



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อ ชุดทดลองการรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง  
 Optical fiber Demonstrator

ชื่อนักศึกษา 1. นายวัฒนา สวัสดิ์ รหัสประจำตัว 48035291  
 2. นายวิรุทธิ์ เทียบกิ่ง รหัสประจำตัว 48035292  
 3. นายวีระฉัตร จันท์โท รหัสประจำตัว 48035293

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต  
 สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม  
 อาจารย์ที่ปรึกษา อ.อมรชัย ชัยชนะ  
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.สมชาย หมื่นสายญาติ

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. อ.อมรชัย ชัยชนะ	
2. รศ.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์	
3. อ.สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี	
4. อ.อำพล ทองระอา	
5. อ.สุขสันต์ พาณิชพาพิบูล	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 12 เดือนเมษายน พ.ศ. 2550 เวลา 10.00 น.  
 สถานที่สอบ ห้อง ค.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(รศ.สุรสิทธิ์ รัตวี)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
 วันที่ 30 เดือน 6 พ.ศ. 50



<BT492192>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

## ปริญญาานิพนธ์

ชุดทดลองการรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

OPTICAL FIBER DEMONSTRATOR



รฟ.  
๐๓๙๙๖  
๒๕๔๙

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... **75161** .....  
วัน,เดือน,ปี... **24...๓.๓...2550** .....

b. **1181112**  
i.....

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ชุดทดลองการรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง  
Optical Fiber Demonstrator

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างชุดฝึกประกอบการทดลองการสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง
2. เพื่อให้ได้ชุดฝึกทดลองที่มีความเหมาะสมกับการทดลองการสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง
3. เพื่อลดงบประมาณในการสั่งซื้อชุดทดลองจากต่างประเทศของสถาบัน
4. เพื่อให้นักศึกษาได้ผลการทดลองที่มีประสิทธิภาพหลังจากทำการทดลองปฏิบัติการสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง
5. เพื่อให้นักศึกษาได้ทำการปฏิบัติการทดลองการสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสงโดยใช้ชุดฝึกในการทดลองที่มีประสิทธิภาพ

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สร้างชุดฝึกประกอบการทดลองการสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง
2. ได้ชุดฝึกทดลองที่มีความเหมาะสมกับการทดลองการสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง
3. ลดงบประมาณในการสั่งซื้อชุดทดลองจากต่างประเทศของสถาบัน
4. ได้ผลการทดลองที่มีประสิทธิภาพหลังจากทำการทดลองปฏิบัติการสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง
5. ได้ทำการปฏิบัติการทดลองการสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสงโดยใช้ชุดฝึกในการทดลองที่มีประสิทธิภาพ

ชื่อหัวข้อ	ชุดทดลองการรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง	
นักศึกษา	นายวัฒนา	สวัสดิ์
	นายวิรุทธิ์	เทียบกิ่ง
	นายวีระฉัตร	จุ่นหัวโหนด
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์อมรชัย	ชัยชนะ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.สมชาย	หมื่นสายญาติ
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม	
ปีการศึกษา	2549	

### บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เสนอชุดทดลองการรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมดเพื่อใช้ในการประกอบการเรียนการสอนวิชาการสื่อสารเส้นใยแสง ซึ่งประกอบด้วยชุดส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยใช้วิธีการมอดูเลตและดีมอดูเลตแบบต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยการมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์และการดีมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์ นอกจากนี้ยังประกอบด้วยชุดทดลองอื่นๆ อีกเช่น การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาและการดีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา การส่งสัญญาณเสียงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงโดยใช้ไฟโตไดโอดและอุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยจะใช้ไฟโตทรานซิสเตอร์ผ่านเส้นใยแก้วนำแสงเป็นชนิดหลายโหมด

## II

<b>Thesis Title</b>	Optical Fiber Demonstrator	
<b>Students</b>	Mr.Wattana	Sawatdee
	Mr.Weerachat	Junhuathon
	Mr.Wirut	Thiapkung
<b>Advisor</b>	Mr.Amornchai	Chaichana
<b>Co - Advisor</b>	Dr.Somchai	Maunsaiyat
<b>Education Level</b>	Bachelor of Science in Industrial Education	
<b>Program in</b>	Telecommunication Engineering	
<b>Academic Year</b>	2006	

### ABSTRACT

This thesis presents the project of optical fiber demonstrator. It was an education demonstrator equipment. It consists of Transmission transmit to pass optical fiber using modulator and demodulator. Modulator method consists of the pull code modulator pass of demodulator method was composed of the pull code demodulator. The project includes other part : Time division multiplex. Time division demultiplex and transmit voice signal pass optical fiber with equipment to change electrical signal to light with photodiode and equipment to change light signal to electrical signal with phototransistor using signal optical fiber.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ดีนั้น เนื่องจากความร่วมมือร่วมใจของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณที่อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ ดร.สมชาย หมั่นสายญาติ อาจารย์ปิยะ ศุภวาราสวัสดิ์ และคณะอาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่านเป็นอย่างมากที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนข้อมูลและอุปกรณ์ที่เป็นประโยชน์ต่อการทดลองโครงการและจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์และสำนักหอสมุดกลางที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการค้นคว้าข้อมูล

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และผู้มีพระคุณสำหรับพวกเราที่ได้ให้การสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างทางด้านการศึกษามาตลอดชีวิตจนถึงปัจจุบัน และสุดท้ายต้องขอขอบพระคุณเพื่อนๆ ที่เป็นกำลังใจให้เสมอมา



## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 จุดมุ่งหมายของโครงการ	1
1.3 สมมุติฐานของการจัดทำโครงการ	2
1.4 ขีดความสามารถของโครงการ	2
1.5 ขั้นตอนของการทำโครงการ	2
1.6 เนื้อหาโดยสังเขป	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 บทนำ	4
2.2 การส่งสัญญาณข้อมูลผ่านเส้นใยแก้วนำแสง	4
2.2.1 เส้นใยแก้วนำแสงคืออะไร	4
2.2.2 การเดินทางของแสง	4
2.3 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง	5
2.3.1 การแบ่งชนิดตามสารไดอิเล็กทริกที่ใช้	5
2.3.2 การแบ่งตามจำนวนโหมดในการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสง	6
2.3.3 การแบ่งตามลักษณะของดัชนีการหักเห	7
2.4 คุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสง	8
2.4.1 ความสามารถในการรับส่งข้อมูลข่าวสาร	8
2.4.2 กำลังสูญเสียต่ำ	8
2.4.3 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไม่สามารถรบกวนได้	9
2.4.4 น้ำหนักเบา	9
2.4.5 ขนาดเล็ก	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.4.6 มีความปลอดภัยในเรื่องข้อมูลสูงกว่า	9
2.4.7 มีความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน	9
2.5 อุปกรณ์กำเนิดแสง	9
2.5.1 การเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสง	9
2.5.2 สารที่ใช้ในการสร้างและโครงสร้างของอุปกรณ์กำเนิดแสง	15
2.6 อุปกรณ์รับแสง	16
2.6.1 การเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า	16
2.6.2 สารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง	18
2.6.3 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง	21
2.7 หัวต่อ	22
2.7.1 หัวต่อชนิดเอสที (ST Connector)	23
2.7.2 หัวต่อชนิดเอฟซี (FC Connector)	24
2.7.3 หัวต่อชนิดเอสซี (SC Connector)	24
2.8 การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา	25
2.9 การเปลี่ยนแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบ PCM	26
2.9.1 การสุ่มตัวอย่าง	26
2.9.2 การจัดระดับสัญญาณ	28
2.9.3 การเข้ารหัสฐานสอง	29
2.9.4 การถอดรหัสและการกรองความถี่	29
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	32
3.1 การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา	32
3.1.1 การออกแบบการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา	32
3.1.2 การสร้างวงจรมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา	33
3.2 การดีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา	35
3.2.1 การออกแบบวงจรดีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา	35
3.2.2 การสร้างวงจรดีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา	35
3.3 การมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์	37
3.3.1 การออกแบบวงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.3.2 การสร้างวงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์	39
3.4 วงจรดีมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์	39
3.4.1 การออกแบบวงจรดีมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์	39
3.4.2 การสร้างวงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์	42
3.5 วงจรผลิตความถี่	42
3.5.1 การออกแบบวงจรผลิตความถี่	42
3.5.2 การสร้างวงจรมอดูเลตความถี่	43
3.6 วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง	43
3.6.1 การออกแบบวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง	43
3.6.2 การสร้างวงจรมอดูเลตสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง	44
3.7 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า	45
3.7.1 การออกแบบวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า	45
3.7.2 การสร้างวงจรมอดูเลตสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า	45
3.8 วงจรแหล่งจ่ายไฟ	46
3.8.1 การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟ	46
3.8.2 การสร้างวงจรมอดูเลตแหล่งจ่ายไฟ	48
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	49
4.1 การทดลองและผลการทดลองการส่งสัญญาณต่างๆ ผ่านเส้นใยแก้วนำแสง	49
4.1.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง	49
4.1.2 ผลการทดลอง	49
4.2 การทดลองและผลการทดลองวงจรมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาและวงจรมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา	53
4.2.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง	53
4.2.2 ผลการทดลอง	53
4.3 การทดลองและผลการทดลองวงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์และวงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์	58
4.3.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง	58
4.3.2 ผลการทดลอง	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 บทสรุป	61
5.1 สรุป	61
5.2 ปัญหาและวิธีการแก้ไข	62
5.3 แนวทางการพัฒนา	62
บรรณานุกรม	63
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	64
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	68
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	86
ภาคผนวก ง รายการละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์	95
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน	120
ภาคผนวก ฉ ใบงานการทดลอง	125
ประวัติผู้แต่ง	156

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง	6
2.2 เปรอ์เซ็นต์ค่าการสูญเสียต่างๆ	22



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการเดินทางของแสงในเส้นใยแก้วนำแสง	5
2.2 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโมดเดียว	6
2.3 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมด	7
2.4 โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง	8
2.5 โครงสร้างของอีเลคตรอน	10
2.6 ระดับและขั้นตอนของการถ่ายเทพลังงาน	10
2.7 ระดับพลังงานในสารกึ่งตัวนำ	12
2.8 หลักการออกซิเลชันของแสง	13
2.9 การเกิดคลื่นนิ่งของแสง	14
2.10 ความยาวคลื่นแสงของเลเซอร์	14
2.11 ความยาวคลื่นแสงของแอลอีดี	15
2.12 ความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาของสารประกอบกึ่งตัวนำ	16
2.13 ระดับพลังงานของสารชนิดพีและเอ็น	17
2.14 ดีพลีชันโซน	17
2.15 ความยาวคลื่นในการรับแสงของอุปกรณ์แต่ละชนิด	19
2.16 หลักการทำงานการรับแสงและระดับพลังงานของพินโฟโตไดโอด	20
2.17 หลักการทำงานการรับแสงและระดับพลังงานของอวาแลนซ์โฟโตไดโอด	20
2.18 หัวต่อชนิดเอสที	23
2.19 หัวต่อชนิดเอฟซี	24
2.20 หัวต่อชนิดเอสซี	25
2.21 การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา	26
2.21 (ต่อ) การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา	26
2.22 การเปลี่ยนสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	27
2.23 การสุ่มตัวอย่างสัญญาณเสียง	27
2.24 สัญญาณ PAM	28
2.25 การจัดระดับสัญญาณ	28
2.26 ระบบการทวนสัญญาณแบบสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่	29
2.27 การเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนาลอก	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.28 ขบวนการถอดรหัส	30
2.29 ขบวนการกรองความถี่	31
2.30 กระบวนการเปลี่ยนสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	31
3.1 ผังการทำงานของมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาด้านส่ง	32
3.2 วงจรมัลติเพล็กซ์ 4 ช่อง	34
3.3 ผังการทำงานของมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาด้านรับ	35
3.4 วงจรดีมอดูเลตการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา	36
3.4 (ต่อ) วงจรดีมอดูเลตการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา	37
3.5 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา	37
3.6 วงจรเข้ารหัสพัลส์	38
3.7 วงจรขยายสัญญาณเข้ารหัสพัลส์	40
3.8 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาปลายทาง	40
3.9 วงจรถอดรหัสสัญญาณพัลส์	41
3.10 วงจรผลิตความถี่	42
3.11 วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงโดยใช้ทรานซิสเตอร์ขยายส่งด้วยแอลอีดี	44
3.12 วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงโดยใช้ไอซีขยายส่งด้วยแอลอีดี	45
3.13 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้ารับโดยโฟโตไดโอดใช้ไอซีขยาย	45
3.14 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้ารับโดยโฟโตไดโอดใช้ทรานซิสเตอร์ขยาย	46
3.15 วงจรแหล่งจ่ายไฟ	47
4.1 สัญญาณอินพุตรูปคลื่นไซน์	50
4.2 สัญญาณเอาต์พุตของภาครับสัญญาณ	50
4.3 สัญญาณอินพุตรูปคลื่นสามเหลี่ยม	51
4.4 สัญญาณเอาต์พุตของภาครับสัญญาณ	51
4.5 สัญญาณอินพุตรูปคลื่นสี่เหลี่ยม	52
4.6 สัญญาณเอาต์พุตของภาครับสัญญาณ	52
4.7 สัญญาณการเข้าจังหวะ	54
4.8 สัญญาณการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 1 ช่องสัญญาณ	54
4.9 สัญญาณการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 4 ช่องสัญญาณ	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 สัญญาณหาพิการวจรนับความถี่ 225 กิโลเฮิรตซ์	55
4.11 สัญญาณการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 4 ช่องสัญญาณขณะผ่านเส้นใยแก้วนำแสง (ช่องที่ 1)	56
4.11 (ต่อ) สัญญาณการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 4 ช่องสัญญาณขณะผ่านเส้นใยแก้วนำแสง (ช่องที่ 2)	56
4.11 (ต่อ) สัญญาณการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 4 ช่องสัญญาณขณะผ่านเส้นใยแก้วนำแสง (ช่องที่ 3)	57
4.11 (ต่อ) สัญญาณการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 4 ช่องสัญญาณขณะผ่านเส้นใยแก้วนำแสง (ช่องที่ 4)	57
4.12 สัญญาณอินพุตรูปไซน์ความถี่ 1,500 เฮิรตซ์	58
4.13 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์	59
4.14 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์	59
4.15 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์	60

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้การติดต่อสื่อสารสามารถทำได้หลายทาง เช่น วิทยุติดตามตัว โทรศัพท์มือถือ จดหมาย อีเลคทรอนิกส์ โทรสาร ดาวเทียม ฯลฯ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นที่ขาดไม่ได้ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ทุกๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นงานทางด้านธุรกิจ การธนาคาร ความบันเทิง การทหาร ตลอดจนกระทั่งสาธารณสุขประโยชน์ต่างๆ ซึ่งระบบสื่อสารต่างๆ ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอดเพื่อความสะดวกสบายของมนุษย์ เราอาจจะเห็นได้ว่าในสมัยแรกๆ ระบบสื่อสารนั้นจะใช้สายเคเบิล ซึ่งมีขนาดของสายใหญ่ไม่เหมาะสมกับการสื่อสารที่มีระยะทางไกลๆ และคลื่นวิทยุเป็นพาหะซึ่งมีข้อจำกัดในการใช้งาน เช่น คลื่นวิทยุที่ใช้ความถี่หนาแน่นจนไม่มีความถี่ว่างหรือความถี่ในการสื่อสารอาจเต็มหมด ทำให้การติดต่อสื่อสารเป็นไปด้วยความลำบาก ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาระบบสื่อสารให้มีขีดความสามารถมากขึ้น ซึ่งการพัฒนานี้จึงนำมาสู่การสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber)

ในการติดต่อสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง คือ การส่งข้อมูลข่าวสารผ่านตัวกลางที่เป็นเส้นใยแก้วนำแสงไปยังผู้รับ โดยใช้ตัวกำเนิดแสง เช่น เลเซอร์ไดโอดหรือแอลอีดี เพื่อเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าที่จะส่งออกเป็นสัญญาณแสง โดยภาครับก็จะเปลี่ยนสัญญาณแสงกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม ข้อดีของการติดต่อสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง คือ มีการสูญเสียต่ำ มีแบนด์วิดท์กว้าง มีขนาดเล็ก ไม่มีการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า ไม่เป็นสนิม ประหยัดและสามารถส่งข้อมูลได้มาก เนื่องจากแสงมีความถี่สูงทำให้สามารถบรรจุข้อมูลข่าวสารได้มาก จึงเป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน

ซึ่งสถาบันการศึกษาต่างๆ ก็ได้มีการเรียนการสอนเกี่ยวกับการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ในการเรียนส่วนใหญ่จะเรียนกันเฉพาะภาคทฤษฎีเท่านั้น ไม่มีโอกาสที่จะได้ทดลองกับของจริงทำให้นักศึกษายังขาดความเข้าใจ ทั้งนี้อาจจะเกิดจากการขาดอุปกรณ์ที่จะใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน หรือวัสดุช่วยสอน เกี่ยวกับการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ดังนั้นจึงทำการออกแบบสร้างชุดทดลองการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ขึ้นมาเพื่อช่วยสร้างความเข้าใจในการเรียนการสอนมากขึ้น

### 1.2 จุดมุ่งหมายของโครงการ

1. เพื่อสร้างชุดฝึกประกอบการทดลองการสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง
2. เพื่อให้ได้ชุดฝึกทดลองที่มีความเหมาะสมกับการทดลองการสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง
3. เพื่อลดงบประมาณในการสั่งซื้อชุดทดลองจากต่างประเทศของสถาบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เพื่อให้นักศึกษาได้ผลการทดลองที่มีประสิทธิภาพหลังจากทำการทดลองปฏิบัติการสื่อสารเส้นใยแสง

5. เพื่อให้นักศึกษาได้ทำการปฏิบัติการทดลองการสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสงโดยใช้ชุดฝึกในการทดลองที่มีประสิทธิภาพ

### 1.3 สมมุติฐานของการจัดทำโครงการ

เมื่อผ่านการเรียนและทำการทดลองตามใบงานในโครงการนี้แล้ว ผู้เรียนมีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับการส่งข้อมูลผ่านเส้นใยแก้วนำแสง สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการทำงานตลอดจนการศึกษาต่อในระดับที่สูงขึ้นไปได้

### 1.4 ขีดความสามารถของโครงการ

โครงการนี้มีขีดความสามารถดังนี้

1. ใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสตรง 220 โวลต์ 50 เฮิรตซ์
2. ใช้กับเส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมด
3. มีวงจรรับและส่ง คือ ภาคส่งที่ใช้แอลอีดีโดยทรานซิสเตอร์เป็นตัวขับ ภาครับที่ใช้พินไดโอดโดยทรานซิสเตอร์และไอซีออปแอมป์เป็นตัวขับ
4. ใช้กับรายวิชาสื่อสารเส้นใยแสง ระดับปริญญาตรี หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ชั้นปีที่ 2 ภาคเรียนที่ 2 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
5. ประกอบด้วยวงจรมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาและวงจรมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา
6. ประกอบด้วยวงจรมอดูเลตแบบพัลส์และวงจรมอดูเลตแบบพัลส์
7. มีความละเอียดในการสุ่มตัวอย่างที่ระดับ 8 บิต
8. สามารถใช้คอนเน็คเตอร์ได้ 2 ชนิด คือ FC และ ST

### 1.5 ขั้นตอนของการทำโครงการ

โครงการนี้ประกอบด้วยชุดของเครื่องรับ เครื่องส่งและใบงาน ซึ่งการทำงานในระยะแรกจะเริ่มต้นด้วยการทำชุดของเครื่องรับและเครื่องส่ง หลังจากทำชุดของเครื่องรับและเครื่องส่งเสร็จแล้วก็ทำการทดลองการทำงานพร้อมเขียนเป็นใบงานออกมา และเมื่อทำโครงการเสร็จเรียบร้อยแล้วจะให้ผู้ทรงคุณวุฒิทำการประเมินเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของชุดทดลองต่อไป

## 1.6 เนื้อหาโดยสังเขป

ในปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาตามบทต่างๆ ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา จุดมุ่งหมายของโครงการงาน สมมุติฐานของการจัดทำโครงการงาน ขั้นตอนของการทำโครงการงานและเนื้อหาโดยสังเขปในบทต่างๆ

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ กล่าวถึง การส่งสัญญาณข้อมูลผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง คุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสง อุปกรณ์กำเนิดแสง อุปกรณ์รับแสง หัวต่อ การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาและการเปลี่ยนแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบ PCM

บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน กล่าวถึง การออกแบบวงจร และการทำงานของวงจรต่างๆ ได้แก่ การมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์ การดีมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์ การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา การดีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาและไตรเวอร์

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง กล่าวถึง การเชื่อมต่อวงจรภาคต่างๆ ของวงจร พร้อมทั้งผลการทดลองอย่างละเอียด

บทที่ 5 บทสรุป กล่าวถึง สรุป ปัญหาและการแก้ไข และแนวทางการพัฒนา บทนี้จะเป็นบทสรุปว่าปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้หรือไม่ อย่างไร และได้วางแผนแนวทางการแก้ไขและพัฒนาปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้ไว้

ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ

ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์

ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์

ภาคผนวก ง รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน

ภาคผนวก ฉ ไปงานการทดลอง

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 บทนำ

เนื้อหาของปริญญาโทฉบับนี้เป็นทฤษฎีและหลักการที่จะนำมาใช้ประกอบการสร้างโครงงาน โดยประกอบด้วย การส่งสัญญาณข้อมูลผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง คุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสง อุปกรณ์กำเนิดแสง อุปกรณ์รับแสง หัวต่อ การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาและการเปลี่ยนแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบ PCM

#### 2.2 การส่งสัญญาณข้อมูลผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

##### 2.2.1 เส้นใยแก้วนำแสงคืออะไร

เส้นใยแก้วนำแสง คือ เส้นใยขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำแสง โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง ประกอบด้วยส่วนที่แสงเดินทางผ่านเรียกว่า Core และส่วนที่หุ้ม Core เรียกว่า Cladding ทั้ง Core และ Cladding เป็นไดอิเล็กตริกทั้ง 2 ชนิด (ไดอิเล็กตริก หมายถึง สารที่ไม่เป็นตัวนำทางไฟฟ้าเช่น แก้ว พลาสติก) โดยการให้ค่าดัชนีหักเหของ Core เล็กน้อยประมาณ 0.2 - 3 เปอร์เซ็นต์ และจะอาศัยปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสงสามารถทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปใน Core เดินทางไปได้

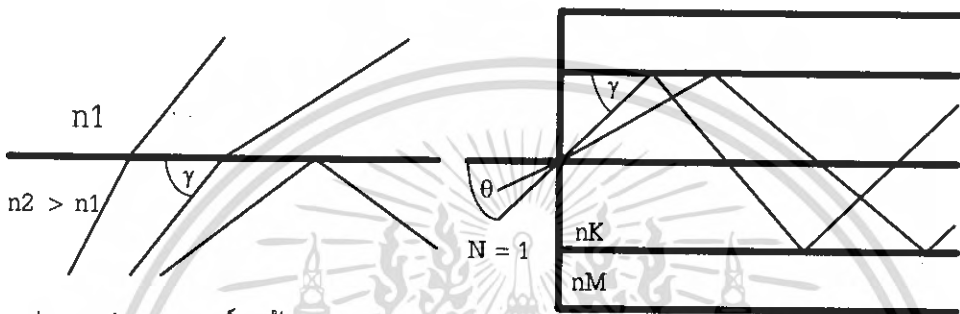
##### 2.2.2 การเดินทางของแสง

โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงมีส่วนอย่างมากในการส่งผ่านแสง โดยแสงในเส้นใยแก้วนำแสงจะถูกทำให้สะท้อนกลับไปกลับมาระหว่างรอยต่อของแกนกลาง (Core) และฉนวนที่หุ้ม (Cladding) จากปลายข้างหนึ่งไปยังอีกปลายข้างหนึ่งของเส้นใยแก้วนำแสง สาเหตุที่ต้องมี Cladding หุ้มส่วนของ Core ไว้ ก็เนื่องจากว่า ถ้าหาก Core สัมผัสกับอากาศโดยตรง อาจมีสิ่งปนเปื้อนในอากาศหรือคราบน้ำมันมาเกาะจับที่ Core ซึ่งจะทำให้การสะท้อนกลับของแสงภายใน Core ไม่ดี เป็นเหตุให้มีการสูญเสียสัญญาณแสงขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมี Cladding มาหุ้มไว้เพื่อป้องกันเหตุการณ์ดังกล่าวนอกจากนี้แล้ว ถัดจากชั้น Cladding ออกมาก็จะมีฉนวนหุ้มอีกชั้นหนึ่ง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้เส้นใยแก้วนำแสงโค้งงอได้ด้วยรัศมีค่าหนึ่งโดยไม่แตกหัก โดยทั่วไปเมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง จะเกิดปรากฏการณ์ของการสะท้อน (Reflection) และการหักเห (Refraction) ของแสงขึ้นที่ผิวรอยต่อระหว่างตัวกลางทั้งสอง ซึ่งสำหรับในกรณีพิเศษที่ตัวกลางที่แสงตกกระทบมีค่าดัชนีหักเหมากกว่าในอีกตัวกลางหนึ่ง ( $n_2 > n_1$ ; โดย  $n_1$  คือค่าดัชนีหักเหของแสงในตัวกลางที่แสงหักเห และ  $n_2$  คือค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่แสงตกกระทบ) และมีมุมตกกระทบที่พอเหมาะก็จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การสะท้อนกลับหมดของแสงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Total Internal Reflection) ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถนำมาอธิบายถึงรูปแบบการเดินทางของแสงอย่างง่ายในเส้นใยแก้วนำแสงได้

ค่าดัชนีหักเหของตัวกลางหนึ่ง ๆ ก็คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วของแสงในอากาศกับความเร็วของแสงในตัวกลางนั้น ๆ เช่น ค่าดัชนีหักเหของน้ำมีค่าประมาณ 1.3 นั่นคือแสงเคลื่อนที่ในอากาศได้เร็วกว่าในน้ำ



รูปแสดงปรากฏการณ์สะท้อนและการหักเหของแสงที่ตัวผิวรอยต่อระหว่างตัวกลาง  $n_1, n_2$  คือค่าดัชนีการหักเหของแสง

$n_K$  คือค่าดัชนีหักเหของ core  
 $n_M$  คือค่าดัชนีหักเหของ cladding  
 $\theta$  คือมุมกระทบของแสงระหว่างอากาศกับ core  
 $\gamma$  คือมุมกระทบของแสงระหว่างอากาศกับ cladding

รูปที่ 2.1 แสดงการเดินทางของแสงในเส้นใยแก้วนำแสง

### 2.3 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง

การแบ่งชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงสามารถแบ่งได้หลายวิธี คือ ชนิดของสารไดอิเล็กทริกที่ใช้จำนวนโมดในการเดินทางของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงและลักษณะของดัชนีการหักเห (Refractive Index Profile) ซึ่งแสดงให้ดูดังตารางที่ 2.1

#### 2.3.1 การแบ่งชนิดตามสารไดอิเล็กทริกที่ใช้

การแบ่งชนิดตามสารไดอิเล็กทริกที่ใช้ สามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิด คือ

1. **ซิลิกาไฟเบอร์ (Silica Glass Fiber)** คือ เส้นใยแก้วนำแสงที่สร้างจากแก้วซิลิกาบริสุทธิ์ โดยมีการเติมสารอื่นเจือปนลงไปเพื่อทำให้เกิดความแตกต่างของดัชนีการหักเหของคอร์และแคลดดิ้ง ซึ่งสารที่เติมลงไปนี้เรียกว่า โดปเพน (Dopant) ได้แก่ เจอร์มันเนียม (Germanium (Ge)) โบรอน (Boron (B)) และ ฟลูออรีน (Fluorine (F)) เป็นต้น

### ตารางที่ 2.1 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง

การแบ่งชนิดตาม	ชนิดของเส้นใยนำแสง
สารไดอิเล็กทริกที่ใช้	1) Silica Glass Fiber 2) Multi Component Glass Fiber 3) Plastic Optical Fiber
จำนวนโหมดในการเดินทางของแสงในเส้นใยแก้วนำแสง	1) Single Mode Optical Fiber 2) Multi Mode Optical Fiber
ลักษณะของดัชนีการหักเห	1) Step Index Optical Fiber 2) Graded Index Optical Fiber

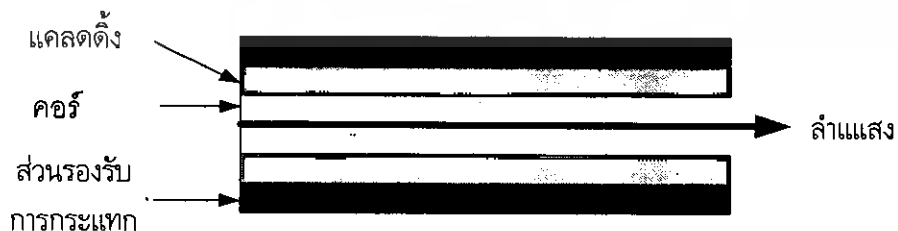
2. **มัลติคอมโพเนนท์กลาสไฟเบอร์ (Multi Component Glass Fiber)** คือ เส้นใยแก้วนำแสงที่สร้างจากแก้วหลายๆ ชนิดปนกัน โดยส่วนใหญ่จะใช้สารโซดาแคลเซียม (Soda Calcium) แก้วที่มีโบรอนและซิลิกอน (Silicon) ผสมเป็นสารหลัก สำหรับสารโดปเพนได้แก่โซเดียม (Na) และแคลเซียม (Ca) เป็นต้น

3. **พลาสติกออปติคอลไฟเบอร์ (Plastic Optical Fiber)** คือ เส้นใยนำแสงที่สร้างจากพลาสติก ซึ่งนิยมใช้สารซิลิกอนเรซิน (Silicon Resin) และเอคริลเรซิน (Acryl Resin)

#### 2.3.2 การแบ่งตามจำนวนโหมดในการเดินทางของแสงในเส้นใยแก้วนำแสง

การแบ่งตามจำนวนโหมดในการเดินทางของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

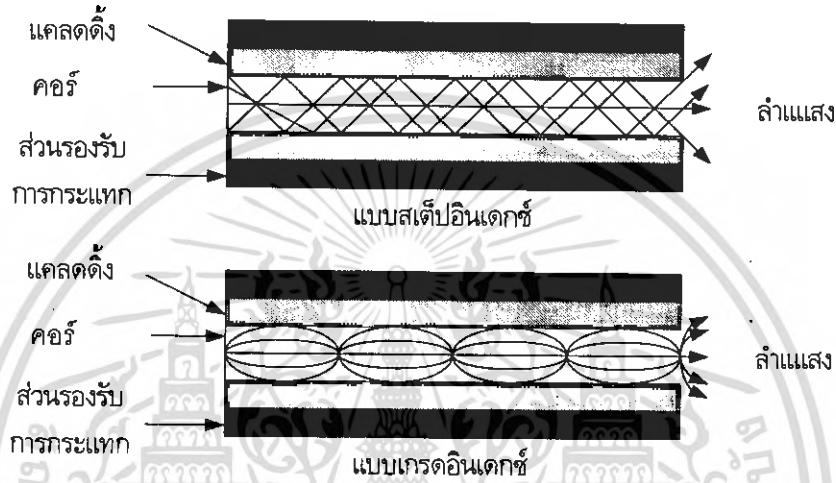
1. **เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดียว (Single Mode Optical Fiber ; SM)** เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้แสงสามารถเคลื่อนที่ไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้เพียงโหมดเดียว ดังนั้นจึงผลิตเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้เป็นแบบสเต็ปอินเด็กซ์ (Step Index) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์และแคลดดิ้งแตกต่างกันประมาณ 0.3 ไมครอน



รูปที่ 2.2 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมด (Multi Mode ; MM) เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้แสงสามารถเคลื่อนที่ไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้หลายโหมดเนื่องจากคอร์มีขนาดโตกว่าชนิดโหมดเดียว โดยมีดัชนีการหักเหทั้งแบบสเต็ปอินเด็กซ์และเกรดเดดอินเด็กซ์ (Graded Index) โดยแบบเกรดเดดอินเด็กซ์จะได้รับความนิยมมากกว่าเนื่องจากสามารถลดปัญหาเกี่ยวกับการขยายกว้างออกเนื่องจากโหมด (Modal Dispersion) ลงได้



รูปที่ 2.3 เส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมด

### 2.3.3 การแบ่งตามลักษณะของดัชนีการหักเห

การแบ่งตามลักษณะของดัชนีการหักเหสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. แบบสเต็ปอินเด็กซ์ (Step Index Optical Fiber ; SI - Fiber) เส้นใยแก้วนำแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหแบบขั้น ดังนั้นจึงเรียกเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ว่าสเต็ป (Step) เมื่อนำมาใช้งานจะเป็นได้ทั้งชนิดโหมดเดียวและชนิดหลายโหมด โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์ที่แตกต่างกัน หากใช้เป็นชนิดโหมดเดียวจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์ประมาณ 10 ไมโครเมตร แต่หากใช้เป็นชนิดหลายโหมด เส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์ประมาณ 50 ไมโครเมตร อย่างไรก็ตามหากใช้เป็นชนิดหลายโหมดปัญหาที่เกิดขึ้นคือการขยายกว้างออกเนื่องจากโหมด เนื่องจากแสงมีการเคลื่อนที่หลายเส้นทางแต่ละเส้นทางระยะทางไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำให้สัญญาณไปถึงปลายทางไม่พร้อมกันการผิดเพี้ยนของสัญญาณจึงเกิดขึ้น ดังนั้นเส้นใยแก้วนำแสงแบบเกรดเดดอินเด็กซ์จึงเกิดขึ้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าว

2. แบบเกรดเดดอินเด็กซ์ (Graded Index Optical Fiber ; GI - Fiber) เป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหที่ค่อยๆ ลดลงทีละน้อย เส้นใยนำแสงชนิดนี้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อลดปัญหาการขยายกว้างออกเนื่องจากโหมด ค่าดัชนีหักเหของแสงจะค่อยๆ ลดลงจากคอร์ไปหาแคลดดิ้ง เมื่อแสงเดินทางไปในเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ แสงจะมีการหักเหทีละน้อยภายในคอร์และมีการสะท้อนบริเวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกขาดไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลดดิ้ง การหักเหและการสะท้อนดังกล่าวอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของแสงที่ละน้อยนั้นจึงทำให้ดูเหมือนว่าแสงเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง

เส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ใช้เป็นชนิดหลายโหมดเท่านั้น การเคลื่อนที่ของแสงแต่ละเส้นทางจะใช้ระยะเวลาพอๆ กัน ถึงแม้ว่าระยะทางจะแตกต่างกันเนื่องจากแสงที่เดินทางสั้นที่สุดผ่านแกนกลางของคอร์จะเคลื่อนที่ได้ช้าที่สุด และทำนองกลับกันแสงที่เดินทางไกลที่สุดซึ่งมีการสะท้อนบริเวณแคลดดิ้งจะเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าดัชนีหักเหของแสงทำให้แสงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่างๆ กัน ปัญหาเกี่ยวกับการขยายกว้างออกเนื่องจากโหมดจึงลดลง



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง

## 2.4 คุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสง

### 2.4.1. ความสามารถในการรับส่งข้อมูลข่าวสาร

เส้นใยแก้วนำแสงที่เป็นแท่งแก้วขนาดเล็ก มีการโค้งงอได้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้กันมากคือ 62.5/125 ไมโครเมตร เส้นใยแก้วนำแสงขนาดนี้เป็นสายที่นำมาใช้ภายในอาคารทั่วไป เมื่อใช้กับคลื่นแสงความยาวคลื่น 850 นาโนเมตร จะส่งสัญญาณได้มากกว่า 160 เมกะเฮิรตซ์ ที่ความยาว 1 กิโลเมตร และถ้าใช้ความยาวคลื่น 1,300 นาโนเมตร จะส่งสัญญาณได้กว่า 500 นาโนเมตร ที่ความยาว 1 กิโลเมตร และถ้าลดความยาวลงเหลือ 100 เมตร จะใช้กับความถี่ของสัญญาณมากกว่า 1 กิกะเฮิรตซ์ได้ ดังนั้นจึงดีกว่าสาย UTP CAT 5 ที่ใช้กับสัญญาณได้ 100 เมกะเฮิรตซ์

### 2.4.2. กำลังสูญเสียต่ำ

เส้นใยแก้วนำแสงมีคุณสมบัติในเชิงการให้แสงวิ่งผ่านได้ การบั่นทอนแสงมีค่าค่อนข้างต่ำ ตามมาตรฐานของเส้นใยแก้วนำแสง การใช้เส้นสัญญาณนำแสงนี้ใช้ได้ยาวถึง 2,000 เมตร หากระยะทางเกินกว่า 2,000 เมตร ต้องใช้รีพีตเตอร์ทุก ๆ 2,000 เมตร การสูญเสียในเรื่องสัญญาณจึงต่ำกว่าสายตัวนำทองแดงมากที่สายตัวนำทองแดงมีข้อกำหนดระยะทางเพียง 100 เมตร หากพิจารณาในแง่ความถี่ที่ใช้ผลตอบสนองทางความถี่มีผลต่อกำลังสูญเสียโดยเฉพาะในลวดตัวนำทองแดงเมื่อใช้เป็นสายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของสายตัวนำทองแดงจะเปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ความถี่ต่างกัน โดยเฉพาะเมื่อใช้ความถี่ของสัญญาณที่ส่งในตัวนำทองแดงสูงขึ้น อัตราการสูญเสียก็จะมากตามแต่กรณีของเส้นใยแก้วนำแสงเราใช้สัญญาณรับส่งข้อมูลจึงไม่มีผลกับกำลังสูญเสียทางแสง

### 2.4.3. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไม่สามารถรบกวนได้

ปัญหาที่สำคัญของสายสัญญาณแบบทองแดงคือการเหนี่ยวนำโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ปัญหาที่มีมากที่สุดแต่เรื่องการรบกวนระหว่างตัวนำหรือเรียกว่าครอสทอล์ค การไม่แมตช์พอดิตทางอิมพีแดนซ์ ทำให้มีคลื่นสะท้อนกลับ การรบกวนจากปัจจัยภายนอกที่เรียกว่า EMI ปัญหาเหล่านี้สร้างให้ผู้ใช้ต้องหมั่นดูแล

แต่สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงแล้วปัญหาเรื่องเหล่านี้จะไม่มี เพราะแสงเป็นพลังงานที่มีพลังงานเฉพาะและไม่ถูกรบกวนโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การเดินทางในเส้นแก้วก็ปราศจากการรบกวนของแสงจากภายนอก

### 2.4.4 น้ำหนักเบา

เส้นใยแก้วนำแสงมีน้ำหนักเบากว่าเส้นลวดตัวนำทองแดง น้ำหนักของเส้นใยแก้วนำแสงขนาด 2 แกนที่ใช้ทั่วไปมีน้ำหนักเพียงประมาณ 20 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของสาย UTP CAT 5

### 2.4.5 ขนาดเล็ก

เส้นใยแก้วนำแสงมีขนาดทางภาคตัดขวางแล้วเล็กกว่าลวดทองแดงมาก ขนาดของเส้นใยแก้วนำแสงเมื่อรวมมัดแล้วมีขนาดเล็กกว่าสาย UTP โดยขนาดของเส้นใยแก้วนำที่ใช้ พื้นที่ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ของเส้นลวด UTP CAT 5

### 2.4.6 มีความปลอดภัยในเรื่องข้อมูลสูงกว่า

การใช้เส้นใยแก้วนำแสงมีลักษณะใช้แสงเดินทางในสาย จึงยากที่จะทำการแตะหรือทำการดักฟังข้อมูล

### 2.4.7 มีความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน

การที่เส้นใยแก้วนำแสงเป็นฉนวนทั้งหมด จึงไม่นำกระแสไฟฟ้า การลัดวงจร การเกิดอันตรายจากกระแสไฟฟ้าจึงไม่เกิดขึ้น

