

การควบคุมกำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้อายุไดอะแกรมที่มีค่าซีโรอิท
มาสค์มาร์จินคงที่

A LASER DIODE POWER CONTROL METHOD FOR AN OPTICAL EYE
DIAGRAM WITH A CONSTANT ZERO HIT MASK MARGIN



ชาญชัย ป้อมสุวรรณ
CHANCHAI POMSUWAN

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 105043
ปีพิมพ์..... 1 2 พ.ศ. 2552

b..... 12165106
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2552

**A LASER DIODE POWER CONTROL METHOD FOR AN OPTICAL EYE
DIAGRAM WITH A CONSTANT ZERO HIT MASK MARGIN**

CHANCHAI POMSUWAN

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

2009

KMITL-2009-EN-M-040-082

COPYRIGHT 2009

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การควบคุมกำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้อายุไดอะแกรมที่มีค่าซีโรฮิตมาร์จิ้นคงที่

Thesis Title A Laser Diode Power Control Method for an Optical Eye Diagram with a Constant Zero Hit Mask Margin

นักศึกษา นายชาญชัย ป้อมสุวรรณ


รหัสประจำตัว 47060458

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.พลผดุง ผดุงกุล

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-040-082

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สุริภณ	สมควรพาณิชย์	
ผศ.ดร.สุทธิชัย	นพนาถิพงษ์	
รศ.ดร.อริคม	ฤกษ์บุตร	
ดร.ศิริเดช	บุญแสง	
ผศ.พลผดุง	ผดุงกุล	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 21 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 เวลา 13.30 – 15.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 21 พฤษภาคม พ.ศ. 2552

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การควบคุมกำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้อายไดอะแกรมที่มีค่าซีโรฮิมาสค์มาร์จินคงที่
นักศึกษา	นายชาญชัย ป้อมสุวรรณ
รหัสประจำตัว	47060458
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ. พลผดุง ผดุงกุล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการควบคุมกำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้อายไดอะแกรมที่มีค่าซีโรฮิมาสค์มาร์จินคงที่เพื่อทำให้ได้ออปติคคอลลายไดอะแกรมที่เหมาะสมภายใต้ช่วงอุณหภูมิใช้งาน ออปติคคอลลายไดอะแกรมจะถูกปรับค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานตามสมการกำลังสองและสมการเชิงเส้นตามลำดับซึ่งคำนวณมาจากการปรับหาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมของค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานขณะที่ได้ออปติคคอลลายไดอะแกรมที่เหมาะสม ออปติคคอลลายไดอะแกรมที่เหมาะสมพิจารณาจากการทดสอบออปติคคอลลายไดอะแกรมด้วยซีโรฮิมาสค์มาร์จินซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานช่องทางการสื่อสารทางแสง

Thesis	A Laser Diode Power Control Method for an Optical Eye Diagram with a Constant Zero Hit Mask Margin
Student	Mr.Chanchai Pomsuwan
Student ID.	47060458
Degree	Master of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Assist. Prof. Polphadung Phadungkul

ABSTRACT

The paper presents a laser diode power control method for an optical eye diagram with a constant zero hit mask margin to optimize optical transmitting eye diagrams over operating temperature range. Optical eye diagrams are adjusted an optical power and extinction ratio over temperature following to quadratic equation and linear equation respectively which are calculated from curve fitting technique of optical power and extinction ratio acquisition as the optical eye diagrams are optimized. The optimized eye diagrams are considered by zero hit mask margin test compliant with Fibre Channel standards.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยคำชี้แนะและคำปรึกษาจากอาจารย์ ผศ. พลผดุง ผดุงกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและกราบขอบคุณอาจารย์ ผศ. ดร. สุริภณ สมควรพาณิชย์ ซึ่งช่วยให้คำชี้แนะในหัวข้อและเค้าโครง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่ที่ช่วยให้กำลังใจและสนับสนุนในการเดินทางไปนำเสนอบทความในต่างประเทศ

ขอกราบขอบคุณเพื่อนๆที่ช่วยสนับสนุนแรงงานและที่ให้กำลังใจจนบทความเสร็จสมบูรณ์

ชาญชัย ป้อมสุวรรณ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนของการวิจัย.....	4
1.7 วรรณกรรมปริทัศน์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
บทที่ 2 โครงสร้างพื้นฐานและหลักการทำงานของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสง.....	8
2.1 อุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงคืออะไร.....	8
2.2 หลักการทำงานของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสง.....	8
2.3 โครงสร้างของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสง.....	9
2.4 การวัดอายุไดโอดเปล่งแสง.....	11
2.5 พารามิเตอร์ของอายุไดโอดเปล่งแสง.....	11
2.6 การทดสอบด้วยมาสก์ (Mask test).....	15
2.7 คุณลักษณะเลเซอร์กับอุณหภูมิ.....	17
2.8 วิธีคงค่ากำลังงานแสงและอัตราส่วนกำลังงาน.....	18
บทที่ 3 ส่วนควบคุมการทำงานของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงและออกแบบโครงสร้างส่วนควบคุม.....	21
3.1 สถาปัตยกรรมไมโครคอนโทรลเลอร์.....	21
3.2 ออกแบบโครงสร้างตัวควบคุม.....	23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3	การปรับหาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสม (Curve Fitting).....	28
3.4	การปรับหาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมแบบเชิงเส้น (Linear Curve Fitting)	29
3.5	วิธีกำลังสองน้อยสุด (Least Square).....	29
3.6	การปรับหาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมแบบพหุนาม (Polynomial Curve Fitting)	31
บทที่ 4	ขั้นตอนการปฏิบัติและผลการทดสอบ	32
4.1	ขั้นตอนการปฏิบัติ.....	32
4.2	การสร้างสมการการปรับค่ากำลังงานและค่าอัตราส่วนกำลังงาน.....	32
4.3	สมการการปรับค่ากำลังงานและค่าอัตราส่วนกำลังงานจากการหาเส้นโค้ง ความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ.....	35
4.4	การเปลี่ยนแปลงของออปติกคอลลาออยไดอะแกรมที่อุณหภูมิต่างๆของวิธีการคงค่า กำลังงานและอัตราส่วนกำลังงาน.....	36
4.5	การเปลี่ยนแปลงของออปติกคอลลาออยไดอะแกรมที่อุณหภูมิต่างๆของวิธีการควบคุม กำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้อายไดอะแกรมที่มีค่าซีโรฮิมาสค์มาร์จินคง ที่.....	38
4.6	ความคลาดเคลื่อนของค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานจากการคำนวณกับ การวัดของวิธีการควบคุมกำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้อายไดอะแกรม ที่มีค่าซีโรฮิมาสค์มาร์จินคงที่.....	41
4.7	การเปรียบเทียบผลซีโรฮิมาสค์มาร์จินที่ได้จากวิธีคงค่ากำลังงานและอัตราส่วน กำลังงานและวิธีการควบคุมกำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้อายไดอะแกรม ที่มีค่าซีโรฮิมาสค์มาร์จินคงที่.....	42
4.8	ผลการชุ่มทดสอบบนอุปกรณ์ตัวอย่าง (Sample)	43
4.9	การเปรียบเทียบผลค่ากำลังงานน้อยสุดที่ทำให้เกิดบิดผิดพลาด 1 บิตจากการส่ง 10^{12} บิตที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส.....	44
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	46
บรรณานุกรม.....		48

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก. แผนผังหลักการทำงานของโปรแกรม.....	49
ภาคผนวก ข. การหาค่าคงที่สำหรับส่วนตรวจสอบค่าดิจิทัล.....	54
ภาคผนวก ค. โปรแกรม.....	60
ภาคผนวก ง. เครื่องมือทดสอบและตัวงานทดสอบ.....	83
ภาคผนวก จ. คำศัพท์เทคนิคเฉพาะ.....	86
ภาคผนวก ฉ. บทความวิจัยที่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสาร.....	88
ประวัติผู้เขียน.....	94

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ข้อมูลค่ากำลังงานแสงและค่าอัตราส่วนกำลังงานถูกเก็บ 6 ช่วงอุณหภูมิคือ -40, -20, 0, 25, 50 และ 85 องศาเซลเซียส.....	33
4.2 ผลการทดสอบด้วยวิธีการคงค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงาน.....	38
4.3 ผลการทดสอบด้วยการควบคุมกำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้อายุไดอะแกรมที่มีค่าซีโรฮิมาสค์มาร์จินคงที่.....	40
4.4 เปรียบเทียบผลซีโรฮิมาสค์มาร์จินระหว่างวิธีคงค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานกับวิธีการควบคุมกำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้อายุไดอะแกรมที่มีค่าซีโรฮิมาสค์มาร์จินคงที่.....	42
4.5 ผลซีโรฮิมาสค์มาร์จินของตัวงานทดลองด้วยวิธีปรับค่าตามสมการการปรับค่ากำลังงานและค่าอัตราส่วนกำลังงานแบบแปรผันกับอุณหภูมิ.....	43
ข.1 ค่าจิตติอลของอุณหภูมิสำหรับตัวตรวจสอบอุณหภูมิ.....	54
ข.2 ค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิ.....	56
ข.3 ค่าจิตติอลของกำลังงานแสงและค่าจิตติอลรีซิสเตอร์สำหรับมอดดูเลชัน.....	56
ข.4 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าตรวจสอบกำลังงานแสง.....	58
ข.5 ค่าความคลาดเคลื่อนของกำลังงานแสงในสมการปรับค่ากำลังงานแสง.....	59

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การสื่อสารด้วยแสงซึ่งใช้อุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงผ่านใยแก้วนำแสง...	1
1.2 ค่ากำลังงานของแสงกับอุณหภูมิ.....	2
1.3 ออปติกคอลลายไดอะแกรมชนิดพิเศษที่ -40 องศาเซลเซียส.....	3
1.4 การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะเลเซอร์กับอุณหภูมิ.....	6
1.5 วงจรของวงรอบการควบคุมกำลังงาน (Automatic Power Control, APC).....	7
2.1 ระบบการส่งข้อมูลด้วยแสง.....	8
2.2 แผนภาพบล็อกของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสง.....	9
2.3 แผนภาพบล็อกของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงที่ใช้ทดสอบ.....	10
2.4 ตัวอย่างรูปอายไดอะแกรมที่เกิดจากข้อมูลหลายรูปแบบ.....	11
2.5 ช่วงเวลาขาขึ้น (Rise Time) และช่วงเวลาลง (Fall Time).....	12
2.6 แสดงค่าความเบี่ยงเบนของจิทเตอร์โดยนับจากเส้นปะสีแดงจนถึงเส้นปะสีเขียว.....	12
2.7 จิทเตอร์ (Jitter) ทำให้หน้าตาของการซุ่มข้อมูลลดลง.....	13
2.8 ความกว้างของอาย (Eye Width).....	14
2.9 ความสูงของอาย (Eye Height).....	14
2.10 แอมพลิจูดของอาย (Eye Amplitude).....	15
2.11 การทดสอบด้วยมาสก์ (Mask Test)	16
2.12 การต่อเครื่องมือวัดและตัวงานที่จะทดสอบ.....	16
2.13 อุณหภูมิส่งผลกับกำลังงานแสงและอัตราส่วนกำลังงาน.....	17
2.14 การคงค่ากำลังงานแสงและมอดูเลชันที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ให้เท่ากับที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยการเพิ่มกระแสไบอัสและกระแสมอดูเลชัน	18
2.15 ออปติกคอลลายไดอะแกรมที่ 25 องศาเซลเซียสด้วยวิธีคงค่ากำลังงานแสงและ อัตราส่วนกำลังงานหลังจากทดสอบด้วยมาสก์ได้ค่าซีโรฮิทมาส์มาร์จิน 40%	19
2.16 ออปติกคอลลายไดอะแกรมที่ -40 องศาเซลเซียสด้วยวิธีคงค่ากำลังงานแสงและ อัตราส่วนกำลังงานหลังจากทดสอบด้วยมาสก์ได้ค่าซีโรฮิทมาส์มาร์จินเพียง 2%.....	19
2.17 ออปติกคอลลายไดอะแกรมที่ 85 องศาเซลเซียสด้วยวิธีคงค่ากำลังงานแสงและ อัตราส่วนกำลังงานหลังจากทดสอบด้วยมาสก์ได้ค่าซีโรฮิทมาส์มาร์จิน 17%.....	20
3.1 ขาต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	22
3.2 แผนภาพส่วนประกอบภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	20

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 แผนภาพของการออกแบบโปรแกรมสำหรับงานวิจัย.....	24
3.4 แผนภูมิสายงานการทำงานของโปรแกรม.....	25
3.5 AVRStudio โปรแกรมสำหรับพัฒนาและเขียนโปรแกรม.....	26
3.6 AVRStudio โปรแกรมสำหรับโหลดข้อมูลเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์.....	27
3.7 เครื่องมือสำหรับโหลดโปรแกรม AVRISP (AVR In-System Programmer)	27
3.8 แผนภาพบล็อกการต่ออุปกรณ์กับเครื่องมือที่ใช้ในการปรับหาออฟติคคอลลายที่เหมาะสม ก่อนสร้างสมการ.....	28
3.9 ตัวอย่างการปรับหาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมกับกลุ่มข้อมูล.....	28
3.10 ตัวอย่างข้อมูล.....	29
3.11 ความผิดพลาดระหว่างเส้นโค้งกับข้อมูล.....	31
4.1 แสดงค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิเพื่อค่าซีโรอิทมาสเตอร์มาร์จิ้น คงที่และนำไปสู่การสร้างสมการปรับค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงาน.....	33
4.2 แสดงความสัมพันธ์ของค่ากำลังงานแสดงจากตารางที่ 4.1 เทียบกับอุณหภูมิเพื่อใช้ในการ การสร้างสมการการปรับค่ากำลังงาน โดยแปรผันกับอุณหภูมิ.....	34
4.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนกำลังงานจากตารางที่ 4.1 เทียบกับอุณหภูมิ เพื่อใช้ในการสร้างสมการการปรับค่าอัตราส่วนกำลังงาน โดยแปรผันกับอุณหภูมิ.....	34
4.4 ออฟติคคอลลายไดอะแกรมที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียสและ ผลทดสอบซีโรอิทมาสเตอร์มาร์จิ้นได้ 40%.....	36
4.5 ออฟติคคอลลายไดอะแกรมที่ -40 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าสัญญาณมีความ เปลี่ยนแปลงอย่างมากจากอุณหภูมิห้อง โดยพิจารณาจากซีโรอิทมาสเตอร์มาร์จิ้นมีค่าเพียง 2%.....	37
4.6 ออฟติคคอลลายไดอะแกรมที่ 85 องศาเซลเซียสและผลซีโรอิทมาสเตอร์มาร์จิ้นได้ค่าเพียง 17% ซึ่งน้อยกว่าผลที่อุณหภูมิห้อง.....	37
4.7 ออฟติคคอลลายไดอะแกรมที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียสและผลทดสอบซีโรอิท มาสเตอร์มาร์จิ้นได้ 40%.....	39
4.8 ออฟติคคอลลายไดอะแกรมที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียสและได้ผลซีโรอิทมาสเตอร์ มาร์จิ้น 40%.....	39
4.9 ออฟติคคอลลายไดอะแกรมที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสและผลซีโรอิทมาสเตอร์มาร์จิ้น 38%.....	40

สารบัญญรูป (ต่อ)

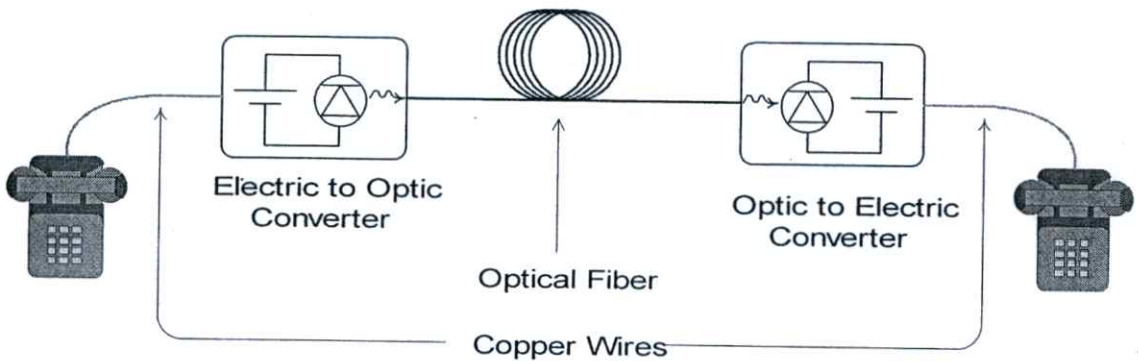
รูปที่	หน้า
4.10 เปรียบเทียบกำลังงานแสงจากสมการปรับค่าที่คำนวณได้ในสมการที่ 4.3 กับ ค่ากำลังงานแสงที่วัดจริง.....	41
4.11 เปรียบเทียบอัตราส่วนกำลังงานจากสมการปรับค่าที่คำนวณได้ในสมการที่ 4.4 กับค่า อัตราส่วนกำลังงานที่วัดจริง.....	42
4.12 แผนภาพบล็อกการทดสอบค่ากำลังงานน้อยสุดที่ทำให้เกิดบิตผิดพลาด 1 บิตจากการ ส่ง 10^{12} บิต.....	44
4.13 ผลค่ากำลังงานน้อยสุดที่ทำให้เกิดบิตผิดพลาดด้วยวิธีคงค่ากำลังงานและ อัตราส่วนกำลังงานกับวิธีปรับค่าตามสมการที่อนุกรม -40 องศาเซลเซียส.....	45
ก.1 แผนผังหลักการทำงาน.....	49
ก.2 แผนผังการทำงานของการทำงานของการแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล.....	51
ก.3 แผนผังการทำงานของการทำงานของการแปลงเป็นค่าตรวจสอบดิจิตอล.....	52
ก.4 แผนผังการทำงานของการทำงานของการปรับค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานอย่างอัตโนมัติ.....	53
ข.1 หาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมแบบเชิงเส้นระหว่างอนุกรมกับค่าดิจิตอลของอนุกรม เพื่อหาสมการอนุกรม.....	55
ข.2 หาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมแบบเชิงเส้นระหว่างกำลังงานแสงกับดิจิตอลของ กำลังงานแสงเพื่อหาค่าคงที่สำหรับค่าตรวจสอบกำลังงานแสง.....	57
ข.3 หาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมแบบพหุนามกำลังสองระหว่างกำลังงานแสงกับอนุกรม.....	59
ง.1 แผนภาพบล็อกการต่อเครื่องมือวัดและทดสอบออปติคคอลลายไดอะแกรม.....	83
ง.2 เครื่องมือที่ใช้วัดและทดสอบออปติคคอลลายไดอะแกรม.....	84
ง.3 เครื่องกำเนิดสัญญาณและตรวจสอบข้อมูลผิดพลาด.....	84
ง.4 หน้าจอแสดงผลของกำเนิดสัญญาณและผลบิตผิดพลาด.....	85

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสง (Optical Transceiver) ถูกใช้อย่างกว้างขวางในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณแสงและกลับกันอีกครั้งที่ฝั่งรับดังรูปที่ 1.1 ดังนั้นคุณภาพของสัญญาณแสงฝั่งส่งจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้การส่งข้อมูลเป็นไปอย่างราบรื่นแต่สัญญาณแสงที่ส่งแปรผันกับอุณหภูมิทำให้สัญญาณแสงที่จะส่งออกไปมีความเปลี่ยนแปลงพิจารณาจากการวัดออปติคคอลลายไคอะแกรม (Optical Eye Diagrams) ที่อุณหภูมิต่างๆ จากผลลัพท์นี้ทำให้ข้อมูลที่มอดูเลชันไปบนแสงมีโอกาสผิดพลาดที่ฝั่งรับด้วย สาเหตุของปัญหาจากค่ากำลังงานของแสง (Optical Light Power) และมอดูเลชัน (Modulation) แปรผันกับอุณหภูมิดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.1 การสื่อสารด้วยแสงซึ่งใช้อุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงผ่านใยแก้วนำแสง

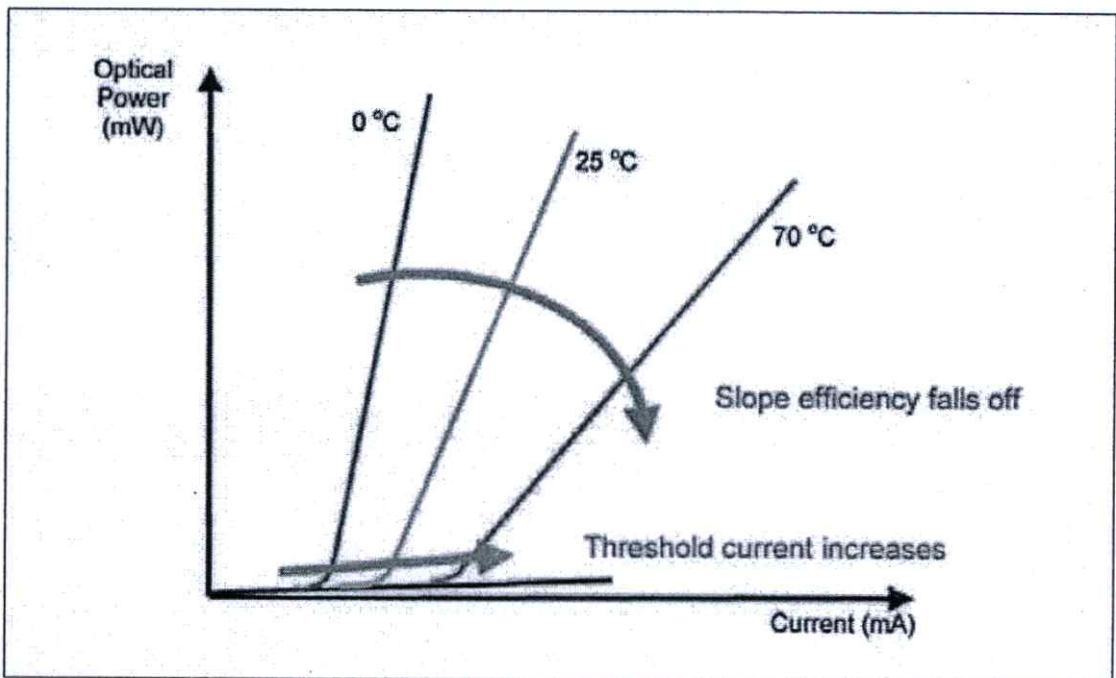
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วัตถุประสงค์ของการศึกษาคือเพื่อปรับปรุงสัญญาณแสงที่ส่งออกไปในสายใยแก้วนำแสงให้เหมาะสมโดยแปรผันกับอุณหภูมิน้อยที่สุดโดยใช้วิธีการปรับค่าไบอัส (Bias) และมอดูเลชันของตัวส่งเพื่อให้ได้ออปติคคอลลายไคอะแกรมที่เหมาะสมและเพื่อเป็นการลดความผิดพลาดของข้อมูลที่ส่ง

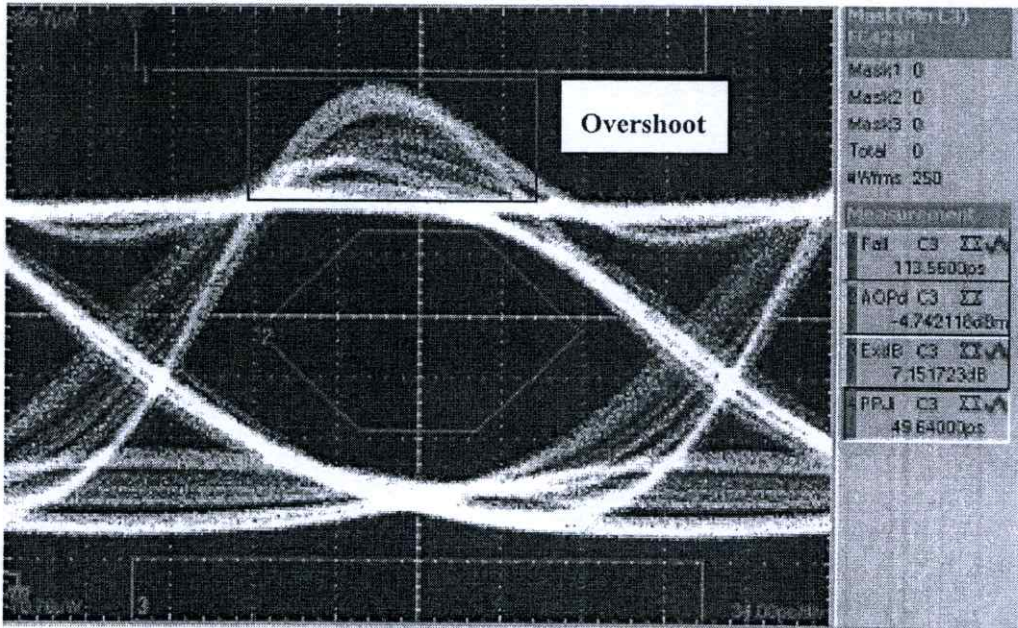
1.3 สมมติฐานของการวิจัย

เนื่องจากกำลังงานของเลเซอร์ผันแปรตามอุณหภูมิดังรูปที่ 1.2 ทำให้กำลังงานของแสงและสัญญาณมอดูเลชันที่ส่งมีค่าเปลี่ยนแปลงไปซึ่งต่างจากค่าที่ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส โดยพิจารณาจากออปติคคอลลายไดอะแกรมที่วัดได้เปลี่ยนแปลงไปดังนั้นวิธีที่จะลดความเปลี่ยนแปลงของออปติคคอลลายไดอะแกรมของสัญญาณแสงคือการปรับค่าไบอัสและมอดูเลชัน

ด้วยเหตุนี้จึงได้นำเสนอบทความว่าด้วยการควบคุมกำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้อายไดอะแกรมที่มีค่าซีโรฮิตมาร์จิ้นคงที่ โดยการปรับค่ากำลังงานของแสงและมอดูเลชันผันแปรกับอุณหภูมิและอิงกับผลทดสอบซีโรฮิตมาร์จิ้น (Zero Hit Mask Margin)



รูปที่ 1.2 ค่ากำลังงานของแสงกับอุณหภูมิ[1]



รูปที่ 1.3 ออฟตีกคอลลายไดอะแกรมผิผิวพื้นที่ -40 องศาเซลเซียส

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในการทดสอบอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงนั้น สัญญาณแสงของตัวส่งจะถูกพิจารณาด้วยวิธีการวัดออฟตีกคอลลายไดอะแกรมที่ใช้ในการทดสอบเพื่อบอกถึงคุณภาพของสัญญาณที่ส่งออกไปในสายใยแก้วนำแสง ตัวแปรของสัญญาณฝั่งส่งที่ถูกวัดซึ่งมีค่าต่างๆหลายตัวแปรแต่ตัวแปรที่ใช้บ่งชี้ปัญหาในการทดลองนี้คือเปอร์เซ็นต์ซีโรฮิตมาร์จิ้น (Zero Hit Mask Margin Percentage) เนื่องจากเลเซอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการส่งข้อมูลแปรผันกับอุณหภูมิดังรูปที่ 1.2 ดังนั้นการปรับค่าไบอัสและค่ามอดูเลชันเพื่อให้เหมาะสมในแต่ละสภาวะการทำงานที่อุณหภูมิต่างๆจึงจำเป็น ตัวแปรที่จำเป็นจะต้องถูกควบคุมเพื่อให้ได้สัญญาณฝั่งส่งที่เหมาะสมได้แก่ กำลังงานของเลเซอร์, กระแสมอดูเลชันที่จ่ายให้กับเลเซอร์ โดยส่วนควบคุมหรือไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) จะเป็นส่วนควบคุมการปรับค่าไบอัสและค่ามอดูเลชันของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงอย่างอัตโนมัติซึ่งแปรผันกับค่าอุณหภูมิของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสง ขณะที่เปอร์เซ็นต์ซีโรฮิตมาร์จิ้นเป็นค่าตัวแปรที่ใช้ในการบ่งบอกถึงคุณภาพออฟตีกคอลลายไดอะแกรม

1.5 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงด้วยวิธีการควบคุมกำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้อายุไดอะแกรมที่มีค่าซีโรฮิทมาสเตอร์จิ้นคงที่ที่อุณหภูมิต่างๆ โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมถูกเขียนด้วยภาษาแอสเซมบลี (Assembly) และการทดสอบสัญญาณแสงหรือออปติคคอลลายไดอะแกรมเป็นไปตามมาตรฐานไฟเบอร์ชานเนลฟิสิคัลอินเตอร์เฟซ (Fibre Channel Physical Interface) ขณะที่เครื่องทดสอบและการตั้งค่าทดสอบเป็นดังนี้

- อุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงของงานวิจัยใช้เลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 850 นาโนเมตรและเป็นเลเซอร์แบบส่งแสงในแนวตั้งฉากกับผิว (Vertical Cavity Surface Emitting Laser, VCSEL)
- เครื่องมือวัดออปติคคอลลายไดอะแกรมคือ Tektronix CSA 8000, Optical Plug-in Module 4G 80C12
- อัตราส่งข้อมูล (Data Rate) 4.25 Gb/s, รูปแบบ (Pattern) PRBS7, แอมพลิจูดข้อมูล (Data Amplitude) 500mVpp, แอมพลิจูดของสัญญาณนาฬิกา (Clock Amplitude) 500mVpp
- ใยแก้วนำแสงแบบ 50um/125um (ขนาดแกนกลาง (Core) 50 ไมโครเมตร /ขนาดส่วนหุ้มแกนกลาง (Cladding) 125 ไมโครเมตร)
- แรงดันไฟฟ้า (Supply Voltage) สำหรับอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงเป็น 3.3 โวลต์ (Volt)

1.6 ขั้นตอนของการวิจัย

- ศึกษาโครงสร้างและหลักการการทำงานของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสง
- ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเลเซอร์ที่แปรผันกับอุณหภูมิเช่นกระแสขีดเริ่ม (Threshold Current), กำลังงานแสง, กระแสไบอัส
- ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของออปติคคอลลายไดอะแกรมที่อุณหภูมิต่างๆ
- ศึกษาผลการเปลี่ยนค่ากำลังงานแสง (Optical Light Power) และค่าอัตราส่วนกำลังงาน (Extinction Ratio) ต่อออปติคคอลลายไดอะแกรมที่อุณหภูมิต่างๆ
- นำค่ากำลังงานแสงและค่าอัตราส่วนกำลังงานที่ทำให้ให้ออปติคคอลลายไดอะแกรมเหมาะสมที่อุณหภูมิต่างๆมาหาความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและสร้างสมการการปรับค่า
- ออกแบบแต่ละส่วนการทำงานในส่วนควบคุมและเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน

- ทดสอบโปรแกรมที่ใช้สมการการปรับค่ากำลังงานแสงและค่าอัตราส่วนกำลังงานที่หาได้จากขั้นตอนข้างบนและพิจารณาผลทดสอบออฟติคคอลลายไคอะแกรมด้วยมาสค์

วิทยานิพนธ์นี้ได้ถูกแบ่งเป็น 5 บทและ 4 ภาคผนวก โดยในแต่ละบทมีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา, ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา, สมมติฐานของการศึกษา, ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย, ขอบเขตการวิจัยและขั้นตอนของการวิจัย, วรรณกรรมปริทัศน์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

บทที่ 2 กล่าวถึงโครงสร้างพื้นฐานและหลักการทำงานของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสง, ออฟติคคอลลายไคอะแกรมคืออะไร, การวัดอายุไคอะแกรม, พารามิเตอร์ของอายุไคอะแกรม, การทดสอบด้วยมาสค์ (Mask Test), และคุณลักษณะเลเซอร์กับอนุกรม

บทที่ 3 กล่าวถึงตัวควบคุมการทำงานของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงและการสร้างสมการ, สถาปัตยกรรมไมโครคอนโทรลเลอร์และการออกแบบโครงสร้างตัวควบคุม

บทที่ 4 กล่าวถึงขั้นตอนปฏิบัติและผลการทดลอง, วิธีสร้างสมการการปรับค่ากำลังงานและค่าอัตราส่วนกำลังงาน, การเปลี่ยนแปลงของออฟติคคอลลายไคอะแกรมที่อุณหภูมิต่างๆ และการเปรียบเทียบผลค่ากำลังงานน้อยสุดที่ทำให้เกิดบิตผิดพลาด (Sensitivity) ที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส

บทที่ 5 กล่าวถึงบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ภาคผนวก ก. แผนผังหลักการทำงานของโปรแกรม

ภาคผนวก ข. การหาค่าคงที่สำหรับค่าตรวจสอบดิจิทัล (Digital Optical Monitoring, DOM)

