

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การแก้ความผิดเพี้ยนของสัญญาณสีในเครื่องรับโทรทัศน์บนพื้นฐาน LMS อัลกอริทึม

โดยใช้ TMS 320C6416 DSK

**ADAPTIVE EQUALIZATION OF CHROMINANCE SIGNAL IN
TELEVISION RECEVIER BASED ON LMS ALGORITHM BY USING TMS
320C320C6416 DSK**



โดย
นาย พิสุทธิ สรรพสุข
นาย ศิทธิพงษ์ ทวงพยอม

27/11/2551
200

เลขที่.....
เลขทะเบียน..... **83094**
วันเดือนปี..... **- 5 ส.ค. 2551**

b. 119 63929
i.

**ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาด้านหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร
บัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ADAPTIVE EQUALIZATION OF CHROMINANCE SIGNAL IN
TELEVISION RECEVIER BASED ON LMS ALGORITHM BY USING TMS**

320C320C6416 DSK



BY

Mr. PHISUT SAPPHASUK

Mr. SITTIPONG POUNGPAYOM

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

2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาบัตร

การแก้ความผิดเพี้ยนของสัญญาณสีในเครื่องรับ
โทรทัศน์บนพื้นฐาน LMS อัลกอริทึม โดย ใช้ TMS
320C6416 DSK

รายชื่อนักศึกษา

นาย พิสุทธิ สรรพสุข 48015769
นาย สิทธิพงษ์ พวงพยอม 48015778

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาบัตร

อาจารย์ วันวิสา ชัชวงษ์

อาจารย์ผู้ควบคุมร่วม

รศ.ดร. กนก เจนจิระพงศ์เวช

ระดับการศึกษา

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชา

สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา

วิศวกรรมสารสนเทศ

2550

ปริญญาบัตรฉบับนี้ ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

(อาจารย์วันวิสา ชัชวงษ์)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาบัตร

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การแก้ความผิดเพี้ยนของสัญญาณสีในเครื่องรับโทรทัศน์บนพื้นฐาน LMS อัลกอริทึม โดยใช้ TMS320C6416 DSK	
รายชื่อนักศึกษา	นาย ทิสุทธิ์ สรรพสุข	48015769
	นาย สิทธิพงษ์ พวงพยอม	48015778
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	อาจารย์ วันวิสา ชัชวงษ์	
อาจารย์ผู้ควบคุมร่วม	รศ.ดร. กนก เอนจิระพงศ์เวช	
ระดับการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ	
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ	
ปีการศึกษา	2550	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการแก้ความผิดเพี้ยนทางขนาดและสีของสัญญาณสีในเครื่องรับโทรทัศน์ โดยใช้วงจรปรับเท่าแบบปรับตัวโดยใช้ตัวกรองความถี่จิติตอลแบบ FIR ทำงานร่วมกับอะแดปทีฟ อัลกอริทึมแบบ LMS ทำให้อุปกรณ์ที่ออกแบบสามารถยกหรือลดระดับทางขนาด สี และขนาดกับสีพร้อมกันของสัญญาณสีโดยไม่ต้องคำนึงถึงขนาด สี และขนาดกับสีของความผิดเพี้ยน นอกจากนี้วงจรที่ได้นำเสนอนั้นยังมีผลตอบสนองทางเฟสเป็นเชิงเส้นทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องกรุปสีที่ไม่น่าสนใจ โดยในการทดสอบวงจรที่ได้ออกแบบนี้ได้อาสัญญาณมอดูเลต 20T ไซน์กำลังสองมาใช้ จากการทดลองพบว่าวงจรสามารถแก้ความผิดเพี้ยนทางขนาดและสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Thesis Title	ADAPTIVE EQUALIZATION OF CHROMINANCE SIGNAL IN TELEVISION RECEVIER BASED ON LMS ALGORITHM BY USING TMS 320C6416 DSK	
Student	Mr. Phisut Sapphasuk	48015769
	Mr. Sittipong Pongpayom	48015778
Advisor	Miss Vanvisa Chutchavong	
Co- Advisor	Assoc. prof. Dr. Kanok Janchitrepongvej	
Graduate Level	Bachelor Degree of Information Engineering	
Department	Information Engineering	
Academic Year	2550	

ABSTRACT

This thesis presents Adaptive equalizer using FIR filter and LMS algorithm for compensating the amplitude and group delay of Chrominance signal. The proposed equalizer can either enhance compress the input signal and it is not taken into account how the signal is distorted. Moreover, the proposed circuit does not result in non-flat amplitude and group delay of signal, which normally occurs in analog counterpart. This circuit is tested by using the modulated 20T pulse sine squared. The results obtained from the experimentation show that the proposed circuit works efficiency.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องด้วยคำสอนและคำแนะนำทางด้านวิชาการจาก อาจารย์ วันวิสา ชัชวรงค์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาบัตร และขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กนก เชนจิระพงศ์เวช ที่ได้ให้ความรู้ต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับปริญญาบัตรฉบับ ซึ่งเป็นเป็น อาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม ศิษย์รู้สึกซาบซึ้งในความเมตตากรุณาและขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ภาควิชา โทษะมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อาจารย์อรุณพล ป้อมสถิตย์, อาจารย์วิโรจน์ พิราจเนนชัย, อาจารย์ไพฑูรย์ รักเหลือ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ในการทดลองรวมถึงให้คำปรึกษาคำแนะนำที่ดีทางด้านวิชาการต่างๆ และ สุตท้ายขอขอบคุณ นักศึกษา

นาย พิสุทธิ สรรพสุข

นาย สิทธิพงษ์ พวงพยอม

ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวความคิดและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 วงจรกรองความถี่แบบปรับตัวได้	3
2.2 โครงสร้างวงจรกรองความถี่แบบปรับตัวได้	3
2.3 การประมวลผลสัญญาณ	4
2.3.1 ส่วนประกอบในระบบประมวลผลสัญญาณดิจิทัล	5
2.4 วงจรกรองความถี่แบบดิจิทัล	6
2.4.1 โครงสร้างของวงจรกรองความถี่แบบดิจิทัล	7
2.5 ซ้อมได้เปรียบและข้อดีของการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	8
2.5.1 ข้อดีของการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	9
2.5.2 ข้อดีของการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	10
2.6 บทนิยามของศัพท์เทคนิคในระบบการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข	11
2.6.1 บทนิยามของสัญญาณและระบบ	11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 การวัดความผิดเพี้ยนของอัตราขยายและคิเลย์ โดยใช้สัญญาณพัลส์ โมดูละชันไซน์กำลังสอง	12
2.8 การคำนวณหาความถี่สเปกตรัมของสัญญาณรวม โมดูละชันพัลส์ 20T	14
2.9 ทฤษฎีและการหาสูตรสำเร็จของความผิดเพี้ยนของ อัตราขยายและคิเลย์	15
2.9.1 สาเหตุของการผิดเพี้ยนโดยความแตกต่างของ อัตราขยายอย่างเดียว	18
บทที่ 3 วงจรกรองความถี่แบบปรับตัว	19
3.1 อัลกอริทึมการปรับตัว LMS	19
บทที่ 4 ผลการทดลอง	24
4.1 วงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้(Adaptive Equalizer) ด้วยอะแดปทีฟอัลกอริทึม LMS	24
4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	26
4.3 การทดลองและผลการทดลองที่เวลาจริง	28
4.3.1 โมเดลทดลองการทำงานของอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS	29
4.3.2 รูปผลการทดลอง	31
บทที่ 5 สรุปผลของโครงการและข้อเสนอแนะ บรรณานุกรม	41
ภาคผนวก	43
ภาคผนวก ก. ขั้นตอนการสร้างโมเดลในการทดลอง	44
ภาคผนวก ข. วงจรภายในบอร์ด TMS320C6416T DSK	51

สารบัญรูป

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 วงจรกรองความถี่แบบปรับตัวได้	4
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบต่างๆของระบบประมวลผลสัญญาณดิจิทัล	5
รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมของวงจรกรองเชิงเลข	7
รูปที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานทั้งสามที่ให้เป็นส่วนประกอบของตัวกรองดิจิทัล	8
รูปที่ 2.5 แสดงการรวมสัญญาณ (b) + (c)	13
รูปที่ 2.6 แสดงความถี่สเปกตรัมของสัญญาณรวมพัลส์ 20T	15
รูปที่ 2.8 สัญญาณรวมโคไซน์กำลังสองพัลส์	16
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของวงจรกรองแบบปรับตัว	20
รูปที่ 4.1 วงจรปรับเท่าแบบปรับตัวสำหรับทดสอบอัลกอริทึม LMS	24
รูปที่ 4.2 อัลกอริทึมแบบ Least Mean Square algorithm (LMS)	25
รูปที่ 4.3 บอร์ดประมวลผล	26
รูปที่ 4.4 เครื่อง ARBITRARY WAVEFORM GENERATOR รุ่น AWG 2021	26
รูปที่ 4.5 เครื่องคอมพิวเตอร์	27
รูปที่ 4.6 ออสซิลโลสโคป	28
รูปที่ 4.7 รูปแสดงบล็อกไดอะแกรม การต่ออุปกรณ์สำหรับการทดลอง	29
รูปที่ 4.8 การต่ออุปกรณ์สำหรับการทดลองที่เวลาจริง	29
รูปที่ 4.9 โมเดลทดลองการทำงานของอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS	30
รูปที่ 4.10 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางขนาด (-1 dB) และสัญญาณเอาต์พุต	31
รูปที่ 4.11 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางขนาด (+1 dB) และสัญญาณเอาต์พุต	31
รูปที่ 4.12 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางขนาด (-2 dB) และสัญญาณเอาต์พุต	32
รูปที่ 4.13 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางขนาด (+2 dB) และสัญญาณเอาต์พุต	32
รูปที่ 4.14 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางขนาด (-3 dB) และสัญญาณเอาต์พุต	33
รูปที่ 4.15 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางขนาด (+3 dB) และสัญญาณเอาต์พุต	33

ณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 4.16 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางคี่เลข (-20 ns) และสัญญาณเอาต์พุต	34
รูปที่ 4.17 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางคี่เลข (+20 ns) และสัญญาณเอาต์พุต	34
รูปที่ 4.18 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางคี่เลข (-40 ns) และสัญญาณเอาต์พุต	35
รูปที่ 4.19 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางคี่เลข (+40 ns) และสัญญาณเอาต์พุต	35
รูปที่ 4.20 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางคี่เลข (-60 ns) และสัญญาณเอาต์พุต	36
รูปที่ 4.21 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางคี่เลข (+60 ns) และสัญญาณเอาต์พุต	36
รูปที่ 4.22 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางคี่เลข (-80 ns) และสัญญาณเอาต์พุต	37
รูปที่ 4.23 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางคี่เลข (+80 ns) และสัญญาณเอาต์พุต	37
รูปที่ 4.24 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางคี่เลข (-100 ns) และสัญญาณเอาต์พุต	38
รูปที่ 4.25 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางคี่เลข (+100 ns) และสัญญาณเอาต์พุต	38
รูปที่ 4.26 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางอัตราขยาย (+3 dB) และคี่เลข (-100ns) และสัญญาณเอาต์พุต	39
รูปที่ 4.27 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางอัตราขยาย (+3 dB) และคี่เลข (+100 ns) และสัญญาณเอาต์พุต	39
รูปที่ 4.28 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางขนาด (-3 dB) และคี่เลข (+100 ns) และสัญญาณเอาต์พุต	40
รูปที่ 4.29 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางขนาด (-3 dB) และคี่เลข (-100 ns) และสัญญาณเอาต์พุต	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ ก. 1	44
รูปที่ ก. 2	44
รูปที่ ก. 3	45
รูปที่ ก. 4	45
รูปที่ ก. 5	46
รูปที่ ก. 6	46
รูปที่ ก. 7	47
รูปที่ ก. 8	47
รูปที่ ก. 9	48
รูปที่ ก. 10	49
รูปที่ ก. 11	49
รูปที่ ก. 12	50
รูปที่ ข. 1 Functional block and CPU (DSP core) diagram	52
รูปที่ ข. 2 TMS320C64x™ CPU (DSP Core) Data Paths	53
รูปที่ ข. 3 TMS320C6414/C6415/C6416 L2 Architecture Memory Configuration	54
รูปที่ ข. 4 CPU and Peripheral Signals	55
รูปที่ ข. 5 Peripheral Signals	56
รูปที่ ข. 6 Peripheral Signals (Continued)	57
รูปที่ ข. 7 Peripheral Signals (Continued)	58
รูปที่ ข. 8 Peripheral Signals (Continued)	59

๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1 สรุปการดำเนินการด้วยอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS	25



ณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวความคิดและที่มา

สัญญาณภาพเป็นสัญญาณรวม (Composite waveform) ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณส่องสว่าง (Luminance signal) กับสัญญาณสี (Chrominance signal) และสัญญาณซิงค์ (Sync signal) สัญญาณภาพโทรทัศน์นั้นมีแถบความถี่กว้าง ดังนั้นเมื่อส่งไปยังเครื่องรับซึ่งสัญญาณต้องผ่านช่องสัญญาณต่างๆ เช่น อากาศ หรือ วงจรกรองความถี่ภายในเครื่องรับ เป็นต้น ทำให้องค์ประกอบทางด้านความถี่สูงซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสัญญาณสีมีความผิดเพี้ยนไปทำให้อัตราส่วนระหว่างสัญญาณแสงสว่างกับสัญญาณสี (Chrominance-to-luminance ratio inequality) เกิดความไม่สมดุล ทำให้สีของภาพที่มองเห็นที่จอโทรทัศน์เพี้ยนไป ในการทดสอบระบบโทรทัศน์เพื่อลดความผิดเพี้ยนของสัญญาณโทรทัศน์นั้นส่วนใหญ่จะนิยมนำเอาสัญญาณทดสอบมาใช้มากกว่าการใช้สัญญาณภาพจริง ๆ ทั้งนี้เพราะสัญญาณทดสอบนั้นเป็นสัญญาณที่มีรูปแบบที่แน่นอนเมื่อป้อนสู่ระบบแล้วหากระบบมีความบกพร่องจนทำให้สัญญาณผิดเพี้ยนไป ก็สามารถสังเกตเห็นได้ง่ายซึ่งสัญญาณที่นิยมใช้กันคือ สัญญาณพัลส์ไซน์กำลังสองแบบ T และ 2T สำหรับทดสอบโทรทัศน์ขาว-ดำ และสัญญาณมอดูเลต 20T ไซน์กำลังสองสำหรับโทรทัศน์สี ความผิดเพี้ยนของสัญญาณโทรทัศน์โดยเฉพาะความผิดเพี้ยนของสัญญาณนั้นเกิดขึ้นบ่อยและเห็นได้ชัด ซึ่งจะสามารถแบ่งความผิดเพี้ยนออกได้เป็นสามชนิดกล่าวคือ ความผิดเพี้ยนทางขนาด ความผิดเพี้ยนทางมุม ความผิดเพี้ยนทั้งขนาดและทางมุม

ในบทวิจยนี้ได้ทำการออกแบบวงจรชดเชยสัญญาณสีด้วยวงจรปรับเท่าแบบปรับตัว (adaptive equalizer) โดยนำเอาตัวกรองความถี่แบบดิจิทัลแบบ FIR มาทำงานร่วมกับอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS โดยนำสัญญาณสีที่ผิดเพี้ยนมาทำการสุ่มด้วยวงจร A/D (analog to digital) เพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ไปประมวลผลแบบดิจิทัล เมื่อแก้ไขแล้วจะส่งไปยังวงจร D/A (digital to analog) และส่งกลับสู่ระบบโทรทัศน์ต่อไป การประมวลผลแบบดิจิทัลนั้นมีข้อดีว่าการประมวลผลแบบอนาล็อก เพราะการประมวลผลแบบดิจิทัลมีความยืดหยุ่น สูงกว่าแบบอนาล็อก นอกจากนี้ ยังสามารถใช้การประมวลผลแบบซ้ำ (iteration) เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด (optimum) ได้อีกด้วย โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงฮาร์ดแวร์อย่างใด

ในกระบวนการทั้งหมดเราจะทดลองโดยการประยุกต์การใช้งานของบอร์ด DSP TMS230C6416 DSK เป็นตัวประมวลผลควบคุมและทำการจำลอง Model ที่จะใช้ทดลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีการทำงานของตัวกรองเชิงความถี่ LMS Algorithm โดยใช้โครงสร้าง FIR โดยจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB
2. เพื่อนำผลที่ได้จากการทดลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB ไปสร้างเป็นชุดทดลองตัวกรองเชิงเลขแบบ FIR ด้วยบอร์ด DSP TMS320C6416 DSK
3. เพื่อแก้ปัญหาค่าความผิดเพี้ยนทางขนาด และคี่เลขของสัญญาณสี่ในเครื่องรับโทรทัศน์ ที่ความถี่พาห้อย่อย 4.43 MHz ในระบบ PAL โดยใช้สัญญาณทดสอบมอดูเลต 20 T ไชน์กำลังสองพัลส์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

สร้างชุดทดลองการแก้ความผิดเพี้ยนของสัญญาณสี่ในเครื่องรับโทรทัศน์ด้วยบอร์ด DSP TMS320C6416 DSK โดยใช้ตัวประกอบอะแดพทีฟแบบ FIR ซึ่งทำงานร่วมกับอัลกอริทึมแบบ LMS โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการสร้างแบบจำลอง Model การเกิดค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณสี่ในเครื่องรับโทรทัศน์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ออกแบบตัวกรองความถี่แบบ FIR ด้วยโปรแกรม MATLAB และหาค่าสัมประสิทธิ์ของค่าความผิดเพี้ยนทางขนาด และคี่เลขของสัญญาณสี่ในเครื่องรับโทรทัศน์ ที่ความถี่พาห้อย่อย 4.43 MHz ในระบบ PAL โดยใช้สัญญาณทดสอบมอดูเลต 20 T ไชน์กำลังสองพัลส์
2. นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปประมวลผลบนบอร์ด DSP เพื่อสร้างชุดทดลองตัวกรองเชิงเลขแบบ FIR
3. ทดสอบผลการทดลองด้วยออสซิลโลสโคป
4. สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 วงจรกรองความถี่แบบปรับตัวได้ (Adaptive Filter)

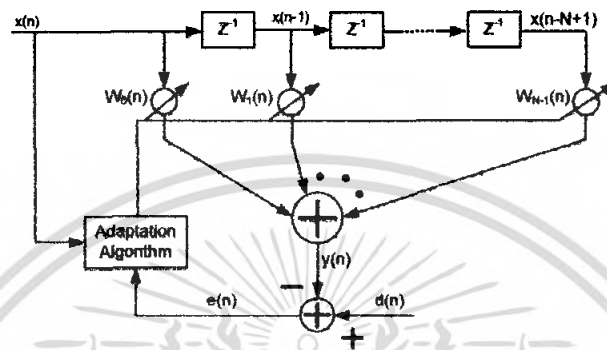
วงจรกรองความถี่ทั่วไป เป็นวงจรกรองความถี่แบบสัมประสิทธิ์คงที่ หรือแบบไม่แปรตามเวลา สำหรับวงจรกรองความถี่แบบปรับตัวได้จะเป็นวงจรกรองความถี่แบบที่มีสัมประสิทธิ์ปรับเปลี่ยนตลอดเวลา โดยมีลักษณะการปรับค่าสัมประสิทธิ์โดยอัตโนมัติ โดยใช้เงื่อนไขทางสถิติของสัญญาณและของโมเดลของสิ่งแวดล้อมที่สร้างขึ้นในการหาค่าสัมประสิทธิ์ ตัวกรองแบบปรับตัวนี้ทำให้ขอบเขตของการประยุกต์ใช้การประมวลผลสัญญาณดิจิทัลขยายวงออกไปกว้างมาก ตัวกรองความถี่แบบปรับตัวได้นี้จะมีประโยชน์อย่างมากในสถานะที่เราไม่สามารถใช้ตัวกรองความถี่ดิจิทัลแบบธรรมดาไม่ได้หรือใช้ได้แต่ให้ผลไม่ดีนัก ซึ่งจะให้ผลที่ดีขึ้นถ้าใช้ตัวกรองความถี่แบบปรับตัวได้ ยกตัวอย่างเช่น