## 2.5 อุปกรณ์กำเนิดแสง

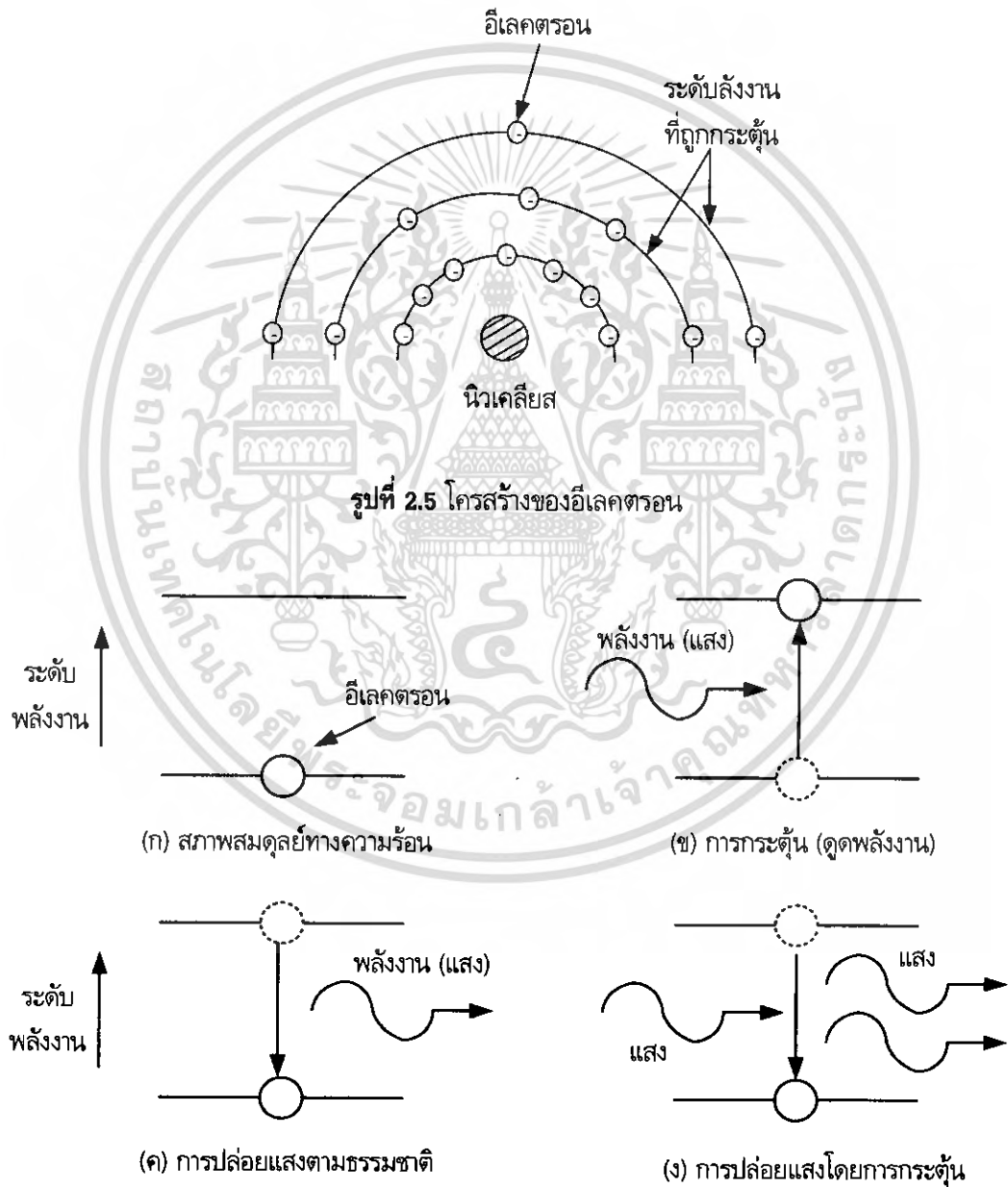
### 2.5.1 การเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสง

#### 2.5.1.1 โครงสร้างการเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสง

เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปแล้วว่า การที่กระแสไหลนั้นเป็นปรากฏการณ์ที่อิเล็กตรอนภายในสารที่ประกอบเป็นตัวกลางนั้นเคลื่อนที่ไปนั่นเอง แต่ว่าอิเล็กตรอนนี้ถ้าหากไม่มีแรงภายนอกมากระทำแล้วมันจะอยู่ในตำแหน่งที่มันคงไม่เปลี่ยนแปลง โดยทั่วไปแล้วอะตอมที่ประกอบอยู่ในสารต่างๆ (ก๊าซ ของเหลว ของแข็ง) จะมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.5 นั่นคือส่วนที่เรียกว่า นิวเคลียส อยู่ตรงกลางและรอบๆ นิวเคลียสจะมีอิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนหนึ่งหมุนอยู่รอบนิวเคลียสโดยมีระยะห่างที่แน่นอน อิเล็กตรอนเหล่านี้จะมีพลังงานที่เป็นสัดส่วนกับระยะทางจากนิวเคลียส (พลังงานนี้เรียกว่าระดับพลังงาน) ระดับพลังงานที่ต่ำที่สุดเรียกว่า "Ground State Level" และระดับพลังงานที่สูงนี้เรียกว่า "Stimulate Level" จำนวนอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในระดับพลังงานนั้นจะมีจำนวนแน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดของสาร แต่โดยปกติแล้วอิเล็กตรอนจะออกันอยู่ที่ระดับพลังงานต่ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติโดยธรรมชาติของอิเล็กตรอน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

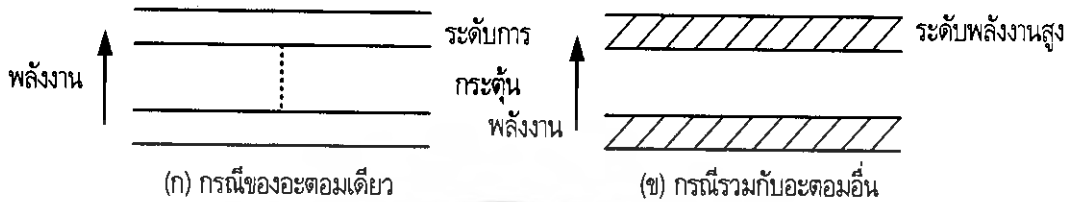
อิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงาน 1 (ระดับพลังงานต่ำ) และไม่มีอิเล็กตรอนอยู่ในระดับพลังงาน 2 (ระดับพลังงานสูง) ดังแสดงในรูป 2.6 (ก) ในสภาพนี้หากให้พลังงานที่มีค่าเท่ากับผลต่างของระดับพลังงานทั้งสอง (นั่นคือถ้า E1 เป็นพลังงานของระดับพลังงาน 1 และ E2 เป็นพลังงานของระดับพลังงาน 2 จะได้ผลต่างเป็น E2 กับ E1 ) แล้วอิเล็กตรอนจะดูดเอาพลังงานนี้และเลื่อนจากระดับพลังงานต่ำ E1 ขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูง E2 ดังรูป 2.6 (ข) การให้พลังงานจากภายนอกแก่อิเล็กตรอนเพื่อทำให้มันเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูงนี้เรียกว่า การกระตุ้น (Stimulation) และการที่อิเล็กตรอนเลื่อนไปยังระดับพลังงานอื่นนั้นเรียกว่า การถ่ายเท (Transfer) และเมื่อปล่อยอิเล็กตรอนเลื่อนขึ้นไปอยู่ในระดับพลังงานสูง E2 ไว้อย่างนั้น มันจะถูกนิวเคลียสดึงกลับลงมาอยู่ในสภาพเดิมซึ่งเรียกว่า "Stable State" ดังรูปที่ 2.6 (ก) ในการที่อิเล็กตรอนกลับลงมาสู่สภาพเดิม นั่นคือลงมาสู่ระดับพลังงานต่ำ E1 อิเล็กตรอนจะปล่อยพลังงานเท่ากับผลต่างของพลังงาน E2 กับ E1 ออกมาดังรูปที่ 2.6 (ค) ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า การปล่อยพลังงานออกมาตามธรรมชาติ กรณีที่ปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงจะเรียกว่า การปล่อยแสงตามธรรมชาติ (Natural Light Emission) เนื่องจากว่าสารต่างๆ แปรออกได้เป็นพวกที่ทำให้เกิดแสงได้ง่ายกับพวกที่ทำให้เกิดแสงได้ยาก ดังนั้นจึงไม่สามารถกำหนดลงไปได้ว่าสารทุกชนิดจะทำให้เกิดแสงขึ้นได้

อุปกรณ์กำเนิดแสงที่ใช้แสงปล่อยออกมาตามธรรมชาตินี้ได้แก่ หลอดนีออนและไดโอดกำเนิดแสงต่อไปถ้าป้อนแสงมีพลังงานเท่ากับผลต่างของพลังงานของ E2 กับ E1 ที่ใช้ในการกระตุ้นอิเล็กตรอนให้ไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูง 2.6 (ข) อิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงาน E2 ซึ่งพยายามที่จะกลับลงมาสู่ระดับพลังงานต่ำ E1 อยู่แล้วนั้นจะดูดพลังงานของแสงที่ป้อนนี้ไว้และกลับลงมาสู่ระดับพลังงานต่ำ E1 ในลักษณะถูกบังคับให้กลับลงมาดังรูป 2.6 (ง) ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่าการกระตุ้นให้ปล่อยแสงและพลังงานแสงที่เกิดขึ้นในกรณีนี้จะมีค่ามากกว่ากรณีของการปล่อยพลังงานตามธรรมชาติและแสงที่ได้นี้เรียกว่า "การปล่อยแสงโดยการกระตุ้น (Stimulate Emission Light)" ความยาวคลื่นแสงที่ได้จากการปล่อยพลังงานโดยการกระตุ้นจะเหมือนกับกรณีการปล่อยแสงตามธรรมชาติ นั่นคือเป็นสัดส่วนกับผลต่างของพลังงาน E2 กับ E1 อุปกรณ์กำเนิดแสงที่ใช้หลักการกระตุ้นให้ปล่อยพลังงาน (Stimulate Emission) นี้ได้แก่เลเซอร์ (LASER)

### 2.5.1.2 โครงสร้างและการทำงานของสารกึ่งตัวนำ

ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเป็นหลักการพื้นฐานของการปล่อยแสง คราวนี้ลองมาพิจารณาโครงสร้างการปล่อยแสงของสารกึ่งตัวนำซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติต่างกับโลหะเช่น ทองแดงและอื่นๆ กล่าวคือเป็นสารที่ไม่ค่อยจะยอมให้กระแสผ่านตัวมันได้มากนักที่ใช้ในการสื่อสารทั่วไป สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้นจะมีอะตอมจำนวนมากจัดเรียงกันเป็นระเบียบ ด้วยเหตุนี้อิเล็กตรอนของแต่ละอะตอมจะทำหน้าที่เชื่อมโยงกับอะตอมข้างเคียงและมีตำแหน่งอยู่ระหว่างอะตอมทั้งสอง นั่นคือมันจะรับผลการดึงดูดจากอะตอมข้างเคียงสภาพพลังงานที่อะตอมได้รับนั้นถ้าหากจะกล่าวกันในทางควอนตัมไดนามิกส์แล้วจะแตกต่างกับกรณีของอะตอมเพียงอันเดียวดังที่กล่าวมาแล้วในรูปที่ 2.6 กล่าวคือในกรณีนี้จะแบ่งออกเป็น 2 สภาพ สภาพหนึ่งเป็นระดับพลังงานสูง

เรียกว่า "Conduction Band" และอีกสภาพหนึ่งเป็นระดับพลังงานต่ำเรียกว่า "Valence Band" และสภาพทั้งสองนี้ต่างก็มีความกว้างของพลังงานอยู่ดังแสดงในรูป 2.7

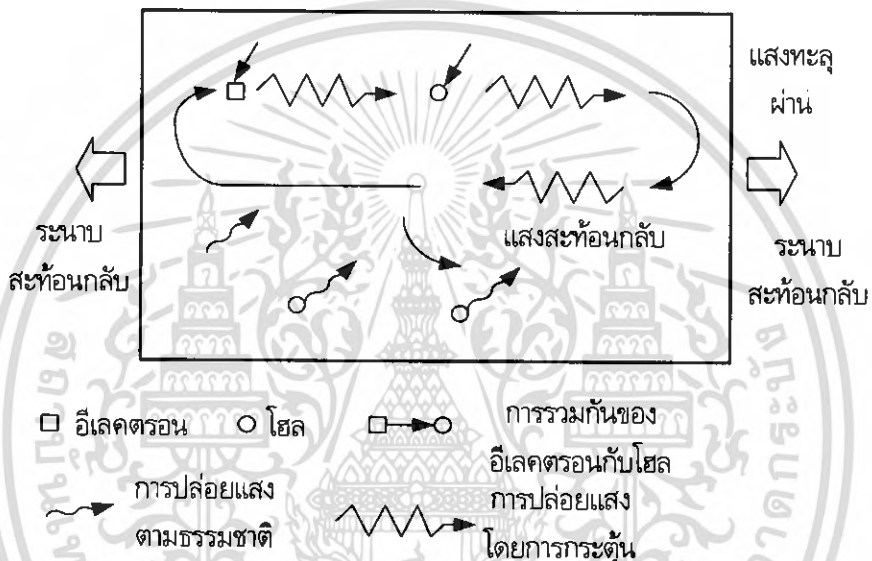


รูปที่ 2.7 ระดับพลังงานในสารกึ่งตัวนำ

โดยปกติแล้วอิเล็กตรอนจำนวนมากจะรวมตัวกันอยู่ที่ระดับพลังงานต่ำซึ่งมีระดับพลังงานต่ำและจะมีอิเล็กตรอนจำนวนเล็กน้อยอยู่ในระดับพลังงานสูง ซึ่งเป็นระดับพลังงานสูง ในตอนแรกนี้จะทำการอธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของเลเซอร์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Laser Diode : LD) ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีระดับพลังงานตามที่กล่าวมาข้างบนและใช้วิธีการกระตุ้นให้ปล่อยแสงออกมา สมมุติว่าจำนวนอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำมีค่าเป็น  $n$  ตัว และในจำนวน  $n$  ตัวนี้แบ่งไปอยู่ในระดับพลังงานต่ำเสีย  $n_1$  ตัว และอยู่ในระดับพลังงานสูง  $n_2$  ตัว ในสภาพปกตินั้น  $n_1$  จะมากกว่า  $n_2$  และในสภาพเช่นนี้ ถ้าหากเราใช้แสงจากภายนอกแก่มันจะทำให้เกิดการกระตุ้นให้ปล่อยพลังงานและการดูดพลังงาน ซึ่งขนาดของมันจะเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนของ  $n_1$  และ  $n_2$  แต่โดยทั่วไปแล้วการดูดพลังงานจะมีขนาดมากกว่าทำให้แสงที่ป้อนเข้ามีขนาดลดลงไป แต่ทว่าถ้าหากมีวิธีอย่างใดอย่างหนึ่งที่ทำให้  $n_1 > n_2$  (เรียกว่าเกิด Inversion Distribution) ได้แล้วก็จะทำให้การกระตุ้นให้ปล่อยแสงออกมามีค่ามากกว่าการดูดพลังงาน ในกรณีนี้จะทำให้ความเข้มของแสงที่ป้อนเข้ามาเพิ่มมากขึ้นและเกิดปฏิกิริยาการขยายแสงอาจจะไม่ค่อยคุ้นกับคำว่า "Inversion Distribution" แต่มันสามารถทำให้เกิดขึ้นมาได้ด้วยการให้พลังงานจากภายนอก ยกตัวอย่างการกระตุ้นอิเล็กตรอนด้วยการดูดพลังงานจากภายนอกมาแล้วในรูป 2.6 (ข) แต่สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้นปกติจะใช้วิธีการเรียกว่าฉีดอิเล็กตรอนโดยการทำให้กระแสไหล ก็เกิดปฏิกิริยาการขยายทางกระแสได้ ดังนั้นในกรณีของสารกึ่งตัวนำ พลังงานจากภายนอกที่เป็นตัวทำให้เกิดการกระตุ้นให้ปล่อยพลังงานเพื่อปล่อยแสงออกมานั้นก็คืออิเล็กตรอนที่ฉีดเข้าไปนั่นเอง เมื่อสามารถทำให้เกิดการขยายดังกล่าวข้างต้นและเช่นเดียวกันกับกรณีของวงจรไฟฟ้ากล่าวคือโดยการทำให้การขยายกลับไปกลับมาจะสามารถทำให้แสงเกิดการออสซิลเลตได้ การขยายกลับไปมานั้นเป็นการทำให้เกิดคุณสมบัติพิเศษของแสง หลักการขยายกลับไปมาทำได้โดยใช้ระนาบสะท้อนกลับ (Reflecting Plane) 2 อันวางหันหน้าเข้าหากันดังแสดงในรูป 2.9 นั่นคือแสงที่เกิดการกระตุ้นให้ปล่อยแสง (Stimulated Emission) นี้จะถูกขยายไปพร้อมกับเคลื่อนที่ไปด้วยและเมื่อกระทบกับระนาบสะท้อนกลับแล้ว ส่วนหนึ่งของมันจะทะลุออกไปข้างนอกและส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับไปในทิศทางตรงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้ามกับครั้งแรกและเมื่อแสงที่สะท้อนกลับนี้ไปถึงระนาบสะท้อนกลับอีกด้านหนึ่งก็จะเกิดผลเช่นเดียวกับในตอนแรกที่กล่าวมาแล้ว คือส่วนหนึ่งจะทะลุออกไปข้างนอกและส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับไปทิศทางตรงกันข้ามอีกในระหว่างที่ทำให้เกิดการสะท้อนกลับซ้ำกลับไปมาอยู่อย่างนี้ จะถึงจุดหนึ่งที่พลังงานที่ถูกขยายโดยการกระตุ้นให้ปล่อยแสงที่มีค่ามากกว่าพลังงานที่สูญเสียไป เนื่องจากการดูดของอิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานต่ำและที่ทะลุออกไปจากระนาบสะท้อนกลับ ณ จุดนี้ การออสซิลเลชันจะเริ่มขึ้น การทำให้เกิดแสงเช่นนี้เรียกว่า LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

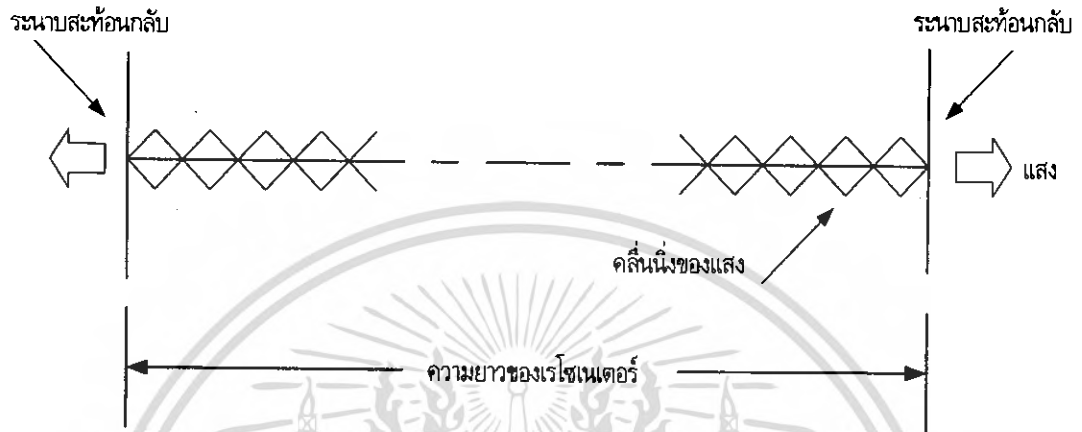


รูปที่ 2.8 หลักการออสซิลเลชันของแสง

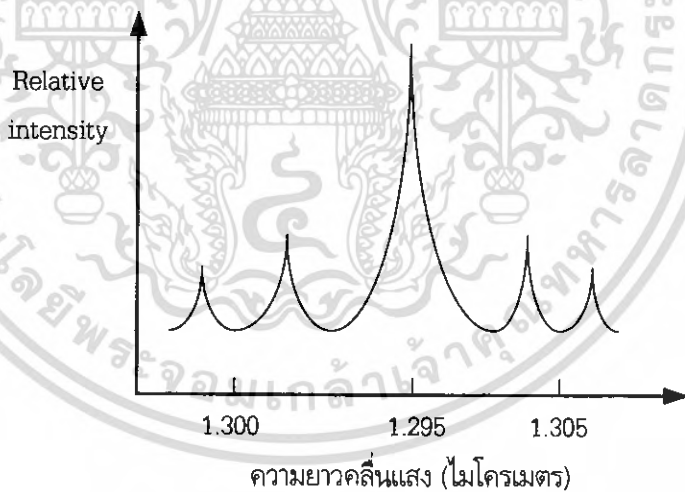
ในการทำให้เกิดการออสซิลเลชันเริ่มขึ้นได้นั้นต้องใช้พลังงานจากภายนอก (การฉีดกระแสเข้าไป) ที่มีจำนวนมากกว่าค่าหนึ่งขึ้นไปและจำนวนกระแสที่ฉีดเข้าไปตอนทำให้การออสซิลเลชันเริ่มขึ้นนั้นเรียกว่า "Threshold Value Current" ต่อไปเราพิจารณาถึงความยาวคลื่นแสงของเลเซอร์ จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าความยาวคลื่นแสงนั้นกำหนดจากผลต่างของพลังงานในระดับพลังงานสูงและในระดับพลังงานต่ำ แต่เนื่องจากในระดับพลังงานต่างก็มีความกว้างของพลังงานอยู่ทำให้ความยาวคลื่นแสงมีค่าอยู่ในช่วงหนึ่งด้วยเช่นกัน แต่เนื่องจากในขั้นตอนของการปล่อยแสงที่ได้กล่าวมาแล้วว่าทำให้เกิดการสะท้อนกลับไปมาระหว่างระนาบสะท้อนกลับ นั้นคือสามารถทำให้เกิดความยาวคลื่นแสงของคลื่นนิ่งภายในรีโซเนเตอร์เท่านั้น ดังรูปที่ 2.9

เงื่อนไขที่ทำให้เกิดรีโซแนนซ์นี้ คือ ความยาวของรีโซเนเตอร์ (ระยะห่างของระนาบสะท้อนกลับ) จะต้องมามีค่าเป็นจำนวนเท่าที่เป็นเลขเต็มหน่วยของครึ่งหนึ่งของความยาวแสงนั้นคือ  $n(\lambda/2)$  โดยปกติแล้ว

ความยาวของรีโซเนเตอร์จะมากกว่าความยาวแสงมาก ดังนั้นแสงที่ได้จากเลเซอร์จะมีความยาวแสงกระจายออกเป็นจำนวนมากดังแสดงในรูปที่ 2.10



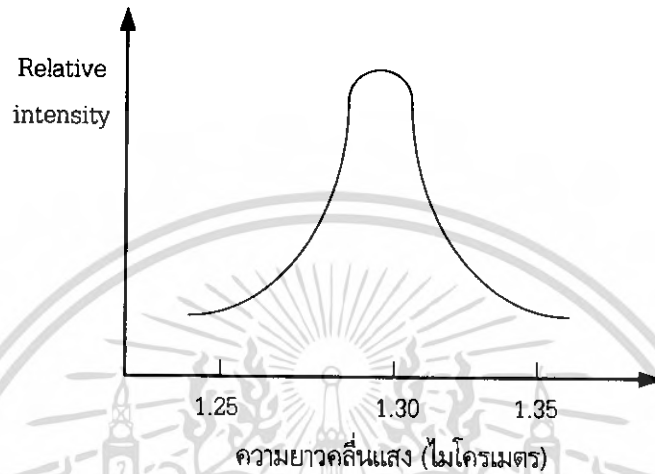
รูปที่ 2.9 การเกิดคลื่นนิ่งของแสง



รูปที่ 2.10 ความยาวคลื่นแสงของเลเซอร์

ส่วนไดโอดเปล่งแสง (LED : Light Emitting Diode) นั้นต่างกับเลเซอร์ คือแทนที่จะใช้ปรากฏการณ์ปล่อยพลังงานโดยการกระตุ้นแต่จะใช้ปรากฏการณ์ของการปล่อยพลังงานโดยธรรมชาติแทน ดังนั้นแสงที่ได้ออกมาจะมีช่วงความยาวคลื่นแสงกว้างมากเพราะกำหนดจากความสัมพันธ์ของพลังงานของระดับพลังงานสูงกับระดับพลังงานต่ำมีความกว้างของพลังงานอยู่ในตัวและช่วงความยาวคลื่นแสงนี้เรียกว่า ความกว้างสเปกตรัมและกำลังงานเอาต์พุตของแอลอีดีเมื่อเทียบกับเลเซอร์แล้วมีค่าน้อยกว่า แต่มีข้อดีคือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของแอลอีดีไม่ยุ่งยากทำให้สร้างได้ง่ายและมีราคาถูกมาก ช่วงความยาวคลื่นแสงของแอลอีดีแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ความยาวคลื่นแสงของแอลอีดี

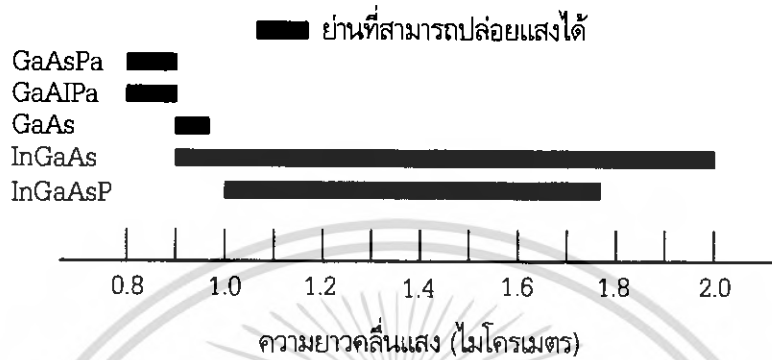
## 2.5.2 สารที่ใช้ในการสร้างและโครงสร้างของอุปกรณ์กำเนิดแสง

### 2.5.2.1 สารที่ใช้ในการสร้างอุปกรณ์กำเนิดแสง

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าปรากฏการณ์ปล่อยแสงนั้นไม่ได้เกิดขึ้นกับสารกึ่งตัวนำทุกชนิด ทั้งนี้ก็เพราะว่ามีสารพวกที่เกิดปรากฏการปล่อยแสงง่ายกับสารพวกที่เกิดการปล่อยแสงยาก เนื่องจากการปล่อยแสงนั้นเกิดจากการที่อิเล็กตรอนถ่ายเทจากระดับพลังงานสูงไปยังระดับพลังงานต่ำจึงแบ่งสารออกเป็นพวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเทได้ง่ายกับพวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเทได้ยาก พวกที่มีอิเล็กตรอนถ่ายเทได้ง่ายเรียกว่า "Direct Transfer Semiconductor" พวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเทได้ยากเรียกว่า "Indirect Transfer Semiconductor" ตัวอย่างของสารพวกถ่ายเทอิเล็กตรอนได้ง่ายได้แก่ สารประกอบของอินเดียม (In) แกลเลียม (Ga) อาเซไนส์ (As) และฟอสฟอรัส (P) คืออินเดียมแกลเลียมอาเซไนส์ฟอสฟอรัส (InGaAsP) สารประกอบของแกลเลียมอลูมิเนียม (Al) อาเซไนส์ คือ แกลเลียมอลูมิเนียมอาเซไนส์ (GaAlAs) เป็นต้น อนึ่งสารพวกซิลิกอน (Si) เจอร์มันเนียม (Ge) ที่ใช้ทำทรานซิสเตอร์ไอซี (IC) นั้นส่วนใหญ่เป็นสารที่ถ่ายเทอิเล็กตรอนได้ยากจึงปล่อยแสงออกมายาก เนื่องจากความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมานั้นเป็นสัดส่วนกับผลต่างของพลังงานในระดับพลังงานสูงกับระดับพลังงานต่ำ แต่ทว่าผลต่างของพลังงานนี้จะมีค่าแตกต่างกันตามส่วนประกอบสารกึ่งตัวนำ จึงทำให้มีความยาวคลื่นแสงค่าต่างๆ ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่น กับสารประกอบของอุปกรณ์ปล่อยแสง แสดงดังรูปที่ 2.12 และจากการพิจารณาถึงคุณสมบัติต่างๆของสารในทางปฏิบัตินั้นสำหรับยาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวคลื่นสั้น 0.85 ไมโครเมตร นิยมใช้แกเลียมอาร์เซไนด์และย่านความยาวคลื่น 1.3 ไมโครเมตร นิยมใช้อินเดียมแกเลียมอาร์เซไนด์ฟอสฟอรัสในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง



รูปที่ 2.12 ความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาของสารประกอบกึ่งตัวนำ

### 2.5.2.2 โครงสร้างของอุปกรณ์กำเนิดแสง

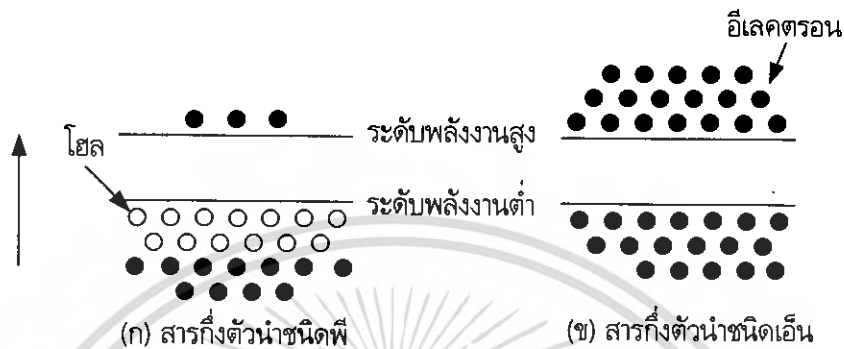
รอยต่อพีเอ็น (P - N Junction) โครงสร้างของอุปกรณ์ปล่อยแสง การใช้งานเพื่อให้ได้กำลังการปล่อยแสงที่มีประสิทธิภาพนั้นการนำสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็นมาเชื่อมต่อกันนั้นเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ดังนั้นเพื่อเป็นการทำให้เข้าใจขั้นตอนการปล่อยแสงอันเนื่องมาจากโครงสร้างของอุปกรณ์ปล่อยแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำนั้น ในที่นี้จะอธิบายถึงคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็นก่อน สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้นปกติจำนวนของอิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะรวมตัวกันอยู่ในระดับพลังงานต่ำ ดังที่เคยกล่าวมาแล้วในตอนต้นสารกึ่งตัวนำที่มีสภาพอย่างนี้เรียกว่า "Genuine Semiconductor" สารที่เรียกว่าสารกึ่งตัวนำชนิดพีนั้นมีสภาพที่มีจำนวนโฮล (อนุภาคที่มีประจุบวกในตัว) และมีอิเล็กตรอน (มีประจุลบในตัว) น้อยดังแสดงในรูป 2.13 (ก) ส่วนสารที่เรียกว่าสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นนั้นจะมีสภาพตรงกันข้ามกับสารกึ่งตัวนำชนิดพี กล่าวคือมีอิเล็กตรอนเป็นจำนวนมากกว่าโฮลและจำนวนอิเล็กตรอนที่มีมากเกินนี้จะรวมตัวกันอยู่ในระดับพลังงานสูง แสดงในรูป 2.13 (ข)

## 2.6 อุปกรณ์รับแสง

### 2.6.1 การเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า

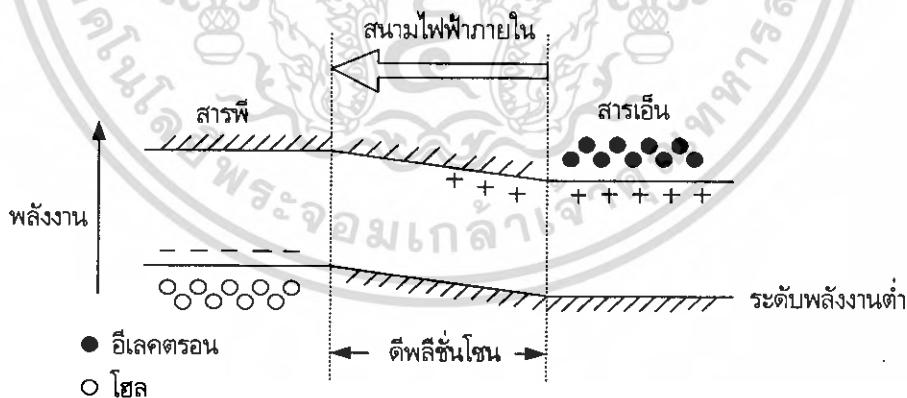
การรับแสงหมายถึงการเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า ในการทำงานนี้แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีที่หนึ่งเป็นการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นไฟฟ้าโดยตรง วิธีที่สองทำได้โดยการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อนแล้วจึงเปลี่ยนเป็นไฟฟ้า วิธีที่หนึ่งนั้นเรียกว่า "โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟค (Photo Electric Effect)" ส่วนวิธี

ที่สองเรียกว่า "เซนซิทีฟฮีทเอฟเฟค (Sensitive Heat Effect)" หลักการของโฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟคใช้ ขบวนการดูดพลังงาน



รูปที่ 2.13 ระดับพลังงานของสารชนิดพีและเอ็น

นั่นคือ เมื่อมีแสงมาตกกระทบสารกึ่งตัวนำอิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานต่ำจะเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูงแต่การเลื่อนขึ้นไปนี้เป็นแต่เพียงอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปเท่านั้นและในที่สุดมันจะไปรวมกันใหม่กับไฮลในระดับพลังงานต่ำอีกทำให้ไม่ได้รับโฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟคเพื่อที่จะเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้าจะต้องใช้สภาพการแยกกันของอิเล็กตรอนกับไฮลก่อนที่มันจะรวมกัน



รูปที่ 2.14 ดีพลีชันโซน

สำหรับอุปกรณ์รับแสงสารกึ่งตัวนำก็เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสงนั่นคือเพื่อที่จะแยกอิเล็กตรอนกับไฮลนั้นโดยทั่วไปใช้รอยต่อพีเอ็น ที่รอยต่อของพีกับเอ็นนั้นจะเกิดสนามไฟฟ้าในที่ว่างขึ้น แต่มันจะถูกดึงด้วยอิเล็กตรอนของสารเอ็นและไฮลของสารพี ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็นลบและบวกเป็นผลให้เกิดบริเวณที่

ไม่มีอีเลคตรอนและโฮลขึ้นตรงรอยต่อบริเวณนี้เรียกว่าดีฟลิชันโซน (Depletion Zone) ดังแสดงในรูป 2.14 ในสภาพอย่างนี้เมื่อมีแสงมากระทบจากทางด้านบริเวณสารพีแสงนั้นจะถูกดูด พร้อมทั้งเคลื่อนที่ไปทางบริเวณสารเอ็นแต่ที่ดีฟลิชันโซนอีเลคตรอนและโฮลที่เกิดจากการดูดพลังงานจากแสงจะถูกสเปคอีเลคทริกฟิลด์ (Space Electric Field) แยกไปในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือ อีเลคตรอนไปทางด้านเอ็นและโฮลไปทางด้านพี ที่บริเวณซึ่งอยู่ห่างจากดีฟลิชันโซนนั้น เนื่องจากไม่มีสนามไฟฟ้าอีเลคตรอนและโฮลที่เกิดจากโฟโตอีเลคทริกเอฟเฟคจะรวมตัวกันใหม่ในระหว่างเคลื่อนที่ แต่สำหรับอีเลคตรอนและโฮลที่เคลื่อนที่เข้าไปในสเปคอีเลคทริกฟิลด์แล้วนั้นจะสามารถเข้าไปยังบริเวณตรงกันข้ามได้ ผลที่ได้ก็คือจะเกิดแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับบริเวณของอีเลคตรอนและโฮลที่ถูกแยกขึ้นระหว่างปลายทั้งสองของสารพีและสารเอ็นถ้าหากนำวงโคจรภายนอกมาต่อกับปลายทั้งสองนี้จะทำให้อีเลคตรอนและโฮลสามารถรวมตัวกันได้โดยผ่านวงจรมานอกนั้นคือมีกระแสไหลนั่นเองกระแสที่เกิดที่ดีฟลิชันโซนเรียกว่า "Drift Current" ส่วนกระแสที่เกิดตรงบริเวณที่อยู่ห่างจากดีฟลิชันโซนเรียกว่า "Diffusion Current" และกระแสนี้เป็นหลักของการเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า

## 2.6.2 สารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง

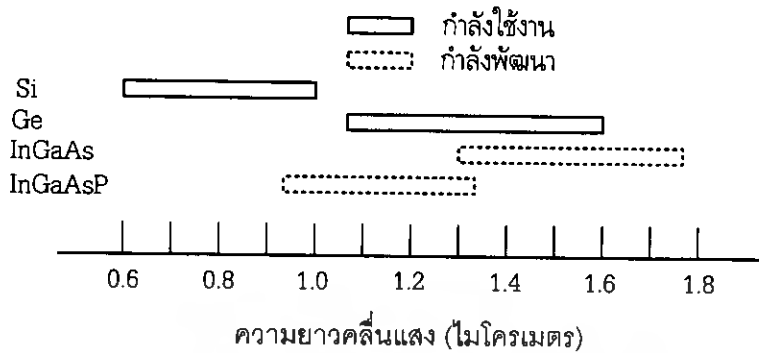
### 2.6.2.1 สารที่ใช้สร้างอุปกรณ์รับแสง

สำหรับอุปกรณ์รับแสงก็เช่นเดียวกับอุปกรณ์กำเนิดแสงนั้นมีสารหลายชนิด นอกจากนั้นผลต่างของพลังงานของระดับพลังงานสูงและระดับพลังงานต่ำของอุปกรณ์รับแสงมีค่าแตกต่างกันทำให้มีย่านความยาวคลื่นต่างกันที่ดูดสัญญาณที่เข้ามาได้ง่าย (ความไวในการรับแสง) คุณสมบัติความไวในการรับแสงของสารแต่ละชนิดดังรูป 2.15 ในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงนั้นจะต้องเลือกอุปกรณ์รับแสงที่เหมาะสมกับความยาวคลื่นที่ใช้เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสง สำหรับย่านความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 1 ไมโครเมตรจะใช้สารซิลิกอน สำหรับย่านความยาวคลื่น 1 - 1.7 ไมโครเมตรใช้เจอร์มันเนียมเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นในปัจจุบันสำหรับความยาวคลื่นในช่วง 1.55 ไมโครเมตร เป็นความยาวคลื่นมีการสูญเสียในเส้นใยนำแสงน้อยมากและเป็นความยาวคลื่นที่อยู่ในวินโดว์ที่สาม (Third Window) การใช้งานอุปกรณ์รับแสงชนิดใหม่ที่ทำจากสารที่เป็นสารประกอบของสารกึ่งตัวนำอินเดียมแกลเลียมอาเซไนด์และอื่นๆ ซึ่งมีความไวในการรับแสงดีมากนั้น กำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

### 2.6.2.2 โครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง

ในหัวข้อที่แล้วได้กล่าวถึงสเปคอีเลคทริกฟิลด์ตรงรอยต่อสารพีเอ็นที่ทำให้อีเลคตรอนและโฮลเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้าม แต่ถ้าให้แรงดันไฟฟ้ากลับทิศทางจากภายนอกกล่าวคือทางด้านพีให้โพลและทางด้านเอ็นให้ไฟบวกจะทำให้การเคลื่อนที่ของอีเลคตรอนและโฮลตรงรอยต่อที่มีอัตราเร่งเพิ่มขึ้น อุปกรณ์รับแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำนี้แบ่งออกเป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือโฟโตไดโอด (Photo Diode : PD) กับอวาแลนซ์โฟโตไดโอด (Avalanche Photo Diode : APD) พวกโฟโตไดโอดนั้นเป็นพวกที่ได้รับการบิอน

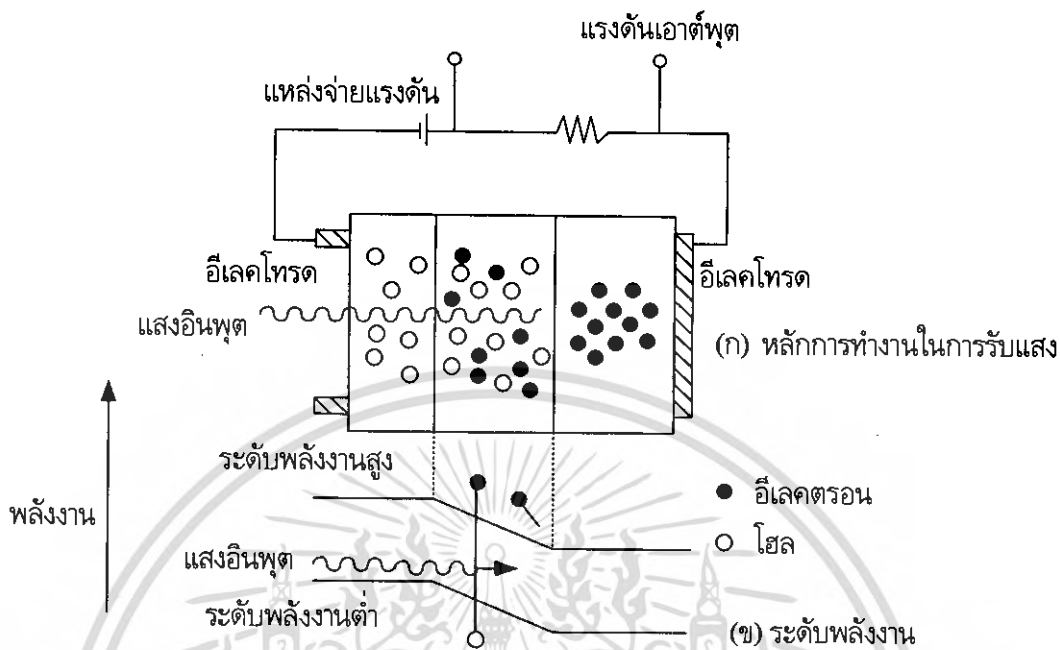
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



