

การส่งสัญญาณควบคุมผ่านเส้นใยแสงด้วยคอมพิวเตอร์  
COMPUTER CONTROL SIGNAL TRANSMISSION VIA OPTICAL FIBER



นายคณิง รัตรอดกิจ  
MR. KHANUNG RADRODKID



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

รพ.  
ค1A2A1  
2541

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2541

เลขที่.....  
เลขทะเบียน..... 31672  
ณ, เดือน, ปี 21 ส.ค. 2541

ISBN 974 - 622 - 335 - 6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**COMPUTER CONTROL SIGNAL TRANSMISSION VIA OPTICAL FIBER**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE  
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KINGMONGKUT ' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**1998**

**ISBN 974 - 622 - 335 - 6**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้ามนำไปดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



<b>Thesis Title</b>	Computer control signal transmission via optical fiber
<b>Students</b>	Mr. Khanung Radrodkid
<b>Thesis Advisor</b>	Assist.Prof. Apinun Manyanon
<b>Level of Study</b>	Master of Engineering in Electrical Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
<b>Year</b>	1998

### Abstract

This thesis describes a design and construction of control system for signal transmission system via optical fiber. The system can be used to send the control signal from one station to remote station and receive the response signal from remote station in a half duplex intercommunication. The controlling signal consists of the command and data signal, which is generated and transmitted to control various factors such as : pressure, temperature, position (both rotary and linear) and etc.. To match the system output with DC voltage of sensors, the control signal transmission system is controlled by computer. Experimental results illustrate the feasibility of applying the proposed automatic control system for home automation and factory control system.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการส่งสัญญาณ ควบคุมผ่านเส้นใยนำแสงด้วยคอมพิวเตอร์ รวมทั้งในการแก้ปัญหาตลอดจนตรวจวิทยานิพนธ์ ต้นฉบับนี้จาก ผศ.อภิรักษ์ มัธยานนท์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ หัวหน้ากองบรรณาธิการวิศวกรรมลาดกระบัง และ คณะกรรมการที่ตรวจบทความ คือ ผศ.ดร.ไกรสิน ส่งวัฒนา และ ดร.สุทธิชัย นพนาถพิงษ์

ขอขอบคุณ อ. วิโรจน์ ภิราจเนนชัย จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิศวกรรมไฟฟ้า ในการวัดสัญญาณต่าง ๆ

ขอขอบคุณ คุณเชิดไชย เอี่ยมดีเลิศ จากบริษัทชินวัตร ( Shinawatra Information Technology ) ในการวัดหาค่าสัญญาณต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ไกรสิน ส่งวัฒนา ดร.สุทธิชัย นพนาถพิงษ์ รศ.ดร.สุวิมล สิริธิชีวะภาค ดร.สุริภณ สมควรพาศิษย์ และ ผศ.อภิรักษ์ มัธยานนท์ ที่เป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้คอยความช่วยเหลือ และเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้คำปรึกษาเป็น กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณิ่ง รัตรอดกิจ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 กล่าวนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการทำวิทยานิพนธ์.....	1
1.3 โครงร่างวิทยานิพนธ์.....	2
2 เส้นใยนำแสง.....	3
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.2 หลักการเดินทางของเส้นใยนำแสง.....	3
2.2.1 การหักเหและการสะท้อนของแสง.....	3
2.2.2 มุมรับแสงและ Numerical Aperture.....	5
2.2.3 การเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง.....	7
2.2.4 พารามิเตอร์ที่แสดงคุณสมบัติของเส้นใยนำแสง.....	8
2.2.4.1 พารามิเตอร์ทางแสง.....	9
2.2.4.2 พารามิเตอร์ทางโครงสร้าง.....	10
2.3 คุณสมบัติการส่งของเส้นใยนำแสง.....	11
2.3.1 การสูญเสียแสง.....	11
2.3.1.1 การสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวเส้นใยนำแสง.....	11
2.3.1.2 การสูญเสียเกิดจากแรงภายนอกมากระทำ.....	12
2.3.2 คุณสมบัติ Base Band Frequency.....	14
2.3.2.1 การขยายกว้างของโหมด.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา **iv** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ ( ต่อ )

บทที่	หน้า
2.3.2.2 การขยายกว้างออกเนื่องมาจากความยาวคลื่น.....	15
2.4 ชนิดของเส้นใยนำแสง.....	16
2.4.1 การแบ่งชนิดเส้นใยนำแสงตามลักษณะของดัชนีการหักเห.....	16
2.4.2 การแบ่งเส้นใยนำแสงตาม โครงสร้าง.....	17
2.4.3 แบ่งตามวัสดุที่ใช้ทำ.....	17
3 อุปกรณ์แสง.....	19
3.1 กล่าวนำ.....	19
3.2 อุปกรณ์กำเนิดแสง.....	19
3.2.1 แหล่งกำเนิดไดโอดเปล่งแสง.....	19
3.2.2 แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์.....	21
3.2.3 อุปกรณ์แสงที่ใช้กับสื่อสาร.....	23
3.2.4 การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสง.....	24
3.3 อุปกรณ์รับแสง.....	25
3.3.1 พินไดโอด.....	26
3.3.2 อวาตานิซโฟโตไดโอด.....	27
3.3.3 อุปกรณ์รับแสงที่ใช้กับสื่อสาร.....	28
3.3.4 การเชื่อมต่ออุปกรณ์รับแสงเข้ากับเส้นใยนำแสง.....	29
4 การออกแบบวงจร.....	30
4.1 กล่าวนำ.....	30
4.2 โครงสร้างระบบ.....	30
4.2.1 ภาคการติดต่อสื่อสารพอร์ตอนุกรม.....	32
4.2.2 ภาคการแปลงระดับแรงดัน.....	33
4.2.3 ภาคสร้างสัญญาณนาฬิกา.....	33
4.2.4 ภาคการแปลงข้อมูล SIPO และ PISO.....	34
4.2.5 ภาคเลขชี้ข้อมูล.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ ( ต่อ )

บทที่	หน้า
4.2.6 ภาคเข้ารหัสและถอดรหัส.....	36
4.2.7 ภาคการส่ง-รับข้อมูลและการควบคุมอุปกรณ์ภายนอก.....	37
4.2.8 ภาครับและภาคส่งของเส้นใยนำแสง.....	38
4.3 หลักการทำงานของวงจร.....	41
4.3.1 การส่งสัญญาณควบคุมอุปกรณ์ภายนอก.....	41
4.3.2 การตอบสัญญาณกลับของข้อมูล.....	43
5 ซอฟต์แวร์.....	44
5.1 กล่าวนำ.....	44
5.2 หลักการทำงานของโปรแกรม.....	44
6 ผลการทดลอง.....	50
6.1 กล่าวนำ.....	50
6.2 ผลการทดลอง.....	50
6.2.1 การวัดสัญญาณที่ผ่านเส้นใยนำแสงของโมดูล.....	51
6.2.2 การวัดสัญญาณที่ผ่านเส้นใยนำแสงพลาสติก.....	53
6.2.3 การวัดสัญญาณ Delay Time.....	56
6.2.4 การคำนวณค่าบิตเรท.....	57
6.2.5 การคำนวณ BER ( Bite-Error Rate ).....	59
6.2.6 การหาค่าทรูพุท ( Throughput ).....	60
7 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	63
7.1 ประสิทธิภาพการใช้งานของระบบและสรุป.....	63
7.1.1 การคำนวณ Power Budget ของ โมดูล.....	63
7.1.2 การคำนวณ Power Budget ของพลาสติก.....	64
7.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	66
บรรณานุกรม.....	68
ภาคผนวก ก.....	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก ข .....	75
ภาคผนวก ค .....	77
ภาคผนวก ง .....	83
ประวัติผู้เขียน.....	116



## สารบัญญัตราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการแบ่งเส้นใยนำแสงตามวัสดุที่ใช้ทำ.....	18
4.1 แสดงขาสัญญาณของ RS232 ทั้งแบบ DB9 และ DB'25.....	32
4.2 แสดงสัญญาณนาฬิกา.....	34
4.3 แสดงรูปแบบการกำหนดคอนโทรลไบต์.....	37
4.4 แสดงรายละเอียดของ โมดูล.....	41
6.1 แสดงสัญญาณนาฬิกา.....	58
7.1 แสดงค่าการเปรียบเทียบระหว่างโมดูลกับวงจรที่ออกแบบ.....	65



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงแสงที่ทะลุและแสงที่สะท้อนกลับ.....	4
2.2 แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นแสงในเส้นใยนำแสง.....	6
2.3 แสดงรูปร่างการกระจายค่าดัชนีการหักเห.....	9
2.4 แสดงโครงสร้างหน้าตัดเส้นใยนำแสง a) เส้นใยนำแสงกรณี b) เส้นใยนำแสงในทางปฏิบัติ.....	10
2.5 แสดงการเปลี่ยนโหมดที่ส่วนไม่เรียบสม่ำเสมอของรอยต่อคอร์และแคลดดิ้ง.....	12
2.6 แสดงการเปลี่ยนโหมดที่เกิดขึ้นตรงส่วนบิดงอโค้งของเส้นใยนำแสง.....	13
2.7 แสดงการสูญเสียแสงเนื่องจาก microbending.....	13
2.8 แสดงการเปลี่ยนโหมดที่เกิดจากแกนของเส้นใยนำแสงคลาดเคลื่อน.....	14
2.9 แสดงโหมดต่าง ๆ ที่เดินทางในเส้นใยนำแสงแบบสเต็ปอินเด็กซ์มัลติโหมด.....	15
2.10 แสดงเส้นใยนำแสงชนิดต่าง ๆ .....	17
3.1 แสดงโครงสร้างของไดโอดเปล่งแสงและการปล่อยแสง.....	20
3.2 แสดงโครงสร้างของเลเซอร์ไดโอดและการปล่อยแสง.....	22
3.3 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กำเนิดแสงกับเส้นใยนำแสง.....	24
3.4 แสดงบริเวณปลดพาหะ ( Depletion Zone ).....	26
3.5 แสดงหลักการทำงานของ PIN-PD และระดับพลังงาน.....	27
3.6 แสดงหลักการทำงานของ APD .....	28
4.1 แสดงโครงสร้างของระบบ.....	31
4.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมแต่ละภาคของระบบ.....	31
4.3 แสดงการต่อขั้วแบบ D-Type DB9 และ DB25.....	32
4.4 แสดงวงจรการแปลงระดับแรงดัน.....	33
4.5 แสดงการสร้างสัญญาณนาฬิกา.....	34
4.6 แสดงวงจรการแปลงข้อมูล PISO และ SIPO .....	35
4.7 แสดงวงจรภาคแลตซ์คาต้า.....	36
4.8 แสดงวงจรของภาคตัวเข้ารหัสและถอดรหัส.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป ( ต่อ )

รูปที่	หน้า
4.9 แสดงวงจรภาครับ-ส่งการควบคุมอุปกรณ์ภายนอก.....	38
4.10 แสดงวงจรภาคส่งของเส้นใยนำแสง.....	38
4.11 แสดงวงจรภาครับของเส้นใยนำแสง.....	39
4.12 แสดงวงจรของภาคควบคุมอุปกรณ์ปลายทาง.....	43
5.1 แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรม.....	45
5.2 1) รูปสัญญาณข้อมูล และถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน 2) การส่งสัญญาณข้อมูล 4 บิตล่างพร้อมบิตควบคุม 3) การส่งสัญญาณข้อมูล 4 บิตบนพร้อมบิตควบคุม.....	46
5.3 แสดงเมนูการทำงานของจอคอมพิวเตอร์.....	47
5.4 แสดงการเซตค่า 8255 เมื่อกดหมายเลข 3 .....	47
5.5 แสดงการส่งข้อมูลไปที่พอร์ต B และ C เมื่อกดหมายเลข 1 .....	48
5.6 แสดงการรับข้อมูลจากพอร์ต C เมื่อกดหมายเลข 2.....	48
5.7 แสดงการรับข้อมูลจากพอร์ต B เมื่อกดหมายเลข 2.....	49
6.1 แสดงบล็อก ไดอะแกรมของการส่งสัญญาณตามจุดต่าง ๆ .....	50
6.2 1) รูปสัญญาณข้อมูล และถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน 2) การส่งสัญญาณข้อมูล 4 บิตล่างพร้อมบิตควบคุม ในการส่งครั้งที่ 1 3) การส่งสัญญาณข้อมูล 4 บิตบนพร้อมบิตควบคุม ในการส่งครั้งที่ 2.....	51
6.3 แสดงการวัดสัญญาณในการส่งครั้งที่ 1 ที่จุด 1) AA 2) BB.....	52
6.4 แสดงการวัดสัญญาณในการส่งครั้งที่ 2 ที่จุด 1) AA 2) BB.....	52
6.5 แสดงการวัดสัญญาณตอบกลับมาที่จุด 1) CC 2) DD.....	53
6.6 แสดงการวัดสัญญาณในการส่งครั้งที่ 1 ที่จุด 1) AA 2) BB.....	54
6.7 แสดงการวัดสัญญาณในการส่งครั้งที่ 2 ที่จุด 1) AA 2) BB.....	54
6.8 แสดงการวัดสัญญาณตอบกลับมาที่จุด 1) CC 2) DD.....	55
6.9 แสดงการวัดสัญญาณ CLOCK ที่จุด EE.....	55
6.10 แสดงค่า Delay Time ที่บิตเรท 1200 บีพีเอส.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป ( ต่อ )

รูปที่	หน้า
6.11 แสดงค่า Delay Time ที่บิทเรท 38400 บีทีเอส.....	57
6.12 แสดงบล็อกล็อกไดอะแกรมการวัดบิทเรท.....	59
6.13 แสดงบล็อกล็อกไดอะแกรมการวัด BER ของสายพลาสติก.....	60
6.14 แสดงวงจรรวมทั้งหมด.....	61
6.15 แสดงวงจรที่เป็น Control Terminal.....	61
6.16 แสดงวงจรภาคส่ง-รับ ของ Fiber Optic .....	62



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันระบบการสื่อสารข้อมูลผ่านเส้นใยนำแสงได้เข้ามามีบทบาทสำคัญ ในกิจกรรมโทรคมนาคมมาก เพราะความต้องการในการติดต่อสื่อสารที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ทำให้สายส่งข้อมูลแบบสายทองแดงไม่สามารถส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงและความจุของข้อมูลปริมาณมากได้ จึงเป็นข้อจำกัดของสายส่งแบบนี้ และเป็นข้อได้เปรียบของเส้นใยนำแสงเนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษหลายอย่าง คือ มีแบนด์วิดท์กว้างทำให้มีประสิทธิภาพของความจุสัญญาณหรือช่องสัญญาณได้มากขึ้น สัญญาณไม่ถูกรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ( Electromagnetic Interference , EMI ) หรือจากความถี่วิทยุ ( Radio Frequency Interference , RFI ) สามารถส่งสัญญาณได้ไกล มีค่าการลดทอนสัญญาณต่ำ ( Low Loss ) ขนาดเล็กมีน้ำหนักเบาทำให้ประหยัดในการขนส่ง ลดปัญหาของการรบกวนเนื่องจากการแผ่รังสีของสารกัมมันตรังสี ( Radiation Resistant ) มีความปลอดภัยหรือไม่เป็นอันตรายจากการแกะต้องสายเพราะใช้แหล่งกำลังไฟฟ้าต่ำ ไม่มีปัญหาของสายกราวด์ ฯลฯ [ 1 , 2 ]

### 1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการทำวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการประยุกต์นำเอาเส้นใยนำแสงมาใช้งานในการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งระบบที่ออกแบบนี้จะใช้คอมพิวเตอร์เป็นศูนย์กลางในการควบคุมทั้งหมด เพื่อใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ปลายทางให้ทำงานตามสัญญาณควบคุมที่กำหนด โดยการส่งสัญญาณผ่านทางเส้นใยนำแสง ซึ่งสัญญาณควบคุมนี้เป็นส่วนสำคัญมากในการส่งสัญญาณไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก เพราะต้องมีความสัมพันธ์กับวงจรที่ออกแบบ ( คือ ส่วนที่ควบคุมอุปกรณ์ปลายทาง ) ในการนำสัญญาณนี้ไปใช้งาน และสัญญาณควบคุมต้องส่งถึงสองครั้งถึงจะควบคุมอุปกรณ์ได้ หรือเหตุการณ์ทำงานต่างๆ ของระบบ คือ ในการส่งครั้งแรก สัญญาณควบคุมประกอบด้วยสองส่วน ส่วนแรกเป็น 4 บิตล่างเป็นสัญญาณข้อมูลและส่วนที่สองเป็น 4 บิตบนเป็นบิตควบคุมในการทำงานของการส่งข้อมูลหรือเหตุการณ์ทำงานของไอซี และในการส่งครั้งที่สองก็มีลักษณะเหมือนกัน แต่สัญญาณของบิตควบคุมและสัญญาณข้อมูลจะต่างกัน เมื่อส่งครบสองครั้งก็ทำให้ระบบสามารถนำสัญญาณนี้ไปทำงานได้ แต่ในการส่งสัญญาณข้อมูลนั้นเพียงแต่ป้อนค่าที่จะใช้งานเข้าไป ซึ่งซอฟต์แวร์เป็นตัวจัดการในการส่งสัญญาณควบคุมนี้ และเราสามารถตรวจสอบสัญญาณที่ส่งไป ให้ส่งสัญญาณตอบ-

กลับมาที่คอมพิวเตอร์ โดยซอฟต์แวร์ทำหน้าที่ในการประมวลผลสัญญาณนี้ และแสดงค่าที่ได้ก็จะปรากฏที่จอคอมพิวเตอร์ว่าค่าของสัญญาณข้อมูลที่ส่งไปทำงานถูกต้องหรือไม่ ซึ่งหลักการนี้เป็นการส่งสัญญาณแบบระบบปิดหรือการสื่อสารสองทาง แต่ลักษณะการทำงานเป็นฮาร์ดแวร์ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่สามารถส่งสัญญาณภาพและเสียงได้ เป็นเพียงการส่งสัญญาณข้อมูลอย่างเดียว ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการทำวิทยานิพนธ์ของฉบับนี้

### 1.3 โครงร่างวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 7 บท สามารถอธิบายเป็นพอสังเขปได้ดังนี้

บทที่ 1 เป็นบทนำ ในการกล่าวถึงข้อได้เปรียบของเส้นใยนำแสงในการส่งสัญญาณระยะทางไกล วัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์และรายละเอียดของเนื้อหาบทต่าง ๆ

บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงชนิดของเส้นใยนำแสงแบบต่าง ๆ หลักการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสง คุณสมบัติการส่งแสงในเส้นใยนำแสง เช่น การสูญเสียแสง

บทที่ 3 เป็นการกล่าวถึงอุปกรณ์แสง เช่น ตัวกำเนิดแสง ตัวรับแสง การส่งแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสง และหลักการเชื่อมต่อตัวรับแสงเข้ากับเส้นใยนำแสง

บทที่ 4 เป็นเรื่องการออกแบบวงจร ลักษณะโครงสร้างของระบบทำงานอย่างไร ซึ่งแบ่งออกเป็นภาคต่าง ๆ อธิบายหลักการทำงานของวงจร ในการส่งสัญญาณควบคุมอุปกรณ์ภายนอกและการส่งสัญญาณตอบกลับมา

บทที่ 5 เป็นหลักการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมระบบทั้งหมด

บทที่ 6 แสดงการวัดสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ของผลการทดลอง การหาค่าบิตเรท การหาค่าของสัญญาณ delay time และความผิดพลาดของบิต ( bit error rate )

บทที่ 7 การคำนวณหาค่า Power Budget สรุปผลการทดลอง และแนวทางการพัฒนาต่อไป

## บทที่ 2

### เส้นใยนำแสง

#### 2.1 กล่าวนำ

เส้นใยนำแสง ( fiber optic ) ทำจากวัสดุโปร่งใส เช่น แก้วหรือพลาสติกใสนำมาดึงให้เป็นเส้นตรงคล้ายเส้นลวด เพื่อใช้สำหรับเป็นทางเดินของข้อมูลแสง วัสดุพิเศษสำคัญที่ใช้ในการผลิตเส้นใยนำแสง คือ แก้วที่มีซิลิกาสูงซึ่งหาได้ง่ายจากทรายทั่วไป โครงสร้างของเส้นใยนำแสงประกอบด้วยสองส่วน คือ ส่วนแรกเป็นแกนหรือคอร์ ( core ) อยู่ในแนวเส้นผ่าศูนย์กลางทำหน้าที่เป็นท่อนำสัญญาณแสง และส่วนที่สอง คือ วัสดุหุ้มแกนหรือแคลดดิ้ง ( cladding ) ทำหน้าที่คล้ายกับผนังกันการสูญเสียสัญญาณแสง ทั้งมีผลช่วยให้ระบบการนำแสงดีขึ้นด้วย ทั้งคอร์และแคลดดิ้งเป็นสารไดอิเล็กตริก ( dielectric ) สองชนิด โดยการทำให้ค่าดัชนีการหักเหของแคลดดิ้งมีค่าน้อยกว่าค่าดัชนีการหักเหของคอร์เล็กน้อยประมาณ 0.2 - 3 % [ 3 ] และอาศัยปรากฏการณ์การสะท้อนกลับหมดของแสง ทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปในคอร์เดินทางได้จนกระทั่งแสงปรากฏออกมาที่ปลายอีกข้างหนึ่ง

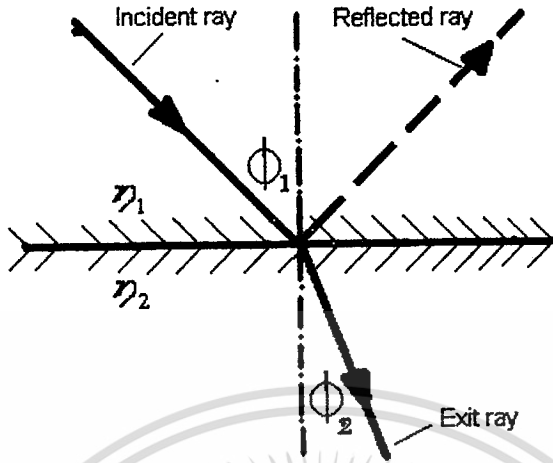
#### 2.2 หลักการเดินทางของเส้นใยนำแสง

แสงสามารถที่จะเข้าจากปลายหนึ่งของเส้นใยนำแสงและออกที่ปลายอีกข้างหนึ่ง โดยอาศัยการนำเอาปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ระบบการหักเหของแสงภายในมาใช้

##### 2.2.1 การหักและการสะท้อนกลับของแสง

ในการที่แสงทะลุผ่านตัวกลาง 2 ชนิดที่มีค่าดัชนีการหักเหต่างกัมนั้นตรงรอยต่อของตัวกลางทั้งสอง มีแสงส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับ และส่วนที่เหลือจะหักเห ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีการหักเห มุมหักเห มุมตกกระทบ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และสมการที่แสดงความสัมพันธ์ของสิ่งเหล่านี้ เรียกว่า กฎของสเนลล์ ( Snell 's Law ) [ 4 ] ในสมการ ( 2.1 )

$$\eta_1 \sin \phi_1 = \eta_2 \sin \phi_2 \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.1 แสดงแสงที่ทะลุผ่านและแสงสะท้อนกลับ

จากสมการนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหต่ำไปยังตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหสูงนั้นทำให้แสงจะเบนออกจากรอยต่อของตัวกลางที่สอง ( $n_1 < n_2, \phi_1 > \phi_2$ ) ในทางตรงกันข้ามถ้าหากแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหสูงไปยังตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหต่ำและจะทำให้แสงเบนเข้าหารอยต่อของตัวกลางทั้งสอง ( $n_1 > n_2, \phi_1 < \phi_2$ )

ที่รอยต่อของตัวกลางต่างชนิดกัน แสงจะหักเหและเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่การหักเหของแสงนี้จะมีค่ามากน้อยแค่ไหนนั้นมิต่างกันไปตามชนิดของตัวกลางที่ประกบกันตรงรอยต่อ ถ้าหากทราบชนิดของตัวกลางทั้งสองที่ประกบตรงรอยต่อ จะสามารถรู้หรือกำหนดขนาดของการหักเหของแสงได้ ซึ่งการแสดงความขนาดของการหักเหนี้เรียกว่า ค่าดัชนีการหักเหของแสง โดยทั่วไปแล้วจะกำหนดของการหักเหของแสง เมื่อแสงเดินทางจากอากาศเข้าไปในตัวกลางหนึ่งเสมอจะเกิดปรากฏการณ์การหักเหของแสง เกิดขึ้นเนื่องจากความเร็วในการเดินทางของแสงจะแตกต่างกันไปตามชนิดของตัวกลาง คือให้ความเร็วของแสงในตัวกลางอื่นมีค่าน้อยลง ดังในสมการที่ (2.2)

$$\eta = \frac{c}{v} \quad (2.2)$$

จากสมการที่ (2.1) และ (2.2) สามารถหาความสัมพันธ์ทั้งสองสมการได้ในสมการที่ (2.3)

$$\frac{\sin \phi_2}{\sin \phi_1} = \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}} = \frac{\eta_1}{\eta_2} \quad (2.3)$$

เมื่อ  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $\phi_1$  เป็นค่ามุมแสงตกกระทบในตัวกลางที่ 1
- $\phi_2$  เป็นค่ามุมแสงที่ทะลุผ่านในตัวกลางที่ 2
- $v_1$  เป็นความเร็วคลื่น ( wave velocity ) ในตัวกลางที่ 1
- $v_2$  เป็นความเร็วคลื่น ( wave velocity ) ในตัวกลางที่ 2
- $\epsilon_1$  เป็นค่า dielectric permittivity ในตัวกลางที่ 1
- $\epsilon_2$  เป็นค่า dielectric permittivity ในตัวกลางที่ 2
- $\eta_1$  เป็นค่าดัชนีหักเหในตัวกลางที่ 1
- $\eta_2$  เป็นค่าดัชนีหักเหในตัวกลางที่ 2
- c เป็นความเร็วแสงในอากาศ

และจากสมการที่ ( 2.1 ) เมื่อค่าของมุมสะท้อนกลับ คือ  $\phi_2 = 90^\circ$  ผลที่ได้ของมุมตกกระทบในตัวกลางที่ 1 คือ จะได้สมการที่ ( 2.4 )

$$\phi_1 = \phi_c = \sin^{-1} \left( \frac{\eta_2}{\eta_1} \right) \quad (2.4)$$

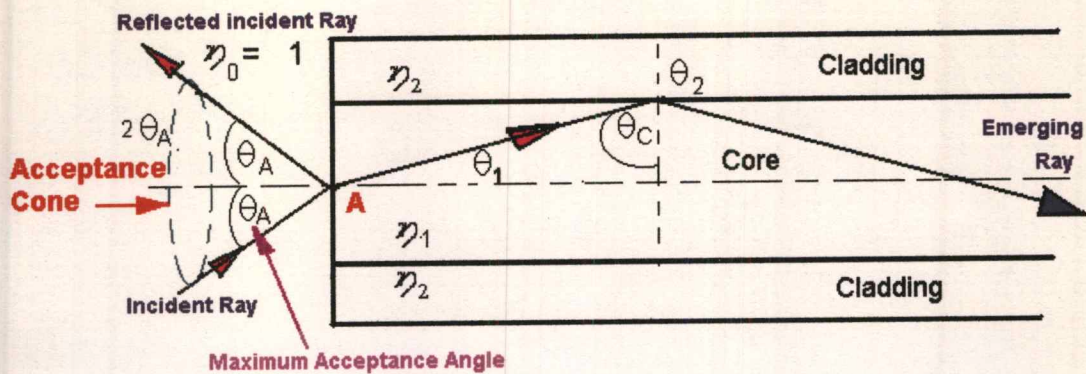
จากสมการที่ ( 2.4 ) เรียกว่าค่ามุมวิกฤติ ( critical angle ) ซึ่งเป็นมุมของแสงที่ระหว่างรอยต่อคอร์กับแคลดคิงในเส้นใยนำแสง โดยมุมที่ได้นี้ต้องเท่ากับหรือมากกว่ามุมวิกฤติจึงทำให้แสงหยุดเดินทางผ่านไปยังตัวกลางที่สอง ( แคลดคิง ) แต่แสงที่ตกกระทบทั้งหมด จะเกิดการสะท้อนกลับหมดของแสง และมุมวิกฤติจะเป็นจริงได้ก็ต่อเมื่อ  $\eta_1 > \eta_2$  ถ้าไม่เป็นไปตามนี้การเคลื่อนที่ของคลื่นแสงจากคอร์ทะลุออกไปในแคลดคิง

### 2.2.2 มุมรับแสง (Acceptance Angle) และ Numerical Aperture ( N. A. )

มุมของลำแสงที่เข้าไปในเส้นใยนำแสง ( propagation angle ) ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับมุมวิกฤติ หมายความว่าต้องมีลำแสงเพียงพอที่เข้าไปในเส้นใยนำแสงดังแสดงรูปที่ 2.2

จากรูปที่ 2.2 เส้นรังสีของแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสง และมีการหักเหของแสงที่จุด A ซึ่งมุม  $\theta_A$  ไม่เท่ากับ  $\theta_c$  แล้วค่าดัชนีการหักเหของอากาศมีค่าเท่ากับ 1 และ  $\eta_1$  เป็นค่าดัชนีการหักเหของคอร์ ส่วน  $\eta_2$  เป็นค่าดัชนีการหักเหของแคลดคิง และค่า  $\theta_A$  เป็นมุมรับแสง (Acceptance Angle) เป็นค่าของลำแสงที่เข้าไปในเส้นใยนำแสง และเมื่อค่ามุมของ  $2\theta_A$  เป็นค่า Acceptance cone เมื่อเราใช้ความสัมพันธ์ของมุมต่าง ๆ และค่าดัชนีการหักเหในเส้นใยนำแสงโดยการใช้สมการที่ ( 2.1 ) ที่จุด A ก็ได้สมการต่าง ๆ

$$N. A. = \sin \theta_A \quad (2.5)$$



รูปที่ 2.2 แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นแสงในเส้นใยนำแสง

และสมการที่ ( 2.5 ) เรียกว่า Numerical Aperture ( N.A.) คือ เป็นค่าขนาดของการเปิดให้แสงผ่าน และใช้เป็นเป็นตัวแสดงเงื่อนไขการป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสง และนอกจากนี้ยังถือเป็นตัวประกอบพื้นฐานอันหนึ่งในการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยนำแสง ทำให้สามารถเขียนสมการใหม่โดยการกฎของสเนลล์ได้ดังนี้

$$n_0 \sin \theta_A = n_1 \sin \theta_1 = n_1 \cos \theta_c \tag{2.6}$$

และ

$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin \theta_2 \tag{2.7}$$

เมื่อ  $n_1 > n_2$  ได้การสะท้อนกลับของแสงทั้งหมด

$$\sin \theta_c > \frac{n_2}{n_1} \tag{2.8}$$

แล้ว

$$\cos \theta_c < \sqrt{1 - \frac{n_2^2}{n_1^2}} \tag{2.9}$$

และจากสมการที่ ( 2.7 ) และ ( 2.8 ) ได้สมการใหม่เป็น

$$n_0 \sin \theta_A = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}} \tag{2.10}$$

แล้วจัดสมการให้อยู่ในรูปของ N.A. . จากสมการที่ ( 2.5 ) ได้สมการใหม่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N.A. = (\eta_1^2 - \eta_2^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2.11)$$

สามารถเขียนสมการของ  $\theta_A$  ได้ใหม่

$$\begin{aligned} \theta_A &= \sin^{-1}(N.A.) \\ &= \sin^{-1} \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2} \end{aligned} \quad (2.12)$$

ถ้ากำหนดให้

$$\begin{aligned} \Delta &= \left( \frac{\eta_1^2 - \eta_2^2}{2 \times \eta_1^2} \right) \\ &= \left( \frac{N.A.^2}{2 \times \eta_1^2} \right) \end{aligned} \quad (2.13)$$

สามารถเขียนสมการ N.A. ในเทอมของ Relative refractive index difference ( $\Delta$ ) จากสมการที่ (2.11) และ (2.13) สามารถจัดสมการได้ใหม่เป็น

$$\begin{aligned} (N.A.)^2 &= \eta_1^2 - \eta_2^2 = 2 \times \eta_1^2 \times \Delta \\ N.A. &\approx \eta_1 \times \sqrt{2 \times \Delta} \end{aligned} \quad (2.14)$$

เพื่อสะดวกในการหาค่า  $\Delta$  สามารถเขียนสมการได้ใหม่เป็น

$$\begin{aligned} \Delta &= \left( \frac{\eta_1^2 - \eta_2^2}{2 \times \eta_1^2} \right) \\ &= \frac{(\eta_1 + \eta_2) \times (\eta_1 - \eta_2)}{2 \times \eta_1^2} \end{aligned} \quad (2.15ก)$$

เมื่อกำหนดให้  $\eta_1 \approx \eta_2$

$$\Delta \approx \frac{\eta_1 - \eta_2}{\eta_1} \quad (2.15ข)$$

การแสดงค่า N.A. เปรียบเสมือนการแสดงค่าของมุมรับแสง ถ้าค่า N.A. มาก ก็ทำให้ค่าอื่น ๆ มีค่าตามไปด้วย เช่น แคลร์ ( $\Delta$ ) ทำให้ความแตกต่างของค่าดัชนีการหักเหมีค่ามากด้วย โหมด (mode) มีจำนวนมาก ก็ทำให้มีปัญหาในด้านการปฏิบัติ

### 2.2.3 การเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง (Propagation Mode)

แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ที่เดินทางในคอร์ของเส้นใยนำแสงไปในทิศทางต่าง ๆ กันมากมาย เพื่อความสะดวกจะอธิบายในรูปของคลื่น ซึ่งคลื่นที่เดินทางในเส้นใยนำแสงต้องเกิดเอกสาร์เป็นเอกสาร์ที่ส่งวนเวียนสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ เมื่อนักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบการนำแสงไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏการณ์การแทรกสอด ( Interference ) คือ ถ้าคลื่นมีเฟสเหมือนกันคลื่นทั้งสองจะเสริมกัน แต่ถ้าหากเฟสต่างกันคลื่นทั้งสองจะหักล้างกันและค่อย ๆ หดไป การที่คลื่นทั้งสองจะมีเฟสเหมือนกันหรือต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับมุมที่ไปตกกระทบกับผนังรอยต่อ นั่นคือกล่าวได้ว่าจะมีเฉพาะคลื่นที่กระทบกับผนังด้วยมุมค่าหนึ่งเท่านั้นที่คลื่นทั้งสองจะเสริมกันและสามารถเดินทางไปได้ไกล และคลื่นที่กระทบกับผนังด้วยมุมเฉพาะและสามารถเดินทางไปได้ไกลโดยไม่หักล้างกันหมดไปมีชื่อเรียกว่า โหมด ( Mode ) คือ กลุ่มของลำแสงเฉพาะที่เดินทางได้ภายในคอร์ของเส้นใยนำแสง ซึ่งเป็นจำนวนโหมดทั้งหมดที่เดินทางได้ภายในเส้นนำแสง แต่มีค่าจำนวนจำกัดตามเงื่อนไขของการสะท้อนกลับหมด และนิยมตั้งชื่อโหมดตามลำดับจากการเคลื่อนที่ของโหมด ( Propagation Mode ) เพราะฉะนั้นในการหาค่าจำนวน N โหมดการเคลื่อนที่ได้ ดังแสดงในสมการที่ ( 2.16 ) [ 4 ]

$$N = \frac{16(\eta_1^2 - \eta_2^2)a^2}{\lambda_0^2} \quad (2.16)$$

a - รัศมีของคอร์

$\lambda_0$  - ความยาวคลื่นแสงที่ใช้

การที่ได้ค่าของจำนวน N-1 เป็น 0, 1, 2, .... หมายถึง โหมดที่สามารถเดินทางในเส้นใยแสงได้ คือ Mode 0, Mode 1, Mode 2, ... ค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้ จะเห็นว่าจำนวนโหมดขึ้นอยู่กับค่าความยาวคลื่น ดังนั้นถ้าต้องการให้การเคลื่อนที่ของโหมดมีเพียงโหมดเดียว (single mode) คือ การกำหนดค่าความยาวคลื่นต่ำสุดที่ทำให้การเคลื่อนที่ของโหมดมีเพียงโหมดเดียว และเรียกความยาวคลื่นนี้ว่า ความยาวคลื่นกัทออฟ ( Cutoff Wavelength,  $\lambda_c$  ) ดังแสดงในสมการที่ ( 2.17 ) [ 4 ]

$$\lambda_c = \frac{2\pi \cdot a}{2.405} \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2} \quad (2.17)$$

ค่า  $\lambda_c$  ถือว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญในการแสดงคุณสมบัติของเส้นใยนำแสงที่เป็นโหมดเดียว หรือใช้ค่า Standardized Frequency ( V ) มีค่าน้อยกว่า 2.405 ดังสมการที่ ( 2.18 )

$$V = \frac{2\pi \cdot a}{\lambda} \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2} < 2.405 \quad (2.18)$$

จากสมการ ( 2.18 ) จะเห็นได้ว่าจะทำให้ค่า V มีค่าน้อยกว่า 2.405 ได้นั้นต้องทำให้รัศมีของคอร์มีค่าน้อยลง

## 2.2.4 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่แสดงคุณสมบัติของเส้นใยนำแสง

พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการแบ่งคุณสมบัติของเส้นใยนำแสง ได้แก่ Standardized Frequency (V) หรือ Propagation Mode, Cutoff Wavelength และนอกจากนี้ยังมีพารามิเตอร์อื่น ๆ อีก คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.4.1 พารามิเตอร์ทางแสง

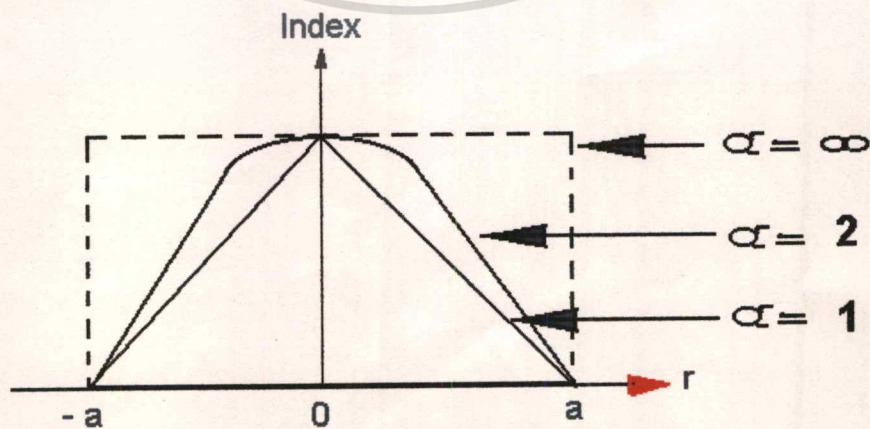
ที่เกี่ยวข้องกับค่าดัชนีการหักเหที่ใช้ในการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสง มีดังนี้

ก) ค่าผลต่างดัชนีการหักเหจำเพาะ ( $\Delta$ ) เป็นค่าอัตราผลต่างค่าดัชนีหักเหระหว่างคอร์และแคลดดิ้ง ดังแสดงในสมการที่ ( 2.15ข ) โดยทั่วไปแล้วค่า  $\Delta$  เมื่อเทียบกับ 1 แล้วจะมีค่าน้อยมากดังนั้นนิยมคูณด้วย 100 เพื่อแสดงค่าเป็น % ถ้าหากมีค่ามากทำให้มุมวิกฤติมีค่าน้อยทำให้ง่ายต่อการป้อนแสงเข้าไปในคอร์

ข) มุมรับแสง ( Acceptance Angle ) ในการที่แสงเดินทางไปในเส้นใยนำแสงนั้นมุมตกกระทบของแสงที่ปลายทางด้านป้อนแสงเข้านั้นจะต้องมีค่าน้อยกว่า  $\theta_A$  แสงที่ตกกระทบด้วยมุมมากกว่า  $\theta_A$  จะไม่เกิดการสะท้อนกลับหมดที่รอยต่อของคอร์และแคลดดิ้ง แต่จะมีแสงบางส่วนหักเหเข้าไปในแคลดดิ้งและรั่วออกไป ทำให้แสงไม่สามารถเดินทางไปได้

ค) Numerical Aperture (N.A.) ซึ่งเป็นการแสดงของประสิทธิภาพของเลนส์ ในการป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสงดังในสมการที่ที่ ( 2.5 ) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับมุมรับแสงด้วย ในการที่จะทำให้แสงเข้าไปในเส้นใยนำแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพค่านั้นต้องใช้เลนส์ที่มีค่า N.A. เท่ากันกับของเส้นใยนำแสงทำการรวมแสง และถ้าใช้เส้นใยนำแสงที่มีค่า N.A. ต่างกัน ทำให้แสงที่เดินทางมาจะหลุดออกจากคอร์ตรงรอยต่อเชื่อมทำให้เกิดการสูญเสียแสงเพิ่มขึ้น ดังนั้นนิยมใช้ N.A. ในการประเมินผลการสูญเสียของแสงตรงรอยต่อเชื่อม ( Connection Loss )

ง) สัมประสิทธิ์การกระจายค่าดัชนีการหักเห ซึ่งเป็นการแสดงสภาพการกระจายค่าดัชนีการหักเหของคอร์ในเส้นใยนำแสง ดังแสดงในรูปที่ 2.3 จากภาพจะเห็นได้ว่าเมื่อ  $\alpha = \infty$  เป็นการแสดงการกระจายค่าดัชนีการหักเหแบบ Step Index และเมื่อค่า  $\alpha$  มีค่าใกล้เคียง 2 จะแสดงรูปร่างการกระจายค่าดัชนีการหักเหของเส้นใยนำแสงแบบ Graded Index



รูปที่ 2.3 แสดงรูปร่างการกระจายค่าดัชนีการหักเห

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.4.2 พารามิเตอร์ทางโครงสร้าง