1. เมื่อสัญญาณรบกวนและสัญญาณที่ต้องการอยู่ในย่านความถี่เดียวกัน ซึ่งถ้าเราใช้ตัวกรองความถี่ที่มีค่าสัมประสิทธิ์คงที่ และต้องการให้สัญญาณรบกวนส่วนใหญ่หมดไป ก็จะทำให้สัญญาณที่ต้องการหายไปด้วย
2. เมื่อไม่รู้ลักษณะที่แน่นอนของสัญญาณรบกวน เช่น ไม่รู้ว่าสัญญาณรบกวนอยู่ในย่านความถี่ใดหรือเข้ามาในทิศทางใด เช่น ในกรณีของสายอากาศแบบอะเรย์ เป็นต้น
3. เมื่อสัญญาณที่ต้องการมีความถี่เปลี่ยน ไม่รู้ลักษณะที่แน่นอน เช่น กรณีของโมเด็มหรือโทรศัพท์มือถือ ที่มีการส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณ สัญญาณที่ตั้งรับจะถูกทำให้ผิดเพี้ยนไปด้วย ฟังก์ชันถ่ายโอนของสัญญาณที่ไม่รู้ค่าแน่นอนและอาจมีค่าแปรตามเวลาด้วยเพราะฉะนั้นจึงต้องใช้ตัวกรองเอาความผิดพลาดนี้ออกไป

2.2 โครงสร้างวงจรกรองความถี่แบบปรับตัวได้

โครงสร้างของ อะแดปทีฟ ฟิลเตอร์ ส่วนใหญ่จะใช้การคำนวณแบบธรรมดาๆ หรือโครงสร้างแบบ Transversal ดังรูป 2.1 ในที่นี้ อะแดปทีฟ ฟิลเตอร์ จะมีสัญญาณ อินพุต $x(n)$ เอาต์พุต $y(n)$ และ $d(n)$ ตามลำดับ ดังรูป เอาต์พุต $y(n)$ เป็นการรวมเอาสัญญาณเชิงเส้นที่เราสร้างขึ้นกับสัญญาณ อินพุต $x(n)$ ตามสมการ

$$y(n) = \sum_{i=0}^{n-1} w_i(n)x(n-i) \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.1 วงจรกรองความถี่แบบปรับตัวได้

2.3 การประมวลผลสัญญาณ

การประมวลผลสัญญาณ คือ การนำเอาสัญญาณมาเข้าระบบการประมวลผลที่ข้างในประกอบขึ้นด้วย ระบบอุปกรณ์ที่ทำกรทางคณิตศาสตร์ เช่น การบวกสัญญาณ การคูณ การหาร การถอดรากที่สอง หรือการอินทิเกรตสัญญาณ แต่เดิมนั้นเรานิยมใช้ระบบการประมวลผลสัญญาณในรูปแบบระบบการประมวลผลสัญญาณแบบอนาล็อก ซึ่งสัญญาณเข้าและออกจะเป็นสัญญาณต่อเนื่องหรือแบบอนาล็อก ข้อดีของระบบการประมวลผลแบบนี้คือ ราคาถูก การออกแบบทำได้ง่าย แต่ข้อจำกัดของระบบการประมวลผลสัญญาณแบบอนาล็อกก็คือประสิทธิภาพและความแม่นยำในการประมวลผล คุณสมบัติของตัวอุปกรณ์ก็ยังแปรค่าตามสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ อายุการใช้งาน ความชื้น ทำให้ความเชื่อถือของระบบมีได้แค่ในระดับหนึ่งเท่านั้น

ผลจากการพัฒนาทางเทคโนโลยีการออกแบบและผลิตวงจรรวม ทำให้อุปกรณ์ดิจิทัล เช่น คอมพิวเตอร์ ไมโครคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ลอจิกเกต หรืออุปกรณ์สนับสนุนต่างๆ มีราคาถูกลงและมีประสิทธิภาพดีขึ้นมาก ทำให้ความสนใจในการนำเอาระบบการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลมีเพิ่มมากขึ้น ข้อดีของระบบการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล คือระบบมีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำสูง สามารถออกแบบและแก้ไขได้โดยง่าย โดยทั่วไปการศึกษา ออกแบบและพัฒนาารบบการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล จะแบ่งเป็น 2 หัวข้อใหญ่ๆ คือ

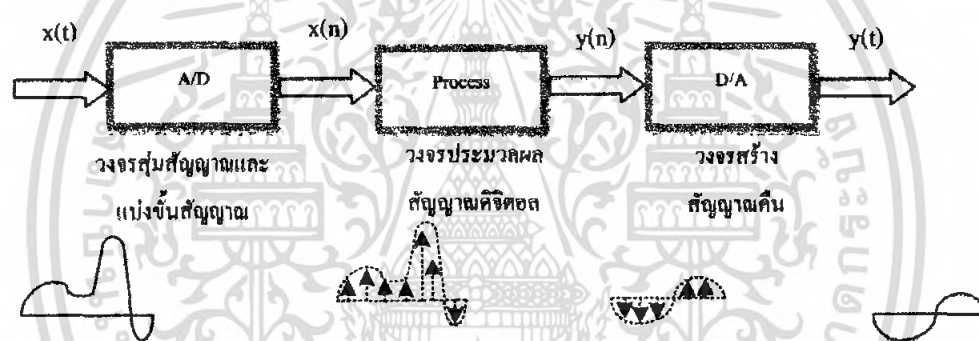
1. วงจรกรองความถี่แบบดิจิทัล(Digital filter) วงจรกรองความถี่แบบดิจิทัลมีหลายประเภทด้วยกัน แต่มีวงจรกรองอยู่ 2 ชนิด ซึ่งเป็นวงจรกรองเชิงเส้นที่เป็นพื้นฐานของวงจรกรองความถี่แบบ

ดิจิตอลอื่นๆ คือ วงจรกรองความถี่แบบไม่มีการป้อนกลับ (non-recursive filter) และวงจรกรองความถี่แบบไม่มีการป้อนกลับ (recursive filter)

2. การแปลงแบบดิจิตอล(Digital transform) การแปลงแบบดิจิตอลโดยเฉพาะการแปลงฟูรีเยอร์เต็มหน่วย (Discrete Fourier Transform หรือ DFT) ที่ทำการประมวลผลโดยใช้ขั้นตอนที่เรียกว่าการแปลงพาสต์ฟูรีเยอร์ (Fast Fourier Transform หรือ FFT) มีส่วนทำให้การประมวลผลสัญญาณแบบดิจิตอลได้รับความนิยมมากขึ้น

2.3.1 ส่วนประกอบในระบบประมวลผลสัญญาณดิจิตอล

ระบบประมวลผลสัญญาณ โดยส่วนใหญ่ แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบต่างๆของระบบประมวลผลสัญญาณดิจิตอล มีดังนี้

1. วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 กระบวนการย่อยดังนี้
 - วงจรสุ่มสัญญาณ (Sampler) สัญญาณขาเข้าของวงจรนี้เป็นสัญญาณแบบอนาล็อก $x(t)$ ส่วนสัญญาณขาออกเป็นสัญญาณไม่ต่อเนื่อง $x(n)$ พารามิเตอร์ของวงจรสุ่มสัญญาณนี้ก็คือ ค่าอัตราการสุ่ม (Sampling Rate) หรือ ความถี่ในการสุ่ม ใช้สัญลักษณ์แทนว่า f_s ค่านี้เป็นตัวกำหนดว่า วงจรสุ่มสัญญาณด้วยอัตรากี่ครั้งต่อวินาที หรือกี่เฮิรต์ (Hz)
 - วงจรแบ่งขั้นสัญญาณ (Quantize) สัญญาณ $x(n)$ ที่ได้จากวงจรสุ่มสัญญาณถือว่ามีความละเอียดของ $x(n)$ ลงให้สามารถแทนได้ด้วยสัญญาณดิจิตอลที่มีบิตจำกัด กระบวนการลดความละเอียดนี้เรียกว่า การแบ่งขั้นของสัญญาณ(Quantization) ความละเอียดที่ได้จากการแบ่งขั้นสัญญาณขึ้นกับจำนวนบิตที่จะใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรสุ่มสัญญาณรวมกับวงจรแบ่งขั้นสัญญาณในทางปฏิบัติก็คือ ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D converter) นั่นเอง ซึ่งจะรวมสองกระบวนการนี้อยู่ในวงจรเดียวกันและโดยทั่วไปเราจะใช้ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลในรูปของวงจรรวมสำเร็จรูป (IC)

2. วงจรประมวลผลสัญญาณ ส่วนนี้เป็นหัวใจหลัก ซึ่งจะทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณ $x(n)$ เพื่อกระทำผลบางอย่างกับสัญญาณ เช่น เป็นวงจรกรองความถี่บางย่านออก และให้ผลลัพธ์ของการประมวลผลเป็นสัญญาณขาออก $y(n)$ วงจรประมวลผลสัญญาณนี้ ถ้าจะพิจารณากันอย่างง่าย ๆ ก็คือตัวคำนวณนั่นเอง กล่าวได้ว่า มันกระทำการคำนวณหาสัญญาณขาออกจากสัญญาณขาเข้า โดยมองเห็นสัญญาณขาเข้าในลักษณะลำดับของค่า

3. วงจรสร้างสัญญาณคืน (Signal reconstruction) ใช้ในระบบที่สัญญาณขาออกสุดท้ายเป็นสัญญาณต่อเนื่อง (การประมวลผลสัญญาณบางอย่าง ต้องการสัญญาณขาออกเป็น ไม่ต่อเนื่อง ก็ไม่จำเป็นต้องมีส่วนที่ 3) โดยทำหน้าที่แปลงสัญญาณไม่ต่อเนื่อง $y(n)$ ให้กลับเป็นสัญญาณต่อเนื่อง $y(t)$ ซึ่งจะเป็นสัญญาณขาออกสุดท้ายของระบบ วงจรประเภทนี้ก็คือ ตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก (D/A converter) ซึ่งก็มีอยู่ในรูปแบบของวงจรรวมสำเร็จรูปเช่นกัน

2.4 วงจรกรองความถี่แบบดิจิทัล

วงจรกรองความถี่แบบดิจิทัล คือ กระบวนการที่ไปตัดแปลงสเปกตรัมของสัญญาณให้มีสเปกตรัมเป็นไปตามข้อกำหนดที่ต้องการ ซึ่งอาจเป็นการเพิ่มค่าหรือลดทอนค่าขนาดของสัญญาณในแถบความถี่ที่กำหนดให้ หรือทำการตัดสัญญาณที่ไม่ต้องการในช่วงความถี่ที่กำหนดออกไป ซึ่งทำให้สามารถแยกสัญญาณ ในช่วงความถี่ที่ต้องการได้ ในการวิเคราะห์และสังเคราะห์วงจรนั้น ต้องใช้เครื่องมือพื้นฐานทางคณิตศาสตร์เข้าช่วย ดังนั้นเราจึงนิยมเรียกว่า วงจรกรองความถี่แบบดิจิทัล

การที่วงจรกรองความถี่แบบดิจิทัลมีการนำมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างกว้างขวางนั้นอาจมาจากการได้เปรียบหลายประการดังนี้

1. ผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองความถี่ สามารถออกแบบให้มีความใกล้เคียงกับผลตอบสนองความถี่ที่กำหนดให้ หรือผลตอบสนองความถี่ที่ต้องการได้ นอกจากนี้การออกแบบวงจรกรองความถี่ให้มผลตอบสนองเชิงเส้นทำได้ง่าย

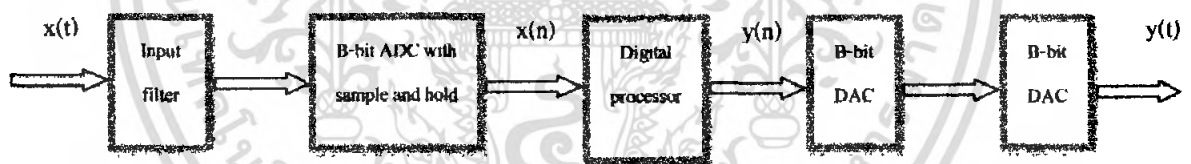
2. คุณสมบัติของวงจรกรองความถี่ที่ออกแบบและสร้างแล้วจะไม่ขยับเลื่อนไปตามสภาพแวดล้อมหรือตามอุณหภูมิ หรือระยะเวลาในการใช้งานนอกจากนี้ยังสามารถใช้งานในย่านความถี่ต่ำได้

3. การประยุกต์ใช้งานเป็นวงจรกรองความถี่แบบปรับความถี่ได้ (Adaptive Filter) ทำได้ง่าย

4. ผู้ออกแบบสามารถออกแบบโดยคำนึงถึงความยาวของคำ (Word length) ของตัวเลขฐานสองที่ต้องการใช้ และยังสามารถออกแบบให้มีผลตอบสนองความถี่ที่ต้องการได้

5. ในปัจจุบัน ถ้าพิจารณาในแง่มุมมองเสถียรภาพของวงจรกรองความถี่ ความเชื่อถือได้ ราคา หรือขนาดของวงจรกรองความถี่แบบดิจิทัล สิ่งเหล่านี้กำลังได้รับการพัฒนา และปรับปรุง ซึ่งมีแนวโน้มว่าจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าของวงจรกรองความถี่แบบอนาล็อก (Analog Filter) หรือเรียกว่าวงจรกรองความถี่แบบอุปมาน

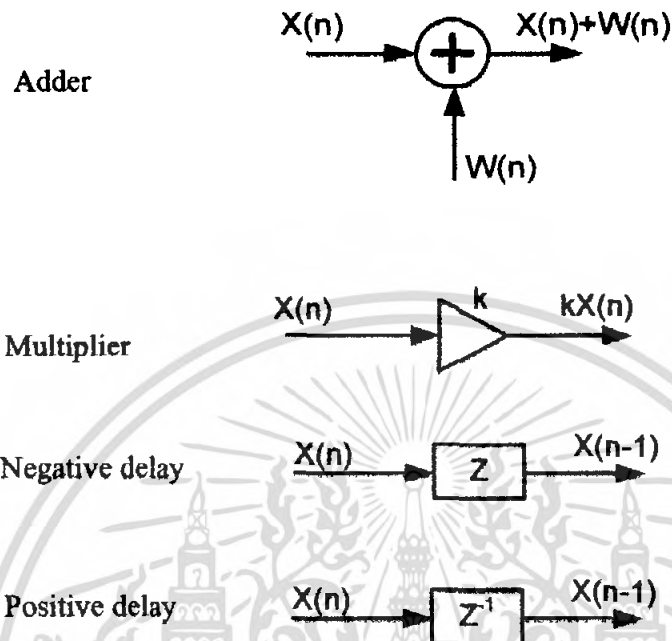
วงจรกรองความถี่แบบดิจิทัลสามารถเขียนอธิบายในรูปของบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 2.3 โดยสัญญาณอินพุตซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อกจะถูกสุ่ม (Sampled) ด้วยช่วงเวลาที่ยกที่กำหนดและสัญญาณที่ถูกสุ่มนี้จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปเลขฐานสอง โดยการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล หรือสัญญาณแบบดิจิทัล (analog to digital converter) หลังจากนั้นเลขฐานสองที่แทนสัญญาณอนาล็อกที่เข้ามาทางอินพุตจะถูกกรองโดยวงจรกรองความถี่แบบดิจิทัลการกรองจะเป็นการคำนวณทางตัวเลข ซึ่งจะอาศัยวงจรที่ใช้ในระบบ คอมพิวเตอร์ได้แก่ ตัวบวก ตัวคูณ รีจิสเตอร์ และอุปกรณ์หน่วยความจำต่างๆ ต่อมาค่าเอาต์พุตที่จะนำไปใช้งานได้



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมของวงจรกรองแบบดิจิทัล

2.4.1 โครงสร้างของวงจรกรองความถี่แบบดิจิทัล

วงจรกรองความถี่ดิจิทัล ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ การบวก (Adder) การคูณ (Multiplier) และการหน่วง (Unit Delay) เวลาที่แสดงในรูปที่ 2.4 การบวกและการคูณจะใช้แนวความคิดมาจากตัวเลขในหน่วยคอมพิวเตอร์ ส่วนการหน่วงจะทำให้การถึงข้อมูลในอนาคคมักค่าอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานทั้งสามที่ใช้เป็นส่วนประกอบของตัวกรองดิจิทัล

การหน่วงเวลานั้นแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ บวก (Positive) และลบ (negative) โดยการหน่วงแบบบวกนี้เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่บันทึกความจำของรีจิสเตอร์ (register) จะเก็บค่าได้ตามระยะเวลาที่กำหนดสำหรับการคำนวณครั้งต่อไป การหน่วงแบบบวกจะแทนค่าด้วย z^{-1} และสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ด้วยการแปลงเซต การหน่วงแบบลบให้แทนค่าต่อไปในระดับสัญญาณ แทนค่าด้วย Z จะมีชนิดและการใช้งานที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามการใช้งานไม่สามารถใช้งานได้เสมอไป

2.5 ข้อได้เปรียบและข้อด้อยของการประมวลผลสัญญาณแบบดิจิทัล

อาจกล่าวได้ว่า ข้อเด่นเป็นอย่างมากของการประมวลผลสัญญาณแบบดิจิทัลก็คือ ความเที่ยงตรง ความแม่นยำ ในการประมวลผล อย่างไรก็ตามการนำเอาระบบประมวลผลสัญญาณแบบดิจิทัลมาใช้ร่วมกับระบบการประมวลผลสัญญาณแบบอนาล็อกที่ยังมีการใช้กันมากในปัจจุบัน ก็ต้องมีข้อเสียเปรียบอยู่มากเช่นกัน ดังนั้นการกล่าวถึงข้อได้เปรียบ และข้อด้อย บางประการของการประมวลผลสัญญาณแบบดิจิทัลจึงอาจเป็นประโยชน์บ้าง และ นอกจากนี้ยังเป็นการใช้ภาพอย่างกว้างๆ แก่ผู้ที่จะนำเอาระบบประมวลผลสัญญาณแบบดิจิทัลไปประยุกต์ใช้ได้อย่างเหมาะสมยิ่งขึ้น

2.5.1 ข้อดีของการประมวลผลสัญญาณแบบดิจิทัล

ข้อได้เปรียบของการประมวลผลสัญญาณแบบดิจิทัลอาจกล่าวได้เป็นข้อๆ ดังนี้

1. เหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่ข้อมูลอยู่ในรูปแบบสัญญาณแบบดิจิทัลอยู่แล้ว เช่น ผลลัพธ์จากคอมพิวเตอร์ ไมโครโพรเซสเซอร์ หรือ ข้อมูลจากระบบควบคุมแบบดิจิทัล เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณหรือข้อมูลจากอุปกรณ์เหล่านี้ ถ้าหากต้องนำไปประมวลผลในระบบประมวลผลสัญญาณแบบอนาล็อก ก็จำเป็นต้องมี วงจรแปลงรูปแบบสัญญาณแบบดิจิทัลอนาล็อก (Digital to Analog converter หรือ D/A) เพื่อแปลงสัญญาณแบบดิจิทัลให้เป็นสัญญาณแบบอนาล็อกก่อน หลังจากประมวลผลด้วยระบบประมวลผลแบบอนาล็อกแล้ว ก็ต้องแปลงผลลัพธ์ที่เป็นสัญญาณแบบอนาล็อกไปเป็นสัญญาณแบบดิจิทัลด้วย วงจรแปลงรูปแบบสัญญาณแบบอนาล็อกเป็นแบบดิจิทัล (Analog to Digital converter หรือ A/D) เพื่อส่งกลับไปยังอุปกรณ์แบบดิจิทัลต่อไป ซึ่งจะเห็นว่าระบบประมวลผลมีความซับซ้อนมากขึ้นนอกจากนี้ถ้าหากเป็นระบบที่ต้องการทำการประมวลผลสัญญาณพร้อมกันหลายสัญญาณ (ซึ่งในคอมพิวเตอร์มักทำในลักษณะนี้) ก็จะทำให้ระบบยุ่งยากมากขึ้น อีกทั้งในปัจจุบัน A/D หรือ D/A ที่มีประสิทธิภาพสูงและมีความเร็วในการแปลงสูง ยังมีราคาแพงอยู่

