สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# ดิจิตอล อีควอไลเซอร์

# DIGITAL EQUALIZER

โดย

นายทวี ป๊อกฝ้าย

นายธีรพันธ์ บูรณ์จินดา

วศ
ท165ด
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72292
วัน,เดือน,ปี 13 มิ.ย. 2550

b 11766723
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ดิจิตอล อีควอไลเซอร์

# DIGITAL EQUALIZER


โดย

นายทวี ป๊อกฝ้าย 47015246

นายธีรพันธ์ บูรณ์จินดา 47015875

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ดร. มนัส สังวรศิลป์

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2549

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ดิจิตอล อีควอไลเซอร์ (DIGITAL EQUALIZER)

ผู้จัดทำ 1. นายทวี ป๊อกฝ้าย 47015246

2. นายธีรพันธ์ บูรณ์จินดา 47015875

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. ดร. มนัส สังวรศิลป์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ดิจิตอล อีควอไลเซอร์

นาย ทวี ป๊อกฝ้าย รหัส 47015246
นาย ธีรพันธ์ บูรณ์จินดา รหัส 47015875
รศ. ดร. มนัส สังวรศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2549

**บทคัดย่อ**

รายงานฉบับนี้ อธิบายหลักการออกแบบและการสร้างดิจิตอลอีควอไลเซอร์ซึ่งใช้หลักการประมวลผลทางดิจิตอลซิกเนล (Digital Signal Processing) ประกอบไปด้วยวงจรหลักคือ วงจรสำหรับควบคุมการทำงานต่างๆโดยใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ควบคุมและสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (ADC) เพื่อการสื่อสารแบบ $I^2S$ ดิจิตอลอีควอไลเซอร์นี้ใช้ IC TAS3004 ในการประมวลผลทางดิจิตอลเป็นแบบสเตอริโอ ตอบสนองความถี่ตั้งแต่ 10Hz – 20 KHz สามารถเลือกย่านความถี่ได้ 7 ย่านความถี่ มีแบนด์วิธหรือช่วงในการปรับย่านความถี่ตั้งแต่ 30 Hz – 15 KHz มีอินพุท 2 อินพุท ซึ่งเป็นแบบการรับสัญญาณอนาล็อกเข้าไปประมวลผลโดยตรงประมวลผลที่ 24 บิต และแบบการนำสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลโดยเป็นการสื่อสารแบบ $I^2S$ แล้วนำสัญญาณนี้ไปประมวลผล รับสัญญาณอนาล็อกาทางอินพุทไม่เกิน 0.7 $V_{rms}$ ให้สัญญาณอนาล็อกเอาต์พุต 0.7 $V_{rms}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DIGITAL EQUALIZER

Mr. Tawee Pogfay ID.47015246

Mr. Theerapun Boonjinda ID.47015875

Assoc. Prof. Dr. Manas Sungworasin Advisor

Educational Year 2004

## Abstract

In this report, we designed and constructed a digital equalizer circuit using the digital signal processing (DSP) theory to adjust the audio signal in several bands. According to this designed digital equalizer circuit, there are 2 main essential parts. First, a microcontroller was applied into this circuit in order to communicate with computer. Second, an analog-to-digital converter (ADC) was assembled for analyzing the input signal with $I^2S$ technique. Next, in order to examine the digital equalizer communication, we applied IC TAS3004 to generate the digital output with frequency response from 10 Hz to 20 KHz bandwidth. This frequency bandwidth can be adjusted within 7 different frequency ranges between 30 Hz and 15 KHz. From our experiment, 2 types of input were obtained to be examined as following; receiving and processing the analog signal at 24 bits techniques, and analog-to-digital process applying $I^2S$ communication techniques. As a result, analog input signal should not exceed 0.7 $V_{rms}$ to achieve 0.7 $V_{rms}$ analog output.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| เรื่อง | หน้า |
|---|---|
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ | 2 |
| 2.1 ระบบอิควอไลเซอร์ | 3 |
| 2.2 ชนิดของอิควอไลเซอร์ | 3 |
| 2.2.1 กราฟฟิคอิควอไลเซอร์ | 3 |
| 2.2.2 พาราเมตริกอิควอไลเซอร์ | 5 |
| 2.2.3 พารากราฟิคอิควอไลเซอร์ | 5 |
| 2.2.4 ดิจิตอลอิควอไลเซอร์ | 5 |
| 2.3 ฟิลเตอร์ (Filter)) | 6 |
| 2.3.1 วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าความถี่ต่ำผ่าน (Low pass Filter ) | 10 |
| 2.3.2วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน ( High pass Filter ) | 11 |
| 2.3.3วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าแถบความถี่ผ่าน ( Band pass Filter ) | 14 |
| 2.3.4 วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าตัดแถบความถี่ (Notch filter หรือ Band Eliminate filter) | 16 |
| 2.4 การแปลงแซด (Z-Transform) | 17 |
| 2.5 วงจรกรองความถี่แบบดิจิตอล | 18 |
| 2.6 วงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล (A/D Converter Circuits : ADC) | 21 |
| 2.7 วงจรแปลงดิจิตอลเป็นอนาล็อก (D/A Converter Circuits : DAC) | 21 |
| บทที่ 3 ไมโครคอนโทรลเลอร์และการติดต่อ $I^2C$ | 23 |
| 3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ | 23 |
| 3.2 การติดต่อ $I^2C$ | 31 |
| บทที่ 4 หลักการสร้างและการออกแบบ | 36 |
| 4.1 หลักการสร้างและการออกแบบ | 36 |
| 4.2 การออกแบบและกำหนดย่านความถี่ของ EQ | 41 |
| บทที่ 5 คู่มือการใช้งานบอร์ดทดลอง TAS3004 และโปรแกรม ALE | 51 |
| บทที่ 6 การทดลองและผลการทดลอง | 61 |
| บทที่ 7 การออกแบบและการทดลอง Equalizer 21 Bands | |
| 101 | |
| สรุปผล | |
| ภาคผนวก | |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

โครงงานนี้เป็นโครงงานเกี่ยวกับการศึกษาการกรองความถี่แบบดิจิตอล ซึ่งเป็นการออกแบบ ดิจิตอลฟิลเตอร์ ในรูปแบบต่างๆเช่นการออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำ(Low Pass Filter), วงจรกรองความถี่สูง (High Pass Filter), วงจรกรองย่านความถี่ผ่าน (Band Pass Filter), วงจรตัดแถบความถี่ (Notch Filter), และ Peaking EQ Filter ซึ่งการออกแบบการกรองความถี่แบบดิจิตอลนี้จะใช้การประมวลผลเชิงดิจิตอลซิกแนลโพรเซสซิ่ง (Digital Signal Processing) โดยจะกำหนดจากค่าพารามิเตอร์ต่างโดยวิธีการคำนวณซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

ในการทำโครงงานนี้จะนำ Filter ประเภทการกรองย่านความถี่ผ่านหลายๆย่านความถี่มารวมกันเพื่อปรับระดับสัญญาณที่ย่านความถี่ต่างๆเพื่อที่จะนำมาปรับสัญญาณความถี่เสียงตั้งแต่ 30Hz-16KHz เพื่อที่จะให้เสียงที่ได้จากแหล่งกำเนิดเสียงผ่านการปรับแต่งสัญญาณเสียงให้เลียนแบบเสียงให้เป็นธรรมชาติตามที่ต้องการ

การทำดิจิตอลฟิลเตอร์จะใช้ IC TAS3004 ของบริษัท Texas Instrument ซึ่งเป็น IC Digital Audio Processor ซึ่งสามารถปรับแต่งย่านความถี่ได้สูงสุด 7 ย่านความถี่ ข้อดีอีกอย่างหนึ่งคือชิฟตัวนี้ สามารถนำไปเป็นวงจรปรีแอมป์ได้ด้วย โดยจะมีฟังก์ชั่นต่างๆ ภายในไอซี และไอซีตัวนี้กินแรงดันไฟต่ำ สามารถนำไปประยุกต์การใช้งานได้ง่าย

ในการทำโครงงานนี้ได้ทำ Equalizer ออกเป็น 21Band โดยนำ IC TAS3004 ซึ่งสามารถปรับแต่งย่านความถี่ได้ 7 ย่านความถี่ นำมาต่อรวมกัน 3 ตัว ดังนั้นจะสามารถปรับย่านความถี่ได้ทั้งหมด 21 ย่าน จะสามารถปรับความถี่เสียงได้ละเอียดกว่าและดีกว่า จากเดิมที่มีการปรับความถี่เสียงได้แค่ 7 ย่านความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและหลักการ

## 2.1 อิควอไลเซอร์ (Equalizer)

อิควอไลเซอร์(Equalizer) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ปรับแต่งสัญญาณความถี่เสียงคือ 20-20000 Hz ที่ครอบคลุมย่านความถี่ต่ำคือเสียงทุ้ม(bass) เช่น เสียงกลอง ย่านความถี่ปานกลางคือเสียงกลาง(mid-rang) เช่น เสียงมนุษย์ ย่านความถี่สูงคือเสียงแหลม(treble) เช่น เสียงฉิ่ง

อิควอไลเซอร์(Equalizer) เป็นอุปกรณ์ที่ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายทั้งในด้านความบันเทิงและในด้านอุตสาหกรรม คุณสมบัติพิเศษของอิควอไลเซอร์ คือ จะสามารถชดเชยการสูญเสียพลังงานที่ความถี่ใดความถี่หนึ่งได้ และยังสามารถเพิ่มพลังงานในความถี่ที่เราต้องการได้ คุณสมบัติดังกล่าวมาทำให้อีควอไลเซอร์ไม่ได้ให้ความสำคัญกับสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นทั้งภายในและภายนอกของตัวอุปกรณ์เอง อีกทั้งช่วงความถี่ที่ใช้งานก็เป็นช่วงความถี่ที่กว้างเกิน ซึ่งไม่อาจเพียงพอกับความต้องการของผู้ใช้งาน จึงมีความจำเป็นที่ต้องเพิ่มความถี่ให้มีความละเอียดมากกว่าเดิมเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของผู้ใช้งาน

### 2.1.1 ระบบอิควอไลเซอร์

อิควอไลเซอร์ คือ อุปกรณ์ที่ใช้วัดสัญญาณเพื่อที่จะเปลี่ยนผลตอบสนองเชิงความถี่ของสัญญาณที่ผ่านเข้ามาเพื่อชดเชยการสูญเสียความถี่บางช่วงในระบบเครื่องเสียง ระบบเครื่องเสียงเหล่านี้ได้แก่ ระบบบันทึกและเพลย์แบค ระบบเสียงสาธารณะ หรือกระทั่งระบบเสียงไฮฟาย คำว่า Equalizer มาจากความหมายว่า การต้องการสร้างสัญญาณให้เท่ากับสัญญาณต้นแบบเดิม วัตถุประสงค์ที่เราใช้งานอิควอไลเซอร์ แบ่งเป็น 2 แบบคือ แบบแก้ไขสัญญาณให้ถูกต้อง และ แบบเพิ่มคุณภาพการทำงาน

- แบบแก้ไขสัญญาณ จะใช้ระบบบันทึกเสียงในอุปกรณ์เสียงระบบดิจิตอล ตัวอย่างการใช้งานคือการใช้วงจรปรีแอมป์ในเทปคาสเซททั้งตอนบันทึกและตอนเพลย์แบค ขบวนการนี้ใช้มานานแล้วซึ่งจำเป็นต้องมีเพื่อชดเชยความถี่บางช่วงที่สูญเสียในกระบวนการบันทึก

ในการใช้อิควอไลเซอร์ในระบบเสียงภายในห้องฟังเพลงมีหน้าที่แก้ไขผลตอบสนองเชิงความถี่ให้ถูกต้อง ผลตอบสนองเชิงความถี่ในห้องฟังเพลงทั่วๆไปจะเป็นปฏิกิริยาต่อกันกับตู้ลำโพง ตำแหน่งการวางลำโพง และรูปแบบสภาพทางเสียงภายในห้อง ในการใช้งานแบบนี้วัตถุประสงค์หลักเพื่อเป็นพลังเสียงและคุณภาพเสียงภายในห้องหรือเพื่อให้ได้ยินชัดเจน

- แบบเพิ่มคุณภาพการทำงานเพื่อเพิ่มคุณภาพของสัญญาณ อีควอไลเซอร์แบบนี้เป็นที่รู้จักกันทั่วไปในงานบันทึกดนตรีเพื่อใช้ในการเน้นหรือเสริมแต่งเสียงดนตรีบางชนิดเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิเศษ เช่น ในกรณีที่ต้องการบันทึกเสียงดนตรี 2 ชิ้นลงในแทร็คเดียวกันเราอาจใช้อีควอไลเซอร์ก่อนการบันทึกเพื่อเน้นเสียงดนตรีหนึ่งๆให้ดูชัดเจนยิ่งขึ้น เช่น เสียงกลอง เป็นต้น

**2.2 ชนิดของอิควอไลเซอร์**

โดยหลักการแล้วอิควอไลเซอร์ทุกชนิดล้วนทำงานในแบบเดียวกัน แต่จะประกอบด้วยวงจรกรองความถี่ต่างๆจำนวนหนึ่งเพื่อลดทอนหรือยกระดับสัญญาณช่วงความถี่หนึ่งๆในแถบสเปกตรัมเสียงอิควอไลเซอร์ที่ใช้กันอยู่มีหลายแบบ ได้แก่

**2.2.1 กราฟฟิคอิควอไลเซอร์**

เป็นอิควอไลเซอร์อีกแบบหนึ่งที่นิยมใช้กันมากที่สุด นิยมใช้กันในระบบเครื่องเสียงภายในบ้านทั่วๆไป

กราฟฟิคอิควอไลเซอร์จะประกอบไปด้วยวงจรกรองความถี่ชุดหนึ่งเพื่อทำการลดทอนหรือเพิ่มขนาดสัญญาณเฉพาะช่วงความถี่กลาง ปริมาณการตัดหรือเพิ่มขึ้น จะขึ้นอยู่กับปุ่มควบคุมที่มาในรูปของสไลด์โพแทนชิโอมมิเตอร์วางอยู่ด้านหน้าตำแหน่งการจัดวางพอร์ตเหล่านี้จึงปรากฏในรูปการแสดงผลตอบสนองเชิงความถี่ที่ต้องการ การแบ่งซอยย่อยแถบความถี่การควบคุมแล้วแต่ช่วงเท่าของความถี่กลาง เช่น 1/3 ออคเตฟ์ เป็นต้น ช่วงความถี่ต่างๆที่เรานิยมใช้จะมีมาตรฐานเป็นตัวกำหนดเราเรียกมาตรฐานนี้ว่า ISO (International Standard Organization) แสดงค่าดังตารางต่อไปนี้

| ลำดับตาม ISO | ความถี่กลาง (Hz) | ช่วงความถี่ 1/3 ออคเตฟ์(Hz) | ช่วงความถี่ 1 ออคเตฟ์(Hz) |
|---|---|---|---|
| 13 | 20 | 17.8 - 22.4 | |
| 14 | 25 | 22.4 - 28.2 | |
| 15 | 31.5 | 28.2 - 35.5 | 22.4 - 44.7 |
| 16 | 40 | 35.5 - 44.7 | |
| 17 | 50 | 44.7 - 56.2 | |
| 18 | 63 | 56.2 - 70.8 | 44.7 - 89.1 |
| 19 | 80 | 70.8 - 89.1 | |
| 20 | 100 | 89.1 - 112 | |
| 21 | 125 | 112 - 141 | 89.1 - 178 |
| 22 | 160 | 141 - 178 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ลำดับตาม ISO | ความถี่กลาง (Hz) | ช่วงความถี่ 1/3 ออคเตฟ(Hz) | ช่วงความถี่ 1 ออคเตฟ(Hz) |
|---|---|---|---|
| 23 | 200 | 178 - 224 | |
| 24 | 250 | 224 - 282 | 178 - 355 |
| 25 | 315 | 282 - 355 | |
| 26 | 400 | 355 - 447 | |
| 27 | 500 | 447 - 562 | 355 - 708 |
| 28 | 630 | 562 - 708 | |
| 29 | 800 | 708 - 891 | |
| 30 | 1000 | 891 - 1120 | 708 - 410 |
| 31 | 1250 | 1120 - 1410 | |
| 32 | 1600 | 1410 - 1780 | |
| 33 | 2000 | 1780 - 2240 | 1410 - 2820 |
| 34 | 2500 | 2240 - 2820 | |
| 35 | 3150 | 2820 - 3550 | |
| 36 | 4000 | 3550 - 4470 | 2820 - 5620 |
| 37 | 5000 | 4470 - 5620 | |
| 38 | 6300 | 5620 - 7080 | |
| 39 | 8000 | 7080 - 8910 | 5620 - 11200 |
| 40 | 10000 | 8910 - 11200 | |
| 41 | 12500 | 11200 - 14100 | |
| 42 | 16000 | 14100 - 17800 | 11200 - 22400 |
| 43 | 20000 | 17800 - 22400 | |

ตารางที่ 2.1 แสดงช่วงความถี่ออคเตฟตามมาตรฐานของ ISO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2.2 พาราเมตริกอิควอไลเซอร์**

ในวงจรอิควอไลเซอร์ชนิดนี้นอกจากจะมีการควบคุมช่วงตัดหรือช่วงเพิ่มความระดับสัญญาณในวงจรกรองแต่ละชุดแล้ว อิควอไลเซอร์แบบนี้ยังมีปุ่มแยกเพื่อใช้ในการควบคุมสำหรับความถี่กลางของฟิลเตอร์และขนาดของแบนด์วิธ อย่างไรก็ตามก็ดีปุ่มควบคุมเพิ่มลดของฟิลเตอร์เหล่านี้มักใช้ปุ่มหมุนแทนแบบสไลด์ อิควอไลเซอร์แบบนี้จึงมีการใช้งานที่ยุ่งยากกว่าแบบกราฟฟิคอิควอไลเซอร์และยังมีราคาแพงมากกว่าอีกด้วย

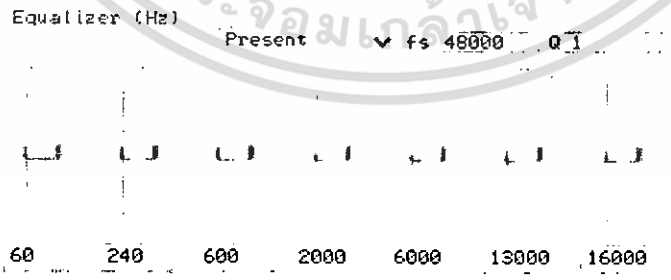
**2.2.3 พารากราฟฟิคอิควอไลเซอร์**

อิควอไลเซอร์แบบนี้เป็นการผสมกันระหว่างอิควอไลเซอร์แบบกราฟฟิคและแบบพาราเมตริกกล่าวคือ ไม่เหมือนกับพาราเมตริกอิควอไลเซอร์ตรงที่มีปุ่มควบคุมแยกปรับค่าแบนด์วิธ ค่าQ และค่าความถี่กลางของฟิลเตอร์แต่ละชุดแทนที่จะใช้พอร์ตปรับแบบโรตารี่ก็มาใช้พอร์ตแบบเลื่อนขึ้นลงในการควบคุมอัตราการขยายของฟิลเตอร์แต่ละตัวแทน ทำให้มีขอบเขตการใช้งานกว้างขึ้นในขณะเดียวกันจะมองเห็นช่วงการปรับแต่งความถี่ได้ง่ายจากหน้าปัดเครื่อง

**2.2.4 ดิจิตอลอิควอไลเซอร์**

ดิจิตอลอิควอไลเซอร์ เป็นการใช้ CPU มาควบคุมปกติจะมีอินพุตและเอาท์พุตให้ทั้งแบบอนาล็อก ข้อดีของอิควอไลเซอร์แบบนี้คือ ความสามารถในการโปรแกรมได้ ความถี่ต่างๆที่กำหนดสามารถดูได้จากหน่วยความจำ

ซึ่งในโครงงานนี้เป็นการสร้างอิควอไลเซอร์ ที่มีการแบ่งช่องความถี่ออกเป็น 7 ช่องสัญญาณ โดยเราสามารถกำหนดความถี่ได้เอง และสามารถที่จะปรับอัตราการขยายและการลดทอนได้ในช่วง –10 dB ถึง +10dB ดังรูป




รูป 2.1 อิควอไลเซอร์(Equalizer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.3 ฟิลเตอร์ (Filter)**

วงจรฟิลเตอร์(Filter) หรือวงจรกรองสัญญาณไฟฟ้ามีบทบาทสำคัญมากในกระบวนการทั้งอนาลอกและดิจิตอล ใช้สำหรับกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการออกและแยกสัญญาณที่มีความซับซ้อนออกมาเป็นส่วนๆเพื่อป้อนเข้าสู่วงจรต่างๆของระบบต่อไป ซึ่งโดยพื้นฐานแล้ววงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าก็เป็นเน็ทเวิร์ค (Network) ทางไฟฟ้าโดยประกอบขึ้นจากค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของอุปกรณ์พื้นฐานอันได้แก่ ตัวต้านทาน, ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ

วงจรกรองความถี่ (Filters) สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ คือ แบบพาสซีพ (Passive filters) และแบบแอคทีฟ (Active filters)

**-วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าแบบพาสซีฟ (Passive Filter)**

วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าแบบพาสซีฟจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ทางพาสซีฟ (Passive device) เป็นหลักได้แก่ ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำ (บางครั้งอาจจะมีตัวต้านทานประกอบร่วมอยู่ด้วย) เนื่องจากวงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าแบบนี้มีราคาแพง การออกแบบก็ซับซ้อนจึงไม่เป็นที่นิยมนัก ข้อดีของวงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าแบบพาสซีฟคือ สามารถตอบสนองความถี่ได้สูงมากและสามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟใดๆทั้งสิ้น

ในความเป็นจริงแล้ว สัญญาณที่ออกมาจากเอาต์พุทของวงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าแบบพาสซีฟจะเกิดการสูญเสีย (loss) ขึ้นเนื่องจากค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรและเมื่อพิจารณาถึงการส่งผ่านของแถบความถี่จะบ่งบอกได้อย่างชัดเจนว่า เป็นวงจรที่มีการส่งผ่านไม่ดีนัก อย่างไรก็ตามสามารถแก้ไขปรับปรุงได้ โดยเพิ่มอุปกรณ์เข้าไปแต่สิ่งที่จะตามมาคือการออกแบบที่ซับซ้อนยุ่งยากมากยิ่งขึ้น

**-วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าแบบแอกทีฟ (Active Filter )**

วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าแบบแอกทีฟจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ประเภทแอกทีฟ (อุปกรณ์ที่แสดงคุณสมบัติเมื่อมีพลังงานมากระตุ้น) เช่น ทรานซิสเตอร์, ไดโอด, ออปแอมป์ เป็นต้น

**ข้อดี**

- ปรับแต่งง่าย
- การออกแบบก็ไม่ซับซ้อน
- มีเสถียรภาพในการทำงานสูง
- ขนาดเล็ก ราคาถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสีย

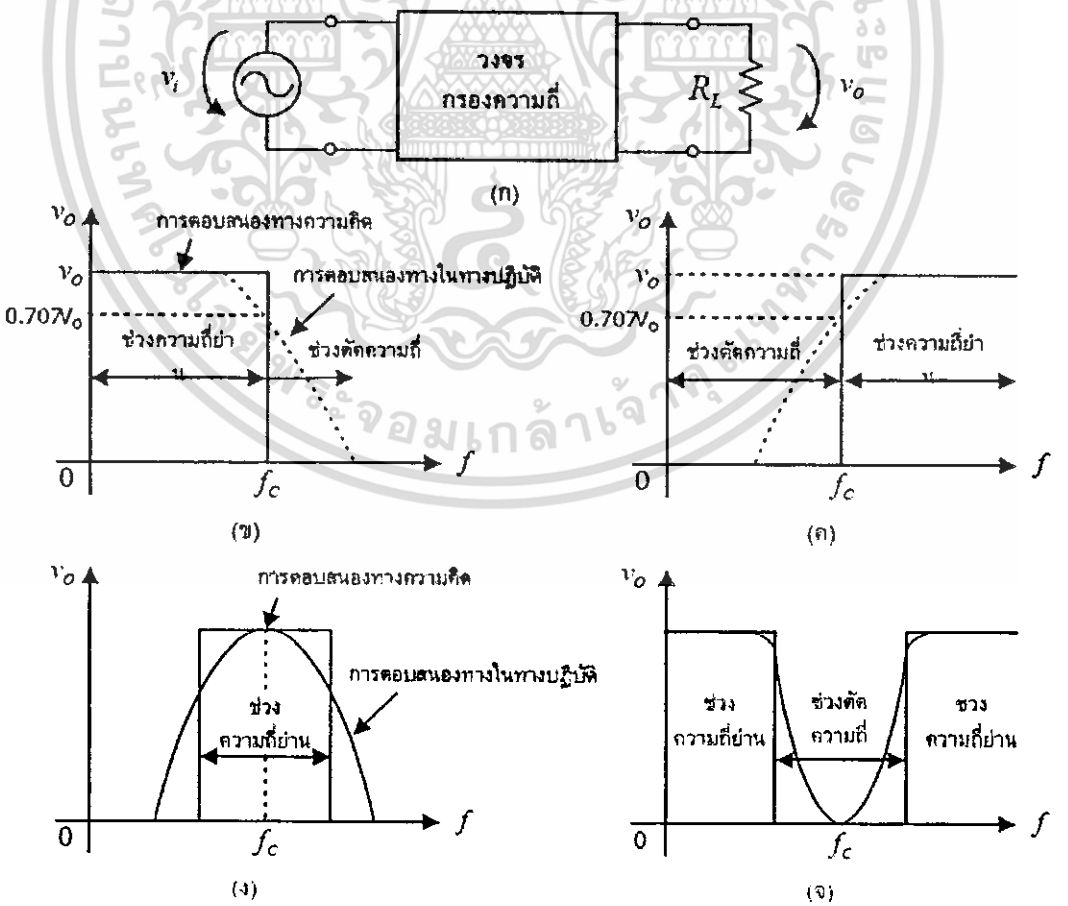
- ตอบสนองความถี่ได้ไม่สูงนัก
- ใช้ไฟเลี้ยงในการทำงาน

ชนิดของวงจรกรองสัญญาณไฟฟ้า (Type of Electric Filter)

วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้า จะยอมให้สัญญาณผ่านไปได้ในช่วงหนึ่ง ช่วงที่ยอมให้สัญญาณผ่านไปได้นี้เรียกว่า "พาสแบนด์ (Pass-band) "และจะมีการสกัดกั้นหรือลดทอนสัญญาณในบางช่วงของความถี่ ซึ่งช่วงที่ไม่ยอมให้สัญญาณผ่านนี้เรียกว่า "สต๊อปแบนด์ (Stop-band)" เมื่อพิจารณาในด้านการใช้งานแล้ว วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าจะถูกใช้งานใน 4 ลักษณะดังนี้

1. วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)
2. วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter)
3. วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าแถบความถี่ผ่าน (Band Pass Filter)
4. วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าตัดแถบความถี่ (Notch filter หรือ Band Eliminate filter)

การทำงานของวงจรกรองความถี่ (Filter)แต่ละชนิด แสดงดังรูป 2.2




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 2.2 วงจรกรองความถี่และการทำงานของวงจรแต่ละชนิด

(ก) วงจรทดสอบวงจรกรองความถี่

(ข) การทำงานของวงจร LPF

(ค) การทำงานของวงจร HPF

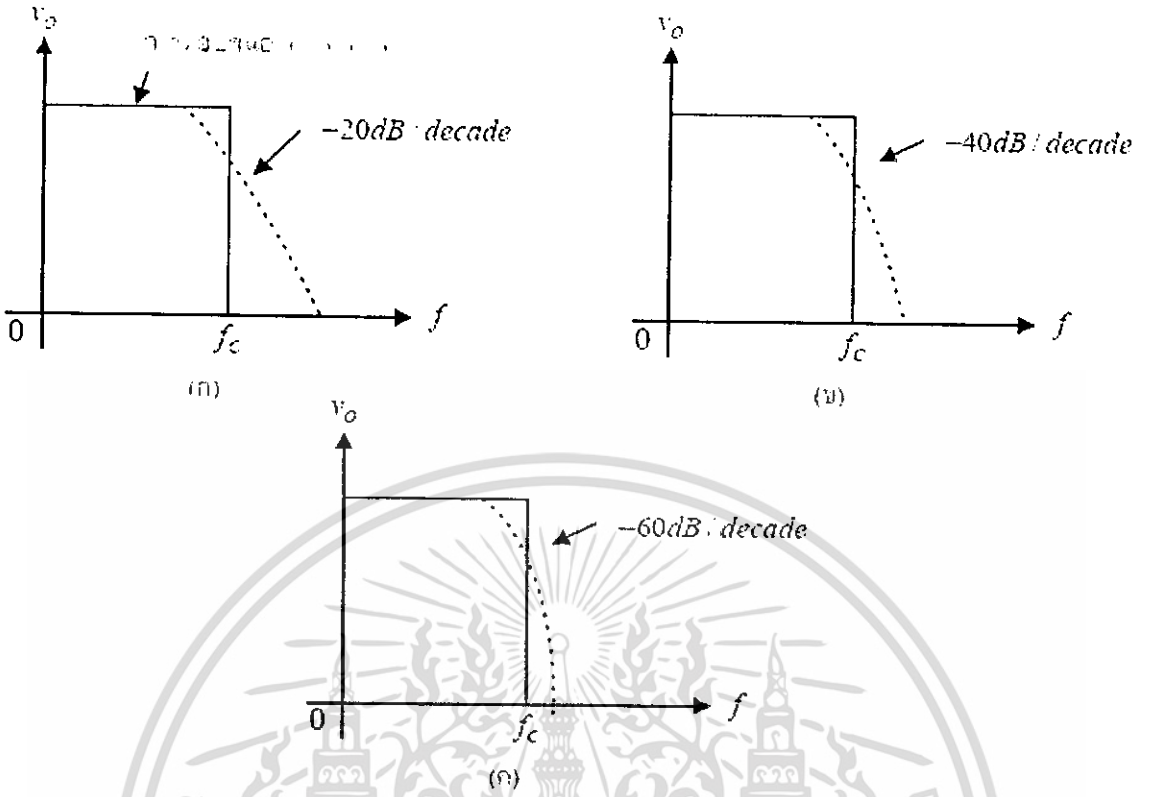
(ง) การทำงานของวงจร BPF

(จ) การทำงานของวงจร BEF

จากรูปที่ 2.2 (ข) ซึ่งเป็นผลการตอบสนองความถี่ของวงจร LPF จะพบว่าในทางความคิดหรืออุดมคติ ถ้าความถี่ของอินพุตมีค่ามากกว่า ความถี่ตัดที่ต้องการ (Cut off frequency, *fc*) แล้ววงจรจะตัดสัญญาณความถี่นั้น ไม่ให้ออกไปที่เอาต์พุตเลย แต่ในทางปฏิบัติวงจรไม่สามารถตอบสนองความถี่เช่นนี้ได้ วงจรจะค่อยๆ ลดการตอบสนองความถี่ของช่วงที่ไม่ต้องการลง ส่วนผลการตอบสนองความถี่ของวงจร HPF ดัง รูปที่ 2.2 (ค) มีลักษณะตรงกันข้ามกับวงจร LPF ส่วนในรูปที่ 2.2 (ง) เป็นผลการตอบสนองความถี่ของวงจร BPF คือ วงจรจะยอมให้ความถี่เฉพาะแถบหรือช่วงที่ต้องการเท่านั้นออกไปที่เอาต์พุต สำหรับผลของวงจรBEF ดังรูปที่ 2.2 (จ) ก็จะมีลักษณะตรงข้ามกับวงจร BPF

จากในรูปที่ 2.3 (ข) เราจะเห็นว่าในทางปฏิบัติแล้ว เมื่อความถี่อินพุตเปลี่ยนแปลงถึงจุดตัดความถี่ ( *fc* ) ของวงจร วงจรจะค่อย ๆ ลดการตอบสนองความถี่ลง โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงนี้จะขึ้นอยู่กับลำดับ (Order) ของวงจรกรองความถี่ซึ่งโดยทั่วไป วงจรกรองความถี่มีตั้งแต่ลำดับที่ 1 , 2, 3, 4 ไปเรื่อย ๆ จนถึงลำดับที่ n สำหรับตัวอย่างลำดับของวงจรกรองความถี่ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการตอบสนองความถี่ ของวงจรของความถี่ต่ำย่าน (LPF) แสดงไว้ในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.3 การตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ที่ลำดับต่าง ๆ

(ก) ลำดับที่ 1 (First order)

(ข) ลำดับที่ 2 (Second order)

(ค) ลำดับที่ 3 (Third order)

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ตอบสนองความถี่ได้ใกล้เคียงกับอุดมคติมากที่สุด คือ ลำดับที่ 3 ถ้าลำดับยิ่งสูงกว่านี้ การตอบสนองความถี่ก็จะยิ่งใกล้เคียงกับอุดมคติมากขึ้นไปอีก แต่ก็ทำให้วงจรกรองความถี่ที่มีลำดับสูงขึ้นมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในทางใช้งานจริง มักจะนิยมใช้ วงจรกรองความถี่ลำดับที่ 2 (2nd order filter) มากกว่า เนื่องจากสามารถใช้ออปแอมป์เพียงตัวเดียวสร้างได้

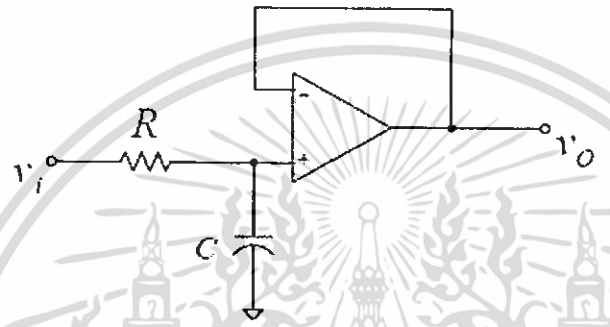
วงจรกรองความถี่ลำดับที่ 2 จากรูปที่ 2.3 (ข) พบว่ามีอัตราการตกของความถี่เมื่อเทียบกับอัตราขยายเท่ากับ –40 *dB* /decade โดยเครื่องหมายลบแสดงถึง อัตราให้เห็นว่าเป็นการตก และตัวเลขนี้หมายความถึง วงจรกรองความถี่ต่ำอยู่ลำดับที่ 2 ซึ่งจะมีอัตราการตกของอัตราขยาย 40 *dB* ต่อช่วง 10 เท่าของความถี่ ยกตัวอย่างเช่น ที่ความถี่ 1kHz วงจรกรองความถี่มีอัตราขยาย 40 *dB* (100 เท่า) เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นไปถึง 10 kHz วงจรกรองความถี่มีอัตราขยายลดลงเหลือ 0 *dB* (1 เท่า) เนื่องจากความถี่ 1 kHz ไปยังความถี่ 10 kHz เราเรียกที่ 1decade

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.3.1. วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าความถี่ต่ำผ่าน (Low pass Filter)**

**-วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 1 (First Order)**

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 1 อยู่ในรูปที่ 2.4 ออปแอมป์ต่อเป็นวงจรตามแรงดัน เพื่อทำให้เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจรกรองความถี่มีค่าต่ำโดยค่าความถี่ตัด ($fc$) สามารถกำหนดได้จากค่าอุปกรณ์ภายนอก ดังสมการ (1)

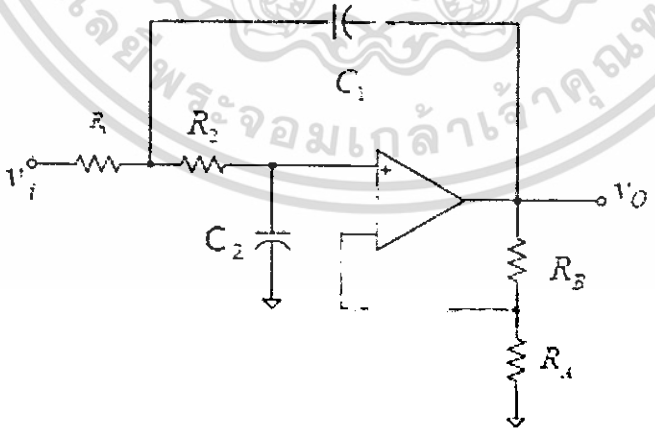



รูปที่ 2.4 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 1

$$f_c = \frac{0.1591}{RC} \tag{2.1}$$

วงจรใน รูปที่ 2.4 นี้จะมีอัตราขยายลูปปิด (ACL) เท่ากับ 1 ตามสมการของวงจรตามแรงดัน

**-วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่ 2 (Second Order)**




รูปที่ 2.5 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลำดับที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรของความถี่ต่ำผ่านลำดับที่สอง สามารถสร้างได้ง่ายโดยใช้ออปแอมป์เพียงตัวเดียว ดังในรูปที่ 2.5 วงจรนี้อาจจะเรียกว่า วงจรกรองความถี่แบบ Sallen and Key ซึ่งตั้งชื่อตามผู้ออกแบบวงจร สำหรับวงจรนี้ความถี่ตัด (Cut off frequency, $fc$) สามารถกำหนดได้จากค่าอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ภายนอกตามสมการ (2.2)

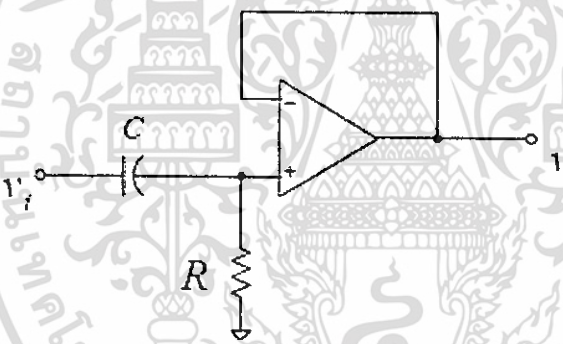
$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1R_2C_1C_2}} \qquad (2.2)$$

ถ้าหากเรากำหนดให้ $R_1 = R_2 = R_3$ และ $C_1 = C_2 = C_3$ สมการ (2.2) สามารถลดรูปได้เป็น

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

**2.3.2. วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน (High pass Filter)**

**-วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่ 1 (First Order)**

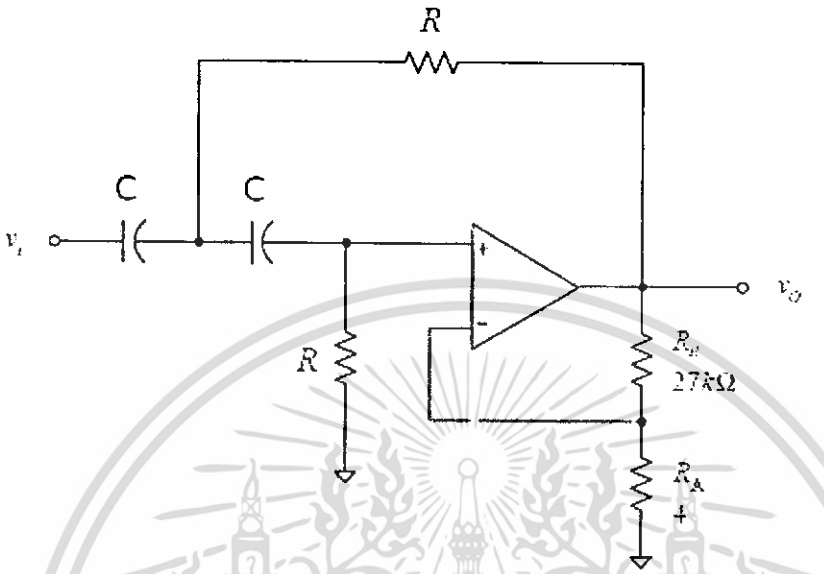



รูปที่ 2.6 วงจรของความถี่สูงผ่านลำดับที่ 1

จากวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านในรูปที่ 2.4 ถ้าหากการสลับตำแหน่ง R และ C ดังรูปที่ 2.6 ก็จะได้วงจรกรองความถี่สูงผ่านที่มีสมการของความถี่ตัดผ่านเท่ากับสมการ (2.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**-วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่ 2 (Second Order)**




รูปที่ 2.7 วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่สอง

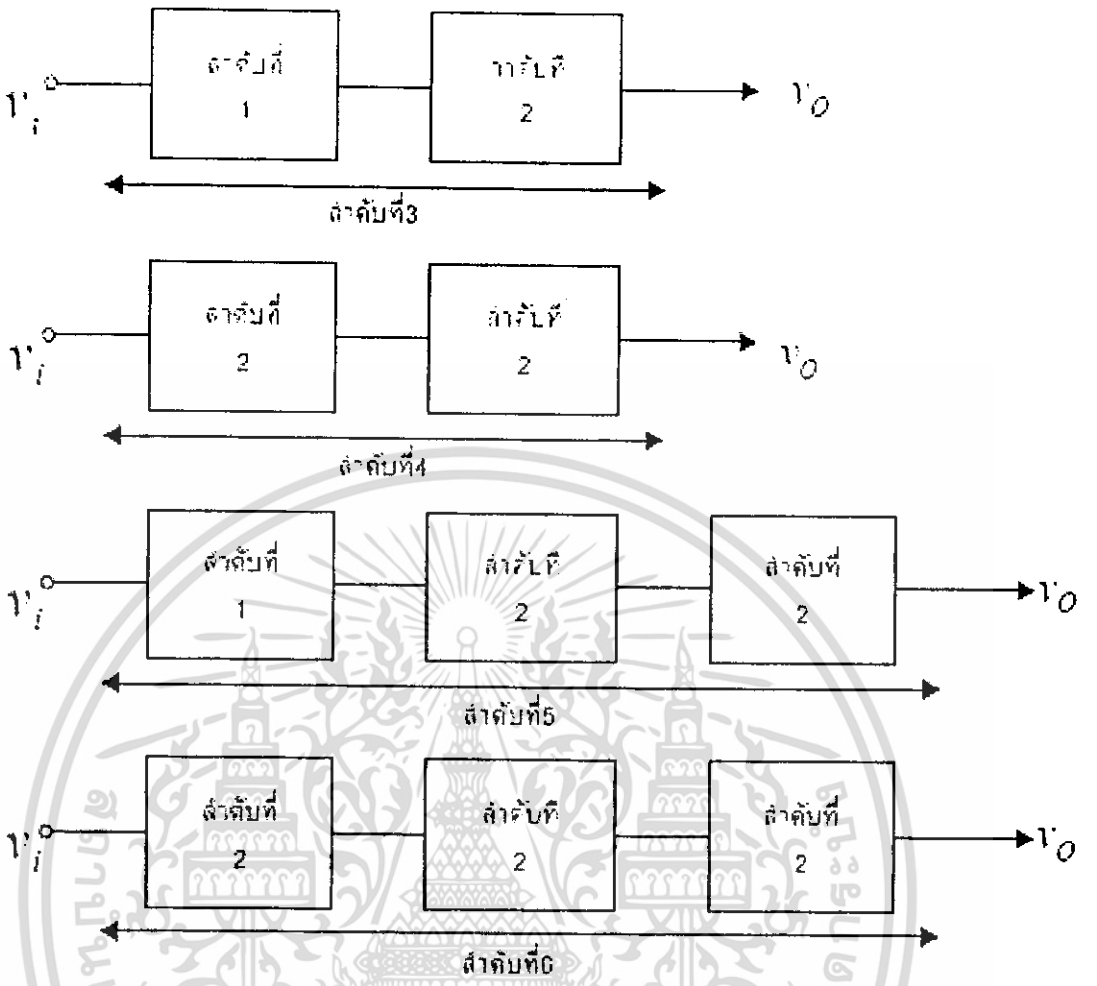
วงจรกรองความถี่สูงผ่านลำดับที่ 2 มีลักษณะวงจรคล้ายกับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านในรูปที่ 2.5 เพียงแต่สลับตำแหน่งของ R และ C เท่านั้นดังแสดงในรูปที่ 2.7 ส่วนค่าความถี่ตัด ( $fc$) สามารถหาได้จากสมการ (2.3)

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \qquad (2.3)$$

**การสร้างวงจรของความถี่ต่ำและสูงผ่านในลำดับที่สูงขึ้น**

เราสามารถสร้างวงจรกรองความถี่ต่ำและสูงผ่านให้สูงกว่าลำดับที่สองได้ โดยการนำวงจรของความถี่ที่มีความถี่ตัดเท่ากันมาต่อเรียงกัน ดังรูปที่ 5.8 ซึ่งเราเรียกการต่อแบบนี้ว่าแคสเคด (Cascade) จะทำให้ได้ลำดับที่สูงขึ้นตามผลบวกของวงจรของความถี่ที่ต่อเรียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

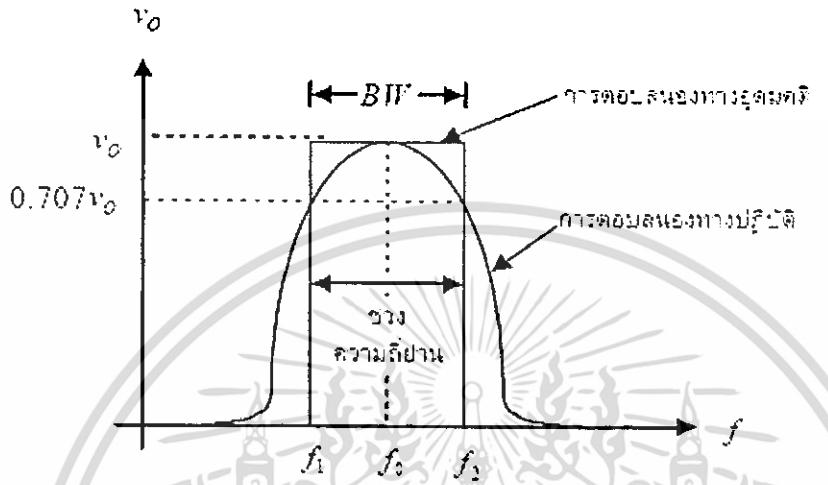



**รูปที่ 2.8 การสร้างวงจรกรองความถี่ต่ำและสูงผ่านให้มีลำดับที่สูงขึ้น**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.3.3. วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าแถบความถี่ผ่าน (Band pass Filter)**

วงจรกรองแถบความถี่ (Band Pass Filter, BPF) หรือ BPF เป็นวงจรที่กรองเอาเฉพาะความถี่ช่วงที่ต้องการออกมาเท่านั้น ดังนั้นการตอบสนองความถี่ของวงจร BPF นี้จะเป็นดังรูปที่ 2.9




รูปที่ 2.9 การตอบสนองความถี่ของวงจร BPF

ความถี่ศูนย์กลาง (Center Frequency, $fo$) ของวงจร BPF สามารถกำหนดได้จากค่าอุปกรณ์ที่ต่อในวงจรเช่นเดียวกัน

ประสิทธิภาพ (Quality factor, $Q$) ของวงจร BPF นี้สามารถวัดได้จาก

$$Q = \frac{f_o}{BW} \tag{2.4}$$

เมื่อ $BW$ คือ แถบความถี่ที่ต้องการให้ผ่าน มีหน่วยเป็น Hz หาได้จาก

$$BW = f_2 - f_1 \tag{2.5}$$

และ $f0$ ก็สามารถหาได้จาก

$$f_o = \sqrt{f_1 f_2} \tag{2.6}$$

ดังนั้น

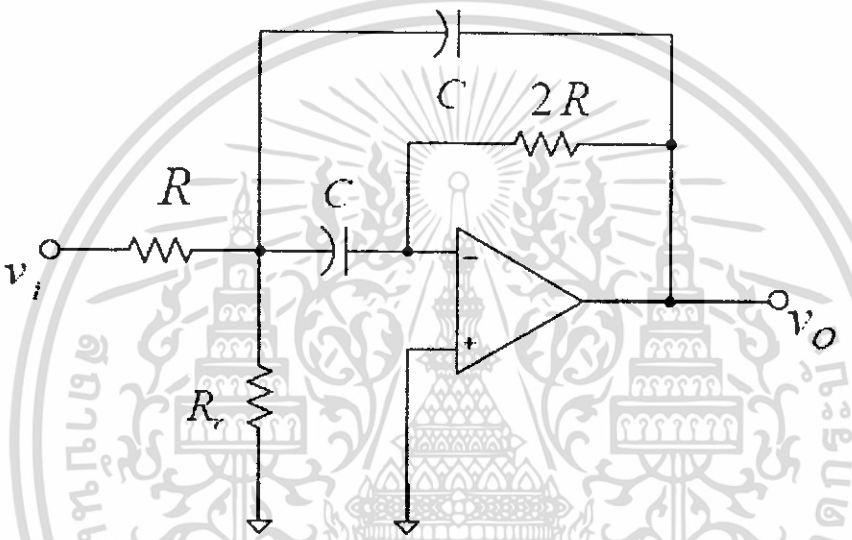
$$f_1 = \sqrt{\frac{BW^2}{4} + f_o^2} - \left(\frac{BW}{2}\right) \tag{2.7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$f_2 = f_1 + BW$$

* หมายเหตุ ความถี่ศูนย์กลาง $f_0$ ไม่ใช่ค่าเฉลี่ยของ $f_1$ และ $f_2$




รูปที่ 2.10 วงจรกรองแถบความถี่ (BPF)

วงจรกรองแถบความถี่ แสดงต่อในรูปที่ 2.10 วงจรนี้จะมีอัตราขยายแบบลูปปิด ( Acl ) เท่ากับ 1 ที่ความถี่ศูนย์กลาง $f_0$ โดย $BW$ สามารถหาได้จาก

$$BW = \frac{0.1591}{RC} \qquad (2.8)$$

และความถี่ศูนย์กลาง $f_0$ สามารถกำหนดได้จาก

$$f_o = \frac{0.1125}{RC}\sqrt{1+\frac{R}{R_r}} \qquad (2.9)$$

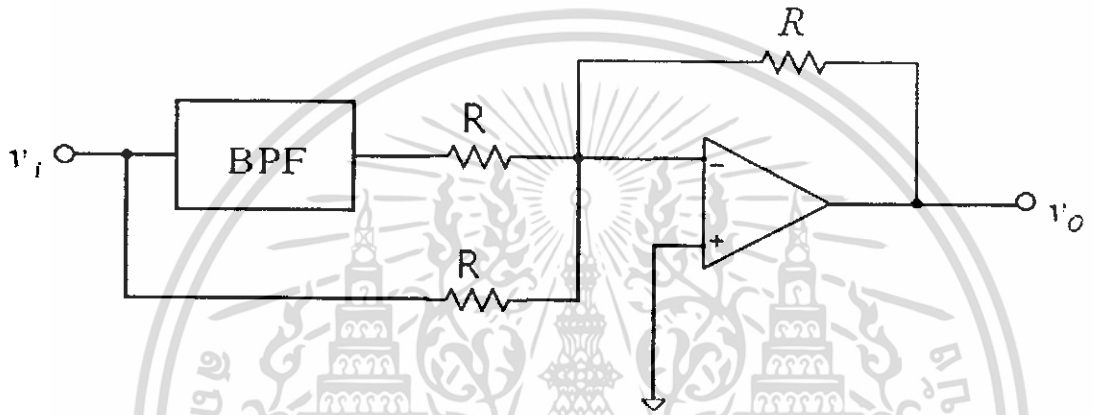
จากสมการ (2.8) และ (2.9) จะเห็นได้ว่า เราสามารถปรับค่าความถี่ศูนย์กลางได้ โดยไม่ทำให้ค่า $f_0$ เปลี่ยน โดยการปรับที่ Rr ซึ่งสามารถหา Rr ได้จาก

$$R_r = \frac{R}{2Q^2 \quad 1} \qquad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.3.4. วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าตัดแถบความถี่ (Notch filter หรือ Band Eliminate filter)**

เราสามารถสร้างวงจรตัดแถบความถี่ (Band Elimination Filter, BEF) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าวงจร Notch filter จากวงจร BPF และวงจรบวกสัญญาณโดยใช้ ออปแอมป์ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 โดยสมการต่างๆ ยังมีค่าเท่ากับวงจร BPF จะต่างกันตรงที่การตอบสนองความถี่ที่มีลักษณะตรงข้ามกันเท่านั้น




รูปที่ 2.11 วงจรตัดแถบความถี่ที่สร้างจาก BPF และวงจรบวกสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.4 การแปลงแซด (Z-Transform)**

การแปลง Z คือ คณิตศาสตร์ที่ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์และสังเคราะห์ระบบเวลาเป็นช่วงๆ เช่นเดียวกับที่เราคุ้นเคยกับการแปลงลาปาสในการวิเคราะห์และสังเคราะห์ระบบเวลาที่ต่อเนื่อง

การแปลงเซดเป็นการแปลงที่กระทำกับสัญญาณไม่ต่อเนื่อง แล้วให้ผลลัพธ์เป็นฟังก์ชั่นของตัวแปรเชิงซ้อน คือตัวแปร Z สำหรับสัญญาณ x(n) ใดๆ การแปลงแซดของ x(n) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ X(Z)

$$Z\{x(n)\} = X(Z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)z^{-n} \qquad (2.11)$$

และการแปลงแซดผกผัน( Inverse Z transform) มีนิยามว่า

$$x(n) = \frac{1}{2\pi j}\oint_c X(z)z^{n-1}dz \qquad (2.12)$$

โดย $Z= e^{ST}$ โดยทั่วไปจะให้ T = 1 ซึ่งการแปลง Z นี้จะนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ระบบแบบไม่ต่อเนื่อง โดยสมมุติว่าระบบไม่ต่อเนื่องระบบหนึ่งนั้นมีผลตอบสนองอิมพัลส์(Impulse response) เป็น h(n) และการแปลง Z ของ h(n) ได้ค่าเป็น H(z) ซึ่ง H(z) นี้ก็คือฟังก์ชั่นถ่ายโอน(Transfer Function) ของระบบโดยมีความสัมพันธ์กับการแปลง Z ของสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออก ดังสมการ

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} \qquad (2.13)$$

สมการที่ (2.11) นี้ เป็นสมการความสัมพันธ์ในโดเมน Z สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการคำนวณหาค่าต่างๆ ของระบบ เช่น สมการผลต่างสืบเนื่อง, h(n), H(z), y(n) เมื่อกำหนด x(n) โดยถ้าหากทราบค่าใดหนึ่ง ก็สามารถที่จะใช้การแปลง Z ในการหาค่าที่เหลืออยู่ได้ทั้งหมดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในทางปฏิบัติสัญญาณ x(n) ที่ใช้จะเป็นสัญญาณคอซอล (causal signal) คือ x(n) = 0เมื่อ n < 0 ทำให้ค่าตัวแปร n ในสมการที่ (2.11) จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง ∞ ซึ่งเรียกว่าการแปลง Z ด้านเดียวซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญบางประการของการแปลง Z ดังนี้

1. ความเป็นเชิงเส้น ( Linearity )

$$Z\{ ax(n) + by(n) \} = aX(Z) + bY(Z) \qquad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
72292

2. การเลื่อน ( Shift or Translation)

$$Z\{ x(n-k ) \} = Z^{-k} X(Z) \quad (2.15)$$

3. คอนโวลูชั่น (Convolution)

$$Z\{f(n)*y(n) \} = Z\{f(n) \} Z \{ g(n) \} = F(Z)G(Z) \quad (2.16)$$

**2.5 วงจรกรองความถี่แบบดิจิตอล**

- ความหมายของวงจรกรองความถี่แบบดิจิตอล

วงจรกรองความถี่แบบดิจิตอล คือ กระบวนการที่ไปดัดแปลงสเปกตัมของสัญญาณให้มีสเปกตัมให้เป็นไปตามข้อกำหนดที่ต้องการ ซึ่งอาจเป็นการเพิ่มค่าหรือลดค่าขนาดของสัญญาณในแถบความถี่ที่กำหนดให้ ซึ่งในการวิเคราะห์และสังเคราะห์วงจรนั้น ต้องใช้เครื่องมือพื้นฐานทางคณิตศาสตร์เข้าช่วย ดั้งนั้นเราจึงเรียกว่า วงจรกรองความถี่เชิงเลข

การที่วงจรกรองความถี่เชิงเลขมีการนำมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างกว้างขวาง อาจมาจากข้อได้เปรียบหลายประการดังต่อไปนี้

1. ผลการตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองความถี่นั้น สามารถที่จะออกแบบให้มีความใกล้เคียงกับผลตอบสนองความถี่ที่กำหนดให้ หรือผลตอบสนองความถี่ที่ต้องการได้ นอกจากนี้การออกแบบวงจรกรองความถี่ให้มีผลตอบสนองเชิงเส้นทำได้ง่าย

2. คุณสมบัติของวงจรกรองความถี่ที่ออกแบบและสร้างแล้วจะไม่ขยับเลื่อน (Drift) ไปตามสภาพแวดล้อมหรืออุณหภูมิ หรือตามระยะเวลาการใช้งาน นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานในย่านความถี่ต่ำเป็นอย่างดี

3. การประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรกรองความถี่แบบปรับตัวได้(Adaptive Filter) ทำได้ง่าย

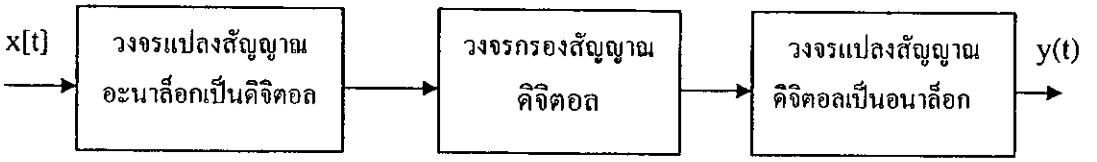
4. ผู้ออกแบบสามารถออกแบบโดยคำนึงความยาวของคำ(Word length) ของตัวเลขฐานสองที่ต้องการใช้ และยังสามารถออกแบบให้มีผลตอบสนองความถี่ตามต้องการได้

5. มีความเสถียรของวงจรกรองความถี่ ความเชื่อถือได้ ราคาหรือขนาดของวงจรกรองความถี่เชิงเลข สิ่งเหล่านี้กำลังได้รับการพัฒนาและปรับปรุงและมีแนวโน้มว่าจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าของวงจรกรองความถี่แบบอะนาล็อก(Analog Filter) หรือเรียกว่า วงจรกรองความถี่เชิงอนุมาน

วงจรกรองสัญญาณดิจิตอลสามารถเขียนอธิบายในรูปของบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่... โดยสัญญาณอินพุตซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อกจะถูกสุ่ม(Sampled) ด้วยช่วงเวลาที่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง และสัญญาณที่ถูกสุ่มนี้จะเปลี่ยนให้อยู่ในรูปฐานสองโดยการแปลงสัญญาณดิจิตอลหรือสัญญาณเชิงเลข (Analog to Digital Converter) หลังจากนั้นเลขฐานสองที่แทนสัญญาณอะนาล็อกที่เข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาทางอินพุตจะผ่านวงจรกรองสัญญาณดิจิตอล ต่อมาค่าเอาท์พุตที่ได้จากวงจรกรองสัญญาณดิจิตอลนี้จะถูกแปลงกลับเป็นสัญญาณอะนาล็อกด้วยวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาล็อก




รูป 2.11 แผนภาพของวงจรกรองสัญญาณดิจิตอล

วงจรกรองสัญญาณดิจิตอลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะของผลตอบสนอง อิมพัลส์ได้แก่

1. วงจรกรองสัญญาณความถี่ดิจิตอลแบบผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัดผลตอบสนองอิมพัลส์

2. วงจรกรองสัญญาณความถี่ดิจิตอลแบบผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัดผลตอบสนองอิมพัลส์

วงจรกรองความถี่ดิจิตอลแบบผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัดผลตอบสนองอิมพัลส์ มักเป็นตัวกรองที่ไม่มีการป้อนกลับเป็นวงจรที่มีโครงสร้างง่ายๆ และมีเสถียรภาพที่ดี แต่มีข้อเสียที่จะให้วงจรกรองที่มีอันดับสูงถึงแม้จะต้องการให้มีความถี่ที่ง่ายๆก็ตาม

วงจรกรองความถี่ดิจิตอลแบบผลตอบสนองอิมพัลส์ไม่จำกัดผลตอบสนองอิมพัลส์เป็นตัวกรองที่มีการป้อนกลับ เป็นวงจรที่ใช้อันดับที่ต่ำกว่าวงจรกรองความถี่ดิจิตอลแบบผลตอบสนองอิมพัลส์จำกัดที่ความต้องการลักษณะทางความถี่เหมือนกันแต่การกรองจะมีความยุ่งยากกว่าและมีปัญหาเรื่องความเสถียรภาพไม่ดีนัก

**2.5.1 วงจรกรองความถี่ไม่ป้อนกลับเชิงเลข (Finite Impulse Response;FIR)**

ผลการตอบสนองอิมพัลส์จำกัดนั่นคือหากเราป้อนสัญญาณอิมพัลส์ให้กับวงจรนี้แล้ว สัญญาณตอบสนองจะมีค่าจำกัดโดยเอาต์พุตของระบบจะขึ้นอยู่กับสัญญาณอินพุตนั้น จึงเรียกว่าวงจรกรองความถี่ไม่ป้อนกลับ(non-recursive filter) ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

ฟังก์ชั่นการถ่ายโอน

$$H(z) = \sum_{n=0}^{N-1} h_n z^{-n} \tag{2.17}$$

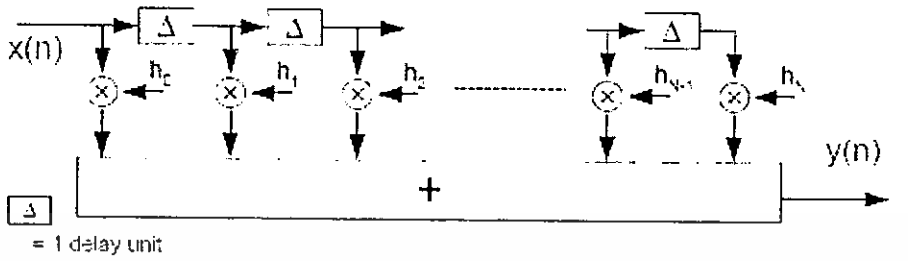
แทนค่า $z = e^{j\omega}$ จะได้ผลการตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ไม่ป้อนกลับเชิงเลข

$$H(\omega) = \sum_{N=0}^{N-1} h(n) e^{-j\omega n} \tag{2.18}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือในรูปสมการความต่าง คือ

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} h_i x(n-k)$$



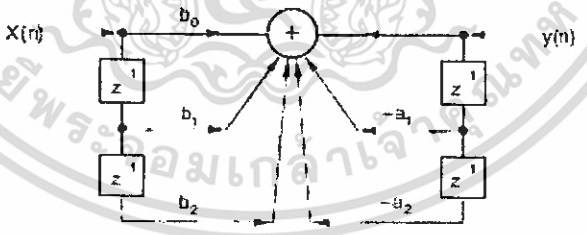

รูป 2.12 วงจรกรอง FIR ที่สร้างอย่างตรงไปตรงมา

สำหรับตัวกรองแบบ FIR นั้นในการออกแบบสิ่งที่เราต้องการหา คือ ค่าของผลตอบสนองต่ออิมพัลส์ หรือ h(n) ของระบบ สำหรับตัวกรอง FIR ที่มีความยาว N จุดเรากล่าวว่าตัวกรองนี้มีอันเท่ากับ N-1 เหตุผลก็คือ มีการใช้สัญญาณเข้าย้อนหลังไป N-1 ตำแหน่ง

