

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ดิจิทัล ออดิโอ อีควอลไลเซอร์
DIGITAL AUDIO EQUALIZER

โดย
นางสาววีรัตน์ ลิทธิ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 72284
วัน,เดือน,ปี 13 ต.ย. 2550

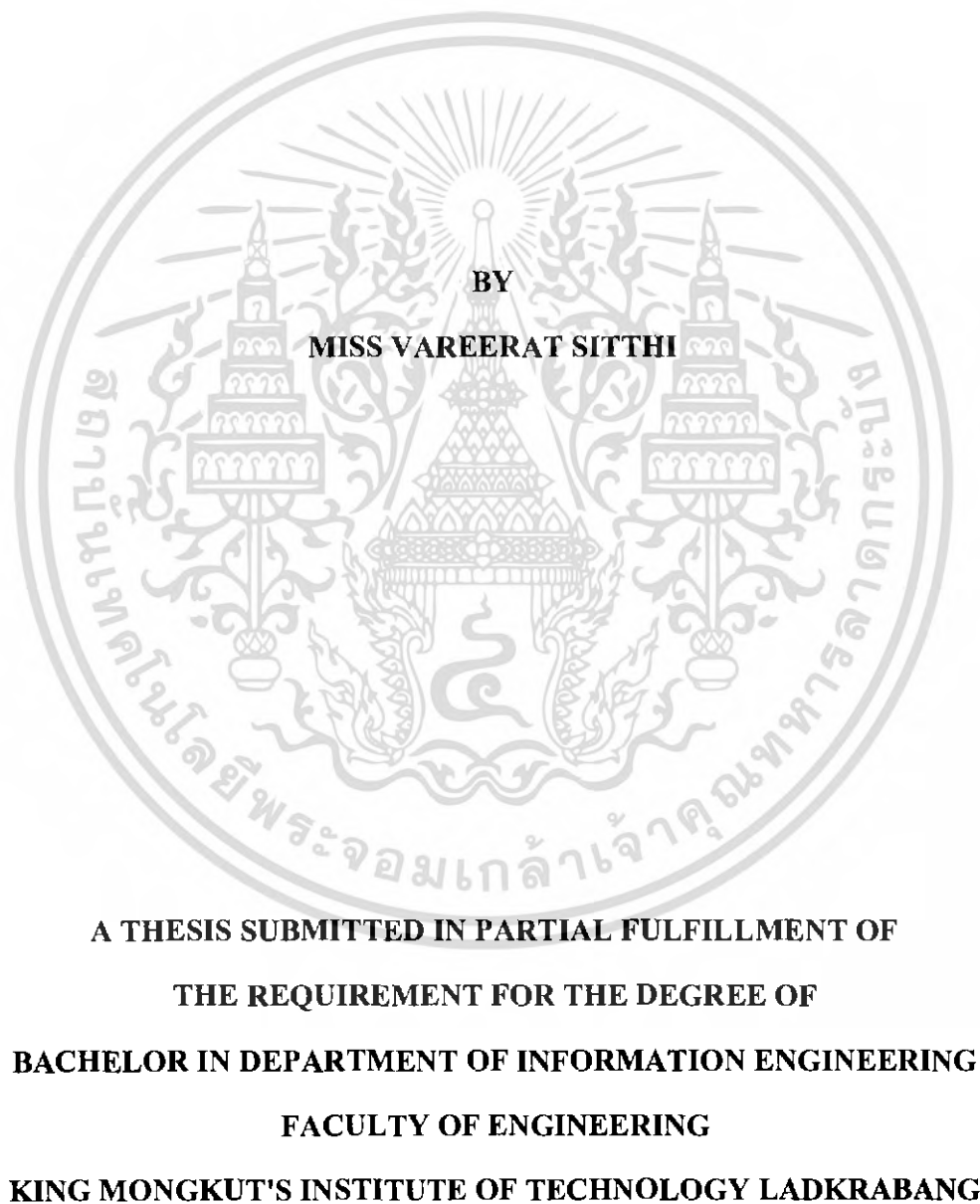
b. 117 ๕๕๖๖๐
i.

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIGITAL AUDIO EQUALIZER

**BY
MISS VAREERAT SITTHI**



2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ คิจิตอล ออดิโอ อิกวอไลเซอร์
ชื่อนักศึกษา นางสาววีรัตน์ สิริธิ รหัสนักศึกษา 46012192
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. คลชัย สุขเจริญผล
รศ. ดร. กนก เจนจิระพงษ์เวช
ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา 2549

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้รับ
ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.คลชัย สุขเจริญผล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.กนก เจนจิระพงษ์เวช)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ คณิตศาสตร์ ออติโอ อีควอไลเซอร์
ชื่อนักศึกษา นางสาววิรัตน์ สิริธิ รหัสนักศึกษา 46012192
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดลชัย สุขเจริญผล
รศ. ดร. กนก เจนจิระพงศ์เวช
ระดับการศึกษา ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

โครงการคณิตศาสตร์ออติโออีควอไลเซอร์แบบพารามตริกนี้ เป็นการประยุกต์คณิตศาสตร์ โดยอาศัยคณิตศาสตร์แบบย้อนกลับ IIR อันดับสอง ร่วมกับการแปลงความถี่ทางคณิตศาสตร์แบบ all-pass ซึ่งโครงสร้างพารามตริกนี้ มีความยืดหยุ่นต่อการปรับแต่ง โดยสามารถปรับ ค่าพารามิเตอร์สำคัญ 3 ค่า คือ ค่าความถี่ศูนย์กลาง แบนด์วิดท์ ค่าเกณฑ์ขยายของวงจรมีได้อย่างอิสระต่อกัน ซึ่งสามารถปรับแต่ง โดยผู้ใช้งานผ่าน GUI ของโปรแกรม Matlab

Thesis Title Digital Audio Equalizer
Student Miss Vareerat Sitthi ID. 46012192
Advisor Asst.Prof.Dolchai Sookcharoenpol
Assoc.Prof.Dr.Kanok Janejirapongwat
Graduate Level Bachelor Degree of Information Engineering
Department Information Engineering
Academic Year 2006

ABSTRACT

Parametric filters use separated and noninteracting controls to change bandwidth, center frequency and cut or boost level of audio signal. This paper shows that, operating with infinite impulse response filtering (IIR). These are generalized to equalizer that permits for gain adjustment of filter bank and designed for changing of bandwidth also center frequency. The audio band can be spanned by this filter which have independent in each parameter to gain efficiency of digital audio.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณ โอกาส วันเวลา ครอบครั้ว ผู้มีพระคุณ อาจารย์ เพื่อนๆ และคอมพิวเตอร์

ผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หัวข้อ	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 จุดประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	5
2.1 ประเภทของสัญญา	5
2.1.1 สัญญาที่มีความต่อเนื่องเชิงเวลาและไม่ต่อเนื่องเชิงเวลา	5
2.1.2 สัญญาอนุาสีอกและสัญญาคิจิตอล	5
2.1.3 สัญญาจริงและสัญญาเชิงซ้อน	5
2.1.4 สัญญาที่ทราบค่าแน่นอนและไม่ทราบค่าแน่นอน	5
2.1.5 สัญญาพลังงานและสัญญากำลังงาน	5
2.1.6 สัญญาคาบเวลาและสัญญาไม่มีคาบเวลา	6
2.2 ประเภทของระบบ	6
2.2.1 ระบบต่อเนื่องทางเวลาและระบบที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา	7
2.2.2 ระบบเชิงเส้น	7
2.2.3 ระบบไทม์อินวารเรียน	8
2.2.4 ระบบไทม์อินวารเรียนที่เป็นเชิงเส้น	8
2.3 ฟังก์ชันซิงกูลาร์	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้า
2.3.1 ฟังก์ชันสเกลหนึ่งหน่วย	8
2.3.2 ฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วย	9
2.3.3 อนุพันธ์ของฟังก์ชันซิงกูลาร์	9
2.4 อนุกรมฟูรีเยร์	9
2.4.1 อนุกรมฟูรีเยร์ในรูปคอมเพล็กซ์โพเนนเชียล	9
2.4.2 สเปกตรัมความถี่	9
2.4.3 การแปลงฟูรีเยร์	10
2.4.4 คุณสมบัติการแปลงฟูรีเยร์	11
2.5 การวิเคราะห์ฟูรีเยร์ (Fourier Analysis)	12
2.5.1 การวิเคราะห์ฟูรีเยร์ของระบบLTI	13
2.6 การหาสมการคำตอบของสมการสเตต	15
2.6.1 สมการสถานะ (State Equation)	15
2.6.2 สมการผลลัพธ์(Output)	16
2.6.3 การตอบสนองต่ออิมพัลส์และการหาสมการตอบสนองอิมพัลส์	17
2.7 Discrete-Time Signals	19
2.7.1 แซมปลิงเพิ่ม (Up-Sampling)	20
2.7.2 แซมปลิงแบบลด	21
2.8 วงจรกรองความถี่และผลตอบสนอง	21
2.8.1 ฟิเตอร์ความถี่ต่ำผ่านในย่านอุดมคติ	21
2.8.2 ฟิเตอร์ความถี่สูงผ่านในย่านอุดมคติ	22
2.8.3 ฟิเตอร์แถบความถี่ผ่านในย่านอุดมคติ	22
2.8.4 ฟิเตอร์แถบหยุดความถี่ผ่านในย่านอุดมคติ	22
2.9 อีควอไรเซอร์(Equalizers)	22
2.9.1 รีเคอร์ซีฟออดิโอฟิเตอร์ (Recursive Audio Filter)	22
2.9.2 นอนรีเคอร์ซีฟออดิโอฟิเตอร์ (Non-Recursive Audio Filter)	23
2.10 ประเภทของวงจรดิจิทัล Digital Filter Design	24
2.10.1 IIR filter	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้า
2.10.2 FIR Filter	25
บทที่ 3 การออกแบบ	27
3.1 การออกแบบวงจรดิจิทัล IIR ด้วยโปรแกรม matlab	29
3.2 การออกแบบหน้าต่าง User Interface	36
บทที่ 4 การกำหนดคุณลักษณะฮาร์ดแวร์และ GUI	38
4.1 การกำหนดคุณสมบัติของวงจรฮาร์ดแวร์	38
4.1.1 วงจร IIR	38
4.1.2 โครงสร้างตัวพารามตริก	39
4.1.3 การกำหนดค่าคงที่	39
4.1.4 การกำหนดอินพุตพอร์ตขา In3	41
4.1.5 การกำหนดอินพุตพอร์ตขา In4	43
4.1.6 การกำหนดอินพุตพอร์ตขา In5	45
4.1.7 การกำหนดคุณลักษณะของ MUX	47
4.1.8 การกำหนดค่าหน้าต่าง Sink Block Parameter ด้วยตัวแปร Goto	47
4.1.9 การกำหนดแมทริกซ์	48
4.1.10 การกำหนดสมบัติของเลขเบด	50
4.1.11 การกำหนดค่า Solver	55
4.1.12 การกำหนดค่าข้อมูลนำเข้าและส่งออก	56
4.1.13 การกำหนดค่าการประมวลสัญญาณสูงสุด	57
4.1.14 การกำหนดค่าอุปกรณ์	58
4.2 การใช้งานหน้าต่าง Simulink และหน้าต่าง GUI	60
บทที่ 5 การทดลอง	67
5.1 รูปแบบการทดลอง	67
5.2 การทดลองตอนที่ 1 ใช้สัญญาณเสียงดิจิทัลรูปไซน์	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ	หน้า
5.3 การทดลองตอนที่ 2 ใช้สัญญาณเสียงดิจิทัลสกุล*.wav	75
บทที่ 6 บทสรุปการทดลองโครงงาน	85
6.1 สรุปการทำโครงงาน	85
6.2 ปัญหาที่พบจากการดำเนินงาน	85
6.3 แนวทางแก้ไข	85
6.4 แนวทางพัฒนาโครงงาน	86
เอกสารอ้างอิง	87
ภาคผนวก ก	
ภาคผนวก ข	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
รูปที่ 1.1	ขั้นตอนการทำปริภูมิพจนธ์	3
รูปที่ 2.1	บล็อกไดอะแกรมที่ใช้แทนระบบ	7
รูปที่ 2.2	ฟังก์ชันสเต็ปหนึ่งหน่วย	9
รูปที่ 2.3	ฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วย	9
รูปที่ 2.4	ระบบ LTI	14
รูปที่ 2.5	ค่าเวลาจริงของสัญญาณกลุ่มDTS	20
รูปที่ 2.6	แสดงแผนผัง โครงสร้างแซมปิงแบบเพิ่ม (Up-Sampling)	21
รูปที่ 2.7	กราฟผลลัพธ์การแซมปิงสัญญาณแบบเพิ่ม (Up-Sampling)	22
รูปที่ 2.8	แผนผัง โครงสร้างของแซมปิงแบบลด (Down-Sampling)	22
รูปที่ 2.9	กราฟผลลัพธ์การแซมปิงสัญญาณแบบลด (Down-Sampling)	23
รูปที่ 2.10	โครงสร้างฟิลเตอร์ที่มี Boost และ Cut	26
รูปที่ 2.11	วงจรIIR	27
รูปที่ 2.12	วงจรFIR	27
รูปที่ 3.1	ย่านที่แบ่ง	31
รูปที่ 3.2	พารามตริกฟิลเตอร์	32
รูปที่ 3.3	รูปแบบคัตวิดเกินขยาย	33
รูปที่ 3.4	แสดงระดับเกินขยายของทั้งสามแบนด์	33
รูปที่ 3.5	แบนด์วิดกรีที่เพิ่ม Boost	34
รูปที่ 3.6	แบนด์วิดกรีที่เพิ่ม Cut	34
รูปที่ 3.7	การต่ออนุกรมของวงจรกรอง	35
รูปที่ 3.8	โมเดลของแบนด์	36
รูปที่ 3.9	User Interface	36
รูปที่ 3.10	User Interface ที่ถูกเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานแล้ว	37

๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.11 หน้าต่างปรับ Gain	37
รูปที่ 4.1 โครงสร้างวงจรวงจรความถี่เชิงเลขตอบสนองตัวอย่างเดียวไม่จำกัดจำนวน	38
รูปที่ 4.2 โมเดลวงจรพาราเมตริก	39
รูปที่ 4.3 ค่าคงที่ของ Source Block	40
รูปที่ 4.4 กำหนดประเภทสัญญาณเอาต์พุต	41
รูปที่ 4.5 อินพุตพอร์ตขา In3	41
รูปที่ 4.6 ค่าPort number In3	42
รูปที่ 4.7 กำหนดคุณลักษณะเฉพาะของ In3	43
รูปที่ 4.8 ค่าPort number In4	44
รูปที่ 4.9 กำหนดคุณลักษณะเฉพาะของ In4	45
รูปที่ 4.10 ค่าPort number In5	46
รูปที่ 4.11 กำหนดคุณลักษณะเฉพาะของ In3	47
รูปที่ 4.12 MUX	47
รูปที่ 4.13 ค่าจำนวนอินพุตและออพชั่น	48
รูปที่ 4.14 คำสั่ง Goto ใช้เรียกสัญญาณ	49
รูปที่ 4.15 ค่าPort number In4	49
รูปที่ 4.16 ค่าเลขเบด ban_1	50
รูปที่ 4.17 การกำหนดค่าคุณสมบัติเอาต์พุต	51
รูปที่ 4.18 เอาต์พอร์ต	52
รูปที่ 4.19 โครงสร้าง iir filter ของแบนด์ที่1	53
รูปที่ 4.20 แสดง โครงสร้าง iir filter ของแบนด์ที่2	54
รูปที่ 4.21 แสดง โครงสร้าง iir filter ของแบนด์ที่3	55
รูปที่ 4.22 ค่า solver	56

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.23 สถานะข้อมูลเสียงที่นำเข้าและส่งออก	57
รูปที่ 4.24 ระดับสูงสุดของเงื่อนไขการทำงานของทุกแบนด์	58
รูปที่ 4.25 คุณสมบัติตัวประมวลผล	58
รูปที่ 4.26 วงจรรวม	59
รูปที่ 4.27 switch manual แต่ละแบนด์	60
รูปที่ 4.28 โครงสร้างการเก็บสัมประสิทธิ์ที่ถูกปรับแต่ง	60
รูปที่ 4.29 หน้าต่าง simulink	61
รูปที่ 4.30 หน้าต่าง simulation เมื่อเชื่อมต่อแล้ว	62
รูปที่ 4.31 หน้าต่างปรับแต่งพารามิเตอร์	63
รูปที่ 4.32 หน้าต่าง AF-Gain	63
รูปที่ 4.33 การปรับ Gain	64
รูปที่ 4.34 switch manual เพื่อสับสัญญาณ	64
รูปที่ 4.35 หน้าต่างอิกวอไลเซอร์	65
รูปที่ 4.36 หน้าต่างผลลัพธ์ของตัวแปร	66
รูปที่ 5.1 อันดับสัญญาณเทียบกับความถี่	68
รูปที่ 5.2 หน้าต่าง workspace เก็บค่าอินพุต	68
รูปที่ 5.3 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 1 เมื่อ Center Frequency = 1.32 Hz, Peak Value gain = 12.3 dB, Bandwidth = 315 Hz	69
รูปที่ 5.4 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 2 เมื่อ Center Frequency = 47 Hz, Peak Value gain = 12.3 dB, Bandwidth = 50 Hz	70
รูปที่ 5.5 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 3 เมื่อ Center Frequency = 7.51 kHz, peak Value gain = 12.2 dB , Bandwidth = 1.34 kHz	71

ญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 5.6 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 1 เมื่อ Center Frequency = 1.36 kHz, Peak Value gain = -12.7 dB , Bandwidth = 315 kHz	72
รูปที่ 5.7 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 2 เมื่อ Center Frequency = 47 Hz, Peak Value gain = -13.5 dB , Bandwidth = 50 Hz	73
รูปที่ 5.8 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 3 เมื่อ Center Frequency = 2.86 kHz, peak Value gain = -13.5 dB , Bandwidth = 1.21 kHz	74
รูปที่ 5.9 ผลการทดลองที่เก็บในรูปแบบตัวแปร	74
รูปที่ 5.10 ผลของค่าความถี่เอาท์พุทต่อหน่วย pi	75
รูปที่ 5.11 อันดับสัญญาณเทียบกับความถี่	76
รูปที่ 5.12 ผลการสุ่มสัญญาณ	76
รูปที่ 5.13 แสดงผลการค่าตัวแปรที่ถูกเก็บมาใช้งาน	77
รูปที่ 5.14 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 1 เมื่อ Center Frequency = 1.32 Hz, Peak Value gain = 12.3 dB, Bandwidth = 315 Hz	78
รูปที่ 5.15 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 2 เมื่อ Center Frequency = 47 Hz, Peak Value gain = 12.3 dB, Bandwidth = 50 Hz	79
รูปที่ 5.16 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 3 เมื่อ ที่ Center Frequency = 7.51 kHz, peak Value gain = 12.2 dB , Bandwidth = 1.34 kHz	80
รูปที่ 5.17 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 1 Center Frequency = 1.36 kHz, Peak Value gain = -12.7 dB , Bandwidth = 315 kHz kHz	81
รูปที่ 5.18 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 2 เมื่อ Center Frequency = 47 Hz, Peak Value gain = -13.5 dB , Bandwidth = 50 Hz	82
รูปที่ 5.19 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 3 เมื่อ Center Frequency = 2.86 kHz, peak Value gain = -13.5 dB , Bandwidth = 1.21 kHz	83

ฉ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 5.20 ผลการทดลองที่เก็บในรูปแบบตัวแปร	84
รูปที่ 5.21 ผลของค่าความถี่เอาท์พุทต่อหน่วย pi	85



ฉ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่

ตารางที่ 5.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อทำการทดลอง

หน้า

67



๙

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

ปัจจุบัน การประมวลผลสัญญาณเสียงในระบบดิจิทัล (Digital) และเป็นที่นิยมของผู้ใช้อย่างมาก เนื่องจากมีความสะดวก และมีความแน่นอนกว่าระบบอนาล็อก ระบบดิจิทัลนั้นมีคุณสมบัติของการรักษาสัญญาณด้วยการตรวจจับและแก้ไขปัญหาของสัญญาณที่มีการส่งผ่านแบบอนาล็อกซึ่งมักจะ การสูญเสียหรือลดทอนของสัญญาณ

อีควอลไลเซอร์ (Equalizer) เป็นวงจรกรองชนิดปรับค่าได้อีกประเภทหนึ่ง ที่ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายทั้งในด้านความบันเทิงและในงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษคือความสามารถชดเชยการสูญเสียพลังงานที่ความถี่ใดความถี่หนึ่งได้ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มพลังงานในความถี่ที่ต้องการได้ และในกรณีที่ต้องการใช้งานความถี่กว้าง ก็สามารถที่จะเพิ่มความถี่ให้มีความละเอียดมากกว่าเดิม เพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของผู้ใช้งาน

โครงการนี้จะทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึงการนำวงจรอีควอลไลเซอร์ที่เป็นวงจรแบบ ใช้วงจรกรองความถี่เชิงเลขตอบสนองอย่างเฉื่อยไม่จำกัดจำนวนหรือ IIR (Infinite Impulse Respond) ช่วยในการออกแบบและปรับความถี่ของสัญญาณ มาประยุกต์ใช้ร่วมกับวงจรกรองแบบพารามตริก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานร่วมกับสัญญาณเสียงแบบดิจิทัล ทั้งนี้เนื่องมาจากปัญหาในการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นที่ใช้ในการปรับวงจรอีควอลไลเซอร์ ที่ให้แก่พารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่า คือ เกนขยาย ความถี่ศูนย์กลาง แบนด์วิดธ์ อาจไม่มีความเป็นอิสระต่อการเปลี่ยนแปลงและควบคุม จะมีค่าระดับ Cut และ Boost ที่สัมพันธ์กับย่านความถี่ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสัญญาณเอาต์พุต จึงทำให้เกิดแรงบันดาลใจที่จะพัฒนาอีควอลไลเซอร์ที่มีรูปแบบโครงเป็นแบบพารามตริก โดยจะเป็นโครงสร้างที่สามารถกำหนดค่าที่ให้แก่พารามิเตอร์สำคัญได้ เพื่อให้ได้การปรับแต่งค่าที่เป็นอิสระและไม่กระทบต่อพารามิเตอร์ หรือส่วนการทำงานใดๆ หากเมื่อได้มีการปรับค่าของพารามิเตอร์อินพุตของวงจร

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาตัวแปรในการกำหนดลักษณะของเสียง
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์การกำหนดลักษณะเสียงในเชิงเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.2.3 เพื่อศึกษาสมการทางคณิตศาสตร์และการประยุกต์ใช้งานร่วมกับโปรแกรม Matlab
- 1.2.4 เพื่อนำค่าผลของการวิเคราะห์สัญญาณไปเปรียบเทียบในการใช้งานจริง
- 1.2.5 เพื่อศึกษาการใช้งาน โปรแกรมสำหรับออกแบบการทำงาน GUI

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาการ โครงสร้างและรูปแบบการออกแบบวงจรกรองความถี่ชนิด IIR
- 1.3.2 ศึกษาการทำงานของอควอไลเซอร์ที่ใช้งานกับสัญญาณเสียง
- 1.3.3 ออกแบบวงจรกรองความถี่ตามตัวแปรที่ได้กำหนดไว้
- 1.3.4 วิเคราะห์ ค่าสัญญาณเสียงที่ได้จากวงจรกรองความถี่ที่ออกแบบ
- 1.3.5 ศึกษาการใช้งาน โปรแกรม Matlab ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นำมาใช้วิเคราะห์สัญญาณเสียง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ได้มีการศึกษาวางแผนและทำงานตามขั้นตอนดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับโครงการ โดยเป็นการศึกษาถึงทฤษฎีของอิควอไลเซชันที่สามารถทำงานร่วมกับเสียงแบบคิจิตอล รวมถึงส่วนที่เกี่ยวข้องและส่วนที่ต้องการนำมาใช้ในการวิเคราะห์ในโครงการนี้
2. สร้างวงจรรองความถี่ จำลองการทดลองควบคู่กับการใช้ตัวอิควอไลเซอร์ตามแนวทางที่ต้องการศึกษา โดยที่การออกแบบนั้นจะเป็นไปตามแนวคิดของโครงการ และทำการวัดผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ต้องการจากการทดลอง โดยเป็นการเก็บข้อมูลจากการทดลองนี้ สำหรับใช้ในการวิเคราะห์

3. วิเคราะห์สัญญาณ ในการวิเคราะห์นั้น จะเป็นการหาค่าที่ต้องการเพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบถึงค่าของเสียงที่สารารณนำมาใช้งานจริงได้ โดยที่ยึดหลักตามทฤษฎีที่ใช้
4. การสรุปผลการทดลองจากโครงการนี้ เป็นการกล่าวถึงภาพรวมของโครงการนี้
5. นำการทดลองไปประยุกต์ใช้งานจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ประเภทของสัญญาณ

สัญญาณเป็นฟังก์ชันที่ใช้แสดงปริมาณทางกายภาพ โดยในทางคณิตศาสตร์นั้นเป็นสัญญาณที่ถูกใช้แสดงฟังก์ชันที่มี t เป็นตัวแปรอิสระ เมื่อ t คือเวลา ดังนั้นสัญญาณในความหมายทางคณิตศาสตร์จึงหมายถึง ฟังก์ชันของเวลา t โดยจะเขียนแทนด้วย $x(t)$

2.1.1 สัญญาณที่มีความต่อเนื่องเชิงเวลาและไม่ต่อเนื่องเชิงเวลา

สัญญาณ $x(t)$ จะเป็นสัญญาณที่มีความต่อเนื่องทางเวลา (Continuous-Time) ก็ต่อเมื่อ t เป็นตัวแปรที่มีความต่อเนื่อง ซึ่งจะเป็นนัยที่ตรงข้ามกับสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่อง เมื่อมีค่าเวลา t ที่ไม่ต่อเนื่อง ซึ่งจะถูกกำหนดด้วยค่าเวลาที่ขาดความต่อเนื่อง ในบางครั้งสัญญาณแบบนี้จึงหมายถึงอันดับของสัญญาณหรือจำนวนซีเควน (Sequence Number) ของสัญญาณ และสามารถแทนด้วยสัญลักษณ์ $\{x(n)\}$ หรือ $x[n]$ เมื่อ n คือจำนวนเต็ม

2.1.2 สัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิทัล

สัญญาณอนาล็อก คือ สัญญาณ $x(t)$ ที่มีความต่อเนื่องเชิงเวลาและมีค่าอยู่ในช่วง a, b (ซึ่ง a จะมีค่าอยู่ในช่วง $-\infty$ และ b ก็อาจจะเท่ากับ $+\infty$) และในทางกลับกัน ถ้าหากว่า $x[n]$ ไม่มีความต่อเนื่องในเชิงเวลาแล้ว สัญญาณ $x[n]$ จะถูกเรียกว่า สัญญาณดิจิทัล

2.1.3 สัญญาณจริงและสัญญาณเชิงซ้อน

$x(t)$ จะเป็นสัญญาณจริงเมื่อสัญญาณนั้นมีค่าเป็นจำนวนจริง (Real Number) และจะเป็นค่าสัญญาณเชิงซ้อน ถ้าหากว่าสัญญาณนั้นมีค่าเป็นจำนวนซ้อน (Complex Number)

2.1.4 สัญญาณที่ทราบค่าแน่นอนและไม่ทราบค่าแน่นอน

สัญญาณที่ทราบค่าแน่นอน คือ สัญญาณที่เราสามารถทราบค่าเวลา ω เวลาใดๆได้อย่างแน่นอน ซึ่งถ้าหากว่าสัญญาณนั้นมีค่าได้จากการสุ่ม ซึ่งอาจจะเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ สัญญาณประเภทนั้นจะถูกเรียกว่า สัญญาณที่ไม่ทราบค่าแน่นอน