2. อุปกรณ์ทางด้านแบบดิจิทัล มีราคาถูก ขนาดเล็ก มีประสิทธิภาพสูง มีความแม่นยำและความแน่นอนสูง นอกจากนี้การพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นก็เป็นไปอย่างรวดเร็ว ข้อนี้เป็นข้อได้เปรียบที่สำคัญ เพราะว่าการประมวลผลสัญญาณแบบดิจิทัลสามารถคำนวณได้อย่างแม่นยำ และต้องการให้มีความละเอียดเท่าใดก็ได้ แต่สำหรับการประมวลผลแบบอนาล็อก การคำนวณที่ให้ความละเอียดเกินกว่าหนึ่งในพันส่วน หรือ 0.001 นั้นทำได้ยากมาก นอกจากนี้ ชิ้นอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบของการประมวลผลสัญญาณแบบอนาล็อก เช่น ตัวความต้านทาน ตัวขยายสัญญาณ ยังมีคุณสมบัติแปรค่าไปตามสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น อายุการใช้งานด้วย ทำให้มีความแม่นยำ และความเชื่อถือได้ของระบบประมวลผลสัญญาณแบบอนาล็อกต่ำ อย่างไรก็ตามในปัจจุบัน การประมวลผลสัญญาณแบบดิจิทัลที่ให้ความแม่นยำสูง ต้องใช้อุปกรณ์ราคาแพง ถ้าหากมีการพัฒนาให้อุปกรณ์ประมวลผลแบบดิจิทัลมีราคาถูกก็จะเป็นผลดีอย่างยิ่ง

3. การรับ และส่งข้อมูลหรือสัญญาณแบบดิจิทัล ทำได้แน่นอนกว่า ทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณแบบดิจิทัลมีแค่ 2 ระดับ คือ ศูนย์ (0) กับหนึ่ง (1) เท่านั้น ถ้าหากรูปคลื่นสัญญาณผิดเพี้ยนไปก็สามารถแก้ไข และ สร้างขึ้นมาใหม่ให้เหมือนเดิมได้โดยง่าย

4. การประมวลผลสัญญาณแบบดิจิทัล ทำได้ง่าย ทั้งนี้เนื่องจาก ขั้นตอนวิธี (Algorithm) การประมวลผลสัญญาณมักประกอบด้วย การบวก การลบ การคูณ การหาร และการเลื่อนตัวเลขเท่านั้น

5 ระบบประมวลผลสัญญาณแบบคิจิตอล สามารถทำเป็นแบบ ระบบแบ่งกันใช้เวลา(Time-shared system) ได้ ดังนั้นจึงสามารถทำการประมวลผลพร้อมๆ กันหลายช่องสัญญาณได้ และนอกจากนี้ในระบบเดียวกันยังสามารถโปรแกรมให้ทำงานได้หลายรูปแบบด้วย

6. ระบบประมวลผลสัญญาณแบบคิจิตอล มีความคล่องตัวสูง ทั้งนี้เนื่องจากสามารถทำการมัลติเพล็กซ์ กับ ข้อมูล สัญญาณเสียง หรือ สัญญาณภาพได้ การมัลติเพล็กซ์ ยังสามารถทำเป็นแบบการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา(Time Division Multiplex หรือTDM) หรือ การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งรหัส(Code Division Multiplex หรือ CDM) ได้ นอกจากนี้การส่งสัญญาณยังส่งได้ในอัตราบิต (bit tare) หรือ อัตราบอด (baud rate) ต่างๆกันก็ได้

2.5.2 ข้อดีของการประมวลผลสัญญาณแบบคิจิตอล

นอกจากข้อดีที่กล่าวแล้ว การประมวลผลสัญญาณแบบคิจิตอลทำให้เกิดข้อดีหลายประการคือ

1. ระบบการประมวลผลสัญญาณแบบคิจิตอลต้องมีสัญญาณสำหรับการซิงค์โครไนซ์ (Synchronize) การจัดเวลา (timing) และ การกำหนดกรอบ (framing) ของข้อมูลไว้ด้วย ถ้าหากสัญญาณเหล่านี้สูญหายหรือ ผิดพลาดไป การทำงานของระบบก็จะผิดพลาดไปด้วย

2. มีปัญหา การเชื่อมโยง (Interfacing) กับระบบการประมวลผลสัญญาณแบบอนาล็อก ทั้งนี้เนื่องมาจากระบบประมวลผลสัญญาณแบบเดิม ส่วนมากอยู่ในระบบแบบอนาล็อก ดังนั้นระบบที่สร้างขึ้นใหม่ ก็ต้องสามารถเชื่อมโยงกับระบบเดิมให้ได้ ซึ่งอาจทำให้ระบบประมวลผลสัญญาณซับซ้อนขึ้น

3. สัญญาณหรือข้อมูลแบบคิจิตอล ไม่ใช่สัญญาณตามธรรมชาติที่แท้จริง แต่ถูกสร้างขึ้นมา ดังนั้นการส่งสัญญาณชนิดนี้ไปในตัวกลางตามธรรมชาติทั่วไป ซึ่งมักมี แถบความถี่ปฏิบัติงาน(Band width) จำกัดและยังมี ผลตอบสนองเฟสไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear phase response) จึงอาจทำให้สัญญาณเกิดความผิดเพี้ยนได้ เช่น เมื่อเราส่งสัญญาณรูปเหลี่ยมไปบนสายส่ง สัญญาณที่รับได้ไม่เป็นรูปเหลี่ยมเหมือนเดิม

4. เนื่องจากเราต้องการออกแบบ ระบบประมวลผลสัญญาณแบบคิจิตอล ให้มีความคล่องตัวสูง สามารถใช้งาน ได้หลายรูปแบบ ดังนั้นอาจทำให้การออกแบบประมวลผลสัญญาณแบบคิจิตอลมีความซับซ้อนมาก ซึ่งรวมทั้งด้านการซ่อมแซมบำรุงรักษา และจัดทำคู่มือการใช้งานด้วย

5. แถบความถี่ปฏิบัติงานของระบบประมวลผลสัญญาณแบบอนาล็อกมาก ข้อจำกัดนี้เนื่องมาจากอุปกรณ์ที่ใช้หรือประกอบขึ้นเป็นระบบการประมวลผลสัญญาณแบบคิจิตอล เช่น วงจรเกต

วงจรพีริจิสเตอร์ วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ (Sampling and Hold circuit หรือ S/H) หรือ วงจร A/D และ D/A เป็นต้น วงจรเหล่านี้ต่างมีความเร็วสูงสุดในการทำงานจำกัดอยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งในปัจจุบันยังมีค่าต่ำมาก จึงเป็นผลทำให้ระบบ การประมวลผลแบบดิจิทัลมีความเร็วต่ำมาก จึงเป็นผลทำให้ระบบการประมวลผลแบบดิจิทัลมีความเร็วต่ำ ตัวอย่างเช่น ถ้าใช้ไมโครโพรเซสเซอร์ ที่มีสัญญาณนาฬิกาขนาด 1 เมกะเฮิร์ตซ์ เมื่อนำไปสร้างเป็นระบบประมวลผลสัญญาณแบบดิจิทัล จะใช้ได้กับสัญญาณที่มีความถี่สูงสุดประมาณ 10 ถึง 20 กิโลเฮิร์ตซ์ เท่านั้น

2.6 บทนิยามของศัพท์เทคนิคในระบบการประมวลผลสัญญาณแบบดิจิทัล

2.6.1 บทนิยามของสัญญาณและระบบ

ก่อนที่จะกล่าวถึงส่วนสำคัญต่างๆ ของการประมวลผลสัญญาณแบบดิจิทัล เรามาทำความรู้จักกับคำนิยามของศัพท์เทคนิคบางคำเสียก่อน เพื่อให้การสื่อความหมายและความเข้าใจ เป็นแบบอย่างเดียวกัน โดยที่คำนิยามของศัพท์เหล่านี้มาจากบทความเรื่อง Terminology in digital signal processing ตีพิมพ์ในวารสาร IEEE Transaction on Audio and Electro acoustic ,vol. AU-20,no.5,pp. 323-337,Dec 1972. ซึ่งจะนำเอาเฉพาะคำที่สำคัญมากกล่าวถึงคือ

1. สัญญาณแบบอนาล็อก (Analog signal): ใช้กับการกล่าวถึงสัญญาณที่มี รูปคลื่น (waveform) แปรไปอย่างต่อเนื่องกับพิสัยเวลา โดยที่ แอมพลิจูด (amplitude) หรือ ค่าขนาดของสัญญาณก็มีการแปรไปอย่างต่อเนื่องด้วย เช่น สัญญาณไซน์ หรือ $\sin \omega t$ เป็นต้น คำว่า อุปราน มีต้นกำเนิดมาจากการพัฒนาการของ คอมพิวเตอร์แบบอนาล็อก (analog computer) ที่เลียนแบบปริมาณทางฟิสิกส์ต่างๆ (ซึ่งเป็นปริมาณแบบต่อเนื่องกับเวลา) ด้วย ค่าขนาดศักย์ หรือ กระแสไฟฟ้า

2. สัญญาณเชิงเวลาต่อเนื่อง (Continues-time signal): สัญญาณแบบนี้รูปคลื่นของสัญญาณแปรค่าไปอย่างต่อเนื่องกับพิสัยเวลา แต่แอมพลิจูดไม่ได้เจาะจงว่าต้องแปรไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่งก็หมายถึงว่า อาจแปรอย่างไม่ต่อเนื่องก็ได้ เพราะฉะนั้นอาจกล่าวได้ว่า สัญญาณแบบอนาล็อกเป็นชนิดหนึ่งของสัญญาณเชิงเวลาต่อเนื่องได้ อย่างไรก็ตามในหนังสือทั่วไปมักใช้คำทั้งสองนี้ผสมกันไป ดังนั้นโดยทั่วไป สัญญาณแบบอนาล็อกจึงหมายถึง สัญญาณเชิงเวลาต่อเนื่อง

3. สัญญาณเชิงเวลาเต็มหน่วย (Discrete-time): เป็นสัญญาณ $x(r)$ ที่ค่าของฟังก์ชันกำหนดเฉพาะเขตของเวลาที่แน่นอนอันหนึ่งเท่านั้น สัญญาณแบบนี้อาจแบ่งตามลักษณะของแอมพลิจูดได้เป็น 2 แบบ คือ

(ก) สัญญาณเชิงข้อมูลเต็มหน่วย (Discrete data signal): สัญญาณแบบนี้แอมพลิจูดจะต่อเนื่อง หรือกล่าวได้ว่า แอมพลิจูดมีค่าเท่ากันทุกประการกับสัญญาณแบบอนาล็อก ที่เป็นตัวต้นแบบ ในการสุ่มตัวอย่าง (sampling) ตัวอย่างเช่น สัญญาณออกของ วงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ จะจัดเป็น สัญญาณเชิงเต็มหน่วย สัญญาณแบบนี้บางทีอาจเรียกว่า ข้อมูล หรือ สัญญาณเชิงเต็มหน่วย

(ข) สัญญาณเชิงข้อมูลเต็มหน่วย (Digital signal): สัญญาณแบบนี้แอมพลิจูดของสัญญาณมีค่าเฉพาะเขตของค่าที่แน่นอนเขตหนึ่งเท่านั้น เช่น สัญญาณที่ออกจากวงจร A/D เป็นต้น

ตัวอย่างเช่นในระบบประมวลผลสัญญาณในรูป 2.7 สัญญาณเข้าเป็นสัญญาณแบบอนาล็อก $x(t)$ แล้วเราทำการสุ่มตัวอย่างทุกคาบเวลา T วินาทีด้วยวงจร S/H เพราะฉะนั้น $x(t)$ ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง หรือ มีการกำหนดค่า $x(nT)$ เฉพาะเวลาที่ $t = nT$ โดยที่ n เป็นค่าคงตัวใดๆ สัญญาณที่จุดสัญญาณออกของวงจร S/H นี้เรียกว่าเป็น สัญญาณเชิงเต็มหน่วย เพราะว่าแอมพลิจูดยังเท่ากับสัญญาณ $x(t)$ เดิม แต่ถ้าผ่านสัญญาณ $x(nT)$ ไปยังวงจร A/D ขนาด N บิต สัญญาณจะถูกแปลง หรือ ดีความ เป็นเลขฐานสองที่มี 2^N ค่าโดยใช้ค่าที่ใกล้เคียงกับ $x(nT)$ มากที่สุด ตัวเลขที่ได้จากการ ดีความ หรือ สัญญาณออกจากวงจร A/D นี้จะเรียกว่า สัญญาณแบบดิจิทัล

4. ระบบเวลาจริง (Real-time system): โดยทั่วไปคำนี้ใช้กับ ระบบการประมวลผลสัญญาณ ที่การคำนวณในการประมวลผลทำได้เสร็จสิ้น ก่อนที่จะมีการสุ่มตัวอย่างสัญญาณลำดับใหม่อย่างไรก็ตาม คาบเวลาในการสุ่มตัวอย่างสัญญาณควรมีค่าน้อย ไม่ควรมีค่าเป็น วัน เดือน หรือ ปี

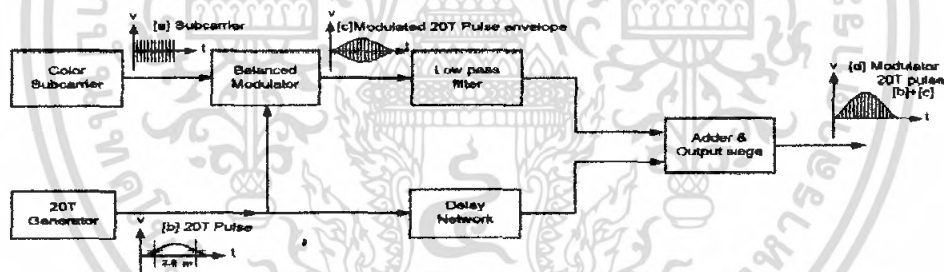
5. ลำดับ (Sequence): หนังสือบางเล่มอาจเรียกเป็น ลำดับข้อมูล หรือ ลำดับสัญญาณ หรือ ลำดับ ก็ได้ ซึ่งคำว่า ลำดับ อาจใช้แทน สัญญาณเชิงเต็มหน่วย หรือสัญญาณแบบดิจิทัลก็ได้

2.7 การวัดความผิดเพี้ยนของอัตราการขยายและดีเลย์ โดยใช้สัญญาณพัลส์ โมดูเลชันไซน์กำลังสอง (The Measurement of Gain Delay Distortion by using Modulationsine-Squared pulse)

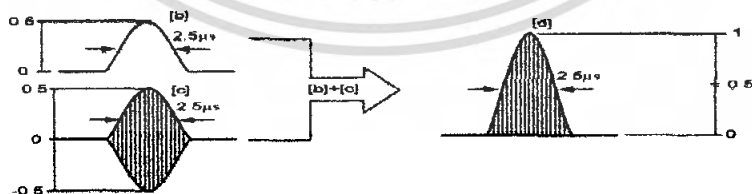
ในการวัดคุณสมบัติของสายส่งสำหรับงานด้านโทรทัศนส์ การทดสอบโครมิแม้นซ์ อัตราขยายและดีเลย์ อินอิกควอลิตี้ (Luminance-Chrominance Gain and Delay Inequality) โดยการใช้สัญญาณรวม (Composite Signal) ซึ่งประกอบด้วยพัลส์กำลังสองหรือโคไซน์กำลังสองอย่างใดอย่างหนึ่ง ในที่นี้จะกล่าวถึงพัลส์โคไซน์กำลังสอง (sine Squared Pulse) รวมกับพัลส์มีอด (PulseMod) ที่ความถี่คลื่นพาหะของสี (Color Subcarrier) ในกรณีที่ไม่มี ความผิดเพี้ยนเกิดขึ้นสัญญาณรวมจะมีเอ็นวีโลป (Envelope)

โดยเฉพาะที่ฐานของพัลส์ (Baseline) เป็นเส้นตรงและในกรณีที่เกิดความผิดเพี้ยนขึ้นในระบบการส่งจากการสังเกตเ็นวิโลปของฐานของพัลส์ (Envelope of Baseline) ซึ่งอาจจะเกิดเป็นสัญลักษณ์ของไซน์ หรือโคไซน์นั้นเราสามารถพิจารณาได้จากออสซิลโลสโคป โดยการวัดค่ายอด (peak) สูงสุดและต่ำสุดของฐานพัลส์เราก็สามารถคำนวณหาค่าอัตราขยาย (Gain) และคิเลย์ Delay) ได้

สัญญาณรวมโมดูเลตพัลส์ 20T (Composite 20T pulse) สามารถสร้างขึ้นได้ ดังแสดงในรูป 2.5 โดยการป้อนสัญญาณพัลส์ 20T จากเครื่องกำเนิดรูป (b) โดยสัญญาณดังกล่าวมีค่า h.a.d. 2 ไมโครวินาที ในระบบ PAL และ 2.5 ไมโครวินาทีในระบบ NTSC. แล้วมีอคกับสัญญาณคัลเลอร์ซับแคริเออร์ (a) จะได้สัญญาณรูป (c) โดยสัญญาณที่มีอคแล้วจะผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำแบบวิดกว้างเพื่อกรองเอาฮาร์โมนิกที่ไม่ต้องการออก ส่วนสัญญาณจาก (b) อีกทางหนึ่งจะผ่านวงจรหนึ่ง (Delay network) เพื่อปรับให้สัญญาณ (b) กับสัญญาณ (c) มีไทม์มิ่งเท่ากัน แล้วจึงผ่านวงจรรวม (adder) ก็จะได้สัญญาณรวมโมดูเลตพัลส์ 20T ในรูป (d) ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะถูกนำมาใช้วัดความผิดเพี้ยนของสัญญาณโทรทัศน์สี



รูปที่ 2.5 รูปวงจรผลิตสัญญาณรวมโมดูเลต 20T



รูปที่ 2.5 แสดงการรวมสัญญาณ (b) + (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การคำนวณหาความถี่สเปกตรัมของสัญญาณรวมโมดูลีทพัลส์ 20T

เควินซี สเปกตรัมของโมดูลีท 20T พัลส์ และ 12.5T พัลส์ ดังจะกล่าวต่อไปนี้ โมดูลีทโคไซน์ กำลังพัลส์ ประกอบด้วย สัญญาณในย่านความถี่ต่ำ (สัญญาณที่ยังไม่ได้มีอค) และสัญญาณในย่านความถี่สูง (สัญญาณมีอคแล้ว)

สัญญาณในย่านความถี่ต่ำ มีสมการดังนี้

$$Vl(t) = \frac{A}{2} \cos^2 \frac{\pi}{40T}$$

สเปกตรัมดังนี้

$$Vl(\omega) = \frac{A}{2} \cdot \frac{20T}{1 - \left(\frac{20\omega T}{\pi}\right)^2} \cdot \frac{\sin 20\omega T}{20\omega T}$$

$$Vl(f) = \frac{A}{2} \cdot \frac{20T}{1 - (40fT)^2} \cdot \frac{\sin 40\pi f T}{40\pi f T} \quad (2.2)$$