**2.5.2 วงจรกรองความถี่ป้อนกลับเชิงเลข (Infinite Impulse Response;IIR)**

รูปแบบของสมการ IIR ในรูปทั่วไปเมื่อทำการแปลง Z จะได้ (a0 = 1)

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\sum_{m=0}^{M} b_m z^{-m}}{1 - \sum_{k=1}^{N} a_k z^{-k}} \qquad (2.19)$$



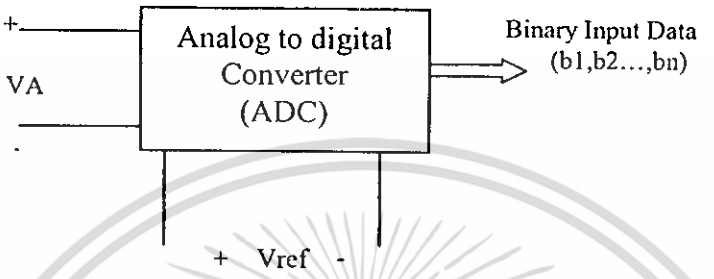

รูป 2.13 IIR Filter (Bi-Quad) Second orders

ความแตกต่างที่เห็นได้อย่างชัดเจนระหว่างระบบที่ไม่มีการป้อนกลับ (FIR) และระบบที่มีการป้อนกลับ (IIR) คือระบบที่มีการป้อนกลับมีทั้งโพล (pole) และซีโร (zero) ในขณะที่ระบบที่ไม่มีการป้อนกลับมีซีโรพียงอย่างเดียวการปรากฏโพล ในระบบที่มีการป้อนกลับอาจทำให้เกิดปัญหาเรื่องความเสถียรได้เพราะโพลอาจอยู่นอกวงกลม $z| - 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.6 วงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล (A/D Converter Circuits: ADC)**

วงจร ADC เป็นวงจรที่ใช้ในการแปลงข้อมูลสัญญาณอนาล็อกที่อยู่ในรูปของแรงดันหรือกระแส ซึ่งเป็นสัญญาณอินพุตให้เป็นสัญญาณดิจิตอลที่เป็นสัญญาณเอาท์พุตในรูปของไบนารี่




รูป 2.14 แผนผังของ ADC

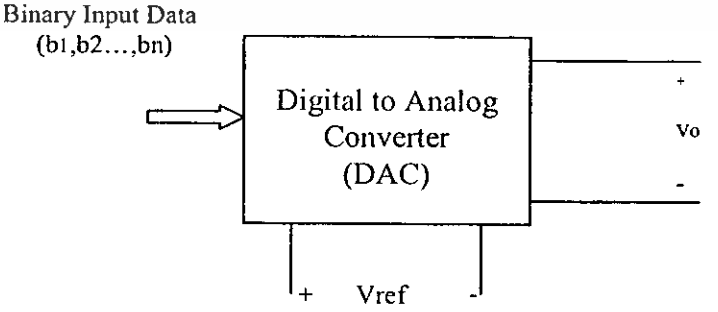
การทำงานพื้นฐานของวงจร ADC

วงจร ADC แบบ Successive approximation

วงจร ADC แบบนี้ได้รับความนิยมมากในการนำมาเป็นวงจร ADC ในการการแปลงข้อมูลขนาด 8 ถึง 16 บิตจะมีความเร็วในการแปลงข้อมูลค่อนข้างเนื่องจากวงอาศัยอัลกอริธึมในการค้นหาไบนารี (Binary Search) แทนการให้เริ่มต้นกระบวนการด้วยการเริ่มนับตั้งแต่ 0 เป็นต้นไปโดยปัจจุบันมี IC สำเร็จรูปที่เป็นวง ADC แบบ Successive approximation ให้เลือกมากมาย เช่น เบอร์ ADC0804-Series ของบริษัท National Semiconductor เป็นต้น

**2.7 วงจรแปลงดิจิตอลเป็นอนาล็อก (D/A Converter Circuits: DAC)**

วงจร DAC เป็นวงจรที่ใช้แปลงข้อมูลดิจิตอลที่อยู่ในรูปแบบไบนารี่ซึ่งเป็นสัญญาณอินพุตให้สัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณเอท์พุตในรูปแรงดันหรือกระแส

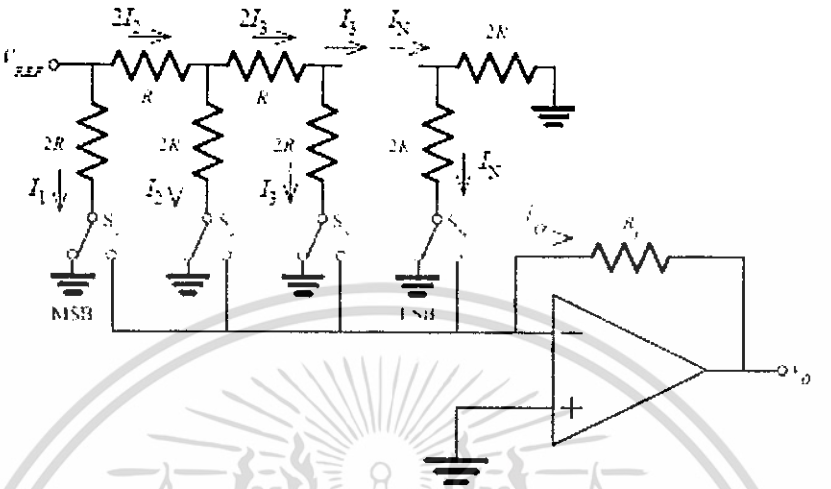



รูป 2.15 แผนผังของ DAC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานพื้นฐานของวงจร DAC

วงจร DAC แบบ R-2R Ladders




รูป 2.16 วงจร DAC แบบ R-2R Ladders

เมื่อทำการวิเคราะห์วงจรก็จะได้ว่า

$$I_1 = 2I_2 = 4I_3 = \ldots = 2^{N-1} I_N \tag{2.20}$$

ซึ่งจะได้

$$i_0 = \frac{V_{REF}}{R}\left(\frac{b_1}{2} + \frac{b_2}{2^2} + \ldots + \frac{b_N}{2^N}\right) \tag{2.21}$$

และ

$$v_0 = -i_0 R_f = -V_{REF}\left(\frac{b_1}{2} + \frac{b_2}{2^2} + \ldots + \frac{b_N}{2^N}\right) \tag{2.22}$$

จากวงจรจะเห็นได้ว่าตัวต้านทานที่ใช้ในวงจรจะมีเพียง 2 ค่าและมีค่าที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้นจึงสามารถแก้ไขปัญหาในการสร้างตัวต้านทานให้มีความเที่ยงตรงได้ไม่ยาก อย่างไรก็ตามกระแสที่ถูกดึงออกจากแหล่งจ่ายแรงดันอ้างอิงนั้นก็ยังคงมีค่าเปลี่ยนแปลงตามค่าอินพุต

ของวงจรอยู่ สามารถแก้ไขได้โดยต่อวงจร Bipolar R-2R Ladders และในปัจจุบันก็มี IC สำเร็จรูปเป็นวงจร DAC แบบ R-2R Ladders ให้เลือกมากมายได้แก่ AD7523/7524(8 bit), AD7530/ 7533/7522 (10 bit), และ AD7521/7531/7541(12 bit) ส่วนที่เป็นวงจร DAC แบบ Bipolar R-2R Ladders มีเบอร์ AD561 (10 bit) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

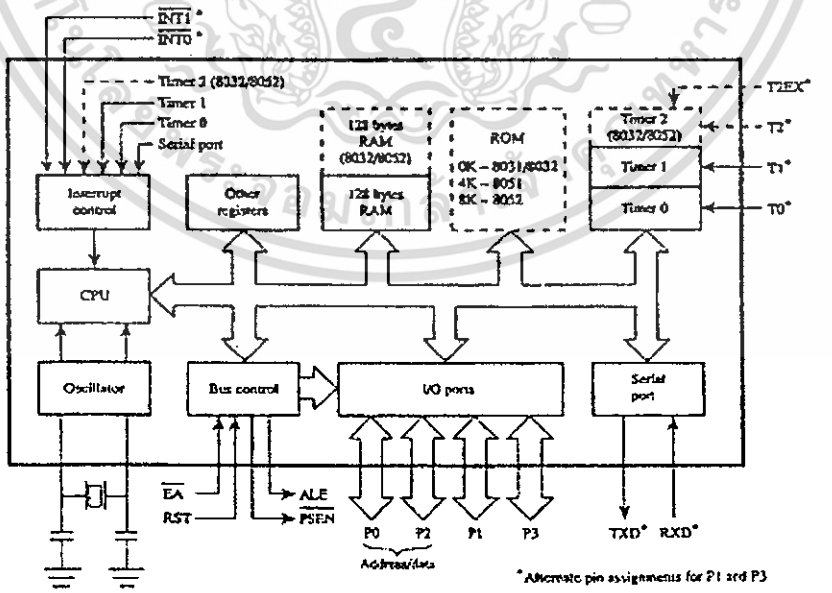
# ไมโครคอนโทรลเลอร์และการติดต่อ $I^2C$

## 3.1 MSC-51

### โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 ถูกพัฒนา ผลิตและจัดจำหน่ายโดยบริษัท Intel ซึ่งต่อมาบริษัท Siemens, Advance Micro Devices, Fujitsu, Phillips และ Atmel ได้ซื้อลิขสิทธิ์ไปพัฒนาต่อ ไมโครคอนโทรลเลอร์นี้สามารถนำไปใช้ในงานควบคุมระบบต่าง ๆ มีลักษณะสมบัติดังนี้

- ตัวประมวลผล (CPU) มีขนาด 8 บิต
- มีหน่วยความจำภายใน 128 ไบต์ ( RAM )
- สามารถประมวลผลข้อมูลในลักษณะบิตได้
- มีตัวจับเวลา/ตัวนับ (Timer/Counter) ขนาด 16 บิต อยู่ภายใน 2 วงจร
- ต่อขยายหน่วยความจำภายนอกโปรแกรม (External Program Memory) ได้ 64 กิโลไบต์
- ต่อขยายหน่วยความจำภายนอกข้อมูล (External Data Memory) ได้ 64 กิโลไบต์
- มีพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต 4 พอร์ต หรือ 32 บิต
- มีพอร์ตอนุกรม 1 พอร์ต สามารถทำงานได้ทั้งแบบประสานเวลา (Synchronous) และแบบ ไม่ประสานเวลา (Asynchronous)- มี 4 แบงก์รีจิสเตอร์ (Register Banks)ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 มีโครงสร้างดังรูป 3.1



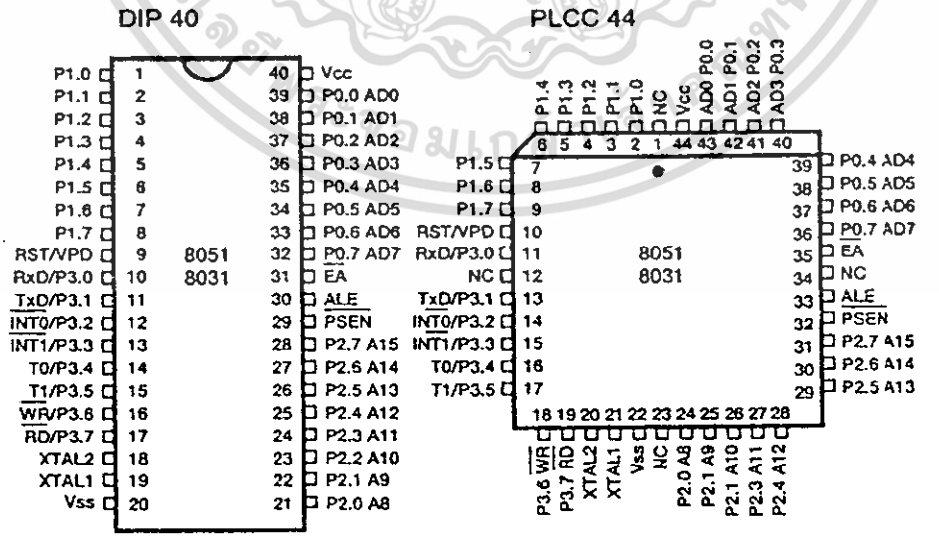

รูปที่ 3.1 แผนภาพกรอบโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างกว้างขวางทั้งในงานอุตสาหกรรมและในงานด้านวิจัยพัฒนา ดังนั้นจึงมีผู้ผลิตหลายบริษัทได้พัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น มีอยู่ด้วยกันหลายเบอร์และมีคุณสมบัติแตกต่างกันดังตารางที่ 3.1

**ตารางที่ 3.1** เปรียบเทียบไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

| Device | ผู้ผลิต | Program Memory | Data Memory | Timer/ Counters | I/O Pins | Speed (MHz) | External Memory | Pin Count |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8031 | Intel | No | 128 | 2 | 32 | 3.5-16 | Yes | 40 |
| 8051 | Intel | 4K ROM | 128 | 2 | 32 | 3.5-16 | Yes | 40 |
| 8751 | Intel | 4K EPROM | 128 | 2 | 32 | 3.5-16 | Yes | 40 |
| 8032 | Intel | No | 256 | 3 | 32 | 3.5-16 | Yes | 40 |
| 89C1051 | Atmel | 1 K Flash | 64 | 1 | 15 | 0-24 | No | 20 |
| 89C2051 | Atmel | 2K Flash | 128 | 2 | 15 | 0-24 | No | 20 |
| 89C51 | Atmel | 4K Flash | 128 | 2 | 32 | 0-24 | Yes | 40 |
| 89C52 | Atmel | 8K Flash | 256 | 3 | 32 | 0-24 | Yes | 40 |
| 89C51RB+ | Philips | 16K Flash | 512 | 3 | 32 | 0-33 | Yes | 40 |
| 89C51RC+ | Philips | 32K Flash | 512 | 3 | 32 | 0-33 | Yes | 40 |
| 89C51RD+ | Philips | 64K Flash | 1024 | 3 | 32 | 0-33 | Yes | 40 |




รูปที่ 3.2 การจัดวางตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.2 การใช้งานขาต่างๆของ MCS51**

**ขา Vcc**

ใช้ต่อกับแหล่งจ่ายไฟ (Vcc) โดยทั่วไป Vcc จะมีค่าเท่ากับ 5 โวลต์ สำหรับบางเบอร์ Vcc จะมีค่าอยู่ในช่วง 2.7 Volt-5.5 Volt เช่นเบอร์ 89C51RD+ ของบริษัท Philips เป็นต้น

ขา Vss ใช้ต่อกับกราวนด์ (Ground) ของระบบ

**ขาพอร์ต 0**

ทำงานได้ 2 ลักษณะ คือทำหน้าที่เป็นบัสเลขที่อยู่/บัสข้อมูล (Address Bus/Data Bus AD0-AD7) สำหรับหน่วยความจำภายนอก การใช้งานต้องต่อทั้ง 8 ขาของพอร์ต 0 กับตัวต้านทานค่า 10 กิโลโอห์ม ไว้กับ Vcc ด้วย เรียกตัวต้านทานนี้ว่า ตัวต้านทานพูลอัพ (Pull-up Resistor) ดังภาพที่ 3.1หรือทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต

**ขาพอร์ต 1**

ทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต ใช้งานได้โดยไม่ต้องต่อตัวต้านทานพูลอัพภายนอก เพราะว่ามีตัวต้านทานพูลอัพอยู่ภายในแล้ว สำหรับการใช้งานพอร์ต 1 เป็นพอร์ตเอาต์พุตควรต่อบัฟเฟอร์ช่วยขยายกระแสด้วย

**ขาพอร์ต 2**

ทำงานงานได้ 2 ลักษณะเช่นเดียวกับพอร์ต 0 คือทำหน้าที่เป็นบัสเลขที่อยู่ (Address Bus A8-A15) สำหรับหน่วยความจำภายนอกหรือทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต สำหรับการใช้งานพอร์ต 2 เป็นพอร์ตเอาต์พุตควรต่อบัฟเฟอร์ช่วยขยายกระแสด้วย (ไม่ต้องต่อตัวต้านทานพูลอัพ)

**ขาพอร์ต 3**

ทำงานได้ 2 ลักษณะคือทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต ขณะทำหน้าที่เป็นพอร์ตเอาต์พุตควรต่อบัฟเฟอร์ด้วย นอกจากนี้พอร์ต 3 ยังถูกใช้เป็นขาสัญญาณต่างๆ ดังต่อไปนี้

- P3.0 หรือขา RXD เป็นขาอินพุตรับข้อมูลแบบอนุกรม
- P3.1 หรือขา TXD เป็นขาเอาต์พุตส่งข้อมูลแบบอนุกรม
- P3.2 หรือขา INT0 เป็นขาอินพุตรับสัญญาณขัดจังหวะ 0 (Interrupt)
- P3.3 หรือขา INT1 เป็นขาอินพุตรับสัญญาณขัดจังหวะ 1
- P3.4 หรือขา T0 เป็นขาอินพุตรับสัญญาณสำหรับตัวจับเวลา/ตัวนับ 0
- P3.5 หรือขา T1 เป็นขาอินพุตรับสัญญาณสำหรับตัวจับเวลา/ตัวนับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- P3.6 หรือขา WR เป็นขาเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำข้อมูลภายนอก หรือเขียนข้อมูลไปยังพอร์ตที่ขยายเพิ่ม ซึ่งอยู่ในช่วงเลขที่อยู่ของหน่วยความจำ (Memory Map I/O)]
- P3.7 หรือขา RD เป็นขาเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณอ่านข้อมูลลงหน่วยความจำภายนอกหรืออ่านข้อมูลจากพอร์ตที่ขยายเพิ่ม ซึ่งอยู่ในช่วงเลขที่อยู่ของหน่วยความจำ (Memory Map I/O)

**ขารีเซต (Reset)**

เป็นขาอินพุต ใช้สำหรับรีเซต (Reset) ไมโครคอนโทรลเลอร์ ขณะทำการรีเซตขานี้ต้องมีลอจิกเป็น "1" อย่างน้อย 2 รอบของเครื่อง (Machine Cycle)

**ขา ALE (Address Latch Enable)**

ALE เป็นขาเอาต์พุต ใช้แยกบัสเลขที่อยู่กับบัสข้อมูล (AD0-AD7) ของพอร์ต 0 ให้อิสระต่อกัน โดยต่อขา ALE กับขาแลตช์ของไอซี 74LS373 ในขณะทำงานถ้าขา ALE ส่งลอจิก "1" พอร์ต 0 จะเป็นบัสเลขที่อยู่ (A0-A7) และเมื่อขา ALE ส่งลอจิก "0" พอร์ต 0 จะเป็นบัสข้อมูล (D0-D7) (ALE : "1" Address , ALE : "0" Data)

**ขา PSEN (Program Store Enable)**

ขาPSENเป็นขาเอาต์พุต จะส่งลอจิก 0 เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก โดยปกติจะต่อขาPSEN กับขา OE (Output Enable) ของหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (EPROM)

**ขา EA (External Access)**

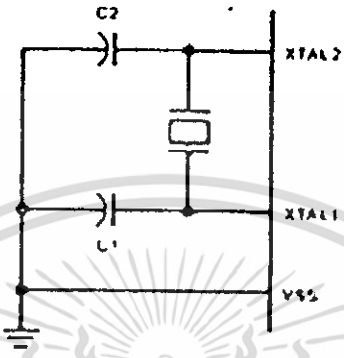
ขา EA เป็นขาอินพุต ใช้เลือกหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (External Program Memory) หรือภายใน (Internal Program Memory) กล่าวคือถ้าป้อนลอจิกเป็น "0" เพื่อเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก หรือถ้าป้อนลอจิกเป็น "1" เพื่อเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายใน ถ้าเป็นเบอร์ 8031/8032 ขา EA จะเป็น "0" เสมอ เพราะไม่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน

**ขา XTAL1 และ XTAL2**

เป็นขาสัญญาณที่ใช้สร้างสัญญาณนาฬิกา โดยปกติภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาอยู่แล้ว เพียงต่อคริสตอล (Crystal) ดังภาพที่ 3.3 ก็สามารถสร้างสัญญาณนาฬิกาได้ แต่ถ้าต้องการสร้างสัญญาณนาฬิกาจากวงจรภายนอกก็สามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกเข้าที่ขาสัญญาณ XTAL1 ก็ได้ส่วนขาสัญญาณ XTAL2 จะมีสัญญาณตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

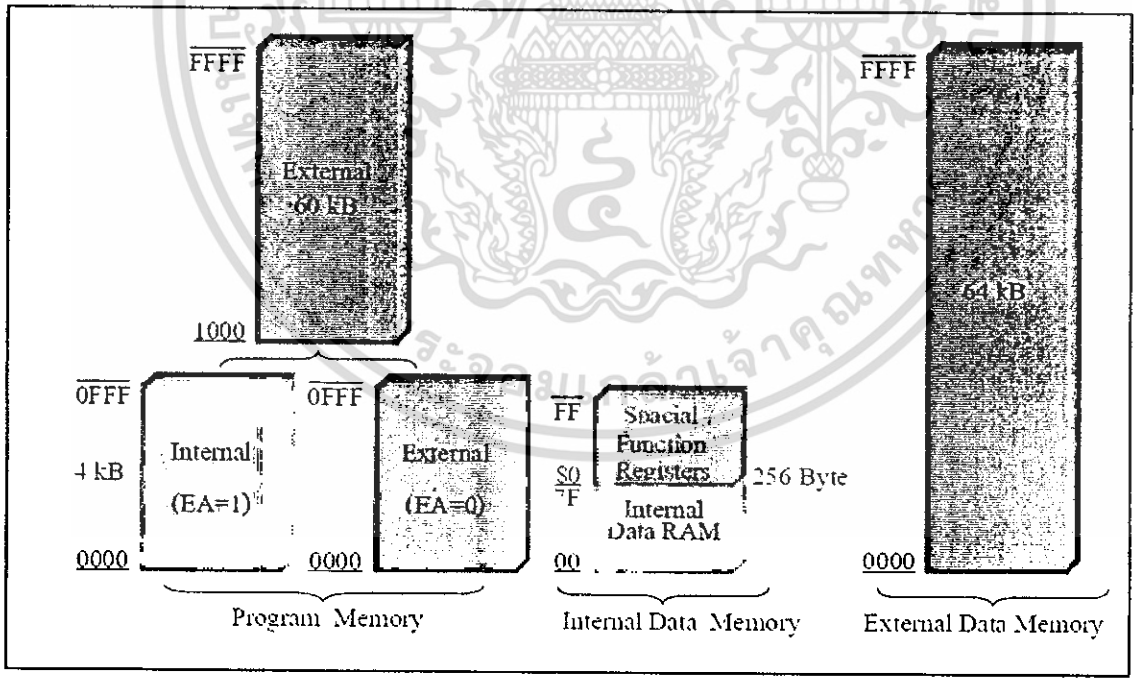
ข้ามกับ XTAL1 ทั้งนี้เนื่องจากที่ขา XTAL1 และ XTAL2 มีนอตเกต (Not Gate) ต่ออยู่ที่ภายในโดยที่ขา XTAL1 จะเป็นอินพุตของนอตเกต ส่วนที่ขา XTAL2 จะเป็นเอาต์พุตของนอตเกต




รูปที่3.3 การต่อคริสตอล (Crytal) เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051

**3.3 โครงสร้างหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051**

ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 มีโครงสร้างหน่วยความจำแสดงดังรูป 3.4




รูป 3.4 โครงสร้างหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.3.1 หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory)**

ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 สามารถต่อหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์รวมกันทั้งภายในและภายนอก โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 จะส่งสัญญาณลอจิก 0 ออกที่ขา PSEN เพื่อติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก หน่วยความจำโปรแกรมนี้อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า "Code Memory"

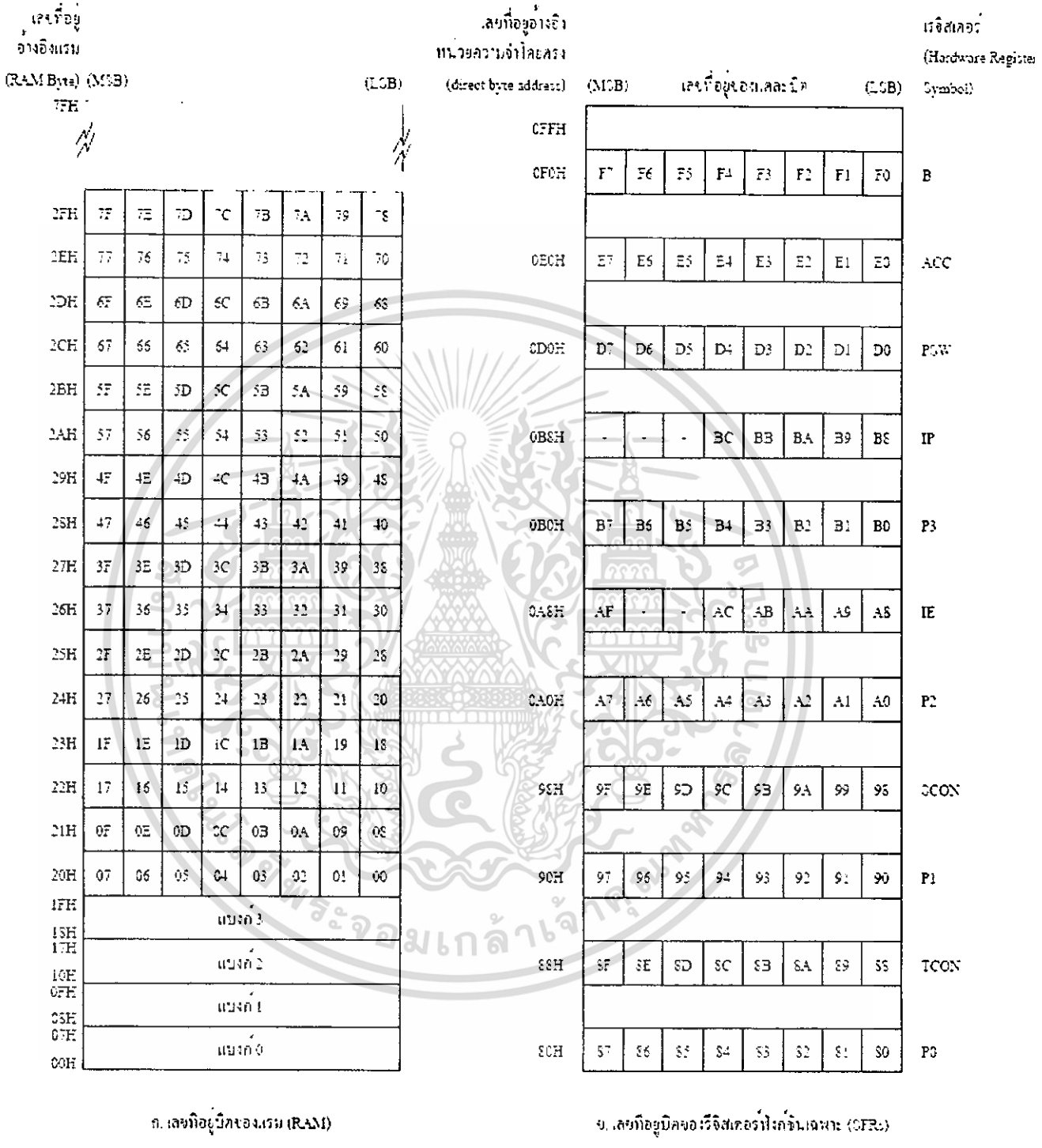
**3.3.2 หน่วยความจำข้อมูลภายนอก (External Data Memory)**

ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 สามารถต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ในการติดต่อจะใช้สัญญาณ RD เพื่ออ่านและใช้สัญญาณ WR เพื่อเขียนหน่วยความจำ โดยสัญญาณทั้งสองนี้จะทำงานที่ลอจิก "0" ถ้าไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 มีการขยายพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตเพิ่ม ซึ่งมีเลขที่อยู่ในช่วงเลขที่อยู่ของหน่วยความจำ (Memory-Map I/O) จึงต้องใช้พื้นที่บางส่วนของหน่วยความจำข้อมูลภายนอก (ภาพที่ 3.4) มาใช้เป็นเลขที่อยู่ของพอร์ต

**3.3.3 หน่วยความจำข้อมูลภายใน (Internal Data Memory)**

โครงสร้างดังภาพที่ 3.4 แบงก์รีจิสเตอร์อยู่ที่เลขที่อยู่ 00H-1FH แบ่งออกเป็น 4 แบงก์คือ แบงก์ 0 – แบงก์ 3 โดยทั้ง 4 แบงก์นี้จะใช้ชื่อเหมือนกันคือ R0-R7 การใช้งานแบงก์รีจิสเตอร์นี้จะใช้งานได้ทีละแบงก์เท่านั้น ในการเลือกใช้แบงก์รีจิสเตอร์สามารถเลือกได้ที่บิต RS0 และบิต RS1 ซึ่งอยู่ในรีจิสเตอร์ PSW ถ้าไม่มีการเลือกใด ๆ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเลือกใช้แบงก์ 0 โดยอัตโนมัติ รีจิสเตอร์ R0-R7 นี้จะใช้เก็บข้อมูล แต่รีจิสเตอร์ R0 และ R1 มีคุณสมบัติพิเศษกว่ารีจิสเตอร์ตัวอื่นคือสามารถนำไปใช้ชี้เลขที่อยู่หน่วยความจำข้อมูลได้ Bit-addressable อยู่ในช่วงเลขที่อยู่ 20H-2FH เป็นกลุ่มรีจิสเตอร์ที่สามารถใช้คำสั่งในระดับบิตได้ สำหรับ General Purpose RAM อยู่ในช่วงเลขที่อยู่ 30H-7FH เป็นเลขที่อยู่ที่สามารถนำไปใช้งานทั่วไป นอกจากนี้ยังใช้พื้นที่หน่วยความจำในเลขที่อยู่นี้มาใช้เป็นพื้นที่ของตัวชี้สแตก (Stack Pointer : SP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูป 3.5 การจัดหน่วยความจำภายในแรมไมโครคอนโทรลเลอร์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รีจิสเตอร์ฟังก์ชันเฉพาะ (Special Function Registers: SFRs)**

อยู่ที่เลขที่อยู่ 80H-FFH ใช้ทำหน้าที่เฉพาะดังต่อไปนี้

**P0 (80H)** เป็นรีจิสเตอร์สำหรับชี้เลขที่อยู่พอร์ต 0

**SP (81H)** เป็นรีจิสเตอร์สำหรับชี้หน่วยความนำสแตก (Stack)

**DPL (82H)** เป็นรีจิสเตอร์ 8 บิตล่างของรีจิสเตอร์ DPTR

**DPH (83H)** เป็นรีจิสเตอร์ 8 บิตบนของรีจิสเตอร์ DPTR การใช้รีจิสเตอร์ DPL และDPH นั้นจะใช้ชี้เลขที่อยู่ของหน่วยความจำทั้งภายนอกและภายใน โดยการนำรีจิสเตอร์ทั้งสองตัวนี้มาประกอบกันเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต และใช้ชื่อว่า รีจิสเตอร์ DPTR

**PCON (87H)** Power Control Register ใช้หยุดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยจะหยุดจ่ายสัญญาณนาฬิกาหรือควบคุมการใช้กำลังไฟฟ้าของไมโครคอนโทรลเลอร์

**TCON (88H)** Timer/Counter Control Register เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของตัวจับเวลา/ตัวนับ

**TMOD (89H)** Timer/Counter Mode Control Register เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้กำหนดแบบวิธี (Mode) การทำงานของตัวจับเวลา/ตัวนับ

**TL0, TH0, TL1, TH1 (8AH-8DH)** เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้เก็บค่าที่ตั้งให้กับ ตัวจับเวลา/ตัวนับ 0 และ ตัวจับเวลา/ตัวนับ 1

**P1 (90H)** เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ชี้เลขที่อยู่พอร์ต 1

**SCON (98H)** Serial Port Control เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม

**SBUF (99H)** Serial Port Buffer เป็นรีจิสเตอร์พักข้อมูลที่เข้า/ออกทางพอร์ตอนุกรม

**P2 (A0H)** เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ชี้เลขที่อยู่พอร์ต 2

**IE (A8H)** Interrupt Enable เป็นรีจิสเตอร์ที่ต้องเซตเพื่อยอมให้มีการขัดจังหวะ

**P3 (B0H)** เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ชี้เลขที่อยู่พอร์ต 3

**IP (B8H)** Interrupt Priority เป็นรีจิสเตอร์สำหรับจัดลำดับความสำคัญของสัญญาณขัดจังหวะ ในกรณีที่เกิดการขัดจังหวะซ้อนกัน

**PSW (D0H)** Program Status Word เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้เก็บค่าตัวบ่งชี้ (Flag) ต่าง ๆ เช่น ตัวบ่งชี้การทด (Carry Flag, Auxiliary Carry Flag), ตัวบ่งชี้ศูนย์ (Zero Flag), ตัวบ่งชี้การล้น (Overflow Flag), บิตภาวะคู่หรือคี่ (Parity Bit) นอกจากนี้ยังมีบิต RS0 และ RS1 สำหรับเลือกแบงก์รีจิสเตอร์

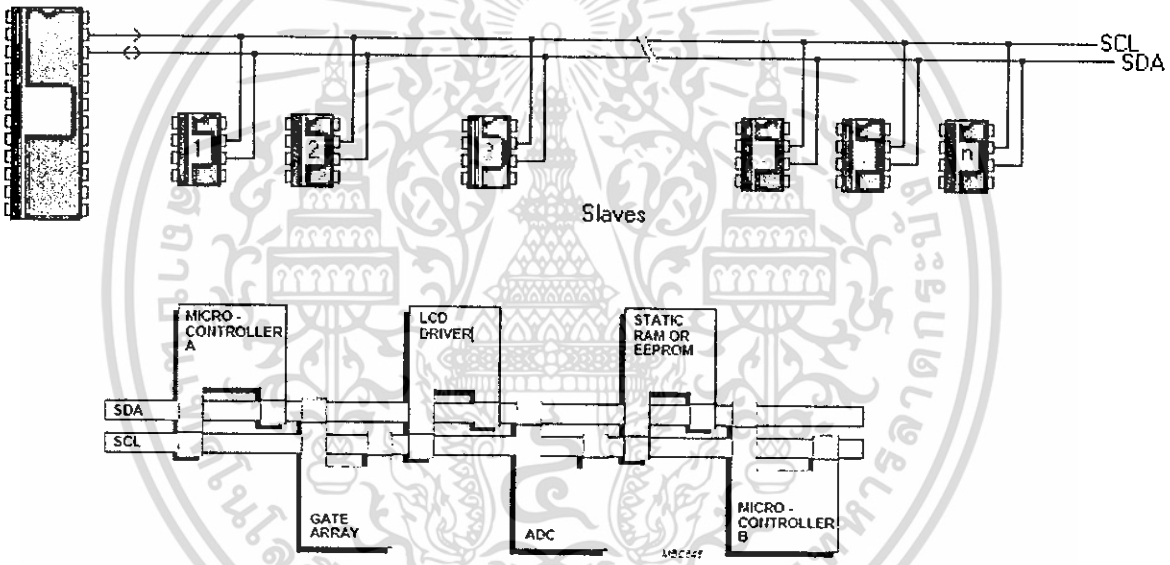
**ACC (E0H)** Accumulator เป็น รีจิสเตอร์หลักที่ใช้ในการประมวลข้อมูล

**B (F0H)** เป็นรีจิสเตอร์ใช้สำหรับการช่วยการประมวลข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การติดต่อ $I^2C$

$I^2C$ ย่อมาจาก Inter-IC Communication หมายถึงการติดต่อระหว่างไอซี โดยบัส $I^2C$ ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยบริษัทฟิลิปส์ (Plilips) ด้วยจุดมุ่งหมายหลักคือ ต้องการให้ IC หรือโมดูลติดต่อ สั่งงาน และควบคุมภายได้สายสัญญาณเพียงสองสัญญาณ คือสายข้อมูล อีกเส้นหนึ่งคือสาย สัญญาณนาฬิกาที่ใช้กำหนดจังหวะการทำงาน การต่ออุปกรณ์ร่วมบนบัส $I^2C$ ทำได้ง่ายมากเพียงต่อสายข้อมูลและสายสัญญาณนาฬิกาของอุปกรณ์แต่ละตัวขนานหรือต่อพ่วงกันไป ส่วนการกำหนดแอดเดรสหรือตำแหน่งสำหรับอุปกรณ์แต่ละตัว จะใช้รหัสข้อมูลและกำหนดสภาวะลอจิกที่ขาแอดดเดรสของอุปกรณ์แต่ละตัว




รูปที่ 3.6 แผนผังการเชื่อมต่อระบบบัส $I^2C$

สายข้อมูลบนบัส $I^2C$ มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าสายข้อมูลอนุกรมหรือ SDA (Serial Interface Data) ส่วนสาย สัญญาณนาฬิกามีชื่อเรียกว่า สายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมหรือ SCL (Serial Clock Line)

จากรูป 3.6 แสดงผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆบนบัส $I^2C$ ซึ่งเป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อหลากหลาย เช่น ไอซีขยายพอร์ตอินพุท ไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล และแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก เป็นต้น

#### 3.4.1 คุณสมบัติทั่วไปเกี่ยวกับ $I^2C$

สาย SDA และ SCL เป็นสายสัญญาณ 2 ทิศทาง (Bi-directional line) ต้องมีการต่อตัวต้านทานพูลอัพตลอดเวลา อัตราการถ่ายทอดข้อมูลบนบัส $I^2C$ สูงถึง 100 Kbit/sec ในโหมดปกติ (standard

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mode) และสูงถึง 400 Kbit/sec ในโหมดความเร็วสูง (fash mode) อุปกรณ์ที่ต่อร่วมบนบัส $I^2C$ จะต้องมีค่าความจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างสองสาย SDA และ SCL ไม่เกิน 400pF การเข้าถึงข้อมูลในบัส $I^2C$ ใช้ข้อมูลการเข้าถึง 2 ค่า คือ 7 บิต หรือ 10 บิต

### 3.4.2 หลักการของบัส $I^2C$

การกำหนดรูปแบบของการติดต่อบนบัส หรือเรียกว่า โปรโตคอล (protocol) เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบว่าขณะนี้อุปกรณ์ติดต่ออยู่ และอุปกรณ์ตัวใดเป็นตัวรับเป็นตัวส่ง ต่อไปนี้จะอธิบายลักษณะหน้าที่ และนิยามของอุปกรณ์ที่อยู่บนบัส $I^2C$ เพื่อเป็นข้อตกลงก่อนที่จะอธิบายการทำงานของระบบ $I^2C$ ต่อไป

อุปกรณ์ที่สร้างข้อมูลหรือส่งข้อมูล เรียกว่า "ตัวส่ง (Transmitter)"

อุปกรณ์ที่รับข้อมูลเรียกว่า "ตัวรับ (Receiver)" อุปกรณ์บน $I^2C$ สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับและตัวส่ง บางอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นตัวรับอย่างเดียว

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการติดต่อ $I^2C$ เรียกว่า "มาสเตอร์ (master)"

อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรืออุปกรณ์ที่ต่อพ่วงไปบนบัส $I^2C$ เรียกว่า "สเลฟ (slave)"

ข้อกำหนอ 2 ประการสำหรับ $I^2C$ คือ

1). การถ่ายทอดข้อมูลเกิดขึ้นได้เมื่อบัสว่างเท่านั้น

2). ในระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล เมื่อใดก็ตามที่วาย SCL มีสถานะเป็น ลกจิกสูง สายข้อมูลต้องรักษาข้อมูลไว้ อย่าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเด็ดขาด

### 3.4.3 สภาวะที่เกิดขึ้นบนบัส $I^2C$

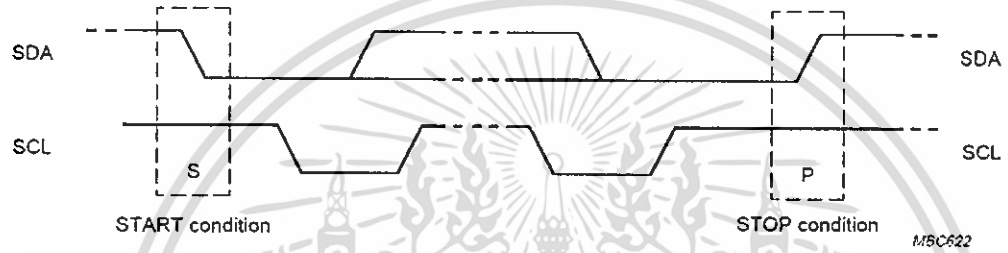
มีด้วยกัน 5 สภาวะคือ

1. <u>บัสว่าง (Bus not busy)</u> สภาวะนี้เกิดขึ้นเมื่อสถานะลอจิกสูงทั้งคู่ นั่นหมายความว่าบัสการถ่ายทอดข้อมูลเริ่มขึ้นได้
2. <u>เริ่มต้นการถ่ายข้อมูล (start data transfer)</u> เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากสูงไปต่ำในขณะที่สาย SCL มีลอจิกสูง เรียกสถานะนี้ว่า *สภาวะเริ่มต้น(START)*
3. <u>หยุดการถ่ายทอดข้อมูล (stop data transfer)</u> เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงจากลอจิกต่ำไปสูงในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสถานะนี้ว่า *สภาวะหยุด(STOP)*
4. <u>การดำรงอยู่บนบัส (data valid)</u> สภาวะนี้เกดถัดจากสภาวะเริ่มต้นโดยสภาวะจะเกิดลอจิกขึ้นที่สาย SDA คือข้อมูลที่ต้องการถ่ายทอด เมื่อสาย SCL เป็นลอจิกสูงสถานะสาย SDA ต้องคงที่เพื่อให้อุปกรณ์นั้นรับรู้ข้อมูลข้อมูลอ่านเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในขณะที่สาย SDA เป็นลอจิก

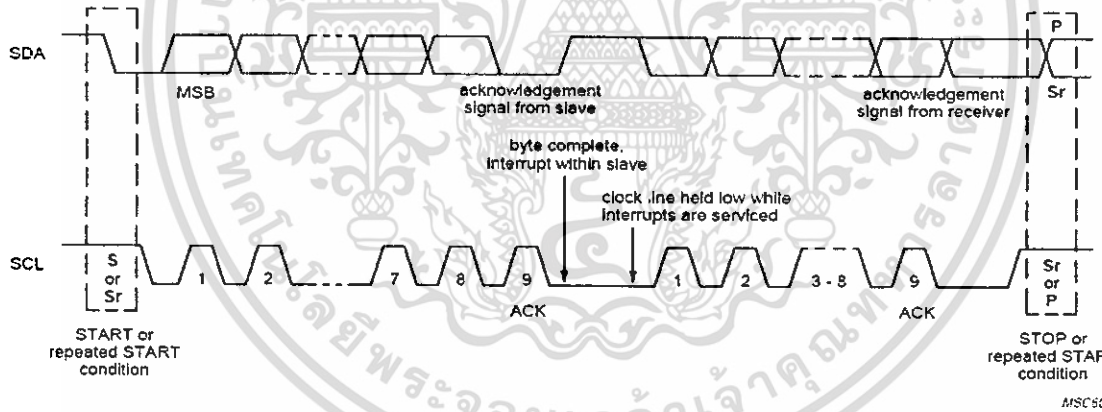
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำ หากเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างขณะที่สาย SCL เป็นลอจิกสูงอยู่อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการถ่ายข้อมูลอาจจะแปลความหมายเป็น สภาวะหยุด หรือ สภาวะเริ่มได้

5. การรับรู้ข้อมูล(acknowledge) เกิดขึ้นหลังจากการที่ถ่ายทอดข้อมูลจากตัวส่งมายังตัวรับเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์โดยจะทำการส่งข้อมูลมา 1 บิต เรียกว่าบิตรับรู้ (acknowledge bit) มีสถานะเป็นลอจิกสูงหลังจากส่งข้อมูลมาครบถ้วน




รูปที่ 3.7 แสดงสภาวะเริ่มต้นและสภาวะหยุด




รูปที่ 3.8 การส่งข้อมูล บนบัส $I^2C$

### 3.4.4 การทำงานบนบัส $I^2C$

ก่อนที่จะเริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูลทั้งหมดระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดต่ออยู่บนบัสต้องมีการอ้างถึงเสียก่อน โดยการอ้างถึงอุปกรณ์บนบัส $I^2C$ นั้นจะใช้การอ้างถึงแบบ 7 บิตและ 10 บิตในกรณีที่มีอุปกรณ์อยู่บนบัสไม่มากใช้การอ้างถึงแบบ 7 บิตก็เพียงพอต่อเมื่อมีอุปกรณ์มากกว่า127 แอดเดรส จะใช้การอ้างถึงแบบ 10 บิตหลังจากติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัวได้เรียนร้อยแล้ว ก็เริ่มการถ่ายทอดข้อมูลต่อไป

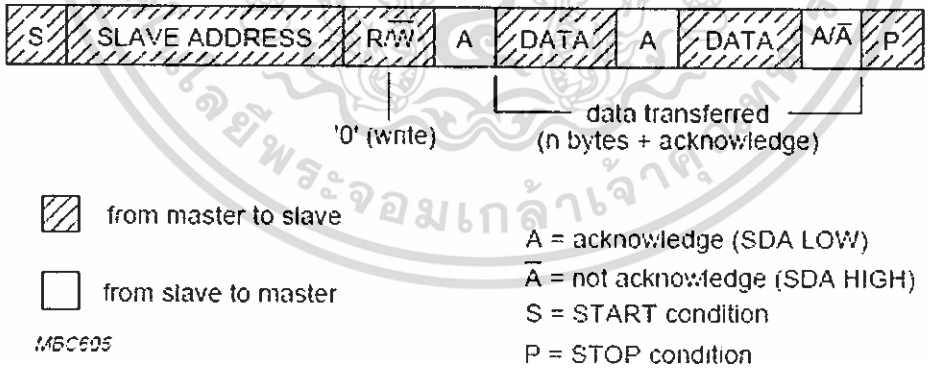
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอ้างถึงข้อมูลแบบ 7 บิต(7-bit addressing)

ข้อมูลไบต์แรกที่เกิดขึ้นหลังจากสภาวะข้อมูลที่เกิดขึ้น คือข้อมูลที่ใช้ถึงอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อหรือข้อมูลแอดเดรส โดยมีรูปแบบแสดงในรูปที่ 3.8 ใน 7 บิตรวมทั้ง 7 บิตMSB ด้วยข้อมูลแอดเดรสของอุปกรณ์สเลฟที่ติดต่อ โดยแบ่งเป็น บิตกำหนอแอดเดรสคงที่ (Fix address bit) จำนวน 4 บิต ซึ่งข้อมูลอุปกรณ์แต่ละตัวจะถูกกำหนดมาจากผู้ผลิตไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ ถัดมาอีก 3 บิตเป็นบิตกำหนดกำหนด แอดเดรสที่สามารถโปรแกรมได้ (programmable address bit) โดยผู้ใช้งานจะต้องกำหนดสถานะลอจิกให้กับขา A0-A2 ของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อบนบัส $I^2C$ ส่วนในบิต LSB เป็นบิตที่ใช้กำหนดการอ่านหรือเขียนข้อมูลของสเลฟตัวนั้นๆหากบิต LSB เป็น "0" หมายถึงต้องการเขียนข้อมูลไปยังอุปกรณ์นั้นถ้าเป็น "1" จะเป็นการอ่านข้อมมูลเสลฟ

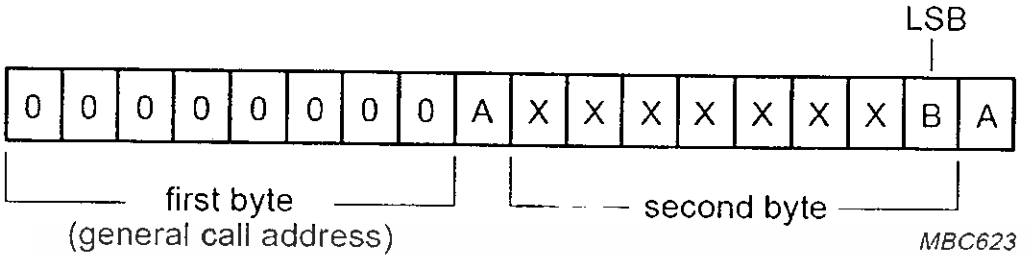
ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ *ข้อมูลควบคุม (Control byte)* ในอุปกรณ์แต่ละตัวมีการกำหนดข้อมูลที่ควบคุมที่แตกต่างกันไป ยกตัวอย่าง ไอซีขยายพอร์ตมีข้อมูลควบคุมที่ใช้กำหนดว่า บิตใดเป็นอินพุตบิตใดเป็นเอาต์พุต ในขณะที่ ไอซี ADC/DAC ต้องการข้อมูลควบคุมเพื่อกำหนดให้ทำงานเป็นวงจร ADC หรือ DAC เป็นต้น

ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ *ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดจริง (data)* หลังจากที่มีการถ่ายทอดข้อมูลในแต่ละไบต์อุปกรณ์สเลฟที่ได้รับสัญญาณรับรู้การติดต่อกลับมาด้วยทุกครั้งเพื่อให้กระบวนการถ่ายทอดข้อมูลสามรถดำเนินต่อไปได้ แสดงดังรูปแบบข้อมูลอนุกรมที่เกิดขึ้นในการติดต่อบนบัส $I^2C$ การอ้างถึงแบบ 7 บิต




รูปที่ 3.8 การอ้างถึงข้อมูล 7 บิต

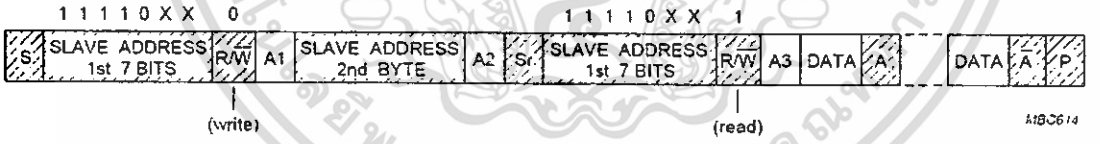
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.9 รูปแบบทั่วไปของการเรียกใช้งาน address

<u>การอ้างถึงแบบ 10 บิต</u>

ในการอ้างถึงแบบนี้ยังคงใช้รูปแบบเหมือนกับ 7 บิตแต่จะมีข้อมูลที่เพิ่มเติมขึ้นมาเล็กน้อยโดย ข้อมูลไบต์แรกหลังเกิดสภาวะเริ่มต้น ต้องกำหนดให้ 5 บิตข้อมูลเป็น 11110 ส่วนอีก 2 บิตต่อมา แอดเดรสอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อในบิต LSB ของข้อมูลไบต์แรกยังเป็นการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือ เขียนข้อมูลอุปกรณ์สเลฟ ที่ต้องการติดต่อด้วยข้อมูลไบต์ถัดไปจึงเป็นข้อมูลแอดเดรสไบต์ที่ 2 ของ อุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อด้วยข้อมูลไบต์ถัดไปจึงเป็นข้อมูลควบคุม ข้อมูลหลังจากนั้นจึงเป็นข้อมูลที่ ต้องการติดต่อ




รูปที่ 3.10 การอ้างถึงข้อมูล 10บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# หลักการสร้างและการออกแบบ

## 4.1 การสร้างและออกแบบ

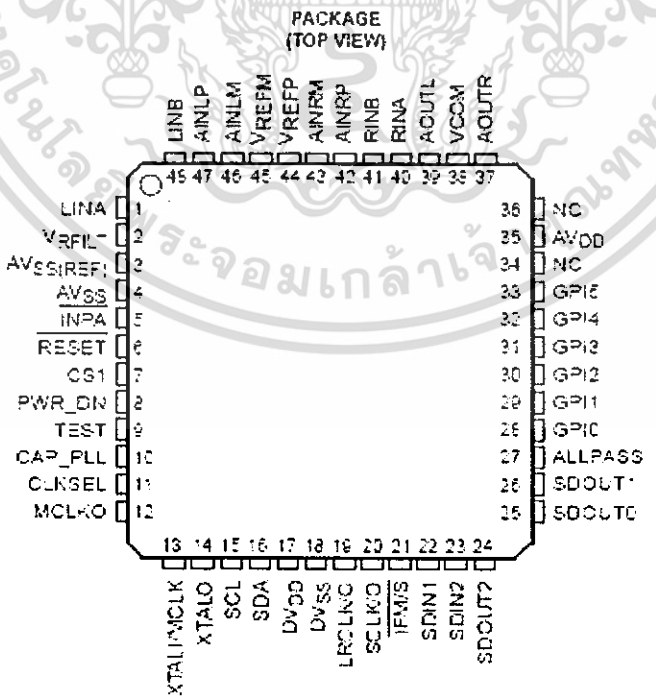
รูปที่ 4.1 แสดงหลักการเบื้องต้นของการออกแบบดิจิตอลอิควอไลเซอร์

หลักการเบื้องต้นของการทำงานของดิจิตอลอิควอไลเซอร์ คือการนำสัญญาณเสียงต่างๆซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อก (Analog signal) ที่ได้จากแหล่งกำเนิดสัญญาณเสียงต่างๆ ที่เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า มาเข้าบล็อกไดอะแกรมของ DSP (Digital Signal Processing) ในบล็อกนี้จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (ADC) เพื่อประมวลผลทางสัญญาณเชิงดิจิตอลเมื่อทำการประมวลผลเรียบร้อยแล้วจะแปลงสัญญาณดิจิตอลที่ได้ทำการประมวลผลเรียบร้อยแล้วมาแปลงเป็นสัญญาณอนาล็อก (DAC) แล้วนำสัญญาณที่ทำการประมวลผลไปใช้งาน ในโครงงานนี้จะใช้ IC TAS3004 เนื่องจากเป็น IC ที่ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลทางสัญญาณดิจิตอล (DSP) มีคุณสมบัติดังนี้

- Programmable seven-band parametric equalization
- Programmable digital volume control
- Programmable digital bass and treble control
- Programmable dynamic range compression/expansion (DRCE)
- Programmable loudness contour/dynamic bass control
- Configurable serial port for audio data
- Two input data channels that can be mixed with digital data from the analog-to-digital converter (ADC) of the codec (analog input). These channels are controlled by I2C commands.
- Three output data channels: Left and right data go through equalization; bass, treble, DRCE, and volume to SDOUT1; SDOUT2 mixes left and right data. SDOUT2 operates as a center channel or subwoofer channel. The output of the ADC is available for additional processing

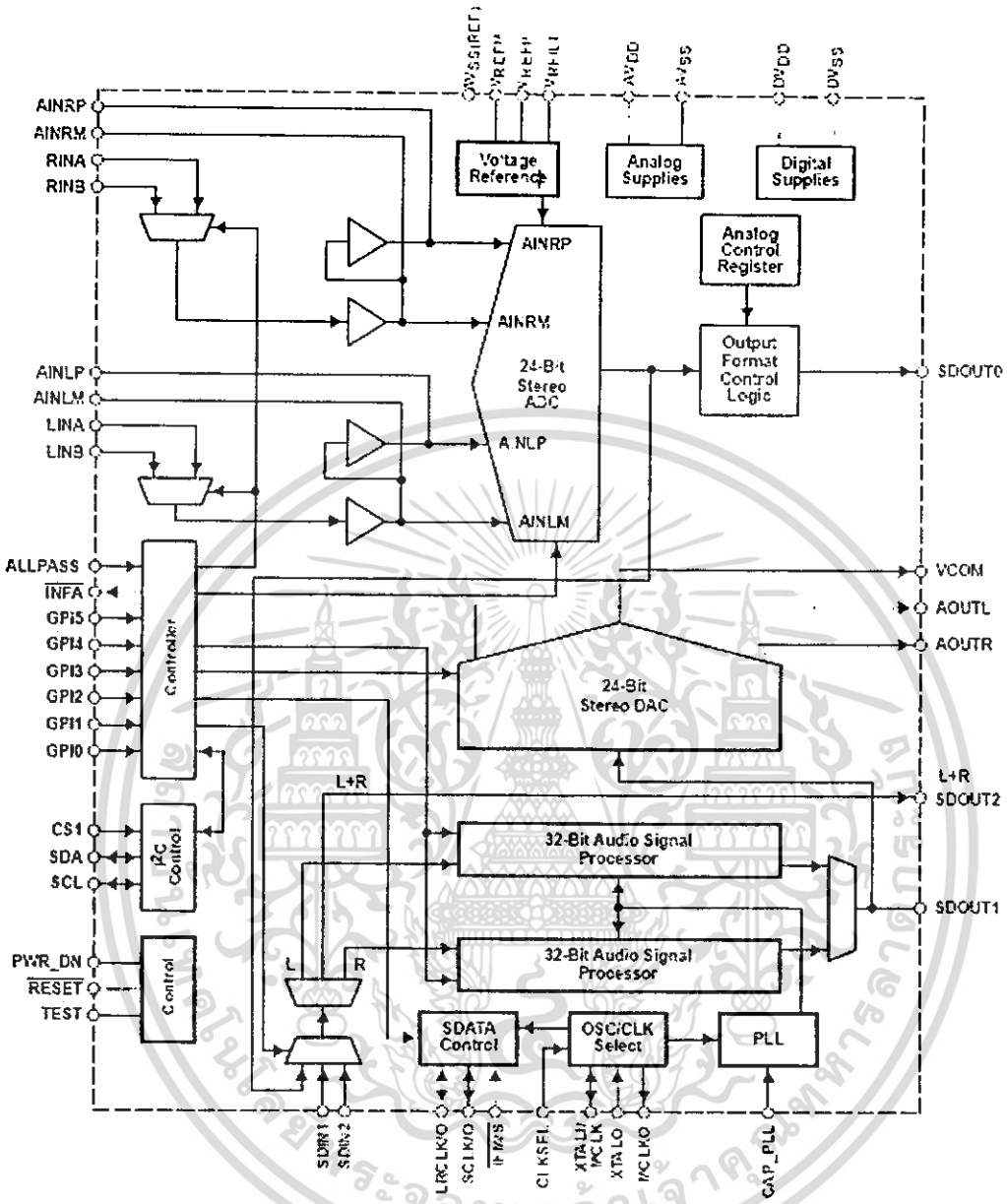
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Capability to configure ADC output to one of two monaural data streams or one stereo data stream
- Capability to digitally mix left and right input channels for a monaural output to facilitate subwoofer operation
- Serial $I^2C$ master/slave port that allows:
  - Downloading of control data to the device externally from the EPROM or an I2C master
  - Controlling other I2C devices
- Two I2C-selectable, single-ended analog input stereo channels
- Equalization bypass mode
- Single 3.3-V power supply
- Powerdown without reloading the coefficients
- Sampling rates: 32 kHz, 44.1 kHz, or 48 kHz
- Master clock frequency, 256fS or 512fS
- Can have crystal input to replace MCLK. Crystal input frequency is 256fS.
- Six GPI terminals for volume, bass, treble up/down control, mute, and selection of equalization filters




รูปที่ 4.2 ลักษณะของโครงสร้างภายนอกและขาการใช้งานต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



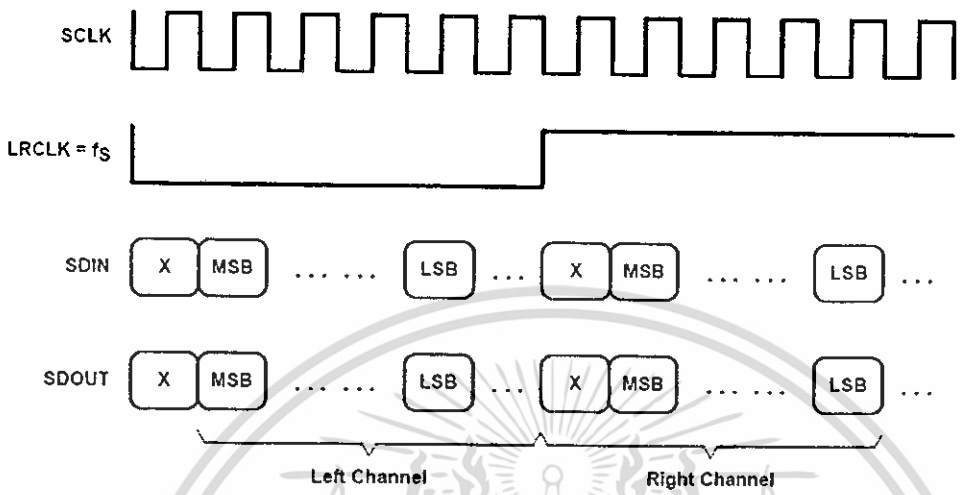

รูปที่ 4.3 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างภายในของ IC TAS3004

จากบล็อกไดอะแกรมโครงสร้างภายในจะเห็นว่าจะประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญ 5 ส่วน คือ

1. พอร์ตสำหรับสัญญาณอนาล็อกอินพุต
2. พอร์ตสำหรับควบคุมการทำงานของ IC
3. พอร์ตเกี่ยวกับสัญญาณดิจิตอล อินพุต
4. พอร์ตสำหรับสัญญาณเอาต์พุต
5. ส่วนของไฟเลี้ยงต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

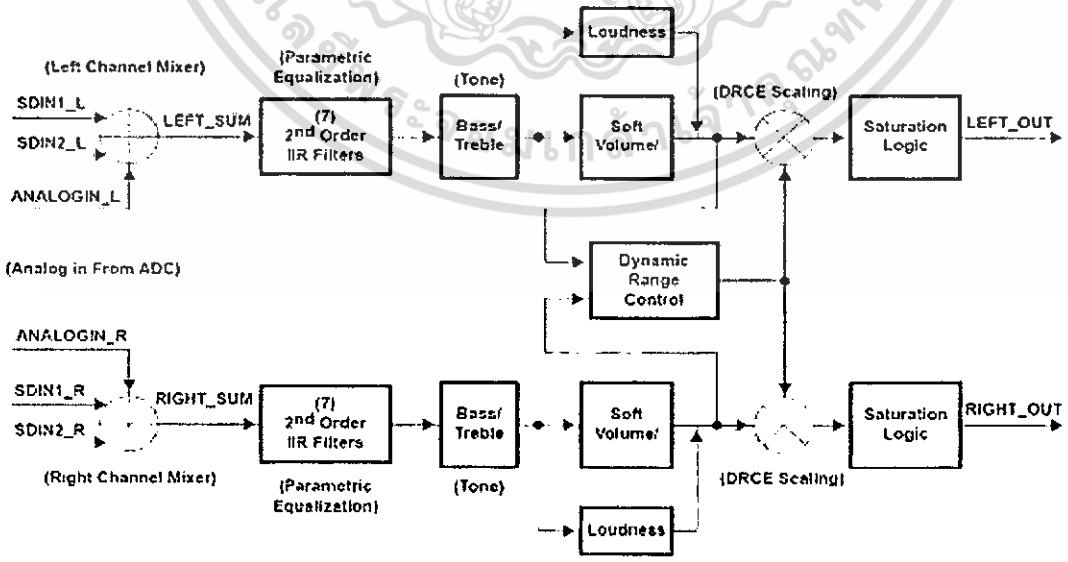
$I^2S$ Serial Interface Format เบื้องต้น