แสดงโครงสร้างหน้าตัดของเส้นใยนำแสง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 คือเส้นรอบรูปของคอร์และแคลดคิงที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกัน ในทางทฤษฎีได้รูปร่างแบบ a แต่ในทางปฏิบัติรูปร่างแบบ b ซึ่งมีความผิดเพี้ยนไปบ้าง และโครงสร้างเหล่านี้เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในกรณีที่ทำให้การประมาณหรือประเมินค่าการสูญเสียในการค่าเชื่อมต่อแสง

ก) เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของคอร์ เป็นตัวแสดงขนาดความโตของคอร์ที่แสงส่วนใหญ่ถูกกักอยู่ในคอร์ เพื่อให้แสงเดินทางไปในเส้นใยนำแสง ในการพิจารณาขนาดของคอร์ในทางปฏิบัติซึ่งมีความผิดเพี้ยนไป โดยทั่วไปแล้วจะแสดงด้วยค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำสุดและสูงสุดของวงกลมดังแสดงในรูปที่ 4 (b)

$$\text{ขนาดของคอร์ (d)} = \frac{d_{\max} + d_{\min}}{2} \tag{2.19}$$



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างหน้าตัดของเส้นใยนำแสง a) เส้นใยนำแสงกรณีดี

b) เส้นใยนำแสงในทางปฏิบัติ

ข) เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของแคลดคิง แสดงขนาดความโตของเส้นใยนำแสง ในกรณีที่ทำให้การพิจารณาการสูญเสียของแสงที่เกิดจากการบิดของเส้นใยนำแสงนั้น ขนาดของแคลดคิงจะเป็นตัวสำคัญต่อการประเมินค่าความแข็งแรงทางเมคคานิกส์ คุณสมบัติการเชื่อมต่อของเส้นใยนำแสง

$$\text{ขนาดของแคลดคิง (D)} = \frac{D_{\max} + D_{\min}}{2} \tag{2.20}$$

ค) อัตราความไม่เป็นวงกลมของคอร์และแคลดคิง จะคิดเป็น % การผิดเพี้ยนจากวงกลมของคอร์และแคลดคิง ทั้งสองนี้กำหนดจากผลต่างของเส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุดกับเส้นผ่าศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลางมาตรฐานแล้วคูณด้วย 100 ตัวแปรทั้งสองนี้เป็นสิ่งสำคัญในการประเมินค่าการสูญเสียจากการเชื่อมต่อ

$$\text{อัตราความเพี้ยนของวงกลมของคอร์} = \frac{d_{\max} + d_{\min}}{d} \times 100 \quad (2.21)$$

$$\text{อัตราความเพี้ยนของวงกลมของแคลคคิง} = \frac{D_{\max} + D_{\min}}{D} \times 100 \quad (2.22)$$

ง) อัตราความคลาดเคลื่อนของจุดศูนย์กลาง ในทางปฏิบัตินั้นจุดศูนย์กลางของคอร์และแคลคคิงของเส้นใยนำแสงจะ ไม่อยู่ที่จุดเดียวกันเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของจุดศูนย์กลางจากระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของคอร์กับแคลคคิง ทหารด้วยค่ามาตรฐานของเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์และแคลคคิง แล้วคูณด้วย 100 ตัวแปรนี้เป็นสิ่งสำคัญในการประเมินค่าการสูญเสียการเชื่อมต่อของเส้นใยนำแสง

$$\text{อัตราการคลาดเคลื่อนของจุดศูนย์กลาง} = \frac{x}{d} \times 100 \quad (2.23)$$

## 2.3 คุณสมบัติการส่งของเส้นใยนำแสง ( Transmission Characteristics )

คุณสมบัติการส่งของเส้นใยนำแสงกำหนดด้วยการสูญเสียของแสง และคุณสมบัติ Base Band Frequency ซึ่งสามารถอธิบายคุณสมบัติเหล่านี้ได้ดังนี้ [ 2 , 3 ]

### 2.3.1 การสูญเสียแสง

การสูญเสียแสงในเส้นใยนำแสงเป็นการแสดงว่ามีพลังงานของแสงส่วนหนึ่งที่เดินทางไปในเส้นใยนำแสงทะลุออกไปนอกเส้นใยนำแสงบ้าง และส่วนใหญ่ของพลังงานแสงอยู่ในเส้นใยนำแสง ทำให้พลังงานของแสงลดน้อยลงสามารถแบ่งได้เป็นสองพวกใหญ่ ๆ คือ

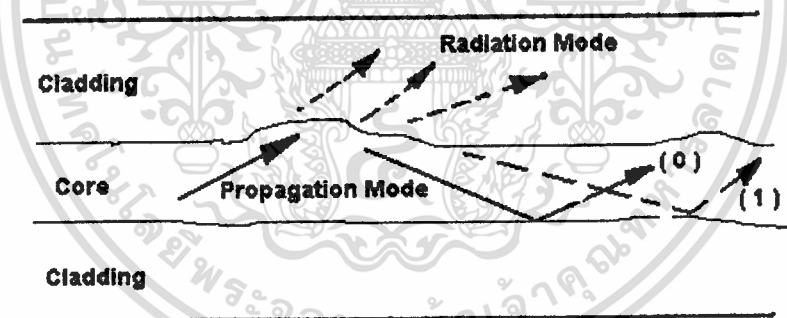
#### 2.3.1.1 การสูญเสียที่เกิดขึ้นในตัวเส้นใยนำแสงเอง ( Fixed Loss )

ก) การสูญเสียจากการกระเจิงแสงของเรย์เลห์ ( Rayleigh scattering loss ) คือ การกระเจิงของแสงที่เกิดจากอนุภาคที่มีขนาดเล็ก เมื่อเทียบความยาวคลื่นของแสง เช่น แสงที่มองเห็นจากท้องฟ้าที่ปราศจากเมฆเกิดการกระเจิงของแสงเนื่องจากโมเลกุลของอากาศ ถ้าไม่มีอากาศท้องฟ้าจะมีคสนิท นอกจากในทิศที่มีดวงอาทิตย์อยู่เท่านั้น การที่มองเห็นดวงอาทิตย์เป็นสีแดงในเวลาเย็นและในตอนเช้าตรู่ เพราะในขณะนั้นแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์เดินทางผ่านชั้นของบรรยากาศที่หนากว่าปกติมาก แสงที่มีความยาวคลื่นสั้นจึงกระเจิงได้ดีกว่า ดังนั้นกว่าแสงจะมาถึงตาจึงเหลือแต่แสงที่มีความยาวคลื่นยาว ทำให้มองเห็นดวงอาทิตย์เป็นสีแดงหรือสีแดง สิ่งที่เกิดขึ้นก็เหมือนกันในเส้นใยนำแสง คือ เกิดการกระเจิงของแสงอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของความร้อนในตอนผลิตเส้นใยนำแสง ( ทำให้เกิดอนุภาคเล็กๆ และความไม่สม่ำเสมอของสารประกอบ ) ด้วยเหตุ

ผลนี้ทำให้เส้นใยนำแสงถูกนำมาใช้กับแสงอินฟราเรด ปัจจุบันระบบที่นำมาใช้โดยการแบ่งตามชนิดของความยาวคลื่น เช่น 850 นาโนเมตร 1300 นาโนเมตร และ 1500 นาโนเมตร

ข) การสูญเสียแสงเนื่องจากวัสดุตัวกลาง ( Absorption Loss ) เป็นผลมาจากการดูดซับพลังงานภายในเนื้อสารที่ใช้ทำเส้นใยนำแสง คือ แก้ว ( silica ) ในขณะที่แสงเดินทางและชนกับโมเลกุลของเนื้อสาร หากการดูดซับพลังงานในเนื้อสารมีมากจะก่อให้เกิดการสูญเสียสัญญาณมากขึ้นด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางโมเลกุลและความบริสุทธิ์ของเนื้อสารที่ใช้ทำเส้นใยนำแสงว่ามีสารแปลกปลอม ( impurity ) ปนอยู่ในนั้น เช่น อีออน (Ion) ของโลหะต่าง ๆ

ค) การสูญเสียเนื่องจากโครงสร้างเส้นใยนำแสงไม่สมบูรณ์ ( Ununiformity Loss ) เป็นการสูญเสียที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของรอยต่อคอร์และแคลดดิ้ง และความไม่สม่ำเสมอทางโครงสร้างของภายในเส้นใยนำแสง ทำให้เกิดการเปลี่ยนโหมด ทำให้ส่วนหนึ่งของพลังงานทะลุออกจากคอร์กลายเป็น radiation mode เป็นผลทำให้การสูญเสียแสงเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.5

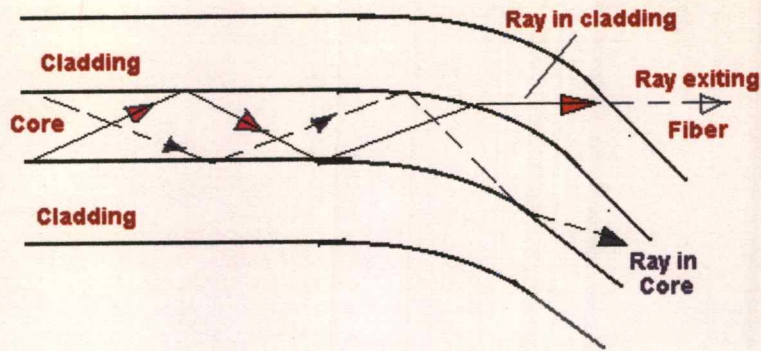


รูปที่ 2.5 แสดงการเปลี่ยนโหมดที่ส่วนไม่เรียบสม่ำเสมอของรอยต่อคอร์และแคลดดิ้ง

### 2.3.1.2 การสูญเสียเกิดจากผลภายนอกมากกว่า ( Addition Loss )

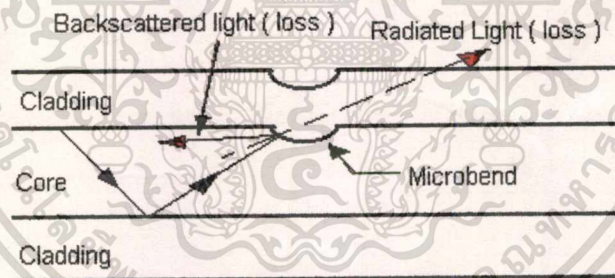
ก) การสูญเสียแสงเนื่องจากการกระจายแสงเนื่องมาจากการงอโค้งของเส้นใยนำแสง ( Bending Loss ) เป็นการสูญเสียที่เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยนำแสงถูกทำให้งอโค้งไป ถ้ามุมที่งอโค้งน้อยกว่ามุมวิกฤติ (  $\phi_c$  ) แล้วแสงนั้นจะกระจายออกไปนอกคอร์ ทำให้เกิดการสูญเสียแสงเพิ่มขึ้น ดังนั้นในกรณีวางสายเคเบิลเส้นใยนำแสง การเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงจำเป็นต้องระมัดระวังอย่าให้งอโค้งมากกว่ารัศมีความโค้งที่ยอมรับได้ของเคเบิลเส้นใยนำแสง ดังแสดงในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงการเปลี่ยนโหมดที่เกิดขึ้นตรงส่วนบิดงอโค้งของเส้นใยนำแสง

ข) การสูญเสียที่เกิดจากการงอโค้งแบบ micro bending loss เป็นการสูญเสียที่เกิดจากการที่มีแรงกดที่ไม่สม่ำเสมอกระทำต่อด้านข้างของเส้นใยนำแสง ทำให้แกนของเส้นใยนำแสงบิดงอไปเล็กน้อย เป็นเหตุให้เกิดการสูญเสียแสงเป็นแบบการเปลี่ยนโหมดดังในรูปที่ 2.7



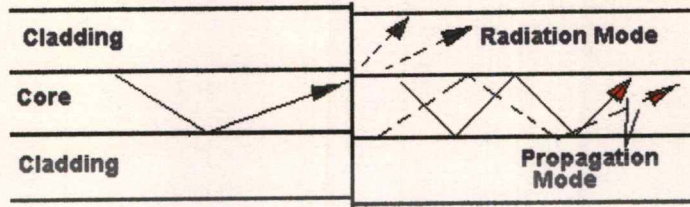
รูปที่ 2.7 แสดงการสูญเสียแสงเนื่องจาก Micro bending

ค) การสูญเสียที่เกิดจากรอยต่อของเส้นใยนำแสง ( Connection Loss ) เกิดการต่อเส้นใยนำแสงสองเส้นต่อเข้าด้วยกัน โดยการทำให้ปรับคอร์ทั้งสองแสงที่แสงเดินทางผ่านให้ตรงกันพอดี ถ้าหากว่าคอร์ทั้งสองต่อกันไม่สนิทอย่างสมบูรณ์ แสงที่ออกจากคอร์ด้านหนึ่งบางส่วนจะไม่เข้าไปในคอร์อีกด้านหนึ่ง แต่จะกระจายออกไปข้างนอกทำให้เกิดการสูญเสียแสง ดังแสดงในรูปที่ 2.8

ง) การสูญเสียที่เกิดจากเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยนำแสง กับอุปกรณ์กำเนิดแสง และอุปกรณ์รับแสง โดยค่า N.A. เป็นตัวกำหนดในการป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสง และเส้นใยนำแสงที่มี N.A. มาก คือแสงที่ออกมาจากเส้นใยนำแสงแบบ GI จะมีลำแสงกว้างมากกว่าลำแสงที่ออกมาจากเส้นใยนำแสงแบบ SM ทำให้มีการสูญเสียมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



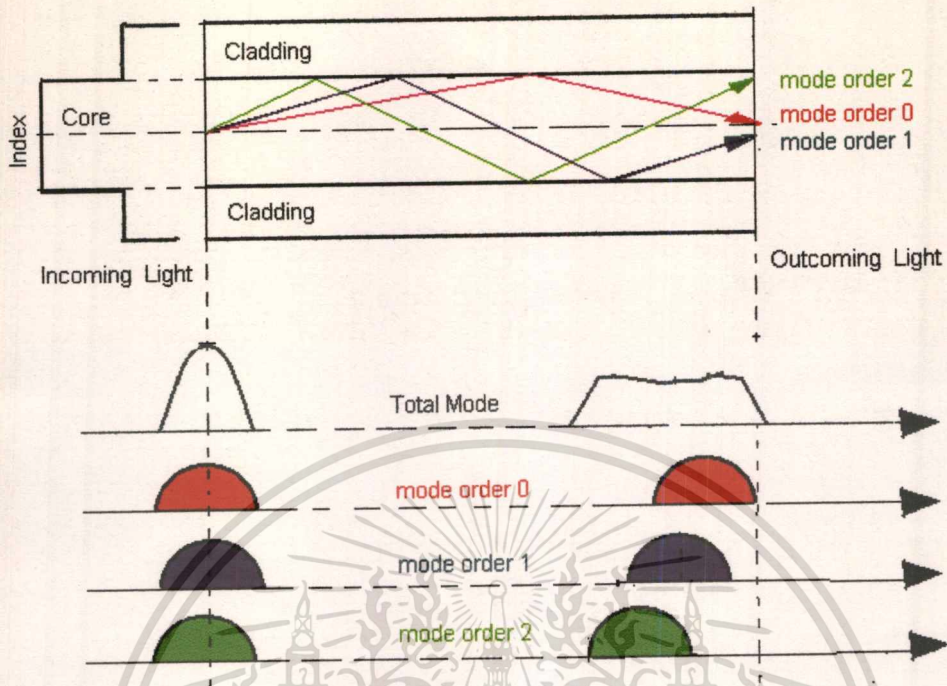
รูปที่ 2.8 แสดงการเปลี่ยน โหมดที่เกิดจากแกนของเส้นใยนำแสงคลาดเคลื่อน

### 2.3.2 คุณสมบัติ Base Band Frequency

เมื่อป้อนแสงที่เป็นพัลส์ ( pulse ) เข้าที่ปลายด้านหนึ่งของเส้นใยนำแสงที่มีความยาวคลื่นค่าหนึ่ง และแสงออกมาจากปลายอีกด้านหนึ่งของเส้นใยนำแสงจะเป็นพัลส์ที่ขยายกว้างออกมากกว่าพัลส์ของแสงที่ป้อนเข้ามา การที่รูปคลื่นขยายกว้างออกตามเวลานี้เรียกว่า การกระจายตามความถี่ ( Dispersion ) เมื่อพิจารณาปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับเวลา ด้วยความถี่จะเห็นว่าที่มีความถี่สูง จะได้รับการลดทอนมาก ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการลดทอนนี้กับความถี่เรียกว่าคุณสมบัติ Base Band Frequency นอกจากนี้การกระจายตามความถี่ยังจำแนกออกเป็นสองแบบ คือ [ 3 , 5 ]

#### 2.3.2.1 การขยายกว้างออกของโหมด ( Mode Dispersion )

การขยายกว้างออกของรูปคลื่นเกิดขึ้นเนื่องจากความเร็วในการเดินทางของแต่ละโหมดต่าง ๆ ไม่เท่ากัน คือ เมื่อป้อนแสงที่เป็นพัลส์ให้แก่เส้นใยนำแสง พลังงานแสงก็จะถูกแบ่งออกไปให้แก่โหมดต่าง ๆ ที่สามารถเดินทางไปในเส้นใยนำแสง โดยโหมดแต่ละโหมดจะเดินทางด้วยความเร็วต่างกันในการไปถึงปลายสายอีกด้านหนึ่งของเส้นใยนำแสง ด้วยค่าเวลาที่ต่างกัน ซึ่งเป็นสาเหตุของการขยายกว้างออกของรูปคลื่นแสงที่เป็นพัลส์ ผลที่เกิดขึ้นแบบนี้เรียกว่า การบิดเบือนแบบอินเทอโมดอล ( intermodal distortion ) หรือ ( modal time dispersion ) จะเกิดขึ้นเฉพาะเส้นใยนำแสงแบบมัลติโหมด ( multimode fiber ) สามารถแก้ปัญหาที่น้อยลง ด้วยการทำให้ค่าดัชนีการหักเหของคอร์เป็นลักษณะแบบพาราโบลา ซึ่งเป็นเส้นใยนำแสงเรียกว่า เกรดเดคอินเด็กซ์ ( Graded Index Fiber ) แต่เป็นผลทำให้เกิดค่าแถบความถี่ ( Band Width ) มีค่าจำกัด ดังในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงโหมดต่างๆ ที่เดินทางในเส้นใยนำแสงแบบสเต็ปอินเด็กซ์มัลติโหมด

### 2.3.2.2 การขยายกว้างออกเนื่องมาจากความยาวคลื่น (Wave Length Dispersion)

แสงที่ใช้ในการสื่อสารเส้นใยนำแสงนั้น ความจริงแล้วไม่ใช่แสงที่มีความยาวคลื่นเพียงคลื่นเดียวเท่านั้น คือจะมีความยาวคลื่นอื่นปนอยู่ด้วยแต่น้อยมาก เป็นผลให้ความเร็วในการเดินทางของความยาวคลื่นต่างกัน เรียกว่า การกระจายแบบภายในโหมด (Intramodal Dispersion) หรือ การกระจายแบบแถบสี (Chromatic Dispersion) ยังสามารถแบ่งออกได้เป็นสองแบบ คือ

ก) Material Dispersion คือ เมื่อป้อนแสงที่มีความยาวคลื่นค่าหนึ่งเข้าไปในเส้นใยนำแสง และจากสาเหตุที่ความเร็วการเดินทางของแสงมีค่าต่างกัน ทำให้แสงเดินทางไปถึงอีกปลายข้างหนึ่งด้วยเวลาต่างกันเกิดการขยายกว้างออกของรูปคลื่น ( ความยาวคลื่นยังมีค่ามากค่าดัชนีการหักเหจะน้อยลง และเป็นผลทำให้ความเร็วในการเดินทางเพิ่มขึ้น ) และเป็นคุณสมบัติที่เกิดขึ้นกับเส้นใยนำแสงทุกชนิด

ข) Structure Dispersion หรือ Waveguide Dispersion คือ เกิดจากค่าผลต่างของดัชนีการหักเหระหว่างคอร์และแคลคดิ่งมีค่าน้อยมาก ทำให้เกิดการสะท้อนกลับหมดของแสงที่รอยต่อของคอร์และแคลคดิ่งแต่มีแสงบางส่วนที่ทะลุเข้าไปในแคลคดิ่ง นอกจากนี้ส่วนของแสงที่ทะลุเข้าไปนี้จะแตกต่างกันตามความยาวคลื่นแสง เป็นผลให้เกิดการขยายกว้างออกของระยะทางการเดิน

ทางของแสงเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปความยาวคลื่นยิ่งมีค่ามากเท่าใดขนาดของการทะลุเข้าไปในแกลดคิงก็มากขึ้น ทำให้เส้นทางการเดินของแสงยาวมากขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างการขยายกว้างออกต่าง ๆ นั้น โดยทั่วไปจะเป็นดังนี้

Mode Dispersion > Material Dispersion > Structure Dispersion ดังนั้นเส้นใยนำแสงแบบหลายโหมดนั้นความกว้างของแบนด์วิดท์จะถูกกำหนดด้วยการขยายกว้างของโหมด ส่วนเส้นใยนำแสงแบบโหมดเดียวจะไม่มี การขยายกว้างของโหมดเกิดขึ้นทำให้แบนด์วิดท์กว้างมาก มีข้อจำกัดของแบนด์วิดท์ขึ้นอยู่กับ Material Dispersion

## 2.4 ชนิดของเส้นใยนำแสง

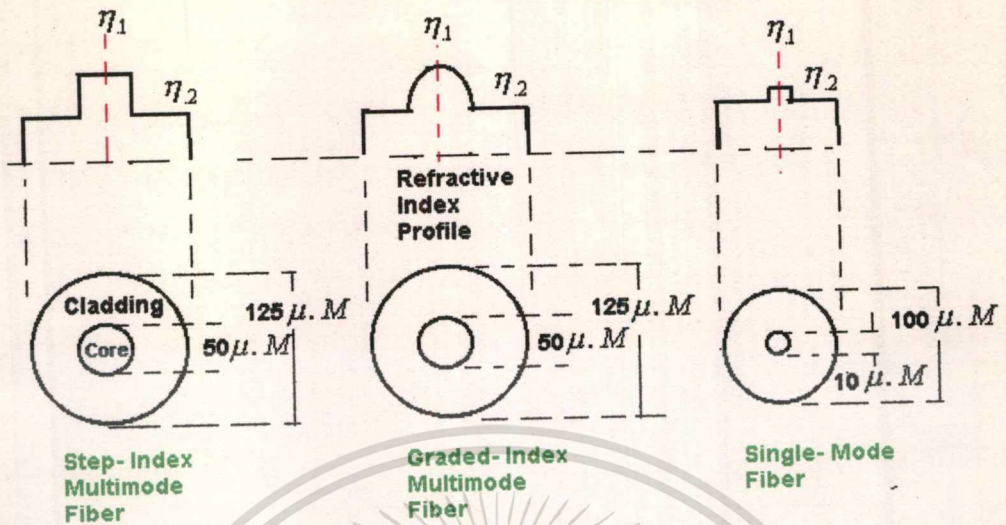
วิธีการแบ่งชนิดของเส้นใยนำแสงมีการแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท [ 3 , 6 ] คือ

### 2.4.1 การแบ่งชนิดเส้นใยนำแสงตามลักษณะของดัชนีการหักเห

สามารถแบ่งออกได้อีก 2 แบบ ตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเห คือ

ก) สเต็ปอินเด็กซ์ ( Step Index optical fiber, SI ) คือ เป็นเส้นใยนำแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหของแสงคงที่ตลอดเนื้อสารทั้งในส่วนที่เป็นคอร์และแกลดคิง โดยปกติค่าดัชนีการหักเหที่คอร์จะมากกว่าแกลดคิง แนวทางของแสงที่เดินทางผ่านมีลักษณะเป็นเส้นตรงสะท้อนไปมาตรงบริเวณรอยต่อระหว่างคอร์และแกลดคิงตามกฎของสเนลล์ และยังแบ่งได้อีกสองแบบ แบบที่หนึ่งคือ สเต็ปอินเด็กซ์แบบหลายโหมด (step index multimode) การเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหระหว่างคอร์และแกลดคิงอย่างทันทีทันใดทำให้แสงสามารถเดินทางในเส้นใยนำแสงได้หลายแนวทาง ขึ้นกับมุมมองที่กระทบที่เส้นใยนำแสงขาเข้า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์ประมาณ 52 ไมโครเมตร แบบที่สองคือ แบบโหมดเดียว ( single mode ) มีการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่างคอร์และแกลดคิงเป็นลักษณะขั้นบันได ทำให้แนวทางเดินของแสงเพียงแนวเดียวเท่านั้น เส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์มีขนาดเล็กมากประมาณ 5-10 ไมโครเมตร

ข) เกรดเคออินเด็กซ์ ( Graded Index, GI ) เส้นใยนำแสงมีค่าดัชนีการหักเหของคอร์เปลี่ยนแปลงไปตามแนวรัศมี โดยที่ตำแหน่งแนวศูนย์กลางของเส้นใยนำแสงมีค่าดัชนีหักเหสูงสุด จากนั้นค่าดัชนีหักเหจะค่อย ๆ ลดลงไปตามระยะที่ห่างออกจากแนวศูนย์กลางตามลำดับจนมีค่าเท่ากับค่าดัชนีการหักเหของแกลดคิงในตำแหน่งรอยต่อของคอร์และแกลดคิงพอดี ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของคอร์ขึ้นอยู่กับสมการทางคณิตศาสตร์ที่ออกแบบ เช่น ลักษณะครึ่งวงกลม หรือ พาราโบลา เป็นต้น



รูปที่ 2.10 แสดงเส้นใยนำแสงชนิดต่าง ๆ

#### 2.4.2 เส้นใยนำแสงแบ่งตามโครงสร้าง

สามารถแบ่งออกได้เป็นตามโครงสร้างมากมายหลายแบบ ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตและจุดมุ่งหมายในการนำไปใช้งานเป็นสำคัญ โดยไม่ได้แบ่งไว้แน่นอนตายตัว เช่น เคเบิลเส้นใยนำแสงของ Valtec สำหรับงานนอกประสงค์ เคเบิลเส้นใยนำแสงที่ใช้ในทางทหาร เคเบิลเส้นใยนำแสงสำหรับงานด้านโทรคมนาคม เคเบิลเส้นใยนำแสงสำหรับงานสื่อสาร

#### 2.4.3 เส้นใยนำแสงแบ่งตามวัสดุที่ใช้ทำ

สามารถดูได้จากตารางที่ 2.1 ซึ่งทำมาจากวัสดุต่าง ๆ ได้ดังนี้ [6]

ตารางที่ 2.1  
แสดงการแบ่งเส้นใยนำแสงตามวัสดุที่ใช้ทำ

แบ่งตามวัสดุที่ใช้ทำ	วัสดุ	การสูญเสียทางแสง	ความแข็งแรง	ความไววงใจได้	ราคา	ชนิดของเส้นใยแสง
Silica Fiber	$SiO_2$ + dopants Ge,P,B,F	ต่ำ	สูง	สูง	แพง	SI-SM/ Multimode, GI-fiber
Plastic Cladding and Silica Core Fiber	Core: $SiO_2$ Cladding : Silicone-resin	ค่อนข้างต่ำ	ค่อนข้างสูง	ค่อนข้างต่ำ	ค่อนข้างถูก	SI-multimode Fiber
Multi-component glass fiber	Sodium line glass, Alkali Borosicate glass	ค่อนข้างต่ำ	ค่อนข้างต่ำ	ต่ำ	ค่อนข้างถูก	SI-Multimode, GI-Fiber
Plastic fiber	พลาสติกต่างๆ	สูง	ต่ำ	ต่ำ	ถูก	Multimode Fiber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### อุปกรณ์แสง

#### 3.1 กล่าวนำ

อุปกรณ์ที่เป็นหัวใจสำคัญซึ่งทำให้ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง แตกต่างจากระบบสื่อสารทั่วไปคือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับ-ส่งสัญญาณแสงที่ใช้ในการนำข้อมูลเข้าไปในเส้นใยนำแสง อุปกรณ์เหล่านี้ทำหน้าที่แปลงสัญญาณกลับ ไปกลับมาระหว่างสัญญาณไฟฟ้ากับสัญญาณแสง เช่น ตัวกำเนิดแสง (light source) เป็นตัวกลางในการส่ง และตัวตรวจจับแสง (light detector) เป็นตัวแปลงแสงที่นำมาใช้ในระบบการสื่อสารด้วยคลื่นแสงจำเป็นที่จะต้องเข้ากันได้เป็นอย่างดี ตัวกำเนิดแสงจะต้องปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่น ซึ่งสามารถส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสง โดยมีการสูญเสีย น้อยที่สุด และตัวตรวจจับแสงต้องมีความไวแสงสูงต่อความยาวคลื่นเดียวกัน และมีการตอบสนองกับพัลส์แสงจากแหล่งกำเนิดที่มอดูเลตสัญญาณได้อย่างรวดเร็ว ความต้องดังกล่าวจึงเป็นตัว กำหนดลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้เป็นตัวกำเนิดแสงและตัวตรวจจับแสงที่ใช้ในระบบคลื่นแสง

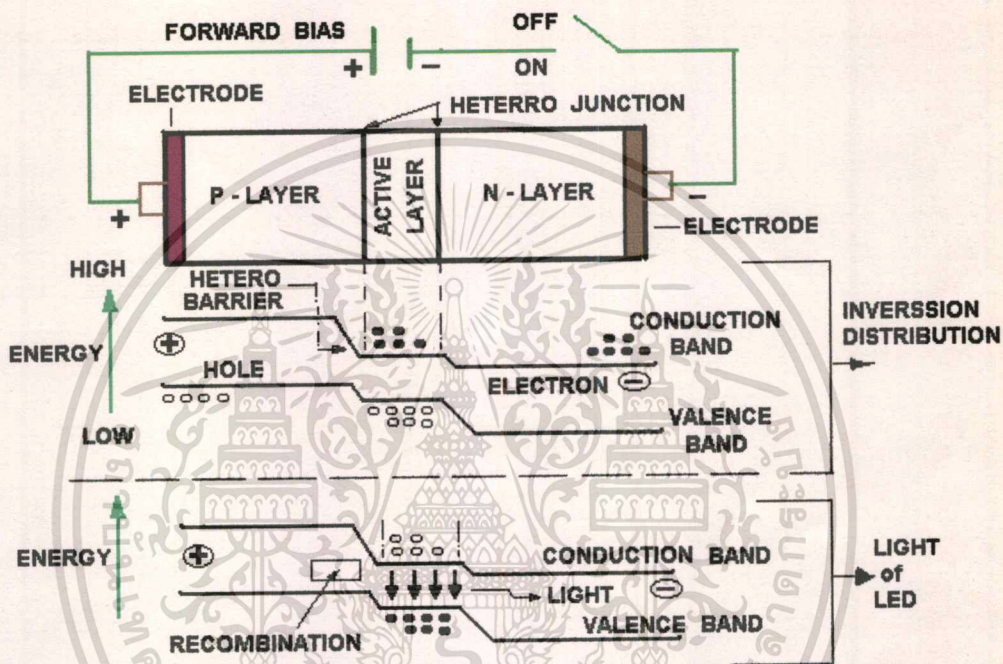
#### 3.2 อุปกรณ์กำเนิดแสง

อุปกรณ์กำเนิดแสง เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง โดยวิธีที่ เรียกว่าการมอดูเลตตามความเข้มของแสง (Intensity Modulation) ในปัจจุบันอุปกรณ์กำเนิดแสงที่ ใช้มี 2 ชนิด คือ ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode, LED) กับเลเซอร์ไดโอด (Laser Diode, LD) ไดโอดเปล่งแสงเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ทำได้ง่าย แต่มีคุณสมบัติดีกว่าเลเซอร์ไดโอดใน ด้านกำลังส่งและในการทำงานความเร็วสูงเพราะเลเซอร์ไดโอดมีสเปกตรัม (spectrum) ของแสงที่ แคบกว่าไดโอดเปล่งแสง เลเซอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่มีโครงสร้างค่อนข้างซับซ้อน ราคาแพง กำลังส่งและความเร็วในการตอบสนองสูง จึงทำให้สามารถส่งข้อมูลไปได้ในระยะทางไกลกว่าที่ใช้ ไดโอดเปล่งแสง

##### 3.2.1 แหล่งกำเนิดไดโอดเปล่งแสง (LED)

ไดโอดเปล่งแสงเป็นอุปกรณ์ที่เกิดจากรอยต่อพีและเอ็น (PN-Junction) ซึ่งจะส่งแสงบริเวณ รอยต่อเมื่อมีกระแสผ่านรอยต่อ ความยาวคลื่นที่ได้ขึ้นอยู่กับสารที่นำมาทำ เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) ให้ความยาวคลื่นระหว่าง 750 - 950 นาโนเมตร แกลเลียมอินเดียมอาร์เซไนด์ (GaInAs) ให้ความยาวคลื่นระหว่าง 1,000 - 1,500 นาโนเมตร แกลเลียมอาร์เซ-

ไนร์ฟอสไฟด์ ( GaAsP ) ให้ความยาวคลื่น 640 นาโนเมตร สำหรับแสงสีแดง 590 นาโนเมตร สำหรับแสงสีเหลือง และ 560 นาโนเมตรสำหรับแสงสีเขียว การใช้ไดโอดเปล่งแสงแบบธรรมดา ( PN-Junction ) บางครั้งเกิดปัญหา เพราะสารที่หุ้มดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงมีการผลิตไดโอดเปล่งแสงแบบฮีเตอร์โรจังก์ชัน ( Hetero Junction ) ดังในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดง โครงสร้างของไดโอดเปล่งแสง และการปล่อยแสง

หลักการปล่อยแสงของไดโอดเปล่งแสงเป็นแบบฮีเตอร์โรจังก์ชัน ( Hetero Junction ) เป็นชื่อเรียกที่เอา P-Type และ N-Type ซึ่งมีความกว้างของแถบพลังงาน ( Energy Band ) ต่างกันมาประกอบต่อกันที่ด้านหลังทั้งสองของชั้นแอกทีฟ ( Active Layer ) โดยถูกสร้างให้หนากว่ารอยต่อที่ให้แสง คือ ทำให้ส่วน Active Layer แคบมากที่สุด ( เป็นการกักบริเวณพาหะ carrier และคลื่นแสง ) เป็นส่วนที่เกิดแสงมีความหนาประมาณ 0.1-0.2 ไมโครเมตร ทำให้ความเข้มข้นของกระแสบริเวณรอยต่อมากเป็นผลให้สามารถทำให้ลดค่ากระแสที่ใช้ในการทำงานน้อยลง และจะให้แสงมีความเข้มสูงด้วยทำให้สามารถปล่อยแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งทำให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้องปกติและมีอายุการใช้งานยาวนาน

ขั้นตอนการทำให้เกิดเงื่อนไขการปล่อยแสงของไดโอดเปล่งแสง

ก) สภาพแถบพลังงานของไดโอดเปล่งแสงที่มีการต่อแบบฮีเตอร์โรจันชั้น นั้น ผลต่างของพลังงานของชั้นพี (P-Layer) แถบพลังงาน และชั้นเอ็น (N-Layer) มีค่ามากเรียกว่า Hetero Barrier

ข) เมื่อให้ไบอัสในทิศทางด้านหน้า (forward bias) เพื่อให้กระแสไหลจากชั้นพี ไปยังชั้นเอ็น อิเล็กตรอนของชั้นเอ็นจะถูกดึงไปทางด้านบวกไปยังชั้นแอกทีฟโฮล (Hole) ของชั้นพีจะถูกดึงไปทางด้านลบ และเคลื่อนที่ไปยังชั้นแอกทีฟ

ค) อิเล็กตรอนและโฮลที่ถูกนำไปยังชั้นแอกทีฟจะถูกกักขังให้อยู่ในชั้นแอกทีฟ เนื่องจาก Hetero Barrier ทำให้เกิดการกระจายอินเวอร์ชัน (Inversion Distribution)

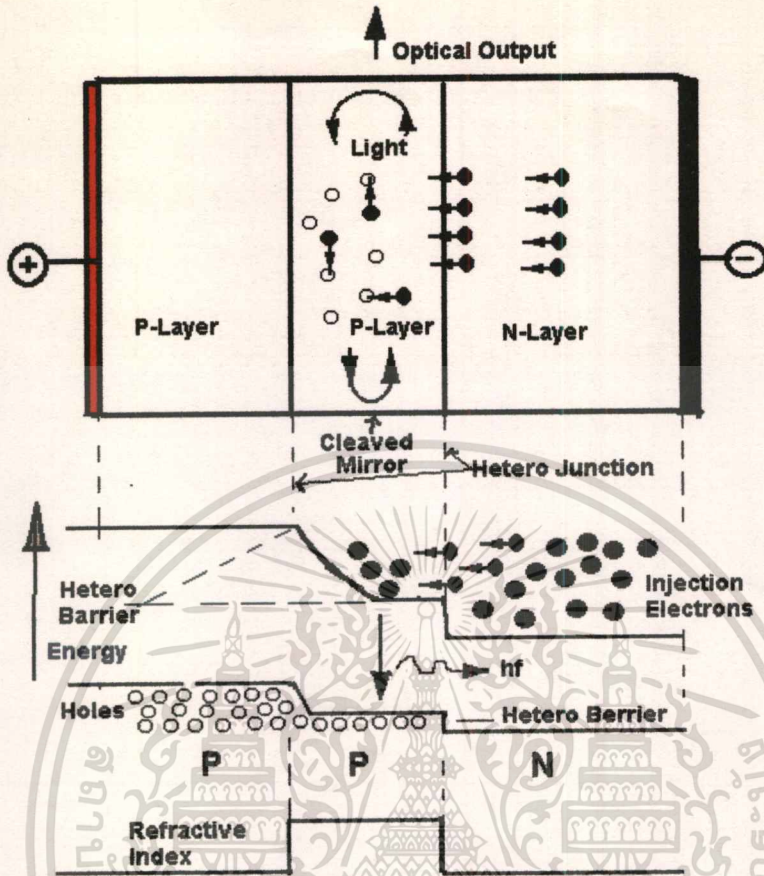
อิเล็กตรอนและโฮลที่รวมกันทำให้เกิดการกระจายอินเวอร์ชันในชั้นแอกทีฟ จะรวมตัวกันใหม่ตามธรรมชาติและปล่อยแสงออกมาแบบธรรมชาติ แม้จะเกิดการรวมตัวกันใหม่ก็ตามแต่ทราบเท่าที่ซึ่งมีการไบอัสจ่ายให้อยู่ที่นั้น อิเล็กตรอนและโฮลตัวใหม่จะถูกจ่ายเพิ่มมาใหม่หมด นั่นคือจะสามารถรักษาสภาพการปล่อยแสงติดต่อกันไปได้

### 3.2.2 แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ (LASER)

คำว่า เลเซอร์เป็นคำย่อของ Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER) ซึ่งหมายถึงการขยายแสงโดยการกระตุ้นการแผ่รังสี

หลักการปล่อยแสงของเลเซอร์ไดโอดที่เกิดจากสารกึ่งตัวนำนั้น มีโครงสร้างคล้ายกันกับไดโอดเปล่งแสงแบบฮีเตอร์โรจันชั้น จุดที่แตกต่างกันคือตรงโครงสร้างชั้นแอกทีฟมีหน้าที่แบบเรโซเนเตอร์แบบแสง (Optical Resonator) ดังในรูปที่ 3.2

การเกิดการกระจายอินเวอร์ชันของเลเซอร์ไดโอดที่ใช้ฮีเตอร์โรจันชั้น คล้ายคลึงกับไดโอดเปล่งแสง เลเซอร์ไดโอดนั้นใช้การกระตุ้นให้ปล่อยแสง แต่ทว่าการกระตุ้นให้ปล่อยแสงนี้อิเล็กตรอนจำนวนมากที่อยู่ในสภาพเกิดการกระจายอินเวอร์ชัน จะปล่อยแสงพร้อมกันทันทีเมื่อมีแสงเข้ามากระตุ้นและแสงที่ปล่อยออกมาจะมีความยาวคลื่นและเฟสเหมือนกันกับแสงที่กระตุ้น กล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือทำให้ได้แสงที่ปล่อยออกมาแรงมากจากแสงที่ปล่อยที่ป้อนเข้ามามีกำลังน้อย นั่นคือเกิดปฏิกิริยาขยายแสง แต่อย่างไรก็ตามเฉพาะการขยายแสงอย่างเดียวนั้น ไม่สามารถทำให้เกิดเรโซเนเตอร์ (Resonator) ได้ ในวงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) ก็เหมือนกัน เฉพาะการขยายอย่างเดียวนั้นจะไม่เกิดออสซิลเลชัน จำเป็นต้องมีวงจรป้อนกลับ (Feed Back) และทำให้อัตราการขยาย (Gain) ที่ได้จากการขยายมีค่ามากกว่าส่วนที่สูญเสียไปในวงจร ส่วนของไดโอดเปล่งแสงนั้น ไม่มีการป้อนกลับจึงไม่เกิดเลเซอร์ออสซิลเลชัน



รูปที่ 3.2 แสดง โครงสร้างเลเซอร์ไดโอดและการปล่อยแสง

ในการทำให้เกิดการป้อนกลับของแสงนั้นเพียงแต่ทำให้แสงสะท้อนกลับก็ใช้ได้แล้ว โดยการเอากระจกเงา 2 แผ่นมาวางหันหน้าเข้าหากัน แสงจะถูกกักบริเวณระหว่างกระจกเงา 2 แผ่นนี้และแสงจะเดินทางไป-กลับมา หลักการของออสซิลเลชันของเลเซอร์ไดโอดจะมีชั้นที่อยู่ใน Fabry - Perro Resonator และฉีดอิเล็กตรอนเข้าไปจำนวนมากกว่าในสภาพสมดุลความร้อนปกติเพื่อทำให้เกิดเป็นสภาวะการกระจายแบบอินเวอร์ชัน อันดับแรกเมื่อเกิดการปล่อยแสงตามธรรมชาติจากรวมตัวกันใหม่ของอิเล็กตรอนกับโฮล จะเกิดแสงที่เดินทางไปในทิศทางต่าง ๆ แต่สำหรับแสงที่เดินทางไปในทิศทางที่ไม่มีกระจกเงานั้นจะออกจากเรโซเนเตอร์ไปเลย หนึ่งแสงที่เดินทางไปในทิศทางที่มีกระจกเงาจะถูกขยายด้วยปฏิกิริยาการกระตุ้นให้ปล่อยแสง และสะท้อนกลับที่กระจกเงาหลักจากเดินทางไป-กลับหนึ่งครั้งจะกลับมาที่เดิมอีก แสงที่สูญเสียไปเนื่องจากการดูดแสงของตัวกลางที่อยู่ระหว่างทางและการทะลุผ่านออกไปกระจกเงา กับแสงที่ถูกขยายโดยการกระตุ้นให้ปล่อยแสงเมื่อเกิดสมดุลกันแล้วจะเกิดออสซิลเลชันขึ้น โดยทั่วไปจะปรับให้อัตราการสะท้อนกลับที่กระจก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงาอันที่สองมีค่าประมาณ 99 % และแสงที่ทะลุผ่านกระจกเงาเป็นค่าเอาที่พหุของแสงที่ปล่อยออกมา