สเปกตรัมของ โมดูลีทโคไซน์ กำลังสองพัลส์แบบ 20T มีสมการดังนี้

$$V_c(t) = \frac{A}{2} \cos^2 \frac{\pi}{40T} \cos \omega_c t \quad |t| \leq 20T$$

$$0 \quad |t| \geq 20T$$

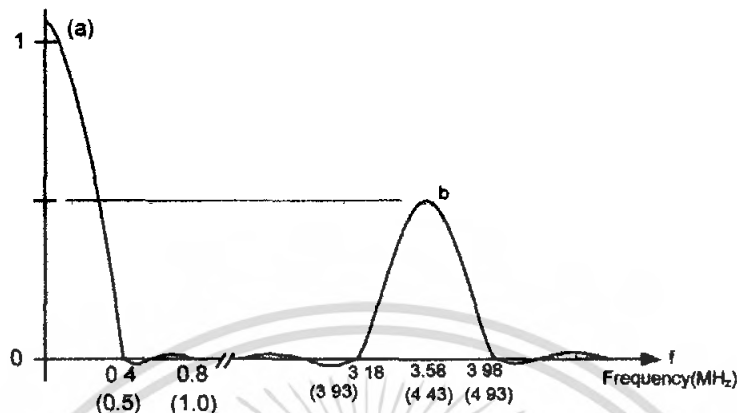
$$V_c(\omega) = \frac{A}{2} \int_{-20T}^{20T} \left\{ \left(1 + \cos \frac{\pi}{20T} \right) \cos \omega_c t \right\} \cdot \cos \omega t \cdot dt$$

$$= \frac{A}{2} \left[\frac{20T}{1 - \left\{ \frac{20T(\omega - \omega_c)}{\pi} \right\}^2} \cdot \frac{\sin(\omega - \omega_c)20T}{\omega - \omega_c 20T} + \frac{A}{2} \frac{20T}{1 - \left\{ \frac{20T(\omega + \omega_c)}{\pi} \right\}^2} \cdot \frac{\sin(\omega + \omega_c)20T}{(\omega + \omega_c)20T} \right]$$

สมการของพีรีเควินซี สเปกตรัมอาจเขียนได้ใหม่ดังนี้

$$V_c(f)_{20T} = \frac{A}{2} \left[\frac{20T}{1 - (40T(f - f_c))^2} \cdot \frac{\sin(f - f_c)40\pi T}{(f - f_c)40\pi T} + \frac{20T}{1 - (40T(f + f_c))^2} \cdot \frac{\sin(f + f_c)}{(f + f_c)40\pi T} \right] \quad (2.3)$$

จากสมการที่ (2.3) นำไปพล็อตจะได้รูปสเปกตรัมดังรูปที่ (2.6) (สัญญาณที่ยังไม่ได้มีอค) และสัญญาณในย่านความถี่สูง (สัญญาณมีอคแล้ว) สัญญาณในย่านความถี่ต่ำ มีสมการดังนี้



รูปที่ 2.6 แสดงความถี่สเปกตรัมของสัญญาณรวมพัลส์ 20T

2.9 ทฤษฎีและการหาสูตรสำเร็จของความผิดเพี้ยนของอัตราขยายและคิเลย์

การหาความผิดเพี้ยนของสัญญาณสี (Chrominance signal) ทั้งอัตราขยาย (gain) ซึ่งใช้สัญลักษณ์ A และไทม์ คิเลย์ (τ) โดยผลจากการคำนวณหาความผิดเพี้ยนทั้ง A และ τ จะสัมพันธ์กับค่ายอดทั้งสองจากฐานของพัลส์ ซึ่งในทางปฏิบัติถ้าทราบค่ายอดจากฐานของพัลส์ ก็สามารถที่จะหาความผิดเพี้ยนของพัลส์ว่าในระบบทดสอบ (System Under test) จะมีผลต่อสัญญาณสีทางด้านไหน เช่น ระบบทดสอบอาจมีผลทางด้านความผิดเพี้ยนของอัตราขยาย (gain distortion) อย่างเดียวหรือความผิดเพี้ยนทางด้านไทม์ คิเลย์ (Time delay Distortion) เพียงอย่างเดียว หรือมีผลของความผิดเพี้ยนทั้งอัตราขยาย ไทม์ คิเลย์ ซึ่งในบทนี้จะแสดงค่าโดยประมาณด้วยค่าที่กำหนดให้ของค่ายอดทั้งสองที่ฐานของพัลส์และอัตราขยายที่ไม่เท่ากัน (A) และคิเลย์อินอิกวอลิตี้ (τ) ที่สัมพันธ์กัน

วิธีการคำนวณของอัตราขยาย และคิเลย์อินอิกวอลิตี้ กำหนดสัญลักษณ์การคำนวณดังต่อไปนี้

$f(t)$ = เบลไลน์ฟังก์ชันของ โคไซน์กำลังสองพัลส์

$u(t)$ = เอ็นวิโลป ด้านบนของ โคไซน์กำลังสองพัลส์

$l(t)$ = เอ็นวิโลป ด้านล่างของโคไซน์กำลังสองพัลส์

Y_1 & Y_2 = ขนาดของเบลไลน์ด้านล่างของ โคไซน์กำลังสองพัลส์

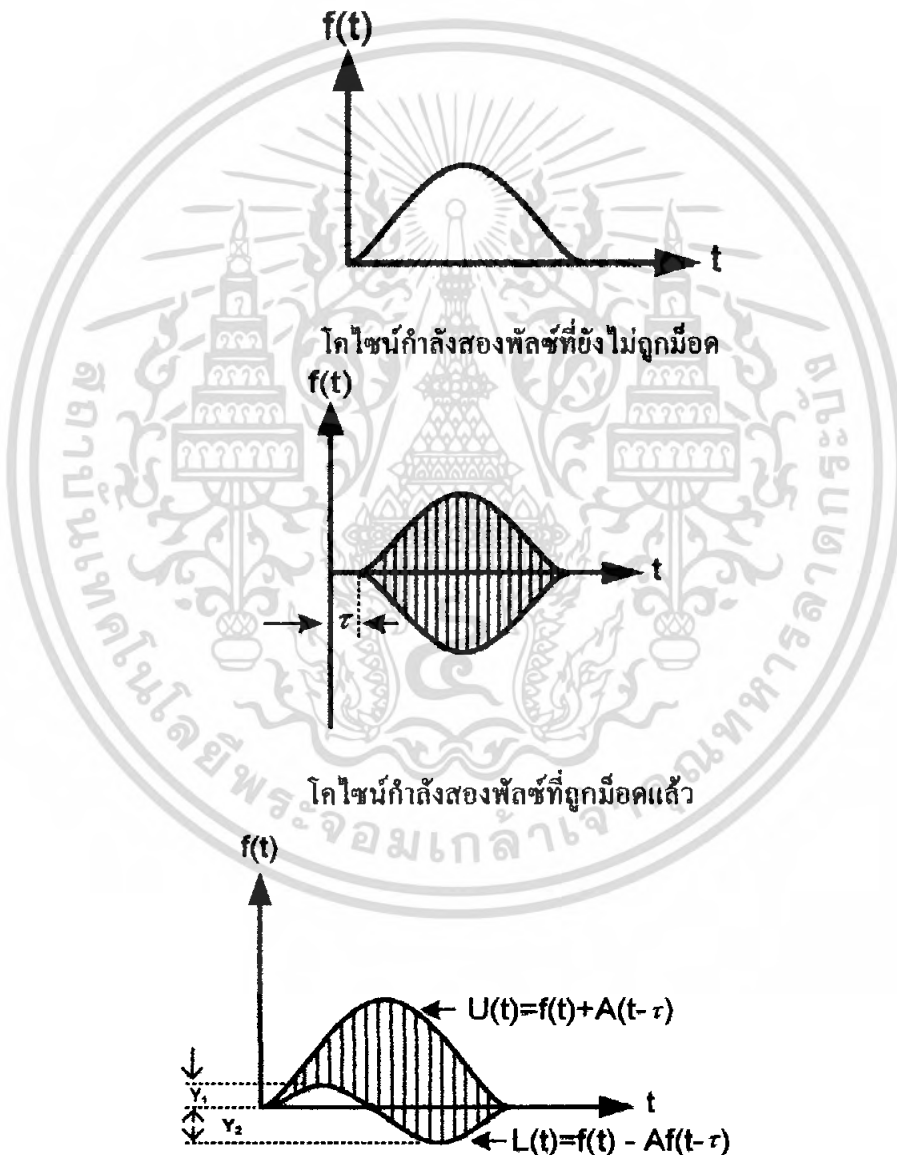
A = อัตราขยายของโคไซน์กำลังสองพัลส์ที่ได้ถูกรวมกับเบสแบน (base band) ที่สัมพันธ์กัน

τ = คิเลย์อินอิกวอลิตี้ ส่วนที่ถูกรวมเข้าไป หรือนำหน้าสัญญาณที่ยังไม่มีการมอด

T_0 = ระยะเวลาของขนาดของพัลส์ ในกรณีของ 20T pulse คือ $2\mu s$. และ $12.5T$
 วิธีการคำนวณให้พิจารณาจากรูปที่ (1) จะได้เอ็นวิโพลด้านบนและด้านล่างดังนี้

$$U(t) = f(t) + Af(t - \tau) \quad (2.4)$$

$$L(t) = f(t) - Af(t - \tau) \quad (2.5)$$



รูปที่ 2.7 สัญญาณรวมโคโนไลน์กำลังสองพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และค่าเบสแบน (Baseband) ก็คือ

$$f(t) = \begin{cases} \frac{1}{2} \cos^2 \frac{\pi t}{2T_0} & 0 < t < T_0 \\ 0 & t > T_0 \end{cases} \quad (2.6)$$

การหาค่า เอ็นวิโลปด้านบนและด้านล่างได้ด้วยการแทนค่าสมการ (2.3) ลงในสมการ (2.1) และ (2.2) ตามลำดับ จากเอ็นวิโลปด้านล่างจะทำให้เราทราบค่า Y_1 และ Y_2 ส่วนเอ็นวิโลปด้านบนจะทำให้เราทราบค่า Y_{\max} จากผลการคำนวณนี้จะทำให้เราสามารถหาสูตรสำเร็จของความผิดเพี้ยนของการขยายที่แน่นอนแสดงได้ดังนี้

$$A = \frac{1 - (y_1 + y_2 + y_1 y_2)}{1 + (y_1 + y_2 - y_1 y_2)} \quad (2.7)$$

โดยกำหนดให้

$$y_1 = \frac{Y_1}{Y_{\max}}, \quad y_2 = \frac{Y_2}{Y_{\max}}$$

จากเอ็นวิโลปด้านล่างที่ฐานของพัลส์เราสามารถหาค่าคิเลย์ อินอิกวอลิตี้ (Delay Inequality) จากค่ายอดทั้งค่าบวกและค่าลบของ Y_1 และ Y_2 ตามลำดับ ซึ่งทำให้ได้สูตรสำเร็จในการหาค่าคิเลย์ อินอิกวอลิตี้ดังนี้

$$\tau = \frac{T_0}{\pi} \cos^{-1} \left[1 + \frac{8y_1 y_2}{\{1 - (y_1 + y_2 + y_1 y_2)\} \cdot \{1 + (y_1 + y_2 - y_1 y_2)\}} \right] \quad (2.8)$$

ค่ายอดทั้งค่าบวกและค่าลบของเอ็นวิโลปด้านล่างจากฐานของพัลส์ Y_1 และ Y_2 ทำการ normalized ด้วยค่ายอดสูงสุดของเอ็นวิโลปด้านบน นั่นก็คือ

$$y_1 = \frac{Y_1}{Y_{\max}}, \quad y_2 = \frac{Y_2}{Y_{\max}}$$

สมการ (2.7) และสมการ (2.8) เป็นสูตรสำเร็จที่ใช้ในการวัดความผิดเพี้ยนของอัตราขยายและคิเล็ยอินอิกวอลิตี้ ตามลำดับ

2.9.1 สาเหตุของการผิดเพี้ยนโดยความแตกต่างของอัตราขยายอย่างเดียว (Distortion Cause by Gain Difference Only)

ในกรณีนี้แสดงว่าค่ายอด Y_1 และ Y_2 ถ้าใดค่าหนึ่งมีค่าเป็น 0 ดังนั้นจะไม่มี ความผิดเพี้ยนทางคิเล็ยเกิดขึ้นก็คือ $\tau = 0$ เพราะฉะนั้นความผิดเพี้ยนที่เกิดขึ้นจึงมีค่าความผิดเพี้ยนของอัตราขยายอย่างเดียวซึ่งสามารถให้เห็นจริงได้ ดังนี้

เมื่อ Y_1 หรือ Y_2 มีค่าเป็น 0 สมการ (2.5) จะกลายเป็น

$$\tau = \frac{T_0}{\pi} \cos^{-1}(1) = 0$$

และสมการ (2.7) จะกลายเป็น

$$A = \frac{1 - y_{1,2}}{1 + y_{1,2}} = \frac{1 - \frac{Y}{Y_{\max}}}{1 + \frac{Y}{Y_{\max}}} \quad (2.9)$$

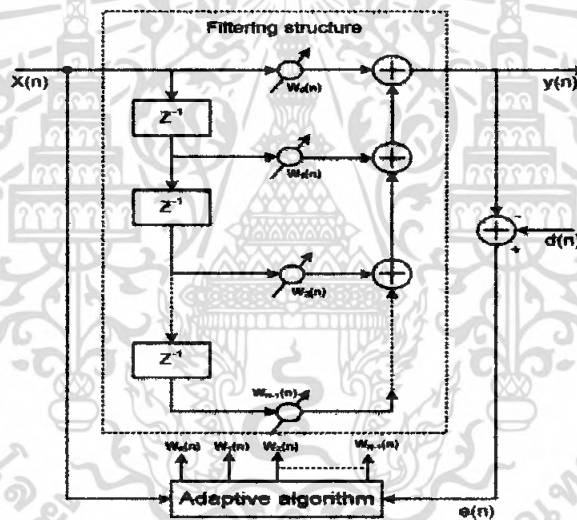
ซึ่ง $(y_{1,2})$ หรือ Y อาจมีค่าเป็นบวกหรือลบ เนื่องจากขนาดของความผิดเพี้ยนที่สัมพันธ์

บทที่ 3 วงจรกรองความถี่แบบปรับตัว

3.1 อัลกอริทึมการปรับตัว LMS

อัลกอริทึมการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองหรือการปรับตัวของวงจรกรองแบบ LMS นั้นนำเสนอโดย Widrow และ Hoff เมื่อปี ค.ศ. 1960 ซึ่งพัฒนามาจากอัลกอริทึมแบบ steepest descent โดย LMS ย่อมาจาก least mean square ด้วยเหตุนี้จึงขอกล่าวอัลกอริทึม steepest descent เป็นเบื้องต้นก่อนกล่าวถึง LMS ในลำดับต่อไป

จากแผนภาพการทำงานของวงจรในรูปที่ 3.1 สามารถแสดงใหม่ด้วยโครงสร้างของวงจรกรองแบบ FIR ตามขวาง (transversal filter) ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบทั่วไปดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วงจรกรองแบบปรับตัวด้วยโครงสร้าง FIR ตามขวาง

จากรูปที่ 3.1 $x(n)$ และ $y(n)$ หมายถึงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรกรองความถี่แบบปรับตัว $d(n)$ เป็นสัญญาณอ้างอิงที่มีลักษณะตามต้องการและ $e(n)$ คือสัญญาณผิดพลาดเนื่องจากการเปรียบเทียบระหว่าง $d(n)$ และ $y(n)$ เมื่อ n หมายถึงครรชนีเวลา (Time index) ใดๆ ในระบบไม่ต่อเนื่องทางเวลา (discrete time) หรือเวลาในระบบเชิงเลข จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถอธิบายที่เอาต์พุตของวงจรด้วยฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ดังสมการที่ (3.1)

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} w_i X(n-i) \quad (3.1)$$

หรือแสดงอยู่ในรูปเมทริกซ์

$$y(n) = W^T X(n) = X^T(n) W \quad (3.2)$$

เมื่อ

$$W(n) = [w_0(n) \ w_1(n) \ w_2(n) \ \dots \ w_{N-1}(n)]^T \quad (3.3 \text{ ก.})$$

$$X(n) = [X(n) \ X(n-1) \ X(n-2) \ \dots \ X(n-N+1)]^T \quad (3.3 \text{ ข.})$$

จากสมการที่ (3.1) แสดงให้เห็นถึงค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรรองแปรตามเวลา n ใดๆ เนื่องจากวงจรรองแบบปรับตัวเป็นระบบแปรตามเวลาจึงเหมาะสมกับการทำงานที่สัญญาณมีค่าทางสถิติไม่นิ่ง (Nonstationary statistic) สมการที่ (3.2) $W(n)$ และ $x(n)$ หมายถึงเวกเตอร์บรรจุค่าสัมประสิทธิ์และสัญญาณอินพุตของวงจรรองตามลำดับ และ $y(n)$ เป็นสเกลาร์สัญญาณเอาต์พุต และ $e(n)$ คือสัญญาณผิดพลาดสามารถแสดงคังสมการ

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (3.4)$$

สำหรับขั้นตอนนีขอพิจารณาให้สเกลาร์สัญญาณ $x(n)$ $y(n)$ $d(n)$ และ $e(n)$ มีลักษณะนิ่งทางสถิติ (เป็นสัญญาณที่มีค่าเฉลี่ยทางสถิติคงที่และค่าสหสัมพันธ์ทางสถิติไม่ขึ้นกับเวลาที่ดำเนินไปแต่จะขึ้นกับผลต่างของเวลาเท่านั้น) โดยมีลักษณะนิ่งในทศนะกว้าง (Wide sense stationary) หรือ WSS เพื่อพิจารณาหาสัมประสิทธิ์ค่าเหมาะสมที่สุด (optimum) ของวงจรรอง คังนั้นกรณีนี้วงจรรองจึงไม่มีการปรับค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งสามารถแสดงสมการที่ (3.2) ใหม่เป็น

$$y(n) = d(n) - W^T X(n) \quad (3.5)$$

นำสมการที่ (3.5) แทนลงในสมการที่ (3.4) แล้วหาค่าเฉลี่ยกำลังสองของสัญญาณผิดพลาด (mean square error) หรือ MSE ด้วยการหาค่าคาดคะเน (expected value) สัญญาณ $e^2(n)$

$$MSE = \xi = E[e^2(n)]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
&= E\left[(d(n) - W^T X(n))^2 \right] \\
&= E\left[d(n)^2 - 2d(n)W^T X(n) + (W^T X(n))^2 \right] \\
&= E\left[d(n)^2 - 2d(n)W^T X(n) + W^T X(n)X^T(n)W \right] \tag{3.6}
\end{aligned}$$

เพื่อความสะดวกจึงกำหนดให้

$$P = E[X(n) d(n)] \tag{3.7 ก}$$

$$R = E[X(n)X^T(n)] \tag{3.7 ข}$$

$$MSE = \xi = E[d^2(n)] - 2W^T P + W^T R W \tag{3.8}$$

P หมายถึงเวกเตอร์บรรจุก่าสหสัมพันธ์ข้าม (cross correlation) ระหว่างสัญญาณอ้างอิง $d(n)$ และสัญญาณอินพุต $x(n)$ และ R หมายถึงเมตริกซ์บรรจุก่าอัตสหสัมพันธ์ (autocorrelation) ของสัญญาณอินพุตเป็นเมตริกซ์สมมาตร สมการที่ (3.8) เป็นรูปแบบของสมการกำลังสอง (quadratic form) ซึ่งค่า MSE เป็นฟังก์ชันของสัมประสิทธิ์และให้กราฟรูปพาราโบลาลักษณะหงาย โดยมีค่า MSE ค่าที่ต่ำสุด (minimum mean square error) หรือ MMSE อยู่ ณ ตำแหน่งค่าต่ำสุดของกราฟหรือยอดของพาราโบลา (vertex) การหาค่าต่ำสุดของ MSE ด้วยการทำอนุพันธ์ย่อยสมการที่ (3.8) เทียบกับ สัมประสิทธิ์ได้

$$\nabla \xi = -2P + 2RW \tag{3.9}$$

เนื่องจากจุดต่ำสุดของกราฟให้ค่า MMSE ซึ่งความชันของกราฟเท่ากับศูนย์หรือค่าเกรเดียนเท่ากับศูนย์ ดังนั้นสามารถหาสัมประสิทธิ์ค่าเหมาะสมที่สุดของวงจรกรองได้ดังสมการ

$$\nabla \xi = -2P + 2RW$$

และ

$$W_{opt} = \frac{P}{R} = PR^{-1} \tag{3.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (3.10) ถูกเรียกว่าสมการของวินเนอร์-ฮอปฟ์ (Wiener - Hopf) ดังนั้นค่า MMSE สามารถพิจารณาได้จาก

$$MMSE = \xi_{\min} = E[d^2(n) - P^T W_{opt}] \quad (3.11)$$

จากสมการที่ (3.8) สมมติให้วงจรกรองมีสัมประสิทธิ์ 2 ค่าและทราบค่าทางสถิติของสัญญาณต่างๆ เช่น กำลังเฉลี่ยของสัญญาณ $d(n)$ ค่าสหสัมพันธ์สัมพันธ์ของสัญญาณ $x(n)$ ค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างสัญญาณ $d(n)$ กับ $x(n)$

