สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ดิจิตอลอีควอไลเซอร์โดยไอไออาร์ฟิลเตอร์

DIGITAL EQUALIZERS BY IIR FILTER

โดย

นางสาวชัญญา อร่ามรัตนกุล

นายเดชชาติ มาตุอำพันวงศ์

ลน.
ว536 ช
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....72237.....
วัน,เดือน,ปี.....12 มิ.ย. 2550

.b.....11760758.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIGITAL EQUALIZERS BY IIR FILTER

By

Ms. CHANYA ARAMRATTANAKUL

Mr. DETCHAT MATUAMPUNWONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ดิจิตอลอีควอไลเซอร์โดยไอไออาร์ฟิวเตอร์			
ชื่อนักศึกษา	นางสาวชัญญา	อร่ามรัตนกุล	รหัสประจำตัว	46012158
	นายเดชชาติ	มาตุอำพันวงศ์	รหัสประจำตัว	46012167
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดลชัย	สุขเจริญผล		
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต			
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ			
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ			
ปีการศึกษา	2549			

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับความเห็นชอบจากอาจารย์ที่ปรึกษาเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

.....

(ผศ. ดลชัย สุขเจริญผล)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ดิจิตอลอีควอไลเซอร์โดยไอไออาร์ฟิวเตอร์			
ชื่อนักศึกษา	นางสาวชัญญา	อร่ามรัตนกุล	รหัสประจำตัว	46012158
	นายเดชชาติ	มาตุอำพันวงศ์	รหัสประจำตัว	46012167
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดลชัย	สุขเจริญผล		
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ			
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ			
ปีการศึกษา	2549			

บทคัดย่อ

โครงงานฉบับนี้เป็นการออกแบบโปรแกรมดิจิตอลกราฟฟิคอิควอไลเซอร์ให้ใช้งานได้บนคอมพิวเตอร์ทั่วไป โดยใช้วงจรกรองสัญญาณแบบป้อนกลับไอไออาร์ (Recursive filter) สำหรับความถี่ออดิโอในช่วง 20 Hz – 20 kHz ด้วยการแบ่งความถี่ออดิโอออกเป็นแบนด์ย่อย 10 แบนด์ เพื่อรองรับการใช้งานในระบบดิจิตอลสเตริโอซึ่งในแต่ละแบนด์ย่อยสามารถปรับเกนได้ ±24 dB อย่างอิสระโดยใช้โปรแกรมแมกซ์/เอ็มเอสพี ในการออกแบบและพัฒนาบนคอมพิวเตอร์ทั่วไป ตามหลักการและองค์ประกอบทางความรู้ด้านดิจิตอล อันได้แก่ การประมวลผลสัญญาณเชิงเลขหรือ DSP (Digital Signal Processing) , ตัวกรองแบบเชิงเลข (Digital Filter) และวงจรกรองสัญญาณดิจิตอลแบบไอไออาร์ (IIR) ในส่วนของโครงสร้างวงจรกรองความถี่เลือกใช้วงจรกรองความถี่อันดับ 2 แบบไบควอด (Biquad) ที่มีข้อดีคือมีความซับซ้อนของวงจรน้อย ในการนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์การทำงานของกระบวนการและหลักการทางดิจิตอลออดิโอ ซึ่งสามารถนำมาพัฒนาเป็นดิจิตอลอิควอไลเซอร์ ในด้านการประยุกต์ใช้งานสำหรับผู้ใช้ (User) ได้ออกแบบหน้าต่างเฉพาะให้ผู้ใช้ (GUI) ได้ใช้งานได้สะดวกและง่ายขึ้น เพื่อใช้ในการปรับแต่งและชดเชยระบบเสียงดิจิตอลต่างๆได้ รวมทั้งเพื่อเพิ่มสุนทรียภาพในการฟัง เพื่อใช้งานต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Digital Equalizers by IIR Filter	
Student	Ms. Chanya Aramrattanakul	Student ID. 46012158
	Mr. Detchat Matuampunwong	Student ID. 46012167
Advisor	Asst. Prof. Dolchai Sukchareonphol	
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering	
Department	Information Engineering	
Academic Year	2006	

ABSTRACT

This project involves the design on digital audio graphic equalizer program which can be applied on personal computers for sound engineering. The audio frequency range from 20 Hz – 20 kHz is dividing to 10 subbands, each band can be control Gain, Cut-off Frequency and Quality factor (Q) as independently by using an IIR digital filter (biquad). We implemented and development our signal process by using Max/Msp Program. It has an advantage for user applications and included graphic user interface (GUI). In this project a designed GUI for user applications a user can independently change filter parameters in each subbands. We can produce various kinds of digital sound systems and also increasing the auditory aesthetics.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจสำเร็จไปได้ด้วยดี หากไม่ได้รับการช่วยเหลือและร่วมมือจากหลายฝ่ายด้วยกัน บุคคลที่ต้องกล่าวถึงเพราะมีความสำคัญที่ทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดลชัย สุขเจริญผล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ ให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ ตรวจแก้ไข และคอยให้ความช่วยเหลือตลอดเวลาทั้งหมดที่ทำปริญญานิพนธ์นี้ รวมทั้งพ่อแม่ที่เป็นกำลังใจ และแรงบันดาลใจให้ตลอดมา จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี่เป็นอย่างยิ่ง

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา	1
1.2 จุดประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 อุปกรณ์ที่ต้องใช้	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน	3
2.1 ระบบอีควอไลเซอร์	3
2.2 ชนิดของอีควอไลเซอร์	3
2.2.1 กราฟฟิคอีควอไลเซอร์ (Graphic Equalizer)	4
2.2.2 พาราเมตริกอีควอไลเซอร์ (Parametric Equalizer)	4
2.2.3 พารากราฟิคอีควอไลเซอร์ (Paragraphic Equalizer)	4
2.2.4 ดิจิตอลอีควอไลเซอร์ (Digital Equalizer)	4
2.3 การประมวลผลสัญญาณดิจิตอล (Digital Signal Processing)	5
2.3.1 สัญญาณต่อเนื่อง กับสัญญาณไม่ต่อเนื่อง	5
2.3.2 สัญญาณดิจิตอล (Digital signal)	5
2.3.3 ระบบและคุณสมบัติของระบบ	5
2.3.3.1 ความเป็นเชิงเส้นและไม่แปรตามเวลา (Linearity and Time Invariance)	6
2.3.3.2 ความเป็นเหตุกภาพ (Causality)	7
2.3.4 ทฤษฎีการสุ่มสัญญาณ (Sampling Theorem)	7
2.3.5 สมการผลต่าง (Difference Equation)	11
2.3.6 การแปลงแซด (Z-transform)	12
2.4 วงจรกรองความถี่เชิงเลข (Digital Filter)	13
2.5 รูปแบบพื้นฐานของวงจรกรองความถี่ (Type of Filter)	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.6 การออกแบบวงจรกรองสัญญาณดิจิตอลชนิดไอไออาร์	15
2.6.1 โครงสร้างโดยตรงแบบที่ 1 (Direct From I)	16
2.6.2 โครงสร้างโดยตรงแบบที่ 2 (Direct From II)	17
2.6.3 โครงสร้างแบบต่ออนุกรมและโครงสร้างแบบต่อขนาน	19
2.6.4 การออกแบบตัวกรองไอไออาร์โดยวิธีการแปลงเชิงเส้นคู่	21
2.7 ทฤษฎีการออกแบบตัวกรองเชิงเลขแบบไบควอด	21
บทที่ 3 การออกแบบโครงงาน	23
3.1 โครงสร้างโปรแกรมการทำงานของโปรแกรมดิจิตอลอิควอไลเซอร์	24
3.1.1 ส่วนของโครงสร้างโปรแกรมดิจิตอลอิควอไลเซอร์แบบต่างๆ	24
3.1.2 ส่วนของสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุทของโปรแกรม	26
3.1.3 ส่วนของโครงสร้างวงจรการทำงานภายใน	28
3.1.4 ส่วนของโครงสร้างวงจรกำหนดค่าเริ่มต้น	29
3.2 โครงสร้างหน้าต่าง GUI สำหรับผู้ใช้โปรแกรมดิจิตอลอิควอไลเซอร์	32
บทที่ 4 การใช้งานและผลการทดลองการใช้โปรแกรม	35
4.1 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมดิจิตอลอิควอไลเซอร์ชนิดไอไออาร์ 10 แบนด์	35
4.2 การทดลองการใช้งานโปรแกรมดิจิตอลอิควอไลเซอร์ชนิดไอไออาร์ 10 แบนด์	38
บทที่ 5 ปัญหาที่เกิดขึ้นและการพัฒนาโครงงาน	44
5.1 ปัญหาข้อจำกัดในการส่งผ่านค่าพารามิเตอร์ของโปรแกรมที่พัฒนาบน MAX/MSP	44
5.2 ปัญหาข้อด้อยของดิจิตอลอีควอไลเซอร์	44
บรรณานุกรม	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

ภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 สัญญาณไม่ต่อเนื่องและตัวอย่างการแทนลำดับค่าด้วยค่าดิจิตอล	5
รูปที่ 2.2 ระบบเวลาเชิงเต็มหน่วย	6
รูปที่ 2.3 ความมีเหตุกภาพ (Casual) และไม่มีเหตุกภาพ (Non-casual)	7
รูปที่ 2.4 การสุ่มตัวอย่างสัญญาณเชิงอุปมาน	8
รูปที่ 2.5 สัญญาณสุ่มตัวอย่าง	8
รูปที่ 2.6 สเปกตรัมของสัญญาณจากการสุ่มตัวอย่าง	10
รูปที่ 2.7 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass Filter)	14
รูปที่ 2.8 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน (High-pass filter)	14
รูปที่ 2.9 วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Bandpass filter)	15
รูปที่ 2.10 วงจรกำจัดแถบความถี่ผ่าน (Bandstop filter)	15
รูปที่ 2.11 การเขียนแยกตัวบวกสัญญาณ	16
รูปที่ 2.12 การเขียนรวมตัวบวกสัญญาณ	17
รูปที่ 2.13 การเขียนแยกอุปกรณ์หน่วงสัญญาณ	18
รูปที่ 2.14 การเขียนรวมอุปกรณ์หน่วงสัญญาณ	18
รูปที่ 2.15 โครงสร้างแบบต่ออนุกรม	20
รูปที่ 2.16 โครงสร้างตัวกรองดิจิตอลแบบไอไออาร์ ที่มีโครงสร้างแบบต่อขนาน	21
รูปที่ 2.17 บล็อกไดอะแกรมตัวกรองสัญญาณแบบไบควอด	22
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างของตัวกรองดิจิตอลชนิดไอไออาร์แบบโดยตรง 2	23
รูปที่ 3.2 โครงสร้างโปรแกรมตัวกรองสัญญาณเชิงเลขชนิดไอไออาร์แบบไบควอด โดยป้อนค่าสัมประสิทธิ์ของสัญญาณ	25
รูปที่ 3.2 โครงสร้างโปรแกรมตัวกรองสัญญาณเชิงเลขชนิดไอไออาร์แบบไบควอด โดยป้อนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ	25
รูปที่ 3.4 โครงสร้างโปรแกรมตัวกรองสัญญาณเชิงเลขชนิดไอไออาร์แบบไบควอด โดยปรับกราฟฟิก และป้อนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ	26
รูปที่ 3.5 โครงสร้างโปรแกรมส่วนของสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุทของโปรแกรม	27
รูปที่ 3.6 โครงสร้างโปรแกรมส่วนวงจรการทำงานภายในของ p eqleft และ p eqright	28
รูปที่ 3.7 โครงสร้างวงจรกำหนดค่าเริ่มต้น	29
รูปที่ 3.8 บล็อกวัตถุ loadbang	30
รูปที่ 3.9 โครงสร้างย่อยส่วนที่ 1 ของโครงสร้างวงจรกำหนดค่าเริ่มต้น	30
รูปที่ 3.10 โครงสร้างย่อยส่วนที่ 2 ของโครงสร้างวงจรกำหนดค่าเริ่มต้น	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

ภาพ	หน้า
รูปที่ 3.11 โครงสร้างย่อยส่วนที่ 3 ของโครงสร้างวงจรกำหนดค่าเริ่มต้น	31
รูปที่ 3.12 โครงสร้างย่อยส่วนที่ 4 ของโครงสร้างวงจรกำหนดค่าเริ่มต้น	32
รูปที่ 3.13 โครงสร้างย่อยส่วนที่ 5 ของโครงสร้างวงจรกำหนดค่าเริ่มต้น	32
รูปที่ 3.14 หน้าต่าง GUI สำหรับผู้ใช้โปรแกรมดิจิตอลอิควอไลเซอร์ 1 แบนด์ย่อย	33
รูปที่ 3.15 หน้าต่าง GUI ดิจิตอลอิควอไลเซอร์ชนิดไอไออาร์ฟิลเตอร์ 10 แบนด์	34
รูปที่ 4.1 โปรแกรม Digital Equalizer.exe	35
รูปที่ 4.2 ส่วนของสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุทจากโปรแกรม	35
รูปที่ 4.3 ส่วนกำหนดค่าความถี่คัทออฟ ค่า Q และค่าเกน	36
รูปที่ 4.4 ส่วนแสดงกราฟฟิกที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าความถี่คัทออฟ ค่า Q และค่าเกน	36
รูปที่ 4.5 ส่วนแสดงสเปกตรัมสัญญาณอินพุท และสัญญาณเอาท์พุท	37
รูปที่ 4.6 ปุ่มเคลียร์ค่าทั้งหมดเป็นค่าเริ่มต้นมาตรฐานของโปรแกรม	37
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุท จากการทดลองที่ 4.2.1	38
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุท จากการทดลองที่ 4.2.2	39
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุท จากการทดลองที่ 4.2.3	40
รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุท จากการทดลองที่ 4.2.4	41
รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุท จากการทดลองที่ 4.2.2	42
รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุท จากการทดลองที่ 4.2.2	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบัน ระบบการบันทึกเสียงได้มีการพัฒนาเปลี่ยนมาใช้ในรูปแบบดิจิตอล (Digital) และเป็นที่นิยมของผู้ใช้อย่างมาก เนื่องจากมีความสะดวก ทั้งด้านการบันทึกในอุตสาหกรรมการผลิตสื่อดิจิตอลออดิโอและในระบบเล่นกลับ และมีความแน่นอนมากกว่า ระบบดิจิตอลนั้นมีคุณสมบัติของการรักษาสัญญาณด้วยการตรวจจับ และแก้ไขสัญญาณในเรื่องของการส่งผ่านสัญญาณแบบอนาลอก ที่จะเกิดการสูญเสียหรือการลดทอนสัญญาณขึ้น

อีควอไลเซอร์ (Equalizer) เป็นอุปกรณ์ที่ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายทั้งในด้านความบันเทิงและในงานอุตสาหกรรมผลิตสื่อดิจิตอลออดิโอ จากคุณสมบัติพิเศษของอีควอไลเซอร์ซึ่งสามารถชดเชยการสูญเสียสัญญาณเสียงที่ความถี่ใดความถี่หนึ่งได้ และยังสามารถชดเชยระดับสัญญาณในความถี่ที่เราต้องการได้ อีกทั้งช่วงความถี่ที่ใช้งานก็เป็นช่วงความถี่ที่กว้างเกิน ซึ่งไม่อาจเพียงพอกับความต้องการของผู้ใช้งาน เนื่องจากการลดทอนในการบันทึก , การส่งสัญญาณออดิโอและการสูญเสียในด้านความถี่ของสัญญาณสียง จึงมีความจำเป็นที่ต้องเพิ่มความถี่ให้มีความละเอียดมากกว่าเดิม เพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของผู้ใช้งาน

โครงงานนี้จะเป็นการสร้างดิจิตอลอีควอไลเซอร์แบบกราฟฟิก ที่มีการแบ่งช่องความถี่ออกเป็น 10 ช่องสัญญาณและสามารถที่จะปรับอัตราการขยายและการลดทอนได้ในช่วง ± 24 dB โดยจะใช้โปรแกรมแมกซ์/เอ็มเอสพี (MAX/MSP) และใช้วงจรกรองความถี่เชิงเลขตอบสนองตัวอย่างเดี่ยวไม่จำกัดจำนวนหรือ IIR (Infinite Impulse Respond) ช่วยในการออกแบบและปรับความถี่ของสัญญาณ

1.2 จุดประสงค์

1.2.1 ศึกษาโครงสร้าง Audio Equalizer ทั้งกราฟฟิคและพาราเมตริก

1.2.2 ศึกษาการปรับตัวแปรต่างๆ ของ Digital IIR Filter เช่น เกน (Gain) , แบนด์วิธ (Bandwidth) , Q (Quality factor) และความถี่คัทออฟ (f_c)

1.2.3 ศึกษาการแปลงความถี่ทางดิจิตอล (Digital Frequency Transformation)

1.2.4 ศึกษาการใช้โปรแกรม MAX/MSP

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ออกแบบวงจรกรองความถี่เชิงเลข IIR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.2 สามารถจำลองการทำงานของกราฟฟิคอีควอไลเซอร์สัญญาณเสียงดิจิตอล แบบ 10 แบนด์ได้

1.3.3 นำรูปแบบของการจำลองมาสร้างเป็นอีควอไลเซอร์สำหรับสัญญาณเสียงดิจิตอล แบบ 10 แบนด์ โดยการประยุกต์ใช้กับโปรแกรม MAX/MSP ได้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้โปรแกรมกราฟฟิกอิควอไลเซอร์ที่สามารถปรับแต่งสัญญาณเสียงสำหรับย่านออดิโอ

1.4.2 สามารถนำไปพัฒนาประยุกต์ใช้ในงาน Sound Engineer, Infotainment

1.5 อุปกรณ์ที่ต้องใช้

1.5.1 ฮาร์ดแวร์

- เครื่องคอมพิวเตอร์
- การ์ดเสียง (Sound Card)

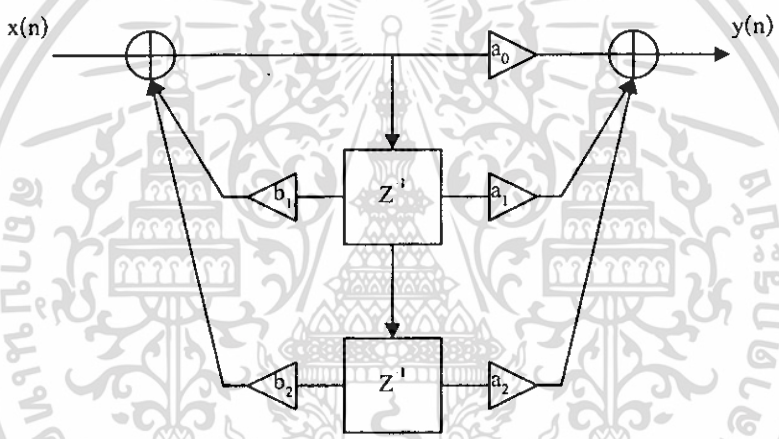
1.5.2 ซอฟต์แวร์

- โปรแกรม MAX/MSP เป็นโปรแกรมสำหรับพัฒนาโปรแกรมสังเคราะห์เสียง
- Adobe Photoshop เป็นโปรแกรมช่วยในการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบโครงงาน

โครงงานนี้เป็นการออกแบบโปรแกรมดิจิตอลอิควอไลเซอร์ให้ใช้งานได้บนคอมพิวเตอร์ เพื่อให้สะดวกกับการใช้มากขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องพึ่งพาอุปกรณ์ประเภทฮาร์ดแวร์ โดยใช้โปรแกรม Max/Msp เวอร์ชั่น 4.5 ในการออกแบบและพัฒนาขึ้น หลักการออกแบบดิจิตอลอิควอไลเซอร์นั้น จากทฤษฎีการประมวลผลสัญญาณดิจิตอลที่ได้ศึกษามา เราสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบดิจิตอลอีควอไลเซอร์ได้หลายรูปแบบ แต่ในโครงงานนี้ได้สร้างดิจิตอลอิควอไลเซอร์ จากทฤษฎีของตัวกรองสัญญาณไบควอด (Biquad Filter) ซึ่งเป็นวงจรกรองความถี่ดิจิตอลชนิดไอไออาร์ ตามโครงสร้างดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างของตัวกรองดิจิตอลชนิดไอไออาร์แบบไบควอด

ซึ่งอธิบายได้โดยสมการ

$$y_n = a_0x_n + a_1x_{n-1} + a_2x_{n-2} + b_1y_{n-1} + b_2y_{n-2}$$

โดยที่ a_0 , a_1 , a_2 , b_1 และ b_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสัญญาณ (Coefficients)

x_n , x_{n-1} และ x_{n-2} คือ สัญญาณอินพุทลำดับต่างๆ (Previous Input)

y_{n-1} และ y_{n-2} คือ สัญญาณเอาท์พุทลำดับต่างๆ (Previous Output)

y_n คือ สัญญาณเอาท์พุทรวม (Output)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติแล้วอีควอไลเซอร์นั้นจะมีหน้าที่เพิ่มหรือลดความดังของย่านความถี่ในย่านต่างๆ โดยเราจะใช้ตัวกรองสัญญาณแบ่งความถี่ออกเป็นย่านต่างๆ ตามหลักการทฤษฎีของตัวกรองสัญญาณไบควอด ซึ่งสามารถให้ผลตอบสนองความถี่ 3 รูปแบบในเวลาเดียวกัน คือ กรองความถี่ต่ำผ่าน กรองความถี่สูงผ่าน และกรองแถบความถี่ผ่าน โดยโครงงานนี้จะแบ่งความถี่ออกเป็น 10 ย่านสัญญาณ โดยออกแบบให้ย่านสัญญาณแรกเป็นย่านของความถี่ต่ำผ่าน ย่านสัญญาณที่ 2-9 จะเป็นย่านของแถบความถี่ผ่าน และย่านสัญญาณสุดท้ายจะเป็นย่านความถี่สูงผ่าน จากนั้นจะนำสัญญาณทั้ง 10 ย่านสัญญาณมาคูณกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแต่ละตัวที่ได้ออกแบบไว้ ก่อนที่จะนำมารวมสัญญาณกันใหม่อีกครั้งเพื่อส่งออกไปใช้งานต่อไป

โครงงานนี้ได้ออกแบบให้สามารถกำหนดความถี่คัทออฟของย่านต่างๆเองได้ รวมทั้งสามารถปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์อื่นๆได้ด้วย คือ ค่าเกน (Gain) ซึ่งมีหน้าที่เพิ่มหรือลดความดังของย่านความถี่ในย่านต่างๆ และค่า Q (Quality factor) ซึ่งมีหน้าที่ปรับความกว้างของย่านความถี่ที่จะปรับเพิ่มหรือลด หรือที่เรียกว่า อัตราการเน้น หรืออีกความหมายหนึ่งก็คือการปรับความเน้นของตัวกรองความถี่ตรงจุดคัทออฟ (Cutoff)

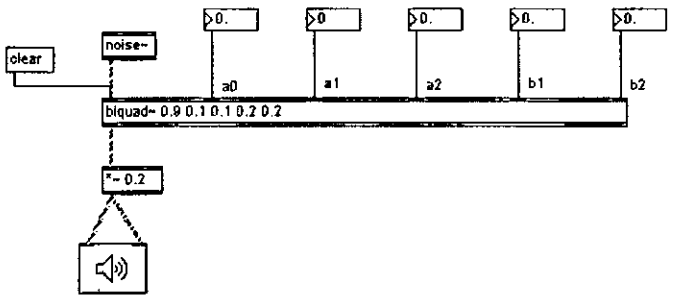
3.1 โครงสร้างโปรแกรมการทำงานของโปรแกรมดิจิตอลอิควอไลเซอร์

รูปแบบและโครงสร้างของโปรแกรมทั้งหมดจะใช้การออกแบบและพัฒนาโดยโปรแกรม MAX/MSP ซึ่งลักษณะของโปรแกรมจะเป็นการเขียนโปรแกรมในรูปแบบบล็อกวัตถุ (Object box) ซึ่งประกอบด้วย

3.1.1 ส่วนของโครงสร้างโปรแกรมดิจิตอลอิควอไลเซอร์แบบต่างๆ

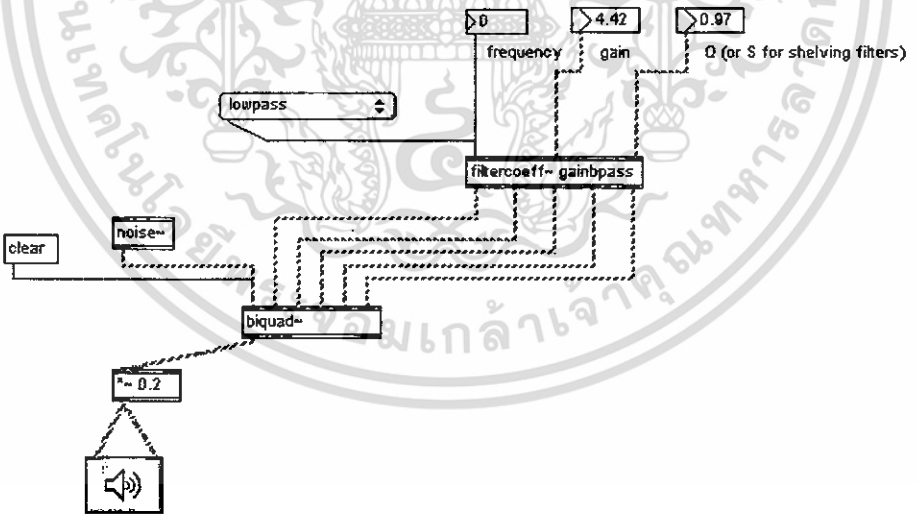
ในโครงสร้างของโปรแกรม จะต้องมีการออกแบบตัวกรองสัญญาณก่อน โดยจะมีบล็อกวัตถุที่ชื่อว่า biquad~ ซึ่งเป็นลักษณะของตัวกรองสัญญาณเชิงเลขไบควอด ซึ่งจะรับค่าสัมประสิทธิ์ของสัญญาณ (Coefficients) ตามทฤษฎีของไบควอด คือ ค่า a_0 , a_1 , a_2 , b_1 และ b_2 โดยเมื่อได้รับค่าสัมประสิทธิ์ทั้ง 5 แล้ว จะนำมาคูณกับสัญญาณเสียงต้นทาง (Input) เพื่อกรองสัญญาณเป็นสัญญาณใหม่ออกมา ดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 โครงสร้างโปรแกรมตัวกรองสัญญาณเชิงเลขชนิดไอไออาร์แบบไบควอด โดยป้อนค่าสัมประสิทธิ์ของสัญญาณ

เมื่อนำมาประยุกต์กับส่วนสำหรับป้อนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ค่าความถี่คัทออฟ ค่าเกน ค่า Q รวมทั้งชนิดของตัวกรองสัญญาณย่านต่างๆ คือ ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน ตัวกรองแถบความถี่ผ่าน และตัวกรองความถี่สูงผ่าน โดยค่าทั้งหมดจะต้องนำมาคำนวณ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของสัญญาณ ตามทฤษฎีและสมการต่างๆที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 ซึ่งในส่วนของโปรแกรมสามารถคำนวณได้จากบล็อกวัตถุที่ชื่อว่า filtercoeff~ ซึ่งเป็นบล็อกวัตถุที่สามารถคำนวณค่าต่างๆ แล้วนำมาแยกเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของสัญญาณ ทั้ง 5 ค่า คือ ค่า a_0 , a_1 , a_2 , b_1 และ b_2 ได้ ดังรูปที่ 3.3

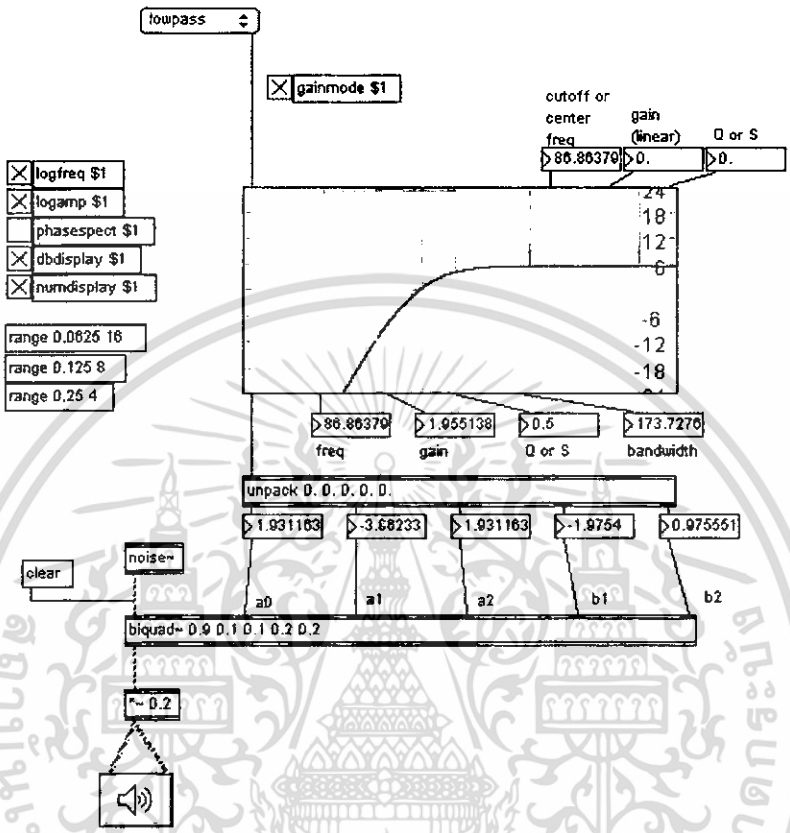


รูปที่ 3.3 โครงสร้างโปรแกรมตัวกรองสัญญาณเชิงเลขชนิดไอไออาร์แบบไบควอด โดยป้อนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