### 3.2.3 อุปกรณ์กำเนิดแสงที่ใช้กับการสื่อสาร

สำหรับอุปกรณ์กำเนิดแสงที่ใช้กับการสื่อสารนั้นต้องมีความสว่างสูงและมีความเชื่อถือได้ ซึ่งเป็นเงื่อนไขในการกำหนดเงื่อนไขของอุปกรณ์กำเนิดแสงที่ใช้กับการสื่อสาร

ก) กำลังแสงที่ปล่อยออกมา ในการส่งแสงเป็นระยะทางไกลโดยไม่ต้องมีตัวทบทวนสัญญาณนั้นควรต้องให้กำลังแสงที่ปล่อยออกมามีค่ามาก ๆ ในการบีบลำแสงที่ปล่อยออกมาจากอุปกรณ์กำเนิดแสงด้วยกระจกรวมแสง ( Coupling Lens ) เพื่อป้อนเข้าไปในเส้นใยนำแสง ในการป้อนแสงทั้งหมดนั้นเข้าไปในเส้นใยนำแสงเป็นเรื่องยากมาก ในกรณีนี้จะต้องมีการสูญเสียแสงเนื่องจากการเชื่อมต่อ ( Coupling ) ซึ่งเรียกว่าการสูญเสียจากการเชื่อมต่อ ( Coupling Loss ) จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของต้นกำเนิดแสง เลนส์และเส้นใยนำแสง แสงที่ป้อนเข้าไปในเส้นใยนำแสงคิดเป็นค่ากำลังของแสง ซึ่งไดโอดเปล่งแสงมีค่าหลายสิบถึงหลายร้อย ไมโครวัตต์ส่วนเลเซอร์ไดโอดมีค่าตั้งแต่ 1 มิลลิวัตต์ถึงหลายมิลลิวัตต์

ข) ความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมา สามารถแบ่งออกได้เป็นสองแบบ

- ความยาวคลื่นสั้น ในอุปกรณ์กำเนิดแสงที่ปล่อยแสงออกมาด้วยความยาวคลื่นต่างกัน ก็จะมีการสูญเสียแสงในการเดินทางภายในเส้นใยนำแสงไม่เท่ากัน แล้วแต่จะใช้ความยาวคลื่นช่วงใดในการส่งสัญญาณ ( ความยาวคลื่นสั้นไม่เกิน 1 ไมโครเมตร ) เพราะความยาวคลื่นต่างกันจะมีความเร็วในการเดินทางของแสงภายในเส้นใยนำแสงต่างกัน ส่วนที่มีความยาวคลื่นยาวจะเดินทางเร็วและส่วนที่มีความยาวคลื่นสั้นจะเดินทางช้ากว่าไปยังอุปกรณ์รับแสง ทำให้เกิดการขยายกว้างของพัลส์ ดังนั้นไดโอดเปล่งแสงมีความกว้างของสเปกตรัมของแสงกว้างหลายร้อยนาโนเมตร จึงเหมาะกับการส่งความเร็วต่ำและปานกลาง และการส่งระยะทางใกล้กับระยะทางปานกลาง ส่วนเลเซอร์ไดโอดมีความกว้างของสเปกตรัมแคบน้อยกว่า จึงเหมาะกับการส่งความเร็วปานกลางและความเร็วสูงและการส่งระยะทางไกล

- ความยาวคลื่นยาว คือในช่วงความยาวคลื่น 1.1 -1.7 ไมโครเมตรเป็นช่วงความยาวคลื่นที่มีการสูญเสียในเส้นใยนำแสงต่ำกว่า 1 dB/Km โดยการใช้อุปกรณ์กำเนิดแสงที่มีการส่งแสงหลายมิลลิวัตต์สามารถส่งได้ไกลหลายสิบกิโลเมตรโดยไม่ต้องมีตัวทบทวนสัญญาณ โดยเฉพาะความยาวคลื่น 1.3 ไมโครเมตร ซึ่งมีความกว้างของสเปกตรัมหลายสิบนานาโนเมตร ขณะที่แสงเดินทางเข้าไปในเส้นใยนำแสงแม้ว่าจะมีความยาวคลื่นต่างกันก็ตาม ความเร็วของคลื่นแสงไม่เปลี่ยนแปลงคือเกิดการเปลี่ยนแปลง Material Dispersion น้อยมาก

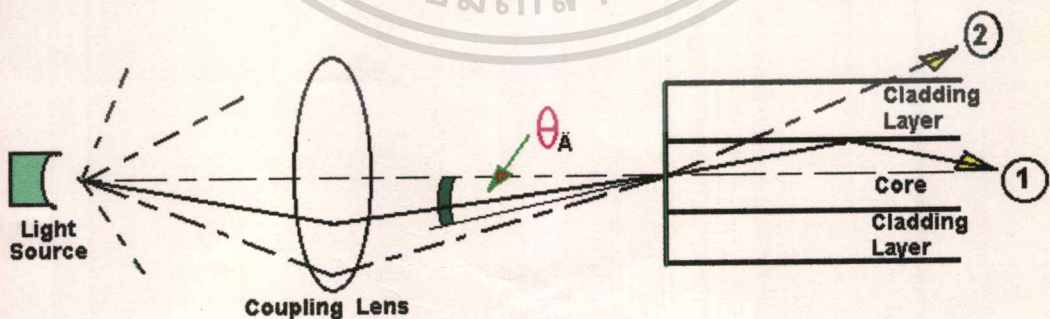
ค) คุณสมบัติการผสมคลื่นของตัวกำเนิดแสง ถ้าหากทำให้กระแสที่ไหลเป็นลักษณะเปิด-ปิด (ON-OFF) การปล่อยแสงก็จะเป็นลักษณะเปิด-ปิดไปด้วย ลักษณะนี้เรียกว่าการผสมคลื่นแบบตรง (Direct Modulation) ซึ่งเป็นการผสมที่ง่ายและเป็นระบบการผสมคลื่นที่มีประสิทธิภาพดี มีความเร็วในการเปิด-ปิดของไดโอดเปล่งแสง ( ก็คือความเร็วในการตอบสนอง ) ถูกกำหนดจากการเวลาครึ่งชีวิต ( Life Time ) ซึ่งมีค่าหลายนาโนวินาที ( ns ) ถ้าเป็นความถี่ก็จะมีค่าหลายสิบล MHz และสำหรับเลเซอร์ไดโอดสามารถผสมความถี่ได้เป็น GHz

ง) ความเชื่อถือได้ ในการใช้อุปกรณ์กำเนิดแสงต้องมีอายุการใช้งานเฉลี่ยจะต้องนานประมาณ  $10^6$  ชั่วโมง ( ประมาณ 100 ปี ) อันนี้ต้องขึ้นอยู่กับอุปกรณ์นั้นทำมาจากอะไร เช่น ไดโอดเปล่งแสงที่ทำจาก GaAlAs หรือ GaInAsP มีอายุการใช้งานประมาณ  $10^6 - 10^7$  ชั่วโมง และเลเซอร์ไดโอดทำจาก GaAlAs มีอายุการใช้งานประมาณ  $10^5 - 10^6$  ชั่วโมง

จ) คุณสมบัติอื่น ๆ เช่น มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบาและต้องทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม ได้แก่ การสั่นสะเทือน การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้น นอกจากนี้ต้องมีราคาถูก

### 3.2.4 การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสง

โดยทั่วไปแล้วแสงที่ปล่อยออกจากอุปกรณ์กำเนิดแสงจะขยายกว้างออกเนื่องจากปรากฏการเบี่ยงเบนของแสง ( Diffraction ) ดังนั้นการป้อนแสงเข้าไปในคอร์ของเส้นใยนำแสงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10-50 ไมโครเมตร ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นเป็นการยากมาก ดังนั้นในการเชื่อมต่อ ( Coupling ) ระหว่างอุปกรณ์กำเนิดแสงกับเส้นใยนำแสงจึงใช้เลนส์เพื่อทำหน้าที่ในการบีบลำแสงหรือรวมแสงเพื่อให้ลำแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสง ดังในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กำเนิดแสงกับเส้นใยนำแสง

ในการป้อนแสงเข้าไปในคอร์ของเส้นใยนำแสงนั้นจำเป็นต้องป้อนด้วยมุมที่อยู่ในช่วงที่เล็กกว่ารับแสง (มากกว่ามุมวิกฤติ) เช่น เส้นที่สองในรูปข้างบนเป็นการป้อนแสงด้วยมุมที่โตกว่ามุมรับแสงจะทำให้แสงทะลุเข้าไปในแคลคคิ่ง ดังนั้นควรใช้เลนส์ที่อยู่ใกล้กับอุปกรณ์กำเนิดแสงจะดีกว่า แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าเลนส์เข้าใกล้มากเกินไปจะเป็นการขยายลำแสงให้กว้างมากขึ้น ทำให้กว้างกว่าขนาดของคอร์ของเส้นใยนำแสงเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพการเชื่อมต่ำลง ดังนั้นวิธีการใช้เลนส์และการปรับระยะของระยะห่างระหว่างเลนส์อุปกรณ์กำเนิดแสงและเส้นใยนำแสงจึงเป็นสิ่งจำเป็นในทางปฏิบัติเพื่อทำให้อุปกรณ์กำเนิดแสง เลนส์และเส้นใยนำแสงเป็นอันเดียวกัน เพื่อให้ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากการสั่นสะเทือนของส่วนเชื่อม อุณหภูมิ ความชื้นและอื่น ๆ

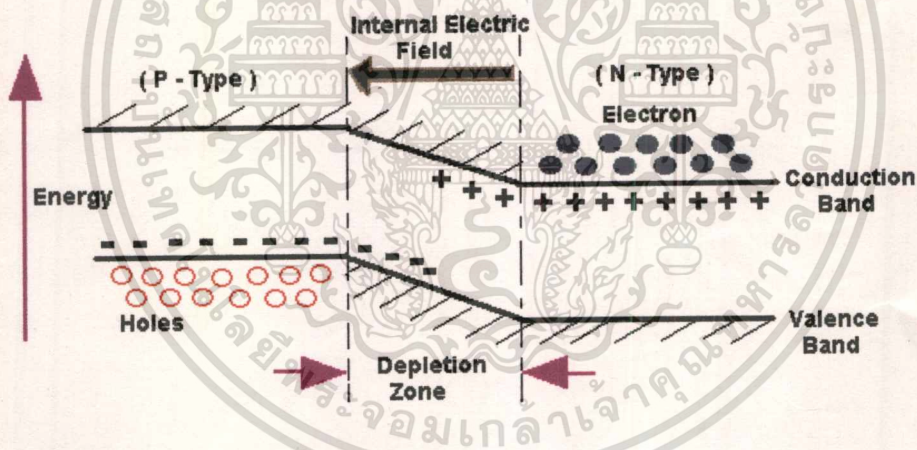
### 3.3 อุปกรณ์รับแสง

การรับแสงหมายถึงการการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า มีอยู่สองวิธี เช่น วิธีแรก การเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นแสงโดยตรง เรียกว่า ปรากฏการณ์ไฟฟ้าพลังแสง (Photo-Electric Effect) และอีกวิธีหนึ่งการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานความร้อนก่อนแล้วจึงเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าอีกทีหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ปรากฏการณ์ไฟฟ้าพลังงานความร้อน (Thermo-Electric Effect) และวิธีที่สองนี้จะไม่ใช่ในการสื่อสารด้วยแสง เพราะมีความไวไม่ดีและความเร็วช้ามาก

หลักการของปรากฏการณ์ไฟฟ้าพลังแสง (Photo-Electric Effect) คือ เมื่อมีแสงป้อนเข้าให้สารกึ่งตัวนำแล้วอิเล็กตรอนที่อยู่ในวาเลนซ์แบน (Valence Band) จะเคลื่อนที่ไปยังคอนดักชันแบน (Conduction Band) แต่ถ้าปล่อยให้ได้อย่างนั้นจะทำให้เกิดการรวมตัวกันใหม่กับโฮล (Recombination) ที่อยู่ในวาเลนซ์แบน ทำให้ไม่ได้ปรากฏการณ์ไฟฟ้าพลังแสง ดังนั้นเพื่อเป็นการเปลี่ยนแปลงแสงให้เป็นไฟฟ้านั้นจำเป็นต้องใช้สภาพการแยกอิเล็กตรอนกับโฮล ก่อนจะไปรวมตัวกันใหม่ สำหรับอุปกรณ์รับแสงก็เช่นเดียวกับอุปกรณ์กำเนิดแสง เพื่อเป็นการแยกอิเล็กตรอนกับโฮลโดยทั่วไปใช้พีเอ็นจังก์ชัน (PN-Junction) ที่พีเอ็นจังก์ชันจะเกิดสเปซอิเล็กทริกฟิลด์ (Space Electric Field) ขึ้น ดังนั้นอิเล็กตรอนของแบบเอ็น (N-Type) และโฮลของแบบพี (P-Type) จะถูกดึงด้วยประจุไฟฟ้าบวกและลบดังในรูปที่ 3.4 ทำให้ตรงบริเวณรอยต่อไม่มีอิเล็กตรอนและโฮลอยู่เลยเรียกว่า บริเวณปลอดพาหะ (Depletion Zone)

ในสภาพเช่นนี้เมื่อมีแสงเข้ามาจากด้านแถบพี แสงนั้นจะถูกดูดพร้อมทั้งมุ่งไปยังด้านแถบเอ็น และที่บริเวณปลอดพาหะ อิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดจากการดูดพลังงานจะถูกแยกไปในทิศทางตรงกันข้ามกันด้วยสเปซอิเล็กทริกฟิลด์ คืออิเล็กตรอนไปทางด้านแถบเอ็นและโฮลไปทางด้านแถบพี ที่

บริเวณห่างจากเขตปลอดพาหะจะไม่มีสนามไฟฟ้า อิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดจากปรากฏการณ์พลังงานไฟฟ้า จะรวมตัวกันใหม่ในระหว่างเคลื่อนที่ แต่ทว่าในระหว่างเคลื่อนที่นี้ อิเล็กตรอนและโฮลที่มีโอกาสได้เคลื่อนที่เข้ามาในสเปสอิเล็กทริกฟิวได้นั้นจะสามารถไปชนตรงข้ามได้ ผลก็คือ จะเกิดแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับปริมาณของอิเล็กตรอน และโฮลขึ้นที่ปลายทั้งสองของแถบพี และแถบเอ็น ถ้าหากนำวงจรภายนอกมาต่อเข้าไป อิเล็กตรอนและโฮล เหล่านี้จะสามารถร่วมกันได้โดยผ่านวงจรภายนอก นั่นคือเกิดการไหลของกระแสขึ้น กระแสที่เกิดจากเขตปลอดพาหะ เรียกว่า กระแสแตรฟิท์ ( Drift Current ) ส่วนกระแสที่เกิดในส่วนที่อยู่ห่างจากเขตปลอดพาหะ เรียกว่า กระแสการแพร่ซึม ( Diffusion Current ) อิเล็กตรอนและโฮลเคลื่อนที่ไปทางตรงกันข้ามด้วยสเปสอิเล็กทริกฟิลด์ ในส่วนพีเอ็นจึงชั้นแต่ถ้าหากให้แรงดันไฟฟ้าตรงกันข้ามจากภายนอก ( ไฟบวกต่อเข้ากับแถบพีและไฟลบต่อเข้ากับแถบเอ็น ) ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮล ที่จั้งชั้นถูกเร่งให้เร็วมากขึ้นกว่าเดิม



รูปที่ 3.4 แสดงบริเวณปลอดพาหะ ( Depletion Zone )

อุปกรณ์รับแสงที่นิยมและนำมาใช้งานได้ดีในปัจจุบันมีสองชนิด

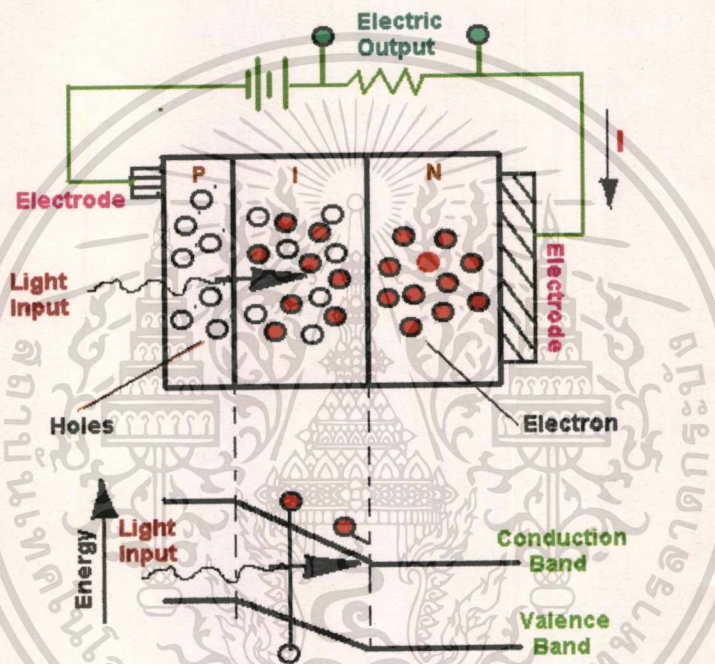
### 3.3.1 พินไดโอด ( Positive Intrinsic Negative Diode, PIN-Diode )

สำหรับพินไดโอดเป็นโพสิทีฟไดโอดที่เพิ่มสารบริสุทธิ์คือชั้นไอ ( Intrinsic Layer , I-Layer ) ไปคั่นไว้ระหว่างแถบพีและแถบเอ็น ( แล้วให้แรงดันไบอัสกลับ ) ดังแสดงรูปที่ 3.5 กระแสแตรฟิท์นั้น จะมีการตอบสนองไวเนื่องจากผลของสนามไฟฟ้า ( Electric Field ) ที่เกิดขึ้นในเขตปลอดพาหะ ตรงกันข้ามกับกระแสแพร่ซึมที่เกิดขึ้นภายนอกเขตปลอดพาหะจะมีการตอบสนองช้า และถ้าหาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความกว้างของเขตปลอดพาหะยิ่งกว้างจะทำให้ประสิทธิภาพควอนตัม ( Quantum Efficiency ) และการตอบสนองความถี่ ( Frequency Response Speed ) ดีขึ้น ( เร็วถึง 1 นาโนวินาทีและมีประสิทธิภาพมากกว่า 70 % ซึ่งวัดจากจำนวนของโปรตรอนที่สามารถผลิตอิเล็กตรอน ) ความกว้างของเขตปลอดพาหะนี้จะกว้างขึ้นถ้าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนและโฮลของแถบพีและแถบเอ็นมีน้อย ดังนั้นชั้นไอที่คั่นระหว่างแถบพีและแถบเอ็นมีหน้าที่ทำให้ความกว้างของเขตปลอดพาหะนี้กว้างขึ้น มีคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นสูง ( Linearity ) และมีสัญญาณรบกวนต่ำ

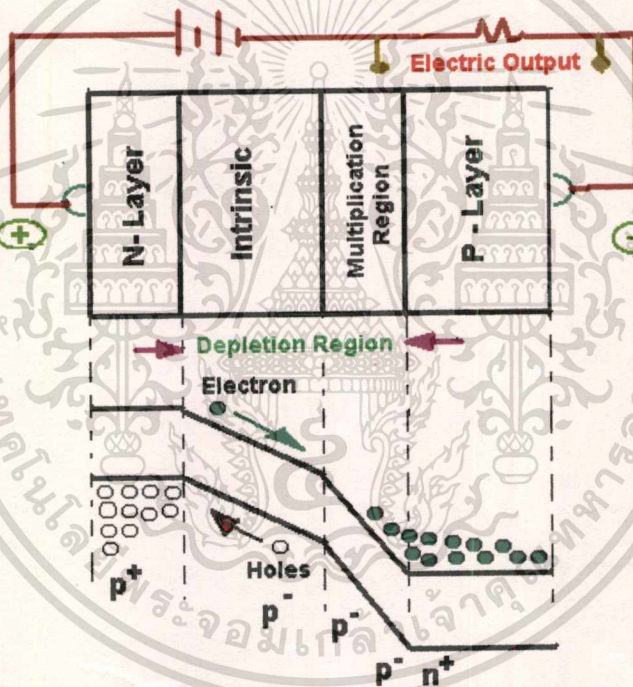


รูปที่ 3.5 แสดงหลักการการทำงานของ PIN-PD และระดับพลังงาน

### 3.3.2 อวาแลนซ์โฟโตไดโอด ( Avalanche Photodiode , APD )

โครงสร้างของ APD คล้ายกับโครงสร้างของ PIN-PD ในที่นี้ชั้นพีเป็นแถบพี ( P-Type ) ที่มีตัวรับ ( Acceptor ) เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ชั้นพีหมายถึงชั้นที่มีความต้านทานสูง นอกจากนั้นสำหรับ APD จะต้องป้อนแรงดันไบอัสกลับสูง ( ประมาณ 100-150 โวลต์ ) แรงดันไฟฟ้าส่วนใหญ่จะจ่ายให้ชั้นพีและทำให้เกิดสนามไฟฟ้าแรงมาก ( ประมาณ  $10^5 \frac{V}{cm}$  ) แต่เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้อุปกรณ์เสียหายจะมีวงแหวนป้องกัน ( Guarding Ring ) ติดอยู่

หลักการทํางานเมื่อมีแสงเข้ามาทางชั้นเอ็น ส่วนใหญ่ของแสงจะถูกดูดโดยชั้นพี ซึ่งหนามาก เช่นเดียวกับกับพินไดโอดทำให้เกิดอิเล็กตรอนและโฮล อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณที่มีสนามไฟฟ้าสูงและถูกเร่งความเร็วด้วยสนามไฟฟ้านี้ทำให้ไปชนอย่างแรงกับอิเล็กตรอนของชั้นพี และชั้นพี อิเล็กตรอนที่ถูกชนจะได้รับพลังงานและกระเด็นไป และเกิดอิเล็กตรอนกับโฮลใหม่ขึ้นมาอีก ยิ่งกว่านั้นอิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเร่งความเร็วอีกและทำให้เกิดอิเล็กตรอนกับโฮลเพิ่มมากขึ้น เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ตรงบริเวณสนามไฟฟ้าสูง เรียกว่า การเกิดแอฟเฟกอวาแลนซ์ (Avalanche Effect) แต่ใน APD จะเกิดการขยายเพิ่มมากขึ้นหลายเท่าตัว ทำให้สามารถรับแสงที่มีกำลังต่ำมาก ๆ เข้ามาได้ ก็คือมีความไวรับแสงสูงมาก ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงหลักการทํางานของ APD

### 3.3.3 อุปกรณ์รับแสงที่ใช้กับสื่อสาร

อุปกรณ์รับแสงที่ใช้กับสื่อสารควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ก) ความไวตามความยาวคลื่นแสงที่ใช้งาน ต้องเลือกให้เหมาะสมกับความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในการส่งแสงเข้าไปในเส้นใยนำแสง เพราะตัวรับแสงแต่ละตัวจะสามารถตรวจจับแสงได้ไม่เท่ากัน และค่าประสิทธิภาพของควอนตัมต่างกันขึ้นกับสารกึ่งตัวนำที่ใช้ทำตัวรับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) ความเร็วการตอบสนอง ระบบการส่งแสงที่ใช้ในการส่งแสงด้วยความเร็วต่ำกว่า 1 MHz จนถึงหลายร้อย Mb/s ในอนาคตเพื่อให้เกิดความประหยัดของระบบสูงขึ้น ใช้วิธีการมัลติเพล็กซ์ทางความถี่ ( Frequency Multiplex ) กับการสื่อสารด้วยแสงและการส่งด้วยความเร็วสูงในระดับ MHz สำหรับตัวรับแสงนั้นความเร็วของการตอบสนองเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพควอนตัม และพื้นที่การรับแสงดังนั้นจึงต้องออกแบบให้เหมาะสมกับความถี่ที่ใช้

ค) ความไวของการตรวจจับแสง ( Detection ) ของอุปกรณ์รับแสงนั้นยิ่งสูงมากยิ่งดีทำให้สามารถส่งแสงได้ไกลโดยไม่ต้องมีตัวทวนสัญญาณ ( Repeater ) ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วจึงต้องการให้สามารถตรวจจับแสงที่มีกำลังต่ำมากจาก nW ไปจนถึง  $\mu W$  ได้ ( นั่นคือมี SNR ที่ดีพอ ) ด้วยเหตุนี้จึงต้องการอุปกรณ์รับแสงที่มีประสิทธิภาพควอนตัมสูง ( Quantum Efficiency มากกว่า 50 % ขึ้นไป ) และมีสัญญาณรบกวนต่ำ ( Noise , ในการลดสัญญาณรบกวนได้โดยการลดกระแสมืดให้ มีค่าน้อยที่สุด )

ง) เงื่อนไขอื่นๆ คือเมื่ออุปกรณ์รับใช้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น ทำให้จำเป็นต้องใช้วงจรรับมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยเฉพาะในตัวทวนสัญญาณซึ่งมีข้อจำกัดของการจ่ายไฟ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าของการทำงานอุปกรณ์รับแสงควรจะมีค่าต่ำจึงจะดี และต้องไม่ใช้อุปกรณ์ระบายความร้อนทำให้มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวงจรเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือสามารถชดเชยได้ง่าย และไม่มีการเสื่อมลงของคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง ต้องมีขนาดเล็ก ราคาถูก

### 3.3.4 การเชื่อมต่ออุปกรณ์รับแสงเข้ากับเส้นใยนำแสง

ลำแสงที่ปล่อยออกมาจากปลายเส้นใยนำแสงจะขยายกว้างออกหลายสิบองศา เส้นใยนำแสงที่มี NA มากลำแสงก็จะกว้างออกมาก ในการที่จะทำให้แสงที่ออกมาซึ่งขยายกว้างออกอย่างนี้สามารถเข้าไปในอุปกรณ์รับแสงโดยให้มีการสูญเสียของแสงน้อยที่สุดนั้น โดยใช้วิธีการรวมแสงด้วยเลนส์ แต่ก็มีอีกวิธีหนึ่งที่ไม่ใช้วิธีนี้ คือ การเอาปลายเส้นใยนำแสงกับตัวรับแสงใกล้กันทำการเชื่อมต่อโดยตรง แต่วิธีนี้ต้องการอุปกรณ์รับแสงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางการรับแสงโตกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์ของเส้นใยนำแสงมาก ๆ แต่วิธีนี้จะทำให้คุณสมบัติทางความถี่ลดลง เนื่องจากมีกระแสมืด ( Dark Current ) เพิ่มขึ้นด้วย ทำให้ S/N เลวลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับอุปกรณ์รับแสงที่ใช้ในการสื่อสารแสงค่าแบนด์วิดท์สูงในย่านความยาวคลื่นยาวนั้นสิ่งเหล่านี้จะกลายเป็นปัญหา ดังนั้นระบบที่มีคุณภาพสูงแล้วโดยทั่วไปจะใช้วิธีการใช้เลนส์รวมแสง และการทำให้เลนส์และอุปกรณ์รับแสงติดกันอยู่ด้วยกันเป็นแบบโมดูล ( Module ) ช่วยทำให้การใช้งานง่ายขึ้น

## บทที่ 4

### การออกแบบวงจร

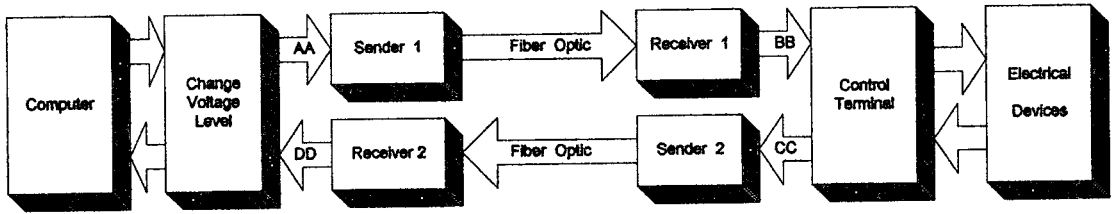
#### 4.1 กล่าวนำ

ในการออกแบบของวงจรมันใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมการส่งสัญญาณต่าง ๆ ที่ไปติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้นั้นต้องขึ้นอยู่กับว่าต้องการออกแบบวงจรแบบไหนในการควบคุมอุปกรณ์ ซึ่งการติดต่อก็มีด้วยกันอยู่สองแบบ คือ วิธีแรกเป็นการติดต่อทางพอร์ตขนาน เช่น ตำแหน่งพอร์ตของทางเครื่องพิมพ์ และการสร้างการ์ดขึ้นมาแล้วกำหนดค่าตำแหน่งพอร์ตที่ว่าง ( Prototype Card , 300-31F ) ส่วนวิธีที่สองเป็นการติดต่อทางพอร์ตอนุกรม ( RS232 ) ซึ่งวิธีที่สองสามารถส่งสัญญาณได้ไกลกว่าวิธีแรก แต่ก็มีข้อจำกัดของระยะทางในการส่งสัญญาณในการติดต่อกับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งมาตรฐาน RS232 สามารถรับส่งข้อมูลอยู่ในช่วงไม่เกิน 50 ฟุตเท่านั้น [ 8 ] ทำให้ไม่สามารถส่งสัญญาณไปในระยะทางไกลได้ๆ ฉะนั้นจึงเสนอการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยนำแสงเพื่อให้สามารถส่งสัญญาณได้ไกลกว่า

ในการใช้งานพอร์ตสามารถทำได้ด้วยการเขียนโปรแกรมควบคุมพอร์ตนั้น ๆ โดยสามารถใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ต่าง ๆ เช่น ภาษาเบสิก ภาษาซี ภาษาปาสคาล และภาษาแอสเซมบลี ซึ่งก่อนอื่นต้องทราบหมายเลขพอร์ตที่จะใช้งานแล้วศึกษารายละเอียดของตัวอุปกรณ์ที่ทำงานในพอร์ตนั้น ว่ามีการทำงานอย่างไร จากนั้นจึงเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของพอร์ตนั้น

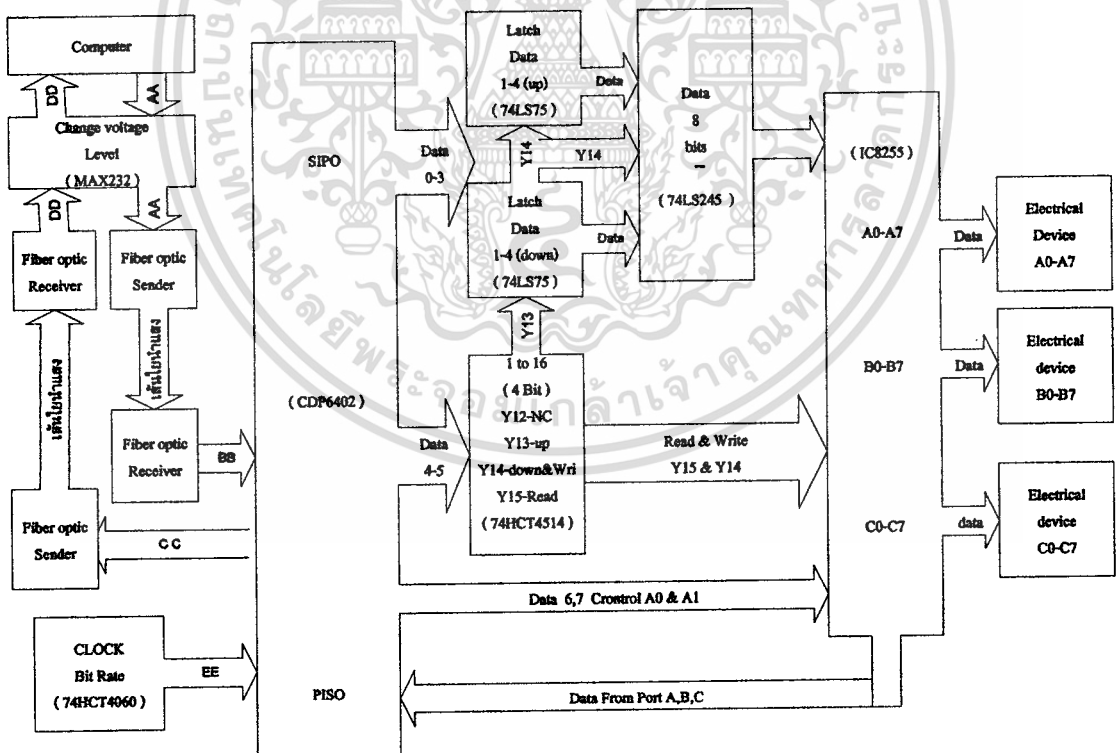
#### 4.2 โครงสร้างของระบบ

รูปที่ 4.1 เป็นบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานของระบบคือ เมื่อส่งสัญญาณควบคุมจากภาคส่งที่ 1 ไปภาครับที่ 1 ผ่านทางเส้นใยนำแสงเพื่อนำสัญญาณนี้ไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก ( ซึ่งอยู่ในส่วนบล็อกไดอะแกรมควบคุมการทำงานอุปกรณ์ปลายทาง ; Control Terminal ) เช่น ความดัน อุณหภูมิ มอเตอร์ หรืออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ฯลฯ จะมีการตอบสนองสัญญาณกลับมา จากภาคส่งที่ 2 มาที่ภาครับที่ 2 เพื่อให้คอมพิวเตอร์ทำการตรวจสอบสัญญาณได้ว่าทำงานถูกต้องหรือไม่ในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ โดยแสดงผลของการทดสอบได้บนจอคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างของระบบ

จากรูปที่ 4.1 ก็ได้แสดงโครงสร้างของระบบไปในหลักการการทำงานของระบบอย่างย่อ ต่อไปจะกล่าวถึงรายละเอียดส่วนต่าง ๆ ของระบบว่าประกอบด้วยภาคอะไรบ้าง ว่าแต่ละภาคมีลักษณะการทำงานอย่างไรซึ่งสามารถแสดงได้ในรูปที่ 4.2 ดังนี้

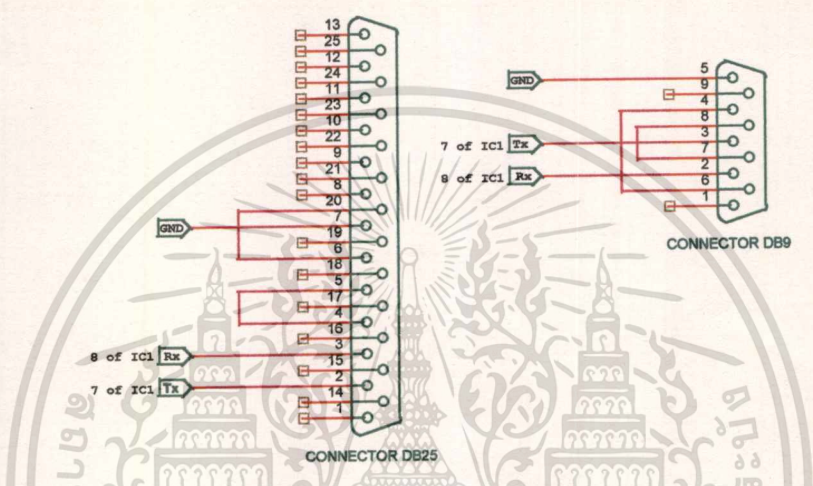


รูปที่ 4.2 แสดงบล็อกโคจรและแอมแต่ละภาคของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.1 ภาคการติดต่อสื่อสารทางพอร์ตอนุกรม

การติดต่อสื่อสารทางพอร์ตอนุกรม RS-232C โดยใช้สายการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับบอร์ด ( วงจรที่สร้างขึ้น ) มีเพียงสามสายเท่านั้น คือ สายส่งข้อมูล ( Tx ) สายรับข้อมูล ( Rx ) และสายกราวด์ ( GND ) ซึ่งสายทั้งสามเส้นจะต่อมายังภาคการเปลี่ยนระดับแรงดัน สามารถแสดงการติดต่อของพอร์ตที่เป็นแบบดีไทป์ ( D-Type ) ได้ 2 แบบคือ DB9 และ DB25 ได้แสดงในรูปที่ 4.3



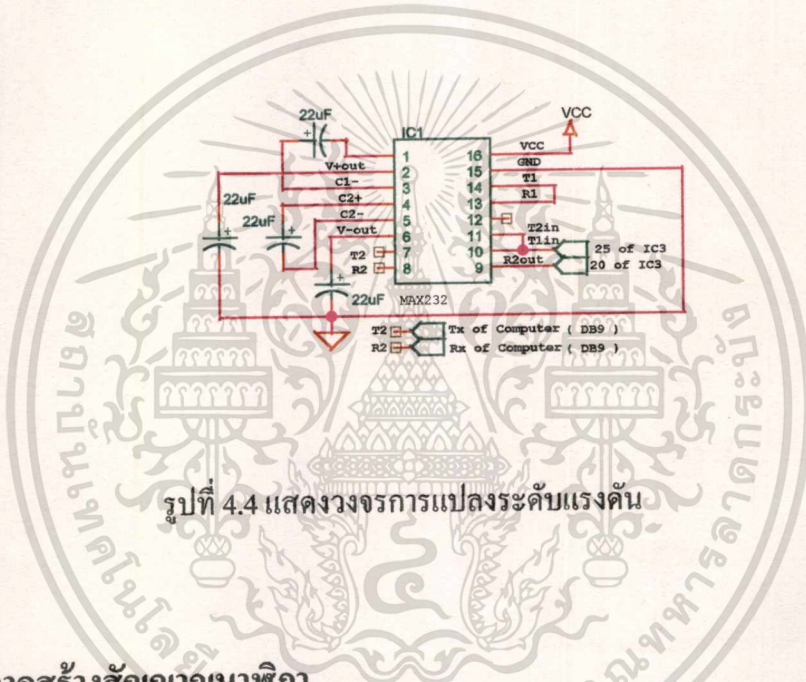
รูปที่ 4.3 แสดงการต่อขั้วต่อ D-Type DB9 และ DB25  
 ตารางที่ 4.1  
 แสดงขาสัญญาณของ RS232 ทั้งแบบ DB9 และ DB25

ชื่อสัญญาณ	หมายเลขขาแบบ DB 9	หมายเลขขาแบบ DB25
TD Transmitted Data	3	2
RD Received Data	2	3
RTS Request to Send	7	4
CTS Clear to Send	8	5
DSR Data Set Ready	6	6
SG Signal Ground	5	7
CD Carrier Detect	1	8
DTR Data Terminal Ready	4	20
RI Ring Indicator	9	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 ภาคการเปลี่ยนระดับแรงดัน

ในภาคนี้ใช้ไอซีเบอร์ MAX232 ( IC<sub>1</sub> ) ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ให้กับพอร์ตอนุกรม RS-232C และเปลี่ยนระดับแรงดันข้อมูลจากระดับ 5 โวลต์ ไปเป็นระดับแรงดัน  $\pm 12$  โวลต์ในมาตรฐานการส่งข้อมูลแบบ RS-232C และในทางกลับกันก็ทำหน้าที่เปลี่ยนระดับแรงดันตามมาตรฐาน RS-232C ให้เป็นระดับแรงดัน 5 โวลต์ โดยภายในไอซีนี้มีวงจรทวีแรงดันและวงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อคอยทำหน้าที่นี้ ซึ่งต้องต่อตัวเก็บประจุสี่ตัวไว้ภายนอก ดังในรูปที่ 4.4



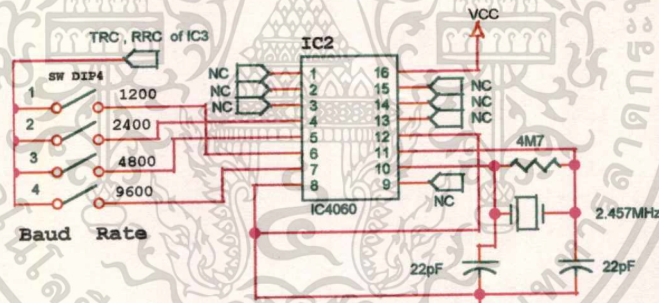
รูปที่ 4.4 แสดงวงจรการแปลงระดับแรงดัน

#### 4.2.3 ภาคสร้างสัญญาณนาฬิกา

เป็นวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาเพื่อเป็นตัวกำหนดค่าช่วงเวลาที่เราเรียกว่าอัตราบอด ( Baud Rate ) ให้กับไอซีเบอร์ CDP6402 ( IC<sub>3</sub> ) ซึ่งต้องการเวลาทำงาน 16 ลูกคลื่นของสัญญาณนาฬิกา ( CLOCK2 ) โดยใช้ไอซีเบอร์ 74HCT4060 ( IC<sub>2</sub> ) เป็นตัวหารความถี่จากคริสตอลค่า 2.4576 MHz ซึ่งความถี่ที่ได้เป็น 16 เท่าของอัตราบอดของการส่งข้อมูลอนุกรม ( CLOCK ) ดังในตารางที่ 4.2 เป็นการแสดงค่าของสัญญาณ CLOCK ต่าง ๆ และเวลาใช้งานก็เลือกอัตราบอดให้ต้องกับที่คอมพิวเตอร์ส่งมา ซึ่งค่าอัตราบอดที่หารออกมาจะมีค่าต่าง ๆ ที่ใช้งานบ่อย ๆ อยู่ 4 ค่าด้วยกันคือ ค่า 9600 4800 2400 และ 1200 บิตต่อวินาที ซึ่งค่าปกติที่ใช้กันคือ 9600 บิตต่อวินาที ดังนั้นเวลาใช้งานก็ต้องเชตคิฟสวิทช์ ดังในรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.2  
แสดงสัญญาณนาฬิกา

