

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

เครื่องแก้สัญญาณผิดเพี้ยนทางขนาดและดีเลย์ของสัญญาณสี่

Equalizer of Amplitude and Delay Chrominance Distortions



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2551

RCH

คณะวิศวกรรมศาสตร์

TK

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

7872

.E7

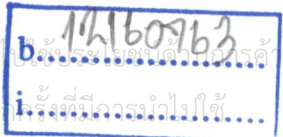
Q 436 ค

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....

วัน,เดือน,ปี.....

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร
i. เรื่องที่ควรระวังไปใช้.....



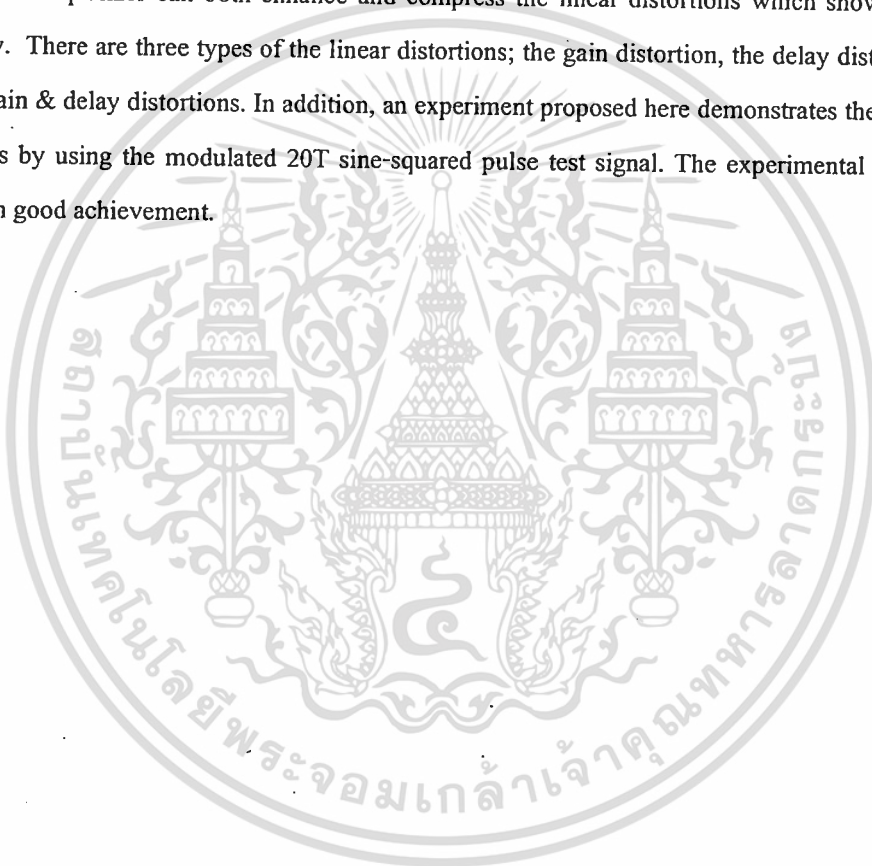
บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการแก้ความผิดเพี้ยนทางขนาดและดีเลย์ของสัญญาณสีในเครื่องรับโทรทัศน์ที่คลื่นพาห่อย่อยของสี 4.43 MHz ในระบบ PAL โดยใช้วงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้ ซึ่งจะใช้ตัวกรองความถี่ดิจิทัลแบบ FIR ทำงานร่วมกับอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS วงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้ที่นำเสนอสามารถชดเชยความผิดเพี้ยนที่เกิดขึ้นในสัญญาณสีทั้ง 3 แบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นความผิดเพี้ยนทางขนาดอย่างเดียว ความผิดเพี้ยนทางดีเลย์อย่างเดียว และความผิดเพี้ยนทางขนาดและดีเลย์พร้อมกัน เนื่องจากวงจรปรับเท่าที่ได้ออกแบบมีผลตอบสนองทางเฟสเป็นเชิงเส้นจึงทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องดีเลย์ที่ไม่เรียบ นอกจากนี้ในการทดลองได้นำเอาสัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์มาใช้ในการทดสอบระบบ จากการทดลองพบว่าวงจรปรับเท่าที่ได้ออกแบบสามารถแก้ความผิดเพี้ยนทางขนาดและดีเลย์ได้อย่างเป็นอย่างดี



ABSTRACT

This paper presents an adaptive equalizer using Finite Impulse Response (FIR) filter and Least Mean Squared (LMS) algorithm. It can correct the gain distortion and delay distortion in television with the color sub-carrier 4.43 MHz for PAL system. The advantage of the proposed equalizer is linear phase filter which causes the pulse test signal with the flat baseline. Therefore, the proposed equalizer can both enhance and compress the linear distortions which show good efficiency. There are three types of the linear distortions; the gain distortion, the delay distortion, and the gain & delay distortions. In addition, an experiment proposed here demonstrates the linear distortions by using the modulated 20T sine-squared pulse test signal. The experimental results show both good achievement.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	ฅ
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 แนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	2
บทที่ 2 สัญญาณพัลส์ทดสอบ	3
2.1 บทนำ	3
2.2 สัญญาณทดสอบ Pulse-and-Bar	3
2.3 สัญญาณทดสอบมอดูเลต 2OT ไชน์กำลังสองพัลส์	4
2.4 สูตรสำเร็จของความผิดเพี้ยนเชิงเส้น	6
2.4.1 สูตรสำเร็จของความผิดเพี้ยนทางขนาดอย่างเดียว	6
2.4.2 สูตรสำเร็จของความผิดเพี้ยนทางดีเลย์อย่างเดียว	8
2.4.3 สูตรสำเร็จของความผิดเพี้ยนทางขนาดและดีเลย์พร้อมกัน	9
บทที่ 3 ทฤษฎีอะแดปทีฟอัลกอริทึม	11
3.1 บทนำ	11
3.2 อะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ Steepest Descent	11
3.3 อะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS	17
3.4 อะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ QLMS	20
3.4.1 อัลกอริทึมแบบ Sign (The Sign Algorithm)	20
3.4.2 อัลกอริทึมแบบ Signed-Regressor (The Sign-Regressor Algorithm)	21

ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.3 อัลกอริทึมแบบ QLMS	23
3.5 อะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ NLMS	23
3.6 อะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ VSQLMS	25
บทที่ 4 ผลกระทบของความผิดเพี้ยนเชิงเส้น	27
4.1 บทนำ	27
4.2 การแสดงความผิดเพี้ยนเชิงเส้น โดยสัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์	27
4.3 การแสดงผลกระทบเมื่อเกิดความผิดเพี้ยนเชิงเส้น	45
4.3.1 ผลกระทบเมื่อเกิดความผิดเพี้ยนทางขนาดอย่างเดียว	46
4.3.2 ผลกระทบเมื่อเกิดความผิดเพี้ยนทางคี่เลขอย่างเดียว	48
4.3.3 ผลกระทบเมื่อเกิดความผิดเพี้ยนทางขนาดและคี่เลขพร้อมกัน	49
บทที่ 5 ผลการทดลอง	51
5.1 บทนำ	51
5.2 การออกแบบ และจำลองวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้	51
5.3 การจำลอง โมเดลการทำงานของอะแดปทีฟอัลกอริทึม ด้วยโปรแกรม MATLAB	55
5.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	57
5.5 ผลการทดลอง	59
5.5.1 กรณีความผิดเพี้ยนทางขนาดอย่างเดียว	60
5.5.2 กรณีความผิดเพี้ยนทางคี่เลขอย่างเดียว	63
5.5.3 กรณีความผิดเพี้ยนทางขนาดและคี่เลขพร้อมกัน	68
บทที่ 6 สรุปผลงานวิจัย	72
6.1 บทสรุป	72
6.2 ปัญหาและอุปสรรค	72

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการ	73
บรรณานุกรม	74
ภาคผนวก	75
ภาคผนวก ก. ขั้นตอนการสร้างโมเดลในการทดลอง	75
ภาคผนวก ข. วงจรภายในบอร์ด TMS320C6416T DSK	82



จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 วงจรผลิตสัญญาณมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์	5
รูปที่ 2.2 สเปกตรัมความถี่ของสัญญาณมอดูเลต 20T พัลส์	5
รูปที่ 2.3 สัญญาณมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ที่มีความผิดเพี้ยนทางขนาดอย่างเดียว	8
รูปที่ 2.4 สัญญาณมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ที่มีความผิดเพี้ยนทางดีเลย์อย่างเดียว	9
รูปที่ 2.5 สัญญาณมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ที่มีความผิดเพี้ยนทางขนาด และดีเลย์พร้อมกัน	10
รูปที่ 3.1 โครงสร้างวงจรกรองความถี่ FIR แบบปรับตัวได้ตามขวาง	11
รูปที่ 3.2 พื้นผิวปฏิบัติการของค่า MMSE ที่มีสัมประสิทธิ์ค่าเหมาะสมที่สุด	15
รูปที่ 3.3 พื้นผิวปฏิบัติการของค่า MSE โดยการดำเนินเกรเดียนต์แบบ Steepest Descent	16
รูปที่ 3.4 โครงสร้างวงจรกรองความถี่ FIR แบบปรับตัวได้ตามขวาง ด้วยอัลกอริทึมแบบ LMS	17
รูปที่ 3.5 เปรียบเทียบวิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ ณ เวลา n ใดๆ	19
รูปที่ 3.6 การเปรียบเทียบค่า MSE ของอัลกอริทึมตระกูล LMS	22
รูปที่ 3.7 การเปรียบเทียบค่า MSE ของอัลกอริทึมแบบ LMS NLMS และ VSLMS	26
รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	46
รูปที่ 4.2 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = +3 dB และ Time Delay = 0 nsec	46
รูปที่ 4.3 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = +2 dB และ Time Delay = 0 nsec	46
รูปที่ 4.4 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = +1 dB และ Time Delay = 0 nsec	47
รูปที่ 4.5 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = -1 dB และ Time Delay = 0 nsec	47
รูปที่ 4.6 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = -2 dB และ Time Delay = 0 nsec	47
รูปที่ 4.7 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = -3 dB และ Time Delay = 0 nsec	48
รูปที่ 4.8 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = 0 dB และ Time Delay = +100 nsec	48
รูปที่ 4.9 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = 0 dB และ Time Delay = +60 nsec	48

ฉ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 4.10 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = 0 dB และ Time Delay = -60 nsec	49
รูปที่ 4.11 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = 0 dB และ Time Delay = -100 nsec	49
รูปที่ 4.12 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = -3 dB และ Time Delay = +100 nsec	49
รูปที่ 4.13 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = -3 dB และ Time Delay = -100 nsec	50
รูปที่ 4.14 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = +3 dB และ Time Delay = +100 nsec	50
รูปที่ 4.15 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = +3 dB และ Time Delay = -100 nsec	50
รูปที่ 5.1 แผนภาพวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้สำหรับแก้ความผิดเพี้ยนของสัญญาณสี่	51
รูปที่ 5.2 อัตราการลู่เข้าของอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS	52
รูปที่ 5.3 ตัวอย่างผลการจำลองวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้	54
รูปที่ 5.4 แผนภาพวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวแบบปรับตัวได้ สำหรับแก้ความผิดเพี้ยน ของสัญญาณสี่ โดยใช้อะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS	55
รูปที่ 5.5 โมเดลการทดลองการทำงานวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้	56
รูปที่ 5.6 บอร์ดประมวลผล	57
รูปที่ 5.7 เครื่อง ARBITRARY WAVEFORM GENERATOR รุ่น AWG 2021	58
รูปที่ 5.8 ออสซิลโลสโคป	58
รูปที่ 5.9 เครื่องคอมพิวเตอร์	58
รูปที่ 5.10 แผนภาพการต่ออุปกรณ์สำหรับการทดลอง	59
รูปที่ 5.11 การต่ออุปกรณ์สำหรับการทดลองที่เวลาจริง	60
รูปที่ 5.12 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด ที่ -1 dB และสัญญาณเอาต์พุต	61
รูปที่ 5.13 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด ที่ +1 dB และสัญญาณเอาต์พุต	61
รูปที่ 5.14 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด ที่ -2 dB และสัญญาณเอาต์พุต	62

๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 5.15 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด ที่ +2 dB และสัญญาณเอาต์พุต	62
รูปที่ 5.16 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด ที่ -3 dB และสัญญาณเอาต์พุต	63
รูปที่ 5.17 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด ที่ +3 dB และสัญญาณเอาต์พุต	63
รูปที่ 5.18 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางคี่เลข ที่ -20 nsec และสัญญาณเอาต์พุต	64
รูปที่ 5.19 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางคี่เลข ที่ +20 nsec และสัญญาณเอาต์พุต	64
รูปที่ 5.20 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางคี่เลข ที่ -40 nsec และสัญญาณเอาต์พุต	65
รูปที่ 5.21 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางคี่เลข ที่ +40 nsec และสัญญาณเอาต์พุต	65
รูปที่ 5.22 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางคี่เลข ที่ -60 nsec และสัญญาณเอาต์พุต	66
รูปที่ 5.23 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางคี่เลข ที่ +60 nsec และสัญญาณเอาต์พุต	66
รูปที่ 5.24 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางคี่เลข ที่ -80 nsec และสัญญาณเอาต์พุต	67
รูปที่ 5.25 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางคี่เลข ที่ +80 nsec และสัญญาณเอาต์พุต	67
รูปที่ 5.26 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางคี่เลข ที่ -100 nsec และสัญญาณเอาต์พุต	68
รูปที่ 5.27 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางคี่เลข ที่ +100 nsec และสัญญาณเอาต์พุต	68
รูปที่ 5.28 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด (+3 dB) และคี่เลข (-100 nsec) และสัญญาณเอาต์พุต	69
รูปที่ 5.29 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด (+3 dB) และคี่เลข (+100 nsec) และสัญญาณเอาต์พุต	69
รูปที่ 5.30 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด (-3 dB) และคี่เลข (-100 nsec) และสัญญาณเอาต์พุต	70
รูปที่ 5.31 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด (-3 dB) และคี่เลข (+100 nsec) และสัญญาณเอาต์พุต	70

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ ก. 1	76
รูปที่ ก. 2	76
รูปที่ ก. 3	77
รูปที่ ก. 4	77
รูปที่ ก. 5	78
รูปที่ ก. 6	78
รูปที่ ก. 7	79
รูปที่ ก. 8	79
รูปที่ ก. 9	80
รูปที่ ก. 10	80
รูปที่ ก. 11	81
รูปที่ ก. 12	81
รูปที่ ข. 1 Functional block and CPU (DSP core) diagram	83
รูปที่ ข. 2 TMS320C64x™ CPU (DSP Core) Data Paths	84
รูปที่ ข. 3 TMS320C6414/C6415/C6416 L2 Architecture Memory Configuration	85
รูปที่ ข. 4 CPU and Peripheral Signals	86
รูปที่ ข. 5 Peripheral Signals	87
รูปที่ ข. 6 Peripheral Signals (Continued)	88
รูปที่ ข. 7 Peripheral Signals (Continued)	89
รูปที่ ข. 8 Peripheral Signals (Continued)	90

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการวัดการผิดเพี้ยนทางอัตราขยายต่ำ ตั้งแต่ -1 dB ถึง -12 dB	28
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการวัดการผิดเพี้ยนทางอัตราขยายสูง ตั้งแต่ +1 dB ถึง +12 dB	32
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการวัดการผิดเพี้ยนทางดีเลย์บวก ตั้งแต่ 0 nsec ถึง 500 nsec	36
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการวัดการผิดเพี้ยนทางดีเลย์ลบ ตั้งแต่ -500 nsec ถึง 0 nsec	39
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการวัดการผิดเพี้ยนทางขนาดและดีเลย์พร้อมกัน	42
ตารางที่ 5.1 รูปอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS	52



ญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันนี้โทรทัศน์ได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากต่อความเป็นอยู่ในชีวิตประจำวัน ทำให้ทราบข่าวสารและความบันเทิงต่าง ๆ ดังนั้นในการที่จะให้สัญญาณภาพปรากฏต่อหน้าผู้ชมทางบ้านอย่างมีคุณภาพและสมบูรณ์แบบจึงจำเป็นต้องมีอย่างยั้งที่จะต้องมีการตรวจสอบสัญญาณภาพทางด้านส่ง ในระบบงานด้านการส่งโทรทัศน์นั้น สัญญาณภาพจะถูกส่งผ่านวงจรต่าง ๆ มากมาย รวมทั้งสายส่งก่อนที่จะถูกส่งออกอากาศ ทำให้สัญญาณโทรทัศน์อาจเกิดความผิดเพี้ยนทางขนาด และ/หรือ ดีเลย์ ฉะนั้นจึงต้องทำการแก้ไขก่อนส่งสัญญาณภาพออกอากาศ วิธีการตรวจสอบดังกล่าวจะกระทำโดยการป้อนสัญญาณทดสอบผ่านระบบที่ต้องการตรวจสอบแล้วถ้าสัญญาณทดสอบเสียบรูป แสดงว่าระบบที่ทดสอบมีผลต่อสัญญาณภาพ ในการวัดความผิดเพี้ยนของสัญญาณภาพจริงนั้น ไม่สามารถที่จะทำการวัดความผิดเพี้ยนได้โดยตรง จึงจำเป็นต้องมีอย่างยั้งที่จะต้องใช้สัญญาณทดสอบ ซึ่งเป็นสัญญาณที่สร้างขึ้นไม่ยากมีรูปแบบง่าย ๆ และสามารถวัดค่าได้ นั่นคือสัญญาณมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ ในการวัดความผิดเพี้ยนโดยจะดูที่ฐานของพัลส์ เช่น ในกรณีที่ฐานของสัญญาณทดสอบเป็นเส้นตรงแสดงให้เห็นว่าไม่มีความผิดเพี้ยนเกิดขึ้น แต่ถ้าฐานของสัญญาณทดสอบมีลักษณะเป็น โคไซน์ แสดงว่าเกิดความผิดเพี้ยนทางขนาดอย่างเดียว และถ้าฐานของสัญญาณทดสอบมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ที่สมมาตร แสดงว่าเกิดความผิดเพี้ยนทางดีเลย์อย่างเดียว และกรณีสุดท้ายคือที่ฐานของสัญญาณทดสอบมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ที่ไม่สมมาตร แสดงว่าเกิดความผิดเพี้ยนทางขนาดและดีเลย์พร้อมกัน ความผิดเพี้ยนทั้ง 3 กรณี มีผลกระทบต่อสัญญาณภาพทั้งสิ้น ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงต้องการที่จะช่วยแก้ปัญหาความผิดเพี้ยนดังกล่าวที่เกิดขึ้น ก่อนส่งสัญญาณภาพออกอากาศไปยังผู้ชมทางบ้าน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความผิดเพี้ยนเชิงเส้นในระบบการส่งผ่านสัญญาณโทรทัศน์สี ในระบบ PAL
2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์
3. เพื่อศึกษาทฤษฎีอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS โดยใช้โครงสร้างแบบ FIR ซึ่งจำลองการทำงานด้วยโดยโปรแกรม MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เพื่อนำผลที่ได้จากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB ไปสร้างเป็นชุดทดลองตัวกรองความถี่ดิจิทัลแบบ FIR ด้วยบอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัลรุ่น DSP TMS230C6713 DSK
5. เพื่อแก้ปัญหาความผิดเพี้ยนทางขนาด และดีเลย์ของสัญญาณสีในเครื่องรับโทรทัศน์ ที่ความถี่พาห้อย่อยของสี 4.43 MHz ในระบบ PAL โดยใช้สัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ ป้อนผ่านวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้ที่ได้ออกแบบ

1.3 แนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบวงจรแก้ความผิดเพี้ยนทางขนาดและดีเลย์ของสัญญาณสีในเครื่องรับโทรทัศน์ที่คลื่นพาห้อย่อยของสี 4.43 MHz ในระบบ PAL ด้วยวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้ (Adaptive equalizer) โดยนำเอาตัวกรองความถี่ดิจิทัลแบบ FIR มาทำงานร่วมกับอะแดพทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS โดยนำสัญญาณสีที่ผิดเพี้ยนมาทำการสุ่มด้วยวงจร A/D (Analog to Digital) เพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ไปประมวลผลแบบดิจิทัล เมื่อแก้ไขแล้วจะส่งไปยังวงจร D/A (Digital to Analog) และส่งกลับสู่ระบบโทรทัศน์ต่อไป การประมวลผลแบบดิจิทัลนั้นมีข้อดีว่าการประมวลผลแบบแอนาล็อก เพราะการประมวลผลแบบดิจิทัลมีความยืดหยุ่นสูงกว่าแบบแอนาล็อก นอกจากนี้ยังสามารถใช้การประมวลผลแบบซ้ำ (iteration) เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด (optimum) ได้อีกด้วยโดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงฮาร์ดแวร์อย่างใด

ในกระบวนการทดลองวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้ที่สร้างจริง จะอาศัยบอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัลรุ่น DSP TMS230C6713 DSK ทำหน้าที่เป็นชุดวงจรกรองความถี่แบบไม่ปรับตัว และคอมพิวเตอร์ PC ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองความถี่แบบปรับตัวได้ตามจังหวะ โดยการใช้โปรแกรม MATLAB

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแนวคิด และขยายความจากบทความที่ [12] [13] [14] เริ่มจากการศึกษาลักษณะโครงสร้างของวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้ โดยนำวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้ที่ได้ออกแบบมาจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB พร้อมทั้งนำวงจรดังกล่าวมาทำการทดลองเพื่อแก้ปัญหาความผิดเพี้ยนเชิงเส้นทั้ง 3 กรณี ด้วยบอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัลรุ่น DSP TMS230C6713 DSK starter Kit และให้แสดงผลออกทางเครื่อง Oscilloscope พร้อมทั้งหน้าจอโทรทัศน์ระบบ PAL ในลักษณะภาพนิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

สัญญาณพัลส์ทดสอบ

2.1 บทนำ

โทรทัศน์ระบบ PAL เป็นโทรทัศน์สีที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับโทรทัศน์ระบบ NTSC แต่ได้รับการเสริมแต่งแก้ไขให้มีความแตกต่างกันอยู่หลายอย่างเรื่องที่สำคัญก็คือได้รับการปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดจากความผิดเพี้ยนทางขนาดและเฟส โดยปกติการส่งสัญญาณโทรทัศน์ที่มีขนาดและความถี่แตกต่างกันผ่านวงจรขยายสัญญาณหรือวงจรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง จะทำให้ต้องใช้เวลานานมากน้อยและมีการขยายมากน้อยแตกต่างกันออกไปตามแต่ขนาด และความถี่ของสัญญาณโทรทัศน์ ซึ่งจะมีผลต่อสัญญาณโทรทัศน์ที่ให้ภาพสี และสัญญาณคลื่นพาห้สีย่อยมาก ความผิดเพี้ยนเหล่านี้จะทำให้ภาพสีของเครื่องรับโทรทัศน์สีมีสีสันทันที่ผิดเพี้ยนไปจากภาพสีของเครื่องส่งโทรทัศน์สีซึ่งเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องแก้ไข ในโทรทัศน์ระบบ NTSC เองได้มีการแก้ไขเรื่องนี้โดยการพิจารณาออกแบบวงจรที่เกี่ยวข้องให้เหมาะสม [1] แต่โทรทัศน์ระบบ PAL มีวิธีการปรับปรุงแก้ไขปัญหาในเรื่องนี้โดยใช้สัญญาณทดสอบ (Test signals) แบบต่าง ๆ ตามความเหมาะสม ซึ่งขึ้นอยู่กับระบบที่จะทดสอบ และในทางปฏิบัติการส่งสัญญาณทดสอบนี้จะถูกรวมไปกับสัญญาณโทรทัศน์โดยการใส่เข้าไปช่วงสัญญาณแบลิ่งกึ่งทางแนวตั้ง (Vertical interval test signal) ตามข้อตกลงระหว่างประเทศซึ่งรับรองโดย CCIR ให้ใส่สัญญาณทดสอบที่เส้นที่ 17 และ 18 [2]

2.2 สัญญาณทดสอบ Pulse-and-Bar

สัญญาณทดสอบ Pulse-and-Bar ถูกนำมาใช้ในการวัดคุณลักษณะการส่งผ่านเชิงเส้น (Linear Transmission) ของอุปกรณ์โทรทัศน์ ซึ่งสัญญาณทดสอบนี้ประกอบด้วยสัญญาณไซน์กำลังสองพัลส์ที่มีช่วงเวลาครึ่งหนึ่งของแอมพลิจูด (Half Amplitude Duration; h.a.d) เท่ากับ $2T$ หรือเรียกว่าสัญญาณ $2T$ พัลส์ และรูปคลื่นแถบเส้น (Line bar waveform) ที่มีช่วงเวลายืน (Rise time) เท่ากับ $2T$ ด้วย [3] เมื่อ T คือ ค่าเวลาทรานเซียนต์ (Transient time) ของระบบโทรทัศน์ ซึ่งกำหนดให้ $T = 1/2f_u$ โดยที่ f_u คือค่าความถี่สูงสุด (Upper frequency) ในระบบ NTSC หรือ 525-Lines ค่าความถี่สูงสุด $f_u = 4 \text{ MHz}$ ดังนั้น ค่าเวลาทรานเซียนต์ หรือ $T = 1/2 \cdot 4 \text{ MHz} = 0.125 \mu\text{sec}$ ส่วนในระบบ PAL หรือ 625-Lines จะมีค่าความถี่สูงสุด $f_u = 5 \text{ MHz}$ ดังนั้นค่าเวลาทรานเซียนต์ หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T = 1/2 \cdot 5 \text{ MHz} = 0.1 \mu\text{sec}$$

สัญญาณทดสอบ Pulse-and-Bar ถูกปรับแต่งด้วยองค์ประกอบ (Element) ที่สำคัญของภาพ อาทิ เช่น เส้น ขอบ ความคม และความสว่างของภาพ เหตุผลนี้เองทำให้มีการนำสัญญาณทดสอบ Pulse-and-Bar มาใช้ในการตรวจสอบความผิดเพี้ยนของภาพโทรทัศน์จริงอย่างกว้างขวาง ซึ่งสเปกตรัมความถี่ของสัญญาณ Pulse-and-Bar หรือสเปกตรัมของสัญญาณ 2T พัลส์ และรูปคลื่นแถบเส้น จะมีพลังงานจำนวนมากอยู่ตรงบริเวณความถี่ต่ำ ดังนั้นสัญญาณทดสอบนี้สามารถชี้ให้เห็นถึงความผิดเพี้ยนจากการส่งผ่านได้ในย่านความถี่ตั้งแต่ศูนย์ถึงประมาณหลายร้อยกิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งในย่านความถี่นี้ความผิดเพี้ยนส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับความมืด และความสว่างของภาพที่ส่งมา ดังนั้นความผิดเพี้ยนจากการส่งผ่านจะสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนที่ความถี่ประมาณ 60-80 เปอร์เซ็นต์ของความถี่สูงสุด (f_u)

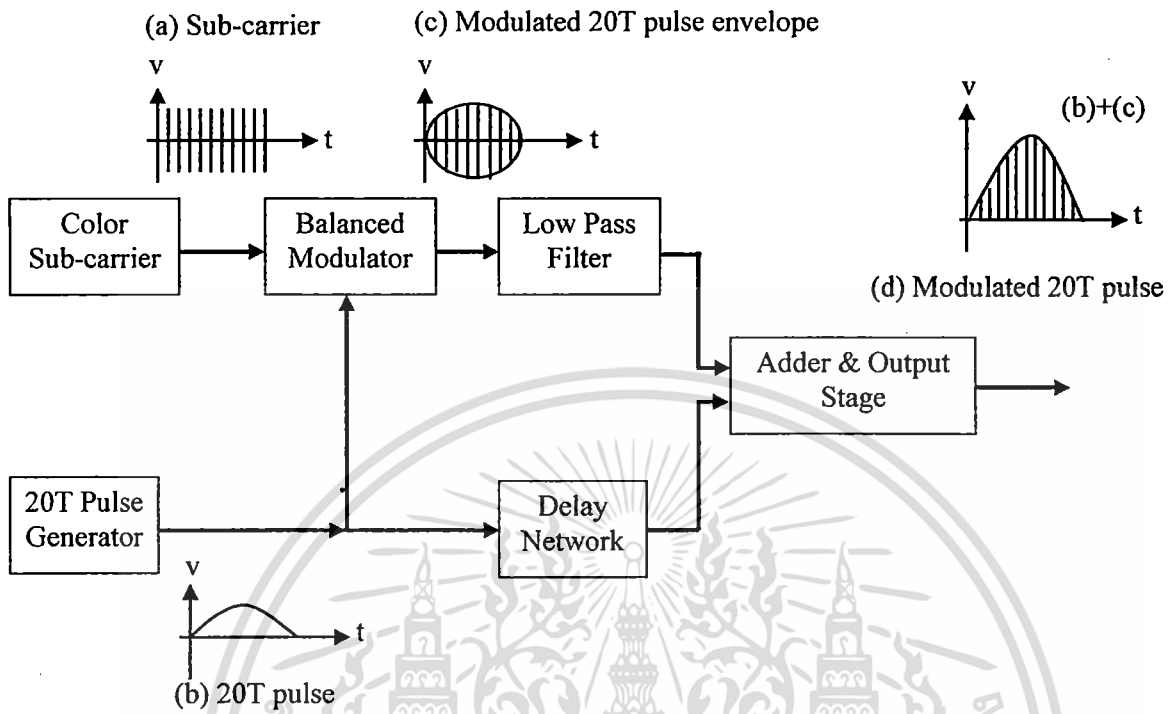
สรุป สเปกตรัมของสัญญาณ 2T พัลส์ และรูปคลื่นแถบเส้น มีข้อเสียคือจะไม่มีความไวต่อความผิดเพี้ยนจากการส่งผ่านที่ความถี่ตั้งแต่ 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไปจนถึงความถี่สูงสุด ซึ่งข้อเสียนี้จะไม่ส่งผลมากเท่าไรถ้านำไปใช้ในการตรวจสอบสัญญาณโทรทัศน์ขาวดำ เพราะสเปกตรัมความถี่ส่วนใหญ่ของสัญญาณโทรทัศน์ขาวดำเองก็มีจำนวนพลังงานน้อยเมื่อเข้าใกล้ความถี่สูงสุดเช่นกัน ดังนั้นสัญญาณทดสอบ Pulse-and-Bar หรือสัญญาณ 2T พัลส์ และรูปคลื่นแถบเส้น สามารถนำไปใช้ตรวจสอบสัญญาณโทรทัศน์ขาวดำได้เป็นอย่างดี