ในส่วนของการออกแบบโปรแกรม ได้ออกแบบส่วนที่เป็นกราฟฟิกลงไปด้วย เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในโปรแกรมดิจิตอลอิควอไลเซอร์ โดยส่วนที่เป็นกราฟฟิกจะใช้บล็อกวัตถุที่ชื่อว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

filtergrap~ ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ค่าความถี่ตัด ค่าเกน ค่า Q ได้ด้วยการเลื่อนเมาส์ รวมทั้งแปลงค่าออกมาเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของสัญญาณ ได้ ดังรูปที่ 3.4

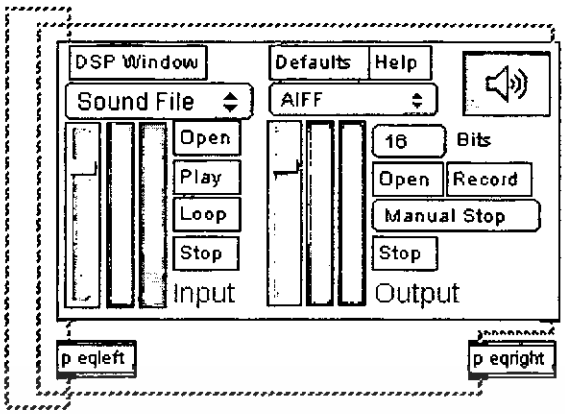


รูปที่ 3.4 โครงสร้างโปรแกรมตัวกรองสัญญาณเชิงเลขชนิดไอไออาร์แบบไบควอด โดยปรับกราฟฟิก และป้อนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

3.1.2 ส่วนของสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุทของโปรแกรม

ส่วนนี้เป็นส่วนของการควบคุมการเข้าออกของเสียง โดยตัวโปรแกรมจะเป็นส่วนที่แถมมาให้ในโปรแกรม MAX/MSP อยู่แล้ว ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งไม่จำเป็นต้องสร้างเอง โดยมีส่วนต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 โครงสร้างโปรแกรมส่วนของสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุทของโปรแกรม

DSP Window จะให้เราทำการปรับแต่งระบบของการ์ดเสียง

Defaults คือ การใช้ค่าเริ่มต้นที่กำหนดมาโดยโปรแกรม

Help มีไว้อธิบายการใช้งานในแพทช์ (Patch) นี้ เป็นภาษาอังกฤษ

Speaker มีไว้เปิดระบบเสียงให้ทำงาน

Sound File เป็นการเลือกที่จะใช้งานไฟล์เสียงหรือสัญญาณอินพุทที่รับมาจากการ์ดเสียง

AIFF คือ ประเภทของไฟล์ที่ใช้ในการบันทึก โดยมี AIFF และ Wave

Open (ด้านสัญญาณอินพุท) ใช้เปิดไฟล์เสียง

Play ใช้เล่นไฟล์เสียง

Loop กำหนดการเล่นไฟล์เสียงเป็นแบบวนลูป

Stop หยุดเล่นไฟล์เสียง

16 คือ การเลือกความลึกของบิท (Bit Depth) ของเสียงที่เราจะใช้ทำการบันทึก ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับการรองรับของการ์ดเสียงด้วย

Open (ด้านสัญญาณเอาท์พุท) คือ การเลือกที่จัดเก็บข้อมูลเสียงเอาท์พุท

Record คือ เริ่มการบันทึกเสียง

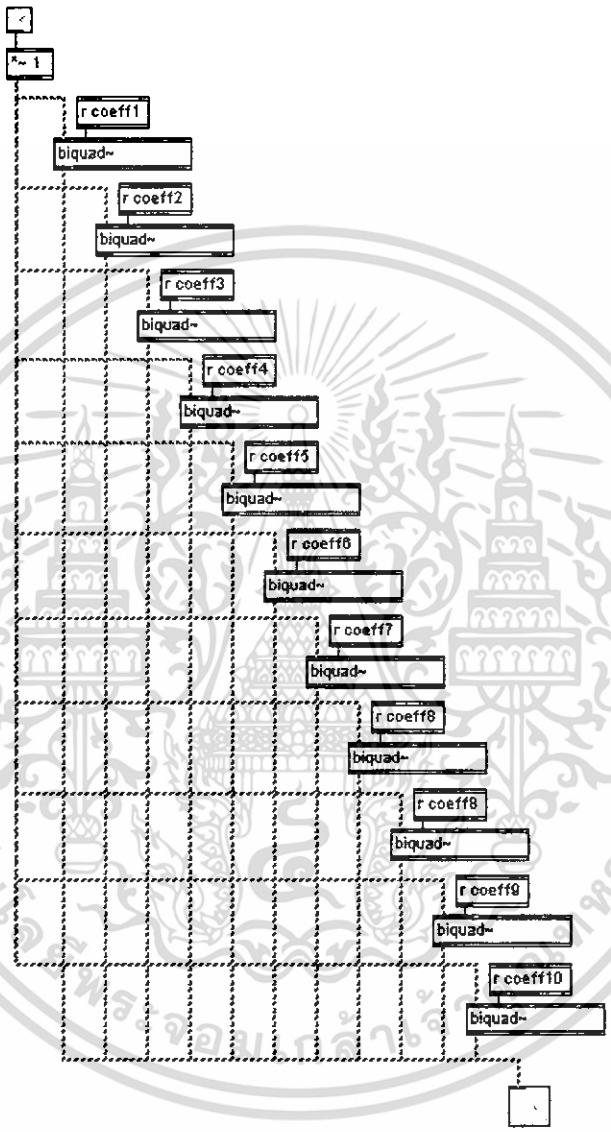
Manual Stop คือการหยุดโดยผู้ใช้เอง

เนื่องจากโปรแกรมได้ถูกออกแบบมาให้เป็นระบบสเตอริโอ (Stereo 2 channel) จึงต้องแยกเป็นระบบสัญญาณซ้ายขวา โดยที่ส่วนนี้จะมีการเชื่อมต่อกับส่วนของแพทช์ (Patch) อื่นที่ชื่อว่า p eqleft และ p eqright ซึ่งเป็นส่วนของโครงสร้างวงจรการทำงานภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ส่วนของโครงสร้างวงจรการทำงานภายใน

ในส่วนนี้จะเป็นโครงสร้างวงจรภายในที่อยู่ภายในบล็อกวัตถุ p eqleft และ p eqright โดยที่ทั้ง 2 จะมีลักษณะเหมือนกัน ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 โครงสร้างโปรแกรมส่วนวงจรการทำงานภายในของ p eqleft และ p eqright

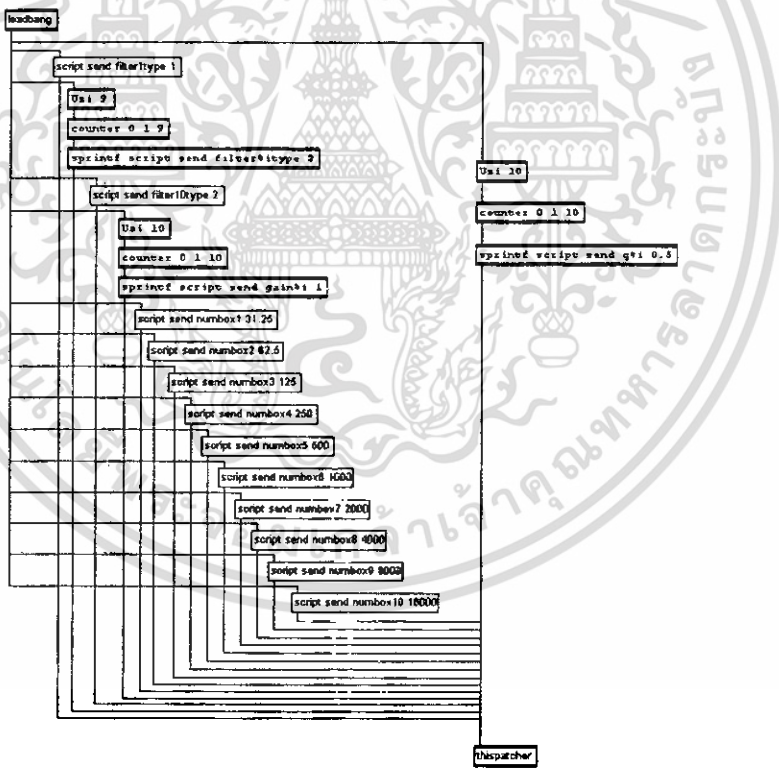
ลักษณะการทำงานในส่วนนี้ จะเป็นการแบ่งสัญญาณออกเป็น 10 ย่านสัญญาณด้วยกัน โดยออกแบบให้ย่านสัญญาณแรกเป็นย่านของความถี่ต่ำผ่าน ย่านสัญญาณที่ 2-9 จะเป็นย่านของแถบความถี่ผ่าน และย่านสัญญาณสุดท้ายจะเป็นย่านความถี่สูงผ่าน โดยบล็อกวัตถุอันบนสุดดังรูป 3.6 จะเรียกว่า Inlet ขาเข้า ซึ่งจะเป็นตัวรับสัญญาณอินพุทจากส่วนของสัญญาณอินพุทและสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาท์พุทของโปรแกรม จากนั้นสัญญาณจะมาผ่านไปยังตัวกรองสัญญาณไบควอดที่ชื่อ biquad~ ของแต่ละตัวตามโครงสร้าง โดยตัวกรองสัญญาณแต่ละตัวจะรับค่าความถี่ตัด จากส่วนของโปรแกรมสำหรับผู้ใช้ของแต่ละตัว จากนั้นจะนำสัญญาณทั้ง 10 ย่านสัญญาณที่ได้ออกแบบจากค่าความถี่ตัดแล้ว มาคูณกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆของแต่ละตัวที่ได้ออกแบบไว้ โดยส่วนที่ใช้รับค่าความถี่คัทออฟ และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะใช้บล็อกวัตถุที่ชื่อว่า r coeff ซึ่งจะแปลงค่าออกมาเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของสัญญาณ โดยจะรับค่าจากบล็อกวัตถุในส่วนของโปรแกรมสำหรับผู้ใช้ที่ชื่อว่า s coeff จากนั้นจะนำสัญญาณใหม่ทั้ง 10 ย่านสัญญาณมารวมกัน เพื่อรวมกันเป็นสัญญาณใหม่ โดยบล็อกวัตถุอันล่างสุด จะเรียกว่า Inlet ขาออก ซึ่งเป็นตัวนำสัญญาณใหม่ที่รวมแล้วออกไป