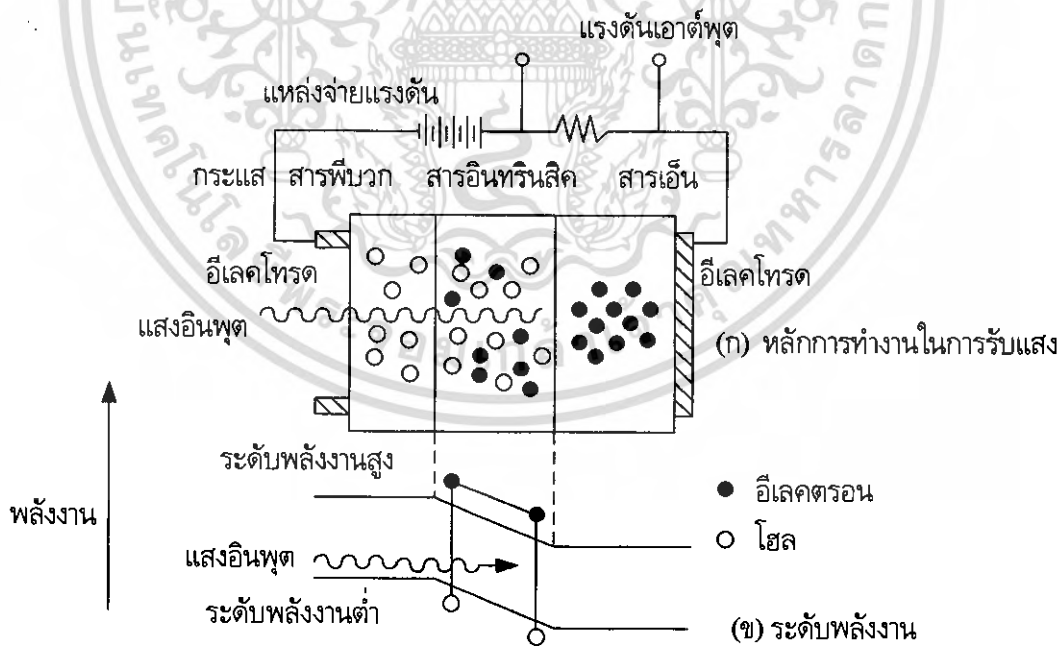
รูปที่ 2.15 ความยาวคลื่นในการรับแสงของอุปกรณ์แต่ละชนิด

แรงดันไฟฟ้าปริมาณน้อย ส่วนพวกอวาแลนซ์โฟโตไดโอดเป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณมาก ตัวอย่างของโฟโตไดโอด คือ พินโฟโตไดโอด (PIN - Photo Diode) ดังแสดงในรูป 2.16 PIN หมายถึงว่าในระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P - Type) และชนิดเอ็น (N - Type) มีสารกึ่งตัวนำที่เรียกว่าอินทรินสิค (Intrinsic : I) คั่นอยู่ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าดริฟต์เคอร์เรนส์ (Drift Current) นั้นเกิดขึ้นในดีพลีชันโซนและผลของสนามไฟฟ้าทำให้มีการตอบสนองเร็ว แต่ในทางตรงกันข้ามดริฟต์เคอร์เรนส์ที่เกิดขึ้นภายนอกดีพลีชันโซนนั้นมีการตอบสนองช้า ดังนั้นถ้าความกว้างของดีพลีชันโซนยิ่งกว้างมากเท่าใดประสิทธิภาพทางควอนตัม (Quantum Efficiency) และความเร็วในการตอบสนองความถี่ยิ่งดีขึ้นความกว้างของดีพลีชันโซนนี้มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนและโฮลของสารพีและสารเอ็นยิ่งต่ำจะยิ่งกว้าง ดังนั้นสารกึ่งตัวนำแบบ I ที่คั่นกลางระหว่างสารพีกับสารเอ็นจึงมีหน้าที่เพื่อทำให้ความกว้างของดีพลีชันโซนกว้างขึ้นนั่นเอง เนื่องจากโฟโตไดโอดที่ใช้ในระบบการสื่อสารนั้นโดยทั่วไปต้องการความเร็วในการตอบสนองสูง ดังนั้นส่วนใหญ่จะใช้พินโฟโตไดโอด

อวาแลนซ์โฟโตไดโอดนั้นใช้ปฏิกิริยาการขยาย (Avalanche) ของอิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำเมื่อเปรียบเทียบกับโฟโตไดโอดแล้วเป็นอุปกรณ์รับแสงที่ให้กระแสจำนวนมาก หลักการทำงานของอวาแลนซ์โฟโตไดโอดแสดงดังรูปที่ 2.17 สำหรับโครงสร้างนั้นส่วนใหญ่ทางด้านสารพีของรอยต่อพีเอ็นจะมีสารกึ่งตัวนำแบบสารพีที่มีความหนาแน่นของโฮลสูงติดอยู่ส่วนที่แสดงด้วยสารพีบวกในรูป โดยการทำให้จะส่งผลให้สนามไฟฟ้าภายในของบริเวณใกล้ๆ รอยต่อที่มีสารพีเป็นศูนย์กลางมีค่ามาก อิเล็กตรอนที่ดูดแสงที่มาจากกระทบทางด้านพีบวกและถูกกระตุ้นจากระดับพลังงานต่ำไปยังระดับพลังงานสูงในระหว่างที่มันได้รับอัตราเร่งและผ่านสารพีนั้นมันจะได้รับพลังงานจำนวนมากกว่าผลต่างของพลังงานของระดับพลังงานสูงกับระดับพลังงานต่ำจากเหตุผลนี้ทำให้สามารถกระตุ้นอิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานต่ำและทำให้เกิดอิเล็กตรอนกับโฮลใหม่ได้ และอิเล็กตรอนกับโฮลใหม่นี้ยังถูกสนามไฟฟ้าเร่งอัตราเร่งให้อีกทำให้เกิดอิเล็กตรอนกับโฮลขึ้นมาใหม่อีก



รูปที่ 2.16 หลักการทำงานการรับแสงและระดับพลังงานของโฟโตไดโอด



รูปที่ 2.17 หลักการทำงานการรับแสงและระดับพลังงานของอวาลานซ์โฟโตไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อขบวนการนี้เกิดอย่างต่อเนื่องกันนั้น จำนวนของอิเล็กตรอนกับโฮลจะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากมาย เป็นผลให้เกิดการขยายที่เรียกว่า "Avalanche Multiplication" ผลนี้ทำให้เกิดกระแสถูกขยายนั่นเอง

### 2.6.3 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

การเลือกอุปกรณ์รับแสงมาใช้งานจะต้องพิจารณาคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. มีความไวสูงในช่วงความยาวคลื่นที่ใช้งานอุปกรณ์รับแสงในยุคแรกจะตอบสนองการใช้งานกับ ความยาวคลื่นแสงช่วงวินโดว์ที่ 1 แต่ในปัจจุบันระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสงนิยมใช้งานในช่วงวินโดว์ที่ 2 และช่วงวินโดว์ที่ 3 ดังนั้นอุปกรณ์รับแสงจะต้องสร้างให้สามารถตอบสนองต่อความยาวคลื่นดังกล่าวได้ดี โดยการเลือกใช้สารที่เหมาะสม
2. ความสามารถในการสร้างสัญญาณไฟฟ้าจากสัญญาณแสงได้มาก ความสามารถในการสร้าง สัญญาณไฟฟ้าจากสัญญาณแสงจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพทางควอนตัมของสารที่ใช้สร้างโดยทั่วไป ประสิทธิภาพทางควอนตัมจะถูกกำหนดโดยสัมประสิทธิ์การดูดกลืน (Absorption Coefficient ;  $a_0$ ) ของ สารนั้น ค่า  $a_0$  นี้จะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น คือ สารแต่ละชนิดจะมีค่า  $a_0$  ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ไม่เท่ากัน
3. มีความไวสูงในการตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตเพื่อให้เหมาะสมกับแบนด์วิดท์ เนื่องจากใน ปัจจุบันแบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณโดยใช้เส้นใยนำแสงจะมีค่าตั้งแต่หลายร้อยเมกะเฮิรตซ์ ดังนั้นอุปกรณ์ รับแสง จะต้องมีความไวในการตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตสูงเพื่อให้สามารถทำงานได้ทันกับสัญญาณ อินพุตที่ได้รับ
4. สัญญาณรบกวนต่ออุปกรณ์รับแสงจะต้องมีค่าต่ำสัญญาณรบกวนที่สำคัญได้แก่ สัญญาณรบกวน ควอนตัม (Quantum Noise หรือ Shot Noise) เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงกระแสโฟโตโดยการ เปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดจากแสงที่มาตกกระทบในบางช่วงเป็นแสงที่ไม่มีเฟสเดียวกันหรือมีหลายความยาว คลื่น ทำให้อิเล็กตรอนได้รับพลังงานไม่เท่ากันจึงทำให้จำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน ดังนั้นปริมาณ กระแสโฟโต จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยสัญญาณรบกวนควอนตัมนี้จะแปรผันโดยตรงกับ แรงดันไฟฟ้าที่ไบอัสกลับ
5. มีขนาดเล็กเพื่อให้สามารถนำอุปกรณ์ดังกล่าวมาใช้งานได้สะดวก และเชื่อมต่อกับเส้นใยนำแสงซึ่ง มีขนาดเล็กได้ง่าย
6. ใช้แรงดันไบอัสต่ำเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า
7. มีความเชื่อถือได้สูง อุปกรณ์รับแสงจะต้องสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและต่อเนื่องเป็นเวลา หลายปี
8. มีราคาต่ำ เนื่องจากในการออกแบบระบบปัจจัยทางด้านการเงินมักจะเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการ ออกแบบด้วย

## 2.7 หัวต่อ

หัวต่อมีหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงสองเส้นหรือระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับแหล่งกำเนิดแสง หรือระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับดีเท็กเตอร์ทำหน้าที่ต่อหรือปลดสายออกจากกัน ซึ่งส่วนใหญ่ใช้กับสายที่ออกจากเครื่องมือสายเดินในบอร์ดหรือสายคัพเพลอร์ในระบบ LAN เมื่อมีหัวต่อในวงจรจะเกิดการสูญเสียในแต่ละจุดที่ใช้หัวต่อแต่จำนวนหัวต่อที่ต้องใช้นั้นอย่างน้อยที่สุดก็ต้องมีสองจุด คือที่เครื่องส่ง 1 ตัว และเครื่องรับ 1 ตัว และถ้ามีความจำเป็นถ้าใช้สายเชื่อมต่อหรือเดินในแผงจำนวนหัวต่อก็จะเพิ่มขึ้นอีก ดังนั้นการลดจำนวนหัวต่อให้น้อยที่สุดก็จะช่วยลดการสูญเสียพลังงานของแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ หัวต่อส่วนใหญ่จะมีค่าสูญเสียอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.7 เดซิเบล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้และวิธีการต่อค่าต่อไปนี้เป็นค่าเฉลี่ยโดยทั่วไปที่ไม่ได้จากการต่อแบบสุ่มจากเส้นใยแก้วนำแสงหลายขนาดหลายชนิดและจากผู้ผลิตต่างบริษัท ค่าการสูญเสียต่างๆ คัดเทียบออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เปอร์เซนต์ค่าการสูญเสียต่างๆ

ค่าการสูญเสีย (dB)	เปอร์เซนต์สูญเสีย
0.05	1 %
0.09	2 %
0.23	5 %
0.50	10 %
1.00	20 %

หัวใจในการออกแบบหัวต่อที่จะให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุด คือ

1. ปลอกที่สอดสายเส้นใยแก้วนำแสงเข้าไปนั้นต้องมีขนาดพอดีๆ กับขนาดความโตภายนอกของตัวแกนเส้นใยแก้วนำแสง
2. ระหว่างหัวต่อสองอันการเยื้องศูนย์จะต้องไม่เกิน 1 ถึง 2 เปอร์เซนต์ ของขนาดของแกนเส้นใยแก้วนำแสงและเปอร์เซนต์ของมุมชนกันของแกนเส้นใยแก้วนำแสงจะต้องน้อยกว่าเปอร์เซนต์การเยื้องศูนย์การยึดกันของหัวต่อต้องไม่พืดเกินไปจนทำให้หน้าสัมผัสเกิดการสึกหรอหรือมีรอยขีดข่วน
3. หน้าผิวสัมผัสระหว่างหัวต่อจะต้องไม่มีช่องว่าง ซึ่งจะทำให้เกิดแสงสะท้อนกลับ แต่จะป้องกันผิวปลายสายไม่ให้เกิดการขีดข่วนทั้งหมดนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของอุปกรณ์ของแต่ละบริษัทผู้ผลิต ซึ่งต้องนำปัญหาต่างๆ มาคิดด้วยรวมทั้งต้นทุนการผลิตในระบบทางไกล โดยทั่วไปแล้วใช้หัวต่อเพียงอันเดียวก็พอและเหมาะสมกว่า ส่วนการเดินทางเคเบิลในอาคารจะใช้หัวต่อที่แตกต่างออกไป คุณภาพและมาตรฐานของหัวต่อที่ใช้ในอาคารนิยมใช้ชนิดเอสทีและชนิดเอสซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.1 หัวต่อชนิดเอสที (ST Connector)

หัวต่อชนิดเอสทีเป็นเครื่องหมายการค้าของบริษัทเอทีแอนด์ที (AT&T) รูป 2.18 เป็นแบบที่บริษัท โทมัสแอนด์เบตต์ส (Thomas & Betts) เป็นผู้ออกแบบหัวต่อในส่วนที่ยึดติดกันก็โดยใช้แรงดันเข้าแล้ว หมุน เมื่อเร็ว ๆ นี้บริษัทสามเอ็ม (3M) ได้พัฒนาหัวต่อแบบพูช-พูล ขึ้นมาใหม่ การที่หัวต่อจะชนกันได้สนิท ที่สุดก็อยู่ที่ปลอกยึดและการผลิตที่ละเอียดอ่อนแม่นยำเที่ยงตรง การที่จะได้รูเจาะที่เที่ยงตรงและแม่นยำนั้น บริษัทได้พยายามนำวัสดุหลายชนิดมาทดลองทำเช่น เซอร์โคเนีย เซรามิค อลูมินาเซรามิค รูแก้วในเซรามิค รู แก้วในพลาสติกรวมทั้งสแตนเลส ARCAP และวัสดุที่เป็นคอปเปอร์เบส ในกรณีของบริษัทสามเอ็มเขาใช้ ปลอกเซอร์โคเนียเซรามิคและแต่งปลายสัมผัสให้ได้หน้าสัมผัสออปติกที่มีการลดการหักเหของแสงได้ดีที่สุด พลาสติกที่ใช้ทำหัวต่อจะเป็นเทอร์โมพลาสติก ปลอกโลหะที่ใช้จะมีขนาดของรูเจาะตั้งแต่ 1 ไมโครเมตรและมี ขนาดต่างกันตามความโตของเส้นใยนำแสง บริษัทสามเอ็มยังได้ประดิษฐ์หัวต่อแบบละลายด้วยความร้อนเพื่อ ใช้สำหรับต่อสายมัลติโหมดโดยใช้ปลอกเซอร์โคเนียและมีการร้อนเป็นตัวติด เมื่อกาวยเย็นลงก็จะยึดติดแน่น เสร็จแล้วค่อยขีดปลายเส้นใยแก้วนำแสง



รูปที่ 2.18 หัวต่อชนิดเอสที

หัวต่อชนิดเอสที ค่าสูญเสียในชนิดโหมดเดียวประมาณ 0.15 ถึง 0.25 เดซิเบลและค่าลดทอนอยู่ ระหว่าง 0.4 ถึง 0.7 เดซิเบลทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต สำหรับชนิดหลายโหมดก็มีค่าลดทอนอยู่ระหว่าง 0.05 ถึง 0.15 เดซิเบลและสูงสุดอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.3 เดซิเบล ปัจจุบันหัวต่อชนิดเอสทีเป็นหัวต่อที่มีผู้นิยมใช้มากขึ้น ทั้งนี้เพราะเป็นหัวต่อที่มีขนาดเล็กแต่ก็ไม่ค่อยกระตกรัดรอกเท่ากับชนิดเอสซี ปัจจุบันได้ดัดแปลงปรับปรุงให้เป็น แบบถอดเข้าออกได้จึงทำให้ชนิดเอสทีได้รับความนิยมมากขึ้น หัวต่ออาจประกอบมาจากโรงงานหรือประกอบใน จุดที่งานสนามกำลังทำอยู่ก็ได้

### 2.7.2 หัวต่อชนิดเอฟซี (FC Connector)

หัวต่อชนิดนี้ออกแบบเป็นปลอกเหล็กอยู่ในปลอกหุ้มอีกชั้นหนึ่ง ชุดแกนของหัวต่อมีเกลียวหมุนเข้ากับตัวเรือนหุ้มดังรูปที่ 2.19 การออกแบบทำเป็นพิเศษ คือตัวเสียบนั้นมีลิ้มและตัวรับมีร่องเมื่อเสียบเข้ากันแล้ว หน้าสัมผัสของเส้นใยนำแสงทั้งสองข้างไม่เกิดการหมุนหรือขยับเขยื้อน ซึ่งอาจทำให้หน้าสัมผัสของเส้นใยนำแสงเกิดรอยขีดข่วนได้ หัวต่อชนิดนี้เมื่อใช้กับชนิดโหมดเดี่ยวจะเกิดการสูญเสียอยู่ระหว่าง 0.4 ถึง 0.7 เดซิเบล หรือสูงสุดอยู่ระหว่าง 0.8 ถึง 1.0 เดซิเบลขึ้นอยู่กับคุณภาพของสินค้าผู้ผลิต

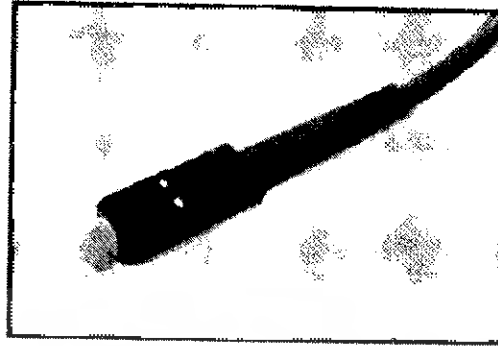


รูปที่ 2.19 หัวต่อชนิดเอฟซี

### 2.7.3 หัวต่อชนิดเอสซี (SC Connector)

หัวต่อชนิดนี้เป็นการออกแบบของเอ็นทีทีเพื่อให้ได้งานหลายอัน ดังรูปที่ 2.20 ข้อดีของหัวต่อชนิดนี้คือ หัวต่อชนิดนี้มีรูสอดเส้นใยนำแสงแน่นมีขนาดพอดีกับความโตของเส้นใยแก้วนำแสง และมีวิธีการผลิตที่ละเอียดอ่อนเที่ยงตรง

การลดทอนสัญญาณในเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยวมีค่าประมาณ 0.25 เดซิเบล และอาจมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.6 เดซิเบล ขณะที่เอาหัวต่อเสียบต่อกัน หัวต่อแบบเอสซีเป็นของใหม่เพิ่งนำออกมาวางตลาดในอเมริกามีใช้ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ของที่ติดตั้งทั้งหมด แต่ขณะนี้ได้รับความนิยมมากขึ้นเนื่องจากใช้งานง่ายเป็นแบบถอดเข้าออกได้ และในขณะที่เอาหัวต่อกันก็ไม่ต้องหมุนหรือบิด แต่ใช้เสียบต่อตรงๆ นอกจากนี้หัวต่อยังเป็นชนิดปรับแกนเส้นใยแก้วนำแสงได้ด้วย



รูปที่ 2.20 หัวต่อชนิดเอสซี

## 2.8 การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

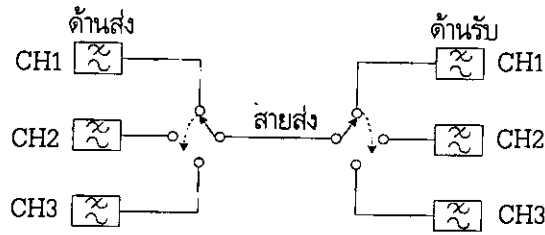
การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาเป็นการทำให้ส่งและรับข้อมูลจากแหล่งต่างๆ จำนวนมากในเวลาเดียวกันโดยใช้ตัวกลางนำข้อมูลเดียวกันในระบบสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสงนับว่ามีประโยชน์มากเพราะเป็นระบบที่มีช่วงของแบนด์วิดท์กว้างมากอยู่แล้ว ดังนั้นหากมีการนำเอาระบบมัลติเพล็กซ์ที่มีประสิทธิภาพสูงมาใช้ร่วมกันย่อมทำให้สามารถสื่อสารข้อมูลจำนวนมหาศาลได้ในเวลาเดียวกัน

ในระบบมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาสัญญาณเสียงของแต่ละช่องจะถูกสุ่มตัวอย่างด้วยอัตราความเร็วสม่ำเสมอ สัญญาณเสียงที่ถูกสุ่มตัวอย่างนี้จะอยู่ในรูปของพัลส์ที่อยู่ในช่วงความถี่แคบๆ และมีขนาดเหมือนกับขนาดของสัญญาณเสียงในขณะที่ถูกสุ่มตัวอย่าง สัญญาณเสียงจากช่องอื่นก็ถูกสุ่มตัวอย่างเช่นเดียวกัน แล้วถูกแบ่งตามเวลาเวลาหนึ่ง เป็นของสัญญาณพัลส์จากช่องหนึ่งตามด้วยสัญญาณพัลส์อีกช่องหนึ่งจนกว่าจะครบทุกช่องส่งเป็นอนุกรมด้วยความเร็วสูงกว่าความเร็วของสัญญาณพัลส์การสุ่มตัวอย่างตามวิธีการตามข้างต้นเรียกว่าการสุ่มตัวอย่างตามธรรมชาติที่ปลายทางก็จะมีเครื่องมัลติเพล็กซ์ทำการแยกพัลส์ที่รวมกันอยู่ตอนส่งให้แยกกันออกเป็นพัลส์ของแต่ละช่องแยกไปตามช่องสัญญาณอย่างถูกต้อง เพื่อความถูกต้องในการแยกพัลส์ที่ปลายทางจึงต้องมีพัลส์สำหรับจับเวลาให้ตรง ดังรูปที่ 2.21 แสดงการพิจารณาของการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาจะเห็นได้ว่าทางภาคส่งที่เป็นมัลติเพล็กซ์รวมสัญญาณพัลส์แต่ละช่องที่มีความเร็วต่ำ ส่งผ่านสายที่มีความเร็วสูงที่ปลายทางเครื่องมัลติเพล็กซ์เซอร์จะแยกพัลส์ไปตามช่วงต่างๆ อย่างถูกต้องตามต้องการ

สัญญาณพัลส์จะเกิดในอัตราที่สม่ำเสมอเวลาละระหว่างพัลส์หนึ่งกับอีกพัลส์หนึ่งจะห่างพอสมควรเพื่อป้องกันไม่ให้พัลส์เกิดซ้อนกันเมื่อผ่านเครื่องกรองความถี่ต่ำในภาครับเวลาห่างระหว่างพัลส์ 2 พัลส์นี้เรียกว่า การ์ดไทม์

อัตราการสุ่มตัวอย่างนี้เป็นไปตามอัตราการสุ่มตัวอย่างของไนควิสต์ (Nyquist Sampling Rate) ซึ่งกล่าวว่า เวลาสุ่มตัวอย่าง ( $t_s$ ) มีค่ามากกว่าสองเท่าของสัญญาณข่าวสาร ถ้าน้อยกว่านี้สัญญาณเดิมที่กลับคืนมาจะไม่ครบถ้วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา



รูปที่ 2.21 (ต่อ) การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

## 2.9 การเปลี่ยนแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลแบบ PCM

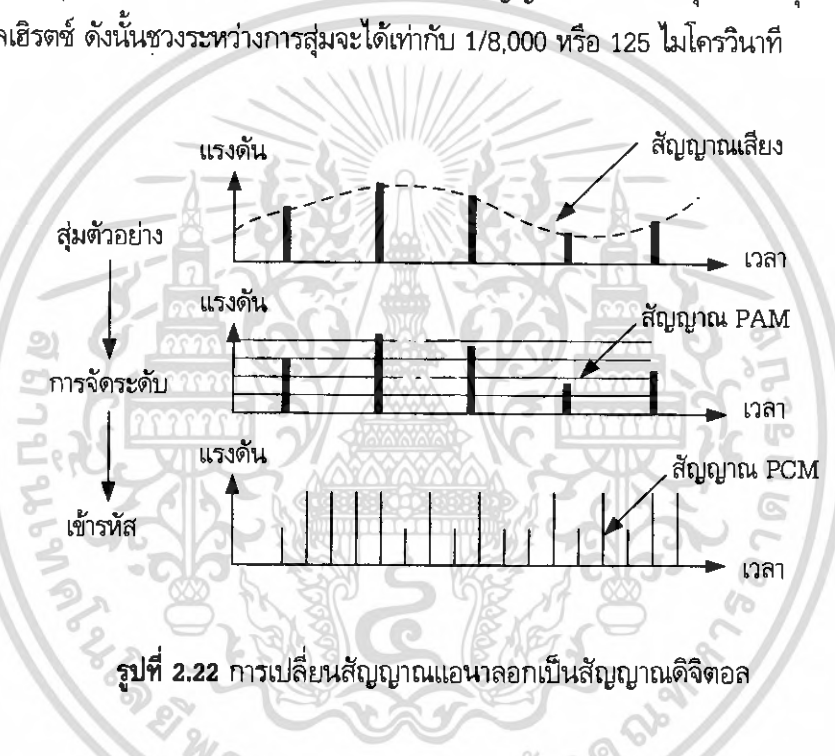
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเสียงซึ่งเดิมเป็นแอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล และการเปลี่ยนสัญญาณเสียงจากดิจิตอลกลับไปเป็นสัญญาณเสียงแอนาลอกอย่างเดิม ทางด้านส่งสัญญาณเสียงแอนาลอกจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณดิจิตอลโดยผ่านกระบวนการสุ่มตัวอย่าง การจัดระดับ และการเข้ารหัส ขบวนการทั้งสามขั้นตอนนี้เรียกว่า ขบวนการเปลี่ยนสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

### 2.9.1 การสุ่มตัวอย่าง

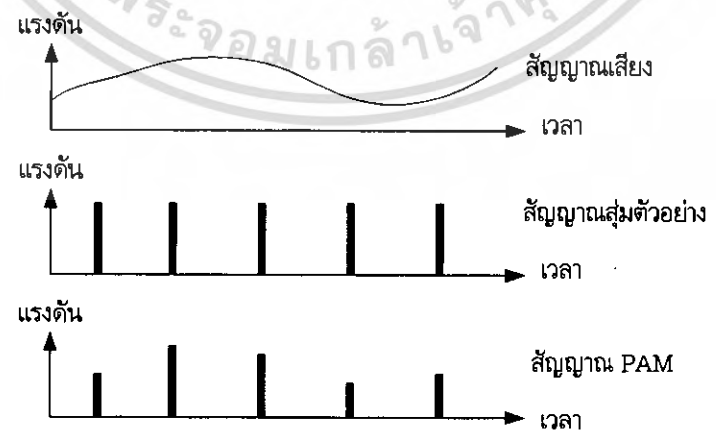
แอมปริจูดของสัญญาณเสียงแอนาลอกเป็นลักษณะต่อเนื่องตามเวลาที่ต้องการเปลี่ยนแปลง การสุ่มตัวอย่างคือการนำเอาแอมปริจูดของสัญญาณของแอนาลอกมาตามช่วงเวลาที่เหมาะสมเป็นช่วงๆ ขบวนการนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คล้ายๆ กับแอมป์ริจูดโมดูเลชัน ซึ่งในขบวนพัลส์ช่วงหนึ่งๆ หรือพัลส์ที่มี PAM องค์ประกอบที่สำคัญประการหนึ่งในการสุ่มตัวอย่างคือสัญญาณแอนาลอกควรจะทำการสุ่มตัวอย่างช่วงความถี่ขนาดไหนด้านส่งเพื่อให้ทางด้านรับรับสัญญาณเดิมได้ถูกต้องที่สุดทางทฤษฎีการสุ่มตัวอย่างกล่าวไว้ว่า “ถ้าสัญญาณข่าวสารซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลาถูกสุ่มตัวอย่างอย่างต่อเนื่องที่ช่วงเวลาเท่าๆ กันและที่อัตราอย่างน้อย 2 เท่าของความถี่สัญญาณสูงสุดแล้วตัวอย่างที่ได้ก็จะบรรจุข่าวสารทั้งหมดของสัญญาณข่าวสารเดิมไว้ได้” ดังนั้นตามทฤษฎีนี้ถ้าทำการสุ่มตัวอย่างสัญญาณแอนาลอกที่อัตราอย่างน้อย 2 เท่าของความถี่สูงสุดเราจะได้สัญญาณเดิมอย่างสมบูรณ์จากการสุ่มตัวอย่างเหล่านี้ CCITT แนะนำว่ากรณีสัญญาณเสียงของมนุษย์ การสุ่มตัวอย่างควรทำที่อัตรา 8 กิโลเฮิรตซ์ ดังนั้นช่วงระหว่างการสุ่มจะได้เท่ากับ 1/8,000 หรือ 125 ไมโครวินาที



รูปที่ 2.22 การเปลี่ยนสัญญาณแอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

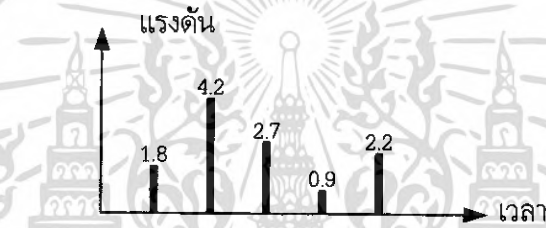


รูปที่ 2.23 การสุ่มตัวอย่างสัญญาณเสียง

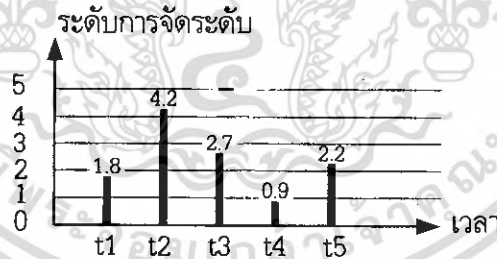
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.9.2 การจัดระดับ

สัญญาณ PAM เป็นขบวนการของการสุมตัวอย่างซึ่งถูกจัดเรียงอยู่ในแกนเวลาขนาดของแต่ละตัวอย่างแตกต่างกันตามความสูงของสัญญาณเดิมที่แต่ละเวลาของการสุมตัวอย่าง ขนาดของตัวอย่างทั้งหลายถูกสร้างในค่าต่อเนื่องในแกนของความสูงทางแอมปริจูดหลังจากนั้นสัญญาณ PAM จะถูกจัดระดับในการจัดระดับนี้แอมปริจูดถูกจัดแบ่งเป็นช่วงเท่าๆ กันค่าจัดระดับแต่ละค่าเรียกว่าระดับการจัดระดับและระยะห่างแต่ละระดับเรียกว่าช่องห่างระหว่างการจัดระดับขนาดของแต่ละตัวอย่างของสัญญาณ PAM จะถูกจัดให้อยู่ในระดับการจัดระดับที่อยู่ใกล้ที่สุดเช่น รูปที่ 2.25 ตัวอย่างที่มีขนาด 1.8 ที่เวลา  $t_1$  จะถูกจัดให้อยู่ในระดับการจัดระดับที่ 2 ซึ่งเป็นระดับใกล้ที่สุด



รูปที่ 2.24 สัญญาณ PAM



รูปที่ 2.25 การจัดระดับสัญญาณ

สัญญาณ PAM ที่ได้รับการจัดระดับนี้เป็นการประมาณค่าให้ใกล้เคียงกับสัญญาณแอนาลอกเดิม ดังนั้นจึงมีข้อผิดพลาดที่เรียกว่าเสียงรบกวนที่เกิดจากการจัดระดับขนาดของเสียงรบกวนเหล่านี้จะกระจายอย่างมีระเบียบภายในช่วงการจัดระดับโดยจะไม่คำนึงถึงแอมปริจูดของสัญญาณเดิมหรือกล่าวอีกทำนองหนึ่งคือ กำลังของเสียงจัดระดับเกือบคงที่ไม่ขึ้นอยู่กักระดับกำลังของสัญญาณถึงแม้เสียงรบกวนที่เกิดมาจากการจัดระดับสัญญาณไม่สามารถป้องกันไม่ให้เกิดขึ้นได้แต่ก็ควรจะให้ไม่น้อยที่สุดเพื่อให้คุณภาพของการส่งสัญญาณเสียงมีคุณภาพดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.9.3 การเข้ารหัสฐานสอง

สัญญาณ PAM ที่ได้รับการจัดระดับแล้วจะถูกทำการเข้ารหัสให้อยู่ในรูปของรหัสฐานสองซึ่งจะประกอบด้วยการรวมกันของพัลส์หนึ่งหน่วยซึ่งอยู่ในรูปของการมีพัลส์และไม่มีพัลส์คือ 1 และ 0 จำนวนของข่าวสารซึ่งแสดงโดยหนึ่งหน่วยพัลส์หนึ่งหน่วยที่ได้จากการเข้ารหัสเรียกว่าสัญญาณ PAM

CCITT ได้แนะนำให้ใช้การเข้ารหัสแบบ 8 บิตต่อหนึ่งตัวอย่าง ดังนั้นจำนวนของการจัดระดับจะเป็น  $2^8$  หรือเท่ากับ 256 ระดับ

สัญญาณ PCM ถูกส่งจากทางด้านส่งจะเกิดการผิดเพี้ยนเนื่องจากสัญญาณรบกวนและสัญญาณแทรกซ้อนขณะส่งไปตามสายส่งในระบบการส่งสัญญาณ PCM สามารถที่จะสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่อย่างถูกต้องสมบูรณ์ที่ด้านรับ ถ้าหากการวินิจฉัยว่าแต่ละพัลส์หนึ่งหน่วยนั้นมีพัลส์หรือไม่มีพัลส์ ดังนั้นในการสร้างสัญญาณ PCM ที่ได้รับขึ้นมาใหม่ที่สถานีทวนสัญญาณและส่งสัญญาณที่สร้างขึ้นมาใหม่ไปยังสถานีทวนสัญญาณถัดไปแล้วเราจะสามารถขจัดผลของสัญญาณรบกวนและสัญญาณแทรกซ้อนซึ่งเกิดขึ้นระหว่างสถานีทวนสัญญาณและป้องกันไม่ให้ผลของสัญญาณรบกวนและสัญญาณแทรกซ้อนเหมือนดังที่เกิดขึ้นในระบบส่งสัญญาณแอนะล็อก

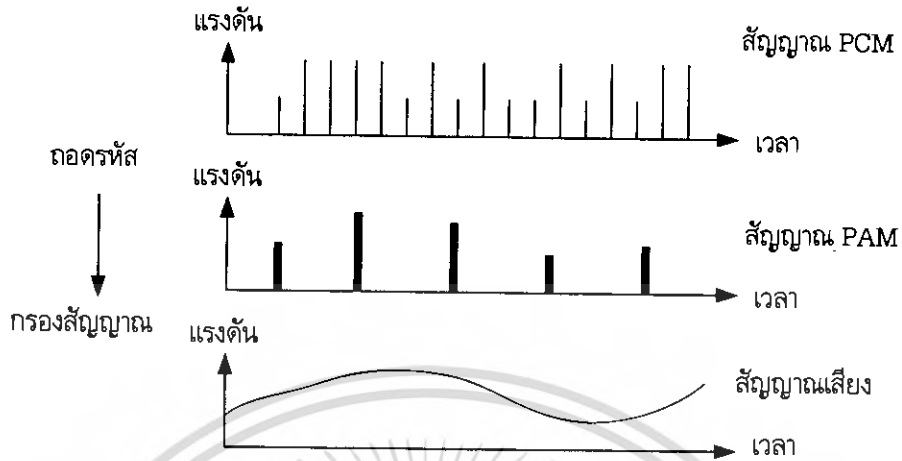


รูปที่ 2.26 ระบบการทวนสัญญาณแบบสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่

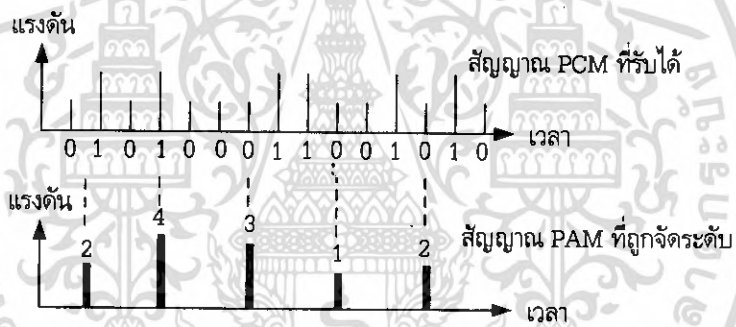
### 2.9.4 การถอดรหัสและการกรองความถี่

ทางด้านรับสัญญาณดิจิทัล PCM จะถูกเปลี่ยนกลับไปยังสัญญาณเสียงแอนะล็อกเดิมอย่างสมบูรณ์ โดยผ่านขบวนการถอดรหัสและการกรองความถี่โดยขบวนการนี้เรียกว่าการเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก

การถอดรหัส คือ ขบวนการที่ตรงข้ามกับการเข้ารหัสซึ่งการถอดรหัสจะเริ่มจากรหัสฐานสองซึ่งแต่ละรหัสจะประกอบด้วยยูนิตพัลส์จำนวนหนึ่งถูกดึงมาจากสัญญาณ PCM ที่รับมาได้จากนั้นระดับการจัดระดับจะถูกคำนวณออกมาจากรหัสฐานสองเหล่านี้เช่น สัญญาณ PCM ที่เข้ามาเป็น "1101" รหัสนี้จะถูกจัดให้อยู่ในระดับ 4.5 โวลต์ และการจัดระดับการสุ่มตัวอย่างถูกสร้างขึ้นใหม่เป็นไปตามระดับของการจัดระดับสัญญาณ PAM ที่ได้รับการจัดระดับทางด้านส่งจะสร้างขึ้นใหม่



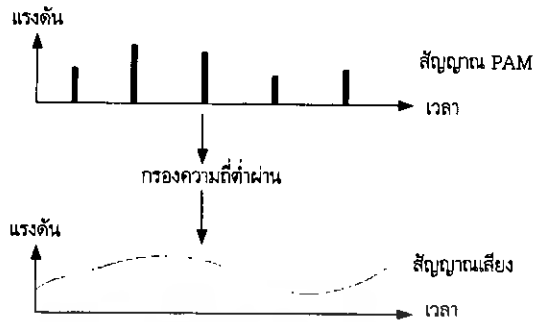
รูปที่ 2.27 การเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก



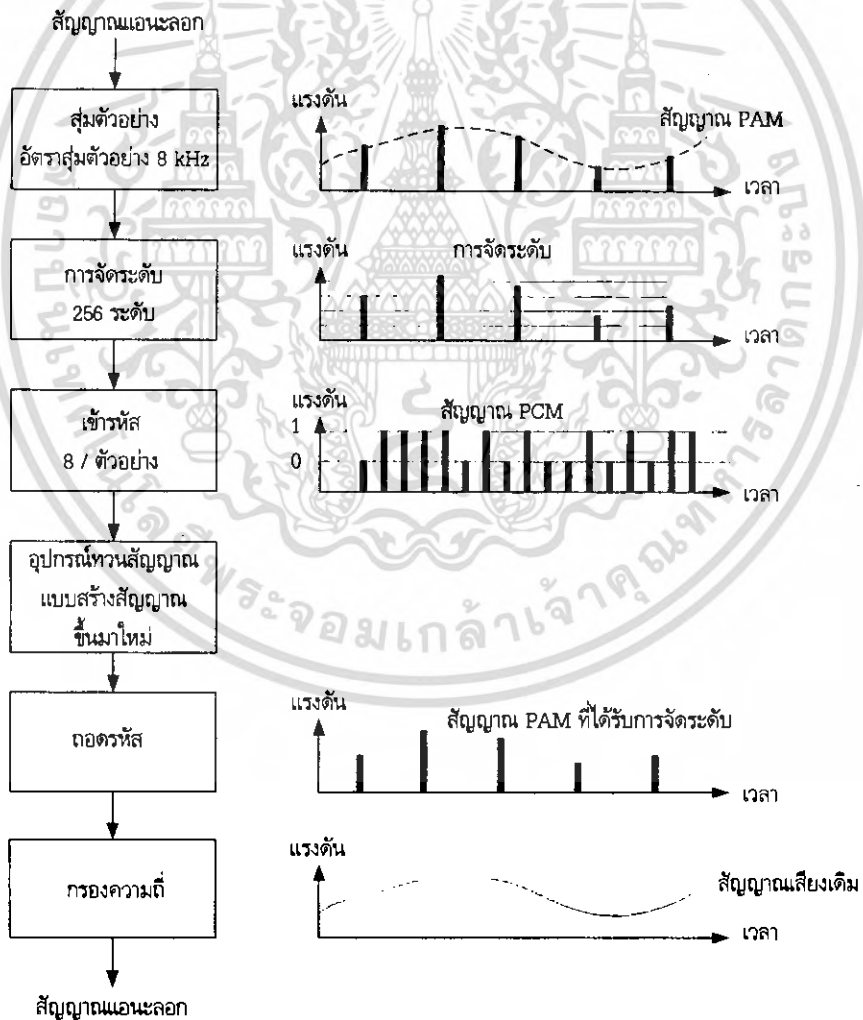
รูปที่ 2.28 ขบวนการถอดรหัส

โดยขบวนการถอดรหัสทางด้านรับสัญญาณ PAM นี้มีเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นจากการจัดระดับอยู่ด้วย หลังจากนั้นสัญญาณ PAM ก็ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านเพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนที่ติดมาพร้อมกัน และจะกรองเอาเฉพาะความถี่ที่ต้องการคือสัญญาณเสียงซึ่งเป็นสัญญาณแอนะล็อกก็สามารถสร้างคืนกลับมาได้ ซึ่งสัญญาณจะต่อเนื่องตามแกนของเวลา ดังในรูปที่ 2.29 และรูปที่ 2.30