2.1.5 สัญญาณพลังงานและสัญญาณกำลังงาน

นิยามพลังงานของสัญญาณ คือ

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt \quad (2.1)$$

นิยามกำลังงานของสัญญาณ คือ

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |x(t)|^2 dt \quad (2.2)$$

สัญญาณ $x(t)$ จะเป็นสัญญาณพลังงานก็ต่อเมื่อ

1. $0 < E < \infty$
2. พลังงาน (E) มีค่าจำกัด
3. กำลังงาน (P) มีค่าเป็นศูนย์

สัญญาณ $x(t)$ จะเป็นสัญญาณกำลังงานก็ต่อเมื่อ

1. $0 < P < \infty$
2. พลังงาน (P) มีค่าจำกัด
3. กำลังงาน (E) มีค่าเป็นอนันต์

2.1.6 สัญญาณคาบเวลาและสัญญาณไม่มีคาบเวลา

สัญญาณคาบเวลา คือ สัญญาณ $x(t)$ ที่มีคาบเวลา T_0 เป็นบวก

$$x(t + T_0) = x(t) \quad (2.3)$$

โดยที่ T_0 และเป็นส่วนกลับกับความถี่พื้นฐาน f_0

$$f_0 = \frac{1}{T_0} \text{ hertz (Hz)} \quad (2.4)$$

เขียนใหม่เป็น

$$x(t + nT_0) = x(t) \quad (2.5)$$

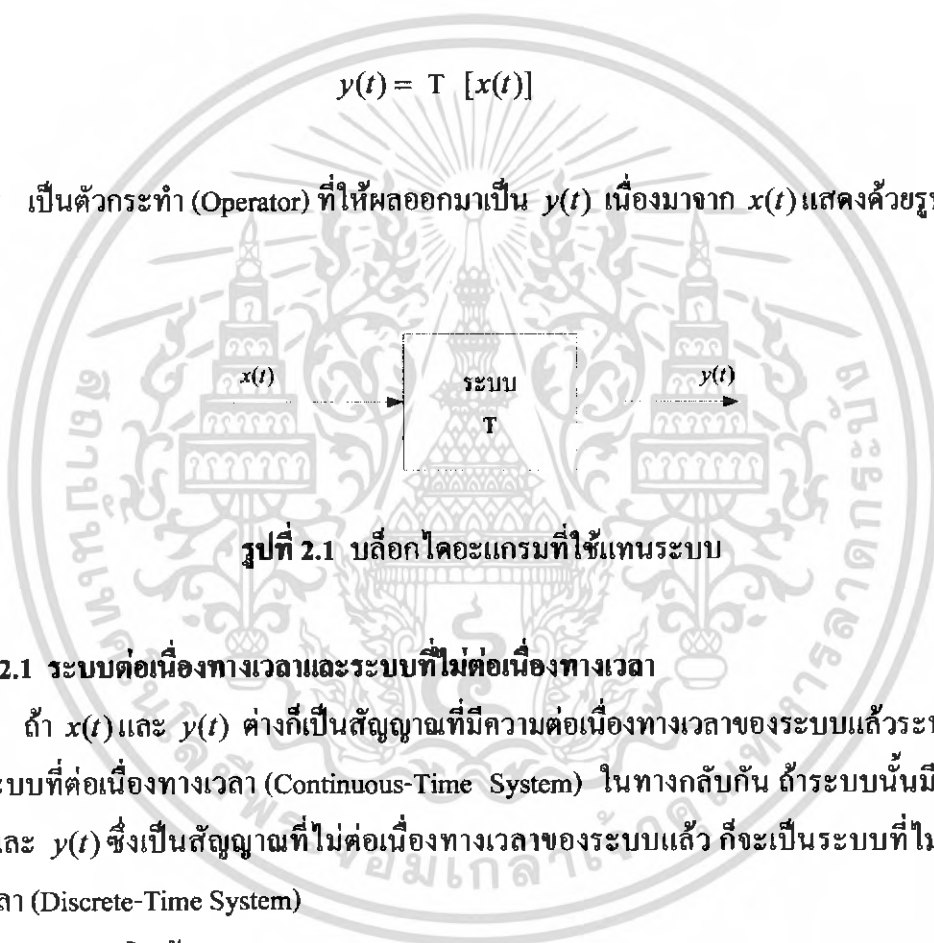
ซึ่งถ้าหากว่าสัญญาณใดๆ ไม่มีค่าเป็นไปตามเงื่อนไขข้างต้นก็หมายความว่า สัญญาณนั้นเป็นสัญญาณไม่มีคาบเวลา

2.2 ประเภทของระบบ

ระบบ คือ การจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการทางกายภาพเพื่อแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณอินพุต (Input Signal) กับสัญญาณเอาต์พุต (Output Signal) ถ้าให้ $x(t)$ คือสัญญาณอินพุตและ $y(t)$ คือ สัญญาณเอาต์พุต จะสามารถแสดงระบบได้ดังสมการ

$$y(t) = T [x(t)] \quad (2.6)$$

เมื่อ T เป็นตัวกระทำ (Operator) ที่ให้ผลออกมาเป็น $y(t)$ เนื่องมาจาก $x(t)$ แสดงด้วยรูปข้างล่าง



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมที่ใช้แทนระบบ

2.2.1 ระบบต่อเนื่องทางเวลาและระบบที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา

ถ้า $x(t)$ และ $y(t)$ ต่างก็เป็นสัญญาณที่มีความต่อเนื่องทางเวลาของระบบแล้วระบบนั้นจะเป็นระบบที่ต่อเนื่องทางเวลา (Continuous-Time System) ในทางกลับกัน ถ้าระบบนั้นมีสัญญาณ $x(t)$ และ $y(t)$ ซึ่งเป็นสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลาของระบบแล้ว ก็จะเป็นระบบที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา (Discrete-Time System)

2.2.2 ระบบเชิงเส้น

พิจารณาสมการของระบบ ข้างล่าง

$$y(t) = T [x(t)] \quad (2.7)$$

ถ้าหากว่าตัวกระทำของระบบ ซึ่งก็คือ $x(t)$ และ $y(t)$ เป็นไปตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้แสดงว่าเป็นระบบเชิงเส้น

คุณสมบัติการบวก (additivity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T [x_1(t) + x_2(t)] = T [x_1(t)] + T [x_2(t)] = y_1(t) + y_2(t) \quad (2.8)$$

สำหรับทุกสัญญาณ $x_1(t)$ และ $x_2(t)$

คุณสมบัติเอกพันธ์ (Homogeneity)

$$T [ax(t)] = a T [x(t)] = ay(t) \quad (2.9)$$

สำหรับทุกสัญญาณ $x(t)$ และทุกค่าของ a

2.2.3 ระบบไทม์อินวาเรียน

ระบบไทม์อินวาเรียน (Time-Invariant System) หรือ ระบบคงที่ (Fixed System)

$$T [x(t-t_0)] = y(t-t_0) \quad (2.10)$$

เมื่อ t_0 เป็นค่าคงที่ใดๆ

2.2.4 ระบบไทม์อินวาเรียนที่เป็นเชิงเส้น

ถ้าระบบที่เป็นเชิงเส้นและเป็นระบบที่เป็นไทม์อินวาเรียนแล้ว จะเรียกระบบนั้นว่าเป็นระบบไทม์อินวาเรียนที่เป็นเชิงเส้น หรือเรียกสั้นๆว่า LTI

2.3 ฟังก์ชันซิงกูลาร์

ฟังก์ชันซิงกูลาร์ บางครั้งเรียกว่า ฟังก์ชันเจนเนอเรตไลซ์ ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาเพียง 2 ชนิด คือ ฟังก์ชันสเต็ปหนึ่งหน่วย (Unit Step Function) และฟังก์ชันอิมพัลซ์หนึ่งหน่วย (Unit Impulse Function)

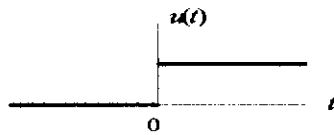
2.3.1 ฟังก์ชันสเต็ปหนึ่งหน่วย

ฟังก์ชันสเต็ปหนึ่งหน่วย สามารถนิยามได้เป็น

$$u(t) = \begin{cases} 1 & t > 0 \\ 0 & t < 0 \end{cases} \quad (2.11)$$

ลักษณะฟังก์ชันแสดงดังรูปต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ฟังก์ชันสเต็ปหนึ่งหน่วย

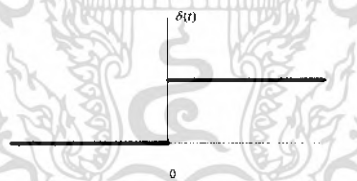
จากรูปจะเห็นว่า ฟังก์ชันจะมีค่าไม่ต่อเนื่องที่เวลา $t = 0$ นั่นคือเราไม่สามารถหาค่าฟังก์ชันที่เวลาที่ $t = 0$ ได้

2.3.2 ฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วย

บางครั้งจะเรียกว่า ฟังก์ชัน "ไคร้ก เดลต้า" (Dirac delta Function) หรือ $\delta(t)$ โดยมีนิยามดังนี้

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi(t) \delta(t) dt = \phi(0) \quad (2.12)$$

เมื่อ $\phi(t)$ คือฟังก์ชันทดสอบใดๆ ที่มีความต่อเนื่อง ณ จุดเวลา $t = 0$ โดยนิยาม $\delta(t)$ สามารถพิจารณาเป็นพื้นที่หนึ่งหน่วยและมีความกว้างเล็กมากจนทำให้ความสูงเป็นอนันต์ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่



รูปที่ 2.3 ฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วย

2.3.3 อนุพันธ์ของฟังก์ชันซิงกูลาร์

ถ้า $g(t)$ เป็นฟังก์ชันเจนเนอรัลไลซ์แล้ว $g(t)$ คือ $g'(t)$ จะสามารถนิยามได้ดังความสัมพันธ์ข้างล่างนี้ คือ

$$\int_{-\infty}^{\infty} g'(t) \phi(t) dt = - \int_{-\infty}^{\infty} g(t) \phi'(t) dt \quad (2.13)$$

เมื่อ $\phi'(t)$ คืออนุพันธ์ของ $\phi(t)$ โดยที่สามารถหาอนุพันธ์ของฟังก์ชันอิมพัลส์หนึ่งหน่วย หรือ $\delta(t)$ ได้จาก

$$\delta(t) = u'(t) = \frac{du(t)}{dt} \quad (2.14)$$

2.4 อนุกรมฟูรีเยร์

2.4.1 อนุกรมฟูรีเยร์ในรูปคอมเพล็กซ์เอกซ์โพเนนเชียล

ให้ $x(t)$ เป็นสัญญาณคาบเวลาเป็น T_0 แล้วสามารถนิยามอนุกรมฟูรีเยร์ของ $x(t)$ รูปคอมเพล็กซ์เอกซ์โพเนนเชียลได้ดังนี้

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{jn\omega_0 t} \quad (2.15)$$

เมื่อ $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} = 2\pi f_0$ คือ ความถี่เชิงมุมพื้นฐาน

c_n คือ สัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูรีเยร์ ที่สามารถหาได้จาก

$$c_n = \frac{1}{T_0} \int_{t_0}^{t_0+T_0} x(t) e^{-jn\omega_0 t} dt \quad (2.16)$$

เมื่อ t_0 คือค่าเวลาใดๆ ซึ่งให้ $t_0 = \frac{T_0}{2}$ จะได้ว่า

$$c_n = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} x(t) e^{-jn\omega_0 t} dt \quad (2.17)$$

2.4.2 สเปกตรัมความถี่

ถ้าสัญญาณคาบเวลามีค่าเป็นจำนวนจริงแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูรีเยร์หรือ c_n จะมีค่าเป็น

$$c_n = |c_n| e^{j\theta_n} \quad \text{และ} \quad c_n = |c_n| e^{-j\theta_n} \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $|c_n|$ คือ ขนาดของแอมพลิจูด (Amplitude)

θ_n คือ ค่าของมุม c_n และ c_n^* คือ ค่าสังยุคของ c_n

โดยที่ $|c_n| = |c_{-n}|$ และ $\theta_n = -\theta_{-n}$ และกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $|c_n|$ กับ ω เรียกว่าแอมพลิจูดสเปกตรัมของสัญญาณ $x(t)$ ส่วนกราฟที่พล็อตเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง θ_n กับ ω เรียกว่าเฟสสเปกตรัมของสัญญาณ $x(t)$ ซึ่งทั้งสองกราฟเรียกรวมกันว่า สเปกตรัมความถี่ และเนื่องจาก n เป็นจำนวนเต็ม สเปกตรัมความถี่จึงสามารถหาได้จาก $n\omega_0$ ได้

2.4.3 การแปลงฟูเรียร์

ให้สัญญาณ $x(t)$ เป็นสัญญาณไม่มีคาบเวลา จะนิยามการแปลงอนุกรมฟูเรียร์ด้วยสัญลักษณ์ F ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$X(\omega) = F[x(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad (2.19)$$

จากสมการข้างต้นสามารถแปลงสัญญาณดังกล่าวจากโดเมนความถี่กลับมาเป็น โดเมนเวลาได้โดยใช้อินเวอร์สของการแปลงฟูเรียร์ ซึ่งใช้สัญลักษณ์เป็น F^{-1} มีรูปแบบดังสมการข้างล่าง

$$x(t) = F^{-1}[X(\omega)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega)e^{j\omega t} d\omega \quad (2.20)$$

จากสมการที่ 2.19 และ 2.20 เรียกว่าคู่การแปลงฟูเรียร์

$$x(t) \longleftrightarrow X(\omega) \quad (2.21)$$

ซึ่งสามารถเขียน $X(\omega)$ ในรูปของแอมพลิจูดและเฟสได้ดังสมการข้างล่าง คือ

$$X(\omega) = |X(\omega)| e^{-j\theta(\omega)} \quad (2.22)$$

และ

$$\theta(-\omega) = -\theta(\omega) \quad (2.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 คุณสมบัติการแปลงฟูเรียร์

คุณสมบัติเชิงเส้น (Linearity หรือ Superposition)

$$a_1x_1(t) + a_2x_2(t) \longleftrightarrow a_1X_1(\omega) + a_2X_2(\omega) \quad (2.24)$$

เมื่อ a_1 และ a_2 เป็นค่าคงที่

คุณสมบัติไทม์ชิฟต์ (Time Shifting)

$$x(t-t_0) \longleftrightarrow X(\omega)e^{-j\omega t_0} \quad (2.25)$$

คุณสมบัติฟรีแควนซีชิฟต์ (Frequency Shifting)

$$x(t)e^{j\omega_0 t} \longleftrightarrow X(\omega - \omega_0) \quad (2.26)$$

คุณสมบัติสเกลลิง (Scaling)

$$x(at) \longleftrightarrow \frac{1}{|a|} X\left(\frac{\omega}{a}\right) \quad (2.27)$$

คุณสมบัติไทม์รีเวอร์ซอล

$$x(-t) \longleftrightarrow X(-\omega) \quad (2.28)$$

คุณสมบัติดูอัลิตี้

$$X(t) \longleftrightarrow 2\pi x(-\omega) \quad (2.29)$$

คุณสมบัติดิฟเฟอเรนเชียล (Differentiation)

1. ดิฟเฟอเรนเชียลทางเวลา (Time Differentiation)

$$x'(t) = \frac{d}{dt} x(t) \longleftrightarrow j\omega X(\omega) \quad (2.30)$$

2. ดิฟเฟอเรนเชียลทางความถี่ (Frequency Differentiation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(-jt)x(t) \longleftrightarrow X'(\omega) = \frac{d}{d\omega} X(\omega) \quad (2.31)$$

คุณสมบัติอินทิเกรต (Integration)

$$\int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) d\tau \longleftrightarrow \frac{1}{j\omega} X(\omega) + \pi X(0)\delta(\omega) \quad (2.32)$$

2.5 การวิเคราะห์ฟูรีเยร์ (Fourier Analysis)

การแทน Signal (function) ด้วย Fourier สำหรับการประมวลผลสัญญาณทั้งต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง เป็นวิธีการ mapping signal จากโดเมนหนึ่งไปยังอีกโดเมนหนึ่ง (โดเมนความถี่) DTFT ถ้า $x(n)$ สามารถหาผลรวมของค่าสมบูรณ์ นั่นคือ

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} |x(n)| < \infty \quad (2.33)$$

ดังนั้น DTFT ของ $x(n)$ ซึ่งเขียนนิยามได้ดังนี้

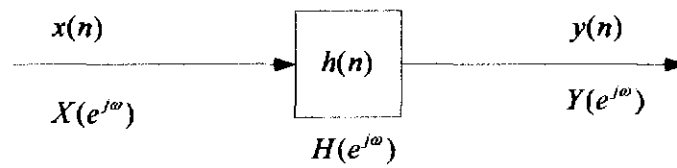
$$\begin{aligned} X(e^{j\omega}) &= F[x(n)] \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n) \cdot e^{j\omega \cdot n} \end{aligned} \quad (2.34)$$

และผลการแปลงกลับ IDTFT ของ $X(e^{j\omega})$ คือ

$$x(n) = F^{-1}[X(e^{j\omega})] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(e^{j\omega}) e^{j\omega n} d\omega \quad (2.35)$$

2.5.1 การวิเคราะห์ฟูรีเยร์ของระบบ LT (Fourier Domain (Analysis) of LTI System)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ระบบ LTI

ผลลัพธ์ตอบสนองใน TD จะเป็น

$$\begin{aligned}
 y(n) &= h(n) \otimes x(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(k) \cdot x(n-k) \\
 &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(k) \cdot e^{j\omega(n-k)} = e^{jn\omega} \cdot \sum_{k=-\infty}^{\infty} h(k) \cdot e^{-jk\omega} \\
 & \qquad \qquad \qquad H(e^{j\omega})
 \end{aligned} \tag{2.36}$$

จะได้ว่า

$$Y(e^{j\omega}) = H(e^{j\omega}) \cdot X(e^{j\omega}) \tag{2.37}$$

จากคุณสมบัติของ F.T

$$\begin{aligned}
 y(n) &= x(n) \otimes h(n) \\
 Y(e^{j\omega}) &= X(e^{j\omega}) \cdot H(e^{j\omega})
 \end{aligned} \tag{2.38}$$

และให้

$$H(e^{j\omega}) = \frac{Y(e^{j\omega})}{X(e^{j\omega})} \quad : \text{ Frequency Response (Transfer function ของระบบ)} \tag{2.39}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น เราสามารถหา $H(e^{j\omega})$ ได้จากการหา D.T.F.T ของ impulse response ($h(n)$) คือ

$$H(e^{j\omega}) = F[h(n)] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n) \cdot e^{j\omega n} \quad (2.40)$$

โดยทั่วไป $H(e^{j\omega})$ เป็น complex-value ดังสมการ

$$\begin{aligned} H(e^{j\omega}) &= H_R(e^{j\omega}) + j \cdot H_I(e^{j\omega}) \\ &= |H(e^{j\omega})| \cdot e^{j\phi_H(\omega)} \end{aligned} \quad (2.41)$$

และ Magnitude squared response มีค่าคือ

$$\begin{aligned} |H(e^{j\omega})|^2 &= |H(e^{j\omega}) \cdot H^*(e^{j\omega})| \\ &= H_R^2(e^{j\omega}) + H_I^2(e^{j\omega}) \end{aligned} \quad (2.42)$$

และ Magnitude response ของ D.T.S ใดๆ คือ

$$|H(e^{j\omega})| = |H(e^{j\omega}) \cdot H^*(e^{j\omega})|^{1/2} \quad (2.43)$$

โดยที่ ผลตอบสนองทางเฟส (Phase response) ของ D.T.S ใดๆ คือ

$$\begin{aligned} \phi_H(\omega) &= \tan^{-1} \left[\frac{H_I(e^{j\omega})}{H_R(e^{j\omega})} \right] \\ &= \tan^{-1} \left[\frac{\text{Im}\{H(e^{j\omega})\}}{\text{Re}\{H(e^{j\omega})\}} \right] \end{aligned} \quad (2.44)$$

และ Group delay response ของ D.T.S ใดๆ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau_H(\omega) = -\frac{d[\phi_H(\omega)]}{d\omega} \quad (2.45)$$

2.6 การหาสมการคำตอบของสมการสเตท

สำหรับระบบที่เป็น L.I.T จะมีสมการตัวแปรสถานะ (state variable equations) คือ

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A \cdot x(k) + b \cdot u(k) \\ x(n) &= C \cdot x(k) + d \cdot u(k) \end{aligned} \quad (2.46)$$

2.6.1 สมการสถานะ (State Equation) โดยจะกำหนดค่าเริ่มต้น (initial value) ของ state vector ที่เวลาใดๆ สามารถที่หาได้ 2 สถานะ คือ

1. state ที่เวลาใดๆ k
2. Output ที่เวลาใดๆ k_0

กำหนดให้ที่เวลาใดๆ $k = k_0$ จะได้ และ $n = \text{interior value}$ โดยที่ $n = 0, 1, 2, \dots$ และ ที่ $k = k_0$ จะได้ว่า

$$x(k_0 + 1) = A \cdot x(k_0) + b \cdot u(k) \quad (2.47)$$

ที่ $k = k_0 + 1$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} x(k_0 + 2) &= A \cdot x(k_0 + 1) + b \cdot u(k_0 + 1) \\ &= A \cdot [A \cdot x(k_0) + b \cdot u(k_0)] + b \cdot u(k_0 + 1) \\ &= (A^2) \cdot x(k_0) + (Ab) \cdot u(k_0) + (b) \cdot u(k_0 + 1) \end{aligned} \quad (2.48)$$

และที่เวลา $k_0 + n$ ใดๆ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} x(k_0 + n) &= A^n \cdot x(k_0) + A^{(n-1)} \cdot b \cdot u(k_0) + A^{(n-2)} \cdot b \cdot u(k_0 + 1) + \\ &\quad A \cdot b \cdot u(k_0 + n - 2) + b \cdot u(k_0 + n - 1) \end{aligned} \quad (2.49)$$

แทนค่า $k_0 + n$ จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x(k_0+n) = A^n \cdot x(k_0) + A^{(n-1)} \cdot b \cdot u(k_0) + A^{(n-2)} \cdot b \cdot u(k_0+1) + A \cdot b \cdot u(k_0+n-2) + b \cdot u(k_0+n-1) \quad (2.50)$$

แทนค่า $k = k_0 + n$ จะได้

$$x(k) = A^{k-k_0} \cdot x(k_0) + A^{(k-k_0-1)} \cdot b \cdot u(k_0) + A^{(k-k_0-2)} \cdot b \cdot u(k_0+1) + A \cdot b \cdot u(k-2) + b \cdot u(k-1) \quad (2.51)$$

ซึ่งสามารถเขียนสมการ state ที่เวลาใดๆ ในรูปของ closed form ได้เป็น

$$x(k) = A^{k-k_0} \cdot x(k_0) + \sum_{i=k_0}^{k-1} A^{k-i-1} \cdot b \cdot u(i) \quad (2.52)$$

แต่ผลลัพธ์ตอบสนองมีค่าเป็น $y(k) = C \cdot x(k) + d \cdot u(k)$ จะได้ว่า

$$y(k) = C \cdot A^{k-k_0} \cdot x(k_0) + C \cdot \sum_{i=k_0}^{k-1} A^{k-i-1} \cdot b \cdot u(i) + d \cdot u(k) \quad (2.53)$$

2.6.2 สมการผลลัพธ์ (Output)

จะพิจารณาในรูปของการตอบสนอง (response) ประกอบด้วย 2 สมการ คือ

1. การตอบสนอง (response) เนื่องจาก Input signal อย่างเดียว โดย set initial state=0 (convolution response)
2. การตอบสนอง (response) เนื่องจาก initial state อย่างเดียว จากผลการสนองข้างต้นจะได้

$$y_{zs}(k) = C \cdot \sum_{i=k_0}^{k-1} A^{k-i-1} \cdot b \cdot u(i) + d \cdot u(k) \Big|_{x(k_0)=0} \quad (2.54)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตี 72284 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y_{zi}(k) = C \cdot A^{k-k_0} \cdot x(k_0) \Big|_{u(k)=0} \quad (2.55)$$

ถ้าระบบ L.T.I. ไม่มีการสูญเสีย (loss) ใดๆ เรากำหนดให้ initial state ที่เวลาใดๆ คือ

$$x(k) = A^k \cdot x(0) + \sum_{i=0}^{k-1} A^{k-i-1} \cdot b \cdot u(i) ; k_0 = 0 \quad (2.56)$$

ดังนั้นในทำนองเดียวกันเราจะได้สมการ output response คือ

$$y(k) = C \cdot A^{k-k_0} \cdot x(k_0) + C \cdot \sum_{i=0}^{k-1} A^{k-i-1} \cdot b \cdot u(i) + d \cdot u(k) \quad (2.57)$$

2.6.3 การตอบสนองต่ออิมพัลส์และการหาสมการตอบสนองอิมพัลส์

การตอบสนองสัญญาณอิมพัลส์ของระบบ LTI สามารถนิยามได้จากการตอบสนองของระบบเมื่อป้อนสัญญาณอิมพัลส์ $\delta(t)$ เข้าไปเพื่อเป็นสัญญาณอินพุท คือ

$$h(t) = T [\delta(t)] \quad (2.58)$$

ฟังก์ชัน $h(t)$ จะมีค่าเป็นอะไรก็ได้ เรียกว่าอิมพัลส์ (Arbitrary) และไม่จำเป็นต้องเท่ากับศูนย์ที่เวลา $t < 0$ ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากว่า $h(t) = 0$ ที่เวลา $t < 0$ จะเรียกว่าเป็นเคาซัล (Causal)

การหาสมการ Impulse response ทำได้โดยให้ $\delta(0) = u(k)$ และพิจารณาจากสมการ state และเอาที่พุดจะได้ว่า

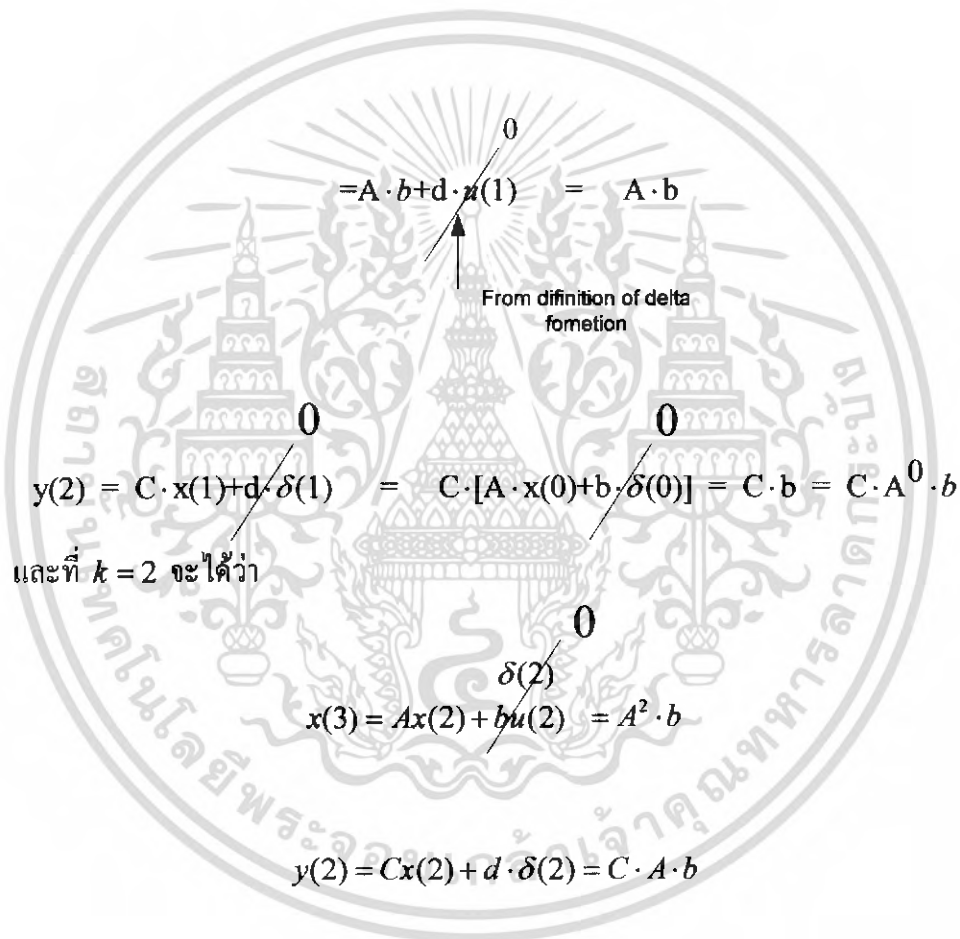
$$\begin{aligned} x(k+1) &= A \cdot x(k) + b \cdot u(k) \\ y(n) &= C \cdot x(n) + d \cdot u(n) \end{aligned} \quad (2.59)$$

สมมติให้ ฟิเตอร์ถูกเริ่มจากการ initial จะได้ $x(0) = 0$ และที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$k=0 \quad x(1) = A \cdot x(0) + b \cdot u(0) \quad 0 + b \cdot \delta(0) = b$$

$$k(0) \quad x(2) = A \cdot x(1) + b \cdot u(0) \quad A \cdot [A \cdot x(0) + b \cdot \delta(0)] + b \cdot u(1)$$



$$= A \cdot b + d \cdot u(1) = A \cdot b$$

From definition of delta formation

$$y(2) = C \cdot x(1) + d \cdot \delta(1) = C \cdot [A \cdot x(0) + b \cdot \delta(0)] = C \cdot b = C \cdot A^0 \cdot b$$