รูปที่ 4.4 แสดงรูปแบบการสื่อสารของ $I^2S$

การสื่อสารแบบ $I^2S$ จะใช้สายสัญญาณสำหรับการสื่อสาร 3 เส้น คือ SCLK, LRCK และ SDIN ซึ่งสัญญาณ SCLKมีหน้าที่สำหรับเลือกข้อมูลแต่ละชุดเข้ามาประมวลผล สัญญาณ LRCLK เป็นสัญญาณสำหรับแยกสัญญาณทางซ้ายและทางขวาซึ่งสัญญาณนี้จะส่งออกมาจาก IC TAS3004 เพื่อนำไปควบคุมอุปกรณ์ Device ต่างๆ แล้วจะได้สัญญาณ SDIN ซึ่งเป็นสัญญาณที่ส่งมาจาก Device นั้นๆ

**Digital Signal Processing Block diagram**

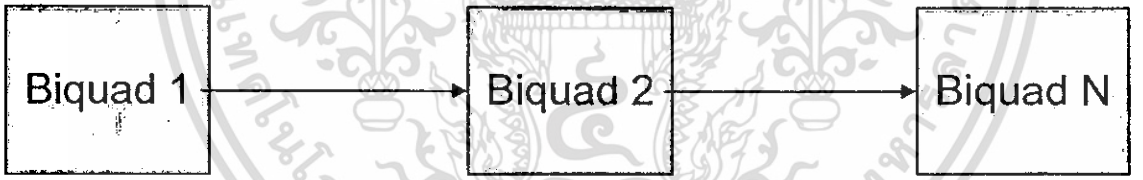



รูปที่ 4.5 รูปแสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของ IC TAS3004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบล็อกไดอะแกรมจะประกอบไปด้วยสัญญาณทางอินพุตทั้งทางซ้ายและขวามีหลักการทำงานที่เหมือนกันสามารถอธิบายได้ดังนี้คือเมื่อมีสัญญาณทางอินพุตเข้ามาซึ่งอินพุตประกอบไปด้วย 3 อินพุตได้แก่ SDIN1, SDIN2 และANALOGIN เข้ามาที่ Mixer เพื่อผสมสัญญาณหรือเลือกสัญญาณอินพุต จะเข้าที่บล็อกของ Parametric Equalizer ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผล DSP ซึ่งสามารถป้อนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อกำหนดการกรองความถี่ได้โดยจะคำนวณจากสมการกรองความถี่ที่ได้กล่าวมา สามรถกำหนดการกรองความถี่ได้ 7 แบบคือกรองได้ 7 ย่านความถี่ แล้วส่งเข้าที่บล็อกของ Tone เพื่อปรับสัญญาณอีกครั้ง แล้วส่งเข้า ที่บล็อก soft volume เพื่อควบคุมการเพิ่มลดระดับเสียงเข้าไปใน DRCE Scaling เพื่อรอการควบคุมจาก Dynamic Range Control จะเห็นว่าสัญญาณแบ่งออกไป 2 ทางคือเข้าที่ DRCE Scaling และเข้าที่ Dynamic Range Control เพื่อจะเอาสัญญาณไปบีบอัดเมื่อสัญญาณนั้นเกินกว่าค่าเกณฑ์ที่ตั้งเอาไว้หรือขยายสัญญาณเมื่อสัญญาณนั้นต่ำกว่าเกณฑ์นั้นๆ จะควบคุมผ่าน DRCE Scaling นี้ ส่วนLoudness จะทำหน้าที่ ขยายเกณฑ์เมื่อมีการเพิ่มระดับเสียงไม่ถึงระดับที่ต้องการซึ่งเมื่อเวลาเปิดเสียงเบา จะทำให้สัญญาณความถี่สูงกับความถี่ต่ำหายไปบางช่วงได้

## 4.2 Biquad Filter




รูป 4.6 แสดงบล็อก Biquad filter

การออกแบบให้กับ Parametric cqualization จะมี Biquad filter อยู่ทั้งหมด 7 อัน โดยสามารถเลือกกำหนดค่าพารามิเตอร์ได้ตามสมการ

$$H(z)=\frac{b_0-b_1\cdot z^{-1}+b_2\cdot z^{-2}}{a_0+a_1\cdot z^{-1}+a_2\cdot z^{-2}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.1 การออกแบบและกำหนดย่านความถี่ของ EQ

โครงงานนี้ได้ออกแบบ EQ แบบดิจิตอลอิควอไลเซอร์โดยใช้ IC TAS3004 เป็นตัวควบคุม ได้ออกแบบอิควอไลเซอร์เป็น 7 ช่วงด้วยกันโยครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 30 Hz – 15 KHz โดยได้แบ่งช่วงต่างๆดังนี้

1 ความถี่กลาง (fc) คือ 50 Hz แบนด์วิท(Bw) คือ 44 Hz

2 ความถี่กลาง (fc) คือ 120 Hz แบนด์วิท(Bw) คือ 106 Hz

3 ความถี่กลาง (fc) คือ 290 Hz แบนด์วิท(Bw) คือ 260 Hz

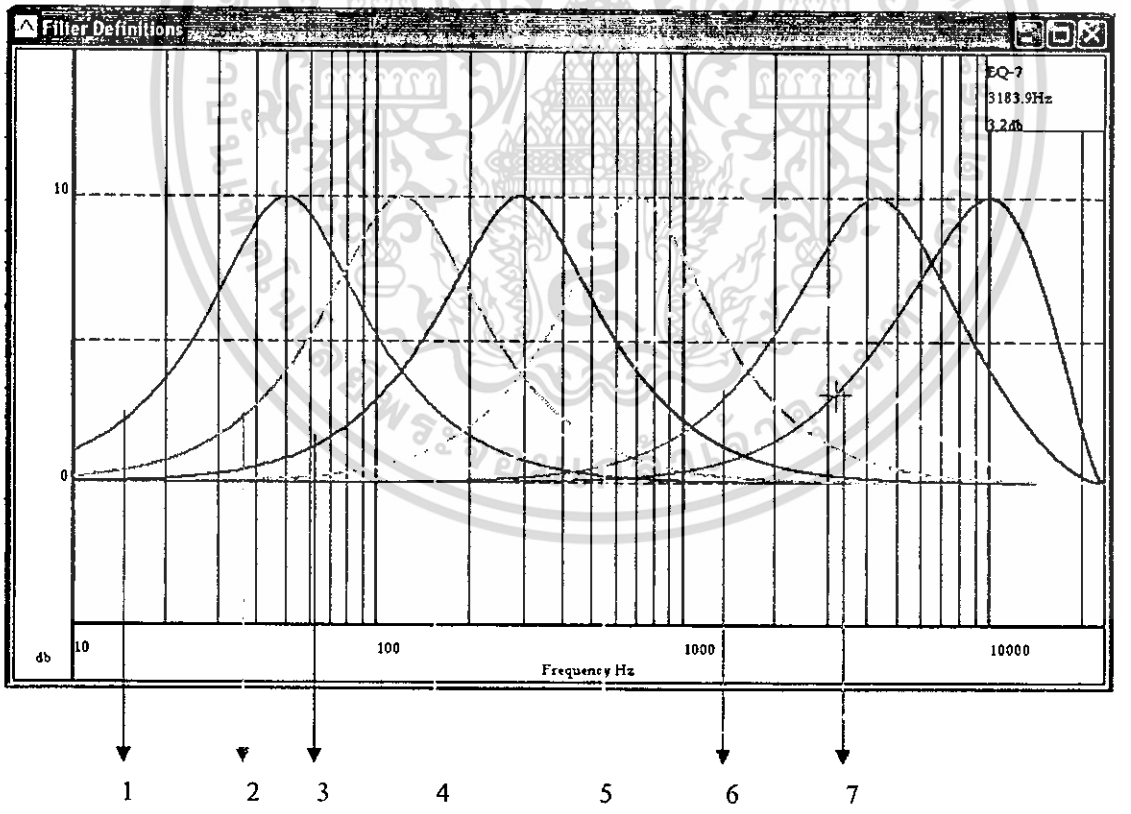
4 ความถี่กลาง (fc) คือ 700 Hz แบนด์วิท(Bw) คือ 600 Hz

5 ความถี่กลาง (fc) คือ 1.7 KHz แบนด์วิท(Bw) คือ 1.7 KHz

6 ความถี่กลาง (fc) คือ 4.3 KHz แบนด์วิท(Bw) คือ 4.1 KHz

7 ความถี่กลาง(fc) คือ 10 KHz แบนด์วิท(Bw) คือ 8.2 KHz

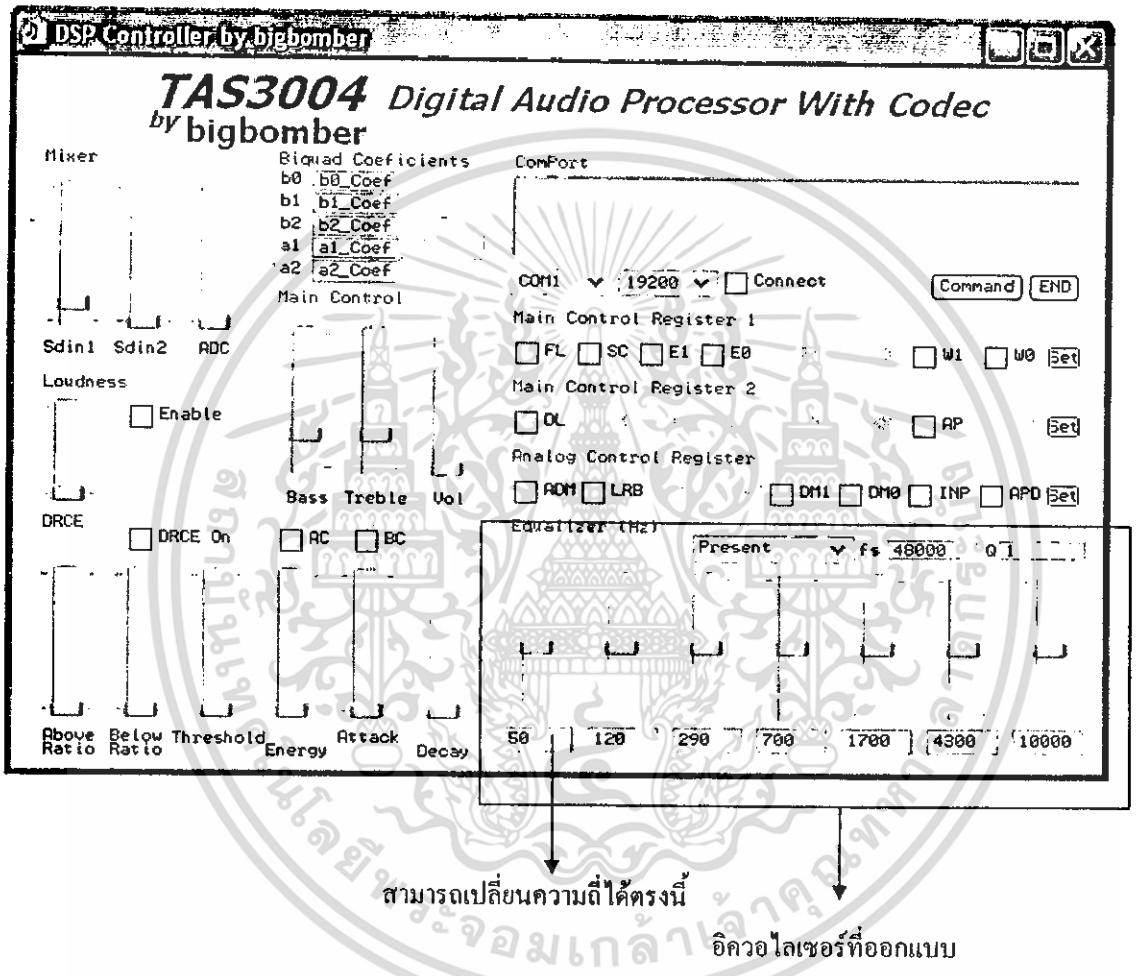
ความถี่ต่างได้ครอบคลุมดังได้แสดงในรูป




รูป 4.7 แสดงช่วงความถี่ทั้ง 7 ช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถปรับอัตราการขยายและการลดทอนได้ในช่วง –10 dB ถึง 10 dB ในการออกแบบกำหนดช่วงทั้ง 7 ช่วง โดยการวาดล่างลงบนกระดาษกราฟ เซมิล็อกก่อนโดยให้มีความถี่ครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 30Hz – 15 KHz ค่า 7 ค่านี้สามารถทำการเปลี่ยนใหม่ได้ตลอดเพียงแค่พิมพ์ ค่าของความถี่ที่เราต้องการลงไป




รูปที่ 4.8 แสดงอิควอไลเซอร์ที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.2.2 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์และนำค่าพารามิเตอร์ไปใช้งาน**

- **การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์**

สมการสำหรับ Biquad , ทรานเฟอร์ฟังก์ชั่น คือ

$$H(z)=\frac{b_0+b_1\cdot z^{-1}+b_2\cdot z^{-2}}{a_0+a_1\cdot z^{-1}+a_2\cdot z^{-2}} \tag{4.1}$$

และเมื่อ ให้ $a_0=1$ แล้วจัดสมการ จะได้

$$H(z)=\frac{(b_0/a_0)+(b_1/a_0)\cdot z^{-1}+(b_2/a_0)\cdot z^{-2}}{1+(a_1/a_0)\cdot z^{-1}-(a_2/a_0)\cdot z^{-2}} \tag{4.2}$$

$$y[n]=\{(b_0/a_0)\cdot x[n]\}+\{(b_1/a_0)\cdot x[n-1]\}-\{(b_2/a_0)\cdot x[n-2]\}-\{(a_1/a_0)\cdot y[n-1]\}-\{(a_2/a_0)\cdot y[n-1]\}$$

*หมายเหตุ $a_0$ ในการหาไม่ได้ เท่ากับ 1 แต่ที่ $a_0$ เท่ากับ 1 เพราะ $a_0/a_0$

ดังนั้นจะมีพารามิเตอร์ที่สำคัญที่เหลือ คือเมื่อเทียบ สมการ (4.1) กับ (4.2)

$$\begin{aligned} B_0 &= b_0/a_0 \\ B_1 &= b_1/a_0 \\ B_2 &= b_2/a_0 \\ A_0 &= 1 \qquad \text{* เพราะ } (a_0/a_0) \\ A_1 &= a_1/a_0 \\ A_2 &= a_2/a_0 \end{aligned} \tag{4.3}$$

เราสามารถออกแบบ วงจรกรองความถี่ต่างๆได้ถ้าทราบค่า $b_0$, $b_1$, $b_2$, $a_0$, $a_1$ และ $a_2$ ค่าเริ่มต้นในการใช้หาค่าเหล่านี้คือ

- $A=\sqrt{10^{(G/20)}}$
- $\omega_c=2\cdot\pi\cdot f_c/f_s$
- $\omega S=\sin(\omega_c)$
- $\omega C=\cos(\omega_c)$
- $\alpha=\omega S/(2\cdot Q)$
- $\beta=\sqrt{A}/Q$

* ค่า G = Gain dB ที่เรากำหนดในการออกแบบ

$f_C$ = ความถี่คัทออฟ หรือความถี่เซนเตอร์ แล้วแต่ในการออกแบบ

$f_S$ = ความถี่ Sampling rate แล้วแต่ Ic แต่ละเบอร์ ในโครงงานนี้ $f_S$ = 48 KHz

$Q$ = $f_c/Bw$

เมื่อเราทราบค่านี้แล้วก็นำไปแทนในสมการของวงจรกรองความถี่ที่ต้องการจะออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการในการออกแบบวงจรกรองความถี่แต่และแบบ

1. **Low Pass Filter**

- $b_0 = (1-\omega C)/2$
- $b_1 = 1-\omega C$
- $b_2 = (1-\omega C)/2$
- $a_0 = 1+\alpha$
- $a_1 = -2\cdot\omega C$
- $a_2 = 1-\alpha$

2. **High Pass Filter**

- $b_0 = (1-\omega C)/2$
- $b_1 = -(1+\omega C)$
- $b_2 = (1+\omega C)/2$
- $a_0 = 1+\alpha$
- $a_1 = -2\cdot\omega C$
- $a_2 = 1-\alpha$

3. **Band Pass Filter**

Peak gian = Q

- $b_0 = \omega S/2 = Q\cdot\alpha$
- $b_1 = 0$
- $b_2 = -\omega S/2 = -Q\cdot\alpha$
- $a_0 = 1+\alpha$
- $a_1 = -2\cdot\omega C$
- $a_2 = 1-\alpha$

Constant = 0 dB Peak gain

- $b_0 = \alpha$
- $b_1 = 0$
- $b_2 = -\alpha$
- $a_0 = 1+\alpha$
- $a_1 = -2\cdot\omega C$
- $a_2 = 1-\alpha$

4. **Notch Filter**

- $b_0 = 1$
- $b_1 = -2\cdot\omega C$
- $b_2 = 1$
- $a_0 = 1+\alpha$
- $a_1 = -2\cdot\omega C$
- $a_2 = 1-\alpha$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. **All Pass filter**

- $b_0 = 1-\alpha$
- $b_1 = -2\cdot\omega C$
- $b_2 = 1+\alpha$
- $a_0 = 1+\alpha$
- $a_1 = -2\cdot\omega C$
- $a_2 = 1-\alpha$

6. **Peaking EQ Filter**

- $b_0 = 1-(\alpha\cdot A)$
- $b_1 = -2\cdot\omega C$
- $b_2 = 1-(\alpha\cdot A)$
- $a_0 = 1-(\alpha/A)$
- $a_1 = -2\cdot\omega C$
- $a_2 = 1-(\alpha/A)$

7. **Low Shelving Filter**

- $b_0 = A\cdot\{(A+1)-[(A-1)\cdot\omega C]+(\beta\cdot\omega S)\}$
- $b_1 = 2\cdot A\cdot\{(A-1)-[(A+1)\cdot\omega C]\}$
- $b_2 = A\cdot\{(A+1)-[(A-1)\cdot\omega C]-(\beta\cdot\omega S)\}$
- $a_0 = \{(A+1)+[(A-1)\cdot\omega C]+(\beta\cdot\omega S)\}$
- $a_1 = -2\cdot\{(A-1)+[(A+1)\cdot\omega C]\}$
- $a_2 = \{(A+1)+[(A-1)\cdot\omega C]-(\beta\cdot\omega S)\}$

8. **High Shelving Filter**

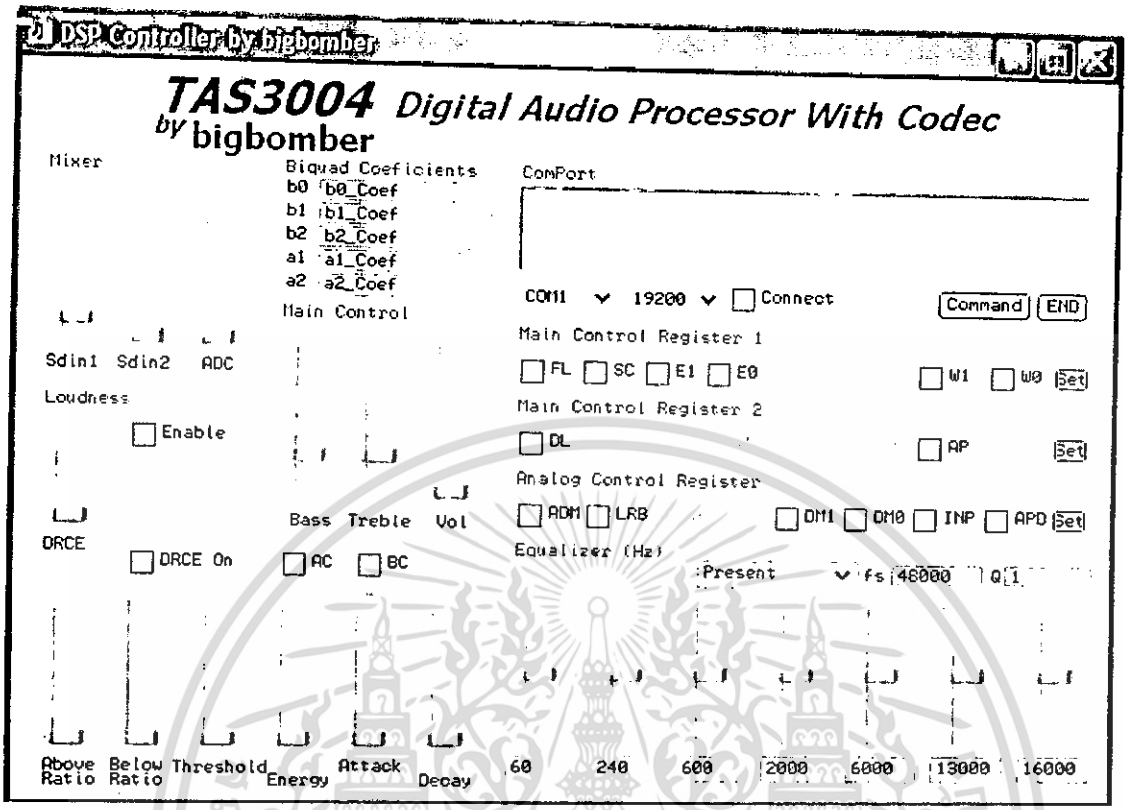
- $b_0 = A\cdot\{(A+1)+[(A-1)\cdot\omega C]-(\beta\cdot\omega S)\}$
- $b_1 = -2\cdot A\cdot\{(A-1)+[(A+1)\cdot\omega C]\}$
- $b_2 = A\cdot\{(A-1)+[(A-1)\cdot\omega C]-(\beta\cdot\omega S)\}$
- $a_0 = \{(A+1)-[(A-1)\cdot\omega C]+(\beta\cdot\omega S)\}$
- $a_1 = 2\cdot\{(A-1)-[(A+1)\cdot\omega C]\}$
- $a_2 = \{(A+1)-[(A-1)\cdot\omega C]-(\beta\cdot\omega S)\}$

เมื่อ ได้ค่า $b_0$, $b_1$, $b_2$, $a_0$, $a_1$ และ $a_2$ ก็นำค่าต่างๆ ใส่ใน สมการที่ (4.3)

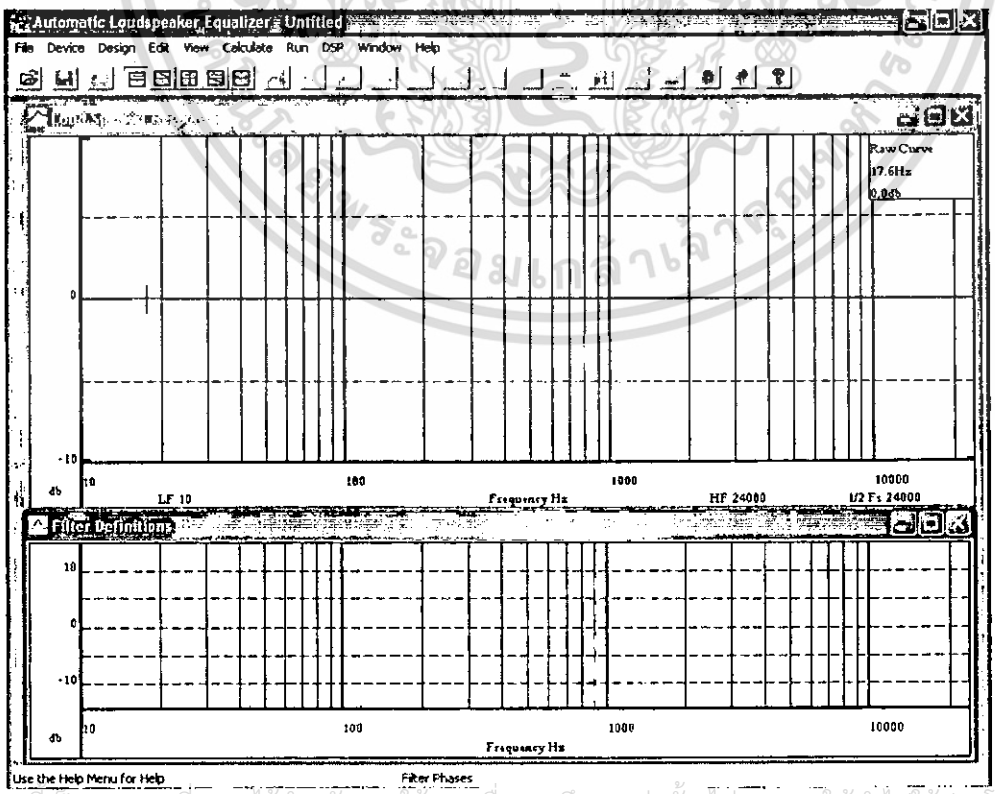
จะได้ค่าต่างเป็น ฐานสิบ จากนั้นก็นำเลขฐานสิบมาทำเป็นเลขฐานสองแล้วค่อยทำเป็นเลขฐานสิบหก เมื่อได้เลขฐานสิบหกแล้วก็แปลงกับมาเป็นเลขฐานสิบอีกครั้ง แล้วก็นำเลขฐานสิบนี้ไปใช้กับโปรแกรม DSPctrl ก็จะได้ตามความถี่ที่เราต้องการ

ในการคำนวณหาค่า $b_0$, $b_1$, $b_2$, $a_1$ และ $a_2$ นี้ก็มีโปรแกรม ALE ที่ช่วยหาค่านี้ให้โดย โปรแกรมนี้จะช่วยให้ถึงเลขฐานสิบหก เราจะต้องนำเลขฐานสิบหกนี้แปลงเป็นเลขฐานสิบแล้วค่อยนำค่าไปใช้กับโปรแกรม DSPctrl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูป 4.9 ตัวอย่างโปรแกรมแรม DSPctrl




รูป 4.10 ตัวอย่างโปรแกรม ALE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานโปรแกรม DSPctrl โปรแกรม ALE ให้ดูในบทที่ 5

**ตัวอย่างการการออกแบบ ตัวอย่างนี้จะเป็นการออกแบบ Low Pass Filter Vari Q**

เมื่อเราต้องการที่จะให้ความถี่คัทออฟที่ 1 KHz

จะได้ค่า $f_S$ = 48 KHz

Q = 0.707

$f_C$ = 1 KHz

* Q ได้กำหนดเอง ในโปรแกรม ALE มีเฉพาะ Low pass กับ High pass ส่วนค่า Q ของวงกรองความถี่แบบอื่นๆให้ใช้ $Q = f_c / Bw$

ดังนั้นจะได้ค่าที่เกี่ยวข้องกับสมการ Low Pass Filter ดังนี้

$$\omega_c = 2 \cdot \pi \cdot f_c / f_s$$

$= 2 * \pi * (1K / 48 K)$

$= 0.13089969$

$\omega S = \sin(\omega_c)$

$= \sin(0.13089969)$

$= 0.13052619$

$\omega C = \cos(\omega_c)$

$= \cos(0.13089969)$

$= 0.99144486$

$\alpha = \omega S / (2 \cdot Q)$

$= 0.13052619/(2*0.707)$

$= 0.09230989$

นำค่าที่ได้แทนลงในสูตร ของ Low Pass Filter เพื่อหา $b_0$, $b_1$, $b_2$, $a_0$, $a_1$ และ $a_2$

$b_0 = (1 - \omega C)/2$

$= ( 1 - 0.99144486 ) / 2$

$= 0.00427757$

$b_1 = 1 - \omega C$

$= ( 1 - 0.99144486 )$

$= 0.00855514$

$b_2 = (1 - \omega C)/2$

$= ( 1 - 0.99144486 ) / 2$

$= 0.0042775$

$a_0 = 1 + \alpha$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= (1 + 0.09230989)$

$= 1.09230989$

$a_1 = -2 \cdot \omega C$

$= -(2*0.99144486)$

$= -1.98288972$

$a_2 = 1 - \alpha$

$= 1 - 0.09230989$

$= 0.90769011$

แล้วนำ $b_0$, $b_1$, $b_2$, $a_0$, $a_1$ และ $a_2$ ไปแทนในสมการ ที่ 3

$B_0 = b_0 / a_0$

$= 0.00427757 / 1.09230989$

$= 0.003916077$

$B_1 = b_1 / a_0$

$= 0.00855514 / 1.09230989$

$= 0.007832155$

$B_2 = b_2 / a_0$

$= 0.00427757 / 1.09230989$

$= 0.003916077$

$A_1 = a_1 / a_0$

$= -1.98288972 / 1.09230989$

$= -1.815317922$

$A_2 = a_2 / a_0$

$= 0.90769011 / 1.09230989$

$= 0.830982232$

เมื่อได้ค่าเหล่านี้แล้วก็ทำการแปลงเป็นฐานสอง โดย 4 บิตแรกจะคิดแค่บิตสุดท้ายคือบิตที่ 4 ส่วน 3 บิตแรกไม่คิด คือ ดูที่ตัวหน้า ว่าเป็นศูนย์หรือหนึ่ง ส่วนอีก 20 บิตที่เหลือนำมาคูนสอง แล้วเอาเศษ และถ้าค่าที่เป็นลบให้ทำการกลับศูนย์เป็นหนึ่ง กลับหนึ่งเป็นศูนย์ (1'Complement) ดังตัวอย่างที่จะแสดงให้ดู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$B_0$ = 0.003916077

ดังนั้น 4 บิตแรก คือ 0000 จากนั้นทำการหาอีก 20 บิตที่เหลือนำไปคูนสองแล้วเอาเศษ

0.003916077*2 = 0.007832014 :[0]

0.007832014*2 = 0.015664028 :[0]

0.015664028*2 = 0.031328056 :[0]

0.031328056*2 = 0.062656112 :[0]

0.062656112*2 = 0.125312224 :[0]

0.125312224*2 = 0.250624448 :[0]

0.250624448*2 = 0.501248896 :[0]

0.501248896*2 = 1.002497792 :[1]

*(1.002497792 – 1 = 0.002497792)

0.002497792*2 = 0.004995584 :[0]

0.004995584*2 = 0.00999168 :[0]

0.00999168*2 = 0.019982336 :[0]

0.019982336*2 = 0.039964672 :[0]

0.039964672*2 = 0.079929344 :[0]

0.079929344*2 = 0.159858688 :[0]

0.159858688*2 = 0.319717376 : [0]

0.319717376*2 = 0.639434752 :[0]

0.639434752*2 = 1.278869504 :[1]

*(1.278869504 - 1 = 0.278869504)

0.278869504*2 = 0.557739008 :[0]

0.557739008*2 = 1.115478016 :[1]

*(1.115478016 – 1 = 0.115478016)

0.115478016*2 = 0.230956032 :[0]

ดังนั้นเลขฐานสองที่ได้คือ 0000 0000 0001 0000 0000 1010

แปลงเป็นฐานสิบหก คือ 00100A นี่คือค่าของ $B_0$

แล้วแปลงเป็นฐานสิบ คือ 4106 แล้วนำค่านี้ไปใส่ในโปรแกรม DSPctrl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนค่าอื่นๆ เมื่อคำนวณแล้วจะได้

$B_1$ = 0.007832155

เลขฐานสิบหก คือ 002014 นี่คือค่าของ $B_1$

แล้วแปลงเป็นฐานสิบ คือ 8212 แล้วนำค่านี้ไปใส่ในโปรแกรม DSPctrl

$B_2$ = 0.003916077

เลขฐานสิบหก คือ 00100A นี่คือค่าของ $B_2$

แล้วแปลงเป็นฐานสิบ คือ 4106 แล้วนำค่านี้ไปใส่ในโปรแกรม DSPctrl

$A_1$ = -1.815317922 *(ค่านี้ต้องทำการการกลับศูนย์เป็นหนึ่ง กลับหนึ่งเป็นศูนย์ (1'Complement))

เลขฐานสิบหก คือ E2F476 นี่คือค่าของ $A_1$

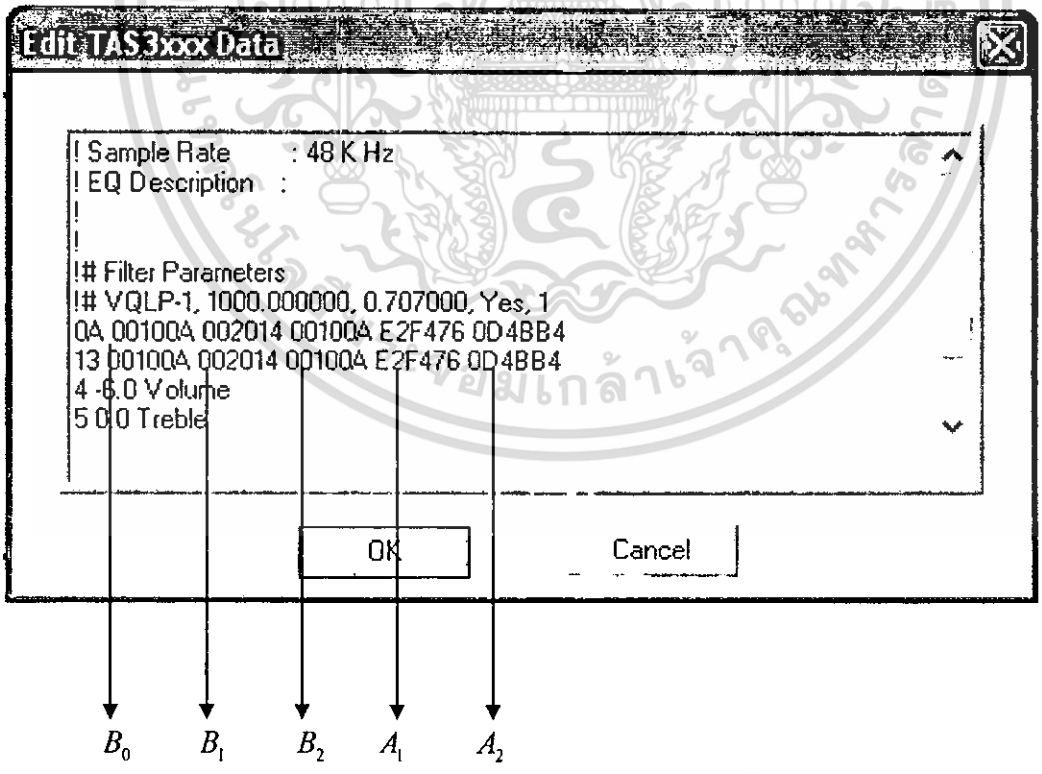
แล้วแปลงเป็นฐานสิบ คือ 14873718 แล้วนำค่านี้ไปใส่ในโปรแกรม DSPctrl

$A_2$ = 0.830982232

เลขฐานสิบหก คือ 0D4BB4 นี่คือค่าของ $A_2$

แล้วแปลงเป็นฐานสิบ คือ 871348 แล้วนำค่านี้ไปใส่ในโปรแกรม DSPctrl

จะเห็นได้ว่าการคำนวณค่าต่างๆ จะได้ตรงกับโปรแกรม ALE คำมาให้




รูป 4.11 แสดงค่าในโปรแกรม ALE เทียบกับค่าที่คำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5

## คู่มือการใช้งานบอร์ดทดลอง TAS3004 และโปรแกรม ALE

การใช้งานบอร์ดทดลองของIC TAS3004 เบื้องต้น ในที่นี้จะกล่าวถึงการป้อนกับสั่งของโปรแกรมโดยผ่านRS232 ที่จะป้อนให้กับ MCU เพื่อให้ MCU ติดต่อป้อนคำสั่งให้กับ IC TAS3004 ต่อไป ขั้นตอนแรกจะต้องรู้ถึงการทำงานเริ่มต้น ของIC TAS3004 ก่อน ต่อไปคือขั้นตอนการติดต่อระหว่างโปรแกรมกับบอร์ดทดลอง เมื่อติดต่อได้แล้วทำการทดป้อนคำสั่งต่างๆ แล้วทำการปรับแต่งเสียงหรือค่าพารามิเตอร์โดยใช้โปรแกรม ALE (Automatic Loudspeaker Equalizer) โดยโปรแกรมนี้จะทำการ กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการกำหนดค่าดิจิตอลฟิลเตอร์ให้กับIC TAS3004

**1. TAS3004 RESET**

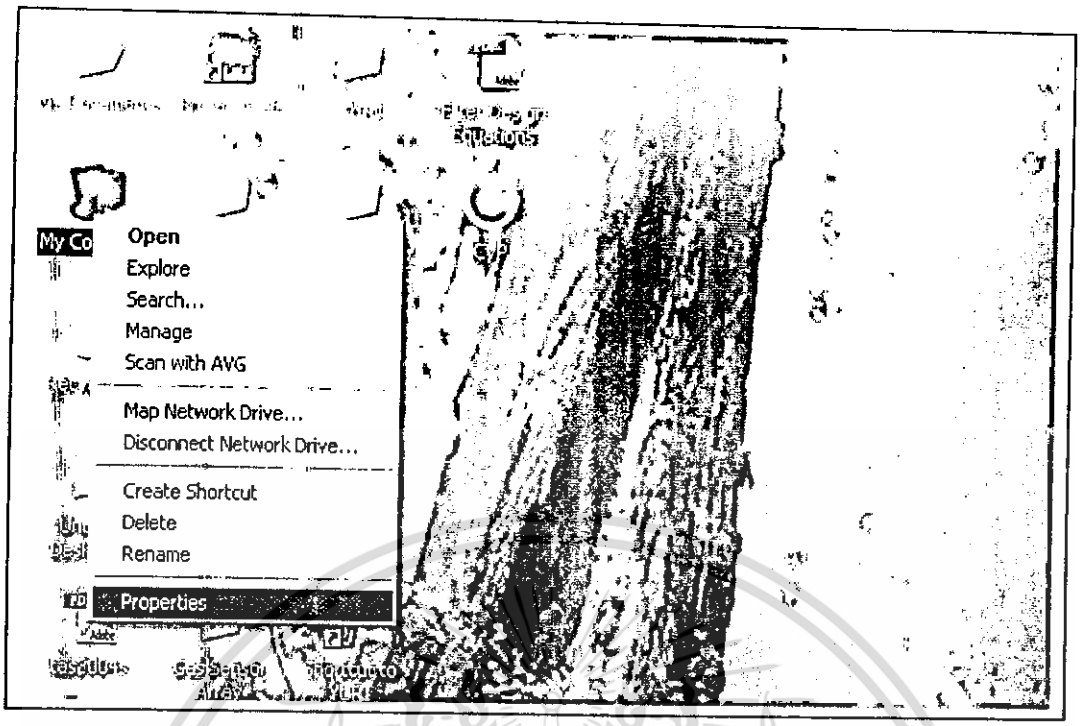
- Clears all the RAM memory content
- Clears all the registers in the circuits
- Purges the codec
- Selects analog input A (RINA and LINA) and sets the input A active indicator (INPA) low.
- Initializes the equalization parameters to All pass filters
- Sets the digital audio interface to I2S—18-bit mode
- Sets the bass/treble to 0 dB
- Sets the mixer gain to 0 dB SDIN1 and mutes both SDIN2 and analog-in
- Sets the volume to –40 dB
- Turns off all enhancement features (DRCE, etc.).
- Reads the I2C address. If the address is 68h, the device reads its EPROM. It is possible to load teaser-defined bass/treble data and break points (optional). If there is no data, the device loads default bass/treble delta and break points from ROM.
- If the address is 6Ah, the device puts the I2C interface in slave mode and waits for input.

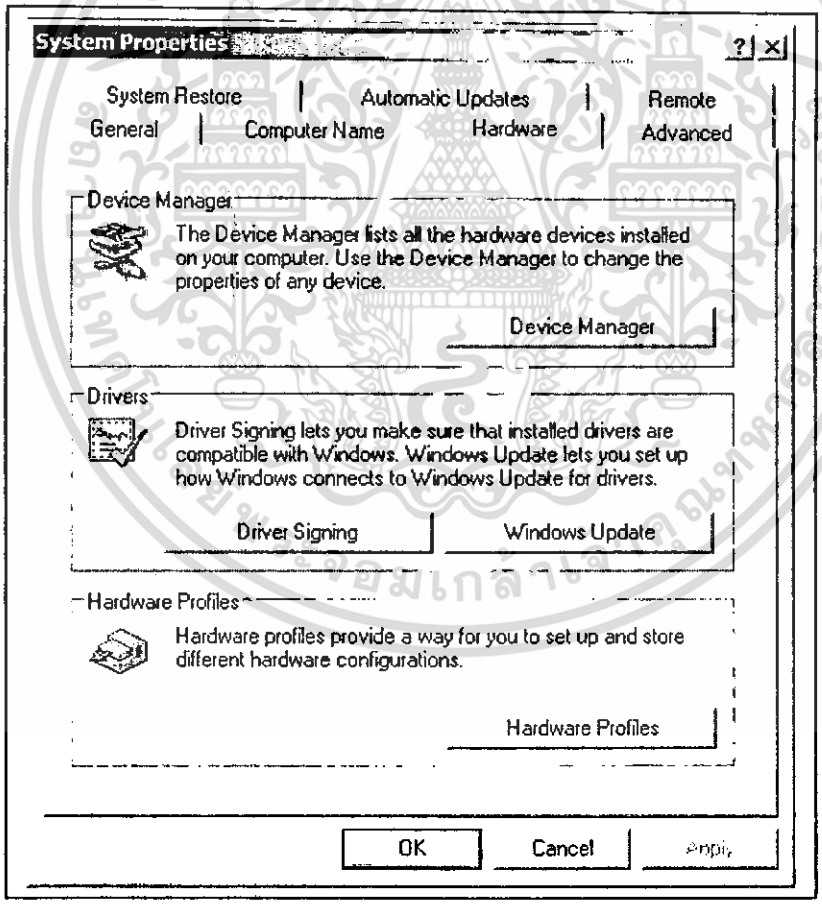
**2.การเชื่อมต่อบอร์ดทอดลอง TAS3004 กับ คอมพิวเตอร์**

1. เริ่มต้นด้วยการเชื่อมต่อสาย RS232 Serial port ให้เรียบร้อยโดยยังไม่ต้องป้อนแหล่งจ่ายให้กับบอร์ดทดลอง

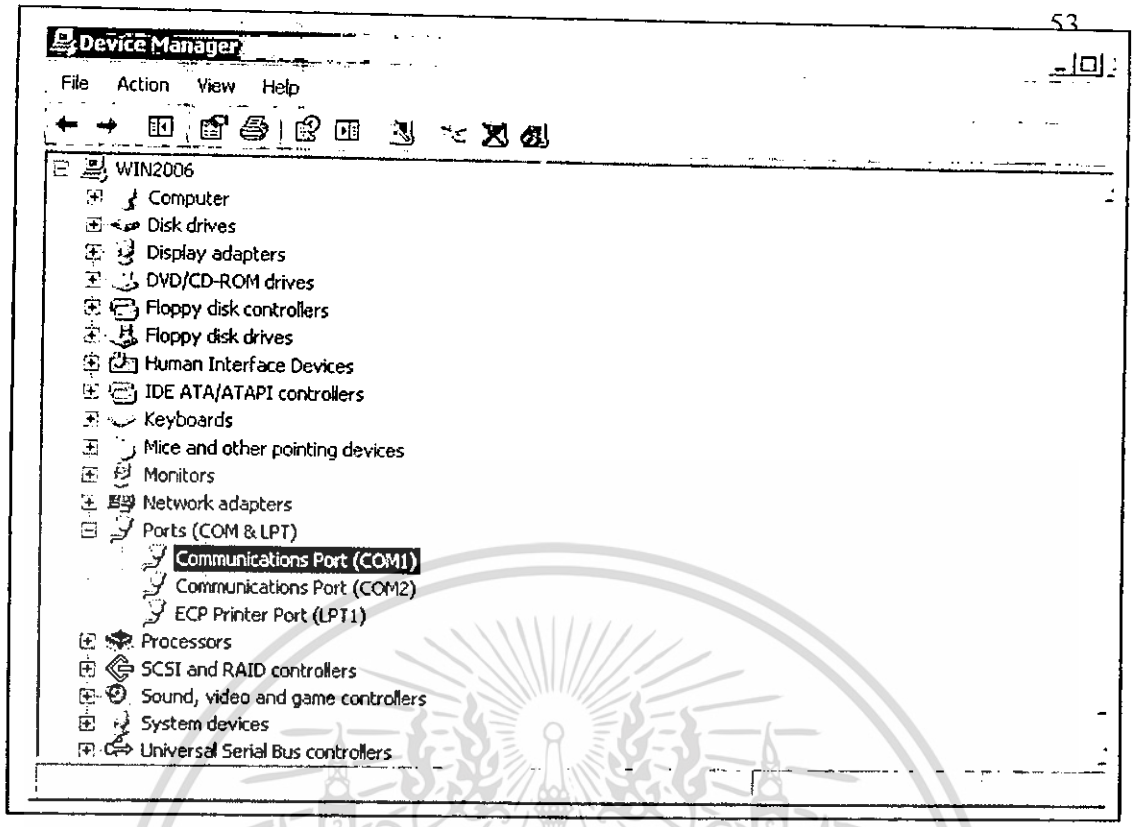
2. ทำการเช็คพอร์ตที่จะทำการเชื่อมต่อโดย คลิ๊กขวาที่My computer>propertics>Hardware>Device Manager แล้วเลือกที่ Ports(COM & LPT)ตามลำดับ เราจะเห็นว่าเราได้ใช้ COM PORT ตัวไหนแล้วทำการต่อให้ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

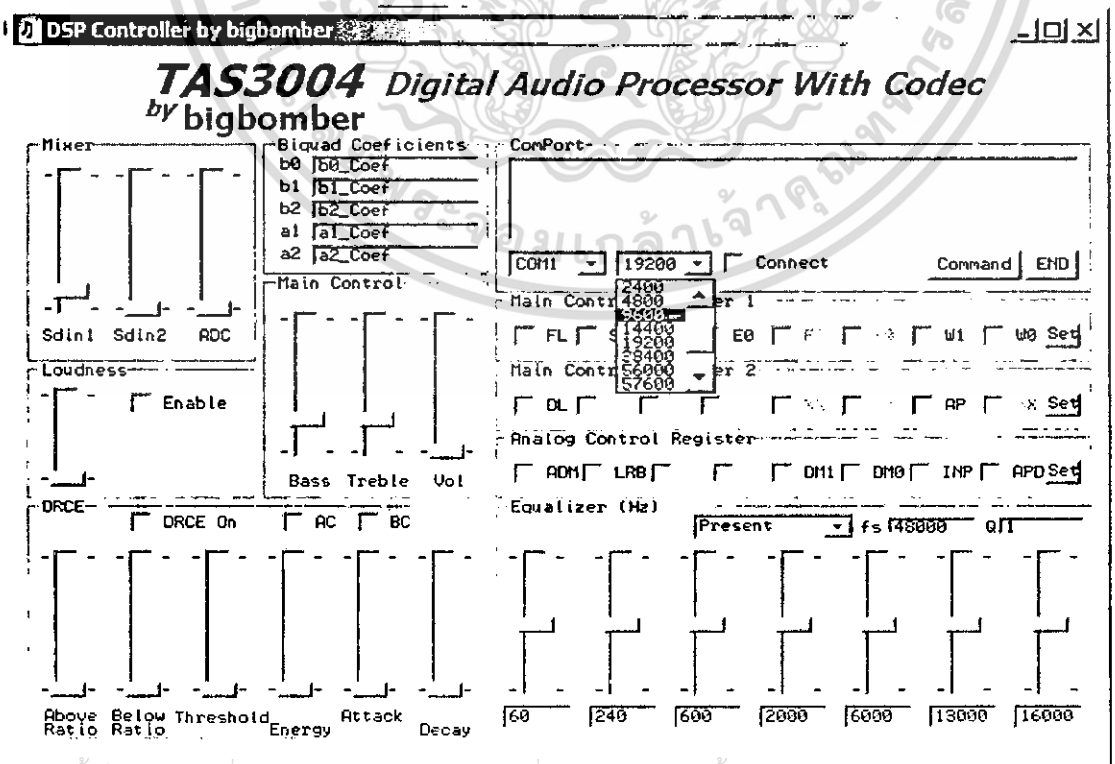



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

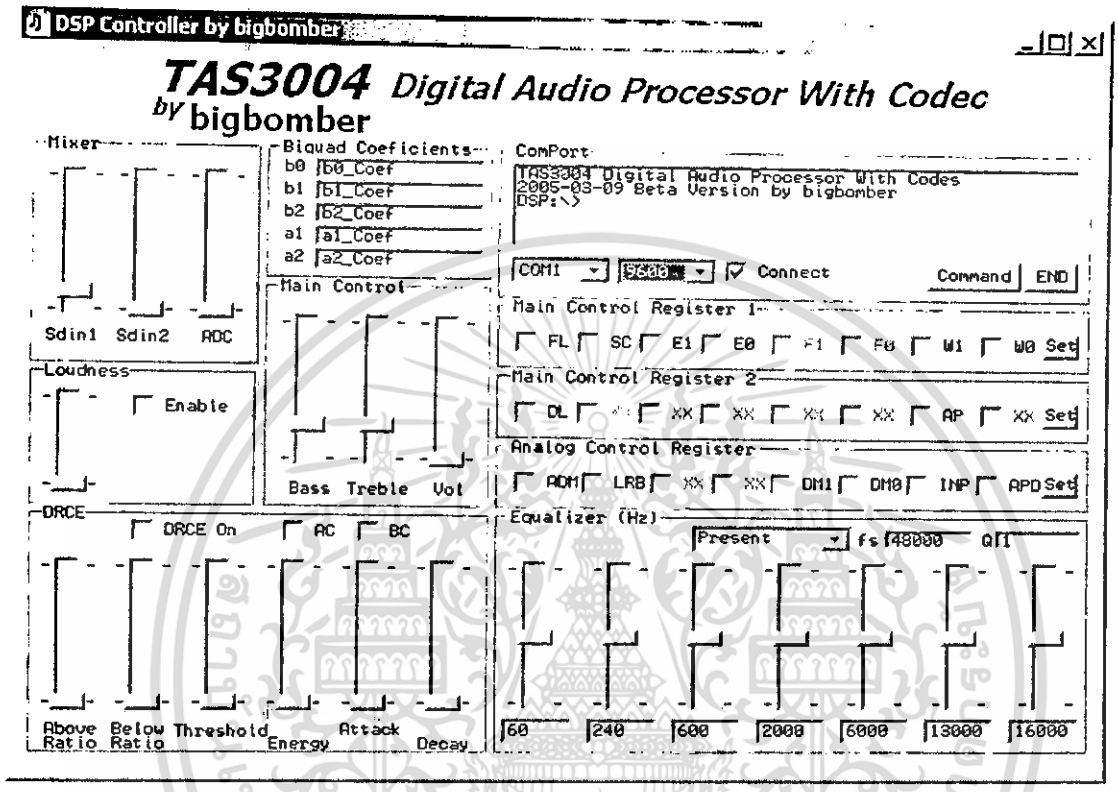



3.ทำการเปิดโปรแกรม DSP Controller ขึ้นมาแล้วเลือก Board rate เป็น 9600 แล้วเลือก connect



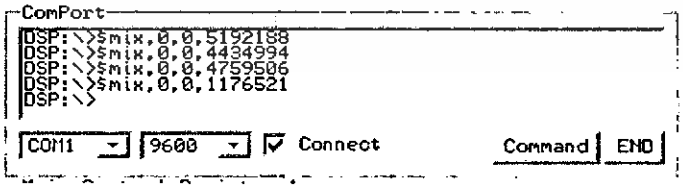

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ป้อนแหล่งจ่ายไฟให้กับบอร์ดทดลองแล้วรอสักครู่เพื่อให้บอร์ดทดลองทำการ Initial สภาวะเริ่มต้นของ IC ก่อน เมื่อInitial เสร็จแล้วแล้วจะปรากฏข้อความดังรูปแสดงว่าบอร์ดพร้อมทำงานแล้ว




5.เราสามารถป้อนค่าต่างๆได้โดยพิมพ์คำสั่งต่างๆต่อด้านหลังคำว่า DSP:\> ได้

6.คำสั่งสามารถนำมาจากการทดลองเลื่อน SCOLL BAR ในบล็อกต่างๆ ของโปรแกรมโดยแยกออกเป็น Mixer, Loudness, DRCE, Main control และEqualizer เป็นต้น ซึ่งจะมีคำสั่งแสดงออกมาที่ ComPort แล้วที่บล็อกหน้าต่างนี้สามารถป้อนคำสั่งควบคุมได้ที่หน้าต่างนี้โดยป้อนเหมือนคำสั่งที่ออกจากเบื้องต้นได้เช่น การเลื่อนScoll Bar ที่ ADC(mixer)จะปรากฏข้อความดังนี้




โดยค่าเลข 0 ตัวแรกคือ ค่าของSdin1

0 ตัวที่สองคือค่าของ Sdin2

1176521 เป็นค่าของเลขฐานสิบของ 11F3C9 ฐาน16 ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ ที่ได้จาก DATA SHEET ของMixerคือค่าที่ 1.0dB นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>การออกแบบวงจรฟิลเตอร์ต่างๆ</u>

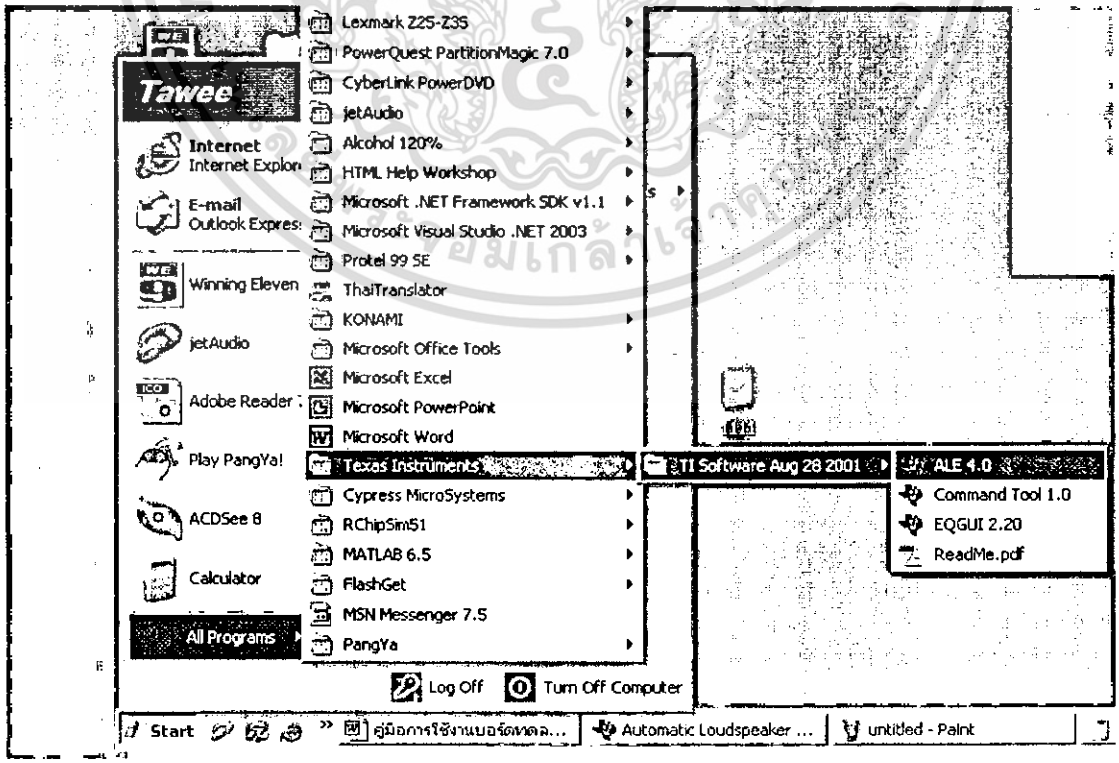
การออกแบบวงจรฟิลเตอร์ต่างๆสามรถออกแบบให้เป็นฟิลเตอร์ได้สูงสุด 7 แบบโดยการกรองความถี่ที่เวลาเดียวกันหรือสามรถปรับย่านความถี่ได้ 7 ย่านความถี่ถ้าทำเป็น Equalizer โดยเบื้องต้นจะใช้โปรแกรม ALE ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ กำหนดลักษณะของการFilter ต่างๆ แล้วป้อนค่าพารามิเตอร์ที่ได้ผ่าน Equalizer เช่นค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากโปรแกรมALE ที่FC=60Hz และ Gain=1dB ได้ค่าออกมาเท่ากับ 1001D8 E01E83 0FDFE5 E01E83 0FE1BD แล้วเปลี่ยนเป็นเลขฐานสิบคือ1049048 14687875 1040357 14687875 1040829 นำค่าเลขฐานสิบที่ได้นี้ไปป้อนให้กับโปรแกรม DSP Controller(ค่าที่ได้เป็นค่าจากโปรแกรม ALE ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป)ดังนี้

หากต้องการป้อนที่EQ 1 หรือ Biquad 1พิมพ์ eq1,11049048,14687875,104035,14687875,1040829
หากต้องการป้อนที่EQ 2หรือ Biquad 2พิมพ์ eq1,11049048,14687875,104035,14687875,1040829

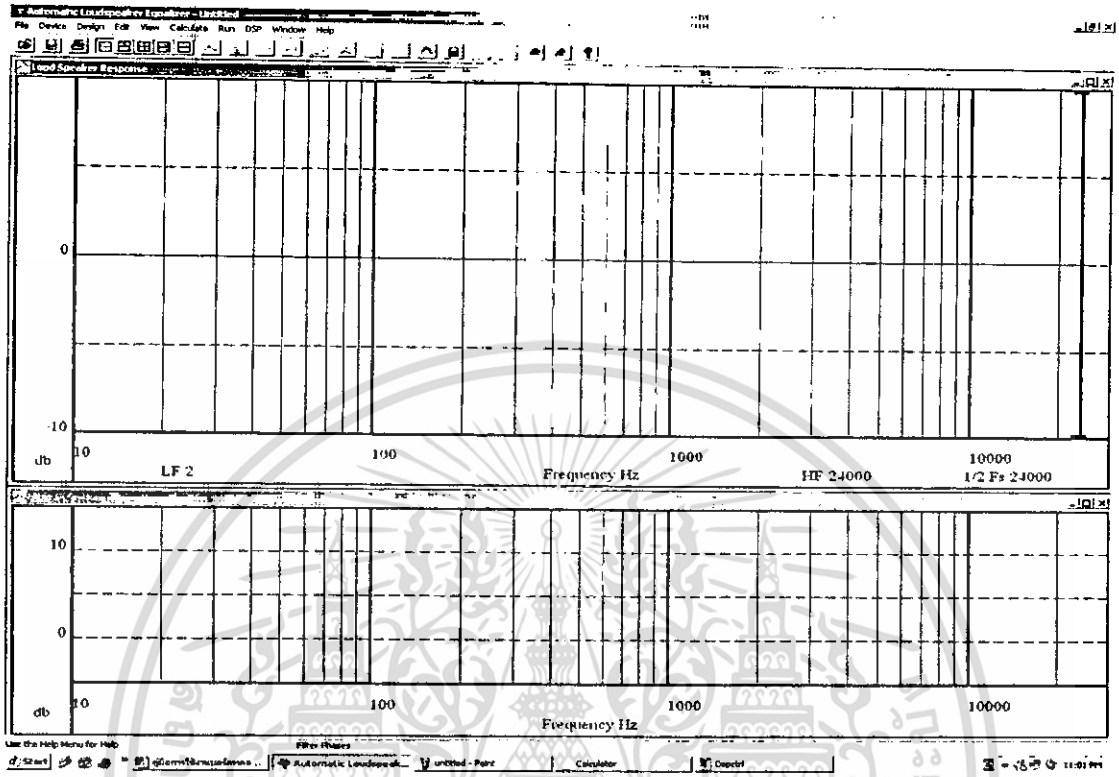
เป็นต้น

<u>การใช้โปรแกรมALE เพื่อกำหนดฟิลเตอร์ชนิดต่างๆเบื้องต้น</u>

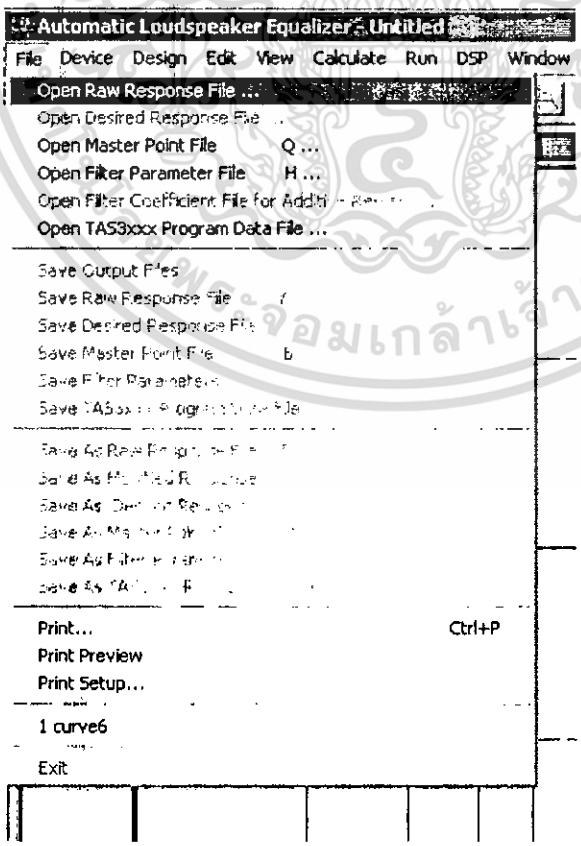
1. เปิดโปรแกรม ALE จากStart Menu> Texas Instruments> TI Software Aug 28 2001> ALE 4.0 ดังรูป