เมื่อวงจรกรองมีลักษณะปรับตัวได้และปรับค่าสัมประสิทธิ์ด้วย อัลกอริทึม Steepest descent มีการปรับค่าอยู่บนพื้นฐานการประมาณค่าเกรเดียนต์ของค่า MSE ซึ่งมีสมการปรับค่าสัมประสิทธิ์ ของวงจร ดังสมการที่ (3.12)

$$W(n+1) = W(n) - \mu \{\nabla \xi(n)\} \quad (3.12)$$

เมื่อ $W(n)$ และ $W(n+1)$ คือเวกเตอร์บรรจุกค่าสัมประสิทธิ์ ณ เวลาปัจจุบันและจะปรับไปในอนาคตตามลำดับ μ คือขั้นการปรับค่า (step size) ซึ่งเป็นตัวกำหนดความเร็วในการปรับค่าและเสถียรภาพของวงจรกรอง การปรับเพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์เข้าสู่ค่าเหมาะสมที่สุดนั้นมีลักษณะทิศทาง เกรเดียนต์ลบหรือ $-\nabla \xi(n)$ กล่าวคือการปรับสัมประสิทธิ์ทำให้ค่า MSE เกิดการวิ่งไปตามพื้นผิวปฏิบัติการหรือพื้นผิวของขาม โดยค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นทำให้ค่า MSE ค่อยๆ ลดลงและเมื่อสัมประสิทธิ์ปรับเข้าสู่ค่าเหมาะสมที่สุดแล้วค่า MSE จะอยู่ที่ก้นขาม ซึ่งการหาค่า MSE กรณีนี้พิจารณาได้ดังสมการที่(3.13)

$$\begin{aligned} \xi(n) &= E[d^2(n)] - 2E[d(n)X^T(n)]W(n) + W^T(n)E[X(n)X^T(n)]W(n) \\ &= E[d^2(n)] - 2P^T W(n) + W^T(n)RW \end{aligned} \quad (3.13)$$

หาอนุพันธ์ย่อยสมการที่ (3.13)เทียบกับสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองจะได้

$$\nabla \xi(n) = 2RW(n) - 2P \quad (3.14)$$

นำสมการที่ (3.14) แทนในสมการที่ (3.12) พร้อมทั้งจัดรูปจะได้สมการปรับค่าสัมประสิทธิ์เป็น

$$W(n+1) = (I - 2\mu R)W(n) + 2\mu P \quad (3.15)$$

เมื่อ I หมายถึงเมทริกซ์เอกลักษณ์และจากสมการที่ (3.15) พบว่าการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ ณ เวลา n ใด ๆ ด้วยอัลกอริทึม steepest descent ได้นั้นจะต้องทราบค่าเมทริกซ์อัตราส่วนสัมพัทธ์ของสัญญาณอินพุต และเวกเตอร์สหสัมพันธ์ข้ามระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณอ้างอิง ซึ่งหมายถึงจะต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับสัญญาณอินพุตและสัญญาณอ้างอิงให้มากพอสมควรจึงสามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์ได้ ดังนั้นอัลกอริทึมนี้จึงไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในทางปฏิบัติ เนื่องจากสัญญาณจริงส่วนใหญ่มีลักษณะไม่นิ่งทางสถิติและเป็นการยากที่จะทราบค่าคุณลักษณะทางสถิติที่แน่นอนได้

สำหรับอัลกอริทึม LMS อาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งคือ steepest descent ที่พัฒนาให้สามารถทำงานได้กับสัญญาณไม่นิ่งทางสถิติแต่ขณะเดียวกันยังสามารถทำงานได้ดีกับสัญญาณนิ่งทางสถิติ เนื่องจาก LMS เป็นการประมาณเกรเดียนต์แตกต่างจาก steepest descent ฉะนั้นสมการปรับค่าสัมประสิทธิ์ดังเช่นสมการที่ (3.15) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$W(n+1) = a(n) + \mu \{-\nabla(n)\} \quad (3.16)$$

การประมาณค่าเกรเดียนต์ของ LMS อยู่ในรูปค่าเฉลี่ยของ $e^2(n)$ ช่วงสั้น ๆ ดังนั้นสามารถแสดงการประมาณค่าเกรเดียนต์ได้เป็น

$$\hat{\nabla}(n) = \nabla(n) = \left[\frac{\partial e^2(n)}{\partial a_0(n)} \quad \frac{\partial e^2(n)}{\partial a_1(n)} \quad \dots \quad \frac{\partial e^2(n)}{\partial a_{n-1}(n)} \right]^T \quad (3.17)$$

ดังนั้น

$$\hat{\nabla}(n) = -2e(n)X(n) \quad (3.18)$$

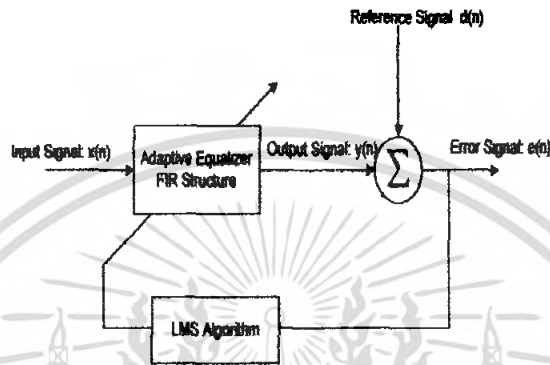
นำสมการที่ (3.18) แทนในสมการที่ (3.16) จะได้อัลกอริทึมการปรับค่าสัมประสิทธิ์แบบ LMS เป็น

$$W(n+1) = W(n) + 2\mu e(n)X(n) \quad (3.19)$$

จากสมการที่ (3.19) พบว่าการคำนวณสัมประสิทธิ์ในช่วงเวลาถัดไปหรือในอนาคตนั้นไม่จำเป็นต้องทราบค่าทางสถิติใด ๆ ของสัญญาณอินพุตแต่ขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์ สัญญาณผิดพลาดและสัญญาณอินพุตในปัจจุบันเท่านั้น หรืออาจกล่าวได้ว่าสัมประสิทธิ์ของวงจรรองแปรค่าตามลักษณะของสัญญาณอินพุตที่เข้าสู่วงจร ณ เวลา n ขณะนั้น ดังนั้น LMS จึงเหมาะสำหรับใช้งานทางปฏิบัติที่มีลักษณะสัญญาณส่วนใหญ่ไม่นิ่งทางสถิติและยากต่อการทราบค่าที่แน่นอน

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 วงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้ (Adaptive Equalizer) ด้วยอะแดปทีฟอัลกอริทึม LMS

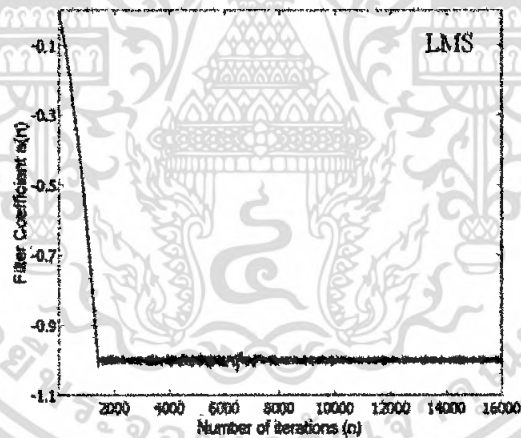


รูปที่ 4.1 วงจรปรับเท่าแบบปรับตัวสำหรับทดสอบอัลกอริทึม LMS

จากรูป 4.1 $x(n)$ คือสัญญาณทางค่านอินพุตถูกป้อนเข้าสู่วงจรกรองที่สามารถปรับค่าสัมประสิทธิ์ได้ โดยมี $y(n)$ เป็นสัญญาณทางค่านเอาต์พุต สัญญาณนี้ส่วนหนึ่งถูกนำมาสู่ส่วนประเมินผลการทำงานด้วยการเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง $d(n)$ บางครั้งอาจจะเรียกสัญญาณนี้ว่าสัญญาณเทรนนิ่ง (training signal) ผลจากการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณทั้งสองอาจจะให้สัญญาณผิดพลาดออกมา (error signal) หรือสัญญาณ $e(n)$ แล้วถูกนำไปเป็นเกณฑ์การปรับค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรในส่วนอัลกอริทึมการปรับค่าสัมประสิทธิ์ จากนั้นสัมประสิทธิ์ที่คำนวณได้ถูกส่งกลับเข้าสู่วงจรกรอง ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นเป็นวงรอบซ้ำๆ อย่างต่อเนื่องเมื่อสัญญาณ $y(n)$ มีความเหมือนหรือคล้ายคลึงกับสัญญาณอ้างอิง $d(n)$ มากเท่าใดสัญญาณ $e(n)$ จะมีขนาดเล็กลงมากเท่านั้น นั่นหมายถึงสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองเข้าสู่ค่าเหมาะสมที่สุด (optimum)

ตารางที่ 1. สรุปการดำเนินการด้วยอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS

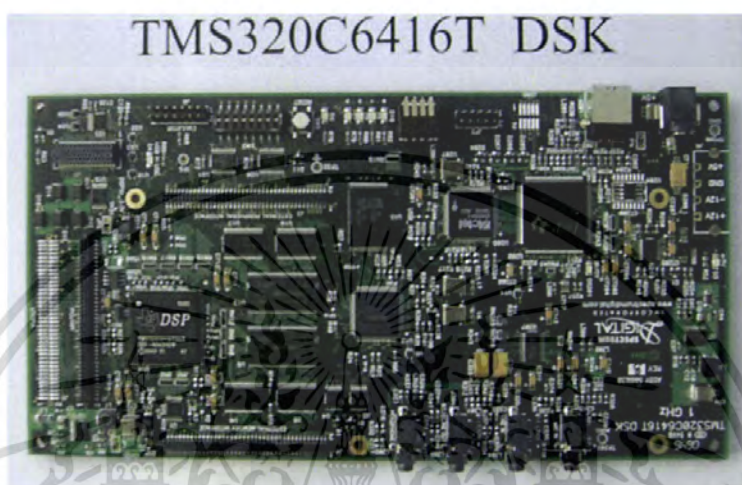
Input:	Tap-Weight vector, $w(n)$ Input vector, $x(n)$ and desired output, $d(n)$
Output:	Filter output, $y(n)$ Tap-weight vector update, $w(n)$
1. Filtering: $y(n) = w^T(n) x(n)$ 2. Error estimation: $e(n) = d(n) - y(n)$ 3. Tap-weight vector adaptation: $w(n+1) = w(n) + \mu e(n)x(n)$	



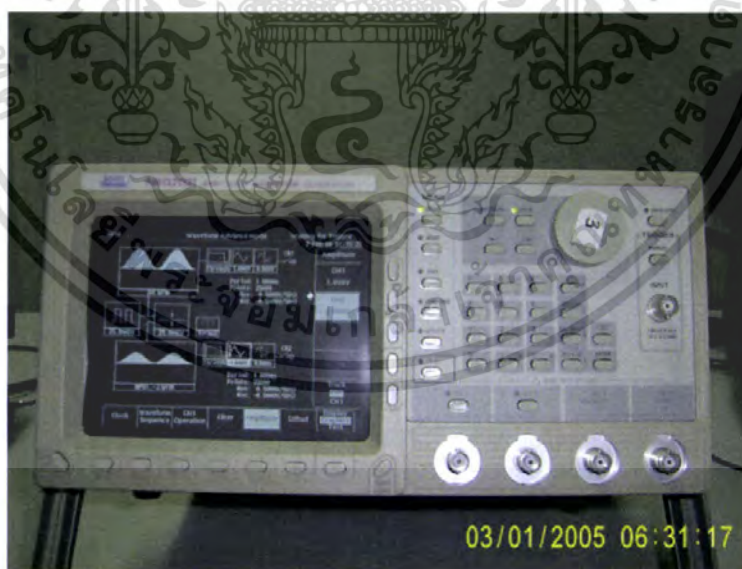
รูปที่ 4.2 อัลกอริทึมแบบ Least Mean Square algorithm (LMS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

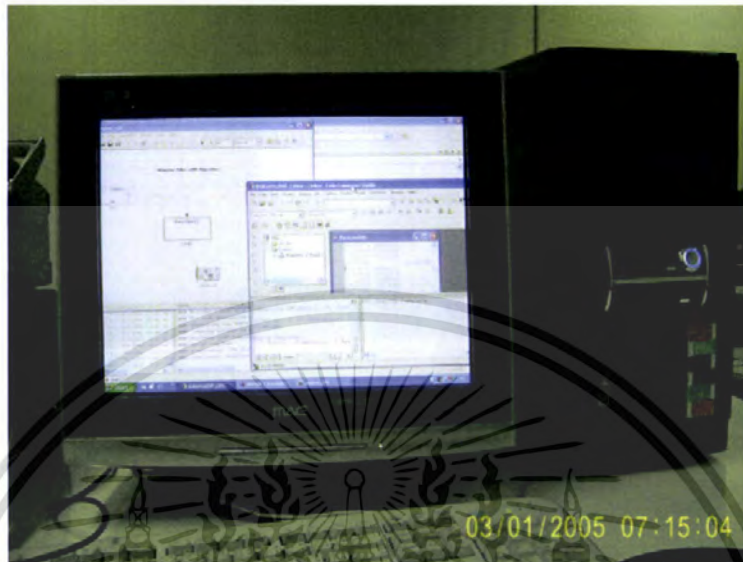


รูปที่ 4.3 บอร์ดประมวลผล

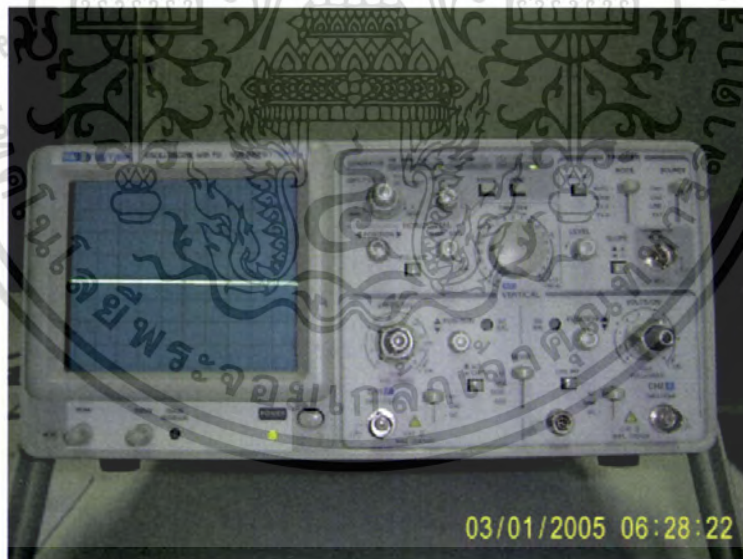


รูปที่ 4.4 เครื่อง ARBITRARY WAVEFORM GENERATOR รุ่น AWG 2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

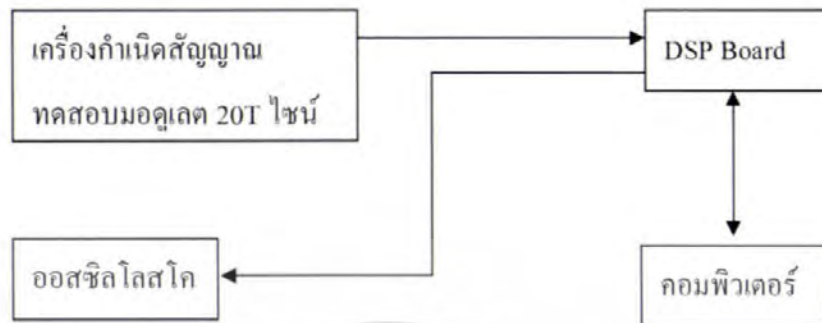


รูปที่ 4.5 เครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.6 ออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 รูปแสดงบล็อกโคะแกรม การต่ออุปกรณ์สำหรับการทดลอง

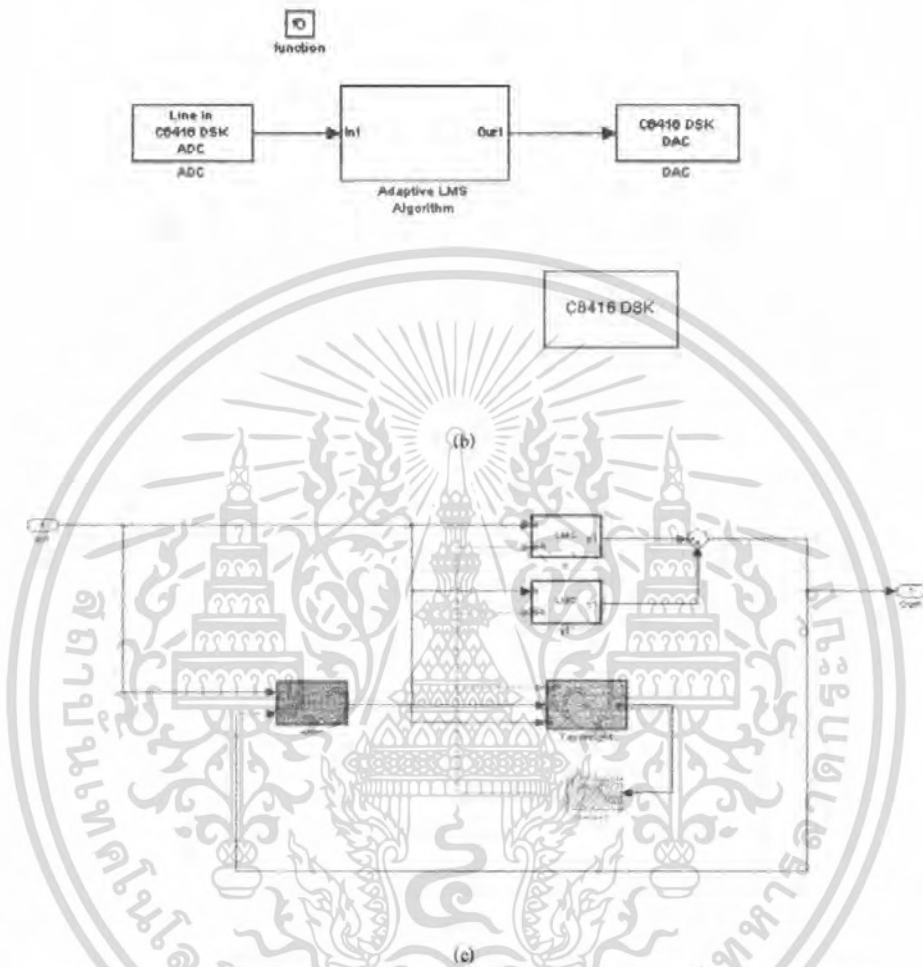


รูปที่ 4.8 การต่ออุปกรณ์สำหรับการทดลองที่เวลาจริง

4.3 การทดลองและผลการทดลองที่เวลาจริง

สำหรับการทดลองที่เวลาจริง จะใช้โมเดลที่สร้างจากโปรแกรม MATLAB ในบทที่ 3 มาใช้ในการสังคอมไพล์ (compile) โปรแกรมเพื่อให้ออร์ด DSK ทำงาน ก่อนที่จะคอมไพล์โปรแกรมนั้นต้องตรวจสอบว่าออร์ด DSK ต่ออยู่กับเครื่องคอมพิวเตอร์และเปิดการใช้งานเพื่อรอคำสั่ง จากโมเดลของโปรแกรม MATLAB ที่สร้าง เมื่อใช้คำสั่งคอมไพล์ MATLAB จะทำการติดต่อกับโปรแกรม CCS เพื่อทำการสร้างไฟล์ของงานที่ใช้ โดยโปรแกรม CCS จะทำการสร้างไฟล์นามสกุล PJT พร้อมตรวจสอบข้อผิดพลาดจากไฟล์โมเดลที่เราสร้าง ถ้าข้อมูลไม่มีการผิดพลาดจะได้ไฟล์นามสกุล PJT และโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