2.3 สัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์

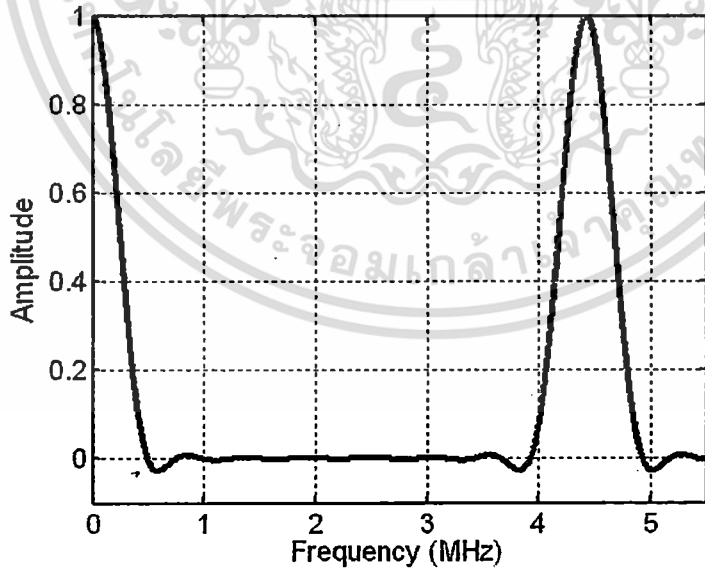
ในสัญญาณโทรทัศน์สีมีพลังงานงานจำนวนมากปรากฏใกล้กับความถี่สูงสุด ก็เพราะมีการมอดูเลตกับคลื่นพาหีสี่ย่อย (ต้องไม่เกินย่านความถี่วีดีโอ) ดังนั้นในการตรวจสอบความผิดเพี้ยนจึงไม่อาจใช้สัญญาณทดสอบ Pulse-and-Bar ตามหัวข้อที่ 2.2 ได้ ในหัวข้อนี้จึงได้นำเสนอสัญญาณทดสอบที่ประกอบด้วยสัญญาณไชน์กำลังสองพัลส์ (Sine-squared Pulse) ร่วมกับสัญญาณพัลส์มอดูเลตที่ความถี่คลื่นพาหีสี่ย่อย (Color sub-carrier) สัญญาณที่ได้รวมเรียกว่าสัญญาณมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ สามารถสร้างขึ้นได้ดังรูปที่ 2.1 [4]

จากรูปที่ 2.1 อธิบายการสร้างสัญญาณมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ เริ่มจากการป้อนสัญญาณ 20T พัลส์จากเครื่องกำเนิด (รูป b) โดยสัญญาณดังกล่าวมีช่วงเวลาครึ่งหนึ่งของแอมพลิจูด หรือ h.a.d เท่ากับ $2 \mu\text{sec}$ ในระบบ PAL แล้วมอดูเลตกับสัญญาณคลื่นพาหีสี่ย่อย (รูป a) จะได้รูป c โดยสัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตแล้วจะผ่านวงจรรองความถี่ต่ำเพื่อกรองเอาฮาร์โมนิกที่ไม่ต้องการออก ส่วนสัญญาณรูป b อีกทางหนึ่งจะผ่านวงจรหน่วงเวลา (Delay network) เพื่อปรับให้สัญญาณรูป b กับรูป c มีไทม์มิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 วงจรผลิตสัญญาณมอดูเลต 20T ไซน์กำลังสองพัลส์



รูปที่ 2.2 สเปกตรัมความถี่ของสัญญาณมอดูเลต 20T พัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากัน แล้วจึงผ่านวงจรรวม (Adder) ก็จะได้สัญญาณรวมมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ในรูป d ซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะถูกนำมาใช้วัด และตรวจสอบความผิดเพี้ยนของสัญญาณโทรทัศน์

รูปที่ 2.2 แสดงสเปกตรัมความถี่ของสัญญาณมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ จากรูปสัญญาณ 20T พัลส์มีแถบความถี่ 2 ย่าน คือสัญญาณในย่านความถี่ต่ำเป็นสัญญาณที่ยังไม่ได้มอดูเลต จะเริ่มตั้งแต่ 0-10 เปอร์เซนต์ของย่านความถี่วีดีโอ หรือประมาณ 0-500 KHz ในระบบ PAL (625-lines) หรือประมาณ 0-400 KHz ในระบบ NTSC (525-lines) และสัญญาณในย่านความถี่สูงที่มอดูเลตแล้วจะอยู่บริเวณคลื่นพาห้สีเขียว หรือประมาณ $4.43 \text{ MHz} \pm 0.5 \text{ MHz}$ ในระบบ PAL (625-lines) หรือประมาณ $3.58 \text{ MHz} \pm 0.4 \text{ MHz}$ ในระบบ NTSC (525-lines)

ดังนั้นสเปกตรัมไลน์ (Line spectrum) ของสัญญาณมอดูเลต 20T พัลส์ ครอบคลุมย่านความถี่ในส่วนของช่องสัญญาณส่องสว่าง (Luminance Channel) ในย่านความถี่ต่ำ และช่องสัญญาณสี (Chrominance Channel) ในย่านความถี่สูง ซึ่งความแตกต่างของทั้ง 2 ช่องสัญญาณในการส่งก็คือความผิดเพี้ยนที่เกิดจากการส่งสามารถชี้ให้เห็นได้ด้วยเอนเวลอปของฐานที่ผิครูปร่างของสัญญาณมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์นั่นเอง ในการพิจารณาผลตอบสนองของสัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ กับความผิดเพี้ยนเชิงเส้น (Linear Distortions) สามารถแบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 กรณี จะได้กล่าวอย่างละเอียดในหัวข้อถัดไป

2.4 สูตรสำเร็จของความผิดเพี้ยนเชิงเส้น

2.4.1 สูตรสำเร็จของความผิดเพี้ยนทางขนาดอย่างเดียว

จากวงจรผลิตสัญญาณมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ สามารถนำมาเขียนเป็นสมการสัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน์กำลังพัลส์ แสดงดังสมการที่ (1) [4]

$$x(t) = \begin{cases} \frac{1}{2} \sin^2\left(\frac{\pi t}{40T}\right) + \frac{A}{2} \sin^2\left(\frac{\pi(t-\tau)}{40T}\right) \cos \omega_c t & ; |t| \leq 20T \\ 0 & ; |t| > 20T \end{cases} \quad (1)$$

เมื่อ A คือ ขนาดของสัญญาณ 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ τ คือ ความแตกต่างทางดีเลย์ $T = 0.1 \mu\text{sec}$ สำหรับโทรทัศน์ระบบ PAL t คือเวลา และ $\omega_c = 2\pi f_c$ ความถี่เชิงมุมของพาห้สีเขียว (color sub-carrier) โดยที่ความถี่คลื่นพาห้สีเขียว $f_c = 4.43 \text{ MHz}$

Rosman เป็นคนแรกที่นำเสนอสูตรในการแสดงค่า A และ τ อย่างชัดเจน โดยกำหนดให้ A คือความไม่เท่ากันทางขนาด (Gain inequality) หรืออัตราส่วนระหว่างสัญญาณสีกับสัญญาณส่องสว่าง (Chrominance-to-Luminance Ratio) τ คือความไม่เท่ากันทางเวลา (Time inequality) หรือความแตกต่างทางเวลาระหว่างสัญญาณสีกับสัญญาณส่องสว่าง (Chrominance-to-Luminance Time Difference) [5]

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงการหาค่าอัตราส่วนระหว่างสัญญาณสีกับสัญญาณส่องสว่างของ Rosman (Chrominance-to-Luminance Ratio) เพื่อนำไปแทนค่าในสมการที่ (1) แสดงได้ดังนี้

$$A = \frac{1 - (y_1 + y_2 + y_1 y_2)}{1 + (y_1 + y_2 - y_1 y_2)} \quad (2)$$

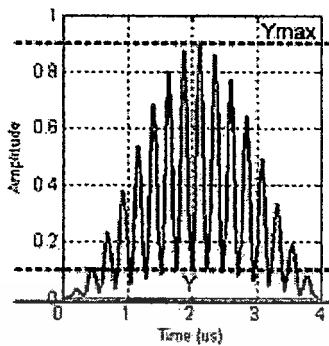
ในกรณีความผิดเพี้ยนทางขนาดอย่างเดียว ค่ายอด y_1 และ y_2 ค่าใดค่าหนึ่งมีค่าเป็นศูนย์ (กำหนดให้เป็น y ซึ่งอาจมีค่าเป็นบวกหรือลบ) และไม่มี ความผิดเพี้ยนทางดีเลย์เกิดขึ้นก็คือ $\tau = 0$ ดังนั้นสมการที่ (2) เขียนใหม่ได้เป็น [4]

$$A = \frac{1 - y}{1 + y} \quad (3)$$

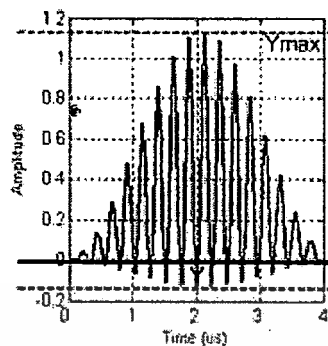
เมื่อ y คือค่ายอดนอร์มัลไลซ์ของเอนเวโลปด้านล่าง หรือด้านบนจากฐานของพัลส์ ($y = Y/Y_{\max}$) อัตราส่วนระหว่างสัญญาณสีกับสัญญาณส่องสว่าง จะแสดงในหน่วยเดซิเบล ดังนี้

$$A_{(dB)} = 20 \log(A) \quad (4)$$

รูปที่ 2.3 แสดงสัญญาณมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ที่มีความผิดเพี้ยนทางขนาดอย่างเดียว ซึ่งได้จากการแทนค่า A ในสมการที่ (3) และ $\tau = 0$ ลงในสมการที่ (2) รูปที่ 2.3 (ก) แสดงความผิดเพี้ยนทางอัตราขยายต่ำ ที่ -2 dB จะเห็นว่าที่ฐานของพัลส์มีลักษณะเป็น โคไซน์ ที่มีค่ายอดเดี่ยวเป็นค่าบวก รูปที่ 2.3 (ข) แสดงความผิดเพี้ยนทางอัตราขยายสูง ที่ +2 dB จะเห็นว่าที่ฐานของพัลส์มีลักษณะเป็น โคไซน์ ที่มีค่ายอดเดี่ยวเป็นค่าลบ



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.3 สัญญาณมอดูเลต $20T$ ไซน์กำลังสองพัลส์ที่มีความผิดเพี้ยนทางขนาดอย่างเดียวกัน

(ก) ความผิดเพี้ยนทางอัตราขยายต่ำ ที่ -2 dB

(ข) ความผิดเพี้ยนทางอัตราขยายสูง ที่ $+2$ dB

2.4.2 สูตรสำเร็จของความผิดเพี้ยนทางดีเลย์อย่างเดียวกัน

จากสูตรความแตกต่างทางเวลาระหว่างสัญญาณสี่กับสัญญาณส่องสว่างของ Rosman [5] แสดงได้ดังสมการ

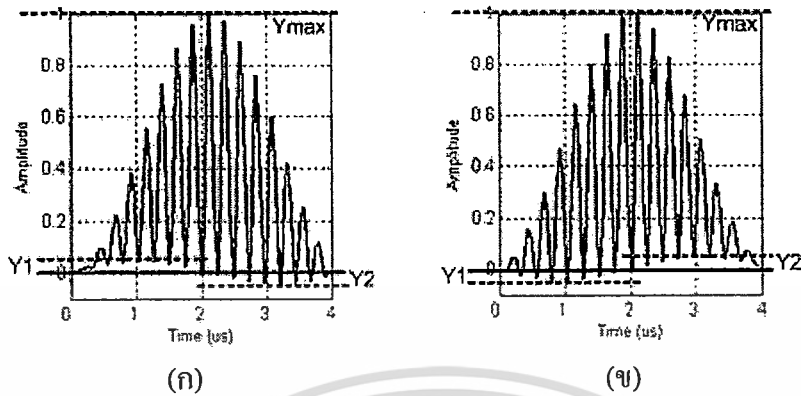
$$\tau = \frac{nT}{\pi} \cdot \cos^{-1} \left\{ 1 + \frac{8y_1y_2}{[1 - (y_1 + y_2 + y_1y_2)][1 + (y_1 + y_2 - y_1y_2)]} \right\} \quad (5)$$

ในกรณีความผิดเพี้ยนทางดีเลย์อย่างเดียวกัน ค่ายอด y_1 และ y_2 เป็นค่ายอดทั้งสองที่ฐานของพัลส์ที่เกิดความผิดเพี้ยน โดยที่ $y_1 = -y_2$ ซึ่งเป็นค่ายอดคอนอร์เมลไลซ์ $y_1 = Y_1/Y_{\max}$ และ $y_2 = Y_2/Y_{\max}$ ตามลำดับ และไม่มี ความผิดเพี้ยนทางขนาดเกิดขึ้นก็คือ $A=1$ หรือ 0 dB ดังนั้นสามารถเขียนสมการที่ (5) ใหม่ได้เป็น

$$\tau = \frac{nT}{\pi} \cdot \tan^{-1} y_1 \quad (6)$$

รูปที่ 2.8 แสดงสัญญาณมอดูเลต $20T$ ไซน์กำลังสองพัลส์ที่มีความผิดเพี้ยนทางดีเลย์อย่างเดียวกัน ซึ่งได้จากการแทนค่า τ (หน่วยเป็น nsec) ในสมการที่ (5) และ $A=1$ ลงในสมการที่ (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 สัญญาณมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ที่มีความผิดเพี้ยนทางดีเลย์อย่างเดียว

รูปที่ 2.4 (ก) แสดงความผิดเพี้ยนทางดีเลย์บวก ที่ +300 nsec จะเห็นว่าพื้นฐานของพัลส์มีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ที่มีความสมมาตร โดยที่ y_1 มีค่าเป็นบวก y_2 มีค่าเป็นลบ รูปที่ 2.4 (ข) แสดงความผิดเพี้ยนทางดีเลย์ลบ ที่ -300 nsec จะเห็นว่าพื้นฐานของพัลส์มีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ที่มีความสมมาตร โดยที่ y_1 มีค่าเป็นลบ y_2 มีค่าเป็นบวก

2.4.3 สูตรสำเร็จของความผิดเพี้ยนทางขนาดและดีเลย์พร้อมกัน

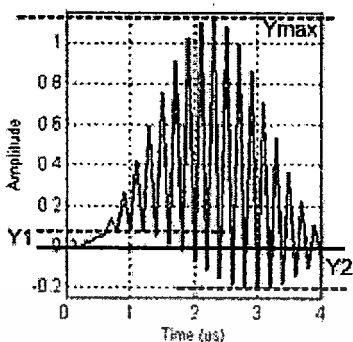
เมื่อความผิดเพี้ยนทางขนาดและดีเลย์เกิดขึ้นพร้อมกัน แสดงว่า A มีค่าตามสมการที่ (2) ก็คือไม่เท่ากับ 1 ส่วน τ มีค่าตามสมการที่ (5) คือไม่เป็นศูนย์นั่นเอง แล้วนำค่าความผิดเพี้ยนทั้งสองแบบแทนค่าลงในสมการที่ (1) จะได้ดังรูปที่ 2.5

จากสมการที่ (2) และ (5) เมื่อความผิดเพี้ยนมีค่าน้อย ดังนั้นผลคูณของ $y_1 y_2$ สามารถตัดทิ้งได้ เขียนสมการทั้งสองใหม่ได้เป็น

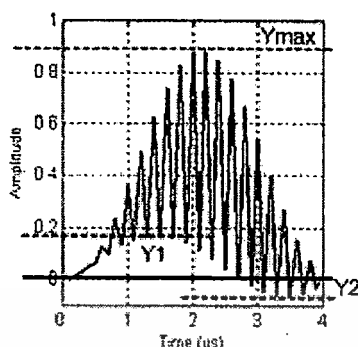
$$A = \frac{1 - (y_1 + y_2)}{1 + (y_1 + y_2)} \quad (7)$$

$$\tau = \frac{nT}{\pi} \cdot \cos^{-1}(1 + 8y_1 y_2) = \frac{nT}{\pi} \cdot (\sqrt{-y_1 y_2}) \quad (8)$$

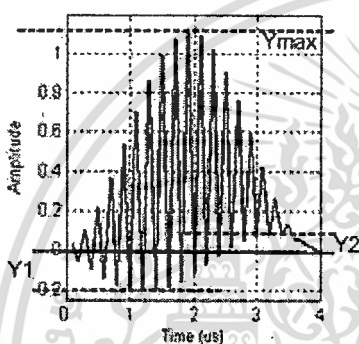
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



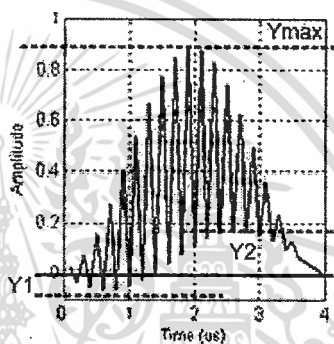
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 2.5 สัญญาณมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ที่มีความผิดเพี้ยนทางขนาดและดีเลย์พร้อมกัน

รูปที่ 2.5 แสดงสัญญาณมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ที่มีความผิดเพี้ยนทางขนาดและดีเลย์พร้อมกัน รูปที่ 2.5 (ก) แสดงความผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายสูงที่ +2 dB และดีเลย์บวก ที่ +300 nsec รูปที่ 2.5 (ข) แสดงความผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายต่ำที่ -2 dB และดีเลย์บวก ที่ +300 nsec รูปที่ 2.5 (ค) แสดงความผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายสูงที่ +2 dB และดีเลย์ลบ ที่ -300 nsec รูปที่ 2.5 (ง) แสดงความผิดเพี้ยนทางอัตราการขยายต่ำที่ -2 dB และดีเลย์ลบ ที่ -300 nsec จากรูปทั้งหมดจะเห็นว่าพื้นฐานของพัลส์มีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ที่มีความไม่สมมาตร คือ $y_1 \neq y_2$ นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

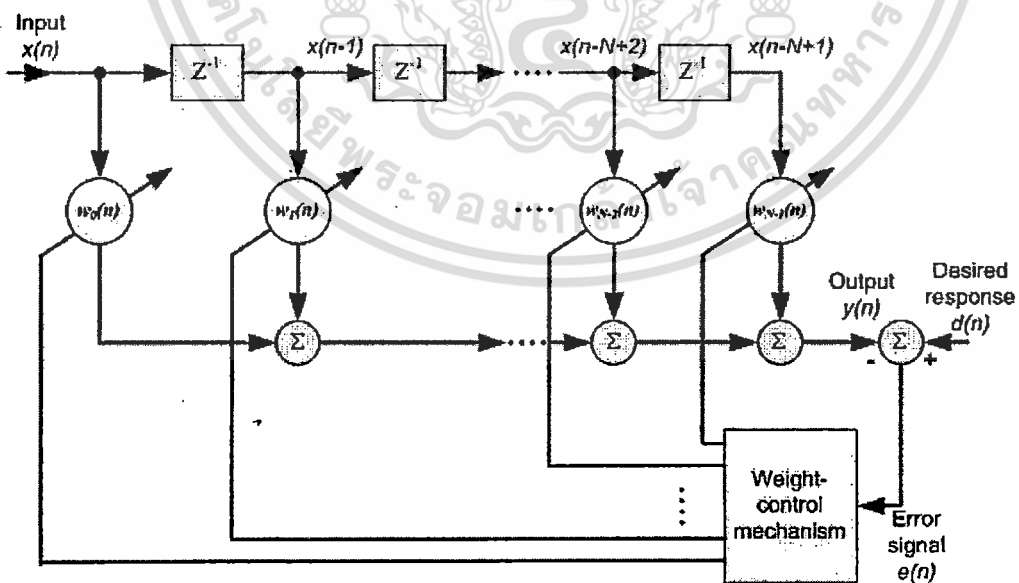
ทฤษฎีอะแดปทีฟอัลกอริทึม

3.1 บทนำ

วงจรปรับเท่าที่นำเสนอประกอบไปด้วยวงจรกรองความถี่ดิจิทัลแบบ FIR ทำงานร่วมกับอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ง่ายที่สุดและเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป ถูกนำเสนอโดย Widrow และ Hoff เมื่อปี ค.ศ. 1960 โดยพัฒนามาจากอัลกอริทึมแบบ Steepest Descent ซึ่งเป็นกรรมวิธีสำหรับปรับค่าน้ำหนักถ่วงของวงจรกรองปรับตัวได้เพื่อให้เข้าสู่ค่าตอบที่ต้องการ ส่วนอัลกอริทึมแบบ LMS จะใช้ค่าผลคูณของเวกเตอร์สัญญาณกับค่าความผิดพลาดเป็นค่าประมาณของเกรเดียนต์เวกเตอร์จริง ดังนั้นจึงขอกกล่าวถึงอัลกอริทึมแบบ Steepest Descent เป็นเบื้องต้นก่อนกล่าวถึงอัลกอริทึมแบบ LMS ในลำดับต่อไป

3.2 อะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ Steepest Descent

แผนภาพโครงสร้างวงจรกรองความถี่ FIR แบบปรับตัวได้ตามขวาง ด้วยอัลกอริทึมแบบ Steepest Descent [6] [7] [8] แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างวงจรกรองความถี่ FIR แบบปรับตัวได้ตามขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.1 $x(n)$ และ $y(n)$ หมายถึงสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของวงจรกรองตามลำดับ $d(n)$ เป็นสัญญาณอ้างอิงที่มีคุณลักษณะตามต้องการ และ $e(n)$ คือสัญญาณผิดพลาดเนื่องจากการเปรียบเทียบระหว่าง $d(n)$ และ $y(n)$ เมื่อ n หมายถึงดัชนีเวลา (Time index) ใด ๆ ในระบบไม่ต่อเนื่องทางเวลา หรือเวลาในระบบเชิงเลข จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถอธิบายที่เอาต์พุตของวงจรด้วยฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ดังสมการที่ (1)

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

หรือแสดงให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์

$$y(n) = \mathbf{w}^T \mathbf{x}(n) = \mathbf{x}^T(n) \mathbf{w} \tag{2}$$

เมื่อ

$$\mathbf{w} = [w_0 \quad w_1 \quad \dots \quad w_{N-1}]^T \tag{3}$$

$$\mathbf{x}(n) = [x(n) \quad x(n) \quad \dots \quad x(n-N+1)]^T \tag{4}$$

จากสมการที่ (1) แสดงให้เห็นถึงค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองแปรตามเวลา n ใด ๆ เนื่องจากวงจรกรองแบบปรับตัวเป็นระบบแปรตามเวลาจึงเหมาะสมกับการทำงานที่สัญญาณมีค่าทางสถิติไม่นิ่ง (Non-stationary statistic) โดยที่ \mathbf{w} และ $\mathbf{x}(n)$ หมายถึงเวกเตอร์บรรจุก่าสัมประสิทธิ์และสัญญาณอินพุตของวงจรกรองตามลำดับ และ $y(n)$ เป็นสเกลาร์สัญญาณเอาต์พุต จากรูปที่ 3.1 สัญญาณผิดพลาดสามารถแสดงดังสมการที่ (5)

$$e(n) = d(n) - y(n) \tag{5}$$

ขั้นตอนต่อมาขอพิจารณาให้สเกลาร์สัญญาณ $x(n)$ $y(n)$ $d(n)$ และ $e(n)$ มีลักษณะนิ่งทางสถิติ

กล่าวคือเป็นสัญญาณที่มีค่าเฉลี่ยทางสถิติคงที่และค่าสหสัมพันธ์ทางสถิติไม่ขึ้นกับเวลาที่ดำเนินไปแต่จะขึ้น กับผลต่างของเวลาเท่านั้น หรือที่นิยมเรียกว่า Wiener Filters เพื่อพิจารณาหาสัมประสิทธิ์ค่าเหมาะสมที่สุด (\mathbf{w}_o) ของวงจรกรอง ดังนั้นสามารถหาสมการสัญญาณผิดพลาดโดยการแทนค่าสมการที่ (2) ลงในสมการที่ (5) ได้เป็น

$$e(n) = d(n) - \mathbf{w}^T \mathbf{x}(n) \quad (6)$$

$$e(n) = d(n) - \mathbf{x}^T(n) \mathbf{w} \quad (7)$$

แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยกำลังสองของสัญญาณผิดพลาด (Mean Square Error (MSE)) ด้วยการหาค่าคาดหวังทางสถิติ (Statistical Expectation ($E[\cdot]$)) ของสัญญาณ $e^2(n)$

$$\begin{aligned} MSE = \xi &= E[e^2(n)] = E\left[\left(d(n) - \mathbf{w}^T \mathbf{x}(n) \right)^2 \right] \\ &= E[d^2(n)] - 2E[d(n)\mathbf{x}^T(n)]\mathbf{w} + \mathbf{w}^T E[\mathbf{x}(n)\mathbf{x}^T(n)]\mathbf{w} \end{aligned} \quad (8)$$

นิยามให้เวกเตอร์ \mathbf{p} คือค่าสหสัมพันธ์ข้าม (Cross-correlation Vector) ระหว่างผลตอบสนองที่ต้องการกับอินพุตของวงจรกรอง

$$\mathbf{p} = E[\mathbf{x}(n)d(n)] = [p_0 \quad p_1 \quad \dots \quad p_{N-1}]^T \quad (9)$$

และนิยามให้ \mathbf{R} คือเมตริกซ์อัตโนมัติสหสัมพันธ์ (Autocorrelation Matrix) ของอินพุต

$$\mathbf{R} = E[\mathbf{x}(n)\mathbf{x}^T(n)] = \begin{bmatrix} r_{00} & r_{01} & r_{02} & \dots & r_{0,N-1} \\ r_{10} & r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1,N-1} \\ r_{20} & r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2,N-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{N-1,0} & r_{N-1,1} & r_{N-1,2} & \dots & r_{N-1,N-1} \end{bmatrix} \quad (10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น $E[\mathbf{x}^T(n)d(n)] = \mathbf{p}^T$ และ $\mathbf{w}^T \mathbf{p} = \mathbf{p}^T \mathbf{w}$ นำไปแทนค่าในสมการที่ (8) ได้เป็น

$$\xi = E[d^2(n)] - 2\mathbf{w}^T \mathbf{p} + \mathbf{w}^T \mathbf{R} \mathbf{w} \quad (11)$$

สมการที่ (11) เป็นรูปแบบของสมการกำลังสอง (Quadratic function) ซึ่งค่า MSE เป็นฟังก์ชันของสัมประสิทธิ์ (\mathbf{w}) และให้กราฟพาราโบลาลักษณะหงายโดยมีค่า MSE ต่ำที่สุดอยู่ ณ ตำแหน่งต่ำสุดของกราฟหรือยอดของพาราโบลา เนื่องจากจุดต่ำสุดของกราฟให้ค่า MMSE (Minimum Mean Square Error) จะมีความชันของกราฟเท่ากับศูนย์ หรือค่าเกรเดียนต์เท่ากับศูนย์นั่นเอง

$$\nabla \xi = 0 \quad (12)$$

ซึ่ง ∇ คือการดำเนินการเกรเดียนต์ เทียบกับสัมประสิทธิ์ สามารถเขียนในรูปของเวกเตอร์ได้เป็น

$$\nabla = \left[\frac{\partial}{\partial w_0} \quad \frac{\partial}{\partial w_1} \quad \dots \quad \frac{\partial}{\partial w_{N-1}} \right]^T \quad (13)$$

ดังนั้นสามารถหาสัมประสิทธิ์ค่าเหมาะสมที่สุดของวงจรกรองได้ดังสมการ

$$\nabla \xi = 2\mathbf{R} \mathbf{w} - 2\mathbf{p} = 0 \quad (14)$$

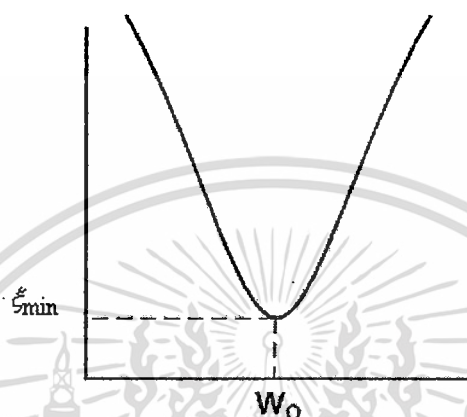
$$\mathbf{w}_o = \mathbf{R}^{-1} \mathbf{p} \quad (15)$$