ในการถอดรหัสสัญญาณ PCM กลับมาเป็นสัญญาณแอนะล็อกนั้นภาครับจะต้องมีความถี่ที่ใช้เป็นฐานเวลาที่เท่ากันและมีเฟสตรงกันด้วย ถ้าความถี่ที่ได้ไม่ตรงกันวงจรถอดรหัสก็ไม่สามารถอ้างอิงได้ถูกต้อง สัญญาณที่ออกมาจะไม่เหมือนสัญญาณเดิมจะเพี้ยนไป



รูปที่ 2.29 ขบวนการกรองความถี่



รูปที่ 2.30 กระบวนการเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

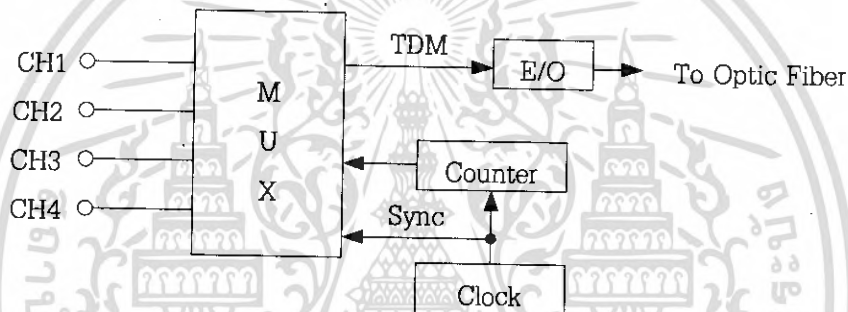
## บทที่ 3

### การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

#### 3.1 การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาในโครงงานนี้จะใช้ไอซีเบอร์ MC14051 ซึ่งเป็นแอนะล็อกสวิตช์ในการสับเปลี่ยนช่องสัญญาณ

##### 3.1.1 การออกแบบวงจรมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา



รูปที่ 3.1 ผังการทำงานของมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาด้านส่ง

จากผังการทำงานของอินพุตของระบบการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาจะเป็นสัญญาณเสียงที่อยู่ในช่วงความถี่เสียงระหว่าง 300 ถึง 3400 เฮิรตซ์ซึ่งป้อนเข้าวงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณ โดยสัญญาณนาฬิกาของวงจรนับและสัญญาณนาฬิกาเป็นตัวควบคุมสัญญาณมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาแล้วก็ส่งผ่านชุดเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงออกไป

สำหรับการมัลติเพล็กซ์ของระบบการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา ในชุดฝึกนี้จะเป็นระบบการมัลติเพล็กซ์แบบ 4 ช่องสัญญาณอินพุตและถ้าหากนับสัญญาณเข้ารหัสเข้าจังหวะด้วยอีก 1 ช่องจะรวมเป็น 5 ช่องมัลติเพล็กซ์ โดยในการทดลองได้ออกแบบให้มีการมัลติเพล็กซ์สัญญาณรูปคลื่นต่างๆ ได้ เช่นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ สัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม สัญญาณรูปคลื่นดิฟเฟอเรนเชียลเอเตอร์ และการออกแบบสัญญาณเข้าจังหวะนั้นจะใช้สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมโดยกำหนดให้สัญญาณเข้าจังหวะต้องมีแอมพลิจูดสูงกว่าสัญญาณอย่างอื่นๆ ที่เข้ามัลติเพล็กซ์

ในชุดฝึกนี้ได้ออกแบบให้มีอัตราการสุ่มตัวอย่าง 225 กิโลเฮิรตซ์มีสัญญาณอินพุต 4 ช่องและสัญญาณสำหรับการเข้าจังหวะ 1 ช่อง มีเวลาในการมัลติเพล็กซ์ช่องละ 0.22 ไมโครวินาที

ดังนั้น 5 ช่องสัญญาณจะใช้เวลา 4.44 ไมโครวินาที เรียกว่า 1 เฟรม ในหนึ่งวินาทีจะส่งได้ 225,000 เฟรม หากคิดเป็นการส่งสัญญาณดิจิทัลจะได้อัตรา 225,000 x 5 บิต เท่ากับ 1.125 เมกะบิตต่อวินาที

### 3.1.2 การสร้างวงจรมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

ในส่วนของวงจรนี้จะใช้ไอซีเบอร์ MC14051 เป็นไอซีแอนะล็อกสวิตช์ (U1) สำหรับการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ โดยอินพุตจะเข้าทางขา 13, 14, 15, 12, 1, 5, 2 และ 4 ซึ่งสัญญาณจะส่งออกทางขา 3 แต่ในโครงการนี้ได้จัดให้มีสัญญาณอินพุต 4 ช่อง ดังนั้นจึงเลือกใช้ขาที่ 13 เป็นช่องสัญญาณอินพุตช่องที่ 1 ขาที่ 14 เป็นช่องสัญญาณอินพุตช่องที่ 2 ขาที่ 15 ช่องสัญญาณอินพุตที่ 3 และขาที่ 12 เป็นช่องสัญญาณอินพุตที่ 4 ด้วยเหตุผลการมัลติเพล็กซ์นั้นจำเป็นต้องมีสัญญาณการเข้าจังหวะ จึงเลือกขาที่ 1 เป็นช่องสัญญาณที่ 5 สำหรับการเข้าจังหวะ ส่วนขาที่ 5, 2 และ 4 ไม่ได้ใช้จึงต่อลงกราวด์

สำหรับการสุ่มตัวอย่างสัญญาณแต่ละช่องนั้นจะมีสัญญาณลอจิกอินพุตที่ขา 9, 10, 1 และ 11 ซึ่งจะเรียกเป็นอินพุต C, B และ A จะมีขาที่ 6 เป็นขา Inhibit ซึ่งจะควบคุมการเปลี่ยนระดับของสัญญาณควบคุม C, B และ A ซึ่งในการสวิตช์ช่องสัญญาณแต่ละช่องจะใช้ความถี่ 45 กิโลเฮิร์ตซ์และช่องสัญญาณที่ถูกต้องจะมีความต้านทานภายในต่ำกว่า 60 โอห์ม

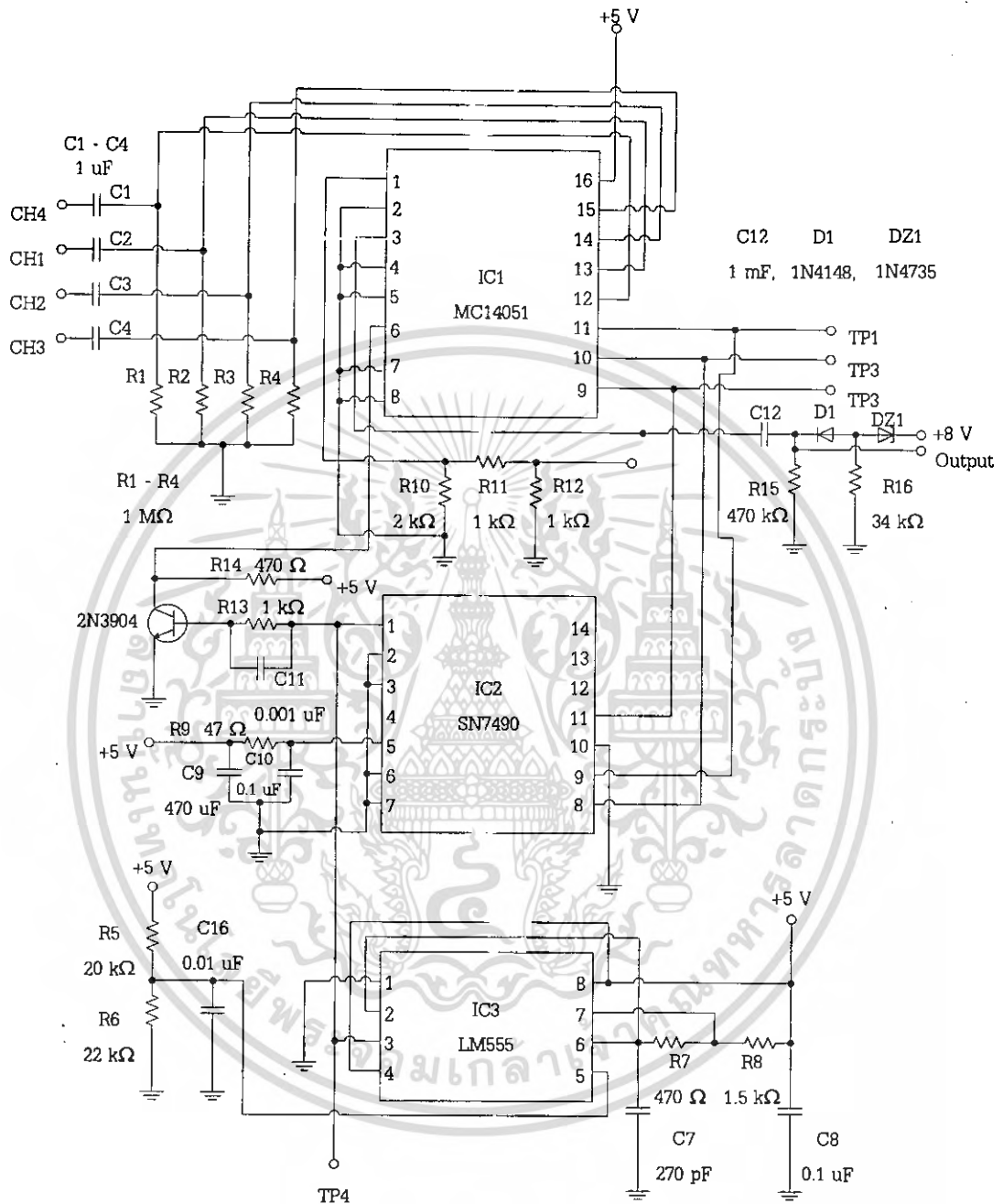
จากรูปวงจรจะเป็นวงจรภาคส่งของระบบมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาที่ใช้ไอซี U1 ซึ่งเป็นชิปแบบแอนะล็อกมัลติเพล็กซ์แบบ 8 อินพุตแต่วงจรใช้เพียง 5 อินพุตเท่านั้น ซึ่งมีขา 1 ต่อผ่าน R11 ไปยังไฟเลี้ยงวงจร +5 V ซึ่งเมื่อช่องที่ 5 จะถูกทำให้สัญญาณที่มีเอาต์พุตเป็นสัญญาณพัลส์ -5 V ซึ่งจะใช้สำหรับเข้าจังหวะไปยังภาครับ

ส่วนช่องสัญญาณที่ 1 ถึง 4 ของภาคส่งนี้จะเป็นสัญญาณแอนะล็อก หรือเป็นสัญญาณพัลส์ก็ได้ หลังสัญญาณพัลส์ทั้ง 5 ช่อง จะถูกรวมออกมาทางขา 3 ไปยังชุดเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

ไอซี U2 เบอร์ SN7490 จะเป็นไอซีนับ ซึ่งไอซีตัวนี้จะทำหน้าที่ผลิตสัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่างส่งไปควบคุมการสุ่มตัวอย่างช่องสัญญาณของไอซี U1 และ U2 จะแบ่งเป็น 3 ลอจิกอินพุต (A, B, C) ของไอซี U1 และไอซี U2 ได้ถูกออกแบบเป็นวงจรนับ 5 เท่านั้น คือ 0 ถึง 4

ดังนั้นจึงทำให้ไอซี U1 สุ่มตัวอย่างให้กับขาที่ 13, 14, 15, 12 และ 1 ตามลำดับของสัญญาณที่เข้ามาเท่านั้น ซึ่งไอซี U2 เบอร์ SN7490 นี้เป็นไอซีนับสิบ

อัตราการสุ่มตัวอย่างของไอซีเบอร์ U2 จะถูกควบคุมโดยสัญญาณนาฬิกาของไอซี U3 ซึ่งเป็นไอซีเบอร์ LM555 ซึ่งเป็นไอซีไทม์เมอร์ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อผลิตความถี่ออกมา 225 กิโลเฮิร์ตซ์ ความถี่ที่ไอซี U3 ผลิตออกมานี้จะควบคุมโดย R7, R8 และ C5

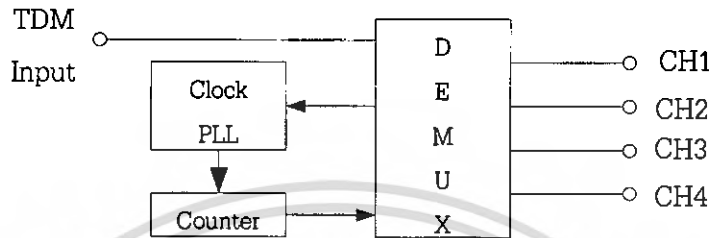


รูปที่ 3.2 วงจรมัลติเพล็กซ์ 4 ช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 การดีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

### 3.2.1 การออกแบบวงจรดีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา



รูปที่ 3.3 ผังการทำงานของ การดีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาด้านรับ

ในการสร้างภาคดีมอดูเลตของสัญญาณมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา ใช้ชิปเบอร์เดียวกับภาคมอดูเลต แต่มีการจัดวงจรใหม่เพื่อให้ตัวดีมอดูเลตซึ่งเป็นสัญญาณเข้าจังหวะจากภาคส่งนั้นได้ถูกออกแบบให้มีความแรงของสัญญาณที่มากกว่าอินพุตเพื่อให้ทางภาครับรับรู้ถึงสัญญาณเข้าจังหวะซึ่งจะใช้ชิปประเภทเฟสล็อกคูลูปเป็นตัวสร้างสัญญาณนาฬิกาใหม่ให้ตรงและมีความถี่เท่ากับภาคส่งแล้วสัญญาณนาฬิกาที่สร้างขึ้นมาใหม่นี้ไปควบคุมวงจรนับซึ่งสัญญาณจากวงจรถูกนำไปควบคุมการแยกช่องสัญญาณของภาครับให้มีเอาต์พุตตรงกับอินพุตของภาคส่ง

### 3.2.2 การสร้างวงจรดีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

จากรูปที่ 3.4 เป็นวงจรที่ใช้งานจริงในการออกแบบวงจรดีมัลติเพล็กซ์นี้จะแบ่งเป็นส่วนๆดังนี้

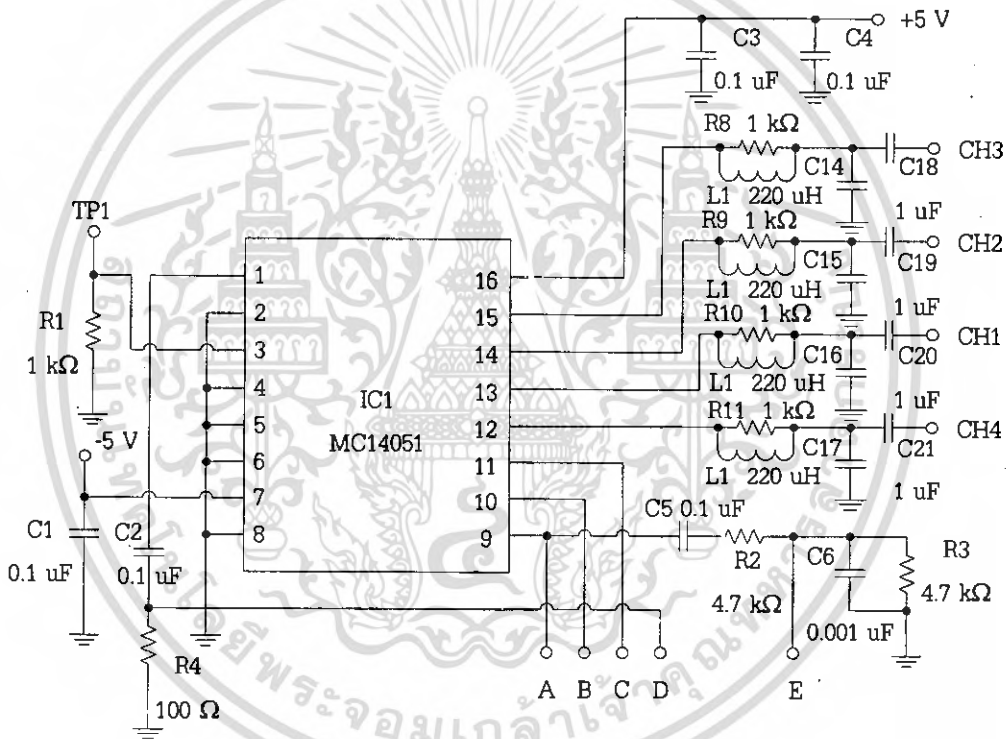
1. ส่วนของวงจรดีมัลติเพล็กซ์โดยใช้ไอซีเบอร์ U1
2. ส่วนของวงจรถ่ายโอนข้อมูล (Logic Sequencer)
3. เฟสล็อกคูลูป เปรียบเทียบ U2
4. VCO (Voltage Controlled Oscillator)
5. Q1 (อัตรากาการขยายกำลัง) สำหรับ U3

ในส่วนของวงจรการดีมัลติเพล็กซ์จะอาศัยไอซีเบอร์ MC 14051 โดยจัดให้ขา 3 เป็นขาอินพุตซึ่งจะได้รับสัญญาณมาจากภาคดีเท็คเตอร์ และจะมีเอาต์พุตออกทางขา 13 เป็นช่องสัญญาณที่ 1 ขาที่ 14 เป็นช่องสัญญาณที่ 2 ขาที่ 15 เป็นช่องสัญญาณที่ 3 ขาที่ 12 เป็นช่องสัญญาณที่ 4 และขา 1 เป็นช่องสัญญาณการเข้าจังหวะ สัญญาณการเข้าจังหวะที่ได้รับจากภาคส่งจะถูกดีเท็คออกมาทางขา 1 ของ U1 ซึ่งจะถูกส่งไปเปรียบเทียบกับสัญญาณลอจิก C จาก U3 ที่ไอซี U2 ซึ่งในส่วนของเฟสล็อกคูลูป และการเปรียบเทียบจะต้องทำให้เฟสของสัญญาณนั้นตรงข้ามกันโดยวงจรสามารถปรับ R5 ซึ่งทำให้เฟสและความถี่ของสัญญาณ

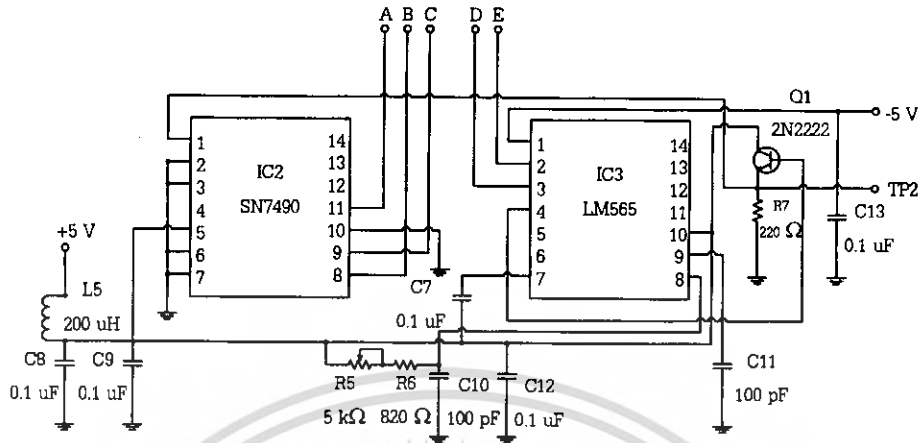
ตรงกันและมีความถี่เท่ากันได้และความถี่สัญญาณนาฬิกาที่สร้างขึ้นมาจาก U2 มีความถี่เท่ากับทางภาคส่ง คือ 225 กิโลเฮิรตซ์

สัญญาณนาฬิกาจะถูกขยายกำลังโดย Q1 แล้วจะถูกส่งไปให้กับวงจรนับเพื่อผลิตสัญญาณลอจิกไปควบคุมดีมัลติเพล็กซ์ของ U1 เพื่อให้ช่องสัญญาณเอาต์พุตนั้นเหมือนกับช่องสัญญาณของอินพุตของภาคส่ง

สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการดีมัลติเพล็กซ์นั้นจะยังไม่เป็นสัญญาณที่เหมือนกับสัญญาณอินพุตของภาคส่งโดยสมบูรณ์ ถ้าต้องการให้สัญญาณที่เอาต์พุตเหมือนกับอินพุตของภาคส่งจะต้องนำสัญญาณเอาต์พุตไปผ่านวงจรรองความถี่ที่เหมาะสมจึงได้สัญญาณกลับมาที่สมบูรณ์



รูปที่ 3.4 วงจรดีมัลติเพล็กซ์การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา



รูปที่ 3.4 (ต่อ) วงจรตีมอดูเลตการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

### 3.3 การมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์

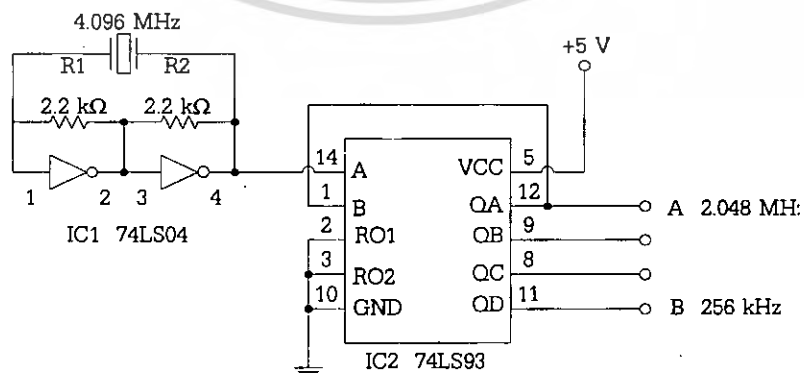
การออกแบบวงจรตีมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์นี้จะใช้เบอร์ไอซีเบอร์ MC14557 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้ในการเข้ารหัสพัลส์และใช้ไอซีเบอร์ 74LS393 และไอซีเบอร์ MC14514 เป็นวงจรสร้างสัญญาณเข้าจังหวะ

#### 3.3.1 การออกแบบวงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์

วงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์แบ่งออกเป็น 2 วงจรหลัก คือ วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาและวงจรเข้ารหัสสัญญาณพัลส์ ซึ่งการออกแบบแต่ละวงจรมีดังนี้

##### 1. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

จากรูปที่ 3.5 ใช้ฮอสซิลเลเตอร์แบบคริสตอลความถี่ 4.096 เมกะเฮิร์ตซ์ มาหาร 2 ให้ความถี่ 2.048 เมกะเฮิร์ตซ์ เพื่อใช้ในการเข้ารหัสพัลส์ และหาร 16 ให้ความถี่ 256 กิโลเฮิร์ตซ์ เพื่อใช้ในการสร้างสัญญาณเข้าจังหวะโดยใช้ไอซีเบอร์ 74LS93 ซึ่งเป็นวงจรมับมาประยุกต์เป็นวงจรหารความถี่



รูปที่ 3.5 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

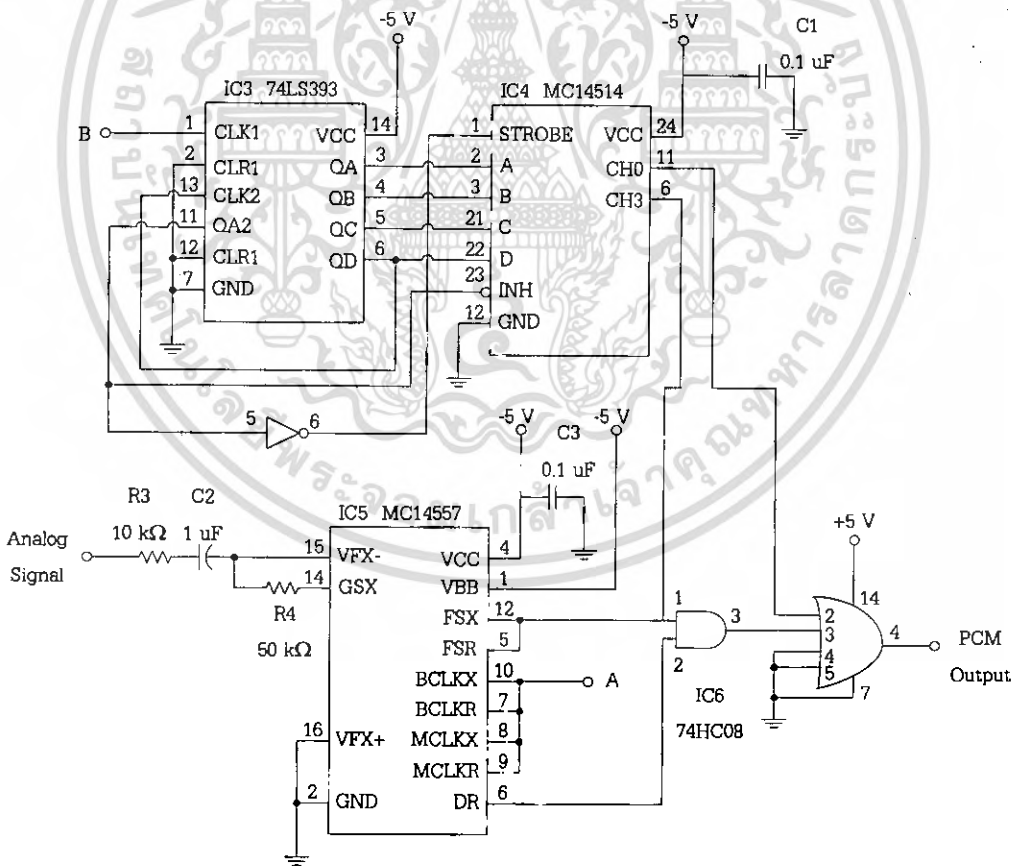
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วงจรเข้ารหัสพัลส์

จากรูปที่ 3.6 ไอซีเบอร์ MC14557 เป็นวงจรเข้ารหัสพัลส์ อินพุตของวงจรจะเป็นสัญญาณเสียง ในช่วงความถี่ 300 ถึง 3400 เฮิรตซ์ที่ขา 14 และขา 15 ซึ่งมี R3, R4 และ C2 จัดไบอัสให้วงจรและใช้อัตราการสุ่มตัวอย่าง 800 ครั้งต่อวินาที เอาต์พุตที่ได้จากขา 11 จะเป็นสัญญาณเข้ารหัสพัลส์จำนวน 8 บิตต่อการสุ่มตัวอย่างหนึ่งครั้ง ดังนั้นจึงมีอัตราในการส่ง 2.048 เมกะบิตต่อวินาที

ไอซีเบอร์ 47LS393 และไอซีเบอร์ MC14514 เป็นวงจรสร้างสัญญาณเข้าจังหวะเพื่อส่งไปภาครับซึ่งสัญญาณเข้าจังหวะนี้ ภาครับจะนำไปสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่ ก็เพื่อให้สัญญาณนาฬิกาเกิดการตรงกัน

สัญญาณเข้ารหัสพัลส์และสัญญาณเข้าจังหวะทั้งสองสัญญาณนี้จะนำมารวมกันโดยใช้ไอซีเบอร์ 74HC4072 โดยสัญญาณนาฬิกาเข้าจังหวะจะถูกส่งออกไปก่อนสัญญาณเข้ารหัสพัลส์โดยใช้ไอซีเบอร์ 74LS121 ซึ่งเป็นไอซีโมโนสเตเบิลมัลติไวเบเรเตอร์ เพื่อให้วงจรทางภาครับสามารถตรวจจับได้ก่อนและนำไปสร้างสัญญาณนาฬิกาขึ้นมาใหม่ได้



รูปที่ 3.6 วงจรเข้ารหัสพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 การสร้างวงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์

จากรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 เป็นวงจรใช้งานจริง ไอซีแต่ละตัวใช้แรงดันแหล่งจ่ายชุดเดียวกัน คือใช้แรงดัน +5 V ส่วนไอซีเบอร์ MC145557 ใช้แรงดัน +5 V และ -5 V เพื่อใช้เป็นแรงดันอ้างอิง ที่สำคัญในการต่อจะต้องมีตัวเก็บประจุค่า 0.1  $\mu\text{F}$  ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟด้วยเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดจากแหล่งจ่าย

### 3.4 วงจรดีมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์

การออกแบบวงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์ ยังคงใช้ไอซีเบอร์ MC145557 ในการถอดรหัสอยู่ เพราะภายในไอซีมีวงจรเข้ารหัสและถอดรหัสอยู่ในตัวเดียวกันและจะมีไอซีเบอร์ HCF4046B และไอซีเบอร์ 74LS121 เป็นตัวสร้างสัญญาณนาฬิกาปลายทาง ซึ่งมีรายละเอียดการสร้างดังนี้

#### 3.4.1 การออกแบบวงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์

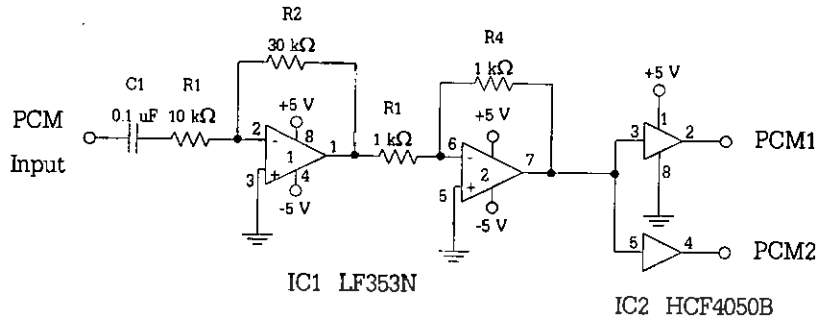
การออกแบบวงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์ จะแบ่งออกเป็น 3 วงจรหลัก คือ ภาคขยายสัญญาณเข้ารหัสพัลส์ ภาคสร้างสัญญาณนาฬิกาปลายทางและภาคถอดรหัสสัญญาณพัลส์ ในแต่ละภาคมีการออกแบบดังนี้

##### 1) วงจรขยายสัญญาณเข้ารหัสพัลส์

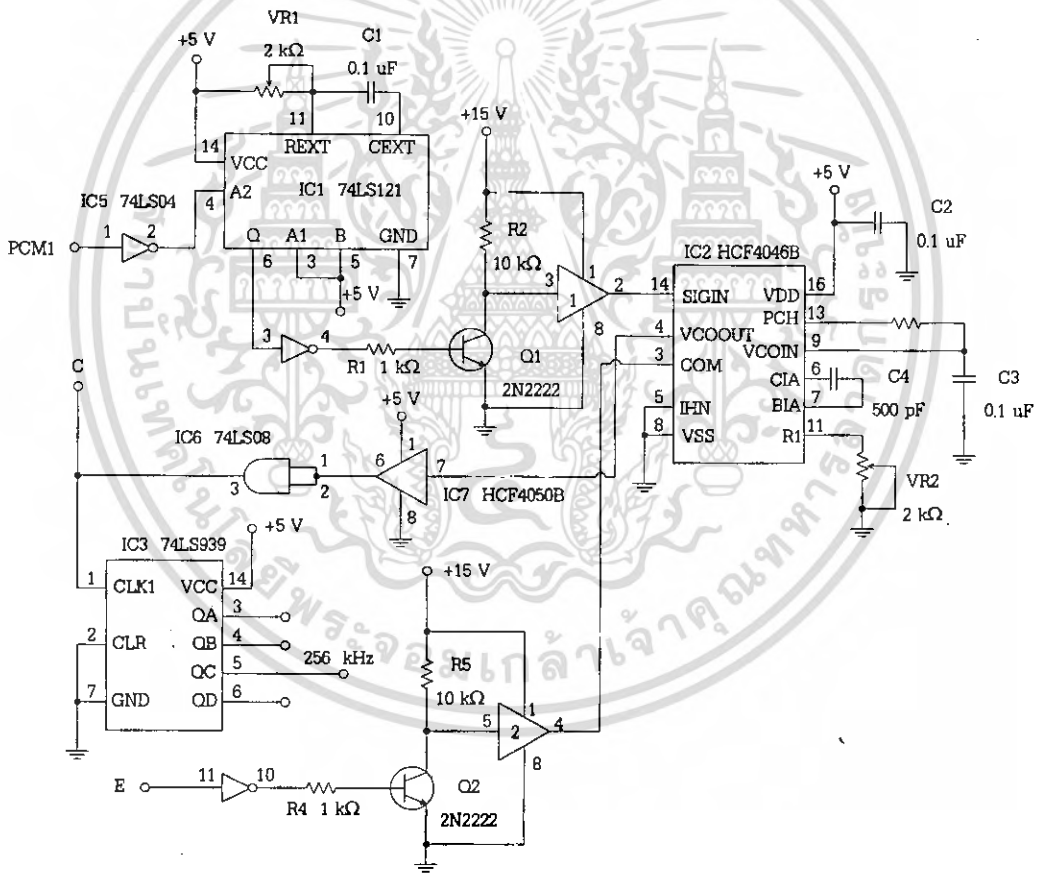
สัญญาณเข้ารหัสพัลส์ที่ส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงแล้วความแรงของสัญญาณจะถูกลดทอนลงอย่างมาก ดังนั้นภาครับจึงต้องมีวงจรขยายสัญญาณให้แรงขึ้น วงจรขยายนี้ใช้ออปแอมป์เบอร์ LF353N โดยที่การขยายจะทำ 2 ครั้ง ครั้งแรกจะใช้  $R_i$  เท่ากับ 10 กิโลโอห์ม และใช้  $R_f$  เท่ากับ 30 กิโลโอห์ม ทำให้ได้อัตราขยายเท่ากับ 3 เท่า ซึ่งต่อแบบสวนกลับทำให้สัญญาณที่ได้กลับเฟส 180 องศา และจะมาทำการกลับเฟสให้เหมือนเดิมอีกครั้งที่ตัวที่ 2 ซึ่งต่ออินเวอร์ตติ้งเช่นกัน โดยใช้  $R_i$  และ  $R_f$  เท่ากันคือ 1 กิโลโอห์ม ได้อัตราการขยาย 1 เท่า และสัญญาณเข้ารหัสพัลส์จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ทาง คือ PMC1 และ PMC2 โดยผ่านบัฟเฟอร์เบอร์ HCF4050B วิธีการคำนวณอัตราการขยายของแต่ละวงจรมีดังนี้

$$\text{อัตราการขยายครั้งแรก} = -\left(\frac{R_i}{R_f}\right) \times V_i = -\left(\frac{30\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega}\right) = -3 \text{ เท่า}$$

$$\text{อัตราการขยายครั้งแรก} = -\left(\frac{R_i}{R_f}\right) \times V_i = -\left(\frac{1\text{k}\Omega}{1\text{k}\Omega}\right) = -1 \text{ เท่า}$$



รูปที่ 3.7 วงจรขยายสัญญาณเข้ารหัสพัลส์



รูปที่ 3.8 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาหลายทาง

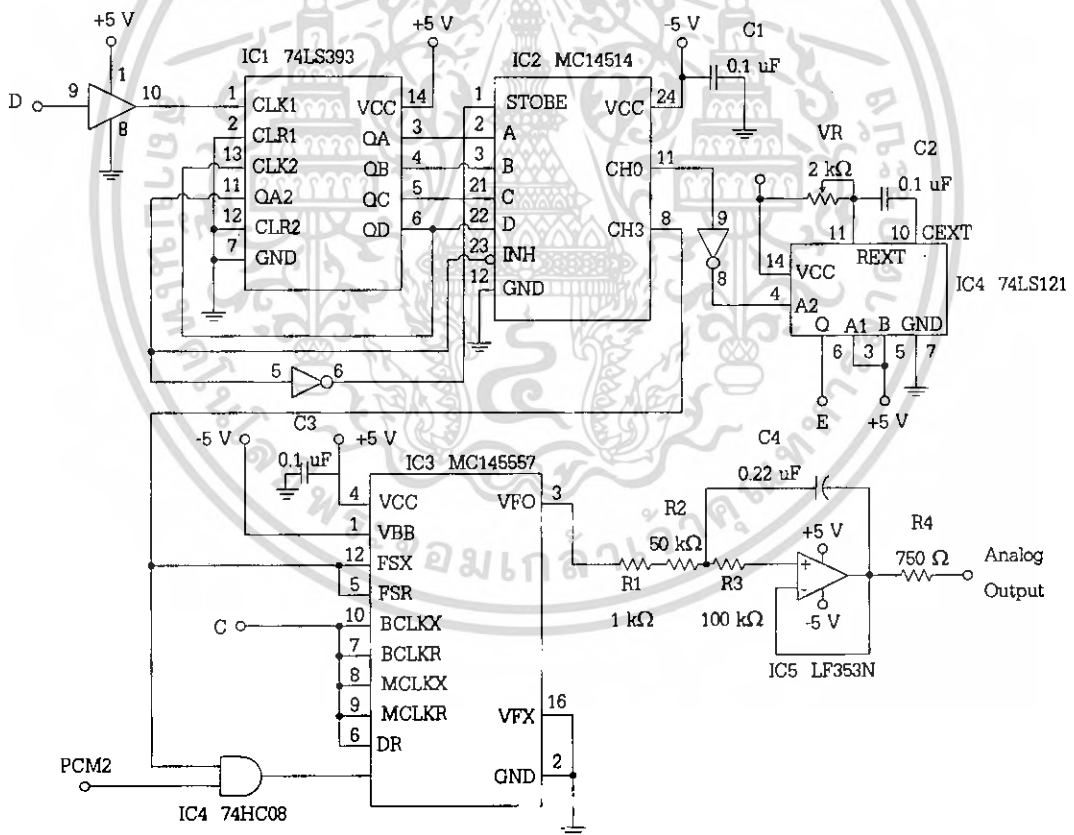
2) วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาหลายทาง

อินพุตของวงจรจะเป็นสัญญาณเข้ารหัสพัลส์ที่จุด PCM1 ที่ได้จากวงจรมultiplexerเข้ารหัสพัลส์ โดยมีวงจรนับจังหวะซึ่งใช้ไอซีเบอร์ 74LS121 เมื่อสัญญาณเข้าจังหวะถูกส่งออกมาระดับ 74LS121 จะผลิตเอาต์พุตเป็นเอาต์พุตที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 8 กิโลเฮิร์ตซ์ เข้ามาป้อนให้กับขา 14 ของเฟลลือคคูลูปเบอร์ HCF4046B และเฟลลือคคูลูปจะผลิตความถี่ 2.048 เมกะเฮิร์ตซ์ขึ้นมาป้อนให้กับขา 4 และนำความถี่ที่ได้เข้าวงจรหารด้วย 8 จะได้ความถี่ 256 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่จุด D เพื่อป้อนให้แก่วงจรถอดรหัสสัญญาณพัลส์เพื่อป้อนให้แก่วงจรถอดรหัสสัญญาณพัลส์และนำความถี่ 8 กิโลเฮิร์ตซ์ที่จุด E ที่ได้จากภาคการถอดรหัสพัลส์จากไอซีเบอร์ 74LS121 อีกตัวเพื่อความถี่ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเฟสของความถี่ที่ผลิตจากขา 14 ของไอซีเบอร์ HCF4046B

**3) วงจรถอดรหัสสัญญาณพัลส์**

วงจรถอดรหัสสัญญาณพัลส์ใช้ไอซีเบอร์ MC145557 จะเหมือนกับวงจรถอดรหัส และจะรับสัญญาณเข้ารหัสพัลส์มาจากจุด PCM2 โดยที่รับสัญญาณเข้ารหัสพัลส์เข้าที่ขา 6 และจะได้สัญญาณเสียงที่ขา 3 ซึ่งสัญญาณเสียงที่ได้จะมีสัญญาณรบกวนเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรกรองความถี่ต่ำโดยใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF353N ต่อขาที่ 3 เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนเหล่านั้นออกไป