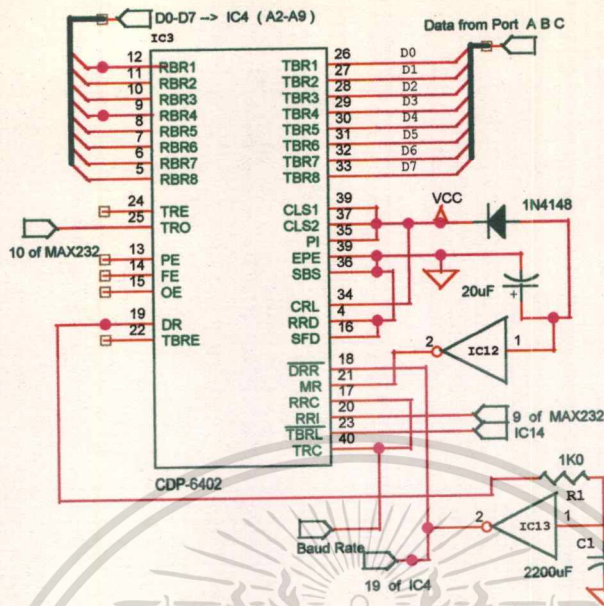
Baud Rate ( $B_T$ )	สัญญาณ CLOCK ( $\mu\text{sec}$ ), $\frac{1}{B_T}$ (ความกว้างของบิต)	ตัวหารความถี่ ของ IC2 $Q_x$	CLOCK2 of IC3 $\frac{Q_x}{2.4576\text{MHz}}$ ( $\mu\text{sec}$ )
1200	833.3	128	52.083
2400	416.6	64	26.041
4800	208.3	32	13.02
9600	104.1	16	6.5104



รูปที่ 4.5 แสดงวงจรการสร้างสัญญาณนาฬิกา

#### 4.2.4 ภาคการแปลงข้อมูล SIPO และ PISO

ซึ่งใช้ไอซี CDP6402 ( $IC_3$ ) เป็นอุปกรณ์ไอซีซิลิคอนเกตแบบซิมอสที่ทำหน้าที่ในการรับ-ส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) หรือเรียกกันสั้น ๆ ว่า “UART” ทำหน้าที่ได้ทั้งเปลี่ยนข้อมูลแบบอนุกรมไปเป็นข้อมูลแบบขนาน (SIPO) และการเปลี่ยนข้อมูลแบบขนานไปเป็นข้อมูลอนุกรม (PISO) โดยสามารถใช้กับข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ กันได้ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดโหมดการทำงานของไอซี คือ ความยาวของข้อมูล (5, 6, 7 และ 8 บิต) พาราดีบิต และสตอปบิต ดังในรูปที่ 4.6



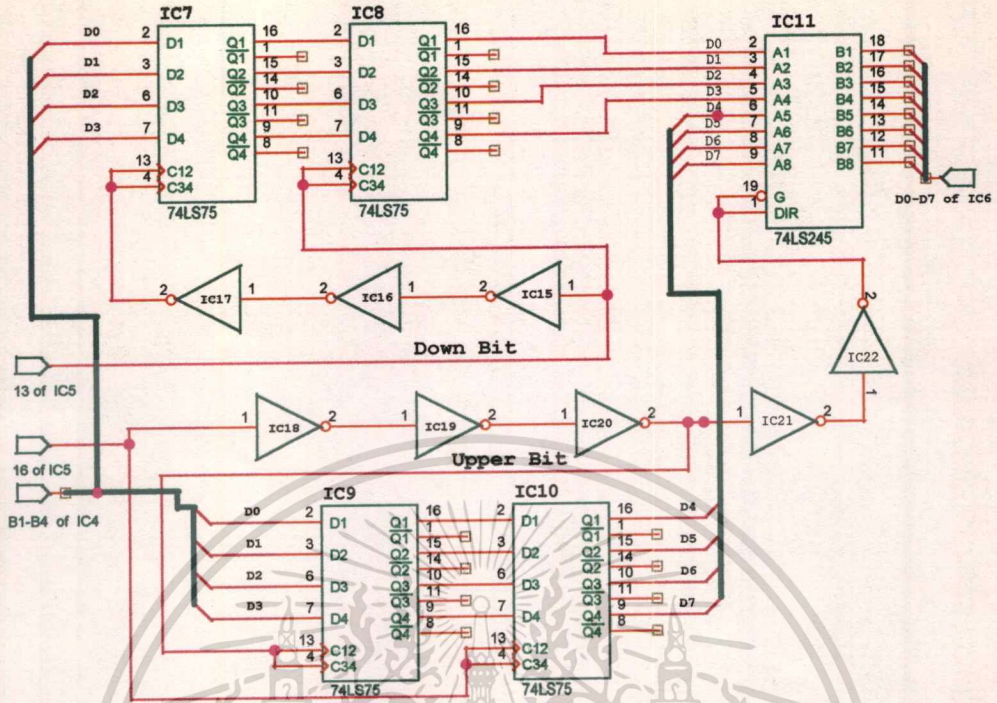
รูปที่ 4.6 แสดงวงจรการแปลงข้อมูล PISO และ SIPO

#### 4.2.5 ภาคแลตซ์ข้อมูล (Latch Data)

ในการทำงานของภาคนี้ทำให้ข้อมูลอยู่ในสถานะค้าง (Latch) เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลต่อไป ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ 74LS75 ( $IC_7 - IC_8, IC_9 - IC_{10}$ , ข้อมูลสี่บิตต่างและสี่บิตบน ตามลำดับ) สองตัว ต่ออนุกรมกัน และใช้ไอซีเบอร์ 74LS04 สามตัวต่ออนุกรมกัน ( $IC_{15} - IC_{17}$ ) ในการหน่วงเวลา หลักการทำงานของวงจรมีดังนี้ เมื่อตอนแรกเริ่มต้นสัญญาณเป็น LOW ทำให้ไอซี 74LS75 ตัวแรกคือ  $IC_7$  อยู่ในสถานะค้างข้อมูล และหลังจากหน่วงเวลาครบทำให้สัญญาณเป็น HIGH อยู่ในสถานะในการส่งข้อมูล แต่ไอซีตัวที่สอง 74LS75 คือ  $IC_8$  อยู่ในสถานะค้าง ทำให้ข้อมูลไม่ปรากฏที่เอาต์พุตของไอซีตัวที่สองเพราะสัญญาณเป็น LOW เมื่อคำสั่งการทำงานใหม่มา คือสัญญาณเป็น HIGH ( $S_{13}$ ) ก็ทำให้  $IC_8$  อยู่ในสถานะในการส่งข้อมูล ทำให้ข้อมูลปรากฏที่เอาต์พุตของไอซีตัวที่สอง ( $D_0-D_3$ ) เพราะไอซี  $IC_7$  ยังอยู่ในสถานะการหน่วงเวลา (สัญญาณเป็น HIGH อยู่) และหลังจากหน่วงเวลาครบทำให้สัญญาณเป็น LOW ทำให้ข้อมูลในสถานะค้าง ( $IC_7$ ) และเมื่อต้องการส่งข้อมูลมาใหม่คือ  $S_{14}$  ( $IC_9$ ) อยู่ในสถานะ HIGH ทำให้  $IC_7$  อยู่ในสถานะค้างเพราะสัญญาณเป็น LOW ดังนั้นทำให้  $IC_{10}$  อยู่ในสถานะในการส่งข้อมูล ทำให้ข้อมูลปรากฏที่เอาต์พุตของไอซีตัวนี้ ( $D_4-D_7$ ) เพราะ  $IC_9$  ยังอยู่ในสถานะการหน่วงเวลา (สัญญาณเป็น HIGH อยู่) และเมื่อหน่วงเวลาครบแล้วก็จะอยู่สถานะ LOW ทำให้ข้อมูลในสถานะค้าง และสัญญาณ  $S_{14}$  นี้ถูกส่งเป็นสัญญาณ LOW (เมื่อผ่าน  $IC_{21}$  และ  $IC_{22}$  เป็นสัญญาณ  $\overline{WRITE}$ ) ทำให้  $IC_{11}$  ได้รับข้อมูลทั้งแปดบิต เพื่อส่งข้อมูลไปให้ไอซี 8255 ทำงานต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

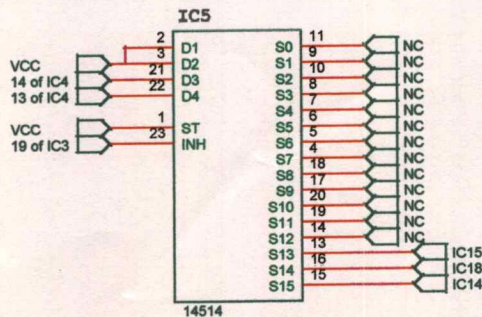
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงวงจรของภาคแลตซ์ข้อมูล

4.2.6 ภาคเข้ารหัสและถอดรหัส

ในภาคนี้ใช้ไอซีเบอร์ 74HCT14514 ( IC<sub>5</sub> ) มีหน้าที่การทำงาน คือ การเข้ารหัสและถอดรหัส โดยสัญญาณที่ได้มาจาก บิต 5 และบิต 6 ของสัญญาณควบคุมที่ส่งมาแต่ละครั้ง ซึ่งเมื่อถอดรหัสได้ 4 ค่า คือ S12 ( ขา 14 , ว้าง คือ เป็นที่พัคสัญญาณ ) , S13 ( ขา 13 , IC15 ) , S14 ( ขา 16 , IC18 ) และ S15 ( ขา 15 , IC14 ) ซึ่งค่า S13 และ S14 ทำหน้าที่เขตการทำงานของภาคแลตซ์ข้อมูล , การบัพเฟอร์ข้อมูลของไอซี 74LS245 ( IC<sub>11</sub> ) และ S15 เขตค่าการอ่านข้อมูลของไอซี CDP6402 และค่า READ ของไอซี 8255 ดังในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงวงจรของภาคตัวเข้ารหัสและถอดรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.7 ภาคการส่ง-รับข้อมูลการควบคุมอุปกรณ์ภายนอก

ในภาคนี้ใช้ไอซี 8255 (  $IC_6$  ) ในการควบคุมอุปกรณ์เซนเซอร์ต่าง ๆ ที่อยู่ภายนอก เช่น สวิตช์รีเลย์ อุปกรณ์ไฟฟ้าหรือตัวตรวจจับอื่น ๆ ซึ่งถ้าควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าไอซีก็ควรมีภาคอปโตคอปเลอร์ ( Optocoupler ) เป็นตัวคั่นไฟกระแสตรง ( DC ) และกระแสไฟสลับ ( AC ) ในการเชื่อมต่อกัน เพื่อป้องกันกระแสไฟสลับเกิดการเหนี่ยวนำขึ้นในวงจรทางด้านดิจิทัล ทำให้เกิดข้อยุ่งยากต่างๆได้ในการทำงานของไอซีตัวนี้ได้ต้องกำหนดโหมดการทำงานก่อน โดยการส่งค่าคอนโทรลไบต์ ( Control Word ) ให้แก่พอร์ตควบคุมจะเป็นคำสั่งขนาด 8 บิต คือ 1 ไบต์ ซึ่งแต่ละบิตจะมีความหมายและใช้งานต่างกัน ในการกำหนดให้พอร์ตทั้ง 3 ( A , B , C ) เป็นอินพุต หรือเอาต์พุต ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และในการเซตโหมดการทำงานของไอซีตัวนี้ได้จากการเขียนโปรแกรมในการควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด และแสดงวงจรการทำงานดังในรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.3

แสดงรูปแบบการกำหนดค่าของคอนโทรลไบต์

Control Word	ค่าของบิตแต่ละบิต
D0	Port C ( Lower ) 1 = Input 0 = Output
D1	Port B 1 = Input 0 = Output
D2	Mode Selection 1 = Mode 0 0 = Mode 1
D3	Port C ( Upper ) 1 = Input 0 = Output
D4	Port A 1 = Input 0 = Output
D5 และ D6	Mode Selection 00 = Mode 0 01 = Mode 1 1* = Mode 2
D7	Mode Set Flag 1 = Active



จากรูปที่ 4.10 สามารถคำนวณหากระแส  $I_F$  ของ LED คือ

$$V_{CC} = V_{LED} + V_{R_3}$$

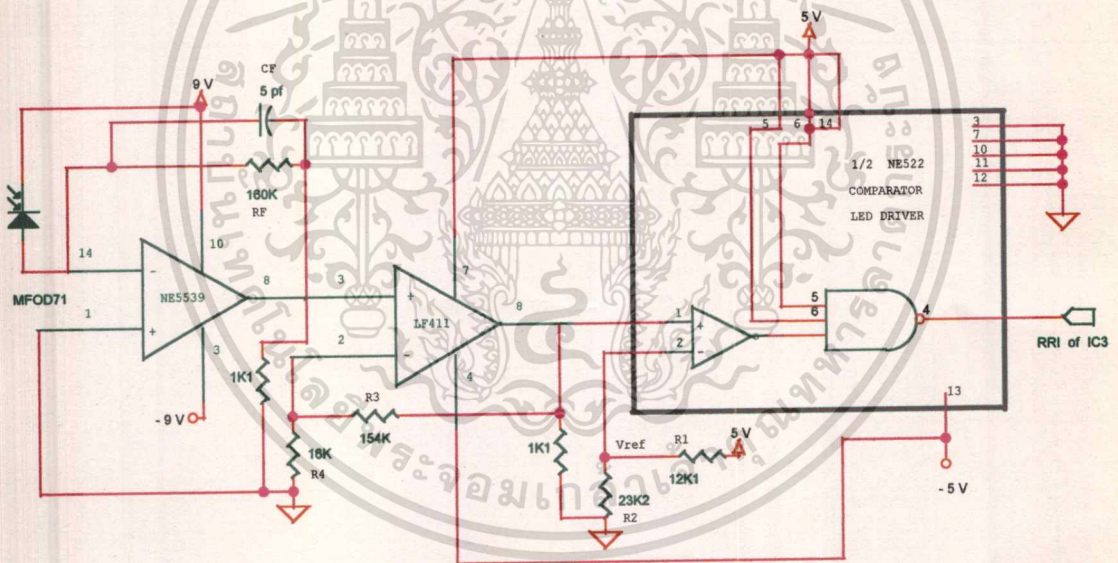
$$5 = 2.2 + I_F R_3$$

$$I_F = 102 \text{ mA}$$

และหา  $V_{ref}$  ที่ขา 2 ของ NE522

$$\begin{aligned} V_{ref} &= \frac{R_2(V_{CC})}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{3K(5)}{3K + 9K1} \\ &= 1.239 \text{ โวลท์} \end{aligned}$$

จากค่า  $V_{ref}$  ที่ได้เมื่อป้อนสัญญาณมากกว่า  $V_{ref}$  สัญญาณที่ได้จะเป็น 1 ( สัญญาณ TTL ) และถ้าป้อนสัญญาณน้อยกว่าค่า  $V_{ref}$  สัญญาณที่ได้จะเป็น 0



รูปที่ 4.11 แสดงวงจรภาครับของเส้นใยนำแสง

จากรูปที่ 4.11 เป็นการหาแบนด์วิดท์ของ NE5539 ได้จากสมการที่ (4.1) [ 9 ]

A คือ อัตราการขยาย open loop ของ NE5539 = 55 dB = 562 [ 10 ]

$C_d$  - detector capacitance ; 3 pF

$C_F$  - capacitance feedback ; 5 pF

$C_a$  - amplifier input capacitance ; 5 pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_{-3dB} = \frac{A}{2(\pi)R_F(C_d + C_a + AC_F)} \quad 4.1$$

$$= \frac{562}{2(\pi)(160K)[3pF + 5pF + (5pF \times 562)]}$$

$$= 198.378 \text{ KHz}$$

ค่าที่ได้นี้เป็นแบนด์วิดท์ของวงจรถือว่าประมาณ 200 KHz

หาอัตราขยาย (Gain, A) ของ LF411 [ 10 ] ได้จากสมการที่ (4.2)

$$A = 1 + \frac{R_3}{R_4} \quad 4.2$$

$$A = 1 + \frac{154K}{16K}$$

$$= 10.65$$

$$= 20.52 \text{ dB}$$

และเมื่อเปิด Gain ของ LF411 [ 11 ] ซึ่งสามารถตอบสนองความถี่มากกว่า 500 KHz ทำให้สามารถตอบสนองกับความถี่ของภาคแรกได้ ( NE5539 )

และต่อไปหา  $V_{ref}$  ที่ขา 2 ของ NE522

$$V_{ref} = \frac{R_2(V_{CC})}{R_1 + R_2}$$

$$= \frac{23K2 \times 5}{12K1 + 23K2}$$

$$= 3.286 \text{ โวลต์}$$

จากค่า  $V_{ref}$  ที่ได้เมื่อป้อนสัญญาณมากกว่า  $V_{ref}$  สัญญาณที่ได้จะเป็น 1 ( สัญญาณ TTL ) และถ้าป้อนสัญญาณน้อยกว่าค่า  $V_{ref}$  สัญญาณที่ได้จะเป็น 0

-โมดูล DC2M-TN ( เป็นภาคส่ง ) และ DC2M-RN ( เป็นภาครับ ) ของบริษัท DAINICHI-NIPPON ที่ใช้ในการทดลองเชื่อมต่อกับภาคอื่นๆ ด้วย เพื่อเปรียบเทียบในการทำงานของวงจรที่ออกแบบและโมดูลในการส่งสัญญาณ ซึ่งแสดงรายละเอียดของโมดูล ในตารางที่ 4.4

**ตารางที่ 4.4**  
**แสดงรายละเอียดของโมดูล**

Item	Rating / Specifications
Type	DC 2M
Modulation	Direct Intensity Modulation
Bite Rate	2 Mb/s
Light Source	LED $\lambda = 0.85 \text{ nm}$
Detector	PIN-PD
Interface	Standard TTL
ATC	Yes
Optical output power	$\geq -20\text{dBm}$
Receiving sensitivity	$\leq -30\text{dBm}$
Span loss	Max. 10 dB
Bit error rate	$\leq 10^{-9}$
Power source	Transmitter Receiver
	+5 $\pm$ 0.25 V 80 mA +5 $\pm$ 0.25 V 30 mA

### 4.3 หลักการทำงานของวงจร

ในการทำงานของวงจรมันสามารถแยกการทำงานของวงจรได้ 2 วิธี คือ วิธีแรกการส่งสัญญาณไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก และวิธีที่สองการส่งสัญญาณตอบกลับ ว่าอุปกรณ์ภายนอกตัวใดกำลังทำงานอยู่

#### 4.3.1 การส่งสัญญาณควบคุมอุปกรณ์ภายนอก

ก่อนที่ให้อุปกรณ์ทำงานได้ต้องเซตการทำงานของพอร์ตอนุกรม ( ซึ่งกล่าวในบทที่ 5 ) และโหมดการทำงานของ 8255 ซึ่งจะกำหนดการส่งสัญญาณข้อมูล 8 บิต ( ในการควบคุมอุปกรณ์ภายนอก ) และสัญญาณนี้ถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ( ในการเขียนซอฟต์แวร์ ) เป็น 4 บิตล่าง และ 4 บิตบน โดยสัญญาณที่ถูกส่งออกไปใหม่เป็นสัญญาณควบคุม ซึ่งสัญญาณนี้ประกอบด้วยสัญญาณสองส่วน

คือ 4 บิตต่าง ( สัญญาณข้อมูลที่ถูกแบ่งเป็นสองส่วน ) และ 4 บิตบนเป็นบิตควบคุม ที่ต้องส่งสองครั้งเพราะสัญญาณข้อมูลถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนจึงต้องส่งสัญญาณข้อมูลให้ครบแปดบิต

การส่งสัญญาณจากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์เป็นสัญญาณ Tx ของ DB9 โดยสัญญาณที่ได้เป็นมาตรฐาน RS232 ซึ่งก็ต้องแปลงสัญญาณเป็นทีทีแอล ( TTL ) ก่อนโดยใช้  $IC_1$  เบอร์ MAX232 ซึ่งทำหน้าที่นี้ แล้วสัญญาณที่ได้เข้ามาที่ภาคส่งที่ 1 ของวงจรเส้นโยนาแสง ซึ่งเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงผ่านเส้นโยนาแสงมาที่ภาครับที่ 1 ก็เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าเหมือนเดิม สัญญาณที่ได้มาที่ขา 20 ( RRI ) ของ  $IC_3$  เบอร์ CDP6402 ทำหน้าที่การเปลี่ยนข้อมูลอนุกรมเป็นข้อมูลแบบขนาน ออกที่ขา 5 ถึงขา 12 ซึ่งช่วงเวลาการแปลงนี้ขา 19 จะต้องมีสถานะเป็น " 1 " ได้ขา 18 เป็น " 0 " โดยผ่านทาง  $IC_{13}$  ใช้เป็นสัญญาณstrobe (  $\overline{Strobe}$  ) โดยความกว้างของพัลส์ขึ้นขึ้นอยู่กับค่า R1 และ C1 ในรูปที่ 4.12

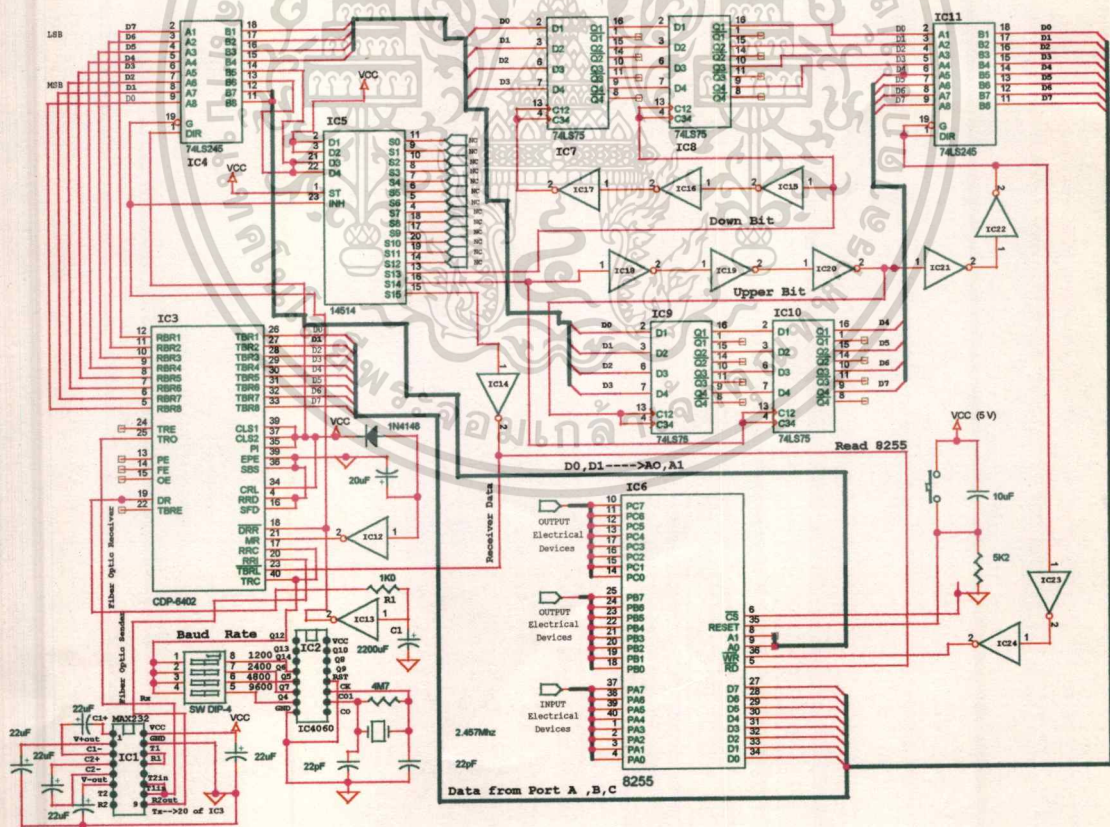
ส่วนสัญญาณนาฬิกาใช้  $IC_2$  เบอร์ 4060 ทำหน้าที่หารความถี่คริสตอล 2.475 MHz ให้ได้อัตราบอดหรืออัตราการส่งข้อมูลตามความต้องการ และในการทดลองนี้ใช้อัตราการส่งข้อมูลที่ 9600 บีทียีส ( ใช้ SW DIP4 หมายเลข 4 )

เมื่อข้อมูลออกจาก  $IC_3$  ไปที่  $IC_4$  เบอร์ 74LS245 ( ทำงานได้โดยได้รับสัญญาณstrobe ) ซึ่งข้อมูลที่ได้ถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ 4 บิตล่าง ( บิตข้อมูล ) ไปที่ภาคแลตซ์คาต้า (  $IC_7 - IC_8$  ) ส่วน 4 บิตบน ( บิตควบคุม ) ไปที่  $IC_5$  เบอร์ 74HCT14514 ซึ่งเป็นตัวควบคุมการทำงานของการส่งข้อมูล ได้สัญญาณออกไปที่ขา 13 ( S13 ) เป็น " 1 " ได้ข้อมูลอินพุตไปปรากฏที่เอาต์พุตของ  $IC_8$  ( D0-D3 ) และสัญญาณนี้ไปที่  $IC_{15}, IC_{16}, IC_{17}$  ซึ่งเป็นการหน่วงเวลาในการเปลี่ยนสัญญาณจาก " 1 " เป็น " 0 " ให้  $IC_7$  อยู่ในสถานะค้างข้อมูล ( 4 บิตล่างของสัญญาณข้อมูล ) และเมื่อสัญญาณควบคุมชุดที่สองส่งมาใหม่ที่  $IC_5$  ซึ่งได้บิตควบคุมชุดใหม่ไปออกที่ขา 16 ( S14 ) เป็น " 1 " ไปควบคุม  $IC_{10}$  ( เป็นภาคแลตซ์ชุดที่สอง ) ทำให้  $IC_8$  อยู่ในสถานะค้างข้อมูลเพราะสัญญาณเปลี่ยนเป็น " 0 " และสัญญาณนี้ผ่าน  $IC_{18}, IC_{19}, IC_{20}$  เป็นการหน่วงเวลาในการเปลี่ยนสัญญาณจาก " 1 " เป็น " 0 " ทำให้  $IC_9$  อยู่ในสถานะค้างข้อมูล ( 4 บิตบนของสัญญาณข้อมูล ) เมื่อหน่วงเวลาครบทำให้ได้ข้อมูลอินพุตไปปรากฏที่เอาต์พุตของ  $IC_{10}$  ( D4-D7 ) และสัญญาณควบคุมอยู่ที่  $IC_{20}$  เป็น " 0 " ผ่านไปที่  $IC_{21}, IC_{22}$  เป็นสัญญาณ " 0 " ซึ่งเป็นการหน่วงเวลาเพื่อให้  $IC_{11}$  ทำงาน ข้อมูลที่ได้จากภาคแลตซ์คาต้า (  $IC_7 - IC_8, IC_9 - IC_{10}$  ) ได้ข้อมูลครบ 8 บิตส่งไปที่  $IC_6$  คือ 8255 ยังไม่ทำงานเพราะขา  $\overline{WR}$  ยังไม่เป็น " 0 " ต้องผ่าน  $IC_{23}, IC_{24}$  เพื่อหน่วงเวลาในการทำงานของ 8255 ในการรอรบข้อมูลจาก  $IC_{11}$  เมื่อสัญญาณเป็น " 0 " ( เป็นสัญญาณ  $\overline{WRITE}$  ) ถึงนำสัญญาณนี้ไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอกให้ออกพอร์ต B หรือ C ในการนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.2 การตอบสัญญาณกลับของข้อมูล

ก็เหมือนกับการส่งสัญญาณไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก เพียงแต่สัญญาณตัวควบคุมจาก IC<sub>5</sub> จะมาออกที่ขา 15 (S15) ซึ่งสัญญาณเป็น “ 1 ” แล้วผ่าน IC<sub>14</sub> แทน และเปลี่ยนสัญญาณเป็น “ 0 ” มาที่  $\overline{RD}$  ของ 8255 ทำให้อ่านค่าจากพอร์ต A ซึ่งต่อเชื่อมกับพอร์ต B หรือ C ที่ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ภายนอก แล้วส่งสัญญาณข้อมูลที่ได้นี้ มาที่ขา 26-33 ของ IC<sub>3</sub> ซึ่งไอซีตัวนี้ก็เปลี่ยนข้อมูลแบบขนานเป็นแบบอนุกรม (ทำงานได้เมื่อขา 23 ได้รับสัญญาณเป็น " 0 " จาก IC<sub>14</sub>) เข้าไปที่ภาคส่งที่ 2 ทำการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปที่ภาครับที่ 2 ซึ่งก็เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า สัญญาณก็ไปที่ IC<sub>1</sub> ซึ่งเปลี่ยนแรงดันแบบที่ทีแอลไปเป็นแรงดันตามมาตรฐาน RS232 ทำให้คอมพิวเตอร์ประมวลข้อมูลที่ได้รับไปทำการตรวจสอบว่าทำงานถูกต้องหรือไม่



รูปที่ 4.12 แสดงวงจรภาคควบคุมอุปกรณ์ปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ซอฟต์แวร์

#### 5.1 กล่าวนำ

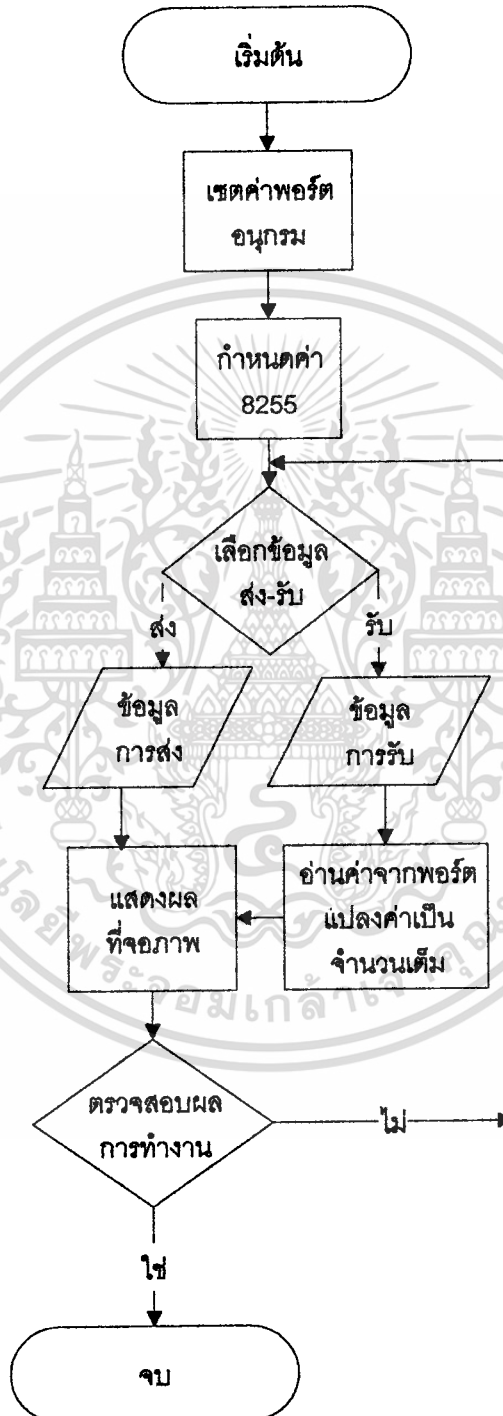
ในการส่งสัญญาณข้อมูลไปยังวงจรถืออิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ภายนอกนั้น ให้สามารถทำงานได้ต้องเขียนโปรแกรมควบคุมในการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับวงจรถืออิเล็กทรอนิกส์ คือ ซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด ซึ่งใช้ภาษาเทอร์โบปาสคาลเป็นโปรแกรมที่สามารถศึกษาการทำงานได้ไม่ยาก

#### 5.2 หลักการทำงานของโปรแกรม

เพื่อให้เข้าใจการทำงานของโปรแกรมให้ลึกซึ้งขึ้น ก็ต้องศึกษาการทำงานบนโฟลว์ชาร์ตก่อน ดังแสดงในรูปที่ 5.1 เป็นแผนผังการทำงานของโปรแกรม เริ่มต้นในการเขียนโปรแกรมต้องทำการเลือกพอร์ตอนุกรมที่วางเพื่อใช้ในการทำงาน ที่เรียกกันว่า คอม-พอร์ต (com port) มีให้เลือกใช้โดยทั่วไปที่รู้จัก คือ COM1 (3F8 , IRQ04) และ COM2 (2F8 , IRQ03) ซึ่งเป็นพอร์ตสื่อสารของไมโครคอมพิวเตอร์ใช้ไอซีเบอร์ 8250 เป็นตัวควบคุมการทำงานการส่ง-รับข้อมูล การทำงานของไอซี 8250 ต้องได้รับการโปรแกรมก่อน คือ อัตราบอด ( Baud Rate ) มีให้เลือก 1200 , 2400 , 4800 และ 9600 บีทียูนิต (Bit per Second , BPS) เพื่อให้ตรงกับบอร์ดที่ใช้ในการทดลอง รูปแบบการส่งสัญญาณข้อมูลประกอบด้วย บิตเริ่มต้น (start bit) บิตข้อมูลเป็น 8 บิต ไม่มีบิตพาริตี (no parity) และหนึ่งสตอปบิต (stop bit) ซึ่งค่าเหล่านี้ถูกกำหนดในรีจิสเตอร์ควบคุมสายสื่อสาร (Line Control Register) ในตัวโปรแกรมของโปรซีเจอร์ชื่อ set com

ในการใช้งาน 8255 จะต้องทำการโปรแกรมเสียก่อน คือการส่งค่ารหัสควบคุมบิตต่างๆ เข้าไปในรหัสควบคุมแล้วส่งค่าไปยังรีจิสเตอร์ของพอร์ตควบคุมจะเป็นคำสั่งขนาด 8 บิต คือ 1 ไบท์ ซึ่งแต่ละบิตจะมีความหมายและการใช้งานต่างกัน รหัสควบคุมนี้เป็นคำสั่งกำหนดโหมดการทำงานของ 8255 และการกำหนดให้พอร์ตทั้ง 3 คือพอร์ต A , B , C เป็นอินพุทหรือเอาต์พุท ซึ่งจะเลือกให้ 8255 อยู่ในโหมด 0 โดยมีรหัสควบคุมเป็น 10000000 หรือ 80H ซึ่งในโหมดนี้ให้เลือกทั้งหมด 16 รูปแบบในการควบคุมพอร์ต (A , B , C) แต่บอร์ดที่ใช้ในการทดลองเป็นรหัสควบคุม 144 (เลขฐานสิบ) หรือเลขฐานสอง ( 10010000 ) ซึ่งเป็นการกำหนดให้พอร์ต B , C เป็นพอร์ตเอาต์พุท และพอร์ต A เป็นพอร์ตอินพุท (ตัวบอร์ดได้ออกแบบเป็นเช่นนี้เพื่อให้สอดคล้องกับซอฟต์แวร์) คือจะใช้ พอร์ต B , C ในการควบคุมอุปกรณ์ภายนอกทั้งหมดได้ 16 ตัว และพอร์ต A ทำหน้าที่ในการ

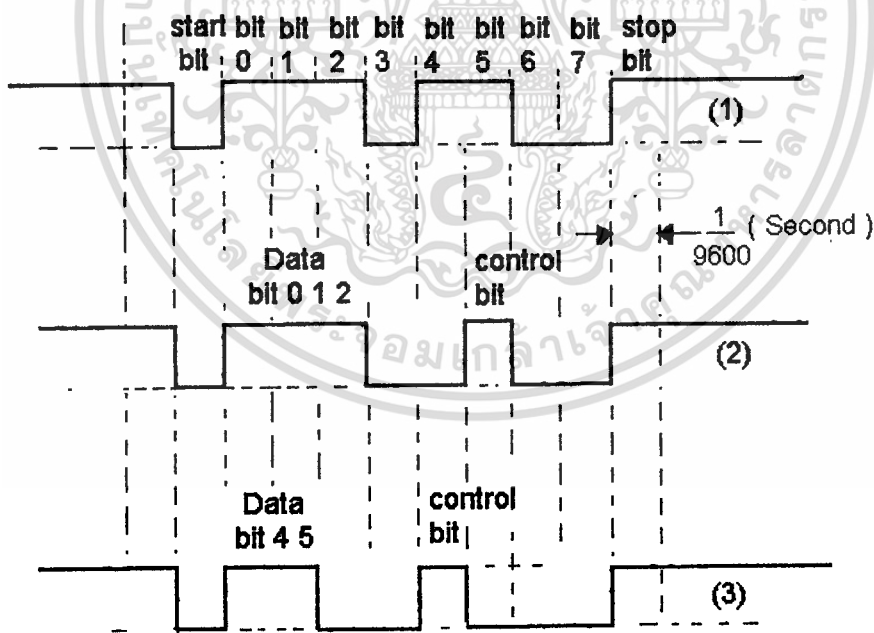
อ่านค่าจากพอร์ต B , C ในการส่งสัญญาณข้อมูลตอบกลับมาเพื่อทำการตรวจสอบสัญญาณข้อมูลที่ส่งออกไปว่าทำงานถูกต้องหรือไม่



รูปที่ 5.1 แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งสัญญาณข้อมูลนั้น โปรแกรมทำการส่งข้อมูลครั้งละ 8 บิตสองครั้งถึงจะส่งสัญญาณข้อมูลครบในการส่งสัญญาณควบคุมออกไป คือ สัญญาณข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน โดยการกำหนดให้ 4 บิตล่างเป็นสัญญาณข้อมูล คือบิต D0-D3 เป็น 4 บิตล่างของสัญญาณควบคุมและ 4 บิตบนเป็นบิตควบคุม ในการส่งสัญญาณครั้งแรก ดังในรูปที่ 5.2-(2) และในการส่งสัญญาณครั้งที่สองให้สัญญาณข้อมูล 4 บิตบนคือบิต D4-D7 เป็น 4 บิตล่างของสัญญาณควบคุมและ 4 บิตบนเป็นบิตควบคุมดังในรูปที่ 5.2-(3) ส่วน 4 บิตบนเป็นบิตควบคุมของสัญญาณควบคุม คือ D4-D7 ซึ่งก็แบ่งออกเป็นอีกสองส่วนเหมือนกัน คือบิต D4-D5 ซึ่งจะเข้าเป็นสัญญาณรหัสควบคุม (เข้า 2 ออก 4) ในการควบคุมภาคเลขข้อมูลและเป็นสัญญาณ  $\overline{READ}$  ,  $\overline{WRITE}$  ของ 8255 ส่วนบิต D6-D7 เป็นสัญญาณควบคุม A0 และ A1 ของ 8255 ในการส่งสัญญาณควบคุมแต่ละครั้งจะต้องคำนึงถึงค่าการหน่วงเวลา (delay time , msec) ในการทำงานระหว่างโปรแกรมและวงจรถือเทคนิคส์ คือ ต้องตั้งค่าการหน่วงเวลาภายในโปรแกรมให้เหมาะสม ถ้าตั้งค่าเวลาน้อยเกินไปก็อาจทำให้วงจรถือเทคนิคส์ทำงานสับสนหรือไม่สามารถควบคุมการทำงานได้



รูปที่ 5.2 1) รูปสัญญาณข้อมูล และถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน  
 2) การส่งสัญญาณข้อมูล 4 บิตล่างพร้อมบิตควบคุม  
 3) การส่งสัญญาณข้อมูล 4 บิตบนพร้อมบิตควบคุม

ในการทำงานของโปรแกรมสามารถแสดงผลการทำงานได้ที่บนจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะเป็นเมนูในการเลือกของระบบการทำงานว่าต้องการทำงานอะไรบ้าง ดังแสดงในรูปที่ 5.3

#### Menu Selection

- 1.Send data to control Electrical Devices.
  - 2.Read data from Electrical Devices.
  - 3.Set 8255 of Port A B C -Sender & Receiver .
- Select =====>

รูปที่ 5.3 แสดงเมนูการทำงานของจอคอมพิวเตอร์

ซึ่งในรูปที่ 5.3 มีตัวเลือกในการทำงานอยู่สามหมายเลข เวลาจะใช้ในการทำงานก็กดหมายเลขต่างๆ คือ 1 , 2 หรือ 3 เมื่อกดหมายเลขดังกล่าวแล้ว เช่น เมื่อกดหมายเลข 3 ก็จะได้อุปกรณ์ที่ 5.4

Set value = 144  
Set 8255 of Port A B C >128.. = 144  
Do you want to continue ?(Y=Yes,N=No)

รูปที่ 5.4 แสดงการเซตค่าการทำงานของ 8255 เมื่อกดหมายเลข 3

ซึ่งก็จะป้อนค่า 144 เป็นการเซตค่าการทำงานของ 8255 ที่กำหนดให้พอร์ต B , C เป็นพอร์ตเอาต์พุต และพอร์ต A เป็นพอร์ตอินพุต หรือค่า 128 เป็นการกำหนดให้พอร์ต A , B และ C เป็นพอร์ตเอาต์พุตทั้งหมด (ค่าที่ป้อนให้ขึ้นอยู่กับฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ภายนอก) แต่ที่ป้อนสองค่านี้เพราะในการทดลองการควบคุมอุปกรณ์ภายนอกใช้สองค่านี้ และถ้าต้องการทำงานต่อก็ต้องกด Y โปรแกรมก็จะกลับไปสู่ที่เมนูใหม่ หรือกด N โปรแกรมก็จะจบการทำงานของโปรแกรม