สมการที่ (15) เรียกว่าสมการของวินเนอร์-ฮอฟฟ์ (Wiener-Hopf Equation) ดังนั้นค่า MMSE สามารถพิจารณาได้จาก การแทนค่า \mathbf{w}_o ลงในสมการที่ (11)

$$\begin{aligned} \xi_{\min} &= E[d^2(n)] - 2\mathbf{w}_o^T \mathbf{p} + \mathbf{w}_o^T \mathbf{R} \mathbf{w}_o \\ &= E[d^2(n)] - 2\mathbf{w}_o^T \mathbf{p} + \mathbf{w}_o^T \mathbf{R} (\mathbf{R}^{-1} \mathbf{p}) \\ &= E[d^2(n)] - 2\mathbf{w}_o^T \mathbf{p} + \mathbf{w}_o^T \mathbf{p} \\ &= E[d^2(n)] - \mathbf{w}_o^T \mathbf{p} \end{aligned} \quad (16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (16) วงจรกรองมีสัมประสิทธิ์ค่าเหมาะสมที่สุดอยู่ ณ ตำแหน่งต่ำสุดของกราฟหรือยอดของพาราโบลา ให้ค่า ξ_{\min} หรือ MMSE (Minimum Mean Square Error) ที่มีความชันของกราฟเท่ากับศูนย์ หรือค่าเกรเดียนต์เท่ากับศูนย์ [8] แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 พื้นผิวปฏิบัติการของค่า MMSE ที่มีสัมประสิทธิ์ค่าเหมาะสมที่สุด

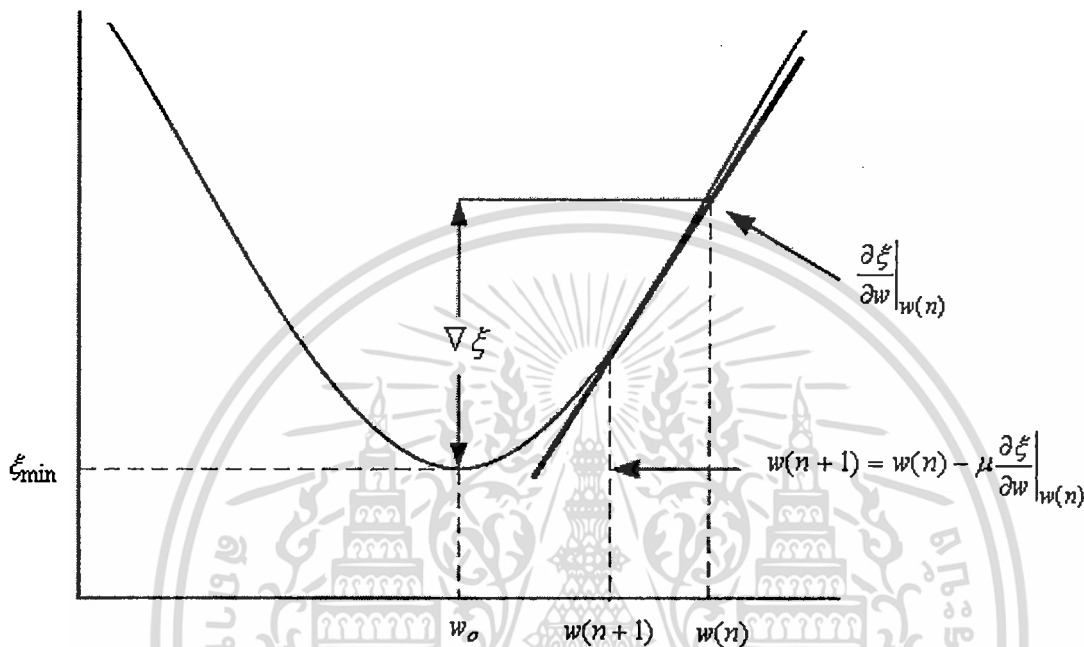
จากรูปที่ 3.2 เป็นลักษณะพื้นผิวปฏิบัติการ (Performance Surface) ของค่า MSE ที่มีสัมประสิทธิ์ค่าเหมาะสมที่สุด 1 ค่า หรือเรียกค่าสัมประสิทธิ์เหมาะสมที่สุดของวงจรกรองตามสมการของวินเนอร์-ฮอฟฟ์

ทฤษฎีของอัลกอริทึมแบบ Steepest descent เป็นพื้นฐานการปรับตัวบนการดำเนินเกรเดียนต์ ซึ่งจะทำให้การติดตามสัญญาณเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเวลาได้ วิธีนี้จะใช้การทำซ้ำ หรือวิธีการปรับตัวเองในการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองทีละน้อย ในทิศทางที่ลดค่าของฟังก์ชันสัญญาณผิดพลาด (Error Function (ξ)) ที่มากที่สุด ซึ่งสมการปรับค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองได้เป็น

$$w(n+1) = w(n) - \mu \nabla \xi(n) \quad (17)$$

เมื่อ $w(n)$ และ $w(n+1)$ คือเวกเตอร์บรรจุกค่าสัมประสิทธิ์ ณ เวลาปัจจุบันและจะปรับไปในอนาคตตามลำดับ μ คือค่าปรับช่วงก้าว (Step-size) ซึ่งเป็นตัวกำหนดความเร็วในการปรับค่าและเสถียรภาพของวงจรกรองการปรับเพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์เข้าสู่ค่าเหมาะสมที่สุดนั้นมีลักษณะทิศทางเกรเดียนต์ลบ $-\nabla \xi(n)$ กล่าว คือ การปรับสัมประสิทธิ์ทำให้ค่า MSE (ξ) เกิดการลู่ไปตามผิวปฏิบัติการหรือ

พื้นผิวของชามดังรูปที่ 3.3 โดยค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นทำให้ค่า MSE อยู่บริเวณขอบชาม เมื่อวงจรกรองทำการปรับสัมประสิทธิ์ไปเรื่อย ๆ [8]



รูปที่ 3.3 พื้นผิวปฏิบัติการของค่า MSE โดยการดำเนินเกรเดียนต์แบบ Steepest Descent

ส่งผลให้ค่า MSE ค่อย ๆ ลดลง และเมื่อสัมประสิทธิ์ปรับเข้าสู่ค่าที่เหมาะสมที่สุดแล้ว ค่า MSE จะอยู่ที่ก้นชาม ซึ่งการหาค่าสมการ MSE จะพิจารณาได้จากสมการที่ (14) จะได้สมการปรับเปลี่ยนตามเวลาได้เป็น

$$\nabla \xi(n) = 2Rw(n) - 2p \tag{18}$$

นำสมการที่ (18) แทนลงในสมการที่ (17) พร้อมทั้งจัดรูปจะได้สมการปรับค่าสัมประสิทธิ์เป็น

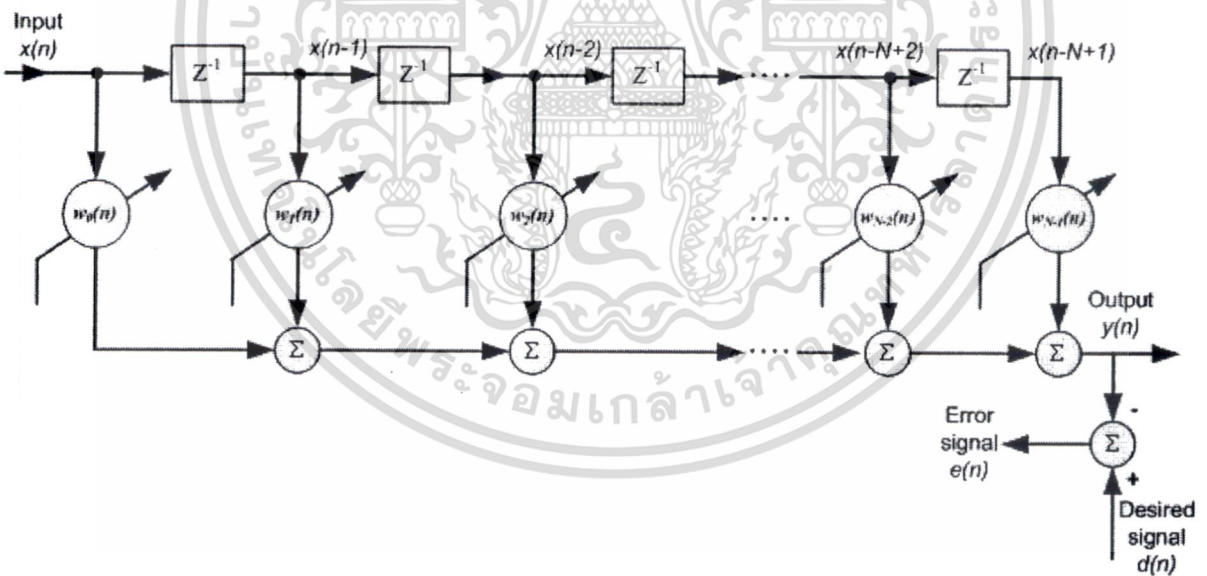
$$\begin{aligned} w(n+1) &= w(n) - \mu(2Rw(n) - 2p) \\ &= w(n) - 2\mu R w(n) + 2\mu p \\ &= (I - 2\mu R)w(n) + 2\mu p \end{aligned} \tag{19}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ I หมายถึงเมตริกซ์เอกลักษณะ และจากสมการที่ (19) เป็นการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ ณ เวลา n ใด ๆ ด้วยอัลกอริทึมแบบ Steepest descent ได้นั้น จะต้องทราบค่าเมตริกซ์ข้อผิดพลาดสัมพัทธ์ของสัญญาณอินพุตและเวกเตอร์สหสัมพันธ์ข้ามระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณอ้างอิง ซึ่งหมายถึงจะต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับสัญญาณอินพุตและสัญญาณอ้างอิงให้มากพอสมควร จึงสามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์ได้ ดังนั้นอัลกอริทึมนี้จึงไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในทางปฏิบัติ เนื่องจากสัญญาณจริงส่วนใหญ่มีลักษณะไม่นิ่งทางสถิติ และเป็นการยากที่จะทราบค่าคุณลักษณะทางสถิติที่แน่นอน

3.3 อะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS

อัลกอริทึมแบบ LMS สามารถทำงานได้กับสัญญาณที่มีลักษณะไม่นิ่งทางสถิติ (Stochastic) หรือสัญญาณแบบสุ่ม (Random) เป็นสัญญาณที่ไม่อาจคาดเดาล่วงหน้าได้ว่าจะมีลักษณะเช่นใด อาจกล่าวได้ว่าอัลกอริทึมแบบ LMS ได้ถูกพัฒนาจากอัลกอริทึมแบบ Steepest descent นั้นเอง [9] แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 โครงสร้างวงจรกรองความถี่ FIR แบบปรับตัวได้ตามขวาง ด้วยอัลกอริทึมแบบ LMS

ฉะนั้นสมการปรับค่าสัมประสิทธิ์สามารถเขียนได้ใหม่ โดยเปลี่ยนฟังก์ชันสัญญาณผิดพลาด (Error Function (ξ)) จาก $\xi = E[e^2(n)]$ เป็น $\xi(n) = e^2(n)$ แล้วทำการแทนลงในสมการปรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์ของอัลกอริทึมแบบ Steepest descent ในสมการที่ (17) ได้เป็น

$$\begin{aligned}\mathbf{w}(n+1) &= \mathbf{w}(n) - \mu \nabla \xi(n) \\ &= \mathbf{w}(n) - \mu \nabla e^2(n)\end{aligned}\quad (20)$$

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

$$\nabla = \left[\frac{\partial e^2(n)}{\partial w_0} \quad \frac{\partial e^2(n)}{\partial w_1} \quad \dots \quad \frac{\partial e^2(n)}{\partial w_{N-1}} \right]^T \quad (21)$$

สมมติ ที่ตำแหน่ง i ใด ๆ ทำการเกรเดียนต์เวกเตอร์ $\nabla e^2(n)$ ได้

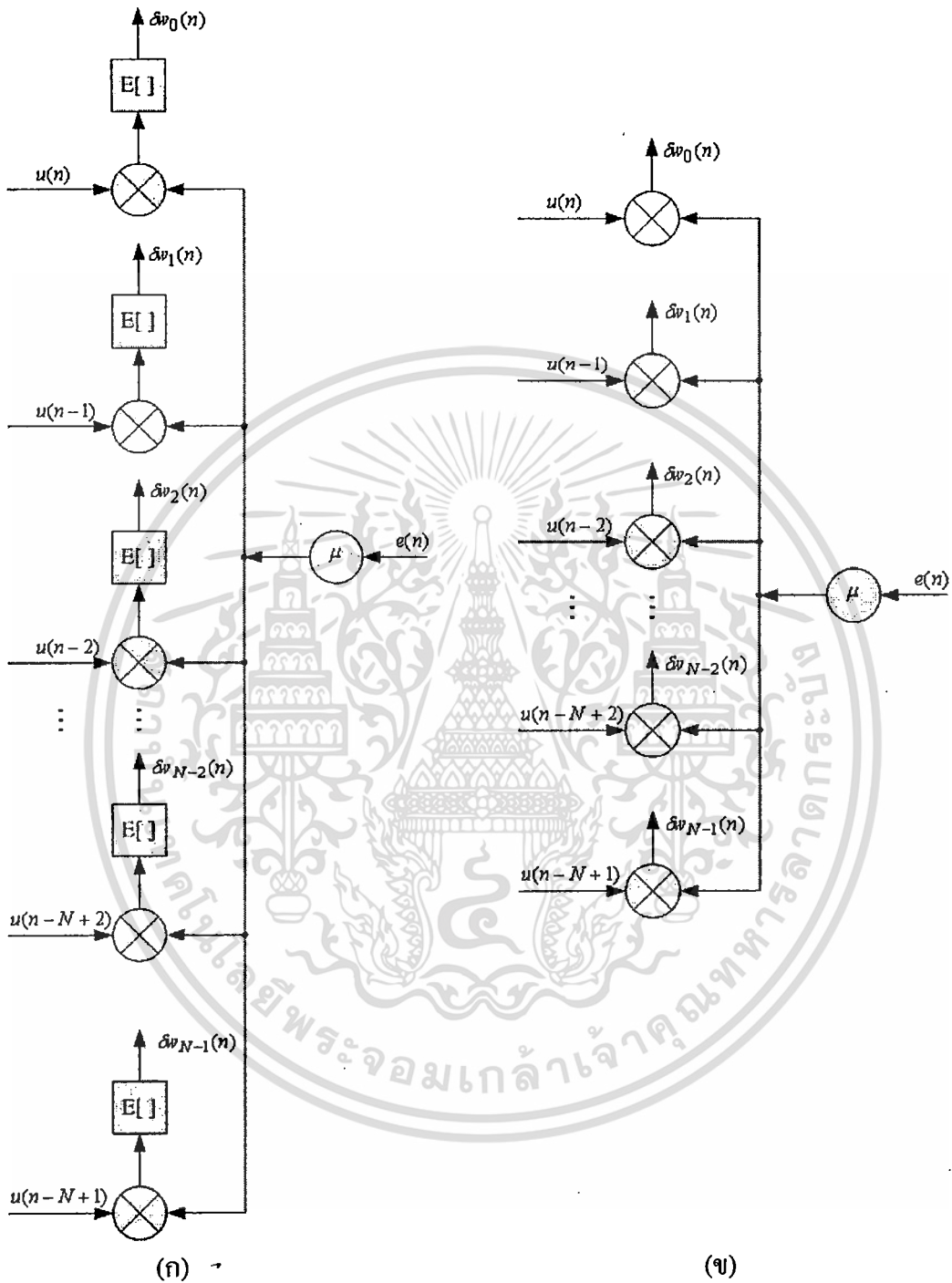
$$\frac{\partial e^2(n)}{\partial w_i} = 2e(n) \frac{\partial e(n)}{\partial w_i} \quad (22)$$

แทนค่า $e(n) = d(n) - y(n)$ ได้เป็น

$$\begin{aligned}\frac{\partial e^2(n)}{\partial w_i} &= 2e(n) \frac{\partial (d(n) - y(n))}{\partial w_i} \\ &= -2e(n) \frac{\partial y(n)}{\partial w_i} \\ &= -2e(n) \frac{\partial (w_i x(n-i))}{\partial w_i} \\ &= -2e(n)x(n-i)\end{aligned}\quad (23)$$

แทนสมการที่ (23) ลงในสมการที่ (20) จะได้สมการปรับค่าสัมประสิทธิ์ของอัลกอริทึมแบบ LMS เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 เปรียบเทียบวิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ ณ เวลา n ใดๆ

(ก) อัลกอริทึมแบบ Steepest descent

(ข) อัลกอริทึมแบบ LMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + 2\mu e(n)\mathbf{x}(n) \quad (24)$$

จากสมการที่ (24) พบว่าการคำนวณหาสัมประสิทธิ์ในช่วงเวลาถัดไป หรือในอนาคตนั้นไม่จำเป็นต้องทราบค่าสถิติใด ๆ ของสัญญาณอินพุตแต่ขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์สัญญาณผิดพลาดและสัญญาณอินพุตในปัจจุบันเท่านั้น หรือกล่าวได้ว่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองแปรค่าตามลักษณะของสัญญาณอินพุตที่เข้าสู่วงจร ณ เวลา n ขณะนั้น ดังนั้นอัลกอริทึมแบบ LMS จึงเหมาะสมสำหรับใช้งานในทางปฏิบัติที่มีลักษณะของสัญญาณส่วนใหญ่ไม่นิ่งทางสถิติ และยากต่อการทราบค่าที่แน่นอน

สรุปความแตกต่างระหว่างอัลกอริทึมแบบ Steepest descent กับอัลกอริทึมแบบ LMS ในเรื่องของการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ ณ เวลา n ใด ๆ พบว่าวิธีการของอัลกอริทึมแบบ Steepest descent จะต้องทราบค่าเมตริกอัตราสัมสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุต และเวกเตอร์สหสัมพันธ์ข้ามระหว่างสัญญาณอินพุตกับสัญญาณอ้างอิง ด้วยตัวกระทำความคาดหวังทางสถิติ ($E[\cdot]$) แสดงดังรูป 3.5(ก) ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับการนำมาใช้กับสัญญาณจริงในทางปฏิบัติที่มีลักษณะไม่นิ่งทางสถิติ ส่วนอัลกอริทึมแบบ LMS จะได้จากค่าการประมาณของเวกเตอร์เกรเดียนต์ (∇J) ที่เกิดจากการคูณกันของ $e(n) \cdot \mathbf{x}(n-i)$ ซึ่งตัวกระทำความคาดหวังได้ถูกย้ายออกไปทั้งหมด แสดงดังรูป 3.5(ข) ดังนั้นอัลกอริทึมแบบ LMS นี้จึงเหมาะกับการใช้งานในทางปฏิบัติที่มีลักษณะไม่นิ่งทางสถิติและยากต่อการทราบค่าที่แน่นอนได้ [9]

3.4 อะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ QLMS

อัลกอริทึมแบบ QLMS ได้ถูกดัดแปลงแก้ไขให้มีความง่ายต่อการสร้างฮาร์ดแวร์ กล่าวคือลดความซับซ้อนของวงจร โดยใช้อัลกอริทึมแบบ LMS เป็นพื้นฐาน แบ่งได้เป็น 3 อัลกอริทึม คือ

3.4.1 อัลกอริทึมแบบ Sign (The Sign Algorithm)

อัลกอริทึมแบบ Sign จะมีสมการปรับค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรกรองที่ลดค่าของฟังก์ชันสัญญาณผิดพลาดที่ได้ดัดแปลงจากอัลกอริทึมแบบ LMS [6] คือ

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + 2\mu \cdot \text{sign}[e(n)] \cdot \mathbf{x}(n) \quad (25)$$

โดยที่ $\text{sign}[x] = x/|x|$ การอาศัยตัวกระทำ $\text{sign}[\cdot]$ จะใช้สำหรับตรวจสอบเครื่องหมายของ $e(n)$ ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$e(n)$ มีค่าเป็นบวกจะได้ค่า $sign[e(n)]=1$ และถ้า $e(n)$ มีค่าเป็นลบจะได้ค่า $sign[e(n)]=-1$ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือจะทำการควอนไทซ์เกรเดียนต์ (Quantizing Gradient) ให้มีค่าเพียงสองระดับคือ 1 และ -1 ข้อดีคือ สามารถลดการคูณลงได้ 1 ครั้ง ต่อ 1 ตัวอย่างสัญญาณเอาต์พุต เพราะค่าปรับช่วงก้าว (Step-size) จะถูกคูณด้วย 1 หรือ -1 ซึ่งปกติแล้วไม่นับว่าเป็นการคูณ ทำการแทนค่า $sign[e(n)]$ ลงในสมการที่ (25) ได้เป็น

$$\begin{aligned} \mathbf{w}(n+1) &= \mathbf{w}(n) + 2\mu \cdot \frac{e(n)}{|e(n)|} \cdot \mathbf{x}(n) \\ &= \mathbf{w}(n) + 2 \frac{\mu}{|e(n)|} \cdot e(n) \cdot \mathbf{x}(n) \\ &= \mathbf{w}(n) + 2 \cdot \mu'(n) \cdot e(n) \cdot \mathbf{x}(n) \end{aligned} \quad (26)$$

จากสมการที่ (26) ได้ $\mu'(n) = \mu/|e(n)|$ แสดงให้เห็นว่าค่า $\mu'(n)$ จะเพิ่มขึ้นได้ก็ต่อเมื่อค่าความผิดพลาด ($e(n)$) มีค่าลดลง ในความเป็นจริงช่วงแรก ๆ ของการทำงานของอะแดปทีฟอัลกอริทึมทั่วไปจะมีความผิดพลาดเยอะมาก ส่งผลให้ค่า $\mu'(n)$ น้อย ดังนั้นจึงทำให้อัลกอริทึมแบบ Sign ทำงานช้ากว่าอัลกอริทึมแบบ LMS มาก และเมื่อเริ่มลู่เข้า หรือเริ่มทำงานค่าผิดพลาดจะ น้อยลงเรื่อย ๆ ส่งผลให้ค่า $\mu'(n)$ มากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งค่าผิดพลาดมีค่าน้อยที่สุดก็จะเข้าสู่สภาวะการทำงาน หรือการลู่เข้าอย่างแท้จริง

3.4.2 อัลกอริทึมแบบ Signed-Regressor (The Signed-Regressor Algorithm)

อัลกอริทึมแบบ Signed-Regressor จะมีสมการปรับค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรรอง คือ

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + 2\mu \cdot e(n) \cdot sign[\mathbf{x}(n)] \quad (27)$$

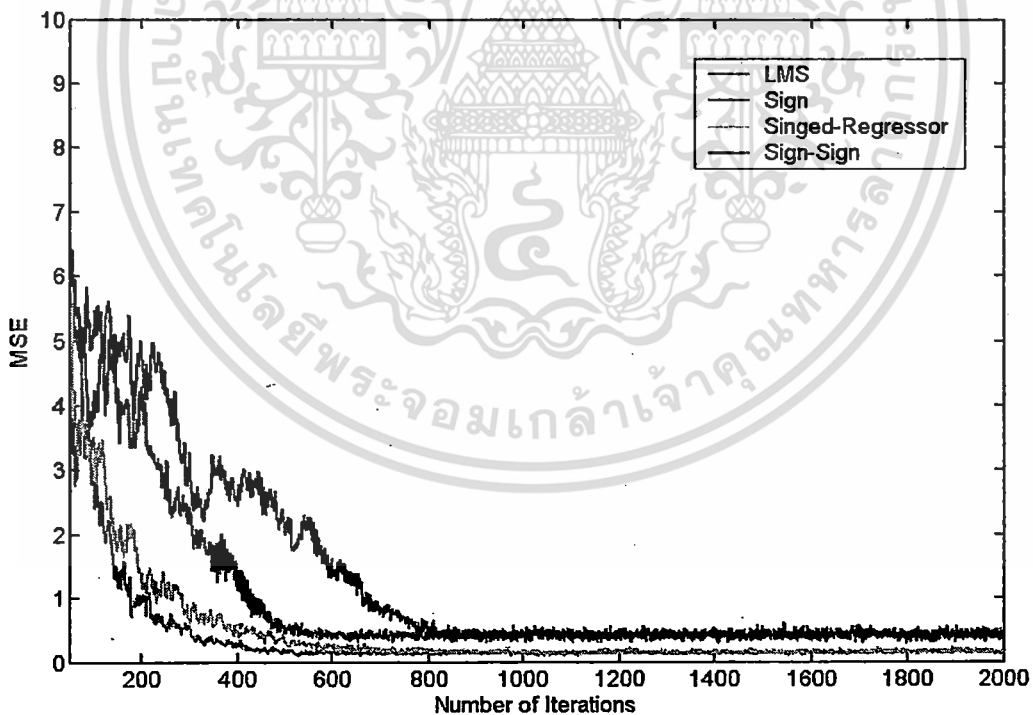
ทำการแทนค่า $sign[\mathbf{x}(n)] = \mathbf{x}(n)/|\mathbf{x}(n)|$ ลงในสมการที่ (26)

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + 2\mu \cdot e(n) \cdot \frac{\mathbf{x}(n)}{|\mathbf{x}(n)|} \quad (28)$$

หรือเขียนใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned}
 \mathbf{w}(n+1) &= \mathbf{w}(n) + 2\mu \cdot e(n) \cdot \frac{x(n-i)}{|x(n-i)|} \\
 &= \mathbf{w}(n) + 2 \cdot \frac{\mu}{|x(n-i)|} \cdot e(n) \cdot x(n-i) \\
 &= \mathbf{w}(n) + 2 \cdot \mu'_i(n) \cdot e(n) \cdot x(n-i)
 \end{aligned} \tag{29}$$

จากสมการที่ (29) ได้ $\mu'_i(n) = \mu/|x(n-i)|$ แสดงว่าค่าปรับช่วงก้าวใหม่ ($\mu'_i(n)$) จะต้องมีค่าปรับช่วงก้าวจำนวนเท่ากับตัวปรับน้ำหนักถ่วงของวงจรรอง (filter tap weights) หรือมีจำนวน i ตัว เท่ากับขนาดของอินพุต จากสมการจะสังเกตได้ว่าค่า $\mu'_i(n)$ เป็นอิสระจากสัญญาณความผิดพลาด ($e(n)$) แต่จะขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยทางขนาดของสัญญาณอินพุตแทน ดังนั้นจึงทำให้อัลกอริทึมนี้ หรือการทำงานของอัลกอริทึมแบบ Signed-Regressor นี้ เร็วใกล้เคียงกับอัลกอริทึมแบบ LMS และสามารถลดความซับซ้อนของอัลกอริทึมแบบ LMS ได้อีกด้วย



รูปที่ 3.6 การเปรียบเทียบค่า MSE ของอัลกอริทึมตระกูล LMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 อัลกอริทึมแบบ Sign-Sign (The Sign-Sign Algorithm)

อัลกอริทึมแบบ Sign-Sign จะมีสมการปรับค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรรอง คือ

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + 2\mu \cdot \text{sign}[e(n)] \cdot \text{sign}[\mathbf{x}(n)] \quad (30)$$

จากสมการที่ (30) จะเห็นว่าเป็นการรวมกันของอัลกอริทึมแบบ Sign กับอัลกอริทึมแบบ Signed-Regressor ผลก็คือความเร็วของอัตราการลู่เข้า หรือการทำงานจะช้ากว่าทั้งสองอัลกอริทึมที่กล่าวไปแล้ว แต่จะสามารถช่วยลดความซับซ้อนลงได้มาก

3.5 อะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ NLMS

อัลกอริทึมแบบ NLMS (Normalized LMS Algorithm) จะแตกต่างจากวิธีการของอัลกอริทึมแบบ LMS คือจะนำค่าความเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณอินพุตมาเลือกค่าปรับช่วงก้าววนอร์มัลไลซ์ (normalized step-size parameter) สามารถเขียนสมการปรับค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรรอง ได้เป็น [6]

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + 2\mu(n)e(n)\mathbf{x}(n) \quad (31)$$

การเลือกค่า หรือหาค่า $\mu(n)$ จะเริ่มจากสมการความผิดพลาดที่มองไปในอนาคต สามารถเขียนสมการความผิดพลาดใหม่ได้เป็น

$$e^+(n) = d(n) - \mathbf{w}^T(n+1)\mathbf{x}(n) \quad (32)$$

ทำการแทนค่า $\mathbf{w}(n+1)$ ในสมการที่ (31) ลงในสมการที่ (32)

$$e^+(n) = d(n) - (\mathbf{w}(n) + 2\mu(n)e(n)\mathbf{x}(n))^T \cdot \mathbf{x}(n)$$

จัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 e^+(n) &= d(n) - \mathbf{w}^T(n)\mathbf{x}(n) - 2\mu(n)e(n)\mathbf{x}^T(n)\mathbf{x}(n) \\
 &= e(n) - 2\mu(n)e(n)\mathbf{x}^T(n)\mathbf{x}(n) \\
 &= [1 - 2\mu(n)\mathbf{x}^T(n)\mathbf{x}(n)] \cdot e(n)
 \end{aligned} \tag{33}$$

ทำการประมาณค่าเกรเดียนต์ในรูปค่าเฉลี่ยของ $(e^+(n))^2$ ช่วงสั้น ๆ ได้เป็น

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial (e^+(n))^2}{\partial w_i} &= 2e^+(n) \frac{\partial e^+(n)}{\partial w_i} \\
 &= -2e^+(n)\mathbf{x}(n)
 \end{aligned} \tag{34}$$

เนื่องจากจุดต่ำสุดของกราฟให้ค่า MMSE มีความชันของกราฟเท่ากับศูนย์ หรือค่าเกรเดียนต์เท่ากับศูนย์ $\nabla \xi = 0$ ดังนั้นเราจะได้ค่าปรับช่วงก้าววนอร์มัลไลซ์เป็น

$$\mu(n) = \frac{1}{2\mathbf{x}^T(n)\mathbf{x}(n)} \tag{35}$$

แทนค่าสมการที่ (35) ลงในสมการที่ (31)

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + \frac{1}{\mathbf{x}^T(n)\mathbf{x}(n)} e(n)\mathbf{x}(n) \tag{36}$$

เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการหารด้วยศูนย์ หรือหลีกเลี่ยงค่าปรับช่วงก้าวมีค่ากว้างมากเกินไป จึงเพิ่มพารามิเตอร์หนึ่งตัวที่เป็นค่าบวกเข้าที่ส่วนของสมการที่ (35) พร้อมทั้งกำหนดให้ μ คือค่าปรับช่วงก้าวที่สามารถควบคุมการปรับแก้ความผิดพลาด (Misadjustment) เข้าที่เศษของสมการที่ (35) เขียนสมการใหม่ได้เป็น [10]

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + \frac{\mu}{\gamma + \mathbf{x}^T(n)\mathbf{x}(n)} e(n)\mathbf{x}(n) \tag{37}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (37) สามารถเขียนใหม่ โดยใช้ Square Euclidian Norm ได้เป็น

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + \frac{\mu}{\gamma + \|\mathbf{x}(n)\|^2} e(n)\mathbf{x}(n) \quad (38)$$

ดังนั้นค่าปรับช่วงก้าวออร์เมตไลซ์ จะสามารถเลือกค่าขอบเขตของค่าปรับช่วงก้าวได้กว้างมากขึ้น เนื่องจากสัญญาณที่เข้ามาได้ถูกนอร์เมตไลซ์ด้วยตัวมันเอง ส่งผลให้มีอัตราการลู่เข้าที่เร็วกว่า อัลกอริทึมแบบ LMS และสามารถควบคุมค่าปรับแก้ความผิดพลาด (Misadjustment) ได้อีกด้วย แต่ข้อเสียก็คือมี การหารเกิดขึ้นในสมการปรับค่าสัมประสิทธิ์

3.6 อะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ VSQMS

จากอัลกอริทึมที่ได้กล่าวมาแล้ว พบว่าค่าปรับช่วงก้าวสามารถใช้ในการควบคุมสมรรถนะของอัลกอริทึม แต่เนื่องจากความต้องการอัตราการลู่เข้าสู่คำตอบที่เร็ว ทำให้ค่าปรับช่วงก้าวมีค่ามาก ส่งผลให้ค่าความผิดพลาดมากตามไปด้วย ซึ่งในการปรับแก้ความผิดพลาด (Misadjustment) นั้น ต้องการค่าปรับช่วงก้าวที่มีขนาดเล็ก ๆ ดังนั้นจึงได้มีการนำเสนออัลกอริทึมแบบปรับค่าปรับช่วงก้าว (Variable Step-size Parameter) ได้ขึ้น เพื่อจะได้อัตราการลู่เข้าสู่คำตอบที่เร็ว และมีค่าความผิดพลาดต่ำ หลักการทำงานของ VSLMS สามารถเขียนสมการได้ดังนี้ [11] [12]

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + 2\mu(n)e(n)\mathbf{x}(n) \quad (39)$$

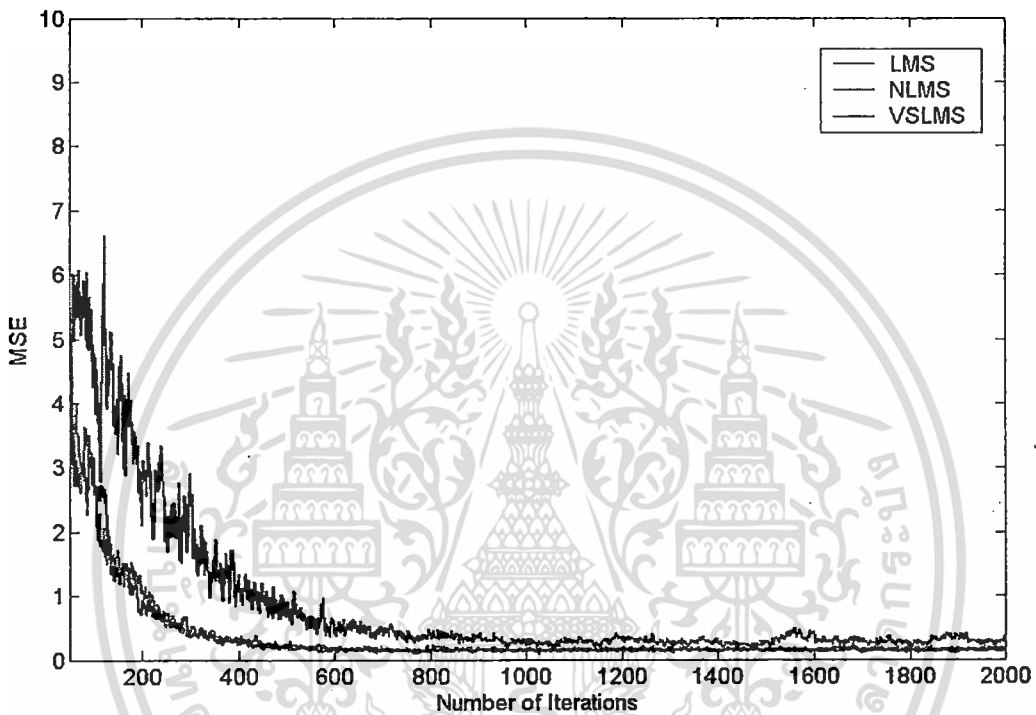
ค่าปรับช่วงก้าวในสมการที่ (39) สามารถปรับเปลี่ยนตามเวลา ดังนั้นได้สมการปรับช่วงก้าวเป็น

$$\mu(n+1) = \kappa \cdot \mu(n) + \beta \cdot \psi^2(n) \quad (40)$$

$$\psi(n) = \alpha \cdot \psi(n-1) + (1-\alpha) \cdot e(n) \quad (41)$$

เมื่อกำหนดให้ κ เป็นค่าคงที่ระหว่าง (0,1) α เป็นค่าคงที่ระหว่าง (0,1) และ β เป็นค่าคงที่ที่มากกว่าศูนย์

ผลที่ได้จากอัลกอริทึมนี้ก็คือจะมีอัตราการลู่เข้าที่เร็วกว่าอัลกอริทึมแบบ LMS และไม่มีอาการที่สมการปรับค่าสัมประสิทธิ์ รวมทั้งสามารถลดค่าปรับแก้ความผิดพลาด (Misadjustment) เมื่อเทียบกับอัลกอริทึมแบบ NLMS



รูปที่ 3.7 การเปรียบเทียบค่า MSE ของอัลกอริทึมแบบ LMS NLMS และ VSLMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลกระทบของความผิดเพี้ยนเชิงเส้น

4.1 บทนำ

ความผิดเพี้ยนเชิงเส้น (Linear distortions) ที่เกิดขึ้นในระบบการส่งผ่านโทรทัศน์สี ในระบบ PAL สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ คือ ความผิดเพี้ยนทางขนาดอย่างเดียว ความผิดเพี้ยนทางดีเลย์อย่างเดียว และความผิดเพี้ยนทางขนาดและดีเลย์พร้อมกัน เป็นที่ทราบกันดีว่าการวัดความผิดเพี้ยนของสัญญาณภาพจริงนั้น ไม่สามารถทำการวัดได้โดยตรง จึงจำเป็นต้องใช้สัญญาณทดสอบแทรกเข้ามาในสัญญาณแบดลิงทางแนวตั้ง (Vertical blanking) เส้นที่ 17 [2] จากเครื่องส่งระบบ PAL ดังนั้นเมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นในระบบการส่งผ่านก็จะส่งผลกระทบต่อสัญญาณทดสอบ ในที่นี้คือสัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ โดยในการวัดความผิดเพี้ยนทั้ง 3 กรณีจะดูได้ที่ฐานของพัลส์ทดสอบ ดังนั้นในบทนี้จะแสดงความผิดเพี้ยนเชิงเส้นที่เกิดขึ้นทั้ง 3 กรณี ด้วยสัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ และแสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับภาพจริง

4.2 การแสดงความผิดเพี้ยนเชิงเส้น โดยสัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์

การแสดงความผิดเพี้ยนเชิงเส้น โดยใช้สัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ จะสังเกตได้ที่ฐานของพัลส์ เช่น ในกรณีที่เกิดความผิดเพี้ยนทางขนาดอย่างเดียว จะทำให้ที่ฐานของพัลส์มีลักษณะเป็นโคไซน์บวก หรือ ลบ กรณีที่เกิดความผิดเพี้ยนทางดีเลย์อย่างเดียว จะทำให้ที่ฐานของพัลส์มีลักษณะเป็นรูปไซน์ที่สมมาตรกันทั้งบวกและลบ กรณีที่เกิดความผิดเพี้ยนทางขนาดและดีเลย์พร้อมกัน จะทำให้ที่ฐานของพัลส์มีลักษณะเป็นรูปไซน์ที่ไม่สมมาตรกัน แสดงดังตารางข้างล่าง

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการวัดการผิดเพี้ยนทางอัตราขยายต่ำ ตั้งแต่ -1 dB ถึง -12 dB

y	Y max	Y	A	ϵ (1-A)	dB	รูป
0.05	0.95	0.05	0.89	0.11	-1	
0.11	0.90	0.10	0.79	0.21	-2	
0.18	0.85	0.15	0.71	0.29	-3	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.23	0.81	0.19	0.63	0.37	-4	<p>A=4dB</p> <p>Amplitude vs Time (us) graph. The y-axis is labeled 'Amplitude' and ranges from 0 to 0.8. The x-axis is labeled 'Time (us)' and ranges from 0 to 3. The graph shows a series of peaks that increase in amplitude up to 4 microseconds and then decrease. A vertical double-headed arrow on the right indicates the peak amplitude, labeled 'Y max'.</p>
0.28	0.78	0.22	0.56	0.44	-5	<p>A=5 dB</p> <p>Amplitude vs Time (us) graph. The y-axis is labeled 'Amplitude' and ranges from 0 to 0.8. The x-axis is labeled 'Time (us)' and ranges from 0 to 3. The graph shows a series of peaks that increase in amplitude up to 4 microseconds and then decrease. A vertical double-headed arrow on the right indicates the peak amplitude, labeled 'Y max'.</p>
0.33	0.75	0.25	0.50	0.50	-6	<p>A=6 dB</p> <p>Amplitude vs Time (us) graph. The y-axis is labeled 'Amplitude' and ranges from 0 to 0.8. The x-axis is labeled 'Time (us)' and ranges from 0 to 3. The graph shows a series of peaks that increase in amplitude up to 4 microseconds and then decrease. A vertical double-headed arrow on the right indicates the peak amplitude, labeled 'Y max'.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.39	0.72	0.28	0.45	0.55	-7	<p>A=7 dB</p>
0.43	0.70	0.30	0.40	0.60	-8	<p>A=8 dB</p>
0.47	0.68	0.32	0.35	0.65	-9	<p>A=9 dB</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.52	0.66	0.34	0.32	0.68	-10	<p>A=-10dB</p>
0.56	0.64	0.36	0.28	0.72	-11	<p>A=-11dB</p>
0.59	0.63	0.37	0.25	0.75	-12	<p>A=-12dB</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการวัดการผิดเพี้ยนทางอัตราขยายสูง ตั้งแต่ 1 dB ถึง 12 dB

y	Y _{max}	Y	A	ϵ (1-A)	dB	รูป
-0.06	1.06	-0.06	1.12	-0.12	1	
-0.23	1.13	-0.26	1.26	-0.13	2	
-0.17	1.20	-0.20	1.41	-0.41	3	

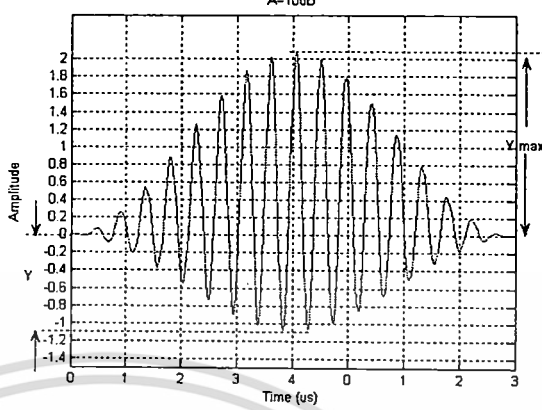
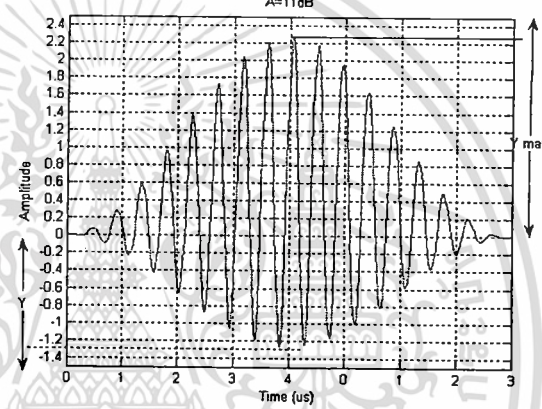
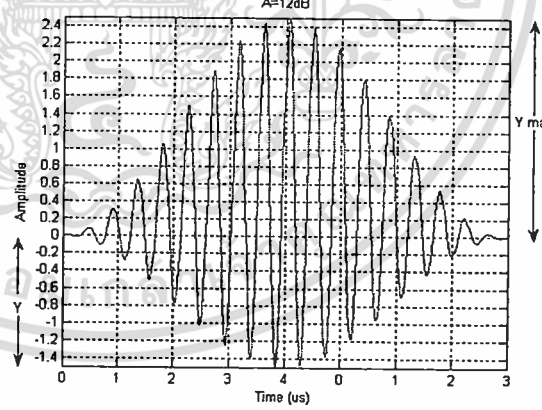
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-0.22	1.29	-0.29	1.59	-0.59	4	<p>A=4 dB</p> <p>Amplitude vs Time (us) graph showing a pulse with a peak-to-peak amplitude of 1.4 and a maximum value Ymax.</p>
-0.28	1.39	-0.39	1.78	-0.78	5	<p>A=5 dB</p> <p>Amplitude vs Time (us) graph showing a pulse with a peak-to-peak amplitude of 1.4 and a maximum value Ymax.</p>
-0.33	1.50	-0.50	2.00	-1	6	<p>A=6 dB</p> <p>Amplitude vs Time (us) graph showing a pulse with a peak-to-peak amplitude of 1.4 and a maximum value Ymax.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-0.38	1.62	-0.62	2.24	-1.24	7	<p>A=7 dB</p>
-0.42	1.75	-0.75	2.51	-1.51	8	<p>A=8 dB</p>
-0.47	1.90	-0.90	2.82	-1.82	9	<p>A=9 dB</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

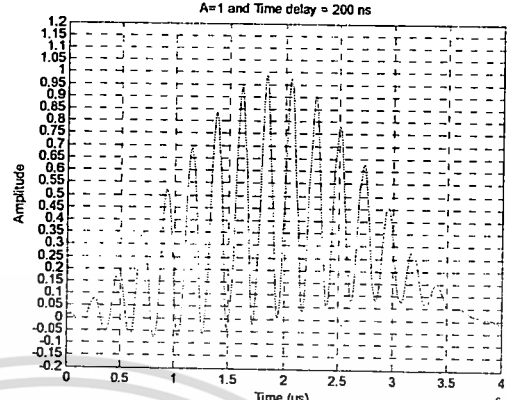
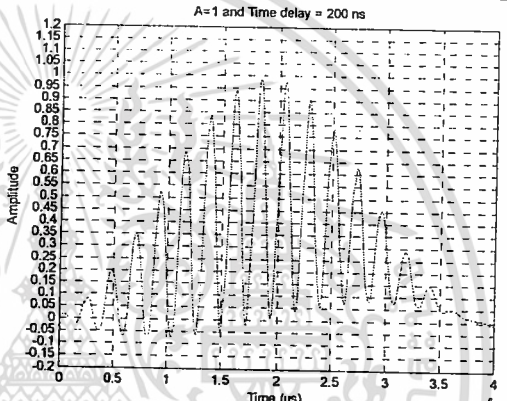
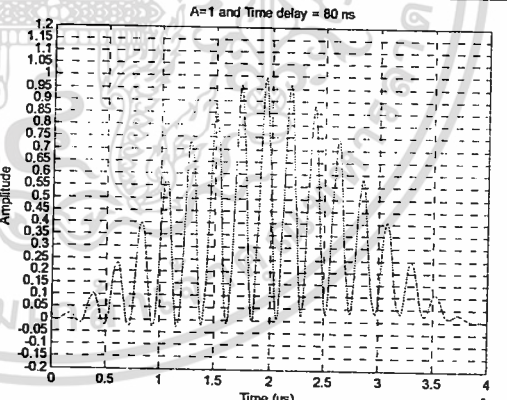
-0.52	2.07	-1.07	3.16	-2.16	10	 <p>A=10dB</p>
-0.56	2.27	-1.27	3.55	-2.55	11	 <p>A=11dB</p>
-0.20	2.49	-0.49	4.00	-3	12	 <p>A=12dB</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

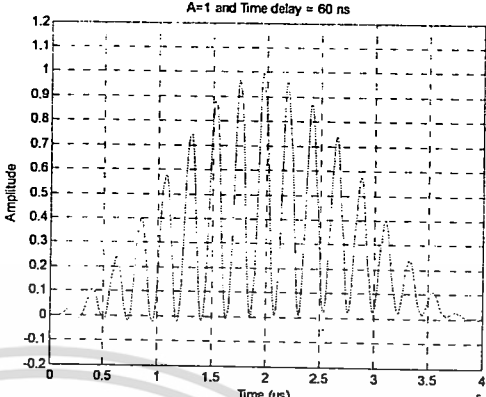
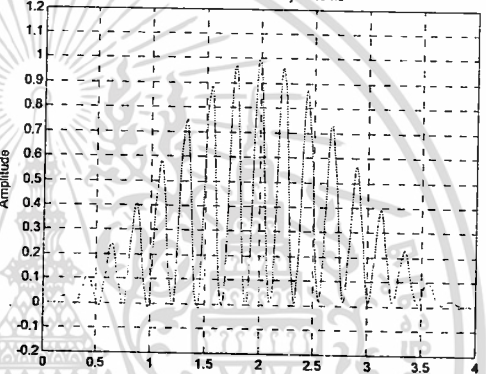
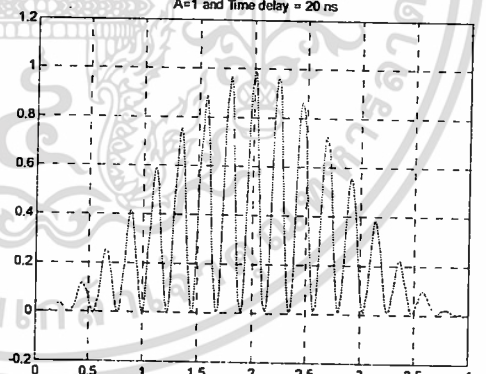
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการวัดการผิดเพี้ยนทางดิเลย์บวก ตั้งแต่ 0 nsec ถึง 500 nsec

Y_1	Y_2	Y_{MAX}	τ (nsec)	รูป
-0.20	0.20	1.00	500	
-0.15	0.15	1.00	400	
-0.10	0.10	1.00	300	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-0.075	0.075	1.00	200	
-0.05	0.05	1.00	100	
-0.025	0.025	1.00	80	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-0.02	0.02	1.00	60	
-0.015	0.015	1.00	40	
-0.005	0.005	1.00	20	

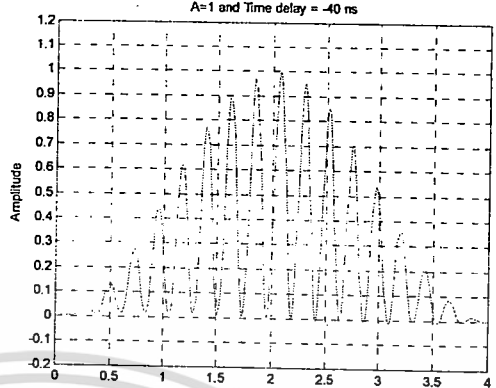
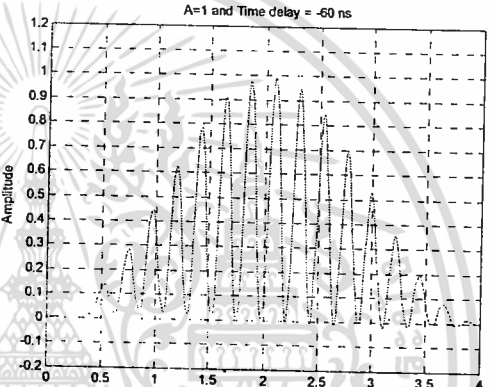
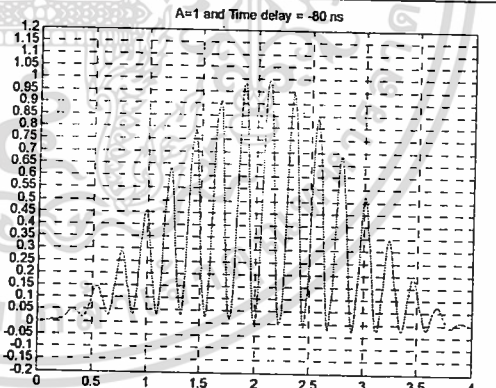
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.00	0.00	1.00	0	
------	------	------	---	--

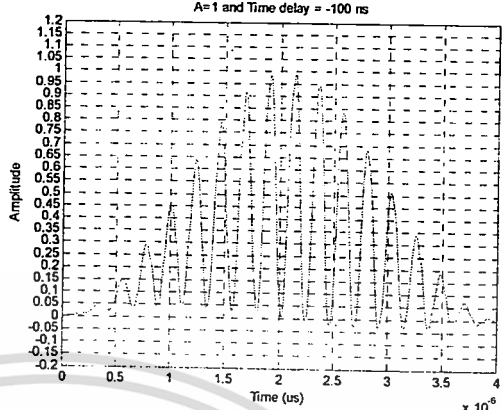
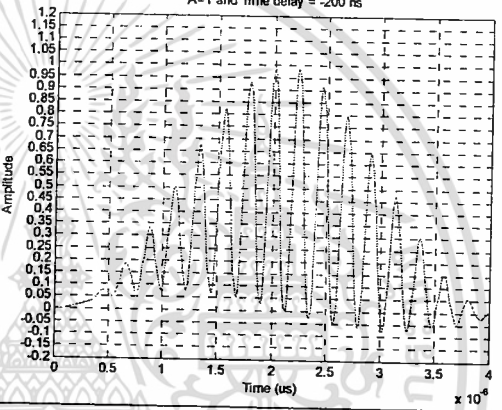
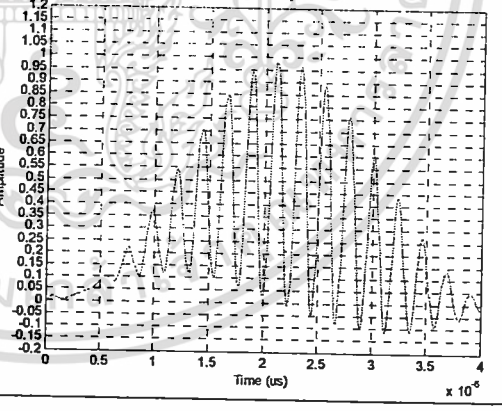
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการวัดการผิดเพี้ยนทางดีเลย์ ตั้งแต่ -500 nsec ถึง 0 nsec

Y_1	Y_2	Y_{MAX}	τ (nsec)	รูป
0.00	0.00	1.00	0	
0.01	-0.01	1.00	-20	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.015	-0.015	1.00	-40	
0.02	-0.02	1.00	-60	
0.03	-0.03	1.00	-80	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.40	-0.40	1.00	-100	
0.08	-0.08	1.00	-200	
0.11	-0.11	1.00	-300	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.15	-0.15	1.00	-400	
0.20	-0.20	1.00	-500	

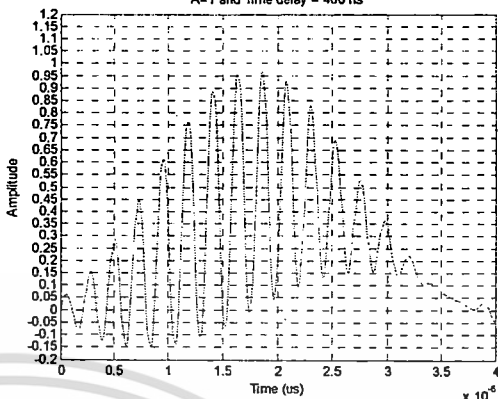
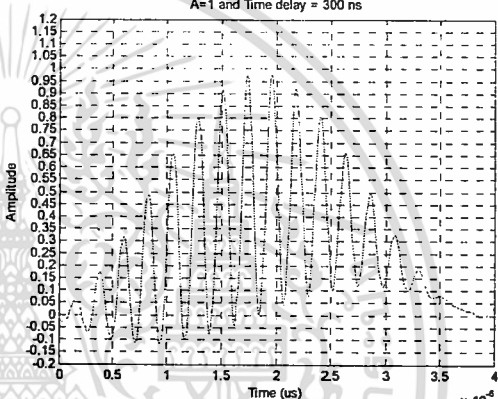
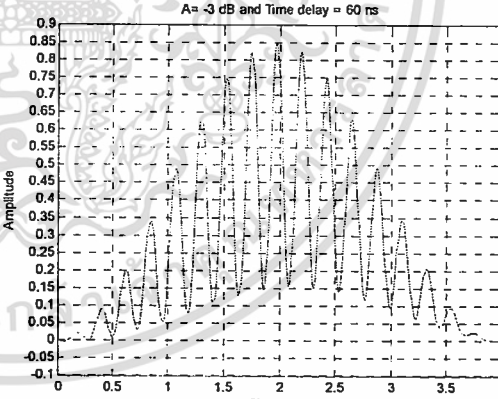
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการวัดการผิดเพี้ยนทางขนาดและดีเลย์พร้อมกัน

Y_1	Y_2	Y_{MAX}	A	A (dB)	τ (nsec)	รูป
-0.1	0.25	0.815	0.70	-3	500	

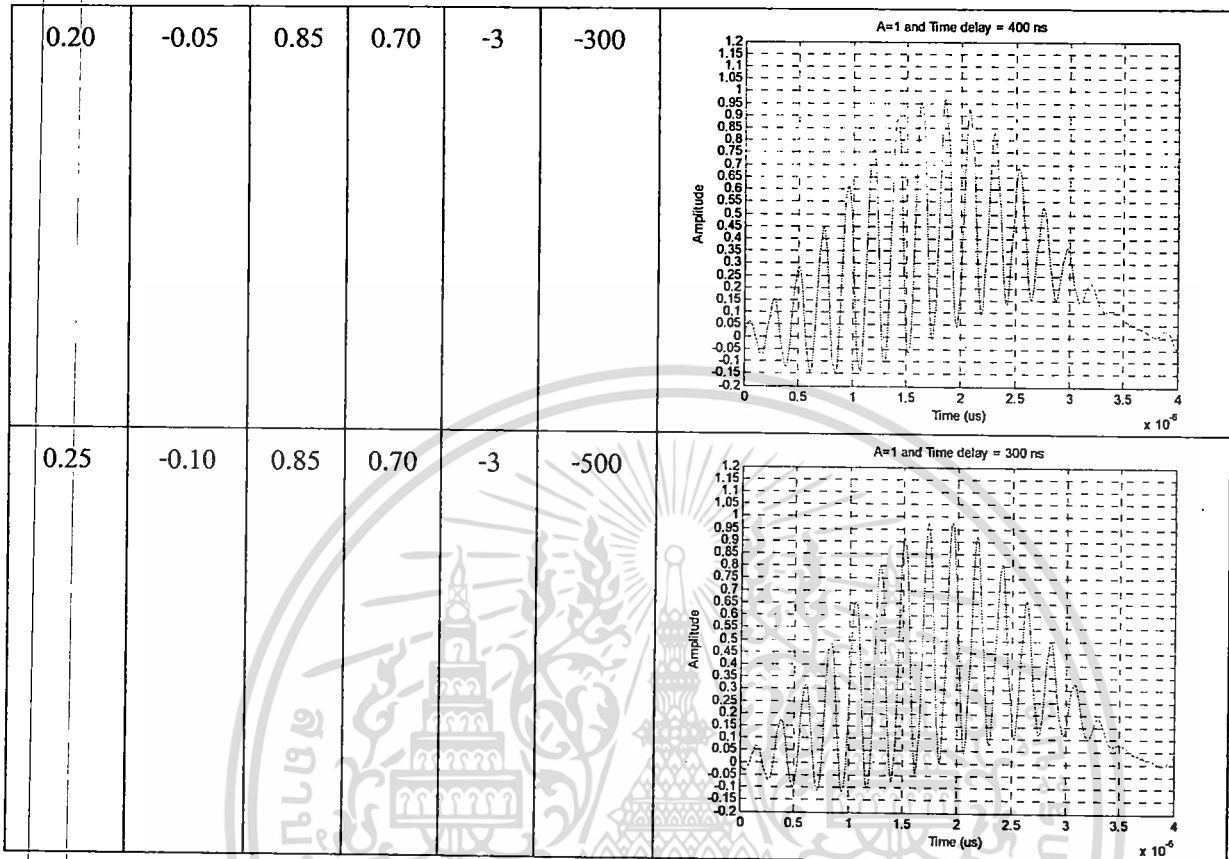
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-0.05	0.20	0.85	0.70	-3	300	
-0.01	0.16	0.85	0.70	-3	100	
-0.002	1.55	0.85	0.70	-3	60	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0	0.15	0.85	0.70	-3	0	
0.155	-0.002	0.85	0.70	-3	-60	
0.16	-0.01	0.85	0.70	-3	-100	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



