$  and measurements taken in Fig.1, unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$V_P$	supply voltage. range (pin 14)		7	8.5	13.2	V
$I_P$	supply current (pin 14)	$V_P = 8.5\text{ V}$ $V_P = 12\text{ V}$	–	25.5 26.0	–	mA mA
<b>Analog part</b>						
$R_i$	input resistor (pins 1 and 32)		1	–	–	M $\Omega$
$V_{1,32}$	input voltage range at any stage		2.1 to $V_P - 1$	–	–	V
$V_{13,20}$	output voltage range at any stage		1.0 to $V_P - 1$	–	–	V
$V_o$	output signal level (RMS value, pins 13 and 20)	control range 0 to +5, variable Q-factor or quasi constant Q-factor	1.1	–	–	V
$R_o$	output resistor (pins 13 and 20)		–	100	–	$\Omega$
$R_L$	admissible load resistance at outputs (pins 13 and 20)		2	–	–	k $\Omega$
$C_L$	admissible load capacitance at outputs (pins 13 and 20)		–	–	2.5	nF
$G_v$	total signal gain ( $G = V_o / V_i$ )	all filters linear	–0.5	–	0	dB
$B$	frequency response	all filters linear, roll off frequency for –1 dB (DC-coupled)	0 20	– –	– –	Hz kHz
$\alpha_{Cr}$	crosstalk attenuation between channels	$f = 250$ to $10\,000\text{ Hz}$	60	75	–	dB
	all filters linear		55	–	–	dB
	all filters maximum boost		55	–	–	dB
	all filters maximum cut		–	–	–	dB
THD	distortion (pins 13 and 20)	$f = 20$ to $12\,500\text{ Hz}$ $V_P = 8.5$ to $12\text{ V}$				
	$V_o(\text{rms}) = 1.1\text{ V}$	all filters linear	–	0.2	0.5	%
	$V_o(\text{rms}) = 0.1\text{ V}$	all filters linear	–	0.05	0.2	%
	$V_o(\text{rms}) = 1.1\text{ V}$	all filters max. boost	–	0.5	1.0	%
	$V_o(\text{rms}) = 0.1\text{ V}$	all filters max. boost	–	0.1	0.3	%
	$V_o(\text{rms}) = 0.1\text{ V}$	all filters maximum cut	–	0.2	0.5	%
	$V_o(\text{rms}) = 1\text{ V}$	all filters max. boost $f = 1\text{ kHz}$	–	–	0.35	%

## 5-band stereo equalizer circuit

TEA6360

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$V_N$	weighted output noise voltage (RMS value)	CCIR 468-3, maximum gain/filter of 12 dB				
	defeat mode		–	8	16	$\mu\text{V}$
	all filters linear		–	23	46	$\mu\text{V}$
	all filters maximum boost		–	70	140	$\mu\text{V}$
	all filters maximum cut		–	23	46	$\mu\text{V}$
$\alpha_{Cr}$	crosstalk between bus inputs and signal outputs, $20 \log (V_{bus(p-p)}/V_o \text{ rms})$	all filters linear	–	120	–	dB
RR	ripple rejection at $V_{ripple \text{ rms}} < 200 \text{ mV}$	all filters linear	–	70	–	dB
	for $f = 100 \text{ Hz}$		–	60	–	dB
	for $f = 40 \text{ to } 12500 \text{ Hz}$		–	–	–	dB
<b>Internal filters of analog part</b>						
Q	Q-factor dependent on maximum gain					
	maximum gain 10 dB		0.1	–	1.2	
	maximum gain 12 dB		0.1	–	1.4	
	maximum gain 15 dB		0.1	–	1.8	
$R_{tot}$	total resistor of different filter sections		29.6	37.0	44.4	k $\Omega$
$\Delta R_{tot}$	tolerance between any filter section		–	–	$\pm 4$	%
<b>Internal controls of analog part via I<sup>2</sup>C-bus</b>						
Step	number of steps for boost or for cut		–	5	–	
	position for linear		–	1	–	
	step resolution	maximum gain 12 dB	–	2.4	–	dB
	step set error		–	0.5	–	dB
$\Delta V_o$	DC offset between any step or neighbouring step or defeat		–	–	$\pm 10$	mV
<b>I<sup>2</sup>C-bus control SDA and SCL (pins 15 and 16)</b>						
$V_{IH}$	input level HIGH		3	–	$V_P$	V
$V_{IL}$	input level LOW		0	–	1.5	V
$I_I$	input current		–	–	$\pm 10$	$\mu\text{A}$
$V_{ACK}$	acknowledge voltage on SDA	$I_{15} = 3 \text{ mA at LOW}$	–	–	0.4	V
<b>Module address bit (pin 18)</b>						
$V_{IH}$	input level HIGH for address 1000 0110		3	–	$V_P$	V
$V_{IL}$	input level LOW for address 1000 0100		0	–	1.5	V
$I_I$	input current		–	–	$\pm 10$	$\mu\text{A}$
<b>Power on reset: When reset is active the DEF-bit (defeat) is set and the I<sup>2</sup>C-bus receiver is in reset position.</b>						
RESET	start of reset	increasing $V_P$	–	–	2.5	V
		decreasing $V_P$	4.2	5.0	5.8	V
	end of reset	increasing $V_P$	5.2	6.0	6.8	V