3.1.4 ส่วนของโครงสร้างวงจรกำหนดค่าเริ่มต้น

เป็นส่วนที่ออกแบบเพื่อตั้งค่าเริ่มต้นให้กับพารามิเตอร์ต่างๆในโปรแกรมเป็นค่ามาตรฐาน ตามโครงสร้างดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 โครงสร้างวงจรกำหนดค่าเริ่มต้น

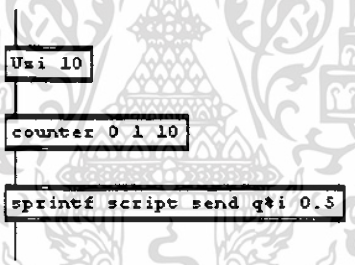
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยส่วนนี้จะมีบล็อกวัตถุที่ชื่อว่า loadbang เป็นตัวที่รวมหรือเชื่อมโยงกับฟังก์ชันบล็อกวัตถุอื่นๆทั้งหมดที่ได้กำหนดค่ามาตรฐานไว้ในส่วนนี้ ประมาณว่าเป็นคำสั่งในการกำหนดค่ามาตรฐานต่างๆ

รูปที่ 3.8 บล็อกวัตถุ loadbang

จากโครงสร้างภายในที่มีขนาดใหญ่ ทำให้อาจสับสนได้ในการเข้าใจ ในส่วนนี้จึงแยกโครงสร้างออกเป็นชุดๆ เพื่อเหมาะสมต่อการอธิบายและทำความเข้าใจให้ง่ายขึ้น คือ

ส่วนที่ 1 เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นมาตรฐาน คือ ค่า Q ซึ่งมีหน้าที่ปรับความกว้างของย่านความถี่ที่จะปรับเพิ่มหรือลด หรือที่เรียกว่า อัตราการเน้น โดยมีค่าเท่ากับ 0.5 ไปยังตัวกรองสัญญาณทุกตัว

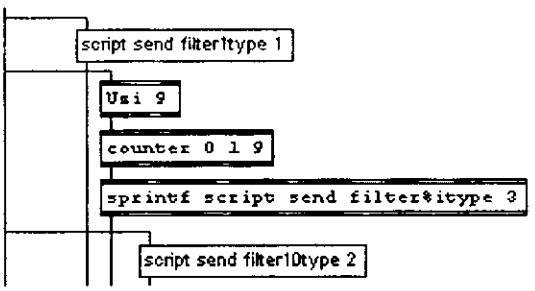


รูปที่ 3.9 โครงสร้างย่อยส่วนที่ 1 ของโครงสร้างวงจรกำหนดค่าเริ่มต้น

ซึ่งค่า Q หรือค่าอัตราการเน้น สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามที่ผู้ใช้ต้องการ ในส่วนของโปรแกรมสำหรับผู้ใช้

ส่วนที่ 2 เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นมาตรฐานให้กับตัวกรองสัญญาณตัวแรกเป็นตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน ตัวกรองสัญญาณตัวที่ 2-9 เป็นตัวกรองแถบความถี่ผ่าน และตัวกรองสัญญาณตัวสุดท้ายเป็นตัวกรองความถี่สูงผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 โครงสร้างย่อยส่วนที่ 2 ของโครงสร้างวงจรกำหนดค่าเริ่มต้น

ส่วนที่ 3 เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นมาตรฐาน คือ ค่าเกนลิเนียร์(Gain Linear) เท่ากับ 1 ไปยังตัวกรองสัญญาณทั้งหมด ซึ่งค่าเกนลิเนียร์ เป็นส่วนแปรผันตรงกับค่าเกน ที่มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB) ซึ่งมีค่าระหว่าง -24 dB ถึง 24 dB

รูปที่ 3.11 โครงสร้างย่อยส่วนที่ 3 ของโครงสร้างวงจรกำหนดค่าเริ่มต้น

ซึ่งค่าเกนลิเนียร์และค่าเกน สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามที่ผู้ใช้ต้องการ ในส่วนส่วนของโปรแกรมสำหรับผู้ใช้

ส่วนที่ 4 เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นมาตรฐาน คือ ค่าความถี่คัทออฟของทั้ง 10 ย่านไปยังตัวกรองย่านต่างๆ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น

ย่านความถี่ที่ 1 มีค่าความถี่คัทออฟเท่ากับ 31.25 Hz

ย่านความถี่ที่ 2 มีค่าความถี่คัทออฟเท่ากับ 62.5 Hz

ย่านความถี่ที่ 3 มีค่าความถี่คัทออฟเท่ากับ 125 Hz

ย่านความถี่ที่ 4 มีค่าความถี่คัทออฟเท่ากับ 250 Hz

ย่านความถี่ที่ 5 มีค่าความถี่คัทออฟเท่ากับ 500 Hz

ย่านความถี่ที่ 6 มีค่าความถี่คัทออฟเท่ากับ 1000 Hz

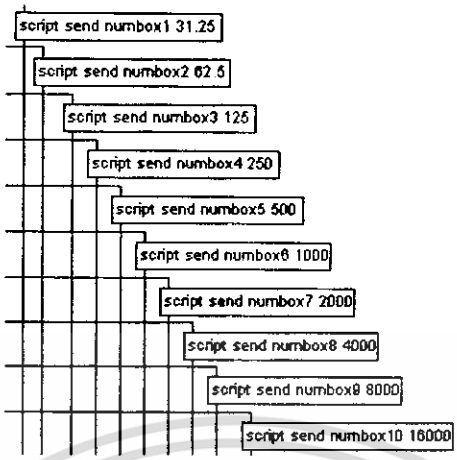
ย่านความถี่ที่ 7 มีค่าความถี่คัทออฟเท่ากับ 2000 Hz

ย่านความถี่ที่ 8 มีค่าความถี่คัทออฟเท่ากับ 4000 Hz

ย่านความถี่ที่ 9 มีค่าความถี่คัทออฟเท่ากับ 8000 Hz

ย่านความถี่ที่ 10 มีค่าความถี่คัทออฟเท่ากับ 16000 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 โครงสร้างย่อยส่วนที่ 4 ของโครงสร้างวงจรกำหนดค่าเริ่มต้น

ซึ่งค่าความถี่ตัดนี้ สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามที่ผู้ใช้ต้องการ ในส่วนส่วนของโปรแกรมสำหรับผู้ใช้

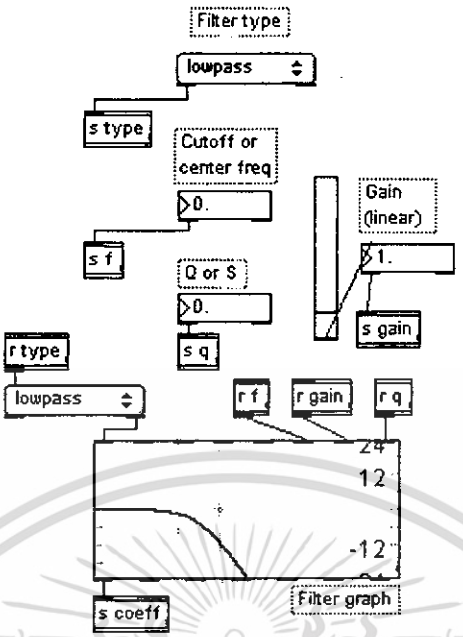
ส่วนที่ 5 เป็นฟังก์ชันที่ส่งค่าเริ่มต้นมาตรฐานทุกค่าไปยังโปรแกรมทั้งหมดโดยอัตโนมัติ ถ้าไม่มีส่วนนี้ จะกำหนดค่าเริ่มต้นไม่ได้

รูปที่ 3.13 โครงสร้างย่อยส่วนที่ 5 ของโครงสร้างวงจรกำหนดค่าเริ่มต้น

3.2 โครงสร้างหน้าต่าง GUI สำหรับผู้ใช้โปรแกรมดิจิตอลอิควอไลเซอร์

ส่วนนี้เป็นส่วนของโปรแกรมที่ให้ผู้ใช้ปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้ คือ ค่าความถี่คัทออฟ ค่าเกน ค่า Q โดยจะแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้รับมาเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของสัญญาณ หรือก็คือ หน้าต่าง GUI สำหรับผู้ใช้โปรแกรมนั่นเอง โดยจะรวมส่วนของโครงสร้างโปรแกรมดิจิตอลอิควอไลเซอร์แบบต่างๆตามหัวข้อ 3.1.1 ทั้งหมดเข้าด้วยกัน เพื่อให้เหมาะสมกับผู้ใช้มากที่สุด ดังรูปที่ 3.1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 หน้าต่าง GUI สำหรับผู้ใช้โปรแกรมดิจิตอลอิควอไลเซอร์ 1 แบนด์ย่อย