**รูปที่ 3.9** วงจรถอดรหัสสัญญาณเข้ารหัสพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 การสร้างวงจรดีมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์

จากรูปที่ 3.7 เป็นวงจรขยายสัญญาณเข้ารหัสพัลส์ที่ใช้งานจริง ออปแอมป์ที่ใช้เป็นเบอร์ LF353N ใช้แรงดันจากแหล่งจ่าย +5 V และ -5 V ส่วนบัฟเฟอร์เบอร์ HCF4050B ใช้แรงดัน +5 V

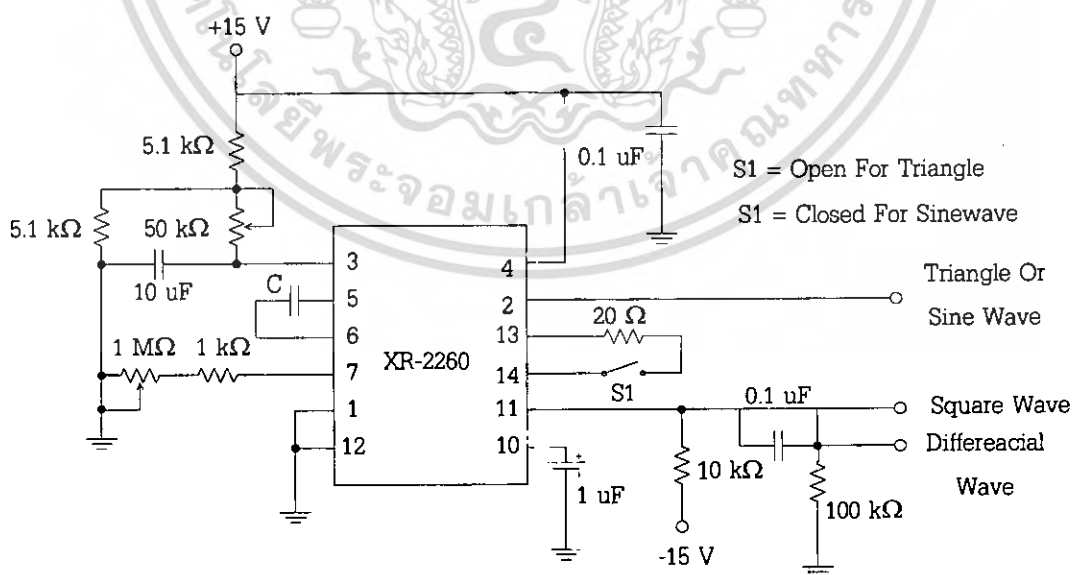
จากรูปที่ 3.8 เป็นวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาที่ใช้งานจริง โดยที่ VR1 ใช้ปรับความกว้างของพัลส์ และ VR2 ใช้ปรับความถี่ที่ผลิตออกมาจากเฟสล็อกกลูบให้ได้ความถี่ที่ 2.048 เมกะเฮิรตซ์ ในการต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับไอซีแต่ละตัวจะต้องมีตัวเก็บประจุค่า 0.1  $\mu\text{F}$  ต่ออยู่ด้วยเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากแหล่งจ่าย

จากรูปที่ 3.9 เป็นวงจรถอดรหัสสัญญาณพัลส์ที่ใช้งานจริง โดยจะต้องต่อความถี่ 2.048 เมกะเฮิรตซ์ ที่จุด C และความถี่ 256 กิโลเฮิรตซ์ที่จุด D จากวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกามาไว้วงจรถอดรหัสสัญญาณเข้ารหัสพัลส์เพื่อใช้เป็นฐานเวลา

### 3.5 วงจรผลิตความถี่

วงจรผลิตความถี่ที่ใช้ในชุดฝึกนี้สามารถผลิตรูปคลื่นออกมา 4 รูปแบบคือ รูปไซน์ รูปสามเหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยมและรูปดิฟเฟอเรนเชียล โดยใช้อิซีเบอร์ XR-2206 ซึ่งเป็นไอซีโมโนลิธิคฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ซึ่งมีการออกแบบและการสร้างดังต่อไปนี้

#### 3.5.1 การออกแบบวงจรผลิตความถี่



รูปที่ 3.10 วงจรผลิตความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรรูปที่ 3.10 ตัวต้านทาน  $R_1$  ที่ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานค่า  $1\text{ k}\Omega$  ที่ขา 7 จะได้ตัวต้านทานปรับค่าได้ เพื่อปรับความถี่ของสัญญาณที่เอาต์พุต และค่าที่  $R_3$  ที่ต่อกับขา 3 จะใช้เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ เพื่อปรับแอมพลิจูดของรูปคลื่นของสัญญาณที่เอาต์พุตให้ตรงกับที่ต้องการมากที่สุด เมื่อประกอบวงจรและป้อนไฟเข้าวงจรแล้ว ปรับค่า  $R_1$  ให้มีความถี่ที่ต้องการ และใช้ออสซิลโลสโคปวัดเอาต์พุตที่ขา 11 จะได้สัญญาณสามเหลี่ยม เมื่อปิดสวิตช์  $S_1$  จะได้สัญญาณไซน์ หากสัญญาณเอาต์พุตมีแอมพลิจูดไม่สมมาตรให้ปรับ  $R_3$  จนกว่าจะได้รูปคลื่นที่สมมาตร

ในการหาค่า  $f$  จะมีค่าเปลี่ยนไปตามค่าตัวต้านทาน  $R_1$  โดยในที่นี้จะใช้ค่าที่คำนวณไว้ซึ่งได้แอมพลิจูดที่ใช้ทดลองคือ  $2\text{ V}_{p-p}$

จากรูปที่ 3.10 จะสังเกตได้ว่า  $R_1$  จะเป็นตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ โดยความถี่เอาต์พุตสามารถกำหนดได้จาก  $f_0$  เท่ากับ  $1/RC$

$$\text{ดังนั้นความถี่เอาต์พุตต่ำสุดที่ได้คือ } f_0 = \frac{1}{(1\text{M}\Omega)(0.0047\mu\text{F})} = 210 \text{ เฮิรตซ์}$$

$$\text{และค่าความถี่เอาต์พุตสูงสุดที่ได้คือ } f_0 = \frac{1}{(1\text{k}\Omega)(0.0047\mu\text{F})} = 210 \text{ กิโลเฮิรตซ์}$$

### 3.5.2 การสร้างวงจรผลิตความถี่

จากรูปที่ 3.10 เป็นวงจรผลิตความถี่ที่ใช้งานจริงในชุดทดลองนี้ วงจรผลิตความถี่นี้ใช้แรงดัน  $+5\text{ V}$  ในการต่อไฟเข้าวงจรจะต้องมีตัวเก็บประจุค่า  $0.1\text{ }\mu\text{F}$  เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากแหล่งจ่ายไฟ

## 3.6 วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

### 3.6.1 การออกแบบวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

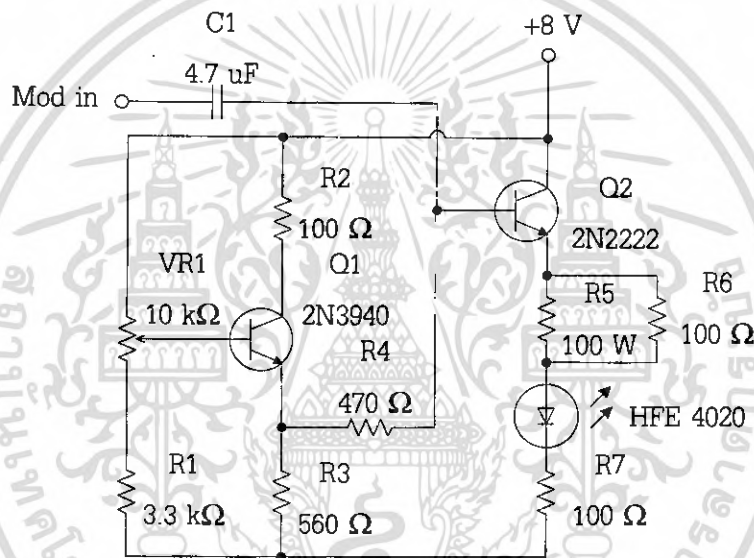
ในการออกแบบจะต้องเลือกอุปกรณ์ที่ตอบสนองความถี่สูงเพราะในชุดฝึกนี้จะใช้ส่งสัญญาณแบบเข้ารหัสพัลส์ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่สูงซึ่งจะต้องส่งสัญญาณได้ทั้งสัญญาณดิจิตอลและสัญญาณแอนะล็อก โดยในการออกแบบจะต้องใช้วงจรภาคเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงที่มีอัตราการขยายสัญญาณที่มีความแรงสูงมากพอที่จะส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสงได้และจะต้องมีแบนวิดท์ที่กว้าง โดยจะมีวงจรทั้งหมดอยู่ 4 วงจรด้วยกันเพื่อความหลากหลายและเปรียบเทียบสัญญาณทั้งได้ออกมาว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด

### 3.6.2 การสร้างวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

วงจรจะมีทั้งหมดอยู่ 2 วงจร

#### 1) วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงโดยใช้ทรานซิสเตอร์ขยายส่งด้วยแอลอีดี

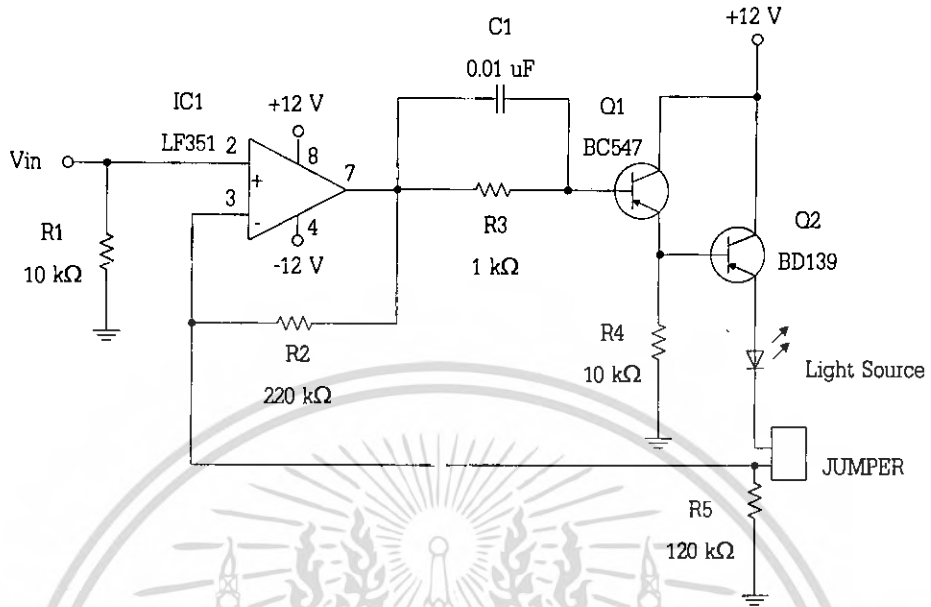
การสร้างวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงนี้จะเลือกอุปกรณ์ที่ตอบสนองต่อความถี่สูงคือ แอลอีดี ซึ่งเป็นตัวเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง เลือกใช้เบอร์ HFE 4020 ซึ่งมีแบนวิดท์ 10 MHz และเลือกใช้ทรานซิสเตอร์สำหรับการขับให้แอลอีดีเปล่งแสง โดยใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N2222 ซึ่งสามารถรับความถี่อินพุตได้สูงถึง 250 MHz



รูปที่ 3.11 วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงโดยใช้ทรานซิสเตอร์ขยายส่งด้วยแอลอีดี

#### 2) วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงโดยใช้ไอซีขยายส่งด้วยแอลอีดี

จากรูปที่ 3.12 เป็นวงจรขับสัญญาณโดยใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF351 แรงดันอินพุตที่ป้อนให้แก่ขาบวกและขาลบของไอซีออปแอมป์จะต้องมีค่าเท่ากันเสมอ ดังนั้นเมื่อเกิดความร้อนขึ้นภายในทรานซิสเตอร์หรือที่อุปกรณ์กำเนิดแสงเอง จนทำให้กระแสไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดแสงมีค่ามากขึ้น ไอซีออปแอมป์จะปรับอัตราขยายมากขึ้นจนกระทั่งแรงดันอินพุตที่ขาบวกมีค่าเท่ากับขาลบ ส่วนทรานซิสเตอร์เบอร์ BC547 และ BD193 จะต่อแบบดาร์ลิงตัน (Darlington) เพื่อเพิ่มกระแสที่นำไปขับอุปกรณ์กำเนิดแสง



รูปที่ 3.12 วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงโดยใช้ไอซีขยายส่งด้วยแอลอีดี

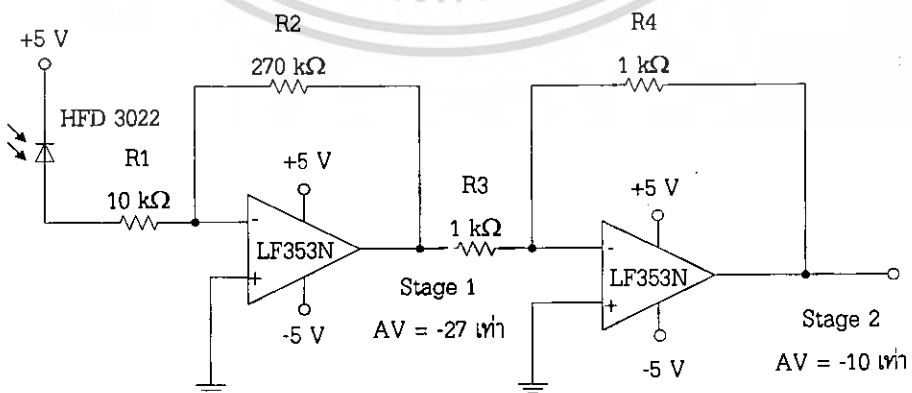
### 3.7 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

#### 3.7.1 การออกแบบวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

ในการออกแบบวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นไฟฟ้านี้จะต้องออกแบบให้สามารถตอบสนองความถี่สูงได้เช่นเดียวกับวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง โดยจะมีวงจรทั้งหมดอยู่ 2 วงจรเหมือนกัน

#### 3.7.2 การสร้างวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

การสร้างจะประกอบไปด้วยวงจรอยู่ 2 วงจรด้วยกัน

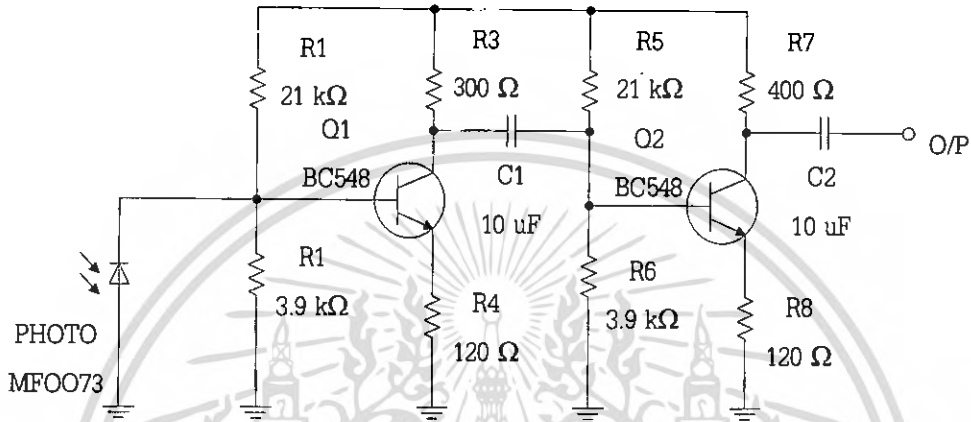


รูปที่ 3.13 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้ารับโดยโฟโตไดโอดใช้ไอซีขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1) วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้ารับโดยโฟโตไดโอดใช้ไอซีขยาย

โฟโตไดโอดจะเลือกใช้เบอร์ HFD3020 ซึ่งจะรับสัญญาณแสงเข้ามาแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งจะใช้ไอซีเบอร์ LF353N เป็นตัวขยายสัญญาณจากโฟโตไดโอดโดยมีอัตราขยายเท่ากับ 270 เท่า



รูปที่ 3.14 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้ารับโดยโฟโตไดโอดใช้ทรานซิสเตอร์ขยาย

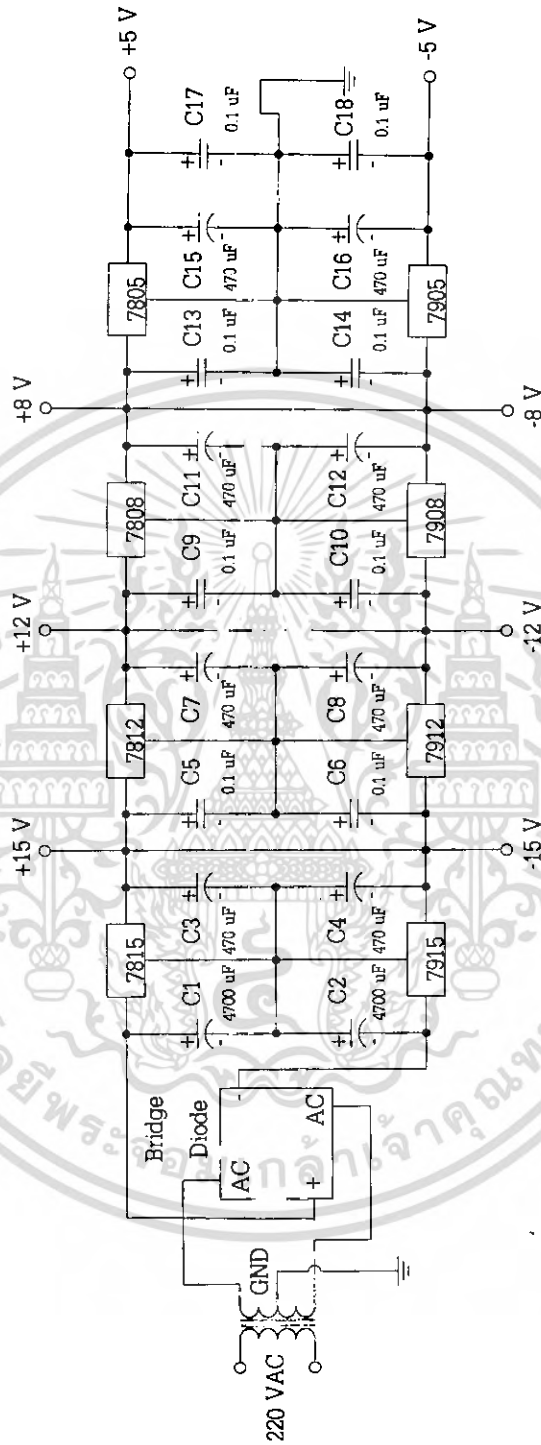
### 2) วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้ารับโดยโฟโตไดโอดใช้ทรานซิสเตอร์ขยาย

โฟโตไดโอดจะเลือกเบอร์ MF0073 โดยโฟโตไดโอดจะแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งสัญญาณเข้ามาที่ทรานซิสเตอร์ Q1 ซึ่งต่อแบบโวลต์เตจดีไวเดอร์เพื่อขยายสัญญาณให้มีความแรงขึ้นโดยใช้เบอร์ BC548 แล้วส่งไปขยายอีกรอบที่ทรานซิสเตอร์ Q2 เพื่อขยายอีกรอบ ใช้เบอร์ BC548 เหมือนกันกับทรานซิสเตอร์ Q1

## 3.8 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

### 3.8.1 การออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟ

ในการออกแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟในการใช้เป็นแหล่งจ่ายแรงดันป้อนให้กับวงจรต่างๆ ซึ่งแรงดันที่ใช้ งานจะมีทั้งแรงดันไฟบวกและแรงดันไฟลบคือตั้งแต่แรงดัน -5 V, +5 V, -8 V, +8 V, -12 V, +12 V, -15 V และ +15 V โดยแรงดันที่ใช้งานจะเป็นแรงดันแบบคงที่ คือจะใช้ไอซีเรกูเลเตอร์ตระกูล 78XX และ 79XX ในการกำเนิดแรงดัน



รูปที่ 3.15 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.8.2 การสร้างวงจรแหล่งจ่ายไฟ

การสร้างวงจรแหล่งจ่ายไฟจะใช้หม้อแปลงขนาด 1 แอมป์ (A) และใช้ไดโอดแบบบริดจ์ที่ทนกระแส 6 แอมป์ (A) ในการสร้างวงจรเรียงกระแส (Rectifier) และจะถูกต่อกับตัวเก็บประจุ  $4700 \mu\text{F}$  2 ตัว ทั้งทางด้านไฟบวกและไฟลบซึ่งตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่ในการกรองกระแสเพื่อจ่ายให้แก่วงจร ส่วนทางด้านไอซีเบอร์ 78XX และ 79XX นั้นจะกำเนิดแรงดันไฟฟ้าคงที่โดยที่ไอซีเบอร์ 78XX จะกำเนิดแรงดันทางด้านบวก โดยขาที่ 1 จะเป็นอินพุต ขาที่ 2 เป็นกราวด์ และขาที่ 3 เป็นเอาต์พุต

ในการนำไปใช้งานนั้นจะต้องสร้างวงจรแหล่งจ่ายไฟทั้งหมด 2 วงจรคือทางด้านภาคส่งและทางด้านภาครับ โดยข้อควรระวังในการสร้างคือก่อนจะป้อนแรงดันไฟ 220 VAC ควรจะตรวจสอบดูขาของไอซีเร็กกูเลเตอร์ก่อนว่าต่อวงจรถูกต้องแล้วหรือไม่ จากนั้นก็ทำการป้อนแรงดันไฟ 220 VAC วัดแรงดันทางเอาต์พุตทุกจุดว่าได้แรงดันตามที่ได้ออกแบบไว้หรือไม่



## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองของวงจรการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสงและการรับสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ คือชุดฝึกเส้นใยแก้วนำแสง 2 ชุดทั้งตัวส่งและตัวรับและเครื่องและออสซิลโลสโคป 1 เครื่อง

#### 4.1 การทดลองและผลการทดลองการส่งสัญญาณต่างๆ ผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

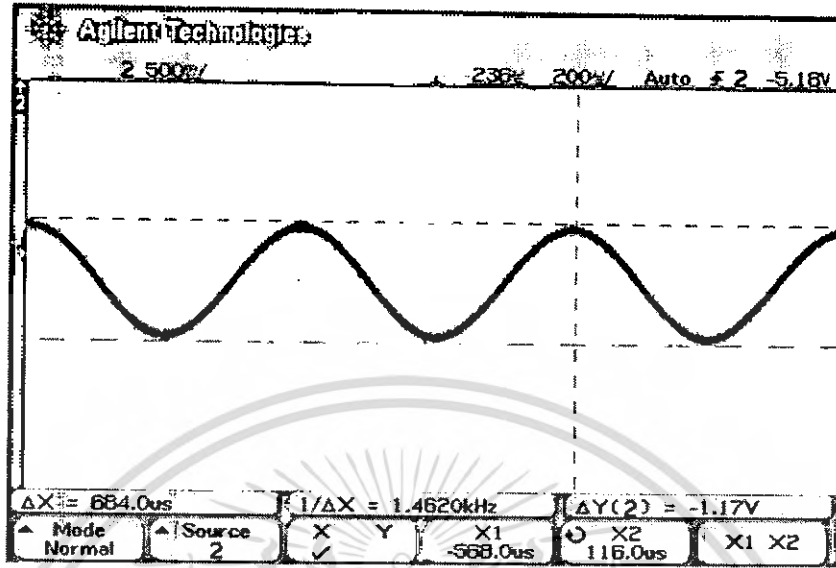
##### 4.1.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1. นำแหล่งกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นไซน์ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ขนาด 10 Vp-p ป้อนให้กับภาคขับสัญญาณ ที่จุด TS5
2. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่จุด TS6
3. ปรับปุ่มความเข้มแสง (Adjust) ให้ได้สัญญาณไม่มีการบิดเบี้ยว
4. วัดสัญญาณที่จุด TR2 บันทึกสัญญาณที่วัดได้
5. นำแหล่งกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ขนาด 3 Vp-p ป้อนให้กับภาคขับสัญญาณที่จุด TS5
6. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่จุด TS6
7. ปรับปุ่มความเข้มแสง (Adjust) ให้ได้สัญญาณไม่มีการบิดเบี้ยว
8. วัดสัญญาณที่จุด TR2 บันทึกสัญญาณที่วัดได้
9. นำแหล่งกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ขนาด 2 Vp-p ป้อนให้กับภาคขับสัญญาณ ที่จุด TS5
10. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่จุด TS6
11. ปรับปุ่มปรับความเข้มของแสง (Adjust) ให้ได้สัญญาณไม่มีการบิดเบี้ยว
12. วัดสัญญาณที่จุด TR2 บันทึกสัญญาณที่วัดได้

##### 4.1.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองมีดังนี้  
จุด TS6 สัญญาณอินพุตรูปไซน์

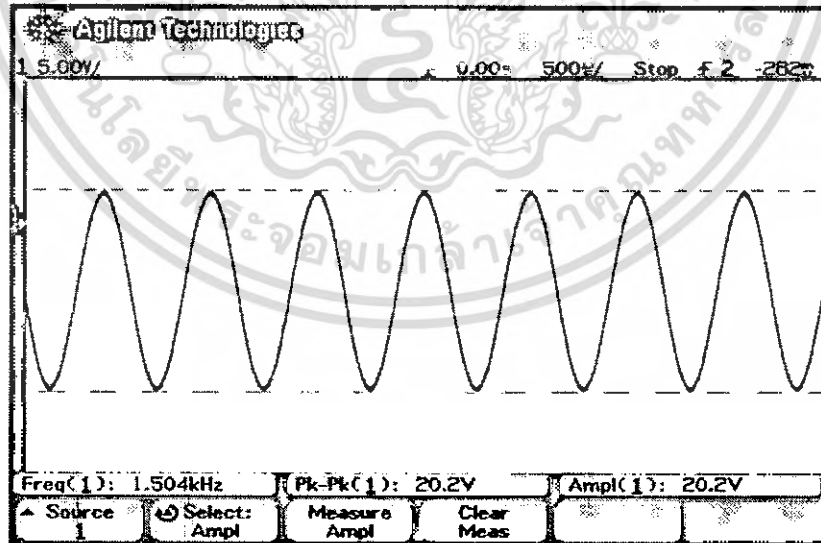
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Volt/Div = 0.5 V Time/Div = 200  $\mu$ S

รูปที่ 4.1 สัญญาณอินพุตรูปคลื่นไซน์

จุด TR2 สัญญาณเอาต์พุตของภาครับสัญญาณ

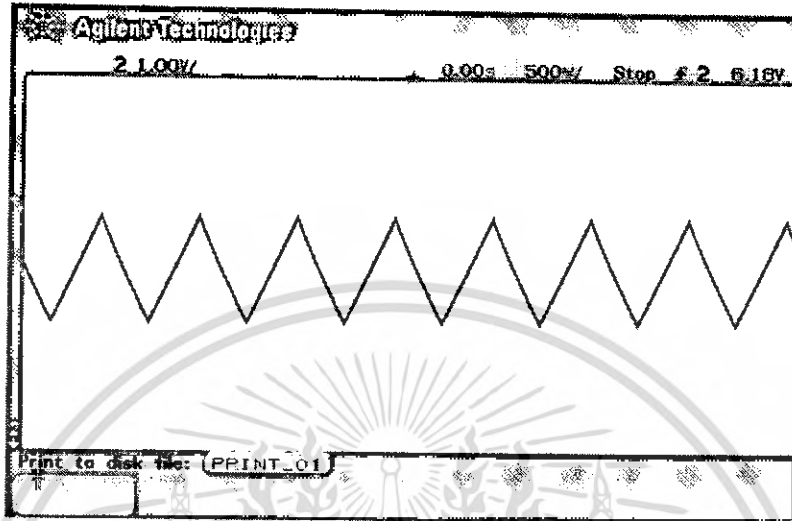


Volt/Div = 5 V Time/Div = 500  $\mu$ S

รูปที่ 4.2 สัญญาณเอาต์พุตของภาครับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

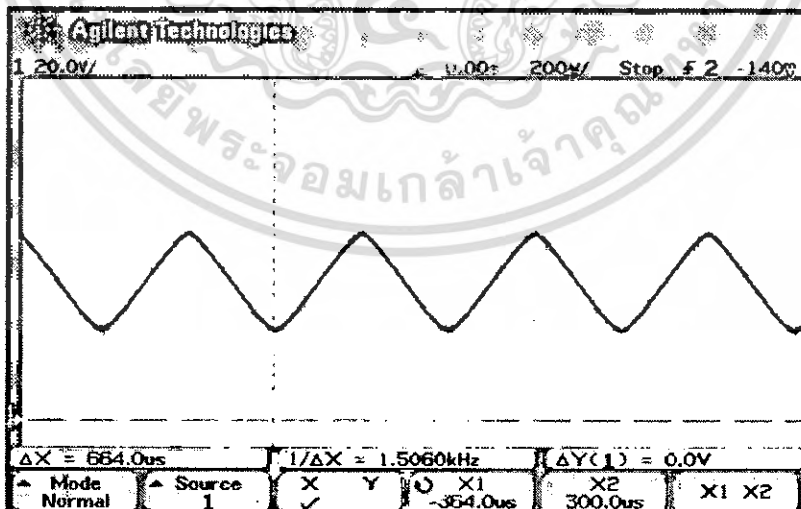
จุด TS6 สัญญาณอินพุตรูปคลื่นสามเหลี่ยม



Volt/Div = 1 V Time/Div = 200  $\mu$ S

รูปที่ 4.3 สัญญาณอินพุตรูปคลื่นสามเหลี่ยม

จุด TR2 สัญญาณอินพุตของภาครับสัญญาณ

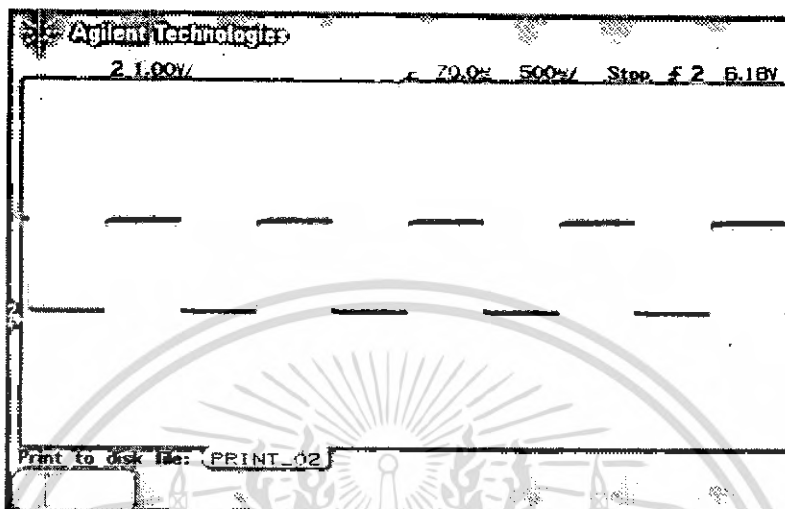


Volt/Div = 20 V Time/Div = 200  $\mu$ S

รูปที่ 4.4 สัญญาณเอาต์พุตของภาครับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ลีททั้งหมดมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

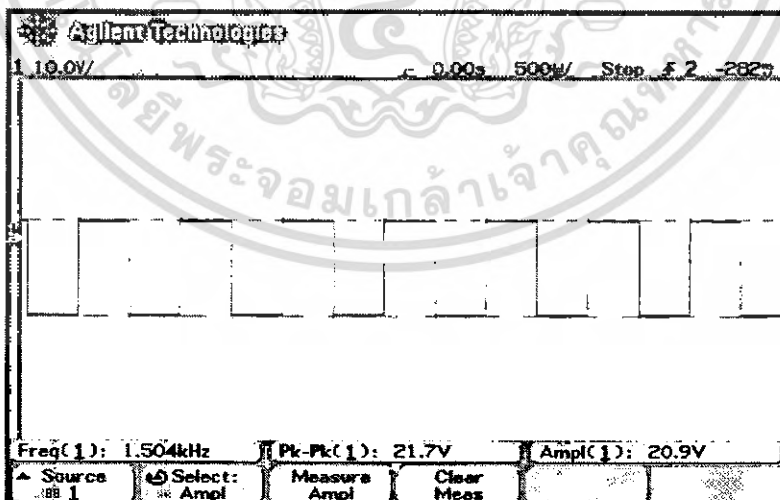
จุด TS6 สัญญาณอินพุตรูปคลื่นสี่เหลี่ยม



Volt/Div = 1 V Time/Div = 200  $\mu$ S

รูปที่ 4.5 สัญญาณอินพุตรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

จุด TR2 สัญญาณเอาต์พุตของภาครับสัญญาณ



Volt/Div = 10 V Time/Div = 500  $\mu$ S

รูปที่ 4.6 สัญญาณเอาต์พุตของภาครับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การทดลองและผลการทดลองวงจรมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาและวงจร ดีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

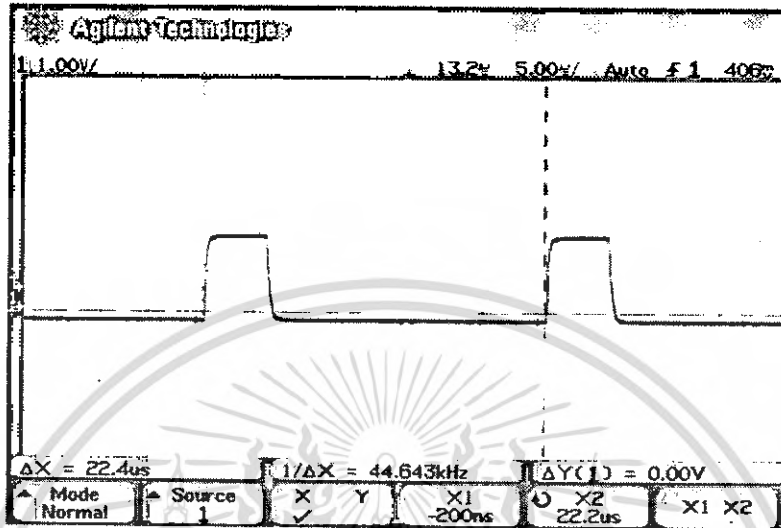
### 4.2.1 ลำดับขั้นการทดลอง

1. ทดสอบวงจรมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาทางด้านชุดส่งโดยไม่ส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสง
2. วัดสัญญาณที่จุด TS19 ซึ่งจะได้สัญญาณเข้าจังหวะ บันทึกผลของสัญญาณที่วัดได้
3. ทดสอบวงจรมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 1 ช่องสัญญาณ โดยการนำสัญญาณรูปคลื่นไซน์จากแหล่งกำเนิดสัญญาณ (TDM Function Generator) ที่จุด TS1 โดยปรับให้ได้ความถี่ 2 กิโลเฮิร์ตซ์ ขนาด 2 Vp-p ต่อไปยังจุด TS17 วัดสัญญาณที่จุด TS19 บันทึกสัญญาณที่วัดได้จากการทดลอง
4. ทดสอบวงจรมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 4 ช่องสัญญาณ โดยการนำรูปคลื่นสัญญาณทั้ง 4 รูปคลื่น คือ รูปคลื่นไซน์ รูปคลื่นสามเหลี่ยม รูปคลื่นสี่เหลี่ยมและรูปคลื่นดิฟเฟอเรนเชียลเฟอเรนเชียล ต่อเข้าที่ภาคการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา
5. ต่อจุด TS1 ไปยังจุด TS17
6. ต่อจุด TS2 ไปยังจุด TS20
7. ต่อจุด TS3 ไปยังจุด TS23
8. ต่อจุด TS4 ไปยังจุด TS26
9. วัดสัญญาณที่จุด TS19 บันทึกผลสัญญาณที่วัดได้
10. ประกอบวงจรชุดส่งและชุดรับการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาผ่านเส้นใยแก้วนำแสง
11. ปรับความถี่ที่จุด TR18 ให้ได้ประมาณ 225 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งเท่ากับสัญญาณนาฬิกาของภาคส่ง วัดสัญญาณที่จุด TR18 บันทึกสัญญาณที่วัดได้
12. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่จุด TR12, TR13, TR14 และ TR15 แล้วนำสัญญาณรูปคลื่นไซน์จากแหล่งกำเนิดสัญญาณที่จุด TS1 ไปยังจุด TS19 แล้วทำการปรับความต้านทานปรับค่าได้ของชุดดีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาให้มีสัญญาณไซน์ที่จุด TR12 ชัดเจนที่สุดบันทึกผลสัญญาณที่วัดได้
13. นำสัญญาณที่จุด TS1 ต่อไปยังจุด TS20 จุด TS3 ต่อไปยังจุด TS23 และจุด TS4 ต่อไปยังจุด TS26 บันทึกผลสัญญาณที่วัดได้

### 4.2.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองมีดังต่อไปนี้

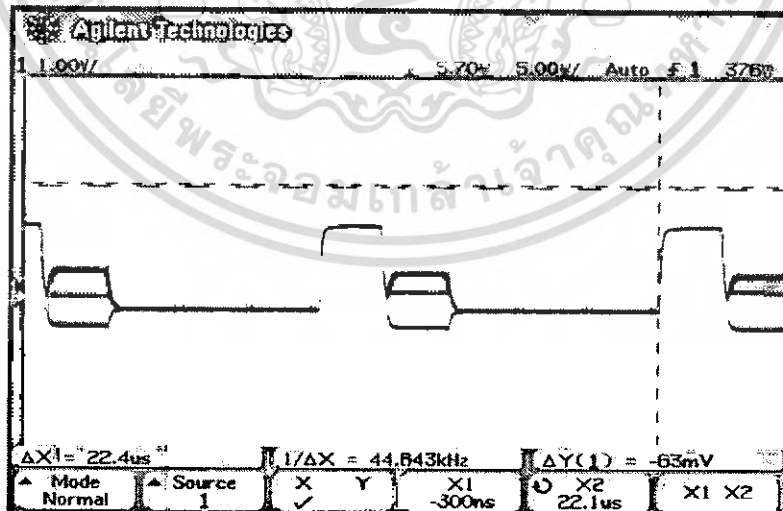
จุด TS19 สัญญาณการเข้าจังหวะ



Volt/Div = 1 V Time/Div = 5 μS

รูปที่ 4.7 สัญญาณการเข้าจังหวะ

จุด TS19 สัญญาณการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 1 ช่องสัญญาณขณะยังไม่ผ่านเส้นโยกแก้วนำแสง

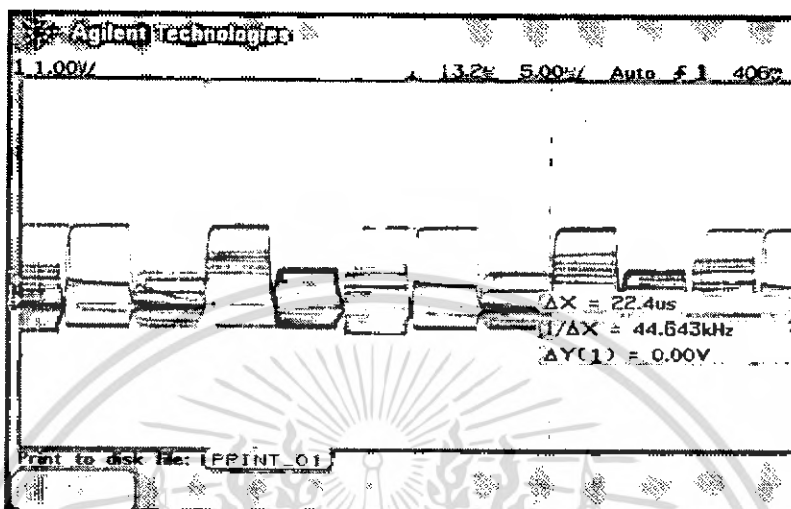


Volt/Div = 1V Time/Div = 5μS

รูปที่ 4.8 สัญญาณการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 1 ช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

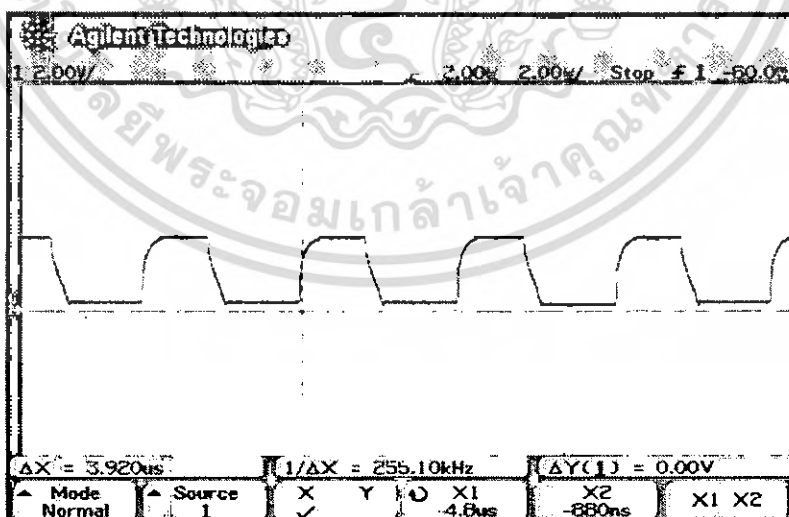
จุด TR19 สัญญาณการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 4 ช่องสัญญาณขณะยังไม่ผ่านเส้นใยแก้วนำแสง