# 5-band stereo equalizer circuit

# TEA6360

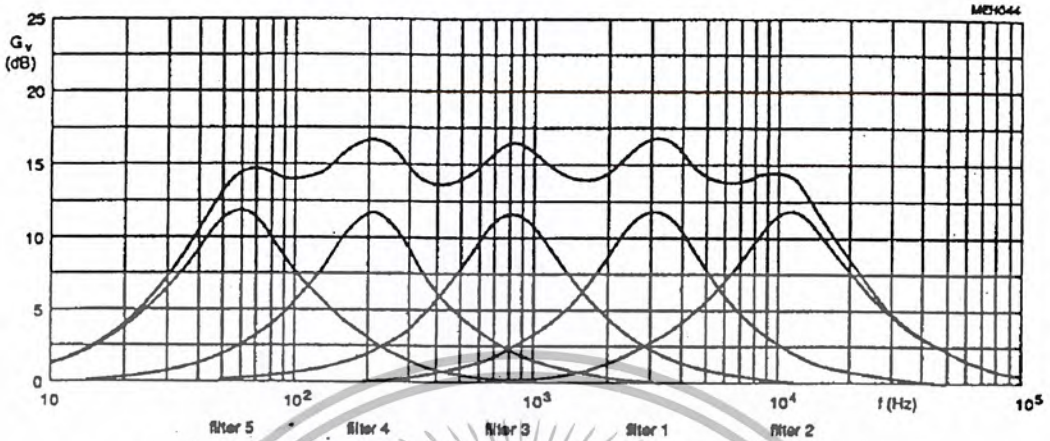


Fig.3 Frequency response for maximum boost of +12 dB according to Fig.1. For maximum cut the curves are symmetrical to negative gain values.

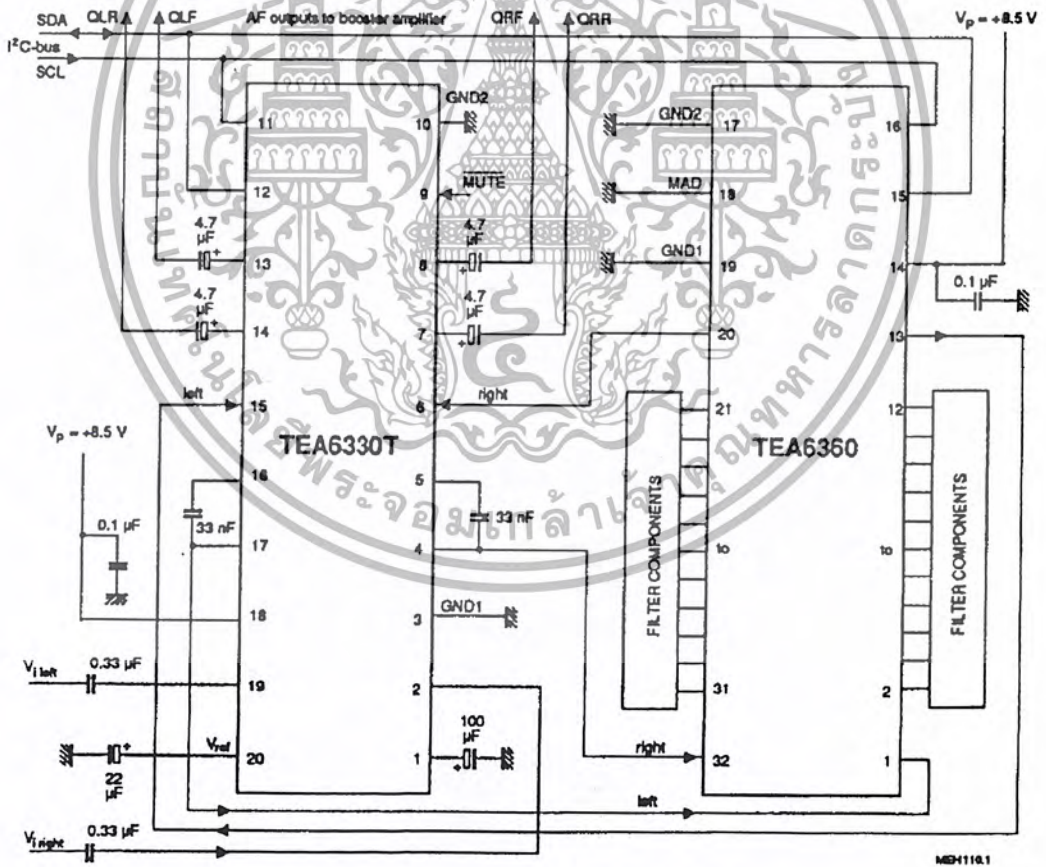


Fig.4 Application for car radio ( $V_p < 8.5 V$ ).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้