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

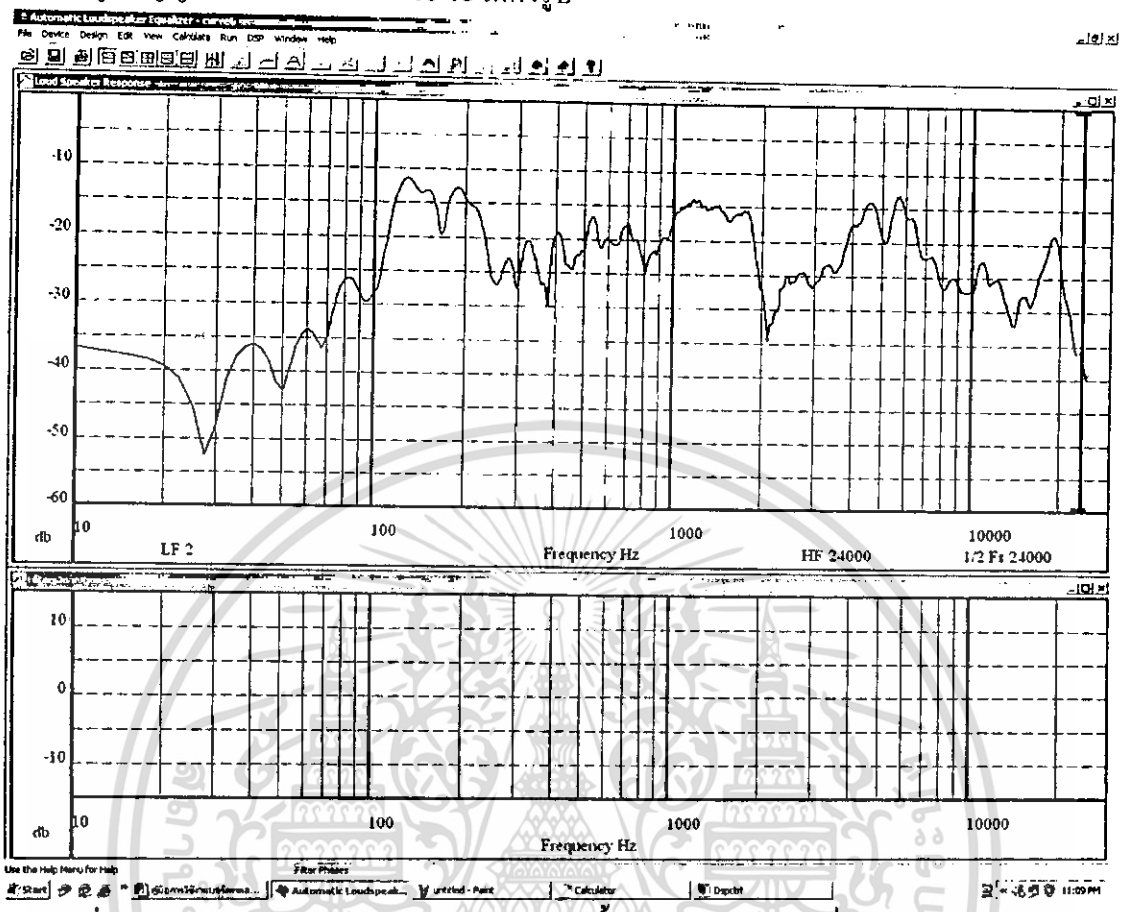



2. ทำการเปิดรูปสัญญาณจำลองที่ความถี่ต่างๆ โดยเปิดที่ File>open Raw Response File…

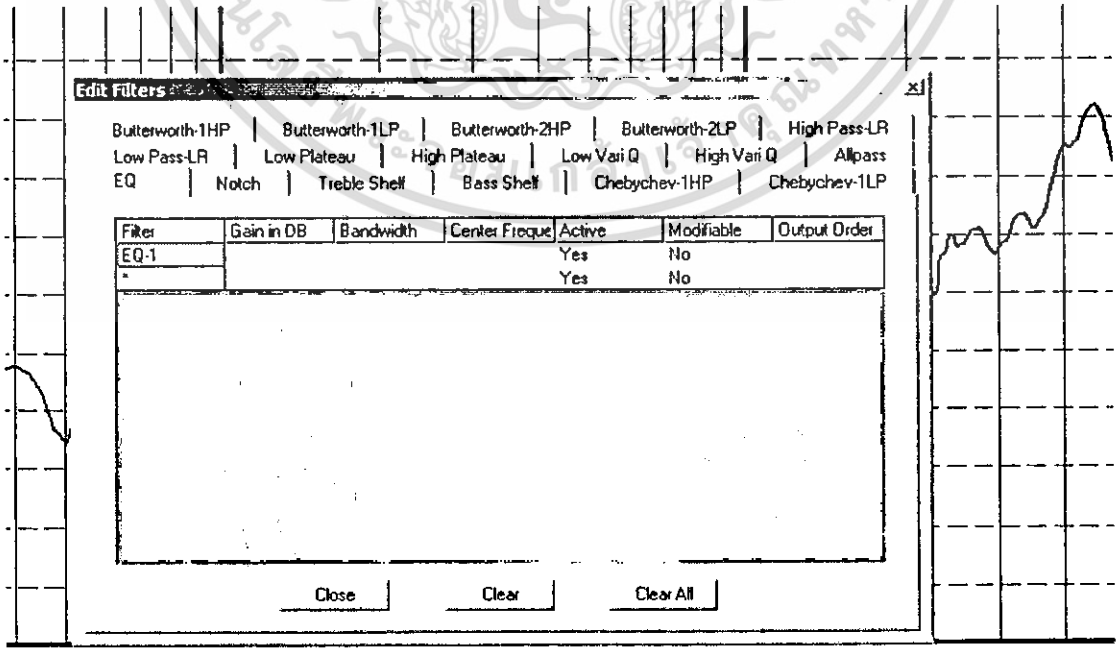



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.เลือกรูปสัญญาณในที่นี้เลือก curve6 จะได้ดังรูป

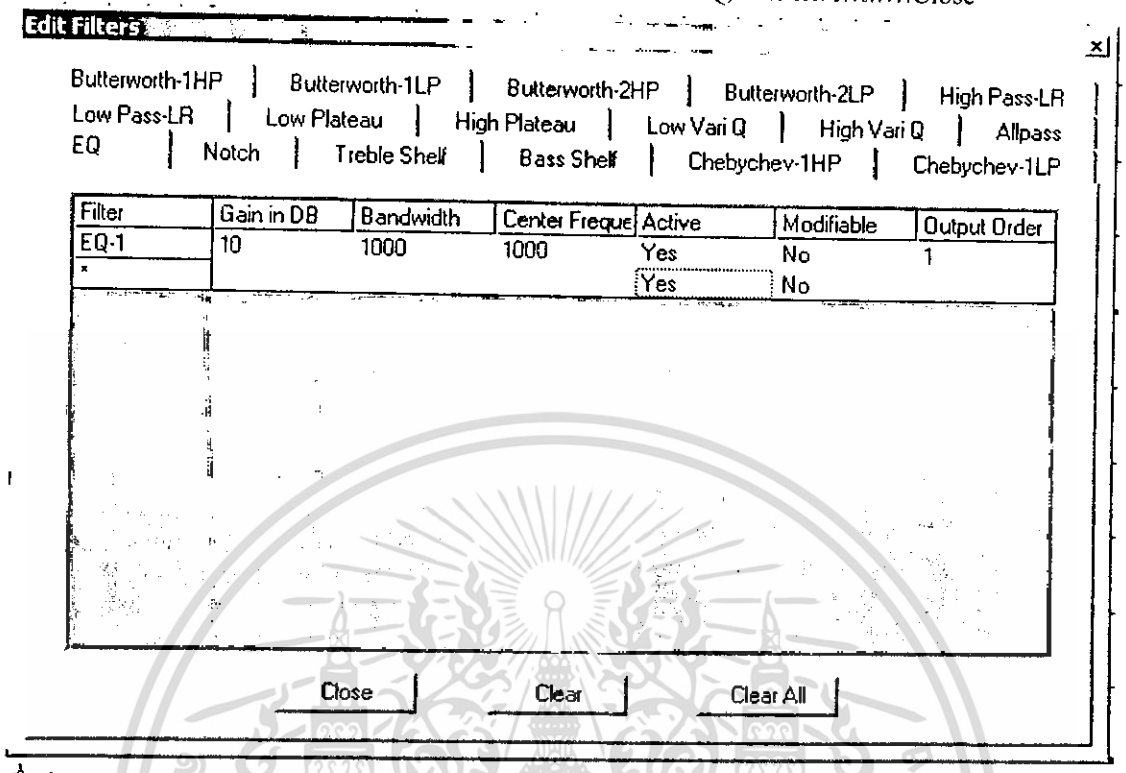



4.เลือกที่เมนู Device>TAS3002 แล้วทำการเลือกการตั้งค่าFilter โดยเลือกที่เมนู Edit>Edit filter Parameter… จะได้ไดอะล็อคบล็อกดังรูป



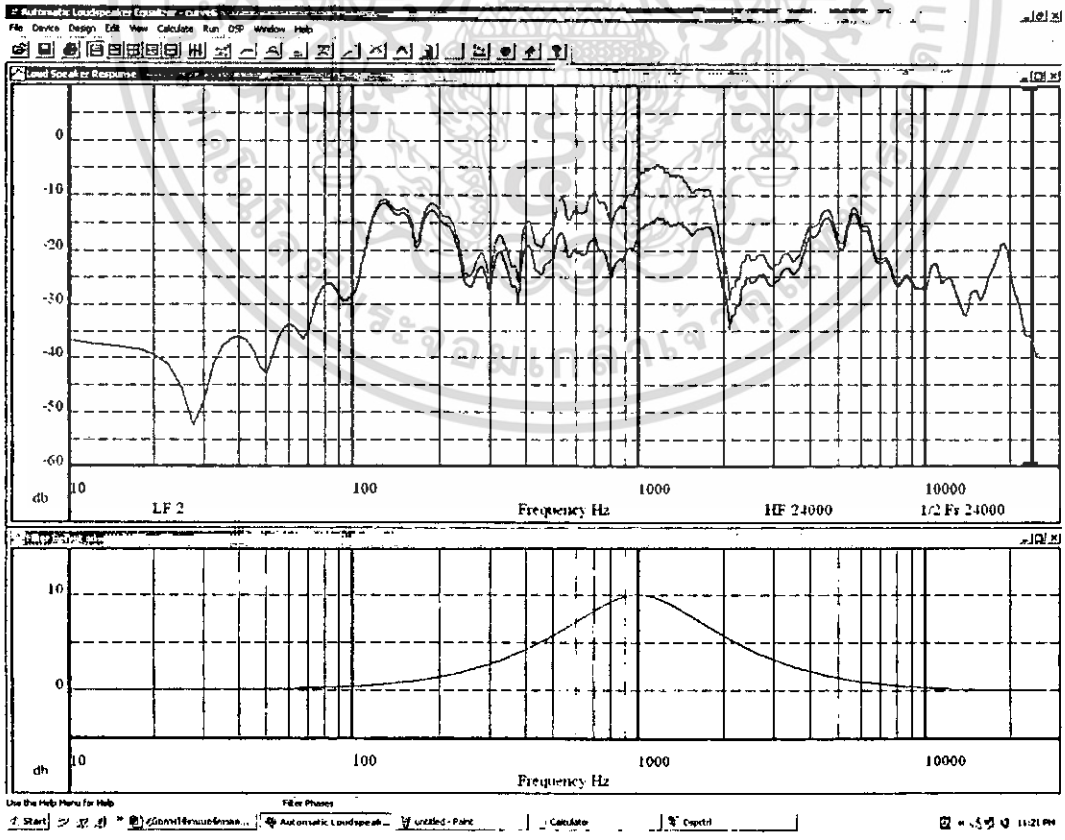

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำการเลือกชนิดFilter แล้วใส่ค่าที่ต้องการ(ทดลองค่าของEQ)ดังนี้ แล้วคลิ๊กที่Close



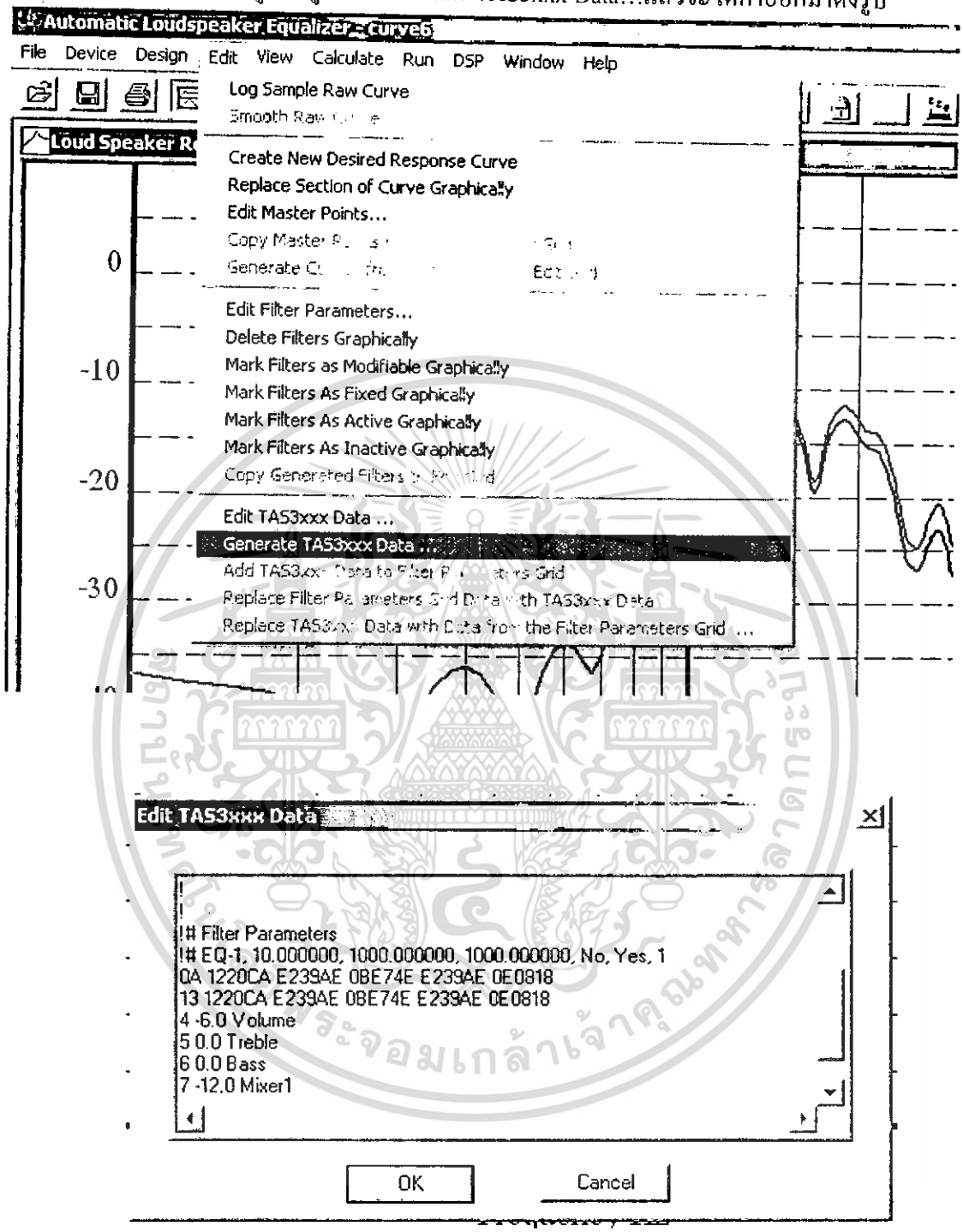

ซึ่งค่า Gain=10 dB, BW=1 KHz, Fc=1 KHz

6. ทำการจำลองการขยายของฟิลเตอร์โดยเลือกที่เมนู View>Draw Filters จะได้ดังรูป




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จะอยู่ที่เมนู Edit>Generate TAS3xxx Data...แล้วจะได้ค่าออกมาดังรูป




**ค่าพารามิเตอร์ที่ได้คือ**

0A 1220CA E239AE 0BE74E E239AE 0E0818

13 1220CA E239AE 0BE74E E239AE 0E0818

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งค่า 0A และ 13 เป็น ADDRESS ของค่าEQ ซึ่งมีทั้งซ้ายและขวา แล้วนำค่าที่ได้ไปทำเป็นฐานสิบแล้วนำไปป้อนในโปรแกรม DSP CONTROLLER ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ “การออกแบบวงจรฟิลเตอร์ต่างๆ”



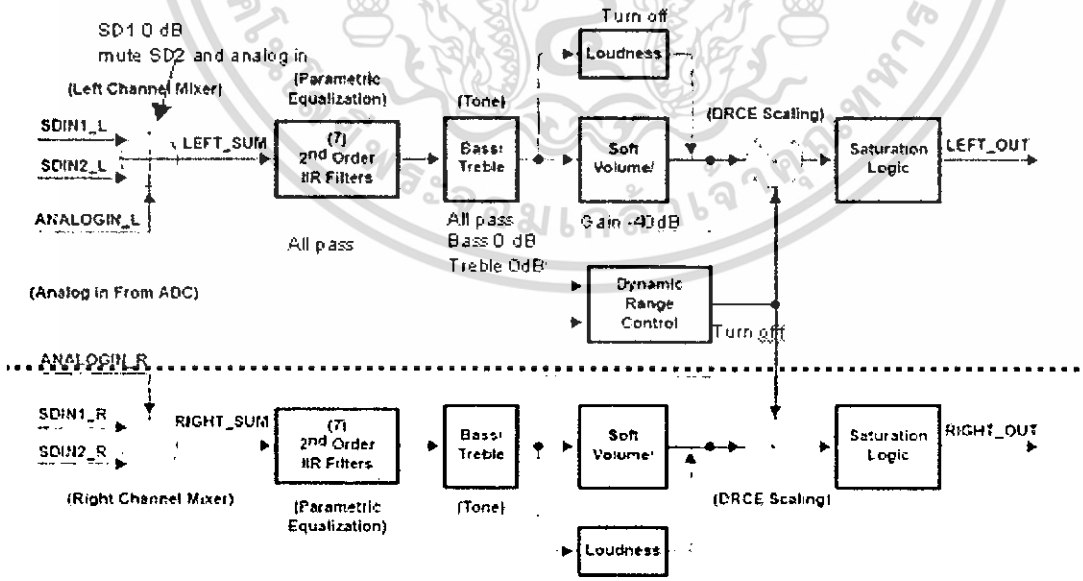
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6

## การทดลองและผลการทดลอง

การทดลอง ในสถานะเริ่มต้นของ IC TAS3004 หรือในสภาวะรีเซ็ต คือ

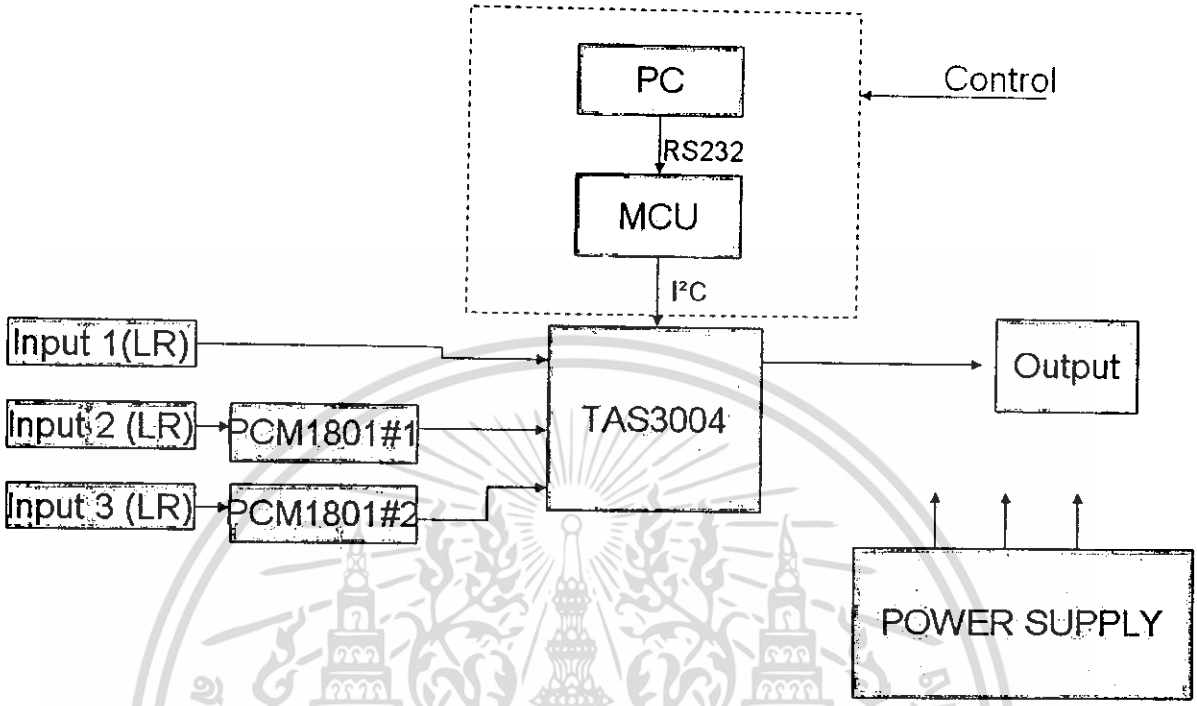
- Clears all the RAM memory content
- Clears all the registers in the circuits
- Purges the codec
- Selects analog input A (RINA and LINA) and sets the input A active indicator (INPA) low.
- Initializes the equalization parameters to AllPass filters
- Sets the digital audio interface to I2S—18-bit mode
- Sets the bass/treble to 0 dB
- Sets the mixer gain to 0 dB SDIN1 and mutes both SDIN2 and analog-in
- Sets the volume to –40 dB
- Turns off all enhancement features (DRCE, etc.).
- Reads the I2C address. If the address is 68h, the device reads its EPROM. It is possible to load the user-defined bass/treble data and break points (optional). If there is no data, the device loads default bass/treble delta and break points from ROM.




รูปที่ 6.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมในสภาวะรีเซ็ต ของ IC TAS 3004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ equalizer

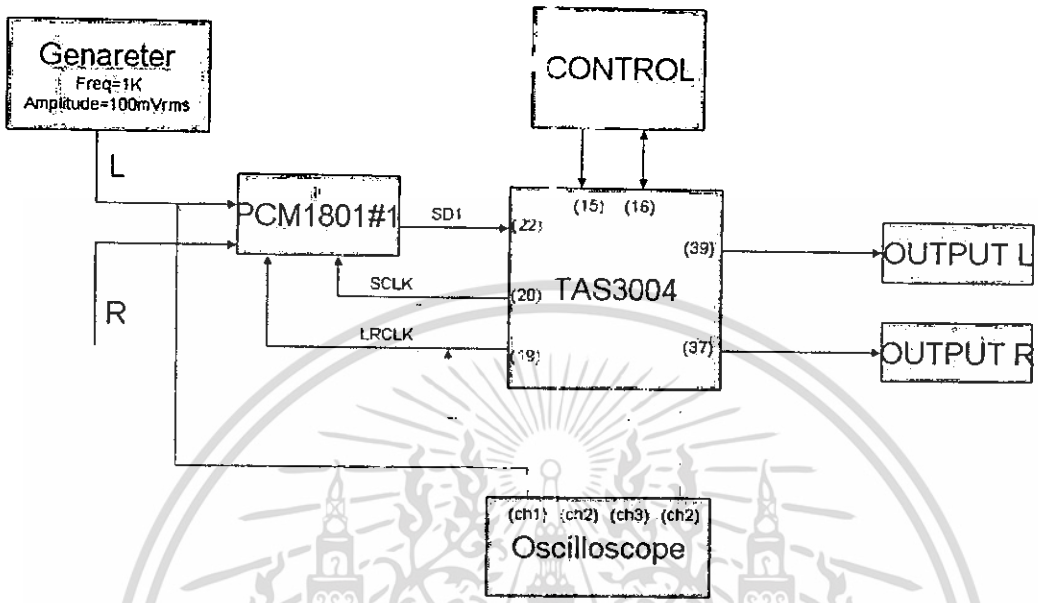



รูปที่ 6.2 บล็อคไดอะแกรมส่วนต่างๆของวงจร

โดย Input1เป็นสัญญาณอนาล็อกอินพุตเพื่อเข้าไปประมวลผลโดยตรงซึ่งต่อไปจะเรียกว่า อนาล็อกอินพุต ส่วน Input 2 และ Input 3 เป็นสัญญาณอนาล็อกอินพุต แล้วเข้าสู่ IC PCM1801 เพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณ $I^2S$ แล้วนำไปประมวลผลต่อไปจะเรียกว่า ดิจิตอลอินพุต การควบคุมจะควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ติดต่อกับไมโครคอนโทรเลอร์ติดต่อแบบ RS232 เพื่อที่จะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมผ่าน $I^2C$ อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

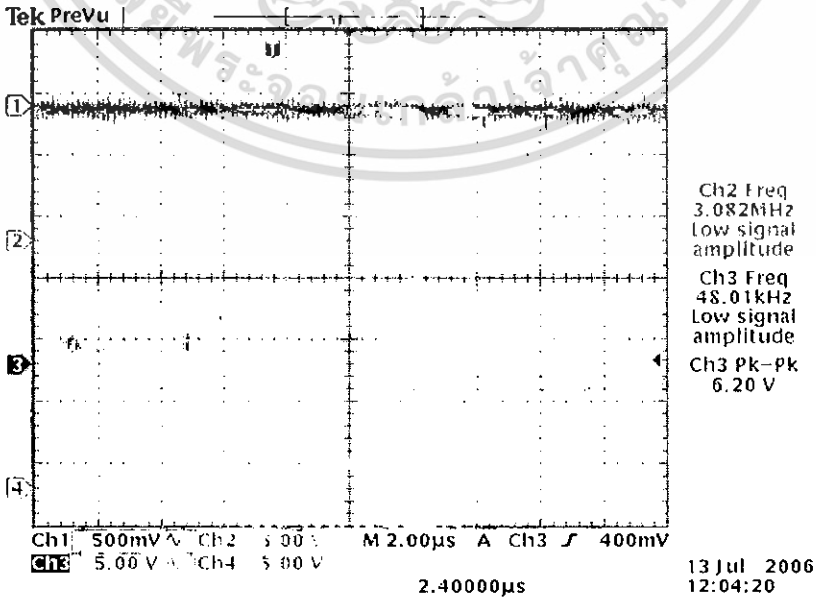
## 6.1 การวัดสัญญาณ $I^2S$




รูปที่ 6.3 การวัดสัญญาณ $I^2S$

การวัดสัญญาณ $I^2S$ จะทำการวัดที่ ขา 22 ขา 20 ขา19 ของIC TAS3004 ซึ่งเป็นขา SD IN ขา SCLK และขา LRCLK ตามลำดับ เทียบกับสัญญาณอินพุต โดยจะใช้ oscilloscope 4 ch วัดพร้อมกันที่จุด ต่างๆ โดยทดลองป้อนสัญญาณ อินพุตความถี่ 1KHz แรงดัน 100 mVrms เข้าทางด้านซ้ายและด้านขวา ต่อลงกราวด์

**ผลการทดลอง $I^2S$**

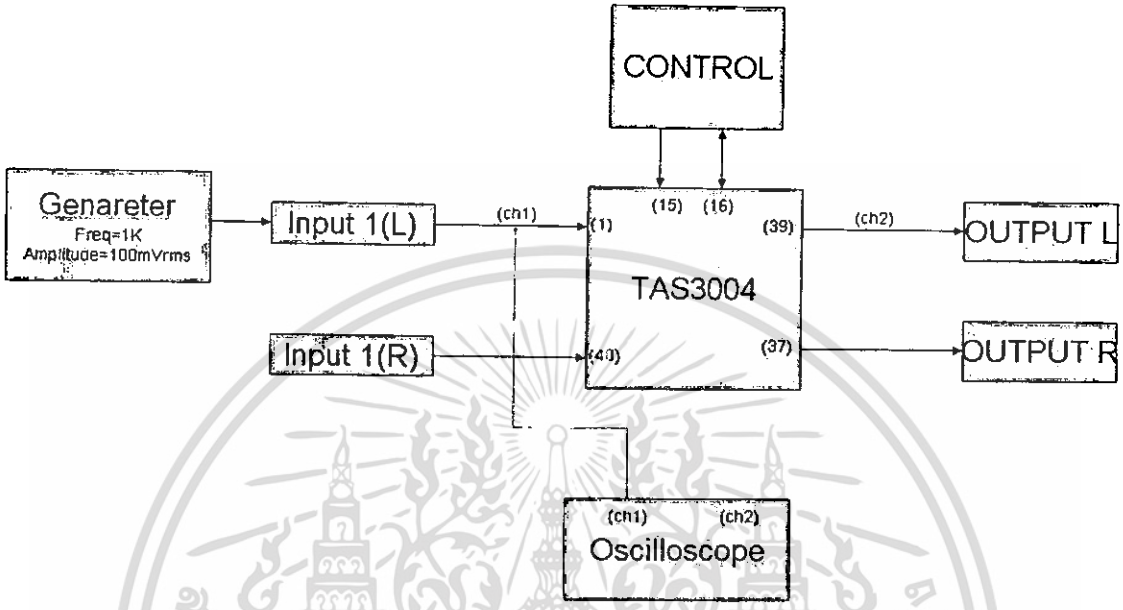



รูปที่ 6.4 แสดงผลการทดลอง $I^2S$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Ch1. Ch2, Ch3 และ Ch4 คือ สัญญาณอินพุต, สัญญาณ SCLK, สัญญาณLRCLK และสัญญาณ SD IN ตามลำดับ

**6.2 การทดลองวัดสัญญาณ Volume ,Bass ,Treble and Biquad Filter**

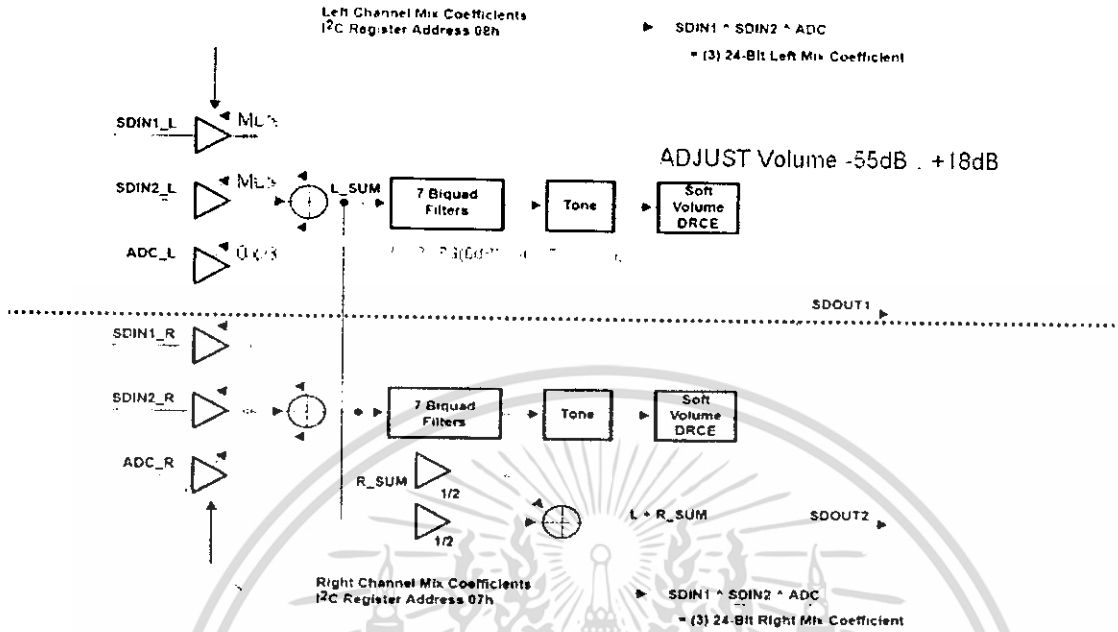



รูปที่ 6.5 การวัดสัญญาณVolume ,Bass ,Treble and Biquad Filter

การวัดสัญญาณVolume ,Bass ,Treble and Biquad Filter จะป้อนสัญญาณอินพุตเข้าที่ Left Channel (ขา1)ส่วนทาง Right Channel(ขา 40 ) จะต่อกับกราวด์ซึ่ง เป็นอนาล็อกอินพุตแล้วทำการวัดสัญญาณโดยใช้ Oscilloscope วัดอินพุต เทียบกับ เอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.2.1 การทดลองวัดสัญญาณ Volume




รูปที่ 6.6แสดงบล็อกไดอะแกรมการทดลองการวัด Volume

การทดลองจะป้อนสัญญาณอินพุตSine Wave ความถี่ 1 KHz 100Vrms แล้วทำการปรับค่าพารามิเตอร์ Gain ของVolume ตามตารางในดาต้าชีท ตั้งแต่ -55dB ถึง +18 โดยให้อัตราการขยายของแต่ละภาคเป็น ALL PASS(0dB)

**ผลการทดลอง**

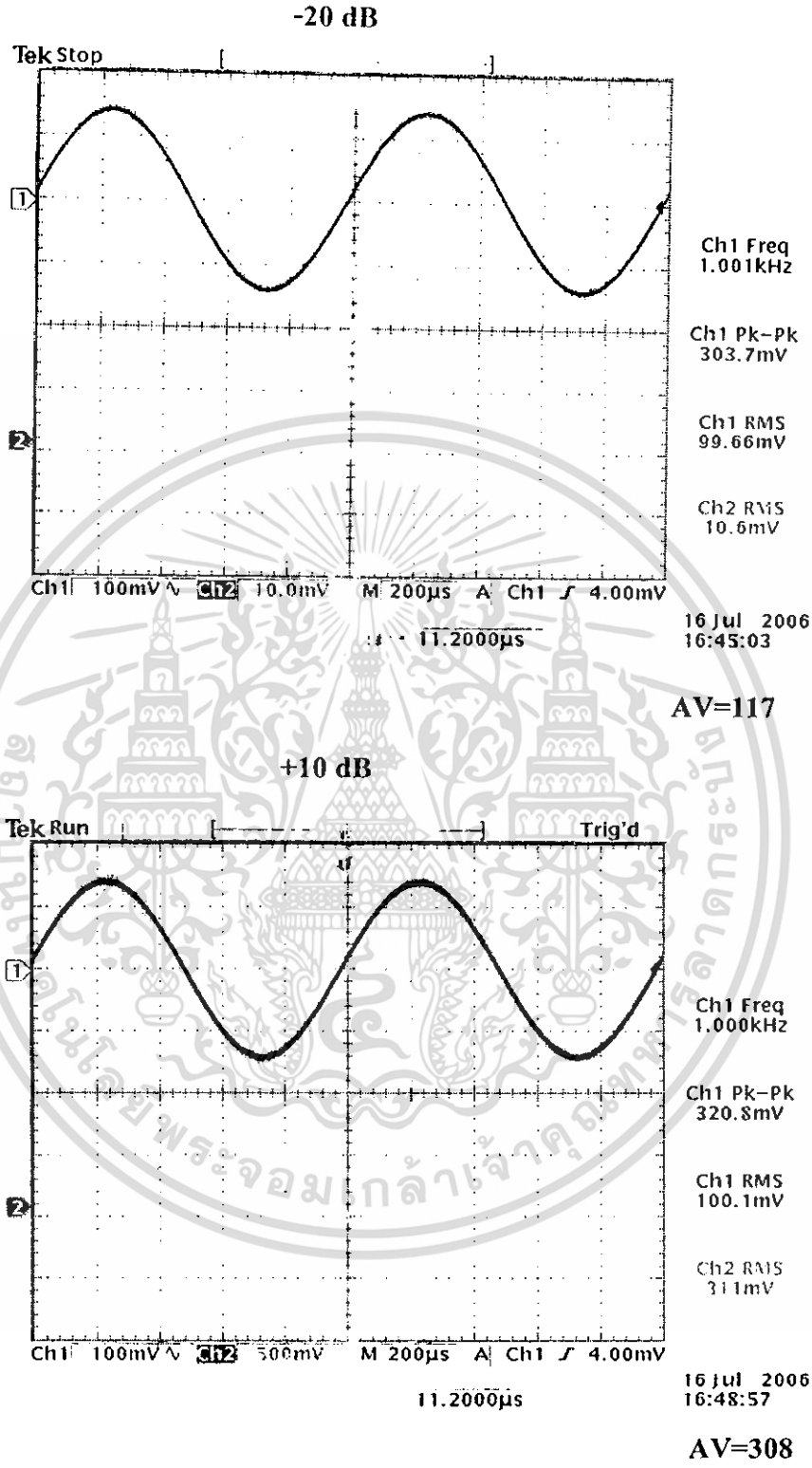
| Gain(dB) datasheet | Vout(Vrms) | Gain(dB) | Gain(dB) datasheet | Vout(Vrms) | Gain(dB) |
|---|---|---|---|---|---|
| -55 | 0.0048 | -26.375175 | -43 | 0.00638 | -23.903586 |
| -54 | 0.0052 | -25.679933 | -42 | 0.00632 | -23.985658 |
| -53 | 0.0055 | -25.192746 | -41 | 0.00638 | -23.903586 |
| -52 | 0.0056 | -25.036239 | -40 | 0.00656 | -23.661923 |
| -51 | 0.00642 | -23.849299 | -39 | 0.00588 | -24.612453 |
| -50 | 0.00615 | -24.222498 | -38 | 0.00633 | -23.971926 |
| -49 | 0.00631 | -23.999413 | -37 | 0.00648 | -23.7685 |
| -48 | 0.0061 | -24.293403 | -36 | 0.00672 | -23.452615 |
| -47 | 0.00656 | -23.661923 | -35 | 0.00632 | -23.985658 |
| -46 | 0.00651 | -23.72838 | -34 | 0.00645 | -23.808806 |
| -45 | 0.00673 | -23.439699 | -33 | 0.00748 | -22.521968 |
| -44 | 0.00606 | -24.350548 | -32 | 0.00667 | -23.517483 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| Gain(dB) datasheet | Vout(Vrms) | Gain(dB) | Gain(dB) datasheet | Vout(Vrms) | Gain(dB) |
|---|---|---|---|---|---|
| -31 | 0.00669 | -23.491478 | -6 | 0.0483 | -6.3210574 |
| -30 | 0.00678 | -23.375406 | -5 | 0.0542 | -5.3200143 |
| -29 | 0.0071 | -22.974833 | -4 | 0.0607 | -4.3362262 |
| -28 | 0.00756 | -22.429564 | -3 | 0.0716 | -2.9017396 |
| -27 | 0.00759 | -22.395164 | -2 | 0.0795 | -1.9926574 |
| -26 | 0.00772 | -22.247654 | -1 | 0.0886 | -1.0513256 |
| -25 | 0.00787 | -22.080505 | 0 | 0.0987 | -0.1136569 |
| -24 | 0.00827 | -21.64989 | 1 | 0.11 | 0.8278537 |
| -23 | 0.0093 | -20.630341 | 2 | 0.123 | 1.7981022 |
| -22 | 0.00951 | -20.43639 | 3 | 0.137 | 2.7344113 |
| -21 | 0.0102 | -19.827997 | 4 | 0.154 | 3.7504144 |
| -20 | 0.0117 | -18.636283 | 5 | 0.172 | 4.7105689 |
| -19 | 0.0127 | -17.923926 | 6 | 0.193 | 5.7111462 |
| -18 | 0.0133 | -17.522967 | 7 | 0.216 | 6.689075 |
| -17 | 0.0144 | -16.83275 | 8 | 0.242 | 7.6763073 |
| -16 | 0.0165 | -15.650321 | 9 | 0.271 | 8.6593858 |
| -15 | 0.018 | -14.89455 | 10 | 0.305 | 9.6859968 |
| -14 | 0.0199 | -14.022938 | 11 | 0.342 | 10.680522 |
| -13 | 0.0224 | -12.99504 | 12 | 0.383 | 11.663975 |
| -12 | 0.0247 | -12.146061 | 13 | 0.429 | 12.649146 |
| -11 | 0.0277 | -11.150405 | 14 | 0.481 | 13.642902 |
| -10 | 0.0308 | -10.228986 | 15 | 0.539 | 14.631775 |
| -9 | 0.0347 | -9.1934105 | 16 | 0.602 | 15.59193 |
| -8 | 0.0386 | -8.2682539 | 17 | 0.677 | 16.611773 |
| -7 | 0.0432 | -7.2903251 | 18 | 0.725 | 17.20676 |

**ตารางที่ 6.1ผลการทดลองเรื่อง Volume**

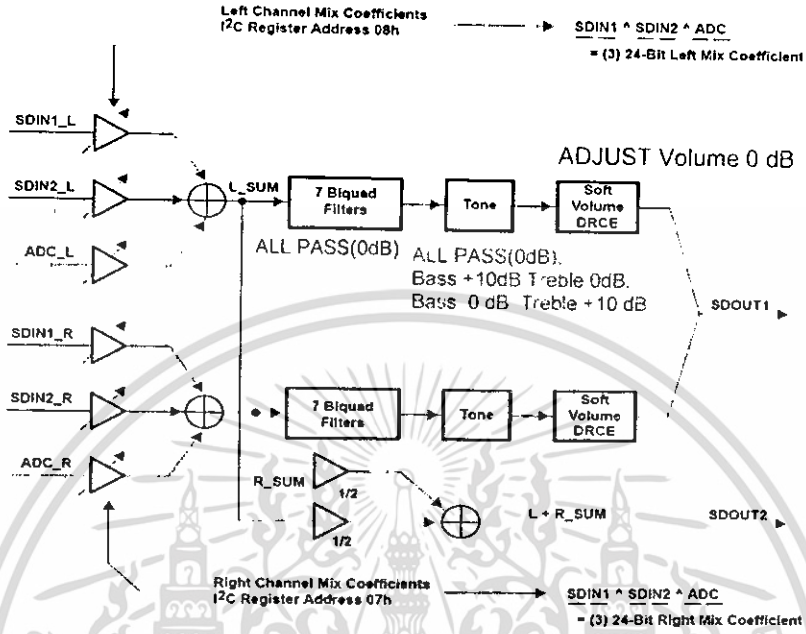
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 6.7แสดงสัญญาณ-20dB และ +10 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.2.2 การวัดสัญญาณTONE (BASS & TREBLE)




รูปที่ 6.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทดลองการวัด Volume

การวัดสัญญาณในเรื่องของ Tone จะหาผลการตอบสนองความถี่ของ ภาคโทนคอนโทรล ซึ่งประกอบไปด้วย Bass และ Treble ในตอนแรกจะวัดสัญญาณที่ ALL PASS (0 db) ในการวัด BASS จะปรับ Gain ไว้ที่ 10 dB แล้วปรับที่เหลือ เป็น 0 dB ส่วนการวัด Treble จะปรับ Gain ไว้ที่ 10 dB แล้วปรับที่เหลือ เป็น 0 dB แล้วทำการป้อนสัญญาณอินพุต ที่ความถี่ตั้งแต่ 1Hz จนถึง 30 KHz แล้วทำการวัดสัญญาณเอาต์พุต หาอัตราการขยายและการตอบสนองความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

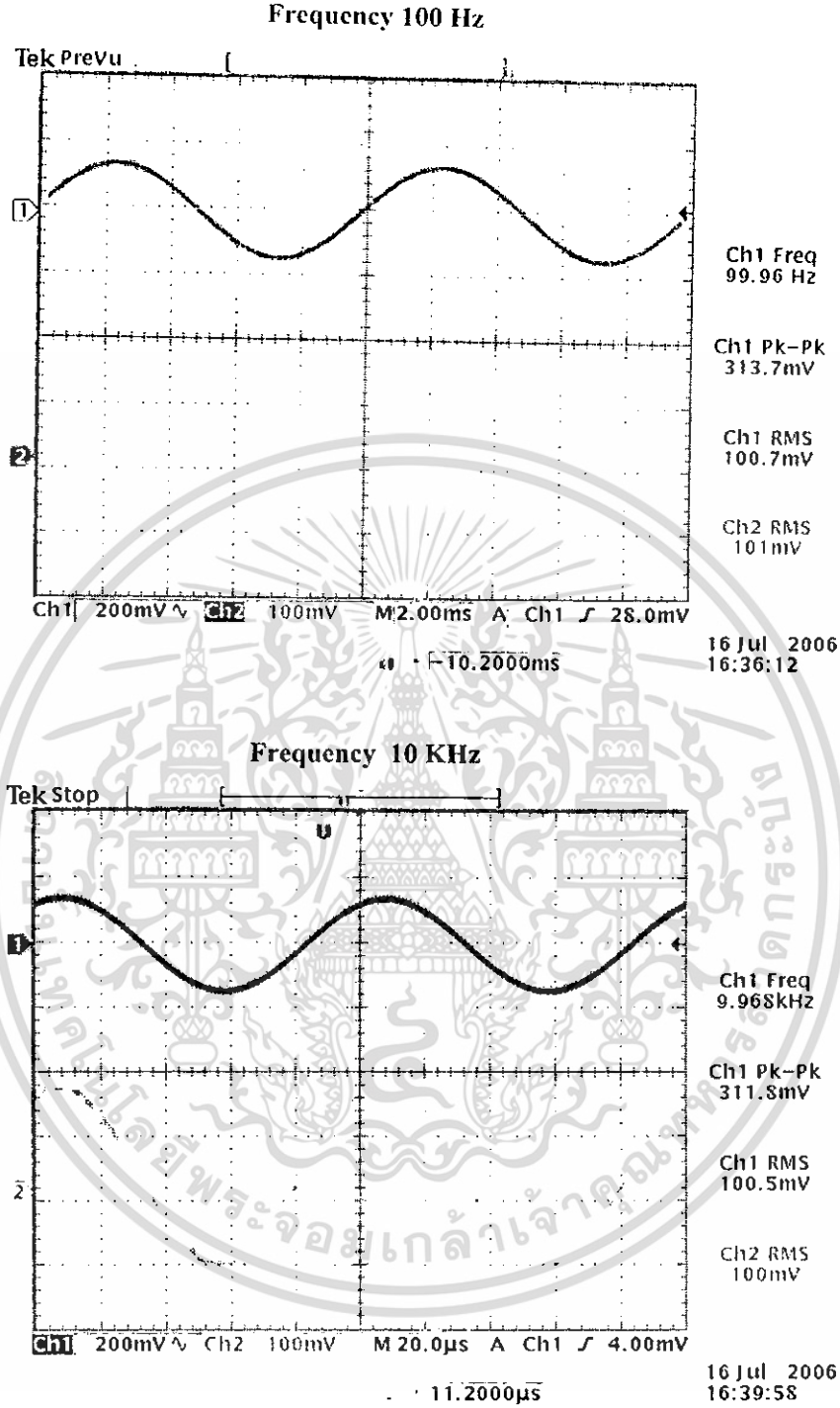
ผลการทดลองของ TONE

**ALLPASS (0 dB)**

| f(Hz) | Vout(Vrms) | Gain(dB) | f(Hz) | Vout(Vrms) | Gain(dB) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0765 | -2.32677 | 200 | 0.098 | -0.17548 |
| 2 | 0.0807 | -1.86253 | 300 | 0.1 | 0 |
| 3 | 0.0908 | -0.83828 | 400 | 0.0996 | -0.03481 |
| 4 | 0.0952 | -0.42726 | 500 | 0.0997 | -0.0261 |
| 5 | 0.0956 | -0.39084 | 600 | 0.0995 | -0.04354 |
| 6 | 0.0982 | -0.15777 | 700 | 0.0997 | -0.0261 |
| 7 | 0.0978 | -0.19322 | 1000 | 0.0999 | -0.00869 |
| 8 | 0.0972 | -0.24667 | 2000 | 0.0995 | -0.04354 |
| 9 | 0.0968 | -0.28249 | 3000 | 0.0998 | -0.01739 |
| 10 | 0.0986 | -0.12246 | 4000 | 0.0995 | -0.04354 |
| 20 | 0.1 | 0 | 5000 | 0.0996 | -0.03481 |
| 30 | 0.0998 | -0.01739 | 6000 | 0.0995 | -0.04354 |
| 40 | 0.1 | 0 | 7000 | 0.0992 | -0.06977 |
| 50 | 0.1 | 0 | 8000 | 0.0997 | -0.0261 |
| 60 | 0.0987 | -0.11366 | 9000 | 0.0992 | -0.06977 |
| 70 | 0.1 | 0 | 10000 | 0.0991 | -0.07853 |
| 80 | 0.0998 | -0.01739 | 20000 | 0.099 | -0.0873 |
| 90 | 0.0994 | -0.05227 | 30000 | 0.0227 | -12.8795 |
| 100 | 0.0979 | -0.18435 | | | |

ตารางที่ 6.2 ผลการทดลองTONE ALL PASS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 6.9 แสดงสัญญาณ100Hz และ 10KHz dB ของ ALL PASS

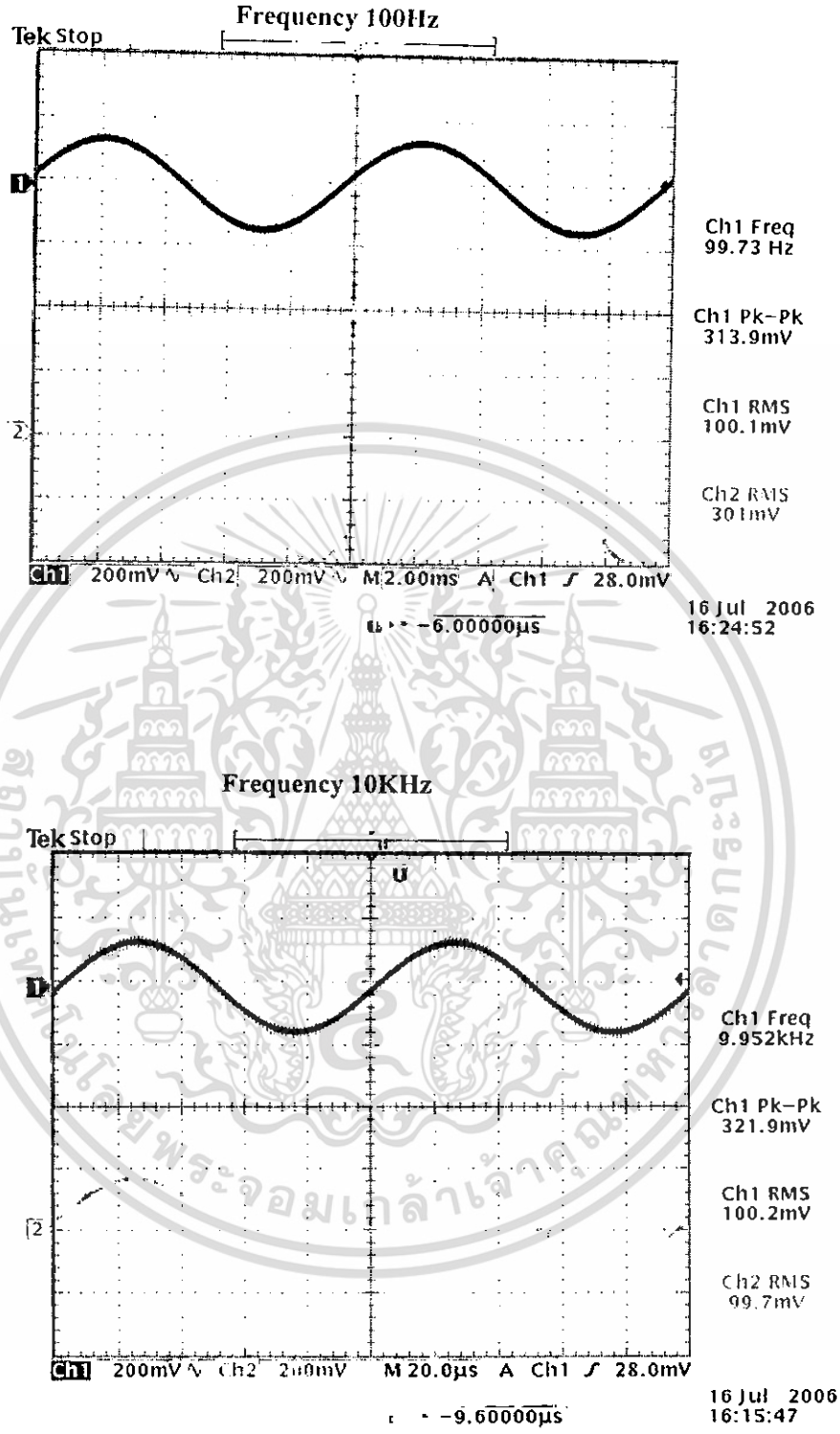
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**BASS (+10 dB)**

| f(Hz) | Vout(Vrms) | Gain(dB) | f(Hz) | Vout(Vrms) | Gain(dB) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.317 | 10.02119 | 300 | 0.181 | 5.153571 |
| 2 | 0.316 | 9.993742 | 400 | 0.137 | 2.734411 |
| 3 | 0.317 | 10.02119 | 500 | 0.117 | 1.363717 |
| 4 | 0.317 | 10.02119 | 600 | 0.109 | 0.74853 |
| 5 | 0.317 | 10.02119 | 700 | 0.104 | 0.340667 |
| 6 | 0.317 | 10.02119 | 800 | 0.102 | 0.172003 |
| 7 | 0.317 | 10.02119 | 900 | 0.1 | 0 |
| 8 | 0.315 | 9.966211 | 1000 | 0.0998 | -0.01739 |
| 9 | 0.317 | 10.02119 | 2000 | 0.0995 | -0.04354 |
| 10 | 0.317 | 10.02119 | 3000 | 0.0992 | -0.06977 |
| 20 | 0.31 | 9.827234 | 4000 | 0.0997 | -0.0261 |
| 30 | 0.31 | 9.827234 | 5000 | 0.1 | 0 |
| 40 | 0.306 | 9.714429 | 6000 | 0.0994 | -0.05227 |
| 50 | 0.309 | 9.79917 | 7000 | 0.0992 | -0.06977 |
| 60 | 0.305 | 9.685997 | 8000 | 0.0995 | -0.04354 |
| 70 | 0.307 | 9.742768 | 9000 | 0.0992 | -0.06977 |
| 80 | 0.312 | 9.883092 | 10000 | 0.0997 | -0.0261 |
| 90 | 0.308 | 9.771014 | 20000 | 0.099 | -0.0873 |
| 100 | 0.301 | 9.57133 | 30000 | 0.024 | -12.3958 |
| 200 | 0.254 | 8.096674 | | | |

ตารางที่ 6.3 ผลการทดลองTONE BASS +10 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 6.10 แสดงสัญญาณ100Hz และ 10KHz dB ของBASS +10

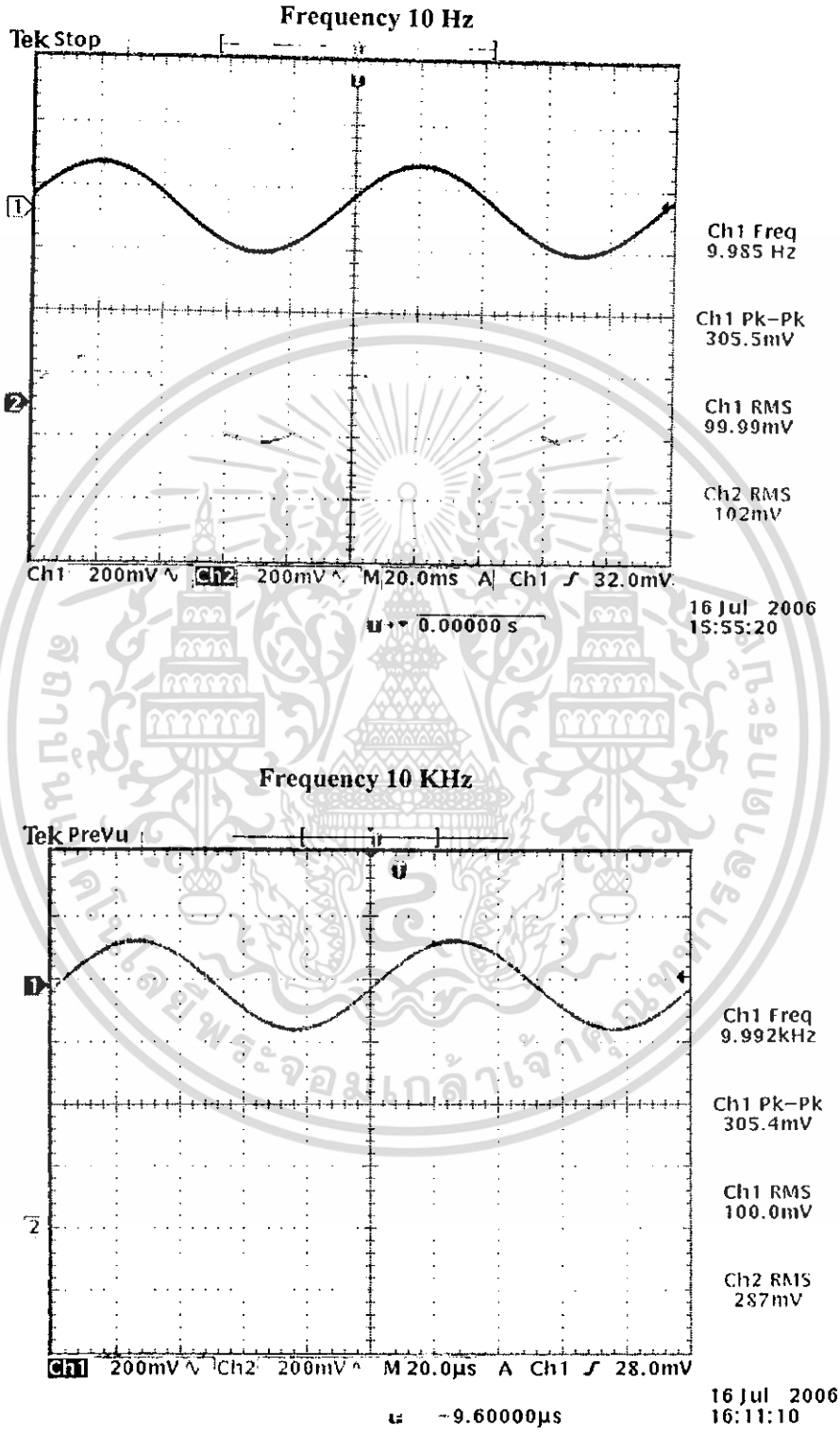
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TREBLE (+10 dB)**

| f(Hz) | Vout(Vrms) | Gain(dB) | f(Hz) | Vout(Vrms) | Gain(dB) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0734 | -2.68608 | 300 | 0.0998 | -0.01739 |
| 2 | 0.0915 | -0.77158 | 400 | 0.0998 | -0.01739 |
| 3 | 0.0945 | -0.49136 | 500 | 0.0995 | -0.04354 |
| 4 | 0.0957 | -0.38176 | 600 | 0.106 | 0.506117 |
| 5 | 0.0969 | -0.27352 | 700 | 0.0995 | -0.04354 |
| 6 | 0.0978 | -0.19322 | 800 | 0.1 | 0 |
| 7 | 0.101 | 0.086427 | 900 | 0.0998 | -0.01739 |
| 8 | 0.101 | 0.086427 | 1000 | 0.0986 | -0.12246 |
| 9 | 0.101 | 0.086427 | 2000 | 0.0998 | -0.01739 |
| 10 | 0.102 | 0.172003 | 3000 | 0.107 | 0.587676 |
| 20 | 0.102 | 0.172003 | 4000 | 0.126 | 2.007411 |
| 30 | 0.101 | 0.086427 | 5000 | 0.157 | 3.917993 |
| 40 | 0.101 | 0.086427 | 6000 | 0.204 | 6.192603 |
| 50 | 0.1 | 0 | 7000 | 0.23 | 7.234557 |
| 60 | 0.101 | 0.086427 | 8000 | 0.268 | 8.562696 |
| 70 | 0.101 | 0.086427 | 9000 | 0.279 | 8.912084 |
| 80 | 0.101 | 0.086427 | 10000 | 0.286 | 9.127321 |
| 90 | 0.0978 | -0.19322 | 20000 | 0.305 | 9.685997 |
| 100 | 0.0998 | -0.01739 | 30000 | 0.0261 | -11.6672 |
| 200 | 0.0999 | -0.00869 | | | |

ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองTONE TREBLE +10 dB

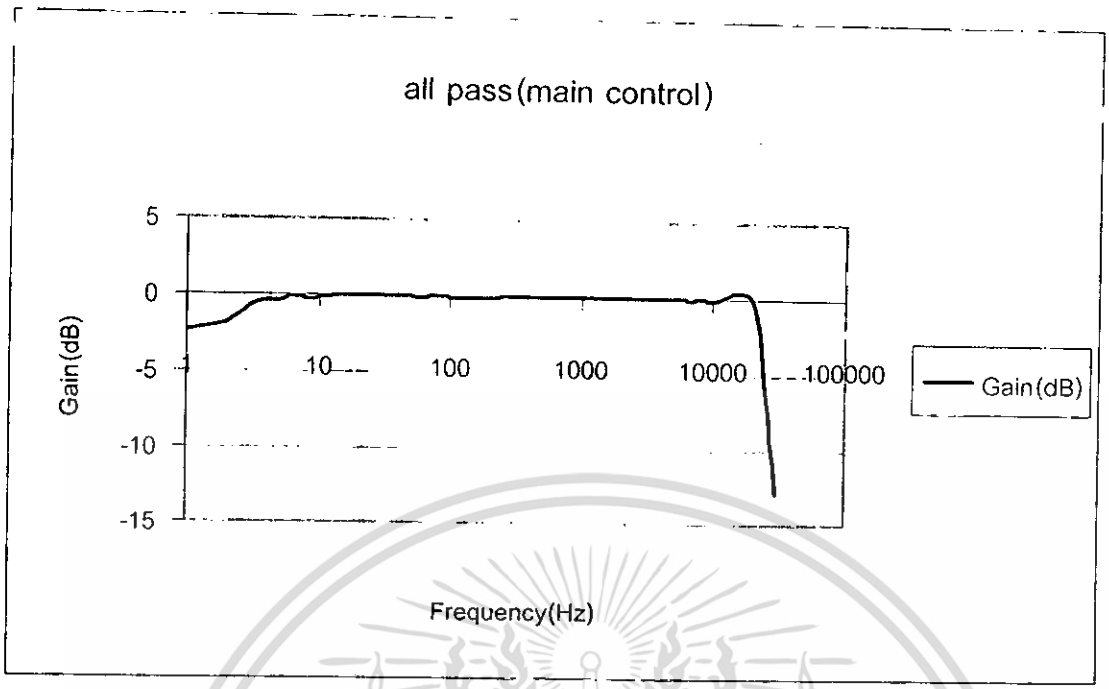
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



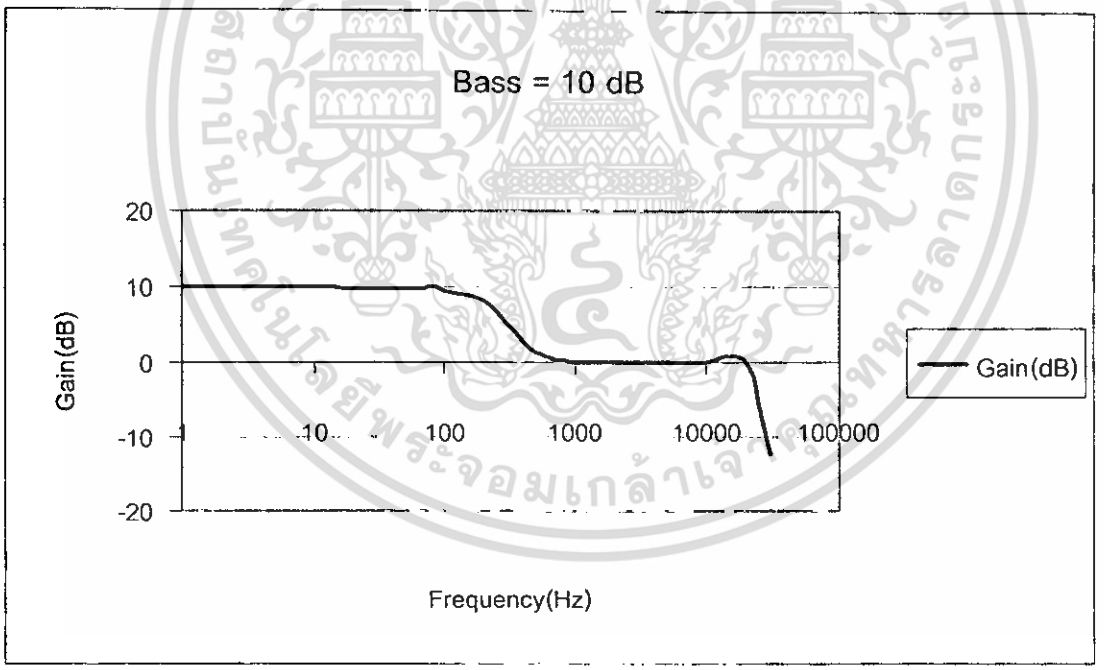

รูปที่ 6.11แสดงสัญญาณ100Hz และ 10KHz dB ของTREBLE +10

เมื่อนำค่าแต่ละตารางมาพล็อตกราฟจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