Volt/Div = 1 V Time/Div = 5 μS

รูปที่ 4.9 สัญญาณการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 4 ช่องสัญญาณ

จุด TR17 สัญญาณนาฬิกาจรนั้บความถี่ 225 กิโลเฮิรตซ์

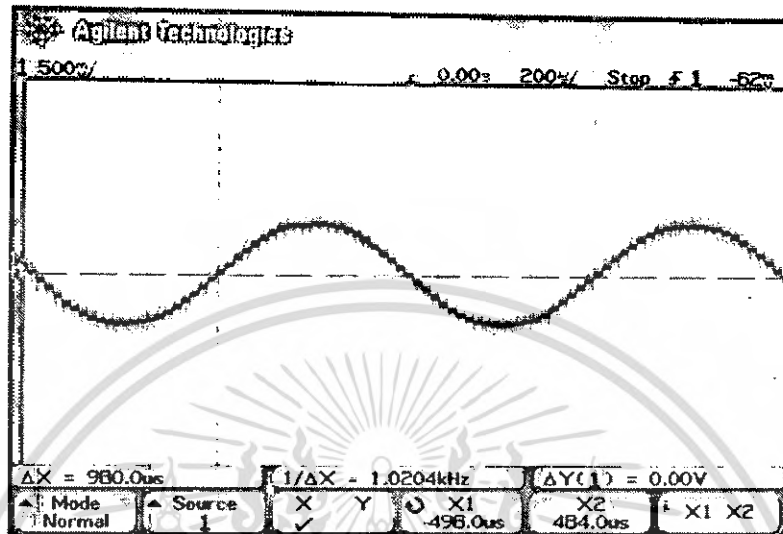


Volt/Div = 2 V Time/Div = 2 μS

รูปที่ 4.10 สัญญาณนาฬิกาจรนั้บความถี่ 225 กิโลเฮิรตซ์

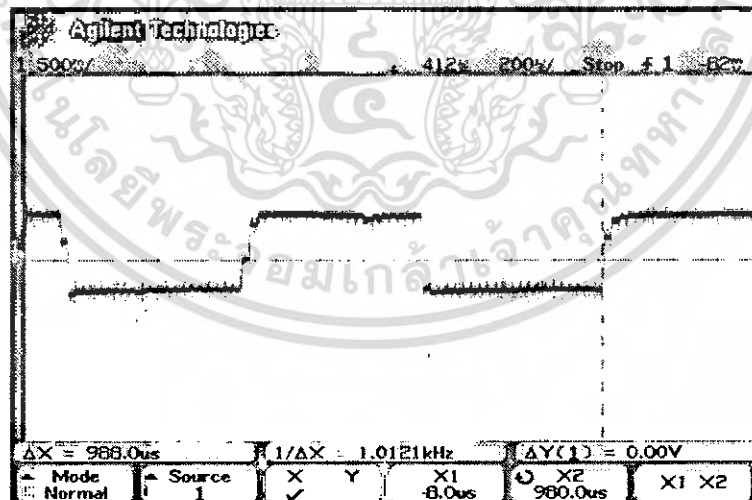
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดสัญญาณการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 4 ช่องสัญญาณขณะผ่านเส้นใยแก้วนำแสง



Volt/Div = 0.5 V Time/Div = 200  $\mu$ S

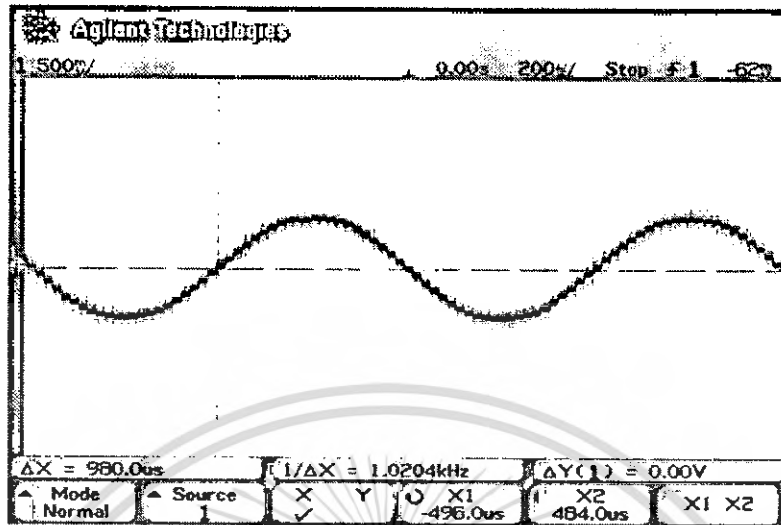
รูปที่ 4.11 จุดสัญญาณการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 4 ช่องสัญญาณขณะผ่านเส้นใยแก้วนำแสง (ช่องที่ 1)



Volt/Div = 0.5 V Time/Div = 200  $\mu$ S

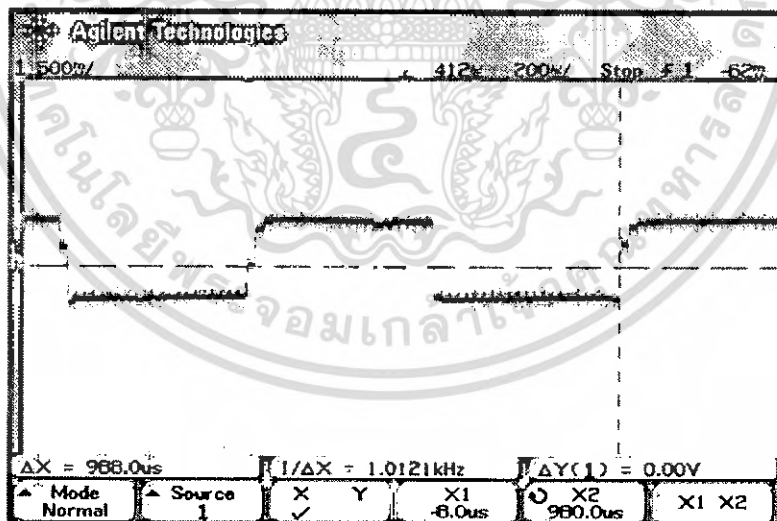
รูปที่ 4.11 (ต่อ) จุดสัญญาณการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 4 ช่องสัญญาณขณะผ่านเส้นใยแก้วนำแสง (ช่องที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Volt/Div = 0.5 V Time/Div = 200  $\mu$ S

รูปที่ 4.11 (ต่อ) จุดสัญญาณการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 4 ช่องสัญญาณขณะผ่านเส้นใยแก้วนำแสง (ช่องที่ 3)



Volt/Div = 0.5 V Time/Div = 200  $\mu$ S

รูปที่ 4.11 (ต่อ) จุดสัญญาณการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา 4 ช่องสัญญาณขณะผ่านเส้นใยแก้วนำแสง (ช่องที่ 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

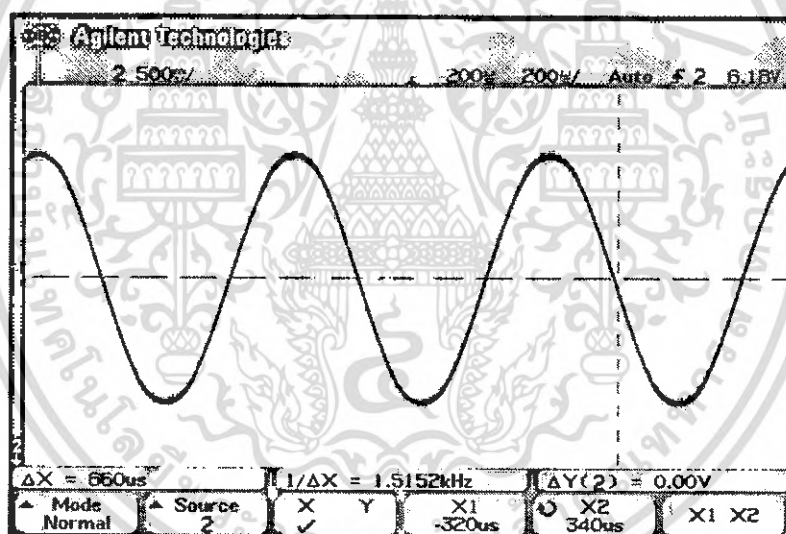
### 4.3 การทดลองและผลการทดลองวงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์และวงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์

#### 4.3.1 ลำดับการทดลอง

1. ป้อนสัญญาณอินพุตรูปคลื่นไซน์ความถี่ 1,500 เฮิรตซ์ เข้าที่จุด TS11
2. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่จุด TS12 และ TS16 บันทึกผลสัญญาณที่วัดได้
3. ต่อจุด TS16 ไปยังจุด TS5
4. ต่อจุด TR2 ไปยังจุด TR18 บันทึกผลสัญญาณที่วัดได้

#### 4.3.2 ผลการทดลอง

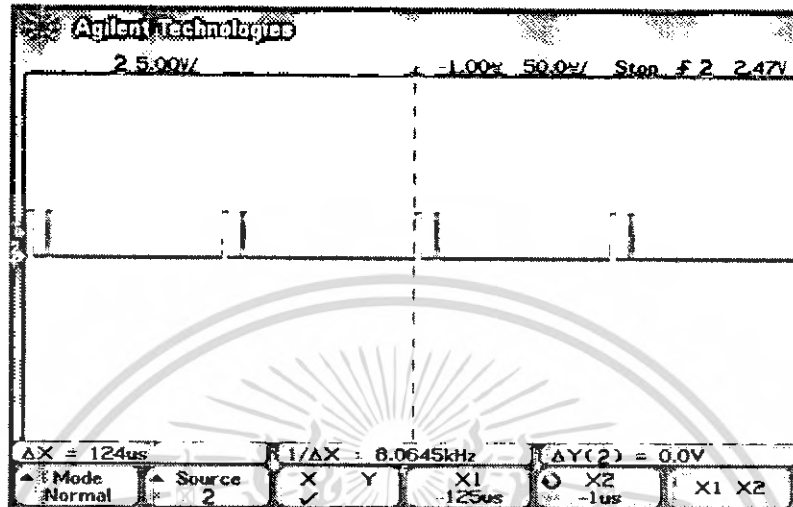
ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองมีดังต่อไปนี้  
จุด TS12 สัญญาณอินพุตรูปคลื่นไซน์ความถี่ 1,500 เฮิรตซ์



Volt/Div = 0.5 V Time/Div = 200  $\mu$ S

รูปที่ 4.12 สัญญาณอินพุตรูปคลื่นไซน์ความถี่ 1,500 เฮิรตซ์

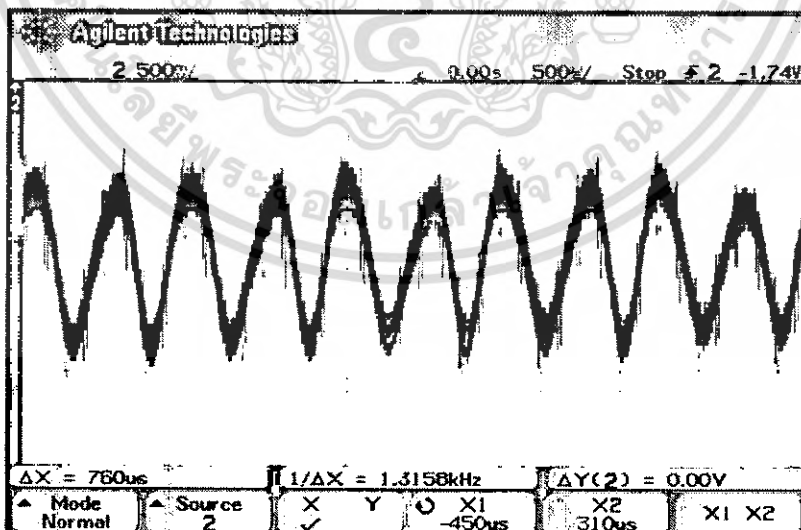
จุด TS16 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์



Volt/Div = 5 V Time/Div = 50  $\mu$ S

รูปที่ 4.13 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์

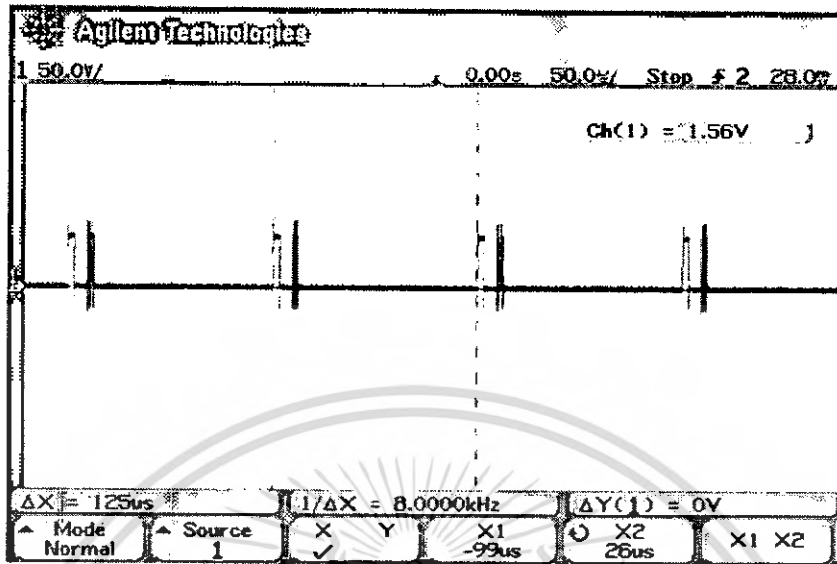
จุด TR22 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรดีมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์



Volt/Div = 0.5 V Time/Div = 100  $\mu$ S

รูปที่ 4.14 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรดีมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Volts/Div = 50 V Time/Div = 50  $\mu$ S

รูปที่ 4.15 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอดูเลตแบบเซ้าร์ทสพัลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุป

ชุดทดลองการรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสงได้จัดทำขึ้นโดยแบ่งชุดทดลองออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดภาคส่งสัญญาณและชุดภาครับสัญญาณ โดยที่ชุดทดลองภาคส่งสัญญาณจะประกอบไปด้วยการทดลองดังนี้

##### 1. ชุดทดลองวงจรมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

ระบบการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาในชุดทดลองนี้จะเป็นระบบการมัลติเพล็กซ์แบบ 4 ช่องสัญญาณ อินพุตและถ้าหากนับสัญญาณเข้ารหัสเข้าจังหวะด้วยอีก 1 ช่องจะรวมเป็น 5 ช่องมัลติเพล็กซ์ โดยในการทดลองได้ออกแบบให้มีการมัลติเพล็กซ์สัญญาณรูปคลื่นต่างๆได้ เช่นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ สัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม สัญญาณรูปคลื่นดิฟเฟอเรนเชียลเอเตอร์และการออกแบบสัญญาณเข้าจังหวะนั้นจะใช้สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมโดยกำหนดให้สัญญาณเข้าจังหวะต้องมีแอมพลิจูดสูง

##### 2. ชุดทดลองวงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์

ชุดทดลองวงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์นี้จะใช้เบอร์ไอซีเบอร์ MC145557 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้ในการเข้ารหัสพัลส์และใช้ไอซีเบอร์ 74LS393 และไอซีเบอร์ MC14514 เป็นวงจรสร้างสัญญาณเข้าจังหวะ โดยวงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์แบ่งออกเป็น 2 วงจรหลัก คือ วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา และวงจรเข้ารหัสสัญญาณพัลส์

ชุดทดลองภาครับสัญญาณจะประกอบไปด้วยการทดลองดังนี้

##### 1. ชุดทดลองวงจรดีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

ชุดทดลองของวงจรดีมอดูเลตของสัญญาณมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาจะใช้ชิปเบอร์เดียวกับภาคมอดูเลตแต่มีการจัดวงจรใหม่เพื่อให้ตัวดีมอดูเลตซึ่งเป็นสัญญาณเข้าจังหวะจากภาคส่งนั้นได้ถูกออกแบบให้มีความแรงของสัญญาณที่มากกว่าอินพุตเพื่อให้ทางภาครับรับรู้ถึงสัญญาณเข้าจังหวะซึ่งจะใช้ชิปประเภทเฟลลือคูลูปเป็นตัวสร้างสัญญาณนาฬิกาใหม่ให้ตรงและมีความถี่เท่ากับภาคส่งแล้วสัญญาณนาฬิกาที่สร้างขึ้นมาใหม่นี้ไปควบคุมวงจรมอดูเลตซึ่งสัญญาณจากวงจรมอดูเลตจะถูกนำไปควบคุมการแยกช่องสัญญาณของภาครับให้มีเอาต์พุตตรงกับอินพุตของภาคส่ง

##### 2. ชุดทดลองวงจรดีมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์

ชุดฝึกของวงจรดีมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์ ยังคงใช้ไอซีเบอร์ MC145557 ในการถอดรหัสอยู่เพราะภายในไอซีมีวงจรเข้ารหัสและถอดรหัสอยู่ภายในตัวเดียวกันและจะมีไอซีเบอร์ HCF4046B และไอซีเบอร์ 74LS121 เป็นตัวสร้างสัญญาณนาฬิกาปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ปัญหาและวิธีการแก้ไข

ในการจัดทำชุดทดลองการรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสงชุดนี้สามารถที่จะสรุปปัญหาที่เกิดขึ้นได้ดังต่อไปนี้

1. ไอซีบางตัวหาซื้อได้ยากไม่มีขายตามท้องตลาด

**วิธีการแก้ไข** ไอซีที่ใช้หายากต้องทำการสั่งซื้อจากประเทศสหรัฐอเมริกา

2. ไม่สามารถทำการเข้าสายเส้นใยแก้วนำแสงกับหัวต่อเองได้เพราะไม่มีเครื่องมือ

**วิธีการแก้ไข** สั่งซื้อสายเส้นใยแก้วนำแสงโดยให้บริษัทที่ขายเข้าหัวต่อให้เลย

3. สัญญาณเอาต์พุตมีสัญญาณรบกวนมาก

**วิธีการแก้ไข** ต่อดำเนินการจากกราวด์ของวงจรลงกล่อง

## 5.3 แนวทางการพัฒนา

1. พัฒนาให้ไมงานมีความหลากหลายมากขึ้น กล่าวคือ ออกแบบและพัฒนาให้มีไมงานมีรายละเอียดมากขึ้น รวมไปถึงการเพิ่มจำนวนของไมงานให้มากขึ้นกว่าเดิม

2. พัฒนาให้มีการมัลติเพล็กซ์ของวงจรพัลส์โค๊ดมอดูเลชันได้มากกว่า 1 ช่อง กล่าวคือ เดิมชุดทดลองนี้มีการมัลติเพล็กซ์ของวงจรพัลส์โค๊ดมอดูเลชันเพียงแค่ 1 ช่องสัญญาณ และต้องการพัฒนาให้ชุดทดลองมีการมัลติเพล็กซ์ของวงจรพัลส์โค๊ดมอดูเลชันให้ได้มากกว่า 1 ช่องสัญญาณ

3. พัฒนาให้มีการรับส่งสัญญาณได้ 2 ทิศทาง กล่าวคือ พัฒนาให้ชุดทดลองสามารถรับและส่งสัญญาณได้ในชุดเดียวกัน

## บรรณานุกรม

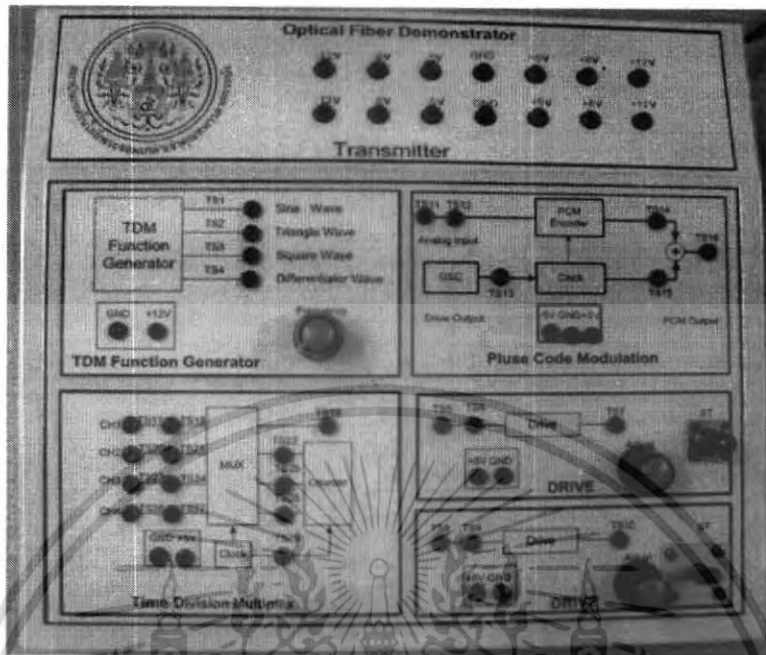
- ณรงค์ เหมกรณ์. 2533. การสื่อสารดาวเทียม. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- อมรชัย ชัยชนะ. 2549. เอกสารประกอบการสอนวิชาการสื่อสารเส้นใยแสง. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- อภิรักษ์ มัถยานนท์. 2537. การสื่อสารเส้นใยแสง. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- Morris. 1992. **Optoelectronics Fiber Optical and Laser**. Singapore : Megraw - Hill Book



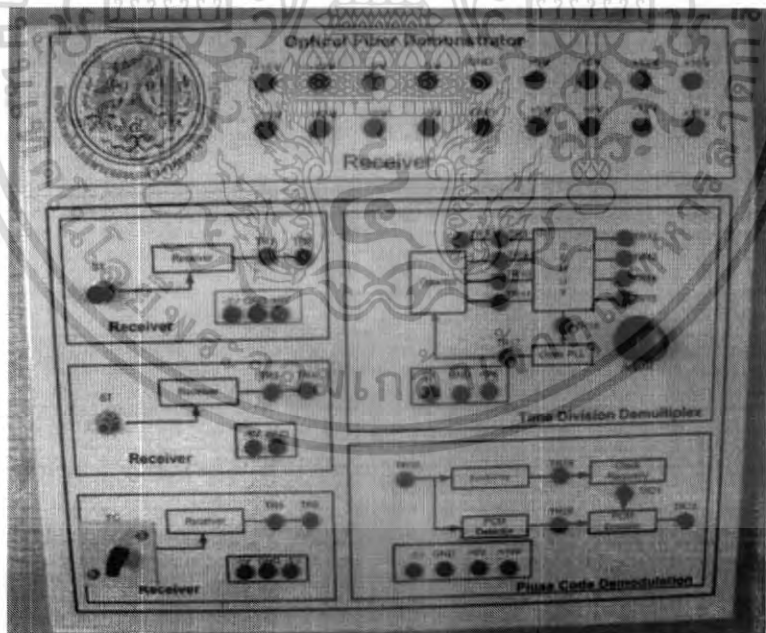
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

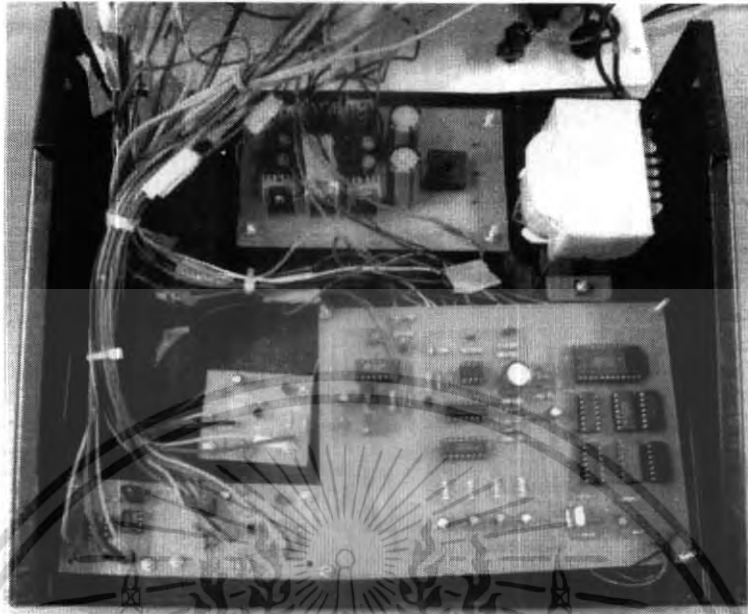


รูปที่ ก.1 ด้านหน้าเครื่องส่งของชุดทดลองการรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

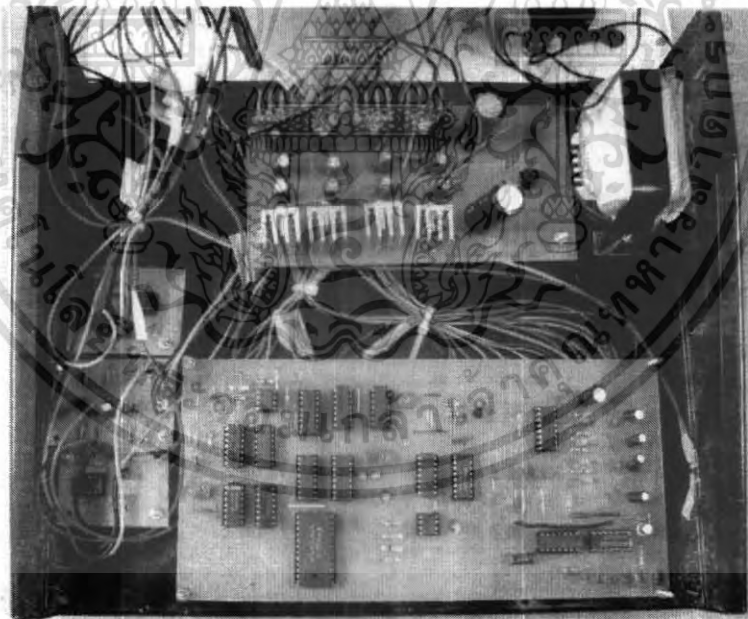


รูปที่ ก.2 ด้านหน้าเครื่องรับของชุดทดลองการรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

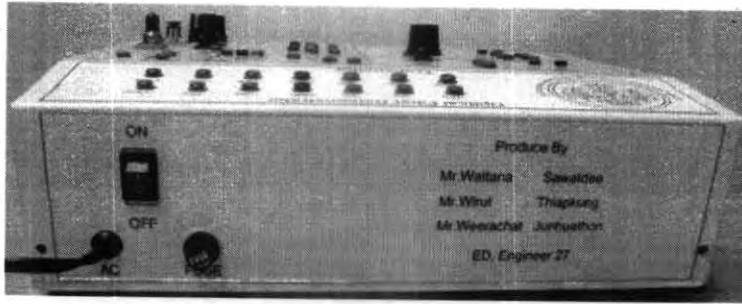


รูปที่ ก.3 ด้านในเครื่องส่งของชุดทดลองการรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

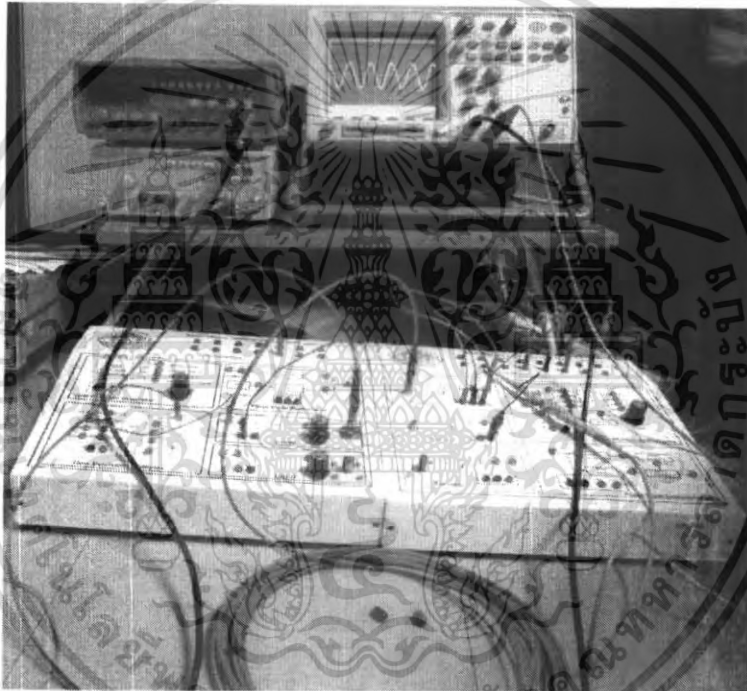


รูปที่ ก.4 ด้านในเครื่องรับของชุดทดลองการรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 ด้านหลังของชุดทดลองการรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง



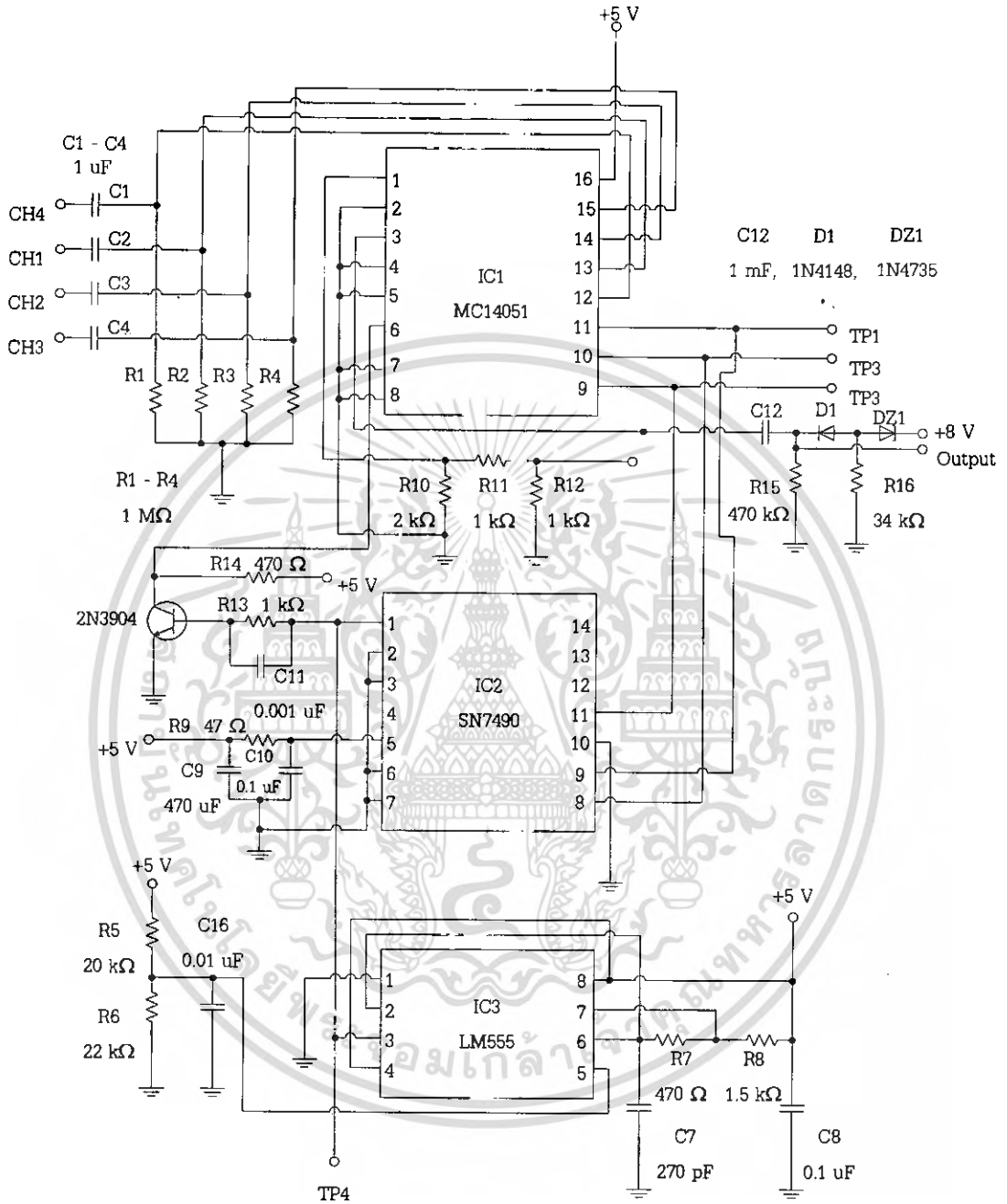
รูปที่ ก.6 แสดงการวัดสัญญาณที่จุดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



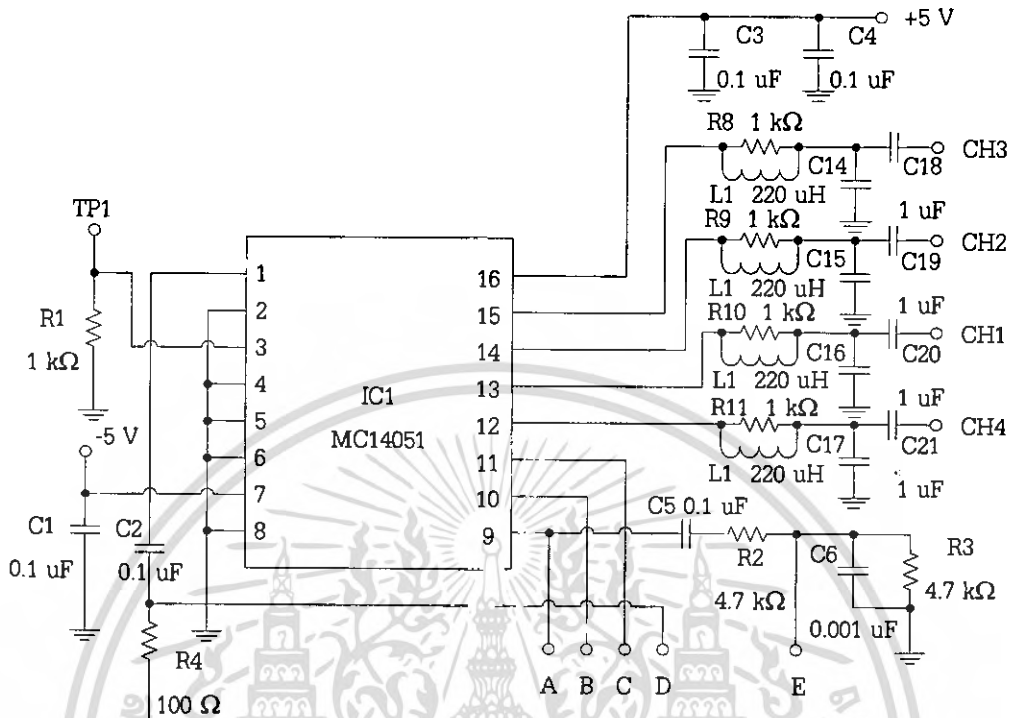
**ภาคผนวก ข**  
**วงจรและแผนวงจรพิมพ์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

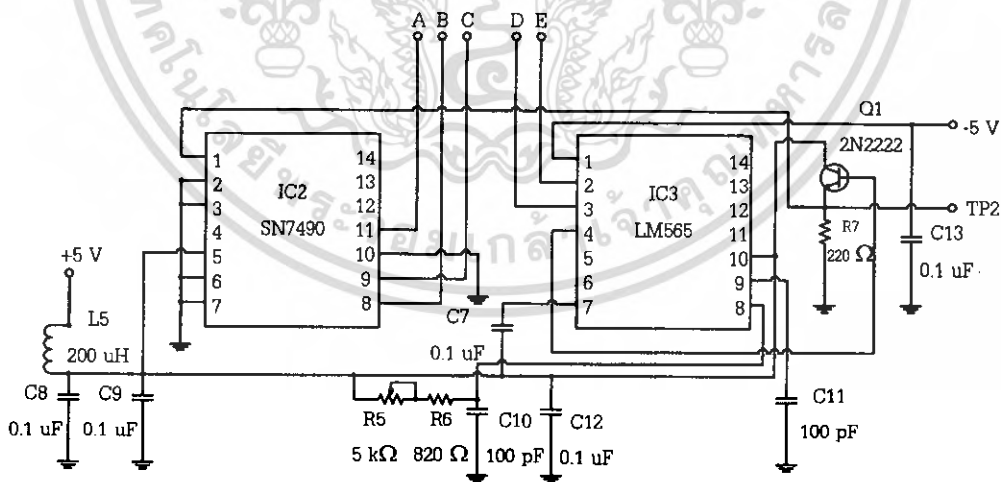


รูปที่ ข.1 วงจรมัลติเพล็กซ์ 4 ช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

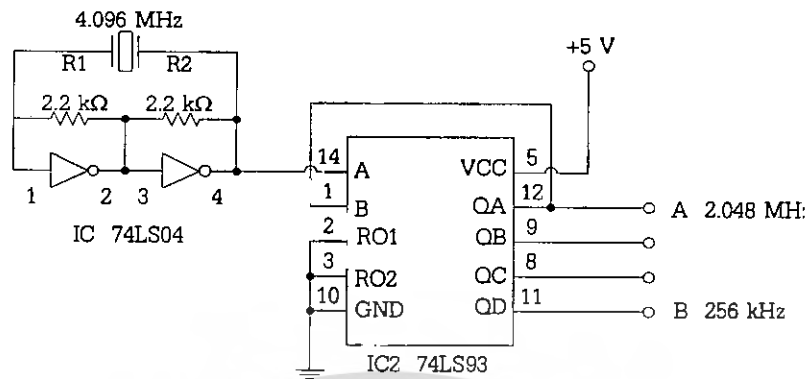


รูปที่ ข.2 วงจรดีมอดูเลตการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

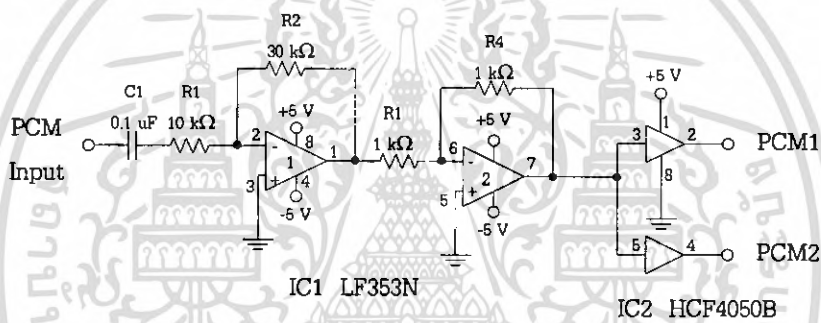


รูปที่ ข.2 (ต่อ) วงจรดีมอดูเลตการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