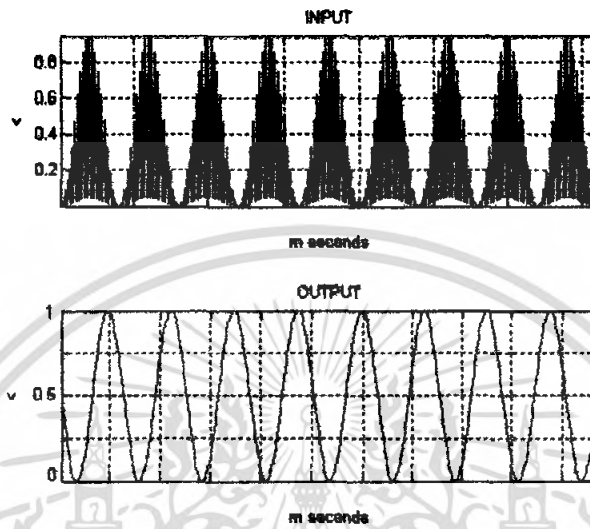


รูปที่ 4.9 โมเดลตลอดการทำงานของอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS

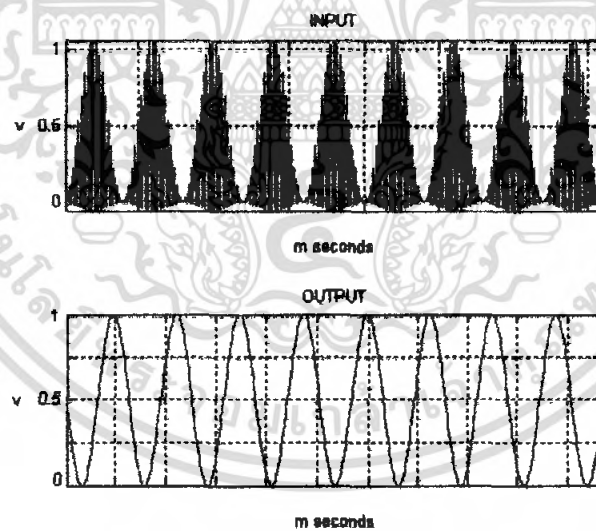
- (a) โมเดลภายนอกของอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS
- (b) โมเดลภายในของอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS
- (c) โมเดลภายในของอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 รูปผลการทดลอง

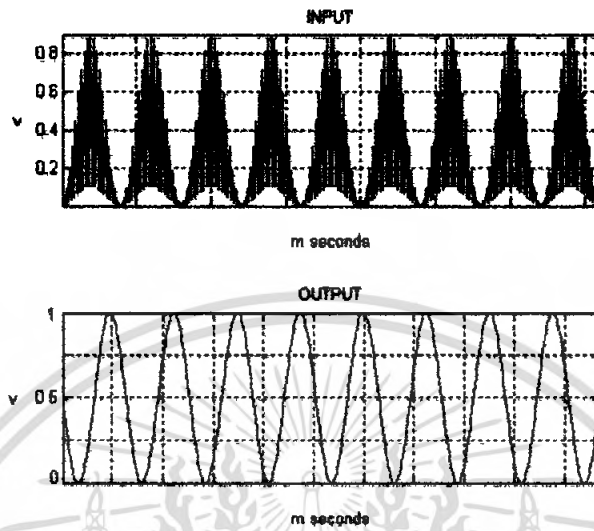


รูปที่ 4.10 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางขนาด (-1 dB) และสัญญาณเอาต์พุต

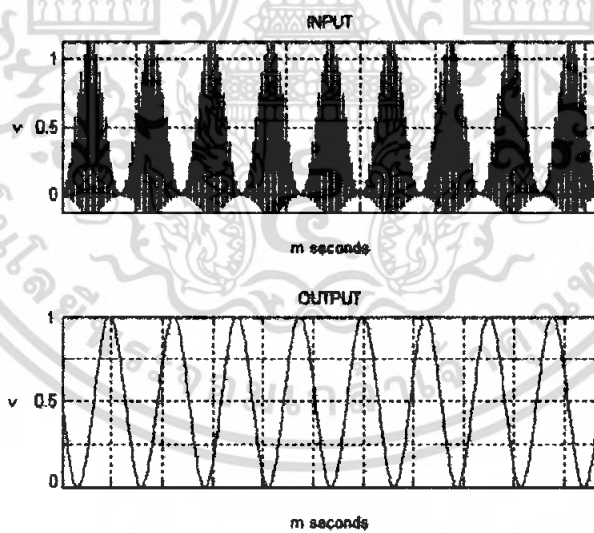


รูปที่ 4.11 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางขนาด (+1 dB) และสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

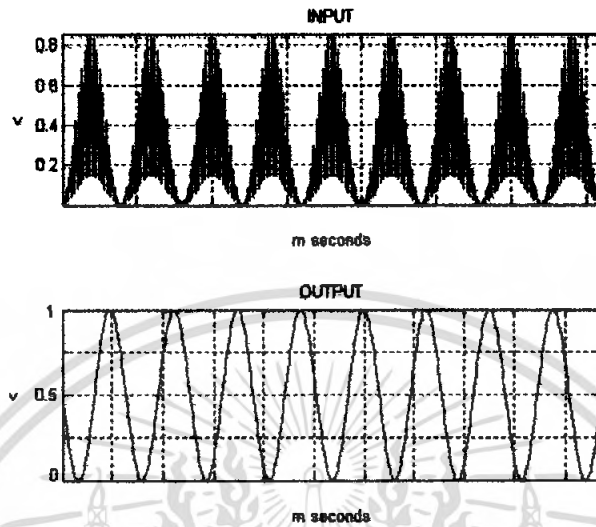


รูปที่ 4.12 สัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด (-2 dB) และสัญญาณเอาต์พุต

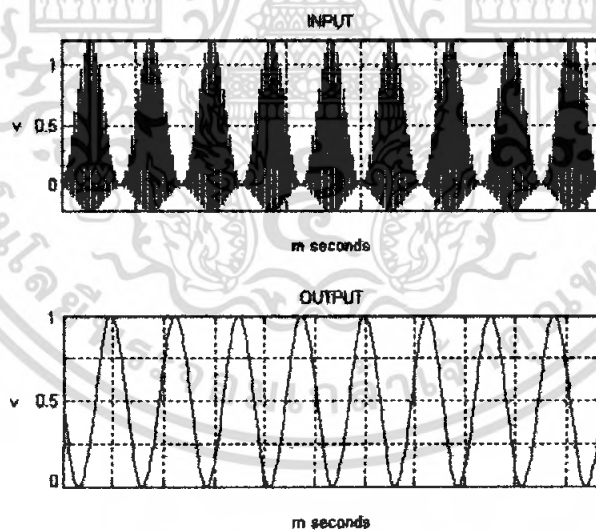


รูปที่ 4.13 สัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด (+2 dB) และสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

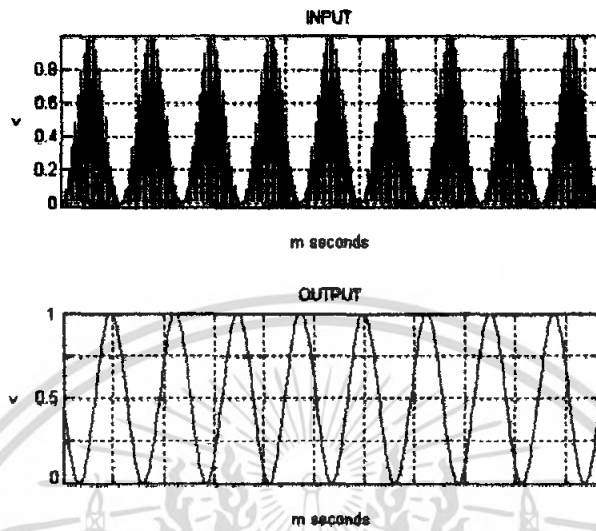


รูปที่ 4.14 สัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด (-3 dB) และสัญญาณเอาต์พุต

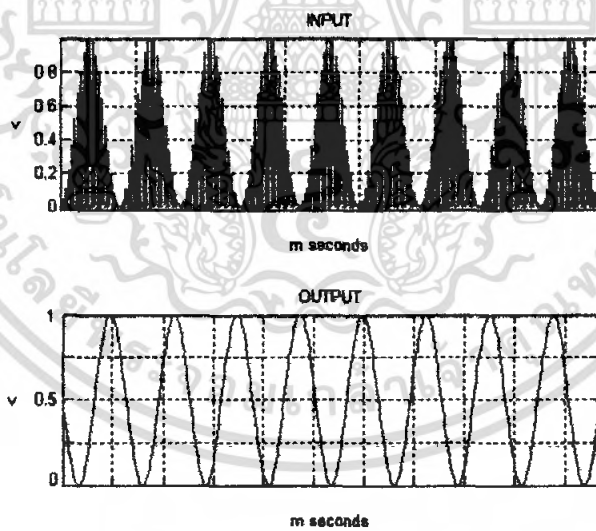


รูปที่ 4.15 สัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด (+3 dB) และสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

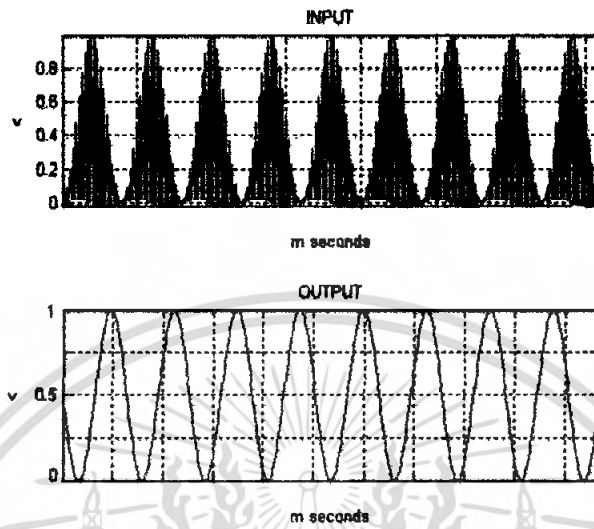


รูปที่ 4.16 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางคิเลย์ (-20 ns) และสัญญาณเอาต์พุต

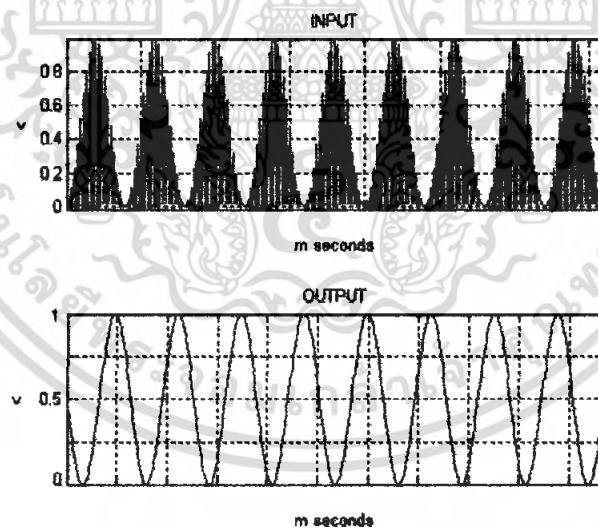


รูปที่ 4.17 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางคิเลย์ (+20 ns) และสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

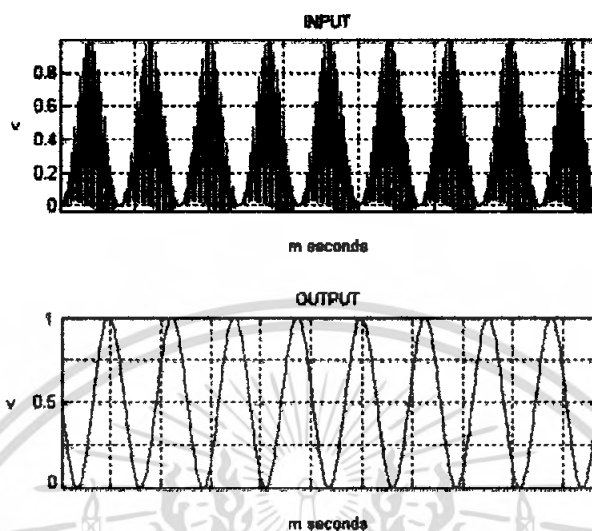


รูปที่ 4.18 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางศิลปะ (-40 ns) และสัญญาณเอาต์พุต

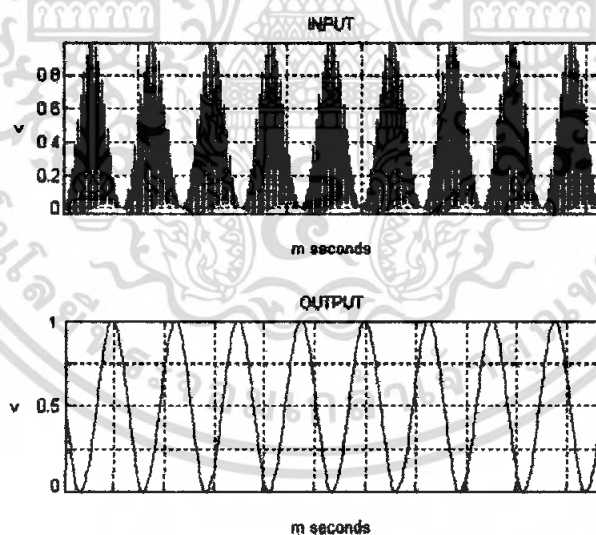


รูปที่ 4.19 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางศิลปะ (+40 ns) และสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

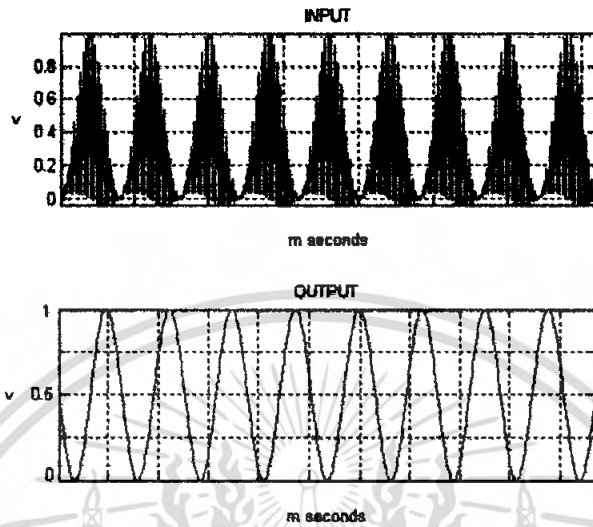


รูปที่ 4.20 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางคีย์ (-60 ns) และสัญญาณเอาต์พุต

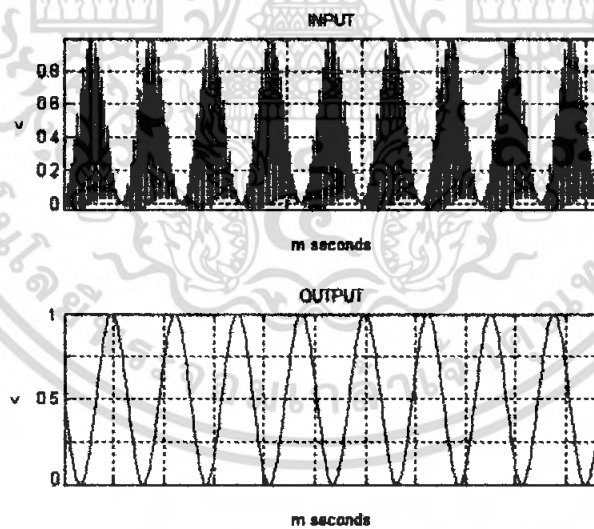


รูปที่ 4.21 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางคีย์ (+60 ns) และสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

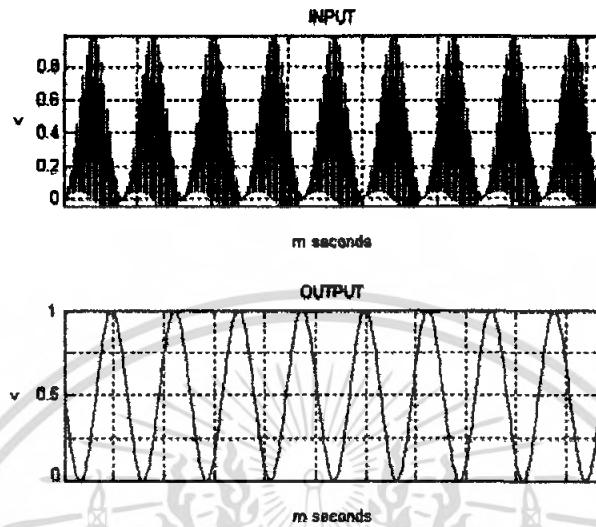


รูปที่ 4.22 สัญญาณอินพุตที่เกิดเพี้ยนทางลบ (-80 ns) และสัญญาณเอาต์พุต

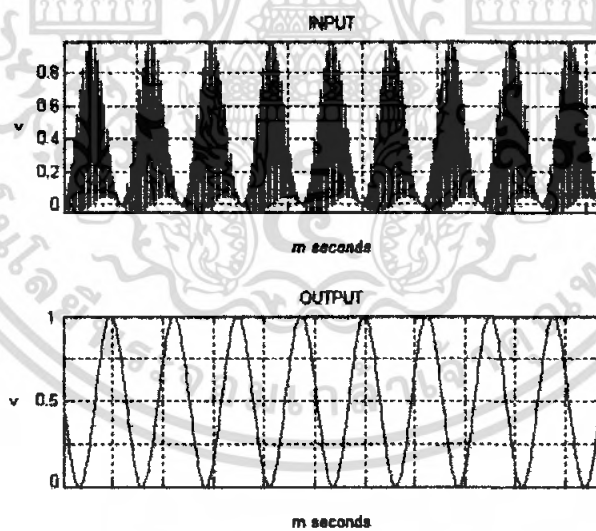


รูปที่ 4.23 สัญญาณอินพุตที่เกิดเพี้ยนทางลบ (+80 ns) และสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

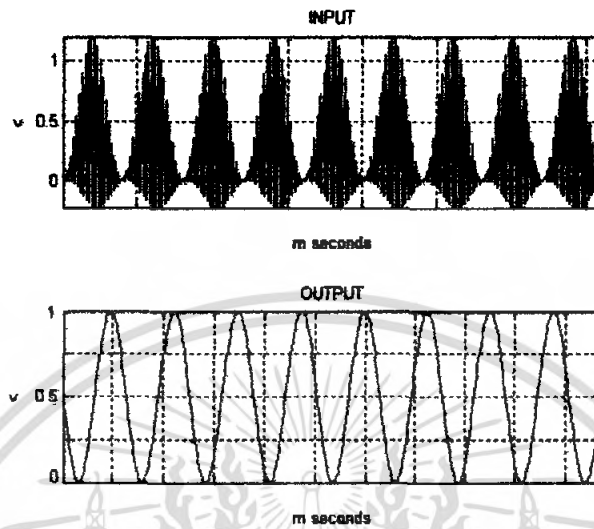


รูปที่ 4.24 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางคีย์ (-100 ns) และสัญญาณเอาต์พุต