และที่ $k=2$ จะได้ว่า

$$x(3) = Ax(2) + bu(2) = A^2 \cdot b$$

$$y(2) = Cx(2) + d \cdot \delta(2) = C \cdot A \cdot b$$

สรุปได้ว่าที่ลำดับ k ใดๆ

$$x(k) = A^{k-1} \cdot b$$

ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y(k) = C \cdot x(k) + d \cdot u(k) = C \cdot A^{(k-1)} \cdot b \quad (2.60)$$

และเมื่อพิจารณา $h(k)$ จะสามารถแยกเป็น 2 กรณี

$$h(k) = d \quad ; k = 0 \quad (2.61)$$

และ

$$h(k) = C \cdot A^{(k-1)} \cdot b \quad ; k \neq 0 ; k > 0 \quad (2.62)$$

2.7 Discrete-Time Signals

การแทนสัญญาณไม่ต่อเนื่องในเชิงเวลา ใน DSP สัญญาณไฟฟ้าจะถูกแทนด้วยลำดับของจำนวน (ไบนารี) เรียกว่า samples ดังนั้นค่าใดๆของสัญญาณไม่ต่อเนื่องถูกนิยามเป็น $x(n)$ ที่มีค่า argument n เป็นจำนวนเต็มในช่วง $[-\infty, +\infty]$ โดยสามารถแสดงเป็นค่าเวลาจริง (Real Valued) ดังรูปข้างล่าง

รูปที่ 2.5 ค่าเวลาจริงของสัญญาณสุ่ม DTS

2.8 Sampling Rate Alteration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างซีแควน $y[n]$ ใหม่ ที่มีแซมปิงเรทเป็น F_T' ซึ่งอาจมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าอัตราแซมปิงเดิมคือ F_T ซึ่งมีซีแควนเป็น $x[n]$ แล้ว Sampling Rate Alteration Ratio แทนด้วยสัญลักษณ์ R จะได้ว่า

$$R = \frac{F_T'}{F_T} \quad (2.63)$$

ถ้า $R > 1$ จะเรียกกระบวนการนี้ว่า อินเทอโพรเซชัน (Interpolation)

ถ้า $R < 1$ จะเรียกว่าเป็นเดซิเมชัน (Decimation)

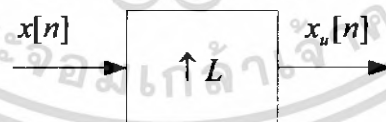
ซึ่งสามารถแบ่งแซมปิงออกเป็น 2 ชนิดได้แก่

2.8.1 การเพิ่มจำนวนแซมเปิล (Up-Sampling)

จะสามารถนิยามได้ค่าระยะทางที่เป็นจำนวนจริง แทนด้วย L ที่มีค่ามากกว่าหนึ่ง และให้ $L-1$ เป็นระยะของแซมเปิล Zero-Valued ซึ่งจะเรียกว่าตัวแซมเปิลออบน (up-sampler) ระหว่างสองแซมเปิลคอนเซคิวทีฟ (Consecutive Sampler) ของอินพุตซีแควน $x[n]$ จะได้ว่า

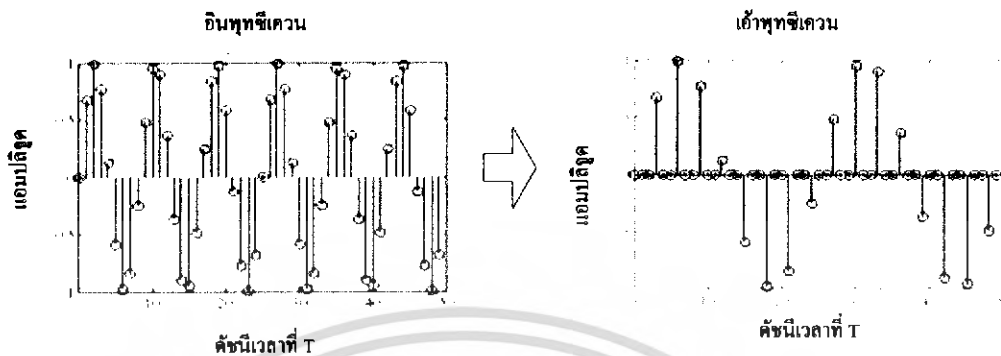
$$x_u[n] = \begin{cases} x[n/L] & ; n = 0, \pm L, \pm 2L, \dots \\ 0 & : \text{อื่นๆ} \end{cases} \quad (2.64)$$

ซึ่งสามารถแสดงเป็นโครงสร้างได้ดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 2.6 แสดงแผนผัง โครงสร้างแซมปิงแบบเพิ่ม (Up-Sampling)

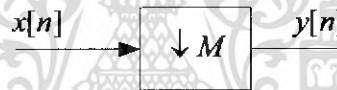
กราฟข้างล่างเป็นกราฟแสดงผลของการแซมปิงแบบบน ซึ่งการป้อนสัญญาณอินพุตซีแควนแบบเพิ่มที่มีแอมพลิจูดค่าหนึ่ง ในช่วงเวลาหนึ่ง แล้วจะได้ผลดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.7 กราฟผลลัพธ์การแซมปีงสัญญาณแบบเพิ่ม (Up-Sampling)

2.8.2 การลดจำนวนแซมเปิลเปิด (Down-Sampling)

นิยามได้ว่าเป็นจำนวนจริง M ที่มีค่ามากกว่าหนึ่ง อินพุตซีเคเวนอันดับที่ M^{th} ทุกค่าจะถูกเก็บค่าเอาไว้ ส่วนค่าอินพุตซีเคเวนที่ $M-1$ จะถูกเอาออกกระหว่างที่มีทำแซมเปิลเปิด ดัง โครงสร้างดังรูปข้างล่าง

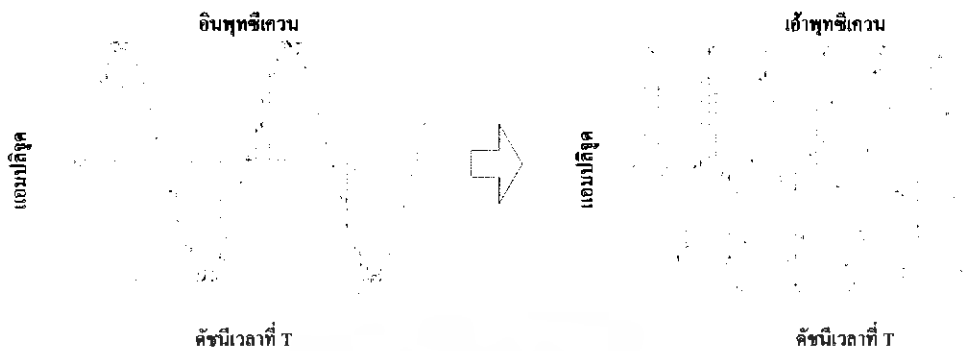


รูปที่ 2.8 แผนผังโครงสร้างของแซมปีงแบบลด (Down-Sampling)

ซึ่งจากนิยามสามารถสรุปได้ว่า

$$y[n] = x[nM] \quad (2.65)$$

กราฟข้างล่างเป็นกราฟแสดงผลของการแซมปีงแบบล่าง ซึ่งการป้อนสัญญาณอินพุตซีเคเวนแบบบนที่มีแอมพลิจูดค่าหนึ่ง ในช่วงเวลาหนึ่ง แล้วจะได้ผลดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.9 กราฟผลลัพธ์การแซมปีงสัญญาณแบบลด (Down-Sampling)

2.9 วงจรกรองความถี่และผลตอบสนอง

ฟิลเตอร์ คือ ระบบที่ค่าตอบสนองทางความถี่ $H(\omega)$ มีนัยสำคัญอยู่ในช่วงใดช่วงหนึ่งที่เท่านั้น โดยสามารถแบ่งเป็น 4 ประเภท ตามย่านความถี่ผ่านได้ ดังนี้

2.9.1 ฟิลเตอร์ความถี่ต่ำผ่านในย่านอุดมคติ

$$H_{LPF}(\omega) = \begin{cases} e^{-j\omega t_d} & ; |\omega| \leq \omega_c \\ 0 & ; |\omega| \text{ อื่นๆ} \end{cases} \quad (2.66)$$

2.9.2 ฟิลเตอร์ความถี่สูงผ่านในย่านอุดมคติ

$$H_{HPF}(\omega) = \begin{cases} e^{-j\omega t_d} & ; |\omega| \geq \omega_c \\ 0 & ; |\omega| \text{ อื่นๆ} \end{cases} \quad (2.67)$$

2.9.3 ฟิลเตอร์แถบความถี่ผ่านในย่านอุดมคติ

$$H_{BPF}(\omega) = \begin{cases} e^{-j\omega t_d} & ; \omega_{c_1} \leq \omega \leq \omega_{c_2} \\ 0 & ; |\omega| \text{ อื่นๆ} \end{cases} \quad (2.68)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.4 ฟิลเตอร์แถบหยุดความถี่ผ่านในย่านอุดมคติ

ฟิลเตอร์ประเภทนี้จะมีการตัดส่วนประกอบในช่วง ω_c และ ω_c ออกไปและยอมให้ส่วนประกอบสัญญาณที่เหลือผ่านไปได้โดยไม่มีการผิดเพี้ยนของสัญญาณแต่อย่างใด

2.10 อีควอลไลเซอร์ (Equalizers)

เป็นการ โพรเซสสัญญาณออกดีโอเพื่อให้เกิดความหลากหลายของรูปแบบเสียงสู่ผู้ฟัง ซึ่งจะมีฟังก์ชันของตัวกรองความถี่ที่มีความซับซ้อน ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่คือแบบที่เป็นรีเคอร์ซีฟอดีโอฟิลเตอร์ (Recursive Audio Filter) และ ไม่เป็นรีเคอร์ซีฟอดีโอฟิลเตอร์ (Non-Recursive Audio Filter)

2.10.1 รีเคอร์ซีฟอดีโอฟิลเตอร์ (Recursive Audio Filter)

จะมีลักษณะเป็น Feedback Loop ออกมา ซึ่งจะพิจารณาทรานเฟอร์ฟังก์ชัน (transfer function) สองลักษณะคือ แบบแรกจะเป็นการรวม (Combination) ของโพล (poles) กับซีโร่ (zero) ให้เป็นทรานเฟอร์ฟังก์ชันอันดับต่ำๆ เพื่อแก้ปัญหาแอบพริอ็อกซิเมท (Approximate Problem) สำหรับแบบที่สองจะเป็นการแทนค่าซีโร่ไปบนระนาบ Z (Placing zeros to z-plane) ซึ่งแบบนี้จะมีค่าซีโร่อยู่ในทรานเฟอร์ฟังก์ชัน ซึ่งเมื่อนำมาใช้ร่วมกับกระบวนการสังเคราะห์สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processing) แล้ว จะมีการออกแบบอีควอไรเซอร์ในลักษณะเอส โดเมน (S-Domain) แล้วค่อยทำการแมป (Mapping) ไปเป็นแซซ โดเมน (Z-Domain) ด้วยวิธีการที่เรียกว่า ไบลิเนียร์ทรานฟอร์มเมชัน (Bilinear Transformation) มีหลายชนิดดังต่อไปนี้

Low-pass/High-pass Filter

จะเป็นสเปกตรัมออกดีโอที่ให้ผลตอบสนองแบบ ซึ่งจะถูกนำมาใช้ในตัวผสมแบบอนาล็อก (Analog Mixer) ซึ่งมีสมการทรานเฟอร์ฟังก์ชันคือ

$$H_{LP}(s) = \frac{1}{S^2 + \frac{1}{Q_\infty} s + 1} \quad (2.69)$$

$$H_{LP}(s) = \frac{1}{S^2 + \frac{1}{Q_\infty} s + 1} \quad (2.70)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ 2.70 และ 2.71 เป็นสมการทรานเฟอร์ฟังก์ชันอันดับที่สอง ของ Low-pass Filter และ High-pass Filter ตามลำดับ

Shelving Filter

จะเป็นการพิจารณาทรานเฟอร์ฟังก์ชันโดยแสดงในรูปแบบน้ำหนักความถี่ โดยจะอาศัยค่าทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรกรองความถี่แบบ All-pass ที่มีการต่อแบบขนาน ซึ่งจะแทนด้วย H_0 โดยที่ จะมีค่าเป็นหนึ่ง

$$H(s) = 1 + \frac{H_0}{s+1} \quad (2.71)$$

ซึ่งอาจใหม่ได้ว่า

$$H(s) = \frac{s+(1+H_0)}{s+1} = \frac{s+V_0}{s+1} \quad (2.72)$$

ซึ่ง V_0 จะเป็นค่าพารามิเตอร์สำหรับการตัดสินใจของแอมพลิไฟเออร์ ณ $\omega = 0$ หรือ $\omega = \infty$ ซึ่งแยกสามารถพิจารณาตามค่า ω ได้ดังนี้

- กรณี $\omega = 0$ โดยถ้า $V_0 < 1$ จะเรียกว่าเป็น Cut Level และถ้าหากว่า $V_0 > 1$ จะเรียกว่าเป็น Boost level
- กรณี $\omega = \infty$ จะเป็นการเพิ่มค่าความชันของกราฟผลตอบสนองที่มีทรานเฟอร์ฟังก์ชันอันดับสอง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการ คือ

$$H(s) = \frac{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}{s^2 + \sqrt{2}s + 1} \quad (2.73)$$

Peak Filter

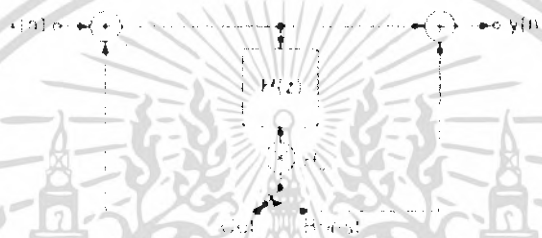
จะมีการพิจารณาทั้ง Boost level และ Cut Level เหมือน Shelving Filter แต่จะเป็นการพิจารณาความถี่ใดๆที่เราต้องการ ซึ่งจะอาศัยของทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวงจรกรองความถี่แบบ band-pass อันดับที่สอง และเมื่อให้ทรานเฟอร์ฟังก์ชันของ band-pass จะสามารถหาทรานเฟอร์ฟังก์ชันของ Peak Filter ได้ดังสมการคือ

$$H_{BP}(s) = \frac{(H_0/Q_\infty)s}{s^2 + \frac{1}{Q_\infty}s + 1} \quad (2.74)$$

$$H(s) = 1 + H_{BP}(s) \quad (2.75)$$

2.10.2 โครงสร้างฟิเตอร์พารามตริกซ์ (Parametric Filter Structures)

จะมีการเข้าถึงพารามตริกซ์ทรานเฟอร์ฟังก์ชันแบบตรง และมีการควบคุมเกนขยาย (Gain) ที่เป็นอิสระ ซึ่งจะมีแบนด์วิดท์ที่เป็นลักษณะแบบไปข้างหน้า (forward) สำหรับการ Boost และมีการย้อนกลับ (feedback) สำหรับกรณี Cut ดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 2.10 โครงสร้างฟิเตอร์ที่มี Boost และ Cut

2.10.3 นอนรีเคอซีฟออกดีโอฟิเตอร์ (Non-Recursive Audio Filter)

จะมีลักษณะเป็น Feedback Loop อยู่ภายใน และจะพิจารณาที่เฟสออกดีโอแบบเป็นเชิงเส้น (phase audio) โดยจะคำนึงถึงประสิทธิภาพแบบ Fast convolution และขั้นตอนของการออกแบบนั้นจะสนใจ output carrier ที่ทั้งขนาดของผลตอบสนองทางความถี่และเฟสเชิงเส้น

2.11 ประเภทของวงจรดิจิทัล Digital Filter Design

Digital filter สามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทได้แก่

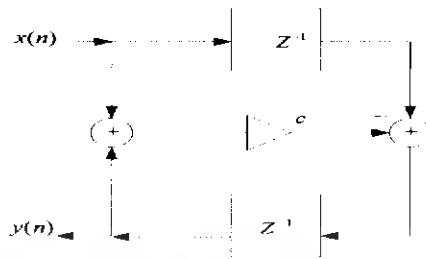
2.11.1 IIR filter

รูปสมการดิฟเฟอเรนเชียลโดยทั่วไปแล้ว คือ

$$y(n) = \sum_{i=1}^M a_i x(n-i) - \sum_{i=1}^M b_i y(n-i) \quad (2.76)$$

และโครงสร้างจะเป็นดังรูปต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 วงจร IIR

และสำหรับกรณีที่เป็นวงจร IIR อันดับที่ 1 จะได้ว่า

$$y(n) = a_0x(n) + a_1x(n-1) - b_1y(n-1) \quad (2.77)$$

และสำหรับกรณีที่เป็นวงจร IIR อันดับที่ 2 จะได้ว่า

$$y(n) = a_0x(n) + a_1x(n-1) + a_2x(n-2) - b_1y(n-1) - b_2y(n-2) \quad (2.78)$$

2.11.2 FIR Filter

โครงสร้างของวงจรกรอง FIR ที่มีความยาว M ประกอบด้วยอุปกรณ์ประวิงเวลาจำนวน $M-1$ ซึ่งเป็นวงจรคูณ M ชุดและวงจรบวกอีก $M-1$ ชุด ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.12 วงจร FIR

ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องออกแบบ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การคูณที่มีทั้งหมด M ตัว ซึ่งสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y[n] = \sum_{k=0}^{M-1} h[k]x[n-k] \quad (2.79)$$

โดยที่ $x[n]$ และ $y[n]$ แทนลำดับสัญญาณที่ด้านขาเข้าและออกตามลำดับของวงจรกรอง FIR และ $h[k], k = 0, 1, \dots, M-1$ เป็นสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองที่บ่งบอกถึงคุณลักษณะอิมพัลส์ (Impulse response) ซึ่งเรียกสมการที่แสดงความสัมพันธ์ทางเวลานี้ว่า สมการผลต่างสืบเนื่อง (difference equation) และหากทำการแปลงสมการข้างต้นแล้ว จะให้ผลเป็นฟังก์ชันถ่ายโอน (transfer function) ของระบบ

$$H(z) = \sum_{k=0}^{M-1} h[k]z^{-k} \quad (2.80)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบ

ในขั้นตอนการออกแบบโครงการเล่มนี้ได้ทำการจัดการออกแบบเป็น 2 ส่วนหลัก โดยในส่วนแรกจะเป็นการศึกษาและการวิเคราะห์โครงสร้างของวงจรกรอง เพื่อที่จะนำมาออกแบบเป็นอิกวอลไลเซอร์ ซึ่งจะอาศัยโปรแกรม Matlab เพื่อการวิเคราะห์ ในส่วนที่สองจะเป็นการประยุกต์การใช้วงจรรวมที่ได้ออกแบบเพื่อการปรับแต่งสัญญาณในรูปคลื่นเสียง และมีการประยุกต์เพื่อการใช้งานด้วยโปรแกรม Matlab Simumlink ร่วมกับ Mex-file เพื่อเชื่อมต่อการใช้งานจริง

3.1 ขั้นตอนการศึกษาและการวิเคราะห์วงจรดิจิทัล IIR ด้วยโปรแกรม Matlab

จะอาศัยอัลกอริทึมในการออกแบบดังนี้

1. ออกแบบค่าพารามิเตอร์เฉพาะดังต่อไปนี้

f_s คือ ค่าสัญญาณสุ่ม (sampling rate)

f_0 คือ ความถี่ ณ จุด boost หรือ cut ที่พิจารณา

Δf คือ แบนด์วิด

G_0 คือ ค่าเกนขยายอ้างอิง (reference gain) ที่ DC

G_1 คือ ค่าเกนขยาย ที่ความถี่นิยามของ Nyquist ซึ่งมีค่าเป็น $f_s/2$

G คือ เกนขยายสูงสุดของ boost หรือ cut ที่ f_0

ซึ่งโดยปกติแล้วการออกแบบวงจรอันดับสอง มักจะกำหนดให้ค่า $G_1 = G_0$ เพื่อเป็นการตั้งค่าเอกภาพ (Unity) แต่ในการออกแบบในโครงการนี้ จะทำการออกแบบให้ G_1 นั้นมีค่าแตกต่างจาก G_0 ด้วยเหตุผลที่การแปลงแบบ bilinear จะทำการ mapping $z = -1$ ไปเป็น $s = \infty$ ดังนั้นจึงทำการออกแบบวงจรอนาล็อกสมมูลให้มีเกนขยาย G_1 ที่ $s = \infty$ แล้วจะได้ สมการทรานเฟอร์ฟังก์ชันเป็น

$$H(s) = \frac{G_1 s^2 + Bs + G_0 W^2}{S^2 + As + W^2} \quad (3.1)$$

2. ให้ G_1 เกิดที่ $s = \infty$ และ G_0 ที่ $s = 0$ โดยที่ ค่าผลตอบสนองสูงสุดจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$|H(\Omega)|^2 = \frac{(G_1\Omega^2 - G_0W^2)^2 + B^2\Omega^2}{(\Omega^2 - W^2)^2 + A^2\Omega^2} \quad (3.2)$$

โดยที่สัมประสิทธิ์ของฟิลเตอร์ คือ A, B, W^2 ซึ่งสามารถหาได้จากค่าพารามิเตอร์ $W = \tan(\omega_0/2)$ ที่ค่าความถี่สูงสุด ภายใต้เงื่อนไข 3 ข้อดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial \Omega^2} |H(\Omega_0)|^2 = 0, \quad |H(\Omega_0)|^2 = G^2, \quad |H(\Omega_0)|^2 = G_B^2 \quad (3.3)$$

ถ้าให้ขอบเขตของแบนด์วิดจาด้านซ้ายและขวาของแบนด์เป็น Ω_1, Ω_2 ตามลำดับจะสามารถหาค่า สัมประสิทธิ์ของวงจรถูกได้จาก

$$W^2 = \sqrt{\frac{G^2 - G_1^2}{G^2 - G_0^2}} \Omega_0^2, \quad B = \sqrt{\frac{G^2 C + G_B^2 D}{|G^2 - G_B^2|}}, \quad A = \sqrt{\frac{C + D}{|G^2 - G_B^2|}} \quad (3.4)$$

โดยที่พารามิเตอร์หลักของวงจรถามเมตริกอควอไลเซอร์ได้จาก

$$C = (V\Omega^2) |G_B^2 - G_1^2| - 2W^2 (|G_B^2 - G_0G_1| - \sqrt{(G_B^2 - G_0^2)(G_B^2 - G_0^2)}) \quad (3.5)$$

$$D = 2W^2 (|G^2 - G_0G_1| - \sqrt{(G^2 - G_0^2)(G^2 - G_1^2)}) \quad (3.6)$$

3. คำนวณหาค่า transfer function จะ ได้เป็น

$$H(z) = \frac{\left(\frac{G_1 + G_0W^2 + B}{1 + W^2 + A}\right) - 2\left(\frac{G_1 - G_0W^2}{1 + W^2 + A}\right)z^{-1} + \left(\frac{G_1 + G_0W^2 + B}{1 + W^2 + A}\right)z^{-2}}{1 - 2\left(\frac{1 - W^2}{1 + W^2 + A}\right)z^{-1} + \left(\frac{1 + W^2 - A}{1 + W^2 + A}\right)z^{-2}} \quad (3.7)$$

ดังนั้นจะสามารถหาค่า G_1 ที่เป็นแกนขยายที่มีค่าพอดีกับความถี่ของ Nyquist ได้ดังสมการ

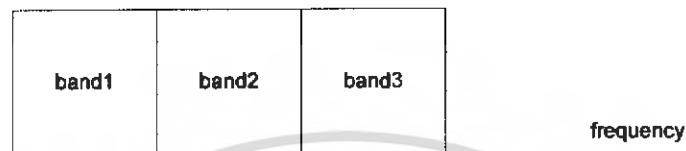
$$G_1^2 = \frac{G_0^2(\omega_0^2 - \pi^2)^2 + G^2\pi^2(V\omega)^2(G_B^2 - G_0^2)/(G^2 - G_B^2)}{(\omega_0^2 - \pi)^2 + \pi^2(V\omega)(G_B^2 - G_0^2)/(G^2 - G_B^2)} \quad (3.8)$$

และเมื่อนำมาต่อแบบอนุกรมเพื่อสร้างเป็นพารามเมตริกอควอไลเซอร์แล้วจะปรับให้ค่า

$G_0 = 1$ ซึ่งจะสมมูลกับวงจรกรองคิจิตอลแบบ Notch เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สร้างการจำลองการแบ่งย่าน ตามรูปข้างล่าง



รูปที่ 3.1 การแบ่งย่านความถี่

5. ขอบเขตของแบนด์วิดท์ที่ออกแบบต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไข

$$G_0^2 < G_B^2 < G^2 \quad (\text{boost}) \quad (3.9)$$

$$G^2 < G_B^2 < G_0^2 \quad (\text{cut}) \quad (3.10)$$

6. กำหนดค่าพารามิเตอร์ G ซึ่งเป็นค่าความถี่ศูนย์กลางที่ ω_0 ของ boost หรือ cut

7. ให้พารามิเตอร์สำหรับการตัดสลิบ $\Delta\omega$ เป็นความกว้างของในช่วงแบนด์วิดท์ที่ระบบ G_B ซึ่งค่า G_B นี้เป็นช่วงที่อยู่ระหว่างค่า G_0 กับ G

8. พิจารณา ω_0 จากความสัมพันธ์ของ $\omega_0 = 2\pi f_c / 10$ โดยที่ ω_0 จะมีอัตราส่วนเป็นของความกว้างที่กำหนดขึ้น

9. นำค่าพารามิเตอร์ G G_0 G_B ที่ได้จากข้อ 2 และ $\Delta\omega$ ที่ได้มาจากข้อ 3 และ ω_0 จากข้อ 5 มาหาค่า ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ generalizes

10. หาค่าพารามิเตอร์ β จาก

$$\beta = \sqrt{\frac{G_B^2 - G_0^2}{G^2 - G_B^2}} \tan\left(\frac{\Delta\omega}{2}\right) \quad (3.11)$$

11. หาค่าพารามิเตอร์ α จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

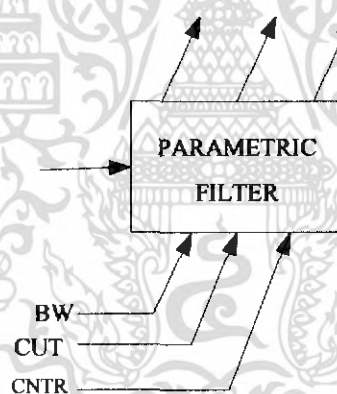
$$\alpha = \sqrt{\frac{G_B^2 - G_0^2}{G^2 - G_B^2}} \Delta\Omega = \sqrt{\frac{G_B^2 - G_0^2}{G^2 - G_B^2}} (1 + \Omega_0^2) \tan\left(\frac{\Delta\omega}{2}\right) \equiv (1 + \Omega_0^2) \beta \quad (3.12)$$

12. นำพารามิเตอร์ที่ได้จากข้อที่ 7 และ 8 มาแทนในสมการ

$$(z) = \frac{\left(\frac{G_0 + G_\beta}{1 + \beta}\right) + \left(\frac{G_0 - G_\beta}{1 + \beta}\right) z^{-1} + \left(\frac{G_0 - G_\beta}{1 + \beta}\right) z^{-2}}{1 - 2\left(\frac{\cos \omega_0}{1 + \beta}\right) z^{-1} + \left(\frac{1 - \beta}{1 + \beta}\right) z^{-2}} \quad (3.13)$$

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์หน้า z ที่เศษและส่วนของสมการ จะเทียบเท่ากับสัมประสิทธิ์ของวงจรที่จะนำมาใช้ในการทดลอง

13. จำลองโมเดลของวงจรกรองขึ้นมามีดังรูป

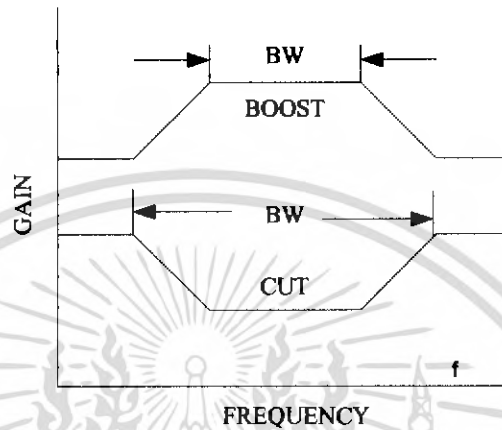


รูปที่ 3.2 พารามเมตริกฟิลเตอร์

โดยที่สามารถอธิบายโครงสร้างดังกล่าวได้ว่า อาศัยค่าสเปกตรัมกึ่งกลาง (spectrum frequency) และแต่ละแบนด์จะถูกปรับและควบคุมด้วยแกนขยาย ซึ่งสามารถปรับระดับ Cut และ Boost เพื่อเป็นการกำหนดทิศทางของผลตอบสนองทางสเปกตรัมของระบบออดิโอ เฟลด์แบลค (Audio Playback) ซึ่งผลตอบสนองที่มีค่า Cut และ Boost แทรกอยู่ในระดับเดียวกันกับย่านที่วงจรถูกอนุญาตให้ผ่านซึ่งจะนำการใช้หลัก พารามเมตริกอิควอไลเซอร์ ซึ่งจะทำให้การควบคุมและการทำงานนั้นมีความเป็นอิสระต่อกัน อีกทั้งยังสามารถปรับเปลี่ยนแบนด์วิดท์ (bandwidth) ความถี่ศูนย์กลาง (Frequency) และระดับค่า Cut และ Boost ได้ภายในแต่ละแบนด์วิดท์เอง