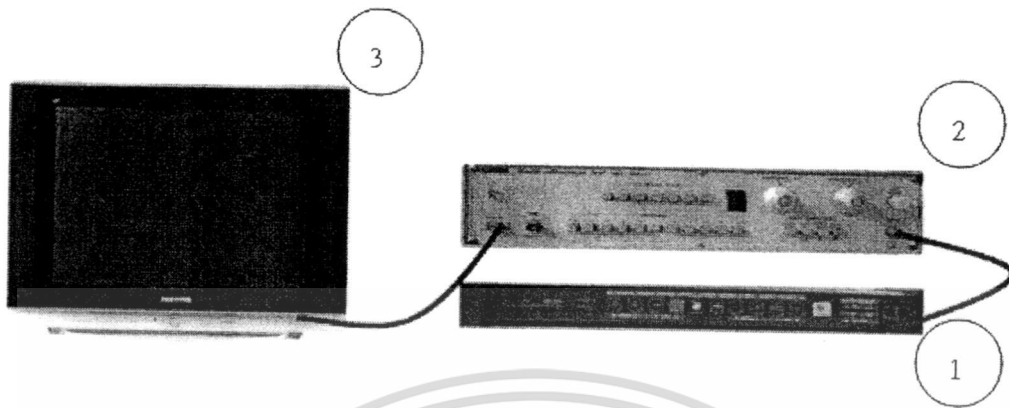
4.3 การแสดงผลกระทบเมื่อเกิดความผิดเพี้ยนเชิงเส้น

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลกระทบที่เกิดกับภาพโทรทัศน์สีเมื่อเกิดความผิดเพี้ยนทางขนาดและเวลาประวิง เทียบกับสัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ที่เกิดความผิดเพี้ยนทั้ง 3 กรณี ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการแสดงผลกระทบของความผิดเพี้ยนที่เกิดขึ้นได้แก่

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ (PAL Television Generator TSG-271)
2. เครื่องทำให้สัญญาณผิดเพี้ยน (Color Gain & Delay Test Set MS321A)
3. โทรทัศน์

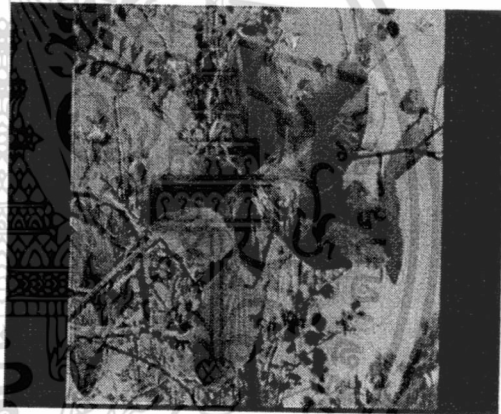
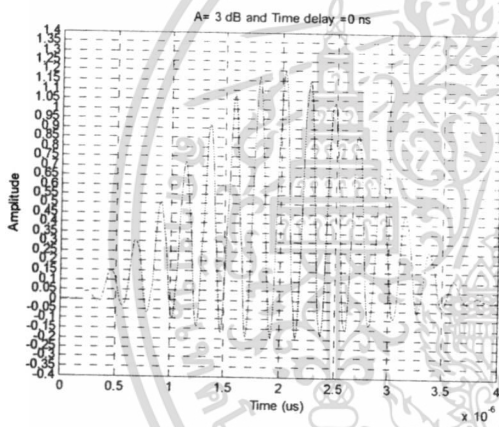
รูปที่ 4.1 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง โดยเริ่มจากการนำสัญญาณที่ได้จากเครื่อง PAL Television Generator TSG-271 มาผ่านเครื่องที่ทำให้สัญญาณเกิดความผิดเพี้ยน คือ Color Gain & Delay Test Set MS321A โดยสามารถปรับความผิดเพี้ยนทางขนาดได้ระหว่าง -3 dB ถึง +3 dB และปรับความผิดเพี้ยนทางเวลาประวิงได้ระหว่าง -100 nsec ถึง +100 nsec ผลที่ได้จากสัญญาณที่เกิดความผิดเพี้ยนจะแสดงออกด้วยภาพทางหน้าจอโทรทัศน์ แบ่งออกได้เป็น 3 กรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

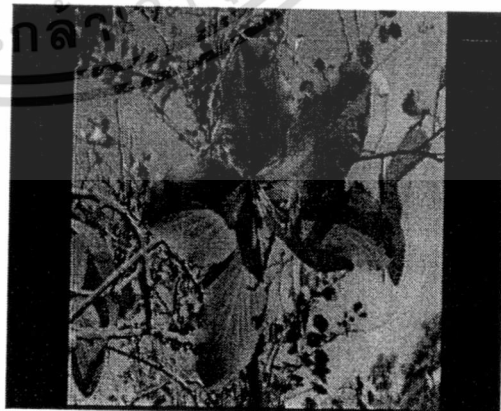
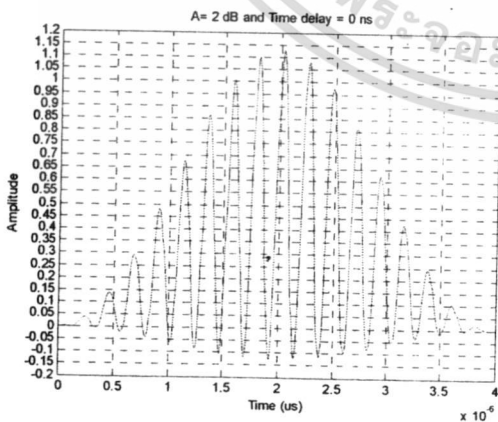


รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.3.1 ผลกระทบเมื่อเกิดความผิดเพี้ยนทางขนาดอย่างเดียว

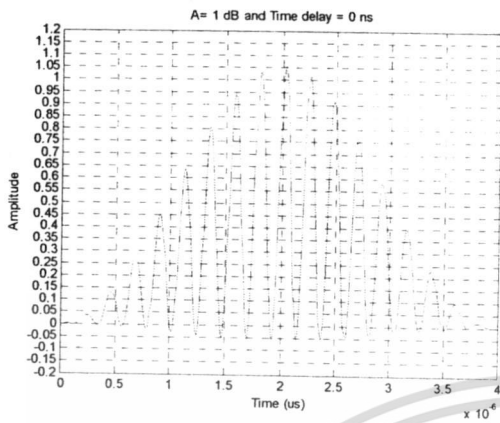


รูปที่ 4.2 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = +3dB, Time Delay = 0 nsec

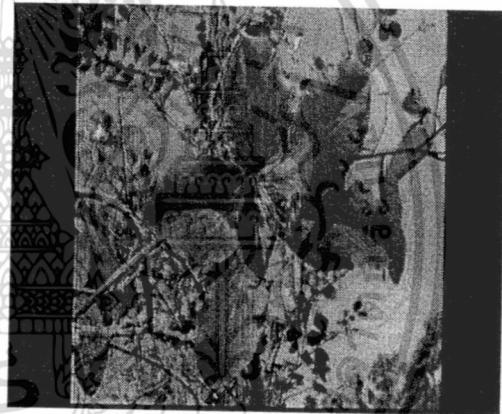
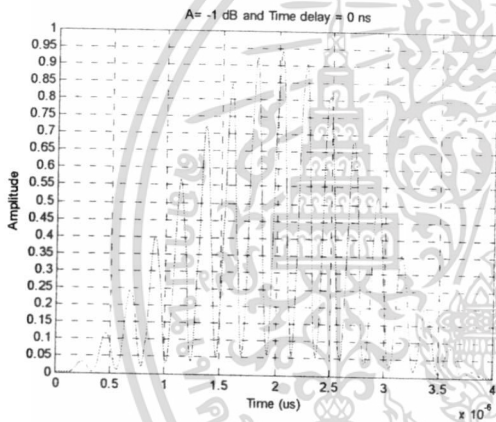


รูปที่ 4.3 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = +2 dB, Time Delay = 0 nsec

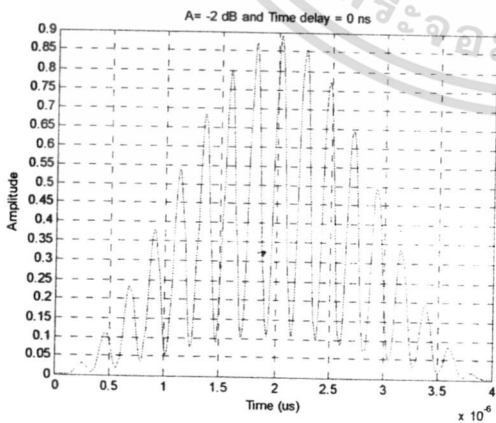
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = +1 dB, Time Delay = 0 nsec

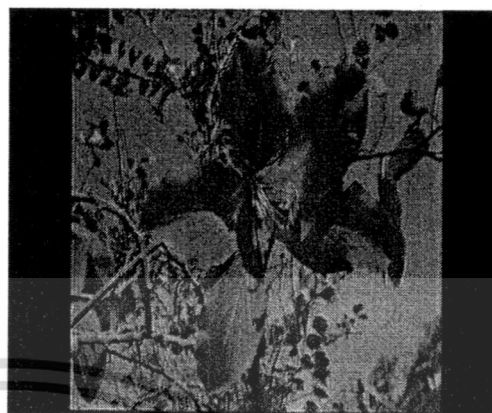
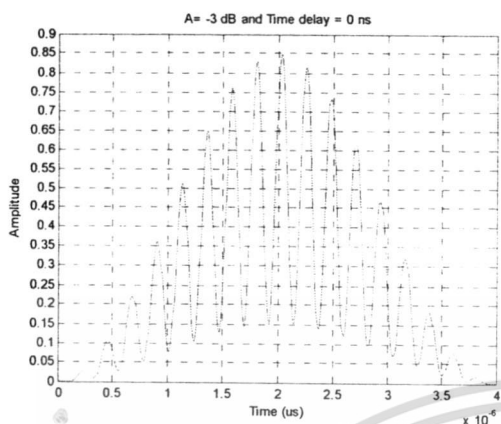


รูปที่ 4.5 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = -1 dB, Time Delay = 0 nsec



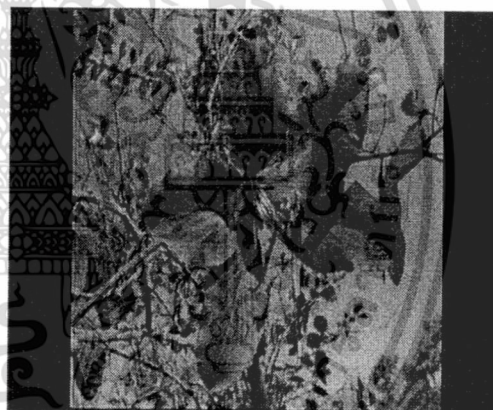
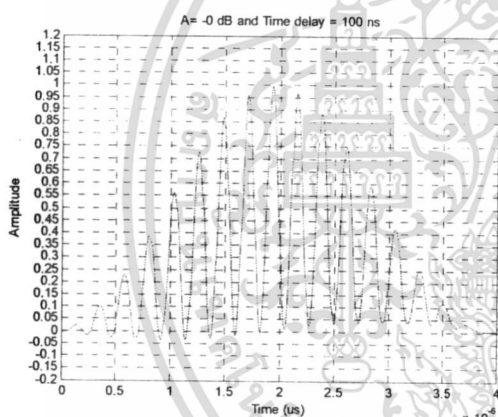
รูปที่ 4.6 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = -2 dB, Time Delay = 0 nsec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

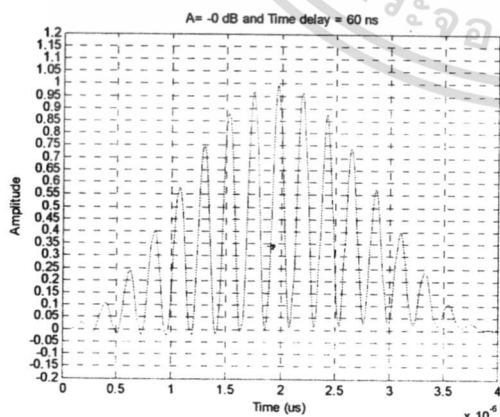


รูปที่ 4.7 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = -3 dB, Time Delay = 0 nsec

4.3.2 ผลกระทบเมื่อเกิดความผิดเพี้ยนทางคีย์อย่างเดี่ยว

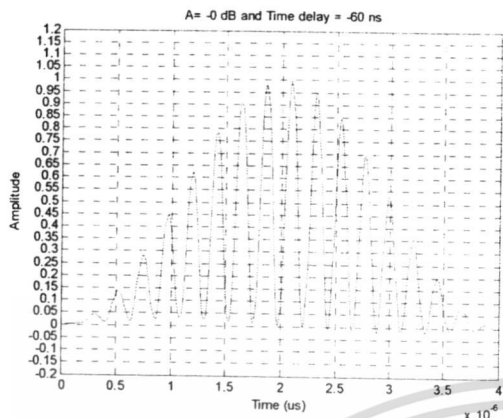


รูปที่ 4.8 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = 0 dB, Time Delay = +100 nsec

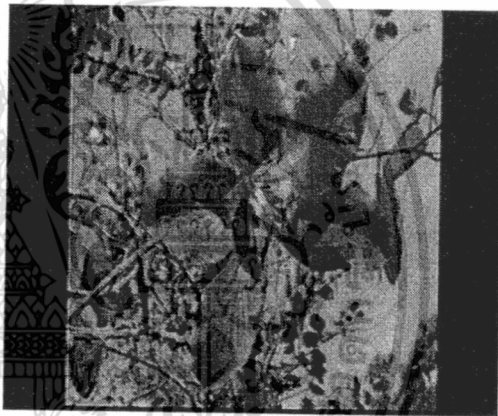
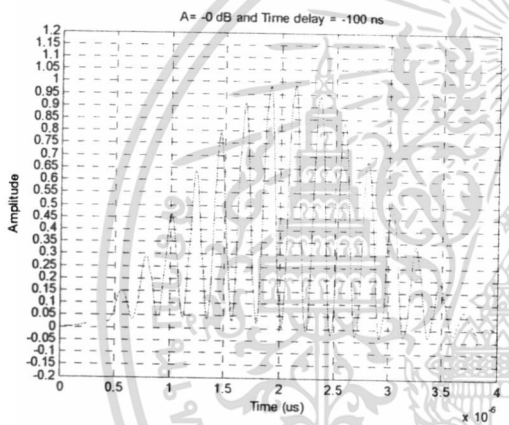


รูปที่ 4.9 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = 0 dB, Time Delay = +60 nsec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

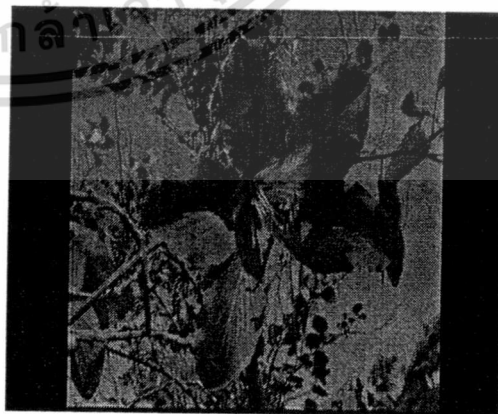
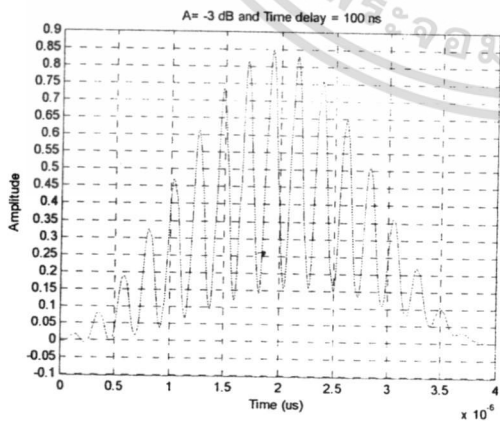


รูปที่ 4.10 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = 0 dB, Time Delay = -60 nsec



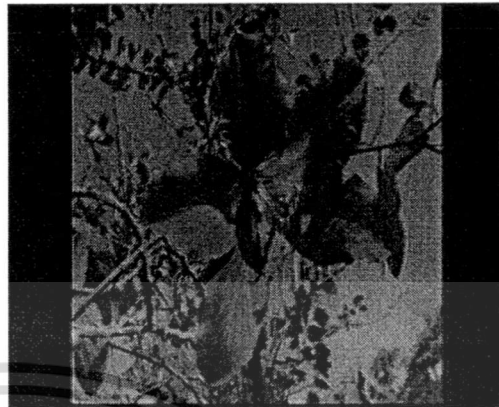
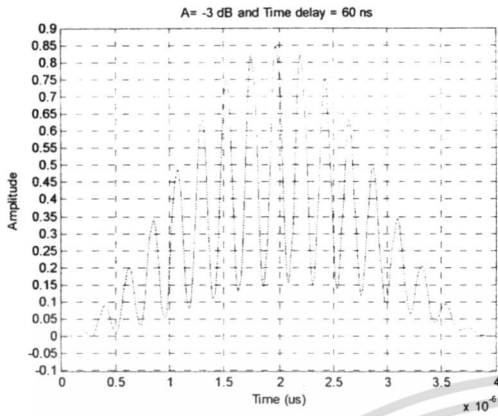
รูปที่ 4.11 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = 0 dB, Time Delay = -100 nsec

4.3.3 ผลกระทบเมื่อเกิดความผิดเพี้ยนทางขนาดและดีเลย์พร้อมกัน

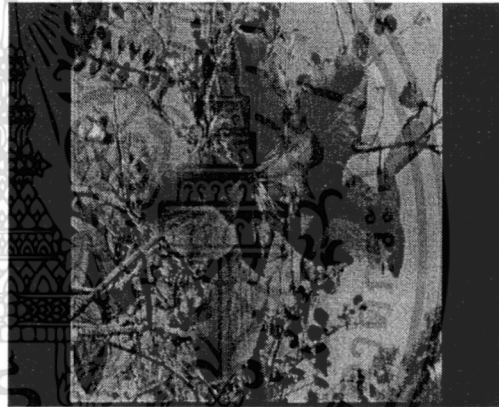
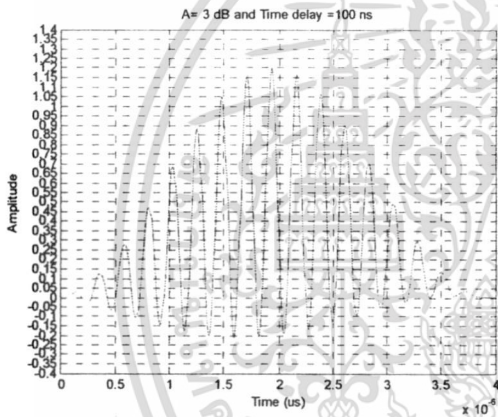


รูปที่ 4.12 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = -3dB, Time Delay = +100 nsec

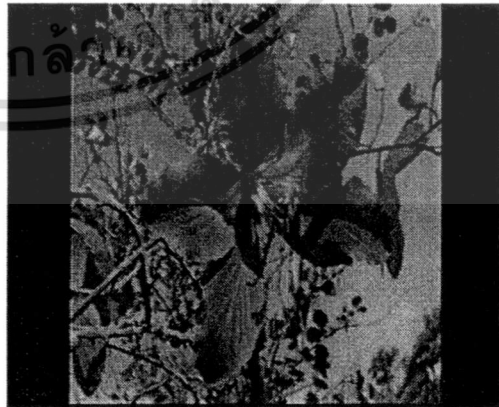
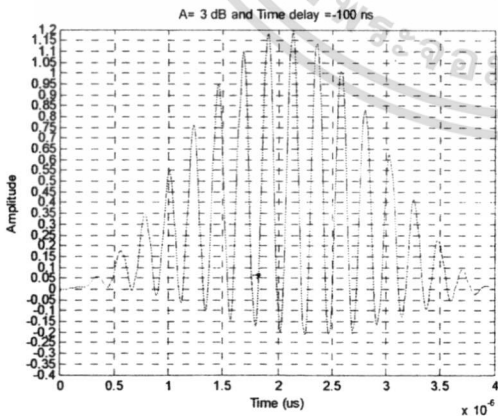
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = -3dB, Time Delay = -100 nsec



รูปที่ 4.14 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = +3dB, Time Delay = +100 nsec



รูปที่ 4.15 รูปกราฟและรูปภาพแสดงค่า Gain = +3dB, Time Delay = -100 nsec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

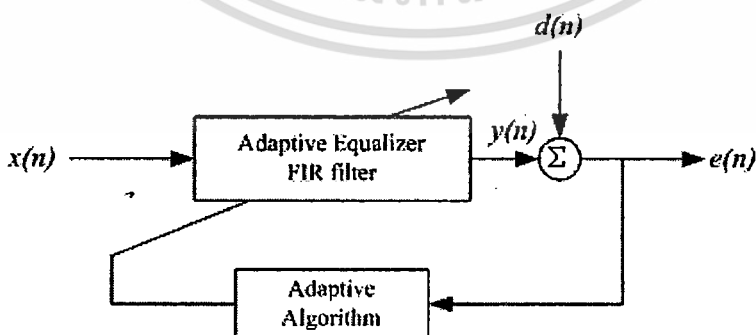
5.1 บทนำ

การทดลองการทำงานที่เวลาจริงของวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้ เพื่อชดเชยความผิดเพี้ยนเชิงเส้นทั้ง 3 กรณี โดยผ่านบอร์ดประมวลผลดิจิทัล TMS320C6713 DSK โดยมีการทำงานร่วมกับอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS ซึ่งเป็นอัลกอริทึมพื้นฐานที่ง่ายที่สุด ดังนั้นในบทนี้จะแสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และผลการทดลองที่เวลาจริง

5.2 การออกแบบ และจำลองวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้

การออกแบบวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้เพื่อนำมาแก้ความผิดเพี้ยนของสัญญาณสีในเครื่องรับโทรทัศน์ ประกอบด้วยวงจรกรองความถี่ดิจิทัลแบบ FIR ทำงานร่วมกับอะแดปทีฟอัลกอริทึมสำหรับความผิดเพี้ยนของสัญญาณโทรทัศน์ โดยเฉพาะความผิดเพี้ยนของสัญญาณสีนั้นเกิดขึ้นบ่อยและเห็นได้ชัด ซึ่งความผิดเพี้ยนสามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิดคือ ความผิดเพี้ยนทางขนาดอย่างเดียว ความผิดเพี้ยนทางสีเดียวอย่างเดียว และความผิดเพี้ยนทางขนาดและสีเกิดขึ้นพร้อมกัน

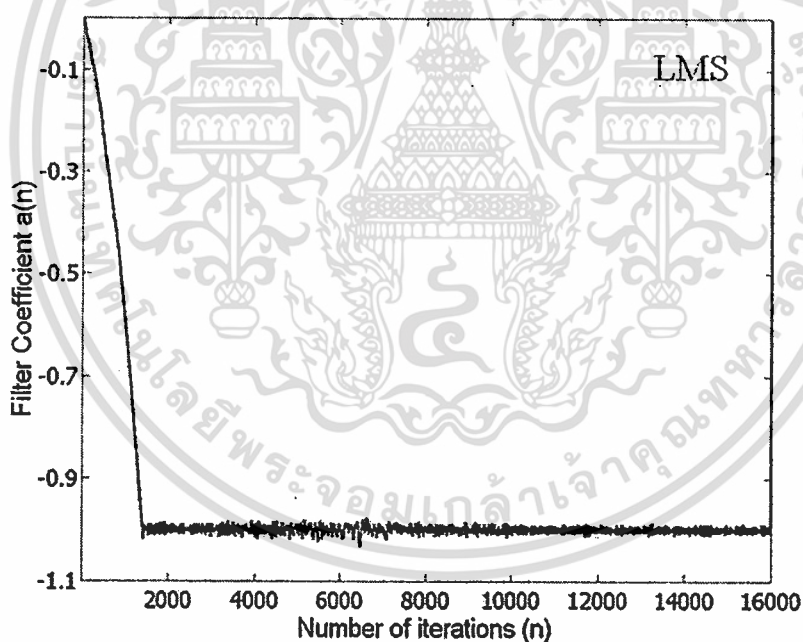
การออกแบบวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้ สำหรับแก้ความผิดเพี้ยนของสัญญาณสี ทั้ง 3 แบบ แสดงดังรูปที่ 5.1 ประกอบด้วยวงจรกรองความถี่ดิจิทัลแบบ FIR ทำงานร่วมกับอะแดปทีฟอัลกอริทึม เมื่อ $x(n)$ คือสัญญาณสีที่ผิดเพี้ยน $d(n)$ คือสัญญาณสีที่อ้างอิง $y(n)$ คือสัญญาณสีที่แก้แล้ว $e(n)$ คือสัญญาณผิดพลาด และ n หมายถึงดัชนีเวลาของระบบไม่ต่อเนื่องทางเวลา



รูปที่ 5.1 แผนภาพวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้สำหรับแก้ความผิดเพี้ยนของสัญญาณสี

ตารางที่ 5.1 สรุปอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS

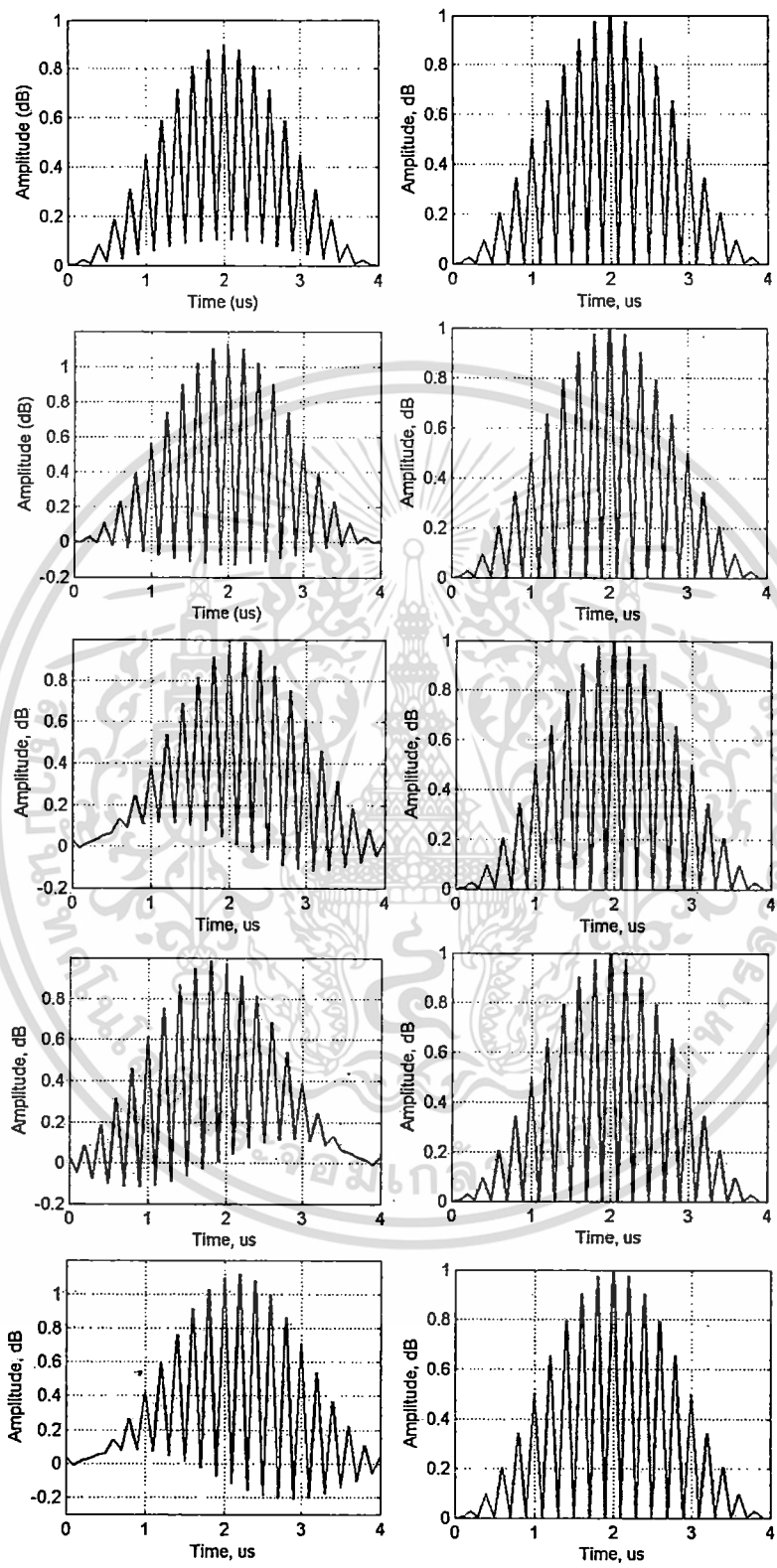
Input : Tap-weight vector, $\mathbf{w}(n)$ Input vector, $\mathbf{x}(n)$ and desired output, $d(n)$ Output: Filter output, $y(n)$ Tap-weight vector update, $\mathbf{w}(n+1)$
1. Filtering: $y(n) = \mathbf{w}^T \mathbf{x}(n)$
2. Error estimation: $e(n) = d(n) - y(n)$
3. Tap-weight vector adaptation: $\mathbf{w}(n+1)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