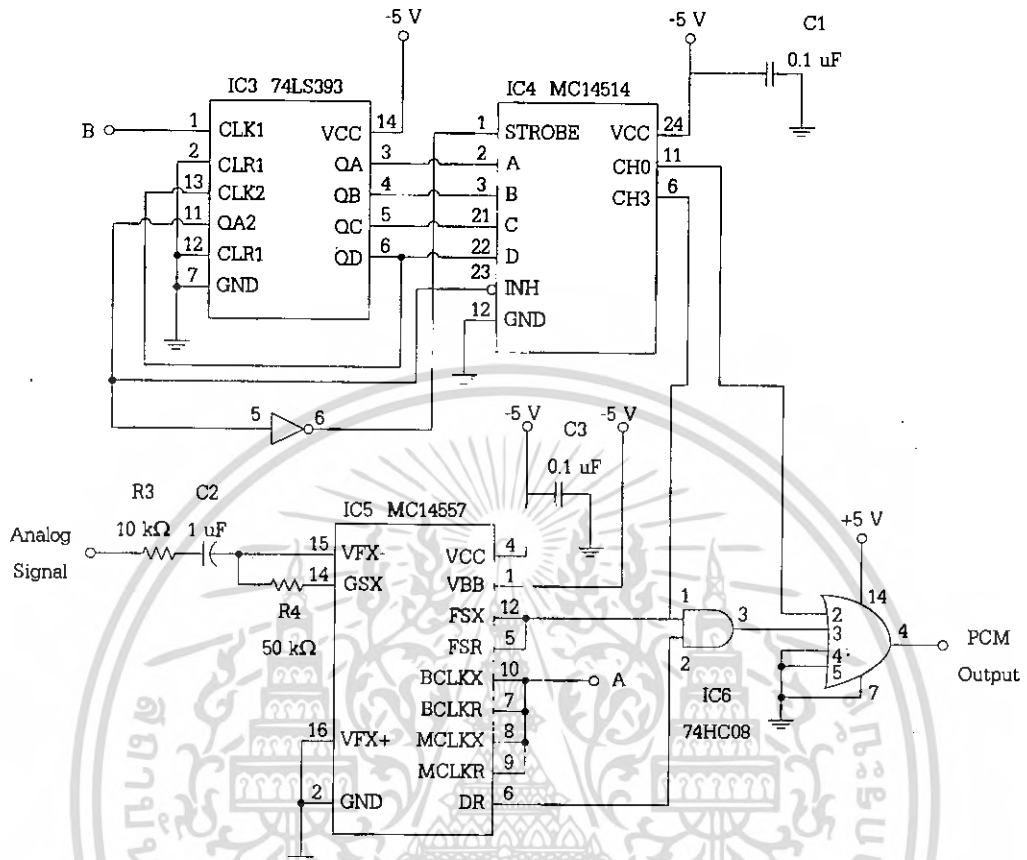


รูปที่ ข.3 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา



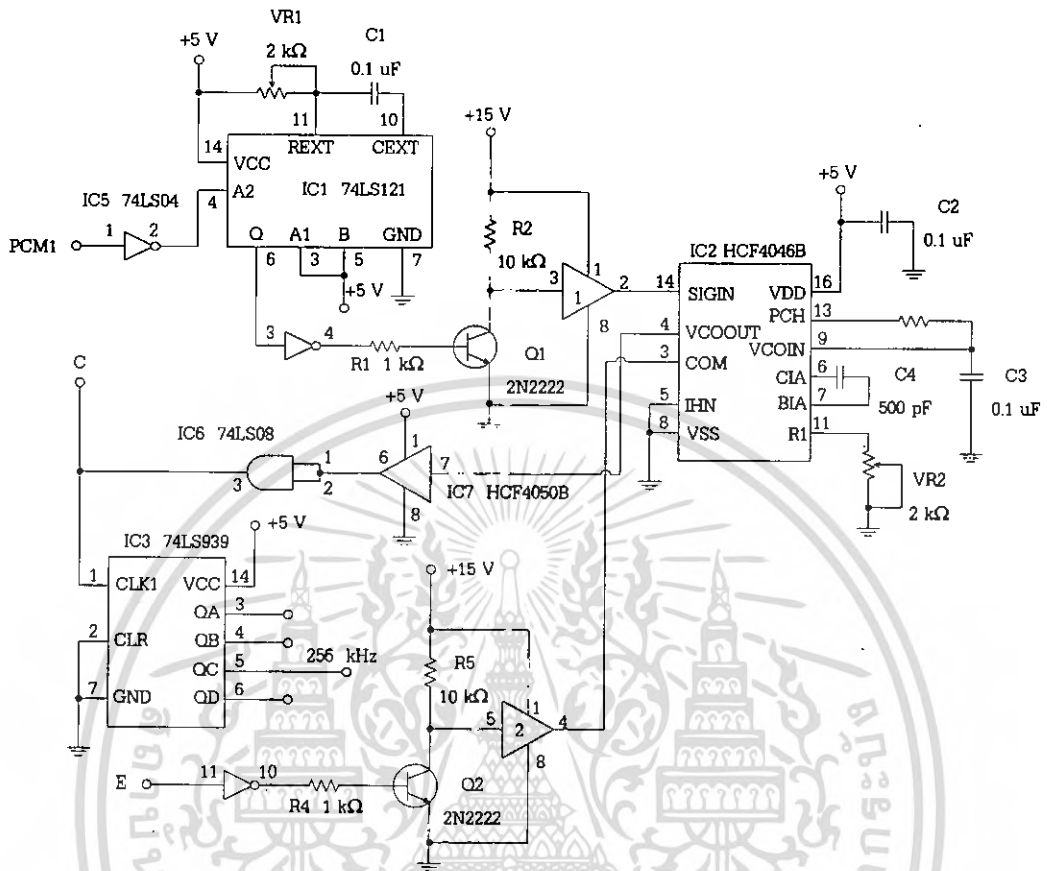
รูปที่ ข.4 วงจรขยายสัญญาณเข้ารหัสพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



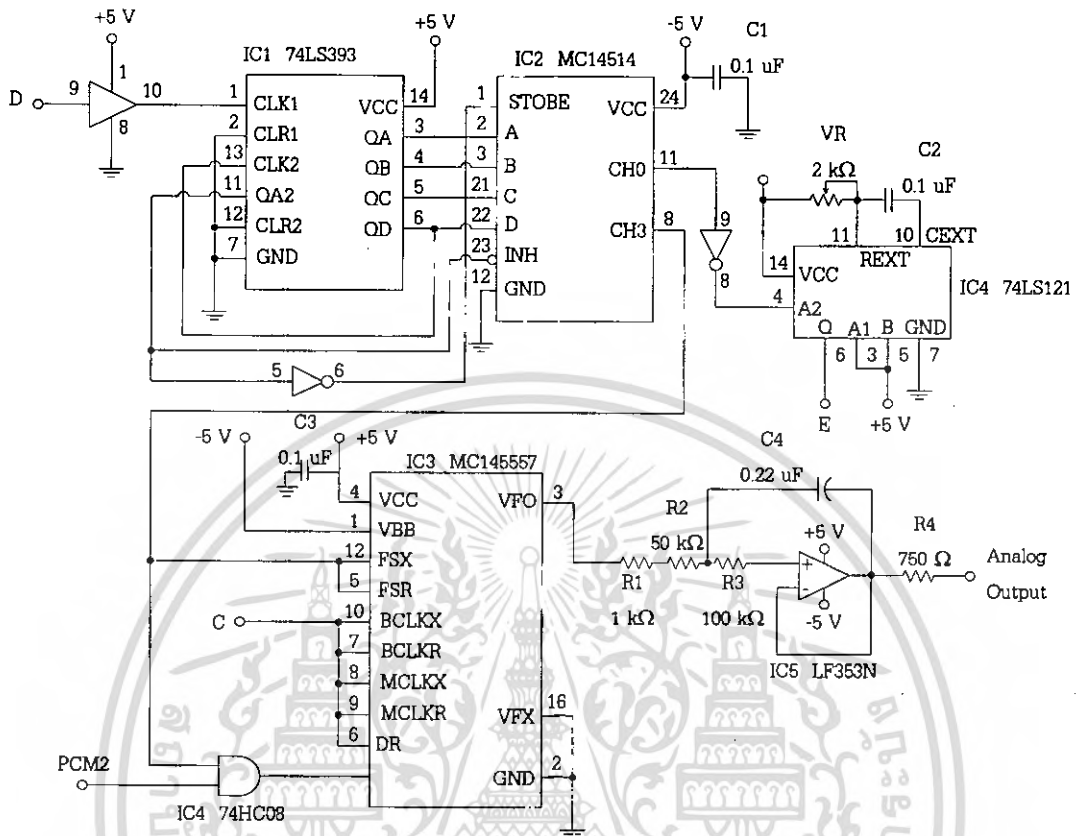
รูปที่ ข.5 วงจรเข้ารหัสพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

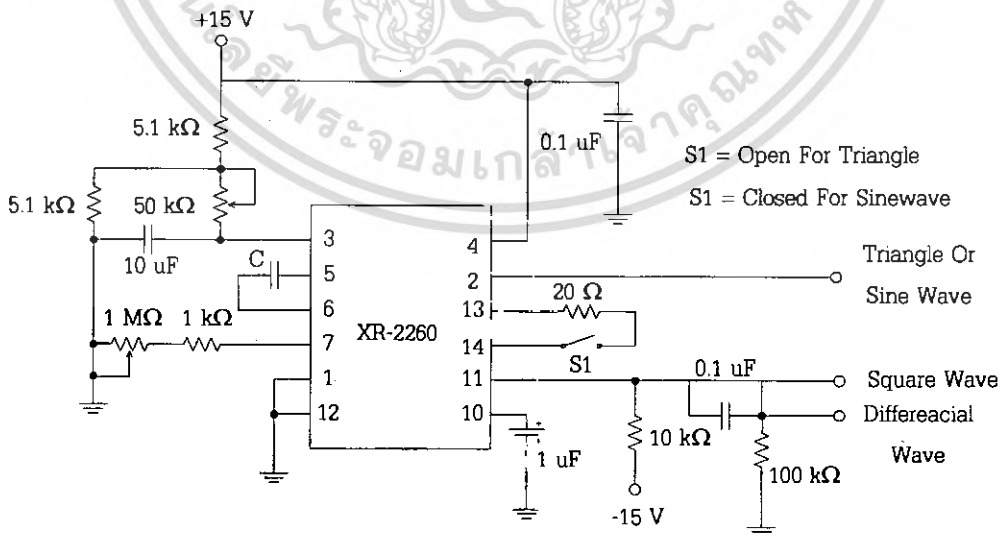


รูปที่ ๓.๖ วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาหลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

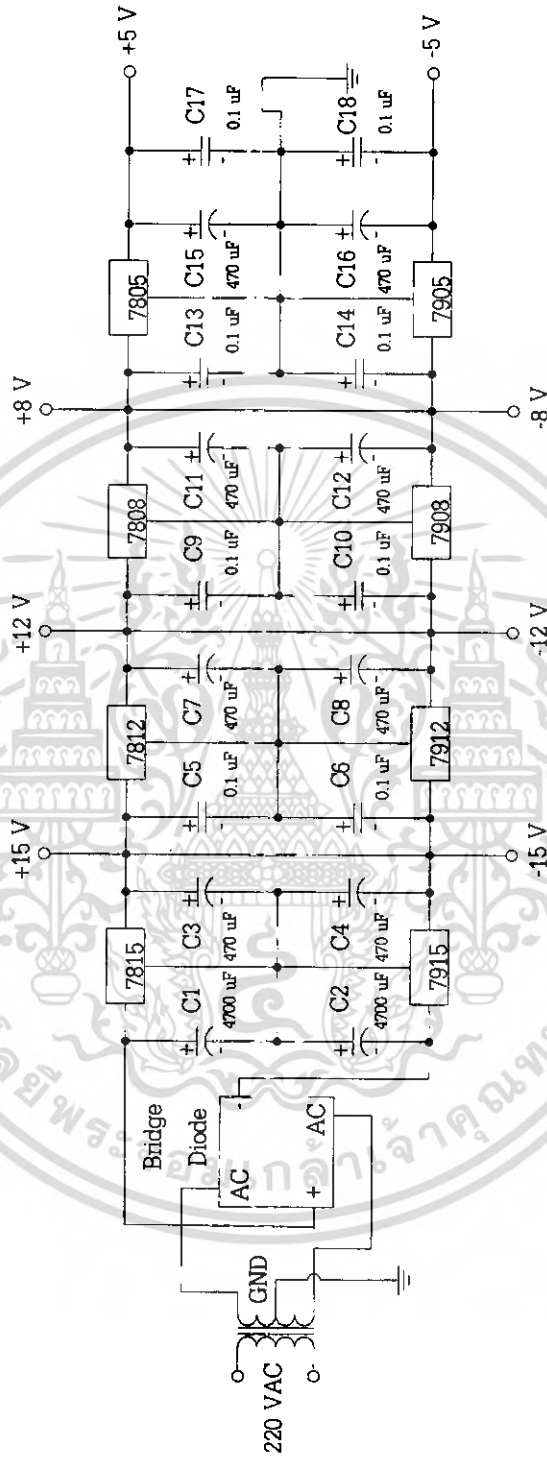


รูปที่ ๗.๗ วงจรถอดรหัสสัญญาณพัลส์



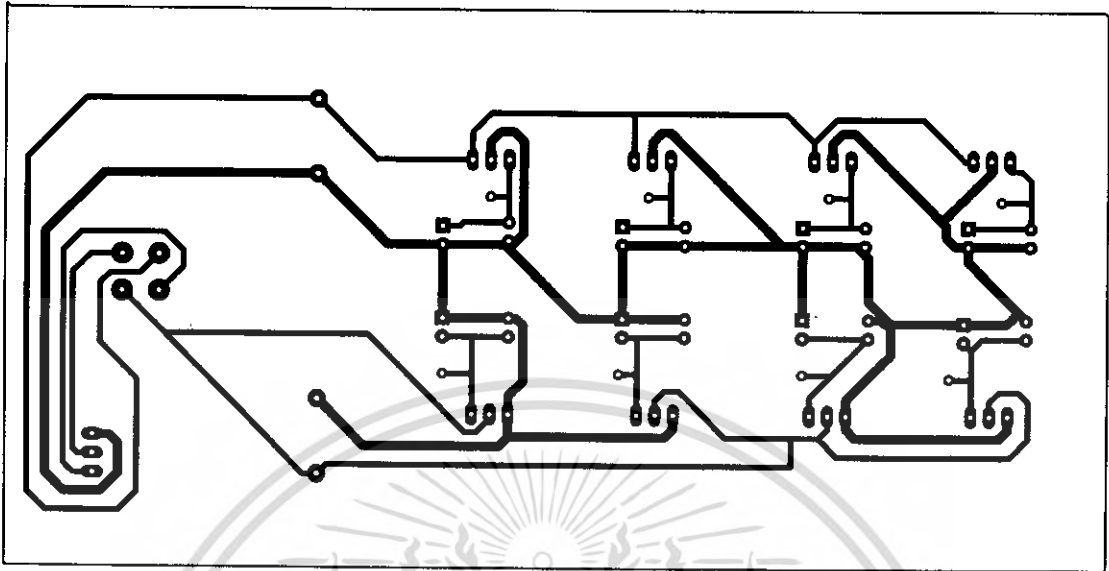
รูปที่ ๗.๘ วงจรผลิตความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

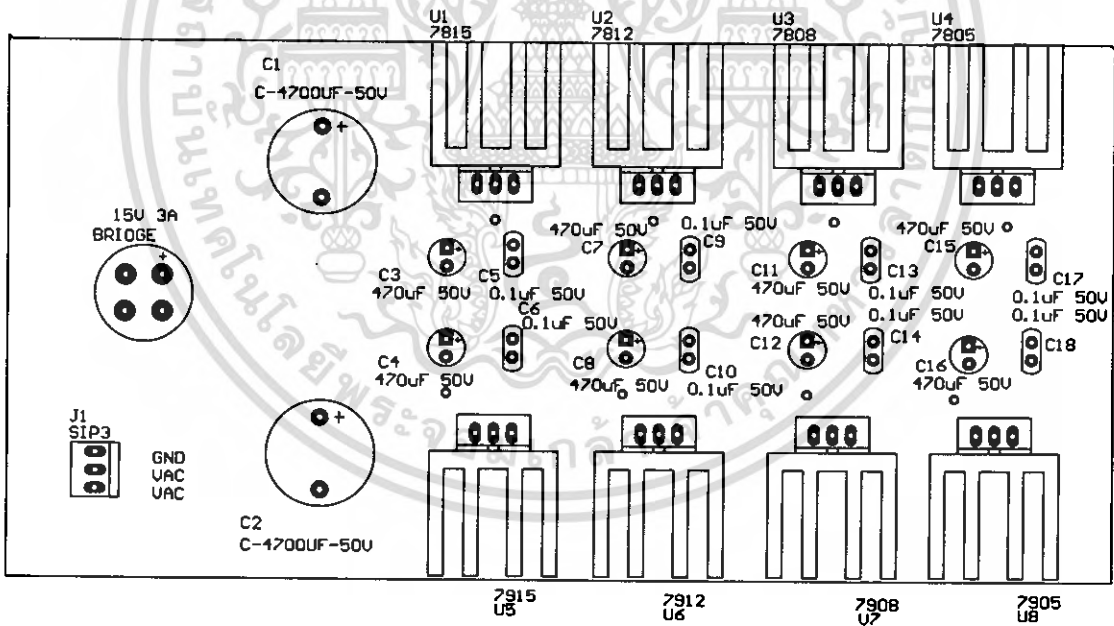


รูปที่ ข.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

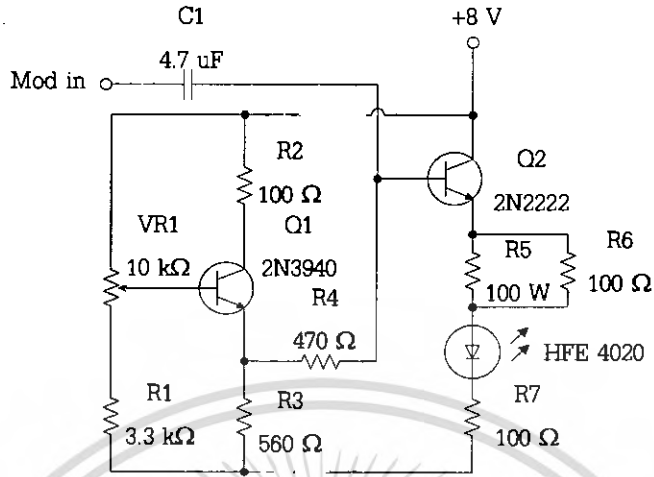


รูปที่ ข.10 แผงวงจรพิมพ์วงจรแหล่งจ่ายไฟ

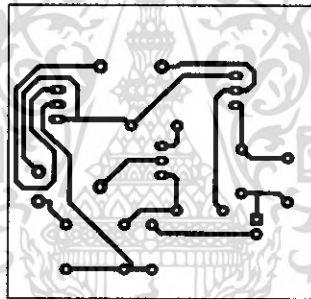


รูปที่ ข.11 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผงวงจรพิมพ์วงจรแหล่งจ่ายไฟ

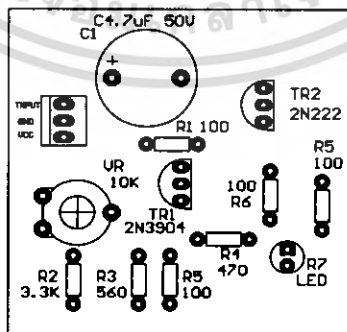
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.12 วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงโดยใช้ทรานซิสเตอร์ขยายส่งด้วยแอลอีดี

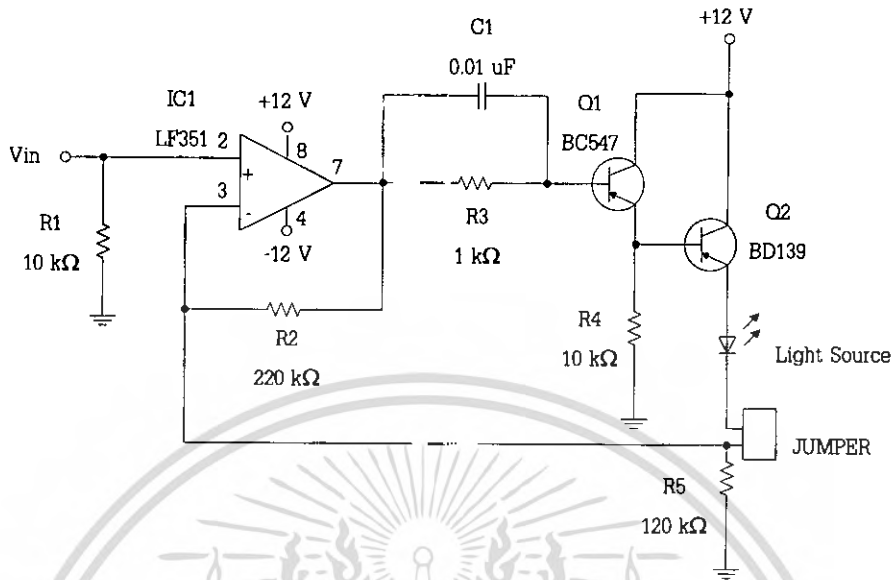


รูปที่ ข.13 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงโดยใช้ทรานซิสเตอร์ขยายส่งด้วยแอลอีดี

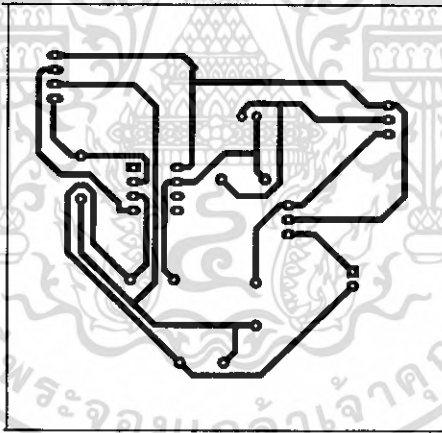


รูปที่ ข.14 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงโดยใช้ทรานซิสเตอร์ขยายส่งด้วยแอลอีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

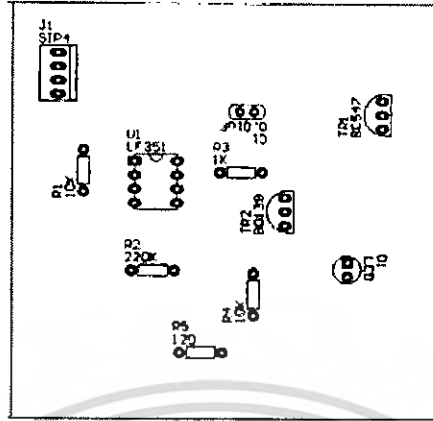


รูปที่ ข.15 วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงโดยใช้ไอซีขยายส่งด้วยแอลอีดี

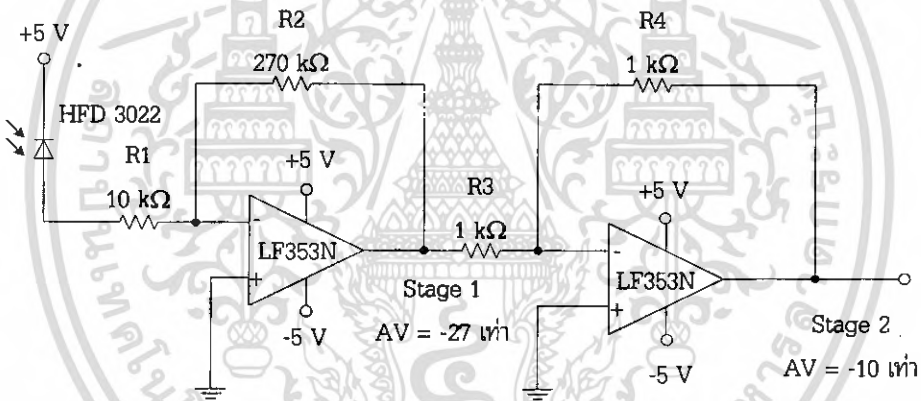


รูปที่ ข.16 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง  
โดยใช้ไอซีขยายส่งด้วยแอลอีดี

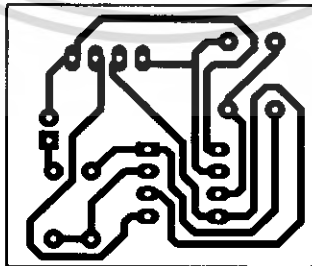
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.



รูปที่ ข.17 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง โดยใช้ไอซีขยายส่งด้วยแอลอีดี

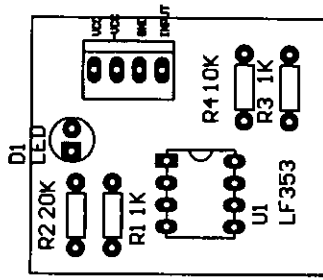


รูปที่ ข.18 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้ารับโดยโฟโตไดโอดใช้ไอซีขยาย

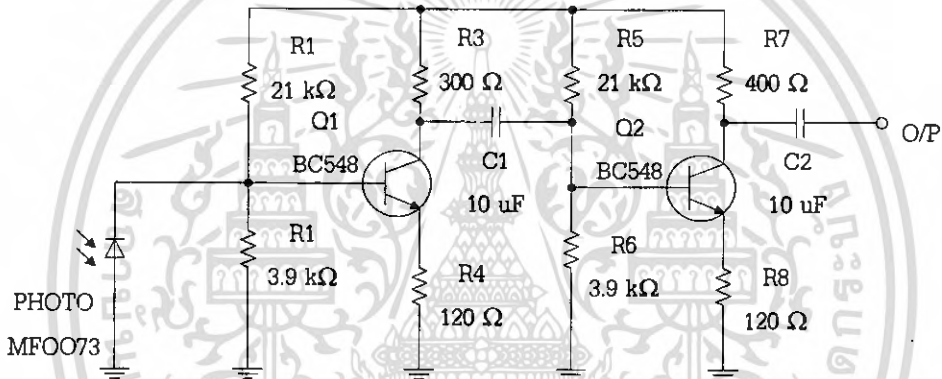


รูปที่ ข.19 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้ารับโดยโฟโตไดโอดใช้ไอซีขยาย

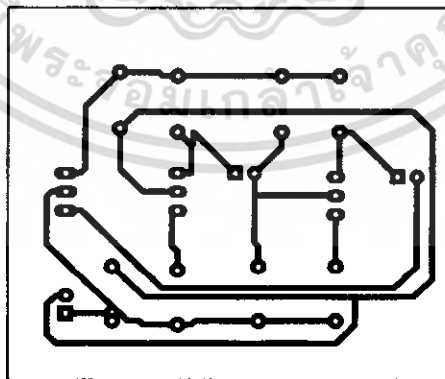
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.20 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า  
รับโดยโฟโตไดโอดใช้ไอซีขยาย

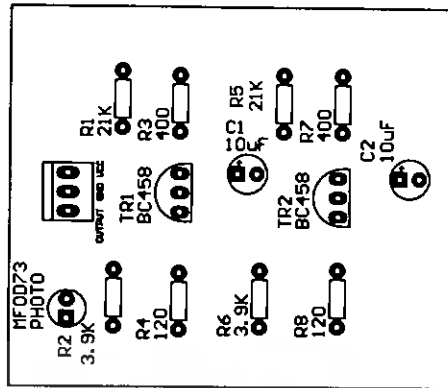


รูปที่ ข.21 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้ารับโดยโฟโตไดโอดใช้ทรานซิสเตอร์ขยาย



รูปที่ ข.22 แผ่นวงจรพิมพ์วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้ารับโดยโฟโตไดโอดใช้  
ทรานซิสเตอร์ขยาย

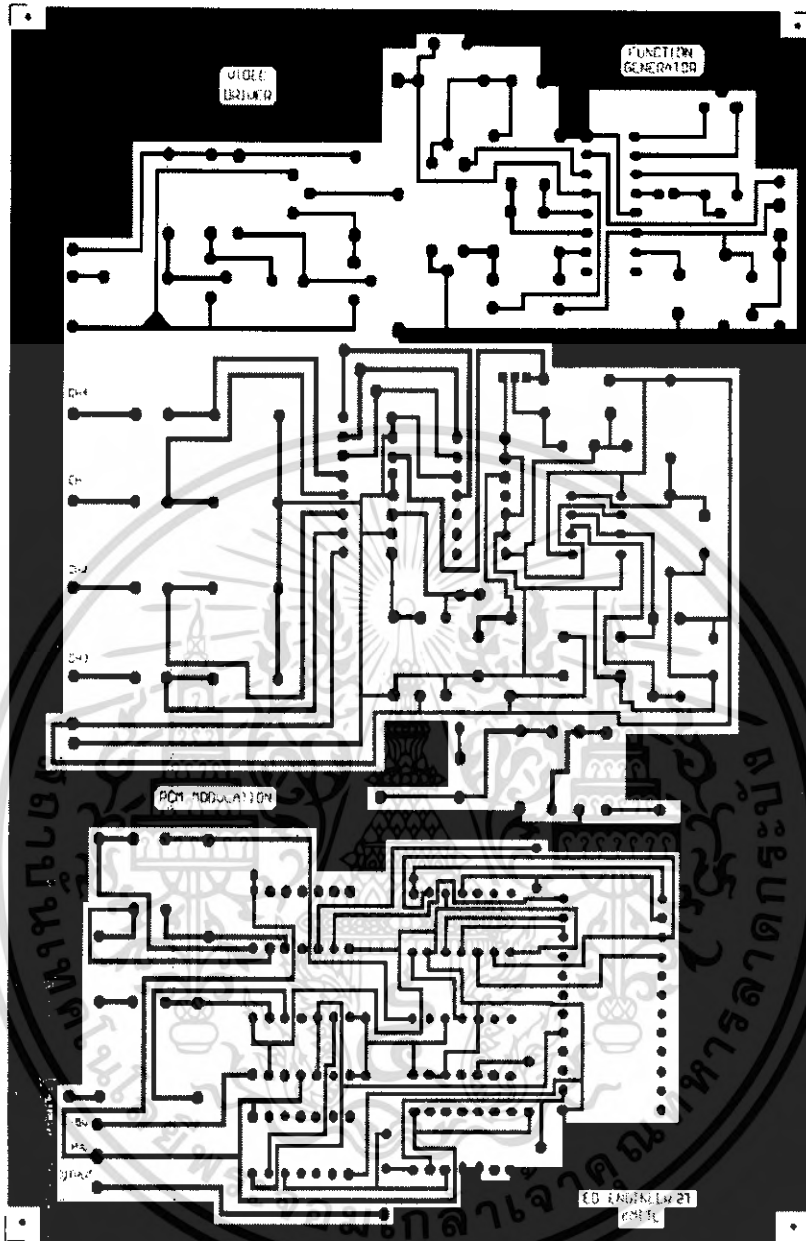
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.23 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้ารับโดยโฟโตไดโอดใช้ทรานซิสเตอร์ขยาย



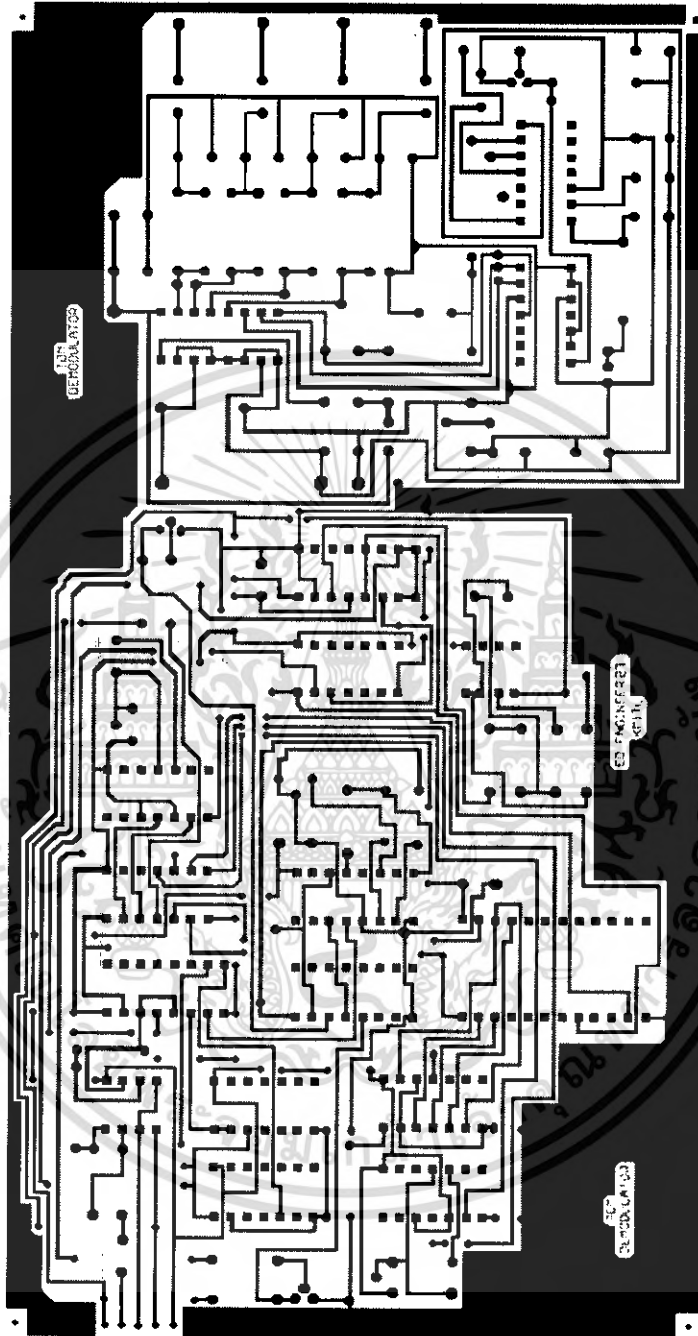
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.24 แผงวงจรพิมพ์วงจรมัลติเพล็กซ์ 4 ช่อง วงจรเข้ารหัสพัลส์และวงจรถ่ายทอดสัญญาณนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ ข.26 แผงวงจรพิมพ์วงจรดีมอดูเลตการจำลองเฟลิกซ์แบบแบ่งเวลาและวงจรจัดรอทาส์สัญญาณพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรมัลติเพล็กซ์ 4 ช่อง

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b>		
IC1	MC14051	1 ตัว
IC2	SN7490	1 ตัว
IC3	LM555	1 ตัว
<b>อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ</b>		
Q1	2N3940	1 ตัว
D1	1N4148	1 ตัว
DZ1	1N4735	1 ตัว
<b>ตัวเก็บประจุ</b>		
C1 - C4, C8, C10	0.1 $\mu$ F	6 ตัว
C6	0.01 $\mu$ F	1 ตัว
C7	270 $\mu$ F	1 ตัว
C9	470 $\mu$ F	1 ตัว
C11	0.001 $\mu$ F	1 ตัว
C12	22 $\mu$ F	1 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
R1 - R4	1 M $\Omega$	4 ตัว
R5	20 k $\Omega$	1 ตัว
R6	22 k $\Omega$	1 ตัว
R7, R14, R15	470 $\Omega$	3 ตัว
R8	1.5 k $\Omega$	1 ตัว
R9	47 $\Omega$	1 ตัว
R10	2 k $\Omega$	1 ตัว
R11 - R13	1 k $\Omega$	3 ตัว
R16	34 k $\Omega$	1 ตัว
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
Socket IC	8 ขา, 14 ขา, 16 ขา	อย่างละ 1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรตีมอดูเลตแบบการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b>		
IC1	MC14051	1 ตัว
IC2	SN7490	1 ตัว
IC3	LM565	1 ตัว
<b>อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ</b>		
Q1	2N2222	1 ตัว
<b>ตัวเก็บประจุ</b>		
C1 - C5, C7 - C8, C12	0.1 $\mu$ F	9 ตัว
C6	0.001 $\mu$ F	1 ตัว
C9	10 $\mu$ F	1 ตัว
C10 - C11	100 pF	2 ตัว
C13	0.01 $\mu$ F	1 ตัว
C14 - C17	0.005 $\mu$ F	4 ตัว
C18 - C21	1 $\mu$ F	1 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
R1, R8 - R11	1 k $\Omega$	5 ตัว
R2 - R3	4.7 k $\Omega$	2 ตัว
R4	100 $\Omega$	1 ตัว
R5	5 k $\Omega$	1 ตัว
R6	820 $\Omega$	1 ตัว
R7	220 $\Omega$	1 ตัว
<b>ตัวเหนี่ยวนำ</b>		
L1 - L5	200 $\mu$ H	
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
Socket IC	14 ขา	2 ตัว
	16 ขา	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาและวงจรเข้ารหัสพัลส์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b>		
IC1	74LS04	1 ตัว
IC2	74LS9	1 ตัว
IC3	74LS393	1 ตัว
IC4	MC14514	1 ตัว
IC5	MC145557	1 ตัว
IC6	74HC08	1 ตัว
IC7	74HC4072	1 ตัว
<b>ตัวเก็บประจุ</b>		
C1	0.1 $\mu$ F	1 ตัว
C2	1 $\mu$ F	1 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
R1 - R2	2.2	2 ตัว
R3	10 k $\Omega$	1 ตัว
R4	50 k $\Omega$	1 ตัว
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
X - TAL	4.096 MHz	1 ตัว
Socket IC	14 ขา	5 ตัว
	16 ขา	1 ตัว
	24 ขา	1 ตัว

ตารางที่ ค.4 รายการอุปกรณ์ของวงจรมายสัญญาณเข้ารหัสพัลส์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b>		
IC1	LF353N	1 ตัว
IC2	HCF4050B	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรขยายสัญญาณเข้ารหัสพัลส์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>ตัวเก็บประจุ</b>		
C1	0.1 $\mu$ F	1 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
R1	10 k $\Omega$	1 ตัว
R2	30 k $\Omega$	1 ตัว
R3 - R4	1 k $\Omega$	2 ตัว
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
Socket IC	14 ขา	2 ตัว

ตารางที่ ค.5 รายการอุปกรณ์ของวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาปลายทาง

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b>		
IC1	74LS121	1 ตัว
IC2	HCF4046B	1 ตัว
IC3	74LS939	1 ตัว
IC4, IC7	HCF4050B	2 ตัว
IC5	74SL04	1 ตัว
IC6	74LS08	1 ตัว
<b>ตัวเก็บประจุ</b>		
C1 - C2	0.01 $\mu$ F	2 ตัว
C3	1 $\mu$ F	1 ตัว
C4	500 pF	1 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
VR1 - VR2	2 k $\Omega$	2 ตัว
R1, R4	1 k $\Omega$	2 ตัว
R2, R5	10 k $\Omega$	1 ตัว
R3	300 k $\Omega$	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.5 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาปลายทาง

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
Socket IC	14 ขา	6 ตัว
	16 ขา	1 ตัว

ตารางที่ ค.6 รายการอุปกรณ์ของวงจรถอดรหัสสัญญาณพัลส์

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b>		
IC1	74LS393	1 ตัว
IC2	MC14514	1 ตัว
IC3	MC145557	1 ตัว
IC4	74LS121	1 ตัว
IC5	LF353N	1 ตัว
IC6	74HC08	1 ตัว
<b>ตัวเก็บประจุ</b>		
C1 - C3	0.1 $\mu$ F	1 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
VR1	2 k $\Omega$	1 ตัว
R1	1 k $\Omega$	1 ตัว
R2	50 k $\Omega$	1 ตัว
R3	100 k $\Omega$	1 ตัว
R4	750 $\Omega$	1 ตัว
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
Socket IC	8 ขา	1 ตัว
	14 ขา	3 ตัว
	16 ขา	1 ตัว
	24 ขา	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.7 รายการอุปกรณ์ของวงจรผลิตความถี่

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b>		
IC1	XR - 2202	1 ตัว
<b>ตัวเก็บประจุ</b>		
C1	10 $\mu$ F	1 ตัว
C2 - C3	0.1 $\mu$ F	2 ตัว
C4	0.01 $\mu$ F	1 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
VR1	50 k $\Omega$	1 ตัว
VR2	1 M $\Omega$	1 ตัว
R1 - R2	5.1 k $\Omega$	2 ตัว
R3	1 k $\Omega$	1 ตัว
R4	10 k $\Omega$	1 ตัว
R5	100 k $\Omega$	1 ตัว
R6	20 $\Omega$	1 ตัว
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
S1		1 ตัว
Socket IC	14 ขา	1 ตัว

ตารางที่ ค.8 รายการอุปกรณ์ของวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ</b>		
Q1	2N3940	1 ตัว
Q2	2N2222	1 ตัว
<b>ตัวเก็บประจุ</b>		
C1	4.7 $\mu$ F	1 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
VR1	10 k $\Omega$	1 ตัว
R1	3.7 k $\Omega$	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.8 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
R2, R5 - R7	100 $\Omega$	4 ตัว
R3	560 $\Omega$	1 ตัว
R4	470 $\Omega$	1 ตัว
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
LED	HFE4020	1 ตัว

ตารางที่ ค.9 รายการอุปกรณ์ของวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b>		
IC1	LF353N	1 ตัว
<b>อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ</b>		
PIN Diode	HFD3022	1 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b>		
R1, R4	10 k $\Omega$	2 ตัว
R2	270 k $\Omega$	1 ตัว
R3	1 k $\Omega$	1 ตัว
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
Socket IC	8 ขา	1 ตัว

ตารางที่ ค.10 รายการอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟ

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b>		
IC1	7815	1 ตัว
IC2	7915	1 ตัว
IC3	7812	1 ตัว
IC4	7912	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 (ต่อ) รายการอุปกรณ์ของวงจรแหล่งจ่ายไฟ

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b>		
IC5	7808	1 ตัว
IC6	7908	1 ตัว
IC7	7805	1 ตัว
IC8	7905	1 ตัว
<b>อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ</b>		
Bridge Diode	6 A	1 ตัว
<b>ตัวเก็บประจุ</b>		
C1 - C2	4700 $\mu$ F	2 ตัว
C3, C4, C7, C8, C11, C12, C15, C16	470 $\mu$ F	8 ตัว
C5, C6, C9, C10, C13, C14, C17, C18	0.1 $\mu$ F	8 ตัว
<b>อุปกรณ์อื่นๆ</b>		
หม้อแปลง	12-0-12, 1 A	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง

รายการละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เส้นใยแก้วนำแสง

### ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง

ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้งานจะเป็นชนิดหลายโหมด โดยที่แสงสามารถเคลื่อนที่ไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้หลายโหมด ดังนั้นจึงนำเส้นใยนำแสงชนิดนี้มาใช้ซึ่งเป็นแบบสเต็ปอินเด็กซ์ โดยแบ่งตามจำนวนโหมดในการเดินทางของแสงในเส้นใยนำแสง

### คุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสง

คุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสงแสดงดังในตารางที่ ง.1

ตารางที่ ง.1 คุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสง

Fiber type	Multimode
Coe Daimeter	9 (μm)
Cladding Daimeter	125 (μm)
Coating Daimeter	250 (μm)
Buffer Daimeter	900 (μm)
Mechanical Properties	
Fiber Buffering and Cable	
Jacketing Materials	FR - PVC (FR-LSZH for low smoked Cable)
Storage Temperature	-40 °C to +80 °C
Operating Temperature	-20 °C to +80 °C

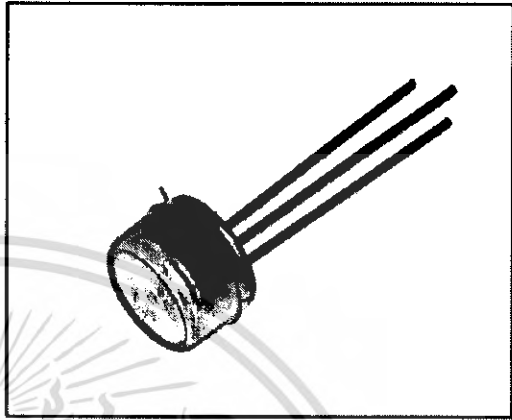
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# HFD3022

## Silicon PIN Photodiode

### FEATURES

- Plastic cap with TO-18 header
- Low capacitance
- High speed:  $t_r = 30$  ns max. @ 5 V

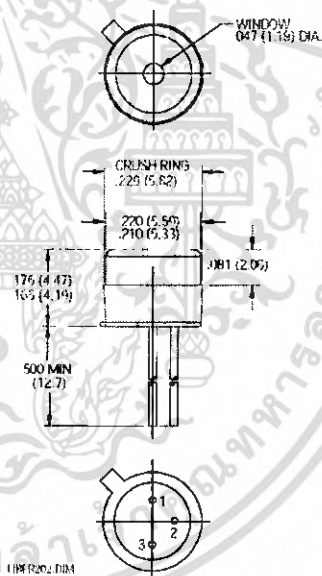


### DESCRIPTION

The HFD3022 PIN photodiode is designed for high speed use in fiber optic receivers. It has a large area detector, providing efficient response to 50-1000  $\mu\text{m}$  diameter fibers at wavelengths of 750 to 950 nanometers. It is designed to be used with fiber optic receptacles which align its optical axis with the axis of the optical fiber by referencing the precision outside diameter of the window can.