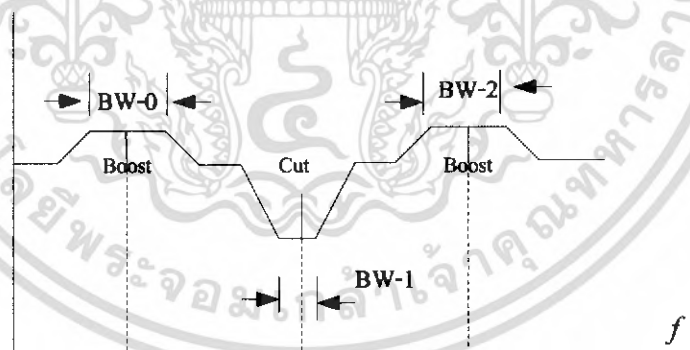
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งกรณีที่เป็น boost จะนิยามให้แบนด์วิดท์สัมพันธ์กับระดับเกนขยายที่เป็น boost ที่ 3 dB และสำหรับกรณี cut ก็จะมีค่า 3 dB ก็เช่นกัน เพียงแต่พิจารณาที่ระดับอ้างอิง (ซึ่งก็คือระดับ cut นั้นเอง) แทนซึ่งความสัมพันธ์จะแสดงได้ดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 3.3 รูปแบบคัตเกนขยาย

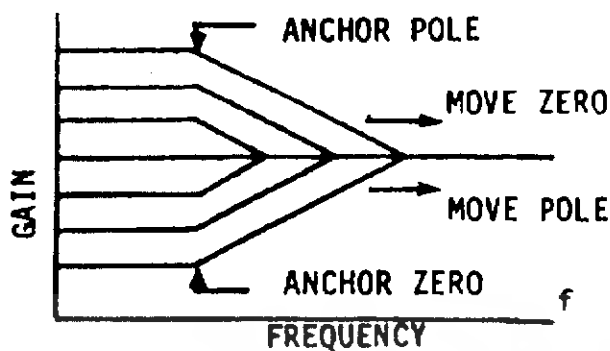
และเมื่อนำทั้ง 3 แบนด์มารวมกัน จะแสดงค่า boost-cut ได้ดังนี้



รูปที่ 3.4 แสดงระดับเกนขยายของทั้งสามแบนด์

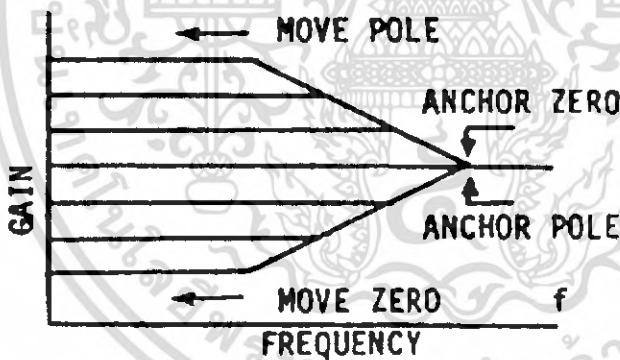
และเมื่อทำการแยกกรณีของ cut และ boost มาพิจารณา โดยที่ให้ค่า Q ที่เป็นค่าคงที่สำหรับทั้งกรณี cut และ boost เทียบกับ ค่าแบนด์ที่คงที่ดังรูปข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แบบคircuit ที่เป็น Boost

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ พบว่าเป็นกรณี boost แล้ว zero และ pole ณ จุด anchor จะมีลักษณะรวมเข้าสู่แกนที่เป็นแนวเคลื่อนที่ จากจุดกำเนิด ($\epsilon_2 < 0$) ในทางตรงกันข้าม ถ้าเป็นกรณีของ cut ก็จะเป็นการเคลื่อนที่จากจุดกำเนิด ในแนวเส้นขนานเมื่อมีค่า $\epsilon_1 < 0$ ซึ่งมีรูปแบบการเคลื่อนที่ดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 3.6 แบบคircuit ที่เป็น Cut

จากการออกแบบจะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นคู่อันดับดังนี้

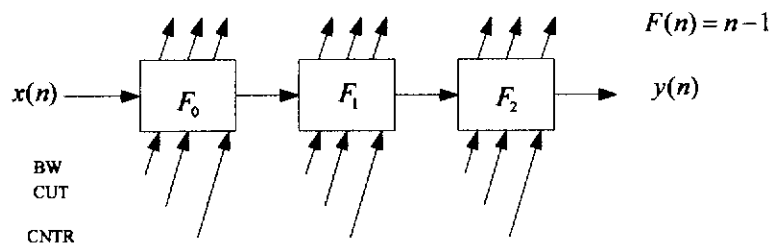
แบบคircuit ที่ 1 $\rightarrow b1 = [b10 \ b11 \ b12] \quad a1 = [1 \ a11 \ a12]$

แบบคircuit ที่ 2 $\rightarrow b2 = [b20 \ b21 \ b22] \quad a1 = [1 \ a21 \ a22]$

แบบคircuit ที่ 3 $\rightarrow b3 = [b30 \ b31 \ b32] \quad a1 = [1 \ a31 \ a32]$

โครงสร้างที่นำมาต่อกันจะเป็นดังรูปต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 การต่ออนุกรมของวงจรกรอง

ซึ่งจากการออกแบบด้วยอัลกอริทึมข้างต้นจะได้รายละเอียดดังนี้

แบนด์ที่ 1 มีคุณสมบัติดังนี้

peak gain = 11.0403 dB

center frequency = 1.1025 kHz

Bandwidth = 0.24704Hz

แบนด์ที่ 2 มีคุณสมบัติดังนี้

peak gain = -12.9508 dB

center frequency = 0.035343 kHz

Bandwidth = 0.03927Hz

แบนด์ที่ 3 มีคุณสมบัติดังนี้

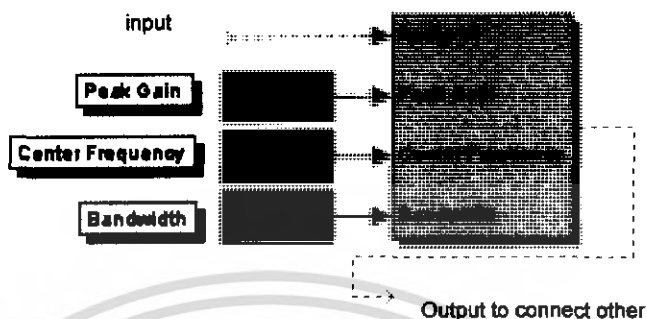
peak gain = 13.4027 dB

center frequency = 2.1833 kHz

Bandwidth = 0.94801Hz

จากโครงสร้างดังกล่าวจะถูกนำมาจัดอยู่ในกรอบของ simulink ใน Matlab ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

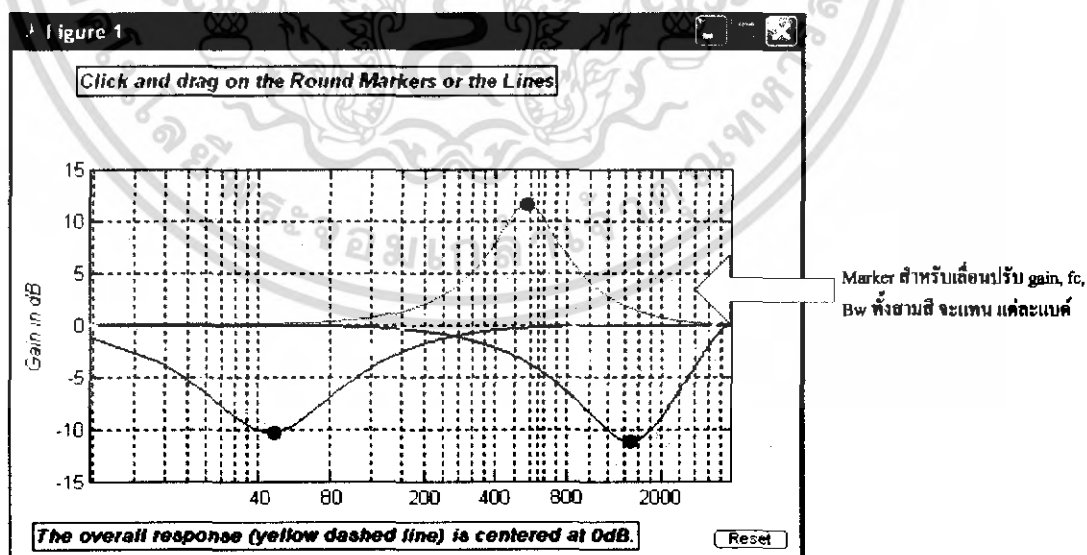


รูปที่ 3.8 โมเดลของแบนด์

จากโมเดลที่จำลองขึ้นนั้นพบว่าสำหรับพารามิเตอร์นั้น โมเดลทุกชุดจะมีค่าเท่ากัน แต่ต่างกันตรงสัมประสิทธิ์ของวงจรแต่ละตัว ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้จะเป็นตัวที่กระทำให้เกิดความแตกต่างคือเอาท์พุท

3.2 การออกแบบหน้าต่าง User Interface

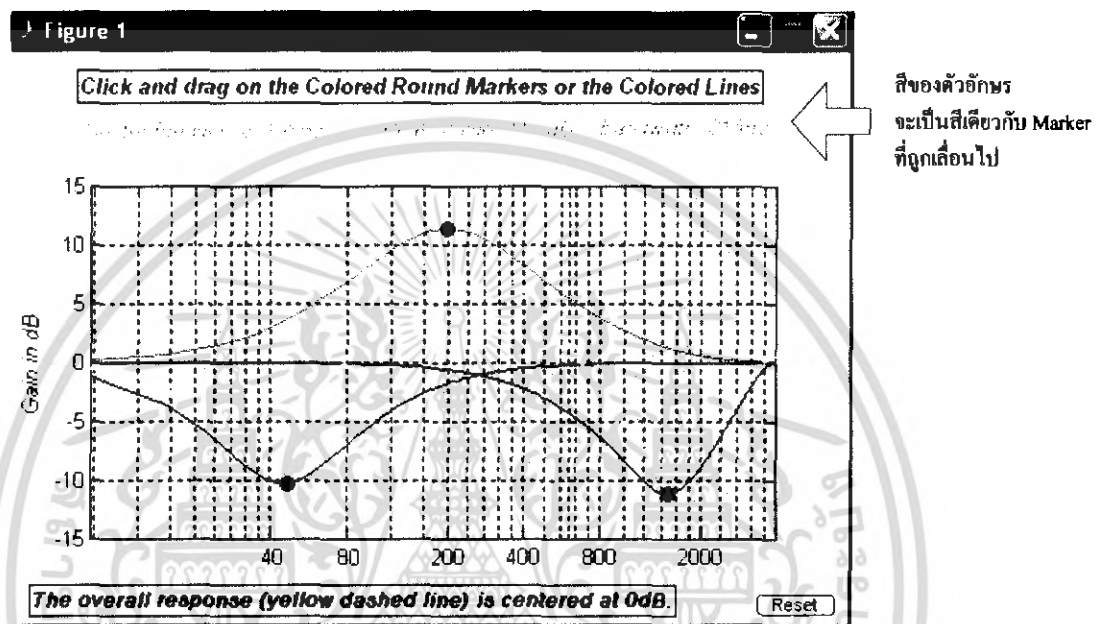
- หน้าต่างปรับความถี่



รูปที่ 3.9 User Interface

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการออกแบบต้องการให้ผู้ใช้งานทำการเลื่อน Marker เพื่อทำการปรับค่าพารามิเตอร์ของแต่ละแบนด์ โดยที่จะสามารถกำหนดความแตกต่างของแต่ละแบนด์ด้วยสีที่ต่างกัน ซึ่งสีค่าแทนแบนด์ที่ 3 สีแดงแทนแบนด์ที่ 1 สีน้ำเงินแทนแบนด์ที่ 2 สำหรับเส้นประสีเหลืองจะแทนค่าผลตอบสนองความถี่



รูปที่ 3.10 รูป User Interface ที่ถูกเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานแล้ว

- หน้าต่างปรับ Gain จะมีการกำหนดช่วงให้เกนขยายต่ำสุดที่ 0 และเกนขยายสูงสุดที่ 1



รูปที่ 3.11 หน้าต่างปรับ Gain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

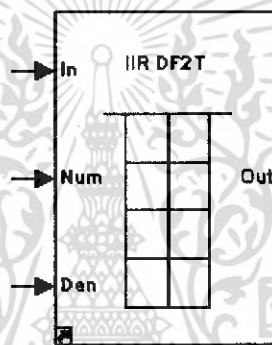
บทที่ 4

การกำหนดคุณลักษณะอิกวอไลเซอร์และ GUI

4.1 การกำหนดคุณสมบัติของวงจรอิกวอไลเซอร์

4.1.1 วงจร IIR

โดยที่สามารถแสดงเป็น โครงสร้างภายในของแต่ละแบนด์ได้ดังนี้

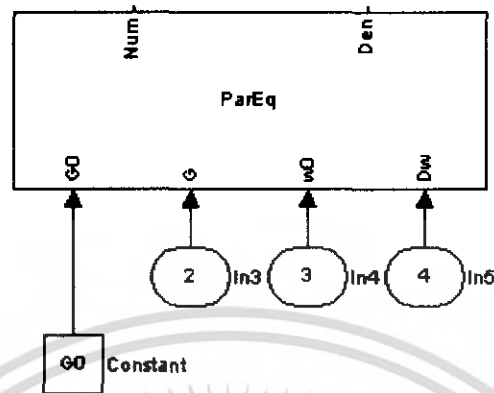


รูปที่ 4.1 โครงสร้างวงจรวงจรกรองความถี่เชิงเลขคอบสนองอย่างเดี่ยวไม่จำกัดจำนวน

จะกำหนดให้มีคุณลักษณะของโครงสร้างแบบมัลติเรท โดยที่จะรับค่าอินพุตซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัลเข้ามาทางพอร์ตที่ 1 ซึ่งก็คือพอร์ต In แล้วรับค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองซึ่งจะสัมพันธ์กับการปรับค่าพารามิเตอร์ของฟิลเตอร์แต่ละตัว เข้ามายังพอร์ตที่ 2 ซึ่งแทนคัพพอร์ต Num และพอร์ต 3 บนโครงสร้าง IIR แต่ละแบนด์ ซึ่งจะทำการเรียกค่าผ่านตัวพารามเมตริกของแต่ละแบนด์

4.1.2 โครงสร้างตัวพารามเมตริก

โครงสร้างตัวพารามเมตริกซึ่งมีโครงสร้างเป็น



รูปที่ 4.2 โมเดลวงจรพารามตริก

โดยที่

G_0 เป็นพอร์ตอินพุทของค่าเกนขยายอ้างอิง (reference gain) ที่ DC กำหนดให้เป็นพอร์ที่ 1

G เป็นพอร์ตอินพุทของค่าเกนขยายสูงสุดของ boost หรือ cut ณ f_0

w_0 เป็นพอร์ตอินพุทที่แสดงการปรับค่าของแต่ละความกว้างของแบนด์ที่ได้กำหนดขึ้น

Dw เป็นพอร์ตอินพุทแสดงความกว้างของ เป็นความกว้างของในช่วงแบนด์วิดที่ถูกปรับค่าไป

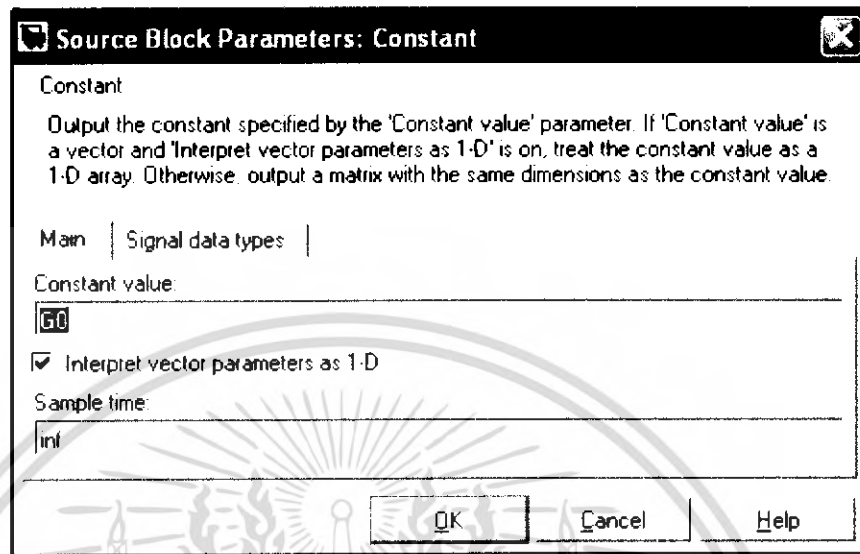
ในแต่ละครั้ง

Num เป็นพอร์ตเอาต์พุทที่จะส่งค่าสัมประสิทธิ์ตัวเศษของวงจรกรองแบนด์นั้นๆออกไปสู่โครงสร้าง IIR ที่ได้สร้างขึ้น

Den เป็นพอร์ตเอาต์พุทที่จะส่งค่าสัมประสิทธิ์ตัวส่วนของวงจรกรองแบนด์นั้นๆออกไปสู่โครงสร้าง IIR ที่ได้สร้างขึ้น

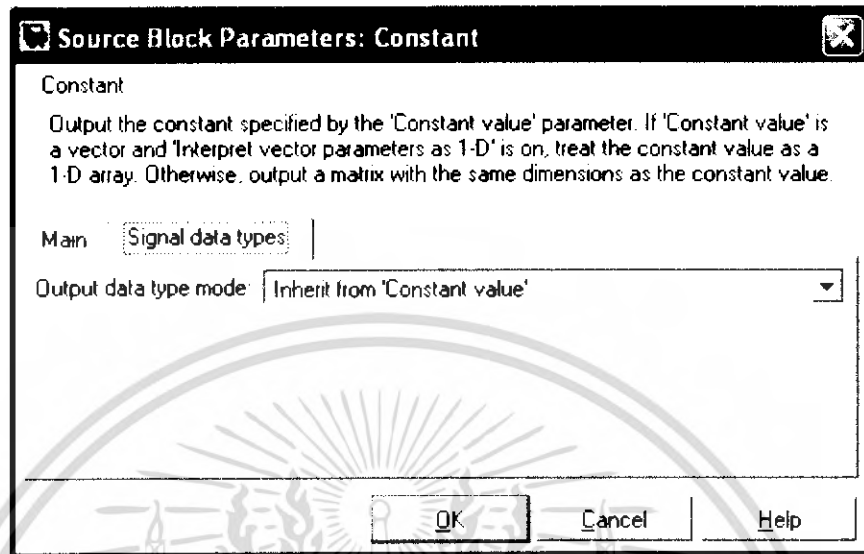
4.1.3 การกำหนดค่าคงที่

ในการออกแบบจะทำการสร้างฟังก์ชันค่าคงที่ชื่อว่า G_0 เพื่อมาเรียกค่าอินพุทของสัญญาณ ซึ่งในการออกแบบต้องการให้มีการกระทำกับสัญญาณตลอดเวลาโดยไม่ขาดความต่อเนื่อง จึงกำหนดค่าในช่อง Sample time เป็น inf ซึ่งต้องการให้เป็นการกระทำแบบอนันต์



รูปที่ 4.3 ค่าคงที่ของ Source Block

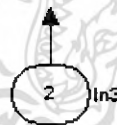
โดยที่ค่าคงที่ที่ได้กำหนดข้างต้นจะต้องการให้ออกมาเป็นลักษณะสัญญาณหนึ่งมิติ ซึ่งสามารถกำหนดให้ค่าเอาต์พุตมีค่าเหมือนกับสัญญาณอินพุต และสามารถทำได้โดยกำหนดค่าลงใน Signal data Type ให้เป็นโหมด inherit from Constant value แล้วจะทำให้ได้เอาต์พุตที่มีขนาดหนึ่งมิติ ลักษณะการกำหนดจะเป็นดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 4.4 กำหนดประเภทสัญญาณเอาต์พุต

4.1.4 การกำหนดอินพุตพอร์ต In3

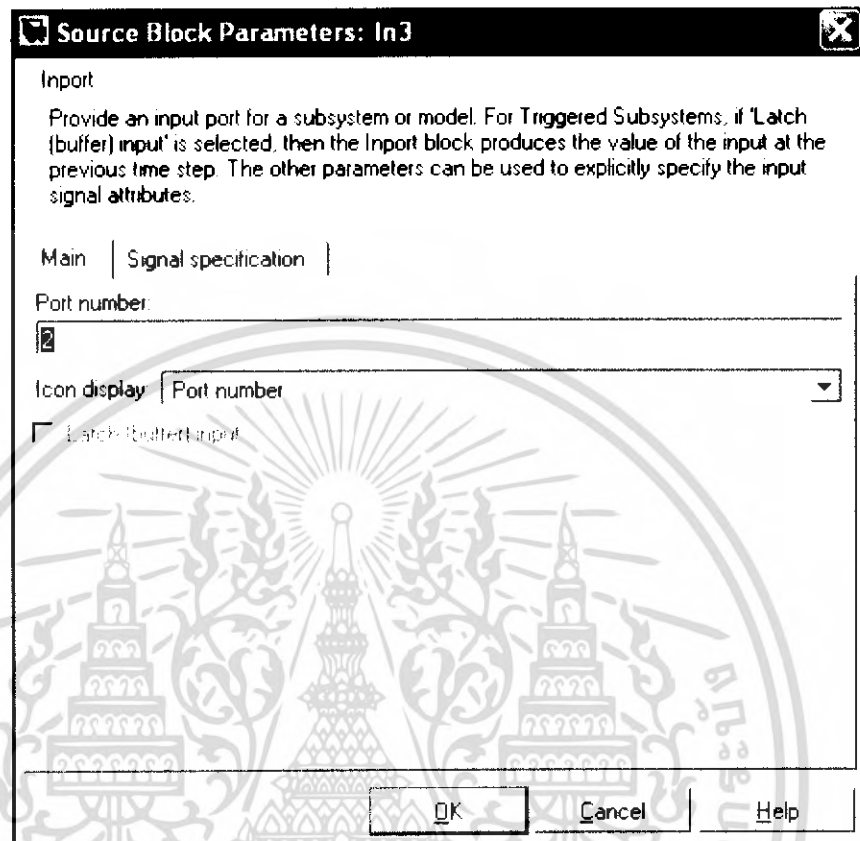
จะเป็นการกำหนดโครงสร้างของตัวบัพเฟอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่พักสัญญาณที่ถูกนำเข้า โดยมีลักษณะดังรูป



รูปที่ 4.5 อินพุตพอร์ต In3

จะสามารถกำหนดค่าในหน้าต่าง Inport ซึ่งเป็นหน้าต่างในช่วงโมเดลย่อย โดยกำหนดหมายเลขพอร์ต ถ้าค่าอินพุตเข้ามาที่อินพุตพอร์ต และตัวอินพุตบล็อกจะสร้างค่าสัญญาณแบบระดับ (step) โดยจะกำหนดหมายเลขพอร์ตให้เป็นพอร์ตหมายเลข 2 ดังรูปต่อไปนี้

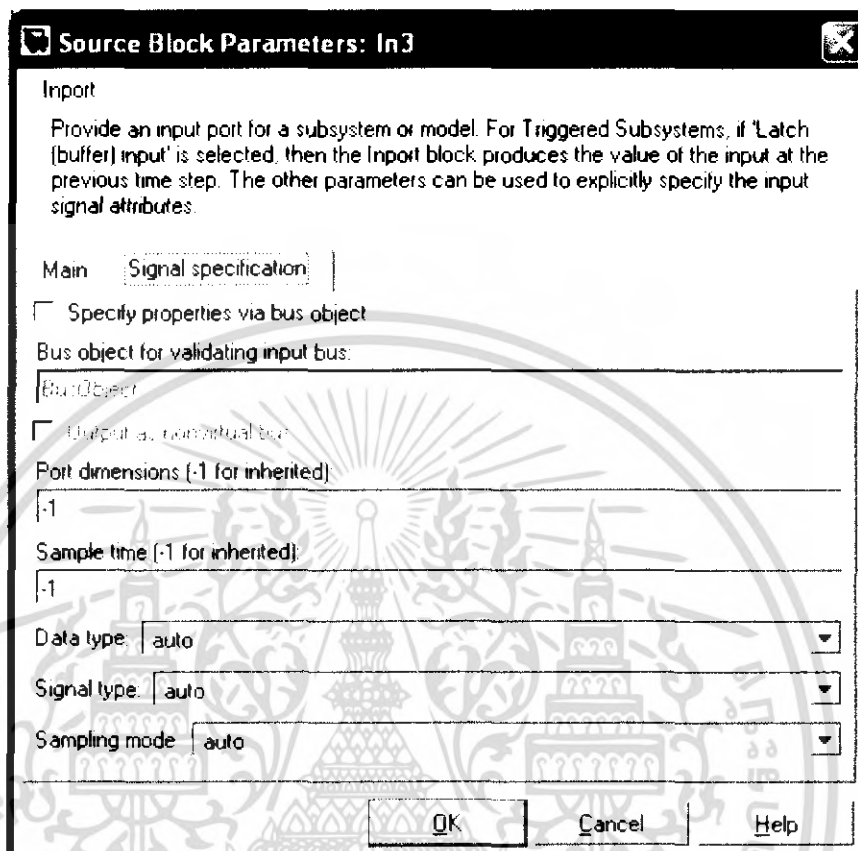
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ค่าPort number In3

สำหรับการกำหนดคุณลักษณะสัญญาณลักษณะ จะกำหนดให้มีค่า -1 ทั้งค่า Port dimension และ Sample time และกำหนดลักษณะของประเภทของ Data Signal Sample signal เป็นค่าอัตโนมัติ ทั้งนี้เพื่อให้รองรับการบริการได้ทุกๆประเภทของอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

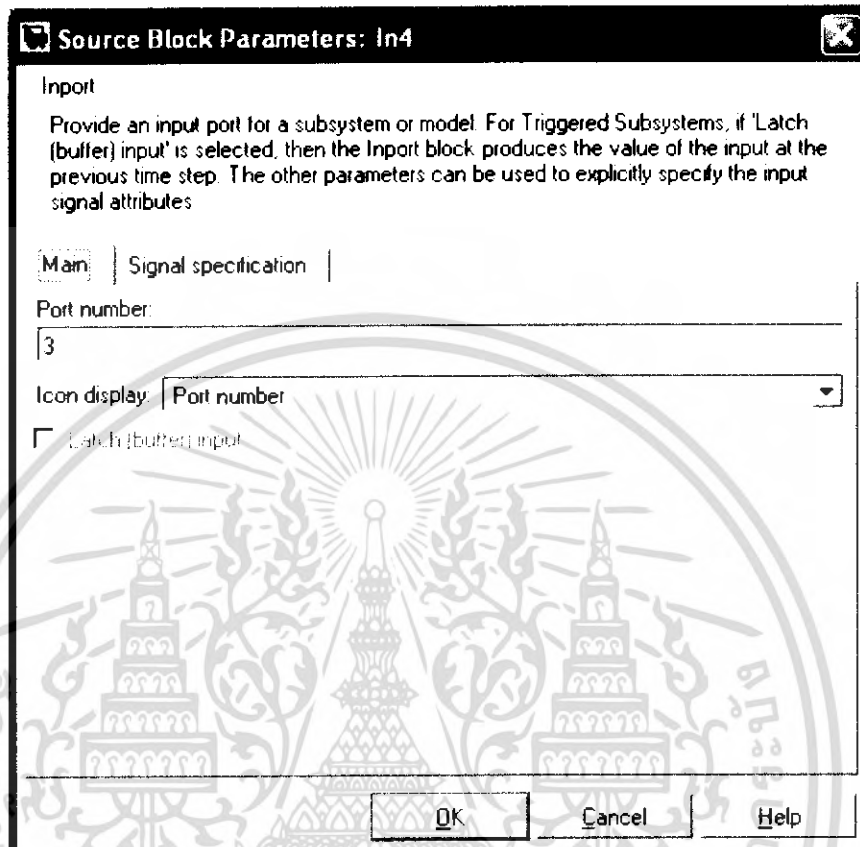


รูปที่ 4.7 กำหนดคุณลักษณะเฉพาะของ In3

4.1.5 การกำหนดอินพุทพอร์ต In4

จะมีการกำหนดคุณสมบัติให้เหมือนกับ อินพุทพอร์ต In3 แต่ต่างกันที่กำหนดค่าหมายเลขพอร์ตเป็นหมายเลข 4 ดังแสดงในรูปหน้าต่างข้างล่าง