วงจรการทำงานในส่วนนี้ อธิบายได้เป็นส่วนต่างๆดังนี้ คือ

Filter type สำหรับเลือกชนิดของตัวกรองสัญญาณของย่านสัญญาณที่กำหนดไว้ ซึ่งบล็อกวัตถุที่ชื่อว่า s type จะส่งค่าที่เลือกไว้ ไปยังบล็อกวัตถุที่ชื่อ r type เพื่อแสดงผลออกมาเป็นกราฟฟิกอิควอไลเซอร์ในส่วนของ Filter graph

Cutoff or center freq สำหรับใส่ค่าความถี่คัทออฟในย่านความถี่ที่ต้องการ ซึ่งอยู่ในช่วง 20 Hz – 20 kHz โดยบล็อกวัตถุที่ชื่อว่า s f จะส่งค่าที่ป้อนไว้ ไปยังบล็อกวัตถุที่ชื่อ r f เพื่อแสดงผลออกมาเป็นกราฟฟิกอิควอไลเซอร์ในส่วนของ Filter graph

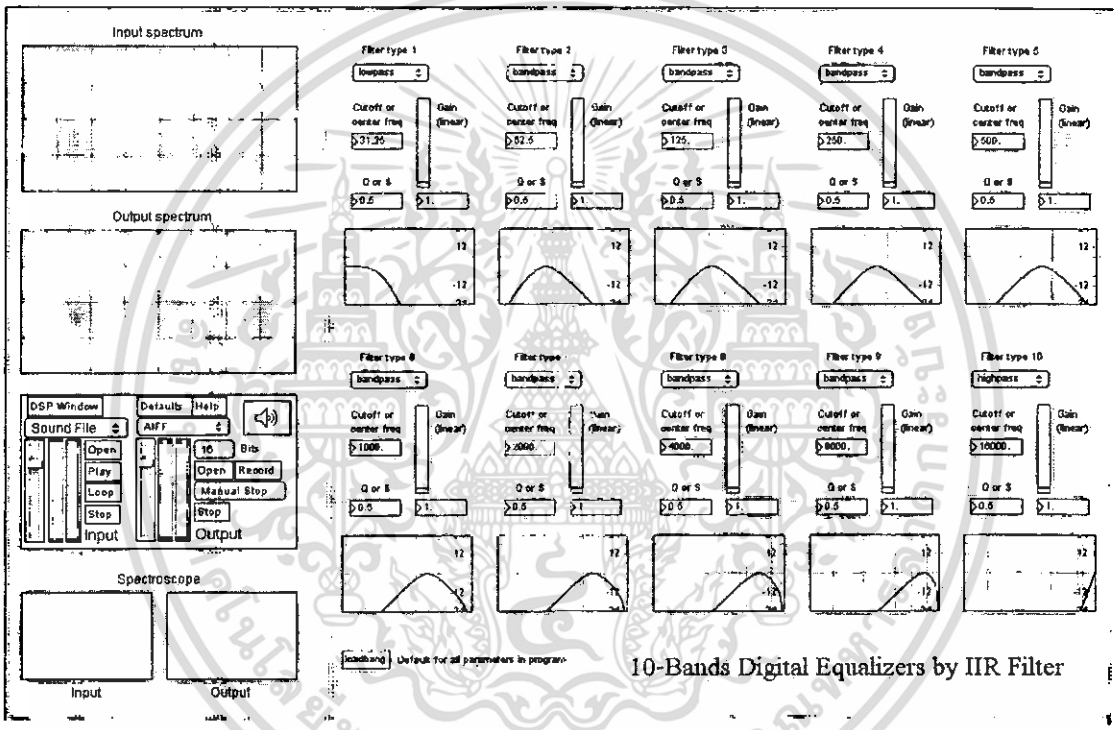
Q or S สำหรับป้อนค่า Q หรืออัตราการเน้น ซึ่งอยู่ในช่วง 0-24 โดยบล็อกวัตถุที่ชื่อว่า s q จะส่งค่าที่ป้อนไว้ ไปยังบล็อกวัตถุที่ชื่อ r q เพื่อแสดงผลออกมาเป็นกราฟฟิกอิควอไลเซอร์ในส่วนของ Filter graph

Gain (linear) สำหรับปรับค่าเกนลิเนียร์ โดยการเลื่อนหรือป้อนค่าก็ได้ ซึ่งมีระดับตั้งแต่ 0–16 ซึ่งจะแปรผันตรงกับค่าเกน ที่มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB) มีค่าระหว่าง -24 dB ถึง 24 dB ซึ่งบล็อกวัตถุที่ชื่อว่า s gain จะส่งค่าที่เลือกไว้ ไปยังบล็อกวัตถุที่ชื่อ r gain เพื่อแสดงผลออกมาเป็นกราฟฟิกอิควอไลเซอร์ในส่วนของ Filter graph

Filter graph เป็นส่วนแสดงกราฟฟิกของค่าพารามิเตอร์ต่างๆในย่านต่างๆที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งจะคำนวณค่าต่างๆออกมาเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของสัญญาณ ซึ่งจะมีบล็อกวัตถุที่ชื่อว่า s coeff เป็นตัวส่งค่าไปยังบล็อกวัตถุที่ชื่อว่า r coeff ในส่วนของโครงสร้างวงจรภายในที่อยู่ภายในบล็อกวัตถุ p eqleft และ p eqright

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยรูปแบบของโปรแกรมดิจิตอลอิควอไลเซอร์ จะประกอบไปด้วยโครงสร้างหน้าต่าง GUI สำหรับผู้ใช้โปรแกรมดิจิตอลอิควอไลเซอร์ 1 แบนด์ย่อย จำนวน 10 โครงสร้างด้วยกัน รวมทั้งส่วนของสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกของโปรแกรมตามโครงสร้างที่ได้กล่าวมาข้างต้น และทั้งนี้ได้มีการออกแบบให้มีสเปกตรัม (Spectrum) แสดงผลสัญญาณอินพุท (Input spectrum) และสเปกตรัมสัญญาณเอาท์พุท (Output spectrum) ที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยโปรแกรมดิจิตอลอิควอไลเซอร์ขึ้นด้วย เพื่อสามารถนำมาแสดงผลและเปรียบเทียบสัญญาณทั้ง 2 สัญญาณได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น



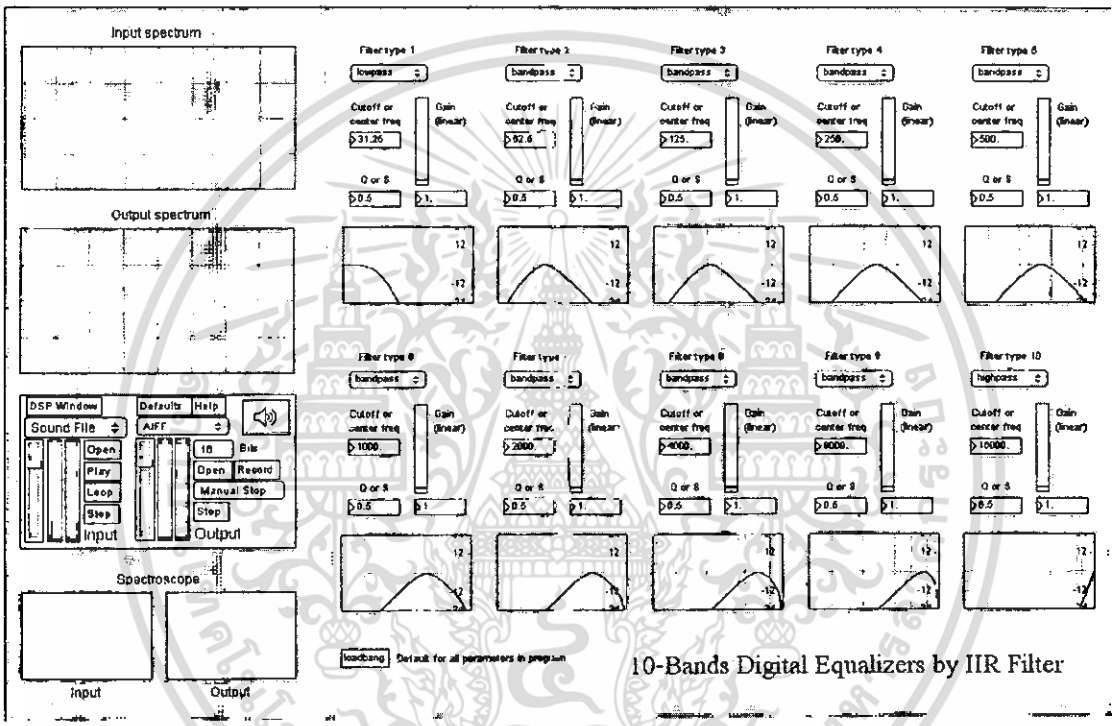
รูปที่ 3.15 หน้าต่าง GUI ดิจิตอลอิควอไลเซอร์ชนิดไอไออาร์ฟิลเตอร์ 10 แบนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การใช้งานและผลการทดลองการใช้โปรแกรม

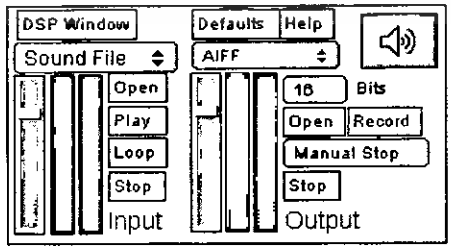
4.1 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมดิจิตอลอิควอไลเซอร์ชนิดไอไออาร์ 10 แบนด์

4.1.1 เปิดโปรแกรม "Digital Equalizer.exe" (โดยที่จะทำให้เล่นโปรแกรมได้ต้องลงในส่วนที่เป็น MAX/MSP Runtime เสียก่อน ซึ่งหาดาวน์โหลดได้ตามเวปไซต์ทั่วไป)



รูปที่ 4.1 โปรแกรม Digital Equalizer.exe

4.1.2 เลือกไฟล์เสียงจากส่วนของสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุทจากโปรแกรม



รูปที่ 4.2 ส่วนของสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุทจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดยสามารถเลือกใช้งานไฟล์เสียงที่ต้องการหรือสัญญาณอินพุทที่มาจากการ์ดเสียงโดยเลือกที่ปุ่ม Sound File

Sound File ใช้งานไฟล์เสียงที่มีอยู่ในคอมพิวเตอร์

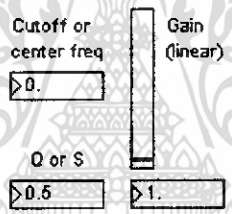
Audio Input ใช้งานสัญญาณอินพุทที่มาจากการ์ดเสียง

- กดปุ่ม Speaker ที่เป็นรูปลำโพง เพื่อเปิดระบบเสียงให้ทำงาน

- กดปุ่ม Play เพื่อเล่นไฟล์เสียง (สามารถกดปุ่ม Stop เพื่อหยุดเล่นไฟล์เสียง และกดปุ่ม Loop เพื่อใช้เล่นไฟล์เสียงวนลูป)

- กรณีที่ต้องการบันทึกไฟล์เสียงที่ปรับแต่งจากโปรแกรม สามารถกดปุ่ม Record เพื่อบันทึกไฟล์เสียงได้ โดยต้องกดปุ่ม Open ของส่วนสัญญาณเอาท์พุท เพื่อตั้งชื่อไฟล์ปลายทางที่ต้องการบันทึกเสียก่อน ซึ่งสามารถเลือกชนิดของไฟล์ได้ที่ปุ่ม AIFF (โปรแกรมนี้รองรับไฟล์เสียง Wave และ Aiff)

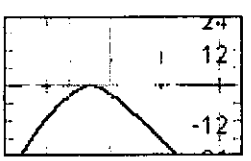
4.1.3 กำหนดค่าความถี่คัทออฟ (Cutoff or center freq) ซึ่งโปรแกรมได้กำหนดค่าเริ่มต้นมาตรฐานไว้ให้แล้วทุกย่านสัญญาณ แต่สามารถกำหนดค่าความถี่คัทออฟเองได้เช่นกัน



รูปที่ 4.3 ส่วนกำหนดค่าความถี่คัทออฟ ค่า Q และค่าเกน

4.1.4 กำหนดค่าพารามิเตอร์ Q (Q or S) และปรับเลื่อนค่าเกน ในแบนด์ต่างๆตามต้องการดังรูปที่ 4.3

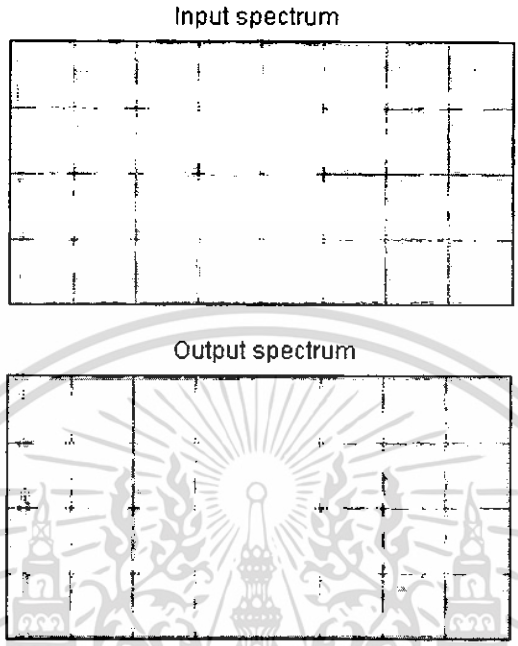
4.1.5 สามารถปรับเปลี่ยนค่าพามิเตอร์ต่างๆ รวมทั้งค่าความถี่คัทออฟ จากส่วนแสดงกราฟฟิกได้เช่นกัน โดยการบังคับเลื่อนเมาส์



รูปที่ 4.4 ส่วนแสดงกราฟฟิกที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าความถี่คัทออฟ ค่า Q และค่าเกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 สามารถดูสเปกตรัมของสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุทที่ได้ปรับแต่งค่าความถี่ตัด และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้จากส่วนของ Spectrum input และ Spectrum output



รูปที่ 4.5 ส่วนแสดงสเปกตรัมสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุท

4.17 สามารถกดปุ่ม loadbang เพื่อเคลียร์ค่าทั้งหมดเป็นค่าเริ่มต้นมาตรฐานของโปรแกรม

รูปที่ 4.6 ปุ่มเคลียร์ค่าทั้งหมดเป็นค่าเริ่มต้นมาตรฐานของโปรแกรม

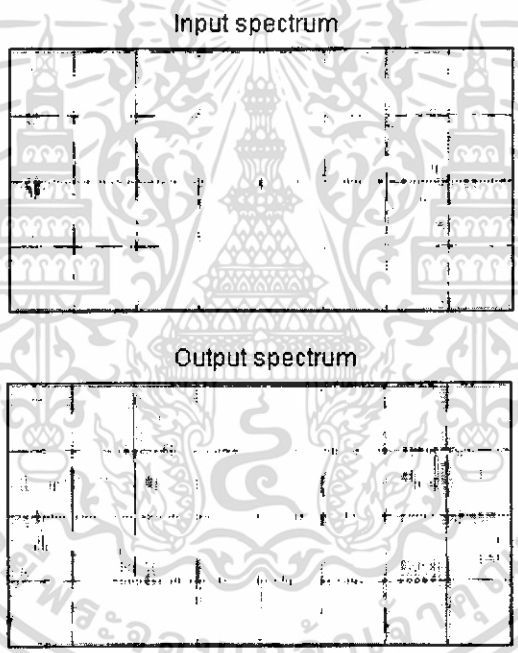
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองการใช้งานโปรแกรมดิจิตอลอิควอไลเซอร์ชนิดไอไออาร์ 10 แบนด์

ค่าเริ่มต้นมาตรฐานของโปรแกรมกำหนดไว้ คือ ค่าเกนลิเนียร์ เท่ากับ 1 ค่า Q เท่ากับ 0.5 ของทุกย่านสัญญาณ และค่าความถี่ตัดของย่านสัญญาณที่ 1 ถึง 10 เท่ากับ 31.25 , 62.5 , 125 , 250 , 500 , 1000 , 2000 , 4000 , 8000 , 16000 ตามลำดับ

การทดลองที่ 4.2.1

ทดลองกำหนดค่าเกนลิเนียร์ เท่ากับ 1 และค่า Q เท่ากับ 0.5 ของทุกย่านสัญญาณ โดยมีค่าความถี่ตัดของย่านสัญญาณที่ 1 ถึง 10 เท่ากับ 31.25 , 62.5 , 125 , 250 , 500 , 1000 , 2000 , 4000 , 8000 , 16000 ตามลำดับ จะได้ภาพเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุท ดังรูปที่ 4.7 โดย 1 ช่อง เท่ากับ 1 โวลต์

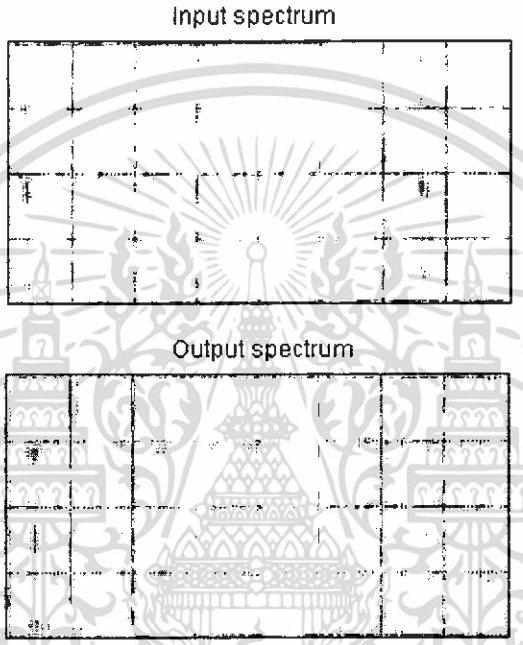


รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุท จากการทดลองที่ 4.2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.2.2

ทดลองปรับค่าเกนลิเนียร์จากค่ามาตรฐาน (ค่าเกนลิเนียร์ เท่ากับ 1 ค่า Q เท่ากับ 0.5 ของทุกย่านสัญญาณ) เป็นค่าเกนลิเนียร์ เท่ากับ 8 และค่า Q เท่ากับ 0.5 ตามเดิม ของทุกย่านสัญญาณ โดยมีค่าความถี่ตัดของย่านสัญญาณที่ 1 ถึง 10 เท่ากับ 31.25 , 62.5 , 125 , 250 , 500 , 1000 , 2000 , 4000 , 8000 , 16000 ตามลำดับ จะได้ภาพเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมสัญญาณอินพุท และสเปกตรัมสัญญาณเอาท์พุท ดังรูปที่ 4.8 โดย 1 ช่อง เท่ากับ 1 โวลต์

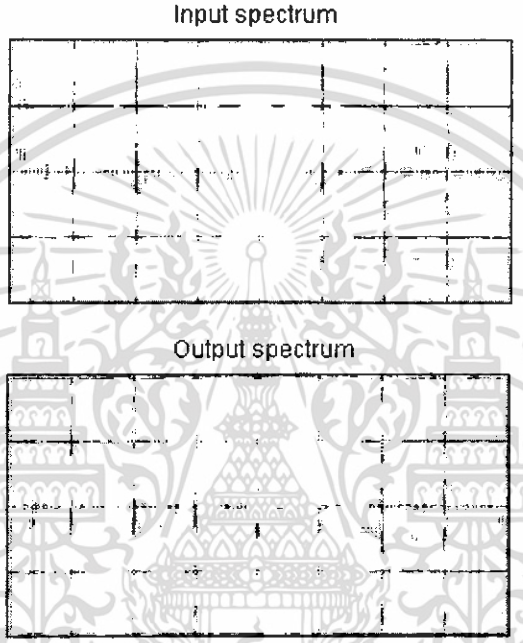


รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุท จากการทดลองที่ 4.2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.2.3