ภาคผนวก ค. โปรแกรม

ภาคผนวก ง. เครื่องมือทดสอบและตัวงานทดสอบ

ภาคผนวก จ. คำศัพท์เทคนิค

ภาคผนวก ฉ. บทความวิจัยที่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสาร

1.7 วรรณกรรมปริทัศน์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้นำมาใช้งานในปัจจุบันคือแนวคิดวิธีการคงค่ากำลังงานแสงและอัตราส่วนกำลังงานเป็นการรักษาค่ากำลังงานแสงและอัตราส่วนกำลังงานให้เท่าเดิมในช่วงอุณหภูมิใช้งาน เนื่องจากคุณลักษณะของเลเซอร์เช่นกำลังงานแสง, กระแสขีดเริ่ม (I_{th}) และค่าประสิทธิภาพความชัน (η) ของกำลังงานแสงต่อกระแส แปรผันกับอุณหภูมิ ดังรูปที่ 1.4 ทำให้คุณภาพของสัญญาณแสงของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงมีประสิทธิภาพลดลง กำลังงานแสงเปลี่ยนแปลงอย่างมากกับอุณหภูมิเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสขีดเริ่ม เพื่อที่จะชดเชยการเปลี่ยนแปลงของกระแสขีดเริ่มสามารถทำได้ด้วยวงรอบการควบคุมกำลังงานแสงอัตโนมัติดังรูปที่ 1.5 วงรอบ

การควบคุมนี้จะตรวจสอบกระแสย้อนกลับจากโฟโอดีไดโอดและปรับกระแสไบอัสเพื่อให้กระแสโฟโอดีไดโอดคงที่ ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสโฟโอดีไดโอดกับกำลังงานแสงเป็นเชิงเส้นอย่างอุดมคติซึ่งกำลังงานแสงจะคงที่ถ้ารักษาให้กระแสโฟโอดีไดโอดให้คงที่

P_1 คือกำลังงานตรรกะหนึ่ง

P_0 คือกำลังงานตรรกะศูนย์

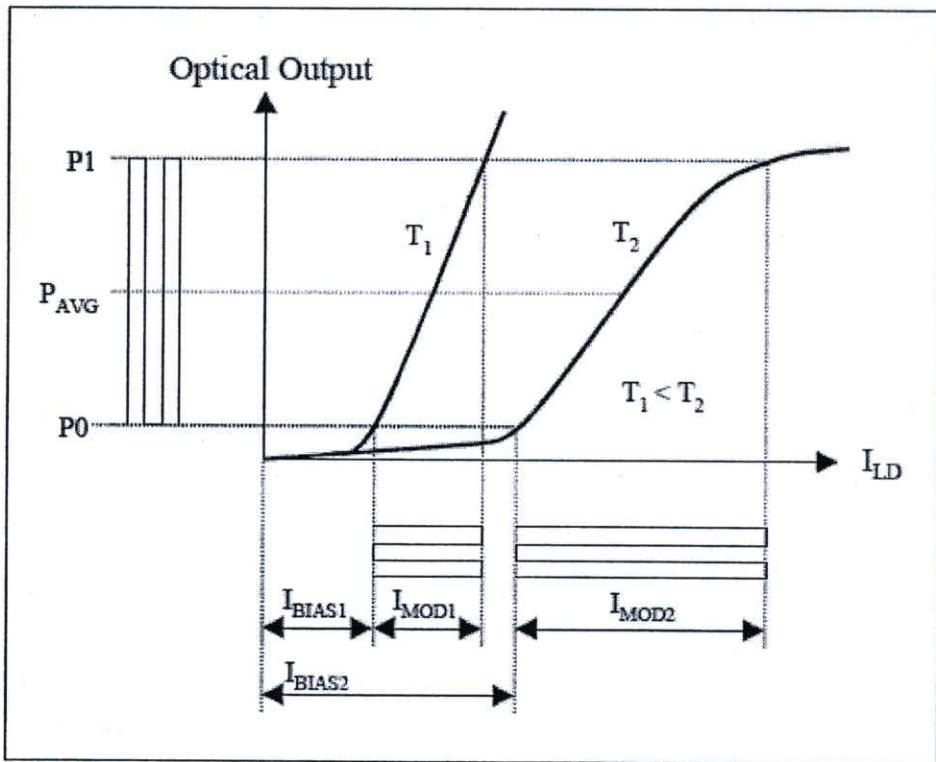
P_{AVG} คือกำลังงานเฉลี่ย

I_{BIAS1} คือกระแสไบอัสที่อุณหภูมิ T_1

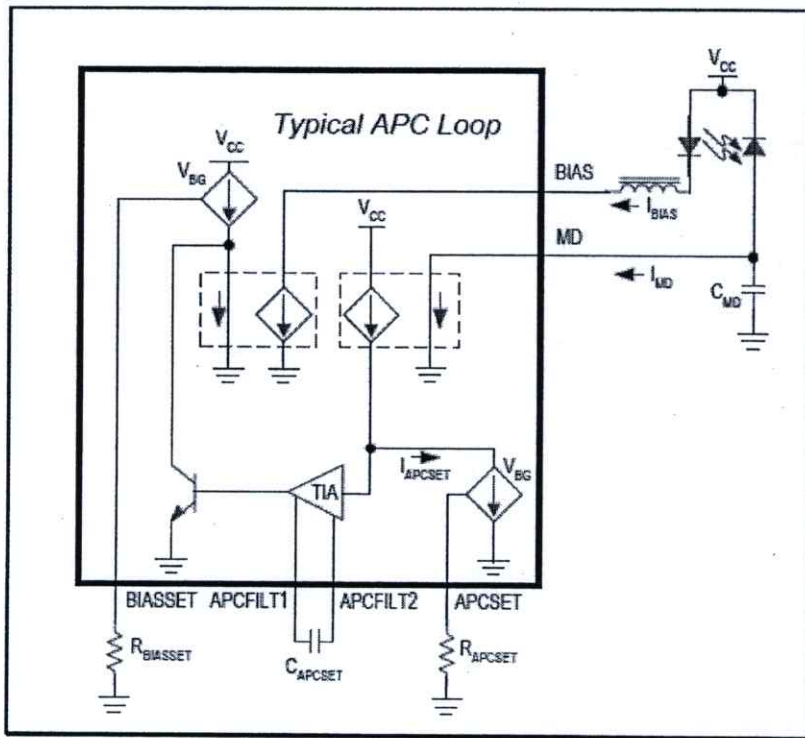
I_{BIAS2} คือกระแสไบอัสที่อุณหภูมิ T_2

I_{MOD1} คือกระแสมอดูเลชันที่อุณหภูมิ T_1

I_{MOD2} คือกระแสมอดูเลชันที่อุณหภูมิ T_2



รูปที่ 1.4 การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะเลเซอร์กับอุณหภูมิ



รูปที่ 1.5 วงจรของวงรอบการควบคุมกำลังงาน (Automatic Power Control, APC)

แนวคิดวิธีการคงค่าอัตราส่วนกำลังงานได้ใช้วิธีตัวแปร (K factor) เพื่อเพิ่มกระแส modulation ในสัดส่วนกับกระแสไบอัสตามสมการที่ 1.1 ขณะที่กระแสไบอัสเพิ่มขึ้นด้วยรูปควบคุมกำลังงาน สัดส่วนของกระแสไบอัสจะถูกเพิ่มเข้าไปกับกระแส modulation (I_{MODS}) ซึ่งกำหนดด้วยความต้านทานสำหรับ modulation (R_{MODSET}) ด้วยคั้งนั้นกระแส modulation ทั้งหมด (I_{MOD}) จะเท่ากับกระแส modulation (I_{MODS}) บวกด้วยตัวแปรคูณกับกระแสไบอัสดังสมการที่ 1.2

ΔI_{MOD} คือผลต่างกระแส modulation ระหว่าง T1 และ T2

ΔI_{BIAS} คือผลต่างกระแสไบอัสระหว่าง T1 และ T2

$$K = \Delta I_{MOD} / \Delta I_{BIAS} \tag{1.1}$$

$$I_{MOD} = I_{MODS} + K * I_{BIAS} \tag{1.2}$$

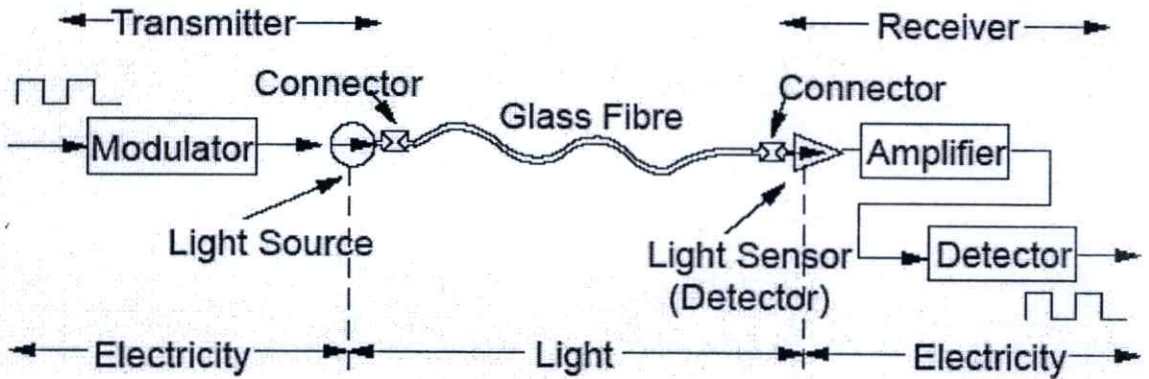
จากแนวคิดคงค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงาน ผู้วิจัยได้ทำการทดลองควบคุมค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานให้คงที่แต่ก็ได้ผลทดสอบคุณภาพสัญญาณแสงที่ลดต่ำลงมากที่ -40 องศาเซลเซียสดังรูปที่ 1.3 เมื่อเทียบกับผลทดสอบที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเสนอวิธีปรับค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานแบบใหม่โดยพยายามทำให้ค่าซีโรเทมเพอราเจอร์จิ้งคงที่ในทุกช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน

บทที่ 2

โครงสร้างพื้นฐานและหลักการทํางานของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสง

2.1 อุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงคืออะไร

อุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงคืออุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งและรับข้อมูลสองทางด้วยแสง โดยผ่านตัวนำใยแก้วนำแสง



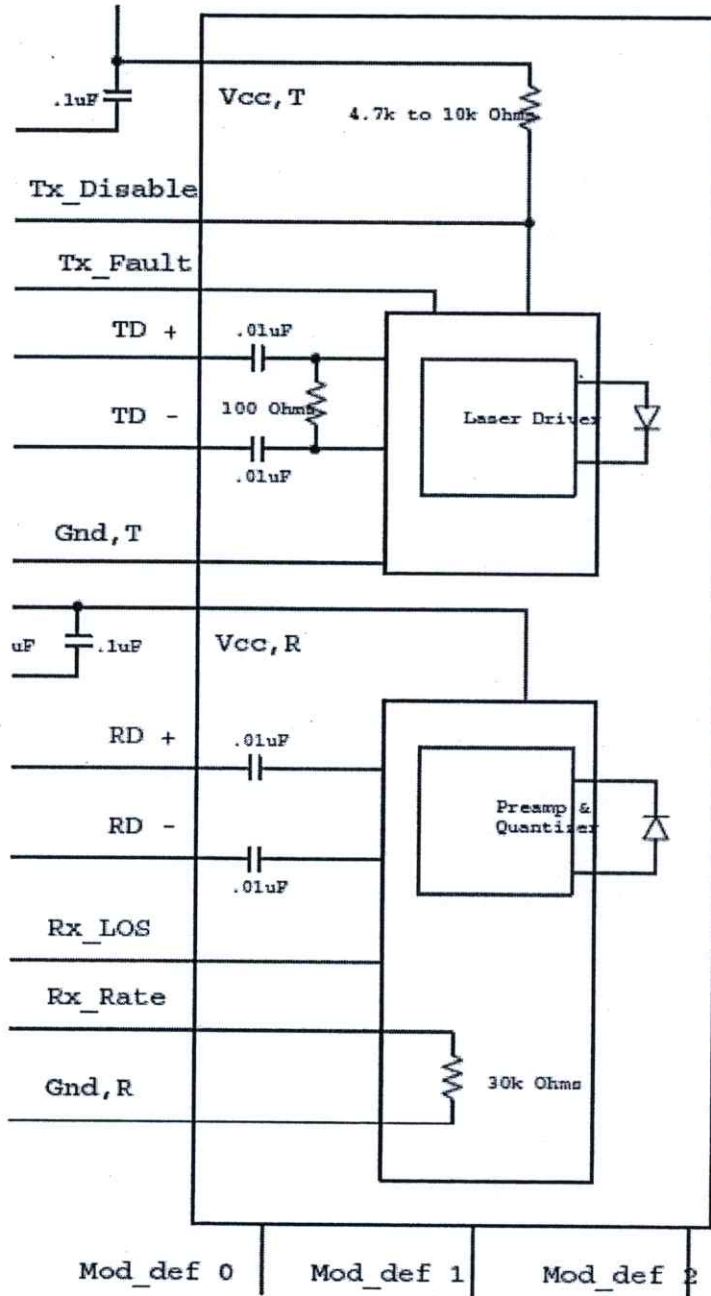
รูปที่ 2.1 ระบบการส่งข้อมูลด้วยแสง[2]

2.2 หลักการทํางานของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสง

การทํางานของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงคือจะแปลงข้อมูลดิจิทัล (Digital) ทางไฟฟ้าไปเป็นแสงคือสว่างกับมืดซึ่งสว่างแทนตรรกะหนึ่ง (Logic one) มืดแทนตรรกะศูนย์ (Logic zero) ต่อจากนั้นแสงจะถูกส่งผ่านไปใยแก้วนำแสงไปยังปลายทาง ที่ปลายทางอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงก็จะแปลงแสงกลับเป็นข้อมูลดิจิทัลทางไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

2.3 โครงสร้างของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสง

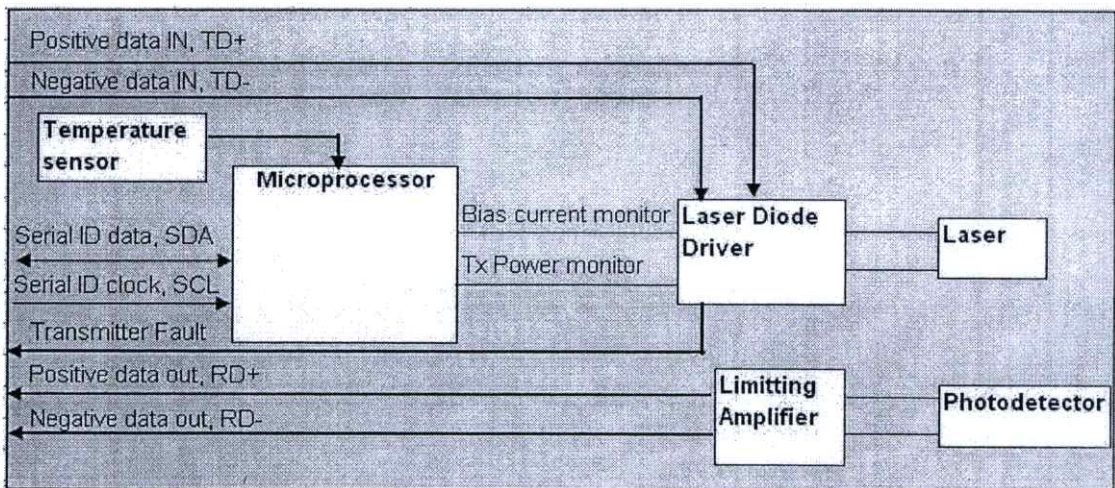
อุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงมีส่วนประกอบหลักๆ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนภาพบล็อกของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสง[3]

ส่วนประกอบอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงในรูปที่ 2.2 แต่ละส่วนย่อยมีหน้าที่ดังนี้

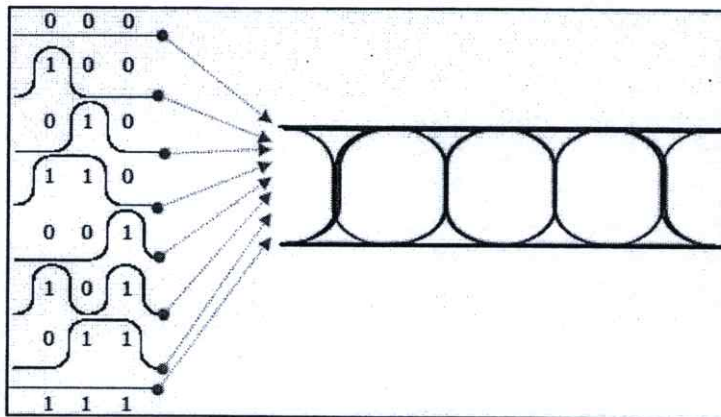
- วงจรขับนำเลเซอร์ (Laser Driver Diode) ทำหน้าที่ขับกระแสไบอัสให้กับเลเซอร์และกระแสמודคูเลชั่นสัญญาณ
- วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณจากโฟโตไดโอด
- เลเซอร์ (Laser) ทำหน้าที่ส่งข้อมูลด้วยแสง
- ตัวรับแสงหรือโฟโตไดโอด (Photo Diode) ทำหน้าที่รับข้อมูลแสง
- Tx_Disable เป็นสัญญาณจากภายนอกที่ใช้สำหรับหยุดการทำงานของเลเซอร์
- MOD_DEF(0) เป็นขาที่บ่งบอกว่าอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงต่ออยู่ในเครื่อง เมื่อขานี้ต่อกราวด์
- MOD_DEF(1) เป็นขาสัญญาณนาฬิกาใช้สำหรับการติดต่อแบบสองเส้นสัญญาณ (Two wire interface)
- MOD_DEF(2) เป็นขาข้อมูลใช้สำหรับการติดต่อแบบสองเส้นสัญญาณ
- TD-/TD+ เป็นสัญญาณหรือข้อมูลที่ส่ง
- RD-/RD+ เป็นสัญญาณหรือข้อมูลที่รับ
- Tx Fault เป็นสัญญาณจากวงจรถับนำเลเซอร์ไดโอด (Laser diode driver circuit) LDD ที่บ่งบอกว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นขณะไบอัสเลเซอร์
- Rx_Rate_Select เป็นขาให้เลือกกระหว่างเต็มแบนด์วิธ (Full bandwidth) หรือลดแบนด์วิธ



รูปที่ 2.3 แผนภาพบล็อกของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงที่ใช้ทดสอบ

2.4 การวัดอายุไดอะแกรม

การวัดอายุไดอะแกรมคือวิธีที่เร็วในการประเมินคุณภาพของสัญญาณดิจิทัล ขณะที่สัญญาณควรมีรูปแบบข้อมูลทุกรูปแบบที่เป็นไปได้ตั้งแต่ 000 จนถึง 111 ดังรูปที่ 2.4 และรวมถึงการเปลี่ยนเป็นบิตหนึ่ง (bit 1) หลังจากรูปแบบข้อมูลเป็นบิตศูนย์เป็นเวลานานๆ [4]



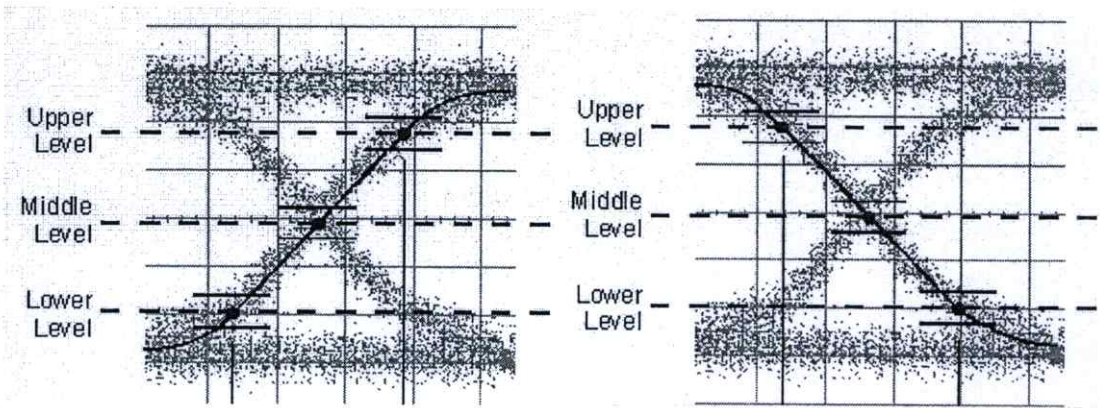
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างรูปอายุไดอะแกรมที่เกิดจากข้อมูลหลายรูปแบบ [4]

2.5 พารามิเตอร์ของอายุไดอะแกรม

ค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ของออปติกคอลอายุไดอะแกรมมีหลายค่าพารามิเตอร์เช่น ช่วงเวลาขาขึ้น (Rise Time), ช่วงเวลาขาลง (Fall Time), จิตเตอร์ (Jitter), ความกว้างของอายุ (Eye Width), ความสูงของอายุ (Eye Height), แอมพลิจูดของอายุ (Eye Amplitude) และอื่นๆ ซึ่งค่าเหล่านี้ได้จากการวัดอายุไดอะแกรมเป็นตัวบ่งบอกคุณภาพสัญญาณแสง ขณะที่วิธีอีกหนึ่งวิธีที่ใช้ในการทดสอบออปติกคอลอายุไดอะแกรมที่สามารถบอกถึงคุณภาพได้และง่ายต่อการทดสอบคือวิธีการทดสอบด้วยมาสก์ (Mask Test)

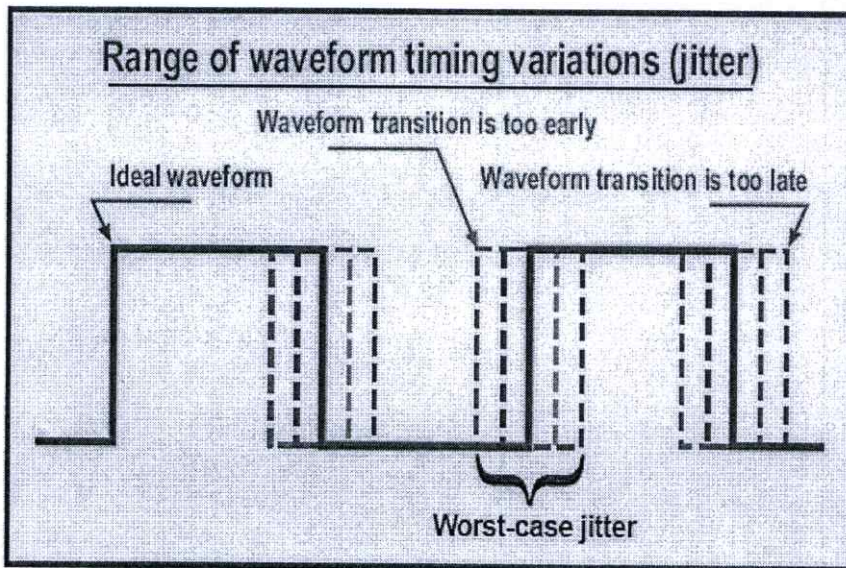
ช่วงเวลาขาขึ้น (Rise Time) คือเวลาเฉลี่ยของการเปลี่ยนของข้อมูลบนขาขึ้นของความชันของอายุไดอะแกรมดังรูปที่ 2.5

ช่วงเวลาขาลง (Fall Time) คือเวลาเฉลี่ยของการเปลี่ยนของข้อมูลบนขาลงของความชันของอายุไดอะแกรมดังรูปที่ 2.5

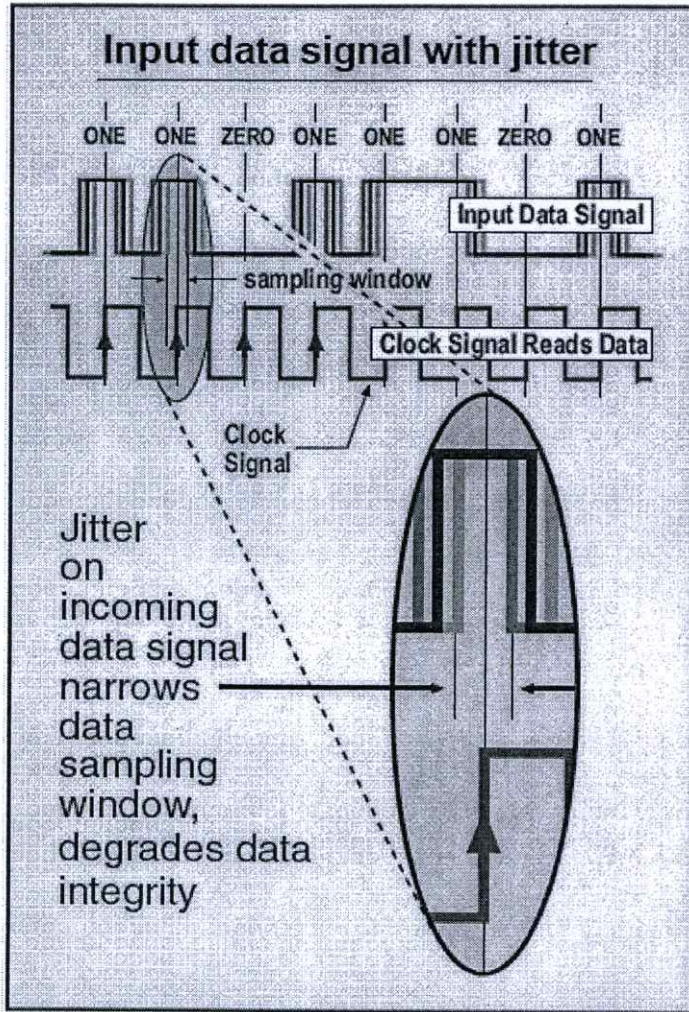


รูปที่ 2.5 ช่วงเวลาขาขึ้น (Rise Time) และช่วงเวลาขาลง (Fall Time)

jitter (Jitter) คือค่าความเบี่ยงเบนไปจากตำแหน่งเวลาในอุดมคติของเหตุการณ์อ้างอิง หรือจุดอ้างอิง [8] ดังรูปที่ 2.6 และ 2.7



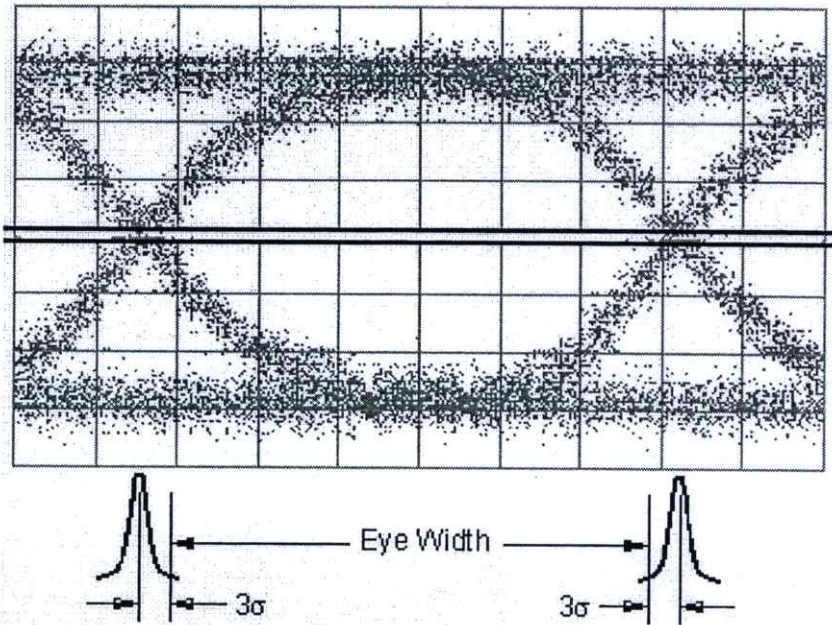
รูปที่ 2.6 แสดงค่าความเบี่ยงเบนของ jitter โดยนับจากเส้นปะสีแดงจนถึงเส้นปะสีเขียว



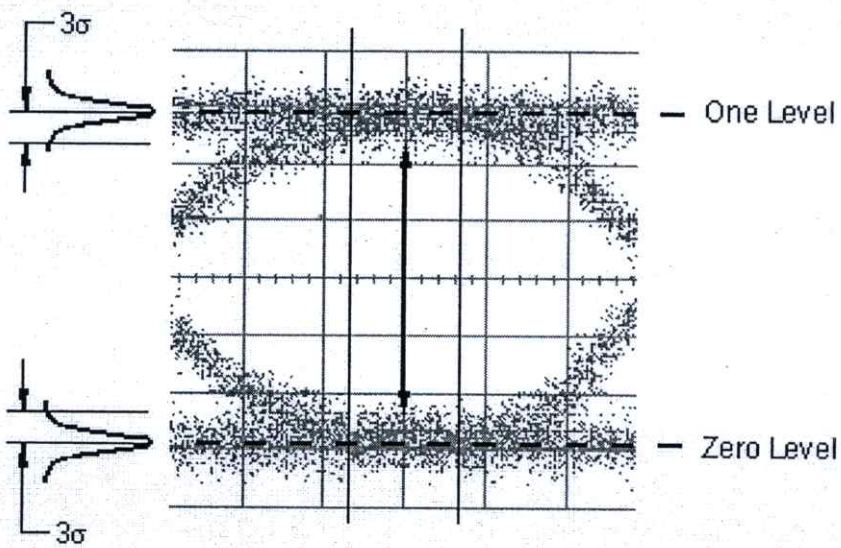
รูปที่ 2.7 จิตเตอร์(Jitter) ทำให้หน้าต่างการซุ่มข้อมูลลดลง

ความกว้างของอาย (Eye Width) คือความกว้างแนวอนของอายไดอะแกรมซึ่งจะถูกวัดระยะห่างระหว่างจุดตัดกันของอายไดอะแกรมดังรูปที่ 2.8

ความสูงของอาย (Eye Height) คือความกว้างแนวตั้งฉากของอายไดอะแกรมซึ่งจะถูกวัดระยะห่างระหว่างพลังงานตรรกะหนึ่งกับตรรกะศูนย์ดังรูปที่ 2.9

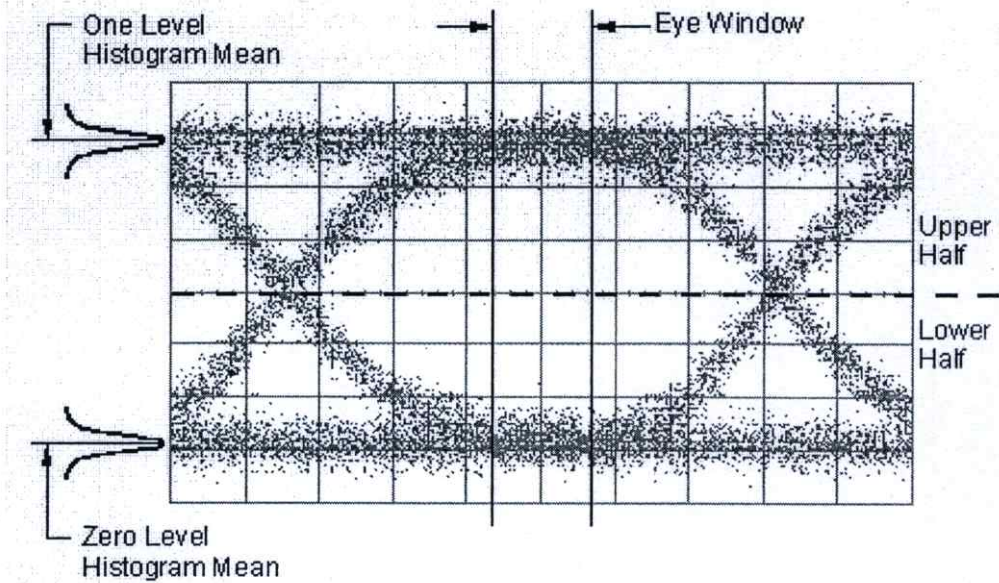


รูปที่ 2.8 ความกว้างของอาย (Eye Width)



รูปที่ 2.9 ความสูงของอาย (Eye Height)

แอมพลิจูดของอายุ (Eye amplitude) คือผลต่างระหว่างตราบะหนึ่งกับตราบะศูนย์ของอายุ
ไคอะแกรมดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แอมพลิจูดของอายุ (Eye Amplitude)