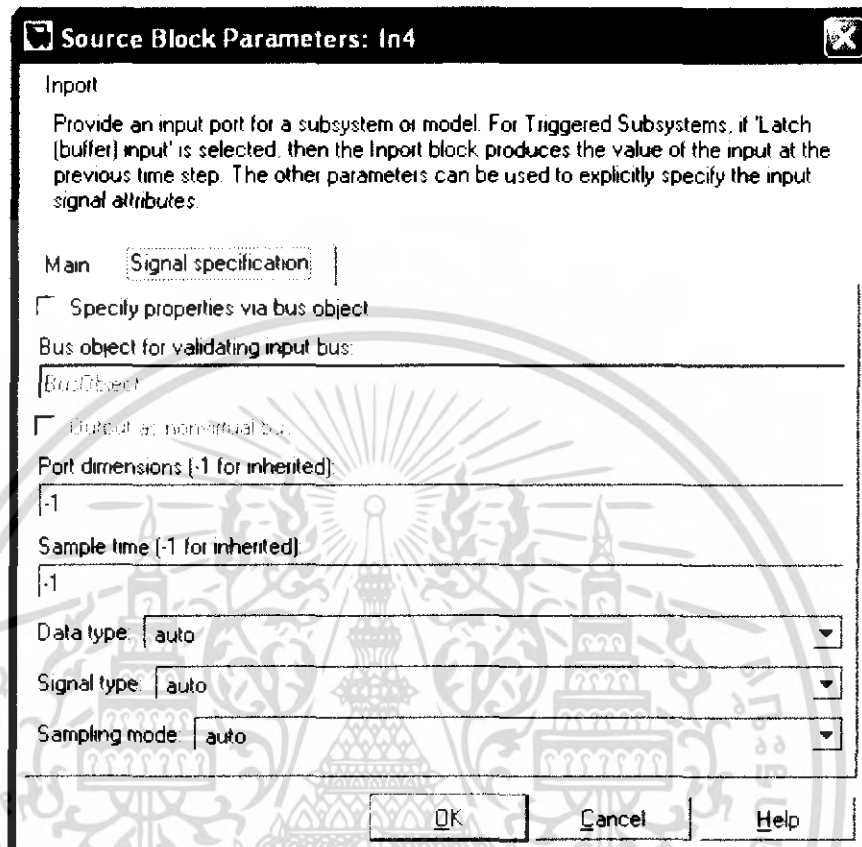
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ค่าPort number In4

ค่าสำหรับการกำหนดคุณลักษณะสัญญาณลักษณะ จะกำหนดให้ ทั้งค่า Port dimension และ Sample time และลักษณะของประเภทของ Data Signal Sample signal จะเหมือนกับการกำหนดในพอร์ต In 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

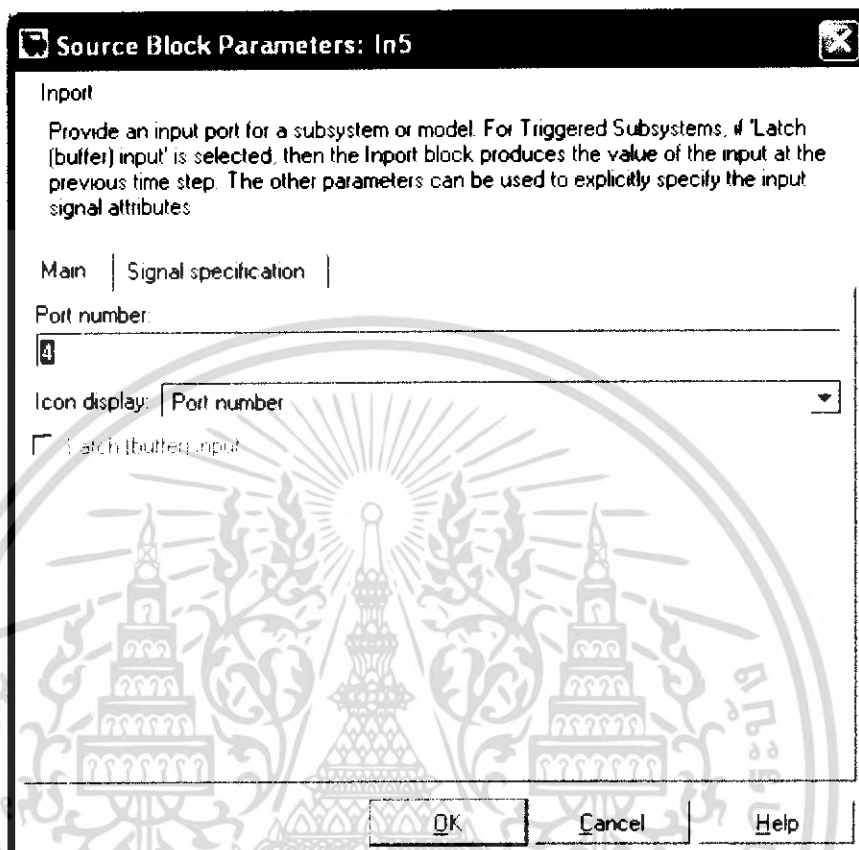


รูปที่ 4.9 กำหนดคุณลักษณะเฉพาะของ In4

4.1.6 การกำหนดอินพุทพอร์ต In5

จะมีการกำหนดคุณสมบัติให้เหมือนกับ อินพุทพอร์ต In3 และ In 4 แต่ต่างกันที่กำหนดค่าหมายเลขพอร์ตเป็นหมายเลข 5 ดังแสดงในรูปหน้าต่างข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ค่าPort number In5

สำหรับการกำหนดคุณลักษณะสัญญาณลักษณะจะกำหนดให้ ทั้งค่า Port dimension และ Sample time และลักษณะของประเภทของ Data Signal Sample signal จะเหมือนกับการกำหนดในพอร์ต In 3 และ In 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Source Block Parameters: In5

Inport
Provide an input port for a subsystem or model. For Triggered Subsystems, if 'Latch (buffer) input' is selected, then the Inport block produces the value of the input at the previous time step. The other parameters can be used to explicitly specify the input signal attributes.

Main **Signal specification**

Specify properties via bus object

Bus object for validating input bus:
Bus Object

Output as nonvirtual bus

Port dimensions (-1 for inherited):
-1

Sample time (-1 for inherited):
-1

Data type: auto

Signal type: auto

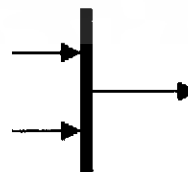
Sampling mode: auto

OK Cancel Help

รูปที่ 4.11 กำหนดคุณลักษณะเฉพาะของ In3

4.1.7 การกำหนดคุณลักษณะของ MUX

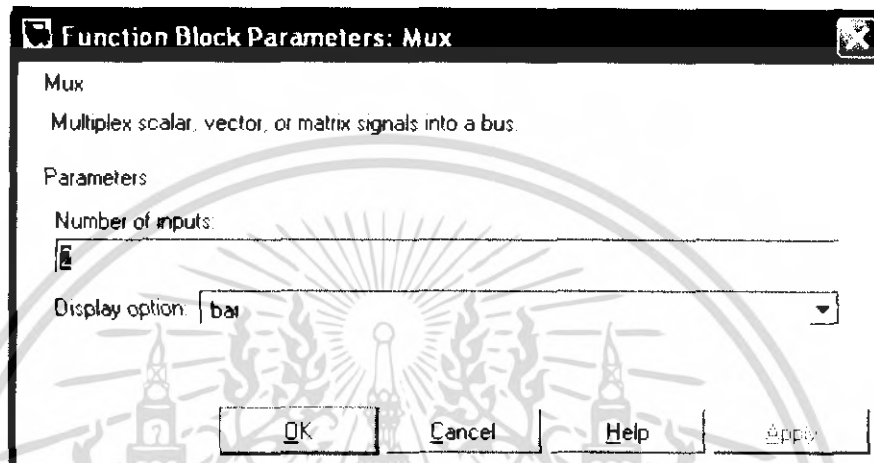
MUX จะเป็นผสมเชิงซ้อน (Multiplex) ปริมาณทางขนาด (scalar) ปริมาณทางขนาดและทิศ (Vector) หรือเมทริกซ์ของสัญญาณอินพุตที่ส่งไปยังบัส ซึ่งลักษณะจะเป็นดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 4.12 MUX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ ที่มีจำนวนอินพุตเป็นเท่ากับ 2 และ ช่อง Display option จะกำหนดให้เป็นค่า bar

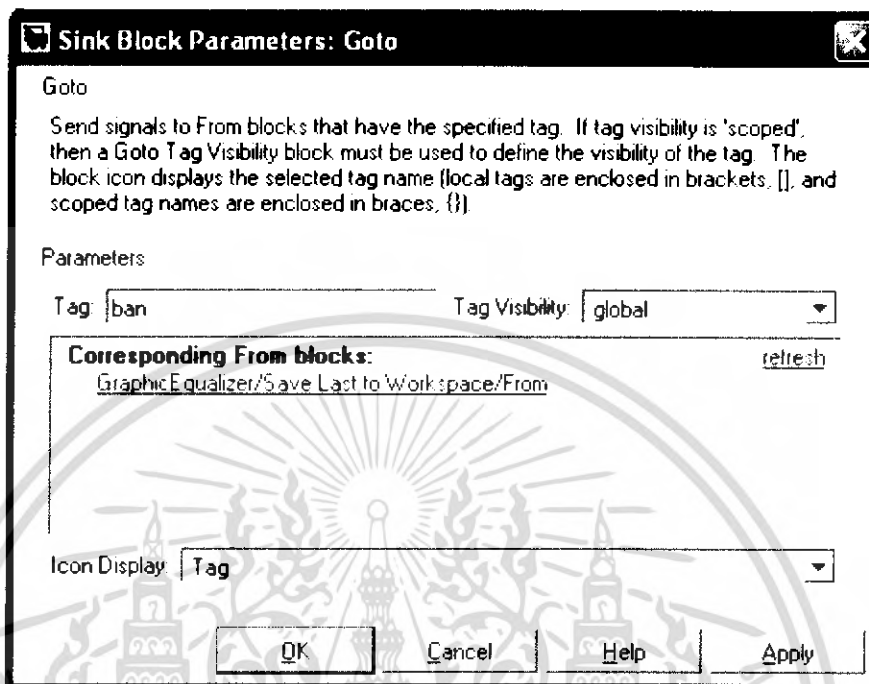


รูปที่ 4.13 ค่าจำนวนอินพุตและออพชั่น

4.1.8 การกำหนดค่าหน้าต่าง Sink Block Parameter ด้วยตัวแปร Goto

โดยหน้าต่างนี้จะเป็นหน้าต่างแสดงการส่งสัญญาณจากบล็อกข้อมูล โดยจะกำหนดด้วยการแทนชื่อ (tag) เพื่อทำการเรียกค่าไปยังแบนด์แต่ละแบนด์ที่ต้องการใช้งาน โดยที่ช่อง Tag ให้กำหนดค่าชื่อของแบนด์ที่เราต้องการอ้างอิง และการกำหนดค่าในช่อง Tag visibility

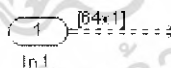
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กำหนด Goto ใช้เรียกสัญญาณ

4.1.9 การกำหนดแมททริกซ์

จะกำหนดให้มีขนาดเป็น 64 :1 ต่อหนึ่งอินพุต



รูปที่ 4.15 ค่าPort number In4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.10 การกำหนดสมบัติของเลเบล

จะสร้างสัญลักษณ์ทางวงจรให้แก่แบนด์โดยจะสร้างค่าเลเบลเป็นคำว่า ban_1 ให้แก่แบนด์แล้วใช้คำสั่ง Goto ในการเรียกค่าสัมประสิทธิ์ของวงจร



รูปที่ 4.16 ค่าเลเบล ban_1

ซึ่งสำหรับแบนด์ที่ 2 และแบนด์ที่ 3 ก็จะมีลักษณะที่เหมือน แต่ต่างกันที่จะให้ค่าเลเบลในแบนด์ที่ 2 และแบนด์ที่ 3 มีค่าเป็น ban_2 และ ban_3 ตามลำดับ โดยการกำหนดค่าเอาต์พุตเป็นไปไปตามค่าแต่ละแบนด์ที่สัมพันธ์กัน ซึ่งแบนด์ที่หนึ่งจะถูกกำหนดให้เป็น Out1 และในแบนด์ที่สองและสามจะกำหนดให้เป็น Out2 และ Out3 ตามลำดับ และการกำหนดค่าคุณสมบัติของสัญญาณเอาต์พุตของแต่ละแบนด์จะเหมือนกัน ดังตัวอย่างการกำหนดค่า Out1 ในรูปข้างล่าง

Sink Block Parameters: Out1

Output
Provide an output port for a subsystem or model. The 'Output when disabled' and 'Initial output' parameters only apply to conditionally executed subsystems. When a conditionally executed subsystem is disabled, the output is either held at its last value or set to the 'Initial output'.

Main | Signal specification |

Port number:
1

Icon display: Port number

Output when disabled: Hold

Initial output:
1

OK Cancel Help Apply

รูปที่ 4.17 การกำหนดค่าคุณสมบัติเอาท์พุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sink Block Parameters: Out1

Outputport
Provide an output port for a subsystem or model. The 'Output when disabled' and 'Initial output' parameters only apply to conditionally executed subsystems. When a conditionally executed subsystem is disabled, the output is either held at its last value or set to the 'Initial output'.

Main **Signal specification**

Specify properties via bus object

Bus object for validating input bus
Bus Object

Output as normalized bus in parent model

Port dimensions (-1 for inherited)
-1

Sample time (-1 for inherited)
-1

Data type: auto

Signal type: auto

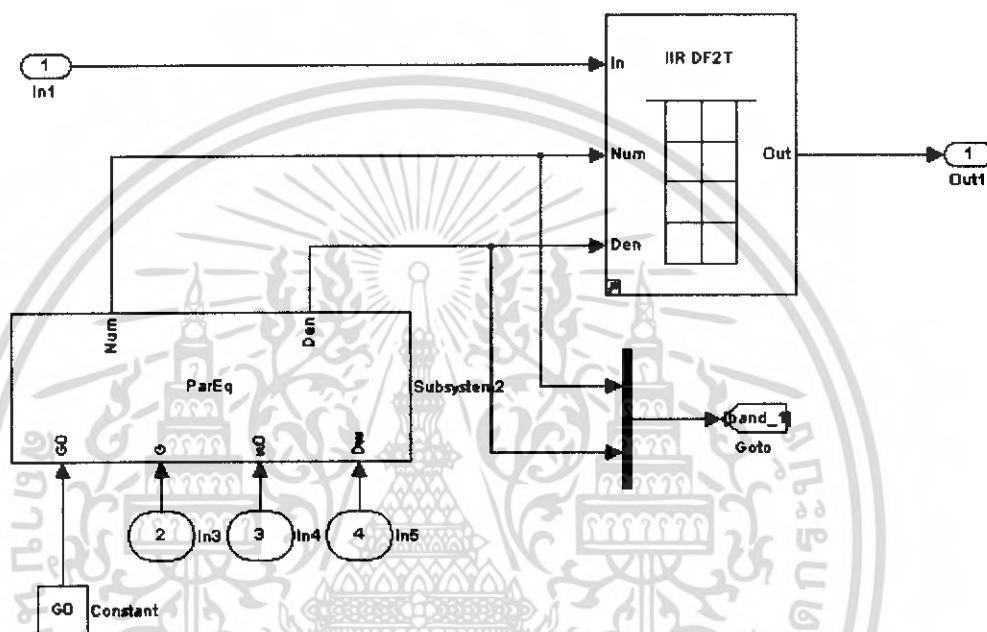
Sampling mode: auto

OK Cancel Help Apply

รูปที่ 4.18 เอาท์พอร์ต

เมื่อนำเอาส่วนที่เป็น โครงสร้าง IIR กับส่วนที่เป็นพารามิตริกมาเชื่อมต่อเพื่อให้เกิดเป็นวงจรพารามิตริกอิตวอไลเซอร์ของแต่ละแบนด์ ซึ่งจะสามารถแสดงให้เห็นโครงสร้างภายในแต่ละแบนด์ได้ดังรูปต่อไปนี้

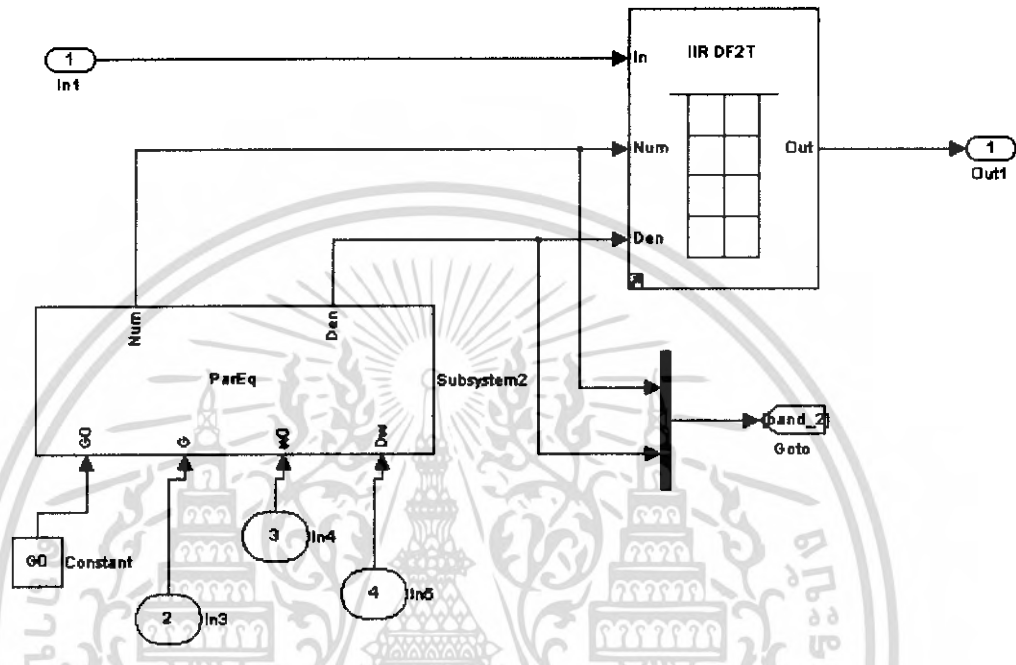
แบนด์ที่ 1



รูปที่ 4.19 โครงสร้าง iir filter ของแบนด์ที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

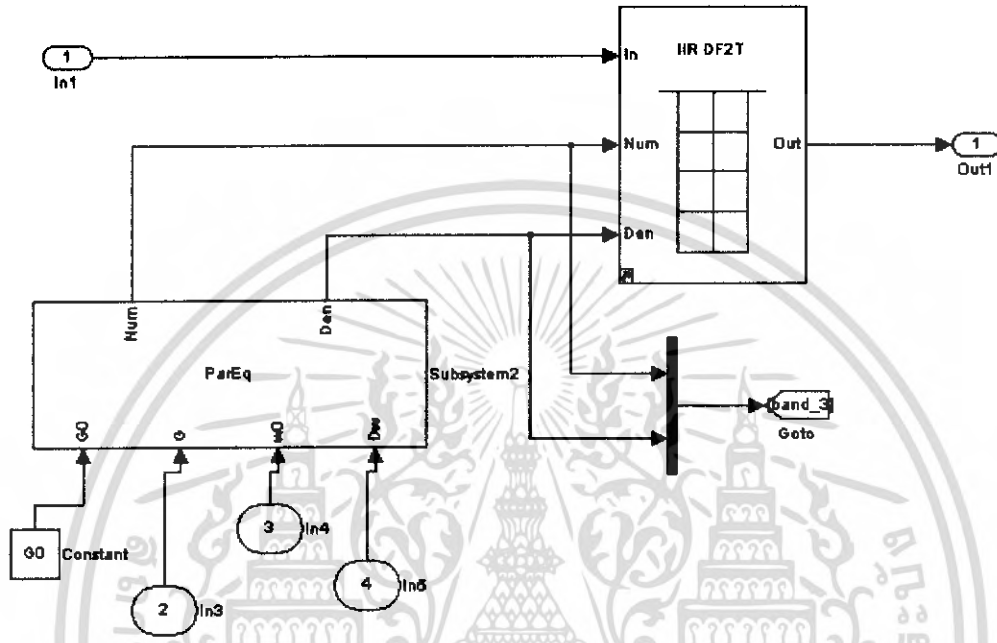
แบบค้ที่ 2



รูปที่ 4.20 แสดง โครงสร้าง iir filter ของแบบค้ที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบนด์ที่ 3



รูปที่ 4.21 แสดงโครงสร้าง iir filter ของแบนด์ที่ 3

4.1.11 การกำหนดค่า Solver

จะกำหนดค่า Start time เป็น 0.0 ซึ่งต้องการให้กระทำสัญญาณกับค่าเริ่มต้น และให้เวลา Stop time เป็นค่าอนันต์ (inf) ทั้งนี้เพื่อต้องการให้มีการกระทำกับสัญญาณไปได้เรื่อยๆ จนกว่าผู้ใช้งานจะต้องการหยุด และมีการกับค่าค่า step size เป็นแบบอัตโนมัติ ทั้งนี้เพื่อต้องการให้สัญญาณที่ได้ออกมา มีความต่อเนื่องไม่ขาดตอนดังแสดงในรูปข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Solver

Simulation time

Start time: 00

Stop time: inf

Simulation start time. Note that the values that you specify as block initial conditions must be their values at this time.

Type: Fixed-step Variable-step (no continuous states)

Periodic sample time constraint: Unconstrained

Fixed-step size (fundamental sample time): auto

Tasking mode for periodic sample times: Auto

Higher priority value indicates higher task priority

Automatically handle data transfers between tasks

รูปที่ 4.22 ค่า solver

4.1.12 การกำหนดค่าข้อมูลนำเข้าและส่งออก

ซึ่งจะกำหนดให้มีค่าข้อมูลนำเข้าและส่งออกเป็นทศนิยมหนึ่งตำแหน่ง โดยให้มีการรับค่าสัญญาณที่เข้ามามีค่าสูงสุดที่ 1000 จุด ในรูปแบบของข้อมูล array และส่งข้อมูลออกด้วยคำสั่ง sigOut ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Import/Export

Load from workspace

 Input: [t u] Initial state: xInitial Load external input from workspace.

Save to workspace

 Time: tOut States: xOut Output: yOut Final states: xFinal Signal logging: sigsOut

Save options

 Limit data points to last: 1000 Decimation: 1

Format: Array

รูปที่ 4.23 สถานะข้อมูลเสียงที่นำเข้าและส่งออก

4.1.13 การกำหนดค่าการประมวลสัญญาณสูงสุด

สำหรับการกำหนดค่าสูงสุดที่กั้นหนัด จะถูกกำหนดให้เป็นอนันต์ โดยตั้งค่า threshold ให้วน
ลูปเป็น 5 ต่อการทำงานหนึ่งรอบของการประมวลผล

Optimization

Simulation and code generation

Block reduction optimization Conditional input branch execution

Implement logic signals as boolean data (vs. double) Signal storage reuse

Inline parameters

Application lifespan (days) | inf

Code generation

Optimize size of counters used to compute absolute and elapsed time, using the specified application life span.

Ignore integer downcasts in folded expressions Inline invariant signals

Eliminate superfluous temporary variables (Expression folding)

Loop unrolling threshold | 5

รูปที่ 4.24 ระดับสูงสุดของเงื่อนไขการทำงานของทุกแบนด์

4.1.14 การกำหนดค่าอุปกรณ์

ต้องการให้เกิดการกระทำกับอุปกรณ์ที่มีค่าประเภทอุปกรณ์ที่เป็นขนาด 32 บิต และมีการสนองต่อข้อมูลประเภท char, short, int, long ดังแสดงในรูปต่อไปนี้

Hardware Implementation

Embedded hardware (simulation and code generation)

Device type: | Unspecified (assume 32-bit Generic)

Number of bits:

char:	8	short:	16	int:	32
long:	32	native word size:	32		

Byte ordering: | Unspecified

Signed integer division rounds to: | Undefined

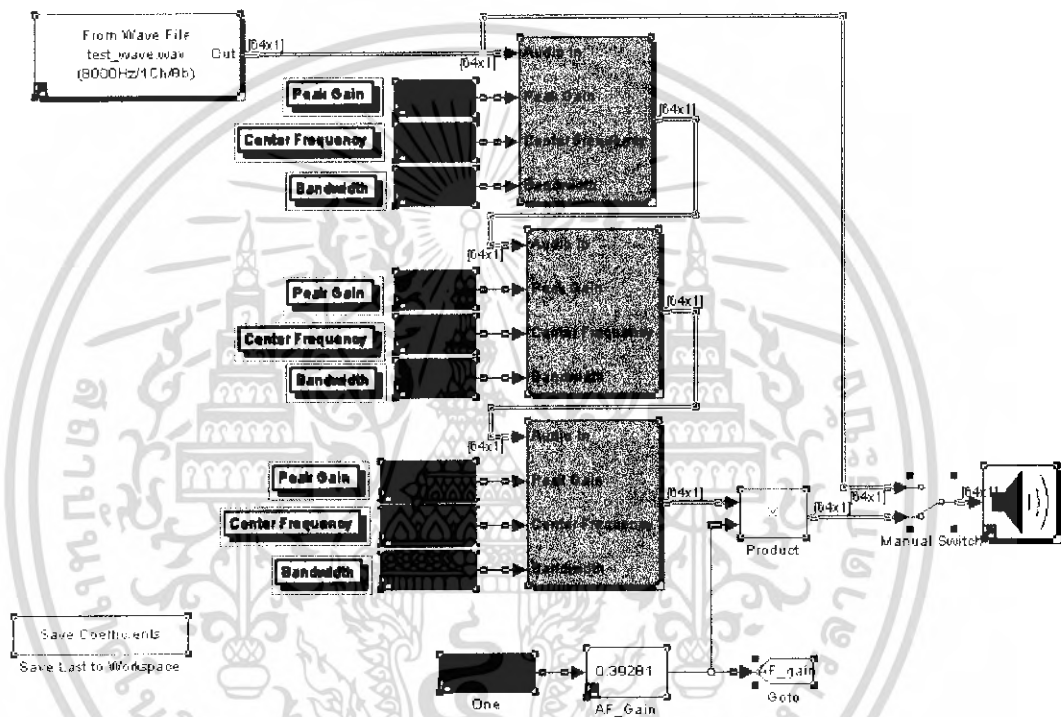
Shift right on a signed integer as arithmetic shift

Emulation hardware (code generation only)

รูปที่ 4.25 คุณสมบัติตัวประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

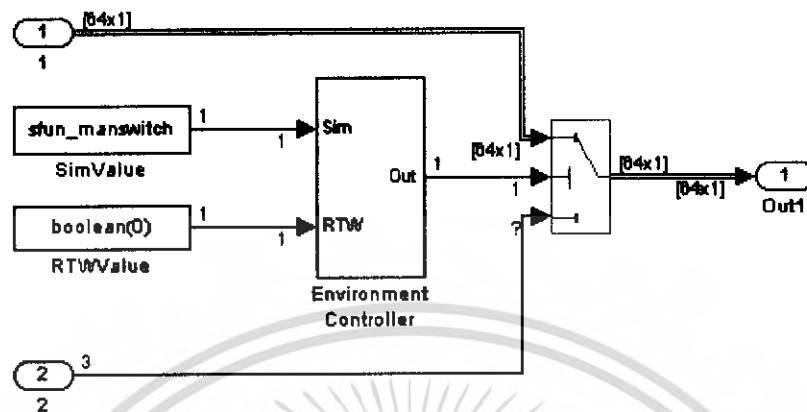
จากโมเดลที่จำลองขึ้นนั้นพบว่าสำหรับพารามิเตอร์นั้น โมเดลทุกแบบค้จะมีค่าเท่ากัน แต่ต่างกันตรงสัมประสิทธิ์ของวงจรแต่ละตัว ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้จะเป็นตัวที่กระทำให้เกิดความแตกต่างต่อเอาท์พุท โดยวงจรเต็มสำหรับการทดลองจะเป็นดังนี้