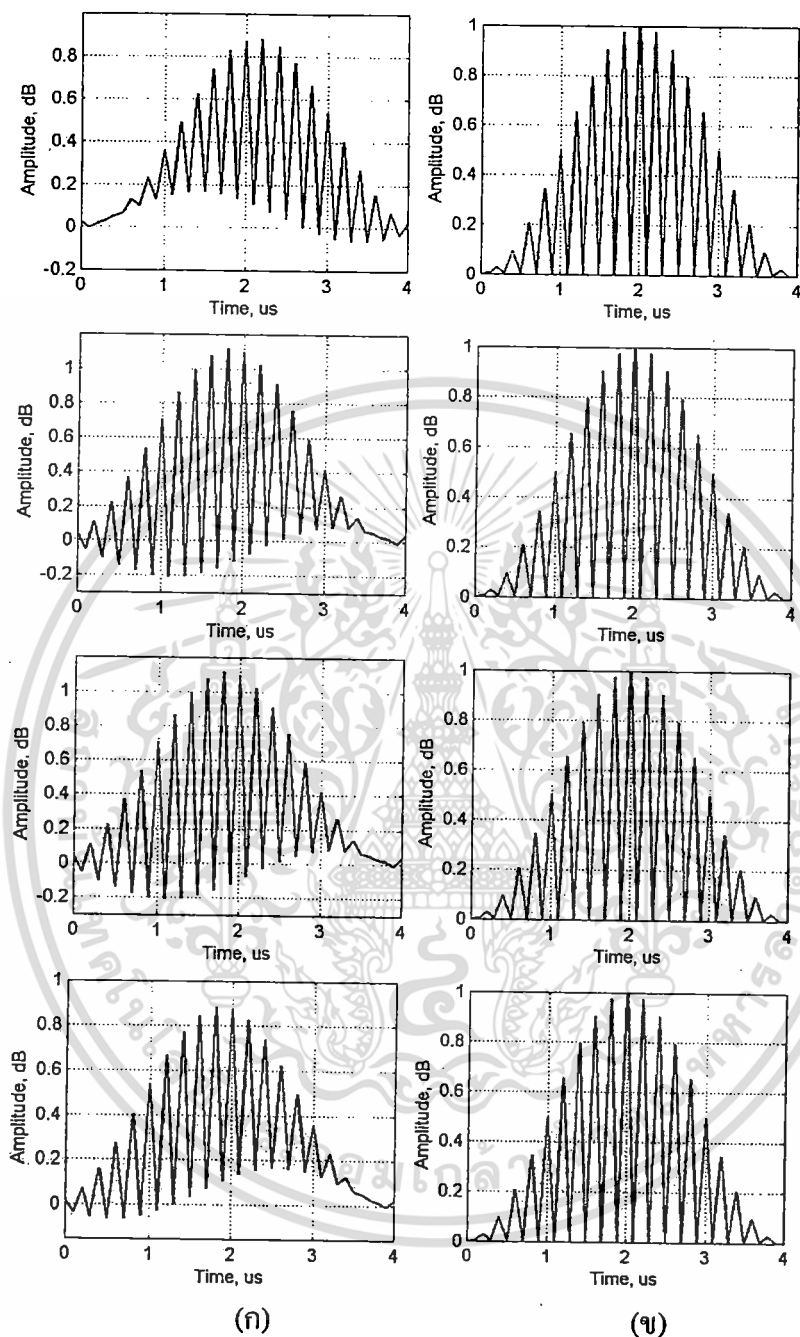
รูปที่ 5.2 อัตราการลู่เข้าของอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS

การออกแบบในส่วนของอะแดปทีฟอัลกอริทึม ได้ทำการเลือกอัลกอริทึมที่เป็นพื้นฐานคือ LMS และอัลกอริทึมที่ได้รับการพัฒนาให้มีค่าปรับช่วงก้าว (Step-size) เพื่อให้ได้อัตราการลู่เข้าสู่ค่าตอบที่เร็วขึ้น แสดงดังรูปที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 ตัวอย่างผลการจำลองวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้

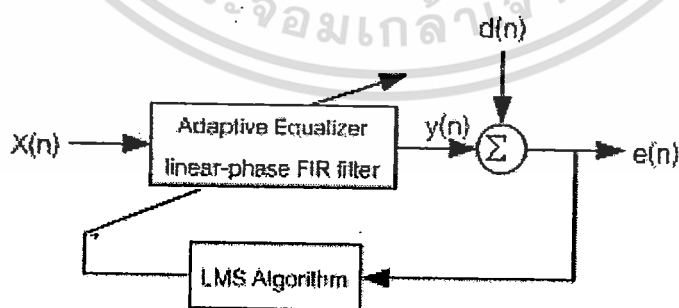
รูปที่ 5.3 แสดงตัวอย่างผลการจำลองวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้ โดยในการจำลองการทำงานของวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้นำเอาสัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไซน์กำลังสองพัลส์มาใช้ พบว่าสามารถแก้ปัญหาคอมพิเคชั่นทั้ง 3 แบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การจำลองโมเดลการทำงานของอะแดปทีฟอัลกอริทึม ด้วยโปรแกรม MATLAB

ในหัวข้อนี้จะนำการออกแบบวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้ในหัวข้อที่ 5.2 มาทำการทดลองการทำงานที่เวลาจริง โดยผ่านบอร์ด TMS320C6713 DSK การทำงานจะทำงานร่วมกับอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS ซึ่งเป็นอัลกอริทึมพื้นฐานก่อน

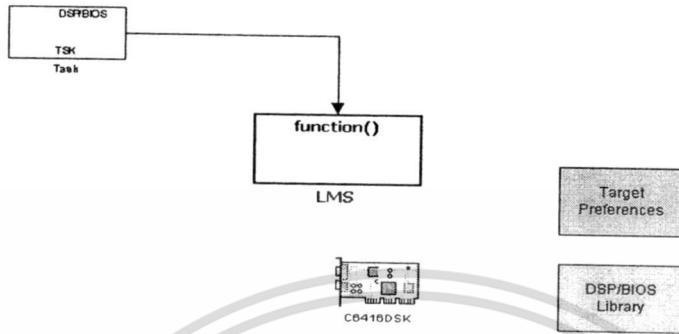
วิธีการทดลองที่เวลาจริง จะใช้โมเดลที่สร้างจากโปรแกรม MATLAB ในหัวข้อที่ 5.2 มาใช้ในการสังเคราะห์โปรแกรมเพื่อให้บอร์ด DSK ทำงาน ก่อนที่จะคอมไพล์โปรแกรมนั้นต้องตรวจสอบก่อนว่าบอร์ด DSK ต่ออยู่กับเครื่องคอมพิวเตอร์และเปิดการใช้งานเพื่อรอคำสั่งจากโมเดลของโปรแกรม MATLAB ที่สร้าง เมื่อใช้คำสั่งคอมไพล์ MATLAB จะทำการติดต่อกับโปรแกรม CCS เพื่อทำการสร้างไฟล์งานที่ใช้ โดยโปรแกรม CCS จะทำการสร้างไฟล์นามสกุล PJT พร้อมตรวจสอบข้อผิดพลาดจากไฟล์โมเดลที่สร้าง ถ้าข้อมูลไม่มีความผิดพลาดจะได้ไฟล์นามสกุล PJT และโปรแกรม CCS จะโหลดข้อมูลลงบอร์ด DSK พร้อมทั้งรันการทำงาน ส่วนสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้กับบอร์ดจะใช้สัญญาณไซน์กำลังสองรวมกับสัญญาณคลื่นพาห้ความถี่ 1 Hz โดยใช้เครื่อง ARBITRARY WAVEFORM GENERATOR รุ่น AWG2021 ยี่ห้อ SONY/Tektronix เป็นตัวจ่ายสัญญาณ ซึ่งสัญญาณที่ใช้สามารถสร้างได้จากซอฟต์แวร์ของเครื่อง คือโปรแกรม Arb Express Application รูปแบบโมเดลในการต่อทดลองจริงจะเปลี่ยนรูปแบบการต่อจากเดิมในหัวข้อที่ 5.2 ที่เป็นการต่อจำลองการทำงาน ในการต่อเพื่อใช้ในการทดลองนี้จะเรียกใช้เครื่องมือในการเชื่อมต่อกับบอร์ด DSK ซึ่งกล่องเครื่องมือที่โปรแกรม MATLAB ใช้สามารถเชื่อมต่อกับโปรแกรม CCS สั่งให้บอร์ดทำงาน จะเรียกใช้งานที่ Simulink Library Browser การต่อโมเดลเพื่อใช้ทดลองการทำงานของวงจรปรับเท่าแบบปรับตัว โดยใช้อัลกอริทึมแบบ LMS



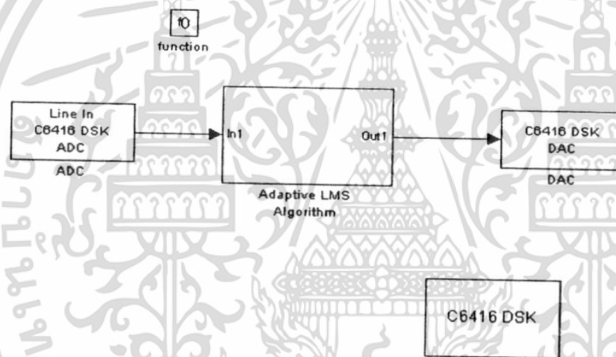
รูปที่ 5.4 แผนภาพวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้สำหรับแก้ความผิดเพี้ยนของสัญญาณสี่ โดยใช้อะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

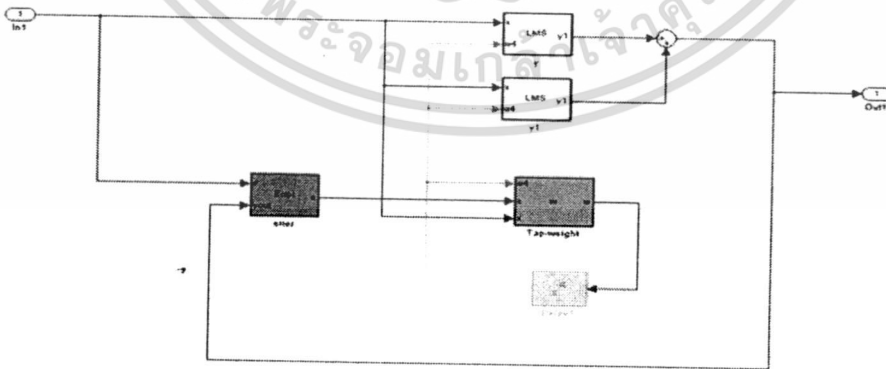
Adaptive Filter LMS Algorithm



(a) โมเดลภายนอกของอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS



(b) โมเดลภายในของอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS



(c) โมเดลภายในของอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS

รูปที่ 5.5 โมเดลการทดลองการทำงานวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้

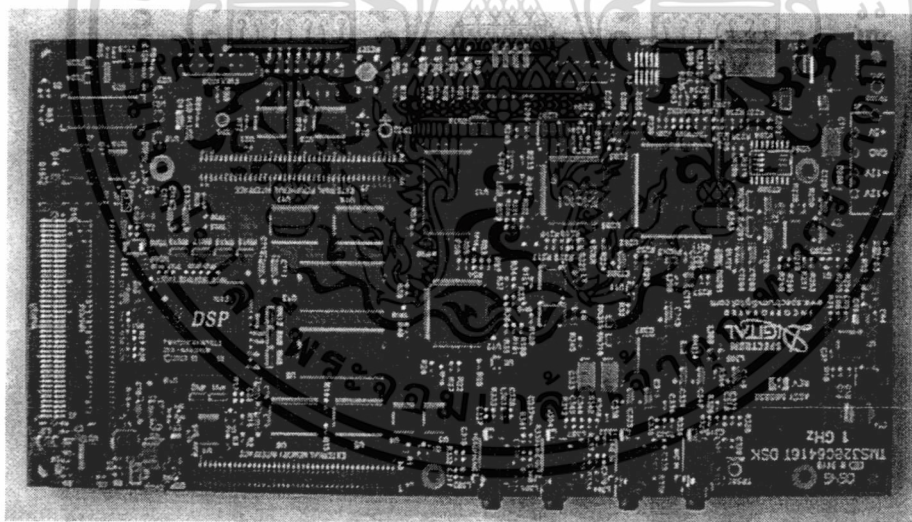
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 5.4 แสดงแผนภาพวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้สำหรับแก้ความผิดเพี้ยนของสัญญาณสี่ โดยใช้อะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS ส่วนรูปที่ 5.5 แสดงโมเดลการทดลองการทำงานของวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้ที่ได้ออกแบบ

5.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

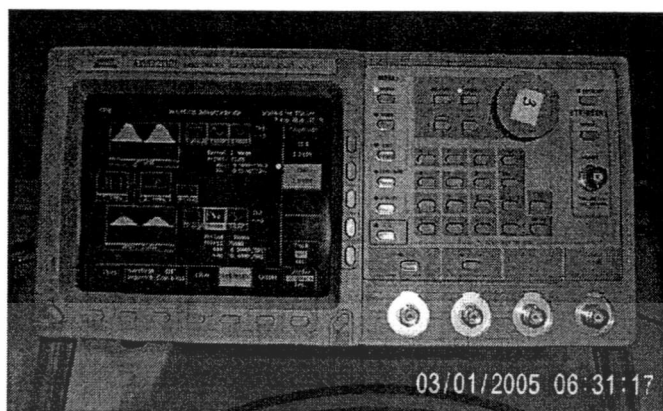
การแก้ความผิดเพี้ยนเชิงเส้นของสัญญาณสี่ทั้ง 3 กรณี ด้วยวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้ที่ได้ออกแบบ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

1. บอร์ดประมวลผล TMS 320C6713 DSK
2. เครื่อง ARBITRARY WAVEFORM GENERATOR รุ่น AWG 2021
3. ออสซิลโลสโคป
4. เครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 5.6 บอร์ดประมวลผล

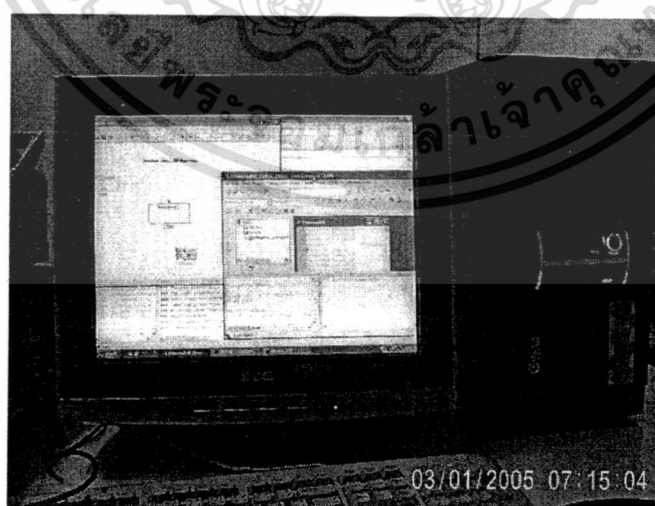
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 เครื่อง ARBITRARY WAVEFORM GENERATOR รุ่น AWG 2021

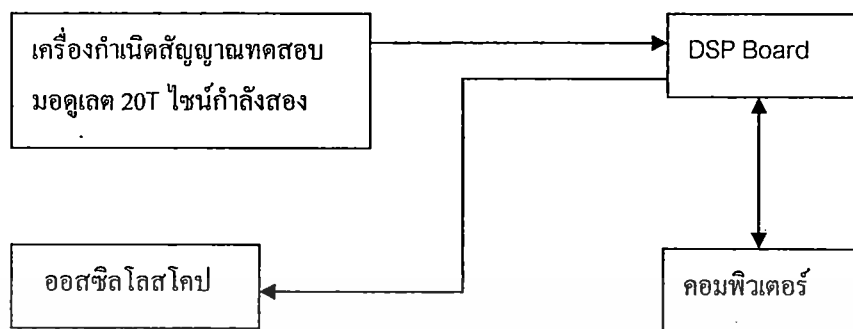


รูปที่ 5.8 ออสซิลโลสโคป



รูปที่ 5.9 เครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 แผนภาพการต่ออุปกรณ์สำหรับการทดลอง

5.5 ผลการทดลอง

สำหรับการทดลองที่เวลาจริง จะใช้โมเดลที่สร้างจากโปรแกรม MATLAB ในหัวข้อที่ 5.3 มาใช้ในการสังคอมไพล์ (compile) โปรแกรมเพื่อให้บอร์ด DSK ทำงาน ก่อนที่จะคอมไพล์โปรแกรมนั้น ต้องตรวจสอบว่าบอร์ด DSK ต่ออยู่กับเครื่องคอมพิวเตอร์และเปิดการใช้งานเพื่อรอคำสั่ง จากโมเดลของโปรแกรม MATLAB ที่สร้าง เมื่อใช้คำสั่งคอมไพล์ MATLAB จะทำการติดต่อกับโปรแกรม CCS เพื่อทำการสร้างไฟล์ของงานที่ใช้ โดยโปรแกรม CCS จะทำการสร้างไฟล์นามสกุล PJT พร้อมตรวจสอบข้อผิดพลาดจากไฟล์โมเดลที่เราสร้าง ถ้าข้อมูลไม่มีการผิดพลาดจะได้ไฟล์นามสกุล PJT และโปรแกรม CCS จะโหลดข้อมูลลงบอร์ด DSK พร้อมรันการทำงาน ส่วนสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้กับบอร์ดจะใช้สัญญาณไซน์กำลังสองร่วมกับสัญญาณพาห้หะความถี่ 1Hz โดยใช้เครื่อง ARBITRARY WAVEFORM GENERATOR รุ่น AWG2021 ยี่ห้อSONY/Tektronix เป็นตัวจ่ายสัญญาณ ซึ่งสัญญาณที่ใช้สามารถสร้างได้จากซอฟต์แวร์ของเครื่อง คือโปรแกรม Arb Express Applicationรูปแบบโมเดลในการต่อทดลองจริงจะเปลี่ยนรูปแบบการต่อจากเดิมในหัวข้อที่ 5.3 ที่เป็นการต่อจำลองการทำงาน ในการต่อเพื่อใช้ทดลองนี้จะเรียกใช้เครื่องมือในการเชื่อมต่อกับบอร์ด DSK ซึ่งกล่องเครื่องมือที่โปรแกรม MATLAB ใช้สามารถเชื่อมต่อกับโปรแกรม CCS สั่งให้บอร์ดทำงาน จะเรียกใช้งานที่ Simulink Library Browser การต่อโมเดลเพื่อใช้ทดลองการทำงานของอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ FIR จะแสดงในรูปที่ 5.11

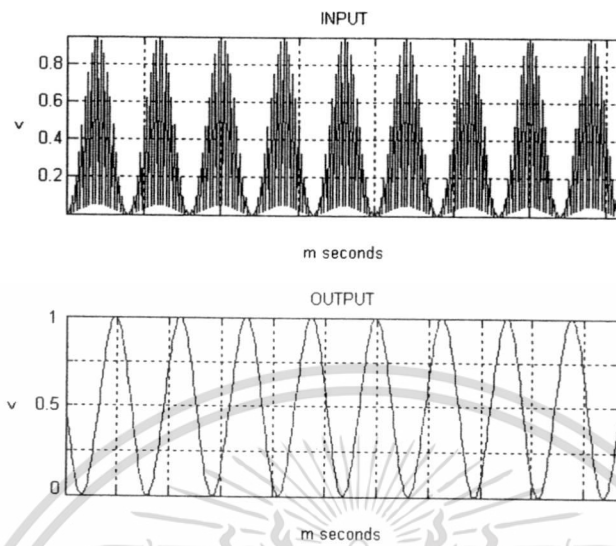


รูปที่ 5.11 การต่ออุปกรณ์สำหรับการทดลองที่เวลาจริง

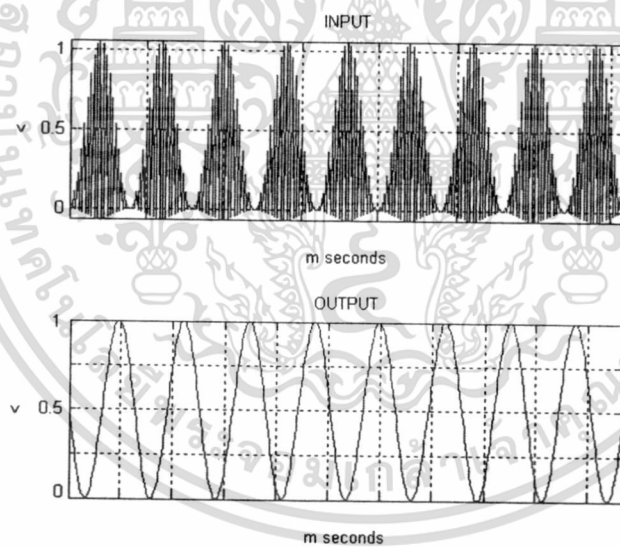
5.5.1 กรณีความผิดเพี้ยนทางขนาดอย่างเดียว

ผลการทดลองการแก้ความผิดเพี้ยนทางขนาดอย่างเดียว ในที่นี้จะยกตัวอย่างผลการทดลอง แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณอินพุตที่มีความผิดเพี้ยนที่ ± 1 dB ± 2 dB และ ± 3 dB กับ สัญญาณเอาต์พุตหลังจากผ่านวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้ที่ได้ออกแบบ แสดงดังรูปที่ 5.12 ถึง 5.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

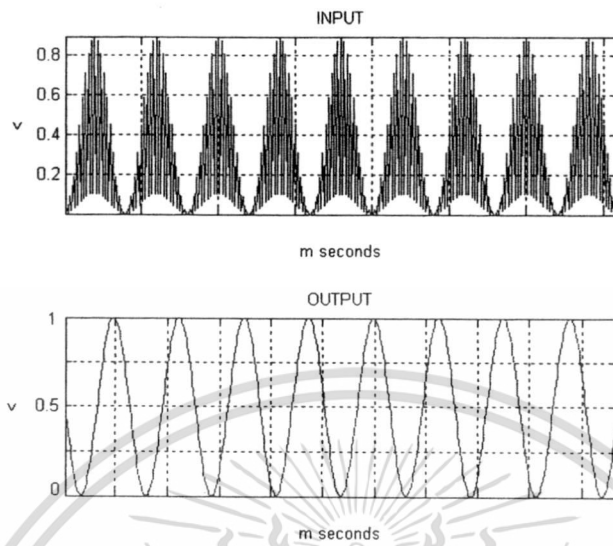


รูปที่ 5.12 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด ที่ -1 dB และสัญญาณเอาต์พุต

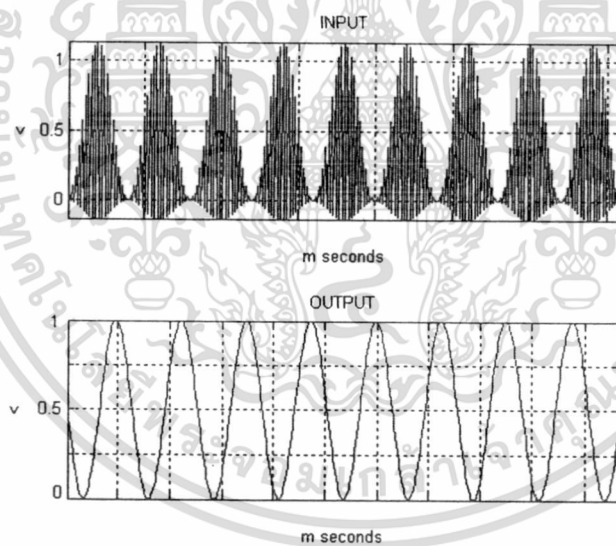


รูปที่ 5.13 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด ที่ $+1$ dB และสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

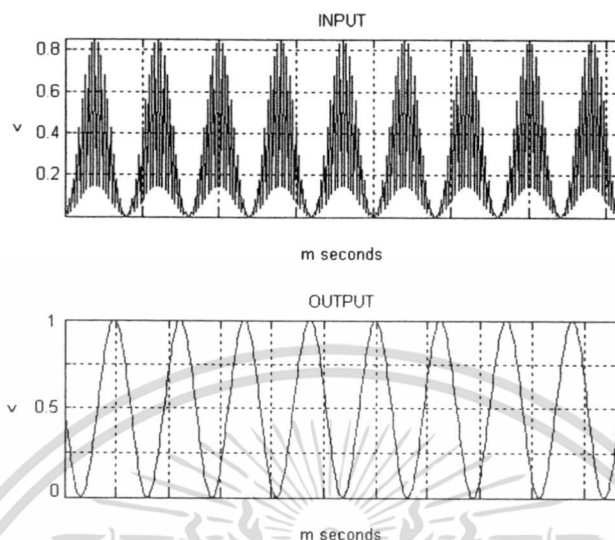


รูปที่ 5.14 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด ที่ -2 dB และสัญญาณเอาต์พุต

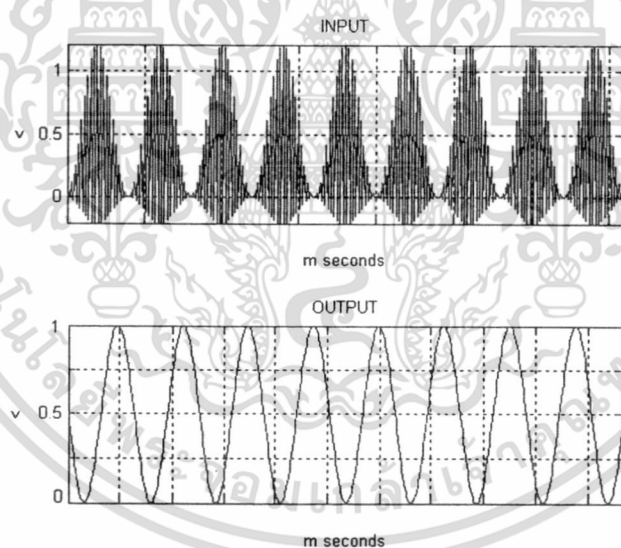


รูปที่ 5.15 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด ที่ +2 dB และสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด ที่ -3 dB และสัญญาณเอาต์พุต



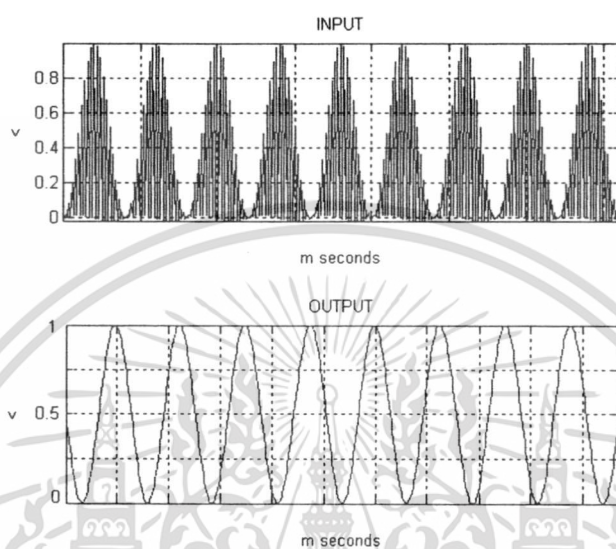
รูปที่ 5.17 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด ที่ +3 dB และสัญญาณเอาต์พุต

5.5.2 กรณีความผิดเพี้ยนทางดีเลย์อย่างเดียว

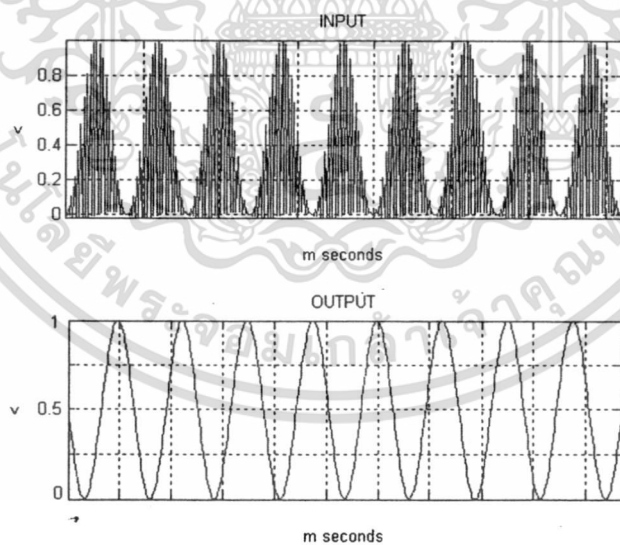
ผลการทดลองการแก้ความผิดเพี้ยนทางดีเลย์อย่างเดียว ในที่นี้จะยกตัวอย่างผลการทดลอง แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณอินพุตที่มีความผิดเพี้ยนที่ -20 nsec -40 nsec -60 nsec -80 nsec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-100 nsec 20 nsec 40 nsec 60 nsec 80 nsec และ 100 nsec กับสัญญาณเอาต์พุตหลังจากผ่านวงจรปรับ
เท่าแบบปรับตัวได้ที่ได้ออกแบบ แสดงดังรูปที่ 5.18 ถึง 5.27

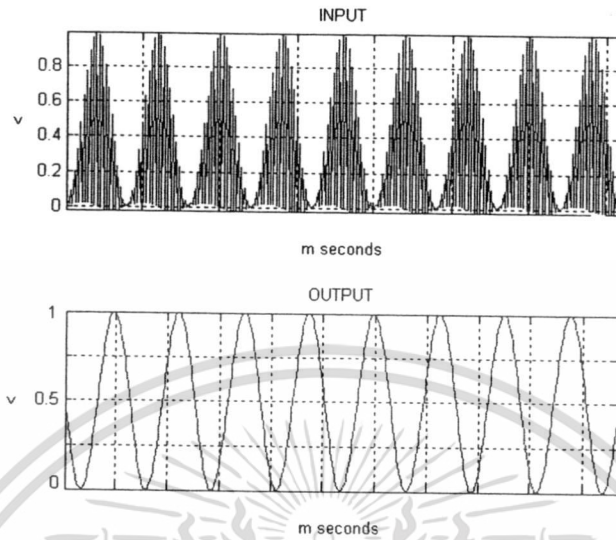


รูปที่ 5.18 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางดลีย์ ที่ -20 nsec และสัญญาณเอาต์พุต