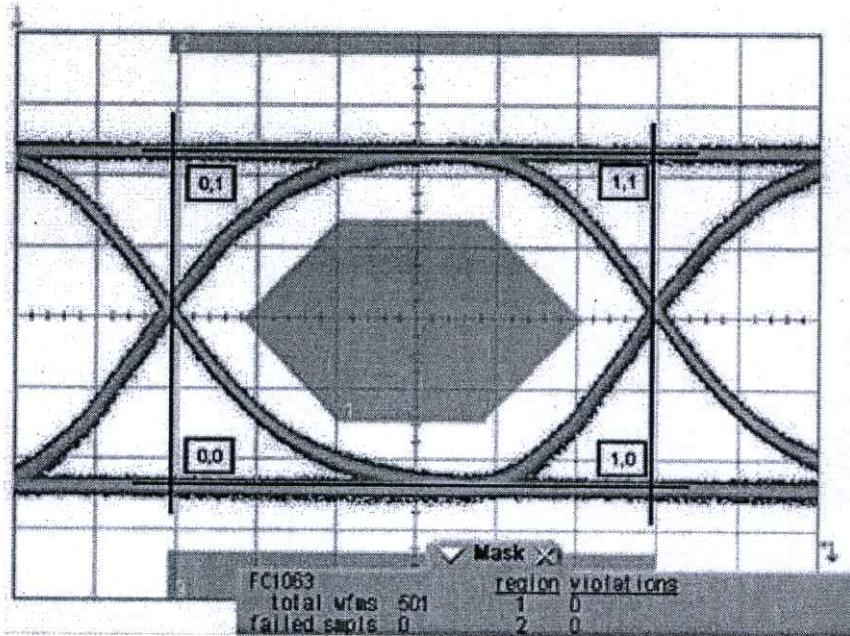
2.6 การทดสอบด้วยมาสก์ (Mask Test)

การทดสอบด้วยมาสก์เป็นวิธีการทดสอบอายุไคอะแกรมอย่างย่อและรวดเร็วของการทดสอบตัวส่งในสายการผลิต ซึ่งค่อนข้างจะครอบคลุมทุกพารามิเตอร์ของอายุไคอะแกรม การทดสอบด้วยมาสก์จะกำหนดพื้นที่ที่ต้องไม่มีสัญญาณเข้าไป ถ้ามีสัญญาณเข้าไปในบริเวณดังกล่าวตัวงานนั้นจะไม่ผ่านการทดสอบด้วยมาสก์[4]

ซีโรฮิตมาสก์มาร์จิ้น (Zero Hit Mask Margin) คือมาร์จิ้นของพื้นที่มาสก์มากที่สุดที่ไม่มีสัญญาณเข้าไปในบริเวณพื้นที่มาสก์ซึ่งมาร์จิ้นของมาสก์จะถูกเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพื่อทำให้ไม่มีสัญญาณเข้าไปในพื้นที่มาสก์โดยรูปแบบของมาสก์จะสอดคล้องกับมาตรฐานตามอัตราเร็วการส่งข้อมูล

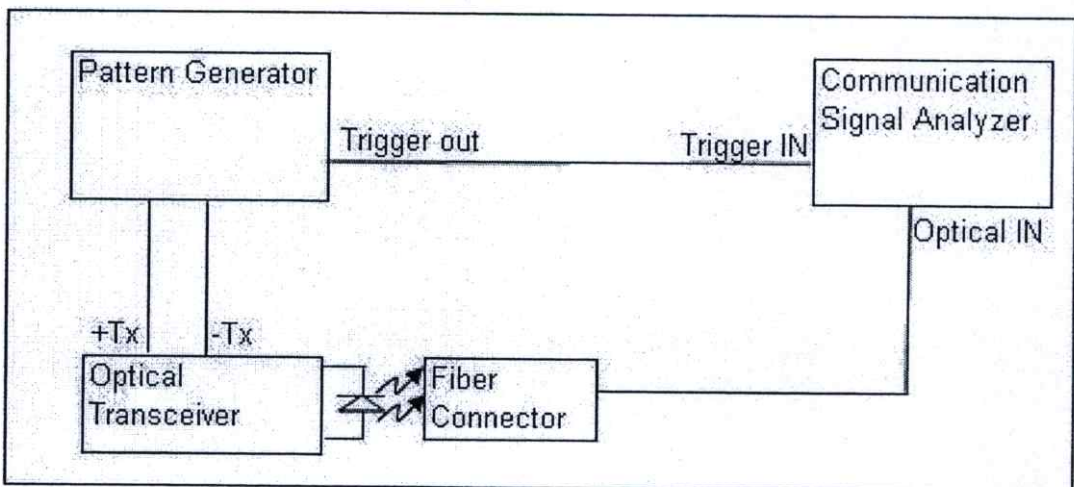
มิติในแนวตั้งของมาสก์ถูกทำขึ้นในสัดส่วนกับอายุแอมพลิจูด มาสก์จะถูกปรับมาตราส่วนในแนวตั้งตามความแรงของสัญญาณ โดยปกติการทำมาตราส่วนในแนวนอนจะคงที่ตามอัตราเร็วของข้อมูลของสัญญาณ มิติของมาสก์สามารถอธิบายตามระบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าคู่กันดังรูปที่ 2.11 จุดเริ่มแกนเอกซ์ถูกกำหนดที่จุดเริ่มต้นของคาบของบิต ขณะที่หนึ่งหน่วยภายในเวลาแทน

จุดสิ้นสุดของคาบของบิต จุดเริ่มต้นแฉกจะถูกกำหนดที่ค่าเฉลี่ยของตรรถะศูนย์ หนึ่งหน่วย ด้านบนจะถูกกำหนดที่ค่าเฉลี่ยของตรรถะหนึ่ง รูปร่างมาส์คี่ใดๆสามารถกำหนดตามระบบคู่กัน



รูปที่ 2.11 การทดสอบด้วยมาส์คี่ (Mask Test)

บล็อกไดอะแกรมในการทดสอบสัญญาณแสงถูกแสดงในรูปที่ 2.12 สัญญาณแสงของตัวส่งจะถูกวัดออกพดิกคอลลายไดอะแกรมและทดสอบด้วยมาส์คี่ (Mask test) เพื่อบอกถึงคุณภาพของสัญญาณในสายใยแก้วนำแสง



รูปที่ 2.12 การต่อเครื่องมือวัดและตัวงานที่จะทดสอบ

2.7 คุณลักษณะเลเซอร์กับอุนทุมุมิ

กำลังงานแสง (Optical power), กระแสขีดเริ่ม (Threshold current) และประสิทธิภาพความชัน (Slope Efficiency) แปรผันกับอุนทุมุมิ ที่อุนทุมุมิร้อนค่ากำลังงานแสงและประสิทธิภาพความชันจะลดลงขณะที่กระแสขีดเริ่มมีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่วนที่อุนทุมุมิเย็นค่ากำลังงานแสงและประสิทธิภาพความชันจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นขณะที่กระแสขีดเริ่มมีค่าลดลงดังรูปที่ 1.2 ด้วยเหตุดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าที่กำลังงานแสงและมอดูเลชันจะเปลี่ยนแปลงไปกับอุนทุมุมิดังรูปที่ 2.13

กำลังงานแสงเฉลี่ย (P_{AV}) คือค่าผลรวมเฉลี่ยกำลังงานแสงตรรกะหนึ่ง (logic one, P_1) และตรรกะศูนย์ (logic one, P_0) ดังสมการที่ 2.1

อัตราส่วนกำลังงานหรืออีอาร์คือค่ากำลังงานแสงตรรกะหนึ่งต่อตรรกะศูนย์ ดังสมการที่ 2.2

ออฟติกคอดมอดูเลชันแอมพลิจูด (Optical Modulation Amplitude, OMA) คือค่าผลต่างระหว่างกำลังงานแสงตรรกะหนึ่งและตรรกะศูนย์ ดังสมการที่ 2.3

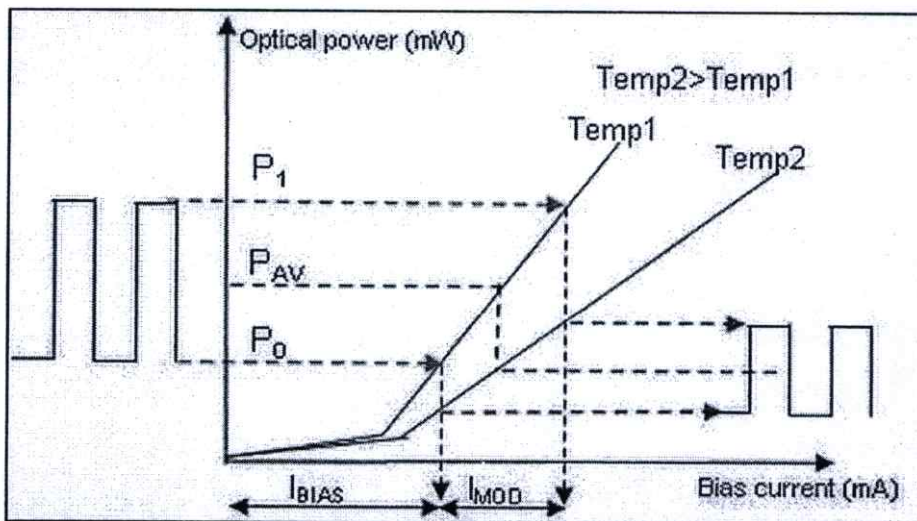
ประสิทธิภาพความชันคืออัตราส่วนระหว่างผลต่างของกำลังงานแสงกับกระแสมอดูเลชัน (I_{MOD}) ดังสมการที่ 2.4

$$P_{AV} = (P_1 + P_0) / 2 \tag{2.1}$$

$$\text{Extinction Ratio (ER)} = P_1 / P_0 \tag{2.2}$$

$$\text{Optical modulation amplitude} = P_1 - P_0 \tag{2.3}$$

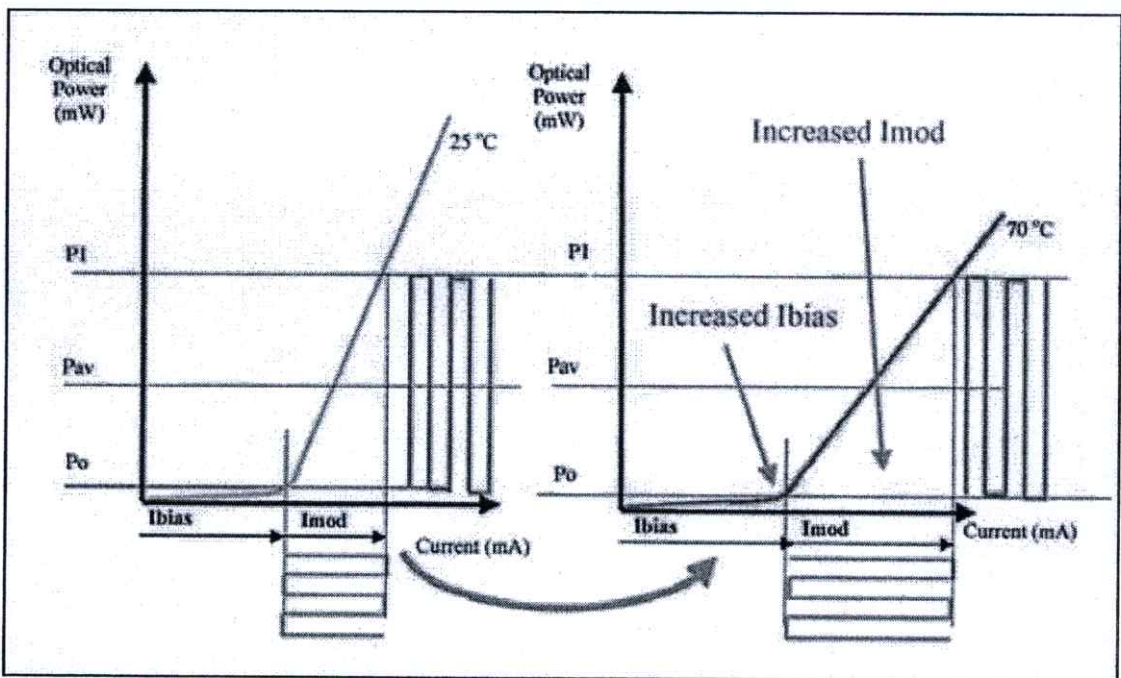
$$\text{Slope efficiency} = (P_1 - P_0) / I_{MOD} \tag{2.4}$$



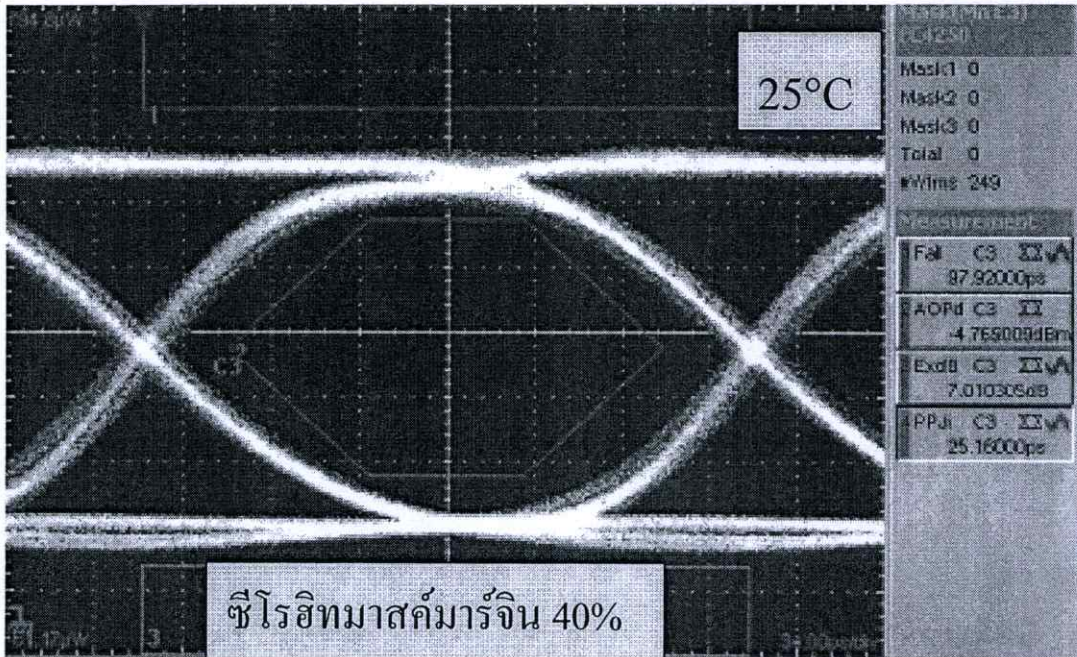
รูปที่ 2.13 อุนทุมุมิส่งผลกับกำลังงานแสงและอัตราส่วนกำลังงาน

2.8 วิธีคงค่ากำลังงานแสงและอัตราส่วนกำลังงาน

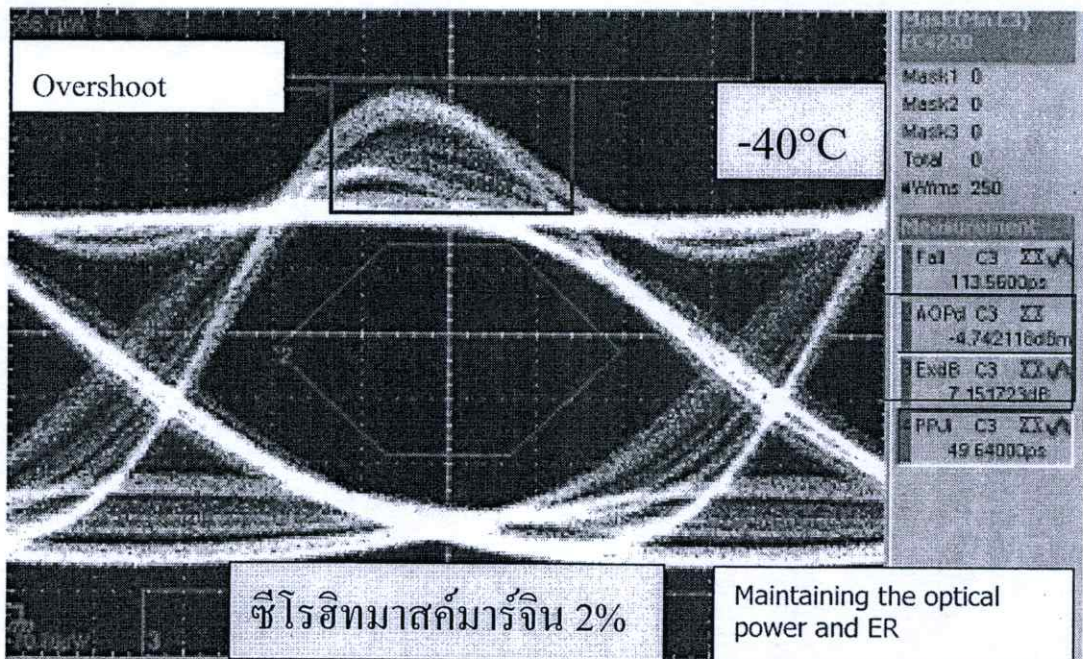
ในปัจจุบันได้มีการใช้วิธีคงค่ากำลังงานแสงและอัตราส่วนกำลังงานดังรูปที่ 2.14 ที่จะรักษาให้กำลังงานแสงและอัตราส่วนกำลังงานเหมือนกับที่ตอนตั้งค่าที่อุณหภูมิห้องเนื่องจากคุณลักษณะของเลเซอร์แปรผันกับอุณหภูมิส่งผลต่อออปติคคอลลายไดอะแกรมของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสง อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบออปติคคอลลายไดอะแกรมด้วยมัสค์ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ซีโรอิทมัสค์มาร์จินเพียง 2% และ 17% ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสดังรูปที่ 2.16 และ 2.17 ขณะที่ผลการทดสอบด้วยมัสค์ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ซีโรอิทมัสค์มาร์จินที่ 25 องศาเซลเซียสได้ถึง 40% ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 การคงค่ากำลังงานแสงและมอดูเลชันที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ให้เท่ากับที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยการเพิ่มกระแสไบอัสและกระแสมอดูเลชัน [1]



รูปที่ 2.15 ออปติกคอลอายไดอะแกรมที่ 25 องศาเซลเซียสด้วยวิธีคงค่ากำลังงานแสงและอัตราส่วนกำลังงานหลังจากทดสอบด้วยมาสค์ได้ค่าซีโรฮิทมาสต์มาร์จิ้น 40%



รูปที่ 2.16 ออปติกคอลอายไดอะแกรมที่ -40 องศาเซลเซียสด้วยวิธีคงค่ากำลังงานแสงและอัตราส่วนกำลังงานหลังจากทดสอบด้วยมาสค์ได้ค่าซีโรฮิทมาสต์มาร์จิ้นเพียง 2%



รูปที่ 2.17 ออปติกคอลอายโคอะแกรมที่ 85 องศาเซลเซียสด้วยวิธีคงค่ากำลังงานแสงและอัตราส่วนกำลังงานหลังจากทดสอบด้วยมาสค์ได้ค่าซีโรธิมาสค์มาร์จิน 17%

ด้วยวิธีคงค่ากำลังงานแสงและอัตราส่วนกำลังงานและผลการทดสอบด้วยมาสค์จะเห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ซีโรธิมาสค์มาร์จินที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสได้ค่าถึง 40% แต่ขณะที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ได้ค่าซีโรธิมาสค์มาร์จินได้เพียง 2% และได้เพียง 17% ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการคงค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานยังไม่ให้ผลลัพธ์ที่ดีเท่าที่ควร

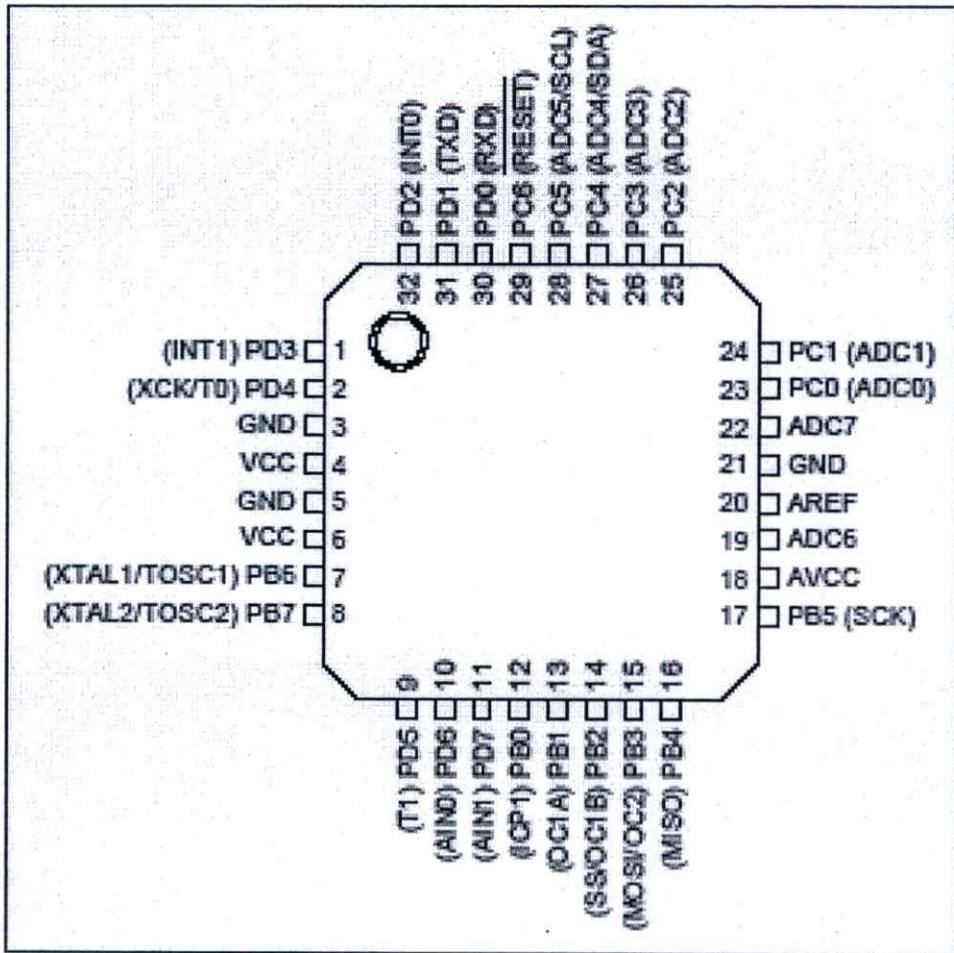
บทที่ 3

ส่วนควบคุมการทำงานของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงและ ออกแบบโครงสร้างส่วนควบคุม

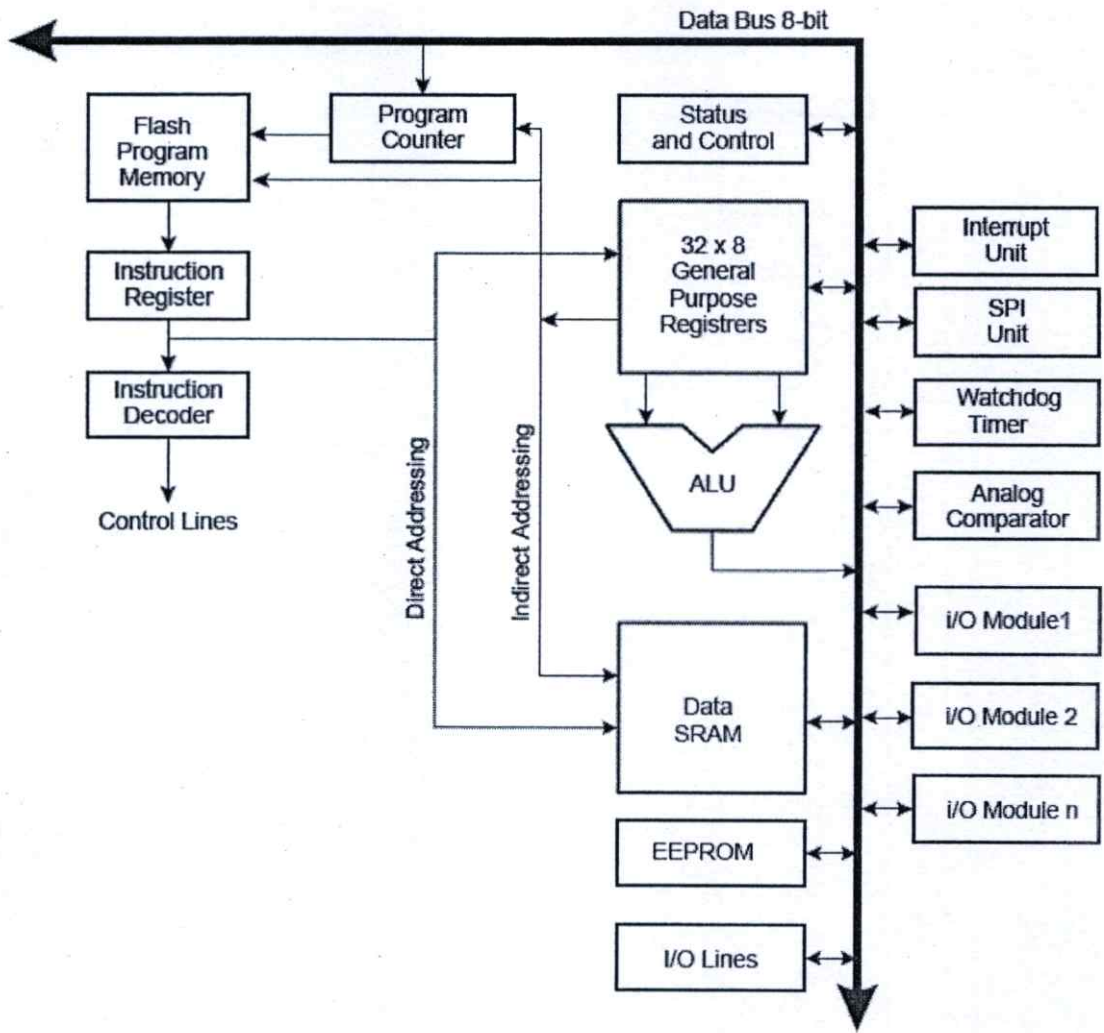
3.1 สถาปัตยกรรมไมโครคอนโทรลเลอร์

ATMEGA8 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต กำลังงานต่ำ โดยมีตำแหน่งขาต่างๆ ดังรูปที่ 3.1, แผนภาพส่วนประกอบภายในดังรูปที่ 3.2 และสถาปัตยกรรม AVR RISC ประกอบด้วย

- เซตคำสั่ง 130 คำสั่ง ส่วนใหญ่ทำงานในหนึ่งรอบสัญญาณนาฬิกา (1 Clock Cycle)
- เซตคำสั่งกับ 32 รีจิสเตอร์ซึ่งสามารถติดต่อโดยตรงกับหน่วยประมวลผล (Arithmetic Logic Unit, ALU)
- หน่วยความจำแบบแฟรช Flash 8K ไบต์
- หน่วยความจำแบบอีอีพรอม (EEPROM) 512 ไบต์
- หน่วยความจำแบบเอสแรม (SRAM) 1K ไบต์
- วงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Conversion, ADC) ขนาด 10 บิต 6 ช่องและขนาด 8 บิต 2 ช่อง
- ตัวกำเนิดสัญญาณภายใน (Internal Calibrated RC Oscillator)
- อินเทอร์รัปต์แบบภายนอกและภายใน (External and Internal Interrupt Sources)



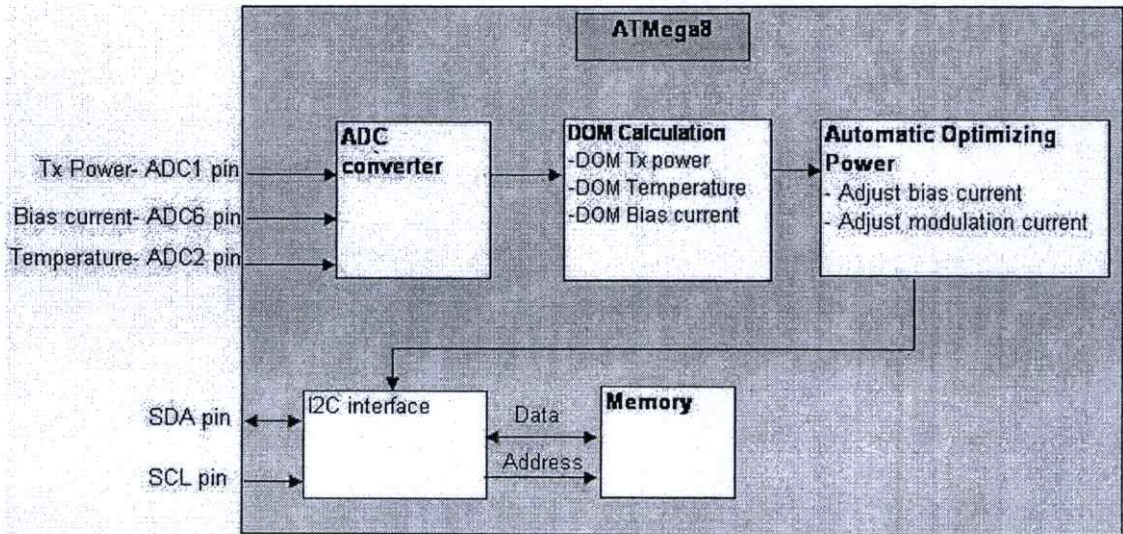
รูปที่ 3.1 ขาต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.2 แผนภาพส่วนประกอบภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์

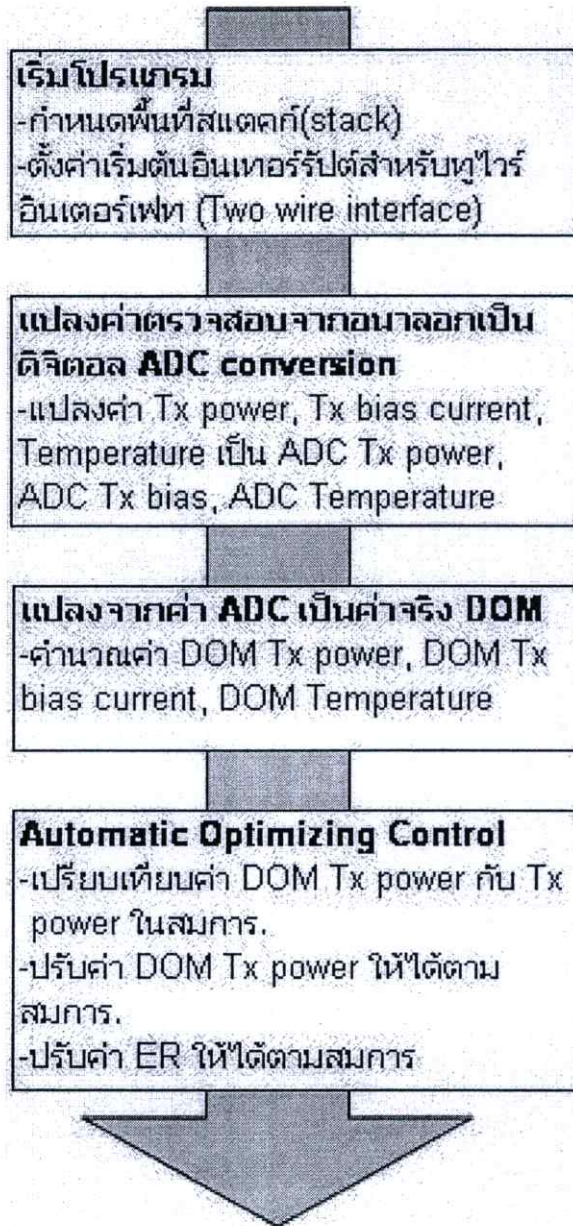
3.2 ออกแบบโครงสร้างส่วนควบคุม

ส่วนควบคุมการทำงานหรือไมโครคอนโทรลเลอร์ของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงถูกออกแบบโดยแบ่งเป็นส่วนต่างๆดังในรูปที่ 3.3 และแผนภูมิสายงานการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 3.4 โดยผู้ทำวิทยานิพนธ์ได้เขียนโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีผ่านโปรแกรมสำหรับพัฒนา (AVRStudio) ดังในรูปที่ 3.5 ควบคุมการทำงานในแต่ละส่วนภายในส่วนควบคุมของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสง โปรแกรมจะถูกโหลดเข้าหน่วยความจำของส่วนควบคุมด้วยโปรแกรมและเครื่องมือดังรูปที่ 3.6 และ 3.7 ขณะที่ส่วนควบคุมที่ใช้ในการทดลองคือ 8-bit microcontroller ของ Atmel รุ่น ATMEGA8L