รูปที่ 4.26 วงจรรวม

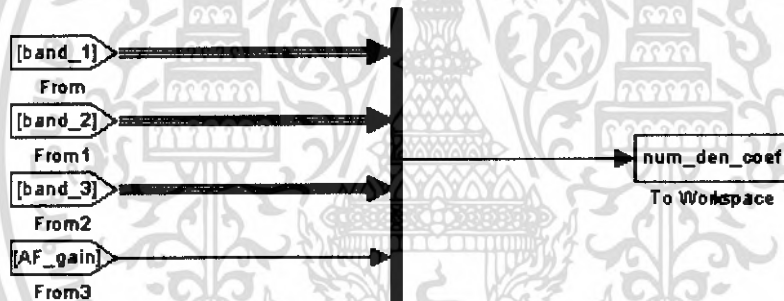
ซึ่งค่า switch manual แบบค้จะเป็นดังรูปต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 switch manual แต่ละแบนด์

และโครงสร้างการเก็บสัมประสิทธิ์ที่ถูกปรับแต่งจะเป็นดังต่อไปนี้



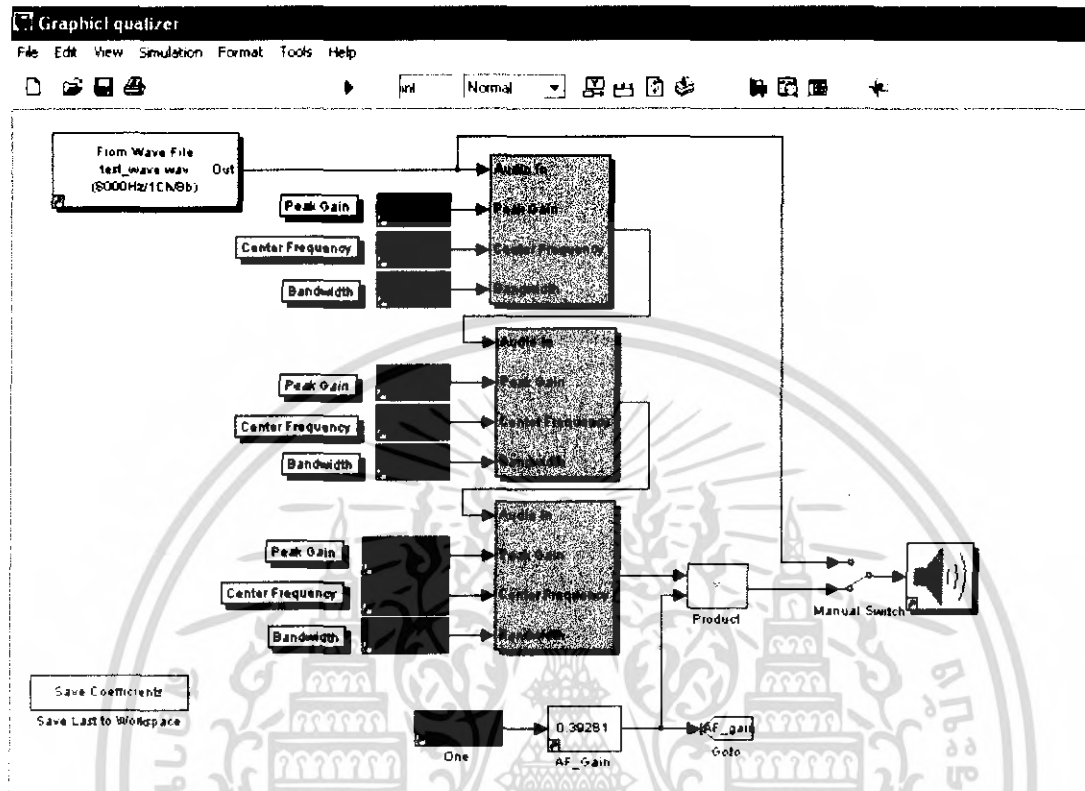
รูปที่ 4.28 โครงสร้างการเก็บสัมประสิทธิ์ที่ถูกปรับแต่ง

4.2 การใช้งานหน้าต่าง Simulink และหน้าต่าง GUI

สำหรับการใช้งานจะมีขั้นตอนดังนี้

- นำข้อมูลของไฟล์ที่ถูกนำเข้าไปในข้อ 4.1 มากระทำกับ วงจรที่ได้สร้างขึ้น โดยเรียกไฟล์ที่เก็บวงจรที่จะ simulate ขึ้นมา ซึ่งจะเป็นหน้าต่างดังรูป

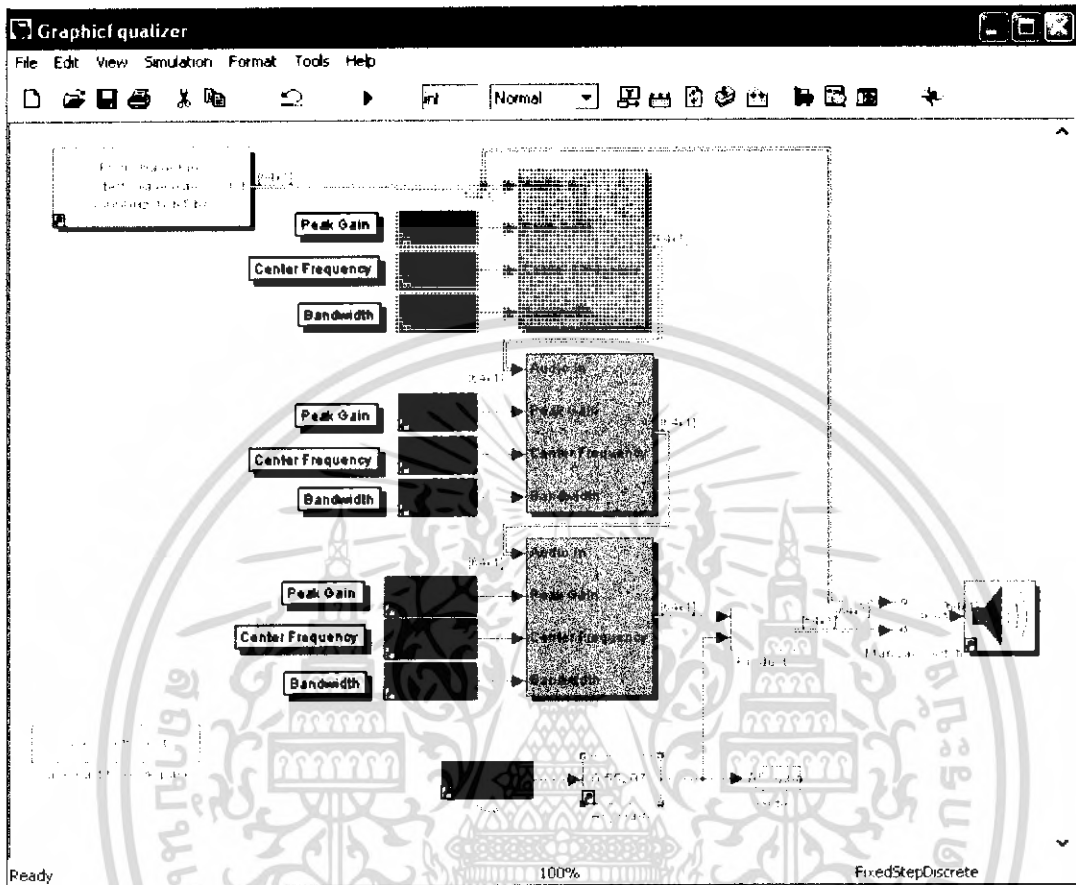
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 หน้าต่าง simulink

- คลิกที่ปุ่ม  บนหน้าต่าง simulink ของโปรแกรม เพื่อทำการ run ซึ่งหน้าต่างนี้จะถูกเชื่อมต่อกับหน้าต่าง GUI ที่ได้สร้างไว้

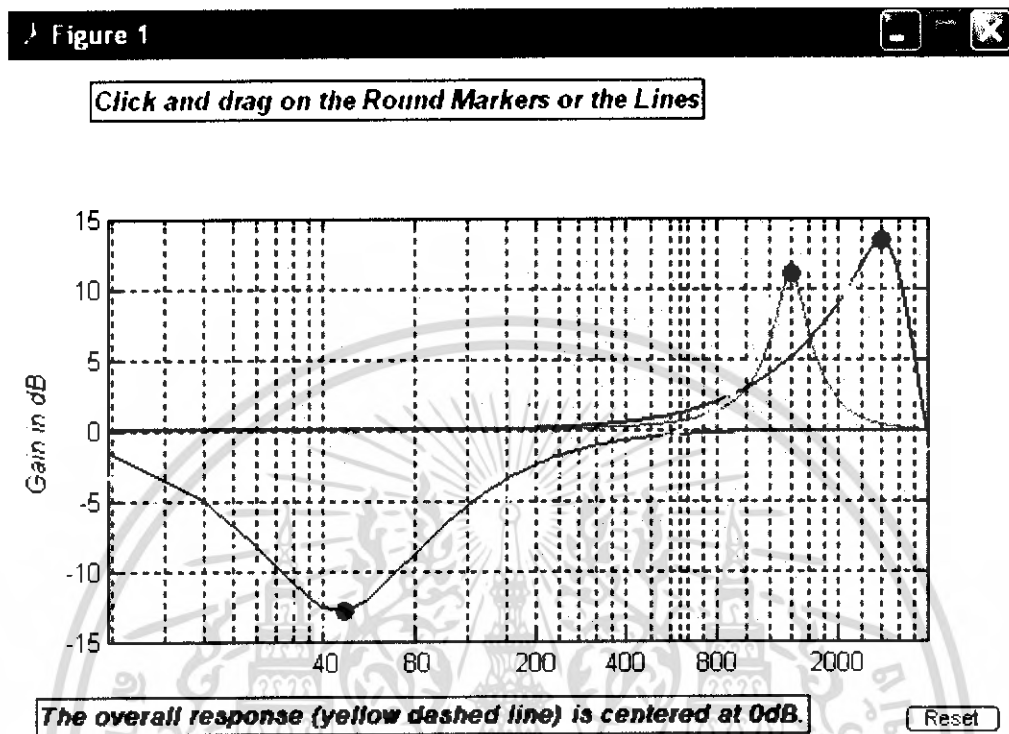
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 หน้าต่าง simulation เมื่อเชื่อมต่อแล้ว

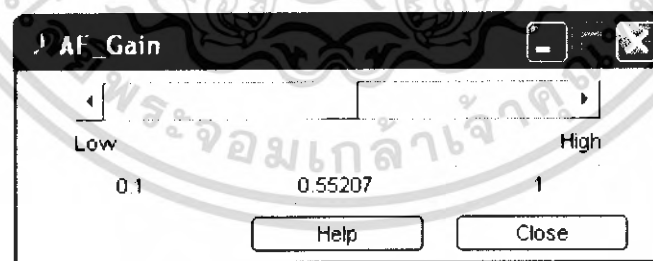
- จากนั้นหน้าต่างปรับแต่งพารามิเตอร์จะปรากฏขึ้นอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 หน้าต่างปรับแต่งพารามิเตอร์

ซึ่งสำหรับหน้าต่างปรับ AF-Gain จะเป็นดังรูป



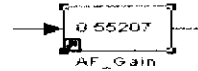
รูปที่ 4.32 หน้าต่าง AF-Gain

และเมื่อทำการปรับค่า Gain , Bandwidth, Frequency cut off ของแต่ละแบนด์ โดยใช้เมาท์คลิกซ้าย แล้วทำการลากตัว Marking ของแต่ละแบนด์ ตำแหน่งต่างๆ เพื่อสังเกตค่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น โดยค่าการเปลี่ยนแปลงของแต่ละแบนด์ ที่ถูกปรับจะสามารถสังเกตค่า Center Frequency, Peak Gain,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

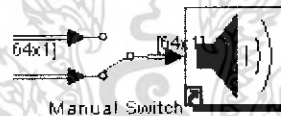
Bandwidth ได้ จากสี่ของตัวอักษร ที่สัมพันธ์กับ Marker สีนั้นๆของแต่ละแบนด์ โดยอ้างอิงตำแหน่ง การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งบนแกนระหว่าง Gain dB และ ความถี่

- ปรับค่า AF-gain ได้จากหน้าต่าง GUI ของ AF-gain ที่ปุ่ม



รูปที่ 4.33 การปรับ Gain

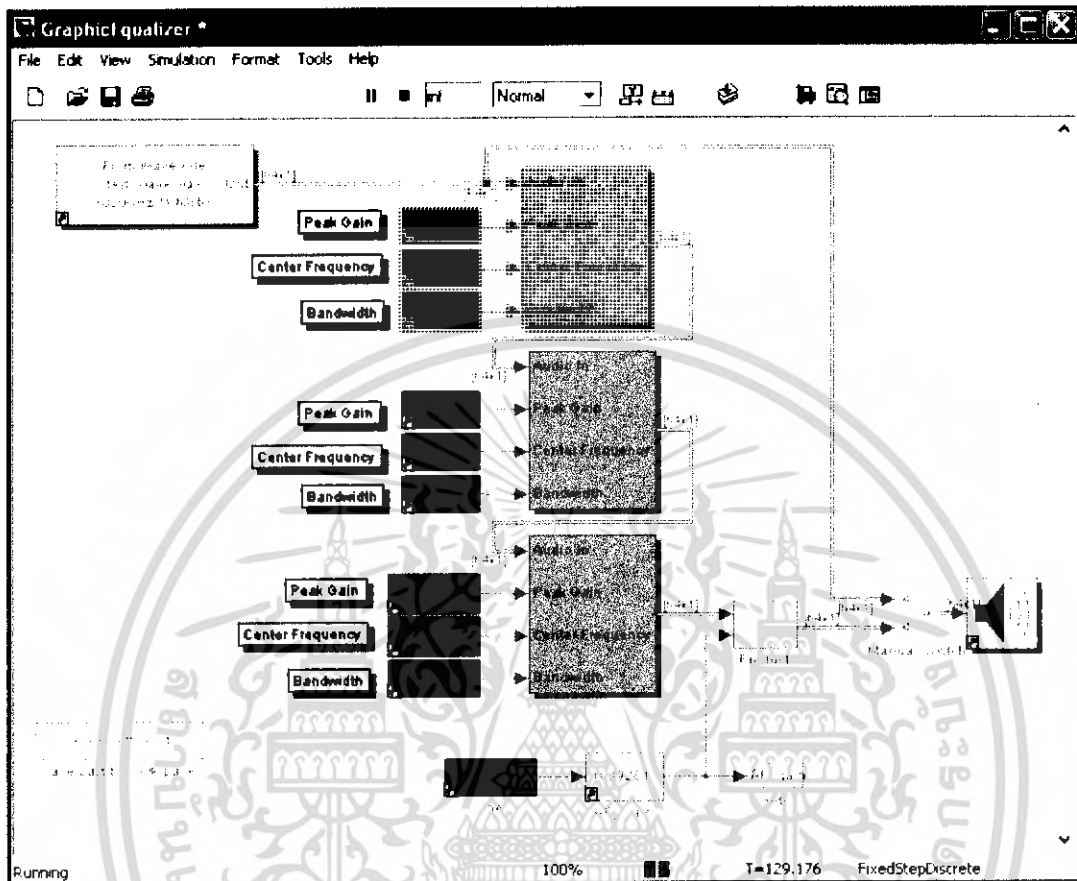
และในระหว่างที่ทดลอง สามารถที่จะฟังเสียงของ file.wav ต้นแบบ ได้โดยปรับสวิตซ์ของ หน้าต่างวงจร



รูปที่ 4.34 switch manual เพื่อสับสัญญาณ

- คลิกปุ่ม  เพื่อทำการหยุดการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



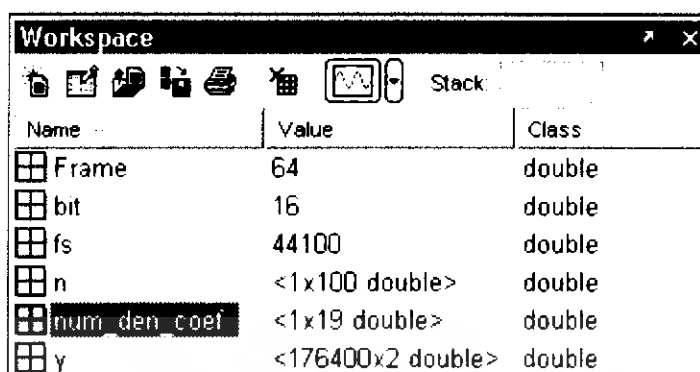
รูปที่ 4.35 หน้าต่างอีควอลไลเซอร์

Save Coefficients

Save Last to Workspace

- คลิกที่ปุ่ม **Save Coefficients** เพื่อทำการเก็บค่าการทดลอง ซึ่งข้อมูลของทุกตัวแปรจะถูกเก็บในหน้าต่าง workspace ดังรูปข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Name	Value	Class
Frame	64	double
bit	16	double
fs	44100	double
n	<1x100 double>	double
num den coef	<1x19 double>	double
y	<176400x2 double>	double

รูปที่ 4.36 หน้าต่างผลลัพธ์ของตัวแปร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลอง

5.1 รูปแบบการทดลอง

ในการทดลองจะได้แบ่งการทดลองออกเป็นสองตอน คือ ในตอนแรกจะเป็นการทดลองที่ใช้ใช้สัญญาณเสียงดิจิตอลรูปไซน์ และในตอนที่ 2 จะใช้สัญญาณเสียงดิจิตอลซึ่งเป็นไฟล์สกุล*.wav โดยที่ทั้งสองการทดลองจะทำการทดสอบทั้งสภาวะ Boost และ Cut ทุกแบนด์ โดยปรับค่าพารามิเตอร์ตามตารางการทดลองต่อไปนี้

	Boost			Cut		
	แบนด์ 1	แบนด์ 2	แบนด์ 3	แบนด์ 1	แบนด์ 2	แบนด์ 3
Fc	1.32 kHz	47 Hz	7.51 kHz	1.36 kHz	47 Hz	2.86 kHz
Gain	12.3 dB	12.3 dB	12.2 dB	-12.7 dB	-13.5 dB	13.5 dB
Bw	315 Hz	50 Hz	1.34 kHz	315 Hz	50 Hz	1.21 kHz

ตารางที่ 5.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อทำการทดลอง

5.2 การทดลองตอนที่ 1 ใช้สัญญาณเสียงดิจิตอลรูปไซน์

โดยจะทำการสร้างสัญญาณรูปคลื่นไซน์เพื่อทดสอบกับวงจร ซึ่งจะใช้สัญญาณรูปไซน์ที่มีคุณสมบัติดังนี้

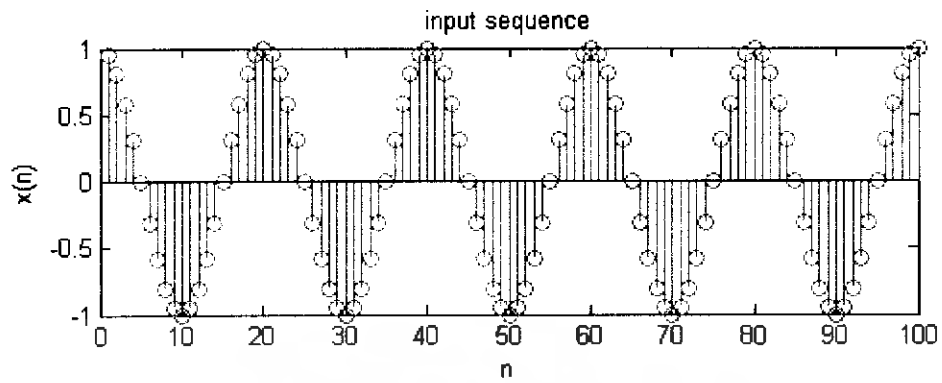
$$\text{ความถี่สุ่ม} = 44100 \text{ Hz}$$

$$\text{จำนวนครั้งต่อการสุ่ม} = [1:100]$$

$$\text{รูปสัญญาณเป็น } \cos(0.1 \cdot \pi \cdot n)$$

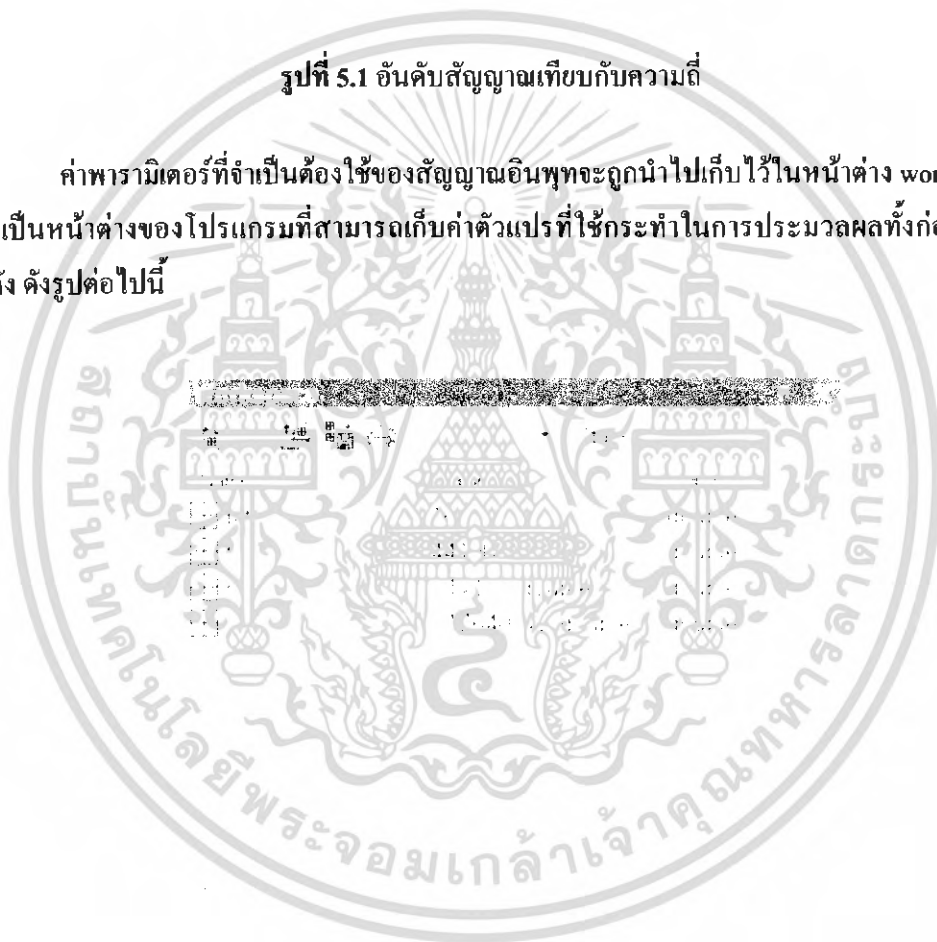
ซึ่งสามารถแสดงรูปสัญญาณอินพุตได้ดังรูปข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 อันดับสัญญาณเทียบกับความถี่

ค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องใช้ของสัญญาณอินพุตจะถูกนำไปเก็บไว้ในหน้าต่าง workspace ซึ่งเป็นหน้าต่างของโปรแกรมที่สามารถเก็บค่าตัวแปรที่ใช้กระทำในการประมวลผลทั้งก่อนและหลัง ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 5.2 หน้าต่าง workspace เก็บค่าอินพุต

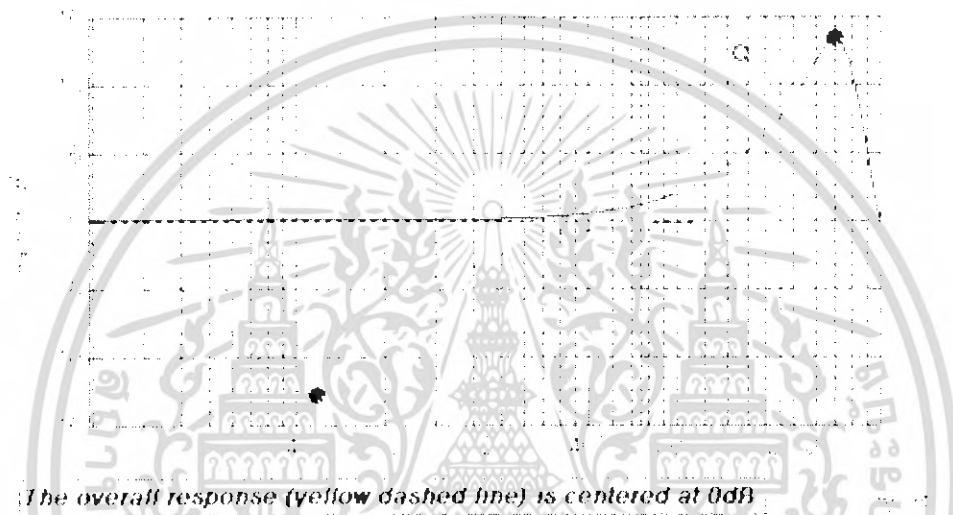
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองตอนที่ 1 ผลตอบสนองที่สภาวะ Boost

- แบนด์ที่ 1 จะใช้Marker และเส้นสีแดงเลื่อนไปที่ Center Frequency = 1.32 Hz, Peak Value gain = 12.3 dB, Bandwidth = 315 Hz จะได้ผลตอบสนองคือเส้นประสีเหลืองดังรูปข้างล่าง

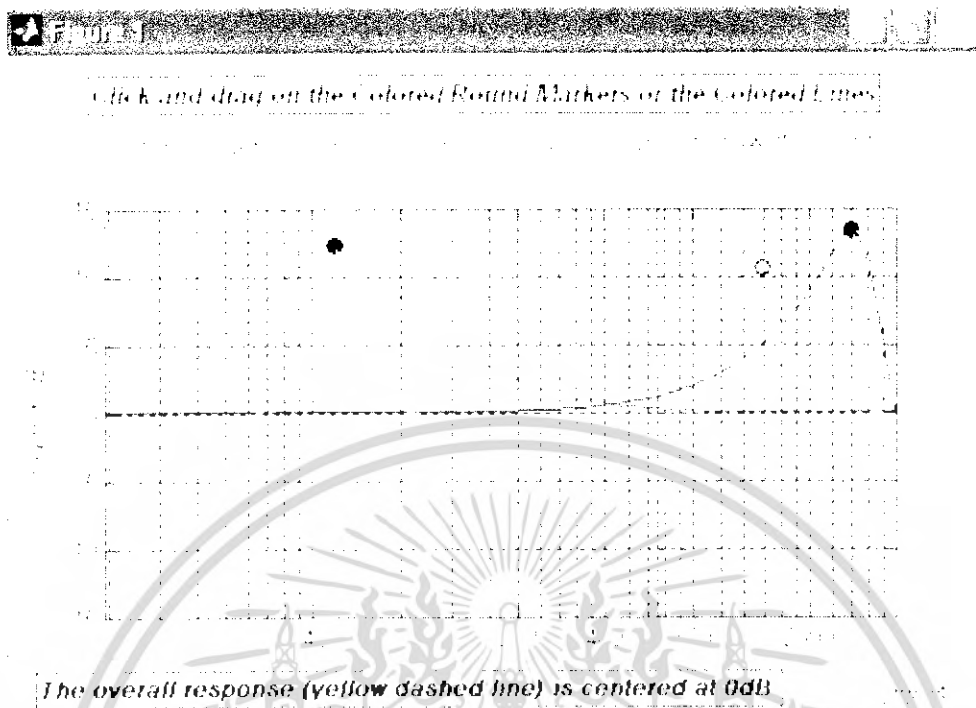


Click and drag on the Colored Round Markers or the Colored Lines



รูปที่ 5.3 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 1 เมื่อ Center Frequency = 1.32 Hz, Peak Value gain = 12.3 dB, Bandwidth = 315 Hz

- แบนด์ที่ 2 จะใช้Marker และเส้นสีน้ำเงินเลื่อนไปที่ Center Frequency = 47 Hz, Peak Value gain = 12.3 dB, Bandwidth = 50 Hz จะได้ผลตอบสนองคือเส้นประสีเหลืองดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 5.4 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 2 เมื่อ Center Frequency = 47 Hz, Peak Value gain = 12.3 dB, Bandwidth = 50 Hz

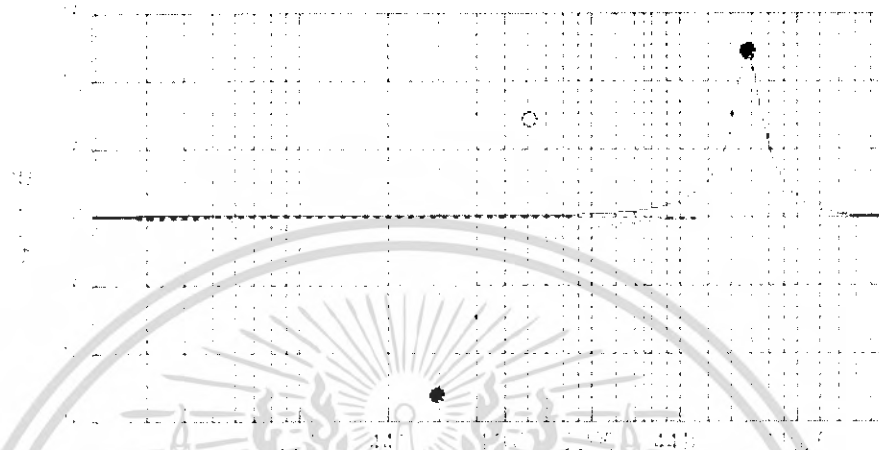
- แบนด์ที่ 3 จะใช้ Marker และเส้นสีดำเลื่อนไปที่ Center Frequency = 7.51 kHz, peak Value gain = 12.2 dB , Bandwidth = 1.34 kHz จะได้ผลตอบสนองคือเส้นประสีเหลืองดังรูปข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Click and drag on the Colored Round Markers or the Colored Lines.