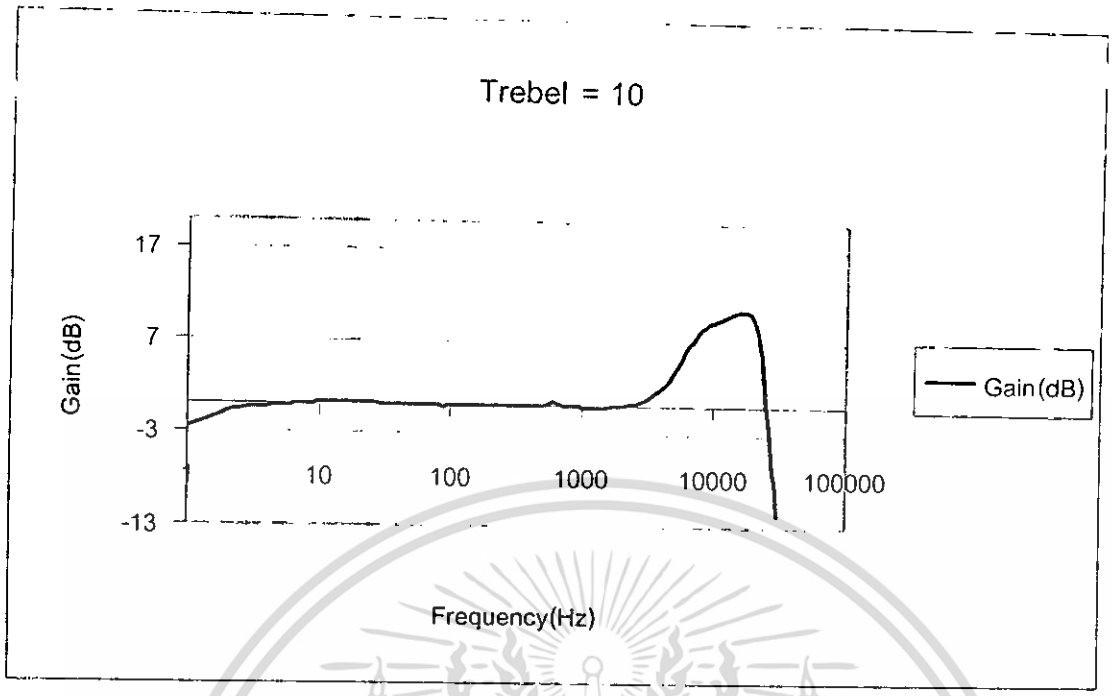



รูปที่ 6.12 ALL PASS




รูปที่ 6.13 BASS GAIN +10 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



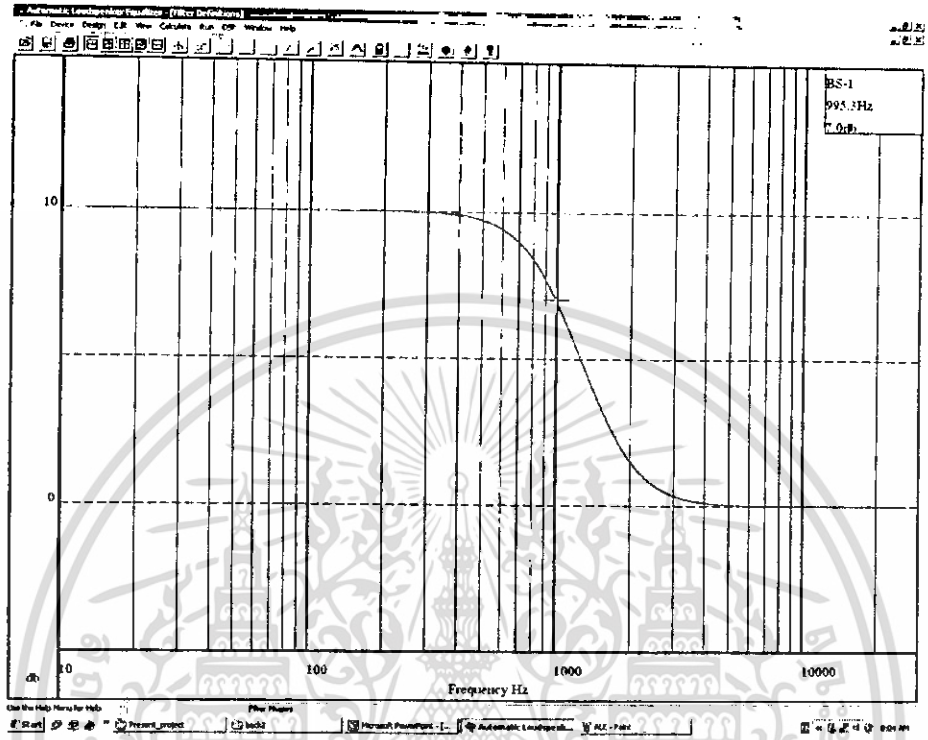

รูปที่ 6.14 TREBLE GAIN +10 dB

### 6.2.3 การทดลอง Biquad Filter

Biquad Filter ของ IC TAS3004 นี้มีทั้งหมด 7 ช่องซึ่งทำให้สามารถกำหนดย่านการตอบสนองความความถี่ได้ทั้งหมด 7 ย่านความถี่ การกำหนดย่านความถี่จะขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้คำนวณตาม สมการต่างๆ ของ Filter ต่างๆ ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น การกำหนดค่าพารามิเตอร์ อาจจะได้มาจากการคำนวณตามสมการที่กล่าวไป หรือ ทำการป้อนเข้ากับโปรแกรม ALE (Automatic Loudspeaker Equalizer) เราสามารถกำหนดค่าของการฟิลเตอร์ที่ต้องการแล้วโปรแกรมจะทำการ Generate ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งออกมาเป็นเลขฐาน 16 ส่วนค่าที่จะนำไปป้อนเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับIC TAS3004 จะอยู่ในรูป แบบของสัมประสิทธิ์ของ A1, A2, B0, B1, B2 จากการทดสอบได้ทำการทดสอบของ Filter ดังนี้ได้แก่ Low Pass Filter, High Pass Filter,Nocth Filter และ Band Pass Filter ได้ผลการทดลองดังนี้คือ (ค่าพารามิเตอร์ส่วนใหญ่ได้มาจากโปรแกรม ALE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Low Pass Filter**




รูปที่ 6.15แสงดง ALE Generate ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆของ Low Pass Filter

Gain=10dB, Cut Off frequency= 1 KHz

B0=111F34h, B1=E309F7h, B2=0C8D38h, A1=E2CB9Ch, A2=0D6E11h

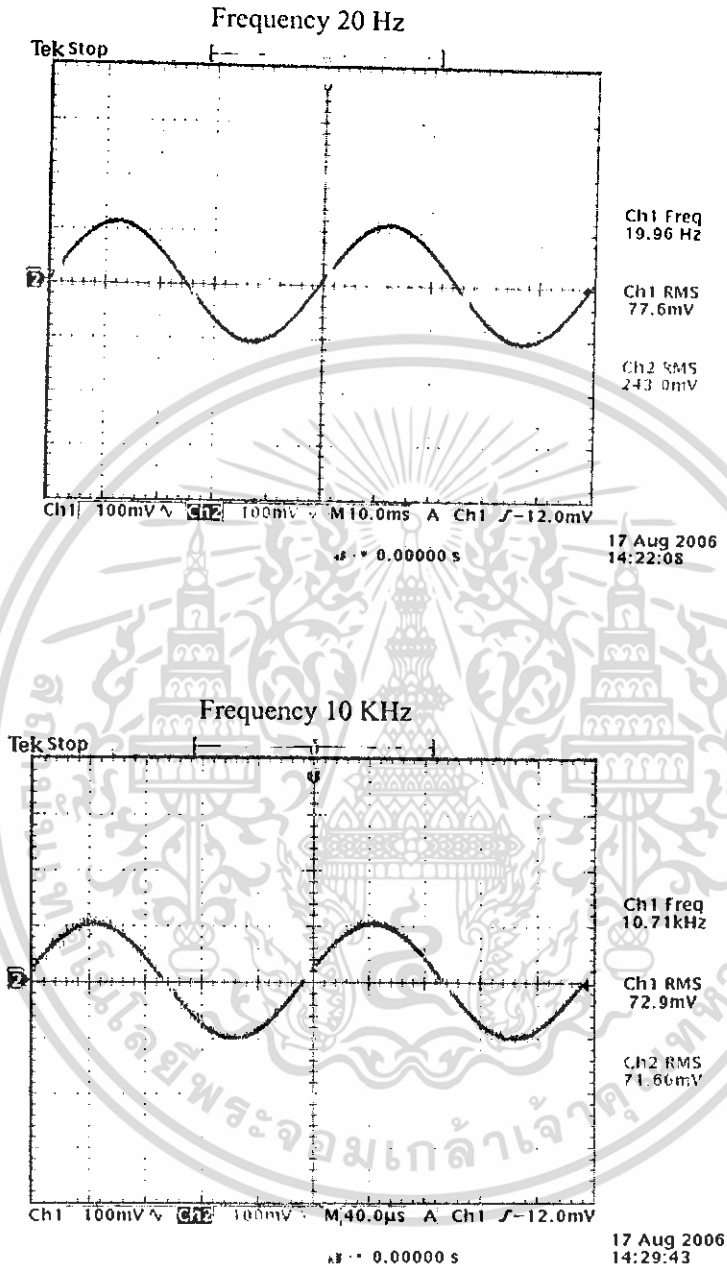
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง LPF

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain(dB) | freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain(dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 58.6 | 184.7 | 9.971386 | 300 | 90 | 275.4 | 9.714429 |
| 2 | 58.6 | 184.7 | 9.971386 | 400 | 90 | 272.5 | 9.62248 |
| 3 | 58.6 | 184.7 | 9.971386 | 500 | 89.8 | 267.2 | 9.471202 |
| 4 | 58.6 | 184.7 | 9.971386 | 600 | 87.8 | 260.6 | 9.449598 |
| 5 | 58.6 | 184.7 | 9.971386 | 700 | 92.3 | 252.1 | 8.727423 |
| 6 | 58.6 | 184.7 | 9.971386 | 800 | 87.2 | 230.2 | 8.431777 |
| 7 | 58.6 | 184.7 | 9.971386 | 900 | 90.5 | 210 | 7.311414 |
| 8 | 58.6 | 184.7 | 9.971386 | 1000 | 89.8 | 194.6 | 6.71733 |
| 9 | 58.6 | 184.7 | 9.971386 | 2000 | 86.7 | 101 | 1.326046 |
| 10 | 58.6 | 184.7 | 9.971386 | 3000 | 82.6 | 84.14 | 0.160449 |
| 20 | 77.6 | 243 | 9.914891 | 4000 | 77.7 | 80.12 | 0.266398 |
| 30 | 83.9 | 260.5 | 9.840915 | 5000 | 72.9 | 71.66 | -0.14901 |
| 40 | 89 | 273.8 | 9.760869 | 6000 | 66.1 | 67.5 | 0.182046 |
| 50 | 87.6 | 270.6 | 9.796474 | 7000 | 64 | 62.12 | -0.25897 |
| 60 | 86.5 | 269.4 | 9.86763 | 8000 | 57 | 57.33 | 0.050142 |
| 70 | 91.1 | 276.5 | 9.643535 | 9000 | 55.1 | 52.56 | -0.40992 |
| 80 | 92.1 | 276.4 | 9.545568 | 10000 | 50.7 | 49.7 | -0.17303 |
| 90 | 93.2 | 275.6 | 9.417266 | 20000 | 29.5 | 29.07 | -0.12754 |
| 100 | 89.4 | 275.3 | 9.769374 | 30000 | 29.5 | 29.07 | -0.12754 |
| 200 | 89.8 | 276.1 | 9.755801 | | | | |

ตารางที่ 6.5 แสดงผลการทดลอง LPF

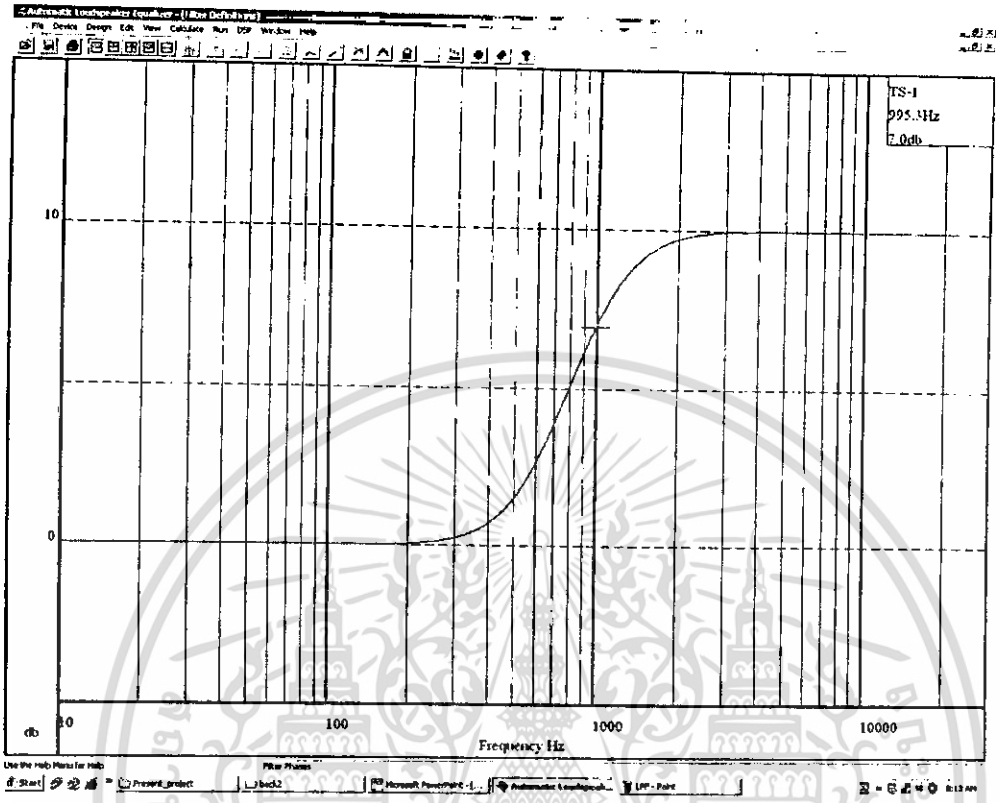
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 6.16 แสดงสัญญาณ20Hz และ 10KHz dB ของ LPF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**High Pass Filter**




รูปที่ 6.17 แสงดง ALE Generate ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆของ High Pass Filter

Gain=10dB, Cut Off frequency= 1 KHz

B0=307A4Eh, B1=A4616Ah, B2=2B6BA2h, A1=E31F68h, A2=0D27F3h

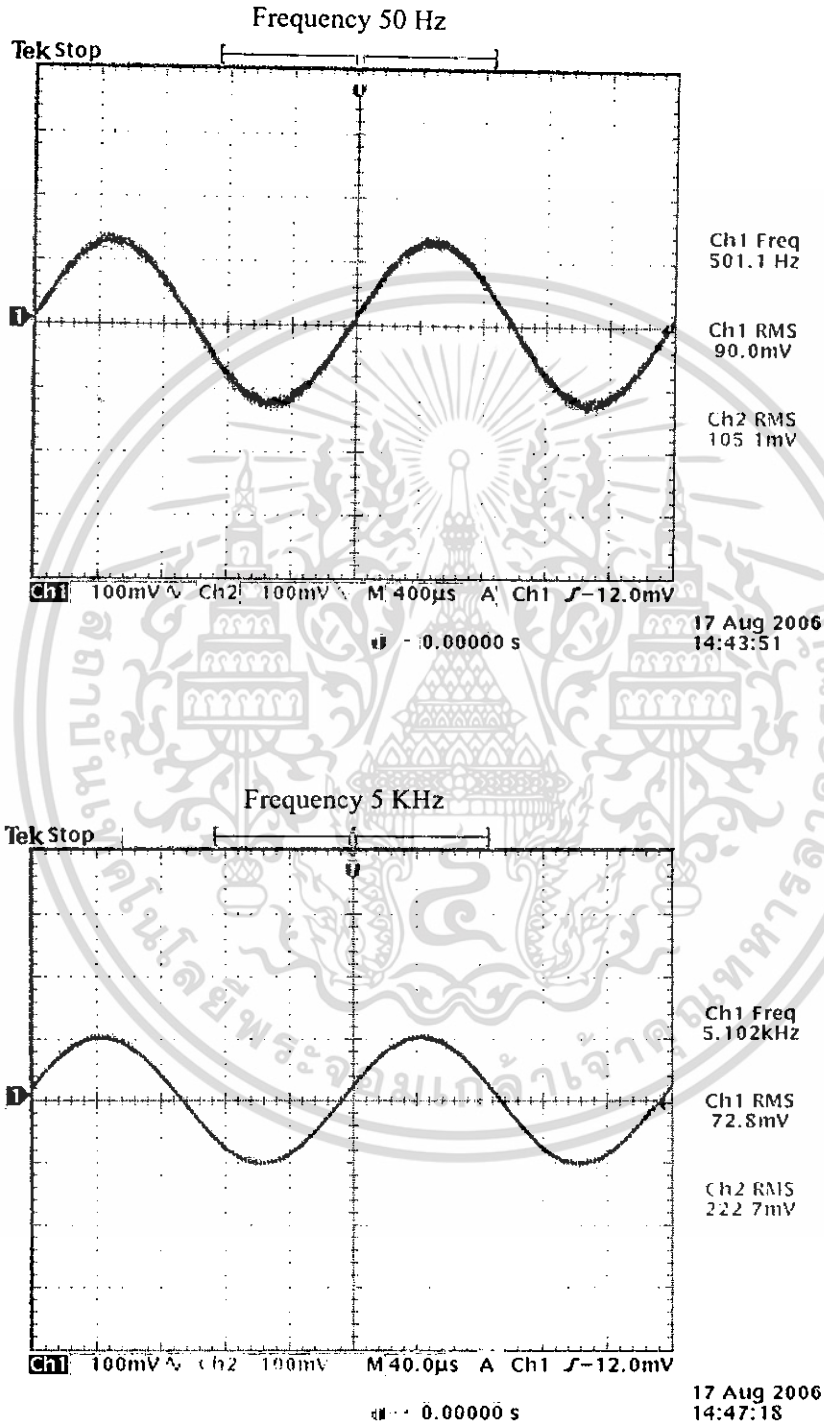
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองHPF

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain(dB) | freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain(dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 58.8 | 59.8 | 0.146477 | 300 | 89.9 | 88.09 | -0.17666 |
| 2 | 58.8 | 59.8 | 0.146477 | 400 | 90.1 | 95.62 | 0.516479 |
| 3 | 58.8 | 59.8 | 0.146477 | 500 | 89.8 | 105.2 | 1.374788 |
| 4 | 58.8 | 59.8 | 0.146477 | 600 | 88.2 | 120.5 | 2.710369 |
| 5 | 58.8 | 59.8 | 0.146477 | 700 | 91.8 | 133.7 | 3.265775 |
| 6 | 58.8 | 59.8 | 0.146477 | 800 | 87.4 | 155.2 | 4.987606 |
| 7 | 58.8 | 59.8 | 0.146477 | 900 | 90.4 | 178.3 | 5.899658 |
| 8 | 58.8 | 59.8 | 0.146477 | 1000 | 89 | 194.4 | 6.786125 |
| 9 | 58.8 | 59.8 | 0.146477 | 2000 | 86.9 | 258 | 9.451999 |
| 10 | 58.8 | 59.8 | 0.146477 | 3000 | 82.8 | 252.5 | 9.684621 |
| 20 | 78 | 77.49 | -0.05698 | 4000 | 80.5 | 237.5 | 9.397355 |
| 30 | 84.5 | 83.38 | -0.1159 | 5000 | 72.8 | 222.7 | 9.711777 |
| 40 | 86.4 | 85.24 | -0.11741 | 6000 | 66.3 | 211.1 | 10.05949 |
| 50 | 87.7 | 86.06 | -0.16397 | 7000 | 64 | 196.8 | 9.756902 |
| 60 | 86.7 | 85.67 | -0.10381 | 8000 | 57.8 | 180.8 | 9.905412 |
| 70 | 91.6 | 88.64 | -0.28531 | 9000 | 55.4 | 165.8 | 9.521495 |
| 80 | 87.1 | 87.67 | 0.056657 | 10000 | 51 | 154.6 | 9.632786 |
| 90 | 90.7 | 88.64 | -0.19955 | 20000 | 30.6 | 87.9 | 9.165349 |
| 100 | 90 | 87.05 | -0.28947 | 30000 | 30.6 | 87.9 | 9.165349 |
| 200 | 90 | 88.59 | -0.13716 | | | | |

ตารางที่ 6.6 แสดงผลการทดลอง HPF

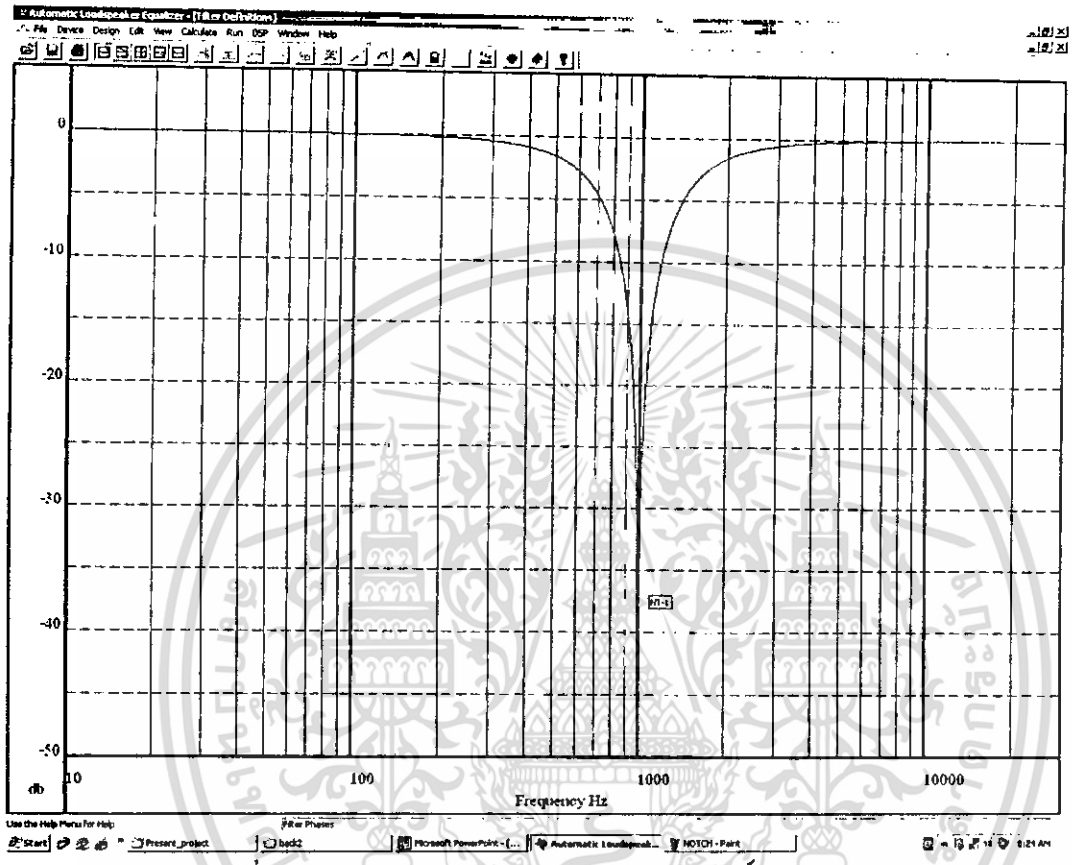
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 6.18 แสดงสัญญาณ50Hz และ 5KHz dB ของ HPF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Nocth Filter**




รูปที่ 6.19 แสดง ALE Generate ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆของ Nocth Filter

Band width 1KHz, Cut Off frequency= 1 KHz

B0=0F040Ch, B1=E239AEh, B2=0F040Ch, A1=E239AEh, A2=0E0818h

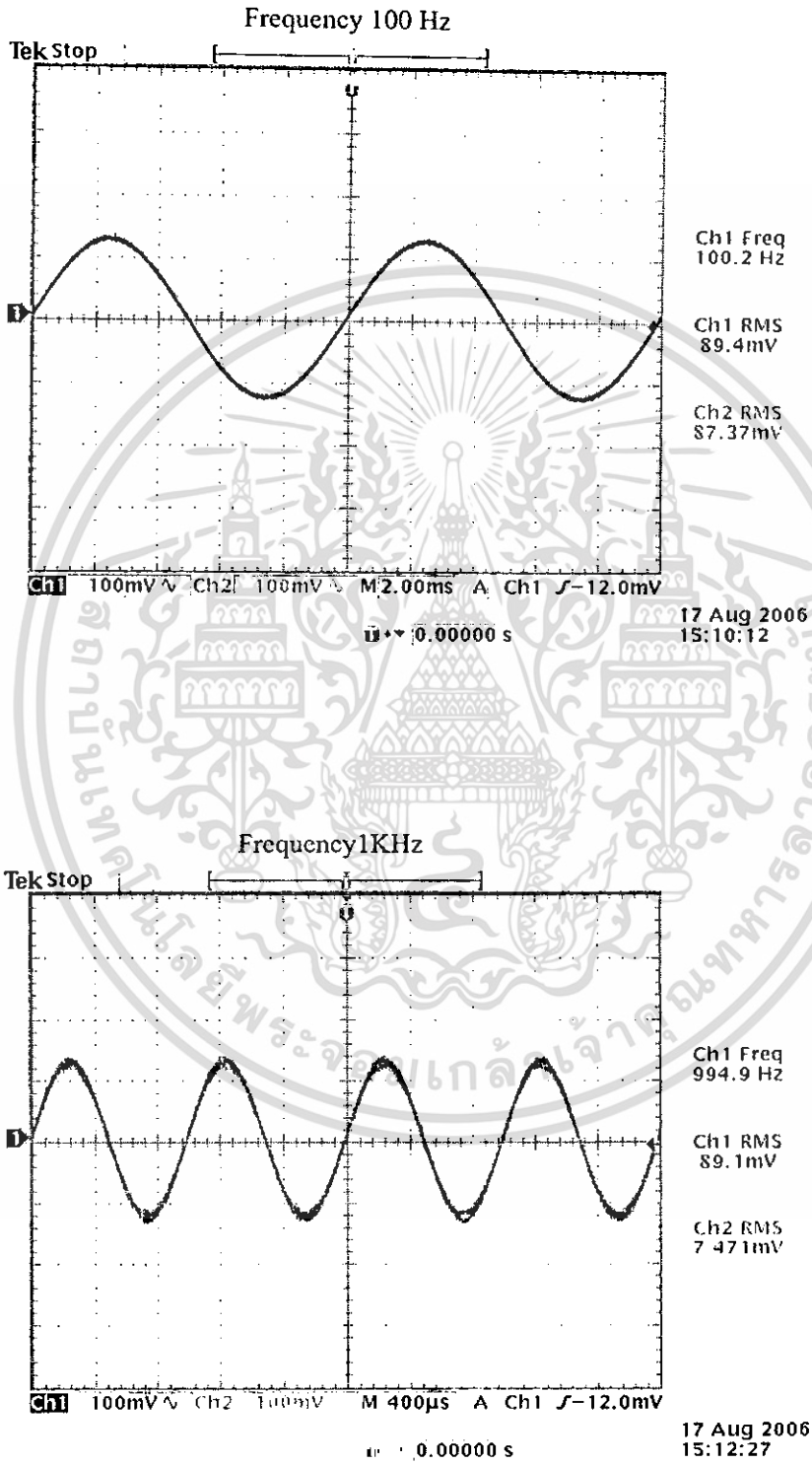
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองNocth Filter

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain(dB) | freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain(dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 59.1 | 59.77 | 0.097915 | 300 | 89.7 | 83.7 | -0.60134 |
| 2 | 59.1 | 59.77 | 0.097915 | 400 | 89.9 | 79.63 | -1.05366 |
| 3 | 59.1 | 59.77 | 0.097915 | 500 | 90.1 | 73.62 | -1.75458 |
| 4 | 59.1 | 59.77 | 0.097915 | 600 | 89.6 | 64.4 | -2.86844 |
| 5 | 59.1 | 59.77 | 0.097915 | 700 | 91.8 | 53.19 | -4.74025 |
| 6 | 59.1 | 59.77 | 0.097915 | 800 | 87.2 | 38.46 | -7.11014 |
| 7 | 59.1 | 59.77 | 0.097915 | 900 | 90.3 | 20.43 | -12.9084 |
| 8 | 59.1 | 59.77 | 0.097915 | 1000 | 89.2 | 10.25 | -18.7928 |
| 9 | 59.1 | 59.77 | 0.097915 | 2000 | 86.9 | 70.71 | -1.79078 |
| 10 | 59.1 | 59.77 | 0.097915 | 3000 | 82.5 | 75.77 | -0.73913 |
| 20 | 77.8 | 78.13 | 0.036765 | 4000 | 77.9 | 73.83 | -0.46609 |
| 30 | 83.8 | 83.2 | -0.06241 | 5000 | 72.3 | 69.64 | -0.32559 |
| 40 | 86.6 | 86.05 | -0.05534 | 6000 | 67.3 | 65.25 | -0.26869 |
| 50 | 87.9 | 86.51 | -0.13845 | 7000 | 62.4 | 60.57 | -0.25854 |
| 60 | 86.6 | 85.75 | -0.08568 | 8000 | 57.4 | 57.44 | 0.006051 |
| 70 | 91.4 | 88.07 | -0.32236 | 9000 | 55 | 52.62 | -0.38424 |
| 80 | 87.1 | 87.31 | 0.020917 | 10000 | 50.9 | 49.53 | -0.23699 |
| 90 | 91 | 87.89 | -0.30204 | 20000 | 30.3 | 28.89 | -0.4139 |
| 100 | 89.4 | 87.25 | -0.21144 | 30000 | 0 | 28.89 | -0.4126 |
| 200 | 89.8 | 66.35 | -2.62871 | | | | |

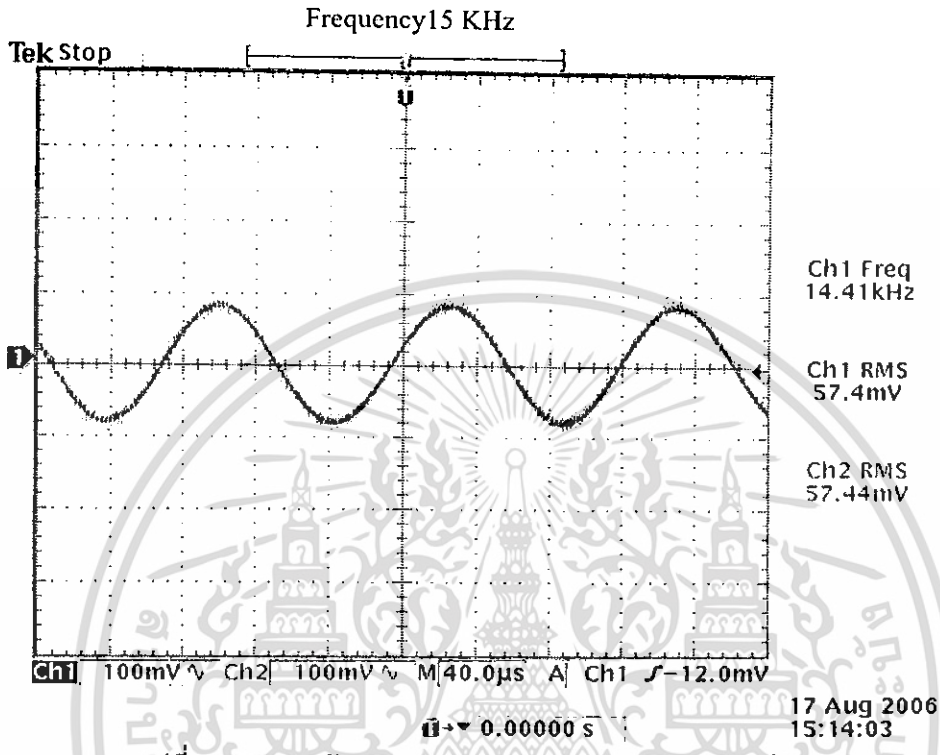
ตารางที่ 6.7 แสดงผลการทดลอง Nocth Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 6.20 แสดงสัญญาณ100Hz และ 1KHz dB ของ Nocth Filter

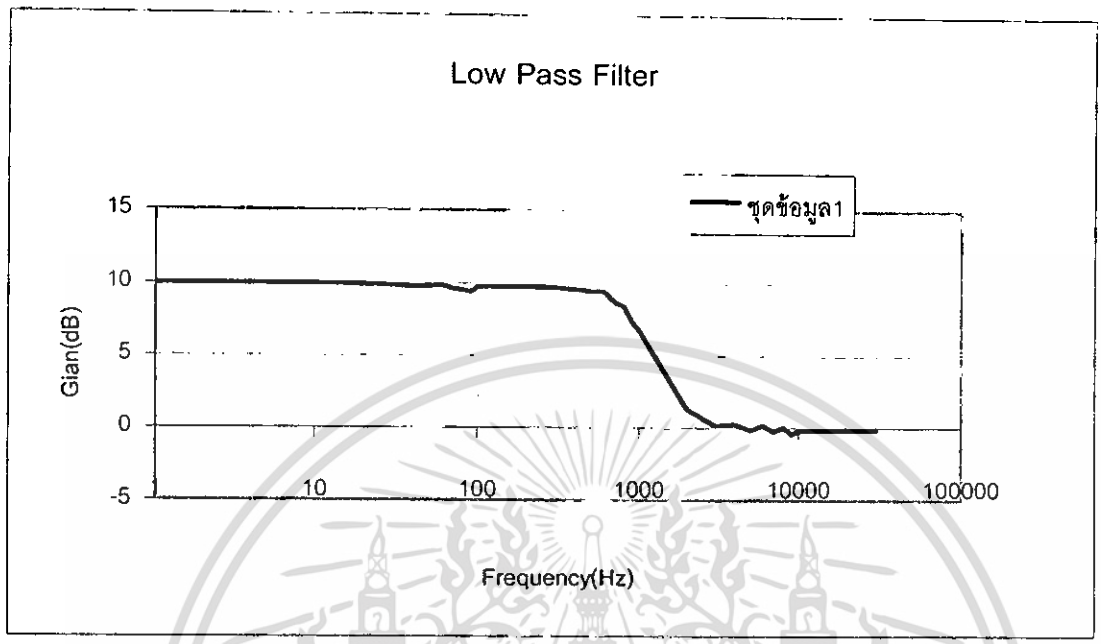
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



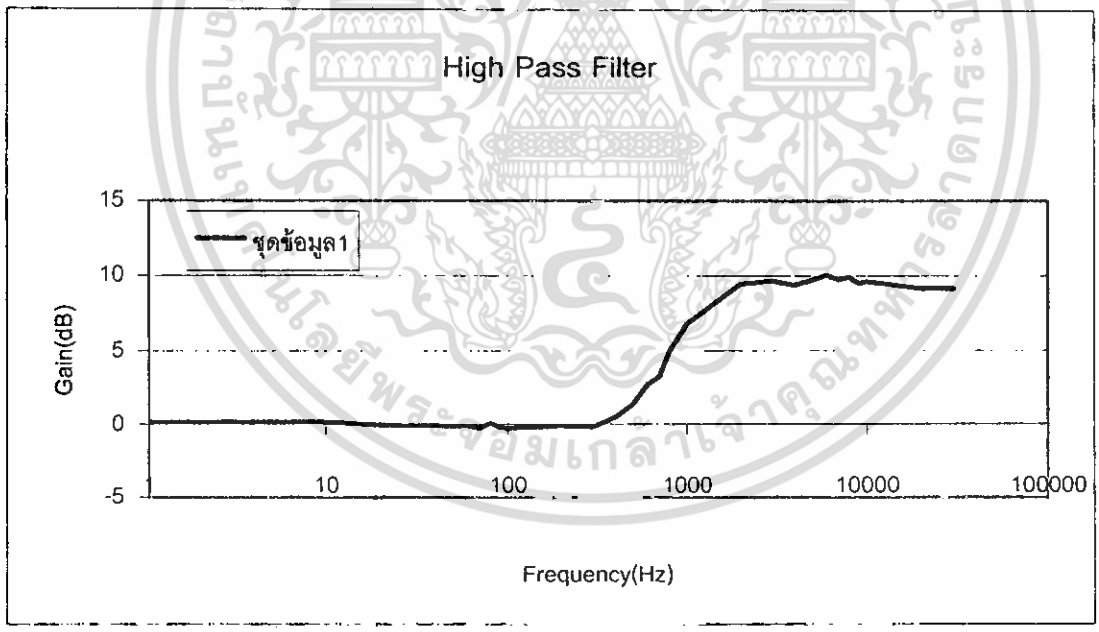

รูปที่ 6.21 แสดงสัญญาณ 15KHz dB ของ Nocth Filter (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำข้อมูลจากตารางมาพล๊อตกราฟจะได้

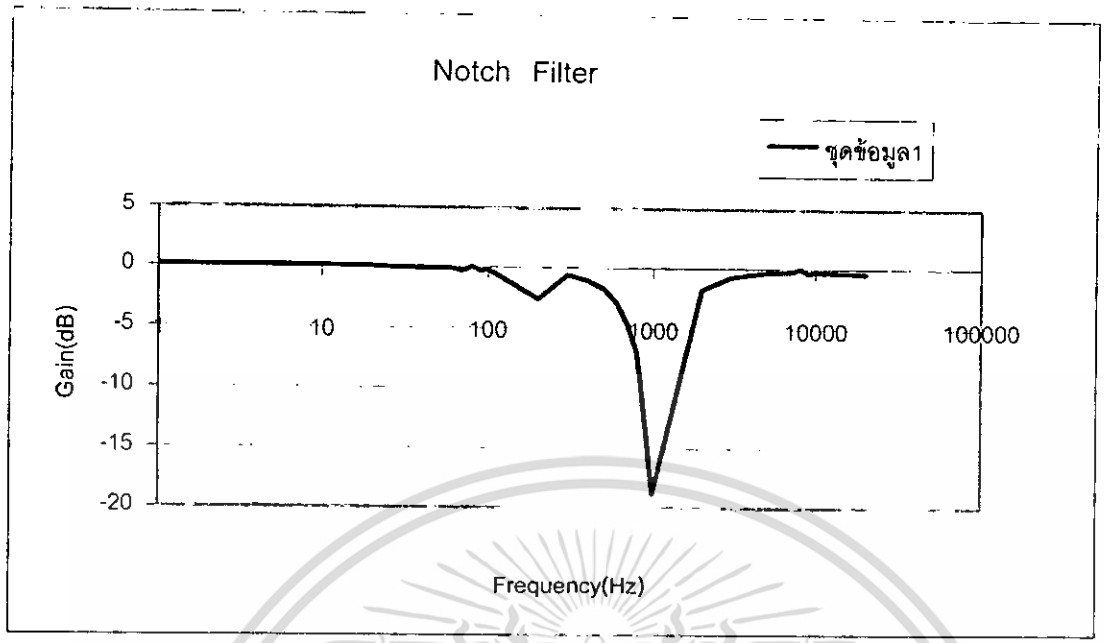



รูปที่ 6.22 แสดงกราฟจากการทดลองLow Pass Filter




รูปที่ 6.23 แสดงกราฟจากการทดลองHigt Pass Filter

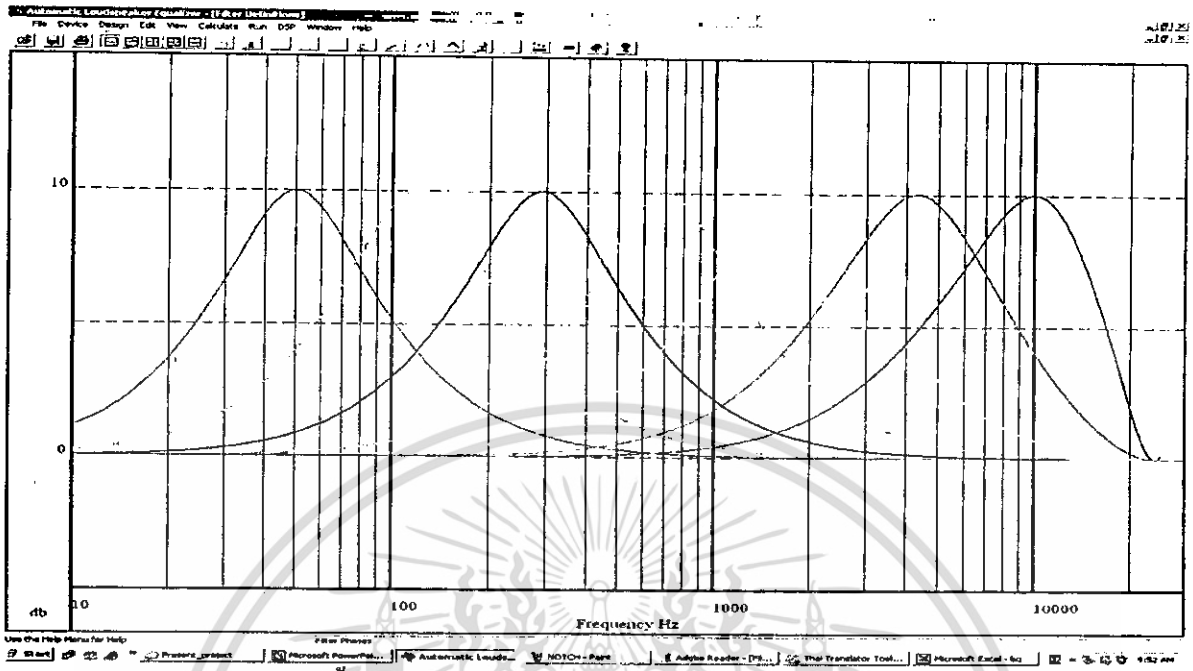
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 6.24 แสดงกราฟจากการทดลอง Nocth Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Biquad Filter**




ค่าพารามิเตอร์จะได้ดังต่อไปนี้

| | B0 | B1 | B2 | A1 | A2 | BW | fc |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| eq1 | 10196E | E017B3 | 0FCF0B | E017B3 | 0FE879 | 44 | 50 |
| eq2 | 103D05 | E03973 | 0F8A88 | E03973 | 0FC78E | 106 | 120 |
| eq3 | 109434 | E08EE3 | 0EE2B5 | E08EE3 | 0F76EA | 260 | 290 |
| eq4 | 114ED3 | E156C4 | 0D7B7A | E156C4 | 0ECA4D | 600 | 700 |
| eq5 | 134A57 | E3C1E9 | 09AA88 | E3C1E9 | 0CF4E0 | 1.6k | 1.7k |
| eq6 | 177623 | EAC605 | 01A313 | EAC605 | 91937 | 4.1k | 4.3k |
| eq7 | 1CE7B0 | FACEA4 | F72891 | FACEA4 | 41040 | 8.2k | 10k |

ตารางที่ 6.8 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ผลการทดลอง Biquad 50 Hz**

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain(dB) | freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain(dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 58.2 | 58.2 | 0 | 300 | 90.2 | 96.68 | 0.602602 |
| 2 | 58.2 | 58.2 | 0 | 400 | 90.3 | 93.06 | 0.261506 |
| 3 | 58.2 | 58.2 | 0 | 500 | 90.8 | 91.37 | 0.054356 |
| 4 | 58.2 | 58.2 | 0 | 600 | 90.8 | 92.23 | 0.135727 |
| 5 | 58.2 | 58.2 | 0 | 700 | 92.2 | 90.7 | -0.14247 |
| 6 | 58.2 | 58.2 | 0 | 800 | 88 | 87.6 | -0.03957 |
| 7 | 58.2 | 58.2 | 0 | 900 | 91 | 88 | -0.29117 |
| 8 | 58.2 | 58.2 | 0 | 1000 | 90 | 87.36 | -0.2586 |
| 9 | 58.2 | 58.2 | 0 | 2000 | 87.6 | 83.4 | -0.42676 |
| 10 | 60.3 | 67.5 | 0.979729 | 3000 | 83.3 | 79.01 | -0.45926 |
| 20 | 78 | 119.2 | 3.683633 | 4000 | 78.7 | 74.14 | -0.51844 |
| 30 | 85 | 180.2 | 6.526717 | 5000 | 74.1 | 69.18 | -0.59675 |
| 40 | 86.3 | 243.9 | 9.02402 | 6000 | 67.5 | 65.38 | -0.27718 |
| 50 | 88 | 271.1 | 9.772937 | 7000 | 65 | 60.72 | -0.59163 |
| 60 | 86.7 | 251.5 | 9.250378 | 8000 | 58.1 | 54.81 | -0.50633 |
| 70 | 91.2 | 221.3 | 7.699732 | 9000 | 55 | 50.49 | -0.74315 |
| 80 | 87.3 | 197.4 | 7.086658 | 10000 | 50 | 47 | -0.53744 |
| 90 | 90.7 | 173.4 | 5.628836 | 20000 | 30.6 | 28.4 | -0.64806 |
| 100 | 90 | 158.7 | 4.926688 | 30000 | 30.6 | 28.4 | -0.64806 |
| 200 | 90.3 | 107.9 | 1.546674 | | | | |

ตารางที่ 6.9 แสดงผลการทดลอง Biquad 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ผลการทดลอง Biquad 120 Hz**

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain(dB) | freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain(dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 58.3 | 57.44 | -0.12908 | 300 | 90.6 | 135 | 3.464111 |
| 2 | 58.3 | 57.44 | -0.12908 | 400 | 90.5 | 114 | 2.005125 |
| 3 | 58.3 | 57.44 | -0.12908 | 500 | 90.1 | 105.2 | 1.345819 |
| 4 | 58.3 | 57.44 | -0.12908 | 600 | 88.1 | 102 | 1.272485 |
| 5 | 58.3 | 57.44 | -0.12908 | 700 | 92.1 | 98.62 | 0.594107 |
| 6 | 58.3 | 57.44 | -0.12908 | 800 | 88 | 92.84 | 0.465049 |
| 7 | 58.3 | 57.44 | -0.12908 | 900 | 91.2 | 92.1 | 0.085296 |
| 8 | 58.3 | 57.44 | -0.12908 | 1000 | 90.1 | 90.93 | 0.079648 |
| 9 | 58.8 | 58.31 | -0.07269 | 2000 | 87.9 | 84.39 | -0.35396 |
| 10 | 59.1 | 60 | 0.131275 | 3000 | 83.6 | 79.35 | -0.45319 |
| 20 | 77.6 | 84.45 | 0.734759 | 4000 | 78.4 | 74.1 | -0.48996 |
| 30 | 84 | 100.4 | 1.549089 | 5000 | 73.3 | 68.93 | -0.53391 |
| 40 | 87 | 117 | 2.573332 | 6000 | 67.1 | 65.1 | -0.26283 |
| 50 | 88 | 135.5 | 3.749132 | 7000 | 65.4 | 60.2 | -0.71963 |
| 60 | 88.5 | 157.7 | 5.017768 | 8000 | 58 | 55.42 | -0.39523 |
| 70 | 91.4 | 187.2 | 6.227193 | 9000 | 56.1 | 51 | -0.82785 |
| 80 | 92.3 | 215 | 7.344735 | 10000 | 51.4 | 47.67 | -0.65436 |
| 90 | 93.3 | 244 | 8.350164 | 20000 | 31.2 | 27.5 | -1.09644 |
| 100 | 90 | 257.1 | 9.117191 | 30000 | 31.2 | 27.5 | -1.09644 |
| 120 | 88.1 | 276.5 | 9.934385 | | | | |
| 200 | 90.2 | 189.6 | 6.452636 | | | | |

ตารางที่ 6.10 แสดงผลการทดลอง Biquad 120 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ผลการทดลอง Biquad 290 Hz**

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain(dB) | freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain(dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 27.5 | 27.42 | -0.0253 | 290 | 91.5 | 275.6 | 9.577162 |
| 2 | 27.5 | 27.42 | -0.0253 | 400 | 90.4 | 229.5 | 8.092285 |
| 3 | 27.5 | 27.42 | -0.0253 | 500 | 90.3 | 184.2 | 6.192038 |
| 4 | 27.5 | 27.42 | -0.0253 | 600 | 90.3 | 156.1 | 4.754303 |
| 5 | 27.5 | 27.42 | -0.0253 | 700 | 90 | 138.3 | 3.731593 |
| 6 | 40 | 39.8 | -0.04354 | 800 | 88.4 | 125.8 | 3.064568 |
| 7 | 46.2 | 45.35 | -0.16129 | 900 | 91 | 117.1 | 2.19031 |
| 8 | 53.2 | 52.34 | -0.14156 | 1000 | 89.9 | 112.4 | 1.940132 |
| 9 | 57.8 | 57.31 | -0.07395 | 2000 | 87.7 | 89.64 | 0.190045 |
| 10 | 59.5 | 59.3 | -0.02925 | 3000 | 83.7 | 81.68 | -0.21219 |
| 20 | 78.2 | 79.25 | 0.11585 | 4000 | 78.7 | 75.62 | -0.34676 |
| 30 | 84.3 | 86.38 | 0.211713 | 5000 | 73.6 | 70.05 | -0.42939 |
| 40 | 87 | 91.38 | 0.426638 | 6000 | 68.5 | 64.42 | -0.5334 |
| 50 | 87.9 | 95.51 | 0.721199 | 7000 | 63.5 | 60.07 | -0.48232 |
| 60 | 88.8 | 100.3 | 1.057759 | 8000 | 59.2 | 55.4 | -0.57624 |
| 70 | 89.1 | 105.3 | 1.451013 | 9000 | 55.1 | 51.73 | -0.54818 |
| 80 | 87.7 | 108.2 | 1.824553 | 10000 | 52.3 | 48.26 | -0.69829 |
| 90 | 91 | 118.4 | 2.286206 | 20000 | 31 | 27.63 | -0.99962 |
| 100 | 89.8 | 123.8 | 2.788886 | 30000 | 31 | 27.63 | -0.99962 |
| 200 | 90.4 | 219 | 7.685514 | | | | |

ตารางที่ 6.11 แสดงผลการทดลอง Biquad 290 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ผลการทดลอง Biquad 700 Hz**

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain(dB) | freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain(dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 60.1 | 60.04 | -0.00868 | 300 | 90.45 | 139.4 | 3.757084 |
| 2 | 60.1 | 60.04 | -0.00868 | 400 | 90.72 | 177.9 | 5.849458 |
| 3 | 60.1 | 60.04 | -0.00868 | 500 | 90.4 | 222.6 | 7.827135 |
| 4 | 60.1 | 60.04 | -0.00868 | 600 | 88.36 | 264.5 | 9.523399 |
| 5 | 60.1 | 60.04 | -0.00868 | 700 | 92 | 273.4 | 9.460214 |
| 6 | 60.1 | 60.04 | -0.00868 | 800 | 88.96 | 256.9 | 9.211387 |
| 7 | 60.1 | 60.04 | -0.00868 | 900 | 91.32 | 237.7 | 8.309266 |
| 8 | 60.1 | 60.04 | -0.00868 | 1000 | 89.96 | 215.3 | 7.579892 |
| 9 | 60.1 | 60.04 | -0.00868 | 2000 | 87.93 | 115.8 | 2.39143 |
| 10 | 62.42 | 62.21 | -0.02927 | 3000 | 84.11 | 92.37 | 0.813666 |
| 20 | 78.46 | 77.86 | -0.06668 | 4000 | 78.86 | 80.74 | 0.204639 |
| 30 | 85 | 84.18 | -0.0842 | 5000 | 73.33 | 72.53 | -0.09528 |
| 40 | 87.44 | 86.44 | -0.09991 | 6000 | 68.57 | 65.81 | -0.35685 |
| 50 | 88.9 | 87.64 | -0.12399 | 7000 | 63.88 | 62.32 | -0.21475 |
| 60 | 89 | 89.16 | 0.015601 | 8000 | 60.16 | 56.4 | -0.56057 |
| 70 | 89.4 | 90.38 | 0.094696 | 9000 | 57.05 | 51.88 | -0.82511 |
| 80 | 90.12 | 91.44 | 0.126301 | 10000 | 52.34 | 47.92 | -0.76634 |
| 90 | 91.47 | 93.61 | 0.200871 | 20000 | 52.34 | 47.92 | -0.76634 |
| 100 | 90.06 | 93.86 | 0.358972 | 30000 | 52.34 | 47.92 | -0.76634 |
| 200 | 90.44 | 111.4 | 1.810493 | | | | |

ตารางที่ 6.12 แสดงผลการทดลอง Biquad 700 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ผลการทดลอง Biquad1.7KHz**

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain(dB) | freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain(dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 55.96 | 56.21 | 0.038718 | 300 | 90.1 | 99 | 0.818208 |
| 2 | 55.96 | 56.21 | 0.038718 | 400 | 90.27 | 107 | 1.476807 |
| 3 | 55.96 | 56.21 | 0.038718 | 500 | 90.06 | 116.9 | 2.265651 |
| 4 | 55.96 | 56.21 | 0.038718 | 600 | 88.9 | 132.1 | 3.440021 |
| 5 | 55.96 | 56.21 | 0.038718 | 700 | 91.55 | 143.3 | 3.891757 |
| 6 | 55.96 | 56.21 | 0.038718 | 800 | 88 | 153.6 | 4.838171 |
| 7 | 55.96 | 56.21 | 0.038718 | 900 | 89.94 | 173.5 | 5.706932 |
| 8 | 55.96 | 56.21 | 0.038718 | 1000 | 89.36 | 191.1 | 6.602351 |
| 9 | 55.96 | 56.21 | 0.038718 | 2000 | 87.07 | 254.9 | 9.330026 |
| 10 | 55.96 | 56.21 | 0.038718 | 3000 | 83.1 | 169.9 | 6.211847 |
| 20 | 67.18 | 67.29 | 0.014211 | 4000 | 80.74 | 121.2 | 3.528277 |
| 30 | 84.18 | 83.23 | -0.09858 | 5000 | 73.56 | 100.3 | 2.693184 |
| 40 | 87.88 | 85.87 | -0.20097 | 6000 | 60.25 | 85.8 | 3.070605 |
| 50 | 88.2 | 86.91 | -0.12798 | 7000 | 64.66 | 74.32 | 1.2094 |
| 60 | 88.53 | 87.3 | -0.12152 | 8000 | 57.86 | 65.55 | 1.083885 |
| 70 | 89.18 | 87.85 | -0.13051 | 9000 | 55.7 | 58.44 | 0.4171 |
| 80 | 89.34 | 88.41 | -0.09089 | 10000 | 51 | 53.6 | 0.431892 |
| 90 | 90.21 | 88.62 | -0.15446 | 20000 | 30.5 | 28.41 | -0.61657 |
| 100 | 89.61 | 88.97 | -0.06226 | 30000 | 30.5 | 28.41 | -0.61657 |
| 200 | 90.1 | 92.9 | 0.265818 | | | | |

ตารางที่ 6.13 แสดงผลการทดลอง Biquad 1.7 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ผลการทดลอง Biquad4.3KHz**

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain(dB) | freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain(dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 56.32 | 56.41 | 0.013869 | 300 | 90.15 | 90.1 | -0.00482 |
| 2 | 56.32 | 56.41 | 0.013869 | 400 | 90.21 | 91.38 | 0.111929 |
| 3 | 56.32 | 56.41 | 0.013869 | 500 | 90.15 | 93.27 | 0.295525 |
| 4 | 56.32 | 56.41 | 0.013869 | 600 | 89.07 | 97.83 | 0.814812 |
| 5 | 56.32 | 56.41 | 0.013869 | 700 | 91.53 | 99.77 | 0.74873 |
| 6 | 56.32 | 56.41 | 0.013869 | 800 | 87.94 | 98.92 | 1.021953 |
| 7 | 56.32 | 56.41 | 0.013869 | 900 | 90 | 103.7 | 1.230725 |
| 8 | 56.32 | 56.41 | 0.013869 | 1000 | 89.4 | 107.7 | 1.617564 |
| 9 | 56.32 | 56.41 | 0.013869 | 2000 | 87.44 | 155.2 | 4.983631 |
| 10 | 56.32 | 56.41 | 0.013869 | 3000 | 83.14 | 210.8 | 8.081212 |
| 20 | 78.53 | 78.36 | -0.01882 | 4000 | 78.22 | 238.2 | 9.672479 |
| 30 | 84.29 | 83.25 | -0.10784 | 5000 | 68.67 | 171.8 | 7.965122 |
| 40 | 86.7 | 85.35 | -0.13631 | 6000 | 64.24 | 134.7 | 6.431241 |
| 50 | 88.01 | 86.51 | -0.14931 | 7000 | 57.86 | 111 | 5.658891 |
| 60 | 88.9 | 87.16 | -0.17169 | 8000 | 55.72 | 91.03 | 4.263469 |
| 70 | 89.17 | 87.81 | -0.1335 | 9000 | 51.09 | 78.4 | 3.719603 |
| 80 | 89.61 | 87.61 | -0.19606 | 10000 | 30.14 | 29.85 | -0.08398 |
| 90 | 90.02 | 87.58 | -0.23868 | 20000 | 30.14 | 29.85 | -0.08398 |
| 100 | 89.95 | 88 | -0.19037 | 30000 | 30.14 | 29.85 | -0.08398 |
| 200 | 90.2 | 89.01 | -0.11535 | | | | |

ตารางที่ 6.14 แสดงผลการทดลอง Biquad 4.3 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

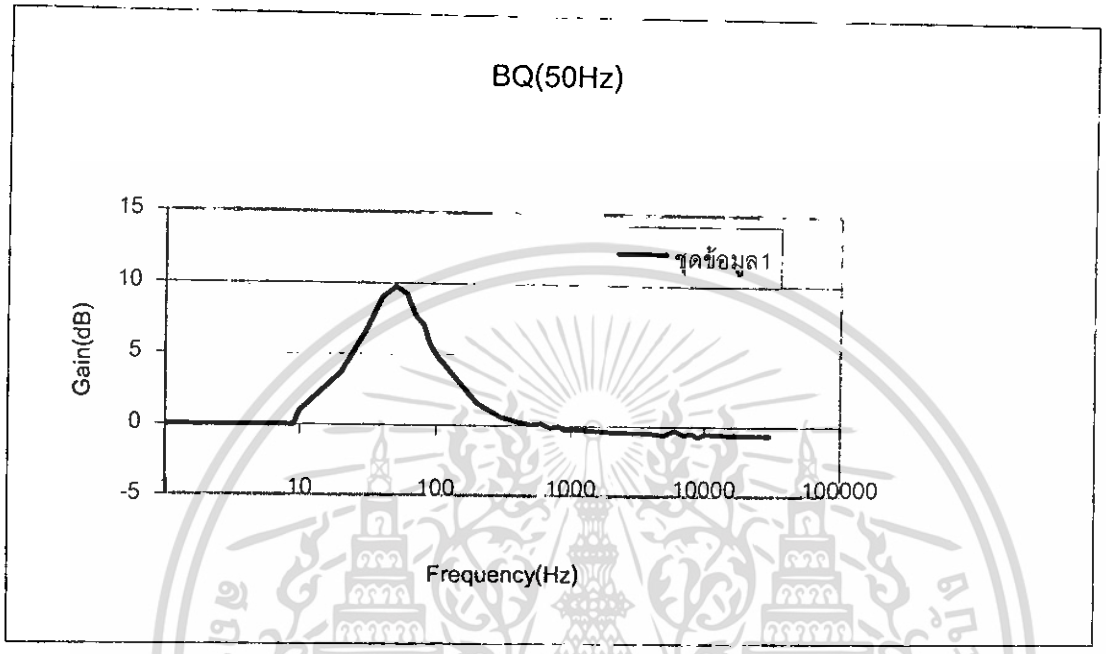
ผลการทดลอง Biquad10K Hz

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain(dB) | freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain(dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 58.85 | 58.88 | 0.004427 | 300 | 90.25 | 90.28 | 0.002887 |
| 2 | 58.85 | 58.88 | 0.004427 | 400 | 90.28 | 90.3 | 0.001924 |
| 3 | 58.85 | 58.88 | 0.004427 | 500 | 90.09 | 90.1 | 0.000964 |
| 4 | 58.85 | 58.88 | 0.004427 | 600 | 90.08 | 90.1 | 0.001928 |
| 5 | 58.85 | 58.88 | 0.004427 | 700 | 90.35 | 90.56 | 0.020165 |
| 6 | 58.85 | 58.88 | 0.004427 | 800 | 89.68 | 91.16 | 0.142174 |
| 7 | 58.85 | 58.88 | 0.004427 | 900 | 89.87 | 91.88 | 0.192125 |
| 8 | 58.85 | 58.88 | 0.004427 | 1000 | 90.21 | 91.88 | 0.159326 |
| 9 | 58.85 | 58.88 | 0.004427 | 2000 | 87.53 | 101.1 | 1.251885 |
| 10 | 58.85 | 58.88 | 0.004427 | 3000 | 83.1 | 112.9 | 2.661858 |
| 20 | 78 | 78.1 | 0.011129 | 4000 | 78.36 | 126 | 4.125522 |
| 30 | 83.99 | 83.87 | -0.01242 | 5000 | 73.17 | 139 | 5.573635 |
| 40 | 86.82 | 86.77 | -0.005 | 6000 | 66.49 | 151.1 | 7.130163 |
| 50 | 87.96 | 88.02 | 0.005923 | 7000 | 63.79 | 162.7 | 8.132699 |
| 60 | 88.96 | 89 | 0.003905 | 8000 | 59.17 | 168.4 | 9.08481 |
| 70 | 89.09 | 90.01 | 0.089236 | 9000 | 55.96 | 164.5 | 9.365764 |
| 80 | 87.38 | 87.88 | 0.04956 | 10000 | 51.17 | 155.4 | 9.648712 |
| 90 | 90.77 | 91.02 | 0.02389 | 20000 | 30.63 | 38.84 | 2.062644 |
| 100 | 89.66 | 90 | 0.032875 | 30000 | 30.63 | 30.84 | 0.059347 |
| 200 | 90.29 | 90.3 | 0.000962 | | | | |