ทดลองปรับค่า Q จากค่ามาตรฐาน (ค่าเกนลิเนียร์ เท่ากับ 1 ค่า Q เท่ากับ 0.5 ของทุกย่านสัญญาณ) เป็นค่า Q เท่ากับ 5 และค่าเกนลิเนียร์ เท่ากับ 1 ตามเดิม ของทุกย่านสัญญาณ โดยมีค่าความถี่ตัดของย่านสัญญาณที่ 1 ถึง 10 เท่ากับ 31.25 , 62.5 , 125 , 250 , 500 , 1000 , 2000 , 4000 , 8000 , 16000 ตามลำดับ จะได้ภาพเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุท ดังรูปที่ 4.9 โดย 1 ช่อง เท่ากับ 1 โวลต์

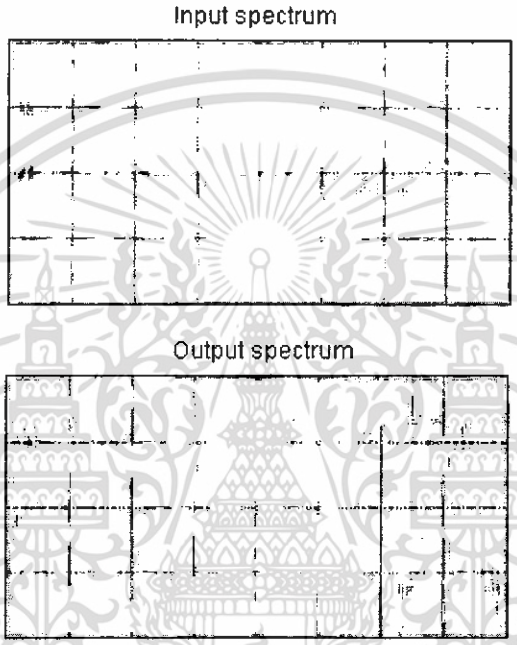


รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุท จากการทดลองที่ 4.2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.2.4

ทดลองปรับค่า Q และค่าเกนลิเนียร์ จากค่ามาตรฐาน (ค่าเกนลิเนียร์ เท่ากับ 1 ค่า Q เท่ากับ 0.5 ของทุกย่านสัญญาณ) เป็นค่า Q เท่ากับ 1 และค่าเกนลิเนียร์ เท่ากับ 8 ของทุกย่านสัญญาณ โดยมีค่าความถี่ตัดของย่านสัญญาณที่ 1 ถึง 10 เท่ากับ 31.25 , 62.5 , 125 , 250 , 500 , 1000 , 2000 , 4000 , 8000 , 16000 ตามลำดับ จะได้ภาพเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุท ดังรูปที่ 4.10 โดย 1 ช่อง เท่ากับ 1 โวลต์

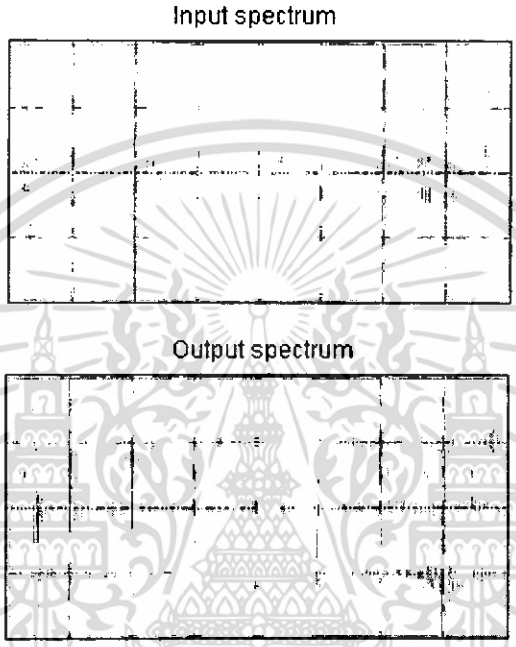


รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุท จากการทดลองที่ 4.2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.2.5

ทดลองปรับค่าความถี่ตัดของย่านสัญญาณที่ 1 ถึง 10 เท่ากับ 40 , 80 , 160 , 320 , 640 , 1280 , 2560 , 5120 , 10240 , 18000 ค่า Q = 0.5 และค่าเกนลิเนียร์ = 1 ตามค่ามาตรฐาน ของทุกย่านสัญญาณ จะได้ภาพเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุท ดังรูปที่ 4.11 โดย 1 ช่อง เท่ากับ 1 โวลต์

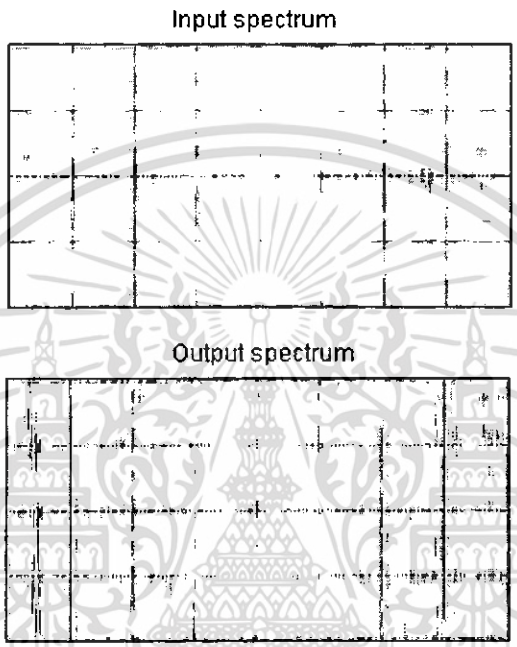


รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุท จากการทดลองที่ 4.2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.2.6

ทดลองปรับค่าความถี่ตัดของย่านสัญญาณที่ 1 ถึง 10 เท่ากับ 40 , 80 , 160 , 320 , 640 , 1280 , 2560 , 5120 , 10240 , 18000 ค่า Q = 1 และค่าเกนลิเนียร์ = 8 ของทุกย่านสัญญาณ จะได้ภาพเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุท ดังรูปที่ 4.12 โดย 1 ช่องเท่ากับ 1 โวลต์



รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมสัญญาณอินพุทและสัญญาณเอาท์พุท จากการทดลองที่ 4.2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ปัญหาที่เกิดขึ้นและการพัฒนาโครงงาน

5.1 ปัญหาข้อจำกัดในการส่งผ่านค่าพารามิเตอร์ของโปรแกรมที่พัฒนาบน MAX/MSP

เนื่องจากการพัฒนาโปรแกรมบน MAX/MSP มีข้อจำกัดในการส่งค่าพารามิเตอร์ ร่วมกับการพัฒนาโปรแกรมบนเทคโนโลยีอื่นๆ ในการพัฒนาโปรแกรมบน MAX/MSP จึงจำเป็นต้องพัฒนาโปรแกรมทั้งหมดขึ้นด้วย MAX/MSP เท่านั้น แม้ว่า MAX/MSP จะรองรับการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมด้านเสียงได้อย่างหลากหลายและยืดหยุ่นมาก แต่จากข้อจำกัดดังกล่าว ทำให้โปรแกรมที่พัฒนาโดย MAX/MSP ไม่สามารถพัฒนาให้ใช้งานได้ในบางกรณี เช่น การให้บริการแบบไคลเอนท์ – เซิร์ฟเวอร์บนระบบเครือข่าย เป็นต้น จากที่กล่าวมาทำให้การใช้งานโปรแกรมดิจิตอลอิควอไลเซอร์ที่พัฒนาขึ้นนี้ ผู้ใช้จะต้องทำการดาวน์โหลดโปรแกรมผ่านเวปไซต์ และติดตั้งโปรแกรมลงในเครื่องก่อน

โปรแกรมดิจิตอลอิควอไลเซอร์ที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถเรียกใช้งานได้อย่างอิสระ จากการเปิดโปรแกรม Digital Equalizer.exe โดยอาศัยส่วนรันไทม์ (Runtime) ที่รวมอยู่แล้วในโปรแกรม โดยไม่จำเป็นต้องมีการติดตั้งโปรแกรม MAX/MSP บนเครื่องของผู้ใช้ นอกจากนี้ยังรองรับการนำไปพัฒนาต่อบน MAX/MSP โดยใช้ไฟล์ Digital Equalizer.exe ที่รวมอยู่ในชุดโปรแกรมที่ให้บริการได้

5.2 ปัญหาข้อด้อยของดิจิตอลอีควอไลเซอร์

จะมีทั้งข้อด้อยที่มาจากไฟล์เสียง ซึ่งแม้ว่าจะทำการแปลงจากอนาลอกมาดีเพียงใดก็ตาม ก็ไม่สามารถสร้างคืนมาได้เหมือน 100% และข้อด้อยที่มาจากความหน่วงของอินเตอร์เฟสของสัญญาณเสียง (Audio Interface) ซึ่งการประมวลผลในระบบดิจิตอลจำเป็นต้องมีความหน่วงเกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจรและโปรแกรมไดรเวอร์ของอินเตอร์เฟสสัญญาณเสียงนั้นว่าจะให้ความหน่วงออกมาน้อยแค่ไหน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

อรรถสิทธ์ หล่าสกุล. 2543. **Digital signal processing Fundamentals.** พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ : แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ไพรัช ธัชยพงษ์. **การประมวลสัญญาณดิจิตอล ตอนการออกแบบวงจรกรองดิจิตอล.** กรุงเทพฯ : ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ.

Curtis, Roads and John, Strawn. 1988. **Foundations of Computer Music**. California : The MIT Press.

Geoff, Martin. 2004. **Introduction to Sound Recording.** Canada : McGill University Press.

Walt, Kester. 2002. **Mixed-signal and DSP Design Techniques.** Newnes Publisher.

S.J.orfanidis. 1996. **Introduction to Signal Processing.** Prentice Hall. USA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้