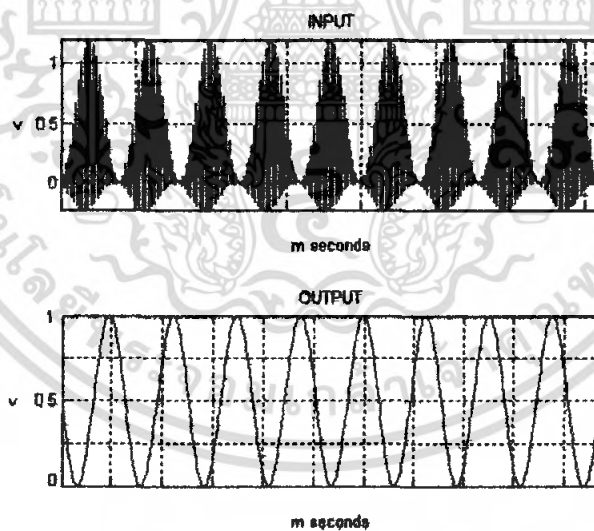


รูปที่ 4.25 สัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางคีย์ (+100 ns) และสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

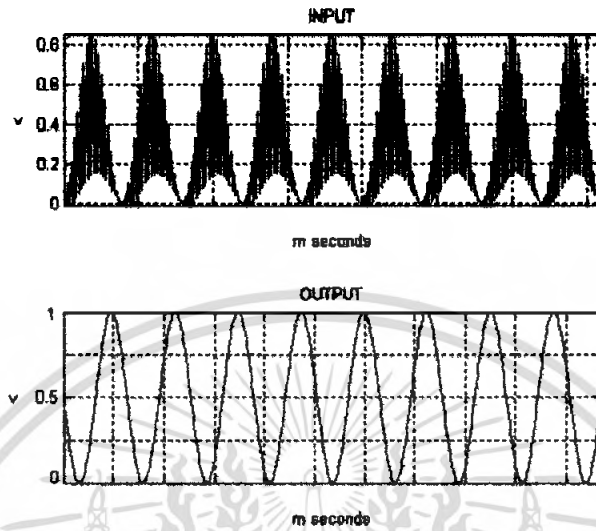


รูปที่ 4.26 สัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางอคราขยช (+3 dB) และคี่เดย์ (-100ns) และสัญญาณเอาต์พุต

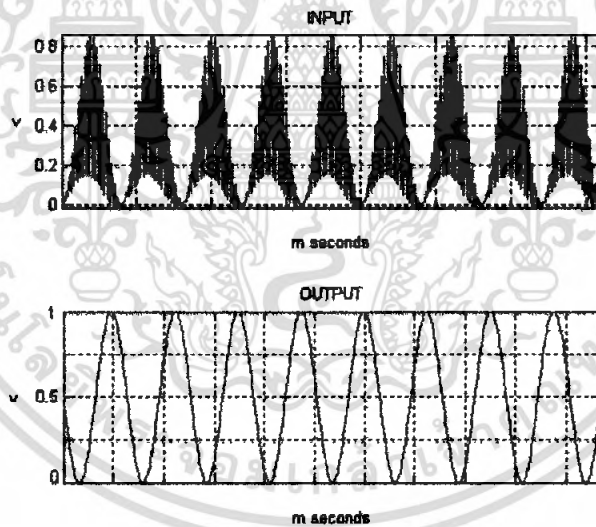


รูปที่ 4.27 สัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางอคราขยช (+3 dB) และคี่เดย์ (+100 ns) และสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 สัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด (-3 dB) และคิเลซ์ (+100 ns) และสัญญาณเอาต์พุต



รูปที่ 4.29 สัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด (-3 dB) และคิเลซ์ (-100 ns) และสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลของโครงการและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้ได้ศึกษาและสร้างอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS เพื่อนำแก้ความผิดเพี้ยนทางขนาดและดีเลย์ ของสัญญาณสีในเครื่องรับโทรศัพท์ทั่วไป ซึ่งวงจรดังกล่าวจะต้องมีโครงสร้างไม่ซับซ้อนและอาศัยอัลกอริทึมแบบ LMS ในการออกแบบ

จากจุดมุ่งหมายและแนวทางการสร้างข้างต้นนำมาสู่การกำหนดกรอบ ขอบเขตการสร้างและออกแบบวงจรปรับแก้แบบปรับตัวตามโครงสร้างที่นำเสนอมาสร้างจริงลงบอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัลรุ่น TMS3206416 DSK เพื่อแก้ไขสัญญาณผิดเพี้ยนทางขนาดและดีเลย์ ทดลองโดยใช้สัญญาณไซน์กำลังสองผสมกับสัญญาณคลื่นพาหะที่ความถี่ 1 kHz การทดลองโดยการใช้โปรแกรม MATLAB ด้วยอัลกอริทึมแบบ LMS ผลที่ได้จากการทดลอง จะได้สัญญาณเอาต์พุตที่ไม่ผิดเพี้ยนซึ่งเอาต์พุตที่ออกมาจะเป็นสัญญาณไซน์เนื่องจากบอร์ดรุ่น TMS3206416 DSK เป็นบอร์ดที่ใช้สำหรับแก้สัญญาณที่ผิดเพี้ยนทางเสียงจึงทำให้เอาต์พุตที่ได้เป็นสัญญาณไซน์

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

เนื่องจากบอร์ด TMS3206416 DSK เป็นบอร์ดที่ใช้สำหรับแก้สัญญาณที่ผิดเพี้ยนทางเสียงจึงทำให้เอาต์พุตที่ได้เป็นสัญญาณไซน์ ที่ใช้สัญญาณตั้งแต่ช่วงความถี่ 20Hz – 20 KHz จึงไม่สามารถทดลองที่ความถี่ 4.43MHz ของสัญญาณโทรศัพท์ได้

5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการ

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ประสิทธิภาพของอะแดปทีฟอัลกอริทึมที่ใช้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ในระดับหนึ่ง แต่ยังไม่ดีนักเพราะค่าที่อะแดปทีฟอัลกอริทึมประมาณ ได้นั้นยังไม่เข้าใกล้ค่าสัญญาณที่ถูกต้องมากที่สุด การศึกษาหาวิธีการใหม่ปรับปรุงอัลกอริทึมจึงสามารถพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพ จะทำให้ผลของสัญญาณเอาต์พุตเข้าใกล้ค่าที่ถูกต้องมากกว่าอะแดปทีฟอัลกอริทึมที่ใช้ในปริญญานิพนธ์นี้

บรรณานุกรม

1. รศ. ดร. วัลลภ สุระกำพลธร. 2533. การประมวลผลสัญญาณเชิงเลข. กรุงเทพฯ: บริษัทไคนาพรีน จำกัด
2. รศ. ดร. กนก เจนจิระพงศ์เวช. 2546. การตรวจสอบสัญญาณวีดีโอ. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. ราฐ พันธุ์ฉลาด, วุฒิพร เลิศวาสนา, วรพงศ์ ศิลาพันธ์ และ อนูรี หล่อสวัสดิ์ศิริ. “การแก้ความผิดเพี้ยนทางขนาดของสัญญาณสีในเครื่องรับโทรทัศน์ด้วยวงจรปรับเท่าแบบปรับตัว.” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26 (EECON-26) 6-7 พฤศจิกายน 2546 สจพ.
4. วุฒิพร เลิศวาสนา. 2546. การแก้ไขภาพสีของสัญญาณโทรทัศน์ด้วยวงจรปรับเท่าแบบปรับตัว. กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการสร้างโมเดลในการทดลอง

1. เปิดโปรแกรม MATLAB เรียกใช้ file > new > model



รูปที่ ก. 1

2. จะได้ ไฟล์ที่เป็น model มา จากนั้นเรียกใช้กล่องเครื่องมือของ โมเดล โดยคลิก view > library browser



รูปที่ ก. 2

3. จะได้กล่องเครื่องมือในการสร้างโมเดล กล่องเครื่องมือที่ใช้ในการจำลองการทำงานจะมี Simulink และ Signal Processing Blockset ในการทดลองที่เวลาจริงจะใช้ Simulink และ Embedded Target for TI C6000 DSP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก. 3

4. เครื่องมือภายในที่ใช้การจำลองการทำงาน

- Simulink จะใช้ Math Operations > Sum > In1>out1



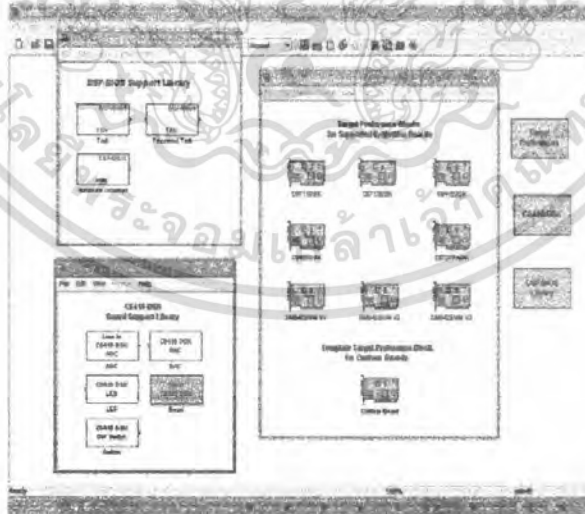
รูปที่ ก. 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เครื่องมือภายในที่ใช้ทดลองจริง Simulink จะใช้ User-Defined Function > Embedded
MATLAB Function



รูปที่ ก. 7



รูปที่ ก. 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Embedded Target for TI C6000 DSP จะใช้ C6416 DSK Board Support Library > Line In C6416 ADC กับ Line Out C6416 DAC, DSP/Bios Support Library > DSP/BIOS Task, Target Preference Block for Supported Evaluation Boards >

6. แสดงการทำงานในส่วนของ โปรแกรม CSS

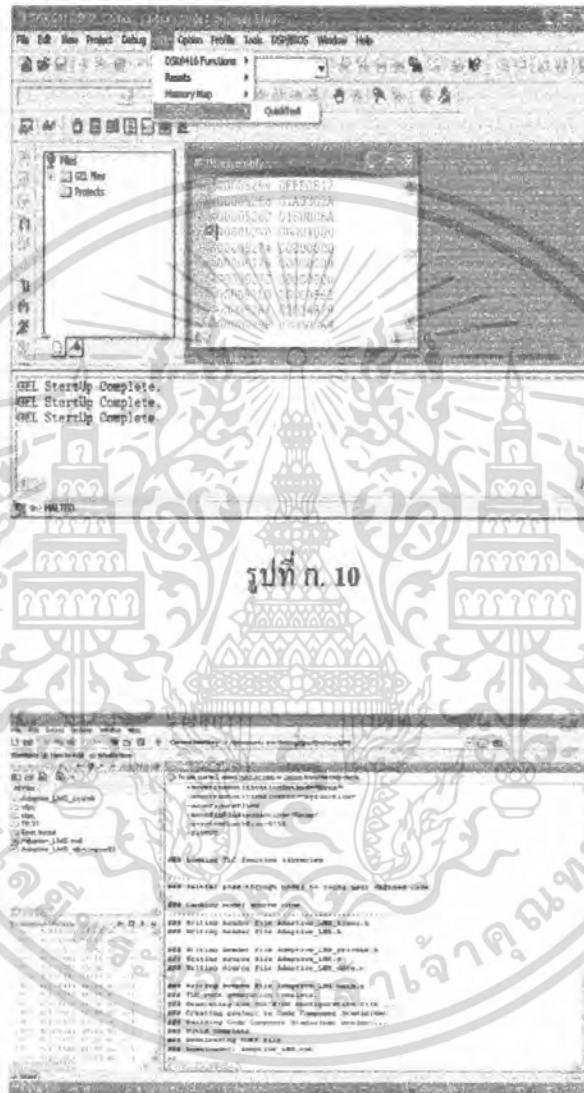
- เชื่อมต่อ โปรแกรมกับบอร์ด DSP > Debug > Connect



รูปที่ ก. 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตรวจสอบการทำงานของบอร์ดว่าพร้อมที่จะใช้งานหรือไม่ GEL > Check DSK > QuickTest

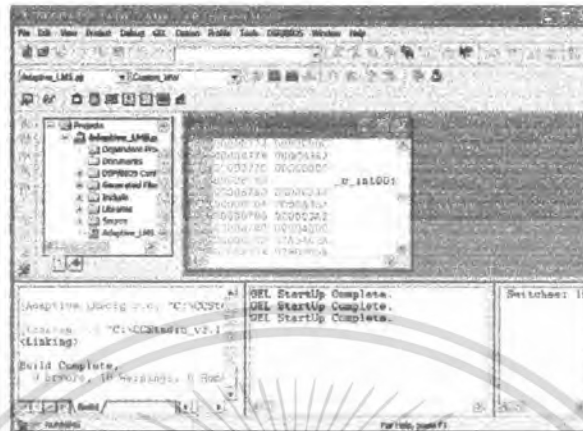


รูปที่ ก. 10

รูปที่ ก. 11

ในหน้าต่าง Command Window จะแสดงขั้นตอนการสร้างไฟล์ต่างๆ ที่ใช้เชื่อมต่อกับโปรแกรม CCS ระหว่างการเชื่อมต่อโปรแกรม CCS จะทำไฟล์ที่ติดต่อกับบอร์ดประมวลผลโดยทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก. 12

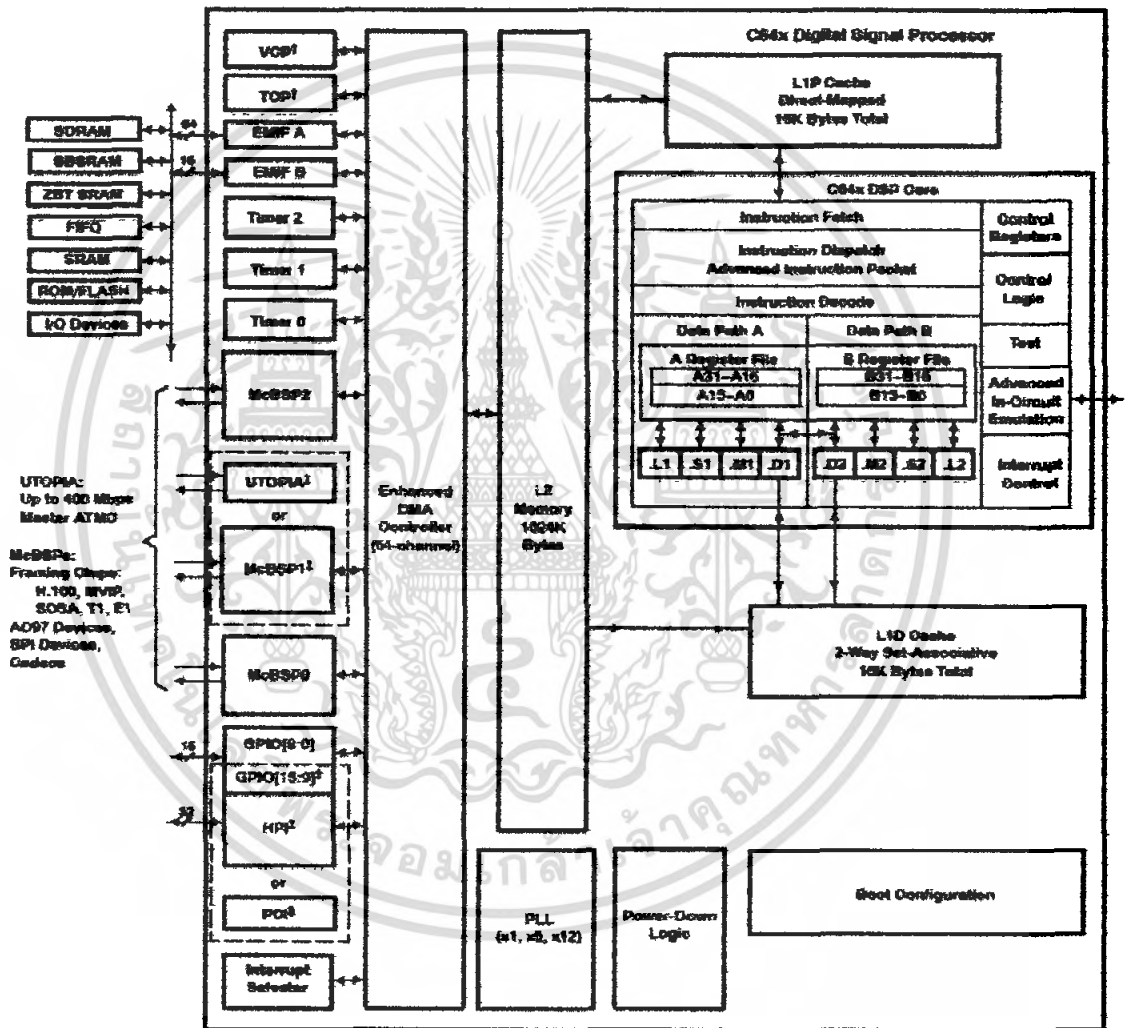
เมื่อ โปรแกรม MATLAB ทำการติดต่อกับโปรแกรม CCS เรียบร้อยและโปรแกรม CCS สามารถติดต่อกับบอร์ดประมวลผลได้ โปรแกรม CCS จะแสดงการทำงานพร้อมกระบวนการทำงานใน Mamory fash และที่หน้าต่าง Build จะแสดงว่า Build Complete

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

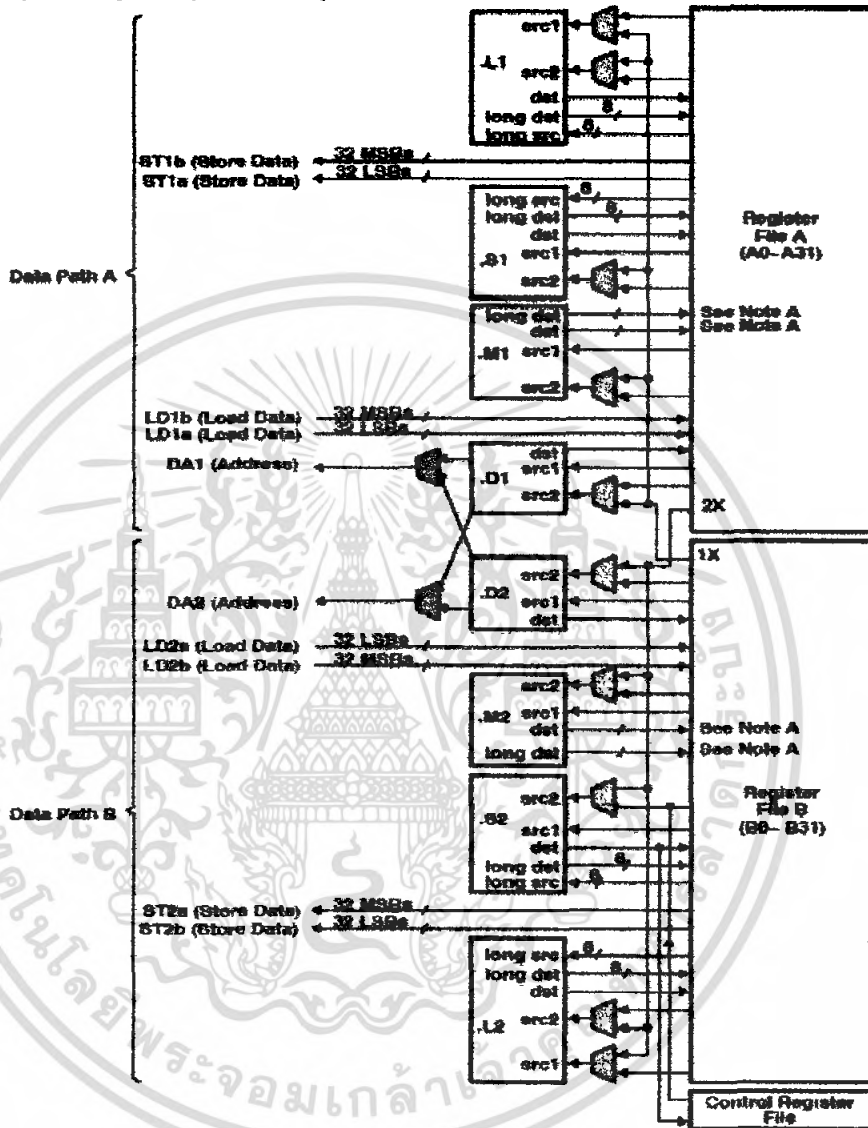
functional block and CPU (DSP core) diagram