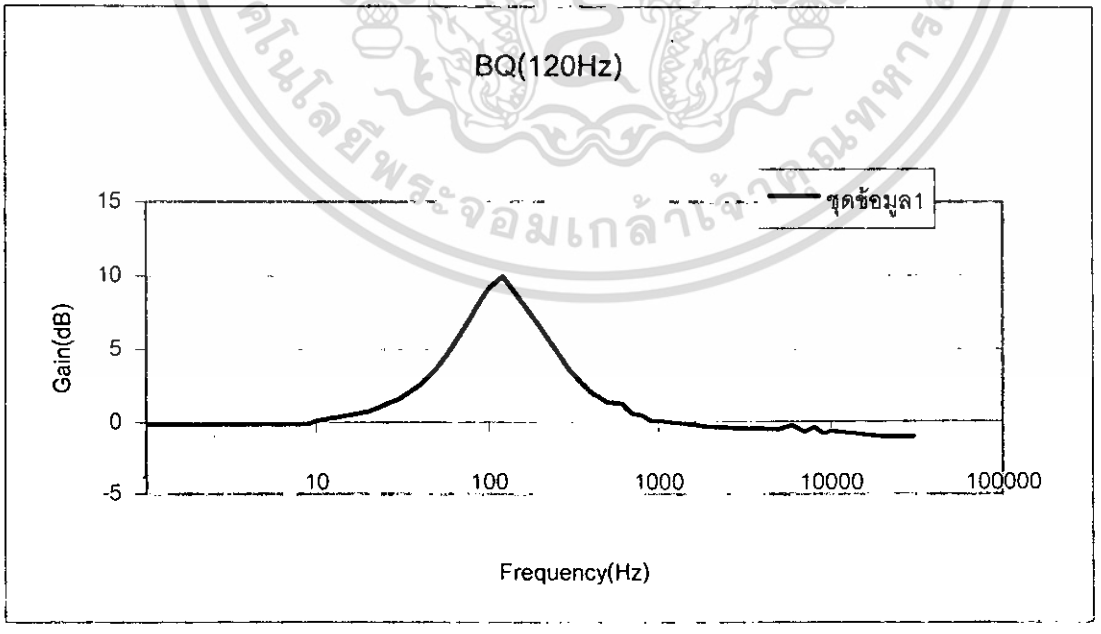
ตารางที่ 6.15 แสดงผลการทดลอง Biquad 10 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าจากตารางต่างๆ มาพล็อตกราฟจะได้ดังนี้

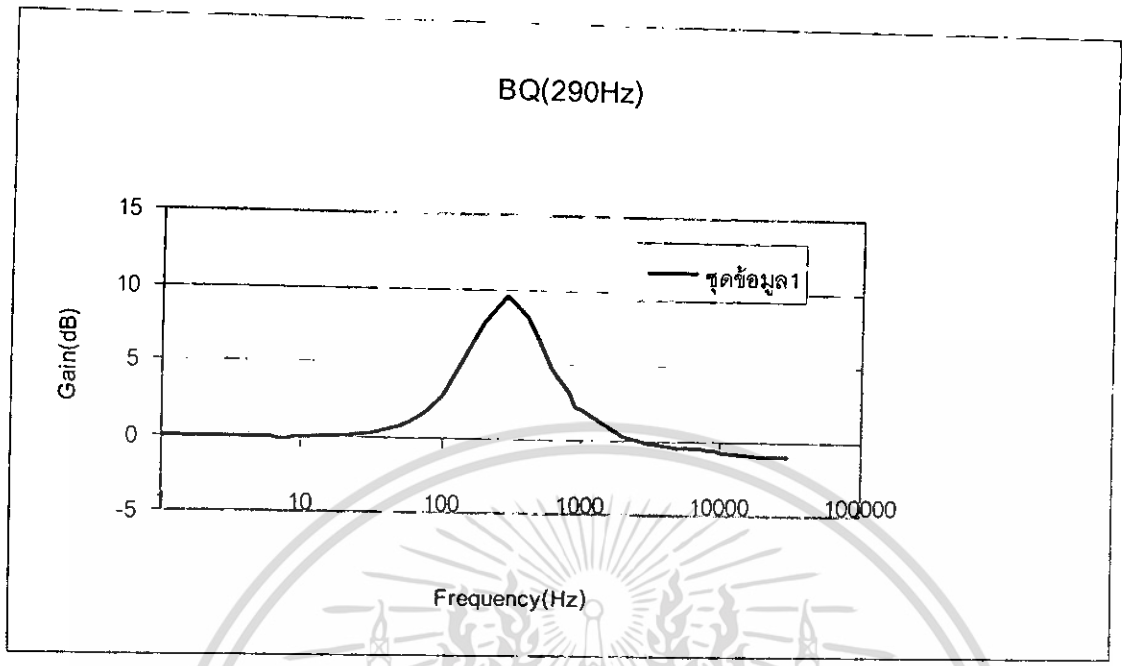



รูปที่ 6.24 แสดงกราฟจากการทดลองBiquad BW=50 Hz

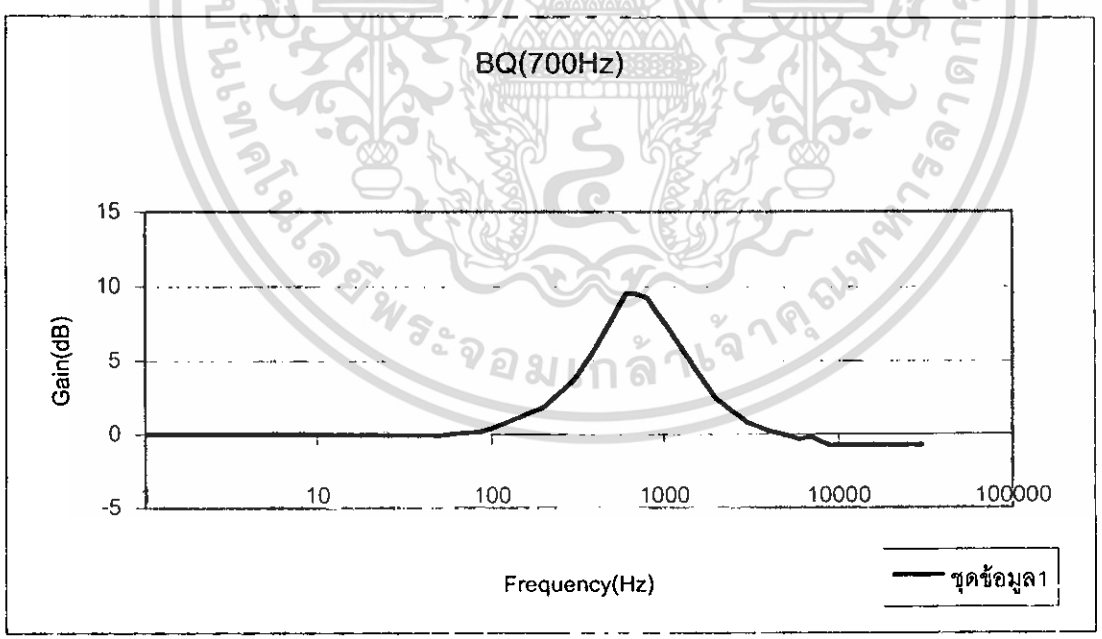



รูปที่ 6.25 แสดงกราฟจากการทดลองBiquad BW=120 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

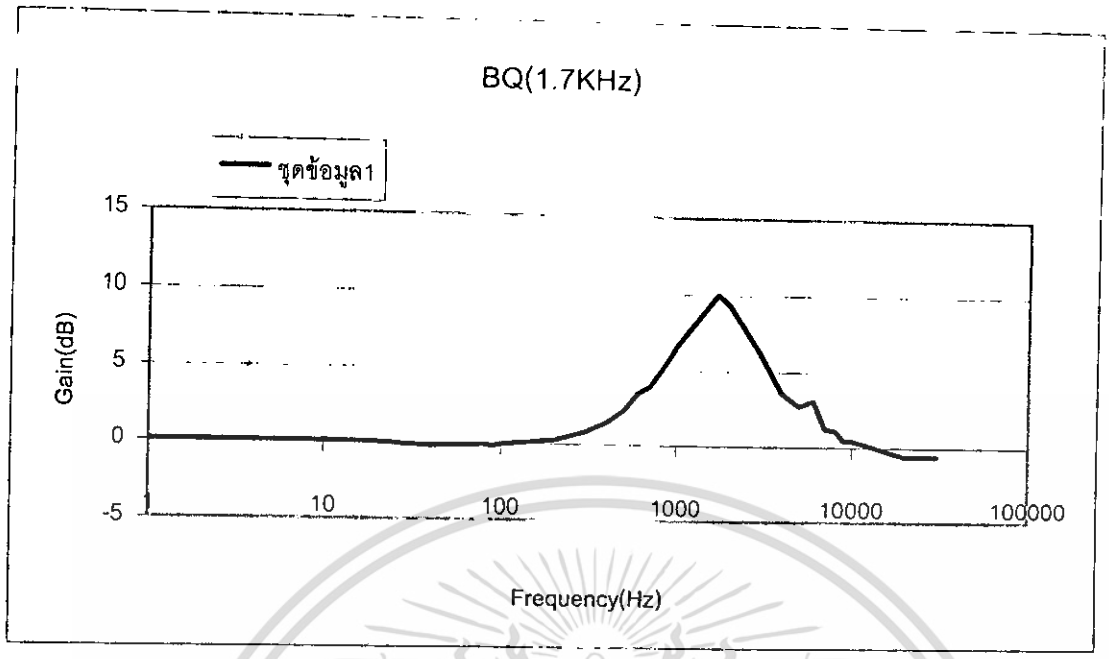



รูปที่ 6.26 แสดงกราฟจากการทดลองBiquad BW=290Hz

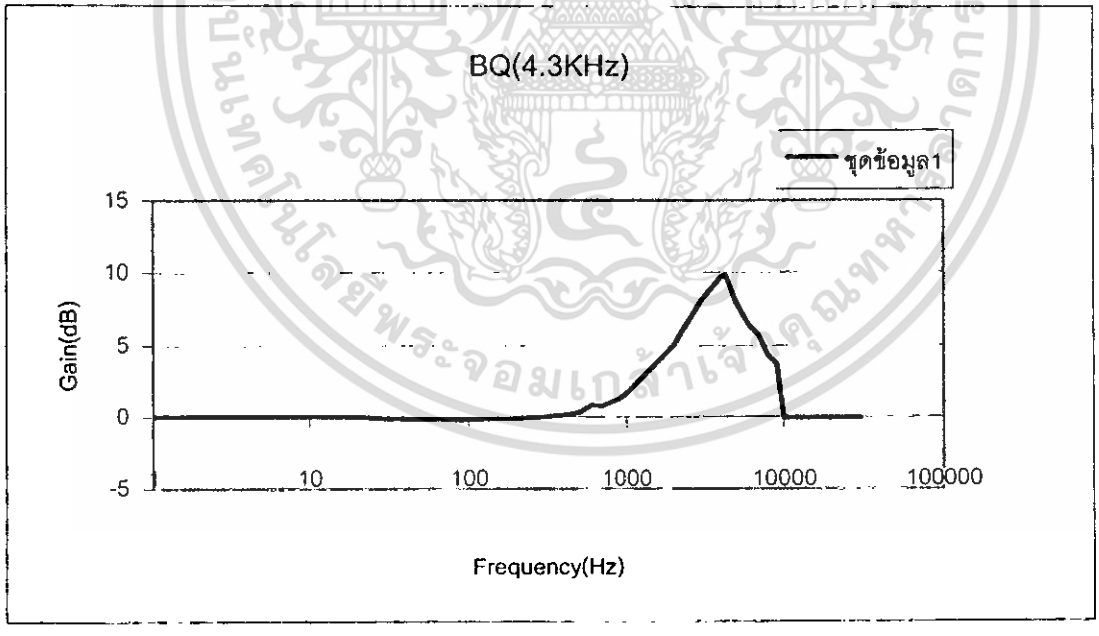



รูปที่ 6.27 แสดงกราฟจากการทดลองBiquad BW=700Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

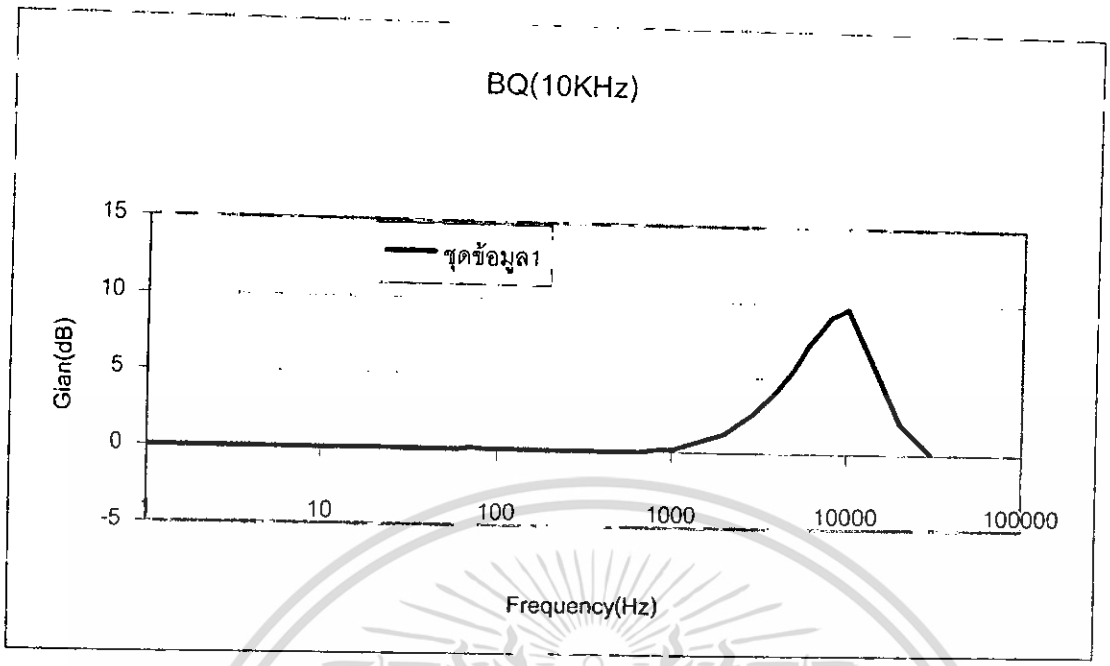



รูปที่ 6.28 แสดงกราฟจากการทดลองBiquad BW=1.7KHz




รูปที่ 6.29 แสดงกราฟจากการทดลองBiquad BW=4.3KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 6.30 แสดงกราฟจากการทดลองBiquad BW=10KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 7

## การออกแบบและการทดลอง Equalizer 21 Bands

การออกแบบและการกำหนดย่านความถี่ของ EQ 21 Bands

โครงงานนี้ได้ออกแบบต่อโครงงานตอนเทอม 1 ที่ได้ออกแบบ EQ 7 Bands มาเป็น EQ 21 Bands โดยใช้ IC TAS3004 ทั้งหมด 3 ตัว โดยแบ่งการทำงานออกเป็น ตัวล่ะ 7 Bands สามารถปรับอัตราการขยายและการลดทอนได้ในช่วง –10 dB ถึง 10 dB ครอบคลุมความถี่ตั้งแต่ 30Hz – 16KHz โดยได้แบ่งช่วงต่างๆดังนี้

(IC TAS3004 ตัวที่ 1)

1 ความถี่กลาง (fc) คือ 35 Hz แบนด์วิท (Bw) คือ 10 Hz

2 ความถี่กลาง (fc) คือ 46 Hz แบนด์วิท (Bw) คือ 14 Hz

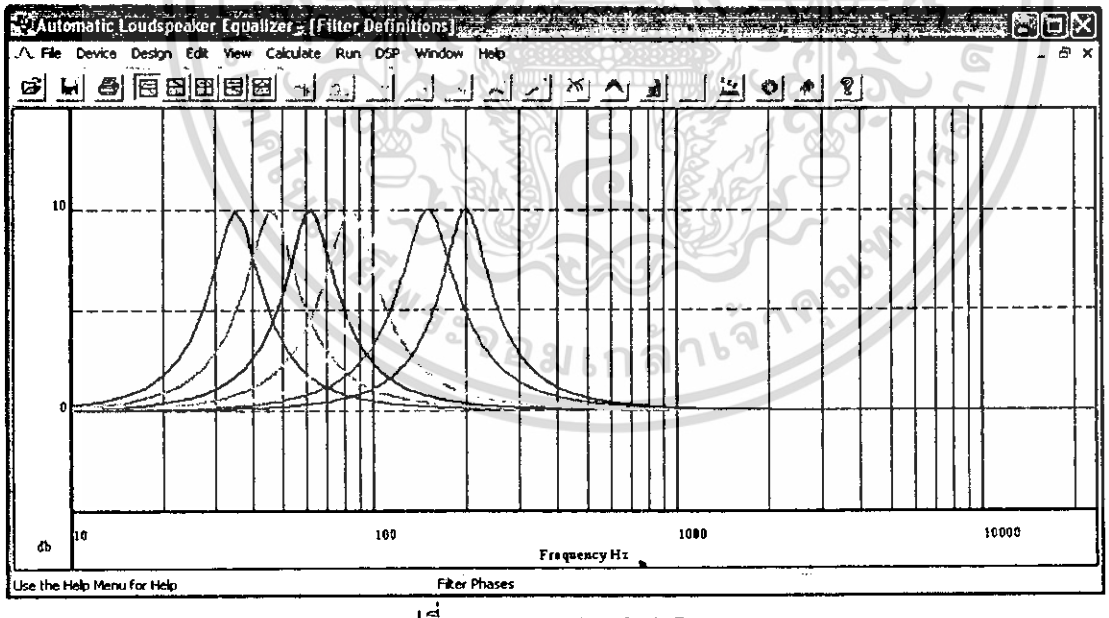
3 ความถี่กลาง (fc) คือ 62 Hz แบนด์วิท (Bw) คือ 18 Hz

4 ความถี่กลาง (fc) คือ 84 Hz แบนด์วิท (Bw) คือ 26 Hz

5 ความถี่กลาง (fc) คือ 110Hz แบนด์วิท (Bw) คือ 32 Hz

6 ความถี่กลาง (fc) คือ 150Hz แบนด์วิท (Bw) คือ 48 Hz

7 ความถี่กลาง(fc) คือ 200 Hz แบนด์วิท (Bw) คือ 56 Hz




รูปที่ 7.1 แสดง Bands 1-7

(IC TAS3004 ตัวที่ 2)

8 ความถี่กลาง (fc) คือ 270 Hz แบนด์วิท (Bw) คือ 86 Hz

9 ความถี่กลาง (fc) คือ 370 Hz แบนด์วิท (Bw) คือ 110 Hz

10 ความถี่กลาง (fc) คือ 500 Hz แบนด์วิท (Bw) คือ 150 Hz

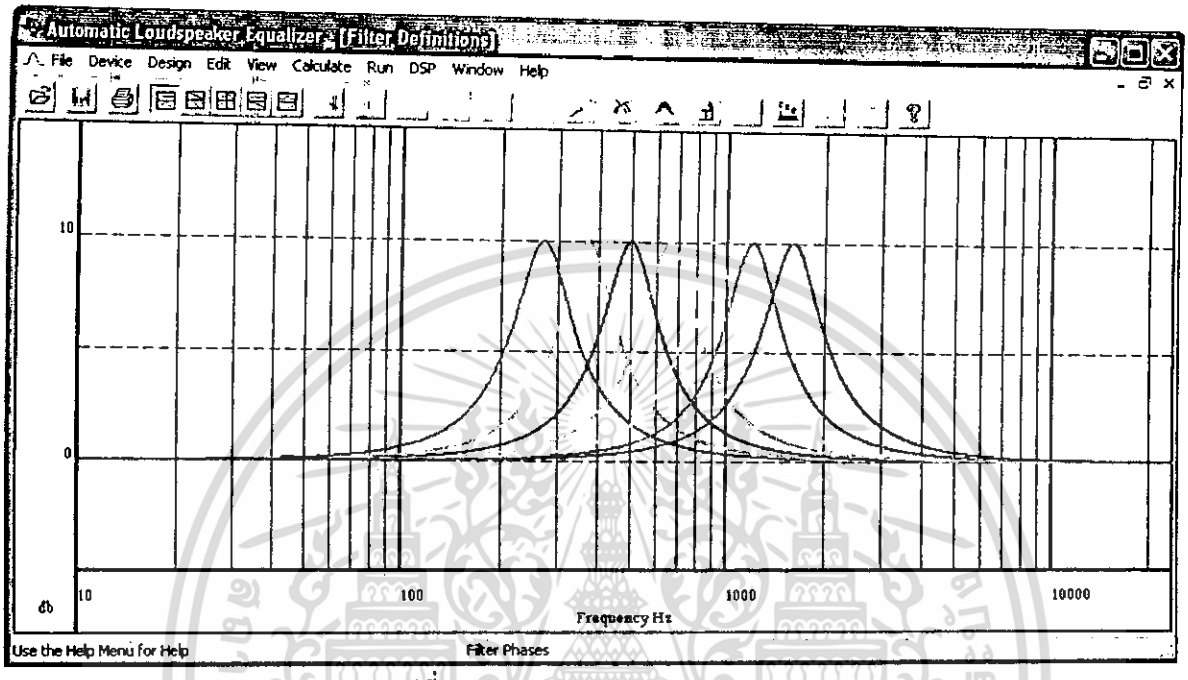
11 ความถี่กลาง (fc) คือ 660 Hz แบนด์วิท (Bw) คือ 200 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12 ความถี่กลาง (fc) คือ 900 Hz แบนด์วิท (Bw) คือ 260 Hz

13 ความถี่กลาง (fc) คือ 1.2 KHz แบนด์วิท (Bw) คือ 360 Hz

14 ความถี่กลาง(fc) คือ 1.6 KHz แบนด์วิท (Bw) คือ 500 Hz




รูปที่ 7.2 แสดง Bands 8-14

(IC TAS3004 ตัวที่ 3) 15 ความถี่กลาง (fc) คือ 2.2 KHz แบนด์วิท (Bw) คือ 700 Hz

16 ความถี่กลาง (fc) คือ 3 KHz แบนด์วิท (Bw) คือ 900 Hz

17 ความถี่กลาง (fc) คือ 4.1 KHz แบนด์วิท (Bw) คือ 1.3 KHz

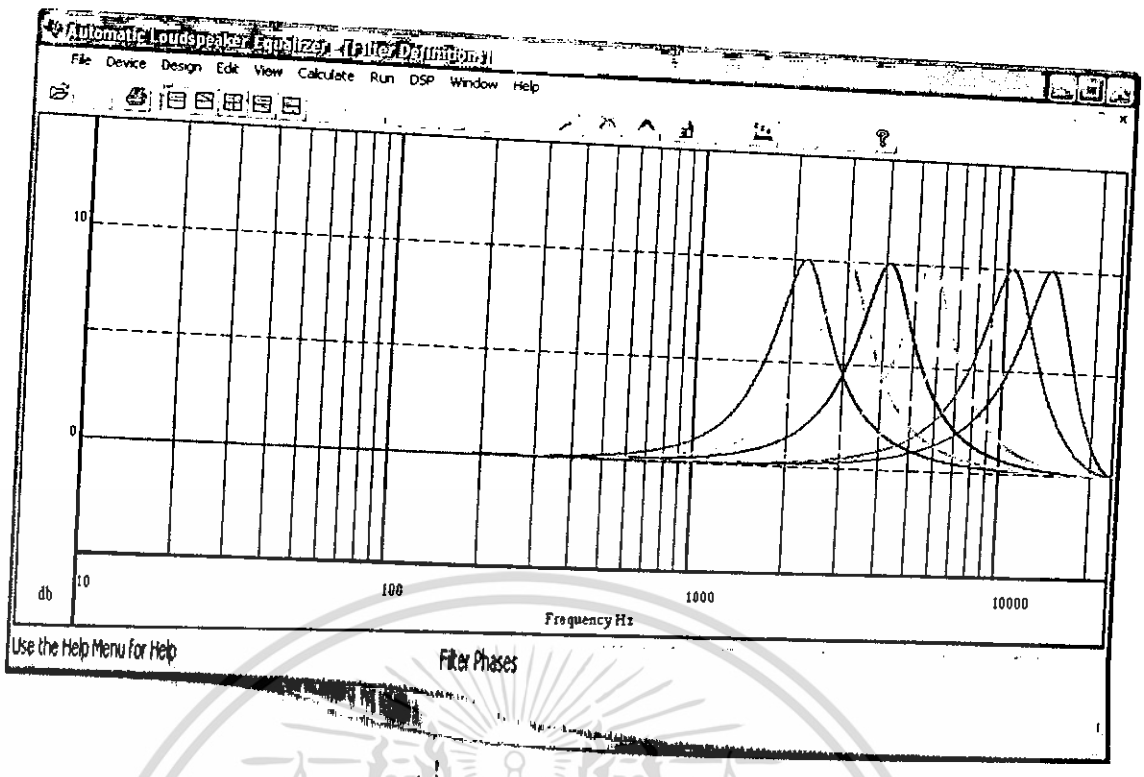
18 ความถี่กลาง (fc) คือ 5.6 KHz แบนด์วิท (Bw) คือ 1.7 KHz

19 ความถี่กลาง (fc) คือ 7.6 KHz แบนด์วิท (Bw) คือ 2.3 KHz

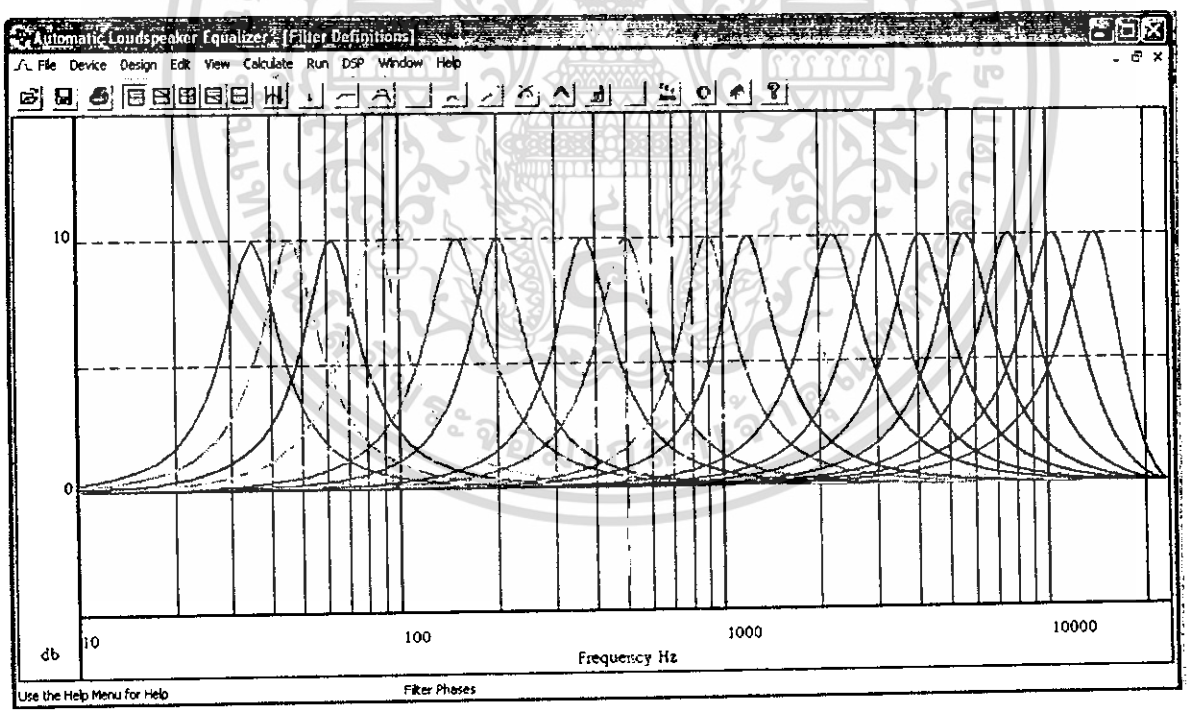
20 ความถี่กลาง (fc) คือ 10.4 KHz แบนด์วิท (Bw) คือ 3.2 KHz

21 ความถี่กลาง (fc) คือ 14 KHz แบนด์วิท (Bw) คือ 4 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



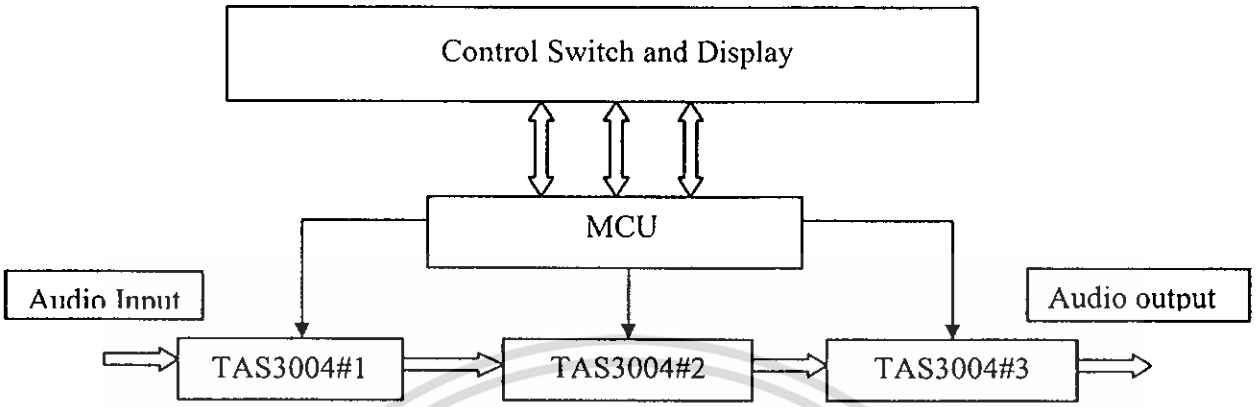

รูปที่ 7.3 แสดง Bands 15- 21




รูปที่ 7.4 แสดงช่วง Bands 1- 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บล๊อกไดอะแกรม EQ 21 Bands



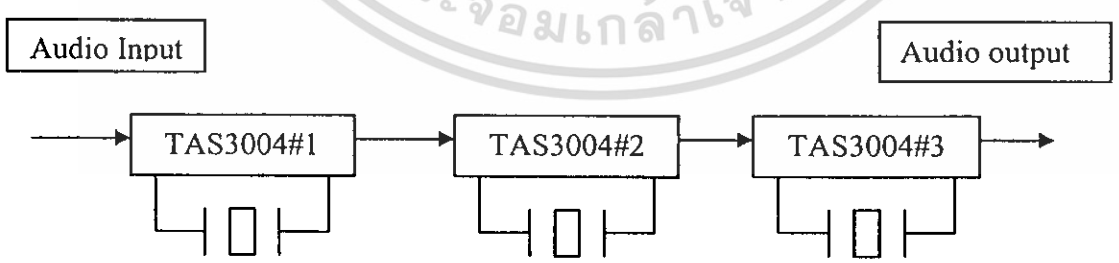

รูปที่ 7.5 แสดงบล๊อกไดอะแกรม EQ 21 Bands

การทำของบล๊อกไดอะแกรมในส่วนของ Control Switch and Display จะเป็นส่วนที่ควบคุมและแสดงผลการทำงานของระบบ ส่วน MCU ส่วนของไมโครคอนโทรเลอร์ทำหน้าที่ประมวลผลของคำสั่งต่างที่รับมากจาก ส่วนของ Control Switch และยังแสดงผลออกไปยัง Display และยังควบคุมการทำงานของ IC TAS3004 ทั้ง 3 ตัวอีกด้วย ส่วนของ IC TAS3004 ทั้ง 3 จะทำการประมวลผลของสัญญาณที่รับเข้ามาตาม ส่วนของ MCU กำหนดว่าจะให้สัญญาณของที่เอ้าท์พุตในรูปแบบใหน (หรือเป็นการปรับ Equalizer นั้นเอง)

การต่อ IC TAS3004 3 ตัวเข้าด้วยกัน

การต่อ IC TAS3004 มี 2 วิธี

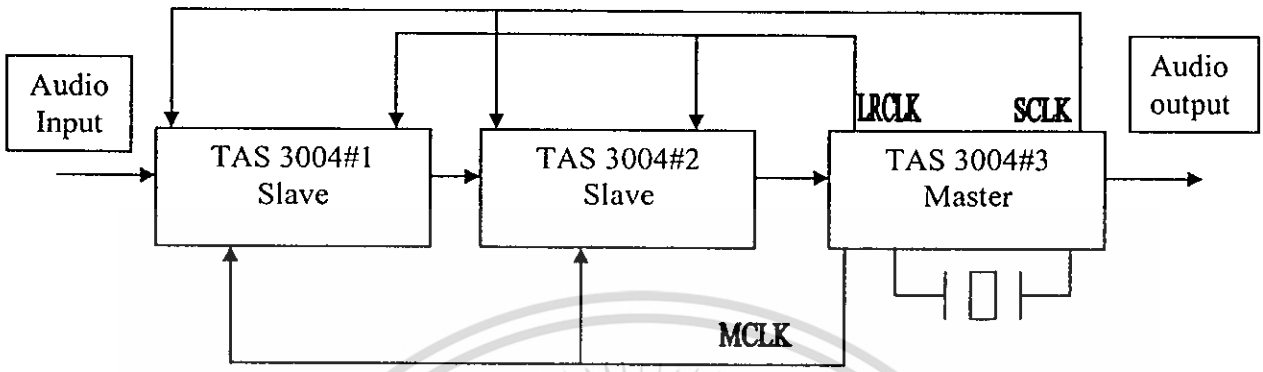
1 ต่อแบบแยกคริสตอล โดยไอซีแต่ละตัวของ IC TAS3004 จะใช้คริสตอลไม่ร่วมกัน เหมือนดังรูป




รูปที่ 7.6 แสดงการต่อ IC TAS3004 แบบแยกคริสตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

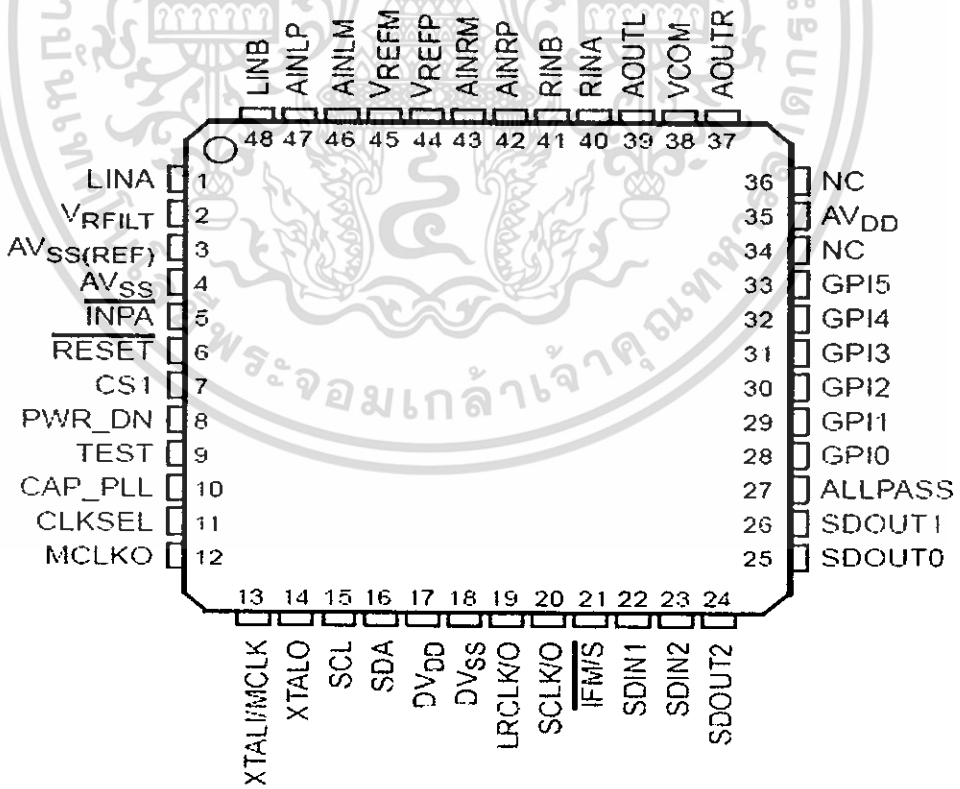
2 ต่อแบบใช้คริสตอลร่วมกันโดยIC TAS3004 ทั้ง 3 ตัวจะใช้คริสตอลร่วมกันโดยจะมีตัวที่หนึ่งที่ใช้คริสตอลจะตั้งเป็นตัวมาสเตอร์ โดยตัวที่เหลือจะเป็นสลาฟ เหมือนดังรูป




รูปที่ 7.7 แสดงการต่อ IC TAS3004 แบบใช้คริสตอลร่วมกัน

ในการต่อแบบนี้ ต้องต่อขา IFM/S ของ TAS 3004 ตัวที่ 1และตัวที่ 2 ลงกราวด์เพื่อจะให้ TAS 3004 ตัวที่ 1และตัวที่ 2 ทำงานเป็น Digital Audio Input และสำหรับ TAS 3004 ตัวที่ 3 ให้ต่อขา IFM/S กับขา Vcc เพื่อให้ TAS 3004 ตัวที่ 3 ทำงานเป็น Digital Audio Output

**IC TAS 3004 และตำแหน่งขา**




รูปที่ 7.8 รูป IC TAS 3004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.1 การทำงานของขา IC TAS 3004

| NAME | NO | I/O | DESCRIPTION |
|---|---|---|---|
| AINLM | 46 | I | ADC left channel analog input (anti-alias capacitor) |
| AINLP | 47 | I | ADC left channel analog input (anti-alias capacitor) |
| AINRM | 43 | I | ADC right channel analog input (anti-alias capacitor) |
| AINRP | 42 | I | ADC right channel analog input (anti-alias capacitor) |
| ALLPASS | 27 | I | Logic high bypasses equalization filters |
| AOUTL | 39 | O | Left channel analog output |
| AOUTR | 37 | O | Right channel analog output |
| AVDD | 35 | I | Analog power supply (3.3 V) |
| AVSS | 4 | I | Analog voltage ground |
| AVSS(REF) | 3 | I | Analog ground voltage reference |
| CAP_PLL | 10 | I | Loop filter for internal phase-locked loop (PLL) |
| CLKSEL | 11 | I | Logic low selects 256fS; logic high selects 512fS MCLK |
| CS1 | 7 | I | I2C address bit A0; low = 68h, high = 6Ah |
| DVDD | 17 | I | Digital power supply (3.3 V) |
| DVSS | 18 | I | Digital ground |
| GPI0 | 28 | I | Switch input terminals |
| GPI1 | 29 | I | Switch input terminals |
| GPI2 | 30 | I | Switch input terminals |
| GPI3 | 31 | I | Switch input terminals |
| GPI4 | 32 | I | Switch input terminals |
| GPI5 | 33 | I | Switch input terminals |
| IFM/S | 21 | I | Digital audio I/O control (low = input; high = output) |
| INPA | 5 | O | Low when analog input A is selected (will sink 4 mA) |
| LINA | 1 | I | Left channel analog input 1 |
| LINB | 48 | I | Left channel analog input 2 |
| LRCLK/O | 19 | I/O | Left/right clock input/output (output when IFM/S is high) |
| MCLKO | 12 | O | MCLK output for slave devices |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| NAME | NO | I/O | DESCRIPTION |
|---|---|---|---|
| NC | 34 | - | No connection; Can be used as a printed circuit board routing channel |
| NC | 36 | - | No connection; Can be used as a printed circuit board routing channel |
| PWR_DN | 8 | I | Logic high places the TAS3004 device in power-down mode |
| RESET | 6 | I | Logic low resets the TAS3004 device to the initial state |
| RINA | 40 | I | Right channel analog input 1 |
| RINB | 41 | I | Right channel analog input 2 |
| SCL | 15 | I/O | I2C clock connection |
| SCLK/O | 20 | I/O | Shift (bit) clock input (output when IFM/S is high) |
| SDA | 16 | I/O | I2C data connection |
| SDIN1 | 22 | I | Serial data input 1 |
| SDIN2 | 23 | I | Serial data input 2 |
| SDOUT1 | 26 | O | Serial data output (from internal audio processing) |
| SDOUT2 | 24 | O | Serial data output (a monaural mix of left and right, before processing) |
| SDOUT0 | 25 | O | Serial data output from ADC |
| TEST | 9 | I | Reserved manufacturing test terminal; connect to DVSS |
| VCOM | 38 | O | Digital-to-analog converter mid-rail supply (decouple with parallel combination of 10-μF and 0.1-μF capacitors) |
| VREFM | 45 | I | ADC minus voltage reference |
| VREFP | 44 | I | ADC plus voltage reference |
| VRFILT | 2 | O | Voltage reference low pass filter |
| XTALI/MCLK | 13 | I | Crystal or external MCLK input |
| XTALO | 14 | I | Crystal input (crystal is connected between terminals 13 and 14) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การอินเตอร์เฟสกับโปรแกรมผ่าน RS232 บอร์ด TAS3004**

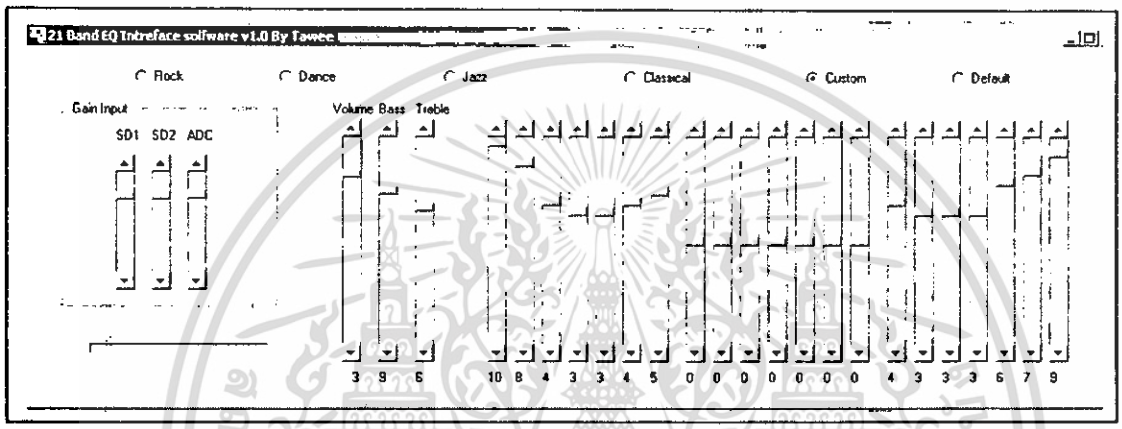
ทำการติดตั้งโปรแกรม 21BandEqualizer แล้วทำการติดตั้ง อุปกรณ์ ดังนี้

1. นำสายRS232 ต่อเข้ากับพอร์ต comm1 ของเครื่องคอมพิวเตอร์

2.นำสัญญาณเสียงเข้าที่อินพุตของบอร์ด แล้นำสัญญาณเสียงออกต่อ เข้ากับอินพุตของเพาเวอร์แอมป์ เพื่อขยายสัญญาณเสียงที่ อิควอไลเซอร์ได้ปรับแต่งสัญญาณมาแล้ว

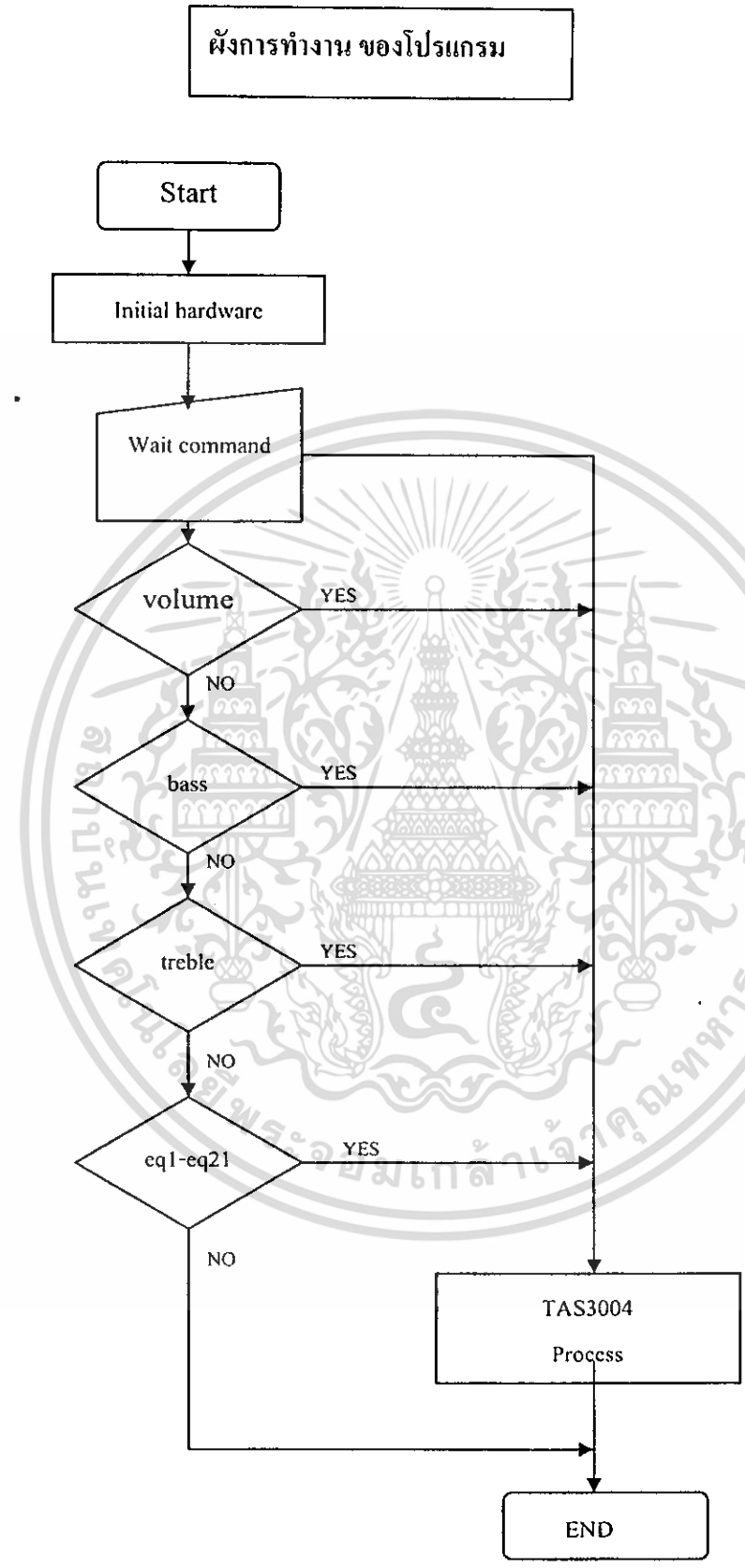
3. ทำการเปิดโปรแกรม 21BandEqualizer

4. นำไฟเลี้ยงต่อเข้ากับบอร์ด แล้วทำการปรับ Volume และปรับแต่งเสียงต่างๆ




รูปที่ 7.9 รูปโปรแกรมปรับ Equalizer 21 Bands

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

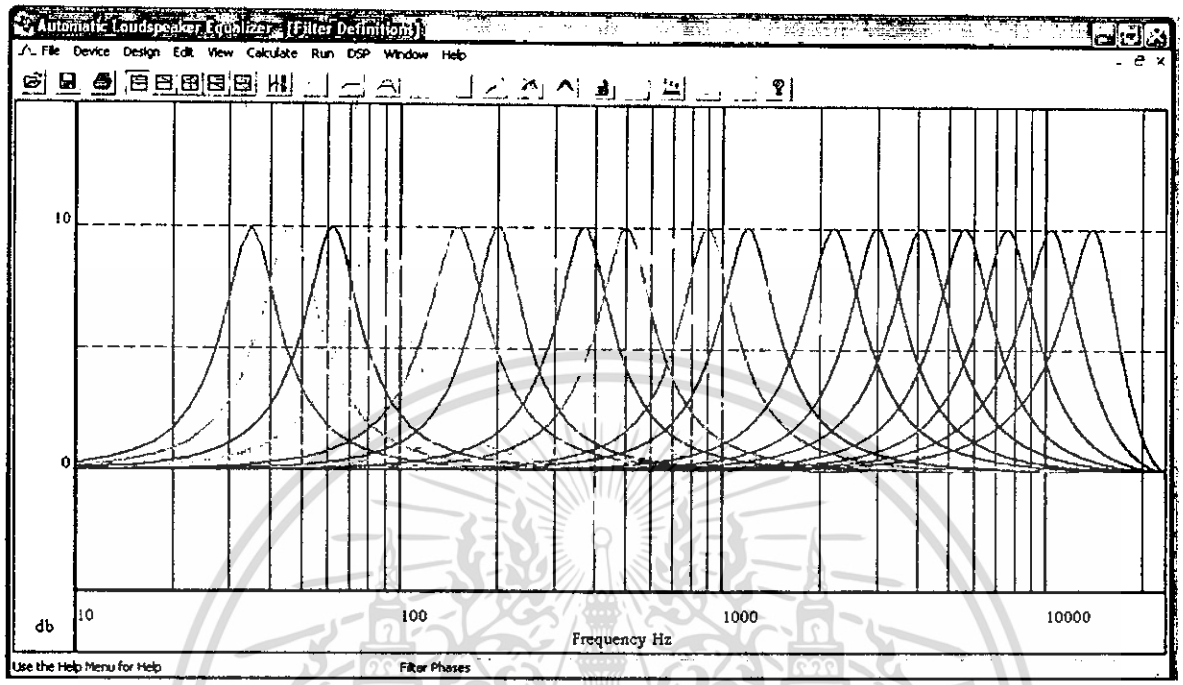



รูป 7.10 แสดงผังการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง Equalizer 21 Bands

การทดลองจะเหมือนกับการทดลอง Equalizer 7 Bands ในบทที่6




รูป 7.11 แสดง Equalizer 21 Bands

ค่าพารามิเตอร์จได้ดังต่อไปนี้

| | B0 | B1 | B2 | A1 | A2 |
|---|---|---|---|---|---|
| eq1 | 1005CA | E00572 | 0FF4D9 | E00572 | 0FFAA4 |
| eq2 | 10081B | E007A6 | 0FF064 | E007A6 | 0FF880 |
| eq3 | 100A6B | E009E9 | 0FEBF0 | E009E9 | 0FF65C |
| eq4 | 100F0B | E00E6A | 0FE309 | E00E6A | 0FF215 |
| eq5 | 101282 | E011F9 | 0FDC5E | E011F9 | 0FEEE0 |
| eq6 | 101BBC | E01B3B | 0FCA9B | E01B3B | 0FE658 |
| eq7 | 102057 | E020B7 | 0FC1BD | E020B7 | 0FE215 |
| eq8 | 103192 | E032F1 | 0FA093 | E032F1 | 0FD225 |
| eq9 | 103F4F | E04419 | 0F8622 | E04419 | 0FC571 |
| eq10 | 10561B | E06104 | 0F5A3F | E06104 | 0FB05A |
| eq11 | 107271 | E08804 | 0F23B4 | E08804 | 0F9625 |
| eq12 | 109434 | E0C0EB | 0EE2B5 | E0C0EB | 0F76EA |
| eq13 | 10CBE9 | E11F26 | 0E7779 | E11F26 | 0F4363 |
| eq14 | 1118BF | E1B105 | 0DE393 | E1B105 | 0EFC52 |
| eq15 | 118440 | E2A9AD | 0D14A2 | E2A9AD | 0E98E2 |
| eq16 | 11ED38 | E4150F | 0C4A93 | E4150F | 0E37CB |
| eq17 | 12B807 | E6A906 | 0AC42D | E6A906 | 0D7C35 |
| eq18 | 137A14 | EA9BFA | 094EA4 | EA9BFA | 0CC8B8 |
| eq19 | 148EE78 | F0DDF2 | 073A9A | F0DDF2 | 0BC912 |
| eq20 | 16108B | FA835B | 04536D | FA835B | 0A63F9 |
| eq21 | 174FA3 | 06882F | 01ED30 | 06882F | 093CD3 |

ตารางที่ 7.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของ Equalizer 21 Bands (10 dB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 1 ที่ 35 Hz

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) | Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 57.8 | 58.2 | 0.0599 | 200 | 48.7 | 48.8 | 0.01782 |
| 2 | 57.8 | 58.6 | 0.1194 | 300 | 48.7 | 48.8 | 0.01782 |
| 3 | 58.32 | 59.52 | 0.17691 | 400 | 48.7 | 48.8 | 0.01782 |
| 4 | 59.5 | 60.57 | 0.15481 | 500 | 48.7 | 48.8 | 0.01782 |
| 5 | 60.81 | 62.5 | 0.2381 | 600 | 48.7 | 48.8 | 0.01782 |
| 6 | 68.95 | 69.89 | 0.11762 | 700 | 48.7 | 48.8 | 0.01782 |
| 7 | 78.4 | 79.66 | 0.13848 | 800 | 48.7 | 48.8 | 0.01782 |
| 8 | 82.3 | 83.6 | 0.13613 | 900 | 48.7 | 48.8 | 0.01782 |
| 9 | 87.44 | 89.5 | 0.20226 | 1000 | 48.7 | 48.8 | 0.01782 |
| 10 | 89.2 | 93.2 | 0.38102 | 2000 | 48.7 | 48.8 | 0.01782 |
| 20 | 90.2 | 105.63 | 1.37161 | 3000 | 48.7 | 48.8 | 0.01782 |
| 30 | 92.54 | 212.98 | 7.24019 | 4000 | 48.7 | 48.8 | 0.01782 |
| 35 | 93.84 | 295.9 | 9.97514 | 5000 | 48.7 | 48.8 | 0.01782 |
| 40 | 90.21 | 206.78 | 7.20508 | 6000 | 48.7 | 48.8 | 0.01782 |
| 50 | 82.3 | 118.3 | 3.1517 | 7000 | 48.7 | 48.8 | 0.01782 |
| 60 | 70.8 | 88.7 | 1.95781 | 8000 | 48.7 | 48.8 | 0.01782 |
| 70 | 68.52 | 78.63 | 1.19542 | 9000 | 48.7 | 48.8 | 0.01782 |
| 80 | 58.4 | 62.9 | 0.64476 | 10000 | 48.7 | 48.8 | 0.01782 |
| 90 | 56 | 60.33 | 0.64691 | 20000 | 48.7 | 48.8 | 0.01782 |
| 100 | 52.5 | 53.8 | 0.21246 | 30000 | 48.7 | 48.8 | 0.01782 |

รูปตารางที่ 7.3 แสดงผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 1 ที่ 35 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 2 ที่ 46 Hz

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) | Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 55.6 | 55.87 | 0.0420776 | 200 | 50.1 | 50.32 | 0.038058 |
| 2 | 55.6 | 55.87 | 0.0420776 | 300 | 50.1 | 50.32 | 0.038058 |
| 3 | 55.6 | 55.87 | 0.0420776 | 400 | 50.1 | 50.32 | 0.038058 |
| 4 | 55.6 | 55.87 | 0.0420776 | 500 | 50.1 | 50.32 | 0.038058 |
| 5 | 55.6 | 55.87 | 0.0420776 | 600 | 50.1 | 50.32 | 0.038058 |
| 6 | 55.6 | 55.87 | 0.0420776 | 700 | 50.1 | 50.32 | 0.038058 |
| 7 | 57.8 | 58.64 | 0.12532246 | 800 | 50.1 | 50.32 | 0.038058 |
| 8 | 57.8 | 58.64 | 0.12532246 | 900 | 50.1 | 50.32 | 0.038058 |
| 9 | 58.65 | 60.01 | 0.19911221 | 1000 | 50.1 | 50.32 | 0.038058 |
| 10 | 58.65 | 60.01 | 0.19911221 | 2000 | 50.1 | 50.32 | 0.038058 |
| 20 | 60.57 | 67.51 | 0.94221069 | 3000 | 50.1 | 50.32 | 0.038058 |
| 30 | 74.22 | 102.6 | 2.81252822 | 4000 | 50.1 | 50.32 | 0.038058 |
| 40 | 80.08 | 192.94 | 7.63796419 | 5000 | 50.1 | 50.32 | 0.038058 |
| 46 | 90.75 | 285.32 | 9.94971163 | 6000 | 50.1 | 50.32 | 0.038058 |
| 50 | 78.41 | 195.3 | 7.92661579 | 7000 | 50.1 | 50.32 | 0.038058 |
| 60 | 64.52 | 114.66 | 4.99435157 | 8000 | 50.1 | 50.32 | 0.038058 |
| 70 | 58.77 | 82.44 | 2.93964585 | 9000 | 50.1 | 50.32 | 0.038058 |
| 80 | 57.66 | 72.81 | 2.02632786 | 10000 | 50.1 | 50.32 | 0.038058 |
| 90 | 55.21 | 65.89 | 1.53603521 | 20000 | 50.1 | 50.32 | 0.038058 |
| 100 | 50.22 | 54.56 | 0.71995307 | 30000 | 50.1 | 50.32 | 0.038058 |

รูปตารางที่ 7.4 แสดงผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 2 ที่ 46 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 3 ที่ 62 Hz

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) | Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 50.7 | 51.25 | 0.09372 | 200 | 54.89 | 57.24 | 0.36412789 |
| 2 | 50.7 | 51.25 | 0.09372 | 300 | 45.66 | 46.03 | 0.07010135 |
| 3 | 50.7 | 51.25 | 0.09372 | 400 | 45.66 | 46.03 | 0.07010135 |
| 4 | 50.7 | 51.25 | 0.09372 | 500 | 45.66 | 46.03 | 0.07010135 |
| 5 | 50.7 | 51.25 | 0.09372 | 600 | 45.66 | 46.03 | 0.07010135 |
| 6 | 50.7 | 51.25 | 0.09372 | 700 | 45.66 | 46.03 | 0.07010135 |
| 7 | 50.7 | 51.25 | 0.09372 | 800 | 45.66 | 46.03 | 0.07010135 |
| 8 | 50.7 | 51.25 | 0.09372 | 900 | 45.66 | 46.03 | 0.07010135 |
| 9 | 51 | 53.2 | 0.36683 | 1000 | 45.66 | 46.03 | 0.07010135 |
| 10 | 51 | 53.2 | 0.36683 | 2000 | 45.66 | 46.03 | 0.07010135 |
| 20 | 66.5 | 70.5 | 0.50735 | 3000 | 45.66 | 46.03 | 0.07010135 |
| 30 | 75.44 | 86.01 | 1.13895 | 4000 | 45.66 | 46.03 | 0.07010135 |
| 40 | 78.23 | 101.7 | 2.27895 | 5000 | 45.66 | 46.03 | 0.07010135 |
| 50 | 80.18 | 155.88 | 5.77449 | 6000 | 45.66 | 46.03 | 0.07010135 |
| 60 | 89.97 | 254.31 | 9.02531 | 7000 | 45.66 | 46.03 | 0.07010135 |
| 62 | 90.12 | 283.11 | 9.94268 | 8000 | 45.66 | 46.03 | 0.07010135 |
| 70 | 80.3 | 198.55 | 7.86309 | 9000 | 45.66 | 46.03 | 0.07010135 |
| 80 | 74.15 | 128 | 4.74198 | 10000 | 45.66 | 46.03 | 0.07010135 |
| 90 | 68.11 | 99.84 | 3.32187 | 20000 | 45.66 | 46.03 | 0.07010135 |
| 100 | 62.35 | 81.1 | 2.28369 | 30000 | 45.66 | 46.03 | 0.07010135 |

รูปตารางที่ 7.5 แสดงผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 3 ที่ 62 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 4 ที่ 84 Hz

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) | Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 57.2 | 57.5 | 0.0454363 | 200 | 60.4 | 67.08 | 0.91112231 |
| 2 | 57.2 | 57.5 | 0.0454363 | 300 | 58.13 | 60.11 | 0.2909281 |
| 3 | 57.2 | 57.5 | 0.0454363 | 400 | 50.1 | 50.23 | 0.02250905 |
| 4 | 57.2 | 57.5 | 0.0454363 | 500 | 50.1 | 50.23 | 0.02250905 |
| 5 | 57.2 | 57.5 | 0.0454363 | 600 | 50.1 | 50.23 | 0.02250905 |
| 6 | 57.2 | 57.5 | 0.0454363 | 700 | 50.1 | 50.23 | 0.02250905 |
| 7 | 57.2 | 57.5 | 0.0454363 | 800 | 50.1 | 50.23 | 0.02250905 |
| 8 | 57.2 | 57.5 | 0.0454363 | 900 | 50.1 | 50.23 | 0.02250905 |
| 9 | 57.2 | 57.5 | 0.0454363 | 1000 | 50.1 | 50.23 | 0.02250905 |
| 10 | 57.2 | 57.5 | 0.0454363 | 2000 | 50.1 | 50.23 | 0.02250905 |
| 20 | 60.31 | 62.1 | 0.2540454 | 3000 | 50.1 | 50.23 | 0.02250905 |
| 30 | 65.89 | 70.11 | 0.5392092 | 4000 | 50.1 | 50.23 | 0.02250905 |
| 40 | 70.22 | 80.99 | 1.2394115 | 5000 | 50.1 | 50.23 | 0.02250905 |
| 50 | 75.8 | 98.8 | 2.3017548 | 6000 | 50.1 | 50.23 | 0.02250905 |
| 60 | 80.07 | 128.95 | 4.1390304 | 7000 | 50.1 | 50.23 | 0.02250905 |
| 70 | 84.18 | 185.06 | 6.8420727 | 8000 | 50.1 | 50.23 | 0.02250905 |
| 80 | 90.42 | 268.11 | 9.4409702 | 9000 | 50.1 | 50.23 | 0.02250905 |
| 84 | 94.87 | 298.77 | 9.9641617 | 10000 | 50.1 | 50.23 | 0.02250905 |
| 90 | 87.12 | 255.12 | 9.3325328 | 20000 | 50.1 | 50.23 | 0.02250905 |
| 100 | 77.5 | 172.8 | 6.9648407 | 30000 | 50.1 | 50.23 | 0.02250905 |

**รูปตารางที่ 7.6 แสดงผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 4 ที่ 84 Hz**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 5 ที่ 110 Hz

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) | Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 48.22 | 48.32 | 0.017994 | 200 | 79.46 | 94.91 | 1.54326825 |
| 2 | 48.22 | 48.32 | 0.017994 | 300 | 60.2 | 63.8 | 0.50448375 |
| 3 | 48.22 | 48.32 | 0.017994 | 400 | 54.21 | 55.47 | 0.19957517 |
| 4 | 48.22 | 48.32 | 0.017994 | 500 | 46.22 | 46.45 | 0.04311554 |
| 5 | 48.22 | 48.32 | 0.017994 | 600 | 46.22 | 46.45 | 0.04311554 |
| 6 | 48.22 | 48.32 | 0.017994 | 700 | 46.22 | 46.45 | 0.04311554 |
| 7 | 48.22 | 48.32 | 0.017994 | 800 | 46.22 | 46.45 | 0.04311554 |
| 8 | 48.22 | 48.32 | 0.017994 | 900 | 46.22 | 46.45 | 0.04311554 |
| 9 | 48.22 | 48.32 | 0.017994 | 1000 | 46.22 | 46.45 | 0.04311554 |
| 10 | 48.22 | 48.32 | 0.017994 | 2000 | 46.22 | 46.45 | 0.04311554 |
| 20 | 48.22 | 48.32 | 0.017994 | 3000 | 46.22 | 46.45 | 0.04311554 |
| 30 | 50.44 | 52.02 | 0.267905 | 4000 | 46.22 | 46.45 | 0.04311554 |
| 40 | 54.83 | 58.01 | 0.489692 | 5000 | 46.22 | 46.45 | 0.04311554 |
| 50 | 58.34 | 66.11 | 1.086015 | 6000 | 46.22 | 46.45 | 0.04311554 |
| 60 | 60.77 | 73.46 | 1.647234 | 7000 | 46.22 | 46.45 | 0.04311554 |
| 70 | 71.48 | 95.15 | 2.484485 | 8000 | 46.22 | 46.45 | 0.04311554 |
| 80 | 76.16 | 121.47 | 4.054842 | 9000 | 46.22 | 46.45 | 0.04311554 |
| 90 | 82.3 | 165.82 | 6.084742 | 10000 | 46.22 | 46.45 | 0.04311554 |
| 100 | 88.05 | 233.44 | 8.468918 | 20000 | 46.22 | 46.45 | 0.04311554 |
| 110 | 93.77 | 295.17 | 9.960166 | 30000 | 46.22 | 46.45 | 0.04311554 |