รูปที่ 3.3 แผนภาพของการออกแบบโปรแกรมสำหรับงานวิจัย

- ส่วนควบคุมใช้ในการควบคุมกำลังงานแสงและอัตราส่วนกำลังงาน
- ส่วนตรวจสอบค่าดิจิทัล (Digital Optical Monitoring, DOM) ทำหน้าที่ตรวจสอบค่ากำลังงานแสงฝั่งส่ง, อุณหภูมิ, กระแสไบอัส
- หน่วยความจำ (Memory) ทำหน้าที่เก็บเฟิร์มแวร์และข้อมูลของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสง
- ส่วนการติดต่อแบบสองเส้นสัญญาณ (Two Wire Interface) ทำหน้าที่ช่วยให้ส่วนควบคุมใช้ปรับค่ารีซิสเตอร์แบบปรับค่าได้



รูปที่ 3.4 แผนภูมิสายงานการทำงานของโปรแกรม

รายละเอียดหน้าที่ในแต่ละส่วนของโปรแกรม

เริ่ม โปรแกรม

- กำหนดพื้นที่เรียงทับซ้อน (Stack) เป็นที่พักข้อมูล (Buffer) สำหรับเก็บค่าแอดเดรสก่อนที่จะกระโดดไปทำในอินเทอร์รัปต์ (Interrupt)
- ตั้งค่าเริ่มต้นอินเทอร์รัปต์สำหรับติดต่อแบบสองเส้นสัญญาณ (Two Wire Interface) เป็นการตั้งค่าแปลงค่าตรวจสอบจากอนาลอกเป็นดิจิทัล

- แปลงสัญญาณอนาล็อกของค่ากำลังงานฝั่งส่ง, กระแสไบอัส, อุณหภูมิ เป็นค่าดิจิทัลกำลังงาน (ADC Tx Power), ค่าดิจิทัลกระแสไบอัส (ADC Bias Current), ค่าดิจิทัลอุณหภูมิ (ADC Temperature)
- แปลงค่าจากดิจิทัลเป็นค่าจริงกำลังงานแสง, กระแสไบอัสและอุณหภูมิ
- เปรียบเทียบค่าจริงของกำลังงานแสงกับสมการการปรับค่าที่หาได้ และทำการปรับค่ากำลังงานแสงและอัตราส่วนกำลังงานจนได้ค่าตามสมการ

```

include "m8def.inc"
Reset-/Interrupt Vector
CSRG
.org 0x0000
rjmp main
.org 0x0011
rjmp TVI
;22 register 0000-001F
;64 I/O reg 0020-005F
;Internal SRAM 0100-04FF

TxDefault:
SBI portd, 6 .enable Soft Tx disable FD6
SBI portd, 7 .enable Soft Tx fault FD7
Ret

APC: .Automatic power customeize
sbi EECR,EEVE . Wait for completion of previous write
rjmp APC
ldi r24,0
ldi r25,96 .addr 96 temperature HSB
out EEARH,r24
sbi EEARL,r25
sbi EECR,EEER
in r16,EEDR
neg r16 .two's complement
inc r25 .addr 97 temperature LSB
APC1:

```

Build

G:\TWIII\Atmega8L.asm(1): Including file 'G:\TWIII\m8def.inc'

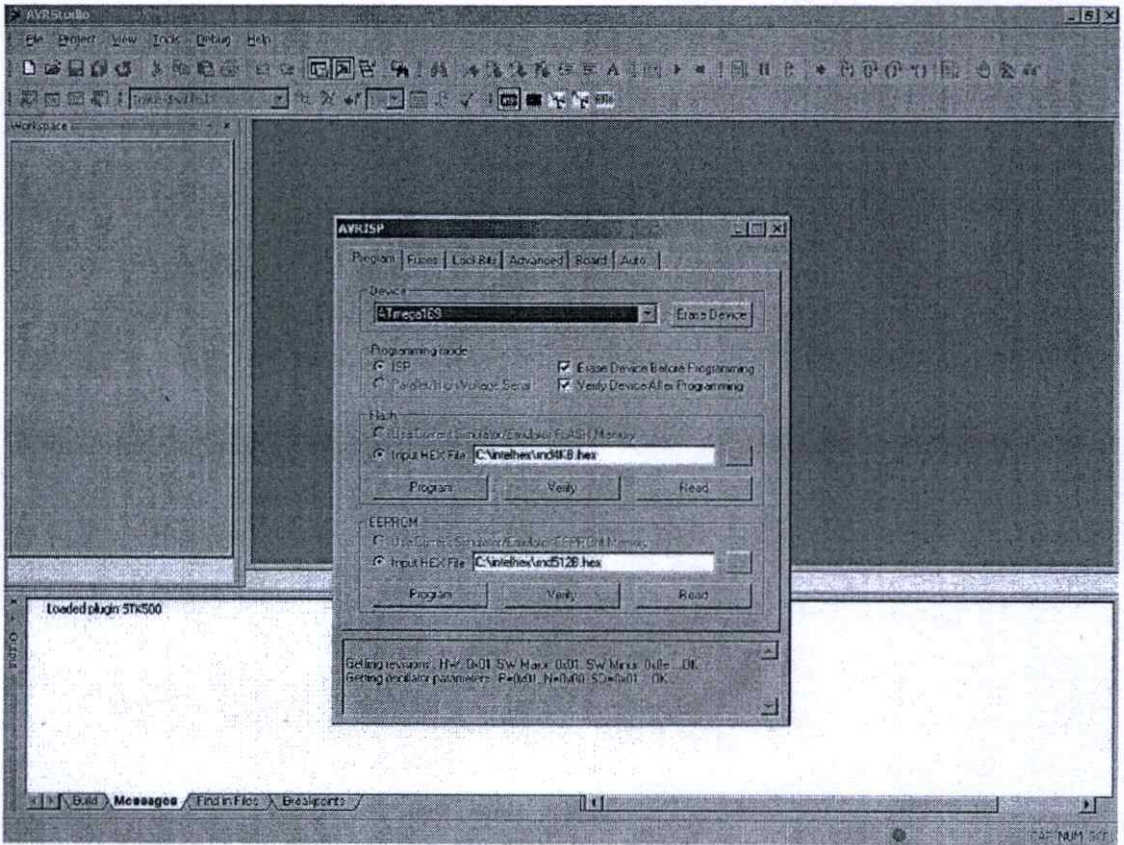
G:\TWIII\Atmega8L.asm(504): No EEPROM data, deleting G:\TWIII\Atmega8L.eep

Atmega8 memory use summary [bytes]:

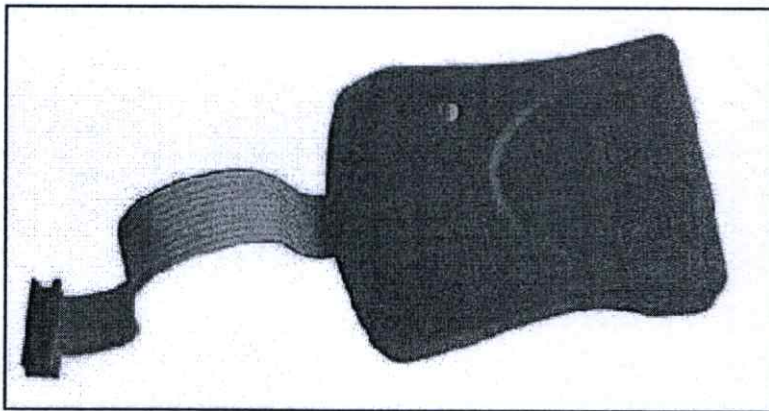
Segment	Begin	End	Code	Data	Used	Size	Use%
[.csrg]	0x000000	0x000340	800	0	800	8192	9.6%
[.decr]	0x000060	0x000060	0	0	0	1024	0.0%
[.eseg]	0x000000	0x000000	0	0	0	512	0.0%

* Assembly complete, 0 errors, 0 warnings

รูปที่ 3.5 AVRStudio โปรแกรมสำหรับพัฒนาและเขียนโปรแกรม

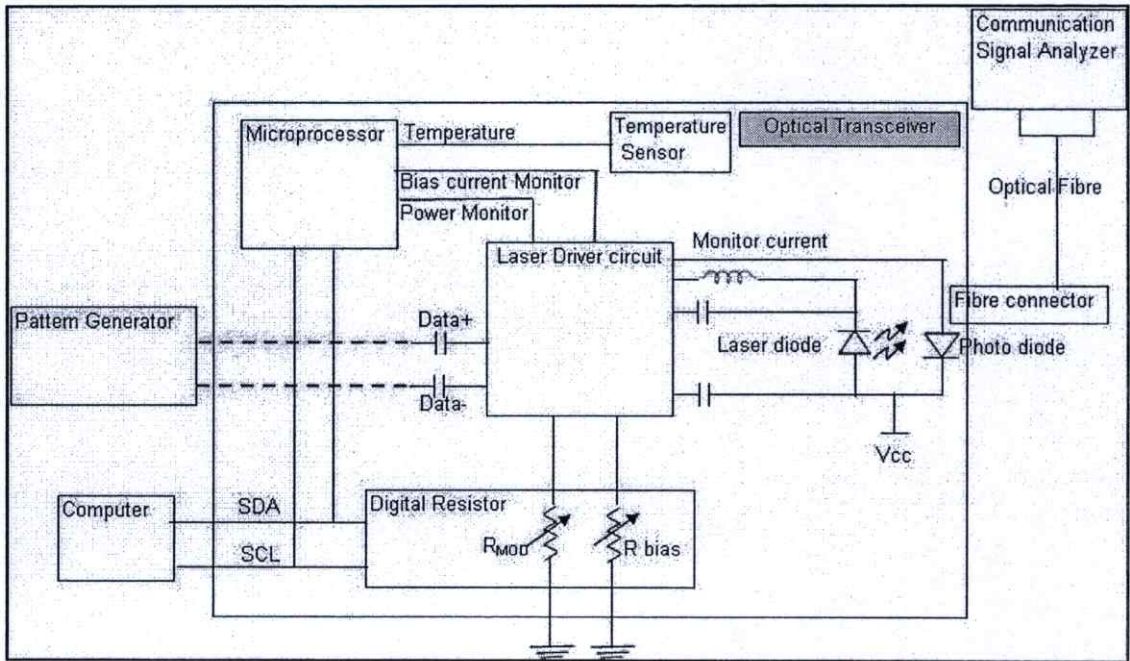


รูปที่ 3.6 AVRStudio โปรแกรมสำหรับโหลดข้อมูลเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.7 เครื่องมือสำหรับโหลดโปรแกรม AVRISP (AVR In-System Programmer)

แผนภาพบล็อกการต่ออุปกรณ์กับเครื่องมือที่ใช้ในการปรับหาอพติกคอลลายที่เหมาะสมก่อนสร้างสมการดังรูปที่ 3.8 โดยปรับค่าดิจิทัลรีซิสเตอร์ผ่านการติดต่อแบบสองเส้นสัญญาณและพิจารณาที่ผลทดสอบอพติกคอลลายไดอะแกรมด้วยมาสค์

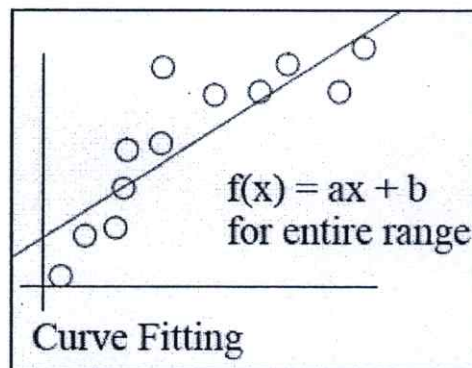


รูปที่ 3.8 แผนภาพบล็อกการต่ออุปกรณ์กับเครื่องมือที่ใช้ในการปรับหาอพติกคอลอายุที่เหมาะสมก่อนสร้างสมการ

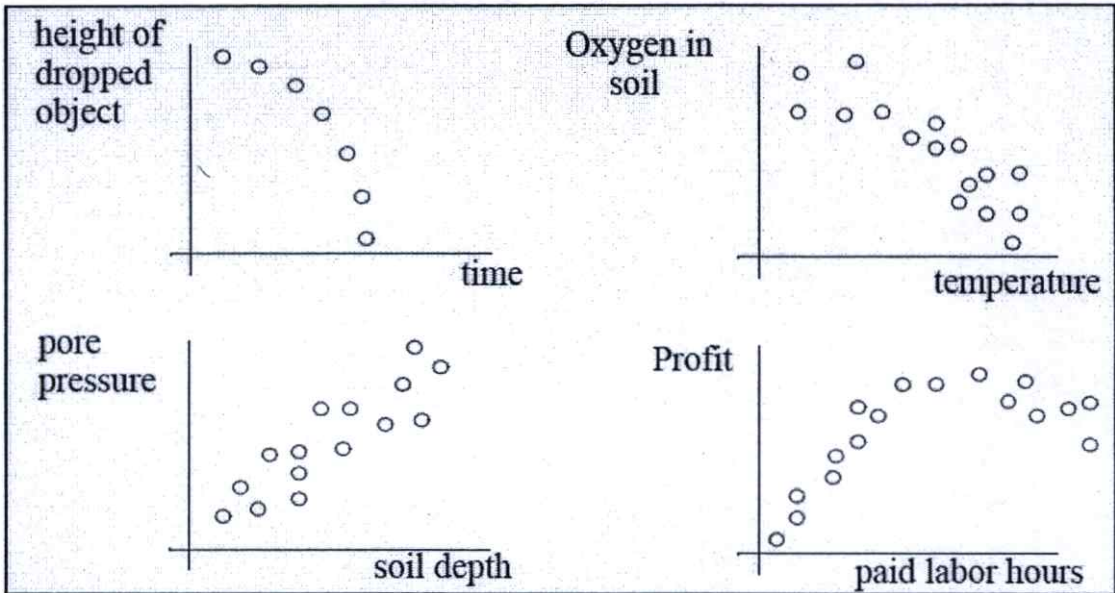
3.3 การปรับหาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสม (Curve Fitting)

การปรับหาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมเป็นการหาเส้นความสัมพันธ์กับกลุ่มข้อมูลในทุกช่วงข้อมูลทั้งหมดดังรูปตัวอย่างที่ 3.9 เนื่องจากกลุ่มข้อมูลมีความหลากหลายดังรูปที่ 3.10 ดังนั้นรูปแบบการปรับหาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมจึงถูกจำแนกได้เป็นแบบต่างๆดังนี้

ด้วยวิธีการปรับหาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมจะถูกนำมาใช้ในการหาความสัมพันธ์ค่ากำลังงานและค่าอัตราส่วนกำลังงานกับอุณหภูมิเพื่อสร้างสมการการปรับค่า



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการปรับหาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมกับกลุ่มข้อมูล [11]



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างข้อมูล [11]

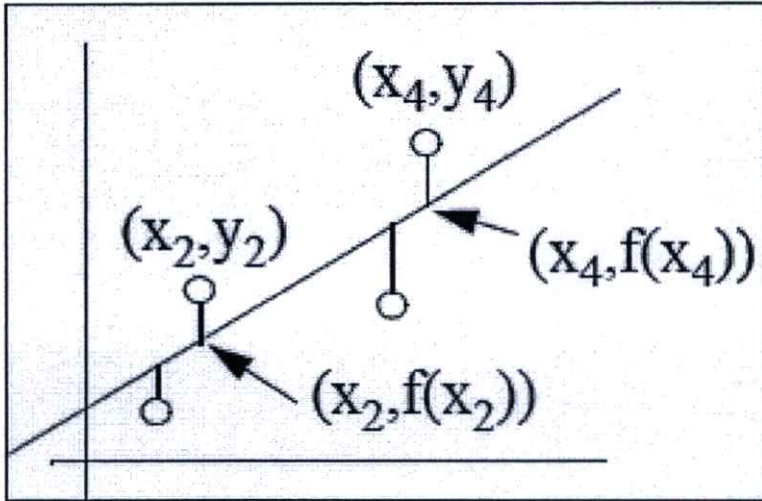
3.4 การปรับหาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมแบบเชิงเส้น (Linear Curve Fitting)

การปรับหาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมแบบเชิงเส้นดังรูปที่ 3.9 มีรูปแบบสมการทั่วไปเป็นดังสมการที่ 3.1 ซึ่งสมการนี้จะถูกใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังงานกับอุณหภูมิ

$$f(x) = ax + b \quad (3.1)$$

3.5 วิธีกำลังสองน้อยสุด (Least Square Method)

วิธีกำลังสองน้อยสุดเป็นวิธีการหาเส้นโค้งที่มีค่าความผิดพลาดน้อยสุด (Minimum Error) ระหว่างเส้นโค้งกับข้อมูลดังรูปที่ 3.11 เส้นโค้งที่มีค่าผิดพลาดน้อยสุดเรียกว่าการปรับหาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมที่สุด (The Best Curve Fitting)



รูปที่ 3.11 ความผิดพลาดระหว่างเส้นโค้งกับข้อมูล [11]

ความผิดพลาดระหว่างข้อมูลกับเส้นโค้ง $d = y - f(x)$

กรณีเส้นโค้งที่เหมาะสมแบบเชิงเส้น $f(x) = ax + b$

Err คือผลรวมค่าความผิดพลาดระหว่างข้อมูลกับเส้นโค้งกำลังสอง; n คือจำนวนข้อมูล

$$\text{Err} = \sum_{i=1}^n (d_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b))^2 \quad (3.2)$$

เพื่อหาจุดความผิดพลาดต่ำสุด (Slope = 0) ทำโดยการดิฟเฟอเรนเชียล (Differential)

$$\frac{\partial \text{Err}}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n x_i (y_i - ax_i - b) = 0$$

$$\frac{\partial \text{Err}}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b) = 0$$

จะได้ และหาค่าคงที่ a และ b

$$a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n (x_i y_i)$$

$$a \sum_{i=1}^n x_i + b \cdot n = \sum_{i=1}^n y_i$$

ในรูปแบบเมตริก

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum (x_i y_i) \end{bmatrix}$$

3.6 การปรับหาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมแบบพหุนาม (Polynomial Curve Fitting)

สมการรูปแบบทั่วไปของพหุนามกำลัง j ดังสมการที่ 3.3 ซึ่งสมการนี้จะถูกใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานกับอุณหภูมิ

$$f(x_i) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_jx^j = a_0 + \sum_{k=1 \text{ to } j} a_kx^k \quad (3.3)$$

ด้วยวิธีวิธีกำลังสองน้อยสุดสามารถหาการปรับหาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมที่สุดได้ว่า

$$\text{Err} = \sum_{i=1 \text{ to } n} (d_i)^2 = \sum_{i=1 \text{ to } n} (y_i - (a_0 + \sum_{k=1 \text{ to } j} a_kx^k))^2$$

$$\frac{\partial \text{Err}}{\partial a_0} = -2 * \sum_{i=1 \text{ to } n} (y_i - (a_0 + \sum_{k=1 \text{ to } j} a_kx^k)) = 0$$

$$\frac{\partial \text{Err}}{\partial a_1} = -2 * \sum_{i=1 \text{ to } n} (y_i - (a_0 + \sum_{k=1 \text{ to } j} a_kx^k))x = 0$$

$$\frac{\partial \text{Err}}{\partial a_2} = -2 * \sum_{i=1 \text{ to } n} (y_i - (a_0 + \sum_{k=1 \text{ to } j} a_kx^k))x^2 = 0$$

...

$$\frac{\partial \text{Err}}{\partial a_j} = -2 * \sum_{i=1 \text{ to } n} (y_i - (a_0 + \sum_{k=1 \text{ to } j} a_kx^k))x^j = 0$$

Err คือผลรวมค่าความผิดพลาดระหว่างข้อมูลกับเส้นโค้งกำลังสอง; n คือจำนวนข้อมูล
หาค่าคงที่ $a_0, a_1, a_2, \dots, a_j$

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & \dots & \sum x_i^j \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \dots & \sum x_i^{j+1} \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \dots & \sum x_i^{j+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum x_i^j & \sum x_i^{j+1} & \sum x_i^{j+2} & \dots & \sum x_i^{j+j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum (x_i y_i) \\ \sum (x_i^2 y_i) \\ \vdots \\ \sum (x_i^j y_i) \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

บทที่ 4

ขั้นตอนการปฏิบัติและผลการทดสอบ

4.1 ขั้นตอนการปฏิบัติ

ขั้นตอนการปฏิบัติแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนแรกเป็นขั้นตอนการเก็บข้อมูลค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานที่อุณหภูมิต่างๆ -40, -20, 0, 25, 50 และ 85°C ซึ่งค่าเหล่านี้ต้องทำให้ผลทดสอบออกพดิกคอลอยไคอะแกรมด้วยมาตรฐานทดสอบมีค่าซีโรฮิมาสค์มาร์จินใกล้เคียงกันกับที่อุณหภูมิห้อง

ขั้นตอนต่อมาเป็นขั้นตอนสร้างสมการจากข้อมูลที่เก็บมาจากขั้นตอนแรกซึ่งสัมพันธ์กับอุณหภูมิโดยสร้างสมการควบคุมค่ากำลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังงานกับอุณหภูมิด้วยวิธีการปรับหาสมการเส้นโค้งกำลังสองที่เหมาะสม (Quadratic Curve Fitting) และสมการควบคุมอัตราส่วนกำลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังงานกับอุณหภูมิด้วยวิธีการปรับหาเส้นโค้งที่เหมาะสมแบบเชิงเส้น (Linear Curve Fitting)

ขั้นตอนสุดท้ายคือการนำสมการไปเขียนในโปรแกรมควบคุมเพื่อให้อุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงปรับค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานที่อุณหภูมิต่างๆ ให้ได้ใกล้เคียงกับสมการที่ทำในขั้นตอนที่สองและผลทดสอบด้วยมาตรฐานออกพดิกคอลอยไคอะแกรมมีค่าซีโรฮิมาสค์มาร์จินใกล้เคียงผลที่อุณหภูมิห้อง

4.2 การสร้างสมการการปรับค่ากำลังงานและค่าอัตราส่วนกำลังงาน

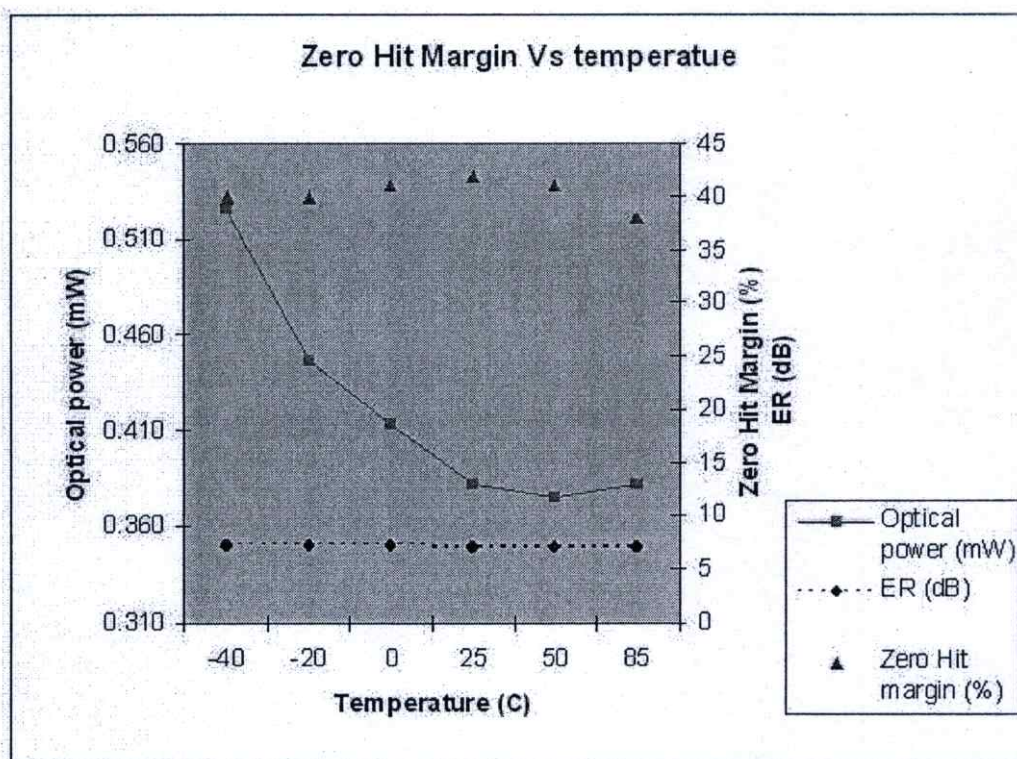
สมการการปรับค่ากำลังงานและค่าอัตราส่วนกำลังงานหาได้จากการวัดออกพดิกคอลอยไคอะแกรมและปรับค่าไบอัสและค่ามอดูเลชันที่ทำให้ได้ออกพดิกคอลอยไคอะแกรมที่เหมาะสมที่อุณหภูมิ -40, -20, 0, 25, 50 และ 85 องศาเซลเซียส โดยพิจารณาที่ค่าเปอร์เซ็นต์ซีโรฮิมาสค์มาร์จิน หลังจากนั้นทำการเก็บค่ากำลังงานและค่าอัตราส่วนกำลังงานของแต่ละอุณหภูมิดังตารางที่ 4.1 และนำมาวาดเส้นกราฟดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.3 และสร้างสมการด้วยการปรับหาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมที่จะทำให้ค่ากำลังงานหรือค่าอัตราส่วนกำลังงานเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลค่ากำลังงานแสงและค่าอัตราส่วนกำลังงานถูกเก็บ 6 ช่วงอุณหภูมิคือ -40, -20, 0, 25, 50 และ 85 องศาเซลเซียส

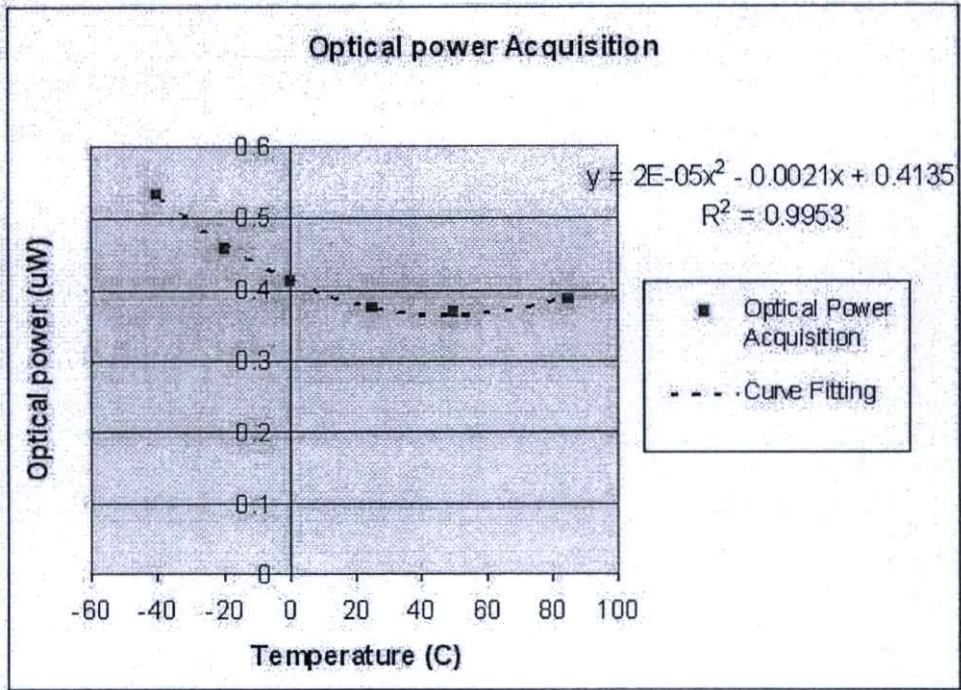
อุณหภูมิของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสง (°C)	-40	-20	0	25	50	85
กำลังงานแสง (dBm)	-2.72	-3.4	-3.84	-4.27	-4.34	-4.12
กำลังงานแสง (mW)	0.534	0.457	0.413	0.374	0.368	0.387
อัตราส่วนกำลังงาน (dB)	7.33	7.21	7.13	7.01	7.04	6.93
จิทเตอร์ (ps)	27.05	23.7	21.1	23.6	22.44	27.5
ช่วงเวลาขาลง (ps)	100.05	95.43	95.4	96.22	99.96	99.96
ซีโรฮิตมาร์จิ้น (%)	40	40	43	44	41	40

หมายเหตุ: ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร, อัตราส่งข้อมูล 4.25 Gbps, รูปแบบข้อมูล PRBS7

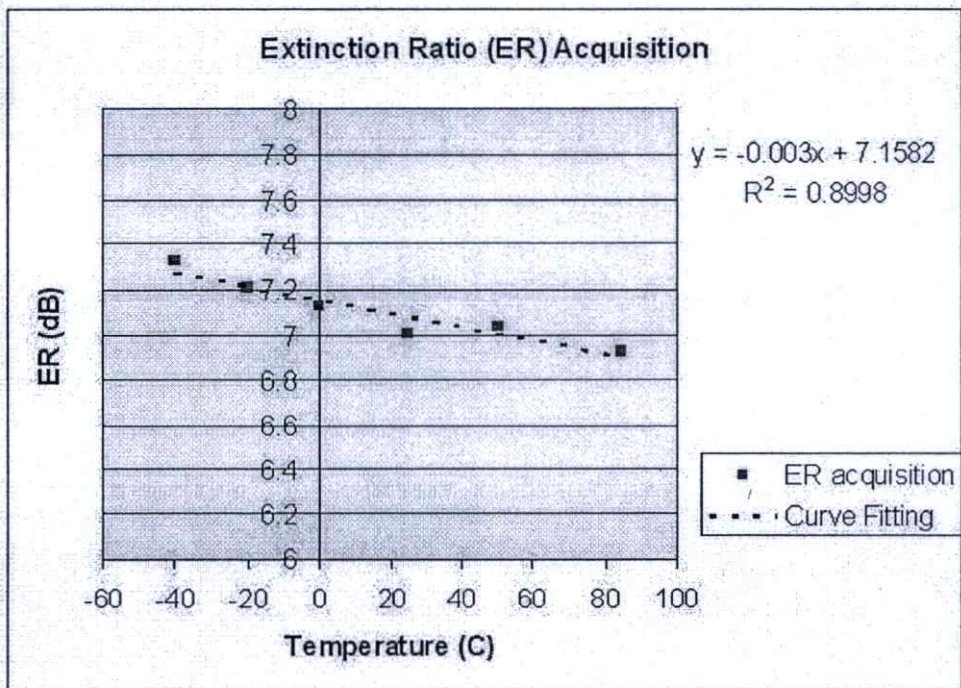
(Pseudo Random Binary Sequence 2^7-1), มาตรฐานทดสอบเป็นแบบ FC4250 (Fibre Channel), เลเซอร์เป็นแบบส่งแสงในแนวตั้งฉากกับผิว (Vertical Cavity Surface Emitting Laser, VCSEL)



รูปที่ 4.1 แสดงค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิเพื่อค่าซีโรฮิตมาร์จิ้นนคงที่และนำไปสู่การสร้างสมการปรับค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงาน



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของค่ากำลังงานแสงจากตารางที่ 4.1 เทียบกับอุณหภูมิเพื่อใช้ในการสร้างสมการการปรับค่ากำลังงาน โดยแปรผันกับอุณหภูมิ



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนกำลังงานจากตารางที่ 4.1 เทียบกับอุณหภูมิเพื่อใช้ในการสร้างสมการการปรับค่าอัตราส่วนกำลังงาน โดยแปรผันกับอุณหภูมิ

4.3 สมการการปรับค่ากำลังงานและค่าอัตราส่วนกำลังงานจากการหาเส้นโค้ง ความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ

จากสมการที่ 3.3 แบบพหุนามกำลังสองและค่ากำลังงานแสงกับอุณหภูมิที่เก็บได้ในตาราง
ที่ 4.1 จะได้สมการดังนี้

$$f(x_i) = a_0 + a_1x + a_2x^2 \quad (4.1)$$

ด้วยวิธีวิธีกำลังสองน้อยสุดสามารถหาเส้นโค้งที่เหมาะสมที่สุดที่ได้ว่าสมการปรับค่ากำลังงาน
แปรผันกับอุณหภูมิดังสมการที่ 4.3