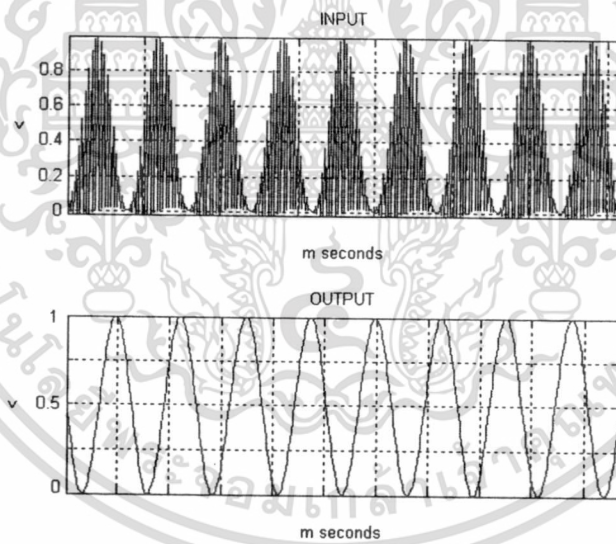


รูปที่ 5.19 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางดลีย์ ที่ +20 nsec และสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

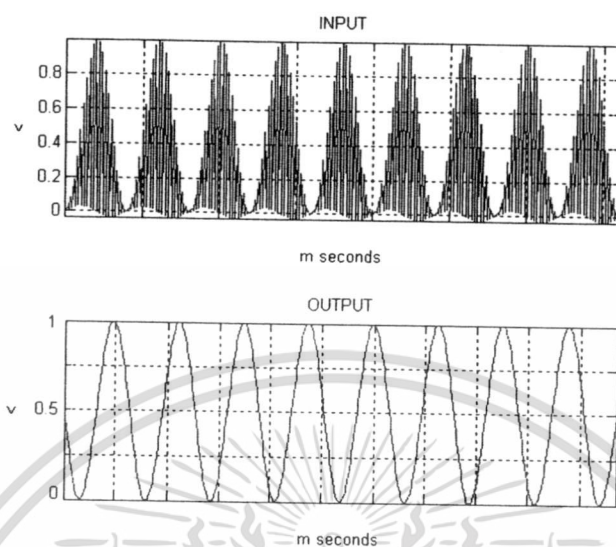


รูปที่ 5.20 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางคิเลย์ ที่ -40 nsec และสัญญาณเอาต์พุต

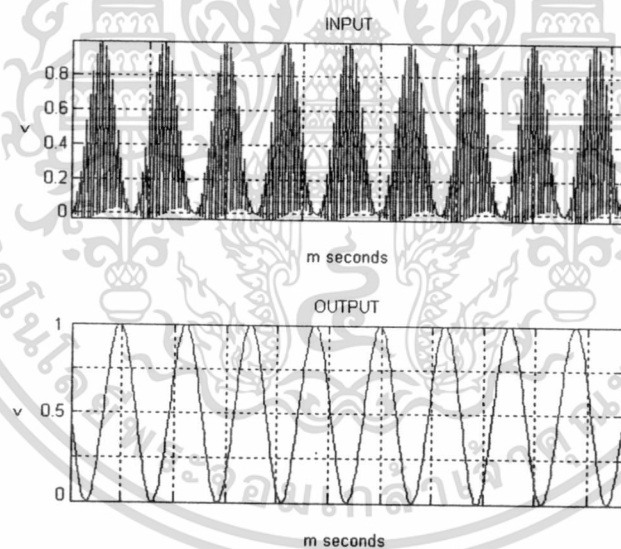


รูปที่ 5.21 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางคิเลย์ ที่ +40 nsec และสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

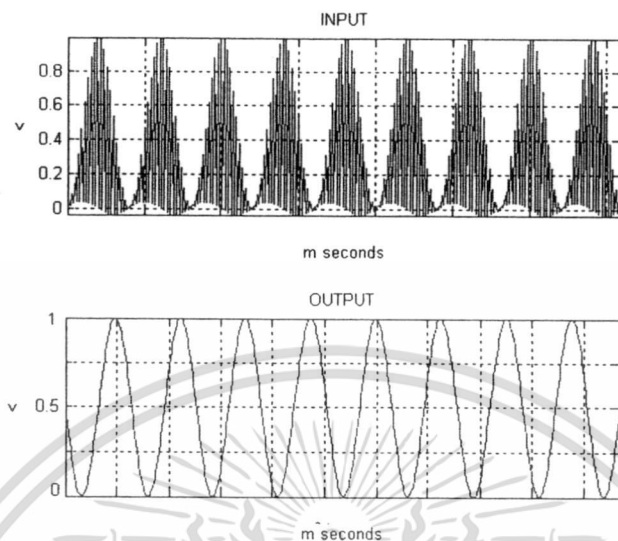


รูปที่ 5.22 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางคี่เลขที่ -60 nsec และสัญญาณเอาต์พุต

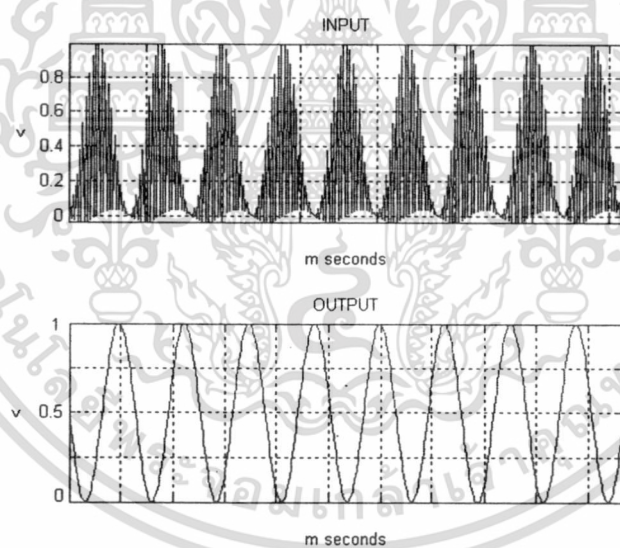


รูปที่ 5.23 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางคี่เลขที่ $+60$ nsec และสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

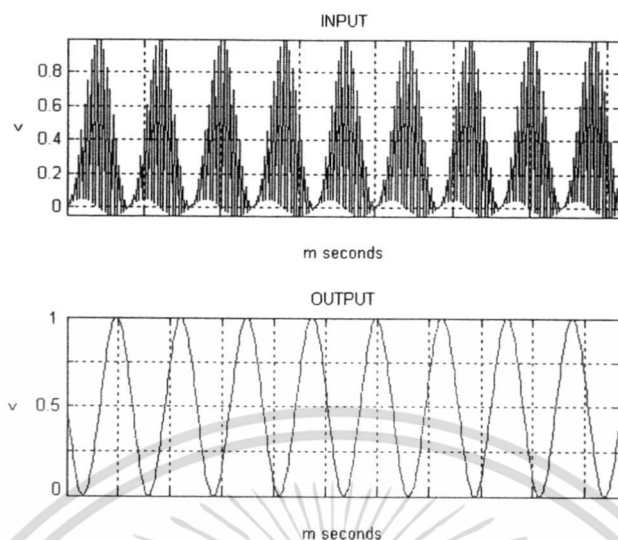


รูปที่ 5.24 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางคิเลย์ ที่ -80 nsec และสัญญาณเอาต์พุต

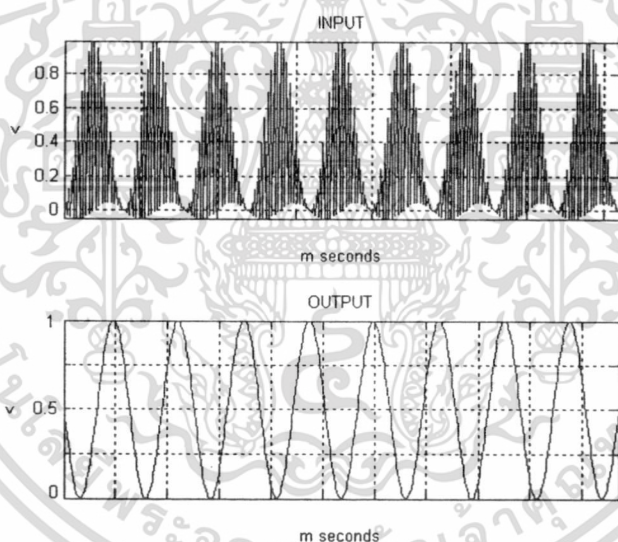


รูปที่ 5.25 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางคิเลย์ ที่ $+80$ nsec และสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.26 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางดลยที่ -100 nsec และสัญญาณเอาต์พุต



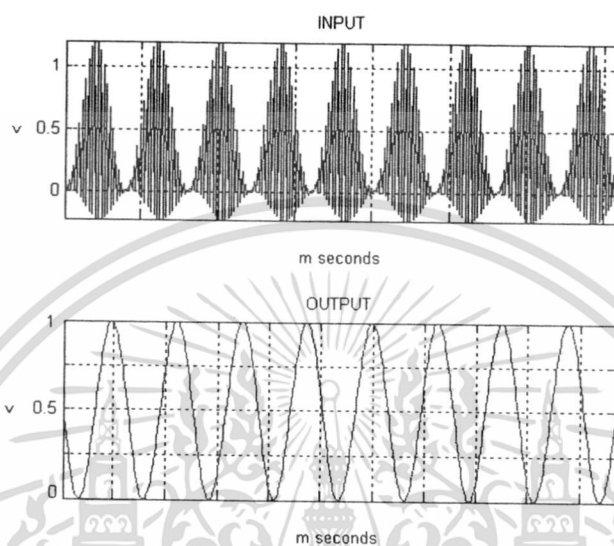
รูปที่ 5.27 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเฟสทางดลยที่ $+100$ nsec และสัญญาณเอาต์พุต

5.5.3 กรณีความผิดเฟสทางขนาดและดลยพร้อมกัน

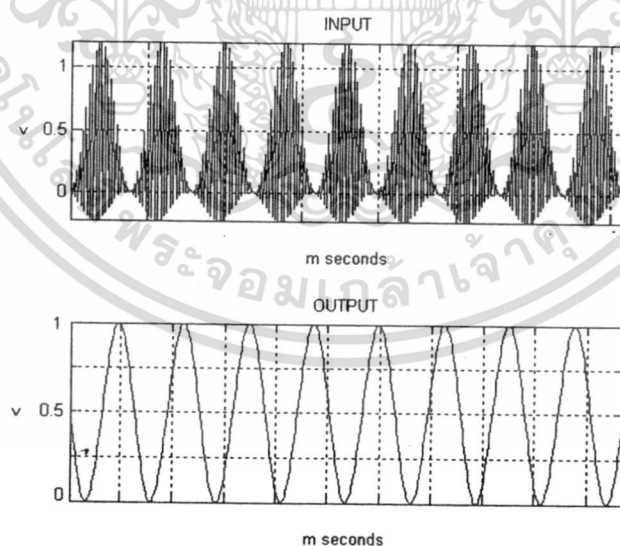
ผลการทดลองการแก้ความผิดเฟสทางขนาดและดลยพร้อมกัน ในที่นี้จะยกตัวอย่างผลการทดลอง แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณอินพุตที่มีความผิดเฟสที่ $+3$ dB กับ -100 nsec $+3$ dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับ +100 nsec -3 dB กับ -100 nsec และ -3 dB กับ +100 nsec กับสัญญาณเอาต์พุตหลังจากผ่านวงจร
ปรับเท่าแบบปรับตัวได้ที่ได้ออกแบบ แสดงดังรูปที่ 5.28 ถึง 5.31

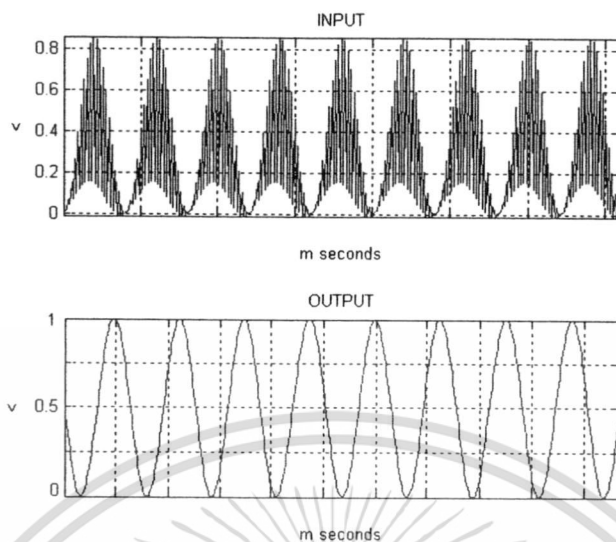


รูปที่ 5.28 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด (+3 dB) และดีเลย์ (-100 nsec)
และสัญญาณเอาต์พุต

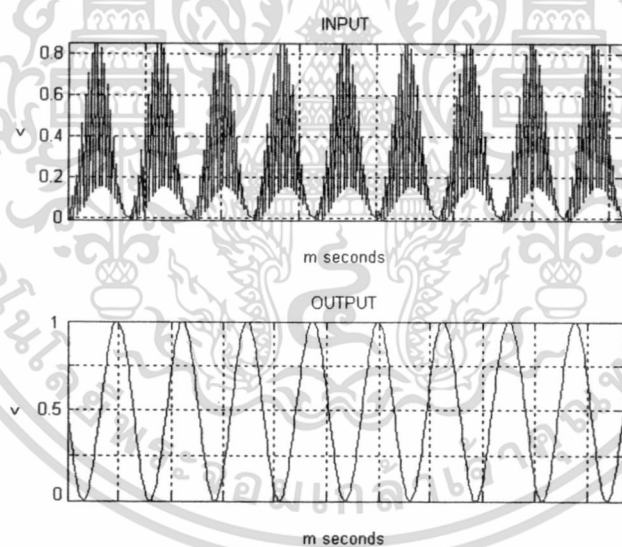


รูปที่ 5.29 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด (+3 dB) และดีเลย์ (+100 nsec)
และสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.30 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด (-3 dB) และดีเลย์ (-100 nsec) และสัญญาณเอาต์พุต



รูปที่ 5.31 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตที่ผิดเพี้ยนทางขนาด (-3 dB) และดีเลย์ (+100 nsec) และสัญญาณเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแนวความคิดการออกแบบวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้ในหัวข้อ 5.3 ข้างต้น นำมาสู่การกำหนดกรอบ หรือ ขอบเขตการสร้างรูปแบบโมเดลในการสร้างจริงด้วยบอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัลรุ่น TMS3206416 DSK เพื่อแก้ความผิดเพี้ยนทางขนาด และดีเลย์ของสัญญาณสี่ โดยในการทดลองใช้สัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไซน์กำลังสองพัลส์ที่ความถี่คลื่นพาห์ 1 kHz ตามความสามารถของบอร์ด ผลที่ได้จากการทดลองจะได้สัญญาณเอาต์พุตที่ไม่มีความผิดเพี้ยน แต่สัญญาณเอาต์พุตที่ได้แสดงเป็นสัญญาณไซน์ เนื่องจากข้อจำกัดทางความถี่ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณอินพุต และ บอร์ดประมวลผล TMS3206713 DSK จึงสามารถทำการทดลองได้เพียงแค่นิยามความถี่เสียงเท่านั้น คือตั้งแต่ช่วงความถี่ 20 Hz – 20 KHz เท่านั้น ดังนั้นจึงไม่สามารถทดลองที่ความถี่คลื่นพาห์ที่ย่อย 4.43 MHz ของสัญญาณโทรทัศน์สีได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลงานวิจัย

6.1 บทสรุป

งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาความผิดเพี้ยนเชิงเส้นที่เกิดจากการส่งผ่านในระบบโทรทัศนีย์ และทำการแก้ไขความผิดเพี้ยนเชิงเส้นทั้ง 3 กรณี ด้วยวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้ ในการออกแบบวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้ดังกล่าวจะใช้ตัวกรองความถี่ดิจิทัลแบบ FIR มาทำงานร่วมกับอะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ LMS แล้วทำการจำลองวงจรที่ได้ออกแบบด้วย โปรแกรม MATLAB จากนั้นทำการทดลองการทำงานที่เวลาจริง โดยผ่านบอร์ด TMS320C6713 DSK เพื่อนำแก้ความผิดเพี้ยนทางขนาดและดีเลย์ที่แสดงด้วยสัญญาณทดสอบมอดูเลต 20T ไชน์กำลังสองพัลส์ ผลที่ได้พบว่าสามารถแก้ความผิดเพี้ยนเชิงเส้นได้ทั้ง 3 กรณี อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะได้พัฒนามาจากวงจรปรับเท่าแบบแอนาล็อกซึ่งมีข้อเสียหลายอย่าง เช่น มีความซับซ้อนในการออกแบบ กรู๊ปดีเลย์ไม่ราบเรียบและไม่สามารถชดเชยสัญญาณตามสัญญาณที่แปรเปลี่ยนตามเวลาได้ ทำให้วงจรดังกล่าวไม่มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน ดังนั้นวงจรปรับเท่าแบบดิจิทัลสามารถแก้ข้อเสียของวงจรปรับเท่าแบบแอนาล็อกได้เกือบหมด

จากจุดมุ่งหมายและแนวคิดดังกล่าวข้างต้นนำมาสู่การกำหนดกรอบ ขอบเขตการจำลองและการออกแบบวงจรปรับเท่าแบบปรับตัวได้ตามโครงสร้างที่นำเสนอมาทำงานจริงผ่านบอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัลรุ่น TMS3206713 DSK เพื่อแก้ไขความผิดเพี้ยนทางขนาดและดีเลย์ ทดลองโดยใช้สัญญาณ ไชน์กำลังสองผสมกับสัญญาณคลื่นพาห้ที่ความถี่ 1 kHz การทดลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB ด้วยอัลกอริทึมแบบ LMS ผลที่ได้จากการทดลอง จะ ได้สัญญาณเอาต์พุตที่ไม่ผิดเพี้ยนซึ่งเอาต์พุตที่ออกมาจะเป็นสัญญาณ ไชน์เนื่องจากบอร์ดรุ่น TMS3206713 DSK เป็นบอร์ดที่ใช้สำหรับแก้สัญญาณที่ผิดเพี้ยนทางเสียงจึงทำให้เอาต์พุตที่ได้เป็นสัญญาณ ไชน์

6.2 ปัญหาและอุปสรรค

เนื่องจากบอร์ด TMS3206713 DSK เป็นบอร์ดที่ใช้สำหรับแก้สัญญาณที่ผิดเพี้ยนทางเสียงจึงทำให้เอาต์พุตที่ได้เป็นสัญญาณ ไชน์ ที่ใช้สัญญาณตั้งแต่ช่วงความถี่ 20Hz – 20 KHz จึงไม่สามารถทดลองที่ความถี่ 4.43MHz ของสัญญาณโทรทัศนีย์ได้ เพราะบอร์ดประมวลผลดิจิทัลที่ความถี่สูงมีราคาสูงมาก

6.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการ

ในงานวิจัยนี้ ประสิทธิภาพของอะแดปทีฟอัลกอริทึมที่ใช้เป็นอัลกอริทึมพื้นฐาน ที่เข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน ดังนั้นแนวทางในการพัฒนาคือเปลี่ยนอัลกอริทึมที่ใช้ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่น อะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ QLMS NLMS หรือ VSLMS จะสามารถทำให้มีการทำงานที่เร็ว และ ถูกต้องมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

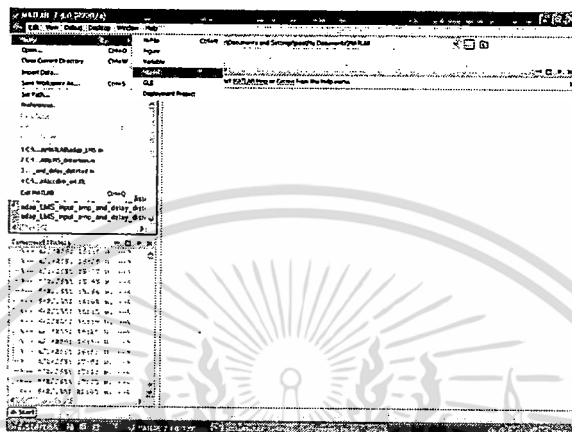
- [1] ดร. ชวิช เมฆสุวรรณค์ และนายโยชิคะซึ ชาวามูระ, เทคนิคการซ่อมเครื่องรับโทรทัศน์สี, ดวงกมล, 2528
- [2] An American National Standard, "IEEE Standard on Video Signal Transmission Measurement of Linear Waveform Distortion," *IEEE Std. 511-1979*, December 1979.
- [3] P. Wolf, "Modification of the Pulse-and-Bar Test Signal with Special Reference to Application in color Television", *Journal of the SMPTE*, pp. 15-19, 1996.
- [4] ดร. กนก เจริญพงษ์เวช, การตรวจสอบสัญญาณวิดีโอ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล., 2546
- [5] C. A., "Chrominance-to-Luminance Ratio and Timing Measurements in Color Television", *IEEE Trans. On Broadcasting*, Vol. BC-14, No. 1, 1968.
- [6] B.Farhang-Boroujeny, **Adaptive Filters Theory and Applications**, John Wiley & Sons, 1998
- [7] B. Widrow, S. D. Stearns, **Adaptive Signal Processing**, Prentice-Hall, 1985
- [8] J. R. Treichler, C. R. Johnson Jr., M. G. Larimore, **Theory and Design of Adaptive Filters**, Prentice-Hall, 2001
- [9] S. Haykin, **Adaptive Filter Theory**, Prentice-Hall, 2002
- [10] P. S. R. Diniz, **Adaptive Filtering**, Kluwer Academic, 2002
- [11] R. Puchalard, P. chumchu, C. Benjangkprasert and N. Anantrasirichai, "The Reduction of Gradient Noise Gradient-Based Algorithm by using Variable Step-size Technique", *Proceedings IEEE Conference Asia Pacific Conference on Circuits and System*, pp. 415-418, 2000
- [12] V. Chutchavong, C. Benjangkprasert, and K. Janchitrapongvej, "Gradient-based Algorithm by using VSLMP Technique for the Amplitude Chrominance Distortion", *Proceeding Laos Journal on Applied Science*, vol. 1, pp. 610-617, Nov. 2006.
- [13] ราชู พันธุ์ฉลาด, วุฒิพร เลิศวาสนา, วรพงศ์ ศิลาพันธ์ และ อนูรี หล่อสวัสดิ์ศิริ, "การแก้ความผิดเพี้ยนทางขนาดของสัญญาณสีในเครื่องรับโทรทัศน์ด้วยวงจรปรับเท่าแบบปรับตัว." การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26 (EECON-26) 6-7 พฤศจิกายน 2546 สจพ.
- [14] วุฒิพร เลิศวาสนา. 2546. การแก้ไขภาพซ้อนของสัญญาณโทรทัศน์ด้วยวงจรปรับเท่าแบบปรับตัว. กรุงเทพฯ: วิทยานพันธ์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการสร้างโมเดลในการทดลอง

1. เปิดโปรแกรม MATLAB เรียกใช้ file > new > model



รูปที่ ก. 1

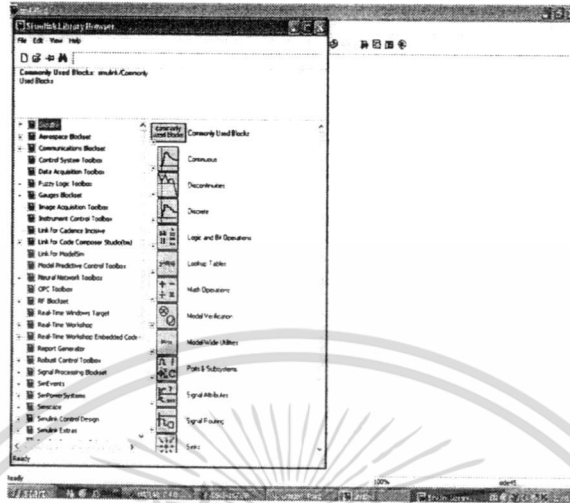
2. จะได้ ไฟล์ที่เป็น model มา จากนั้นเรียกใช้กล่องเครื่องมือของโมเดลโดยคลิก view > library browser



รูปที่ ก. 2

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

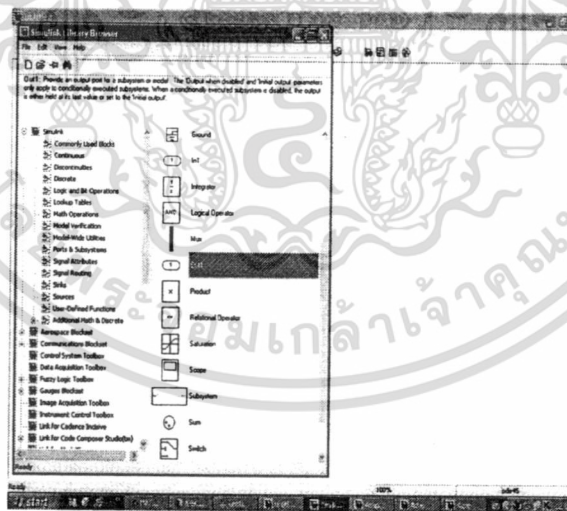
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก. 3

4. เครื่องมือภายในที่ใช้การจำลองการทำงาน

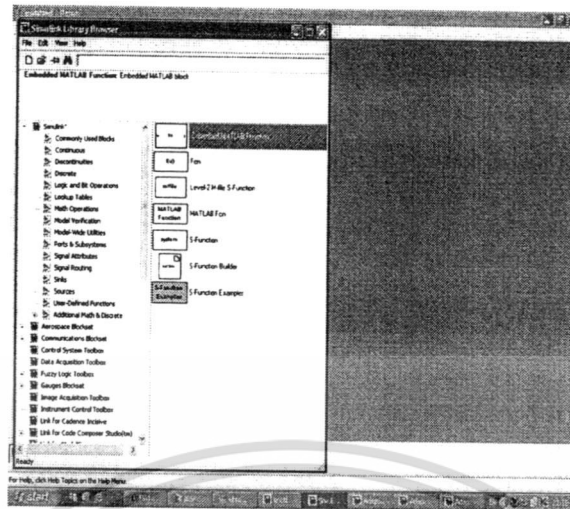
- Simulink จะใช้ Math Operations > Sum > In1>out1



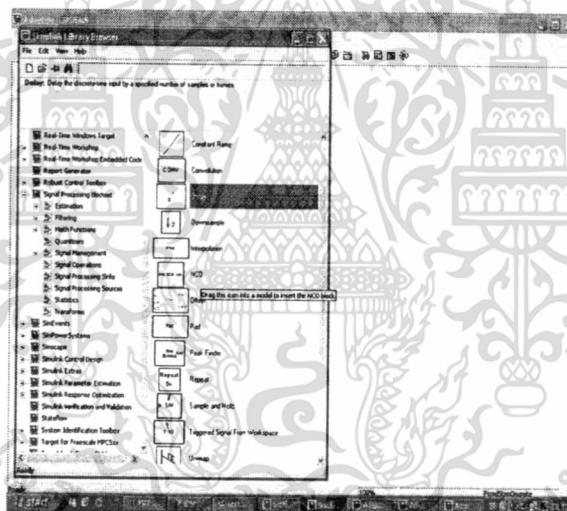
รูปที่ ก. 4

- Simulink จะใช้ Math Operations > Sum และ User-Defined Function > Embedded MATLAB Function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



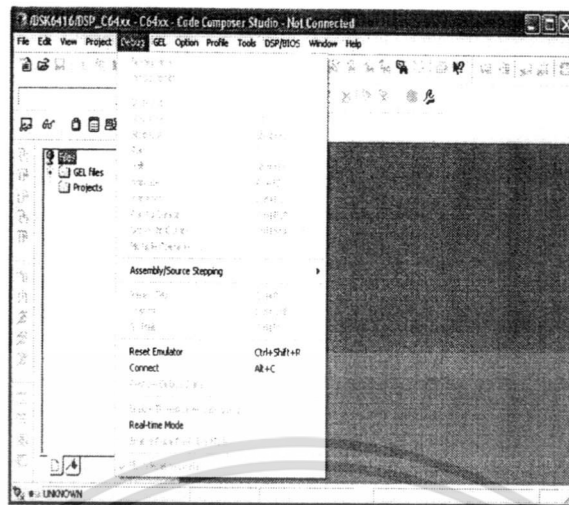
รูปที่ ก. 5



รูปที่ ก. 6

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก. 9

- ตรวจสอบการทำงานของบอร์ดว่าพร้อมที่จะใช้งานหรือไม่ GEL > Check DSK > QuickTest



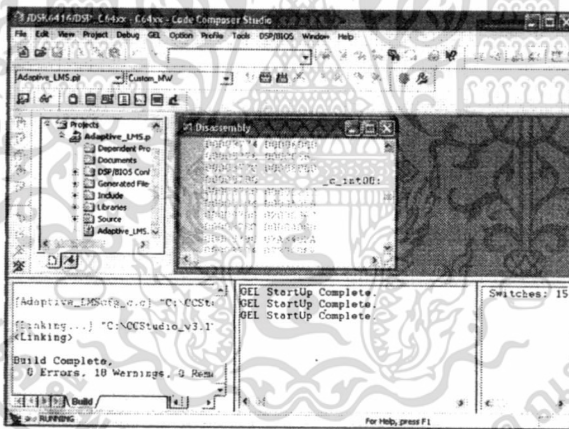
รูปที่ ก. 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก. 11

ในหน้าต่าง Command Window จะแสดงขั้นตอนการสร้างไฟล์ต่างๆ ที่ใช้เชื่อมต่อกับโปรแกรม CCS ระหว่างการเชื่อมต่อโปรแกรม CCS จะทำไฟล์ที่ติดต่อกับบอร์ดประมวลผลโดยทันที