หลังจากที่กด Y โปรแกรมก็จะกลับไปเมนู ซึ่งสามารถเลือกการทำงานได้ใหม่ถ้ากดหมายเลข 2 หมายถึงต้องการส่งสัญญาณข้อมูลเพื่อใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ภายนอก สามารถส่งสัญญาณข้อมูลได้สองพอร์ต คือ พอร์ต C และ B ซึ่งสามารถป้อนค่าได้ตั้งแต่ 0 - 255 เป็นเลขฐานสิบจะง่ายกว่าเลขฐานสิบหก (\$00-\$FF) เช่น ค่า 55 ฐานสิบ (\$37 , ฐานสิบหก) ซึ่งได้ค่าออกที่เอาต์พุตที่พอร์ต B หรือ C (แล้วแต่จะป้อนค่าที่พอร์ตใด) เป็น High กับ Low คือ 0011-0111 (MSB--->LSB) ซึ่งสัญญาณจะเป็นสองค่านี้เท่านั้น ในการนำสัญญาณนี้ไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก สามารถแสดงผลการทำงานได้ดังในรูปที่ 5.5 ในการป้อนค่าต่าง ๆ และถ้าต้องการทำงานต่อก็กด Y ก็จะกลับเข้าไปที่เมนูการทำงานใหม่ หรือกด N ก็จะออกจากโปรแกรมแสดงถึงจบการทำงานของ

Khanung Radrodkid @ Master Thesis  
No.34620038

Set Port of 8255 = 144  
Send Data at Port B = 200  
Send Data at port C = 55

Do you want to continue ?(Y=Yes,N=No)

### รูปที่ 5.5 แสดงการส่งข้อมูลไปที่พอร์ต B และ C เมื่อกดหมายเลข 1

เมื่อกดหมายเลข 2 แสดงว่าต้องการอ่านข้อมูลหรือรับข้อมูล ซึ่งมีให้เลือกอยู่สองพอร์ต คือ พอร์ต B และ C ในการอ่านข้อมูลนี้มีหมายเลขที่แน่นอน คือ ค่า 48 เป็นการอ่านข้อมูลจากพอร์ต C ซึ่งสัญญาณนี้ก็ไปเขตค่าการทำงานของ 8255 ให้ส่งข้อมูลจากพอร์ต C กลับมาที่คอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าที่ได้กลับมาก็ถูกตรวจสอบที่โปรซีเจอร์ชื่อ decbin ทำการแปลงค่าที่อ่านได้มาที่จอคอมพิวเตอร์ ว่าตรงกับค่าที่ส่งไปหรือไม่ สมมุติส่งค่า 55 (0011-0111) ไปที่พอร์ต C ค่าที่อ่านได้ก็จะตรงกัน คือ D8---->D1 (MSB---->LSB) ได้ค่า 0011-0111 ดังในรูปที่ 5.6 และเมื่อกด Y ก็จะกลับเข้าไปที่เมนูใหม่ หรือกด N ก็จบโปรแกรมการทำงาน

Set Port B,C are Elec. Devices = 112(B),48(C)  
Read Control From Port B,C) = 48  
Value DEC. = 55  
D8 = 0  
D7 = 0  
D6 = 1  
D5 = 1  
D4 = 0  
D3 = 1  
D2 = 1  
D1 = 1

Do you want to continue ?(Y=Yes,N=No)

### รูปที่ 5.6 แสดงการรับข้อมูลจากพอร์ต C เมื่อกดหมายเลข 2

ในการอ่านค่าของการรับข้อมูลนั้นเป็นการอ่านได้ที่ละครั้ง เพราะฉะนั้นถ้าต้องการอ่านค่า พอร์ต B ก็ต้องกดหมายเลขสองใหม่ ซึ่งก็ต้องป้อนค่า 112 เพื่อกำหนดค่าในการอ่านข้อมูลจาก พอร์ต B สมมุติค่าที่พอร์ต B เป็น 200 (1100-1000) ค่าที่อ่านได้ที่จอคอมพิวเตอร์ ที่ค่า D8---->D1 ต้องเป็น 1100-1000 ดังแสดงในรูปที่ 5.7

```

Set Port B,C are Elec. Devices = 112(B),48(C)
Read Control From Port B,C) = 112
Value DEC. = 200
D8 = 1
D7 = 1
D6 = 0
D5 = 0
D4 = 1
D3 = 0
D2 = 0
D1 = 0

```

Do you want to continue ?(Y=Yes,N=No)

รูปที่ 5.7 แสดงการรับข้อมูลจากพอร์ต B เมื่อคคหมายเลข 2



## บทที่ 6

### ผลการทดลอง

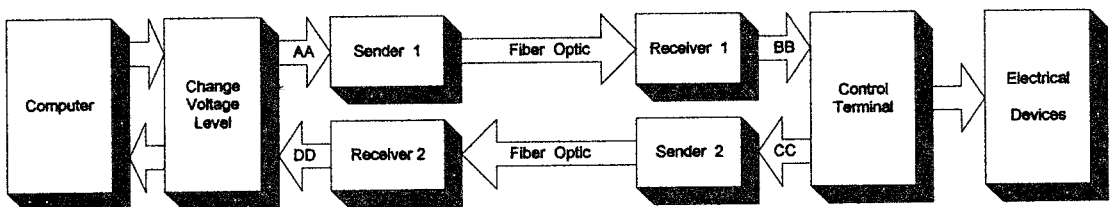
#### 6.1 กล่าวนำ

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึง ผลการทดลองของการวัดสัญญาณตามจุดต่าง ๆ ของระบบที่ได้ส่งสัญญาณไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก เพื่อทำการตรวจสอบสัญญาณว่าสามารถใช้ได้เข้ากับระบบที่ใช้ได้ในการทดลองกับบอร์ด ก็คือต้องได้รับสัญญาณแรงดันเป็นระดับที่ที่แอล ในการเชื่อมติดต่อระหว่างวงจรหรือระหว่างเกตไอซีที่ใช้ การหาค่าเวลาหน่วง ( Delay Time ) ของสัญญาณเมื่อผ่านเส้นใยนำแสง การหาค่าบิตเรทของระบบสูงสุดที่ส่งได้ และการหาค่า BER ( Bit Error Rate ) เพื่อแสดงประสิทธิภาพของระบบ

#### 6.2 ผลการทดลอง

ในหัวข้อนี้เป็นการวัดสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ของระบบ ซึ่งเป็นการแสดงการวัดสัญญาณต่าง ๆ ที่กำหนดจุดการวัดสัญญาณ สามารถแบ่งการวัดสัญญาณได้เป็น 2 แบบ คือ วิธีแรกการวัดสัญญาณที่ผ่านเส้นใยนำแสงพลาสติก และการวัดสัญญาณผ่านเส้นใยนำแสงของโมดูล

การวัดสัญญาณจากจุดที่กำหนดให้ 4 จุด คือ จุด AA เป็นการวัดสัญญาณก่อนที่เข้าหน้าภาคตัวส่งที่ 1 และที่จุด BB เป็นการวัดสัญญาณหลังออกจากภาครับตัวที่ 1 และที่จุด CC เป็นการวัดสัญญาณก่อนที่เข้าหน้าภาคตัวส่งที่ 2 และที่จุด DD เป็นการวัดสัญญาณหลังออกจากภาครับตัวที่ 2 ซึ่งสามารถแสดงจุดวัดสัญญาณต่าง ๆ ได้ดังรูปที่ 6.1 เป็นการแสดงบล็อกไดอะแกรมของการวัดสัญญาณ

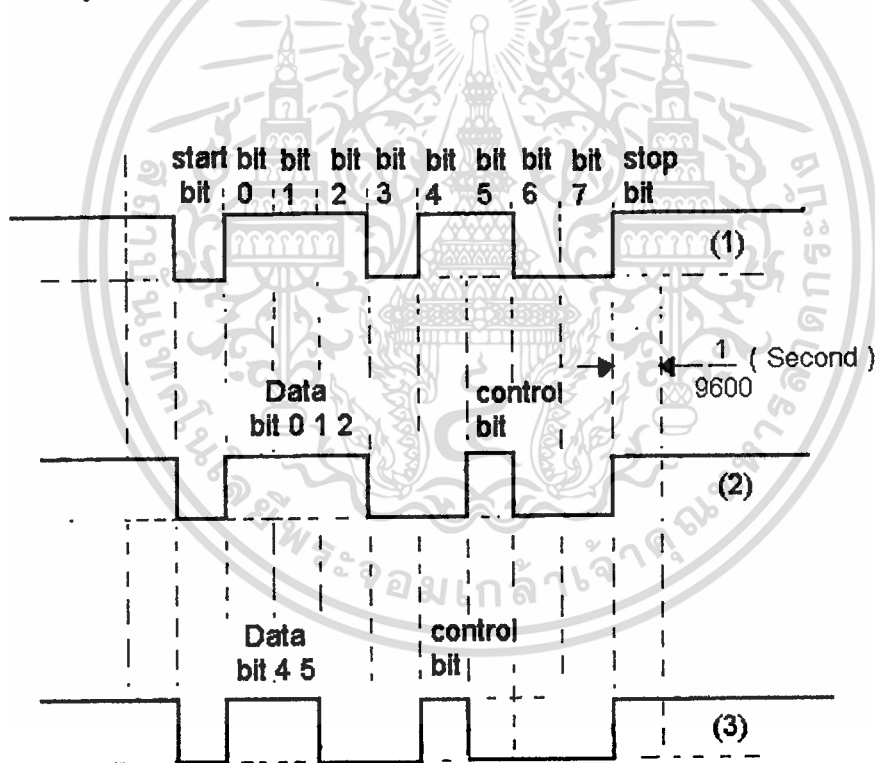


รูปที่ 6.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการวัดสัญญาณตามจุดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.2.1 การวัดสัญญาณที่ผ่านเส้นใยนำแสงของโมดูล

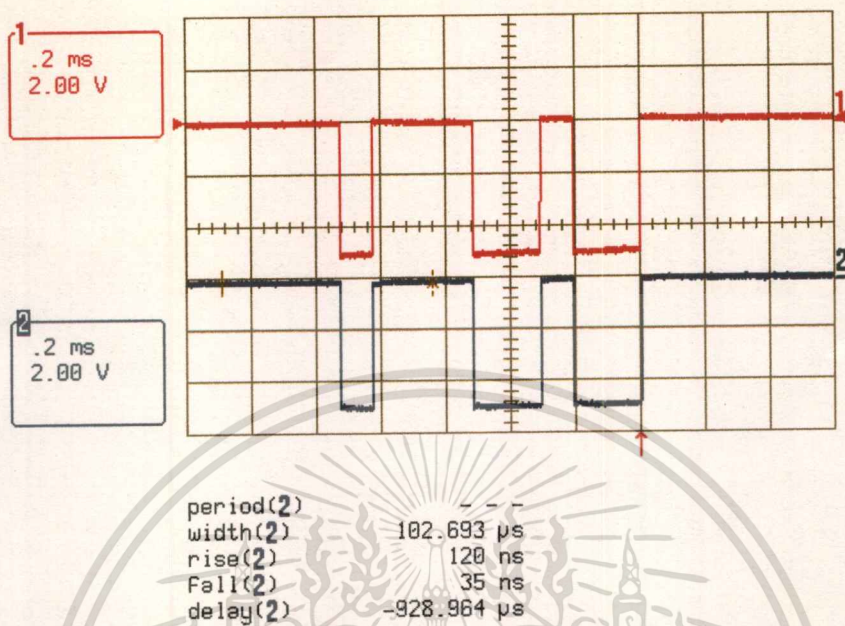
ในรูปที่ 6.3 , รูปที่ 6.4 และรูปที่ 6.5 เป็นการวัดสัญญาณที่ผ่านเส้นใยนำแสงที่จุดต่างๆ โดยใช้โมดูล DC2M-TN ( เป็นภาคส่ง ) และ DC2M-RN ( เป็นภาครับ ) และสัญญาณที่วัดได้ต้องมีรูปแบบเหมือนกับสัญญาณในรูปที่ 6.2 โดยการสมมุติการส่งสัญญาณข้อมูล คือ 55 ( รูปที่ 6.2-1 ) และสัญญาณถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนในการส่งสัญญาณ คือ ค่า 39 ( รูปที่ 6.2-2 ) และค่า 19 ( รูปที่ 6.2-3 ) ซึ่งสายเส้นใยนำแสงที่ใช้ในการทดลองมีความยาว 2 เมตร ของ Fujikura มี N.A. 0.2 มีขนาดของคอร์ 50 ไมโครเมตร และขนาดของแคลคคิ่ง 100 ไมโครเมตร มีค่าการสูญเสียของสาย 4 dB/km ที่ความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร ซึ่งทำการส่งสัญญาณข้อมูลที่บิตเรท 9600 บีทีเอส และในรูปที่ 6.3 , รูปที่ 6.4 และรูปที่ 6.5 เป็นการวัดสัญญาณที่ตามจุดต่างๆ ของโมดูล



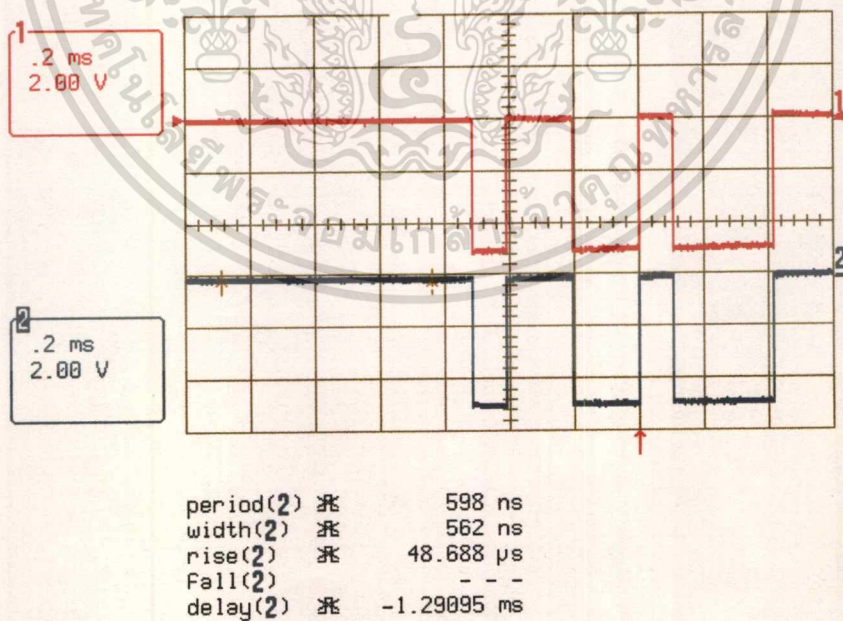
รูปที่ 6.2 1) รูปสัญญาณข้อมูลที่ส่ง และถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน

- 2) การส่งสัญญาณข้อมูล 4 บิตล่างพร้อมบิตควบคุม ในการส่งครั้งที่ 1
- 3) การส่งสัญญาณข้อมูล 4 บิตบนพร้อมบิตควบคุม ในการส่งครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

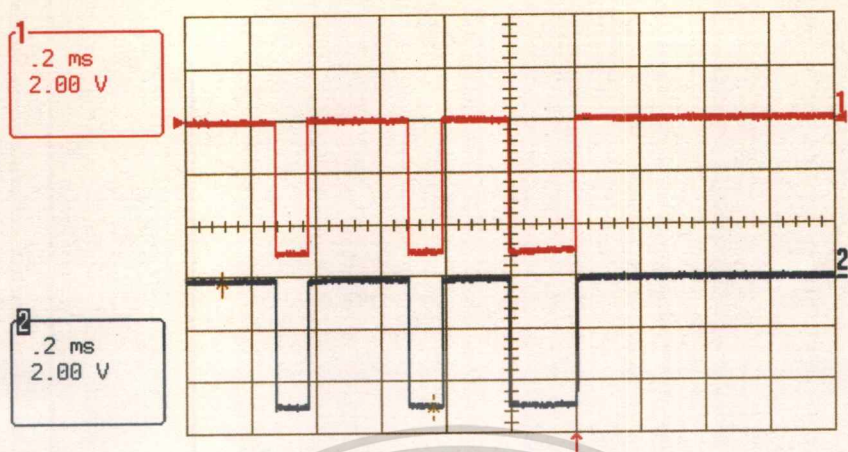


รูปที่ 6.3 แสดงการวัดสัญญาณในการส่งครั้ง 1 ที่จุด 1) AA 2) BB



รูปที่ 6.4 แสดงการวัดสัญญาณในการส่งครั้ง 2 ที่จุด 1) AA 2) BB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

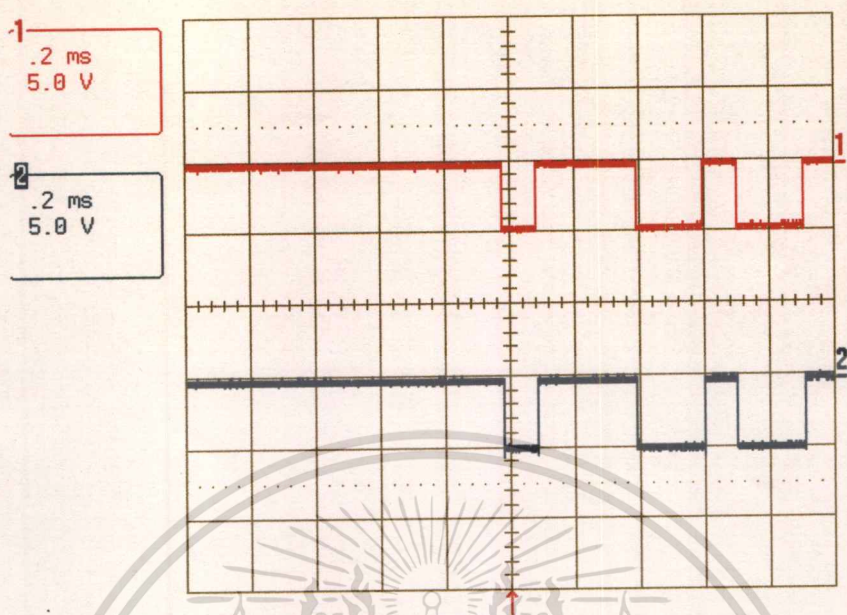


period(2)	413.141 $\mu$ s
width(2)	102.679 $\mu$ s
rise(2)	117 ns
Fall(2)	47 ns
delay(2)	-928.956 $\mu$ s

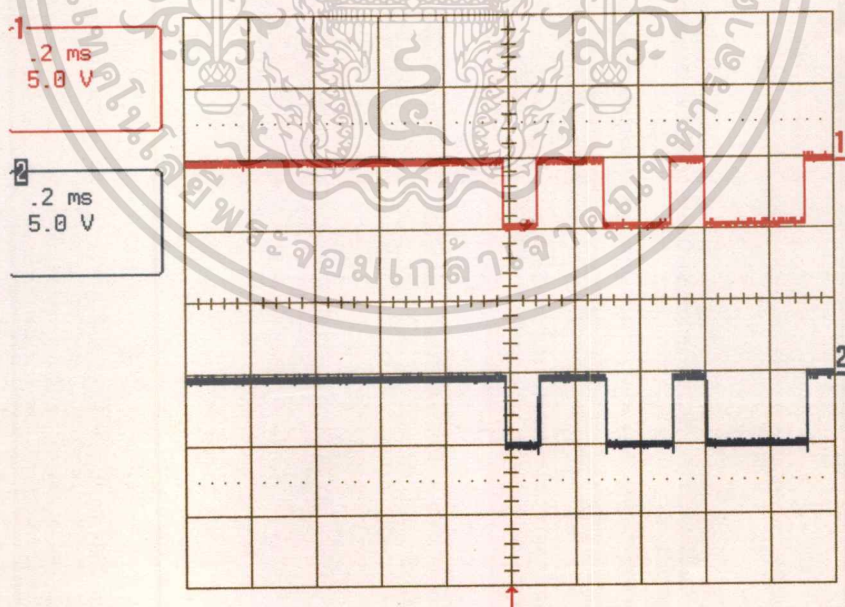
รูปที่ 6.5 แสดงการวัดสัญญาณตอบกลับมาที่จุด 1) CC 2) DD

## 6.2.2 การวัดสัญญาณที่ผ่านเส้นใยนำแสงพลาสติก

การวัดสัญญาณในรูปที่ 6.6, รูปที่ 6.7 และ รูปที่ 6.8 เป็นการวัดสัญญาณผ่านเส้นใยนำแสงที่เป็นพลาสติกที่ออกแบบเอง และใช้สายเส้นใยนำแสงเบอร์ SH4001 ( $n_1 = 1.495$ ,  $n_2 = 1.402$ ) ที่ความยาว 20 เมตร มีการสูญเสียแสงของสาย 300 dB/km ที่ความยาวคลื่น 660 ไมโครเมตร ซึ่งทำการส่งที่บิตเรต 9600 บีพีเอส และในรูปที่ 6.9 เป็นการวัดสัญญาณนาฬิกาที่จุด EE ที่ใช้ในภาคในการเปลี่ยนสัญญาณขนานเป็นอนุกรมและสัญญาณอนุกรมเป็นขนาน ซึ่งสัญญาณที่ได้เป็น 16 เท่าของบิตเรตที่ส่งสัญญาณ

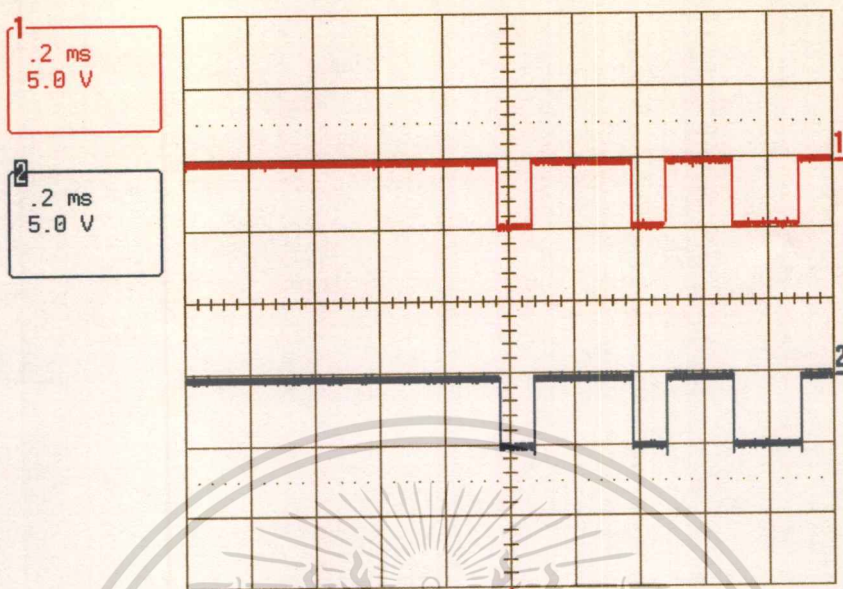


รูปที่ 6.6 แสดงการวัดสัญญาณในการส่งครั้ง 1 ที่จุด 1) AA 2) BB

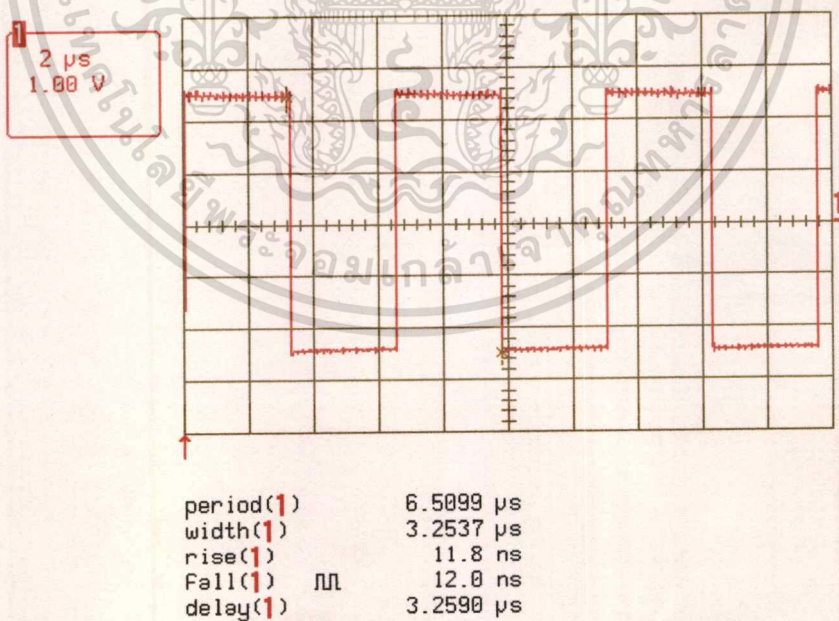


รูปที่ 6.7 แสดงการวัดสัญญาณในการส่งครั้ง 2 ที่จุด 1) AA 2) BB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.8 แสดงการวัดสัญญาณตอบกลับมาที่จุด 1) CC 2) DD

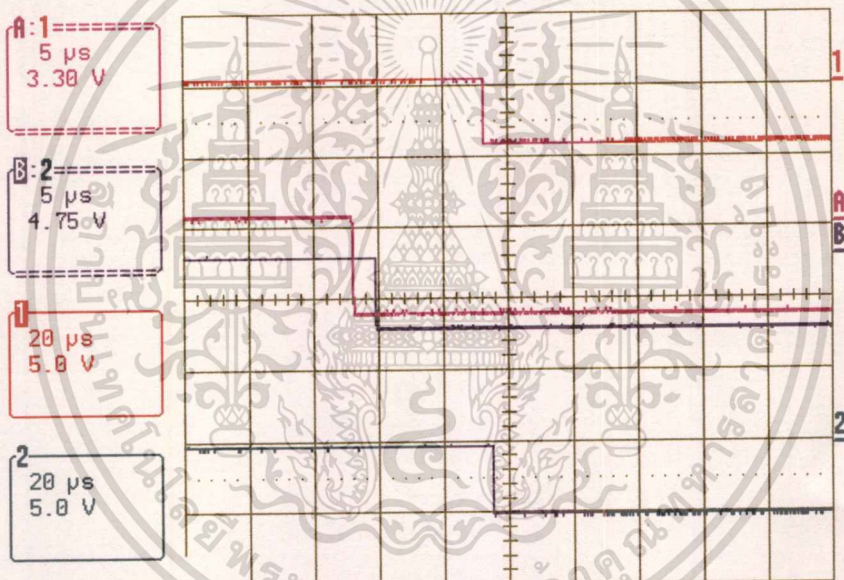


รูปที่ 6.9 แสดงการวัดสัญญาณ CLOCK ที่จุด EE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

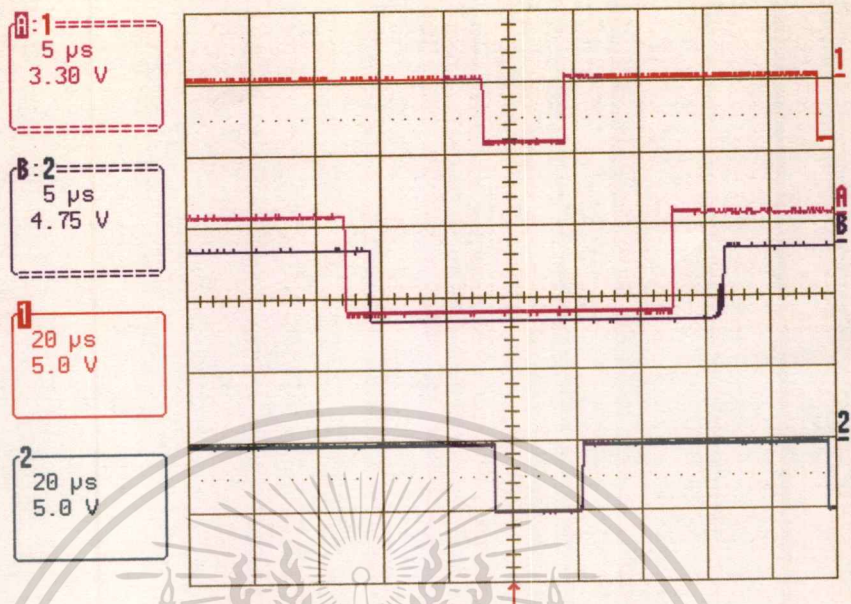
### 6.2.3 การวัดสัญญาณ Delay Time

ในการวัดสัญญาณของการส่งสัญญาณที่บิตเรตต่างๆ เพื่อทำการเปรียบเทียบของเวลาที่เดินในเส้นใยนำแสงพลาสติก ซึ่งใช้สายยาว 20 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 6.10 และรูปที่ 6.11 ที่บิตเรต 1200 บีทีเอส และ 38400 บีทีเอส ตามลำดับ จากการวัดทำให้ได้สัญญาณ Delay Time ของสัญญาณ ประมาณ 2 ไมโครวินาทีโดยเอาสัญญาณที่จุด AA และ BB มาเปรียบเทียบกันทั้งสองรูปว่าสัญญาณทั้งสองมีระยะเวลาห่างกันเท่าไร เพราะฉะนั้นค่า Delay Time จะมีผลต่อความยาวของสายและวงจร ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร



รูปที่ 6.10 แสดงค่า Delay Time ที่บิตเรต 1200 บีทีเอส

- 1) วัดสัญญาณที่จุด AA
  - A) การขยายสัญญาณ 1
- 2) วัดสัญญาณที่จุด BB
  - B) การขยายสัญญาณ 2



รูปที่ 6.11 แสดงค่า Delay Time ที่บิตเรท 38400 บิตพีเอส

1) วัดสัญญาณที่จุด AA

A) การขยายสัญญาณ 1

2) วัดสัญญาณที่จุด BB

B) การขยายสัญญาณ 2

#### 6.2.4 การคำนวณหาค่าบิตเรท

จากสมการที่ ( 4.1 ) ซึ่งเป็นการคำนวณหาแบนด์วิดท์ของวงจร คือ 198.943 KHz หรือให้ประมาณ 200 KHz และการส่งสัญญาณเป็นแบบโคเดออินเทนซิตีมอดดูเลชัน ( Direct Intensity Modulation ) ซึ่งทำให้ได้บิตเรทดังสมการที่ ( 6.1 ) [ 12 ]

$$\begin{aligned}
 \text{Bit Rate} &= 2 * BW && 6.1 \\
 &= 2 * 200,000 \\
 &= 400 \text{ Kb/s}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นต้องหาค่าจริงจากกรวัด เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณ รูปแบบของการวัดดังในรูปที่ 6.12 ซึ่งเป็นบล็อกไดอะแกรมการทำงานของกรวัด โดยการป้อนสัญญาณ CLOCK1 ไปที่ภาคส่งของเส้นใยนำแสง และสัญญาณ ก็ไปที่ภาครับ เข้าไปที่ส่วนที่แปลงสัญญาณอนุกรมเป็นสัญญาณขนาน ( CDP6402 ) โดยจะมี LED เป็นตัวตรวจสอบสัญญาณที่ส่งมาว่าสามารถทำงานได้หรือไม่ ถ้าทำงาน

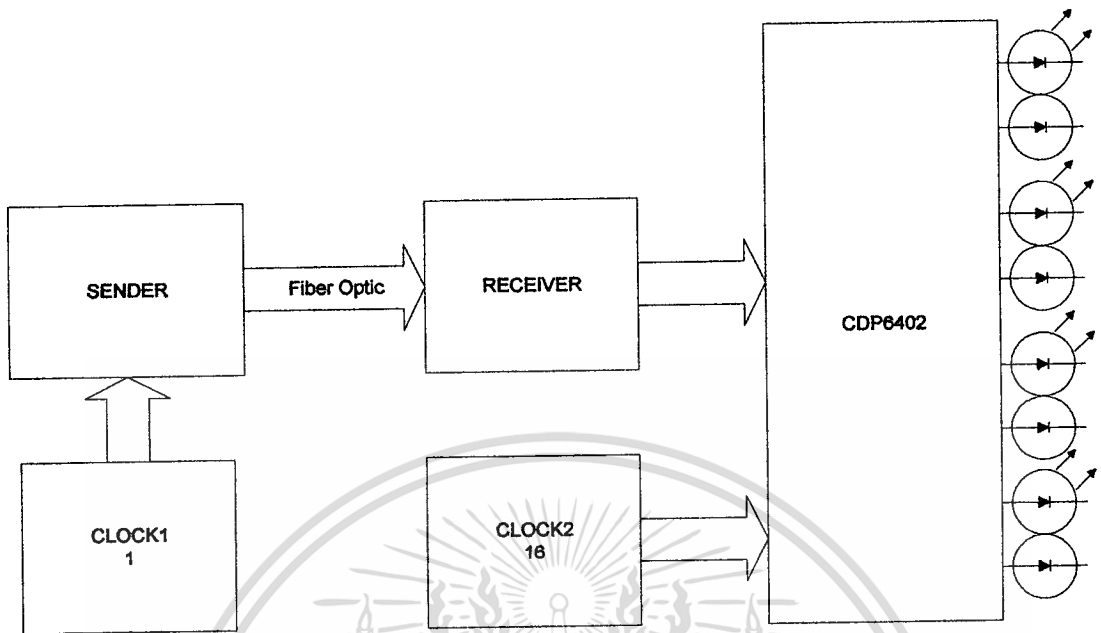
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกต้อง LED จะติดสลับดวงกันโดยเริ่มที่ดวงแรกก่อน และสัญญาณ CLOCK2 เป็น 16 เท่าของ CLOCK เพื่อป้อนสัญญาณให้กับ CDP6402 ( การทดสอบแบบนี้ต้องไม่มีพาริตี 1 stopbit และ ข้อมูลแบบ 8 บิต ) ดังในตารางที่ 6.1 จากผลการทดลองสามารถป้อนบิตเรทได้สูงสุด 307200 b/s ซึ่งไม่ได้เท่ากับ 400,000 b/s เพราะเราป้อนสัญญาณ CLOCK1 เป็น 2 เท่าของ CLOCK เนื่องจาก ตัวหารความถี่ ( CD4040 ,  $2^N$  เมื่อ  $N = 1 , \dots, 12$  ) ไปหารค่าคลิสตอล 2.4576 MHz และได้บิตเรท ค่อไป คือ 614400 b/s ซึ่งมากกว่าวงจรที่ออกแบบไว้ ทำให้ LED ทำงานไม่ได้ คือ ไม่ติดแบบที่จะเป็นตามสัญญาณนาฬิกาที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 6.1  
แสดงสัญญาณนาฬิกา

Baud Rate ( $B_T$ )	สัญญาณ CLOCK ( $\mu \text{ sec}$ ) , $\frac{1}{B_T}$ (ความกว้างของบิต)	สัญญาณ CLOCK1 มีค่าเท่ากับ $2 * \text{CLOCK} (\mu \text{s})$	CLOCK2 of IC3 $\frac{Q_x}{2.4576 \text{ MHz}}$ ( $\mu \text{ sec}$ )
1200	833.3	1666.6	52.083
2400	416.6	833.3	26.041
4800	208.3	416.6	13.02
9600	104.1	208.3	6.51
19200	52.08	104.1	3.255
38400	26.04	52.08	1.627
76800	13.02	26.04	0.813
153600	6.51	13.02	0.406
307200	3.251	6.51	0.203
614400	1.627	3.251	0.101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



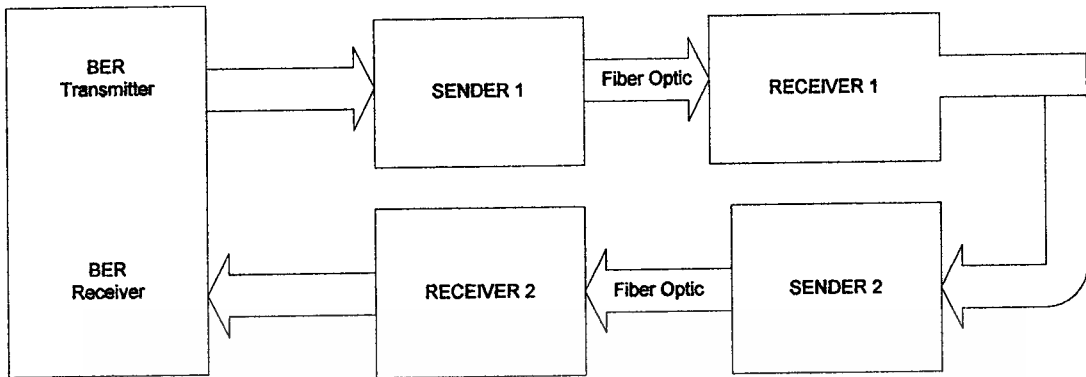
รูปที่ 6.12 แสดงบล็อกไดอะแกรมการวัดบิตเรท

### 6.2.5 การคำนวณหา BER ( Bit - Error Rate )

ในการหา BER ได้โดยจากการใช้เครื่องมือวัด ดังในรูปที่ 6.13 ซึ่งเป็นบล็อกไดอะแกรมในการวัด BER ในการวัด BER นั้นจะขึ้นอยู่กับบิตเรทที่วัด และรูปแบบสัญญาณที่ใช้วัดว่าเป็น Pattern แบบใด และการต่อแบบ DTE ( Data Terminal Equipment ) หรือ DCE ( Data Circuit Terminal ) และเครื่องมือที่ใช้วัด คือ HP 37732A แต่เครื่องมือตัวนี้สามารถวัดบิตเรทได้สูงสุด 19200 บีทียีส และได้ทำการทดสอบวงจรที่บิตเรทนี้ วงจรก็สามารถส่งสัญญาณได้ดี ส่วนในการวัด BER ได้จัดรูปแบบการวัดดังนี้ สัญญาณข้อมูลเป็น 8 บิต 1 สตอปบิต ไม่มีพาริตี , DTE , Pattern 2047 , ตั้งบิตส่งที่ 1000 ล้านบิต และส่งที่บิตเรท 19200 บีทียีส แต่ได้ทำการทดสอบเพียง 100 ล้านบิต ยังไม่เกิด BER และถ้าเกิด BER หาได้จากสมการที่ ( 6.2 ) [ 12 ]

$$\text{Bit - Error Rate} = \frac{\text{Number.errored.bits}}{\text{Number.transmitted.bits}} \quad 6.2$$

จากสมการจะเห็นได้ว่า เมื่อส่งจำนวนบิตไปถึง 100 ล้านบิตแล้ว เพราะฉะนั้น  $BER \leq 1 \times 10^{-8}$  ถึงแม้ว่าเป็นการคาดเดา แต่ระบบการส่งสัญญาณดิจิทัล  $BER \leq 10^{-6}$  [ 12 ] ก็ถือว่าทำงานได้แล้วอยู่ในระดับใช้ได้แล้ว

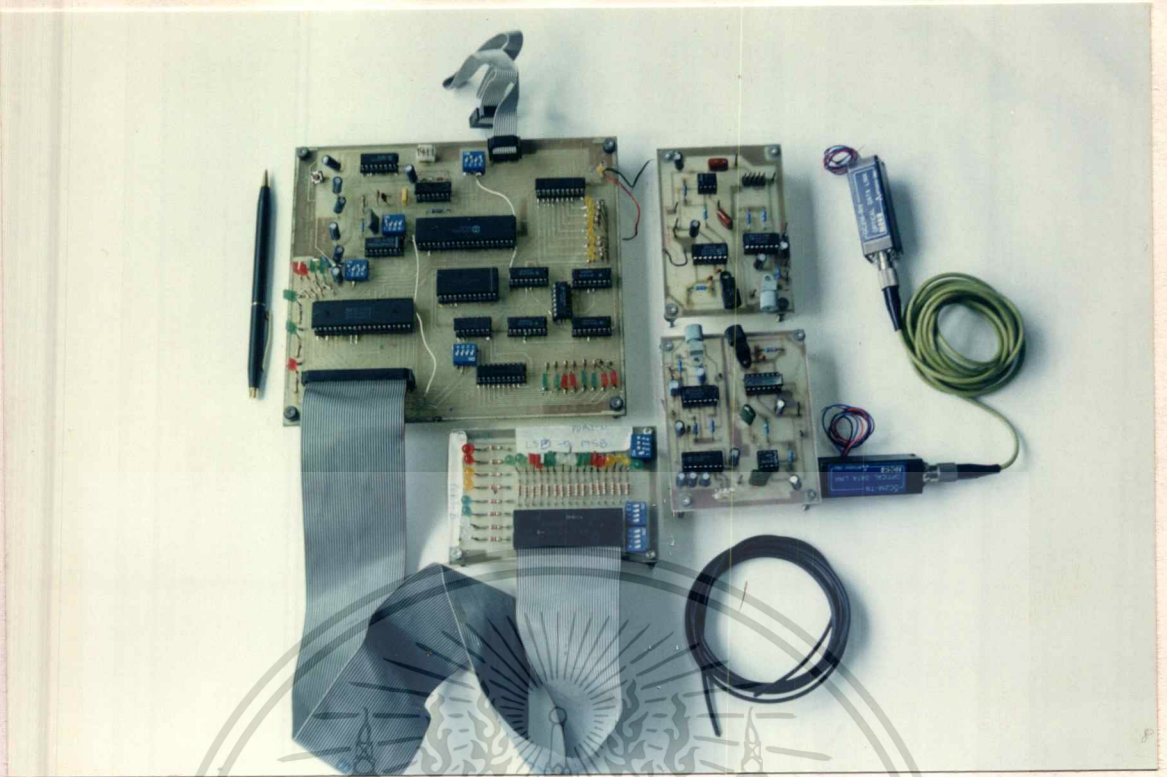


รูปที่ 6.13 แสดงบล็อกโคแอกแกรมการวัด BER ของสายพลาสติก

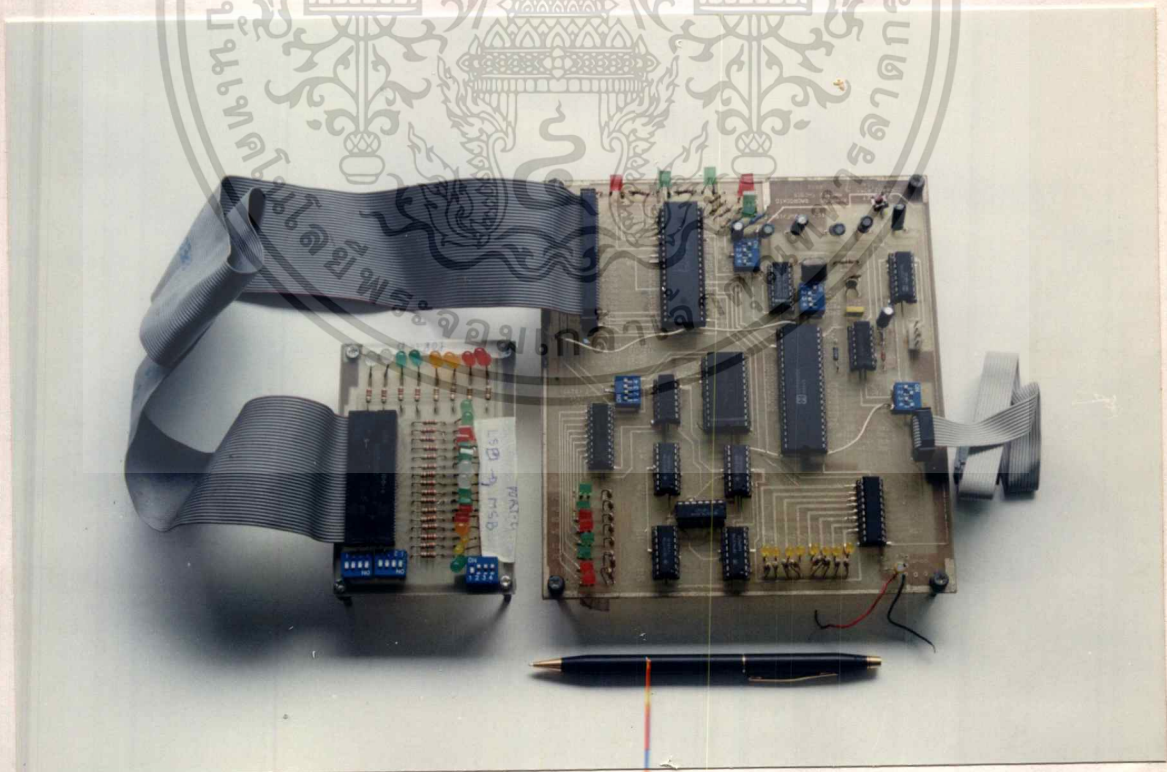
#### 6.2.6 การหาค่าทฤษฎี (Throughput)