Under Frequency = 7.51 kHz, Peak Value = 12.2 dB, Bandwidth = 1.34 kHz



The overall response (yellow dashed line) is centered at 0dB

Figure 5.5

รูปที่ 5.5 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 3 เมื่อ Center Frequency = 7.51 kHz, peak Value gain = 12.2 dB , Bandwidth = 1.34 kHz

ผลการทดลองตอนที่ 1 ผลตอบสนองที่สถานะ Cut

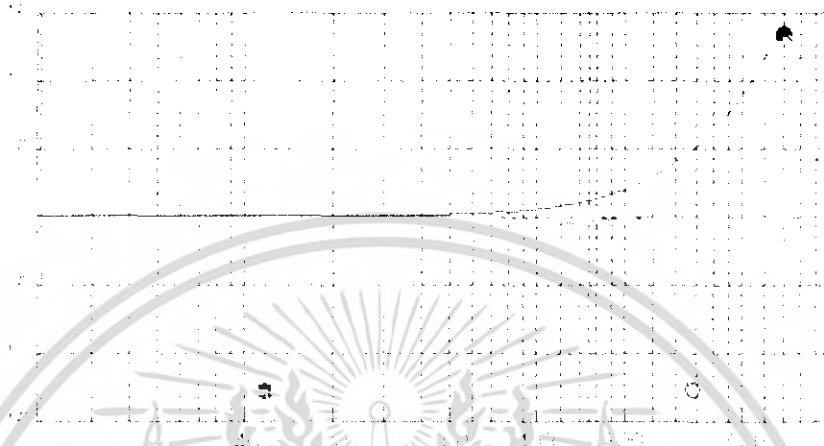
- แบนด์ที่ 1 จะใช้ Marker และเส้นสีแดงเลื่อนไปที่ Center Frequency = 1.36 kHz, Peak

Value gain = -12.7 dB , Bandwidth = 315 kHz จะได้ผลตอบสนองคือเส้นประสีเหลืองดังรูปข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Click and drag on the Colored Round Markers of the Colored Lines:

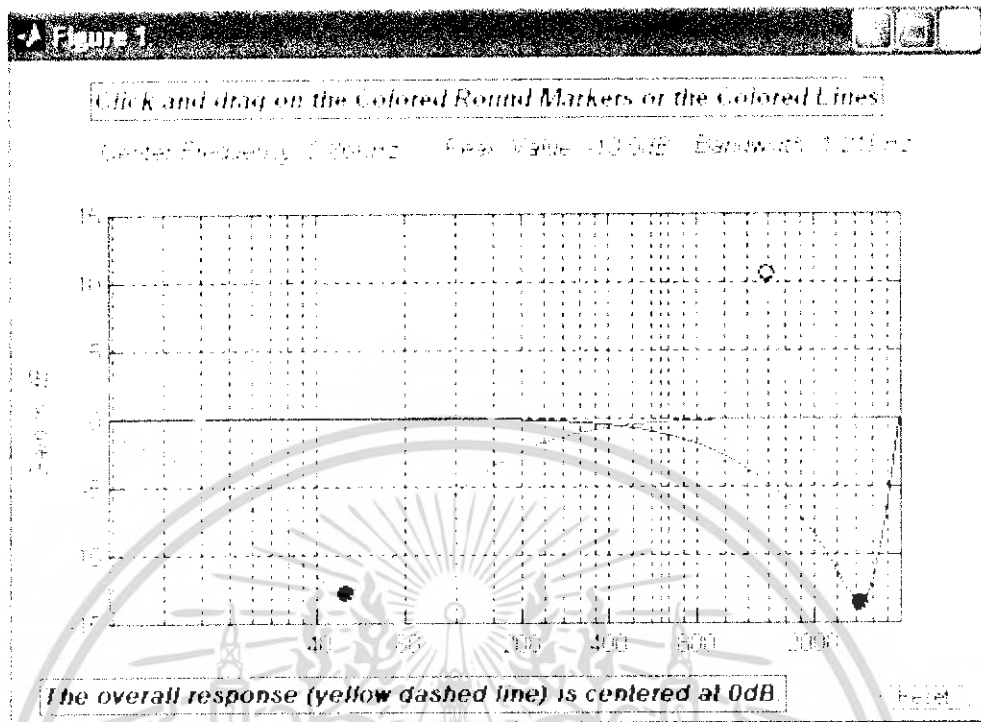


The overall response (yellow dashed line) is centered at 0dB

รูปที่ 5.6 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 1 เมื่อ Center Frequency = 1.36 kHz, Peak Value gain = -12.7 dB , Bandwidth = 315 kHz

- แบนด์ที่ 2 จะใช้ Marker และเส้นสีน้ำเงินเลื่อนไปที่ Center Frequency = 47 Hz, Peak Value gain = -13.5 dB , Bandwidth = 50 Hz จะได้ผลตอบสนองคือเส้นประสีเหลืองดังรูปข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 3 เมื่อ Center Frequency = 2.86 kHz, peak Value gain = -13.5 dB , Bandwidth = 1.21 kHz

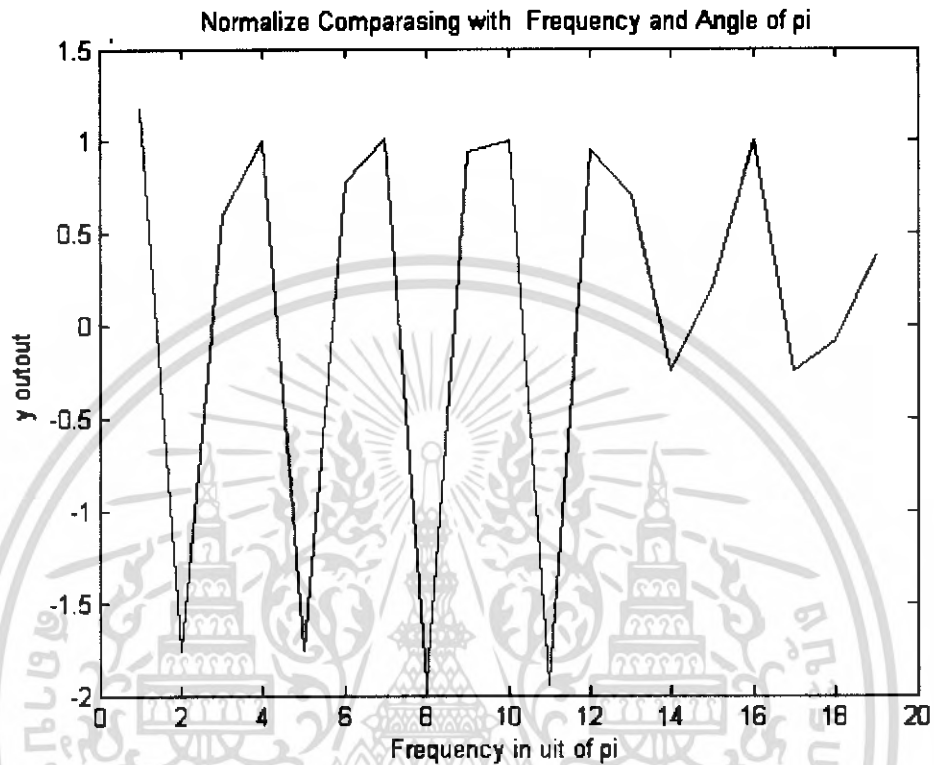
โดยผลการปรับแต่งจะถูกเก็บในหน้าต่าง workspace ของ โปรแกรม Matlab ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 5.9 ผลการทดลองที่เก็บในรูปตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการพล็อตกราฟของค่าความถี่ที่เปลี่ยนไปเทียบกับองศาในหน่วย pi ในรูปแบบ นอมัลไลซ์จะได้กราฟในลักษณะดังต่อไปนี้

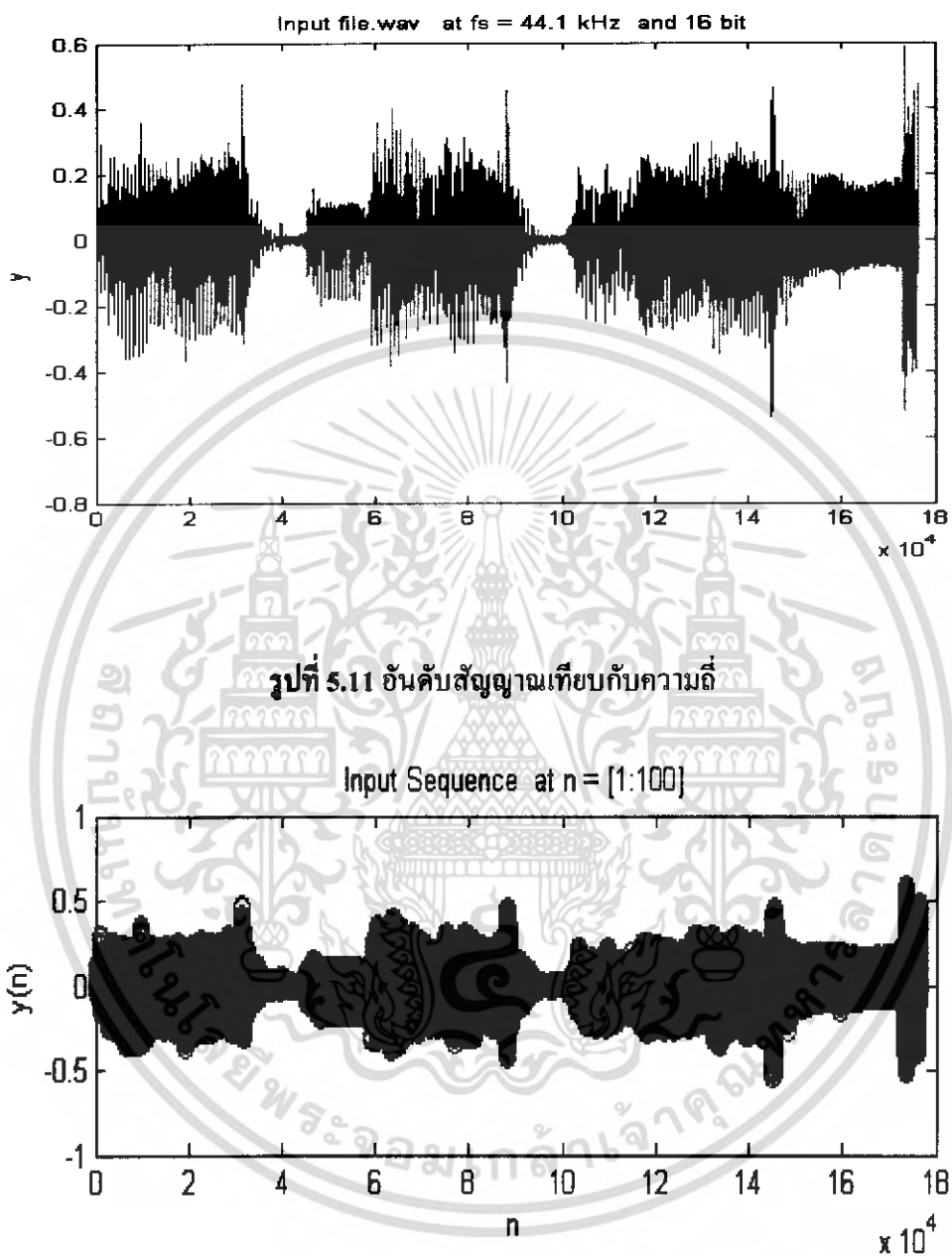


รูปที่ 5.10 ผลของค่าความถี่เอาท์พุทต่อหน่วย pi

5.3 การทดลองตอนที่ 2 ใช้สัญญาณเสียงดิจิตอลสกุล*.wav

การเรียกไฟล์เข้ามาใช้งานในโปรแกรม Matlab จะใช้คำสั่ง wavread ผลจะเป็นดังข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 อันคัมสัญญาณเทียบกับความถี่

รูปที่ 5.12 ผลการสุ่มสัญญาณ

ค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องใช้ของสัญญาณอินพุตจะถูกนำไปเก็บไว้ในหน้าต่าง workspace

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Workspaces		
Name	Value	Display
fc	10	variable
bw	44100	variable
gain	12.3 dB (variable)	variable
center	1170.410 Hz (variable)	variable

รูปที่ 5.13 แสดงผลการค่าตัวแปรที่ถูกเก็บมาใช้งาน

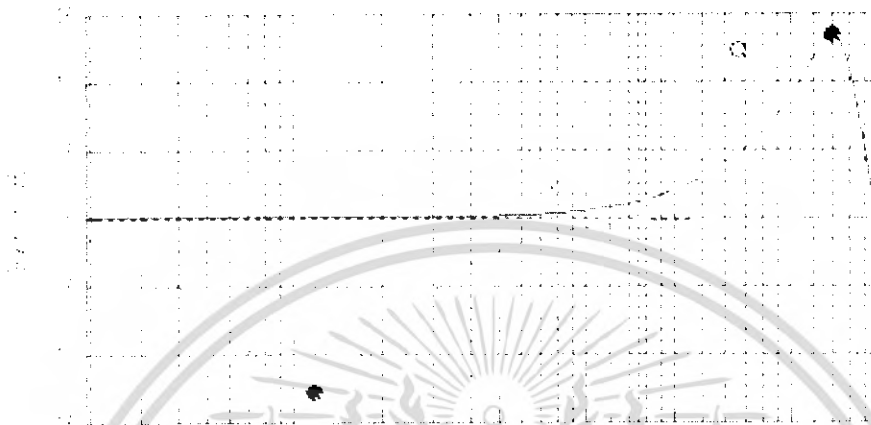
ผลการทดลองตอนที่ 2 ผลตอบสนองที่สถานะ Boost

- แบนด์ที่ 1 จะใช้ Marker และเส้นสีแดงเลื่อนไปที่ Center Frequency = 1.32 Hz, Peak Value gain = 12.3 dB, Bandwidth = 315 Hz จะได้ผลตอบสนองทางความถี่คือเส้นประสีเหลืองดังรูปข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Click and drag on the Colored Round Markers of the Colored Lines

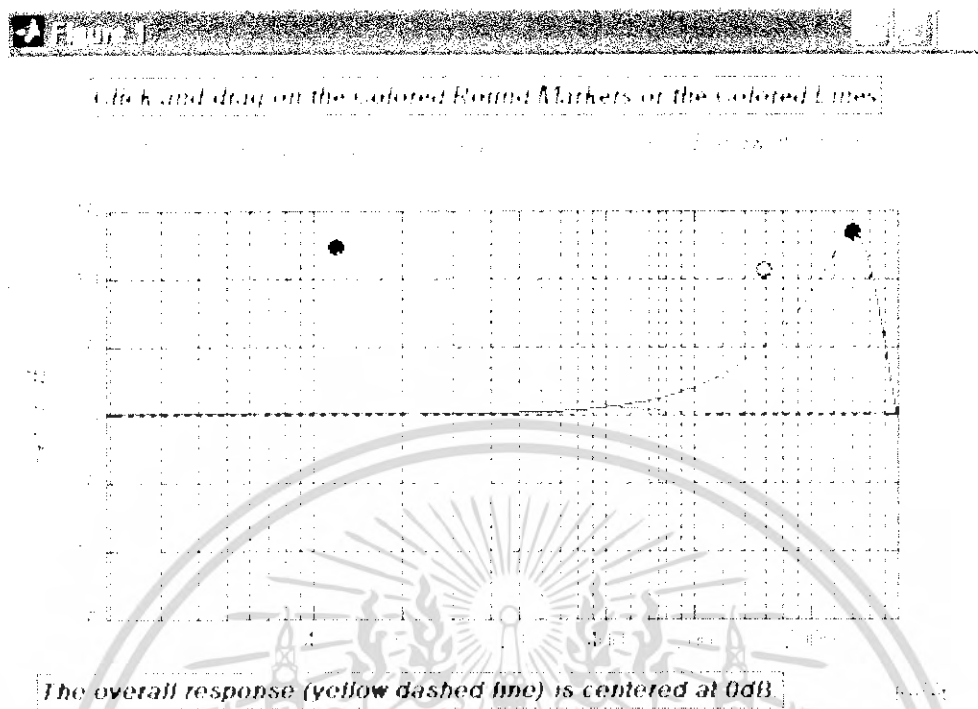


The overall response (yellow dashed line) is centered at 0dB

รูปที่ 5.14 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 1 เมื่อ Center Frequency = 1.32 Hz, Peak Value gain = 12.3 dB, Bandwidth = 315 Hz

- แบนด์ที่ 2 จะใช้Marker และเส้นสีน้ำเงินเลื่อนไปที่ Center Frequency = 47 Hz, Peak Value gain = 12.3 dB, Bandwidth = 50 Hz จะได้ผลตอบสนองทางความถี่คือเส้นประสีเหลืองดังรูปข้างล่าง

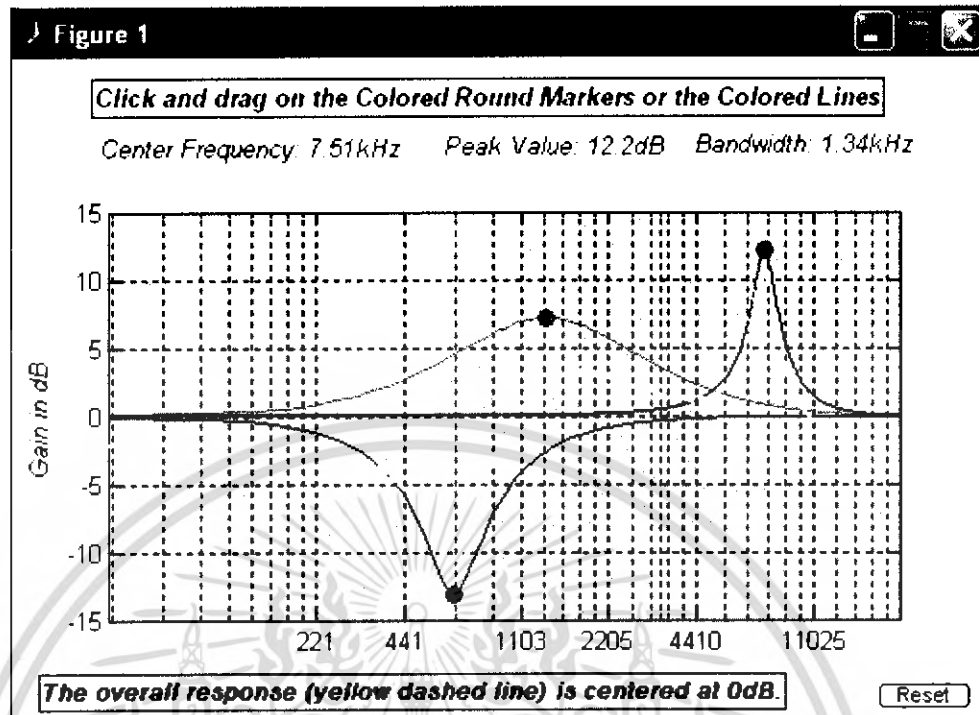
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 2 เมื่อ Center Frequency = 47 Hz, Peak Value gain = 12.3 dB, Bandwidth = 50 Hz

- แบนด์ที่ 3 จะใช้ Marker และเส้นสีคำเลื่อนไปที่ Center Frequency = 7.51 kHz, peak Value gain = 12.2 dB, Bandwidth = 1.34 kHz จะได้ผลตอบสนองทางความถี่คือเส้นประสีเหลือง ดังรูปข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

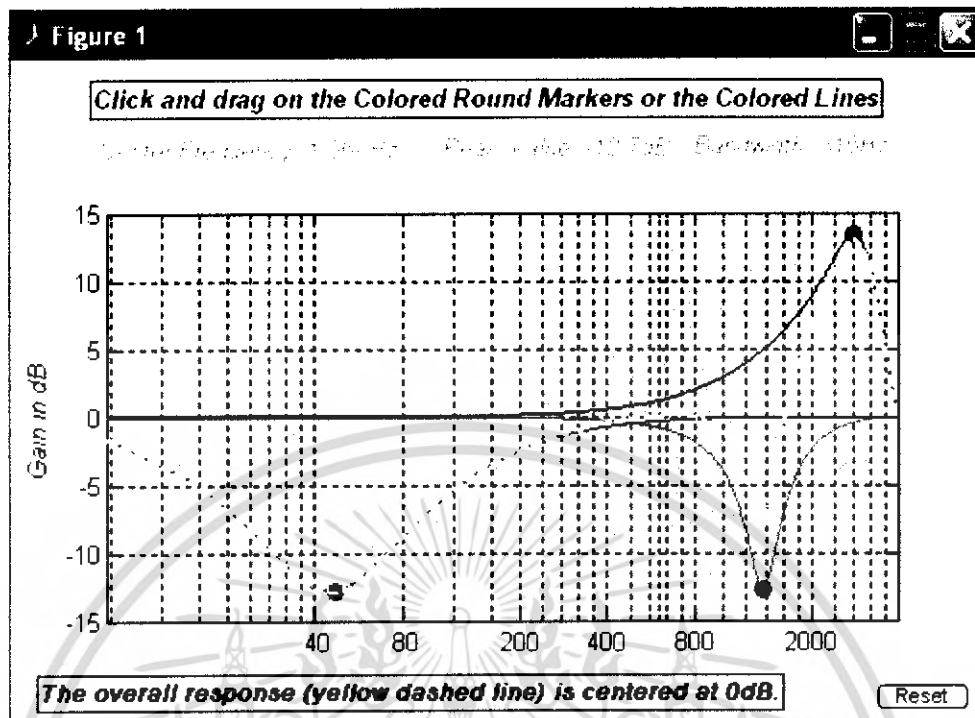


รูปที่ 5.16 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 3 เมื่อ ที่ Center Frequency = 7.51 kHz, peak Value gain = 12.2 dB , Bandwidth = 1.34 kHz

ผลการทดลองตอนที่ 2 ผลตอบสนองที่สถานะ Cut

- แบนด์ที่ 1 จะใช้ Marker และเส้นสีแดงเลื่อนไปที่ Center Frequency = 1.36 kHz, Peak Value gain = -12.7 dB , Bandwidth = 315 kHz จะได้ผลตอบสนองทางความถี่คือเส้นประสีเหลือง ดังรูปข้างล่าง

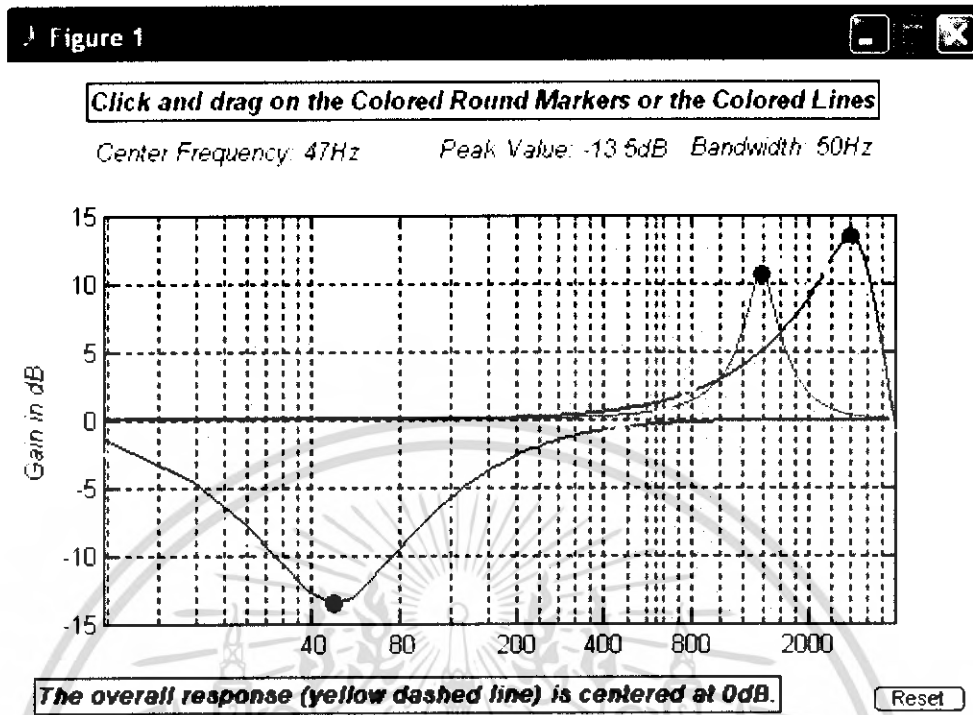
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 1 Center Frequency = 1.36 kHz, Peak Value gain = -12.7 dB , Bandwidth = 315 kHz kHz

- แบนด์ที่ 2 จะใช้ Marker และเส้นสีน้ำเงินเลื่อนไปที่ Center Frequency = 47 Hz, Peak Valuc gain = -13.5 dB , Bandwidth = 50 Hz จะได้ผลตอบสนองคือเส้นประสีเหลืองดังรูปข้างล่าง

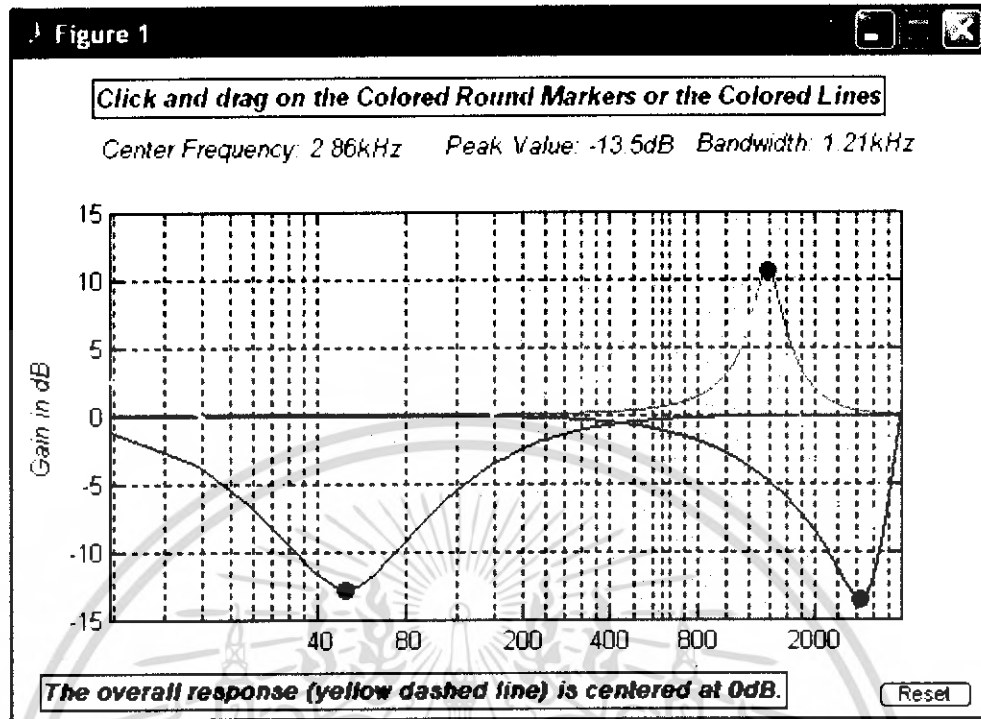
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 2 เมื่อ Center Frequency = 47 Hz, Peak Value gain = -13.5 dB , Bandwidth = 50 Hz

- แบนด์ที่ 3 จะใช้ Marker และเส้นสีดำเลื่อนไปที่ Center Frequency = 2.86 kHz, peak Value gain = -13.5 dB , Bandwidth = 1.21 kHz จะได้ผลตอบสนองคือเส้นประสีเหลืองดังรูปข้างล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.19 ผลตอบสนองเมื่อทำการปรับแต่งแบนด์ที่ 3 เมื่อ Center Frequency = 2.86 kHz, peak Value gain = -13.5 dB , Bandwidth = 1.21 kHz