**รูปตารางที่ 7.7 แสดงผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 5 ที่ 110 Hz**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 6 ที่ 150 Hz

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) | Fre(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 46.32 | 46.88 | 0.104381 | 200 | 75.4 | 131.14 | 4.807277 |
| 2 | 46.32 | 46.88 | 0.104381 | 300 | 66.32 | 78.07 | 1.416793 |
| 3 | 46.32 | 46.88 | 0.104381 | 400 | 54.33 | 58.88 | 0.698562 |
| 4 | 46.32 | 46.88 | 0.104381 | 500 | 52.12 | 54.61 | 0.405355 |
| 5 | 46.32 | 46.88 | 0.104381 | 600 | 50.11 | 51.35 | 0.212321 |
| 6 | 46.32 | 46.88 | 0.104381 | 700 | 39.78 | 40.1 | 0.069592 |
| 7 | 46.32 | 46.88 | 0.104381 | 800 | 39.78 | 40.1 | 0.069592 |
| 8 | 46.32 | 46.88 | 0.104381 | 900 | 39.78 | 40.1 | 0.069592 |
| 9 | 46.32 | 46.88 | 0.104381 | 1000 | 39.78 | 40.1 | 0.069592 |
| 10 | 46.32 | 46.88 | 0.104381 | 2000 | 39.78 | 40.1 | 0.069592 |
| 20 | 46.32 | 46.88 | 0.104381 | 3000 | 39.78 | 40.1 | 0.069592 |
| 30 | 46.32 | 46.88 | 0.104381 | 4000 | 39.78 | 40.1 | 0.069592 |
| 40 | 50.13 | 52.01 | 0.319783 | 5000 | 39.78 | 40.1 | 0.069592 |
| 50 | 53.87 | 57 | 0.490558 | 6000 | 39.78 | 40.1 | 0.069592 |
| 60 | 58.94 | 64.7 | 0.809883 | 7000 | 39.78 | 40.1 | 0.069592 |
| 70 | 62.45 | 72.08 | 1.245647 | 8000 | 39.78 | 40.1 | 0.069592 |
| 80 | 70.58 | 87.03 | 1.819747 | 9000 | 39.78 | 40.1 | 0.069592 |
| 90 | 75.35 | 98.83 | 2.356111 | 10000 | 39.78 | 40.1 | 0.069592 |
| 100 | 88.4 | 130.67 | 3.394473 | 20000 | 39.78 | 40.1 | 0.069592 |
| 150 | 89.56 | 279.1 | 9.872915 | 30000 | 39.78 | 40.1 | 0.069592 |

**รูปตารางที่ 7.8 แสดงผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 6 ที่ 150 Hz**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 7 ที่ 200 Hz

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) | Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 38.97 | 39.12 | 0.033369 | 300 | 75.88 | 104.6 | 2.78808725 |
| 2 | 38.97 | 39.12 | 0.033369 | 400 | 67.02 | 76.15 | 1.10930968 |
| 3 | 38.97 | 39.12 | 0.033369 | 500 | 54.77 | 58.21 | 0.52909717 |
| 4 | 38.97 | 39.12 | 0.033369 | 600 | 52.3 | 54.67 | 0.3849477 |
| 5 | 38.97 | 39.12 | 0.033369 | 700 | 49.68 | 50.01 | 0.05750535 |
| 6 | 38.97 | 39.12 | 0.033369 | 800 | 49.68 | 50.01 | 0.05750535 |
| 7 | 38.97 | 39.12 | 0.033369 | 900 | 49.68 | 50.01 | 0.05750535 |
| 8 | 38.97 | 39.12 | 0.033369 | 1000 | 49.68 | 50.01 | 0.05750535 |
| 9 | 38.97 | 39.12 | 0.033369 | 2000 | 49.68 | 50.01 | 0.05750535 |
| 10 | 38.97 | 39.12 | 0.033369 | 3000 | 49.68 | 50.01 | 0.05750535 |
| 20 | 38.97 | 39.12 | 0.033369 | 4000 | 49.68 | 50.01 | 0.05750535 |
| 30 | 38.97 | 39.12 | 0.033369 | 5000 | 49.68 | 50.01 | 0.05750535 |
| 40 | 38.97 | 39.12 | 0.033369 | 6000 | 49.68 | 50.01 | 0.05750535 |
| 50 | 38.97 | 39.12 | 0.033369 | 7000 | 49.68 | 50.01 | 0.05750535 |
| 60 | 45.8 | 47.43 | 0.303753 | 8000 | 49.68 | 50.01 | 0.05750535 |
| 70 | 50.23 | 53.1 | 0.482627 | 9000 | 49.68 | 50.01 | 0.05750535 |
| 80 | 54.6 | 58.3 | 0.569518 | 10000 | 49.68 | 50.01 | 0.05750535 |
| 90 | 60.22 | 66.58 | 0.872061 | 20000 | 49.68 | 50.01 | 0.05750535 |
| 100 | 70.88 | 81.49 | 1.211612 | 30000 | 49.68 | 50.01 | 0.05750535 |
| 200 | 85.66 | 268.6 | 9.926559 | | | | |

รูปตารางที่ 7.9 แสดงผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 7 ที่ 200 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 8 ที่ 270 Hz

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) | Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 54.87 | 55.01 | 0.0221 | 200 | 78.46 | 132.71 | 4.565106908 |
| 2 | 54.87 | 55.01 | 0.0221 | 270 | 91.38 | 286.8 | 9.934559866 |
| 3 | 54.87 | 55.01 | 0.0221 | 300 | 83.64 | 223.85 | 8.550861491 |
| 4 | 54.87 | 55.01 | 0.0221 | 400 | 71.4 | 103.7 | 3.241610892 |
| 5 | 54.87 | 55.01 | 0.0221 | 500 | 65.83 | 79.8 | 1.671580725 |
| 6 | 54.87 | 55.01 | 0.0221 | 600 | 54.07 | 61.44 | 1.109896749 |
| 7 | 54.87 | 55.01 | 0.0221 | 700 | 52.47 | 56.8 | 0.68874543 |
| 8 | 54.87 | 55.01 | 0.0221 | 800 | 49.63 | 52.3 | 0.455148273 |
| 9 | 54.87 | 55.01 | 0.0221 | 900 | 48.38 | 49.66 | 0.226817024 |
| 10 | 54.87 | 55.01 | 0.0221 | 1000 | 47.55 | 48.03 | 0.087241307 |
| 20 | 54.87 | 55.01 | 0.0221 | 2000 | 47.55 | 48.03 | 0.087241307 |
| 30 | 54.87 | 55.01 | 0.0221 | 3000 | 47.55 | 48.03 | 0.087241307 |
| 40 | 54.87 | 55.01 | 0.0221 | 4000 | 47.55 | 48.03 | 0.087241307 |
| 50 | 54.87 | 55.01 | 0.0221 | 5000 | 47.55 | 48.03 | 0.087241307 |
| 60 | 54.87 | 55.01 | 0.0221 | 6000 | 47.55 | 48.03 | 0.087241307 |
| 70 | 56.87 | 58.01 | 0.1724 | 7000 | 47.55 | 48.03 | 0.087241307 |
| 80 | 60.27 | 63.09 | 0.3972 | 8000 | 47.55 | 48.03 | 0.087241307 |
| 90 | 64.22 | 67.8 | 0.4712 | 9000 | 47.55 | 48.03 | 0.087241307 |
| 100 | 68.76 | 73.84 | 0.6191 | 10000 | 47.55 | 48.03 | 0.087241307 |
| 200 | 78.46 | 132.71 | 4.5651 | 20000 | 47.55 | 48.03 | 0.087241307 |
| 270 | 91.38 | 286.8 | 9.9346 | 30000 | 47.55 | 48.03 | 0.087241307 |

รูปตารางที่ 7.10 แสดงผลผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 8 ที่ 270 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 9 ที่ 370 Hz

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) | Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 59.31 | 59.94 | 0.0917763 | 300 | 78.12 | 156.85 | 6.054446 |
| 2 | 59.31 | 59.94 | 0.0917763 | 370 | 97.65 | 306.5 | 9.935165 |
| 3 | 59.31 | 59.94 | 0.0917763 | 400 | 88.4 | 248.45 | 8.975735 |
| 4 | 59.31 | 59.94 | 0.0917763 | 500 | 74.5 | 121.6 | 4.255546 |
| 5 | 59.31 | 59.94 | 0.0917763 | 600 | 68.3 | 88.9 | 2.289621 |
| 6 | 59.31 | 59.94 | 0.0917763 | 700 | 66.78 | 79.15 | 1.47609 |
| 7 | 59.31 | 59.94 | 0.0917763 | 800 | 60.38 | 68.22 | 1.060372 |
| 8 | 59.31 | 59.94 | 0.0917763 | 900 | 55.85 | 60.47 | 0.690336 |
| 9 | 59.31 | 59.94 | 0.0917763 | 1000 | 50.21 | 53.6 | 0.567491 |
| 10 | 59.31 | 59.94 | 0.0917763 | 2000 | 44.36 | 45.01 | 0.12635 |
| 20 | 59.31 | 59.94 | 0.0917763 | 3000 | 44.36 | 45.01 | 0.12635 |
| 30 | 59.31 | 59.94 | 0.0917763 | 4000 | 44.36 | 45.01 | 0.12635 |
| 40 | 59.31 | 59.94 | 0.0917763 | 5000 | 44.36 | 45.01 | 0.12635 |
| 50 | 59.31 | 59.94 | 0.0917763 | 6000 | 44.36 | 45.01 | 0.12635 |
| 60 | 59.31 | 59.94 | 0.0917763 | 7000 | 44.36 | 45.01 | 0.12635 |
| 70 | 59.31 | 59.94 | 0.0917763 | 8000 | 44.36 | 45.01 | 0.12635 |
| 80 | 59.31 | 59.94 | 0.0917763 | 9000 | 44.36 | 45.01 | 0.12635 |
| 90 | 59.31 | 59.94 | 0.0917763 | 10000 | 44.36 | 45.01 | 0.12635 |
| 100 | 60.23 | 62.14 | 0.2711677 | 20000 | 44.36 | 45.01 | 0.12635 |
| 200 | 64.8 | 78.1 | 1.6215206 | 30000 | 44.36 | 45.01 | 0.12635 |

**รูปตารางที่ 7.11 แสดงผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 9 ที่ 370 Hz**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 10 ที่ 500 Hz

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) | Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 48.33 | 48.45 | 0.02154 | 300 | 57.44 | 74.07 | 2.208558 |
| 2 | 48.33 | 48.45 | 0.02154 | 400 | 60.76 | 132.23 | 6.754245 |
| 3 | 48.33 | 48.45 | 0.02154 | 500 | 88.56 | 278.14 | 9.940517 |
| 4 | 48.33 | 48.45 | 0.02154 | 600 | 60.88 | 129.9 | 6.58269 |
| 5 | 48.33 | 48.45 | 0.02154 | 700 | 64.22 | 99.88 | 3.836165 |
| 6 | 48.33 | 48.45 | 0.02154 | 800 | 62.14 | 83.66 | 2.582932 |
| 7 | 48.33 | 48.45 | 0.02154 | 900 | 57.55 | 69.9 | 1.688637 |
| 8 | 48.33 | 48.45 | 0.02154 | 1000 | 51.82 | 60.24 | 1.307751 |
| 9 | 48.33 | 48.45 | 0.02154 | 2000 | 48.55 | 49.56 | 0.178841 |
| 10 | 48.33 | 48.45 | 0.02154 | 3000 | 48.55 | 49.56 | 0.178841 |
| 20 | 48.33 | 48.45 | 0.02154 | 4000 | 48.55 | 49.56 | 0.178841 |
| 30 | 48.33 | 48.45 | 0.02154 | 5000 | 48.55 | 49.56 | 0.178841 |
| 40 | 48.33 | 48.45 | 0.02154 | 6000 | 48.55 | 49.56 | 0.178841 |
| 50 | 48.33 | 48.45 | 0.02154 | 7000 | 48.55 | 49.56 | 0.178841 |
| 60 | 48.33 | 48.45 | 0.02154 | 8000 | 48.55 | 49.56 | 0.178841 |
| 70 | 48.33 | 48.45 | 0.02154 | 9000 | 48.55 | 49.56 | 0.178841 |
| 80 | 48.33 | 48.45 | 0.02154 | 10000 | 48.55 | 49.56 | 0.178841 |
| 90 | 48.33 | 48.45 | 0.02154 | 20000 | 48.55 | 49.56 | 0.178841 |
| 100 | 48.33 | 48.45 | 0.02154 | 30000 | 48.55 | 49.56 | 0.178841 |
| 200 | 52.64 | 55.21 | 0.414037 | | | | |

รูปตารางที่ 7.12 แสดงผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 10 ที่ 500 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 11 ที่ 660 Hz

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) | Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 50.4 | 50.85 | 0.077208 | 300 | 57.66 | 65.36 | 1.088748 |
| 2 | 50.4 | 50.85 | 0.077208 | 400 | 60.84 | 78.75 | 2.241227 |
| 3 | 50.4 | 50.85 | 0.077208 | 500 | 62.78 | 109.45 | 4.827889 |
| 4 | 50.4 | 50.85 | 0.077208 | 600 | 68.92 | 187.13 | 8.675963 |
| 5 | 50.4 | 50.85 | 0.077208 | 660 | 82.36 | 258.12 | 9.922106 |
| 6 | 50.4 | 50.85 | 0.077208 | 700 | 75.1 | 217.16 | 9.222798 |
| 7 | 50.4 | 50.85 | 0.077208 | 800 | 70.28 | 147.48 | 6.438028 |
| 8 | 50.4 | 50.85 | 0.077208 | 900 | 63.78 | 104.45 | 4.284479 |
| 9 | 50.4 | 50.85 | 0.077208 | 1000 | 59.84 | 84.11 | 2.957121 |
| 10 | 50.4 | 50.85 | 0.077208 | 2000 | 54.21 | 56.81 | 0.406908 |
| 20 | 50.4 | 50.85 | 0.077208 | 3000 | 51.33 | 51.78 | 0.075816 |
| 30 | 50.4 | 50.85 | 0.077208 | 4000 | 51.33 | 51.78 | 0.075816 |
| 40 | 50.4 | 50.85 | 0.077208 | 5000 | 51.33 | 51.78 | 0.075816 |
| 50 | 50.4 | 50.85 | 0.077208 | 6000 | 51.33 | 51.78 | 0.075816 |
| 60 | 50.4 | 50.85 | 0.077208 | 7000 | 51.33 | 51.78 | 0.075816 |
| 70 | 50.4 | 50.85 | 0.077208 | 8000 | 51.33 | 51.78 | 0.075816 |
| 80 | 50.4 | 50.85 | 0.077208 | 9000 | 51.33 | 51.78 | 0.075816 |
| 90 | 50.4 | 50.85 | 0.077208 | 10000 | 51.33 | 51.78 | 0.075816 |
| 100 | 50.4 | 50.85 | 0.077208 | 20000 | 51.33 | 51.78 | 0.075816 |
| 200 | 51.32 | 53.67 | 0.388899 | 30000 | 51.33 | 51.78 | 0.075816 |

**รูปตารางที่ 7.13 แสดงผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 11 ที่ 660 Hz**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 12 ที่ 900 Hz

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) | Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 60.22 | 60.78 | 0.080399 | 300 | 62.3 | 65.48 | 0.432412 |
| 2 | 60.22 | 60.78 | 0.080399 | 400 | 65.12 | 72.45 | 0.92648 |
| 3 | 60.22 | 60.78 | 0.080399 | 500 | 67.85 | 82.56 | 1.704397 |
| 4 | 60.22 | 60.78 | 0.080399 | 600 | 71.84 | 99.77 | 2.852673 |
| 5 | 60.22 | 60.78 | 0.080399 | 700 | 78.81 | 141.34 | 5.073675 |
| 6 | 60.22 | 60.78 | 0.080399 | 800 | 86.44 | 219.31 | 8.086874 |
| 7 | 60.22 | 60.78 | 0.080399 | 900 | 94.13 | 296.8 | 9.974717 |
| 8 | 60.22 | 60.78 | 0.080399 | 1000 | 84.41 | 213.86 | 8.074713 |
| 9 | 60.22 | 60.78 | 0.080399 | 2000 | 58.48 | 65.44 | 0.976719 |
| 10 | 60.22 | 60.78 | 0.080399 | 3000 | 56.17 | 58.03 | 0.282963 |
| 20 | 60.22 | 60.78 | 0.080399 | 4000 | 50.04 | 50.16 | 0.020805 |
| 30 | 60.22 | 60.78 | 0.080399 | 5000 | 50.04 | 50.16 | 0.020805 |
| 40 | 60.22 | 60.78 | 0.080399 | 6000 | 50.04 | 50.16 | 0.020805 |
| 50 | 60.22 | 60.78 | 0.080399 | 7000 | 50.04 | 50.16 | 0.020805 |
| 60 | 60.22 | 60.78 | 0.080399 | 8000 | 50.04 | 50.16 | 0.020805 |
| 70 | 60.22 | 60.78 | 0.080399 | 9000 | 50.04 | 50.16 | 0.020805 |
| 80 | 60.22 | 60.78 | 0.080399 | 10000 | 50.04 | 50.16 | 0.020805 |
| 90 | 60.22 | 60.78 | 0.080399 | 20000 | 50.04 | 50.16 | 0.020805 |
| 100 | 60.22 | 60.78 | 0.080399 | 30000 | 50.04 | 50.16 | 0.020805 |
| 200 | 60.22 | 60.78 | 0.080399 | | | | |

รูปตารางที่ 7.14 แสดงผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 12 ที่ 900 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 13 ที่ 1.2 KHz

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) | Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 49.56 | 50.02 | 0.080248 | 300 | 49.56 | 50.02 | 0.080248 |
| 2 | 49.56 | 50.02 | 0.080248 | 400 | 53.6 | 56.32 | 0.429957 |
| 3 | 49.56 | 50.02 | 0.080248 | 500 | 55.43 | 60.64 | 0.780286 |
| 4 | 49.56 | 50.02 | 0.080248 | 600 | 59.82 | 69.54 | 1.307766 |
| 5 | 49.56 | 50.02 | 0.080248 | 700 | 67.58 | 84.33 | 1.923278 |
| 6 | 49.56 | 50.02 | 0.080248 | 800 | 78.44 | 112.6 | 3.140016 |
| 7 | 49.56 | 50.02 | 0.080248 | 900 | 80.74 | 136.94 | 4.588832 |
| 8 | 49.56 | 50.02 | 0.080248 | 1000 | 86.49 | 188.26 | 6.755843 |
| 9 | 49.56 | 50.02 | 0.080248 | 1200 | 90.17 | 284.61 | 9.983762 |
| 10 | 49.56 | 50.02 | 0.080248 | 2000 | 66.11 | 85.47 | 2.230931 |
| 20 | 49.56 | 50.02 | 0.080248 | 3000 | 57.38 | 62.18 | 0.697803 |
| 30 | 49.56 | 50.02 | 0.080248 | 4000 | 52.1 | 53.57 | 0.241678 |
| 40 | 49.56 | 50.02 | 0.080248 | 5000 | 50.2 | 50.87 | 0.11516 |
| 50 | 49.56 | 50.02 | 0.080248 | 6000 | 50.2 | 50.87 | 0.11516 |
| 60 | 49.56 | 50.02 | 0.080248 | 7000 | 50.2 | 50.87 | 0.11516 |
| 70 | 49.56 | 50.02 | 0.080248 | 8000 | 50.2 | 50.87 | 0.11516 |
| 80 | 49.56 | 50.02 | 0.080248 | 9000 | 50.2 | 50.87 | 0.11516 |
| 90 | 49.56 | 50.02 | 0.080248 | 10000 | 50.2 | 50.87 | 0.11516 |
| 100 | 49.56 | 50.02 | 0.080248 | 20000 | 50.2 | 50.87 | 0.11516 |
| 200 | 49.56 | 50.02 | 0.080248 | 30000 | 50.2 | 50.87 | 0.11516 |

**รูปตารางที่ 7.15 แสดงผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 13 ที่ 1.2 KHz**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 14 ที่ 1.6 KHz

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) | Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 59.33 | 60.12 | 0.114892 | 300 | 59.33 | 60.12 | 0.114892 |
| 2 | 59.33 | 60.12 | 0.114892 | 400 | 59.33 | 60.12 | 0.114892 |
| 3 | 59.33 | 60.12 | 0.114892 | 500 | 60.38 | 62.85 | 0.348243 |
| 4 | 59.33 | 60.12 | 0.114892 | 600 | 64.78 | 68.59 | 0.496397 |
| 5 | 59.33 | 60.12 | 0.114892 | 700 | 69.74 | 78.96 | 1.078504 |
| 6 | 59.33 | 60.12 | 0.114892 | 800 | 73.61 | 86.33 | 1.384498 |
| 7 | 59.33 | 60.12 | 0.114892 | 900 | 75.54 | 94.35 | 1.931298 |
| 8 | 59.33 | 60.12 | 0.114892 | 1000 | 81.48 | 123.8 | 3.633392 |
| 9 | 59.33 | 60.12 | 0.114892 | 1600 | 94.87 | 296.41 | 9.895279 |
| 10 | 59.33 | 60.12 | 0.114892 | 2000 | 74.23 | 145.77 | 5.861774 |
| 20 | 59.33 | 60.12 | 0.114892 | 3000 | 67.42 | 81.06 | 1.600357 |
| 30 | 59.33 | 60.12 | 0.114892 | 4000 | 58.12 | 63.17 | 0.723705 |
| 40 | 59.33 | 60.12 | 0.114892 | 5000 | 51.51 | 53.34 | 0.303229 |
| 50 | 59.33 | 60.12 | 0.114892 | 6000 | 48.73 | 49.08 | 0.062163 |
| 60 | 59.33 | 60.12 | 0.114892 | 7000 | 48.73 | 49.08 | 0.062163 |
| 70 | 59.33 | 60.12 | 0.114892 | 8000 | 48.73 | 49.08 | 0.062163 |
| 80 | 59.33 | 60.12 | 0.114892 | 9000 | 48.73 | 49.08 | 0.062163 |
| 90 | 59.33 | 60.12 | 0.114892 | 10000 | 48.73 | 49.08 | 0.062163 |
| 100 | 59.33 | 60.12 | 0.114892 | 20000 | 48.73 | 49.08 | 0.062163 |
| 200 | 59.33 | 60.12 | 0.114892 | 30000 | 48.73 | 49.08 | 0.062163 |

รูปตารางที่ 7.16 แสดงผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 14 ที่ 1.6 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 15 ที่ 2.2 KHz

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) | Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 | 300 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 |
| 2 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 | 400 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 |
| 3 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 | 500 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 |
| 4 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 | 600 | 56.14 | 57.89 | 0.266623 |
| 5 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 | 700 | 59.64 | 62.44 | 0.398505 |
| 6 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 | 800 | 63.84 | 69.18 | 0.697754 |
| 7 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 | 900 | 68.22 | 75.65 | 0.897944 |
| 8 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 | 1000 | 74.1 | 84.55 | 1.145908 |
| 9 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 | 2000 | 85.63 | 239.51 | 8.933954 |
| 10 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 | 2200 | 90.74 | 285.1 | 9.943969 |
| 20 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 | 3000 | 77.31 | 129.83 | 4.502788 |
| 30 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 | 4000 | 68.43 | 84.25 | 1.806467 |
| 40 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 | 5000 | 58.31 | 65.44 | 1.002005 |
| 50 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 | 6000 | 54.18 | 57.78 | 0.558771 |
| 60 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 | 7000 | 51.3 | 51.92 | 0.104346 |
| 70 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 | 8000 | 51.3 | 51.92 | 0.104346 |
| 80 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 | 9000 | 51.3 | 51.92 | 0.104346 |
| 90 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 | 10000 | 51.3 | 51.92 | 0.104346 |
| 100 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 | 20000 | 51.3 | 51.92 | 0.104346 |
| 200 | 53.47 | 54.23 | 0.122588 | 30000 | 51.3 | 51.92 | 0.104346 |

รูปตารางที่ 7.17 แสดงผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 15 ที่ 2.2 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 16 ที่ 3 KHz

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) | Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 | 300 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 |
| 2 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 | 400 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 |
| 3 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 | 500 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 |
| 4 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 | 600 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 |
| 5 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 | 700 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 |
| 6 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 | 800 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 |
| 7 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 | 900 | 54.68 | 56.63 | 0.304361 |
| 8 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 | 1000 | 56.32 | 59.71 | 0.507689 |
| 9 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 | 2000 | 69.45 | 98.68 | 3.051138 |
| 10 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 | 3000 | 89.32 | 280.45 | 9.938135 |
| 20 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 | 4000 | 64.08 | 109.23 | 4.632389 |
| 30 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 | 5000 | 57.49 | 72.39 | 2.001725 |
| 40 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 | 6000 | 53.64 | 62.12 | 1.274854 |
| 50 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 | 7000 | 50.56 | 55.36 | 0.78778 |
| 60 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 | 8000 | 49.23 | 51.36 | 0.367904 |
| 70 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 | 9000 | 46.1 | 46.5 | 0.075041 |
| 80 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 | 10000 | 46.1 | 46.5 | 0.075041 |
| 90 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 | 20000 | 46.1 | 46.5 | 0.075041 |
| 100 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 | 30000 | 46.1 | 46.5 | 0.075041 |
| 200 | 48.66 | 49.2 | 0.09586 | | | | |

รูปตารางที่ 7.18 แสดงผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 16 ที่ 3 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 17 ที่ 4.1 KHz

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) | Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 | 300 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 |
| 2 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 | 400 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 |
| 3 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 | 500 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 |
| 4 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 | 600 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 |
| 5 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 | 700 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 |
| 6 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 | 800 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 |
| 7 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 | 900 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 |
| 8 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 | 1000 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 |
| 9 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 | 2000 | 60.25 | 70.8 | 1.401524 |
| 10 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 | 3000 | 71.58 | 120.6 | 4.531112 |
| 20 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 | 4000 | 85.64 | 263.71 | 9.768999 |
| 30 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 | 4100 | 88.29 | 279.45 | 10.00785 |
| 40 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 | 5000 | 68.2 | 140.7 | 6.290194 |
| 50 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 | 6000 | 60.01 | 87.32 | 3.257802 |
| 60 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 | 7000 | 57.87 | 73.56 | 2.083765 |
| 70 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 | 8000 | 55.43 | 64.27 | 1.285268 |
| 80 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 | 9000 | 50.08 | 55.83 | 0.944066 |
| 90 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 | 10000 | 50.01 | 53.22 | 0.54036 |
| 100 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 | 20000 | 48.73 | 48.98 | 0.044447 |
| 200 | 52.1 | 52.6 | 0.08296 | 30000 | 48.73 | 48.98 | 0.044447 |

**รูปตารางที่ 7.19 แสดงผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 17 ที่ 4.1 KHz**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 18 ที่ 5.6 KHz

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) | Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 | 300 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 |
| 2 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 | 400 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 |
| 3 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 | 500 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 |
| 4 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 | 600 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 |
| 5 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 | 700 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 |
| 6 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 | 800 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 |
| 7 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 | 900 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 |
| 8 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 | 1000 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 |
| 9 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 | 2000 | 63.52 | 68.56 | 0.663206 |
| 10 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 | 3000 | 70.12 | 85.66 | 1.738723 |
| 20 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 | 4000 | 78.24 | 126.78 | 4.192438 |
| 30 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 | 5000 | 81.52 | 214.55 | 8.405287 |
| 40 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 | 5600 | 87.48 | 276.88 | 10.00766 |
| 50 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 | 6000 | 79.51 | 227.22 | 9.120496 |
| 60 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 | 7000 | 68.24 | 129.2 | 5.54447 |
| 70 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 | 8000 | 56.28 | 84.3 | 3.50947 |
| 80 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 | 9000 | 54.1 | 70.24 | 2.267745 |
| 90 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 | 10000 | 51.22 | 60.82 | 1.492137 |
| 100 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 | 20000 | 49.85 | 50.12 | 0.046918 |
| 200 | 61.02 | 61.61 | 0.08358 | 30000 | 49.85 | 50.12 | 0.046918 |

**รูปตารางที่ 7.20 แสดงผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 18 ที่ 5.6 KHz**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 19 ที่ 7.6 KHz

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) | Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 | 300 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 |
| 2 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 | 400 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 |
| 3 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 | 500 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 |
| 4 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 | 600 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 |
| 5 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 | 700 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 |
| 6 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 | 800 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 |
| 7 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 | 900 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 |
| 8 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 | 1000 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 |
| 9 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 | 2000 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 |
| 10 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 | 3000 | 64.45 | 69.31 | 0.63146 |
| 20 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 | 4000 | 69.73 | 84.9 | 1.709761 |
| 30 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 | 5000 | 74.17 | 108.32 | 3.289607 |
| 40 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 | 6000 | 84.56 | 164.46 | 5.777906 |
| 50 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 | 7000 | 90.27 | 255.18 | 9.026064 |
| 60 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 | 7600 | 93.86 | 298.7 | 10.05509 |
| 70 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 | 8000 | 89.65 | 268.53 | 9.52885 |
| 80 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 | 9000 | 80.22 | 174.1 | 6.730322 |
| 90 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 | 10000 | 70.21 | 118.31 | 4.53245 |
| 100 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 | 20000 | 54.23 | 54.87 | 0.101907 |
| 200 | 60.57 | 61.02 | 0.064293 | 30000 | 54.23 | 54.87 | 0.101907 |

รูปตารางที่ 7.21 แสดงผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 19 ที่ 7.6 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 20 ที่ 10.4 KHz

| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) | FreqHz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 | 300 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 |
| 2 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 | 400 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 |
| 3 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 | 500 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 |
| 4 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 | 600 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 |
| 5 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 | 700 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 |
| 6 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 | 800 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 |
| 7 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 | 900 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 |
| 8 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 | 1000 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 |
| 9 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 | 2000 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 |
| 10 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 | 3000 | 60.35 | 64.21 | 0.538508 |
| 20 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 | 4000 | 65.28 | 72.44 | 0.903966 |
| 30 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 | 5000 | 70.18 | 83.56 | 1.515701 |
| 40 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 | 6000 | 74.56 | 97.84 | 2.360211 |
| 50 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 | 7000 | 80.31 | 124.5 | 3.807995 |
| 60 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 | 8000 | 85.46 | 160.63 | 5.481275 |
| 70 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 | 9000 | 88.42 | 218.32 | 7.85086 |
| 80 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 | 10000 | 90.35 | 272.21 | 9.579518 |
| 90 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 | 10400 | 92.11 | 291.56 | 10.00842 |
| 100 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 | 20000 | 58.73 | 61.23 | 0.362085 |
| 200 | 58.31 | 58.94 | 0.093342 | 30000 | 50.22 | 50.85 | 0.108285 |

รูปตารางที่ 7.22 แสดงผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 20 ที่ 10.4 KHz

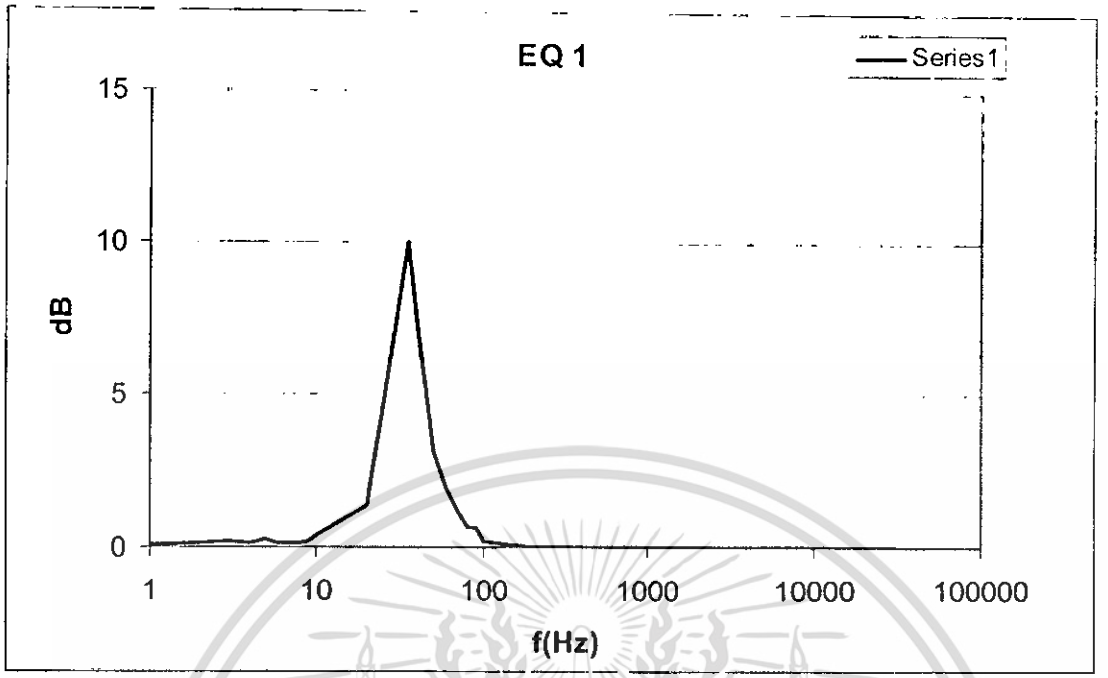
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 21 ที่ 14 KHz

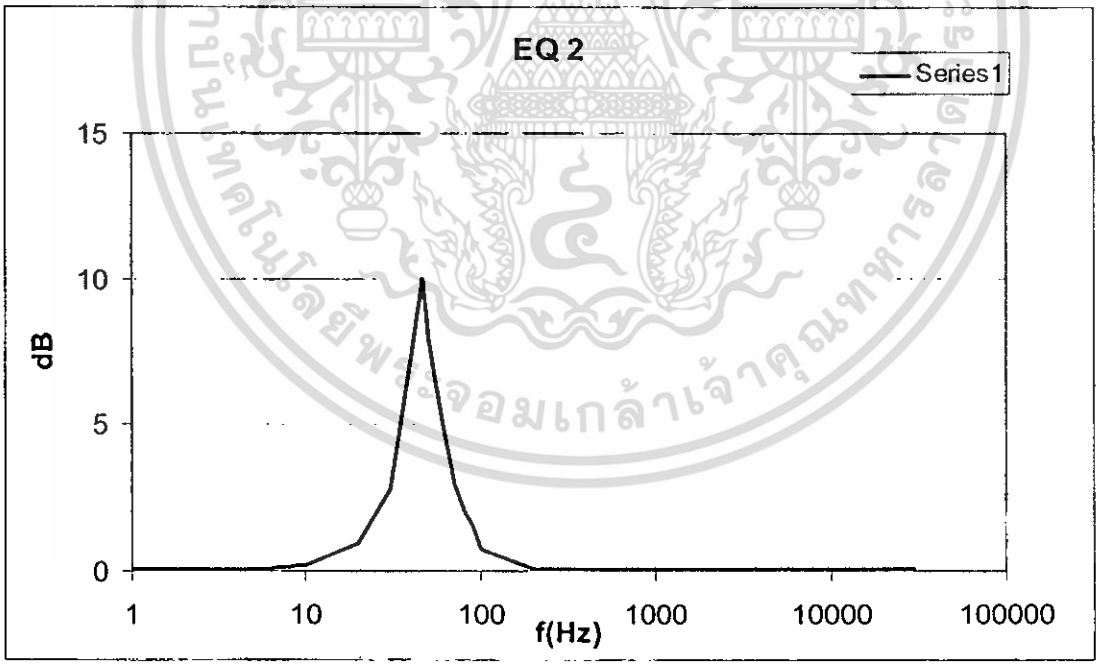
| Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) | Freq(Hz) | Vin(Vrms) | Vout(Vrms) | Gain (dB) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 | 300 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 |
| 2 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 | 400 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 |
| 3 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 | 500 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 |
| 4 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 | 600 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 |
| 5 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 | 700 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 |
| 6 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 | 800 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 |
| 7 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 | 900 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 |
| 8 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 | 1000 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 |
| 9 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 | 2000 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 |
| 10 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 | 3000 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 |
| 20 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 | 4000 | 64.52 | 68.58 | 0.530062 |
| 30 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 | 5000 | 68.74 | 75.53 | 0.818199 |
| 40 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 | 6000 | 71.28 | 83.11 | 1.333712 |
| 50 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 | 7000 | 74.65 | 91.61 | 1.778261 |
| 60 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 | 8000 | 78.49 | 105.2 | 2.544028 |
| 70 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 | 9000 | 81.24 | 121.68 | 3.508986 |
| 80 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 | 10000 | 84.71 | 141.6 | 4.462571 |
| 90 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 | 14000 | 88.13 | 280.14 | 10.04503 |
| 100 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 | 20000 | 64.21 | 76.12 | 1.477922 |
| 200 | 61.71 | 62.43 | 0.100756 | 30000 | 48.44 | 48.98 | 0.096293 |

**รูปตารางที่ 7.23 แสดงผลการทดลองของ EQ ตัวที่ 21 ที่ 14 KHz**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

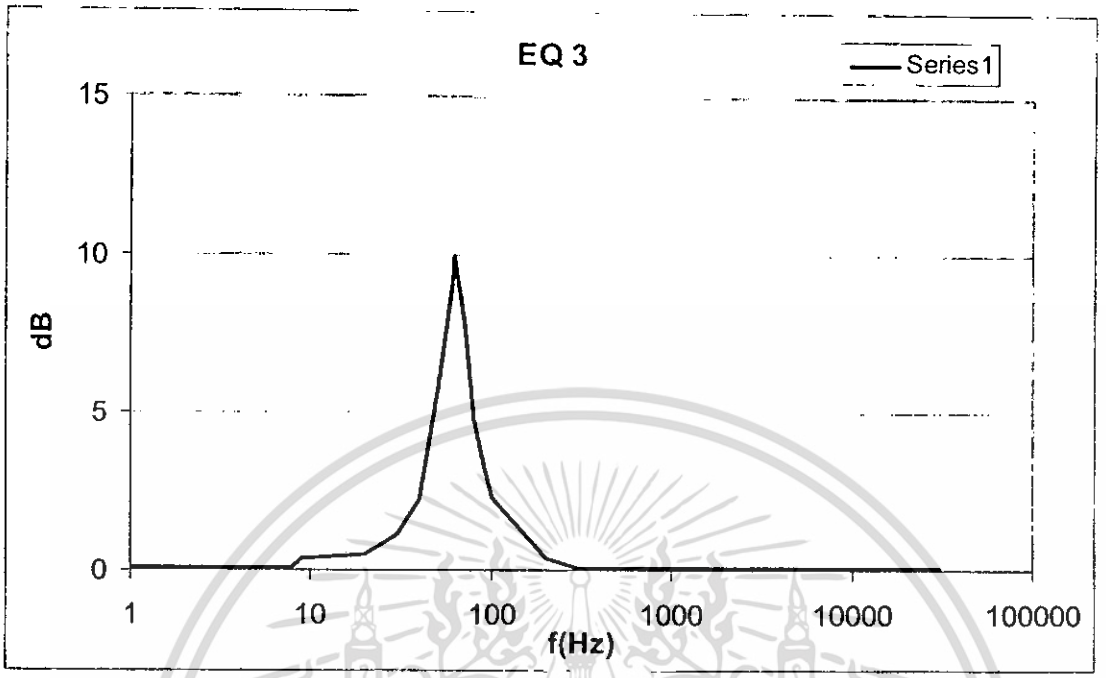



รูปที่ 7.12 แสดงกราฟของ EQ ตัวที่ 1 ที่ 35 Hz

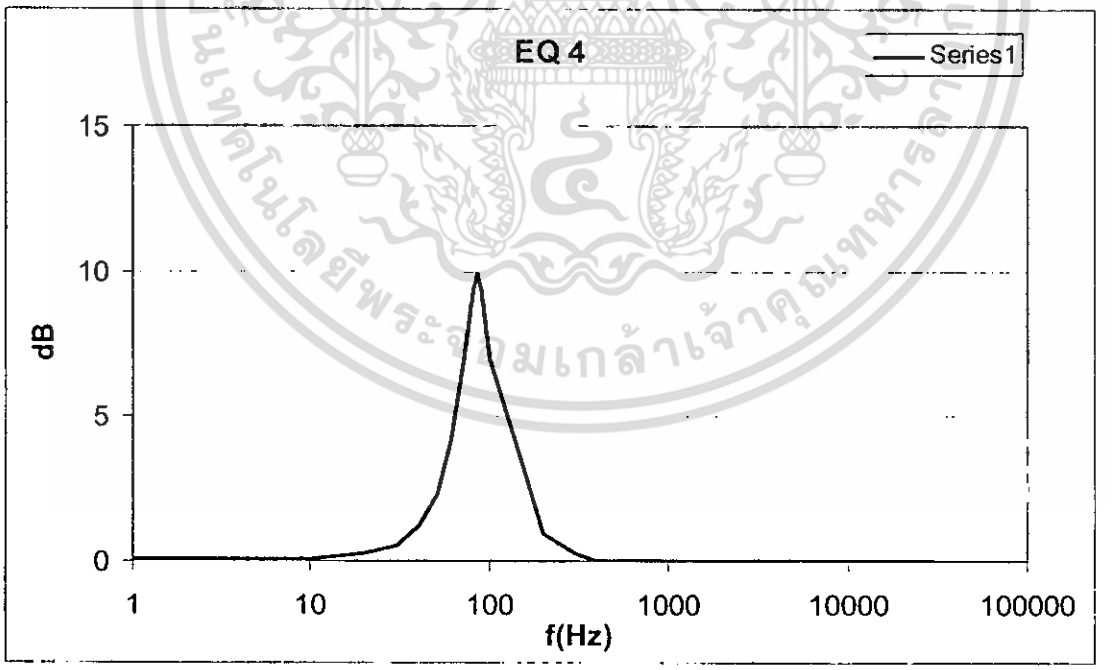



รูปที่ 7.13 แสดงกราฟของ EQ ตัวที่ 2 ที่ 46 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

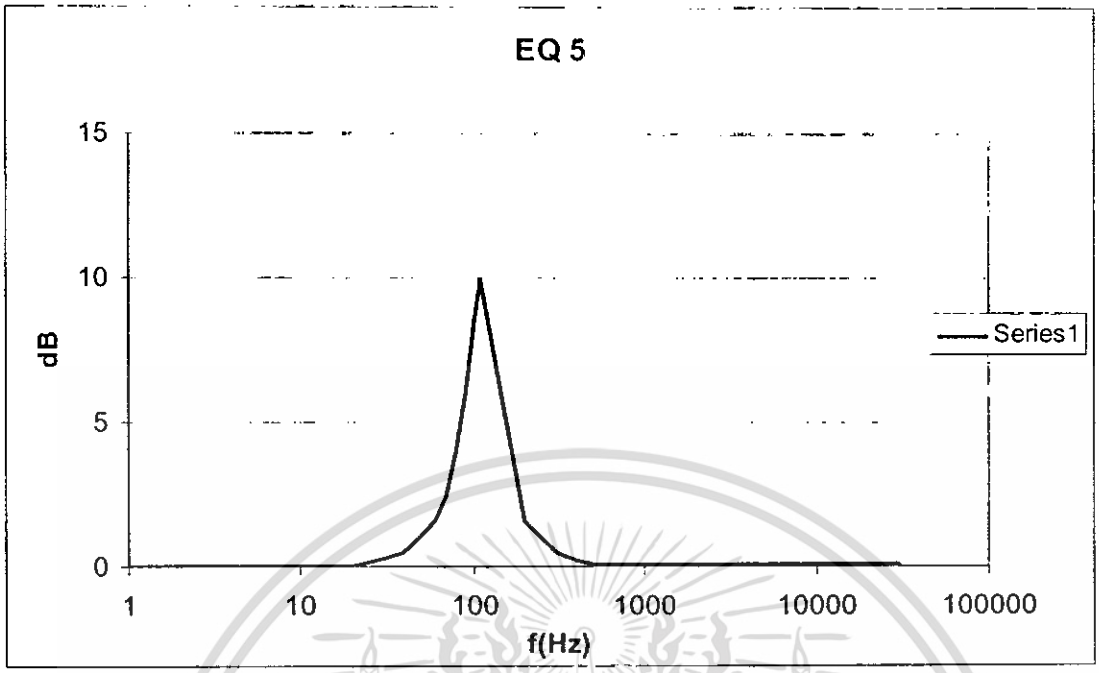



รูปที่ 7.14 แสดงกราฟของ EQ ตัวที่ 3 ที่ 62 Hz

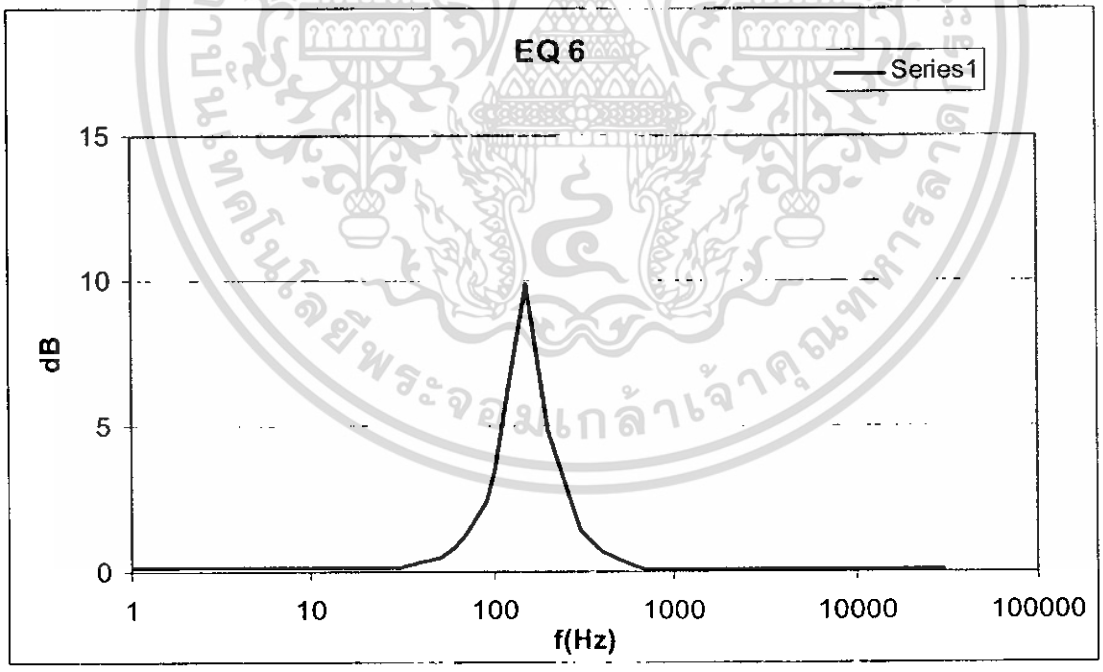



รูปที่ 7.15 แสดงกราฟของ EQ ตัวที่ 4 ที่ 84 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

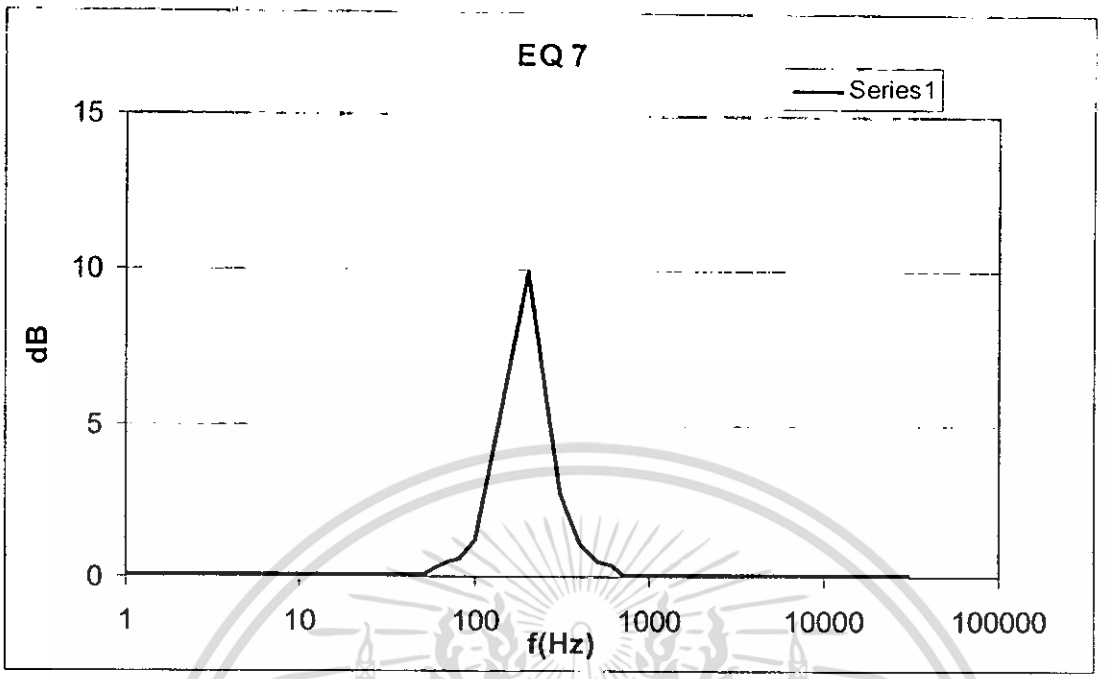



รูปที่ 7.16 แสดงกราฟของ EQ ตัวที่ 5 ที่ 110 Hz

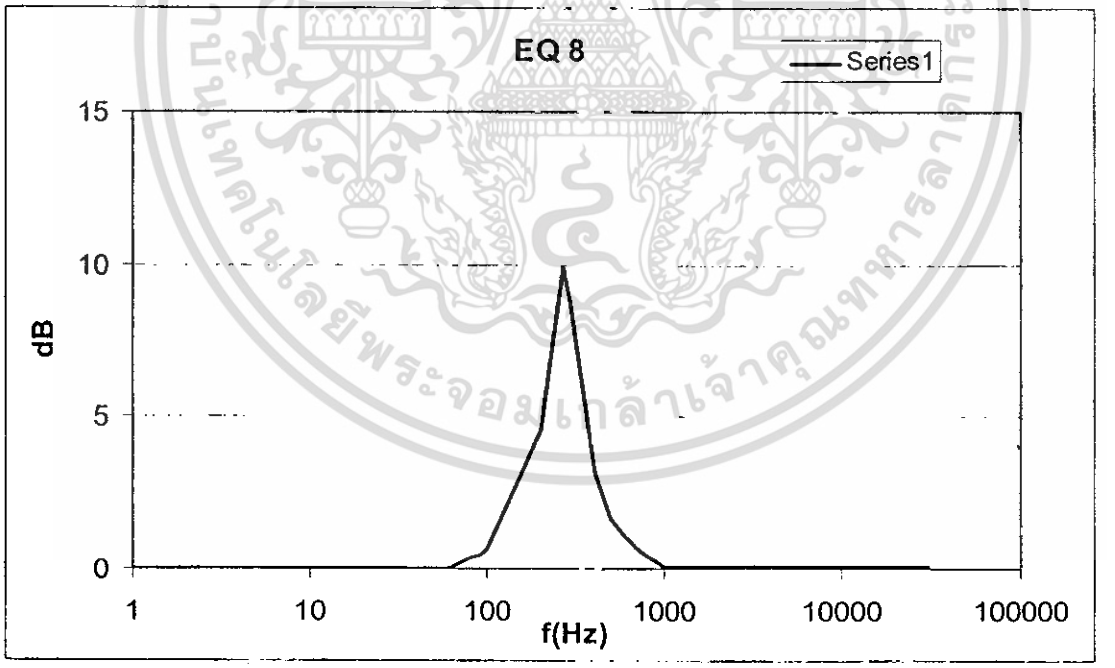



รูปที่ 7.17 แสดงกราฟของ EQ ตัวที่ 6 ที่ 150 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

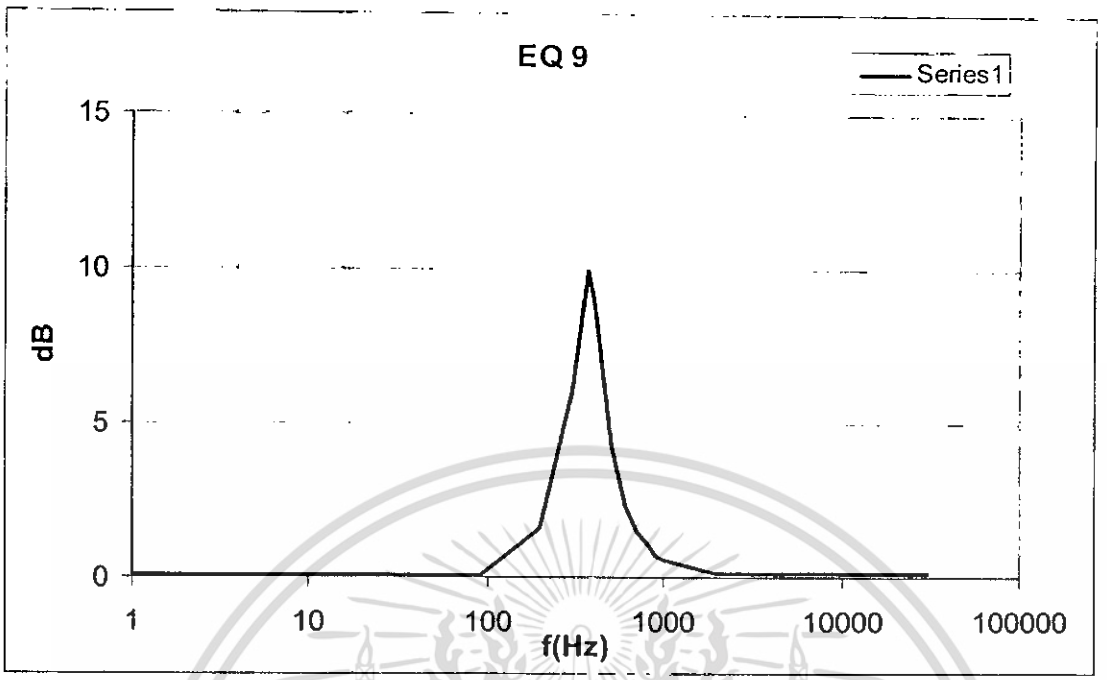



รูปที่ 7.18 แสดงกราฟของ EQ ตัวที่ 7 ที่ 200 Hz

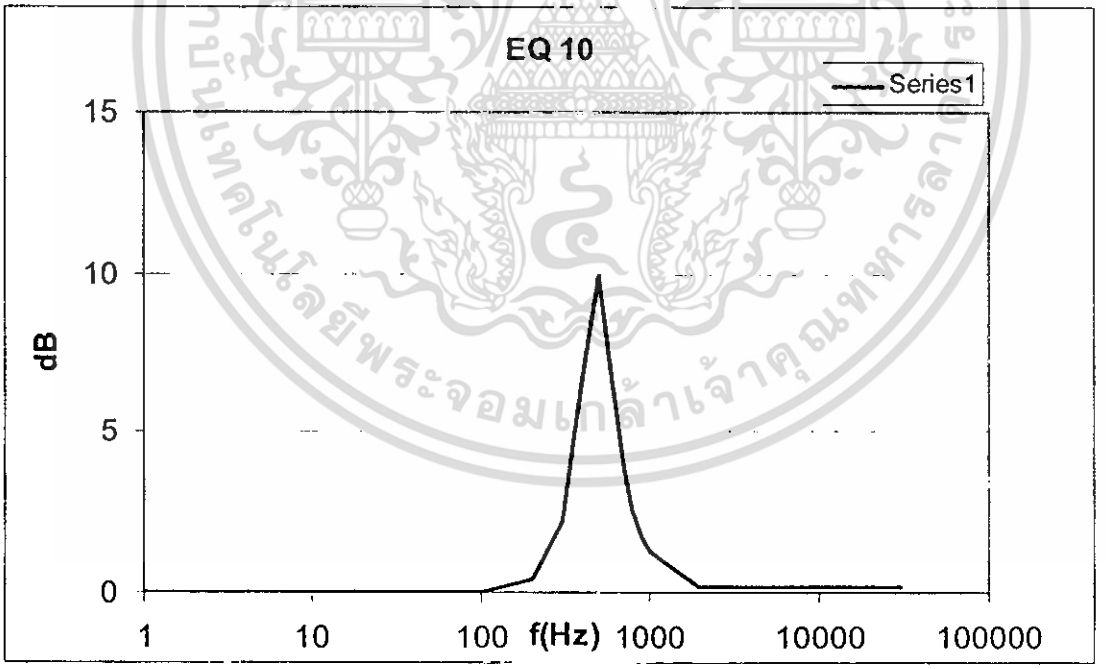



รูปที่ 7.19 แสดงกราฟของ EQ ตัวที่ 8 ที่ 270 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

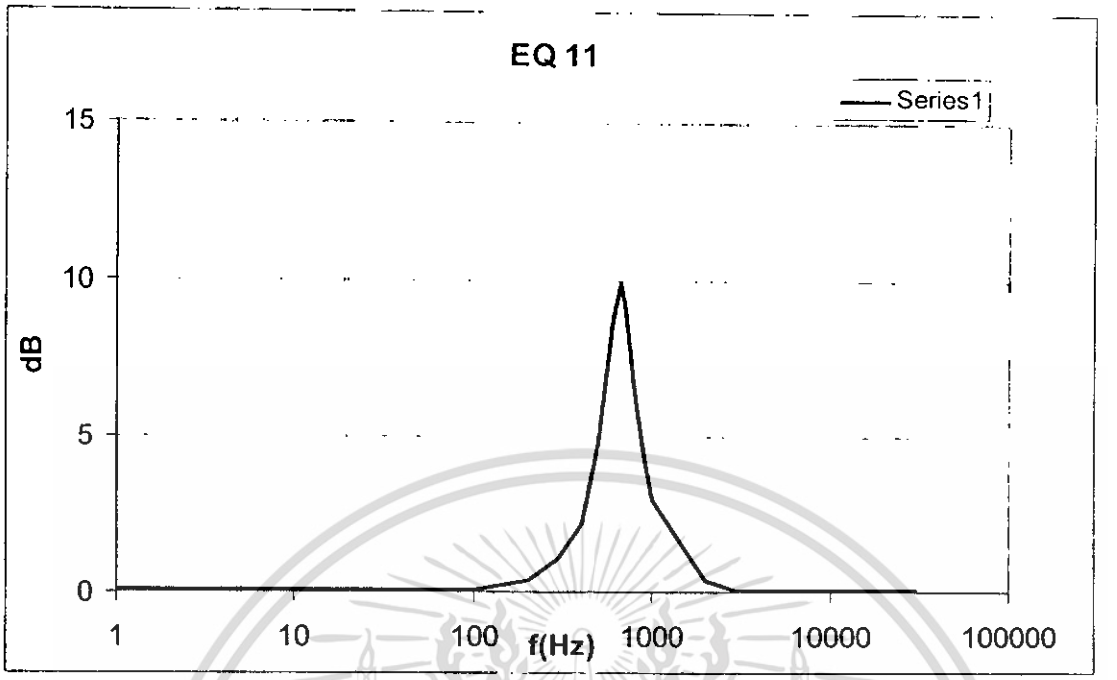



รูปที่ 7.20 แสดงกราฟของ EQ ตัวที่ 9 ที่ 370 Hz

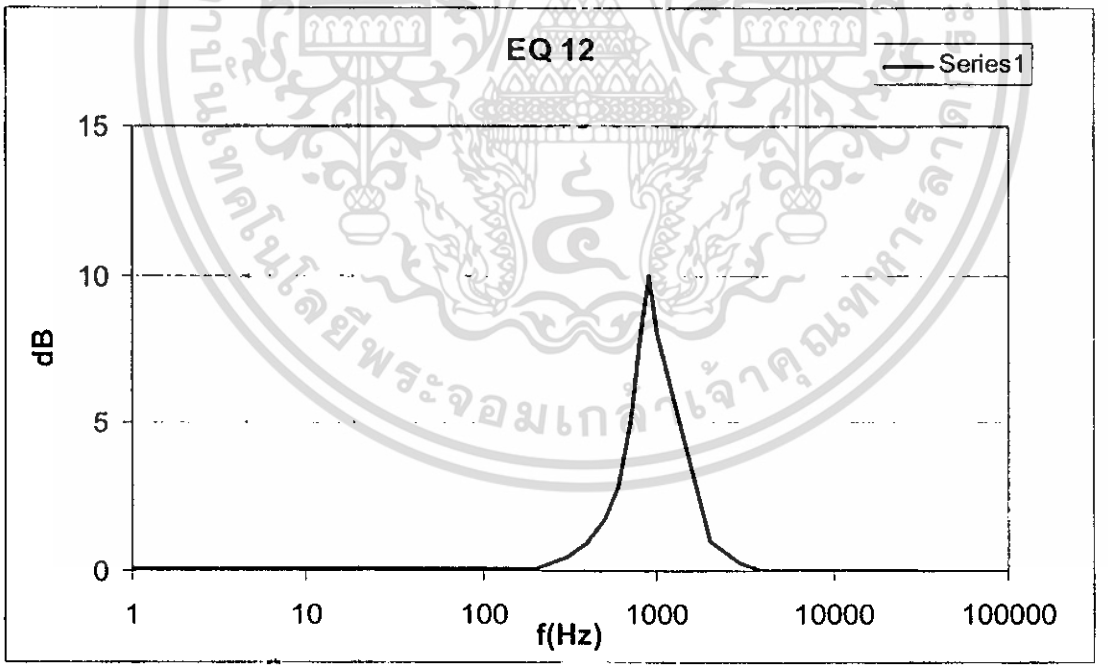



รูปที่ 7.21 แสดงกราฟของ EQ ตัวที่ 10 ที่ 500 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