รูปที่ ก. 12

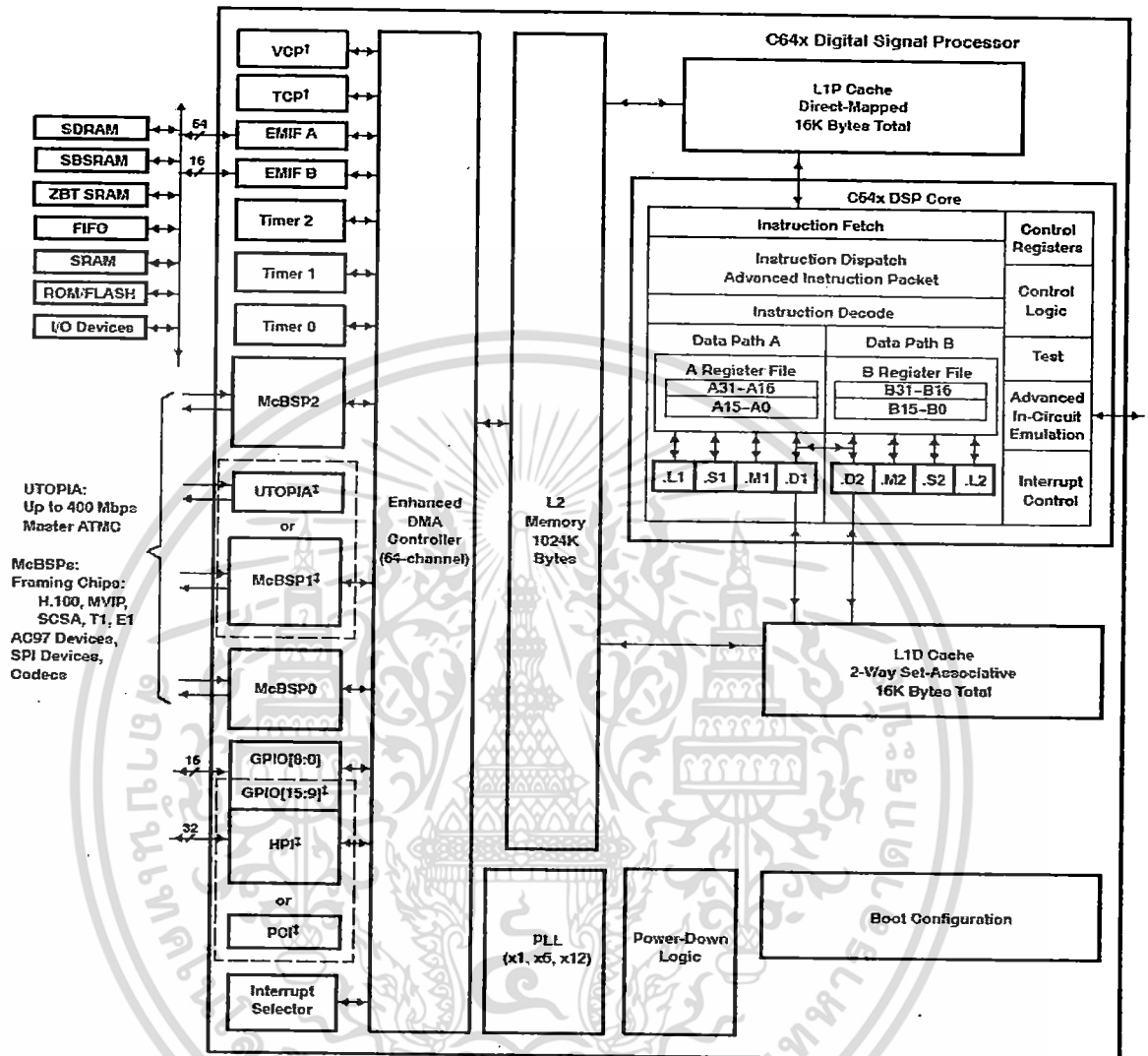
เมื่อโปรแกรม MATLAB ทำการติดต่อกับโปรแกรม CCS เรียบร้อยและโปรแกรม CCS สามารถติดต่อกับบอร์ดประมวลผลได้ โปรแกรม CCS จะแสดงการทำงานพร้อมกระบวนการทำงานใน Mamory fash และที่หน้าต่าง Build จะแสดงว่า Build Complete

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

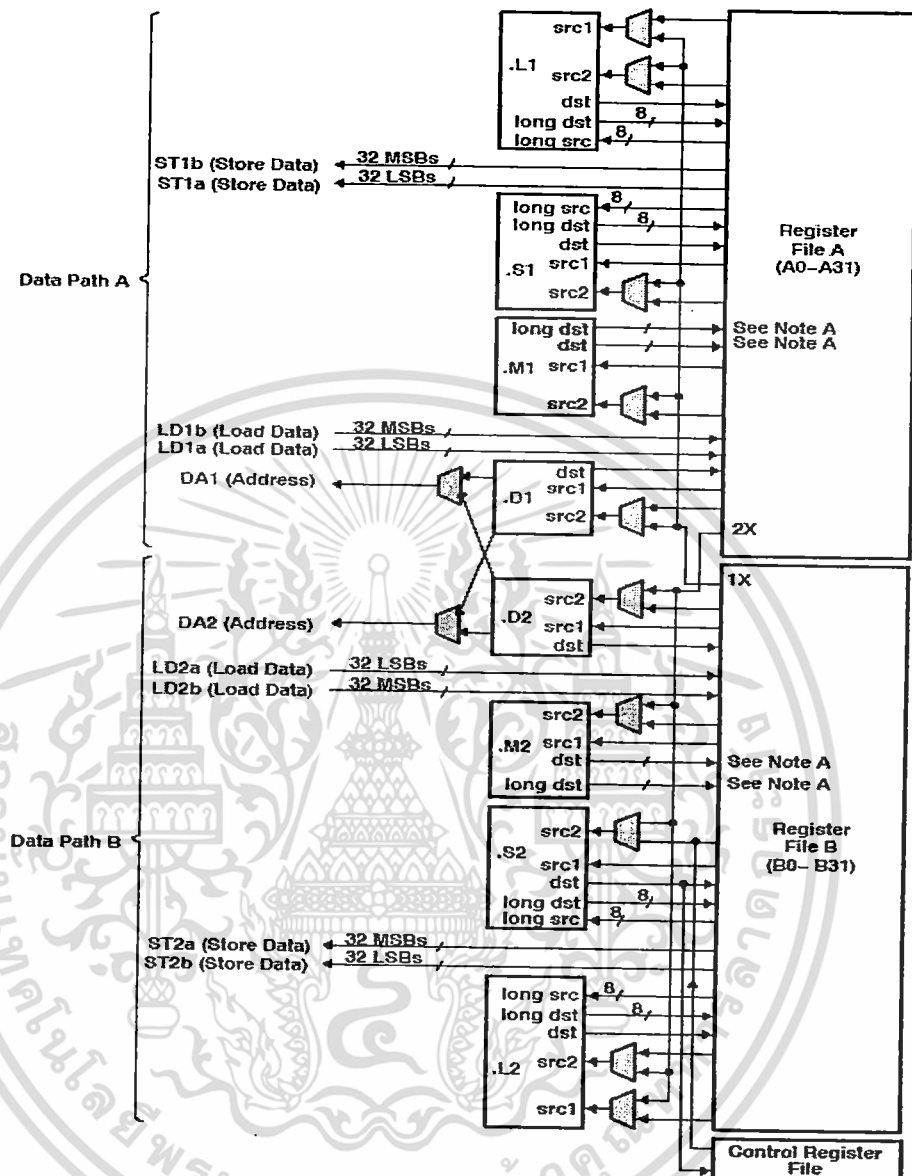
functional block and CPU (DSP core) diagram



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

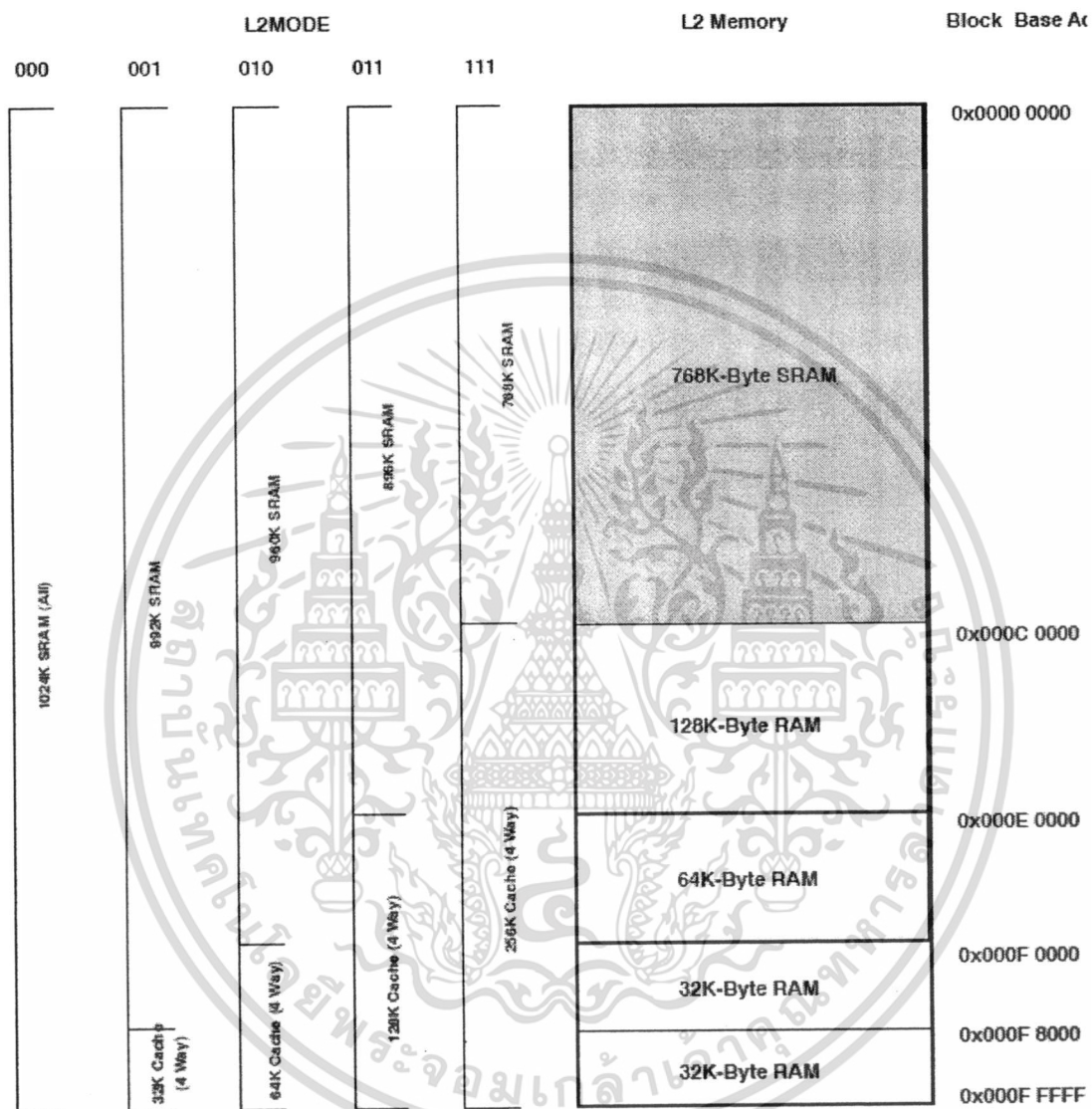
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CPU (DSP core) description (continued)



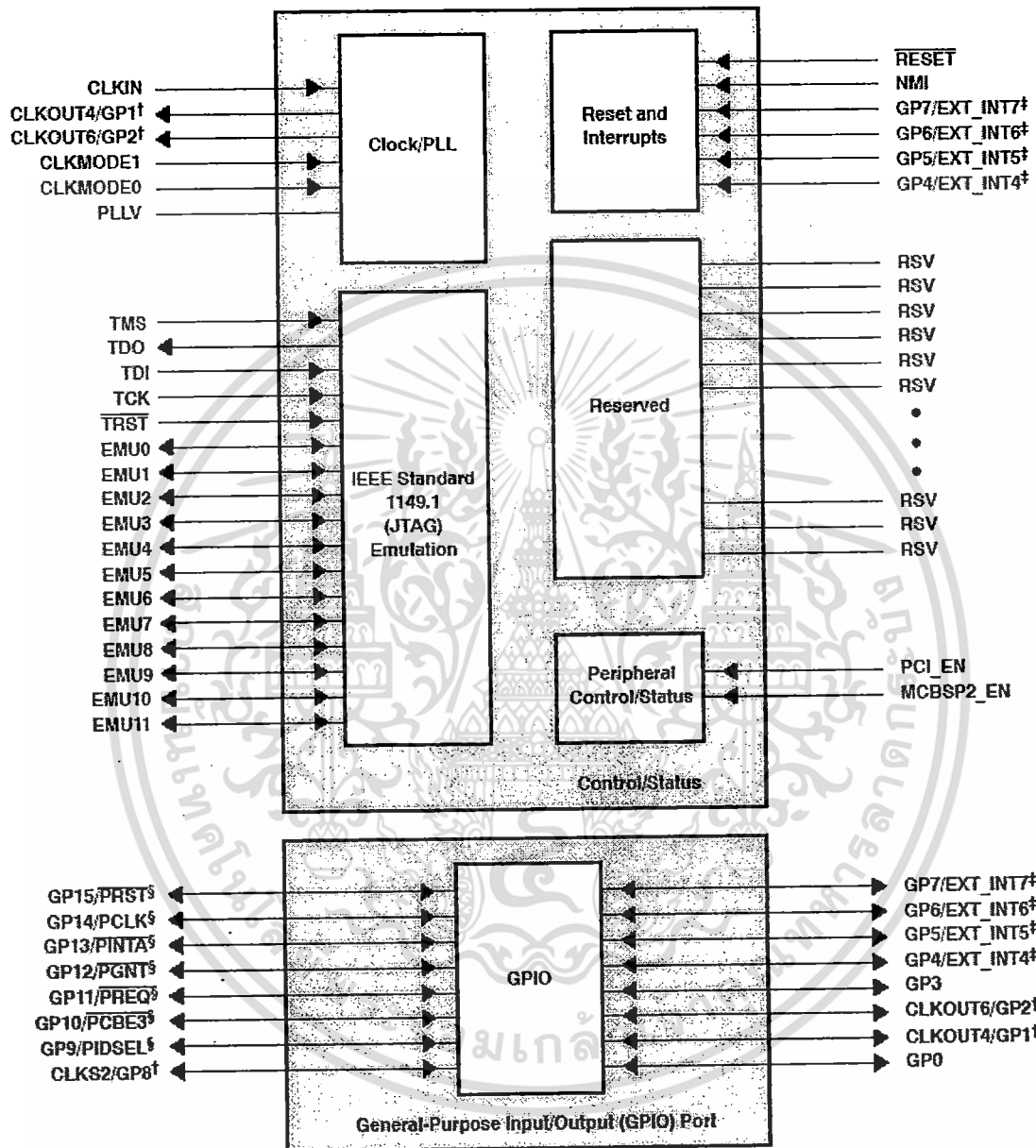
รูปที่ ๗. 2 TMS320C64x™ CPU (DSP Core) Data Paths

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



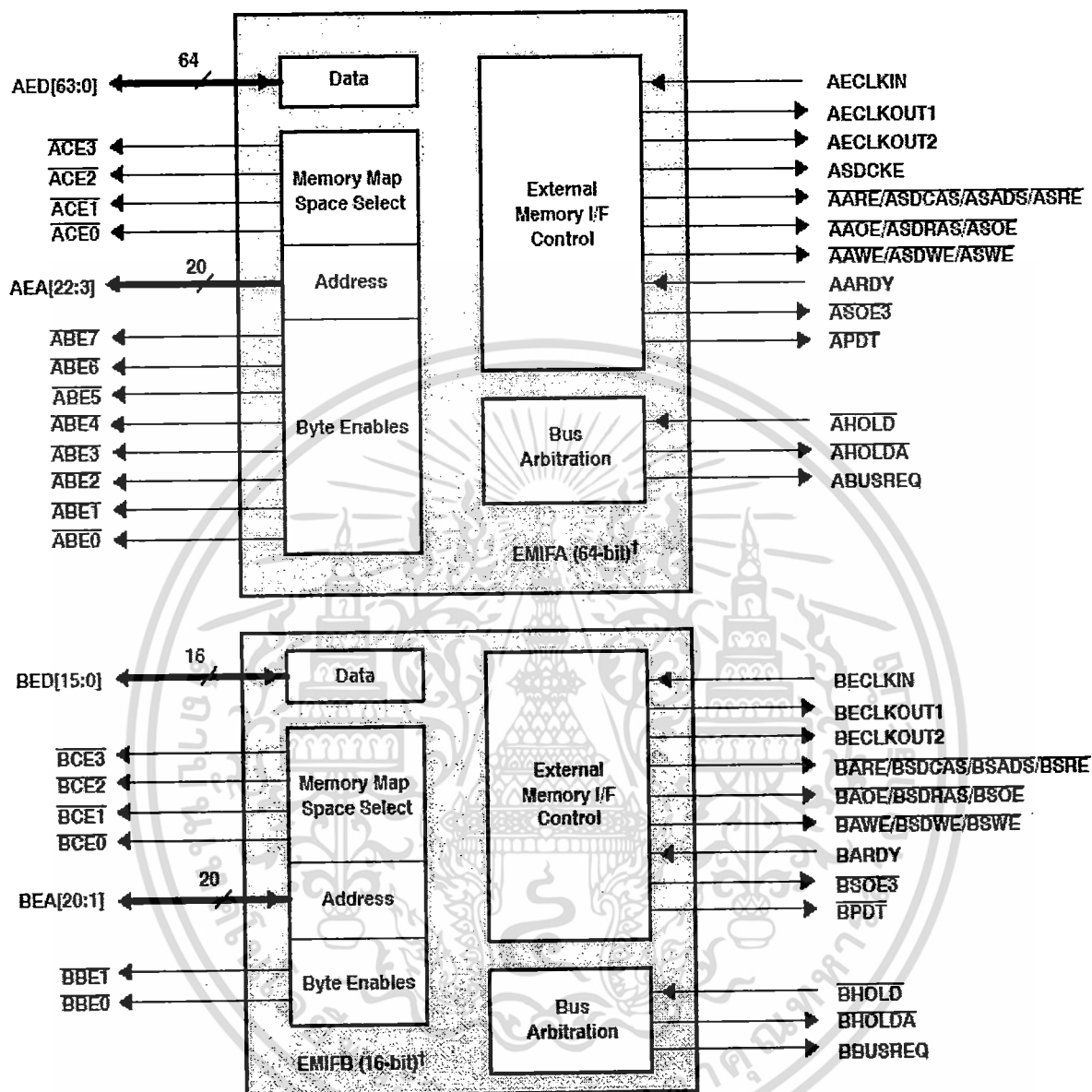
รูปที่ ข. 3 TMS320C6414/C6415/C6416 L2 Architecture Memory Configuration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



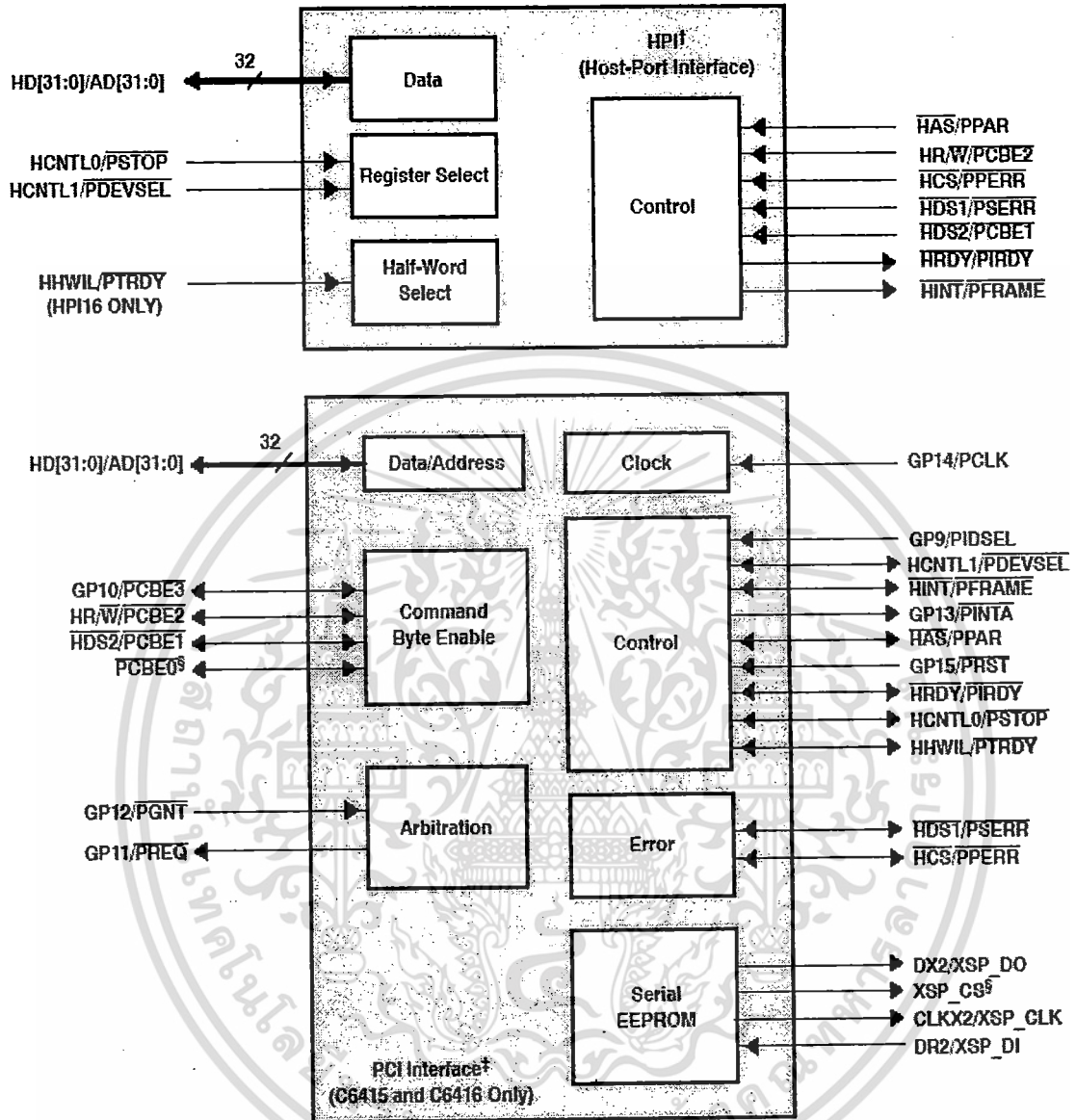
รูปที่ ข. 4 CPU and Peripheral Signals

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



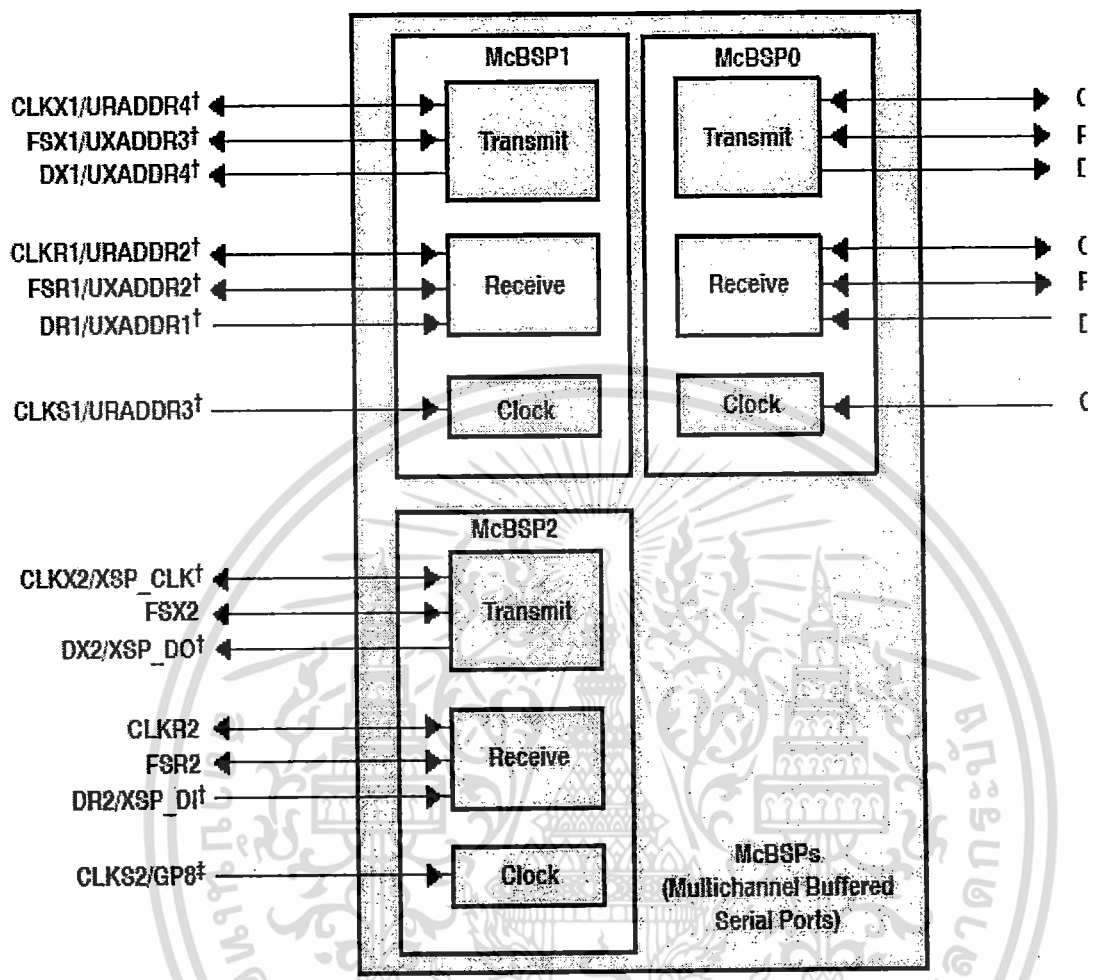
รูปที่ ๗. 5 Peripheral Signals

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ใ้กว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



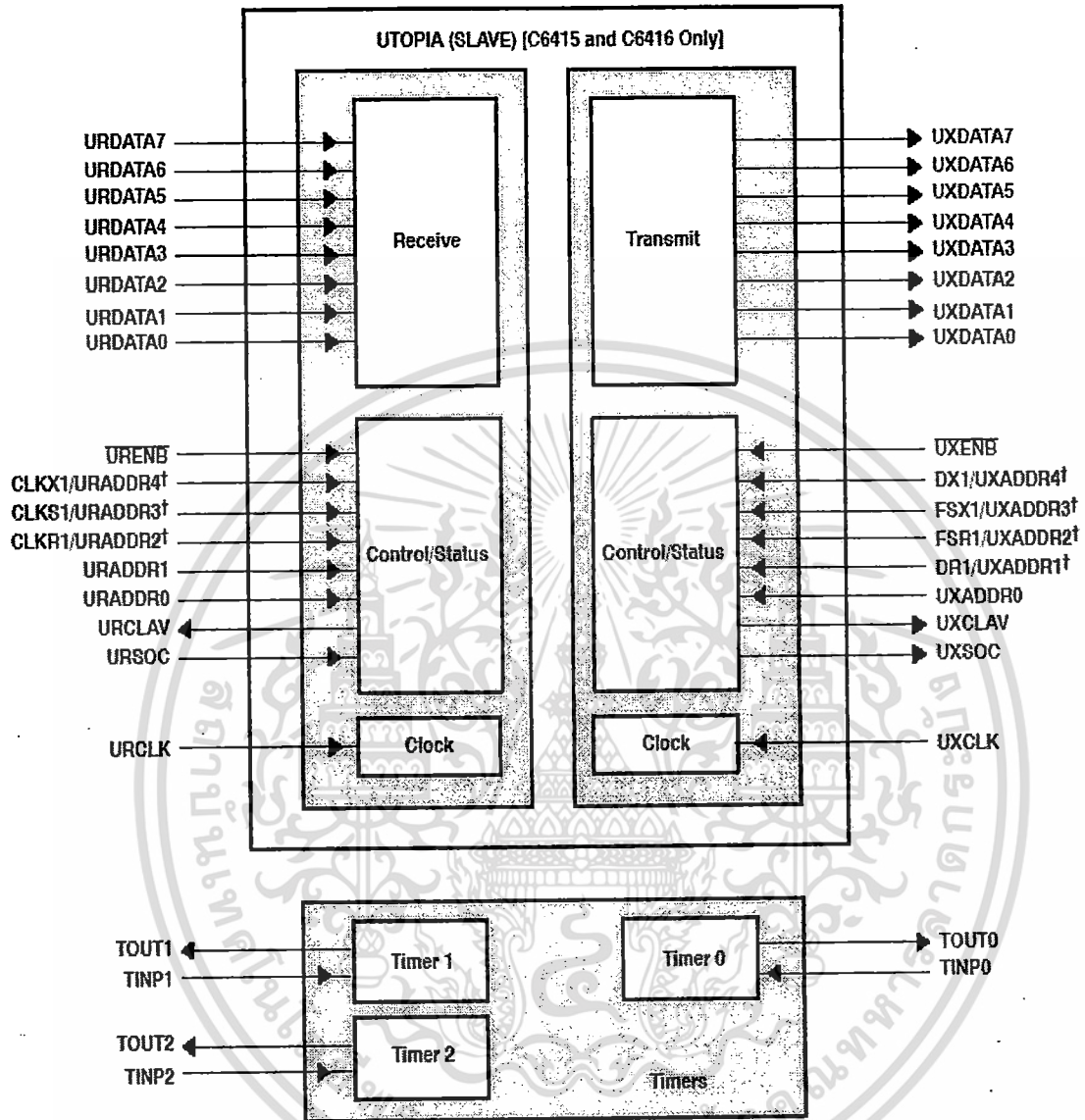
รูปที่ ข. 6 Peripheral Signals (Continued)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๗.7 Peripheral Signals (Continued)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข. 8 Peripheral Signals (Continued)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้