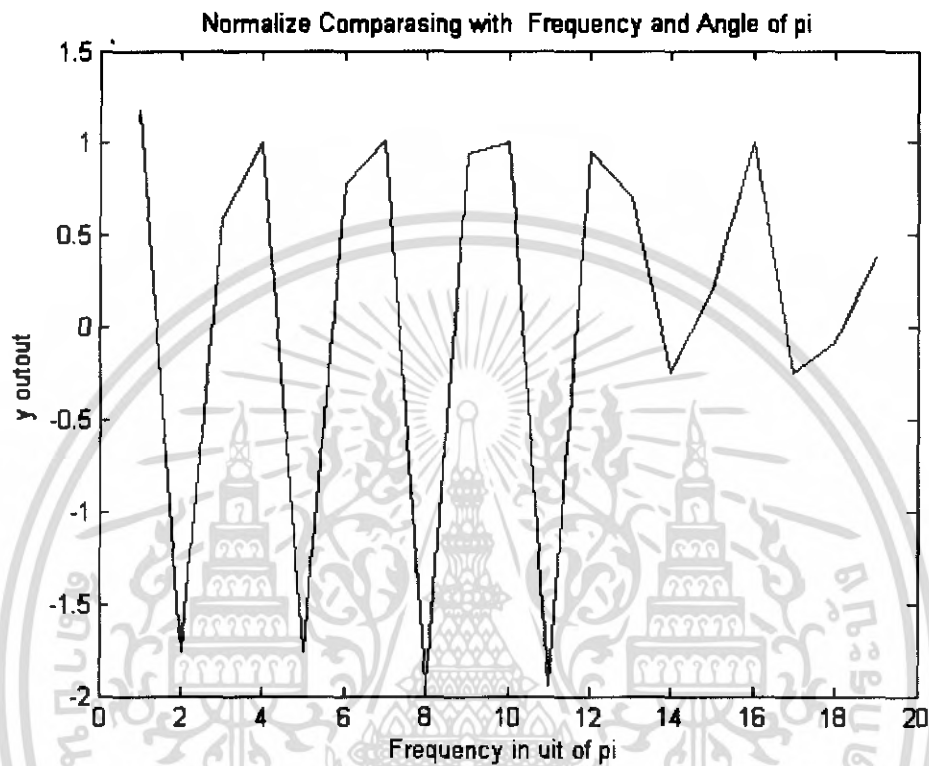
โดยผลการปรับแต่งจะถูกเก็บในหน้าต่าง workspace ของโปรแกรม Matlab ดังรูปต่อไปนี้

Workspace		
Name	Value	Class
Frame	64	double
bit	16	double
fs	44100	double
n	<1x100 double>	double
num den coef	<1x19 double>	double
y	<176400x2 double>	double

รูปที่ 5.20 ผลการทดลองที่เก็บในรูปแบบแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการพล็อตกราฟของค่าความถี่ที่เปลี่ยนไปเทียบกับองศาในหน่วย pi ในรูปแบบนอัมัลไลซ์จะ
ได้กราฟในลักษณะดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.21 ผลของค่าความถี่เอาที่พูดต่อหน่วย pi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุปการทดลองโครงการ

6.1 สรุปการทำโครงการ

การทดลองในโครงการนี้ เป็นการทดลองการสร้างวงจรกรองความถี่เพื่อมาประยุกต์ใช้กับสัญญาณเสียงพื้นฐานรูปไซน์เปรียบเทียบกับสัญญาณรูปคิจิตตอลทั่วไป โดยที่มีการศึกษาและวิเคราะห์เชิงทฤษฎี เพื่อศึกษาเกี่ยวกับระบบของอิกวอไลเซอร์ ชนิดป้อนกลับ ที่กำลังมีการใช้อยู่ในขณะนี้ ซึ่งพบว่าวงจรอิกวอไลเซอร์ที่สร้างขึ้น จะให้ผลตอบสนองต่อสัญญาณทั้งสองชนิดได้เหมือนกัน โครงการนี้ยังได้นำผล ไปประยุกต์ใช้ในระบบได้ โดยที่จะทำให้ทราบถึงระดับความถี่ของการกรองสัญญาณสัญญาณที่ดีที่สุด ซึ่งต่อไปการที่จะออกแบบอิกวอไลเซอร์หรือประยุกต์ใช้นั้นสามารถนำข้อมูลในปริณยานิพนธ์ชุดนี้ในการอ้างอิงและเป็นข้อมูลให้แก่ผู้ที่ศึกษาในด้านนี้

6.2 ปัญหาที่พบจากการดำเนินงาน

1. เทคโนโลยีการประยุกต์ใช้สัญญาณเสียงร่วมกับวงจรกรองยังเป็นเทคโนโลยีที่มีความซับซ้อนมาก ซึ่งข้อมูลที่ค้นคว้ามานั้นยังไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์และการประยุกต์ใช้งานได้จริง ยังไม่สามารถเทียบเคียงกับแนวทฤษฎีได้
2. จากการที่ทำการศึกษาโครงการนี้พบว่ายังมีหลายส่วนๆ ที่ขาดความเข้าใจ ในการที่จะทำการวิเคราะห์จึงค่อนข้างจะทำได้ช้า และการที่พัฒนาต่อต้องศึกษาให้มากขึ้นเพื่อพัฒนารูปแบบการใช้งานจริง
3. ขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับแนวทฤษฎีของอิกวอไลเซอร์สำหรับการใช้งานกับไฟล์เสียง และ โปรแกรมที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ จึงต้องใช้เวลาในการศึกษานาน
4. ยังขาดความชำนาญในการใช้ภาษาทางคอมพิวเตอร์เนื่องจากเป็นภาษาที่ต้องใช้ทักษะ และเวลาในการเรียนรู้

6.3 แนวทางการแก้ไข

1. ค้นคว้าข้อมูลเพื่อที่ให้ทราบมากยิ่งขึ้นเกี่ยวกับการประมวลผลเชิงเลขให้มากยิ่งขึ้นและสอบถามสิ่งที่ไม่เข้าใจจากอาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อเสริมสร้างความเข้าใจมากยิ่งขึ้น
2. ดำเนินโครงการให้เร็วขึ้นเพื่อให้ทันต่อเวลาการดำเนินงาน
3. ศึกษาเกี่ยวกับโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ในการที่นำมาใช้ในโครงการนี้และสอบถามจากผู้ที่มีความเข้าใจเพื่อที่จะสามารถทำได้ถูกต้องและรวดเร็วยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 แนวทางการพัฒนาโครงการ

1. พัฒนาโดยการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อที่ได้ความสมบูรณ์ในการที่ดำเนินโครงการนี้
2. นำข้อมูลจากการทดลองนี้ ไปประกอบกับข้อมูลงานวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยีนี้เพื่อที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

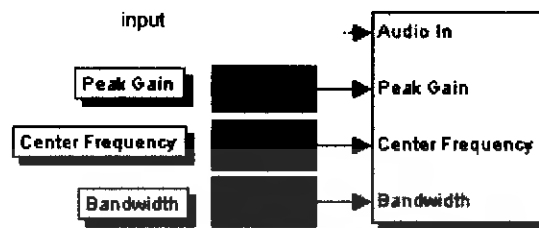
1. Sophocles J Orfanidis, "Didital Singnal Processing". Second Edition. Prentice Hall 2006.
2. Frasel.R, "Didital Filter". John Wiley& Sons. Ltd 2001.
3. คลษฐ์ สุขเจริญผล, เอกสารประกอบการสอนวิชา "ระบบสื่อสารดิจิทัล:บทที่ 1 สัญญาณและระบบ". คณะวิศวกรรมศาสตร์. สจล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

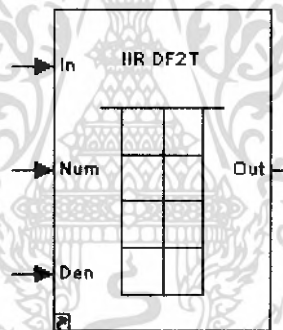


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



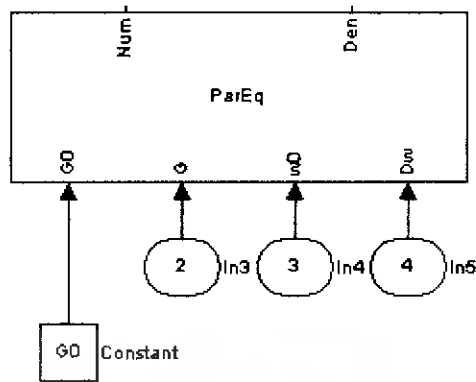
Output to connect other

โมเดลของแบนด์



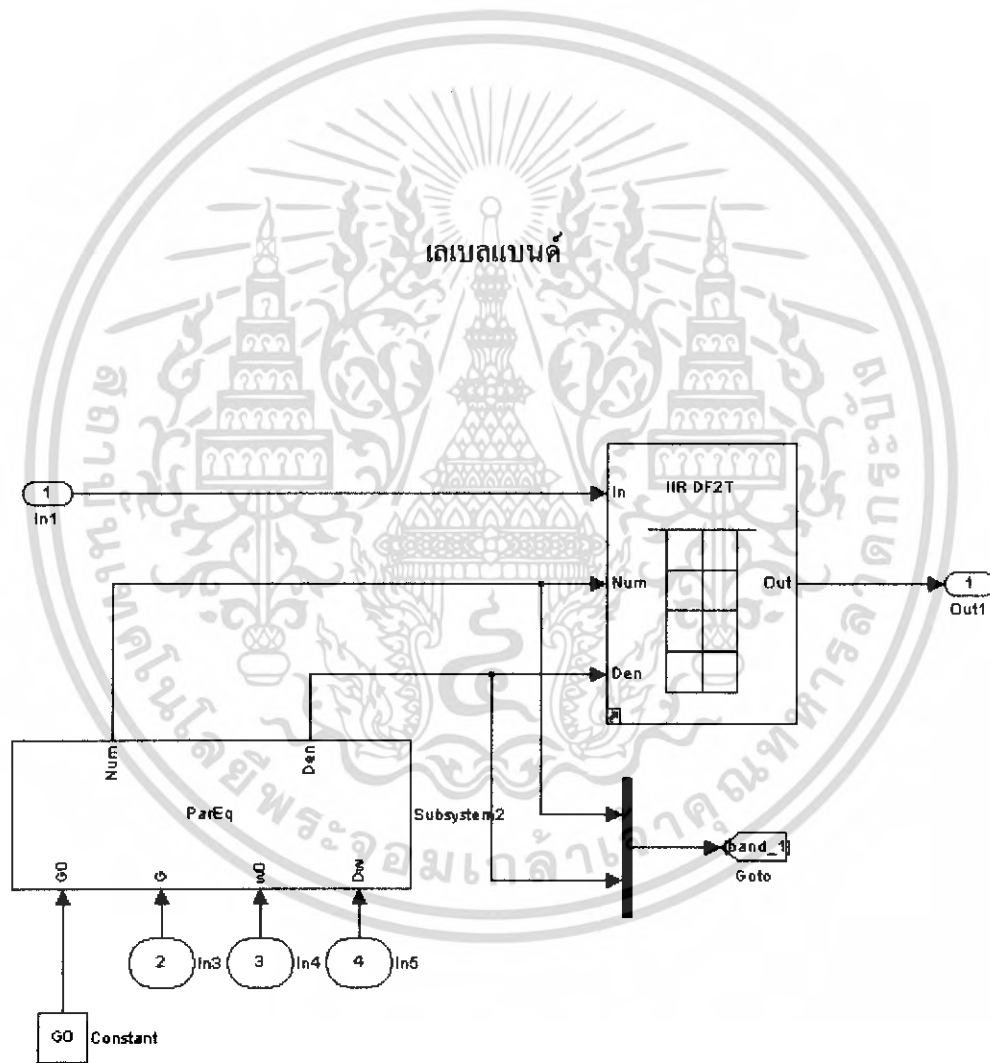
วงจรวจรกรองความถี่เชิงเลขคอบสองอย่างเดี่ยวไม่จำกัดจำนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



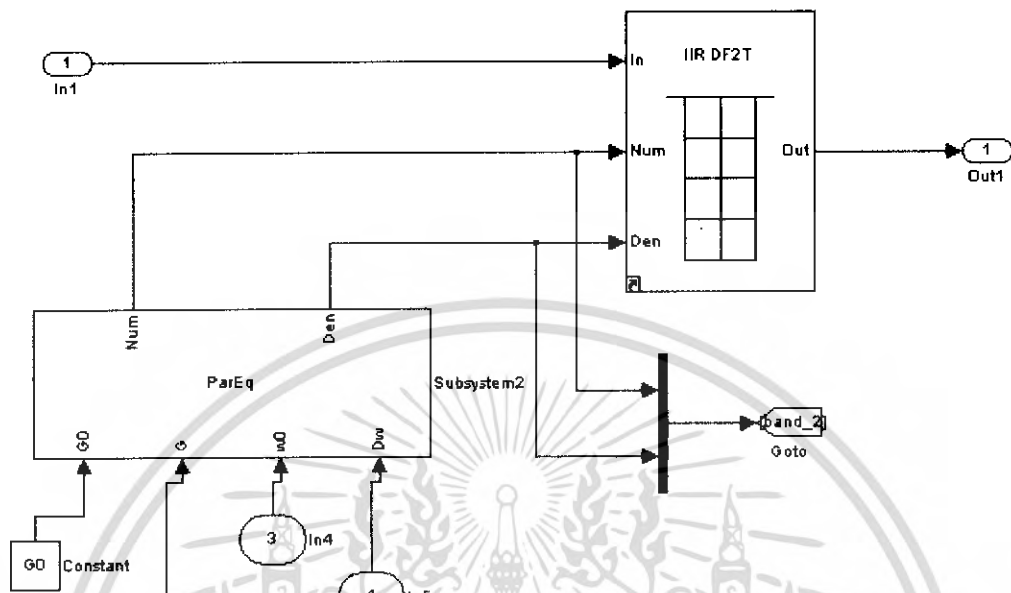
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Port number In4

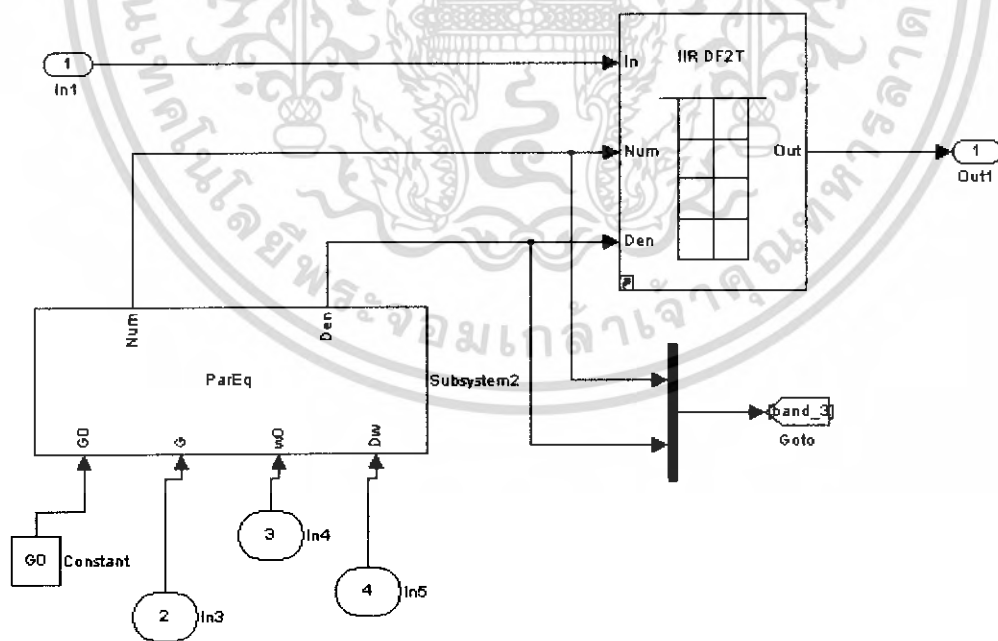


โครงสร้างดิจิทัลฟิลเตอร์แบบ IIR สำหรับแบนด์ที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

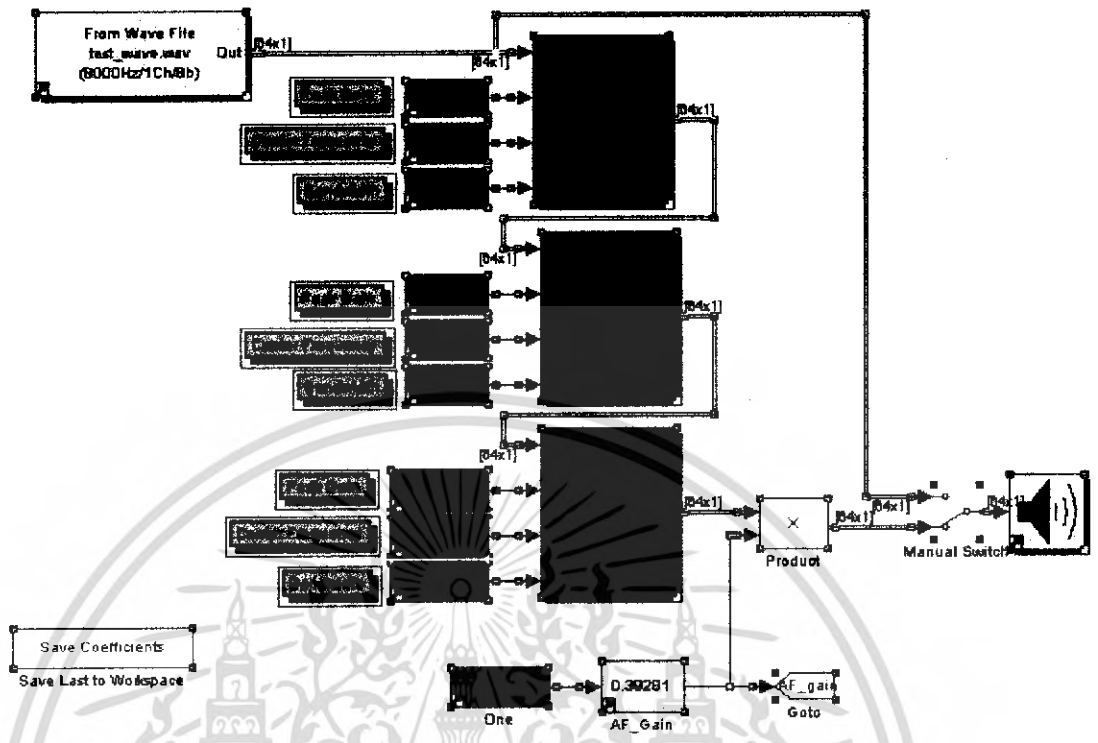


โครงสร้างคิิตอลฟิลเตอร์แบบ IIR สำหรับแบนด์ 2

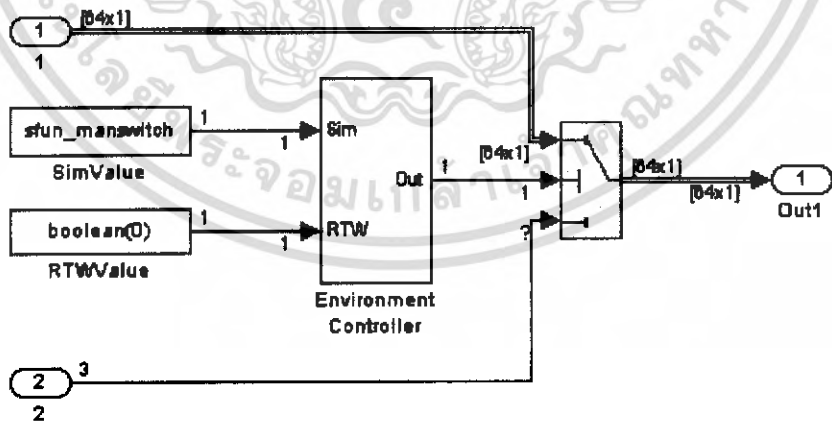


โครงสร้างคิิตอลฟิลเตอร์แบบ IIR สำหรับแบนด์ที่3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

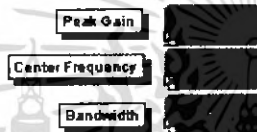
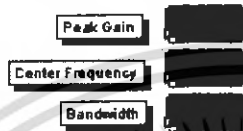
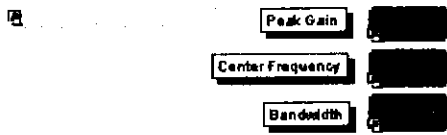


การสร้าง digital parametric equalizer สำหรับ 3 แบนด์

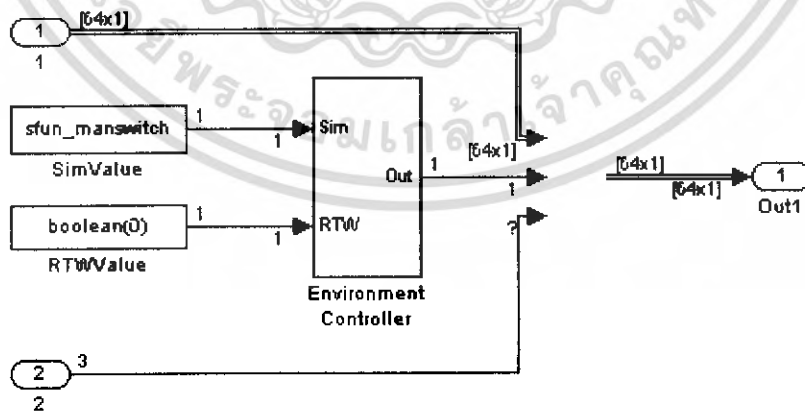


switch manual

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

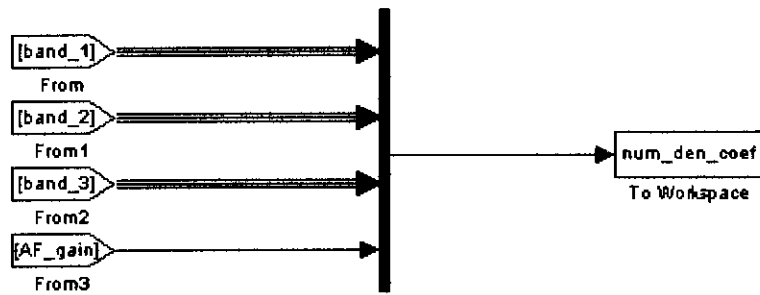


การสร้าง digital parametric equalizer สำหรับ 3 แบนด์



switch manual

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตัวเก็บสัมประสิทธิ์ที่ถูกปรับแต่ง

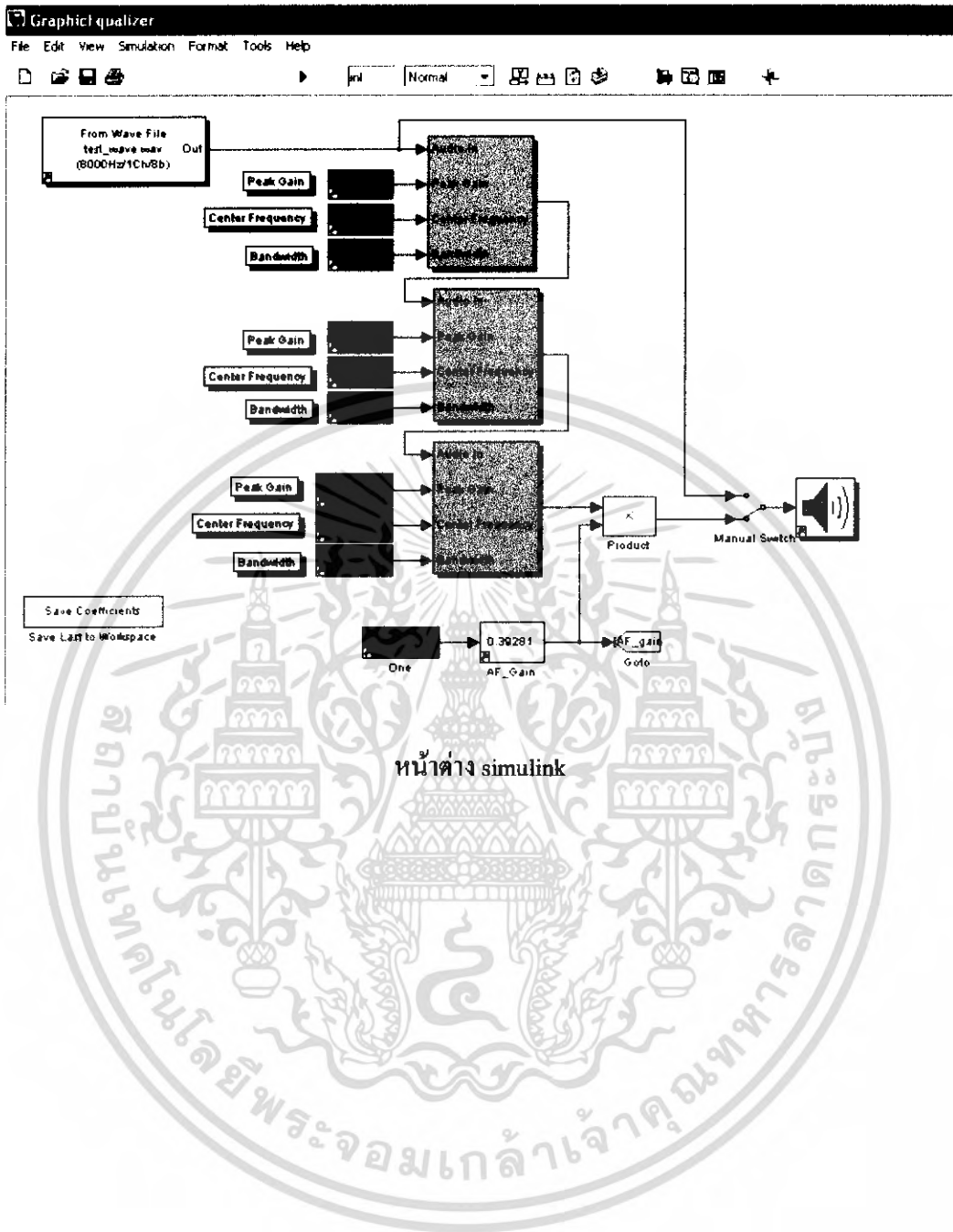


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

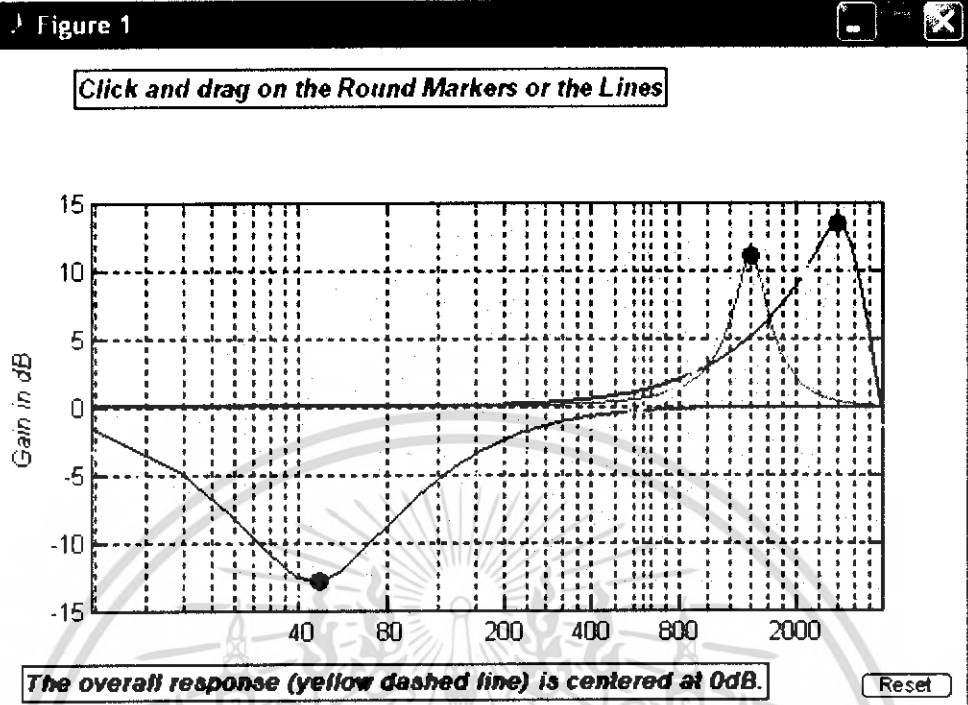


ภาคผนวก ข.
หน้าต่างโปรแกรมใช้งาน

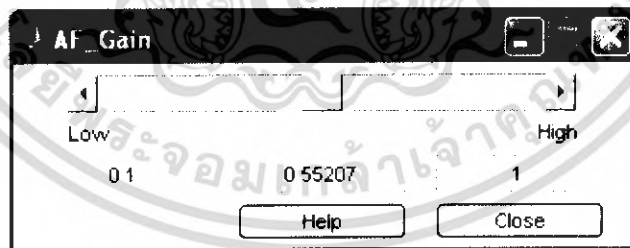
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หน้าต่างปรับแต่งพารามิเตอร์



หน้าต่าง AF-Gain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้