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 y_i \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

$$\text{Optical Power} = 0.00002 * T^2 - 0.0021 * T + 0.4135 \quad (4.3)$$

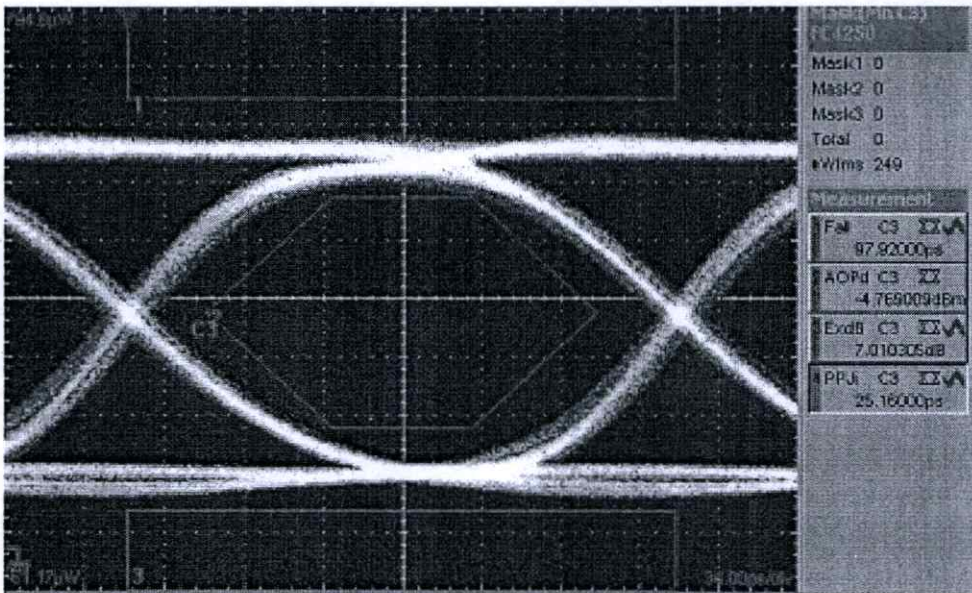
จากสมการที่ (3.1) การปรับหาเส้นโค้งที่เหมาะสมแบบเส้นตรงและข้อมูลอัตราส่วนกำลังงานกับ
อุณหภูมิที่เก็บได้ในตารางที่ 4.1 และด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุดสามารถหาเส้นโค้งที่เหมาะสมที่สุด
ที่สุด จะได้ว่าสมการปรับค่าอัตราส่วนกำลังงานแปรผันกับอุณหภูมิดังสมการที่ 4.4

$$ER = -0.003 * T + 7.1582 \quad (4.4)$$

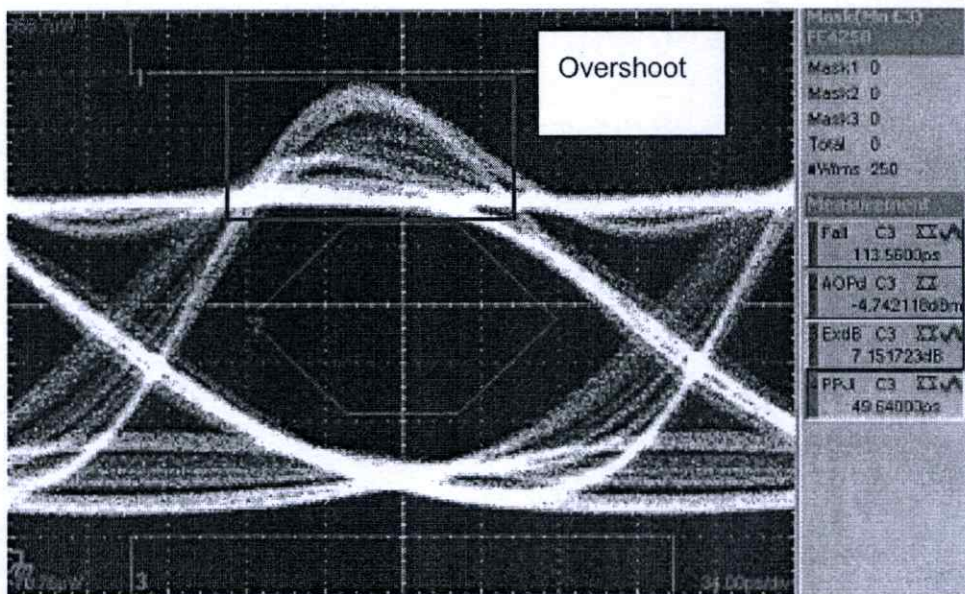
หมายเหตุ T แทนค่าอุณหภูมิของตัวอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสง

4.4 การเปลี่ยนแปลงของออปติกคอลออยไดอะแกรมที่อุณหภูมิต่างๆของวิธีการคงค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงาน

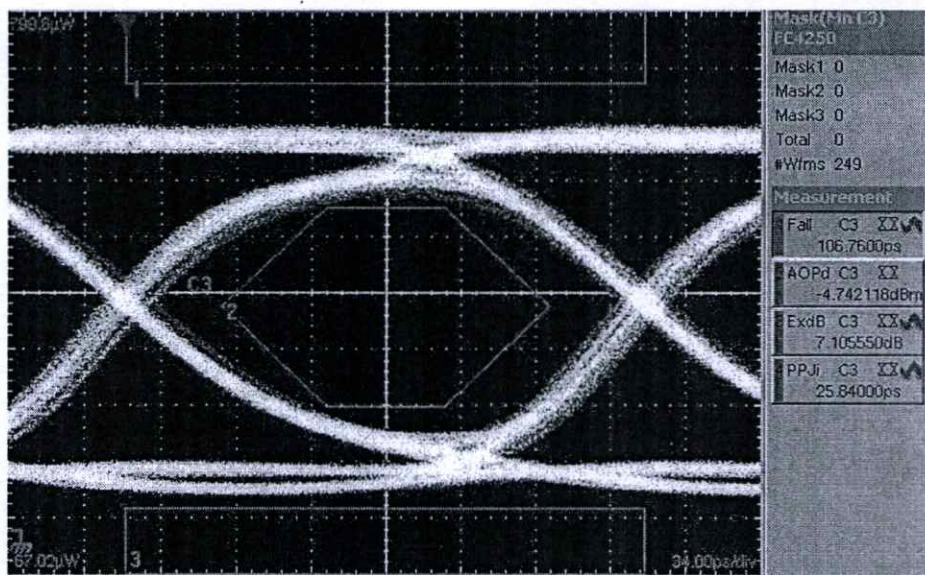
ออปติกคอลออยไดอะแกรมที่อุณหภูมิต่างๆด้วยวิธีการคงค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานซึ่งนิยมใช้อยู่ในปัจจุบันแสดงในรูปที่ 4.4 ถึง 4.6 แสดงให้เห็นว่าด้วยวิธีคงค่ากำลังงานแสงและอัตราส่วนกำลังงานแม้จะรักษากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานได้แต่ผลลัพธ์ของสัญญาณแสงก็ยังไม่ดีเท่าที่ควร ผลการทดสอบด้วยมาสค์จะเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ซีโรฮิทมาสค์มาร์จินที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสได้ค่าถึง 40% แต่ขณะที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ผลทดสอบด้วยมาสค์ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ซีโรฮิทมาสค์มาร์จินได้เพียง 2% และได้เพียง 17% ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.4 ออปติกคอลออยไดอะแกรมที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียสและผลทดสอบซีโรฮิทมาสค์มาร์จินได้ 40%



รูปที่ 4.5 ออปติกคอลออยไดอะแกรมที่ -40 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าสัญญาณมีความเปลี่ยนแปลงอย่างมากจากอุณหภูมิห้อง โดยพิจารณาจากซีโรธิมาสต์มาร์จินมีค่าเพียง 2%



รูปที่ 4.6 ออปติกคอลออยไดอะแกรมที่ 85 องศาเซลเซียสและผลซีโรธิมาสต์มาร์จินได้ค่าเพียง 17% ซึ่งน้อยกว่าผลที่อุณหภูมิห้อง

ผลการทดสอบในตารางที่ 4.2 คือผลการใช้วิธีการคงค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานบนส่วนควบคุมของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสง

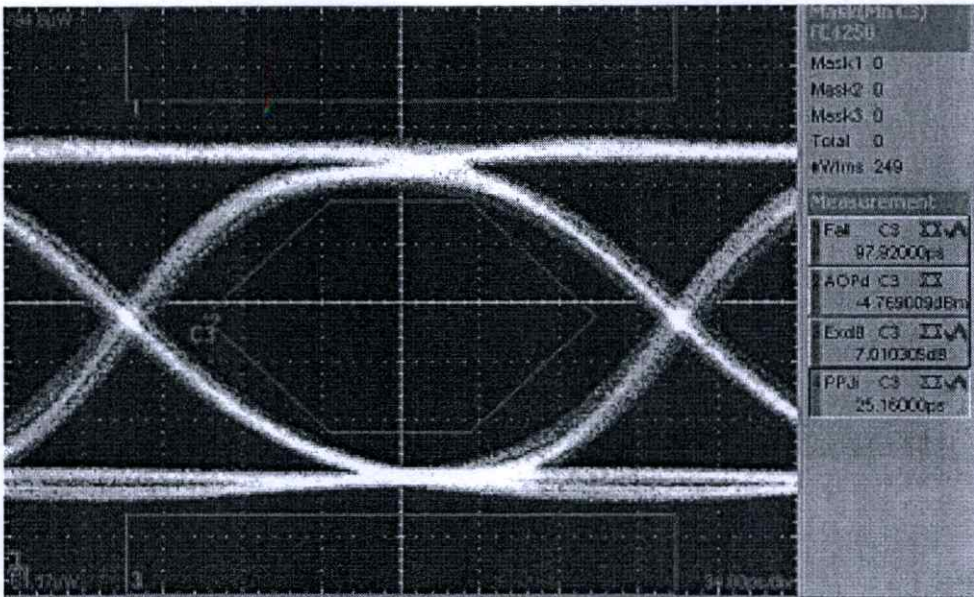
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบด้วยวิธีการคงค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงาน

อุณหภูมิของออปติกคอลทรานซีฟเวอร์ (°C)	-40	-20	0	25	50	85
กำลังงานแสง (dBm)	-4.74	-4.71	-4.71	-4.71	-4.71	-4.74
กำลังงานแสง (mW)	0.336	0.338	0.338	0.338	0.338	0.336
อัตราส่วนกำลังงาน (dB)	7.15	7.17	7.17	7.11	7.12	7.1
จitter (ps)	49.64	29.92	23.8	25.16	21.76	25.84
ช่วงเวลาขาด (ps)	113.56	105.4	101.32	97.92	99.96	106.76
ซีโรอิมพัลส์มาร์จิ้น (%)	2	28	28	40	28	17

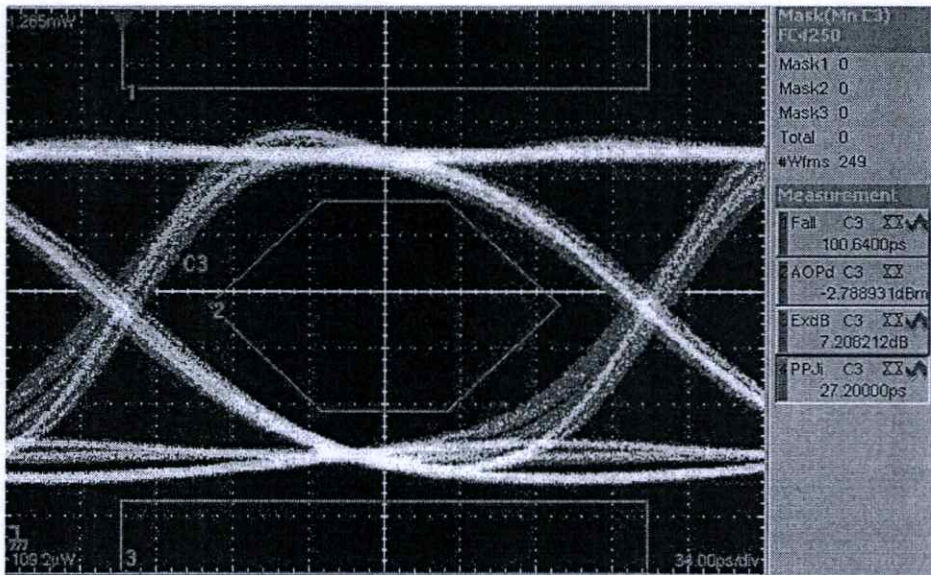
หมายเหตุ: ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร, อัตราส่งข้อมูล 4.25 Gbps, รูปแบบข้อมูล PRBS7 (Pseudo Random Binary Sequence 2^7-1), มาตรฐานทดสอบเป็นแบบ FC4250 (Fibre Channel), เลเซอร์เป็นแบบส่งแสงในแนวตั้งฉากกับผิว (Vertical Cavity Surface Emitting Laser, VCSEL)

4.5 การเปลี่ยนแปลงของออปติกคอลลายไดอะแกรมที่อุณหภูมิต่างๆของวิธีการควบคุมกำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้อายไดอะแกรมที่มีค่าซีโรอิมพัลส์มาร์จิ้นคงที่

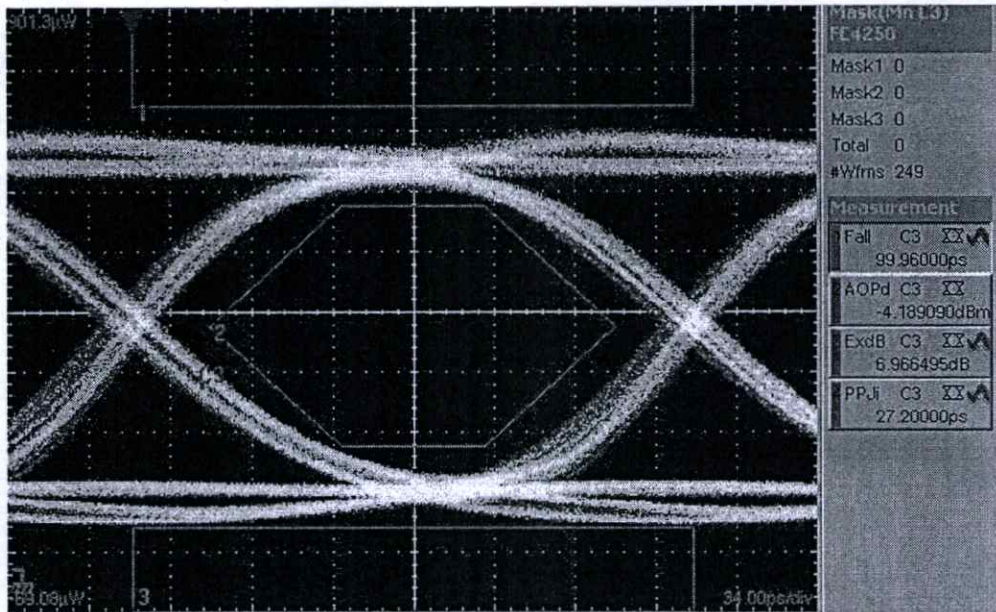
ออปติกคอลลายไดอะแกรมที่อุณหภูมิต่างๆด้วยวิธีการการควบคุมกำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้อายไดอะแกรมที่มีค่าซีโรอิมพัลส์มาร์จิ้นคงที่ดังรูปที่ 4.7 ถึง 4.9 แสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ของสัญญาณแสงโดยการทดสอบด้วยมาสค์จะเห็นได้ว่าค่าซีโรอิมพัลส์มาร์จิ้นที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียสได้ค่า 40% ใกล้เคียงกับที่อุณหภูมิห้องและได้ 38% ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.7 ออพติกคอลลายไดอะแกรมที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียสและผลทดสอบซีโรธิมาสค์มาร์จิ้นได้ 40%



รูปที่ 4.8 ออพติกคอลลายไดอะแกรมที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียสและได้ผลซีโรธิมาสค์มาร์จิ้น 40%



รูปที่ 4.9 ออปติคคอลลายไดอะแกรมที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสและผลซีโรฮิมาสค์มาร์จิน 38%

ผลการทดสอบในตารางที่ 4.3 คือผลการใช้สมการปรับค่ากำลังงานและค่าอัตราส่วนกำลังงานแบบแปรผันกับอุณหภูมิบนส่วนควบคุมของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสง

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบด้วยการควบคุมกำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้อายไดอะแกรมที่มีค่าซีโรฮิมาสค์มาร์จินคงที่

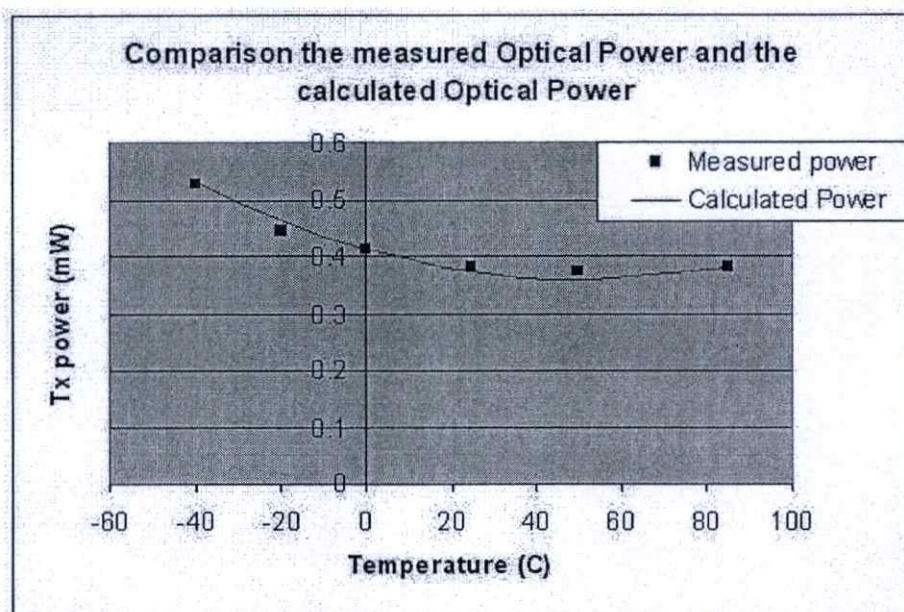
อุณหภูมิของออปติคคอลลทรานซีฟเวอร์ (°C)	-40	-20	0	25	50	85
กำลังงานแสง (dBm)	-2.79	-3.51	-3.84	-4.18	-4.26	-4.18
กำลังงานแสง (mW)	0.526	0.445	0.413	0.381	0.374	0.381
อัตราส่วนกำลังงาน (dB)	7.21	7.14	7.19	7.03	7.09	6.96
จิทเตอร์ (ps)	27.2	23.8	21.08	23.8	22.44	27.2
ช่วงเวลาขาลง (ps)	100.6 4	96.56	96.56	97.24	99.96	99.96
ซีโรฮิมาสค์มาร์จิน (%)	40	40	41	44	41	38

หมายเหตุ: ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร, อัตราส่งข้อมูล 4.25 Gbps, รูปแบบข้อมูล PRBS7

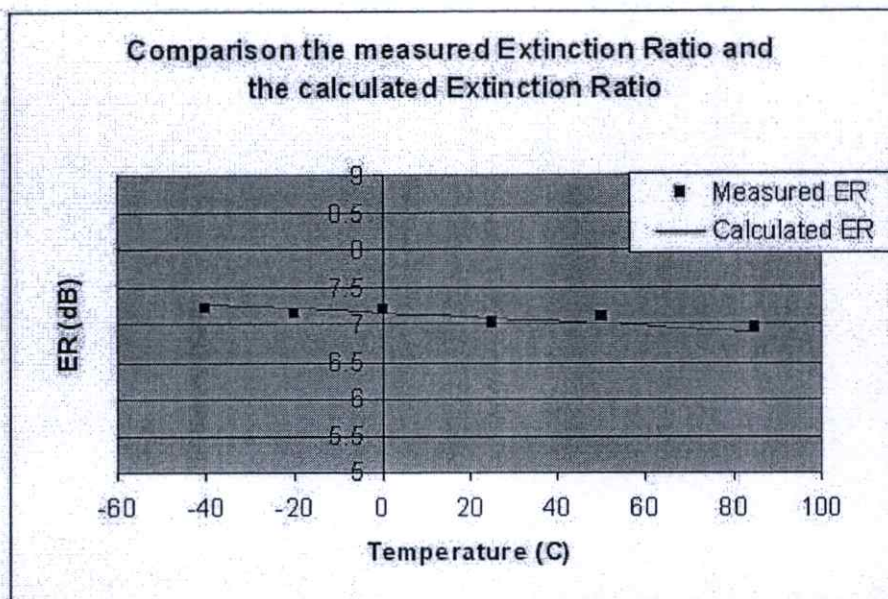
(Pseudo Random Binary Sequence 2^7-1), มาตรฐานทดสอบเป็นแบบ FC4250 (Fibre Channel), เลเซอร์เป็นแบบส่งแสงในแนวตั้งจากกับผิว (Vertical Cavity Surface Emitting Laser, VCSEL)

4.6 ความคลาดเคลื่อนของค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานจากการคำนวณกับการวัดของวิธีการควบคุมกำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้อายุไดอะแกรมที่มีค่าซีโรอิมมัลส์มาร์จินคงที่

รูปที่ 4.10 และ 4.11 แสดงให้เห็นว่ากำลังงานแสงและอัตราส่วนกำลังงานที่วัดได้หลังจากใช้โปรแกรมควบคุมปรับค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานมีค่าใกล้เคียงกับกำลังงานแสงและอัตราส่วนกำลังงานที่คำนวณได้ในสมการที่ 4.3 และ ซึ่งแปรผันกับอุณหภูมิ



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบกำลังงานแสงจากสมการปรับค่าที่คำนวณได้ในสมการที่ 4.3 กับค่ากำลังงานแสงที่วัดจริง



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบอัตราส่วนกำลังงานจากสมการปรับค่าที่คำนวณได้ในสมการที่ 4.4 กับค่าอัตราส่วนกำลังงานที่วัดจริง

4.7 การเปรียบเทียบผลซีโรธิมาสค์มาร์จินที่ได้จากวิธีคงค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานและวิธีการควบคุมกำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้อายไดอะแกรมที่มีค่าซีโรธิมาสค์มาร์จินคงที่

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบผลซีโรธิมาสค์มาร์จินระหว่างวิธีคงค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานกับวิธีการควบคุมกำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้อายไดอะแกรมที่มีค่าซีโรธิมาสค์มาร์จินคงที่

อุณหภูมิของทรานซิปเวอร์ (°C)	-40	-20	0	25	50	85
วิธี	ผลซีโรธิมาสค์มาร์จิน (%)					
คงค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงาน	2	28	28	40	28	17
ปรับค่าตามสมการการปรับค่ากำลังงานและค่าอัตราส่วนกำลังงานแบบแปรผันกับอุณหภูมิ	40	40	41	44	41	38

จากตารางที่ 4.4 เป็นการเปรียบเทียบให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีคงค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานและวิธีการควบคุมกำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้อายไดอะแกรมที่มีค่า

ซีโรฮิมาสค์มาร์จินคงที่และซีให้เห็นว่าผลทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์ซีโรฮิมาสค์มาร์จินของวิธีคงค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงาน ลดลง 12 ที่อุณหภูมิ -20°C ถึง 50°C หรือเปลี่ยนแปลงไป 30% เมื่อเทียบกับผลที่อุณหภูมิห้อง และลดลงมากถึง 38 ที่ -40°C หรือเปลี่ยนแปลงไป 95% เมื่อเทียบกับผลที่อุณหภูมิห้อง ขณะที่ผลการทดสอบด้วยวิธีการควบคุมกำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้อายุไดอะแกรมที่มีค่าซีโรฮิมาสค์มาร์จินคงที่ ซึ่งทำให้ได้ค่าซีโรฮิมาสค์มาร์จินใกล้เคียงกับผลที่อุณหภูมิห้องในช่วงอุณหภูมิ -40°C ถึง 85°C และผลต่างมากที่สุดของซีโรฮิมาสค์มาร์จินคือ 6 ที่อุณหภูมิ 85°C หรือเปลี่ยนแปลงไป 13.7% เมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิห้อง

4.8 ผลการชุ่มทดสอบบนอุปกรณ์ตัวอย่าง (Sample)

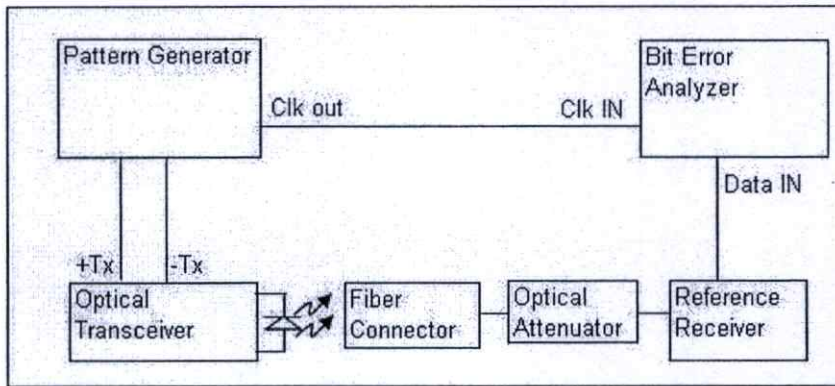
ตารางที่ 4.5 ผลซีโรฮิมาสค์มาร์จินของตัวงานทดลองด้วยวิธีปรับค่าตามสมการการปรับค่ากำลังงานและค่าอัตราส่วนกำลังงานแบบแปรผันกับอุณหภูมิ

อุณหภูมิของทรานซิปเวอร์ ($^{\circ}\text{C}$)	-40	-20	0	25	50	85
ตัวงานทดลอง	ผลซีโรฮิมาสค์มาร์จิน (%)					
1	40	40	41	44	41	38
2	33	35	35	37	36	33
3	34	35	36	39	37	34
4	36	38	39	42	40	39

บนตัวอุปกรณ์ตัวอย่างแต่ละตัวมีเลเซอร์เป็นแบบเดียวกันแต่ผลซีโรฮิมาสค์มาร์จินที่อุณหภูมิห้อง 25°C จะมีค่าไม่เท่ากันขึ้นกับคุณสมบัติเฉพาะตัวของอุปกรณ์ซึ่งเป็นเรื่องปกติของอุปกรณ์ประเภทนี้ จึงทำให้สมการที่ถูกสร้างขึ้นมีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามผลที่ได้รับที่แสดงในตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าผลของซีโรฮิมาสค์มาร์จินในแต่ละอุปกรณ์ตัวอย่างมีผลใกล้เคียงกันในช่วงอุณหภูมิ -40°C ถึง 85°C ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าวิธีการควบคุมกำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้อายุไดอะแกรมที่มีค่าซีโรฮิมาสค์มาร์จินคงที่ ที่นำเสนอนี้สามารถนำไปใช้กับกระบวนการผลิตแบบจำนวนมาก

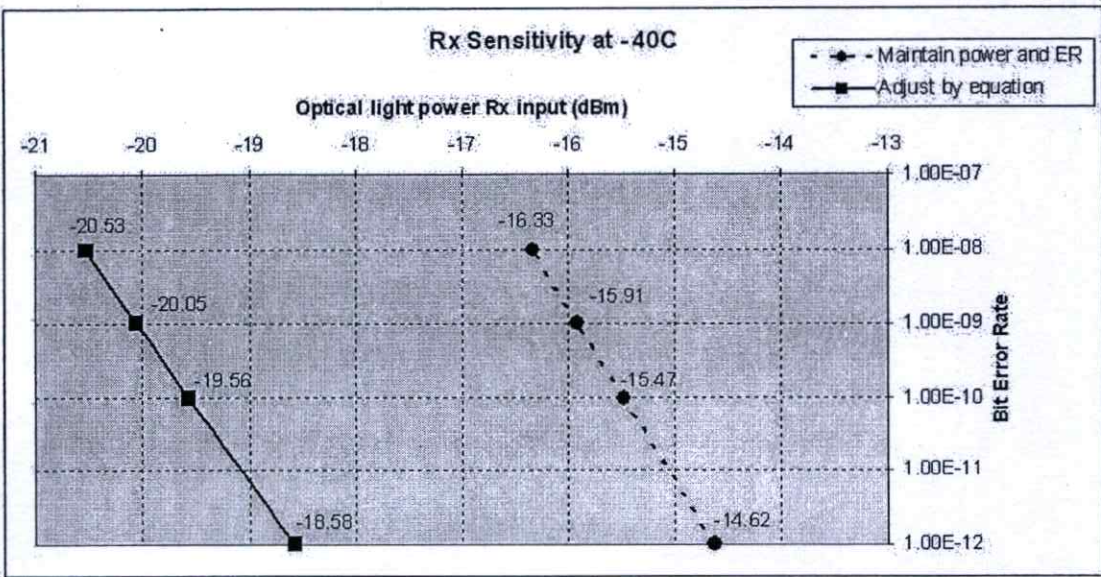
4.9 การเปรียบเทียบผลค่ากำลังงานน้อยสุดที่ทำให้เกิดบิตผิดพลาด 1บิตจากการส่ง 10^{12} บิตที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส

เครื่องมือทดสอบค่ากำลังงานน้อยสุดที่ทำให้เกิดอัตราส่วนบิตผิดพลาด (Bit Error Ratio, BER) 1บิตจากการส่ง 10^{12} บิตมีการต่อดังรูปที่ 4.12 โดยอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงจะต่อสัญญาณมอดูเลชันจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Pattern Generator) ด้วยอัตราส่งข้อมูล 4.25 กิกะบิตต่อวินาที (Gbps) สัญญาณแสงจะถูกส่งเข้าไปในสายใยแก้วนำแสงและผ่านอุปกรณ์ลดทอนแสง (Optical Attenuator) เพื่อลดทอนแสงให้เกิดบิตผิดพลาดเมื่อผ่านตัวรับอ้างอิง (Reference Receiver) เพื่อแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าก่อนเข้าเครื่องวิเคราะห์บิตผิดพลาด (Bit Error Analyzer) และสัญญาณนาฬิกาเอาทพุทของเครื่องกำเนิดสัญญาณต้องต่อกับสัญญาณนาฬิกาอินพุทของเครื่องวิเคราะห์บิตผิดพลาด



รูปที่ 4.12 แผนภาพบล็อกการทดสอบค่ากำลังงานน้อยสุดที่ทำให้เกิดบิตผิดพลาด 1บิตจากการส่ง 10^{12} บิต

ผลค่ากำลังงานน้อยสุดที่ทำให้เกิดบิตผิดพลาด 1บิตจากการส่ง 10^{12} บิตที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียสในรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าวิธีการควบคุมกำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้ใยไดอะแกรมที่มีค่าซีโรฮิทมาส์มาร์จินคงที่ ให้ผลที่ดีกว่าแบบคงค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานกล่าวคือที่บิตผิดพลาด $1E-12$ ค่ากำลังงานของวิธีคงค่ากำลังงานต้องใช้กำลังงานมากกว่าที่จะไม่ให้เกิดบิตผิดพลาด ขณะที่วิธีที่นำเสนอใช้กำลังงานที่น้อยกว่าวิธีคงค่ากำลังงานถึง -3.96dBm ที่จะไม่ให้เกิดบิตผิดพลาด ด้วยเหตุนี้สามารถกล่าวได้ว่าในกรณีออฟติกคอลอายใยไดอะแกรมที่มีค่าซีโรฮิทมาส์มาร์จินมากจะมีเสถียรภาพที่ดีกว่าและโอกาสบิตผิดพลาดน้อยกว่าออฟติกคอลอายใยไดอะแกรมที่มีค่าซีโรฮิทมาส์มาร์จินน้อย



รูปที่ 4.13 ผลค่ากำลังงานน้อยสุดที่ทำให้เกิดบิตผิดพลาดด้วยวิธีคงค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานกับวิธีปรับค่าตามสมการที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการควบคุมกำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้อายุไดอะแกรมที่มีค่าซีโรอิทมาร์จินคงที่เพื่อทำให้ได้อพติกคอลอายไดอะแกรมที่เหมาะสมภายใต้ช่วงอุณหภูมิใช้งาน ด้วยวิธีปรับค่ากำลังงานและเอ็กดิงชั้นเรโซตามสมการกำลังสองและสมการเชิงเส้นตามลำดับซึ่งคำนวณมาจากการประมาณค่าพหุคูณกำลังของค่ากำลังงานและเอ็กดิงชั้นเรโซซึ่งค่ากำลังงานและเอ็กดิงชั้นเรโซนี้เป็นค่าที่ทำให้ได้อพติกคอลอายไดอะแกรมได้ผลทดสอบซีโรอิทมาร์จินใกล้เคียงกับที่อุณหภูมิห้อง 25°C

ปัญหาที่คุณลักษณะของเลเซอร์แปรผันกับอุณหภูมิส่งผลต่อได้อพติกคอลอายไดอะแกรมของอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงและด้วยแนวคิดวิธีที่รักษากำลังงานแสงและเอ็กดิงชั้นเรโซให้คงที่เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในปัจจุบันที่ชดเชยการเพิ่มหรือลดลงของกำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานแต่นั้นไม่ได้หมายความว่าได้อพติกคอลอายไดอะแกรมหรือสัญญาณแสงจะต้องมีคุณภาพเหมือนเดิมกับที่อุณหภูมิห้อง 25°C ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอการควบคุมกำลังงานของเลเซอร์เพื่อให้ได้อายุไดอะแกรมที่เหมาะสม

การทำวิจัยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนแรกเป็นขั้นตอนการเก็บข้อมูลค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานที่อุณหภูมิต่างๆ $-40, -20, 0, 25, 50$ และ 85°C ซึ่งค่าเหล่านี้ต้องทำให้ผลทดสอบได้อพติกคอลอายไดอะแกรมด้วยมาตราสัณฐานค่าซีโรอิทมาร์จินใกล้เคียงกันกับที่อุณหภูมิห้องซึ่งค่าซีโรอิทมาร์จินคือขนาดพื้นที่มากที่สุดของมาตราสัณฐานที่ไม่มีสัญญาณเข้าไป

ขั้นตอนต่อมาเป็นขั้นตอนสร้างสมการจากข้อมูลที่เก็บมาจากขั้นตอนแรกซึ่งสัมพันธ์กับอุณหภูมิโดยสร้างสมการควบคุมค่ากำลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังงานกับอุณหภูมิด้วยวิธีการปรับหาสมการเส้นโค้งกำลังสองที่เหมาะสม (Quadratic Curve Fitting) และสมการควบคุมอัตราส่วนกำลังงานจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังงานกับอุณหภูมิด้วยวิธีการปรับหาเส้นโค้งที่เหมาะสมแบบเชิงเส้น (Linear Curve Fitting)

ขั้นตอนสุดท้ายคือการนำสมการไปเขียนในโปรแกรมควบคุมและทดสอบผลบนอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงซึ่งสามารถปรับค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ใกล้เคียงกับสมการที่ทำในขั้นตอนที่สองและผลทดสอบด้วยมาตราสัณฐานได้อพติกคอลอายไดอะแกรมมีค่าซีโรอิทมาร์จินใกล้เคียงผลที่อุณหภูมิห้อง

ผลการทดสอบในตารางที่ 4.4 ซึ่งให้เห็นว่าผลทดสอบค่าซีโรอิทมาร์จินของวิธีคงค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังลดลง 12 ที่อุณหภูมิ -20°C ถึง 50°C หรือเปลี่ยนแปลงไป 30% เมื่อเทียบกับผลที่อุณหภูมิห้อง และลดลงมากถึง 38 ที่ -40°C หรือเปลี่ยนแปลงไป 95% เมื่อเทียบกับผล

ที่อุณหภูมิห้อง ในขณะที่ผลการทดสอบด้วยวิธีการปรับค่ากำลังงานและค่าอัตราส่วนกำลังงานแบบแปรผันกับอุณหภูมิที่นำเสนอได้ค่าซีโรอิทมาสเตอร์จิ้นใกล้เคียงกับผลที่อุณหภูมิห้องในช่วงอุณหภูมิ -40°C ถึง 85°C และผลต่างมากที่สุดของซีโรอิทมาสเตอร์จิ้นคือ 6 ที่อุณหภูมิ 85°C หรือเปลี่ยนแปลงไป 13.7% เมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิห้อง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้บรรลุการปรับออปติกอลลายโคอะแกรมให้เหมาะสมในช่วงอุณหภูมิทำงาน (-40°C ถึง 85°C) ด้วยการควบคุมกำลังงานของเลเซอร์ไดโอดเพื่อให้ได้ลายโคอะแกรมที่มีค่าซีโรอิทมาสเตอร์จิ้นคงที่ ข้อดีของวิธีที่นำเสนอคือทำให้ได้ออปติกอลลายโคอะแกรมที่เหมาะสมบนอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงที่ใช้เลเซอร์ราคาถูกลง อย่างไรก็ตามข้อด้อยของวิธีนี้คือการเพิ่มมากขึ้นของกระแสไบอัสซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับงานบางประเภทที่ต้องจำกัดการแทรกสอดของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า (Electro Magnetic Interference EMI), การบริโภคกำลังงานและความกว้างของสเปกตรัม (Spectrum Width)

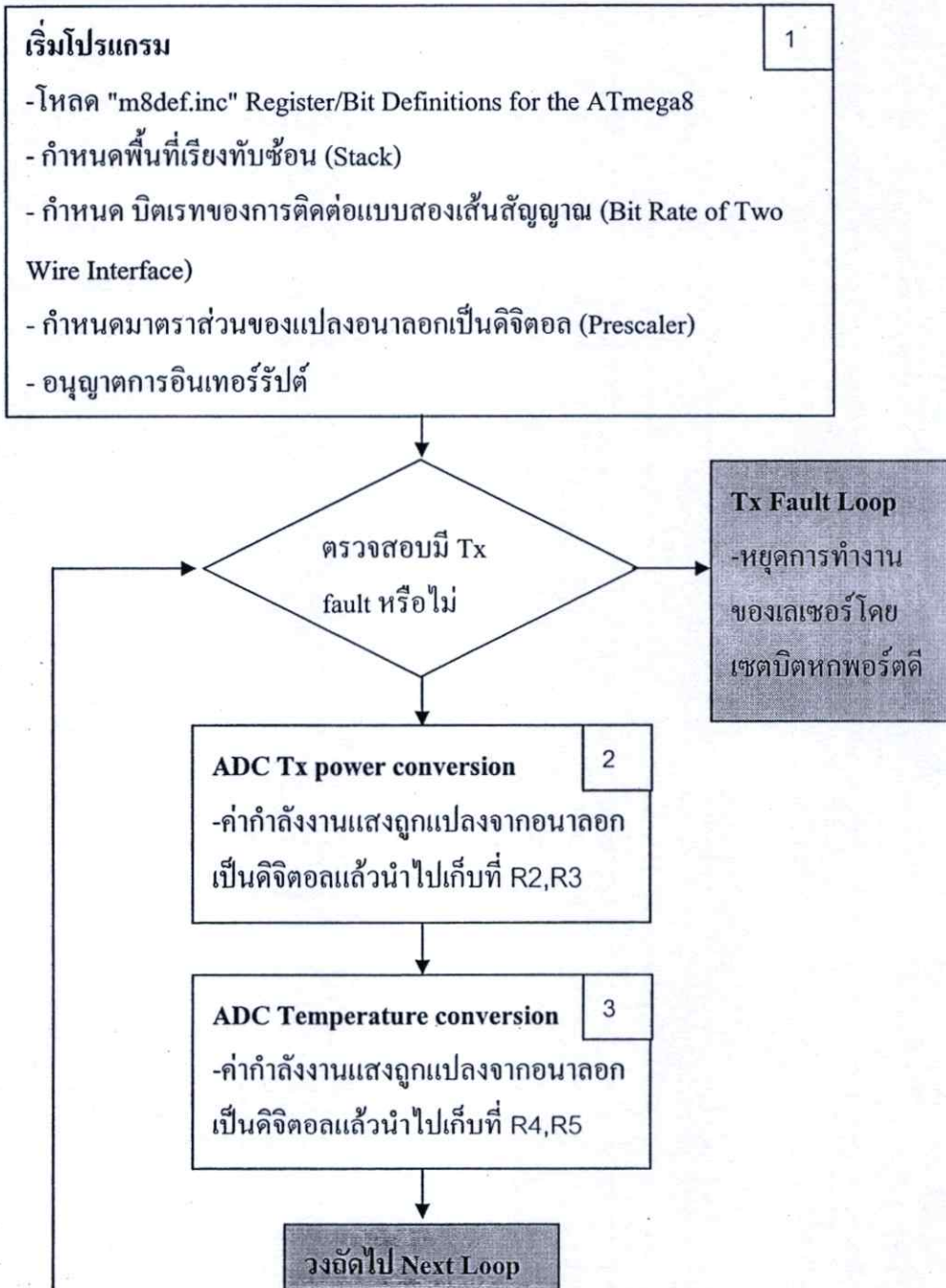
บรรณานุกรม

- [1] Ferenc Barany and Mark J. Murphy Analog Devices Inc., “**Cost Effective Methods for Characterizing Laser Transfer Curves**”, May 2003, pp.1.,
www.highfrequencyelectronics.com/Archives/Jul03/HFE0703_Barany.pdf
- [2] Harry J. R. Dutton, “**Understanding Optical Communications**”, September 1998, pp.28.,
www.redbooks.ibm.com/redbooks/pdfs/sg245230.pdf
- [3] Members of the SFP-MSA, **Small Form-factor Pluggable (SFP) Transceiver MultiSource Agreement (MSA)**, September 2000, pp. 23, <http://www.schelto.com/SFP/SFP%20MSA.pdf>
- [4] Guy Foster, SyntheSys Research, Inc., “**Anatomy of an Eye Diagram– A Primer**”, October 2004, pp.1., www.bertscope.com/Literature/White_Papers/Eye_Anatomy.pdf
- [5] Atmel, “**Doc2486, 8-bit microcontroller with 8K Bytes In-System Programmable Flash**”,
www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf
- [6] Agilent, “**Jitter Fundamentals: Agilent 81250 ParBERT Jitter Injection and Analysis Capabilities**”, pp.2-9., <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/86100-90102.pdf>
- [7] Nehring, Dan, “**Oscillator Jitter FAQ**”, www.spvvius.ru/jitter_faq2.pdf
- [8] WAVECREST Corporation, “**Understanding Jitter**”, 2001, pp.1,
www.wavecrest.com.cn/technical/VISI_6_Getting_Started_Guides/6understanding.PDF
- [9] Maxim, “**APPLICATION NOTE HFAN-02.3.1 (Rev 0; 05/02), Maintaining Average Power and Extinction Ratio, Part 1, Slope Efficiency and Threshold Current**”, June 2002., <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/an/AN1092.pdf>
- [10] ดร.อนิรุท ลวดทรง, “**การวิเคราะห์และระเบียบวิธีเชิงตัวเลข**”, ภาควิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2007, pp. 267, https://hpcmath.kmutt.ac.th/roll-documentation/more_documents/numerical/lecture_notes/numerical.pdf
- [11] Kurtis R. Gurley, “**Numerical Methods Lecture 5 - Curve Fitting Techniques**”,
www.ce.ufl.edu/~kgurl/Classes/Lect3421/NM5_curve_s02.pdf
- [12] National Semiconductor, “**LM20, micro SMD Temperature Sensor**”,
www.national.com/green/pdf/LM20SIBPX.pdf
- [13] Casimer DeCusatis, “**Handbook of Fiber Optic Data Communication**”, pp. 348,
 Academic Press, 2008

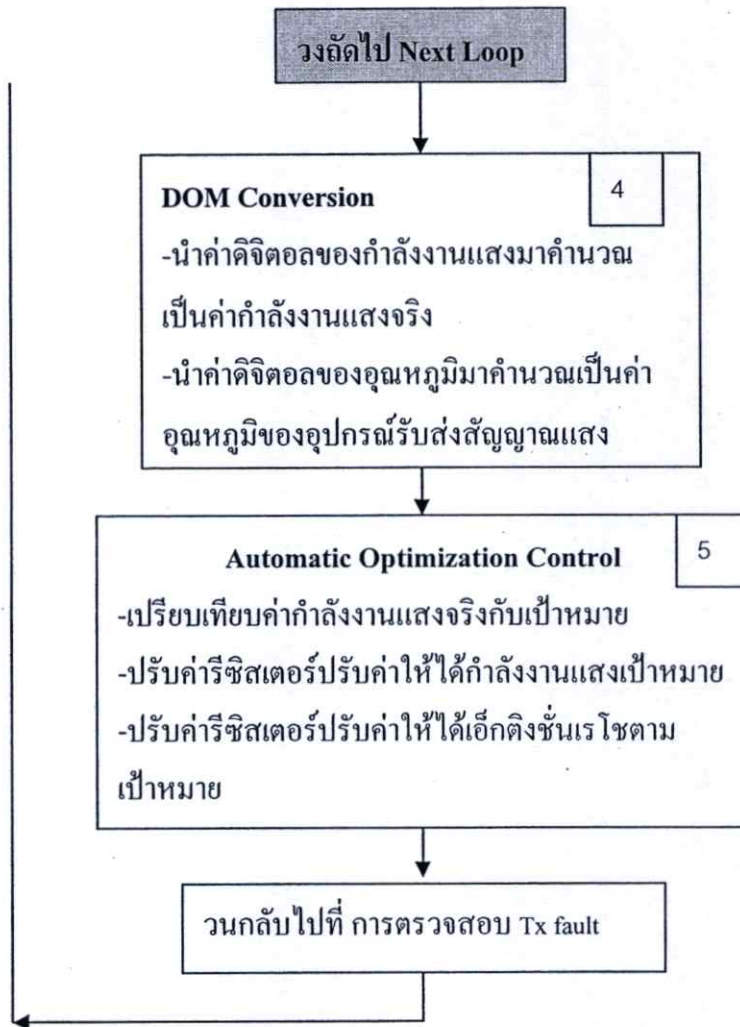
ภาคผนวก ก.

แผนผังหลักการทำงานของโปรแกรม

ก.1 แผนผังหลักการทำงานของโปรแกรม

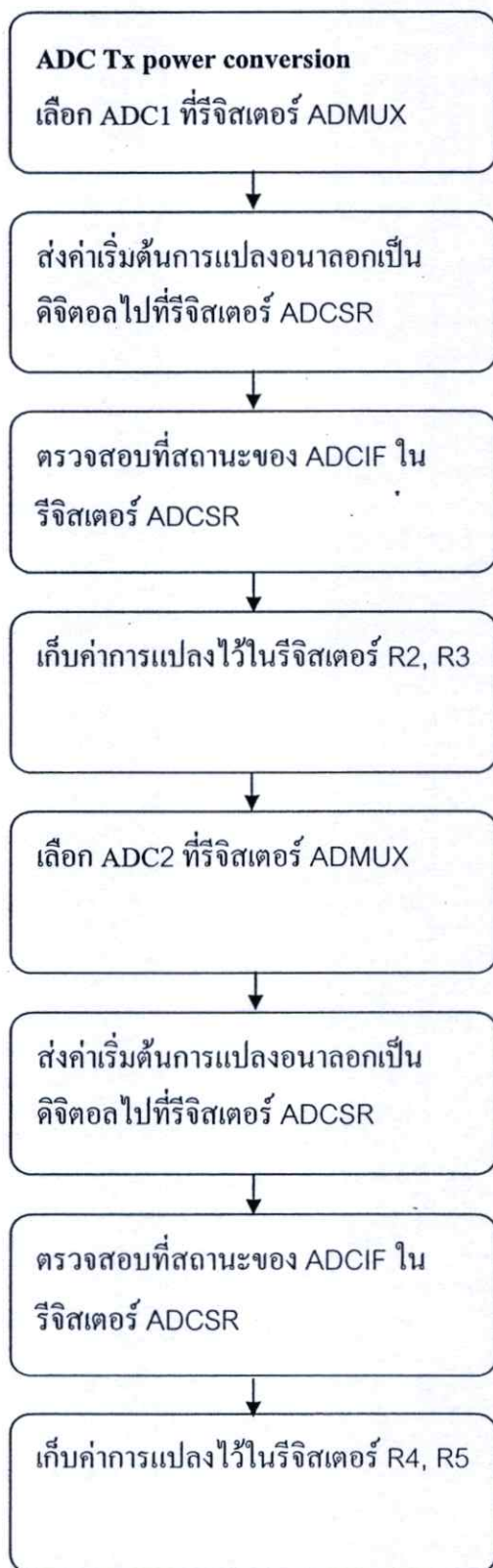


รูปที่ ก.1 แผนผังหลักการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ ก.1 แผนผังหลักการทำงาน (ต่อ)

ก.2 แผนผังการทำงานของบล็อกที่สองและสาม



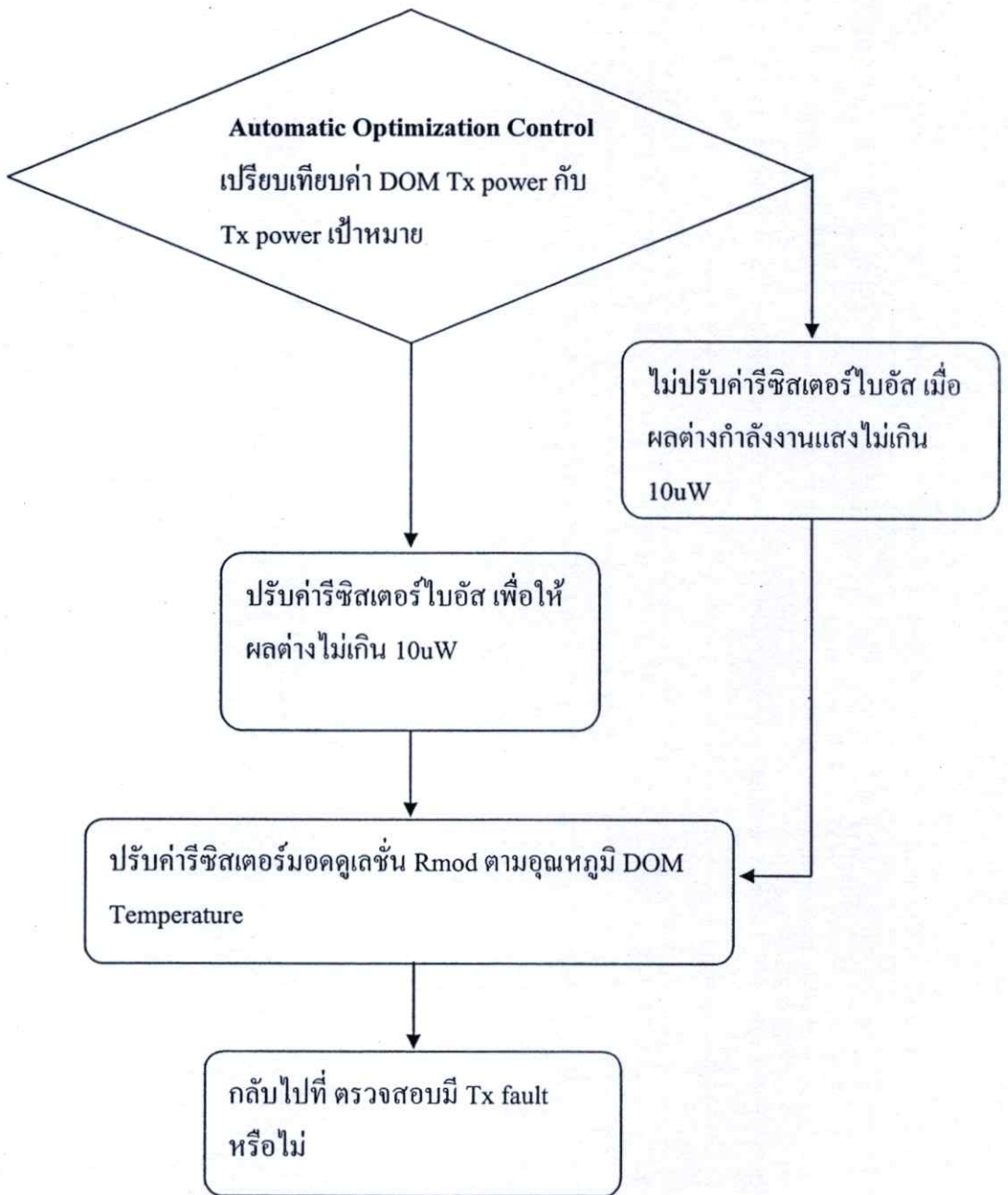
รูปที่ ก.2 แผนผังการทำงานของการทำงานของการแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล

ก.3 แผนผังการทำงานของบล็อกที่สี่



รูปที่ ก.3 แผนผังการทำงานของการทำงานของการแปลงเป็นค่าตรวจสอบดิจิทัล

ก.4 แผนผังการทำงานของบล็อกที่ห้า



รูปที่ ก.4 แผนผังการทำงานของการทำงานของการปรับค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงานอย่างอัตโนมัติ

ภาคผนวก ข.

การหาค่าคงที่สำหรับส่วนตรวจสอบค่าดิจิตอล

ข.1 ค่าคงที่สำหรับตัวตรวจสอบอุณหภูมิ

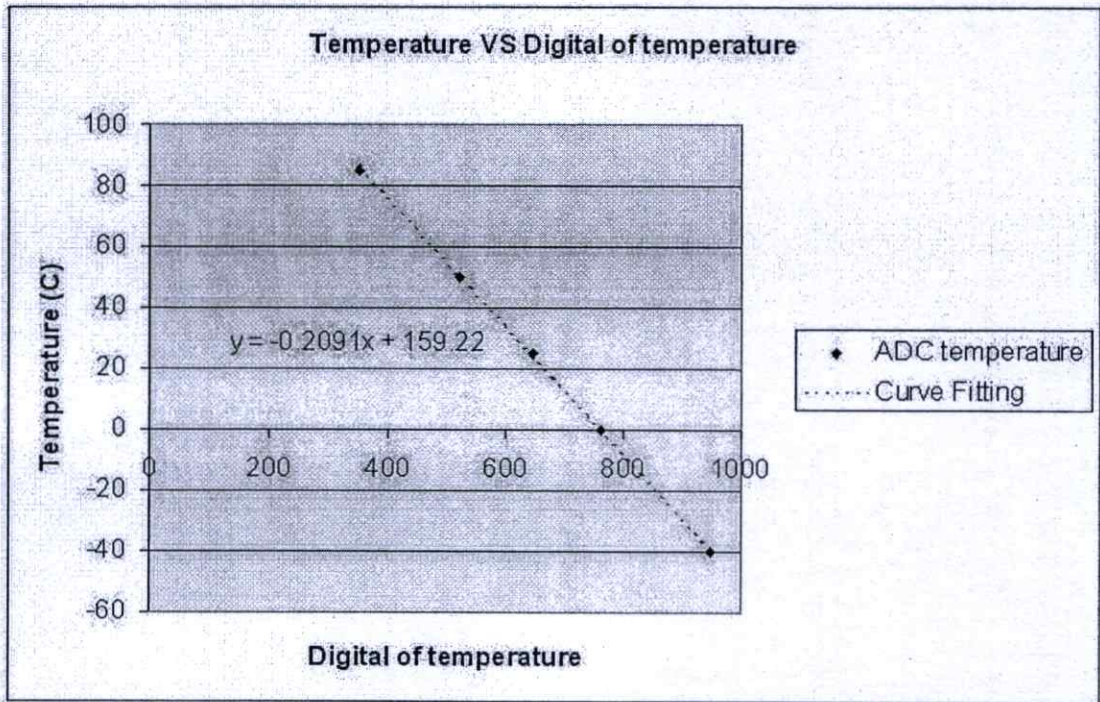
จากสมการอุณหภูมิและแรงดันเอาต์พุทของตัวตรวจสอบอุณหภูมิในเอกสารอ้างอิง [12] ดังสมการที่ (ข.1) สามารถใช้คำนวณหาสมการอุณหภูมิสำหรับเครื่องรับส่งสัญญาณแสง ได้ดังตารางที่ ข.1 และรูปที่ ข.1

$$V_o = (-3.88 \times 10^{-6} \times T^2) + (-1.15 \times 10^{-2} \times T) + 1.8639 \quad (\text{ข.1})$$

หมายเหตุ T แทนค่าอุณหภูมิ, V_o คือแรงดันเอาต์พุทของตัวตรวจสอบอุณหภูมิ

ตารางที่ ข.1 ค่าดิจิตอลของอุณหภูมิสำหรับตัวตรวจสอบอุณหภูมิ

แรงดันเอาต์พุทของตัวตรวจสอบ อุณหภูมิ (V)	อุณหภูมิ (°C)	ค่าดิจิตอลของอุณหภูมิ (ADC 10 bits @ 2.5V แรงดันอ้างอิงสำหรับแปลงจาก อนาลอกเป็นดิจิตอล)
2.318	-40	949
2.092	-20	857
1.864	0	763
1.574	25	645
1.279	50	524
0.858	85	352



รูปที่ ข.1 หาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมแบบเชิงเส้นระหว่างอุณหภูมิกับค่าดิจิทัลของอุณหภูมิเพื่อหาสมการอุณหภูมิ

จากรูปที่ ข.1 เราจะได้สมการอุณหภูมิสำหรับเครื่องรับส่งสัญญาณแสงดังสมการที่ ข.2 ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในโปรแกรมการปรับค่ากำลังงานและอัตราส่วนกำลังงาน

$$T = -0.2091 * ADCTemp + 159.22 \quad (\text{ข.2})$$

หมายเหตุ T แทนค่าอุณหภูมิ, ADCTemp คือค่าดิจิทัลของอุณหภูมิ

อย่างไรก็ตามเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณตัวเลขบนไมโครคอนโทรลเลอร์และง่ายต่อการเปรียบเทียบดังนั้นเมื่อพิจารณาตัวเลขเป็นจำนวนเต็ม ผลต่างของอุณหภูมิที่ได้เป็นดังนี้

$$T \times 100 = -21 * ADCTemp + 15922 \quad (\text{ข.3})$$

ผลความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมিরะหว่างสมการ ข.2 กับสมการ ข.3 ที่อุณหภูมิต่างๆได้ถูกแสดงในตารางที่ ข.2

ตารางที่ ข.2 ค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิ

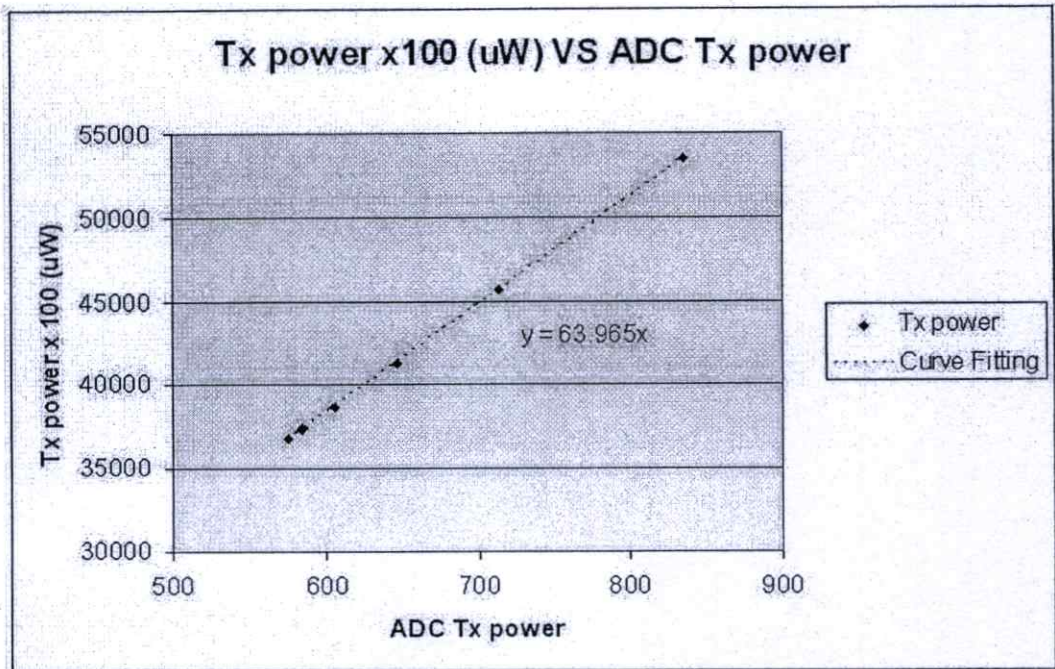
อุณหภูมิ(°C)	ค่าดิจิทัลของอุณหภูมิจากตาราง ที่ ข.1	อุณหภูมิ (°C) จาก สมการที่ (15)	อุณหภูมิ คลาดเคลื่อน (°C)
-40	949	-40.83	0.83
-20	857	-20.75	0.75
0	763	-0.67	0.67
25	645	24.44	0.56
50	524	49.54	0.46
85	352	84.68	0.32

ข.2 ค่าคงที่สำหรับค่าตรวจสอบกำลังงานแสง

จากการหาออฟติกคอลอายุที่เหมาะสมในตารางที่ 3.1 เราได้ทำการเก็บค่าดิจิทัลของกำลังงานแสงและตำแหน่งของดิจิทัลรีซิสเตอร์สำหรับมอดดูเลชันด้วยดังตารางที่ ข.3 เพื่อใช้ในการหาค่าคงที่สำหรับค่าตรวจสอบกำลังงานแสงและใช้การปรับหาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมแบบเชิงเส้นระหว่างกำลังงานแสงกับดิจิทัลของกำลังงานแสงเพื่อหาค่าคงที่สำหรับค่าตรวจสอบกำลังงานแสงดังรูปที่ ข.2

ตารางที่ ข.3 ค่าดิจิทัลของกำลังงานแสงและตำแหน่งของดิจิทัลรีซิสเตอร์สำหรับมอดดูเลชัน

อุณหภูมิของเครื่องรับส่งสัญญาณแสง (°C)	-40	-20	0	25	50	85
กำลังงานแสง x100 (uW)	53456	45709	41305	37411	36813	38726
อัตราส่วนกำลังงาน (dB)	7.33	7.21	7.13	7.01	7.04	6.93
ค่าดิจิทัลของกำลังงานแสง (ADC Tx Power)	836	715	646	585	576	605
ตำแหน่งของดิจิทัลรีซิสเตอร์ (Digital Resistor Position) สำหรับมอดดูเลชัน (Rmod)	15	18	20	23	25	28



รูปที่ ข.2 หาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมแบบเชิงเส้นระหว่างกำลังงานแสงกับดิจิทัลของกำลังงานแสงเพื่อหาค่าคงที่สำหรับค่าตรวจสอบกำลังงานแสง

$$\text{Tx Power x100 (uW)} = 63.965 * \text{ADC Tx Power} \quad (\text{ข.4})$$

หมายเหตุ ADC Tx Power แทนค่าดิจิทัลของกำลังงานแสง

เมื่อพิจารณาค่าคงที่เป็นจำนวนเต็มจะได้สมการและผลต่างดัง ข.5 เนื่องจากจำนวนเต็มจะถูกใช้บนไมโครคอนโทรลเลอร์

$$\text{Tx Power x100 (uW)} = 64 * \text{ADC Tx Power} \quad (\text{ข.5})$$

ผลความคลาดเคลื่อนของกำลังงานแสงระหว่างสมการ ข.4 กับสมการ ข.5 ที่อุณหภูมิต่างๆ ได้ถูกแสดงในตารางที่ ข.4

ตารางที่ ข.4 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าตรวจสอบกำลังงานแสง

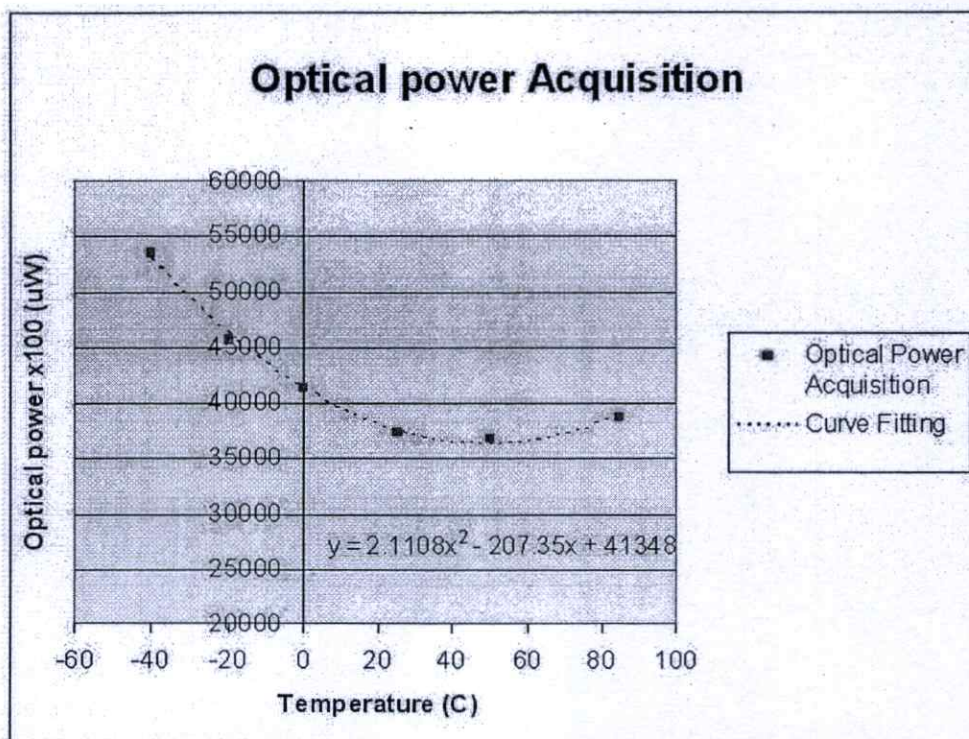
อุณหภูมิ (°C)	ค่ากำลังงานแสงจาก สมการ (16) (x100 uW)	ค่ากำลังงานแสงจาก สมการ (17) (x100 uW)	ค่าความคลาด เคลื่อน (uW)	เปอร์เซ็นต์ คลาดเคลื่อน
-40	53457	53486	0.29	0.05%
-20	45709	45734	0.25	0.05%
0	41305	41327	0.23	0.05%
25	37411	37432	0.20	0.05%
50	36813	36833	0.20	0.05%
85	38726	38747	0.21	0.05%

ข.3 ค่าความคลาดเคลื่อนของสมการปรับค่ากำลังงานแสง

จากตารางที่ 3.1 สมการปรับค่ากำลังงานแสงด้วยวิธีการปรับหาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมแบบพหุนามกำลังสองจะได้สมการดังนี้ ข.6 และรูปที่ ข.3

$$\text{Tx Power x100 (uW)} = 2.1108 * T^2 - 207.35 * T + 41348 \quad (\text{ข.6})$$

หมายเหตุ T แทนค่าอุณหภูมิ



รูปที่ ข.3 หาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสมแบบพหุนามกำลังสองระหว่างกำลังงานแสงกับอุณหภูมิ

เมื่อพิจารณาค่าคงที่ด้วยจำนวนเต็มจะได้สมการและผลต่างดังนี้ ข.7 เนื่องจากจำนวนเต็มจะถูกใช้บนไมโครคอนโทรลเลอร์และผลความคลาดเคลื่อนของกำลังงานแสงระหว่างสมการ ข.6 กับสมการ ข.7 ที่อุณหภูมิต่างๆได้ถูกแสดงในตารางที่ ข.5

$$\text{Tx Power x100 (uW)} = 2 \cdot T^2 - 207 \cdot T + 41348 \quad (\text{ข.7})$$

ตารางที่ ข.5 ค่าความคลาดเคลื่อนของกำลังงานแสงในสมการปรับค่ากำลังงานแสง

อุณหภูมิ (°C)	ค่ากำลังงานแสงจากสมการ (18) (x100 uW)	ค่ากำลังงานแสงจากสมการ (19) (x100 uW)	ค่าความคลาดเคลื่อน (uW)	เปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อน
-40	53018	52828	6.28	1.18
-20	46339	46288	-5.79	-1.27
0	41348	41348	-0.43	-0.10
25	37483	37423	-0.12	-0.03
50	36255.5	35998	8.15	2.21
85	38968	38203	5.23	1.35

ภาคผนวก ค.