ค่าทฤษฎีจะวัดในหน่วย บิต/วินาที ซึ่งจะใช้ระบุถึงอัตราเฉลี่ยของจำนวนบิตที่ผ่านจุดใดๆ ที่กำหนดในเน็ตเวิร์ก (Network) ต่อหน่วยเวลา และทฤษฎีจะหมายถึงจำนวนบิตทั้งหมดต่อวินาทีที่เข้าสู่เน็ตเวิร์ก ถ้าเป็นการติดต่อระหว่างสถานีเดี่ยว ๆ แต่ระบบนี้เป็นการส่งเพียงช่องทางเดียว เพราะฉะนั้นค่าสูงสุดของทฤษฎี ซึ่งเป็นอัตราการส่งข้อมูลของชั้นแนลนั้น [13] ดังนั้นถ้ามีการส่งข้อมูลที่บิตเรท 9600 บีทีเอส ค่าทฤษฎีก็จะมีค่าเท่ากับบิตเรท

รูปที่ 6.14 , รูปที่ 6.15 และรูปที่ 6.16 เป็นการแสดงรูปของวงจรจริงที่ใช้ในการทดลอง

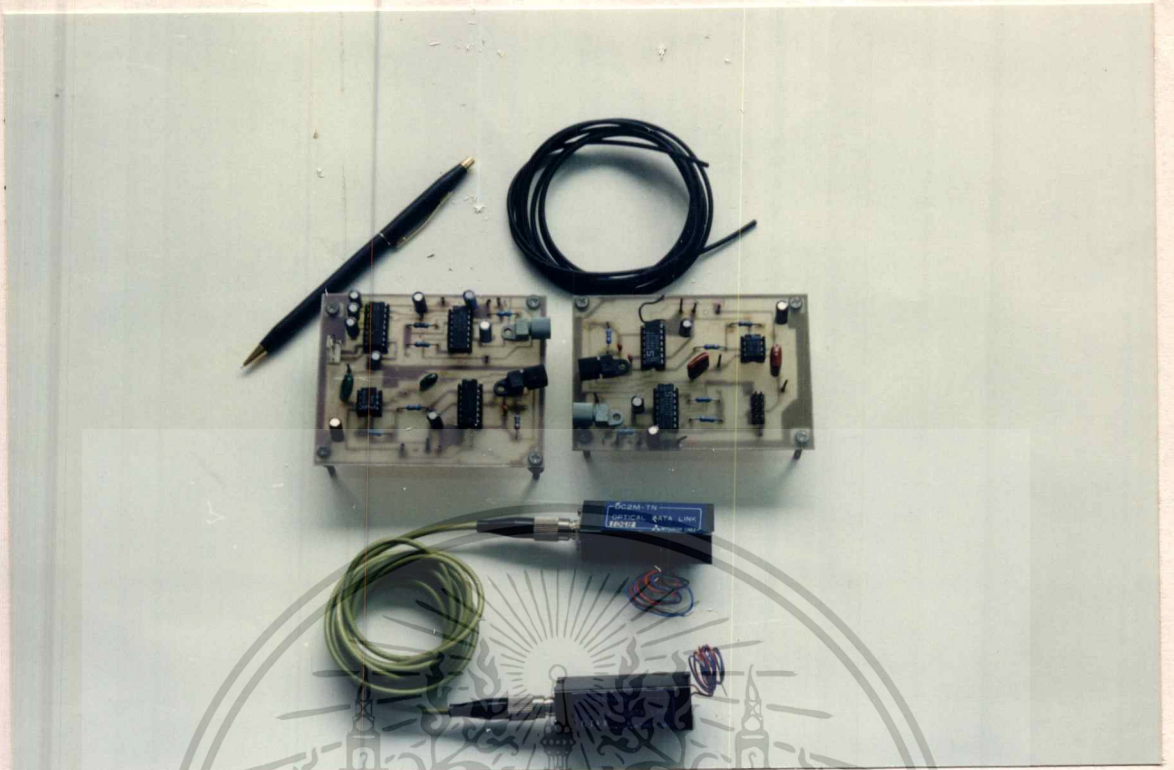


รูปที่ 6.14 แสดงวงจรรวมทั้งหมด



รูปที่ 6.15 แสดงวงจรที่เป็น Control Terminal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.16 แสดงวงจรภาคส่ง-รับ ของ Fiber Optic

- ก) ภาพบนเป็นวงจรที่ใช้สายพลาสติก
- ข) ภาพล่างเป็นวงจรของโมดูล

## บทที่ 7

### สรุปและข้อเสนอนะ

#### 7.1 ประสิทธิภาพการใช้งานของระบบและสรุป

ในการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยนำแสง จะต้องกำหนดให้พลังงานแสงเข้าสู่เส้นใยนำแสงให้เพียงพอต่อการลดทอนของเส้นใยนำแสงและการสูญเสียพลังงานแสงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในระบบ พลังงานที่สูญเสียไปในระบบทั้งหมด ( System Power Margin , M) คือ มีความสัมพันธ์กับพลังงานแสงที่เข้าสู่เส้นใยนำแสง ( $P_T$ ) และความไวของตัวตรวจจับแสงหรือพลังงานแสงน้อยสุดที่รับได้ ( $P_R$ ) ซึ่งสามารถแสดงได้ในสมการที่ (7.1) [9]

$$M = P_T - P_R - A_L \cdot L - 2A_C \quad 7.1$$

เมื่อ

$A_L$  - เป็นค่าการลดทอนของสายเส้นใยนำแสง มีหน่วยเป็น dB/km

L - เป็นความยาวของสายเส้นใยนำแสงที่ใช้งาน

$A_C$  - เป็นการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการเชื่อมต่อ (Connector) ที่ตัวกำเนิดแสง และตัวตรวจจับแสง เพื่อให้เข้ากันได้กับเส้นใยนำแสง จะมีการลดทอนประมาณ 1-1.5 dB ต่อหัว

M - เป็นพลังงาน (power) ที่ได้จากการนำ  $P_T - P_R$  โดยทั่วไปค่า Margin ประมาณ 6 dB เพื่อเป็นการป้องกันในการลดลงของพลังงานแสง อันเนื่องจากการใช้งานของตัวกำเนิดแสง และการสูญเสียอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นโดยไม่ได้คาดเอาไว้ล่วงหน้า

จากสมการที่ (7.1) สามารถคำนวณค่า Power Budget ซึ่งเป็นขั้นตอนในการตรวจสอบว่าพลังงานที่ตัวตรวจจับแสง ( $P_R$ ) มีค่ามากพอที่จะสามารถทำงานได้หรือไม่ จากนั้นจึงไปพิจารณาแบนด์วิธที่ที่ต้องการ ถ้าผลออกมาเป็นบวก ก็หมายความว่าพร้อมที่จะดำเนินการติดตั้งระบบได้ ซึ่งในการคำนวณค่านี้จะคำนวณให้ทั้งสองแบบ คือ โมดูลและที่ออกแบบวงจรเอง

#### 7.1.1 การคำนวณ Power Budget ของโมดูล

จากตารางที่ 4.4 ซึ่งเป็นกำหนดค่าต่าง ๆ ของโมดูลโดยได้ค่าดังต่อไปนี้

$$P_T = -20 \text{ dBm} ; P_R \geq -30 \text{ dBm} ; A_C = 1.5 \text{ dB} ; A_L = 4 \text{ dB/km}$$

$$6 = -20 - (-30) - 2*(1.5) - \frac{4 \times L}{1000}$$

$$L = 250 \text{ เมตร}$$

จากการคำนวณจะเห็นได้ว่า สามารถส่งสัญญาณไปได้ไกลถึง 250 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 7.1.2 การคำนวณ Power Budget ของสายพลาสติก

ในการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ของการส่งสัญญาณในเส้นใยนำแสงแบบสายพลาสติก ดังนี้

ในการคำนวณหาค่า  $P_T$  ต้องดูจากกระแส  $I_F$  (LED Forward Current) ซึ่งในการทดลองใช้กระแสที่ 100 mA ได้ค่า Power Launched = 540 ไมโครวัตต์ [ 14 ]

$$\begin{aligned} dBm &= 10 \log \frac{P_T (\mu W)}{1mW} \\ &= 10 \log \frac{540 (\mu W)}{1mW} \\ &= -2.679 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } P_T = -2.679 \text{ dBm}$$

ในการหา  $P_R$  ได้จาก [ 14 ] ;  $P_R = P_{inc} = 10.0 (\mu W)$

$$\begin{aligned} dBm &= 10 \log \frac{P_R (\mu W)}{1mW} \\ dBm &= 10 \log \frac{10 \mu W}{1mW} \\ &= -20 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } P_R = -20 \text{ dBm}$$

จากสมการที่ (7.1) สามารถแทนค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$A_C = 1.5 \text{ dB} ; A_L = 300 \text{ dB/km}$$

$$6 = -2.679 - (-20) - 2*(1.5) - \frac{300 \times L}{1000}$$

$$L = 27.76 \text{ เมตร}$$

จากค่าที่คำนวณได้ทำให้การส่งสัญญาณได้ไกลถึง 27.76 เมตร แต่ที่ใช้ในการทดลอง คือ 20 เมตร ทำให้ระบบปลอดภัยในการส่งสัญญาณติดต่อกัน ในการนำไปใช้งาน

ในระบบนอกจากพลังงานของการส่ง และการรับแสงเพียงพอดังได้กล่าวแล้ว การตอบสนองความถี่เป็นสิ่งสำคัญ เพราะมีผลต่อบิทเรตในการส่งสัญญาณด้วยคือ ถ้ามีแบนด์วิธเพิ่มขึ้น บิทเรตก็เพิ่มตามไปด้วย แต่สัญญาณรบกวนก็เพิ่มด้วย และสามารถแสดงค่าต่างๆ ในการออกแบบวงจรเพื่อเปรียบเทียบกันระหว่างโมดูลและวงจรของเส้นใยนำแสงที่ออกแบบ ดังในตารางที่ 7.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.1  
แสดงค่าการเปรียบเทียบระหว่างโมดูลกับวงจรที่ออกแบบ

แบบ	โมดูล DC2M	วงจรที่ออกแบบ-สายพลาสติก
Modulation	Direct Intensity Modulation	Direct Intensity Modulation
Bit Rate	2 Mb/s	307.2 Kb/s
Light	LED, $\lambda = 0.85 \mu\text{m}$	LED, $\lambda = 0.66 \mu\text{m}$
Detector	PIN-PD	PIN-PD
Interface	Standard TTL	Standard TTL
ATC	Yes	No
Optical Output Power	$\geq -20\text{dBm}$	$\geq -2.679\text{dBm}$
Receiving Sensitivity	$\leq -30\text{dBm}$	$\leq -20\text{dBm}$
Span loss	Max. 10 dB	Max. 17.321 dB
Bit Error Rate	$\leq 10^{-9}$	$\approx 10^{-8}$ *
Fiber Attenuation ( dB/ km )	4 dB	300 dB
ระยะทางที่ส่งได้ ( เมตร )	250	27.7
Power Source Transmitter	+5	$\pm 5$
Receiver	+5	$\pm 5, \pm 9$

จากตารางจะเห็นได้ว่า มีตัวแปรที่สำคัญในการส่งให้ไ้ระยะทางไกล คือ

- ในการเลือกตัวกำเนิดแสง คือ เลือกที่มี Power Output มาก และความยาวคลื่นที่ใช้งาน ต้องให้เหมาะสมกับเส้นใยนำแสง เพราะความยาวคลื่นที่เดินทางในเส้นใยนำแสงมีการสูญเสียแสงไม่เท่ากัน

- เลือกตัวตรวจจับแสง ( Detector ) ที่มี Sensitivity มาก เพราะทำให้สามารถตรวจจับแสงที่มีค่าน้อย ๆ ได้

- เลือกเส้นใยนำแสงที่มีค่าการสูญเสียแสงต่ำ ๆ ทำให้แสงสามารถเดินทางไปในเส้นใยนำแสงไ้ระยะทางไกลเพิ่มขึ้น

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าในการคำนวณหาค่าต่างๆ ในทางทฤษฎีเป็นแนวทางในทางปฏิบัติเพื่อนำไปใช้งาน ซึ่งเป็นการแสดงว่าสิ่งที่ได้คำนวณมานั้น สามารถนำไปใช้งานได้จริงหรือใกล้เคียงกับความเป็นจริงในทางปฏิบัติ ดังนั้นในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงเป็นการนำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดเป็นการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวคิดที่เป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริงในด้านต่างๆ แล้วแต่การนำไปประยุกต์การใช้งาน เช่น ในการควบคุมอัตโนมัติภายในบ้าน ในโรงงานอุตสาหกรรม ในสถานะแวดล้อมที่ไม่ดี [15 , 16 , 17 ] ที่คนไม่สามารถเข้าไปทำงานได้ โดยปรับปรุงการทำงานของระบบให้เข้ากับงานที่นำไปใช้ เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้สะดวก

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ของข้าพเจ้า ต้องประสบปัญหาในการที่จะแก้ปัญหาในการทำทดลอง สามารถอธิบายปัญหาได้ดังต่อไปนี้

- ไอซีที่ใช้ในการทดลองหายากจำเป็นต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ทำให้เสียเวลาคอยหลายเดือนในการสั่งซื้อ

- ในการทำวงจรนั้นต้องมีออสซิลโลสโคป ( Oscilloscope ) เพื่อใช้ในการวัดสัญญาณ และฟังก์ชันเจน ( Function Generator ) ซึ่งเป็นตัวสร้างความถี่ในการทดสอบของสัญญาณ ทำให้ต้องขาดเครื่องมือในการใช้งานต้องขอยืมจากห้องทดลอง ทำให้การทำงานไม่ต่อเนื่อง

- ในการวัดสัญญาณบางอย่าง เช่น BER ซึ่งเป็นเครื่องมือที่หายาก ต้องให้ผู้ชำนาญทางด้านนี้ในการช่วยวัด แต่ตอนที่ไปวัดนั้นเครื่องมือที่ใช้วัดเกิดเพี้ยน คือ เครื่องมือเกิดรีเซ็ตตัวเองอยู่ตลอดเวลา ทำให้ต้องเปลี่ยนเครื่องมือวัดตัวใหม่ แต่เครื่องมือตัวใหม่นี้ทำงานแค่ปีทเรท 19200 บีทีเอส จึงทดสอบในการหา BER ได้ที่ปีทเรทนี้

## 7.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

เนื่องจากในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีข้อจำกัดในการทำงาน ทำให้การทำงานของระบบไม่สามารถทำงานได้อย่างกว้างขวาง เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการขยายขอบเขตการทำงานของระบบให้มีการใช้งานให้มากกว่าเดิม ซึ่งสามารถแยกการปรับปรุงของระบบได้ดังนี้

- ถ้าต้องการให้ระบบ มีขอบเขตการทำงานที่สามารถควบคุมอุปกรณ์ภายนอกให้ได้มากกว่าเดิม ( ระบบเดิมควบคุมได้ 24 ตัว ) โดยการขยายพอร์ต ( อินพุต-เอาต์พุต ) ของระบบในการควบคุมอุปกรณ์ภายนอก คือ การเพิ่ม 8255 ไปอีกหนึ่งตัวทำให้ระบบสามารถควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้สูงสุดถึง 48 ตัว

- ปีทเรทของวงจรภาคควบคุมอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งใช้เพียง 9600 บีทีเอส สามารถขยายได้อีก เพราะไอซี CDP6402 ทำงานได้สูงสุดถึง 400 Kb/s เพียงแต่เปลี่ยนตัวหารความถี่ใหม่

- ถ้าต้องการให้ระบบการส่ง-รับสัญญาณแสง ในระบบให้ได้ระยะทางเพิ่มมากขึ้น ก็ต้องออกแบบวงจรใหม่ ต้องคำนึงถึงการสูญเสียสัญญาณแสงภายในเส้นใยนำแสง และคลื่นแสงที่ใช้ ต้องเลือกอุปกรณ์ต่าง ๆ และเส้นใยนำแสงให้เหมาะสมต่อระบบที่ต้องไปใช้งาน

- ซอฟต์แวร์ที่ใช้งานในการควบคุมการทำงานของระบบ เป็นการทำงานบนคอส ถ้าต้องการให้สามารถทำงานบนวินโดวส์ก็ต้องเขียนโปรแกรมการทำงานใหม่แล้วแต่ว่าการเลือกใช้โปรแกรมที่ใช้เขียน เพราะโปรแกรมที่ใช้บนวินโดวส์นั้น มีอุปสรรคให้เลือกการใช้งานได้มากกว่า ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมได้กว้างขวางกว่า

ในลำดับสุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นแนวทางสำหรับผู้ที่สนใจ ในการนำไปประยุกต์ในการนำไปใช้งาน หรือคิดแปลงเพื่อนำไปใช้งานที่เหมาะสมต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. Henry Zanger, Cynthia Zanger , Fiber Optics Communication and Other Application , Maxwell Macmillan International Editions , Singapore, 1991.
2. อภินันท์ มัชฌานนท์, ทฤษฎีการสื่อสารเส้นใยแสง , ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , พิมพ์ครั้งที่1,พ.ศ.2534 .
3. อภินันท์ มัชฌานนท์, การสื่อสารเส้นใยแสง , ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
4. Samel Y. Liao , Enineering Application of Electromagnetic Theory , West Publishing Co. , Singapore ,1992 .
5. John M. Senior , Optical Fiber Communications Principles and Practice , Prentice-Hall International ,Inc., London , 1985.
6. พันธุ์ศักดิ์ ศรีทรัพย์, การสื่อสารด้วยไฟเบอร์ ออปติก , บริษัท อีเลคทรอนิคส์ เวิลด์ จำกัด,พิมพ์ครั้งที่ 1 ,พ.ศ. 2526.
7. อภินันท์ มัชฌานนท์, รวมคำถาม-คำตอบเทคโนโลยีการสื่อสารเส้นใยแสง , ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , พิมพ์ครั้งที่ 1 ,พ.ศ.2535 .
8. ชูชัย ธารสารตั้งเจริญ และทินกร คึก , การสื่อสารข้อมูล , หจก. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ , พิมพ์ครั้งที่ 2 .
9. Harold B. Killen , Fiber Optic Communication , Prentice-Hall ,Inc., New Jersey, USA, 1991
10. Robert F. Coughlin , Robert S. Villanucci , Introductory Operational Amplifiers and Linear ICs Theory and Experimentation , Prentice-Hall , Inc., Singapore , 1990.
11. Data Book National Semiconductor , “ General Purpose Linear Device ”, 1989.
12. Robert J. Hoss , Fiber Optic Communications Design Handbook , Prentice-Hall ,Inc., New Jersey, USA , 1990.
13. ดร. สุวิพล สุทธิชีวกภาค , เทคโนโลยีของโลกัลเน็ตเวิร์ด , ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , พิมพ์ครั้งที่ 1 , พ.ศ.2535 .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. Data Book Motorola , " Optoelectronics Device Data" , USA., 1989.
15. H. Ikeda ,Y. Wu, et. al., " Bidirectional Control / Sense Signal Transmission Through Optical Fiber ", 1991 International Conference on Industrial Electronics , Control , Instrumentation and Automatio ( IECON'91 ) , Kobe, Japan, October 28-November 1, 1991, pp.1690-1694.
16. Y.Wu ,H. Ikeda, et. al , " Microprocessor Control Signal Transmission with Optical Fiber " , 90 KACC, Seoul , Korea , October 26-27 , 1990 , pp.1112 - 1115.
17. Y.Wu , K.Awoki , et. al . , " Parallel Data Transmission Through Optical Fiber " , The 30<sup>th</sup> SICE Annual Conference , Japan , ES 12-14, July 17-19, 1991 , pp.1131-1134.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### สมการคลื่น ( Wave Equations )

เส้นใยนำแสงประกอบด้วยสองส่วน คือ คอรัลและแคลดดิ้ง ซึ่งคอรัลมีค่าดัชนีการหักเหมากกว่า แคลดดิ้ง และทั้งสองส่วนเป็นชนวนอย่างสมบูรณ์กับมีค่า  $\mu_0$  (Free-Space magnetic permeability) ดังนั้นโครงสร้างของเส้นใยนำแสง จึงมีจำนวนโหมดมากมายแต่ขึ้นอยู่กับค่ารัศมีของคอรัล และ แคลดดิ้ง ค่าดัชนีการหักเหของคอรัล ( $n_1$ ) ค่าดัชนีการหักเหของแคลดดิ้ง ( $n_2$ ) ซึ่งเป็นค่ากำหนด จำนวนโหมดในการเดินทางภายในเส้นใยนำแสง และโหมดที่เดินทางก็สะท้อนภายในคอรัล โดยที่ การเคลื่อนที่นี้เป็นการกำหนดความเร็วของเฟส ( Phase Velocity ) ซึ่งใช้แกน Z ของรูปทรง กระจบอ (  $r, \phi, z$  ) ไปตามแนวความยาวของเส้นใยนำแสงและคอรัล แล้วแสดงแกน Z ซึ่งมีส่วน ประกอบของสนามไฟฟ้า ( E ) และสนามแม่เหล็ก ( H ) ที่ขนานกับเส้นใยนำแสงนั้นคือได้สมการ  $e^{j(\omega t - \beta z)}$  ในขอบเขตของคอรัล

$$E_z = AJ_n(kr) \cos(n\phi) \quad (1)$$

และ

$$H_z = BJ_n(kr) \sin(n\phi) \quad (2)$$

และในขอบเขตของแคลดดิ้ง

$$E_z = CH_n(\chi r) \cos(n\phi) \quad (3)$$

และ

$$H_z = DH_n(\chi r) \sin(n\phi) \quad (4)$$

เมื่อ

$J_n(kr)$  คือ ค่า nth-order Bessel function of the first kind

$H_n(\chi r)$  คือ ค่า nth-order Hankel function of the first kind

k คือค่าคงที่ transverse propagation ในขอบเขตของคอรัล

$\chi$  คือค่าคงที่ transverse propagation ในขอบเขตของแคลดดิ้ง

$k^2 = \beta_1^2 - \beta_z^2$  คือค่า separation equation ในขอบเขตของคอรัล

$\chi^2 = \beta_2^2 - \beta_z^2$  คือค่า separation equation ในขอบเขตของแคลดดิ้ง

$\beta_g = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$  คือค่าเฟสคงที่ในอากาศ

$\beta_1 = \omega \sqrt{\mu_1 \epsilon_1}$  คือค่าเฟสคงที่ในขอบเขตของคอรัล

$\beta_2 = \omega \sqrt{\mu_2 \epsilon_2}$  คือค่าเฟสคงที่ในขอบเขตของแคลดดิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Bessel Function ( $J_n$ ) เป็นการแสดงค่าคุณสมบัติความถี่ออสซิลเลตที่เป็นค่าจริงของ  $k$  ในรูปของฟังก์ชัน sinusoidal และค่าฟังก์ชันนี้เป็นค่า cylindrical standing wave ในขอบเขตของคอร์เมื่อ  $r < a$  และค่า Hankel function ( $H_n$ ) เป็นการแทนค่า traveling wave สำหรับค่าจริงของ  $\chi$  ในขอบเขตของแกลดคิงเมื่อ  $r > a$  โดยทำอยู่ในฟังก์ชันเอกโพเทนเชียล ในตัวกลางแบบ nondissipative และค่า Hankel function ก็จะเป็น modify Bessel Function เพื่อที่จะได้สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าเป็น evanescent ในขอบเขตของแกลดคิง ซึ่งค่า  $\chi$  เป็นค่าจินตภาพ (imaginary) จากค่าสมการที่ 1-2 ค่ามุม  $\phi$  ประกอบด้วยสมการสนามในขอบเขตของคอร์

$$E_\phi = \left[ A \frac{jB_g n}{k^2 r} J_n(kr) + B \frac{j\omega\mu_1}{k^2} J_n'(kr) \right] \sin(n\phi) \quad (5)$$

และ

$$H_\phi = \left[ A \frac{j\varepsilon_1 \omega}{k^2 r} J_n'(kr) + B \frac{jn\beta_g}{k^2} J_n(kr) \right] \cos(n\phi) \quad (6)$$

จากค่าสมการที่ 3-4 ค่ามุม  $\phi$  ประกอบด้วยสมการสนามในขอบเขตของแกลดคิง ได้สมการเป็น

$$E_\phi = \left[ C \frac{jB_g n}{\chi^2 r} H_n(\chi r) + D \frac{j\omega\mu_2}{\chi^2} H_n'(\chi r) \right] \sin(n\phi) \quad (7)$$

และ

$$H_\phi = \left[ C \frac{j\omega\varepsilon_2}{\chi^2 r} H_n'(\chi r) + D \frac{jn\beta_g}{\chi^2 r} H_n(\chi r) \right] \cos(n\phi) \quad (8)$$

ค่า  $J_n$  และ  $H_n$  จะแตกต่างกันในค่าของ arguments ( $kr$ ) และ ( $\chi r$ ) ตามลำดับ แล้วค่า tangential field ที่รอยต่อของ  $r = a$  ได้

$$AJ_n(ka) = CH_n(a\chi) \quad (9)$$

$$BJ_n(ka) = DH_n(a\chi) \quad (10)$$

$$A \frac{jB_g n}{k^2 a} J_n(ka) + B \frac{j\mu_1 \omega}{k^2} J_n'(ka) = -C \frac{jn\beta_g}{\chi^2 a} H_n(a\chi) - D \frac{j\mu_2 \omega}{\chi^2} H_n'(a\chi) \quad (11)$$

และ

$$A \frac{j\omega\varepsilon_1}{k^2} J_n'(ka) + B \frac{jB_g n}{k^2 a} J_n(ka) = -C \frac{j\omega\varepsilon_2}{\chi^2} H_n'(a\chi) - D \frac{jB_g n}{\chi^2 a} H_n(a\chi) \quad (12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และหาค่าคงที่ A ,B,C, D ได้ด้วยการแก้สมการในการหาค่าของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า จากสมการของ Maxwell's Equations

ในการหาความยาวคลื่นคัทออฟ ( Cutoff Wavelength ) ต้องกำหนดเงื่อนไขให้  $J_n(ka) = 0$  หมายความว่าเป็นการกำหนดค่า argument ของ Hankel function ( $a\chi$ ) เท่ากับศูนย์ และใช้สมการแยกในขอบเขตของแคลคูลัสแสดงในสมการ(4) ก็จะได้

$$\beta_g^2 = \omega^2 \mu_2 \epsilon_2 \quad (13)$$

และสมการแยกในขอบเขตของคอร์จะได้

$$k^2 = \omega^2 \mu_1 \epsilon_1 - \omega^2 \mu_2 \epsilon_2 \quad (14)$$

และถ้า argument ( $k_{np}a$ ) ของ Bessel function of the first kind คือ  $X_{np}$

$$k_{np} = \frac{X_{np}}{a} \quad (15)$$

และเงื่อนไขของคัทออฟ คือ

$$X_{np} = \frac{2a\pi}{\lambda_0} \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2} \quad (16)$$

และสามารถแสดงค่าความยาวคลื่นคัทออฟในอากาศ ( free-space cutoff wavelength ) คือ

$$\lambda_0 = \frac{2 a \pi}{X_{n p}} \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2} \quad (17)$$

เมื่อ  $\eta_1$  เป็นค่าดัชนีการหักเหของคอร์ และ  $\eta_2$  เป็นค่าดัชนีการหักเหของแคลคูลิง , a เป็นรัศมีของคอร์ แล้วค่าความยาวคลื่นคัทออฟในอากาศ ( free-space cutoff wavelength ) สำหรับโหมดเดียว  $EH_{01}$  คือ

$$\lambda_{0c} = \frac{2 a \pi}{2.405} \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2} \quad (18)$$

ค่า  $X_{np}$  เรียกว่าตัวแปรคัทออฟ ( cutoff parameter,  $X_{np}a$ ) โดยปกติใช้สัญลักษณ์ V ถือเป็นจำนวนของโหมดที่เคลื่อนที่ในสเป็คตรัมของเส้นใยนำแสง และเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$V = \frac{2 a \pi}{\lambda_0} \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2} \quad (19)$$

และหาจำนวนโหมดที่เคลื่อนที่ในเส้นใยนำแสงโดยค่า  $X_{np}$  ต้องน้อยกว่าในสมการ (16) เพราะว่า  $X_{np}$  เป็นการเพิ่มลำดับ คือ เมื่อ  $n$  คงที่ และเป็นการเพิ่มค่า  $p$  หรือกำหนด  $p$  คงที่ ทำให้ค่า  $n$  เพิ่ม และทำให้จำนวนโหมดเพิ่มตามยกกำลังสองของรัศมี  $a$  ดังนั้นจำนวนโหมดทั้งของเส้นใยนำแสง คือ

$$Modes = \frac{16a^2}{\lambda_0^2} \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2} \quad (20)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

### รูปแบบของดัชนีการหักเห ( Refractive-Index Profiles )

เส้นใยนำแสงเกรดเดดอินเด็กซ์แบบหลายโหมด ( Multimode Graded-Index Fiber ) มีค่าดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงดังนี้

เมื่อค่า  $r \leq a$  ( คอรั )

$$\eta(r) = \eta_1 \left[ 1 - 2\Delta \left( \frac{r}{a} \right)^\alpha \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

เมื่อค่า  $r > a$  ( แคลดคิง )

$$\eta(r) = \eta_1 \sqrt{1 - 2\Delta} \quad (2)$$

เมื่อ

$\eta_1$  เป็นค่าดัชนีการหักเหที่จุดศูนย์กลางที่ขอบเขตของคอรั และค่าดัชนีการเบี่ยงเบน ( Deviation Index ,  $\Delta$  ) แสดงในสมการต่อไปนี้

$$\Delta = \frac{\eta_1 - \eta_2}{\eta_2} \cong \frac{\eta_1 - \eta_2}{\eta_1} \cong \frac{\eta_1^2 - \eta_2^2}{2\eta_1^2} \quad (3)$$

$\alpha$  เป็นรูปแบบของตัวแปร ( Profile Parameter ) ซึ่งเรียกว่า Power-Law Coefficient มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง  $\infty$  เป็นรูปแบบของดัชนีการหักเหภายในคอรั ค่าที่ได้นี้นำไปใช้ในสมการที่ (1) และค่า

$\alpha = \infty$  เป็นรูปแบบสเต็ปอินเด็กซ์ ( Step Index Profile ) หรือมีค่า  $\alpha = 2$  เป็นรูปแบบพาราโบล่า ( Parabolic Profile ) และ  $\alpha = 1$  เป็นรูปแบบสามเหลี่ยม ช่วงรูปแบบของดัชนีการหักเหได้แสดงในภาพที่ 1 เป็นภาพหน้าตัดของรูปแบบของดัชนีการหักเหแบบหลายโหมด จากภาพที่ 1 สามารถกำหนดสมการที่ (1) ให้ค่า  $\Delta$  มีค่าน้อย ๆ มาก ดังนั้นจำนวนโหมดทั้งหมดของเส้นใยนำแสงแบบเกรดเดดอินเด็กซ์ คือ

$$N = \left( \frac{2a\pi\eta_1}{\lambda_0} \right) \Delta \left( \frac{\alpha}{\alpha + 2} \right) \quad (4)$$

และจากสมการ ( 2.18 ) เป็นค่า Normalized Frequency ( V ) จัดรูปแบบสมการนี้ใหม่

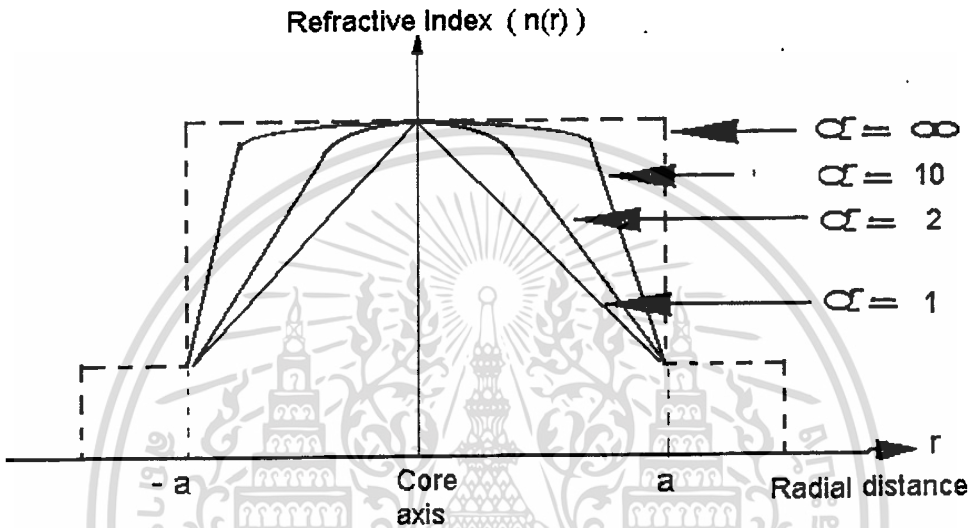
$$V^2 = \left( \frac{2a\pi\eta_1}{\lambda} \right)^2 \left[ (2\Delta)^{\frac{1}{2}} \right]^2 = \left( \frac{2a\pi\eta_1}{\lambda} \right)^2 2\Delta \quad (5)$$

จากสมการ (5) แทนในสมการ (4) ได้สมการใหม่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N = \frac{V^2}{2} \left( \frac{\alpha}{\alpha + 2} \right) \quad (6)$$

N คือ จำนวนโหมดทั้งหมด



รูปที่ 1 แสดงภาพตัดขวางของค่าดัชนีการหักเหแบบเกรดเคดอินเด็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

## โปรแกรมที่เขียน

เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ

```

program RS232;
uses crt,dos;
label a1,a2,a3,a4,a5,a6,a7,a8;
const
  { baudrate=9600;}
  com2=$2f8;
var
  ans,start      :char;
  comadr         :word;
  l,n,m,o,highbyte,lowbyte,a,c,b :byte;
  prot          :boolean;
  divisor,i,x,control,y,z,j,k    :integer ;
  data1,d1,d2,d3,d4,d5,d6,d7,d8  :integer ;

procedure setcom; { เป็นการเซตค่าการทำงานของพอร์ต RS232 }
begin
  comadr :=com2;
  divisor :=round(115200.0/9600.0);
  port[comadr+3] := $80;      { divisor latch enable }
  port[comadr] :=lo(divisor); { set baud rate }
  port[comadr+1] :=hi(divisor);
  port[comadr+3] :=3;        { 8 data,1 stop,no.parity}
  delay(50);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end;
procedure sdata(inputdata:byte); { เป็นการแสดงการส่งข้อมูลไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก }
var
  highbyte,lowbyte:byte;
begin
  highbyte :=(inputdata and 240) shr 4;
  lowbyte :=inputdata and 15 ;
  port[comadr] :=lowbyte + 32;
  delay(20);
  port[comadr] :=highbyte +16;
  delay(20);
end;
procedure rdata(datab:integer); { เป็นการแสดงค่าเปรียบเทียบค่าที่ส่ง และค่าที่รับ }
label z1,z2,Z3;var datac,r8,r7,r6 :integer ;
begin
  port[comadr] :=datab;
  r8:=0;r7:=0;
  if datab-128 < 0 then goto z1;
    datac:=datab-128;r8:=128;
z1:if datab-64 < 0 then goto z2;
    datac:=datab-64;r7:=64;
Z2:IF datab-32 < 0 THEN GOTO Z3;
    datac:=datab-32;r6:=0;
z3: delay(20);
  port[comadr] :=r8+r7+r6;
  delay(20);
  writeln('r8+r7+r6 = ',r8+r7+r6);
  port[comadr] :=0; delay(20);
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

procedure decbin(data1:integer); {เป็นการแสดงค่าเอาท์พุทของอุปกรณ์ภายนอกที่จอคอมพิวเตอร์}
  label a1,a2,a3,a4,a5,a6,a7,a8;
  var
    data,d8,d7,d6,d5,d4,d3,d2,d1 :integer;
begin
  data:=data1;
  d8:=0;d7:=0;d6:=0;d5:=0;
  d4:=0;d3:=0;d2:=0;d1:=0;
  if data-128 < 0 then goto a1;
  data:=data-128;
  d8:=1;
a1:
  if data-64 < 0 then goto a2;
  data:=data-64;
  d7:=1;
a2:
  if data-32 < 0 then goto a3;
  data:=data-32;
  d6:=1;
a3:
  if data-16 < 0 then goto a4;
  data:=data-16;
  d5:=1;
a4:
  if data-8 < 0 then goto a5;
  data:=data-8;
  d4:=1;
a5:
  if data-4 < 0 then goto a6;
  data:=data-4;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

d3:=1;
a6:
if data-2 < 0 then goto a7;
data:=data-2;
d2:=1;
a7:
if data-1 < 0 then goto a8;
data:=data-1;
d1:=1;
a8:
writeln('D8 = ',d8);
writeln('D7 = ',d7);
writeln('D6 = ',d6);
writeln('D5 = ',d5);
writeln('D4 = ',d4);
writeln('D3 = ',d3);
writeln('D2 = ',d2);
writeln('D1 = ',d1);
end;
begin { Main Program }
clrscr;
setcom;
start:='1';
while start='1' do
begin
writeln('Menu Selection '); { เป็นการแสดงโปรแกรมหลักในการควบคุมการทำงาน }
writeln('1.Send data to control Electrical Devices. ');
writeln('2.Read data from Electrical Devices. ');
writeln('3.Set 8255 of Port A B C -Sender $ Receiver. ');
write('Select =====> ');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ans:=readkey;
case ans of
'1':      { เป็นการแสดงการส่งข้อมูลไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก }
begin
clrscr;
writeln('      Khanung Radrodkid @ Master Thesis');
writeln('      No.34620038 ');
writeln( 'Set Port of 8255 = ',y);
write('Send Data at Port B = ');
readln(i);
write('Send Data at port C = ');
read(j);
a:=i;
c:=j;
sdata(a);
port[comadr] :=64;  {old-0 port a * NEW PORT B}
delay(20);
sdata(c);
port[comadr] :=128; {old-128 port c }
delay(20);
port[comadr] :=0;
delay(20);
end;
'2':      { เป็นการเลือกรับข้อมูลจากพอร์ต 8255 มาแสดงที่จอคอมพิวเตอร์ }
begin
writeln('Set Port B,C is Receiver = 112(B),48(C) ');
write('Read Data Control From Port C)= ');
read(k);
b:=k;
rdata(b);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delay(10);
data1:=port[comadr] ;
writeln('Value DEC.= ',data1);
decbin(data1);
delay(10);
end;
'3':      { เป็นการเซตค่าการทำงานของ 8255 }
begin
  clrscr;
  writeln(' Set value = 144');
  write('Set 8255 of Port A B C >128.. =');
  read(j);
  y:=j;
  sdata(y);
  port[comadr]:=192;
  delay(20);
  port[comadr]:=0;
end;
else
  writeln ('divisor= ',divisor,' is Baud rate = 9600 Bit/Sec');
end;
write('Do you want to continue?(Y=Yes,N=No)');
repeat
  ans:=readkey;
until (upcase(ans) = 'Y') or (upcase(ans)='N');
  if upcase(ans)='N' then
    start:='2';
  end;
  writeln(#07);
end.