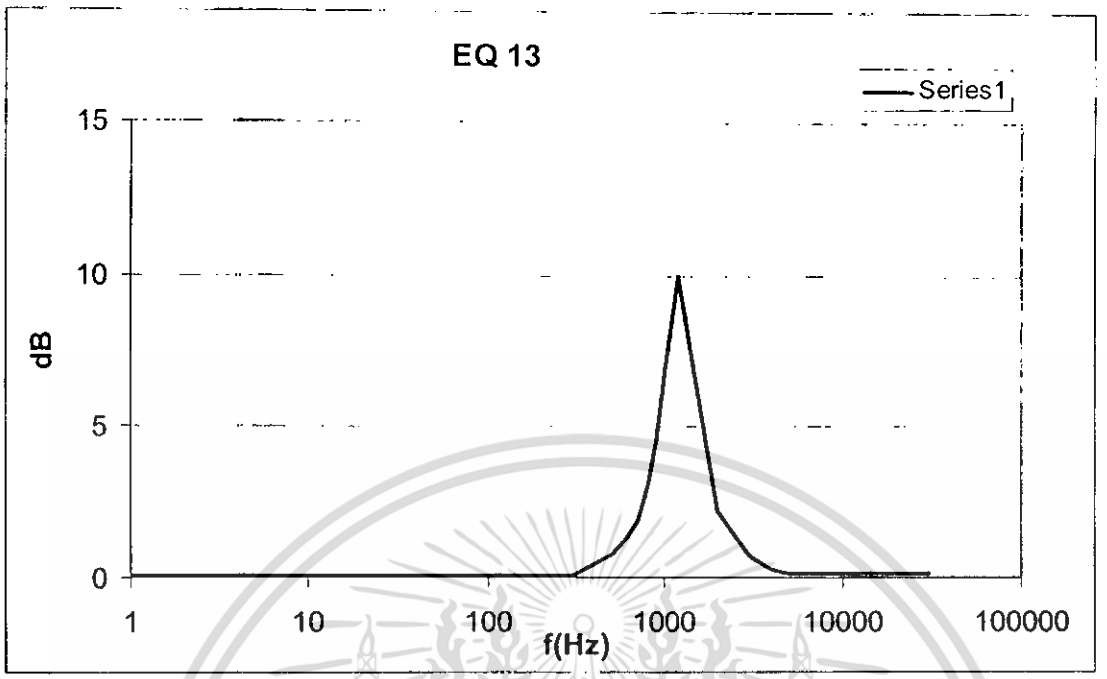



รูปที่ 7.22 แสดงกราฟของ EQ ตัวที่ 11 ที่ 660 Hz

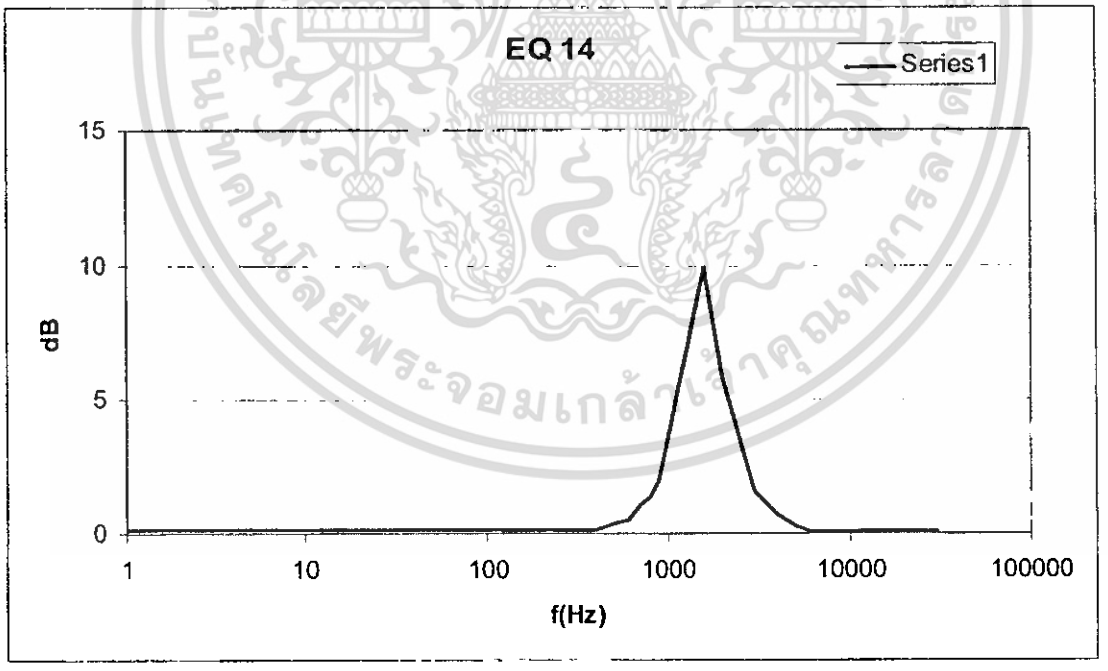



รูปที่ 7.23 แสดงกราฟของ EQ ตัวที่ 12 ที่ 900 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

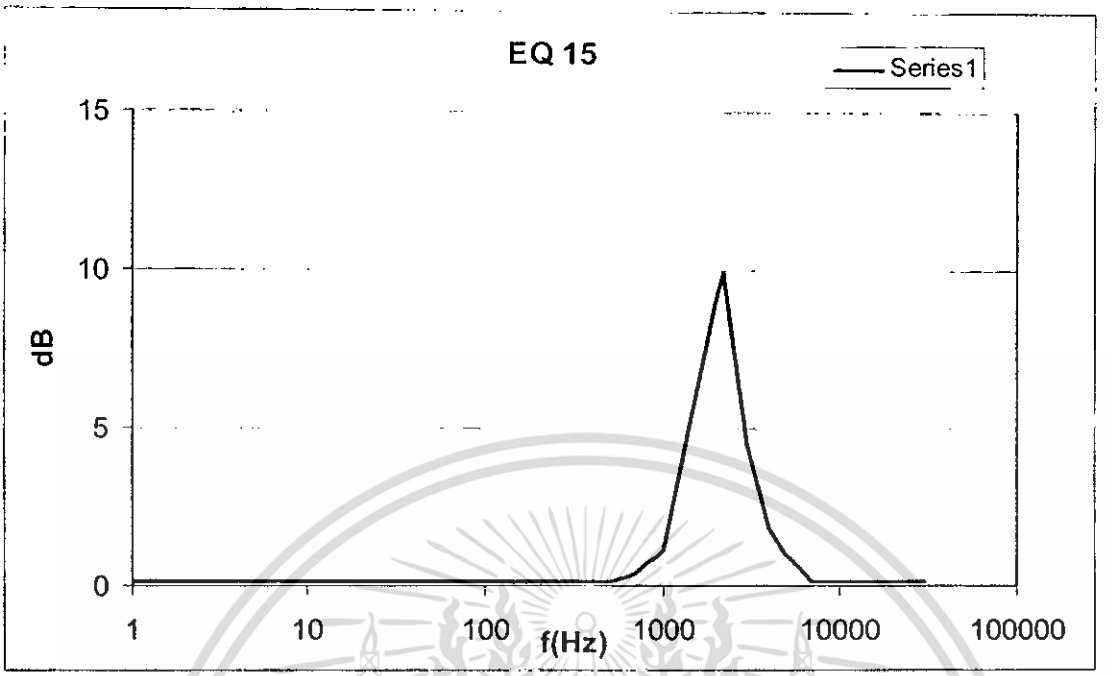



รูปที่ 7.24 แสดงกราฟของ EQ ตัวที่ 13 ที่ 1.2 KHz

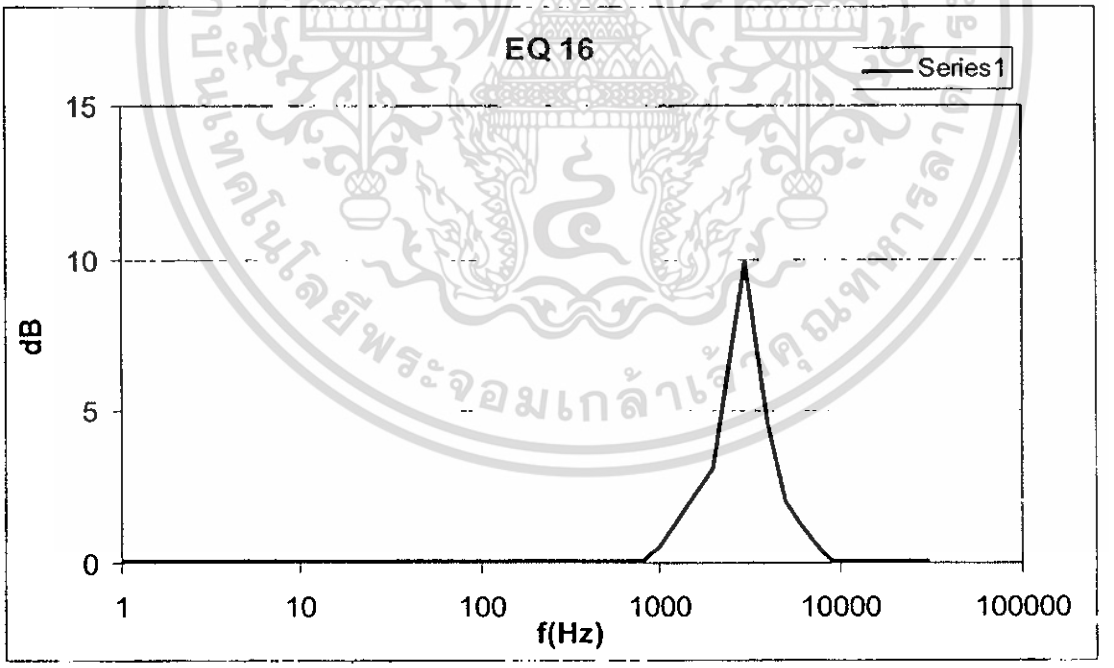



รูปที่ 7.25 แสดงกราฟของ EQ ตัวที่ 14 ที่ 1.6 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

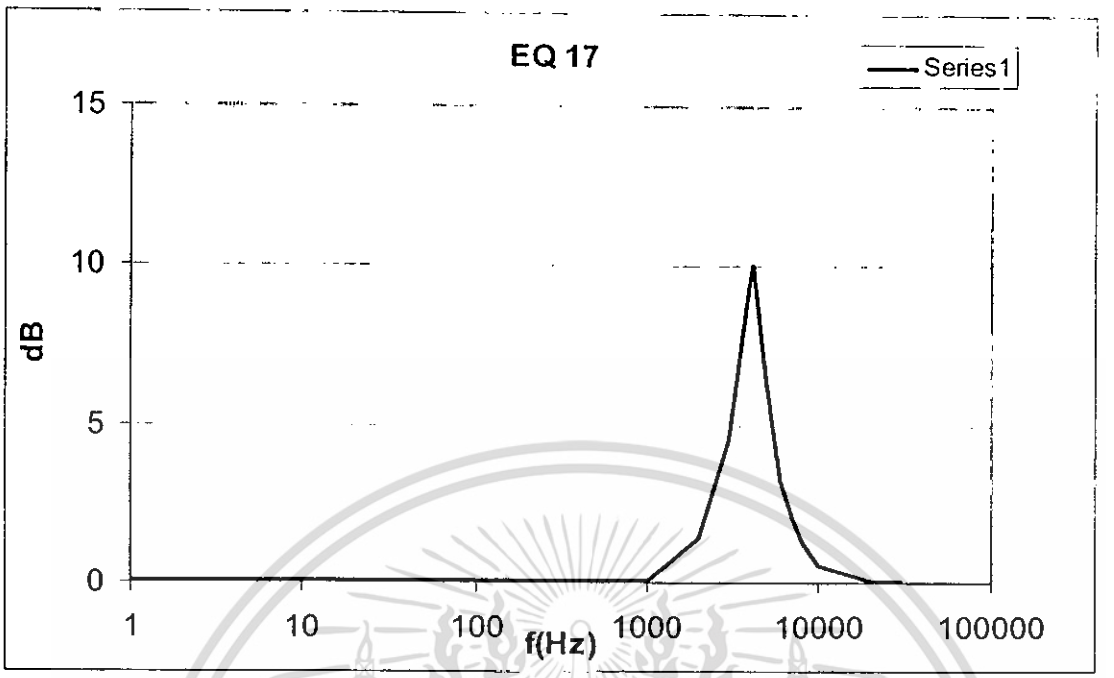



รูปที่ 7.26 แสดงกราฟของ EQ ตัวที่ 15 ที่ 2.2 KHz

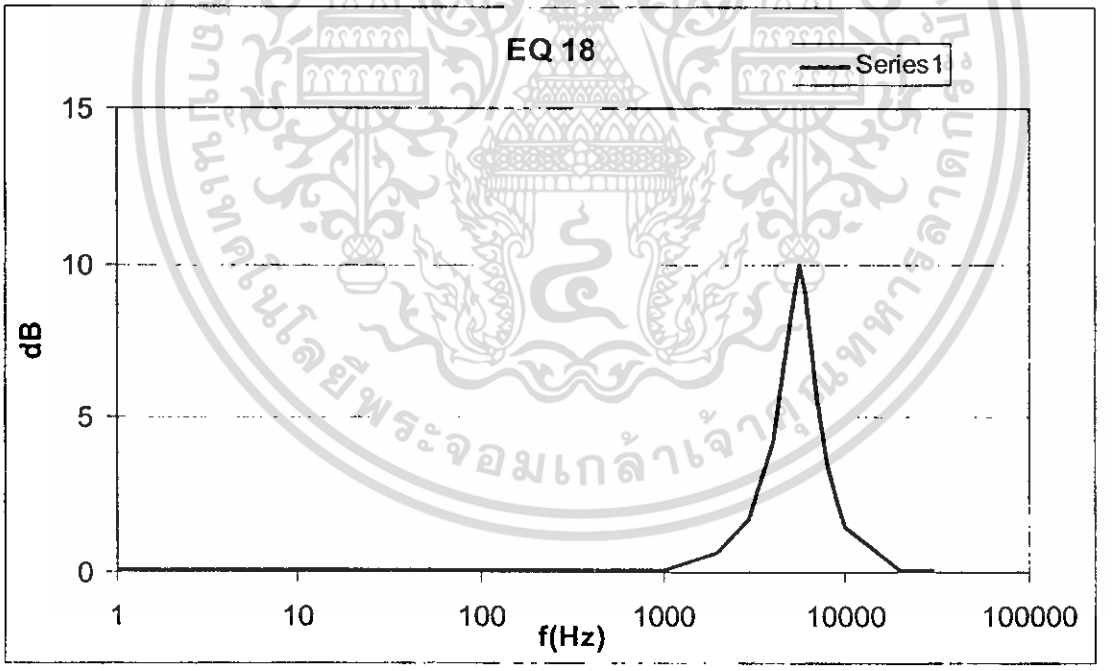



รูปที่ 7.27 แสดงกราฟของ EQ ตัวที่ 16 ที่ 3 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

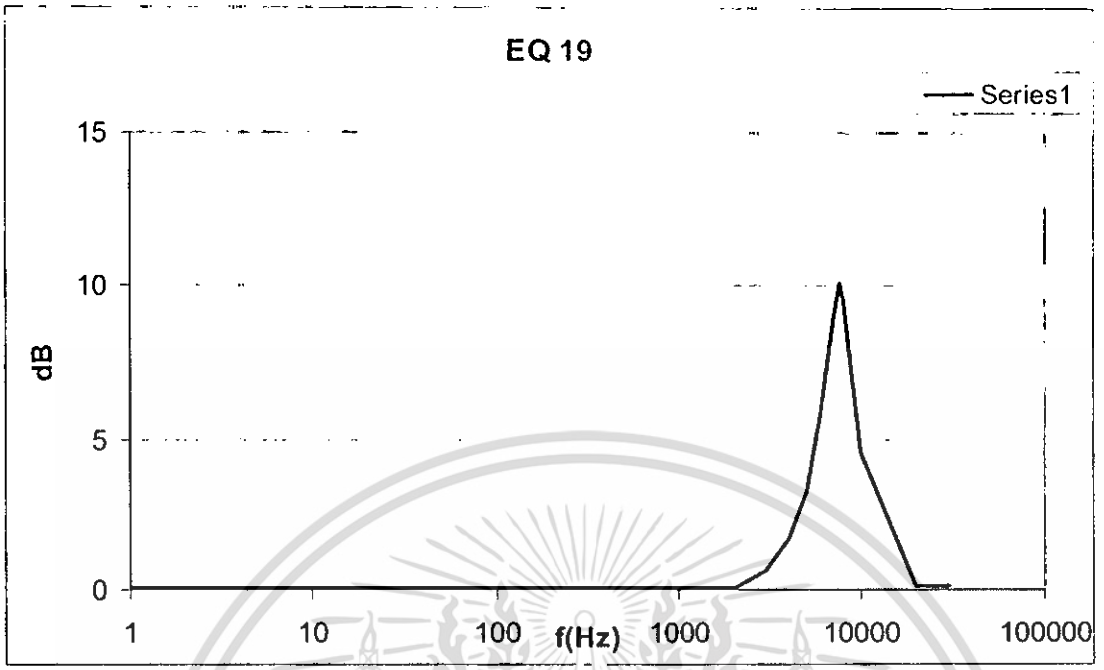



รูปที่ 7.28 แสดงกราฟของ EQ ตัวที่ 17 ที่ 4.1 KHz

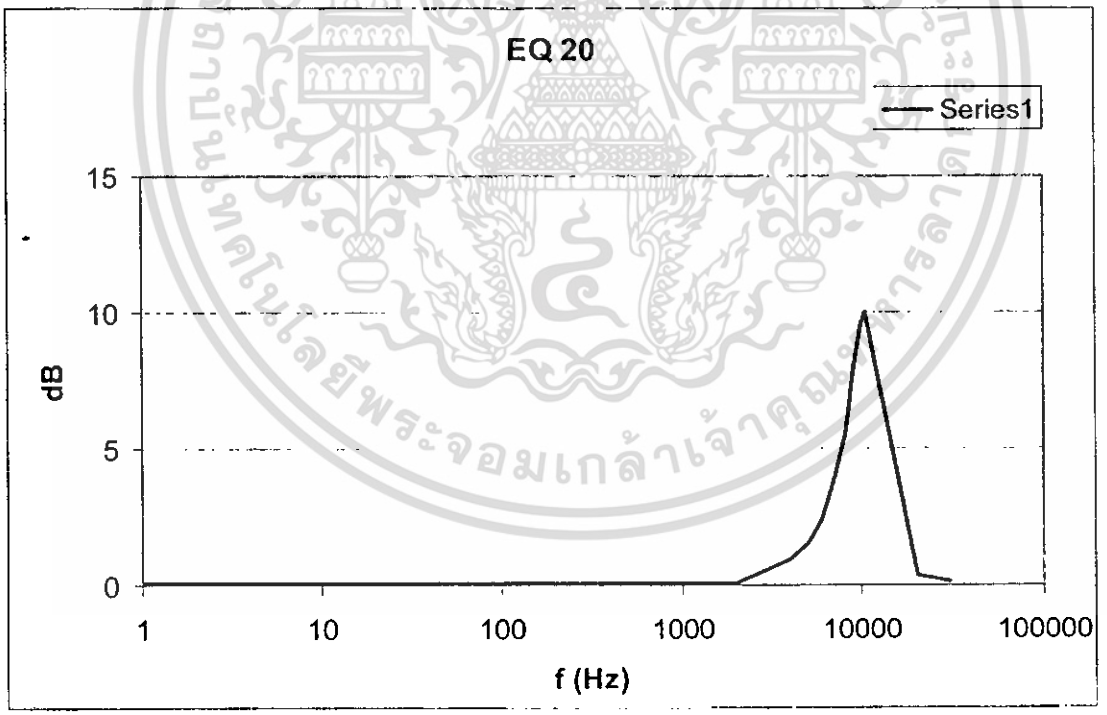



รูปที่ 7.29 แสดงกราฟของ EQ ตัวที่ 18 ที่ 5.6 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

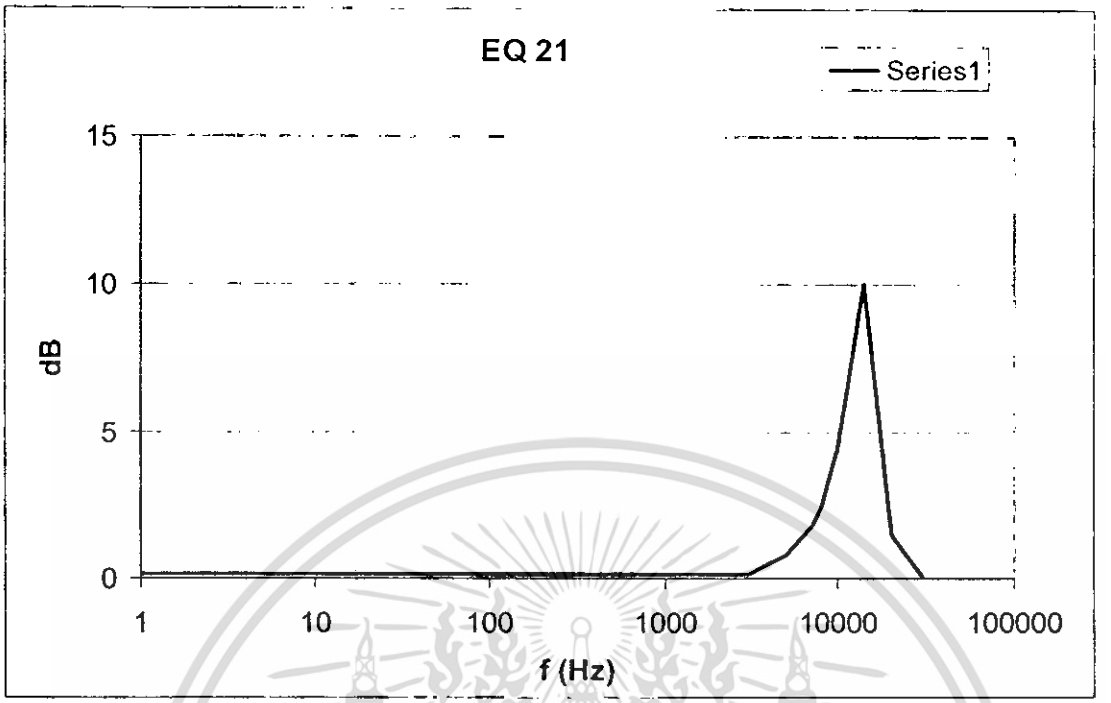



รูปที่ 7.30 แสดงกราฟของ EQ ตัวที่ 19 ที่ 7.6 KHz




รูปที่ 7.31 แสดงกราฟของ EQ ตัวที่ 20 ที่ 10.4 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 7.32 แสดงกราฟของ EQ ตัวที่ 21 ที่ 14 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผล

ในโครงงานเทอมที่แล้วได้ทำ Equalizer 7 Bands โดยใช้ IC TAS3004 1 ตัว ซึ่งควบคลุมความถี่ตั้งแต่ 30Hz – 16 KHz ในเทอมนี้ได้ปรับปรุงได้เพิ่มเป็น 21 Bands โดยยังควบคลุมความถี่เท่าเดิมคือ 30Hz – 16 KHz จะเห็นได้ว่าจะสามารถปรับเสียงได้ระเอียดกว่าเดิม แต่ใช้ IC TAS3004 เพิ่มจากเดิมอีก 2 ตัวเพิ่มนำมาต่อกัน ซึ่ง IC TAS3004 ตัวนี้ 1 ตัวจะสามารถปรับได้แค่ 7 ตัว ดังนั้นในโครงงานนี้จะใช้ 3 ตัวเพื่อให้ปรับได้ 21 ย่านความถี่ โดยการนำ แต่ละวงจรมาต่อ อนุกรมกัน แล้วเขียนโปรแกรมควบคุม เพื่อให้ได้ ย่านความ ถี่ที่ต้องการโดย การคำนวณข้างต้นที่ได้กล่าวมา ซึ่งจะมีการต่อใช้งานกัน 2 แบบคือ การใช้งานของไอซีแต่ละตัวที่แยกเป็น อิสระต่อกัน ซึ่งการต่อวิธีนี้ จะทำให้เปลือง คริสตอลซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดความถี่ให้กับไอซีแต่ละตัว แต่จะมีการต่อแบบ Slave – Master ซึ่งวิธีนี้จะใช้เหล่งกำเนิดความถี่เพียงชุดเดียวและยังมีการติดต่อแบบ Serial Data การต่อแบบนี้มีข้อดีคือ ทำให้สัญญาณรบกวน ต่อสัญญาณเสียงมีน้อยซึ่งได้ กล่าววิธีการต่อไว้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

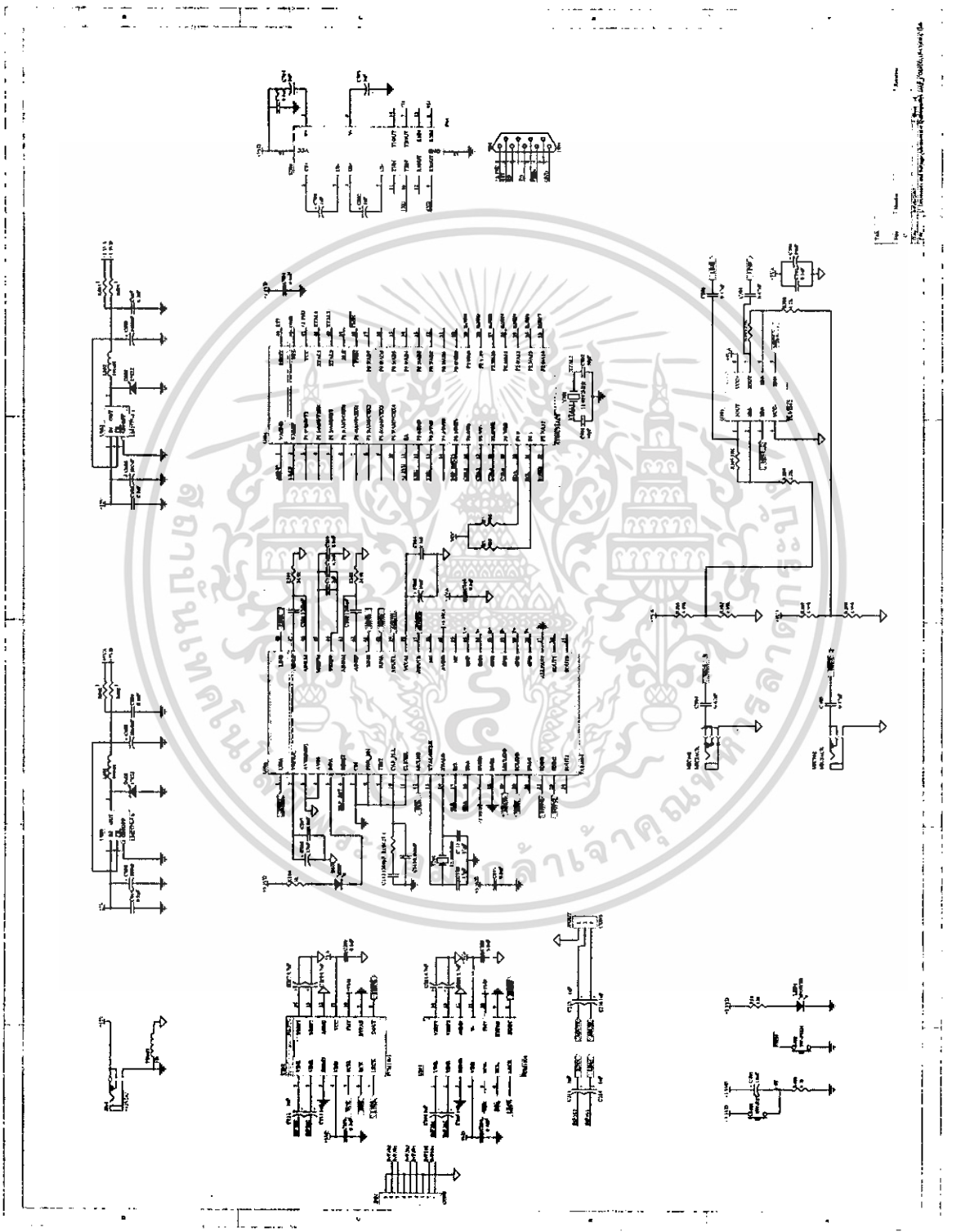
# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

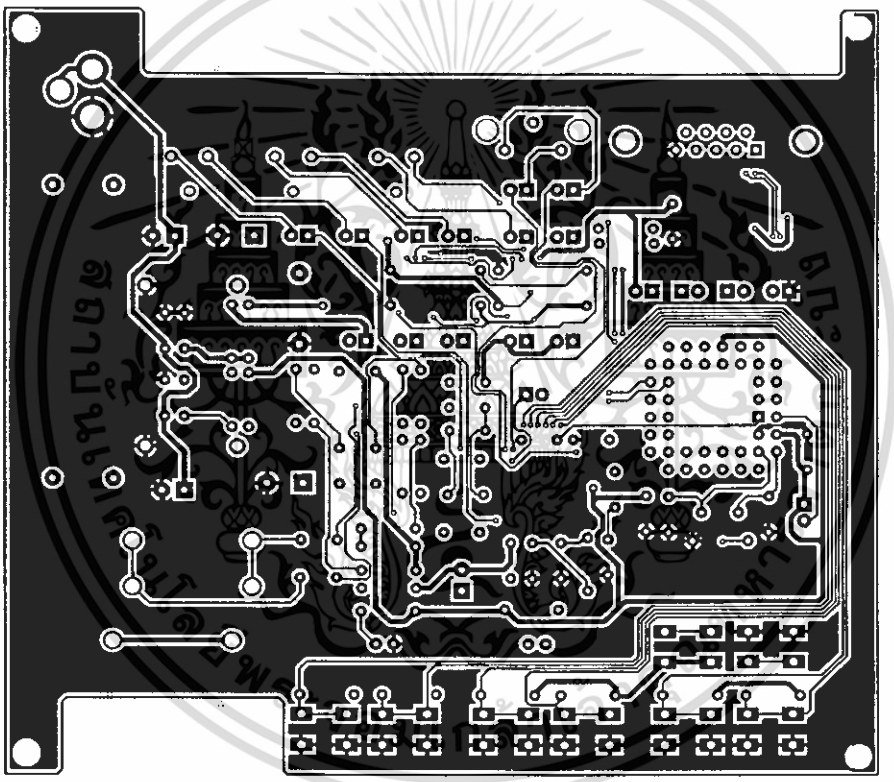
# PCB V3.0

1. Schematic
2. Top Layer
3. Buttom layer
4. Top Overlay

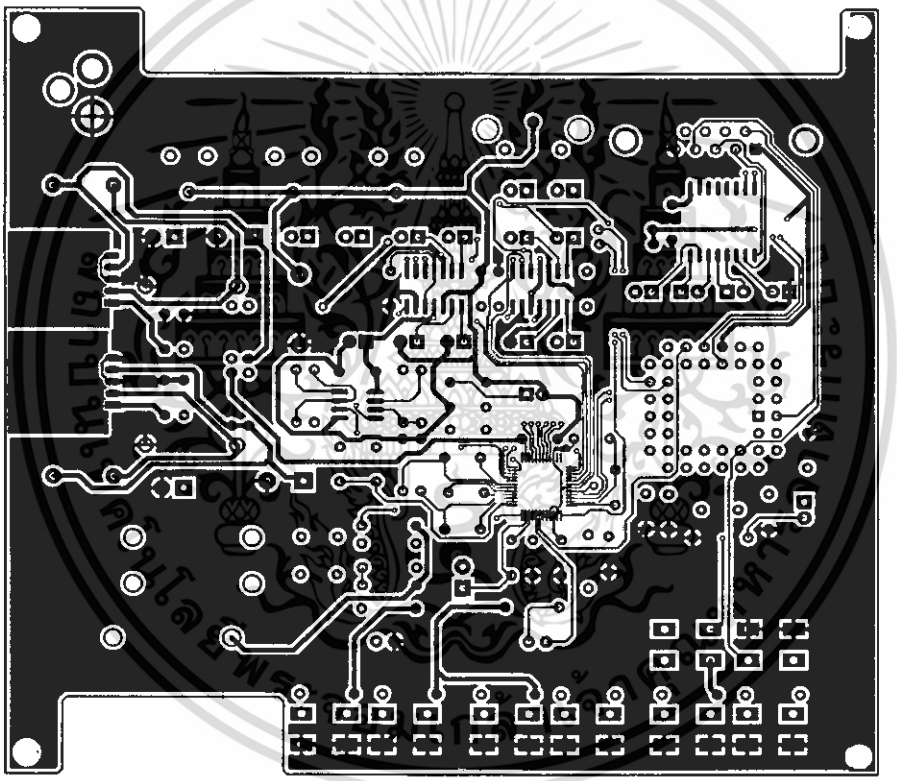
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



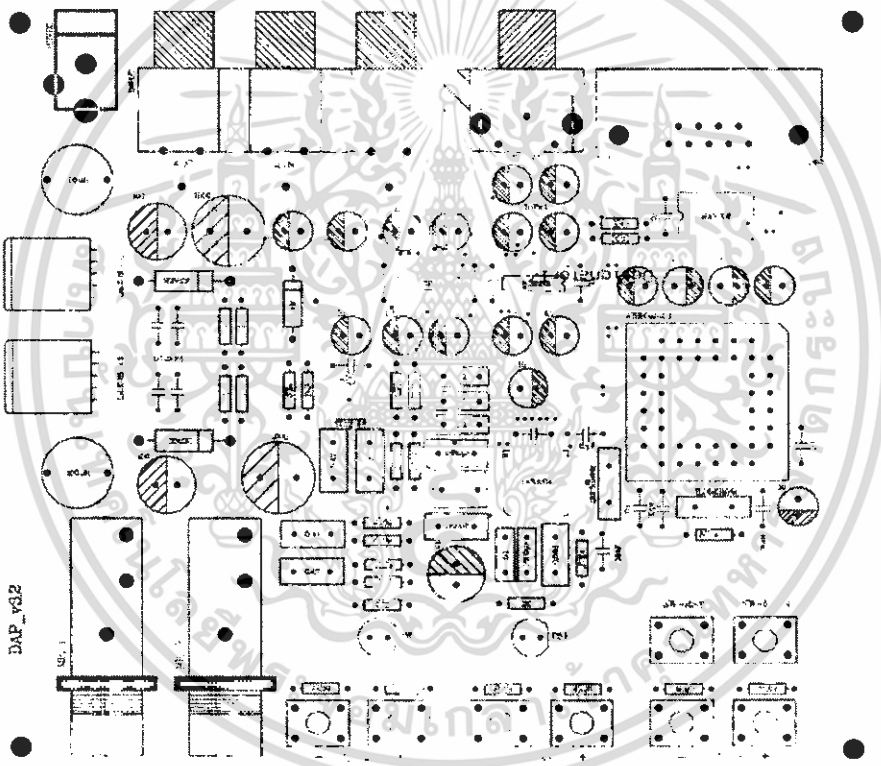
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# PCB V4.0

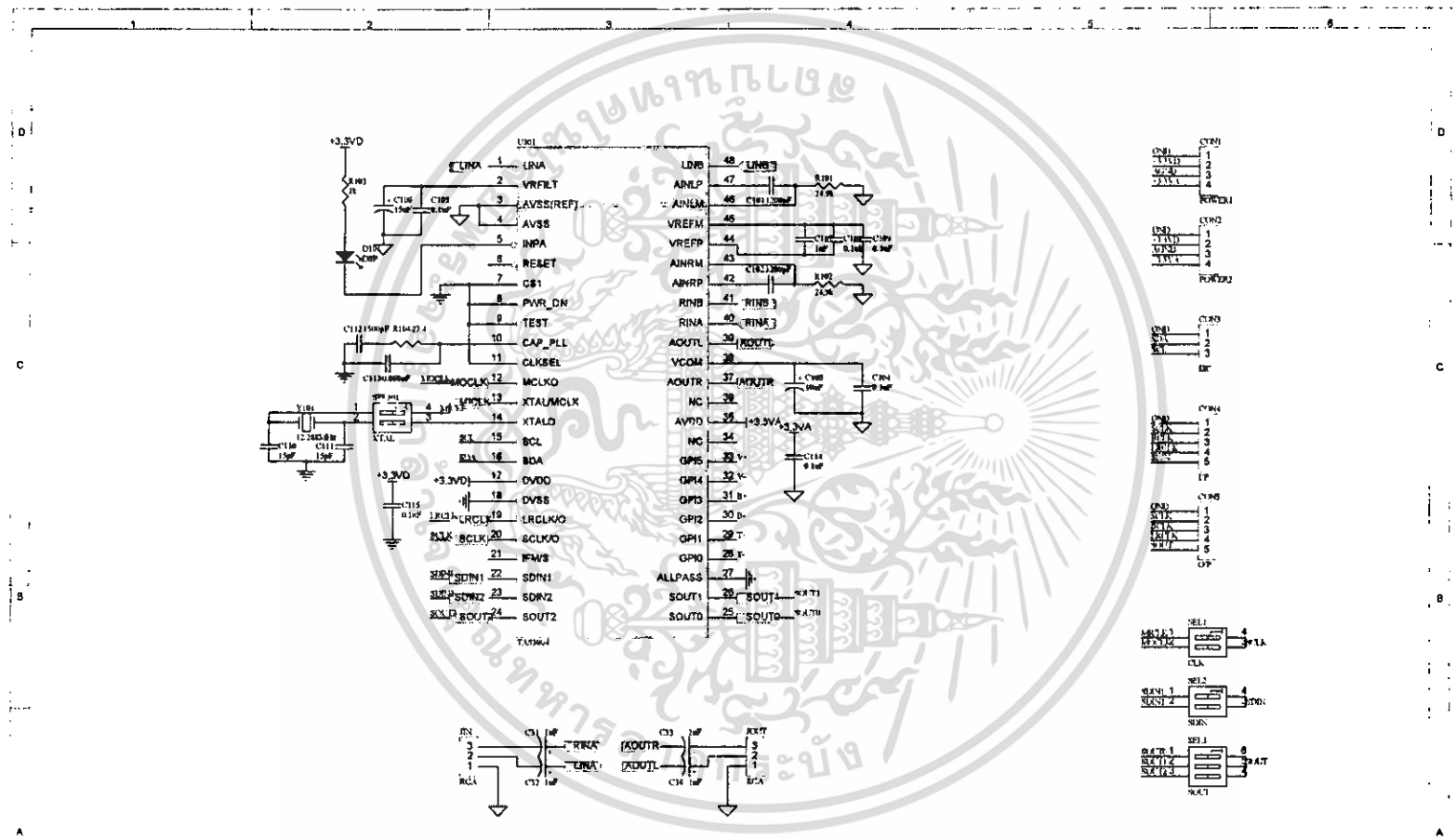
1. Schematic

2.Top Layer

3.Buttom layer

4.Top Overlay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



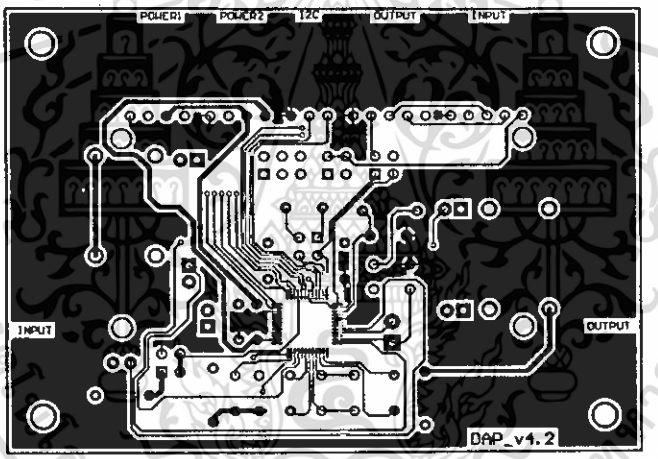

Title

| Size | Number | Revision |
|---|---|---|
| B | | |

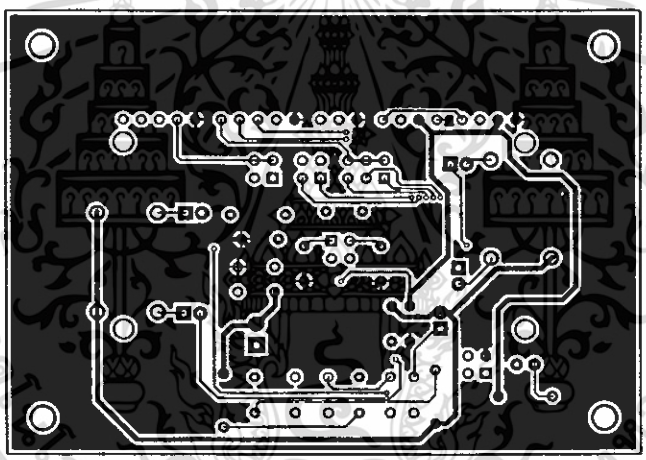
Date: 9-Feb-2007 Sheet of

File: C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\work\DAP_CODE\DAP-CODEC.Ddb

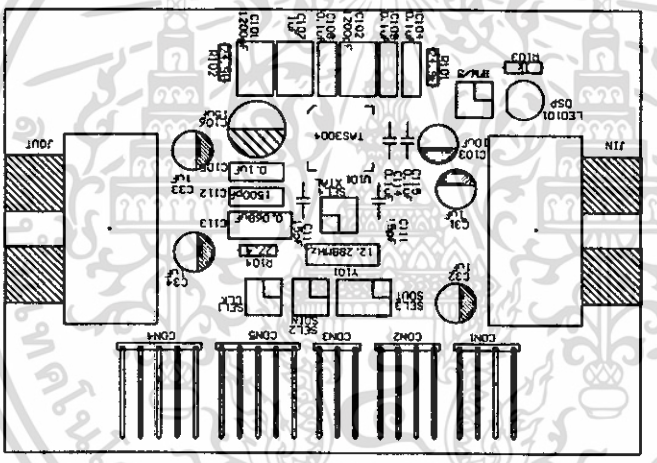
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 21 BandEqulizer

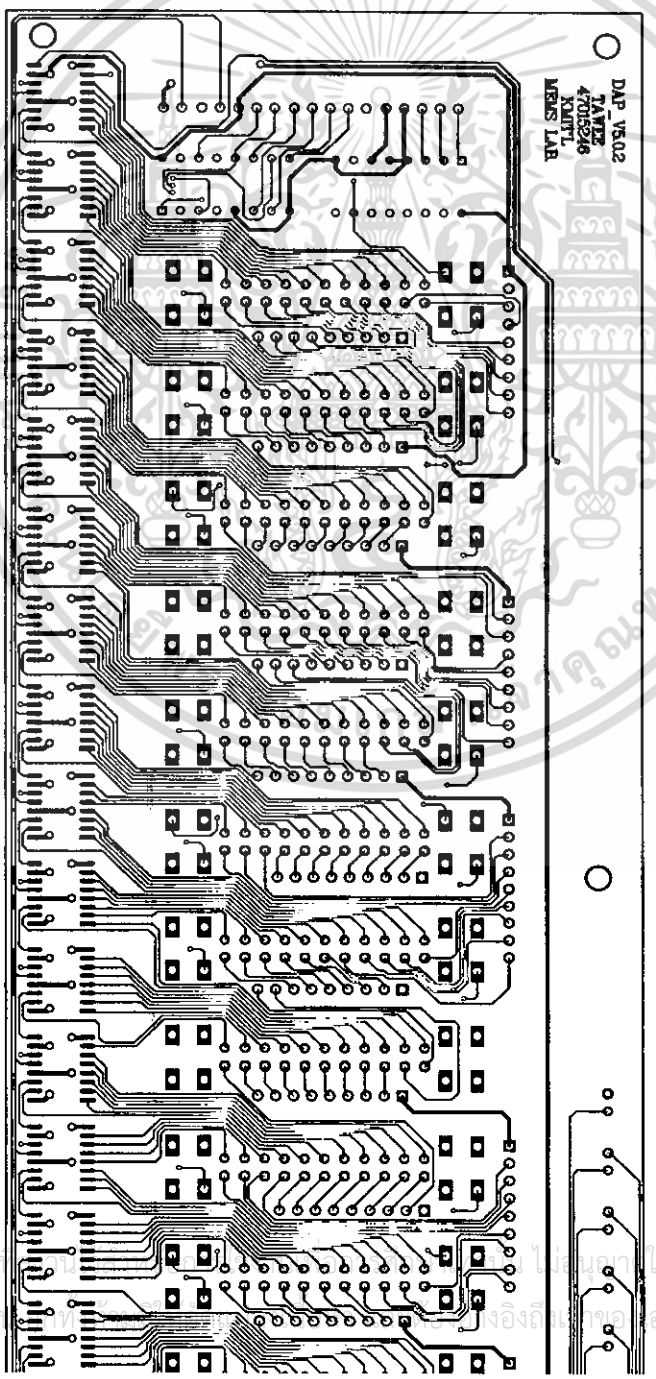
1. Schematic

2.Top Layer

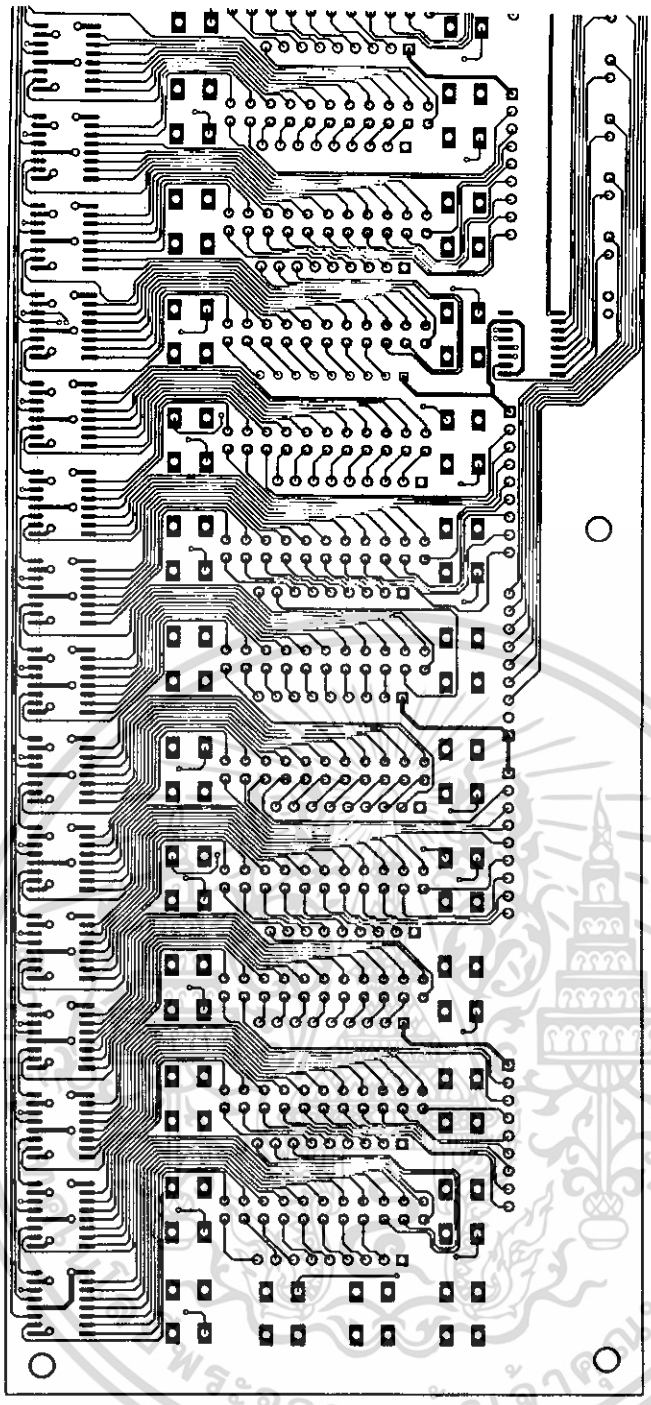
3.Buttom layer

4.Top Overlay

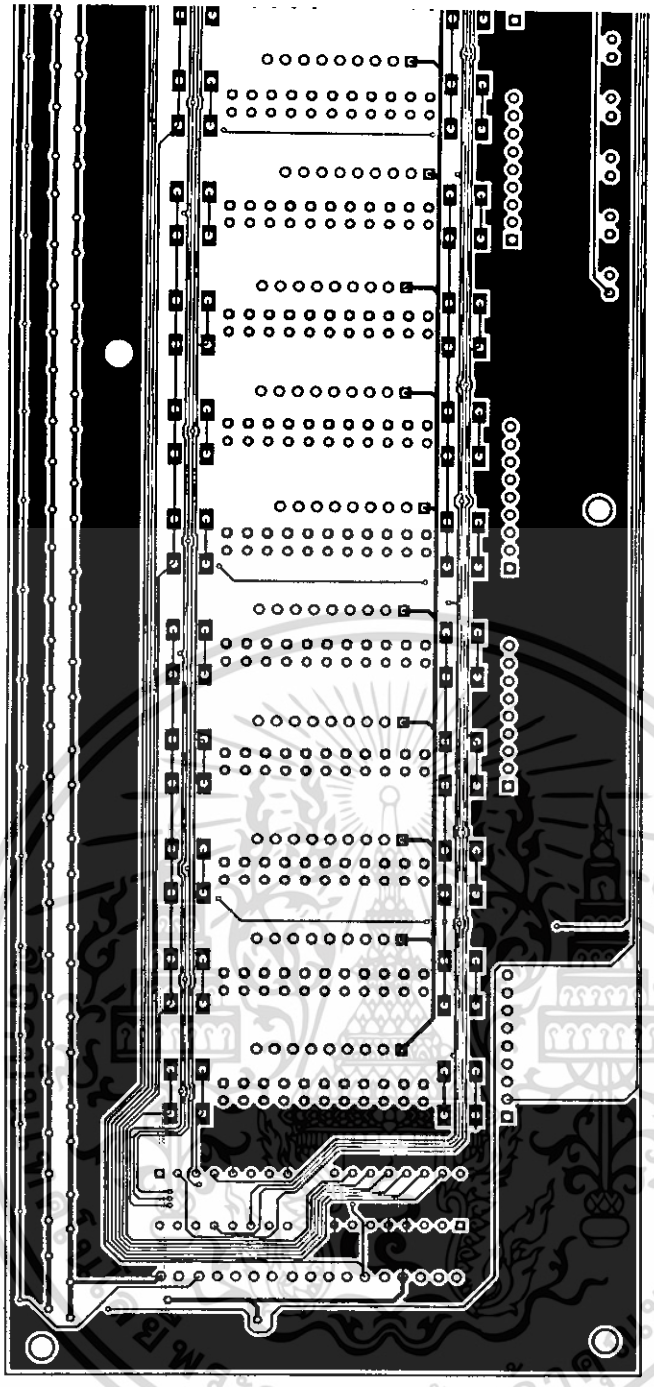
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



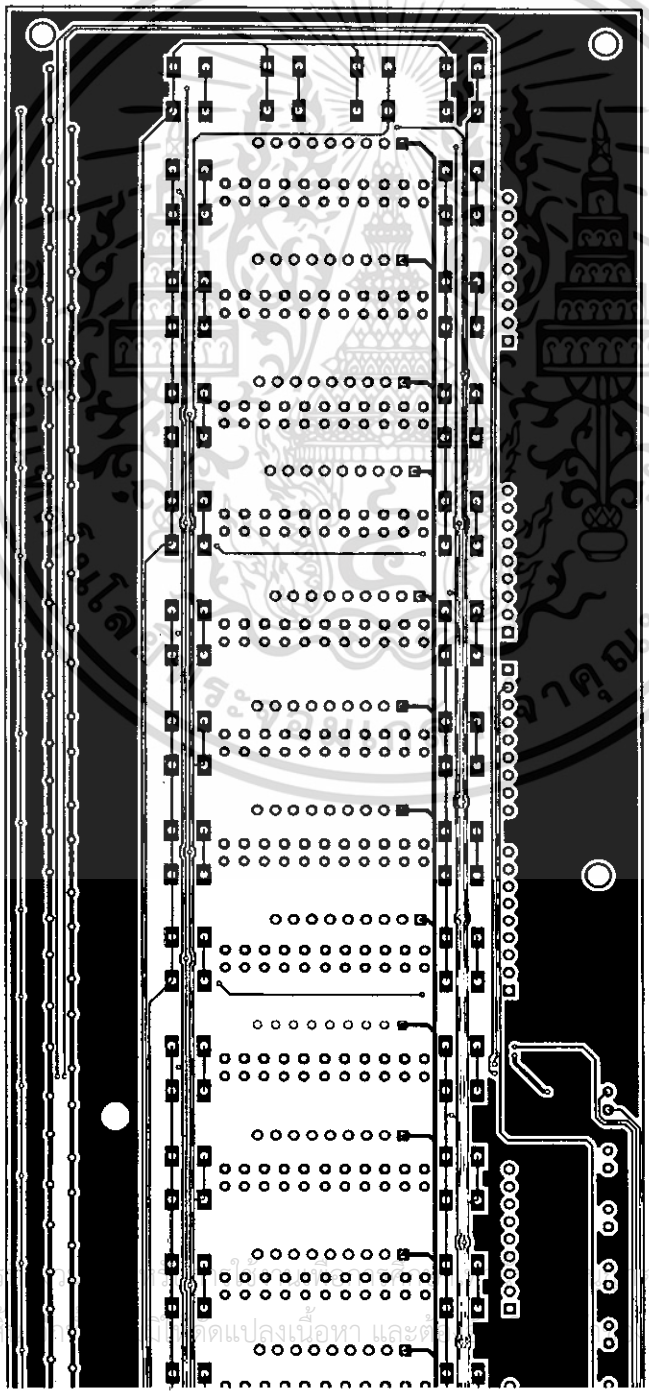

เอกสารนี้เป็นเอกสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



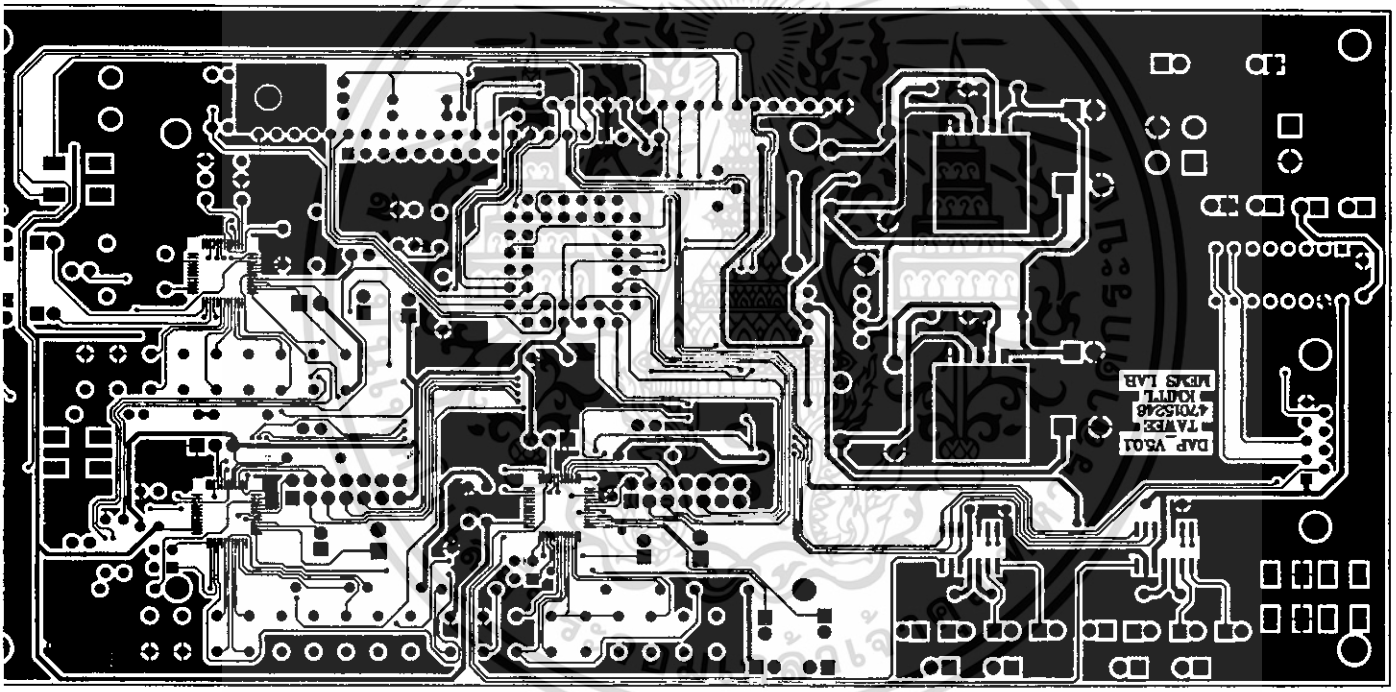
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



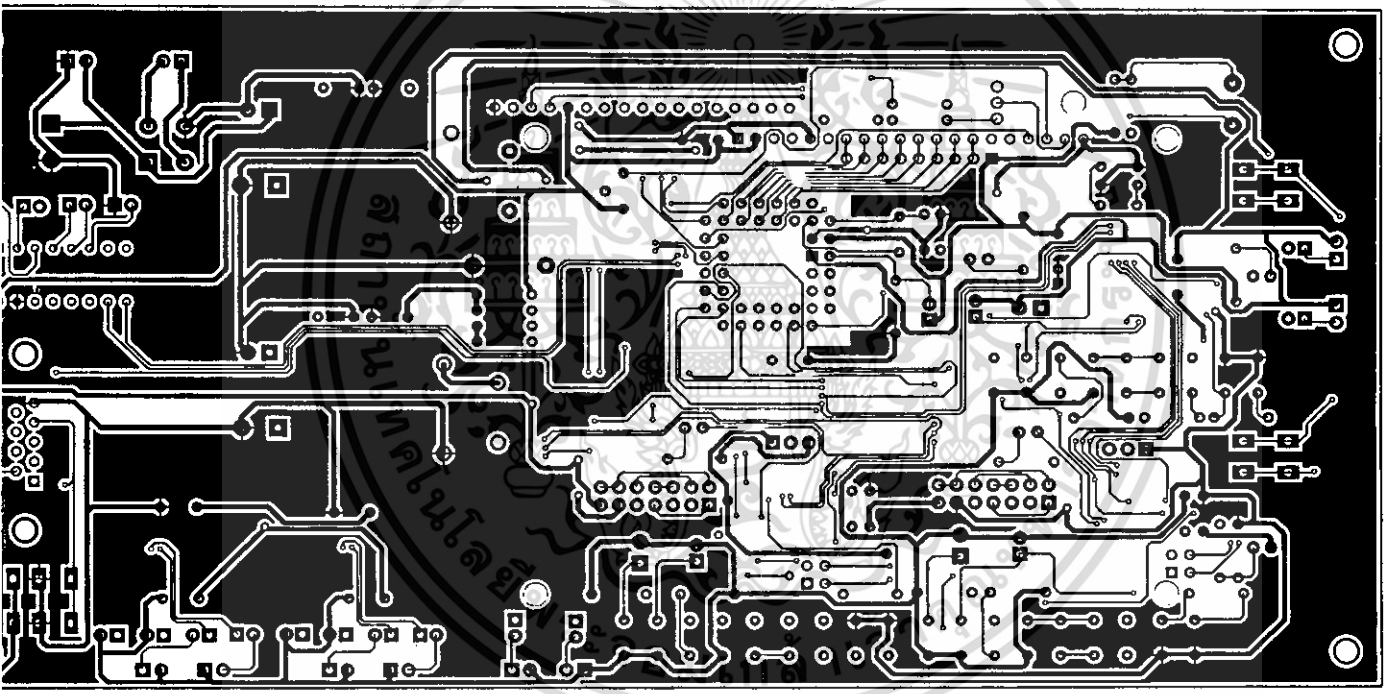
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

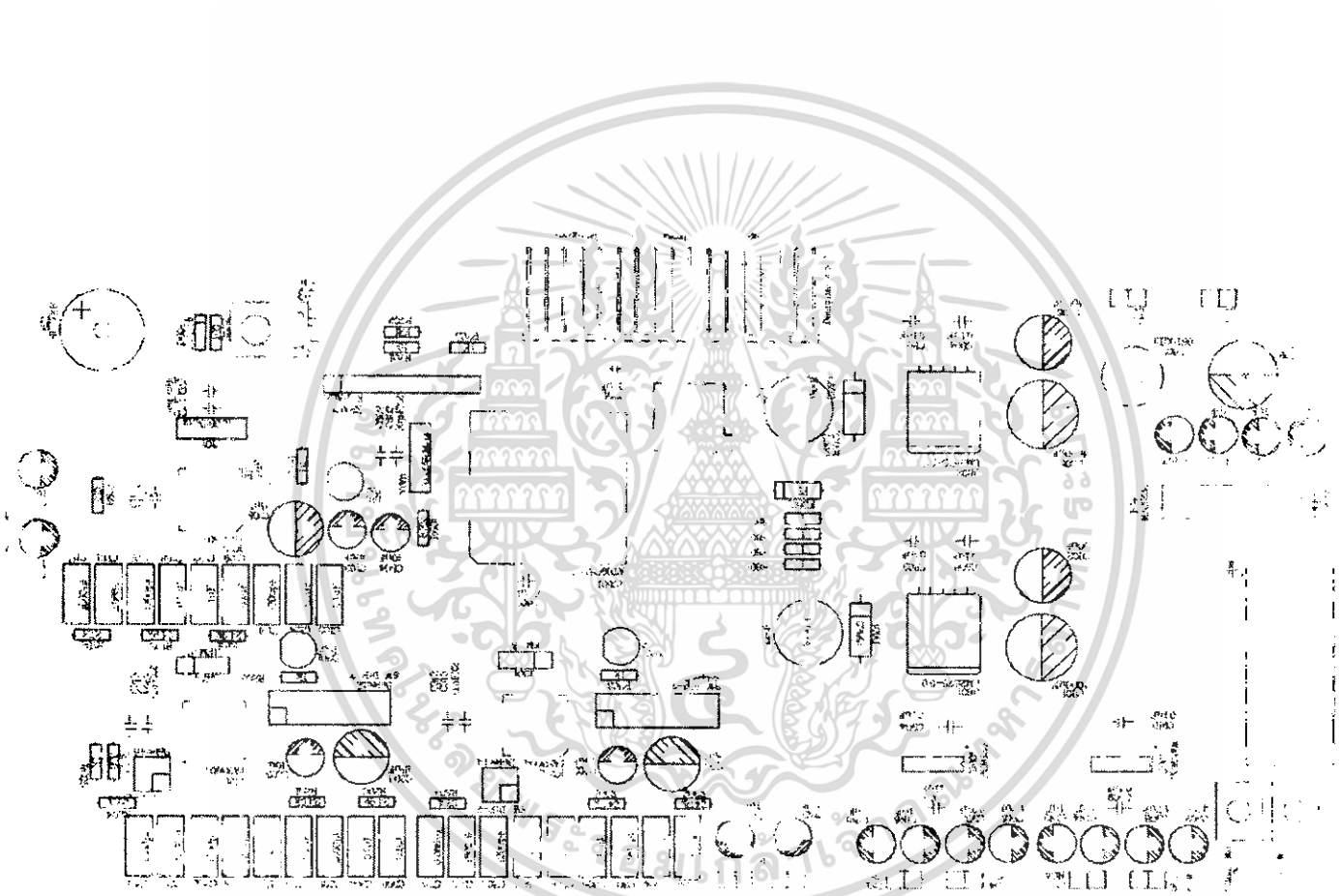
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้