โปรแกรม

```

.include "m8def.inc"

.CSEG

.org 0x0000

rjmp  main

.org 0x0011

rjmp  TWI

;32 register 0000-001F

;64 I/O reg 0020-005F

;internal SRAM 0100-04FF

Txfault:

    SBI        portd,6           ;enable Soft Tx disable PD6

    SBI        portd,7           ;enable Soft Tx fault PD7

    Ret

wait_Ack:

    in r16,TWCR

    sbrc r16,TWINT

    rjmp wait_Ack

    ret

;*****

;*

;* "div16s" - 16/16 Bit Signed Division

;*

;* This subroutine divides signed the two 16 bit numbers

;* "dd16sH:dd16sL" (dividend) and "dv16sH:dv16sL" (divisor).

;* The result is placed in "dres16sH:dres16sL" and the remainder in

```

```

;* "drem16sH:drem16sL".
;*
;* Number of words      :39
;* Number of cycles     :247/263 (Min/Max)
;* Low registers used   :3 (d16s,drem16sL,drem16sH)
;* High registers used  :7 (dres16sL/dd16sL,dres16sH/dd16sH,dv16sL,dv16sH,
;*                      dcnt16sH)
;*
;*
;*****

```

```

;***** Subroutine Register Variables

```

```

.def    d16s    =r13        ;sign register
.def    drem16sL=r14        ;remainder low byte
.def    drem16sH=r15        ;remainder high byte
.def    dres16sL=r16        ;result low byte
.def    dres16sH=r17        ;result high byte
.def    dd16sL  =r16        ;dividend low byte
.def    dd16sH  =r17        ;dividend high byte
.def    dv16sL  =r18        ;divisor low byte
.def    dv16sH  =r19        ;divisor high byte
.def    dcnt16s =r20        ;loop counter

```

```

;***** Code

```

```

div16s: mov    d16s,dd16sH    ;move dividend High to sign register
        eor    d16s,dv16sH    ;xor divisor High with sign register
        sbrs   dd16sH,7       ;if MSB in dividend set
        rjmp   d16s_1
        com    dd16sH         ; change sign of dividend
        com    dd16sL
        subi   dd16sL,low(-1)

```

```

        sbci    dd16sL,high(-1)
d16s_1: sbrs    dv16sH,7      ;if MSB in divisor set
        rjmp   d16s_2
        com    dv16sH      ; change sign of divisor
        com    dv16sL
        subi   dv16sL,low(-1)
        sbci   dv16sH,high(-1)
d16s_2: clr    drem16sL      ;clear remainder Low byte
        sub    drem16sH,drem16sH;clear remainder High byte and carry
        ldi    dcnt16s,17    ;init loop counter

d16s_3: rol    dd16sL      ;shift left dividend
        rol    dd16sH
        dec    dcnt16s      ;decrement counter
        brne   d16s_5      ;if done
        sbrs   d16s,7      ; if MSB in sign register set
        rjmp   d16s_4
        com    dres16sH     ; change sign of result
        com    dres16sL
        subi   dres16sL,low(-1)
        sbci   dres16sH,high(-1)
d16s_4: ret                                ; return
d16s_5: rol    drem16sL     ;shift dividend into remainder
        rol    drem16sH
        sub    drem16sL,dv16sL ;remainder = remainder - divisor
        sbc    drem16sH,dv16sH ;
        brcc   d16s_6      ;if result negative
        add    drem16sL,dv16sL ; restore remainder
        adc    drem16sH,dv16sH
        clc                                ; clear carry to be shifted into result
        rjmp   d16s_3      ;else
d16s_6: sec                                ; set carry to be shifted into result

```

```
rjmp d16s_3
```

```

;*****
;
;*
;* "mpy16u" - 16x16 Bit Unsigned Multiplication
;*
;* This subroutine multiplies the two 16-bit register variables
;* mp16uH:mp16uL and mc16uH:mc16uL.
;* The result is placed in m16u3:m16u2:m16u1:m16u0.
;*
;* Number of words      :14 + return
;* Number of cycles     :153 + return
;* Low registers used   :None
;* High registers used  :7 (mp16uL,mp16uH,mc16uL/m16u0,mc16uH/m16u1,m16u2,
;*                      m16u3,mcnt16u)
;*
;*****

;***** Subroutine Register Variables

.def mc16uL=r16          ;multiplicand low byte
.def mc16uH =r17        ;multiplicand high byte
.def mp16uL=r18         ;multiplier low byte
.def mp16uH =r19        ;multiplier high byte
.def m16u0 =r18         ;result byte 0 (LSB)
.def m16u1 =r19         ;result byte 1
.def m16u2 =r20         ;result byte 2
.def m16u3 =r21         ;result byte 3 (MSB)
.def mcnt16u =r22       ;loop counter

;***** Code

```

```

mpy16u:   clr    m16u3        ;clear 2 highest bytes of result
          clr    m16u2
          ldi    mcnt16u,16   ;init loop counter
          lsr    mp16uH
          ror    mp16uL

m16u_1:   brcc   noad8        ;if bit 0 of multiplier set
          add    m16u2,mc16uL ;add multiplicand Low to byte 2 of res
          adc    m16u3,mc16uH ;add multiplicand high to byte 3 of res
noad8:    ror    m16u3        ;shift right result byte 3
          ror    m16u2        ;rotate right result byte 2
          ror    m16u1        ;rotate result byte 1 and multiplier High
          ror    m16u0        ;rotate result byte 0 and multiplier Low
          dec    mcnt16u      ;decrement loop counter
          brne   m16u_1      ;if not done, loop more
          ret

;*****
;*
;* "mpy16s" - 16x16 Bit Signed Multiplication
;*
;* This subroutine multiplies signed the two 16-bit register variables
;* mp16sH:mp16sL and mc16sH:mc16sL.
;* The result is placed in m16s3:m16s2:m16s1:m16s0.
;* The routine is an implementation of Booth's algorithm. If all 32 bits
;* in the result are needed, avoid calling the routine with
;* -32768 ($8000) as multiplicand
;*
;* Number of words      :16 + return
;* Number of cycles     :210/226 (Min/Max) + return
;* Low registers used   :None
;* High registers used  :7 (mp16sL,mp16sH,mc16sL/m16s0,mc16sH/m16s1,
;*                       m16s2,m16s3,mcnt16s)

```

```
.*
;
```

```
*****
```

```
***** Subroutine Register Variables
```

```
.def mc16sL=r16 ;multiplicand low byte
.def mc16sH=r17 ;multiplicand high byte
.def mp16sL=r18 ;multiplier low byte
.def mp16sH=r19 ;multiplier high byte
.def m16s0 =r18 ;result byte 0 (LSB)
.def m16s1 =r19 ;result byte 1
.def m16s2 =r20 ;result byte 2
.def m16s3 =r21 ;result byte 3 (MSB)
.def mcnt16s=r22 ;loop counter
```

```
***** Code
```

```
mpy16s: clr m16s3 ;clear result byte 3
        sub m16s2,m16s2 ;clear result byte 2 and carry
        ldi mcnt16s,16 ;init loop counter
m16s_1: brcc m16s_2 ;if carry (previous bit) set
        add m16s2,mc16sL ; add multiplicand Low to result byte 2
        adc m16s3,mc16sH ; add multiplicand High to result byte 3
m16s_2: sbrc mp16sL,0 ;if current bit set
        sub m16s2,mc16sL ; sub multiplicand Low from result byte 2
        sbrc mp16sL,0 ;if current bit set
        sbc m16s3,mc16sH ; sub multiplicand High from result byte 3
        asr m16s3 ;shift right result and multiplier
        ror m16s2
        ror m16s1
        ror m16s0
        dec mcnt16s ;decrement counter
        brne m16s_1 ;if not done, loop more
```

```
ret
```

```
;-----Read DC EEPOT-----
```

```
Read_Dc_EEPOT:
```

```
ldi r16, (1<<TWSTA)|(1<<TWEN) ;TWI enable and TWI start
out TWCR,r16
```

```
;----dummy byte write sequence to load in the data word address
```

```
ldi r16,0xA1 ;0b10100001(A1h). read mode
```

```
out TWDR,r16
```

```
rcall wait_Ack
```

```
ldi r16,0xF1 ;addr of resister1
```

```
out TWDR,R16
```

```
rcall wait_Ack
```

```
;----(A0h), read mode-----
```

```
ldi r16,(1<<TWSTA)|(1<<TWEN)
```

```
out TWCR,r16
```

```
ldi r16,0xA0 ;Read mode 1010 000 1 read
```

```
out TWDR,r16
```

```
rcall wait_Ack
```

```
ldi r17,50 ;Loop count
```

```
CHK_Status:
```

```
in r16,TWSR ;Check TWI status
```

```
andi r16,0xF8 ;To filter only bit 7-3 248=F8
```

```
cpi r16,80 ;50h=80 Data byte in TWDR has been received; ACK
```

```
has been transmitted
```

```
breq Get_R_DC ;TWSR=80
```

```
dec r17
```

```
cpi r17,0
```

```
brne CHK_Status
```

```
rjmp Read_DC_EEPOT
```

Get_R_DC:

```

in r16,TWDR
ldi r16,(1<<TWSTO)|(1<<TWEN)
out TWCR,r16
ret

```

;-----Write DC EEPROM-----

Write_DC_EEPROM:

```

cbi portB,PB5 ;write protected disable
ldi r16, (1<<TWSTA)|(1<<TWEN) ;TWI enable and TWI start
out TWCR,r16

```

;----dummy byte write sequence to load in the data word address

```

ldi r16,0xA0 ;0b10100000 (A0h) write mode
out TWDR,r16
rcall wait_Ack
ldi r16,0xE1 ;(E1h) Configuration Byte
out TWDR,r16
rcall wait_Ack
ldi r16,0x00 ;to be manual mode
out TWDR,r16
rcall wait_Ack
ldi r16,(1<<TWSTO)|(1<<TWEN)
out TWCR,r16
ldi r16, (1<<TWSTA)|(1<<TWEN) ;TWI enable and TWI start
out TWCR,r16
ldi r16,0xA0 ;0b10100000 (A0h) write mode
out TWDR,r16
rcall wait_Ack
ldi r16,0xF1 ;addr of resistor1 to write
out TWDR,r16
rcall wait_Ack
out TWDR,r15 ;send resistor1 +1 to 0xF1
ldi r16,(1<<TWSTO)|(1<<TWEN)

```

```

out TWCR,r16
sbi Portb,PB5
ret

```

```
;------Save in EEPROM-----;
```

```
get_rawADC:
```

```

sbic  EECR,EEWE  ;EEWE=EEPROM write enable 1=writing,0=idle
rjmp  get_rawADC
out   EEDR,r16
sbi   EECR,EEMWE
sbi   EECR,EEWE

```

```
get_rawADC1:
```

```

sbic  EECR,EEWE  ;EEWE=EEPROM write enable 1=writing,0=idle
rjmp  get_rawADC1
ret

```

```
MAIN:
```

```

ldi r16,low(RAMEND)
out SPL,r16
ldi r16,high(RAMEND)
out SPH,r16

ldi  r16,162 ;load addr (1010 001X) in TWAR
out  TWAR,r16
clr  r24
clr r25
clr r30

in r16,TWSR

cbi  TWSR,(1<<TWPS0|1<<TWPS1) ;mask prescale 1
ldi r16,10

out TWBR,r16 ;SCL bit rate~222k

LDI  r16,197 ;activate TWI and enable TWI interrupt (1100

```

```
0101=C5=197)
```

```
out TWCR,r16
```

```
main1:
```

```
SEI ;enable interrupt (flag bit7 is 1)
in r16,portb
sbrc r16,6 ;skip if Txfault (PB6) is cleared
rcall Txfault ;PB6=1
cbi ADMUX, REFS1
cbi ADMUX, REFS0 ;External ref 00, internal ref 11
ldi R16,$C6
out ADCSR,r16 ;ADC enable, Start conversion, prescale ADC /64
~8MHz/64=125k
```

```
ADC_con:
```

```
ldi r16,1
out ADMUX,r16 ;select ADC1
sbi ADCSR,ADSC
```

```
waitCon1:
```

```
sbis ADCSR,ADIF
rjmp waitCon1
sbi ADCSR,ADIF ;clear flag by set bit
in r16,ADCH ;102 (MSB at low addr)
mov r3,r16
in r16,ADCL ;103 keep digital txpwr
mov r2,r16
```

```
ldi r16,2
out ADMUX,r16 ;select ADC2
sbi ADCSR,ADSC
```

```
waitCon2:
```

```
sbis ADCSR,ADIF
rjmp waitCon2
```

```

sbi ADCSR,ADIF          ;clear flag by set bit

in      r16,ADCH         ;96 (MSB at low addr)

mov     r5,r16

in      r16,ADCL        ;97 keep digital temp

mov     r4,r16

;-----Calculation DOM-----
;DOM Temperature
;Result is R8,R9
DOM:

ldi    R16,0xEB         ;-21=FFEB    slope of Temperature -21*ADCtemp
ldi    R17,0xFF

mov     R18,R4 ;copy R4 (LSB ADC temp)
mov     R19,R5 ;copy R5 (MSB ADC temp)
rcall  mpy16s          ;result is in r18,r19
mov     r16,r18 ;r16 is dividen low byte
mov     r17,r19      ;r17 is dividen high byte
ldi    r18,low(100) ;divider
ldi    R19,high(100)
rcall  div16s          ;result is in r16,r17
;-----Calculate(result1)+15922-----
ldi    R19,0x3e        ;MSB 3e32=15922
ldi    R18,0x32        ;LSB
add     R16,R18          ;LSB result1 +LSB
adc    R17,R19          ;MSB result1 +MSB+carry
mov     R8,R16          ;Result is at R8
mov     R9,R17          ;Result is at R9
;-----Result are R8,R9 DOM Temp-----
ldi    r24,96          ;addr of MSB DOM temp at addr 96
ldi    R25,0
mov     R16,R9          ;load MSB DOM to R15

```

```

rcall EEPROM_write
inc R24          ;addr of LSB DOM Temp at 97
mov R16,R8      ;load LSB DOM to R16
rcall EEPROM_write
;-----Calculate DOM Tx power(x100)uW =64*ADCTx power
;*****Result is R10,R11
DOMTxPower:
ldi R16,64
ldi R17,0x00
mov R18,R2 ;copy R2 (LSB ADC Tx power) to R18
mov R19,R3 ;copy R3 (MSB ADC Tx power) to R19
rcall mpy16u ;Result is in R18,R19
mov R10,R18
mov R11,R19
;-----Result are R10,R11 DOM Tx power-----
ldi r24,102      ;addr of MSB DOM Tx power at addr 102
ldi R25,0
mov R16,R11      ;load MSB DOM tx
rcall EEPROM_write
inc R24          ;addr of LSB DOM Tx power at 103
mov R16,R10      ;load LSB DOM tx
rcall EEPROM_write
;-----Tx power target  $2*T^2-207*T + 41348$ -----
;Result is in R12.R13

;*****  $2*T^2$  *****
mov R16,R8      ;LSB DOM temp
mov R17,R9      ;MSB Dom temp
mov R18,R8
mov R19,R9
rcall mpy16s ;Result is in R18,R19
ldi R16,2

```

```

ldi R17,0x00
rcall mpy16s
mov R12,R18
mov R13,R19
;***** -207*T *****
ldi R16,-207
ldi R17,0x00
mov R18,R8 ;LSB dom temp
mov R19,R9 ;MSB dom temp
rcall mpy16s ;Result is in R18,R19
;***** 2*T^2-207*T *****
add R18,R12
adc R19,R13
mov R12,R18 ;Copy result to R12,R13
mov R13,R19
;***** 2*T^2-207*T + 41348 ****
ldi R16,0x84
ldi R17,0xA1 ;A184=41348
add R16,R12
adc R17,R13
mov R12,R16 ;Copy result to R12,R13
mov R13,R17 ;
;****Compare DOM and target Tx power and Automatic Optimize Control
mov R16,R11 ;MSB DOM Tx is R11
mov R17,R13 ;MSB Target Tx is R13
;*****compare only MSB *****
andi R16,0xFE ;MSB Tx dom is filtered by 1111 1110; accept different not above (1024/100) uW
andi R17,0xFE ;MSB Tx power target
cp R17,R16 ;R17-R16, Tx target - Tx dom <(1024/100) uW
CLI
breq no_adjust
brsh inc_DC_EEPOT ;if R20>R22

```

```
brlo dec_DC_EEPOT ;if R20<R22
```

```
-----
```

```
INC_Dc_EEPOT:
```

```
    rcall Read_Dc_EEPOT
```

```
    inc r16
```

```
    mov r15,r16
```

```
    rcall Write_DC_EEPOT
```

```
    rjmp DOM
```

```
-----
```

```
DEC_DC_EEPOT:
```

```
    rcall Read_Dc_EEPOT
```

```
    dec r16
```

```
    mov r15,r16
```

```
    rcall Write_DC_EEPOT
```

```
    rjmp DOM
```

```
-----
```

```
No_adjust:
```

```
----- Rmod position x10 = DOM Temperature +198 -----
```

```
mov R16,R8 ;DOM LSB temperature
```

```
mov R17,R9
```

```
ldi R18,198
```

```
ldi R19,0
```

```
add R16,R18
```

```
adc R17,R19
```

```
*****r16 is dividen low byte
```

```
*****r17 is dividen high byte
```

```
ldi r18,low(10) ;divider
```

```
ldi R19,high(10)
```

```
rcall div16s ;result is in r16,r17
```

```
mov R18,R16 ;copy Result to R18,R19
```

```
mov R19,R17
```

```
Adjust_AC_EEPOT:
```

```
mov r15,R18 ;Copy result to R15
```

```
Write_AC_EEPOT:
```

```
cbi portB,PB5 ;write protected disable
```

```
ldi r16, (1<<TWSTA)|(1<<TWEN) ;TWI enable and TWI start
```

```
out TWCR,r16
```

```
;----dummy byte write sequence to load in the data word address
```

```
ldi r16,0xA0 ;0b10100000 (A0h) write mode
```

```
out TWDR,r16
```

```
rcall wait_Ack
```

```
ldi r16,0xE1 ;(E1h) Configuration Byte
```

```
out TWDR,r16
```

```
rcall wait_Ack
```

```
ldi r16,0x00 ;to be manual mode
```

```
out TWDR,R16
```

```
rcall wait_Ack
```

```
ldi r16,(1<<TWSTO)|(1<<TWEN)
```

```
out TWCR,r16
```

```
ldi r16, (1<<TWSTA)|(1<<TWEN) ;TWI enable and TWI start
```

```
out TWCR,r16
```

```
ldi r16,0xA0 ;0b10100000 (A0h) write mode
```

```
out TWDR,r16
```

```
rcall wait_Ack
```

```
ldi r16,0xF0 ;addr of resister0 to write
```

```
out TWDR,R16
```

```
rcall wait_Ack
```

```
out TWDR,r15 ;send resistor0 target to 0xF0
```

```
ldi r16,(1<<TWSTO)|(1<<TWEN)
```

```
out TWCR,r16
```

```
sbi Portb,PB5
```

```
rjmp main1
```

TWI:

cli

```
;    in    r15,SREG
```

```
    push r15
```

```
    push r16
```

```
    push r17
```

```
    push r18
```

```
    push r19
```

```
    push r20
```

```
    push r21
```

```
    push r22
```

```
in r16,TWSR
```

```
cbr  r16,(1<<TWPS0)|(1<<TWPS1)
```

```
out  TWSR,r16
```

TWI_sub:

```
    in      r16,TWSR    ;Check TWI status
```

```
    andi   r16,248      ;To filter only bit 7-3 248=F8
```

```
    cpi    r16,184      ;B8=184 Data byte in TWDR has been transmitted;
```

ACK has been received

```
    breq   Data         ;TWSR=B8
```

```
    cpi    r16,168      ;A8=168 received slave addr with read req.; ACK has
```

been returned

```
    breq   Read         ;TWSR=A8
```

```
    cpi    r16,96       ;60hex =96 received slave addr with write req.; ACK
```

has been returned

```
    breq   Write        ;TWSR=60
```

```
    cpi    r16,128      ;80hex =128 Received data byte on slave addr.; ACK
```

has been returned

```
    breq   Do_write     ;TWSR=80
```

```
    cpi    r16,136      ;88hex =136 Received data byte on slave addr.; NOT
```

ACK has been returned

```

    breq    waitAck        ;TWSR=88
    cpi     r16,160        ;A0=160 stop or repeated start received while still
addr.
    breq    clearTWiflag
    cpi     r16,192        ;C0=192 Data transmitted from slave addr; NOT ACK
has been received
    breq    clearTWibusyflag ;TWSR=C0 jmp to clear TWI busy flag.
    cpi     r16,200        ;C8=200 Last data byte in TWDR has been transmitted
(TWEA = 0); ACK has been received
    breq    clearTWibusyflag ;TWSR=C8 jmp to clear TWI busy flag.
    cpi     r16,0
    breq    ResetTWI      ;reset TWI.
    ldi     r16,197        ;load TWCR=C5=197
    out     TWCR,r16
    rjmp    clearTWiflag
Data:
    cpi     r29,160        ;Data in A0 page? and addr in r29 1010-0000=160
    breq    read_sid
    cpi     r29,162        ;compare write DDM page and addr in r29 1010-
0010=162
    breq    read_Dom
    rjmp    error
Read:
    in      r29,TWDR      ;save valid slave addr with read requested (A0 or A2)
    andi   r29,254 ;to filter out last bit, 254=FE
    rjmp   Data
Write:
    in      r29,TWDR      ;save valid slave addr with write requested (A0 or A2)
    andi   r29,254 ;to filter out last bit, 254=FE
    ldi    r16,197        ;load TWCR = C5 =197
    out    TWCR,r16
    ldi    r17,50 ;Loop count

```

wait_data_addr:

```

    in      r16,twscr
    andi   r16,248      ;To filter only bit 7-3 248=F8
    cpi   r16,128 ;80hex =128 Received data byte on slave addr.; ACK has been returned
    breq  Do_write
    dec      r17
    cpi   r17,0
    brne  wait_data_addr
    breq  clearTWIflag

```

return:

```

    pop  r22
    pop  r21
    pop  r20
    pop  r19
    pop  r18
    pop  r17
    pop  r16
    pop  r15

```

sei

reti

clearTWIflag:

```

    ldi      r16,197      ;load TWCR = C5 =197
    out      TWCR,r16
    rjmp    return

```

clearTWIbusyflag:

```

    ldi      r16,197      ;load TWCR = C5 =197
    out      TWCR,r16
    rjmp    return

```

read_Dom:

```

    rjmp  read_Dom1

```

clearTWIflag1:

rjmp clearTWiflag

Do_write:

```
ldi      r16,197      ;load TWCR = C5 =197
out      TWCR,r16
sbrc    r30,0      ;Check offset flag at R30 bit0, 0 is not get offset, 1 get offset already
rcall   save_value_offset      ;r30 bit0 is 1, Jmp to save_addr is DOM_offset or
```

A0_offset

```
rcall   save_offset      ;r30 bit0 is 0, Jmp to Save_offset
rjmp    return
```

waitAck:

```
ldi      r16,197      ;load TWCR = C5 =197
out      TWCR,r16
rjmp    TWI_sub
```

ResetTWI:

```
ldi      r16,213      ;load TWCR = D5 =213
out      TWCR,r16
clr     r30
clr     r29
clr     r26
clr     r28
ldi     r16,197 ;Clear TWINT bit in TWCR to start transmission of data
out     TWCR,r16
rjmp    return
```

clearTWIbusyflag1:

```
rjmp    clearTWIbusyflag
```

read_sid:

```
;st      Y,r28      ;r28 keeps sid offset
ld       r16,Y+      ;load value from addr X to r16
out      TWDR,r16 ;value will be loaded to TWDR
```

```

inc      r28      ;sid offset= sid offset+1
ldi     r16,229   ;load TWCR = e5 =229
out     TWCR,r16
cpi     r28,253  ;$FD=253
breql  a18      ;if r28 <> $FD will go back to send data again.

```

wait_SIDdata:

```

in      r16,TWSR  ;Check TWI status
andi   r16,248   ;To filter only bit 7-3 248=F8
cpi    r16,184   ;B8=184 Data byte in TWDR has been transmitted;

```

ACK has been received

```
breql  read_sid   ;TWSR=B8
```

```
cpi    r16,136   ;88hex =136 Received data byte on slave addr.; NOT
```

ACK has been returned

```
breql  waitAck   ;TWSR=88
```

```
cpi    r16,160   ;A0=160 stop or repeated start received while still
```

addr.

```
breql  clearTWIflag1
```

```
cpi    r16,192   ;C0=192 Data transmitted from slave addr; NOT ACK
```

has been received

```
breql  clearTWIbusyflag1 ;TWSR=C0 jmp to clear TWI busy flag.
```

```
cpi    r16,200   ;C8=200 Last data byte in TWDR has been transmitted
```

(TWEA = 0); ACK has been received

```
breql  clearTWIbusyflag1 ;TWSR=C8 jmp to clear TWI busy flag.
```

```
cpi    r16,0
```

```
breql  ResetTWI   ;reset TWI
```

```
rjmp  wait_SIDdata
```

a18:

```
ldi   r16,162 ;load addr (1010 001X) in TWAR
```

```
out   TWAR,r16
```

```

    rjmp  ResetTWI
read_Dom1:
    st      X,r26    ;r26 is dom offset
    ld      r16,X+   ;load addr to r16
    out     TWDR,r16 ;value from addr X will be loaded to TWDR
    ldi     r16,229   ;load TWCR = e5 =229
    out     TWCR,r16
    inc     r26      ;Dom offset= Dom offset+1
    cpi     r26,253  ;$FD=253
    breq    a18      ;if r26 = $FD will end of sending data.
wait_DDMdata:
    in      r16,TWSR  ;Check TWI status
    andi    r16,248   ;To filter only bit 7-3 248=F8
    cpi     r16,184   ;B8=184 Data byte in TWDR has been transmitted;
ACK has been received
    breq    read_Dom1 ;TWSR=B8

    cpi     r16,136   ;88hex =136 Received data byte on slave addr.; NOT
ACK has been returned
    breq    waitAck   ;TWSR=88
    cpi     r16,160   ;A0=160 stop or repeated start received while still
addr.
    breq    clearTWiflag1
    cpi     r16,192   ;C0=192 Data transmitted from slave addr; NOT ACK
has been received
    breq    clearTWibusyflag1 ;TWSR=C0 jmp to clear TWI busy flag.
    cpi     r16,200   ;C8=200 Last data byte in TWDR has been transmitted
(TWEA = 0); ACK has been received
    breq    clearTWibusyflag1 ;TWSR=C8 jmp to clear TWI busy flag.
    cpi     r16,0
    breq    ResetTWI  ;reset TWI

```

```

    rjmp wait_DDMdata
save_offset:
    andi    r29,254 ;254=FE filter out LSB (read, write)
    cpi     r29,160      ;Data in A0 page? and addr in r29 1010-0000=160=A0
    breq    save_sidOffset
    cpi     r29,162      ;compare write DDM page and addr in r29 1010-
0010=162=A2
    breq    save_DomOffset
    rjmp    error
save_sidOffset:
    in      r28,TWDR      ;r28=sidOffset
    ldi     r30,1         ;set bit0 in r30 to be 1;r30 is offset status
    ldi    r16,161        ;For checking in read loop.
    out    twar,r16
    ldi    r16,69 ;send stop TWI signal
    out    twcr,r16
    rjmp   return
save_DomOffset:
    in      r26,TWDR      ;r26=DomOffset
    ldi     r30,1         ;set bit0 in r30 to be 1;r30 is offset status
    ldi    r16,163        ;For checking in read loop.
    out    twar,r16
    ldi    r16,69 ;send stop TWI signal
    out    twcr,r16
    rjmp   return
save_value_offset:
    andi    r29,254 ;254=FE filter out LSB (read, write)
    cpi     r29,162      ;compare write DDM page and addr in r29 1010-
0010=162
    breq    save_value_DomOffset
    rjmp    error

```

save_value_DomOffset:

```

in          r16,TWDR
st          X,r26          ;r26 is offset
st          X+,r16        ;load offset value from r16 to offset addr.(X) and then

```

X=X+1

```

ld          r26,X          ;offset+1 will be stored offset back into r26(offset).
rjmp       return

```

ERROR:

```

ldi         r16,213        ;load TWCR = D5 =213 (stop TWI)
out         TWCR,r16
LDI         r16,197 ;activate TWI and enable TWI interrupt (1100 0101=C5=197)
out         TWCR,r16

```

sei

```

rjmp       return

```

EEPROM_write:

; Wait for completion of previous write

```
sbic  EECR,EEWE ;EEWE=EEPROM write enable 1=writing,0=idle
```

```
rjmp  EEPROM_write
```

; Set up address (r25:r24) in address register

```
out  EEARH,r25
```

```
out  EEARL,r24
```

; Write data (r16) to data register

```
out  EEDR,r16
```

```
sbi  EECR,EEMWE
```

```
sbi  EECR,EEWE
```

EEPROM_write1:

```
sbic  EECR,EEWE ;EEWE=EEPROM write enable 1=writing,0=idle
```

```
rjmp  EEPROM_write1
```

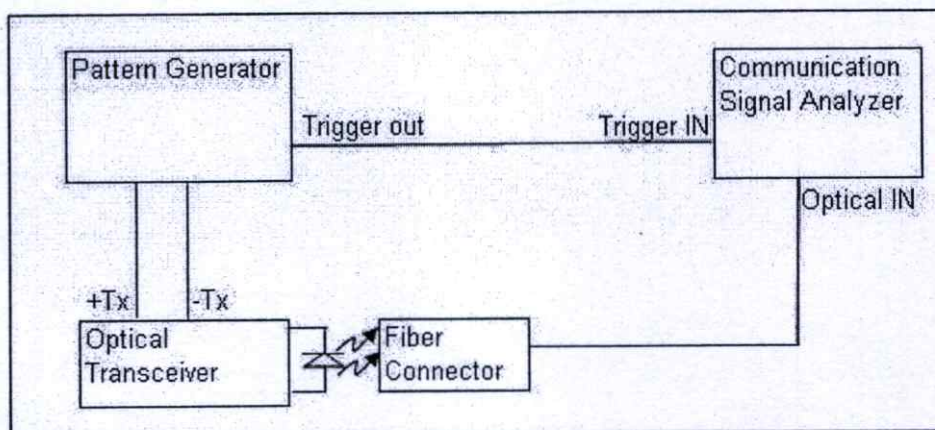
```
ret
```

ภาคผนวก ง.