รูปที่ ๕. 1 Functional block and CPU (DSP core) diagram

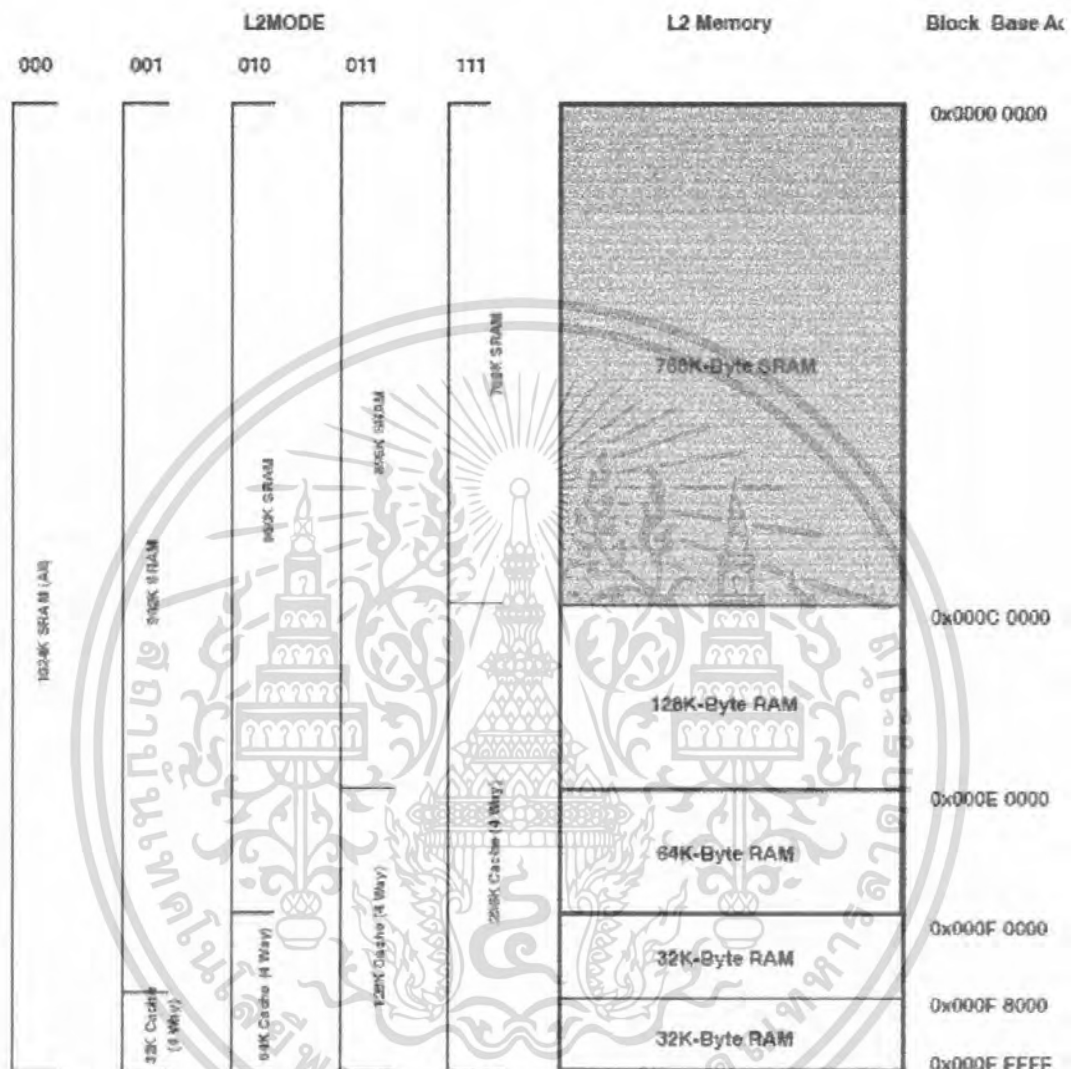
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CPU (DSP core) description (continued)



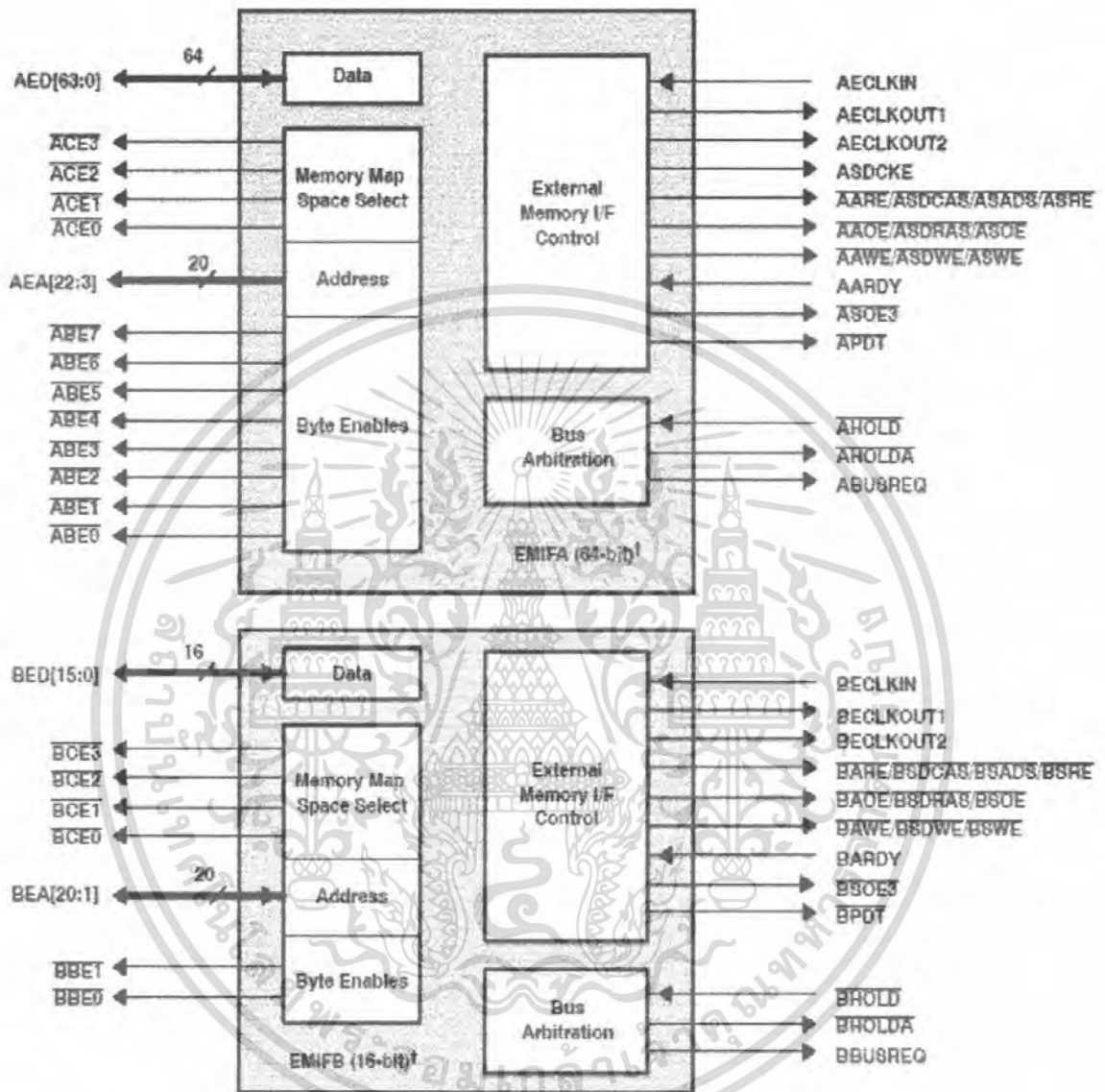
รูปที่ ข. 2 TMS320C64x™ CPU (DSP Core) Data Paths

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



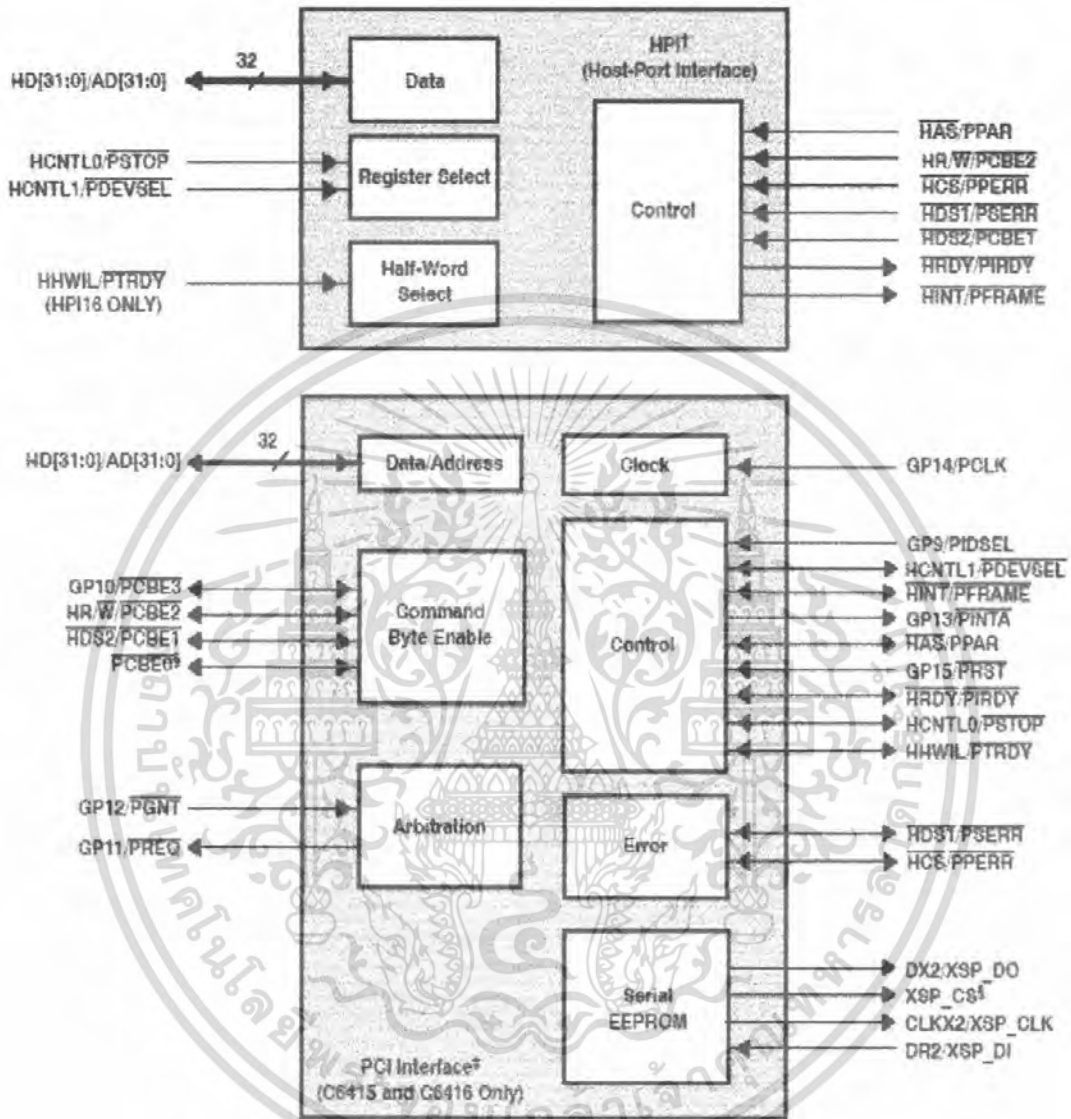
รูปที่ ข.3 TMS320C6414/C6415/C6416 L2 Architecture Memory Configuration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



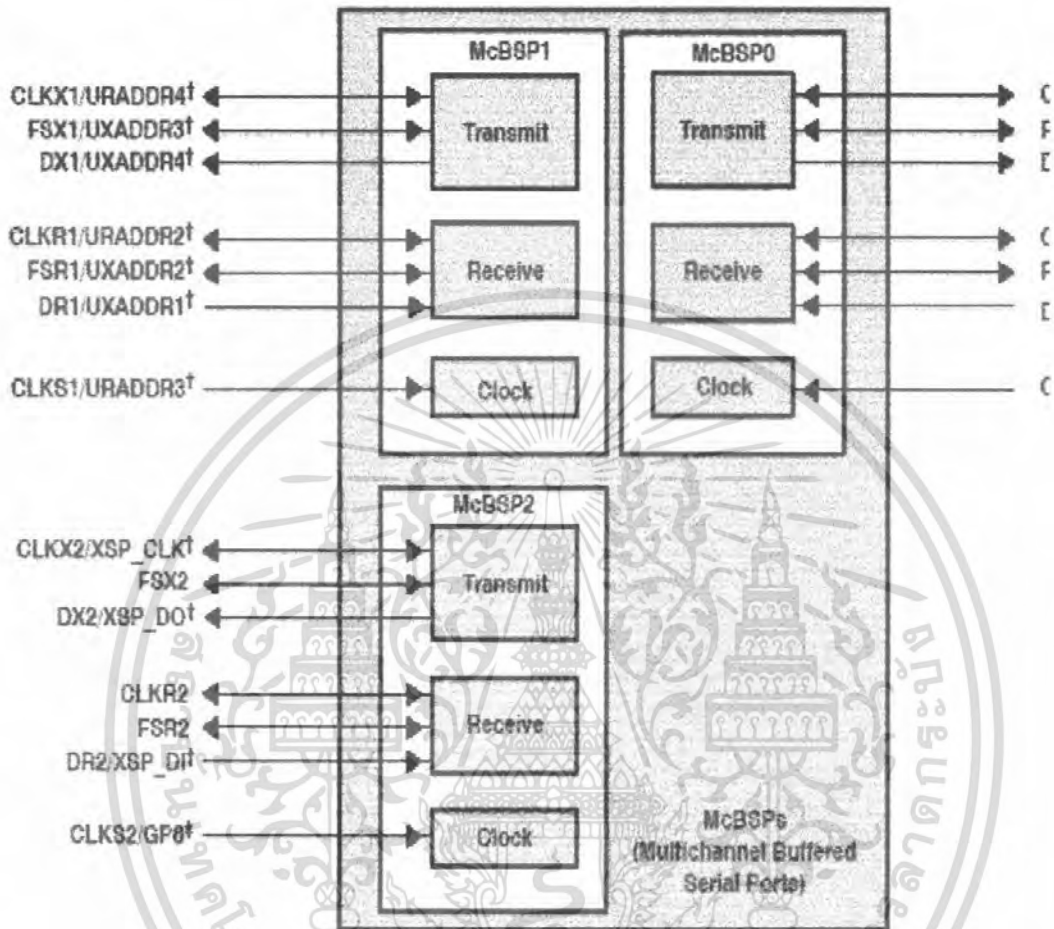
รูปที่ ข. 5 Peripheral Signals

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



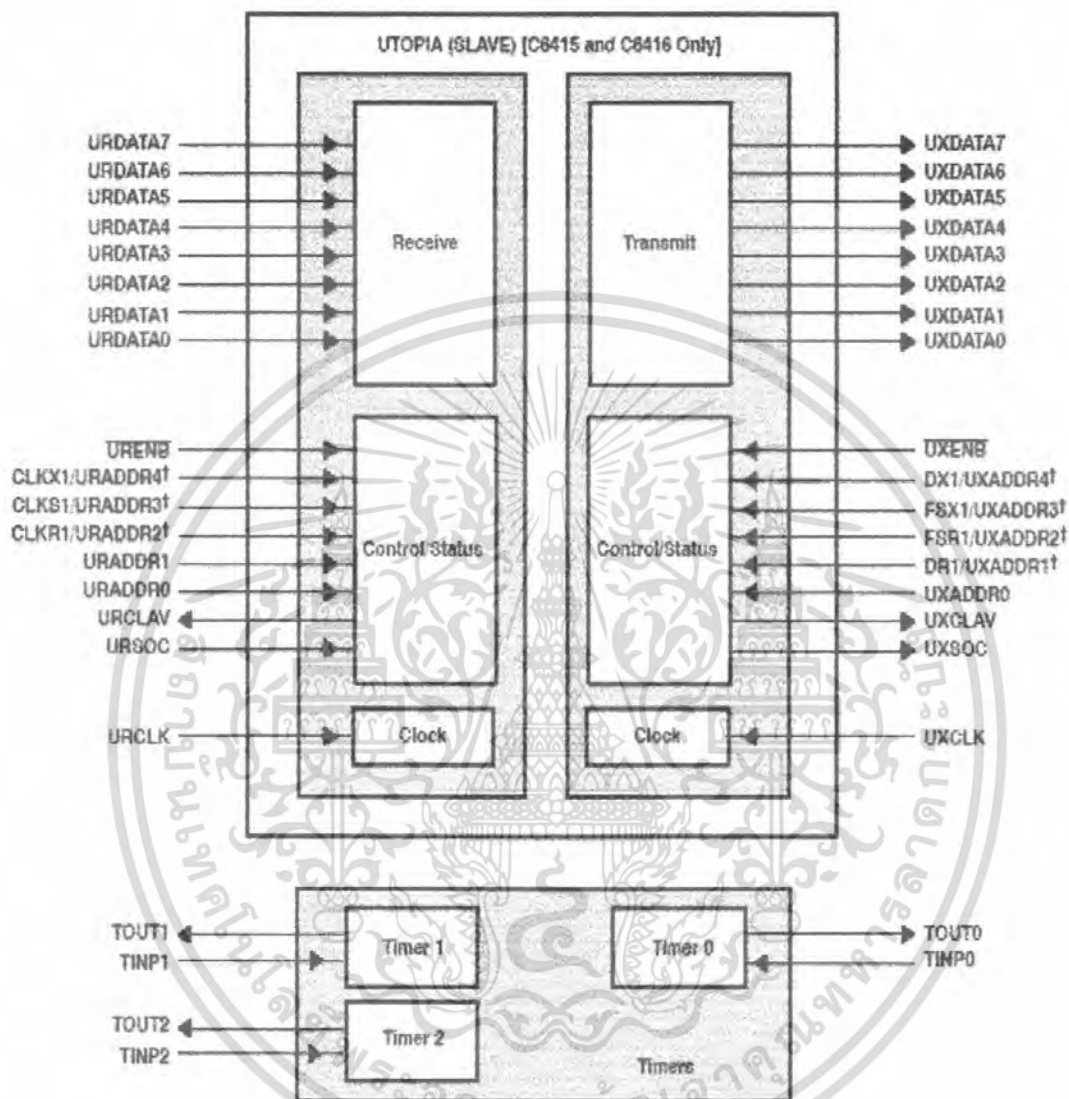
รูปที่ ข. 6 Peripheral Signals (Continued)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๗.7 Peripheral Signals (Continued)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข. 8 Peripheral Signals (Continued)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้