```

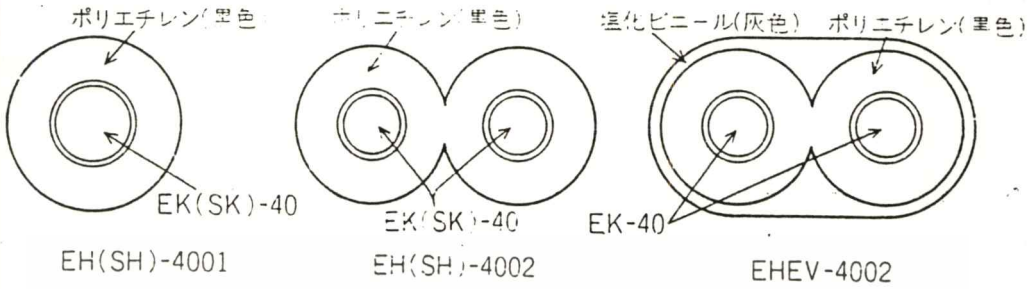
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



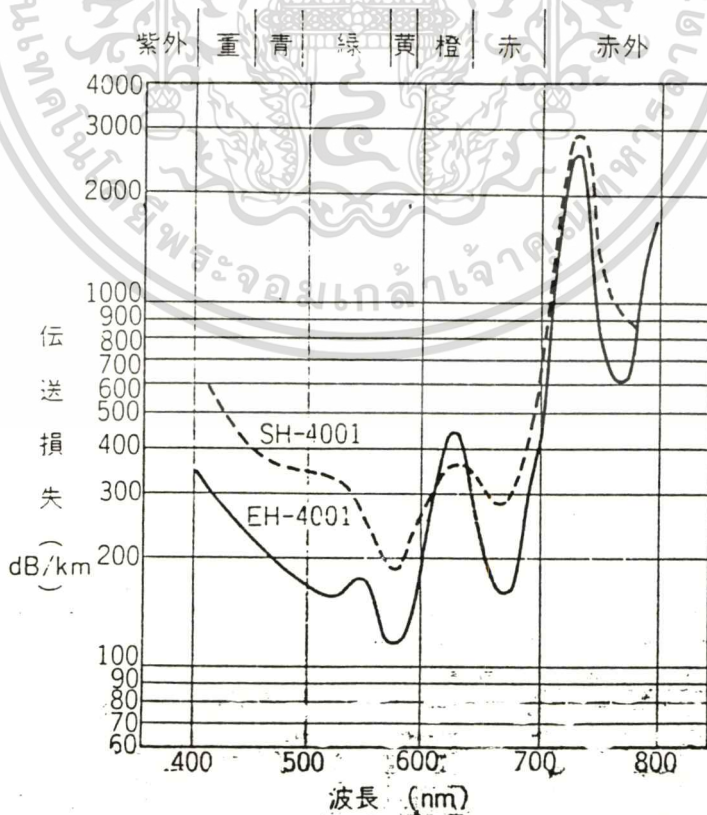
8章 光ファイバー関係の資料



〔図8-5〕 エスカ光ケーブルの断面構造図

この本で使用したスーパーエスカSH-4001のほかにもいろいろな光ケーブルが発売されています(表8-2, 表8-3, 図8-5)。〔三菱レーヨン(株)カタログより〕。

⑥ SH-4001とEH-4001の波長別伝送損失



〔図8-6〕 SH-4001とEH-4001の波長別伝送損失

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# CDP6402 CDP6402C

## CMOS Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART)

January 1992

### Features

- Low Power CMOS Circuitry..... 7.5mW (Typ) at 3.2MHz (Max Freq.) at  $V_{DD} = 5V$
- Baud Rate
  - DC to 200K Bits/s (Max) at..... 5V, 85°C
  - DC to 400K Bits/s (Max) at..... 10V, 85°C
- 4V to 10.5 Operation
- Automatic Data Formatting and Status Generation
- Fully Programmable with Externally Selectable Word Length (5 - 8 Bits), Parity Inhibit, Even/Odd Parity, and 1, 1 1/2, or 2 Stop Bits
- Operating Temperature Range
  - CDP6402D, CD ..... -55°C to +125°C
  - CDP6402E, CE ..... -40°C to +85°C
- Replaces Industry Types IM6402 and HD6402

### Description

The CDP6402 and CDP6402C are silicon gate CMOS Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) circuits for interfacing computers or microprocessors to asynchronous serial data channels. They are designed to provide the necessary formatting and control for interfacing between serial and parallel data channels. The receiver converts serial start, data, parity, and stop bits to parallel data verifying proper code transmission, parity and stop bits. The transmitter converts parallel data into serial form and automatically adds start parity and stop bits.

The data word can be 5, 6, 7 or 8 bits in length. Parity may be odd, even or inhibited. Stop bits can be 1, 1 1/2, or 2 (when transmitting 5 bit code).

The CDP6402 and CDP6402C can be used in a wide range of applications including modems, printers, peripherals, video terminals, remote data acquisition systems, and serial data links for distributed processing systems.

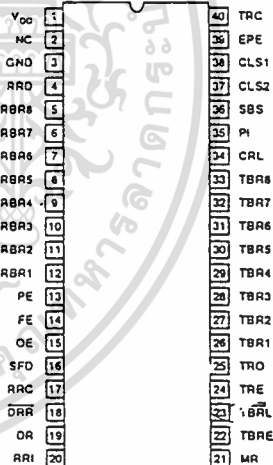
The CDP6402 and CDP6402C are functionally identical. They differ in that the CDP6402 has a recommended operating voltage range of 4V to 10.5V, and the CDP6402C has a recommended operating voltage range of 4V to 6.5V. Both types are supplied in 40 lead dual-in-line ceramic packages (D suffix), and 40 lead dual-in-line, plastic packages (E suffix).

### Ordering Information

PACKAGE	TEMPERATURE RANGE	5V/200K BAUD	10V/400K BAUD
Plastic DIP	-40°C to +85°C	CDP6402CE	CDP6402E
Burn-In		CDP6402CEX	
Ceramic DIP	-40°C to +85°C	CDP6402CD	CDP6402D
Burn-In		CDP6402CDX	CDP6402DX

### Pinout

CDP6402, CDP6402C  
TOP VIEW



CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Users should follow proper I.C. Handling Procedures.  
Copyright © Harris Corporation 1992

File Number. 1328.1

CMOS DATA COMMUNICATIONS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## CDP6402, CDP6402C

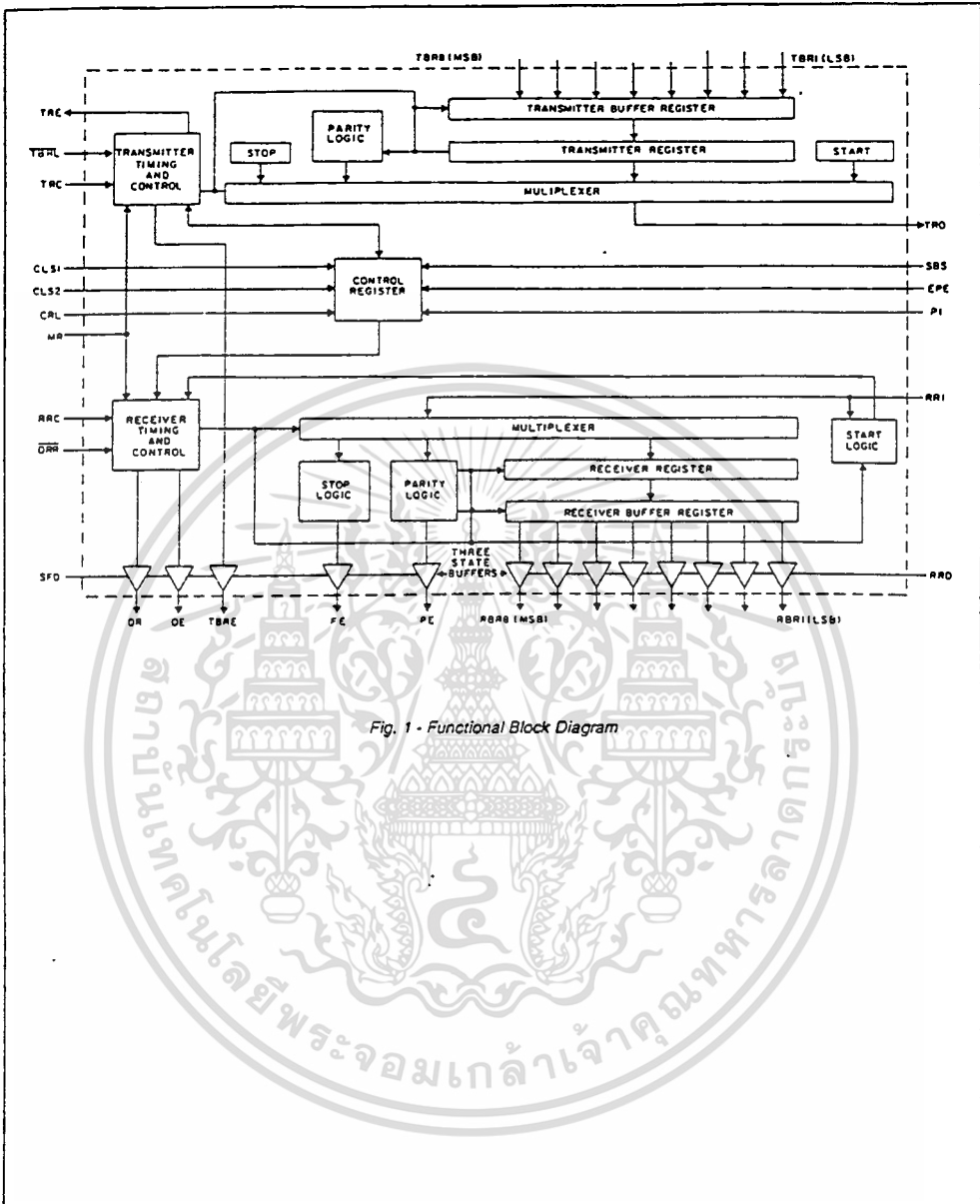


Fig. 1 - Functional Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Specifications CDP6402, CDP6402C

### MAXIMUM RATINGS, Absolute-Maximum Values:

DC SUPPLY-VOLTAGE RANGE, (V <sub>DD</sub> ) (Voltage referenced to V <sub>SS</sub> Terminal)	-0.5 to +11 V
CDP6402	-0.5 to +7 V
CDP6402C	-0.5 to V <sub>DD</sub> +0.5 V
INPUT VOLTAGE RANGE, ALL INPUTS	± 100 μA
INPUT CURRENT, ANY ONE INPUT	500 mW
POWER DISSIPATION PER PACKAGE (P <sub>D</sub> ):	Derate Linearly at 12 mW/°C to 200 mW
For T <sub>A</sub> = -40 to +60°C (PACKAGE TYPE E)	500 mW
For T <sub>A</sub> = +60 to +85°C (PACKAGE TYPE E)	Derate Linearly at 12 mW/°C to 200 mW
For T <sub>A</sub> = -55 to 100°C (PACKAGE TYPE D)	500 mW
For T <sub>A</sub> = +100 to +125°C (PACKAGE TYPE D)	Derate Linearly at 12 mW/°C to 200 mW
DEVICE DISSIPATION PER OUTPUT TRANSISTOR	100 mW
For T <sub>A</sub> = FULL PACKAGE-TEMPERATURE RANGE (All Package Types)	
OPERATING-TEMPERATURE RANGE (T <sub>A</sub> ):	
PACKAGE TYPE D	-55 to +125°C
PACKAGE TYPE E	-40 to +85°C
STORAGE TEMPERATURE RANGE (T <sub>stg</sub> )	-65 to +150°C
LEAD TEMPERATURE (DURING SOLDERING):	+265°C
At distance 1/16 ± 1/32 inch (1.59 ± 0.79 mm) from case for 10 s max.	

OPERATING CONDITIONS at T<sub>A</sub> = Full Package-Temperature Range. For maximum reliability, operating conditions should be selected so that operation is always within the following ranges:

CHARACTERISTIC	LIMITS				UNITS
	CDP6402		CDP6402C		
	Min.	Max.	Min.	Max.	
DC Operating Voltage Range	4	10.5	V <sub>SS</sub>	V <sub>DD</sub>	V
Input Voltage Range	V <sub>SS</sub>	V <sub>DD</sub>	V <sub>SS</sub>	V <sub>DD</sub>	

### STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS at T<sub>A</sub> = -40 to +85°C, V<sub>DD</sub> ±10%, Except as noted

CHARACTERISTIC	CONDITIONS			LIMITS						UNITS
	V <sub>O</sub> (V)	V <sub>IN</sub> (V)	V <sub>DD</sub> (V)	CDP6402			CDP6402C			
				Min.	Typ.*	Max.	Min.	Typ.*	Max.	
Quiescent Device Current	I <sub>DD</sub>	0, 0.5	5	—	0.01	50	—	0.02	200	μA
Output Low Drive (Sink) Current	I <sub>OL</sub>	0.4	0.5	5	2	4	—	1.2	2.4	mA
		0.5	0.10	10	5	7	—	—	—	
Output High Drive (Source) Current	I <sub>OH</sub>	4.6	0.5	5	-0.55	-1.1	—	-0.55	-1.1	mA
		9.5	0.10	10	-1.3	-2.6	—	—	—	
Output Voltage Low-Level	V <sub>OL</sub> ‡	—	0.5	5	—	0	0.1	—	0	V
		—	0.10	10	—	0	0.1	—	—	
Output Voltage High Level	V <sub>OH</sub> ‡	—	0.5	5	4.9	5	—	4.9	5	V
		—	0.10	10	9.9	10	—	—	—	
Input Low Voltage	V <sub>IL</sub>	0.5, 4.5	—	5	—	—	0.8	—	0.8	V
		0.5, 9.5	—	10	—	—	0.2 V <sub>DD</sub>	—	—	
Input High Voltage	V <sub>IH</sub>	0.5, 4.5	—	5	V <sub>DD</sub> -2	—	—	V <sub>DD</sub> -2	—	V
		0.5, 9.5	—	10	—	—	—	—	—	
Input Leakage Current	I <sub>IN</sub>	Any Input	0.5	5	—	±10 <sup>-4</sup>	±1	—	—	μA
		Input	0.10	10	—	±10 <sup>-4</sup>	±2	—	—	
3-State Output Leakage Current	I <sub>OUT</sub>	0.5	0.5	5	—	±10 <sup>-4</sup>	±1	—	±10 <sup>-4</sup>	μA
		0.10	0.10	10	—	±10 <sup>-4</sup>	±10	—	—	
Operating Current	I <sub>DD1</sub> ‡	—	0.5	5	—	1.5	—	—	1.5	mA
Input Capacitance	C <sub>IN</sub>	—	—	—	—	5	7.5	—	5	pF
		—	—	—	—	10	15	—	10	
Output Capacitance	C <sub>OUT</sub>	—	—	—	—	10	15	—	15	pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CDP6402, CDP6402C

DESCRIPTION OF OPERATION

Initialization and Controls

A positive pulse on the MASTER RESET (MR) input resets the control, status, and receiver buffer registers, and sets the serial output (TRO) High. Timing is generated from the clock inputs RRC and TRC at a frequency equal to 16 times the serial data bit rate. The RRC and TRC inputs may be driven by a common clock, or may be driven independently by two different clocks. The CONTROL REGISTER LOAD (CRL) input is strobed to load control bits for PARITY INHIBIT (PI), EVEN PARITY ENABLE (EPE), STOP BIT SELECTS (SBS), and CHARACTER LENGTH SELECTS (CLS1 and CLS2). These inputs may be hard wired to V<sub>SS</sub> or V<sub>DD</sub> with CRL to V<sub>DD</sub>. When the initialization is completed, the UART is ready for receiver and/or transmitter operations.

Transmitter Operation

The transmitter section accepts parallel data, formats it, and transmits it in serial form (Fig. 2) on the TRO terminal.

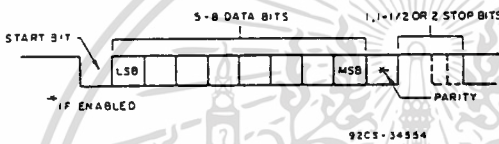
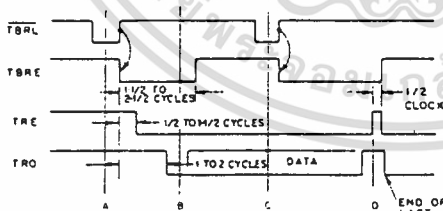


Fig 2 - Serial data format.

Transmitter timing is shown in Fig. 3. (A) Data is loaded into the transmitter buffer register from the inputs TBR1 through TBR8 by a logic low on the TBRL input. Valid data must be present at least  $t_{DT}$  prior to, and  $t_{DP}$  following, the rising edge of TBRL. If words less than 8 bits are used, only the least significant bits are used. The character is right justified into the least significant bit, TBR1. (B) The rising edge of TBRL clears TBRE.  $\frac{1}{2}$  to  $1\frac{1}{2}$  cycles later, depending on when the TBRL pulse occurs with respect to TRC, data is transferred to the transmitter register and TRE is cleared. TBRE is set to a logic High one cycle after that.

Output data is clocked by TRC. The clock rate is 16 times the data rate. (C) A second pulse on TBRL loads data into the transmitter buffer register. Data transfer to the transmitter register is delayed until transmission of the current character is complete (D) Data is automatically transferred to the transmitter register and transmission of that character begins.



Receiver Operation

Data is received in serial form at the RRI input. When no data is being received, RRI input must remain high. The data is clocked through the RRC. The clock rate is 16 times the data rate. Receiver timing is shown in Fig. 4.

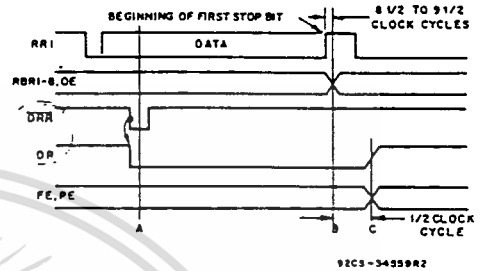


Fig. 4 - Receiver timing waveforms.

(A) A low level on  $\overline{DRR}$  clears the DR line. (B) During the first stop bit data is transferred from the receiver register to the RBR register. If the word is less than 8 bits, the unused most significant bits will be a logic low. The output character is right justified to the least significant bit RBR1. A logic high on OE indicates overruns. An overrun occurs when DR has not been cleared before the present character was transferred to the RBR. (C)  $\frac{1}{2}$  clock cycle later DR is set to a logic high and FE is evaluated. A logic high on FE indicates an invalid stop bit was received. A logic high on PE indicates a parity error.

Start Bit Detection

The receiver uses a 16X clock for timing (Fig. 5). The start bit could have occurred as much as one clock cycle before it was detected, as indicated by the shaded portion. The center of the start bit is defined as clock count  $7\frac{1}{2}$ . If the receiver clock is a symmetrical square wave, the center of the start bit will be located within  $\pm\frac{1}{2}$  clock cycle,  $\pm\frac{1}{32}$  bit or  $\pm 3.125\%$ . The receiver begins searching for the next start bit at 9 clocks into the first stop bit.

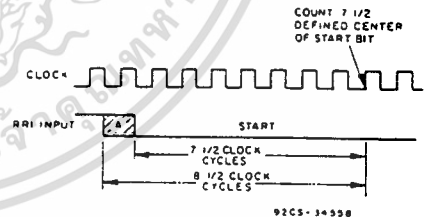


Fig. 5 - Start bit timing waveforms.

CDP6402, CDP6402C

Table I - Control Word Function

CONTROL WORD					DATA BITS	PARITY BIT	STOP BIT(S)
CLS2	CLS1	PI	EPE	SBS			
L	L	L	L	L	5	ODD	1
L	L	L	L	H	5	ODD	15
L	L	L	H	L	5	EVEN	1
L	L	L	H	H	5	EVEN	15
L	L	H	X	L	5	DISABLED	1
L	L	H	X	H	5	DISABLED	15
L	H	L	L	L	6	ODD	1
L	H	L	L	H	6	ODD	2
L	H	L	H	L	6	EVEN	1
L	H	L	H	H	6	EVEN	2
L	H	H	X	L	6	DISABLED	1
L	H	H	X	H	6	DISABLED	2
H	L	L	L	L	7	ODD	1
H	L	L	L	H	7	ODD	2
H	L	L	H	L	7	EVEN	1
H	L	L	H	H	7	EVEN	2
H	L	H	X	L	7	DISABLED	1
H	L	H	X	H	7	DISABLED	2
H	H	L	L	L	8	ODD	1
H	H	L	L	H	8	ODD	2
H	H	L	H	L	8	EVEN	1
H	H	L	H	H	8	EVEN	2
H	H	H	X	L	8	DISABLED	1
H	H	H	X	H	8	DISABLED	2

X = Don't Care

Table II - Function Pin Definition

PIN	SYMBOL	DESCRIPTION	PIN	SYMBOL	DESCRIPTION
1	VDD	Positive Power Supply	15	OE	A high level on OVERRUN ERROR indicates the data received flag was not cleared before the last character was transferred to the receiver buffer register. The Error is reset at the next character's stop bit if DRR has been performed (i.e., DRR; active low).
2	N/C	No Connection	16	SFD	A high level on STATUS FLAGS DISABLE forces the outputs PE, FE, OE, DR, TBRE to a high impedance state.
3	GND	Ground (VSS)	17	RRC	The RECEIVER REGISTER CLOCK is 16X the receiver data rate.
4	RRD	A high level on RECEIVER REGISTER DISABLE forces the receiver holding register outputs RBR1-RBR8 to a high impedance state	18	DRR	A low level on DATA RECEIVED RESET clears the data received output (DR), to a low level.
5	RBR8	The contents of the RECEIVER BUFFER REGISTER appear on these three-state outputs. Word formats less than 8 characters are right justified to RBR1	19	DR	A high level on DATA RECEIVED indicates a character has been received and transferred to the receiver buffer register.
6	RBR7	See Pin 5 - RBR8	20	RRI	Serial data on RECEIVER REGISTER INPUT is clocked into the receiver register.
7	RBR6		21	MR	A high level on MASTER RESET (MR) clears PE, FE, OE and DR, and sets TRE, TBRE, and TRO. TRE is actually set on the first rising edge of TRC after MR goes high. MR should be strobed after power-up.
8	RBR5		22	TBRE	A high level on TRANSMITTER BUFFER REGISTER EMPTY indicates the transmitter buffer register has transferred its data to the transmitter register and is ready for new data.
9	RBR4				
10	RBR3				
11	RBR2				
12	RBR1				
13	PE	A high level on PARITY ERROR indicates that the received parity does not match parity programmed by control bits. The output is active until parity matches on a succeeding character. When parity is inhibited, this output is low			
14	FE	A high level on FRAMING ERROR indicates the first stop bit was invalid. FE will stay active until the next valid character's stop bit is received.			

CMOS DATA COMMUNICATIONS 5

## CDP6402, CDP6402C

Table II - Function Pin Definition (Cont'd)

PIN	SYMBOL	DESCRIPTION	PIN	SYMBOL	DESCRIPTION
23	TBR1	A low level on TRANSMITTER BUFFER REGISTER LOAD transfers data from inputs TBR1-TBR8 into the transmitter buffer register. A low to high transition on TBR1 requests data transfer to the transmitter register. If the transmitter register is busy, transfer is automatically delayed so that the two characters are transmitted end to end.	34	CRL	A high level on CONTROL REGISTER LOAD loads the control register.
24	TRE	A high level on TRANSMITTER REGISTER EMPTY indicates completed transmission of a character including stop bits.	35	PI*	A high level on PARITY INHIBIT inhibits parity generation, parity checking and forces PE output low.
25	TRO	Character data, start data and stop bits appear serially at the TRANSMITTER REGISTER OUTPUT.	36	SBS*	A high level on STOP BIT SELECT selects 1.5 stop bits for a 5 character format and 2 stop bits for other lengths
26	TBR1	Character data is loaded into the TRANSMITTER BUFFER REGISTER via inputs TBR1-TBR8. For character formats less than 8-bits, the TBR8, 7, and 6 inputs are ignored corresponding to the programmed word length.	37	CLS2*	These inputs program the CHARACTER LENGTH SELECTED. (CLS1 low CLS2 low 5-bits) (CLS1 high CLS2 low 6-bits) (CLS1 low CLS2 high 7-bits) (CLS1 high CLS2 high 8-bits).
27	TBR2	See Pin 26 - TBR1	38	CLS1*	See Pin 37 - CLS2
28	TBR3		39	EPE*	When PI is low, a high level on EVEN PARITY ENABLE generates and checks even parity. A low level selects odd parity.
29	TBR4		40	TRC	The TRANSMITTER REGISTER CLOCK is 16X the transmit data rate.
30	TBR5				
31	TBR6				
32	TBR7				
33	TBR8				

\*See Table I (Control Word Function)

Specifications CDP6402, CDP6402C

DYNAMIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS at  $T_A = -40$  to  $+85^\circ\text{C}$ ,  $V_{DD} \pm 5\%$ ,  $t_r, t_f = 20$  ns,  
 $V_{IH} = 0.7 V_{DD}$ ,  $V_{IL} = 0.3 V_{DD}$ ,  $C_L = 100$  pF

CHARACTERISTIC †	V <sub>DD</sub> (V)	LIMITS				UNITS	
		CDP6402		CDP6402C			
		Typ.*	Max.Δ	Typ.*	Max.Δ		
<b>System Timing (See Fig. 6)</b>							
Minimum Pulse Width: CRL	t <sub>CRL</sub>	5 10	50 40	150 100	50 —	150 —	ns
Minimum Setup Time Control Word to CRL	t <sub>CWC</sub>	5 10	20 0	50 40	20 —	50 —	
Minimum Hold Time Control Word after CRL	t <sub>CCW</sub>	5 10	40 20	60 30	40 —	60 —	
Propagation Delay Time SFD High to SOD	t <sub>SFDH</sub>	5 10	130 100	200 150	130 —	200 —	
SFD Low to SOD	t <sub>SFDL</sub>	5 10	130 40	200 60	130 —	200 —	
RRD High to Receiver Register High Impedance	t <sub>RRDH</sub>	5 10	80 40	150 70	80 —	150 —	
RRD Low to Receiver Register Active	t <sub>RRDL</sub>	5 10	80 40	150 70	80 —	150 —	
Minimum Pulse Width: MR		5 10	200 100	400 200	200 —	400 —	

\*Typical values for  $T_A = 25^\circ\text{C}$  and nominal  $V_{DD}$ .

ΔMaximum limits of minimum characteristics are the values above which all devices function.

†All measurements are made at the 50% point of the transition except tri-state measurements.

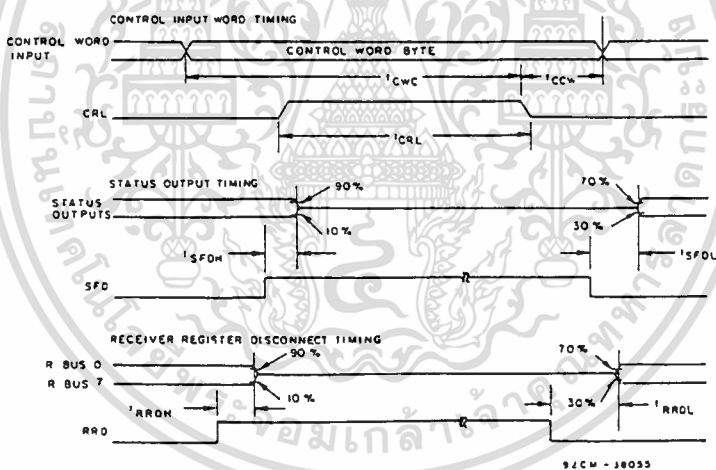


Fig. 6 - System timing waveforms.

CMOS DATA COMMUNICATIONS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Specifications CDP6402, CDP6402C

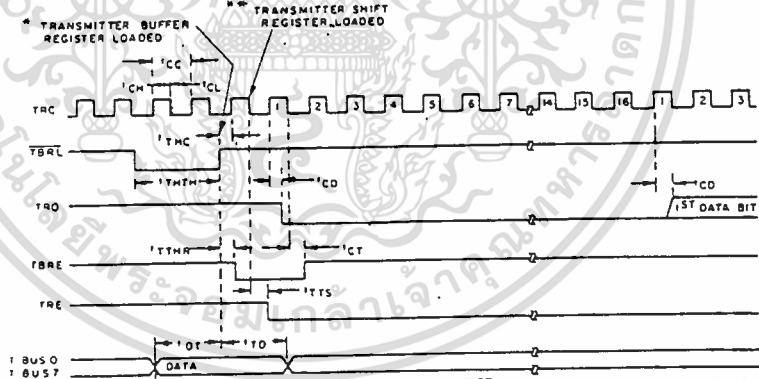
DYNAMIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS at  $T_A = -40$  to  $+85^\circ\text{C}$ ,  $V_{DD} \pm 5\%$ ,  $t_r, t_f = 20$  ns,  
 $V_{IH} = 0.7 V_{DD}$ ,  $V_{IL} = 0.3 V_{DD}$ ,  $C_L = 100$  pF

CHARACTERISTIC †	V <sub>DD</sub> (V)	LIMITS				UNITS	
		CDP6402		CDP6402C			
		Typ.*	Max.Δ	Typ.*	Max.Δ		
Transmitter Timing (See Fig. 7)							
Minimum Clock Period (TRC)	t <sub>CC</sub>	5 10	250 125	310 155	250 —	310 —	ns
Minimum Pulse Width: Clock Low Level	t <sub>CL</sub>	5 10	100 75	125 100	100 —	125 —	
	Clock High Level	t <sub>CH</sub>	5 10	100 75	125 100	100 —	
TBRL	t <sub>THTH</sub>	5 10	80 40	200 100	80 —	200 —	
Minimum Setup Time: TBRL to Clock	t <sub>THC</sub>	5 10	175 90	275 150	175 —	275 —	
	Data to TBRL	t <sub>DT</sub>	5 10	20 0	50 40	20 —	
Minimum Hold Time: Data after TBRL	t <sub>TD</sub>	5 10	40 20	60 30	40 —	60 —	
	Propagation Delay Time: Clock to Data Start Bit	t <sub>CD</sub>	5 10	300 150	450 225	300 —	
Clock to TBRE	t <sub>CT</sub>	5 10	330 100	400 150	330 —	400 —	
TBRL to TBRE	t <sub>TTBR</sub>	5 10	200 100	300 150	200 —	300 —	
Clock to TRE	t <sub>TTS</sub>	5 10	330 100	400 150	330 —	400 —	

\* Typical values for  $T_A = 25^\circ\text{C}$  and nominal  $V_{DD}$ .

Δ Maximum limits of minimum characteristics are the values above which all devices function.

† All measurements are made at the 50% point of the transition except tri-state measurements



- 92CM-34558
- \* THE HOLDING REGISTER IS LOADED ON THE TRAILING EDGE OF TBRL
  - Δ THE TRANSMITTER SHIFT REGISTER, IF EMPTY, IS LOADED ON THE FIRST HIGH-TO-LOW TRANSITION OF THE CLOCK WHICH OCCURS AT LEAST  $1/2$  CLOCK PERIOD +  $t_{THC}$  AFTER THE TRAILING EDGE OF TBRL AND TRANSMISSION OF A START BIT OCCURS  $1/2$  CLOCK PERIOD +  $t_{CD}$  LATER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications CDP6402, CDP6402C

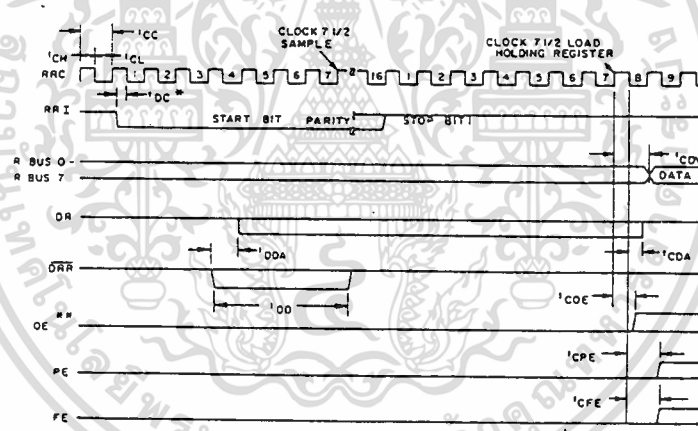
DYNAMIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS at  $T_A = -40$  to  $+85^\circ\text{C}$ ,  $V_{DD} \pm 5\%$ ,  $t_r, t_f = 20$  ns,  
 $V_{IH} = 0.7 V_{DD}$ ,  $V_{IL} = 0.3 V_{DD}$ ,  $C_L = 100$  pF

CHARACTERISTIC†	V <sub>DD</sub> (V)	LIMITS				UNITS	
		CDP6402		CDP6402C			
		Typ.*	Max.Δ	Typ.*	Max.Δ		
Receiver Timing (See Fig. 8)							
Minimum Clock Period (RRC)	t <sub>CC</sub>	5	250	310	250	310	ns
Minimum Pulse Width:							
Clock Low Level	t <sub>CL</sub>	5	100	125	100	125	
Clock High Level	t <sub>CH</sub>	10	75	100	—	—	
DATA RECEIVED RESET	t <sub>DD</sub>	5	50	75	50	75	
Minimum Setup Time:							
Data Start Bit to Clock	t <sub>DC</sub>	5	100	150	100	150	
Propagation Delay Time:							
DATA RECEIVED RESET to Data Received	t <sub>DDA</sub>	10	25	40	—	—	
Clock to Data Valid	t <sub>CDV</sub>	5	150	250	150	250	
Clock to DR	t <sub>CDA</sub>	10	75	125	—	—	
Clock to Overrun Error	t <sub>COE</sub>	5	275	400	275	400	
Clock to Parity Error	t <sub>CPE</sub>	10	110	175	—	—	
Clock to Framing Error	t <sub>CFE</sub>	5	240	375	240	375	
		10	120	175	—	—	
		5	200	300	200	300	
		10	100	150	—	—	

\* Typical values for  $T_A = 25^\circ\text{C}$  and nominal  $V_{DD}$ .

Δ Maximum limits of minimum characteristics are the values above which all devices function.

† All measurements are made at the 50% point of the transition except in-state measurements.



IF A START BIT OCCURS AT A TIME LESS THAN t<sub>DC</sub> BEFORE A HIGH-TO-LOW TRANSITION OF THE CLOCK, THE START BIT MAY NOT BE RECOGNIZED UNTIL THE NEXT HIGH-TO-LOW TRANSITION OF THE CLOCK. THE START BIT MAY BE COMPLETELY ASYNCHRONOUS WITH THE CLOCK.

IF A PENDING DA HAS NOT BEEN CLEARED BY A READ OF THE RECEIVER HOLDING REGISTER BY THE TIME A NEW WORD IS LOADED INTO THE RECEIVER HOLDING REGISTER, THE OE SIGNAL WILL COME TRUE.

Fig. 8 - Receiver timing waveforms.

CMOS DATA COMMUNICATIONS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High-speed dual-differential comparator/sense amp

NE522

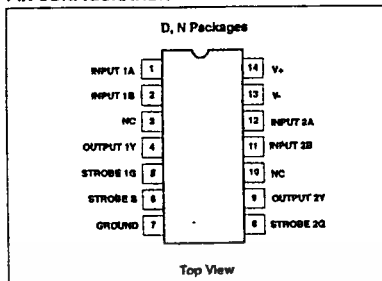
FEATURES

- 15ns maximum guaranteed propagation delay
- 20µA maximum input bias current
- TTL-compatible strobes and outputs
- Large common-mode input voltage range
- Operates from standard supply voltages

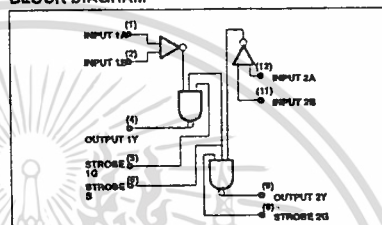
APPLICATIONS

- MOS memory sense amp
- A-to-D conversion
- High-speed line receiver

PIN CONFIGURATION



BLOCK DIAGRAM



ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
14-Pin Plastic DIP	0 to +70°C	NE522N	0405B
14-Pin Plastic SO	0 to +70°C	NE522D	0175D

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNITS
V+	Single supply voltage	+7	V
V-	Negative	-7	V
V <sub>IDR</sub>	Differential input voltage	±8	V
V <sub>IN</sub>	Input voltage	±5	V
	Common-mode	+5.25	V
	Strobe/gate		
P <sub>D</sub>	Power dissipation	600	mW
T <sub>A</sub>	Operating temperature range NE522	0 to 70	°C
T <sub>STG</sub>	Storage temperature range	-65 to +160	°C
T <sub>SOLD</sub>	Lead soldering temperature (10sec max)	+300	°C

August 31, 1994

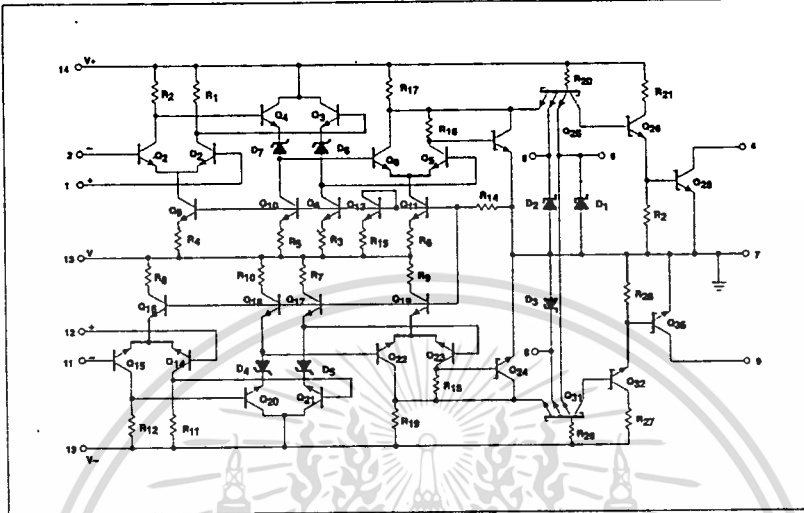
853-0901 13721

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## High-speed dual-differential comparator/sense amp

NE522

## EQUIVALENT SCHEMATIC



August 31, 1994

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## High-speed dual-differential comparator/sense amp

NE522

## DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{\pm} = \pm 5V \pm 5\%$ ,  $T_A = 0$  to  $+70^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise stated.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNITS
			MIN	TYP	MAX	
$V_{OS}$	Input offset voltage At $25^{\circ}\text{C}$ Over temperature range	$V_{+} = +4.75V$ , $V_{-} = -4.75V$		6	7.5 10	mV
$I_{BIAS}$	Input bias current At $25^{\circ}\text{C}$ Over temperature range	$V_{+} = +6.25V$ , $V_{-} = -6.25V$		7.5	20 40	$\mu\text{A}$
$I_{OS}$	Input offset current At $25^{\circ}\text{C}$ Over temperature range	$V_{+} = +5.25V$ , $V_{-} = -5.25V$		1.0	5 12	$\mu\text{A}$
$V_{CM}$	Common-mode voltage range	$V_{+} = +4.75V$ , $V_{-} = -4.75V$	-3		+3	V
$V_{IL}$	Low level input At $25^{\circ}\text{C}$ Over temperature range				0.8 0.7	V
$V_{IH}$	High level temperature		2.0			V
$I_{IH}$	Input current High	$V_{+} = +5.25V$ , $V_{-} = -5.25V$ $V_{IH} = 2.7V$ 1G or 2G strobe Common strobe S			50 100	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$
$I_{IL}$	Low input current	$V_{+} = 0.5V$ 1G or 2G strobe Common strobe S			-2.0 -4.0	mA mA
$V_{OL}$	Output voltage Low	$V_{+} = +6.25V$ , $V_{-} = -6.25V$ , $V_{(IS)} = 2.0V$ , $I_{OAD} = 20\text{mA}$			0.5	V
$I_{OH}$	Output current High	$V_{+} = +4.75V$ , $V_{-} = -4.75V$ , $V_{OH} = 5.25V$			250	$\mu\text{A}$
$V_{+}$	Supply voltage Positive		4.75	5.0	5.25	V
$V_{-}$	Supply voltage Negative		-4.75	-5.0	-5.25	V
$I_{CC+}$	Supply current Positive	$V_{+} = +6.25V$ , $V_{-} = -6.25V$ , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$		27	35	mA
$I_{CC-}$	Supply current Negative			-15	-28	mA

August 31, 1994

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## High-speed dual-differential comparator/sense amp

NE522

## AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $R_L = 280\Omega$ ,  $C_L = 15\text{pF}$ , unless otherwise stated.

SYMBOL	PARAMETER	FROM INPUT	TO OUTPUT	LIMITS			UNITS
				MIN	TYP	MAX	
$R_i$	Input resistance				4		k $\Omega$
$C_i$	Input capacitance				3		pF
Large-signal switching speed							
	Propagation delay						
$t_{PLHD}$	Low to high <sup>1</sup>	Amp	Output		10	15	ns
$t_{PLLO}$	High to low <sup>1</sup>	Amp	Output		8	12	
$t_{PLHS}$	Low to high <sup>2</sup>	Strobe	Output		6	13	
$t_{PLSS}$	High to low <sup>2</sup>	Strobe	Output		5	9	
$f_{MAX}$	Maximum operating frequency			25	35		MHz

## NOTES:

- Response time measured from 0V point of  $+100mV_{pp}$  10MHz square wave to the 1.5V point of the output.
- Response time measured from 1.5V point of the input to 1.5V point of the output.

## LOGIC FUNCTION TABLE

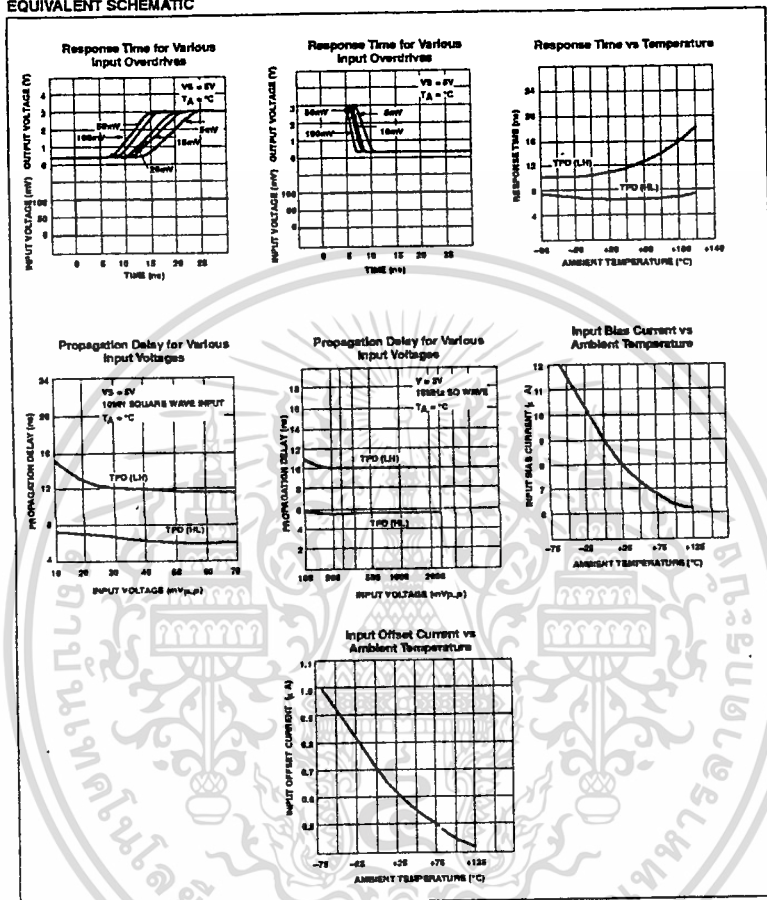
$V_{ID}$ (A*, B*)	STRS	STRG	OUTPUT TRANSISTOR
$< -V_{OS}$	H	H	ON
$-V_{OS} < V_{ID} < V_{OS}$	H	H	Undefined
$> V_{OS}$	H	H	OFF
X	L	X	OFF
X	X	L	OFF

August 31, 1994

High-speed dual-differential comparator/sense amp

NE522

EQUIVALENT SCHEMATIC



August 31, 1994

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## High frequency operational amplifier

NE/SE5539

## DESCRIPTION

The NE/SE5539 is a very wide bandwidth, high slew rate, monolithic operational amplifier for use in video amplifiers, RF amplifiers, and extremely high slew rate amplifiers.