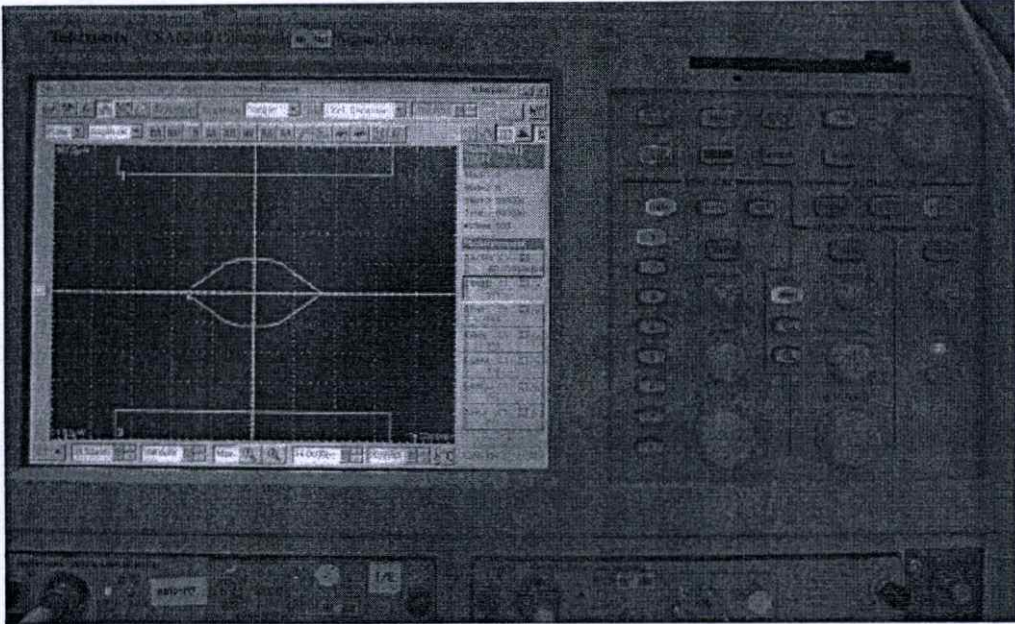
เครื่องมือทดสอบและตัวงานทดสอบ

ง.1 เครื่องมือทดสอบและตัวงานทดสอบ

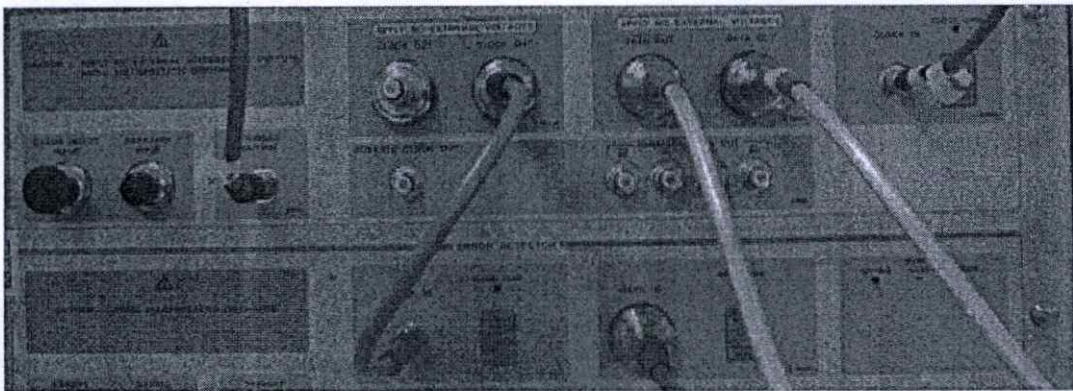
เครื่องมือทดสอบออปติกคอลลาบายไคอะแกรมมีการต่อดังรูปที่ ง.1 โดยอุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสงในรูปที่ ง.5 จะต่อสัญญาณมอดูเลชันจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Pattern Generator) ในรูปที่ ง.3 และ ง.4 ด้วยอัตราส่งข้อมูล 4.25 กิกะบิตต่อวินาที (Gbps) สัญญาณแสงจะถูกส่งเข้าไปในสายใยแก้วนำแสงไปเข้าที่เครื่องวัดออปติกคอลลาบายไคอะแกรม (Communication Signal Analyzer) ในรูปที่ ง.2 และสัญญาณทริกเกอร์ต้องต่อระหว่างเครื่องกำเนิดสัญญาณกับเครื่องมือวัดออปติกคอลลาบายไคอะแกรม



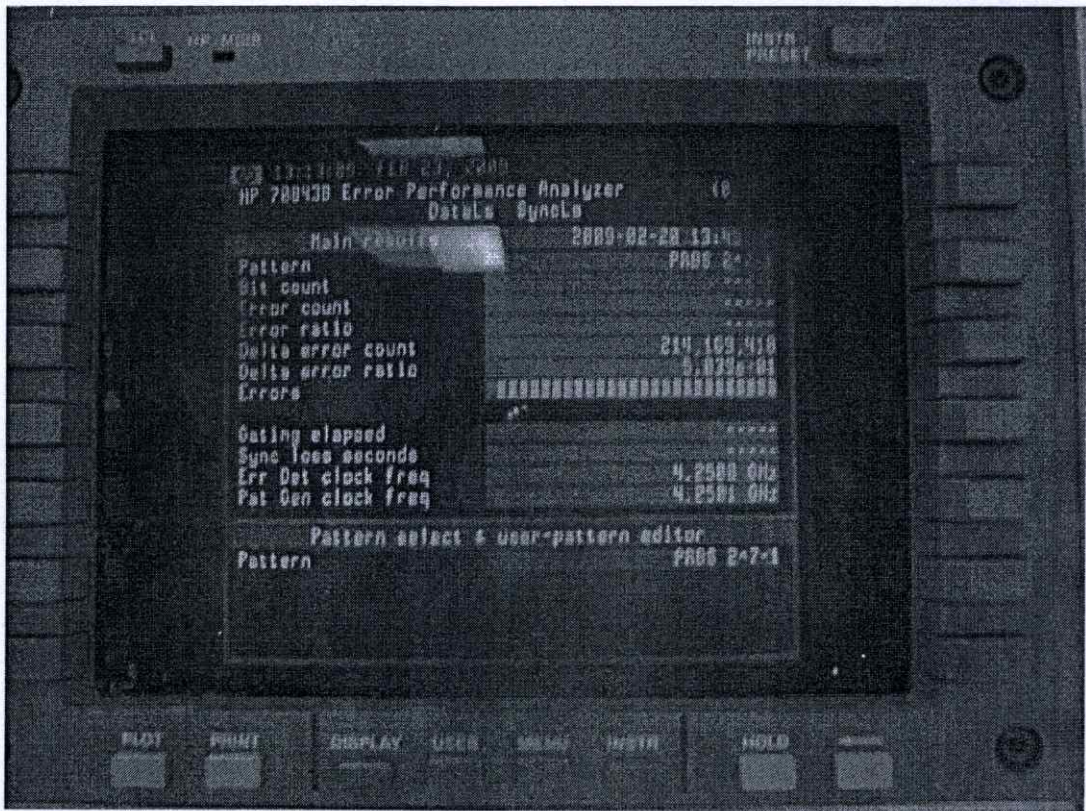
รูปที่ ง.1 แผนภาพบล็อกการต่อเครื่องมือวัดและทดสอบออปติกคอลลาบายไคอะแกรม



รูปที่ ๓.๒ เครื่องมือที่ใช้วัดและทดสอบออปติกคอลอยไดอะแกรม



รูปที่ ๓.๓ เครื่องกำเนิดสัญญาณและตรวจสอบข้อมูลผิดพลาด



รูปที่ ง.4 หน้าจอแสดงผลของกำเนิดสัญญาณและผลบิตผิดพลาด

ภาคผนวก จ.

คำศัพท์เทคนิคเฉพาะ

จ.1 คำศัพท์เทคนิคเฉพาะ

1. อุปกรณ์รับส่งสัญญาณแสง (Optical Transceiver)
2. ออปติกคอลอายไดอะแกรม (Optical Eye Diagrams) หรือแผนภาพรูปตาของสัญญาณแสง
3. ค่ากำลังงานของแสง (Optical Light Power)
4. ซีโรฮิตมาร์จิ้น (Zero Hit Mask Margin)
5. เลเซอร์แบบส่งแสงในแนวตั้งฉากกับผิว (Vertical Cavity Surface Emitting Laser, VCSEL)
6. อัตราส่วนกำลังงาน (Extinction Ratio)
7. การทดสอบด้วยมาสก์ (Mask Test)
8. ค่ากำลังงานน้อยสุดที่ทำให้เกิดบิตผิดพลาด $1E-12$ (Sensitivity)
9. ค่าตรวจสอบดิจิทัล (Digital Optical Monitoring, DOM)
10. ค่าประสิทธิภาพความชัน (Slope Efficiency)
11. กระแสขีดเริ่ม (Threshold current)
12. ออปติกคอลมอดูเลชันแอมพลิจูด (Optical Modulation Amplitude, OMA)
13. วงจรขับนำเลเซอร์ (Laser Driver Diode)
14. วงจรขยายสัญญาณ (Amplifier)
15. เลเซอร์ (Laser)
16. ตัวรับแสงหรือโฟโตไดโอด (Photo Diode)
17. ช่วงเวลาขาขึ้น (Rise Time)
18. ช่วงเวลาขาลง (Fall Time)
19. จิตเตอร์ (Jitter)
20. ความกว้างของอาย (Eye Width)
21. ความสูงของอาย (Eye Height)
22. แอมพลิจูดของอาย (Eye Amplitude)
23. หน่วยประมวลผล (Arithmetic Logic Unit, ALU)
24. การแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Conversion, ADC)
25. ตัวกำเนิดสัญญาณภายใน (Internal Calibrated RC Oscillator)

26. อินเทอร์รัปต์แบบภายนอกและภายใน (External and Internal Interrupt Sources)
27. การติดต่อแบบสองเส้นสัญญาณ (Two Wire interface, I²C)
28. ที่พักข้อมูล (Buffer)
29. ค่าดิจิทัลกำลังงาน (ADC Tx Power)
30. ค่าดิจิทัลกระแสไบอัส (ADC Bias Current)
31. ค่าดิจิทัลอุณหภูมิ (ADC Temperature)
32. การปรับหาสมการเส้นโค้งที่เหมาะสม (Curve Fitting)
33. วิธีกำลังสองน้อยสุด (Least Square Method)
34. อัตราส่งข้อมูล (Data Rate)
35. อัตราส่วนบิตผิดพลาด (Bit Error Ratio, BER)
36. เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Pattern Generator)
37. อุปกรณ์ลดทอนแสง (Optical Attenuator)
38. เครื่องวิเคราะห์บิตผิดพลาด (Bit Error Analyzer)
39. เครื่องวัดออปติกคอลลาบายไดอะแกรม (Communication Signal Analyzer)

ภาคผนวก ฉ.

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการในหัวข้อเกี่ยวกับออปติกคอลของ
การสื่อสาร

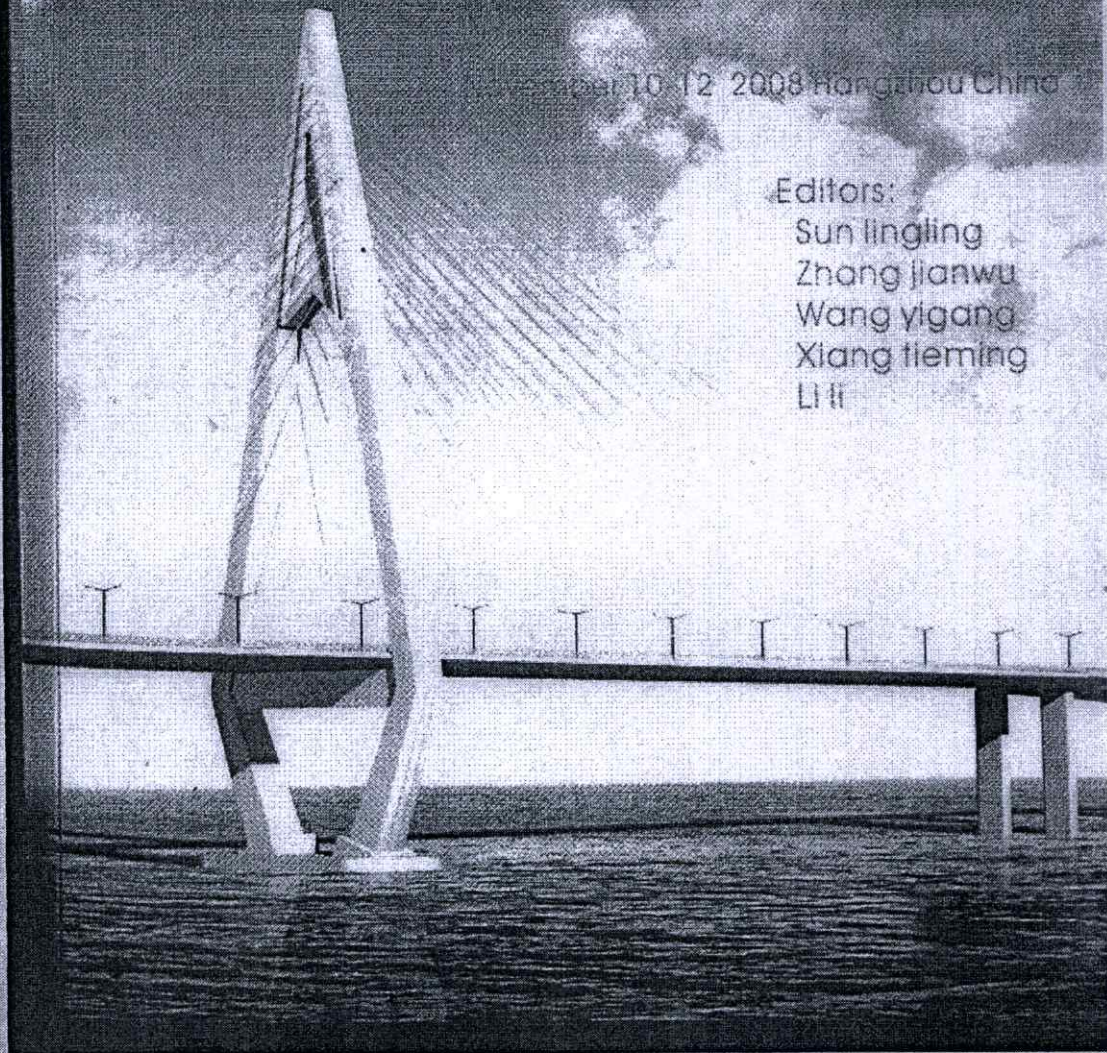
- Chanchai Pomsuwan, Polphadung Phadungkul, “**Automatic Optical Power and Extinction Ratio Control of 4.25Gbps Optical Transceiver,**” The International Conference on Communication Technology 2008 (ICCT 2008), pp 367-370, 2008

ICCT2008

2008 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON
COMMUNICATION TECHNOLOGY
IN CHINA

October 10-12, 2008 Hangzhou, China

Editors:
Sun lingling
Zhang Jianwu
Wang yigang
Xiang tieming
Li li



Automatic optical power and extinction ratio control of 4.25Gbps optical transceiver

Authors Chanchai Pomsuwan

Department of Electronics, Faculty of Engineering
Kingmongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
KMUTT
Bangkok 10520, THAILAND
s7060458@kmitl.ac.th; chanchaip@fabrinet.co.th

Authors Polphadung Phadungkul

Department of Electronics, Faculty of Engineering
Kingmongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
KMUTT
Bangkok 10520, THAILAND
kppolpha@kmitl.ac.th; polphadung@hotmail.com

Abstract— This paper presents the automatic optical power and extinction ratio control of 4.25Gbps optical transceiver to optimize optical transmitting eye diagrams over operating temperature range. Optical eye diagrams are adjusted an optical power and extinction ratio over temperature following to quadratic equation and linear equation respectively which are calculated from the fitting curves of optical power and extinction ratio acquisition as the optical eye diagrams are optimized. The optimized eye diagrams are considered by zero hit mask margin test compliant with Fibre Channel standards.

Keywords— optical transceiver, eye diagrams, Fibre channel

I. INTRODUCTION

In an optical communication system, the optical transceivers have been deployed extensively to convert electrical signals into light wave and vice-versa. The key factor to support good transmission is an optical transmitting signal. But a problem of optical transceiver is the distortion of optical eye diagrams over temperature as shown in figure 1 caused by the laser characteristic change (optical power, slope efficiency, and threshold current) varying to temperature as shown in figure 2.

The purposes of this article present how to create equation for optical transmitting signal optimization of low cost laser on optical transceiver which reflects transmitter performance and how to optimize optical eye diagrams. As this technique controls optical power and extinction ratio parameters because both are key parameters and concern directly with the optical eye diagrams.

II. BACKGROUND INFORMATION

A technique in present to maintain performance of optical transmitter by maintaining constant average optical power and extinction ratio has advantage that compensate optical power and extinction ratio change because of optical power, threshold current and slope efficiency change over temperature as shown in figure 2 and 3. Disadvantage is that this technique cannot optimize the optical transmitting signal over temperature which

is simply considered by the zero hit mask margin test result of optical eye diagrams as shown in figure 1(a) and 1(b).

Regarding to laser characteristic change over temperature in figure 2, it illustrates that optical power, threshold current and slope efficiency are varying to temperature as this variation is relative to changes of average power (P_{AV}), extinction ratio (ER), optical modulation amplitude (OMA) and slope efficiency (η) following equation (1) to (4). Moreover the changes of above parameters effect to overshoot, peak to peak JITTER, fall time and rise time of optical eye diagrams as shown in figure 1(a) and 1(b). To test simply the optical eye diagrams and the distortion eye diagram problem, the zero hit mask test can be performed.

$$P_{AV} = (P_1 + P_0) / 2 \quad (1)$$

$$\text{Extinction Ratio} = P_1 / P_0 \quad (2)$$

$$\text{Optical modulation amplitude} = P_1 - P_0 \quad (3)$$

$$\text{Slope efficiency} = (P_1 - P_0) / I_{MOD} \quad (4)$$

where P_{AV} is the average optical power, P_1 is the optical power corresponding to a logic one, P_0 is the optical power corresponding to a logic zero and I_{MOD} is modulation current.

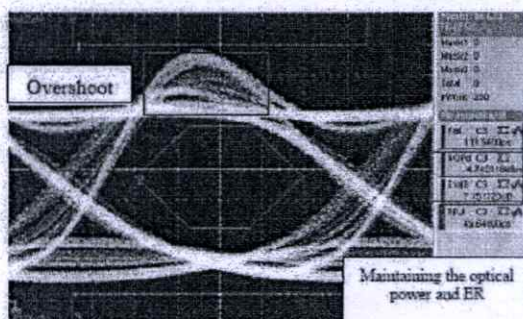


Figure 1(a) –Distortion of eye diagrams at -40C as zero hit mask margin is 2% although maintaining the optical power and extinction ratio (ER) to be same at room temperature (25C).

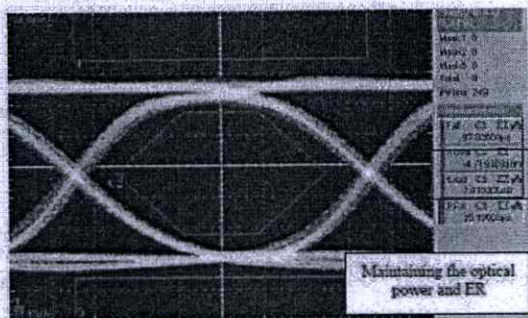


Figure 1(b) –Optical eye diagrams at room temperature as zero hit mask margin is 40%

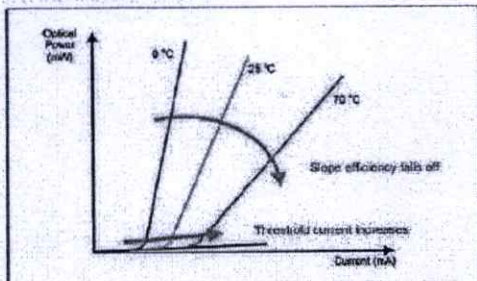


Figure 2 – Slope efficiency changes over temperature

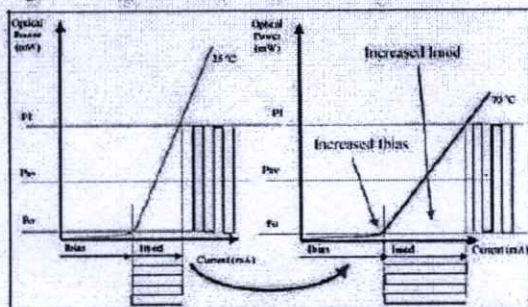


Figure 3 – Laser diode with increased bias and modulation current at higher temperature to maintain optical power and ER.

In figure 4, it illustrates that the zero hit mask margin test result with maintaining constant optical power and extinction ratio dramatically decreases at hot and cold temperature. That means performance of optical transmitting signal is decreasing too.

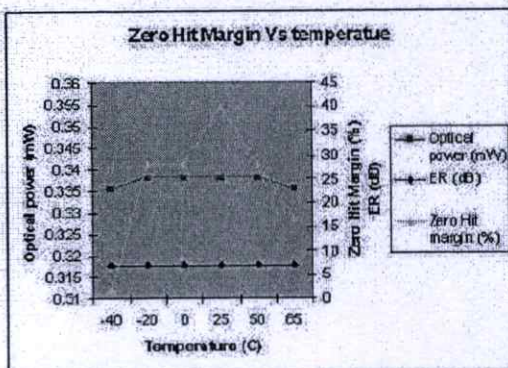


Figure 4 –The zero hit mask margin test result Vs temperature with maintaining constant optical power and extinction ratio.

III. OPTIMIZATION OF EYE DIAGRAMS AND DATA ACQUISITION OF OPTICAL POWER AND EXTINCTION RATIO

A. Tester Setup Block Diagrams

Before optimizing optical eye diagrams, tester and optical transceiver have to be setup following to block diagrams in figure 5.

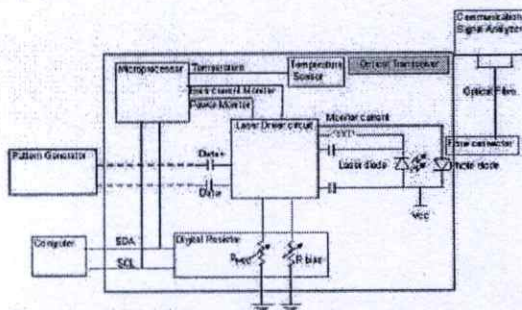


Figure 5 – Slope efficiency changes over temperature

B. OPTIMIZATION OF EYE DIAGRAMS

To optimize the optical eye diagrams, the optical transceiver will be adjusted the bias current for optical power and modulated current for extinction ratio which are based on the zero hit mask margin test result. As optical power adjustment has to be careful of the maximum power which shall not be too closed the maximum input power of receiver. Optical power and extinction ratio acquisition are shown in table 1.

Table 1 –Optical power and extinction ratio acquisition

Temperature (C)	-40	-20	0	25	50	65
Optical power (dBm)	-2.72	-3.4	-3.84	-4.27	-4.34	-4.12
Optical power (mW)	0.534	0.457	0.413	0.374	0.368	0.387
ER (dB)	7.33	7.21	7.13	7.01	7.04	6.93
Jitter (ps)	27.05	23.7	21.1	23.6	22.44	27.5
FallTime (ps)	100.05	95.43	95.4	96.22	99.96	99.96
ZeroHit MaskMargin (%)	40	40	43	44	41	40

Note: Optical transceiver 4.25Gbps SW (short wavelength) 850nm; Data rate# 4.25Gbps (bit per second); Pattern# PRBS7 (Pseudo Random Binary Sequence 2⁷-1); Standards Mask test# FC4250; Laser is VCSEL type (vertical cavity surface emitting laser) multimode short wave 850 nm.

After plotting the acquisition data of optical power, ER and zero hit mask margin, the graph in figure 6 illustrates that the zero hit mask margin test result with adjusting optical power and ER based on the zero hit mask margin test result, has a bit change.

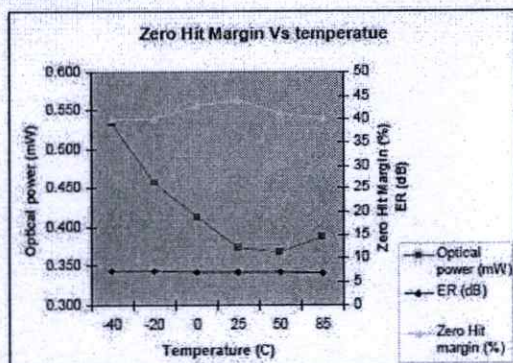


Figure 6 –The zero hit mask margin test result Vs temperature with adjusting optical power and extinction ratio based on the zero hit mask margin test result.

C. EQUATIONS FOR AUTOMATIC EYE DIAGRAM OPTIMIZATION

The equations for automatic eye diagram optimization are calculated from acquisition data of the optical power and extinction ratio in table 1 by quadratic curve fitting for optical power and linear curve fitting for extinction ratio as shown in figure 7-8.

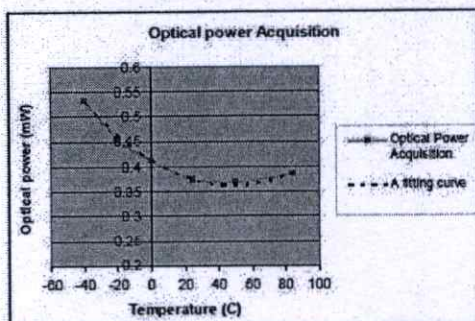


Figure 7 –The optical power acquisition over temperature

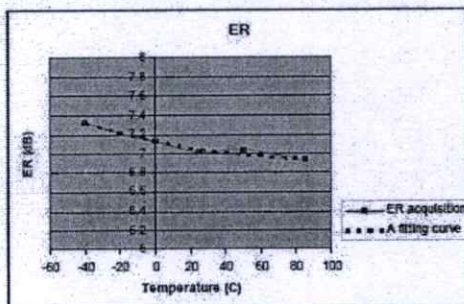


Figure 8 –The extinction ratio acquisition over temperature

Equations for automatic eye diagram optimization are calculated and shown below. They will be used by microprocessor on optical transceiver to control the optical power and ER over temperature.

$$\text{Optical Power} = 0.00002 * \text{Temp}^2 - 0.0021 * \text{Temp} + 0.4135 \quad (5)$$

$$\text{ER} = -0.003 * \text{Temp} + 7.1582 \quad (6)$$

Where Temp is temperature (degree C) on optical transceiver.

IV. TEST RESULT

Table 2 –Test result after transceiver is applied by equations for automatic eye diagram optimization.

Method	Optimized eye diagrams following a fitting curve						
	Temperature (C)	-40	-20	0	25	50	65
Optical power (dBm)		-2.79	-3.51	-3.84	-4.18	-4.26	-4.18
Optical power (mW)		0.526	0.445	0.413	0.381	0.374	0.381
ER (dB)		7.21	7.14	7.19	7.03	7.09	6.96
Jitter (ps)		27.2	23.8	21.08	23.8	22.44	27.2
Fall Time (ps)		100.64	96.56	96.56	97.24	99.96	99.96
ZeroHit MaskMargin (%)		44	40	41	44	41	38

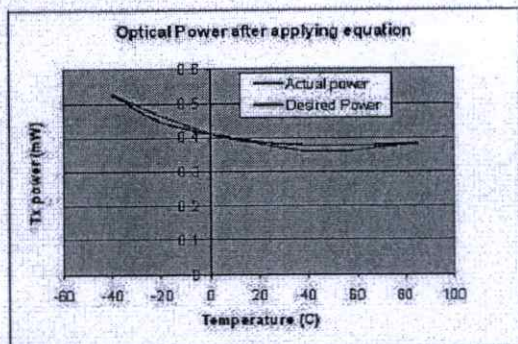


Figure 9 –Comparison optical power (Actual power) after applying equation on transceiver and optical power (Desired power) following equation (5).

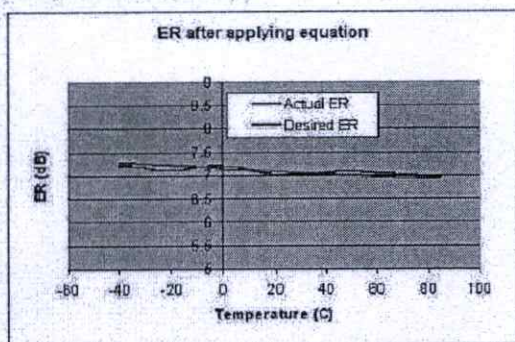


Figure 10 –Comparison ER (Actual ER) after applying equation on transceiver and optical power (Desired ER) following equation (6).

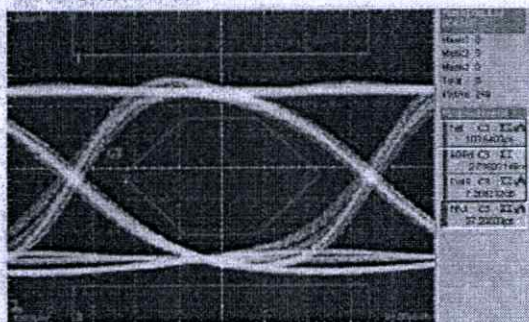


Figure 11 –Eye diagrams at -40C as zero hit mask margin is 44% by automatic eye diagram optimization.

Comparing the test result of optical eye diagrams between the constant optical power and extinction ratio method over temperature and the automatic eye diagram optimization method, it shows that the last method give the result better than the first method as shown in table 3.

Table 3–The zero hit mask margin test result comparison

Temperature (C)	-40	-20	0	25	50	85
Method	Zero Hit mask margin (%)					
Maintaining constant optical power and ER	2	28	28	40	28	17
automatic eye diagram optimization	44	40	41	44	41	38

V. CONCLUSION

This paper achieves to optimize the optical eye diagrams over operating temperature range (-40C to 85C) by a technique of optical power and extinction ratio control equations. Moreover the result shows that optical eye diagrams, adjusted by this technique, are better than them which are maintained constant optical power and ER. Advantages of this technique are the optimized signal of transmitter and cost effective of transceiver using low cost laser. However, the bias current increment is not desirable in some applications due to constraints on electromagnetic interference, power consumption, and spectral width.

REFERENCES

- [1] Harry J. R. Dutton, "Understanding Optical Communications," First Edition, September 1998, www.redbooks.ibm.com/redbooks/pdfs/sg245230.pdf.
- [2] Maxim, Application Note HFAN-2.2.1 (Rev. 0, 06/02), "Maintaining the Extinction Ratio of Optical Transmitters Using K-Factor* Control," June 2002.
- [3] Agilent, "Jitter Fundamentals: Agilent 81250 ParBERT Jitter Injection and Analysis Capabilities."
- [4] Maxim, APPLICATION NOTE HFAN-02.3.1 (Rev 0, 05/02), "Maintaining Average Power and Extinction Ratio, Part 1, Slope Efficiency and Threshold Current," June 2002.
- [5] Guy Foster, SyntheSys Research, Inc., "Anatomy of an Eye Diagram — a Primer," 2004.
- [6] Ferenc Barany and Mark J. Murphy, "Cost Effective Methods for Characterizing Laser Transfer Curves", www.highfrequencyelectronics.com/Archives/Jul03/HFE0703_Barany.pdf.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายชาญชัย ป้อมสุวรรณ
วัน เดือน ปีเกิด	8 สิงหาคม 2521 ที่ปทุมธานี
ที่อยู่	333 หมู่ที่ 2 ต. ประชาธิปไตย อ. ธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12130 โทร.02-532-1501
ประวัติการศึกษา	2543 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) การวิเคราะห์ระบบสื่อสารทางแสงและทางไฟฟ้า (Optical and electrical communication) 2.) การวิเคราะห์ระบบดิจิทัลวิดีโอ (Digital Video)
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
พ.ศ.2543-2544	ตำแหน่งวิศวกรผลิตภัณฑ์ (Product Engineer) บริษัททอมสันเทเลวิชั่น ประเทศไทย
พ.ศ.2544-ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกรวิเคราะห์หาสาเหตุจุดบกพร่องของผลิตภัณฑ์ (Failure analysis engineer) บริษัทฟาบริเนท