Emitter-follower inputs provide a true differential input impedance device. Proper external compensation will allow design operation over a wide range of closed-loop gains, both inverting and non-inverting, to meet specific design requirements.

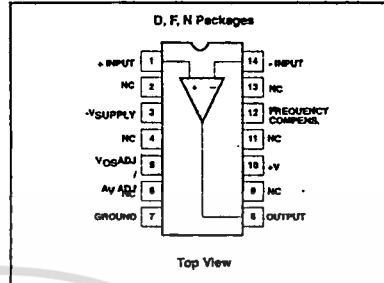
## FEATURES

- Bandwidth
  - Unity gain - 350MHz
  - Full power - 48MHz
  - GBW - 1.2GHz at 17dB
- Slew rate: 600V/μs
- $A_{VOL}$ : 52dB typical
- Low noise - 4nV/√Hz typical
- MIL-STD processing available

## APPLICATIONS

- High speed datacom
- Video monitors & TV

## PIN CONFIGURATION



- Satellite communications
- Image processing
- RF instrumentation & oscillators
- Magnetic storage
- Military communications

## ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 to +70°C	NE5539N	0405B
14-Pin Plastic Small Outline (SO) package	0 to +70°C	NE5539D	0175D
14-Pin Ceramic Dual In-Line Package	0 to +70°C	NE5539F	0581B
14-Pin Ceramic Dual In-Line Package	-55 to +125°C	SE5539F	0581B

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS<sup>1</sup>

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNITS
$V_{CC}$	Supply voltage	±12	V
$P_{DMAX}$	Maximum power dissipation, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (still-air) <sup>2</sup> F package N package D package	1.17 1.45 0.99	W W W
$T_A$	Operating temperature range NE SE	0 to 70 -55 to +125	°C °C
$T_{STO}$	Storage temperature range	-65 to +150	°C
$T_J$	Max junction temperature	150	°C
$T_{SOLD}$	Lead soldering temperature (10sec max)	+300	°C

## NOTES:

1. Differential input voltage should not exceed 0.25V to prevent excessive input bias current and common-mode voltage 2.5V. These voltage limits may be exceeded if current is limited to less than 10mA.
2. Derate above 25°C, at the following rates:  
F package at 9.3mW/°C  
N package at 11.5mW/°C  
D package at 7.5mW/°C

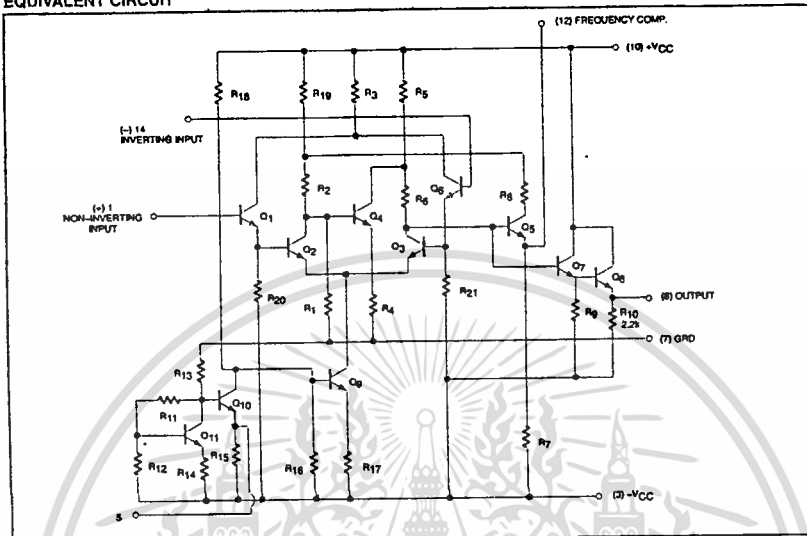
April 15, 1992

853-0814 06456

High frequency operational amplifier

NE/SE5539

EQUIVALENT CIRCUIT



DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

V<sub>CC</sub> = ±9V, T<sub>A</sub> = 25°C; unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	SE5539			NE5539			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V <sub>OS</sub>	Input offset voltage	V <sub>O</sub> = 0V, R <sub>S</sub> = 100Ω	Over temp	2	5				mV
			T <sub>A</sub> = 25°C	2	3		2.5	5	
ΔV <sub>OS</sub> /ΔT			Over temp	5					μV/°C
			T <sub>A</sub> = 25°C	0.1	3				
I <sub>OS</sub>	Input offset current		Over temp	0.1	1				μA
			T <sub>A</sub> = 25°C	0.1	1		2		
ΔI <sub>OS</sub> /ΔT			Over temp	0.5			0.5		nA/°C
			T <sub>A</sub> = 25°C	0.5			0.5		
I <sub>B</sub>	Input bias current		Over temp	6	25				μA
			T <sub>A</sub> = 25°C	5	13		5	20	
ΔI <sub>B</sub> /ΔT			Over temp	10					nA/°C
			T <sub>A</sub> = 25°C	10					
CMRR	Common mode rejection ratio	F = 1kHz, R <sub>S</sub> = 100Ω, V <sub>CM</sub> ±1.7V	Over temp	70	80		70	80	dB
			T <sub>A</sub> = 25°C	70	80		70	80	
R <sub>IN</sub>	Input impedance			100			100	kΩ	
R <sub>OUT</sub>	Output impedance			10			10	Ω	

April 15, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## High frequency operational amplifier

NE/SE5539

## DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Continued)

 $V_{CC} = \pm 6V$ ,  $T_A = 25^\circ C$ ; unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	SE5539			NE5539			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$V_{OUT}$	Output voltage swing	$R_L = 150\Omega$ to GND and $470\Omega$ to $-V_{CC}$				+2.3	+2.7		V
$V_{OUT}$	Output voltage swing	$R_L = 25\Omega$ to GND Over temp	+2.3	+3.0					V
		$R_L = 25\Omega$ to GND $T_A = 25^\circ C$	-1.5	-2.1					
$I_{CC+}$	Positive supply current	$V_O = 0$ , $R_i = \infty$ , Over temp		14	18				mA
		$V_O = 0$ , $R_i = \infty$ , $T_A = 25^\circ C$		14	17		14	18	
$I_{CC-}$	Negative supply current	$V_O = 0$ , $R_i = \infty$ , Over temp		11	15				mA
		$V_O = 0$ , $R_i = \infty$ , $T_A = 25^\circ C$		11	14		11	15	
PSRR	Power supply rejection ratio	$\Delta V_{CC} = \pm 1V$ , Over temp		300	1000				$\mu V/V$
		$\Delta V_{CC} = \pm 1V$ , $T_A = 25^\circ C$					200	1000	
$A_{VOL}$	Large signal voltage gain	$V_O = +2.3V$ , $-1.7V$ , $R_L = 150\Omega$ to GND, $470\Omega$ to $-V_{CC}$				47	52	57	dB
$A_{VOL}$	Large signal voltage gain	$V_O = +2.3V$ , $-1.7V$ Over temp							dB
		$R_L = 2\Omega$ to GND $T_A = 25^\circ C$				47	52	57	
$A_{VOL}$	Large signal voltage gain	$V_O = +2.5V$ , $-2.0V$ Over temp	46		60				dB
		$R_L = 2\Omega$ to GND $T_A = 25^\circ C$	48	53	58				

## DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC} = \pm 6V$ ,  $T_A = 25^\circ C$ ; unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	SE5539			UNITS	
			MIN	TYP	MAX		
$V_{OS}$	Input offset voltage		Over temp	2	5	mV	
			$T_A = 25^\circ C$		2		3
$I_{OS}$	Input offset current		Over temp	0.1	3	$\mu A$	
			$T_A = 25^\circ C$		0.1		1
$I_B$	Input bias current		Over temp	5	20	$\mu A$	
			$T_A = 25^\circ C$		4		10
CMRR	Common-mode rejection ratio	$V_{CM} = \pm 1.3V$ , $R_S = 100\Omega$		70	85	dB	
$I_{CC+}$	Positive supply current		Over temp	11	14	mA	
			$T_A = 25^\circ C$		11		13
$I_{CC-}$	Negative supply current		Over temp	8	11	mA	
			$T_A = 25^\circ C$		8		10
PSRR	Power supply rejection ratio	$\Delta V_{CC} = \pm 1V$	Over temp	300	1000	$\mu V/V$	
			$T_A = 25^\circ C$				
$V_{OUT}$	Output voltage swing	$R_L = 150\Omega$ to GND and $490\Omega$ to $-V_{CC}$	Over temp	+Swing	+1.4	+2.0	V
			$T_A = 25^\circ C$	-Swing	-1.1	-1.7	
				+Swing	+1.6	+2.0	
			-Swing	-1.4	-1.8		

April 15, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## High frequency operational amplifier

NE/SE5539

## AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC} = \pm 8V$ ,  $R_L = 150\Omega$  to GND and  $470\Omega$  to  $-V_{CC}$ , unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	SE5539			NE5539			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
BW	Gain bandwidth product	$A_{CL} = 7$ , $V_O = 0.1 V_{p-p}$		1200			1200		MHz
	Small signal bandwidth	$A_{CL} = 2$ , $R_L = 150\Omega^1$		110			110		MHz
$t_S$	Settling time	$A_{CL} = 2$ , $R_L = 150\Omega^1$		15			15		ns
SR	Slew rate	$A_{CL} = 2$ , $R_L = 150\Omega^1$		600			600		V/ $\mu$ s
$t_{PD}$	Propagation delay	$A_{CL} = 2$ , $R_L = 150\Omega^1$		7			7		ns
	Full power response	$A_{CL} = 2$ , $R_L = 150\Omega^1$		48			48		MHz
	Full power response	$A_V = 7$ , $R_L = 150\Omega^1$		20			20		MHz
	Input noise voltage	$R_S = 50\Omega$ , 1MHz		4			4		nV/ $\sqrt{Hz}$
	Input noise current	1MHz		6			6		pA/ $\sqrt{Hz}$

## NOTES:

- External compensation.

## AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

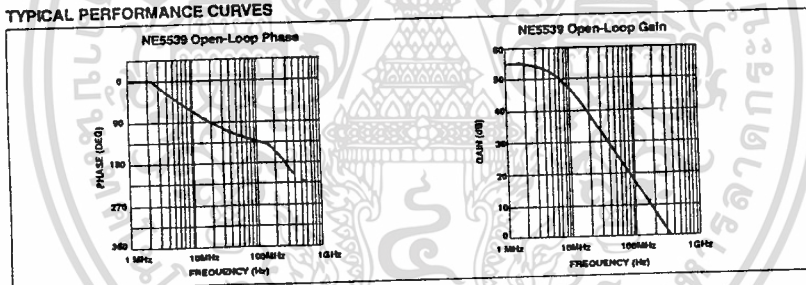
 $V_{CC} = \pm 6V$ ,  $R_L = 150\Omega$  to GND and  $390\Omega$  to  $-V_{CC}$ , unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	SE5539			UNITS
			MIN	TYP	MAX	
BW	Gain bandwidth product	$A_{CL} = 7$		700		MHz
	Small signal bandwidth	$A_{CL} = 2^1$		120		ns
$t_S$	Settling time	$A_{CL} = 2^1$		23		V/ $\mu$ s
SR	Slew rate	$A_{CL} = 2^1$		330		ns
$t_{PD}$	Propagation delay	$A_{CL} = 2^1$		4.5		MHz
	Full power response	$A_{CL} = 2^1$		20		

## NOTES:

- External compensation.

## TYPICAL PERFORMANCE CURVES



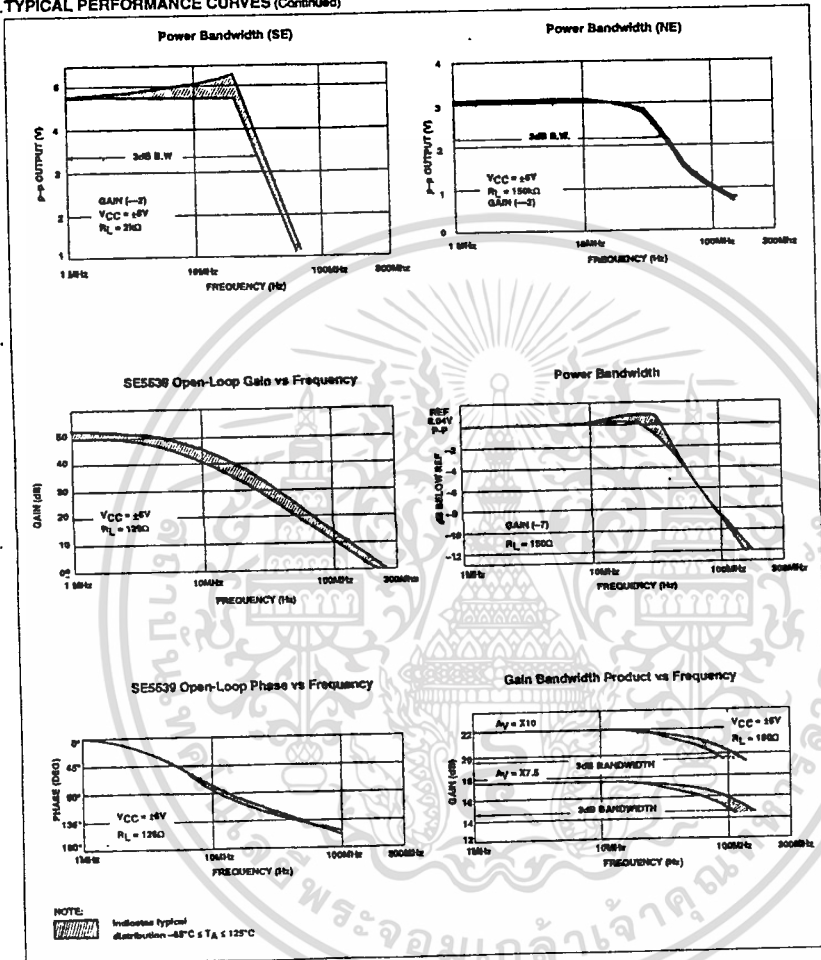
April 15, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High frequency operational amplifier

NE/SE5539

TYPICAL PERFORMANCE CURVES (Continued)



April 15, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

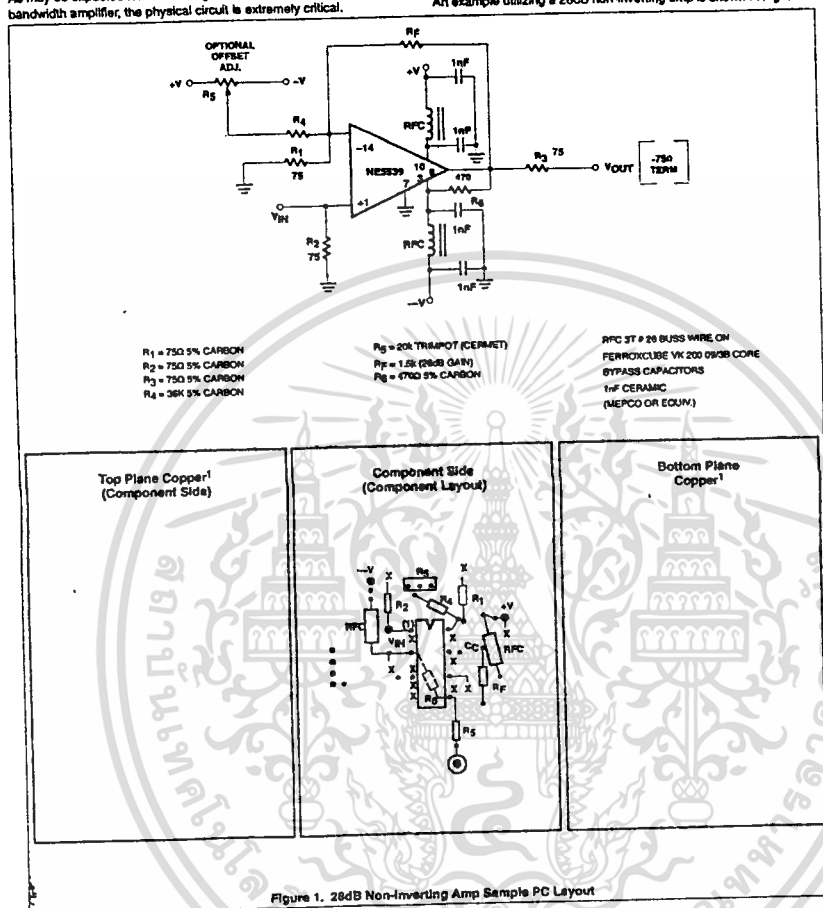
## High frequency operational amplifier

NE/SE5539

## CIRCUIT LAYOUT CONSIDERATIONS

As may be expected for an ultra-high frequency, wide-gain bandwidth amplifier, the physical circuit is extremely critical.

Bread-boarding is not recommended. A double-sided copper-clad printed circuit board will result in more favorable system operation. An example utilizing a 28dB non-inverting amp is shown in Figure 1.



April 15, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## High frequency operational amplifier

NE/SE5539

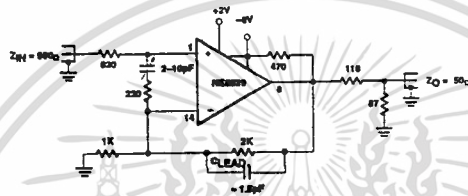
Figure 5. Differential Gain  $+0.1^\circ$ 

Figure 6. Non-Inverting Follower

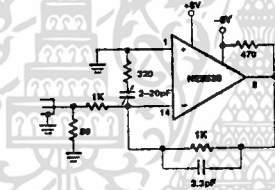


Figure 7. Inverting Follower

April 15, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MOTOROLA**  
**SEMICONDUCTOR**  
 TECHNICAL DATA

**Fiber Optics — FLCS Family**  
**Photo Detector**  
**Diode Output**

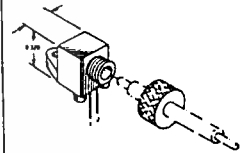
... designed for low cost, short distance Fiber Optic Systems using 1000 micron core plastic fiber.

Typical applications include: high isolation interconnects, disposable medical electronics, consumer products, and microprocessor controlled systems such as coin operated machines, copy machines, electronic games, industrial clothes dryers, etc.

- Fast PIN Photodiode: Response Time < 5 ns
- Ideally Matched to MFOE76 Emitter for Plastic Fiber Systems
- Annular Passivated Structure for Stability and Reliability
- FLCS Package
  - Includes Connector
  - Simple Fiber Termination and Connection (Figure 4)
  - Easy Board Mounting
  - Molded Lens for Efficient Coupling
  - Mates with 1000 Micron Core Plastic Fiber (Eska SH4001)

**MFOD71**

**FLCS FAMILY**  
**FIBER OPTICS**  
**PHOTO DETECTOR**  
**DIODE OUTPUT**



**CASE 363B-01**  
**PLASTIC**

5

**MAXIMUM RATINGS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	MFOD71 $V_R$	100	Volts
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	150 2	mW mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-40 to +100	°C

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Dark Current ( $V_R = 20\text{ V}, R_L = 1\text{ M}\Omega, T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 85^\circ\text{C}$ )	$I_D$	—	0.06 10	10 —	nA
Reverse Breakdown Voltage ( $I_R = 10\ \mu\text{A}$ )	$V_{(BR)R}$	50	100	—	Volts
Forward Voltage ( $I_F = 50\text{ mA}$ )	$V_F$	—	—	1.1	Volts
Series Resistance ( $I_F = 50\text{ mA}$ )	$R_S$	—	8	—	Ohms
Total Capacitance ( $V_R = 20\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$ )	$C_T$	—	3	—	pF

**OPTICAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )

	R	0.15	0.2	—	$\mu\text{A}/\mu\text{W}$
Responsivity ( $V_R = 5\text{ V}$ , Figure 2)					
Response Time ( $V_R = 5\text{ V}, R_L = 50\ \Omega$ )	$t_{(resp)}$	—	5	—	ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MFOD71

## TYPICAL COUPLED CHARACTERISTICS

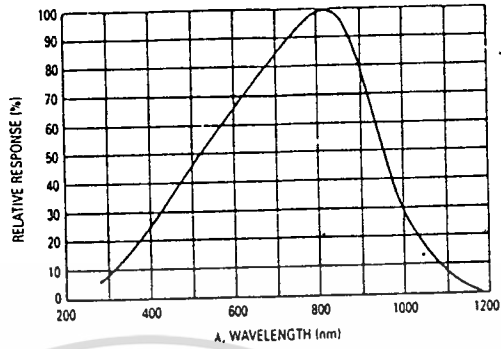


Figure 1. Relative Spectral Response

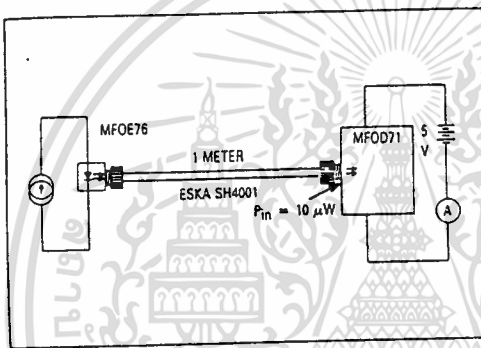


Figure 2. Responsivity Test Configuration

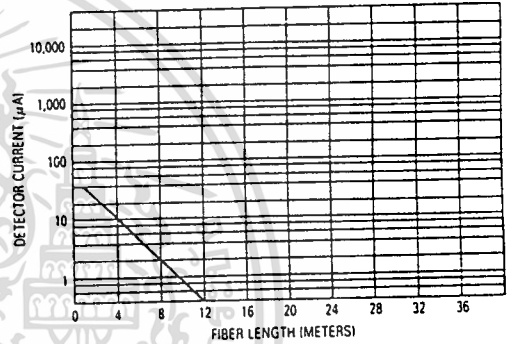


Figure 3. Detector Current versus Fiber Length

The system length achieved with a MFOE76 emitter and various detectors, using 1000 micron core plastic fiber (Eska SH4001 or equivalent), depends on the LED forward

current ( $I_f$ ) and the responsivity of the detector chosen. Each detector will perform with the MFOE76 up to the distances shown below.

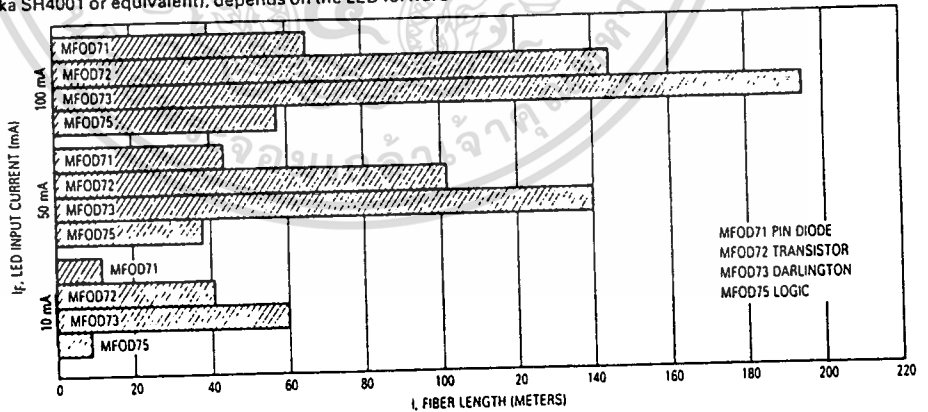


Figure 4. MFOE76 Working Distances

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MFOD71

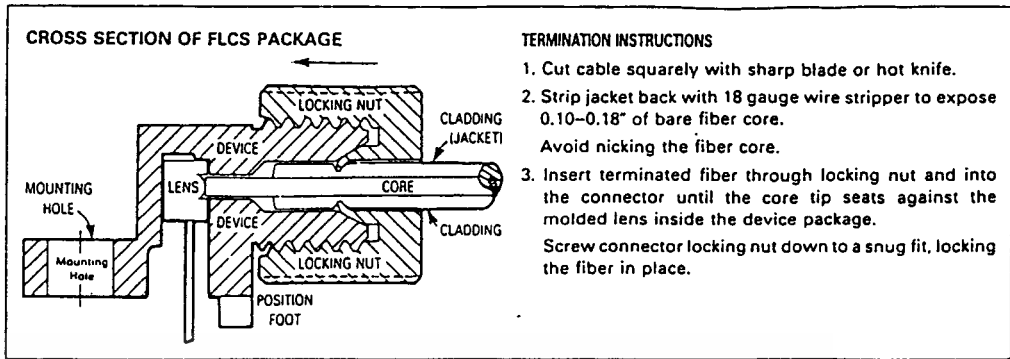


Figure 5. FO Cable Termination and Assembly

INPUT SIGNAL CONDITIONING

The following circuits are suggested to provide the desired forward current through the emitter.

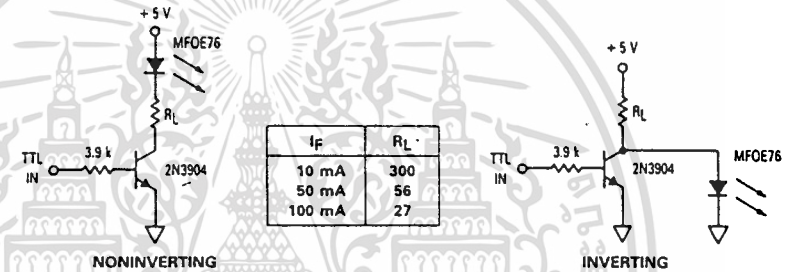


Figure 6. TTL Transmitters

OUTPUT SIGNAL CONDITIONING

The following circuit is suggested to take the MFOD71 detector output and condition it to drive TTL with an acceptable bit error rate.

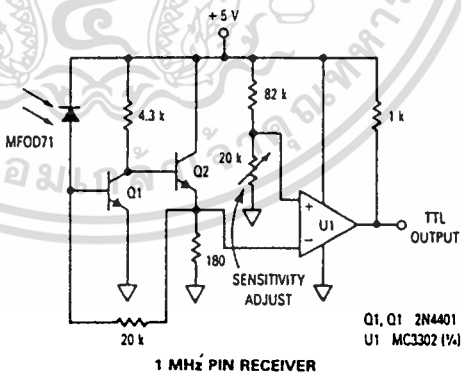


Figure 7. TTL Receiver

5

MFOD71

### OUTLINE DIMENSIONS

**NOTES:**

1. Y AND Z ARE DATUM DIMENSIONS AND T IS A DATUM SURFACE.
2. POSITIONAL TOLERANCE FOR D Ø (2 PL):  
 $\pm 0.25 (0.010) \text{ (T | Y | Z)}$
3. POSITIONAL TOLERANCE FOR F DIMENSION (2 PL):  
 $\pm 0.25 (0.010) \text{ (T | Y | Z)}$
4. POSITIONAL TOLERANCE FOR H DIMENSION (2 PL):  
 $\pm 0.25 (0.010) \text{ (T | Y | Z)}$
5. POSITIONAL TOLERANCE FOR Ø Ø:  
 $\pm 0.25 (0.010) \text{ (T | Y | Z)}$
6. POSITIONAL TOLERANCE FOR Ø:  
 $\pm 0.25 (0.010) \text{ (T)}$
7. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1992.
8. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

STYLE 3.  
PIN 1. CATHODE  
2. ANODE

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	19.30	21.33	0.760	0.840
B	9.14	9.39	0.360	0.370
C	7.62	8.12	0.300	0.320
D	1.52	1.62	0.061	0.064
E	2.41	2.66	0.095	0.105
F	0.43	0.58	0.017	0.023
G	2.54 BSC		0.100 BSC	
H	0.33	0.45	0.013	0.018
J	7.62 BSC		0.300 BSC	
K	9.91	11.43	0.390	0.450
L	1.14	1.65	0.045	0.065
M	2.54 BSC		0.100 BSC	
O	3.05	3.30	0.120	0.130
R	7.62	8.12	0.300	0.320
S	5.08 BSC		0.200 BSC	
U	0.64	0.91	0.025	0.036
V	6.86	7.11	0.270	0.280
W	5.08 BSC		0.200 BSC	
X	10.67	11.56	0.420	0.455

**CASE 363B-01  
PLASTIC**

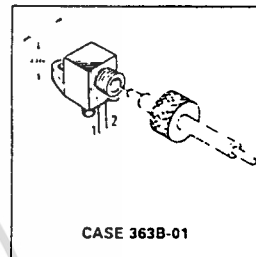


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MOTOROLA**  
**SEMICONDUCTOR**  
**TECHNICAL DATA**
**Fiber Optics — FLCS Family**  
**Visible Red LED**
**MFOE76**
**FLCS FAMILY**  
**FIBER OPTICS**  
**VISIBLE RED**  
**LED**  
**660 nm**

This device is designed for low cost, medium frequency, fiber optic systems using 1000 micron core plastic fiber. It is compatible with Motorola's wide variety of detector functions from the MFOD70 series. The MFOE76 employs gallium aluminum technology, and comes pre-assembled into the convenient and popular FLCS connector.

- Low Cost
- Very Simple Fiber Termination and Connection. See Figure 9
- Convenient Printed Circuit Mounting
- Integral Molded Lens for Efficient Coupling
- Mates with 1000 Micron Core Plastic Fiber, such as Eska SH4001

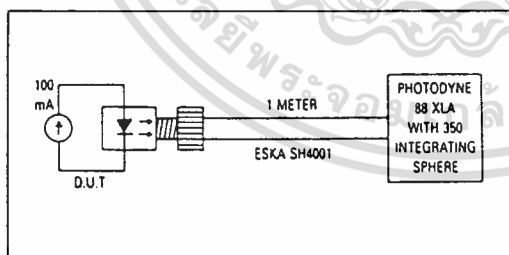
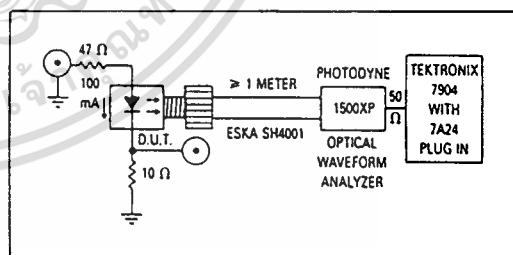


5

**MAXIMUM RATINGS**

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	$V_R$	5	Volts
Forward Current — Continuous	$I_F$	60	mA
Forward Current — Peak Pulse	$I_{FP}$	1	A
Total Power Dissipation † $T_A = 25^\circ\text{C}$ (1) Derate above $35^\circ\text{C}$	$P_D$	132 2	mW mW/°C
Ambient Operating Temperature Range	$T_A$	-40 to +100	°C
Storage Temperature	$T_{stg}$	-40 to +100	°C
Lead Soldering Temperature (2)	—	260	°C

Notes: 1. Measured with device soldered into a typical printed circuit board.  
2. 5 seconds max., 1/16 inch from case.


**Figure 1. Power Launched Test Setup**

**Figure 2. Optical Turn-On and Turn-Off Test Setup**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะผิดใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MFOE76

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Reverse Leakage Current ( $V_R = 3\text{ V}$ )	$I_R$	—	100	—	nA
Reverse Leakage Current ( $V_R = 5\text{ V}$ )	$I_R$	—	10	100	$\mu\text{A}$
Forward Voltage ( $I_F = 60\text{ mA}$ )	$V_F$	—	1.8	2.2	V
Temperature Coefficient of Forward Voltage	$\Delta V_F$	—	-2.2	—	mV/K
Capacitance ( $f = 1\text{ MHz}$ )	C	—	50	—	pF

OPTICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Peak Wavelength ( $I_F = 60\text{ mA}$ )	$\lambda_p$	—	660	—	nm
Instantaneous Power Launched ( $I_F = 100\text{ mA}$ , Figure 1)	PL	200	540	—	$\mu\text{W}$
Optical Turn-On Time (Figure 2)	$t_{on}$	—	200	—	ns
Optical Turn-Off Time (Figure 2)	$t_{off}$	—	150	—	ns
Half-Power Electrical Bandwidth (1)	BWe	—	6	—	MHz

(1)  $I_F = 100\text{ mA}$  pk-pk, 100% modulation.

TYPICAL CHARACTERISTICS

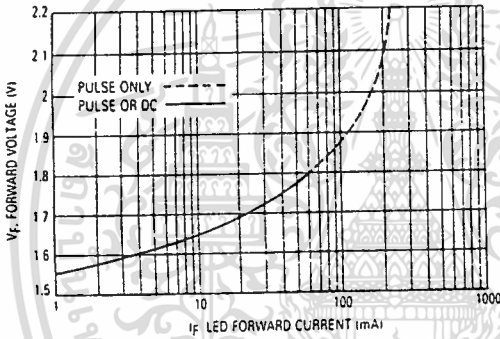


Figure 3. Forward Voltage versus Forward Current

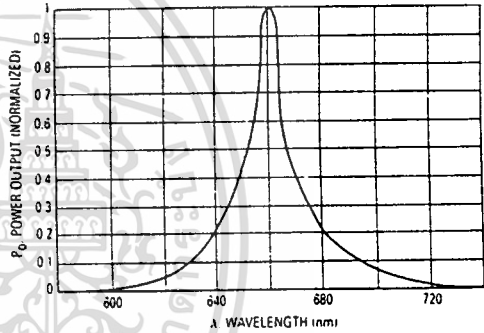


Figure 4. Relative Spectral Output

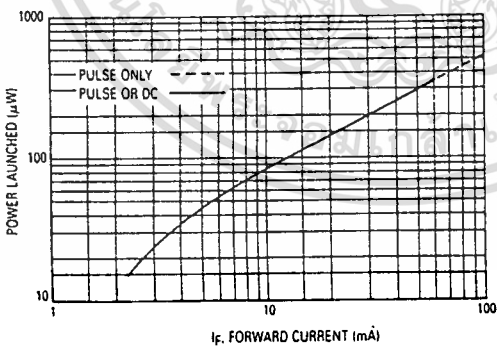


Figure 5. Power Launched versus LED Forward Current

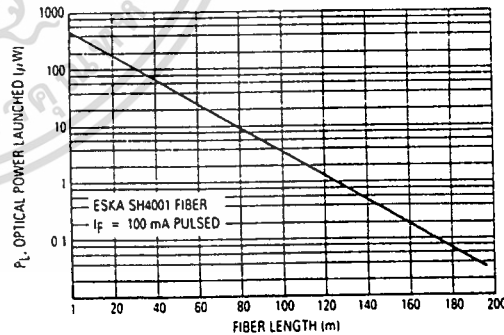


Figure 6. Power Launched versus Fiber Length

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MFOE76

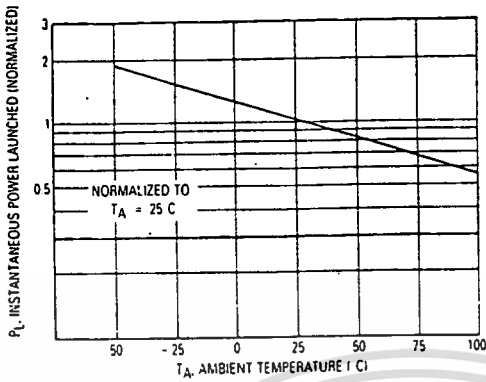


Figure 7. Instantaneous Power Output versus Ambient Temperature

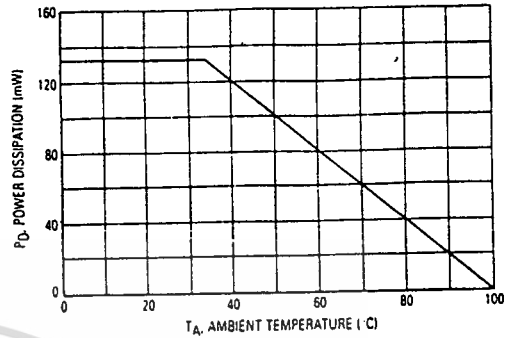


Figure 8. Power Dissipation

The system length achieved with a MFOE76 emitter and various detectors, using 1000 micron core plastic fiber (Eska SH4001 or equivalent), depends on the LED forward

current ( $I_f$ ) and the responsivity of the detector chosen. Each detector will perform with the MFOE76 up to the distances shown below.

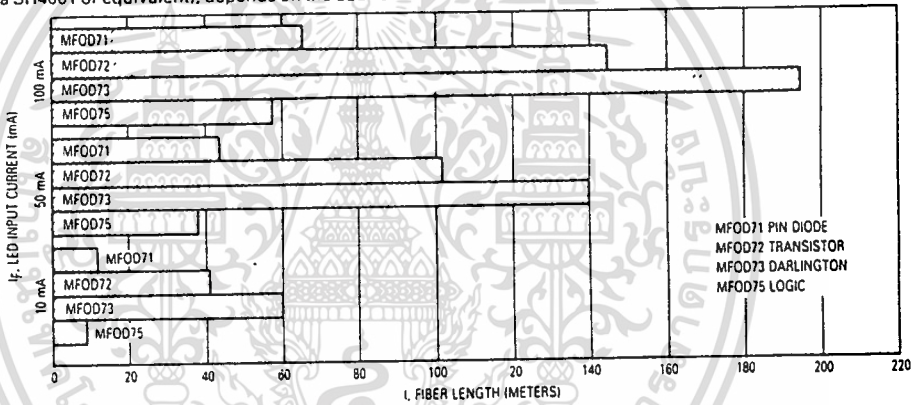


Figure 9. MFOE76 Working Distances

5

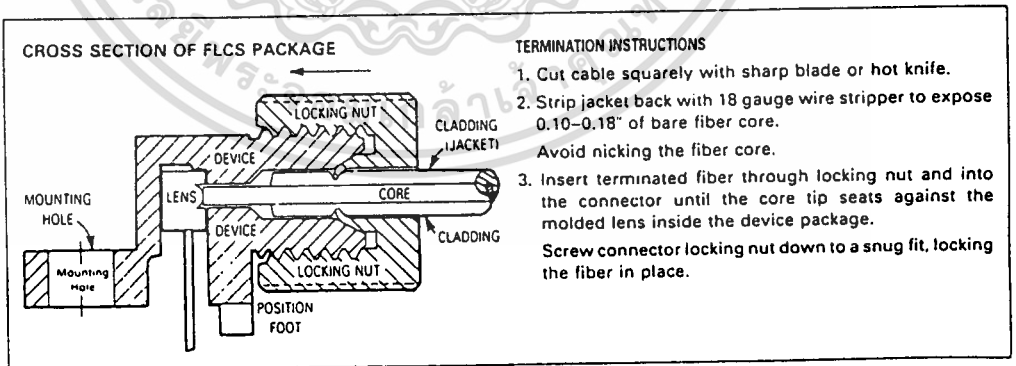


Figure 10. FO Cable Termination and Assembly

MFOE76

### OUTLINE DIMENSIONS

**NOTES:**

1. Y AND Z ARE DATUM DIMENSIONS AND T IS A DATUM SURFACE.
2. POSITIONAL TOLERANCE FOR D Ø (2 PL):  
 $\pm 0.25 \text{ (0.010)} \text{ (T | Y | Z)}$
3. POSITIONAL TOLERANCE FOR F DIMENSION (2 PL):  
 $\pm 0.25 \text{ (0.010)} \text{ (T | Y | Z)}$
4. POSITIONAL TOLERANCE FOR H DIMENSION (2 PL):  
 $\pm 0.25 \text{ (0.010)} \text{ (T | Y | Z)}$
5. POSITIONAL TOLERANCE FOR Q Ø:  
 $\pm 0.25 \text{ (0.010)} \text{ (T | Y | Z)}$
6. POSITIONAL TOLERANCE FOR B:  
 $\pm 0.25 \text{ (0.010)} \text{ (T)}$
7. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
8. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	19.30	21.31	0.760	0.840
B	9.14	9.79	0.360	0.370
C	7.62	8.12	0.300	0.320
D	1.55	1.62	0.061	0.064
E	2.41	2.66	0.095	0.105
F	0.43	0.58	0.017	0.023
G	2.54 BSC		0.100 BSC	
H	0.33	0.45	0.013	0.018
J	2.54 BSC		0.300 BSC	
K	9.91	11.43	0.390	0.450
L	1.14	1.65	0.045	0.065
M	2.54 BSC		0.100 BSC	
Q	2.05	3.30	0.120	0.130
R	7.62	8.12	0.300	0.320
S	5.08 BSC		0.200 BSC	
U	0.68	0.91	0.026	0.036
V	8.86	7.11	0.270	0.280
W	5.08 BSC		0.200 BSC	
X	10.87	11.55	0.428	0.455

STYLE 1:  
PIN 1. ANODE  
2. CATHODE

**CASE 3638-01  
PLASTIC**



## ประวัติผู้เขียน

นายคณิศ รัตรอดกิจ เกิดวันที่ 6 เมษายน พ.ศ.2508 ที่อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่โรงเรียนวัดเบญจมบพิตร อำเภอคูสิต จังหวัดกรุงเทพ ฯ เมื่อปี พ.ศ. 2527 และสำเร็จการศึกษาปริญญาตรีคณะวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ปีการศึกษา 2532 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ไฟฟ้ามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้