The HFD3022s plastic case is available in special active device receptacles, electrically isolated from their receptacles to improve sensitivity. The receptacle acts as a shield to improve the sensitivity/dark current specifications of the connectorized device.

### OUTLINE DIMENSIONS in inches (mm)



### Pinout

1. Anode
2. Cathode
3. Not connected

### Notes

1. Detector chip active area is 0.03 in. (0.76 mm) diameter.
2. Detector chip active area surface is located 0.035 in. (0.89 mm) below package front surface.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# HFD3022

## Silicon PIN Photodiode

### ELECTRO-OPTICAL CHARACTERISTICS ( $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise stated)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	TEST CONDITIONS
Peak Response Wavelength	$\lambda_P$		850		nm	
Flux Responsivity, $\lambda = 850 \text{ nm}$ 1)	R		0.58		A/W	
		0.45	0.52			50 $\mu\text{m}$ , 0.20 NA fiber
			0.25			100 $\mu\text{m}$ , 0.28 NA fiber
			0.05			200 $\mu\text{m}$ , 0.40 NA fiber
			0.05			1000 $\mu\text{m}$ , 0.53 NA fiber
Dark Leakage Current	$I_D$		0.05	2.0	nA	$V_R = 5 \text{ V}$
Reverse Breakdown Voltage	$B_{VR}$	110	250		V	$I_R = 10 \text{ mA}$
Response Time	$t_R$				ns	
10-90%			17.0	30.0		$V_R = 5 \text{ V}$
			5.0	10.0		$V_R = 15 \text{ V}$
			1.0			$V_R = 90 \text{ V}$
Package Capacitance	C		2.1		pF	$V_R = 5 \text{ V}$ , $f = 1 \text{ MHz}$
Field of View	FoV		110		Degrees	

#### Notes

- Responsivity is measured with a fiber optic cable centered on mechanical axis, using an 850 nm HFD4000 LED as the optical source to the fiber. Fiber length is nominally 3 meters.

#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

( $25^\circ\text{C}$  Free-Air Temperature unless otherwise noted)

Storage temperature -40 to  $+100^\circ\text{C}$

Operating temperature -40 to  $+100^\circ\text{C}$

Lead solder temperature  $240^\circ\text{C}$ , 3 min.

$260^\circ\text{C}$ , 10 s

Reverse voltage 110 V

Stresses greater than those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# HFD3022

## Silicon PIN Photodiode

### ORDER GUIDE

Description	Catalog Listing
Standard silicon PIN photodiode	HFD3022-002

This package is also available in special interface receptacles for interfacing to standard fiber optic cables.

### CAUTION

The inherent design of this component causes it to be sensitive to electrostatic discharge (ESD). To prevent ESD-induced damage and/or degradation to equipment, take normal ESD precautions when handling this product.



### FIBER INTERFACE

Honeywell detectors are designed to interface with multimode fibers with sizes (core/cladding diameters) ranging from 50/125 to 200/230 microns. Honeywell performs final tests using 100/140 micron core fiber. The fiber chosen by the end user will depend upon a number of application issues (distance, link budget, cable attenuation, splice attenuation, and safety margin). The 50/125 and 62.5/125 micron fibers have the advantages of high bandwidth and low cost, making them ideal for higher bandwidth installations. The use of 100/140 and 200/230 micron core fibers results in greater power being coupled by the transmitter, making it easier to splice or connect in bulkhead areas. Optical cables can be purchased from a number of sources.

Fig. 1 Rise/Fall Time vs Reverse Bias Voltage

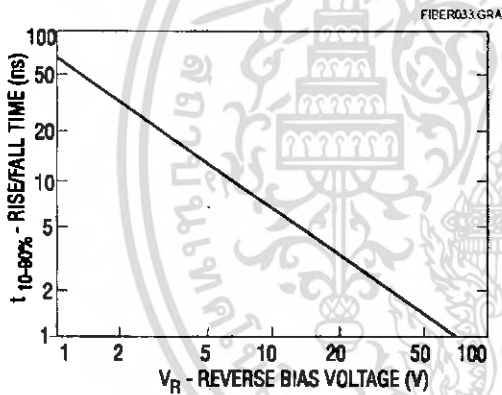


Fig. 2 Package Capacitance vs Reverse Bias Voltage

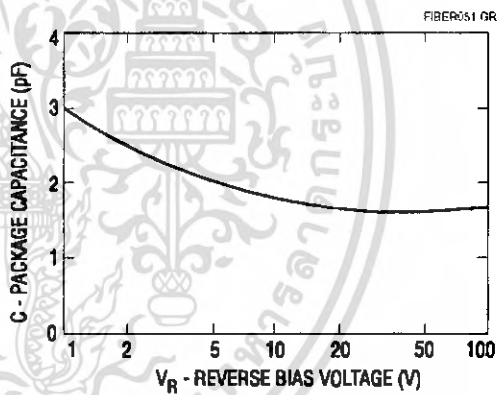


Fig. 3 Spectral Responsivity

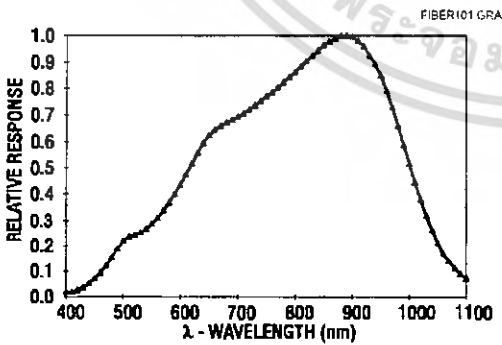
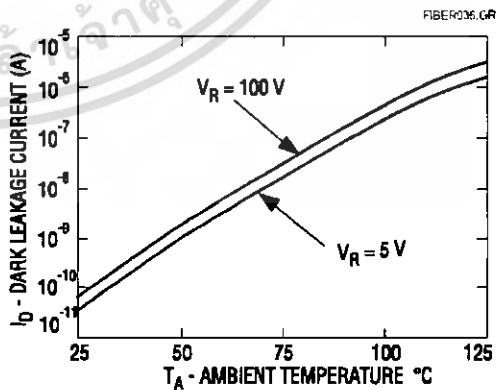


Fig. 4 Dark Leakage Current vs Temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# HFE4020-313/XXX

## Fiber Optic LED

### FEATURES

- Power out designed for drive currents between 10 and 100 mA
- Wave solderable
- Optimized for linear optical output with drive currents between 10 mA and 100 mA
- High speed: 85 MHz
- Mounting options
  - SMA single hole
  - ST single hole
  - SMA PCB
  - ST PCB
  - SMA 4 hole

### DESCRIPTION

The HFE4020-313/XXX is a high radiance GaAlAs 850 nanometer LED optimized for coupling into small fiber core diameters at a forward current of 10 to 100 mA. The patented "Caprock"™ LED chip combines high power coupling with wide bandwidth. The peak wavelength is matched for use with Honeywell silicon fiber optic detectors and receivers. When the HFE4020-313/XXX is used at elevated temperatures, thermal resistance must be taken into consideration.

### APPLICATION

The HFE4020-313/XXX is a high radiance LED packaged in a fiber optic connector that aligns the optical axis of the base component to the axis of the optical fiber. Data rates can vary from DC to above 85 MHz depending upon component application. The LED converts electrical current into optical power that can be used in fiber optic communications. As the current varies (typically from 10 to 100 mA), the light intensity increases proportionally.

The HFE4020-313/XXX LED is designed to give high fiber coupled power (high radiance into a standard fiber optic cable). In order to enhance the light being sent into a fiber optic cable, a 0.30 mm diameter glass microlens is placed over the "Caprock"™ junction. The microlens collimates the light, increasing the intensity directed toward a fiber optic cable. This creates a "SWEET SPOT" of power, allowing greater power to be launched into standard fiber optic cables.

# HFE4020-313/XXX

## Fiber Optic LED

ELECTRO-OPTICAL CHARACTERISTICS (-40°C < T<sub>c</sub> < 100°C unless otherwise stated)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	TEST CONDITIONS
Fiber Coupled Power	P <sub>oc</sub>	30	60		μW	I <sub>F</sub> = 50 mA, 100/140 micron, 0.29 NA fiber, T = 25°C (1)
Forward Voltage	V <sub>F</sub>	-15.2	-12.2		dBm	
Reverse Voltage	V <sub>VR</sub>		1.70	2.00	V	I <sub>F</sub> = 100 mA
Peak Wavelength	λ <sub>P</sub>	1.0	5.0		V	I <sub>R</sub> = 10 μA
Spectral Bandwidth	Δλ		850		nm	I <sub>F</sub> = 100 mA DC
Response Time			50		nm	I <sub>F</sub> = 100 mA DC
T = 25°C, 10-90%	t <sub>R</sub>		6	8	ns	1 V Prebias, 100 mA peak
T = 25°C, 90-10%	t <sub>F</sub>		8	10		
-40 < T < +100°C, 10-90%	t <sub>R</sub>		6	9		
-40 < T < +100°C, 90-10%	t <sub>F</sub>		8	11		
Analog Bandwidth	BWE		85		MHz	I <sub>F</sub> = 100 mA DC, small signal sinusoidal modulation
P <sub>0</sub> Temperature Coefficient	ΔP <sub>0</sub> /ΔT		-0.019		dB/°C	I <sub>F</sub> = 100 mA
Series Resistance	r <sub>S</sub>		4.0		Ω	DC
Capacitance	C		70		pF	V <sub>R</sub> = 0 V, f = 1 MHz
Thermal Resistance			250		°C/W	Heat sinked

### Notes

1. HFE4020-313/XXX is tested using a 100/140 micron fiber cable. Actual coupled power values may vary due to mechanical alignment procedures and/or receptacle and fiber tolerances.

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

(25°C Free-Air Temperature unless otherwise noted)

Storage temperature -40 to +100°C

Case operating temperature -40 to +100°C

Lead solder temperature 260°C, 10 s

Continuous forward current 100 mA

(heat sinked)

Reverse voltage 1 V @ 10 μA

Stresses greater than those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

### FIBER INTERFACE

Honeywell LEDs are designed to interface with multimode fiber with sizes ranging from 50/125 to 200/230 microns. Honeywell performs final tests using 50/125 micron core fiber. All multimode fiber optic cables between 50/125 and 200/230 should operate with similar excellent performance. See table for typical powers.

### TYPICAL COUPLED POWER (μW/dBm) @ I<sub>F</sub>=50 mA

Dia.	Index	N.A.	-313
50/125	Graded	0.20	10/-19.9
62.5/125	Graded	0.28	19/-17.1
100/140	Graded	0.29	60/-12.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# HFE4020-313/XXX

## Fiber Optic LED

### ORDER GUIDE

Description	Catalog Listing
Standard screening, typical power out 60 $\mu$ W	HFE4020-313/XXX

### MOUNTING OPTIONS

substitute XXX with one of the following 3 letter combinations

SMA single hole	- AAA
ST single hole	- BAA
SMA PCB	- ABA
ST PCB	- BBA
SMA 4 hole	- ADA

Dimensions on page 203

### WARNING

Under certain application conditions, the infrared optical output of this device may exceed Class 1 eye safety limits, as defined by IEC 825-1 (1993-11). Do not use magnification (such as a microscope or other focusing equipment) when viewing the device's output.

### CAUTION

The inherent design of this component causes it to be sensitive to electrostatic discharge (ESD). To prevent ESD-induced damage and/or degradation to equipment, take normal ESD precautions when handling this product.



Fig. 1 Typical Optical Power Output vs Forward Current

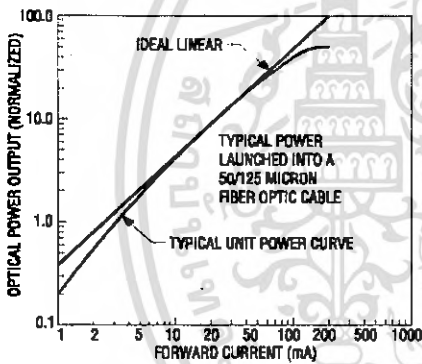


Fig. 2 Typical Spectral Output vs Wavelength

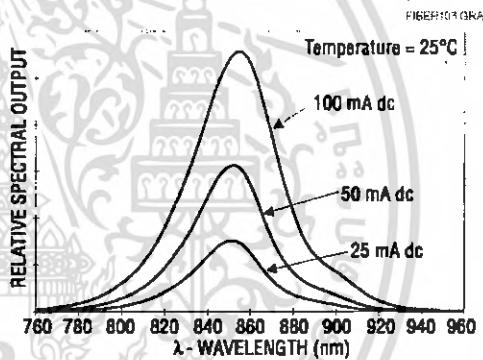
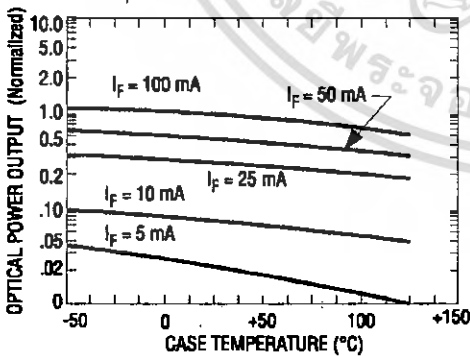


Fig. 3 Typical Optical Power Output vs Case Temperature



All Performance Curves Show Typical Values

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MOTOROLA**  
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

## Analog Multiplexers/Demultiplexers

The MC14051B, MC14052B, and MC14053B analog multiplexers are digitally-controlled analog switches. The MC14051B effectively implements an SP8T solid state switch, the MC14052B a DP4T, and the MC14053B a Triple SPDT. All three devices feature low ON impedance and very low OFF leakage current. Control of analog signals up to the complete supply voltage range can be achieved.

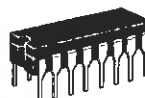
- Triple Diode Protection on Control Inputs
- Switch Function is Break Before Make
- Supply Voltage Range = 3.0 Vdc to 18 Vdc
- Analog Voltage Range ( $V_{DD} - V_{EE}$ ) = 3.0 to 18 V  
Note:  $V_{EE}$  must be  $\leq V_{SS}$
- Linearized Transfer Characteristics
- Low-noise - 12 nV/ $\sqrt{\text{Cycle}}$ ,  $f \geq 1.0$  kHz Typical
- Pin-for-Pin Replacement for CD4051, CD4052, and CD4053
- For 4PDT Switch, See MC14551B
- For Lower  $R_{ON}$ , Use the HC4051, HC4052, or HC4053 High-Speed CMOS Devices

**MAXIMUM RATINGS\***

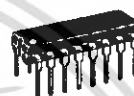
Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_{DD}$	DC Supply Voltage (Referenced to $V_{EE}$ , $V_{SS} \geq V_{EE}$ )	- 0.5 to + 18.0	V
$V_{in}, V_{out}$	Input or Output Voltage (DC or Transient) (Referenced to $V_{SS}$ for Control Inputs and $V_{EE}$ for Switch I/O)	- 0.5 to $V_{DD} + 0.5$	V
$I_{in}$	Input Current (DC or Transient), per Control Pin	$\pm 10$	mA
$I_{sw}$	Switch Through Current	$\pm 25$	mA
$P_D$	Power Dissipation, per Package†	500	mW
$T_{stg}$	Storage Temperature	- 65 to + 150	°C
$T_L$	Lead Temperature (8-Second Soldering)	260	°C

\* Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.  
† Temperature Derating: "P and D/DW" Packages: - 7.0 mW/°C From 65°C To 125°C  
Ceramic "L" Packages: - 12 mW/°C From 100°C To 125°C

### MC14051B MC14052B MC14053B



L SUFFIX  
CERAMIC  
CASE 620



P SUFFIX  
PLASTIC  
CASE 648

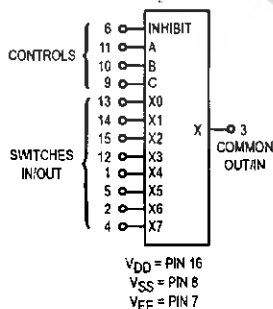


D SUFFIX  
SOIC  
CASE 751B

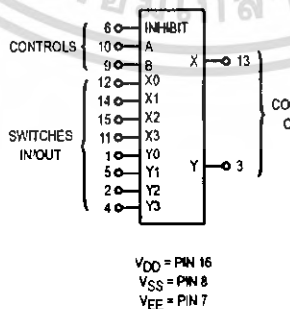
**ORDERING INFORMATION**

MC14XXXBCP Plastic  
MC14XXXBCL Ceramic  
MC14XXXBD SOIC  
 $T_A = -55^\circ\text{C}$  to  $125^\circ\text{C}$  for all packages.

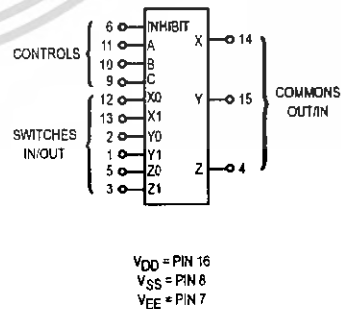
**MC14051B**  
8-Channel Analog Multiplexer/Demultiplexer



**MC14052B**  
Dual 4-Channel Analog Multiplexer/Demultiplexer



**MC14053B**  
Triple 2-Channel Analog Multiplexer/Demultiplexer



Note: Control Inputs referenced to  $V_{EE}$ . Analog Inputs and Outputs reference to  $V_{CC}$ .  $V_{CC}$  must be  $< V_{EE}$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	V <sub>DD</sub>	Test Conditions	-55°C		25°C			125°C		Unit
				Min	Max	Min	Typ #	Max	Min	Max	
<b>SUPPLY REQUIREMENTS (Voltages Referenced to V<sub>EE</sub>)</b>											
Power Supply Voltage Range	V <sub>DD</sub>	—	V <sub>DD</sub> - 3.0 ≥ V <sub>SS</sub> ≥ V <sub>EE</sub>	3.0	18	3.0	—	18	3.0	18	V
Quiescent Current Per Package	I <sub>DD</sub>	5.0 10 15	Control Inputs: V <sub>in</sub> = V <sub>SS</sub> or V <sub>DD</sub> . Switch I/O: V <sub>EE</sub> ≤ V <sub>I/O</sub> ≤ V <sub>DD</sub> , and ΔV <sub>switch</sub> ≤ 500 mV**	—	5.0	—	0.005	5.0	—	150	μA
				—	10	—	0.010	10	—	300	
				—	20	—	0.015	20	—	600	
Total Supply Current (Dynamic Plus Quiescent, Per Package)	I <sub>D(AV)</sub>	5.0 10 15	T <sub>A</sub> = 25°C only (The channel component, (V <sub>in</sub> - V <sub>out</sub> )/R <sub>on</sub> , is not included.)	Typical (0.07 μA/kHz) f + I <sub>DD</sub> (0.20 μA/kHz) f + I <sub>DD</sub> (0.36 μA/kHz) f + I <sub>DD</sub>						μA	
<b>CONTROL INPUTS — INHIBIT, A, B, C (Voltages Referenced to V<sub>SS</sub>)</b>											
Low-Level Input Voltage	V <sub>IL</sub>	5.0 10 15	R <sub>on</sub> = per spec, I <sub>off</sub> = per spec	—	1.5	—	2.25	1.5	—	1.5	V
				—	3.0	—	4.50	3.0	—	3.0	
				—	4.0	—	6.75	4.0	—	4.0	
High-Level Input Voltage	V <sub>IH</sub>	5.0 10 15	R <sub>on</sub> = per spec, I <sub>off</sub> = per spec	3.5	—	3.5	2.75	—	3.5	—	V
				7.0	—	7.0	5.50	—	7.0	—	
				11	—	11	8.25	—	11	—	
Input Leakage Current	I <sub>in</sub>	15	V <sub>in</sub> = 0 or V <sub>DD</sub>	—	± 0.1	—	± 0.00001	± 0.1	—	1.0	μA
Input Capacitance	C <sub>in</sub>	—		—	—	—	5.0	7.5	—	—	pF
<b>SWITCHES IN/OUT AND COMMONS OUT/IN — X, Y, Z (Voltages Referenced to V<sub>EE</sub>)</b>											
Recommended Peak-to-Peak Voltage Into or Out of the Switch	V <sub>I/O</sub>	—	Channel On or Off	0	V <sub>DD</sub>	0	—	V <sub>DD</sub>	0	V <sub>DD</sub>	V <sub>PP</sub>
Recommended Static or Dynamic Voltage Across the Switch** (Figure 5)	ΔV <sub>switch</sub>	—	Channel On	0	600	0	—	600	0	300	mV
Output Offset Voltage	V <sub>OO</sub>	—	V <sub>in</sub> = 0 V, No Load	—	—	—	10	—	—	—	μV
ON Resistance	R <sub>on</sub>	5.0 10 15	ΔV <sub>switch</sub> ≤ 500 mV**, V <sub>in</sub> = V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub> (Control), and V <sub>in</sub> = 0 to V <sub>DD</sub> (Switch)	—	800	—	250	1050	—	1200	Ω
				—	400	—	120	500	—	520	
				—	220	—	80	280	—	300	
ΔON Resistance Between Any Two Channels in the Same Package	ΔR <sub>on</sub>	5.0 10 15		—	70	—	25	70	—	135	Ω
				—	50	—	10	50	—	95	
				—	45	—	10	45	—	65	
Off-Channel Leakage Current (Figure 10)	I <sub>off</sub>	15	V <sub>in</sub> = V <sub>IL</sub> or V <sub>IH</sub> (Control) Channel to Channel or Any One Channel	—	± 100	—	± 0.05	± 100	—	± 1000	nA
Capacitance, Switch I/O	C <sub>I/O</sub>	—	Inhibit = V <sub>DD</sub>	—	—	—	10	—	—	—	pF
Capacitance, Common O/I	C <sub>O/I</sub>	—	Inhibit = V <sub>DD</sub> (MC14051B) (MC14052B) (MC14053B)	—	—	—	60	—	—	—	pF
				—	—	—	32	—	—		
				—	—	—	17	—	—		
Capacitance, Feedthrough (Channel Off)	C <sub>I/O</sub>	—	Pins Not Adjacent Pins Adjacent	—	—	—	0.15	—	—	—	pF
				—	—	—	0.47	—	—	—	

#Data labeled "Typ" is not to be used for design purposes, but is intended as an indication of the IC's potential performance.

\* For voltage drops across the switch (ΔV<sub>switch</sub>) > 600 mV (> 300 mV at high temperature), excessive V<sub>DD</sub> current may be drawn, i.e. the current out of the switch may contain both V<sub>DD</sub> and switch input components. The reliability of the device will be unaffected unless the Maximum Ratings are exceeded. (See first page of this data sheet.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS\* ( $C_L = 50$  pF,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ) ( $V_{EE} \leq V_{SS}$  unless otherwise indicated)

Characteristic	Symbol	$V_{DD} - V_{EE}$ Vdc	Typ # All Types	Max	Unit
Propagation Delay Times (Figure 6) Switch Input to Switch Output ( $R_L = 10$ k $\Omega$ ) MC14051 $t_{PLH}, t_{PHL} = (0.17 \text{ ns/pF}) C_L + 26.5 \text{ ns}$ $t_{PLH}, t_{PHL} = (0.08 \text{ ns/pF}) C_L + 11 \text{ ns}$ $t_{PLH}, t_{PHL} = (0.06 \text{ ns/pF}) C_L + 9.0 \text{ ns}$ MC14052 $t_{PLH}, t_{PHL} = (0.17 \text{ ns/pF}) C_L + 21.5 \text{ ns}$ $t_{PLH}, t_{PHL} = (0.08 \text{ ns/pF}) C_L + 8.0 \text{ ns}$ $t_{PLH}, t_{PHL} = (0.06 \text{ ns/pF}) C_L + 7.0 \text{ ns}$ MC14053 $t_{PLH}, t_{PHL} = (0.17 \text{ ns/pF}) C_L + 16.5 \text{ ns}$ $t_{PLH}, t_{PHL} = (0.08 \text{ ns/pF}) C_L + 4.0 \text{ ns}$ $t_{PLH}, t_{PHL} = (0.06 \text{ ns/pF}) C_L + 3.0 \text{ ns}$	$t_{PLH}, t_{PHL}$	5.0 10 15	35 15 12	90 40 30	ns
Inhibit to Output ( $R_L = 10$ k $\Omega$ , $V_{EE} = V_{SS}$ ) Output "1" or "0" to High Impedance, or High Impedance to "1" or "0" Level MC14051B	$t_{PHZ}, t_{PLZ},$ $t_{PZH}, t_{PZL}$	5.0 10 15	350 170 140	700 340 280	ns
MC14052B		5.0 10 15	300 155 125	600 310 250	ns
MC14053B		5.0 10 15	275 140 110	550 280 220	ns
Control Input to Output ( $R_L = 10$ k $\Omega$ , $V_{EE} = V_{SS}$ ) MC14051B	$t_{PLH}, t_{PHL}$	5.0 10 15	360 160 120	720 320 240	ns
MC14052B		5.0 10 15	325 130 90	650 260 180	ns
MC14053B		5.0 10 15	300 120 80	600 240 160	ns
Second Harmonic Distortion ( $R_L = 10$ k $\Omega$ , $f = 1$ kHz) $V_{in} = 5$ Vpp	—	10	0.07	—	%
Bandwidth (Figure 7) ( $R_L = 1$ k $\Omega$ , $V_{in} = 1/2 (V_{DD} - V_{EE})$ p-p, $C_L = 50$ pF $20 \text{ Log } (V_{out}/V_{in}) = -3$ dB)	BW	10	17	—	MHz
Off Channel Feedthrough Attenuation (Figure 7) $R_L = 1$ k $\Omega$ , $V_{in} = 1/2 (V_{DD} - V_{EE})$ p-p $f_{in} = 4.5$ MHz — MC14051B $f_{in} = 30$ MHz — MC14052B $f_{in} = 55$ MHz — MC14053B	—	10	-50	—	dB
Channel Separation (Figure 8) ( $R_L = 1$ k $\Omega$ , $V_{in} = 1/2 (V_{DD} - V_{EE})$ p-p, $f_{in} = 3.0$ MHz)	—	10	-50	—	dB
Crosstalk, Control Input to Common O/I (Figure 9) ( $R_1 = 1$ k $\Omega$ , $R_L = 10$ k $\Omega$ Control $t_{TLH} = t_{THL} = 20$ ns, Inhibit = $V_{SS}$ )	—	10	75	—	mV

\* The formulas given are for the typical characteristics only at  $25^\circ\text{C}$ .

#Data labelled "Typ" is not to be used for design purposes but is intended as an indication of the IC's potential performance.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# DECADE COUNTER; DIVIDE-BY-TWELVE COUNTER; 4-BIT BINARY COUNTER

The SN54/74LS90, SN54/74LS92 and SN54/74LS93 are high-speed 4-bit ripple type counters partitioned into two sections. Each counter has a divide-by-two section and either a divide-by-five (LS90), divide-by-six (LS92) or divide-by-eight (LS93) section which are triggered by a HIGH-to-LOW transition on the clock inputs. Each section can be used separately or tied together (Q to CP) to form BCD, bi-quinary, modulo-12, or modulo-16 counters. All of the counters have a 2-input gated Master Reset (Clear), and the LS90 also has a 2-input gated Master Set (Preset 9).

- Low Power Consumption . . . Typically 45 mW
- High Count Rates . . . Typically 42 MHz
- Choice of Counting Modes . . . BCD, Bi-Quinary, Divide-by-Twelve, Binary
- Input Clamp Diodes Limit High Speed Termination Effects

**PIN NAMES**

CP <sub>0</sub>	Clock (Active LOW going edge) Input to +2 Section
CP <sub>1</sub>	Clock (Active LOW going edge) Input to +5 Section (LS90), +6 Section (LS92)
CP <sub>1</sub>	Clock (Active LOW going edge) Input to +8 Section (LS93)
MR <sub>1</sub> , MR <sub>2</sub>	Master Reset (Clear) Inputs
MS <sub>1</sub> , MS <sub>2</sub>	Master Set (Preset-9, LS90) Inputs
Q <sub>0</sub>	Output from +2 Section (Notes b & c)
Q <sub>1</sub> , Q <sub>2</sub> , Q <sub>3</sub>	Outputs from +5 (LS90), +6 (LS92), +8 (LS93) Sections (Note b)

**LOADING (Note a)**

	HIGH	LOW
CP <sub>0</sub>	0.5 U.L.	1.5 U.L.
CP <sub>1</sub>	0.5 U.L.	2.0 U.L.
CP <sub>1</sub>	0.5 U.L.	1.0 U.L.
MR <sub>1</sub> , MR <sub>2</sub>	0.5 U.L.	0.25 U.L.
MS <sub>1</sub> , MS <sub>2</sub>	0.5 U.L.	0.25 U.L.
Q <sub>0</sub>	10 U.L.	5 (2.5) U.L.
Q <sub>1</sub> , Q <sub>2</sub> , Q <sub>3</sub>	10 U.L.	5 (2.5) U.L.

**NOTES:**

- 1 TTL Unit Load (U.L.) = 40  $\mu$ A HIGH/1.6 mA LOW
- The Output LOW drive factor is 2.5 U.L. for Military, (54) and 5 U.L. for commercial (74) Temperature Ranges.
- The Q<sub>0</sub> Outputs are guaranteed to drive the full fan-out plus the CP<sub>1</sub> input of the device
- To insure proper operation the rise (t<sub>r</sub>) and fall time (t<sub>f</sub>) of the clock must be less than 100 ns.

**SN54/74LS90  
SN54/74LS92  
SN54/74LS93**

**DECADE COUNTER;  
DIVIDE-BY-TWELVE COUNTER;  
4-BIT BINARY COUNTER  
LOW POWER SCHOTTKY**

**J SUFFIX CERAMIC CASE 632-08**

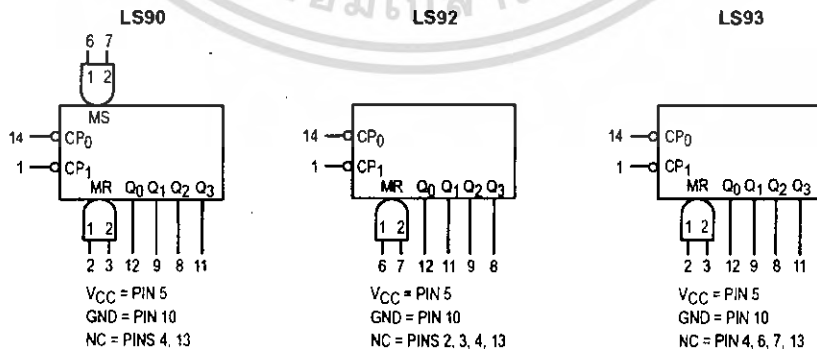
**N SUFFIX PLASTIC CASE 646-06**

**D SUFFIX SOIC CASE 751A-02**

**ORDERING INFORMATION**

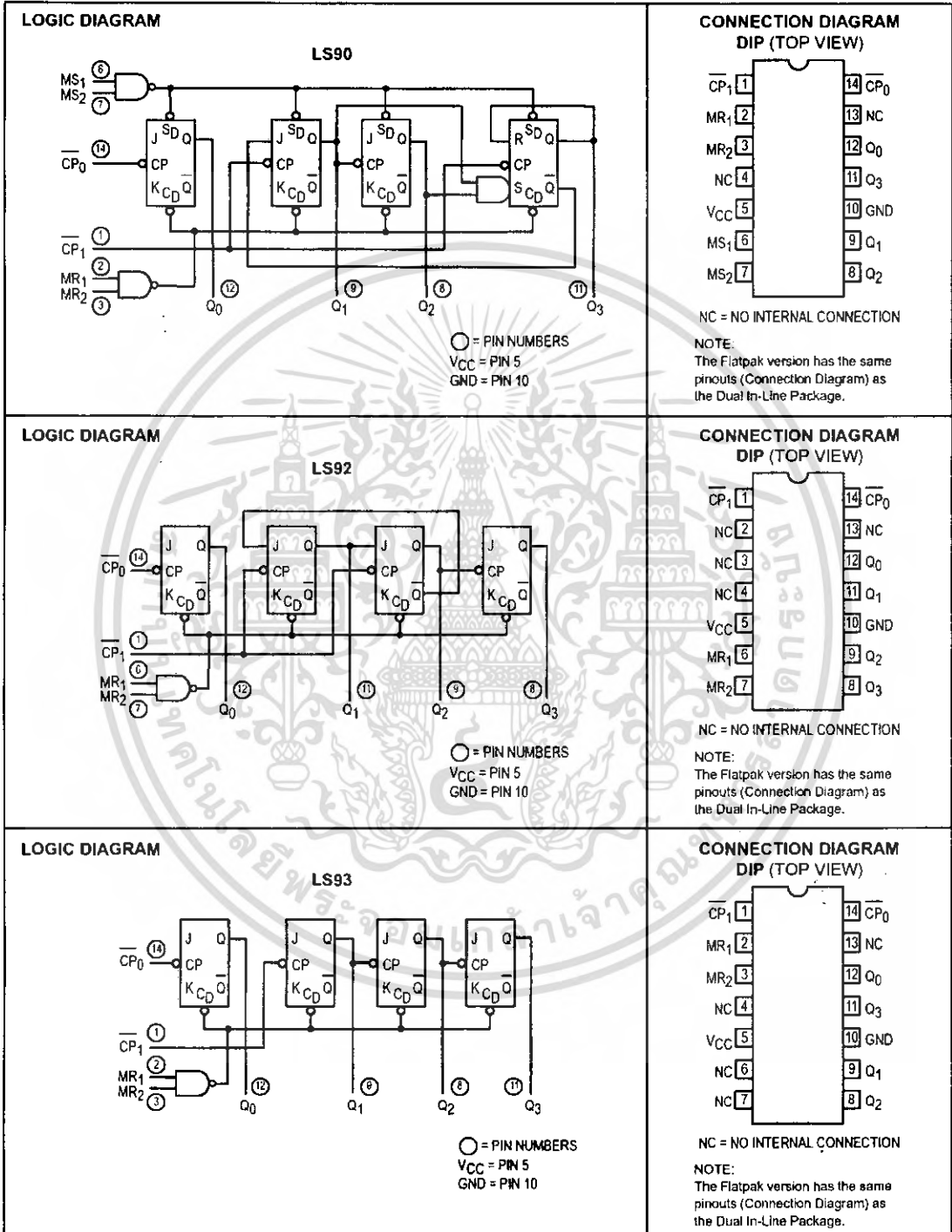
SN54LSXXJ	Ceramic
SN74LSXXN	Plastic
SN74LSXXD	SOIC

**LOGIC SYMBOL**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54/74LS90 • SN54/74LS92 • SN54/74LS93



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54/74LS90 • SN54/74LS92 • SN54/74LS93

LS90  
MODE SELECTION

RESET/SET INPUTS				OUTPUTS			
MR <sub>1</sub>	MR <sub>2</sub>	MS <sub>1</sub>	MS <sub>2</sub>	Q <sub>0</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
H	H	L	X	L	L	L	L
H	H	X	L	L	L	L	L
X	X	H	H	H	L	L	H
L	X	L	X	Count			
X	L	X	L	Count			
L	X	X	L	Count			
X	L	L	X	Count			

H = HIGH Voltage Level  
L = LOW Voltage Level  
X = Don't Care

LS92 AND LS93  
MODE SELECTION

RESET INPUTS		OUTPUTS			
MR <sub>1</sub>	MR <sub>2</sub>	Q <sub>0</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
H	H	L	L	L	L
L	H	Count			
H	L	Count			
L	L	Count			

H = HIGH Voltage Level  
L = LOW Voltage Level  
X = Don't Care

LS90  
BCD COUNT SEQUENCE

COUNT	OUTPUT			
	Q <sub>0</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
0	L	L	L	L
1	H	L	L	L
2	L	H	L	L
3	H	H	L	L
4	L	L	H	L
5	H	L	H	L
6	L	H	H	L
7	H	H	H	L
8	L	L	L	H
9	H	L	L	H

NOTE: Output Q<sub>0</sub> is connected to Input CP<sub>1</sub> for BCD count.

LS92  
TRUTH TABLE

COUNT	OUTPUT			
	Q <sub>0</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
0	L	L	L	L
1	H	L	L	L
2	L	H	L	L
3	H	H	L	L
4	L	L	H	L
5	H	L	H	L
6	L	L	L	H
7	H	L	L	H
8	L	H	L	H
9	H	H	L	H
10	L	L	H	H
11	H	L	H	H

NOTE: Output Q<sub>0</sub> is connected to Input CP<sub>1</sub>.

LS93  
TRUTH TABLE

COUNT	OUTPUT			
	Q <sub>0</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
0	L	L	L	L
1	H	L	L	L
2	L	H	L	L
3	H	H	L	L
4	L	L	H	L
5	H	L	H	L
6	L	H	H	L
7	H	H	H	L
8	L	L	L	H
9	H	L	L	H
10	L	H	L	H
11	H	H	L	H
12	L	L	H	H
13	H	L	H	H
14	L	H	H	H
15	H	H	H	H

NOTE: Output Q<sub>0</sub> is connected to Input CP<sub>1</sub>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## PCM Codec-Filter

The MC145554, MC145557, MC145564, and MC145567 are all per channel PCM Codec-Filters. These devices perform the voice digitization and reconstruction as well as the band limiting and smoothing required for PCM systems. They are designed to operate in both synchronous and asynchronous applications and contain an on-chip precision voltage reference. The MC145554 (Mu-Law) and MC145557 (A-Law) are general purpose devices that are offered in 16-pin packages. The MC145564 (Mu-Law) and MC145567 (A-Law), offered in 20-pin packages, add the capability of analog loopback and push-pull power amplifiers with adjustable gain.

These devices have an input operational amplifier whose output is the input to the encoder section. The encoder section immediately low-pass filters the analog signal with an active R-C filter to eliminate very-high-frequency noise from being modulated down to the pass band by the switched capacitor filter. From the active R-C filter, the analog signal is converted to a differential signal. From this point, all analog signal processing is done differentially. This allows processing of an analog signal that is twice the amplitude allowed by a single-ended design, which reduces the significance of noise to both the inverted and non-inverted signal paths. Another advantage of this differential design is that noise injected via the power supplies is a common-mode signal that is cancelled when the inverted and non-inverted signals are recombined. This dramatically improves the power supply rejection ratio.

After the differential converter, a differential switched capacitor filter band passes the analog signal from 200 Hz to 3400 Hz before the signal is digitized by the differential compressing A/D converter.

The decoder accepts PCM data and expands it using a differential D/A converter. The output of the D/A is low-pass filtered at 3400 Hz and  $\sin^2 X$  compensated by a differential switched capacitor filter. The signal is then filtered by an active R-C filter to eliminate the out-of-band energy of the switched capacitor filter.

These PCM Codec-Filters accept both long-frame and short-frame industry standard clock formats. They also maintain compatibility with Motorola's family of TSACs and MC3419/MC34120 SLIC products.

The MC145554/57/64/67 family of PCM Codec-Filters utilizes CMOS due to its reliable low-power performance and proven capability for complex analog/digital VLSI functions.

### MC145554/57 (16-Pin Package)

- Fully Differential Analog Circuit Design for Lowest Noise
- Performance Specified for Extended Temperature Range of  $-40$  to  $+85^\circ\text{C}$
- Transmit Band-Pass and Receive Low-Pass Filters On-Chip
- Active R-C Pre-Filtering and Post-Filtering
- Mu-Law Companding MC145554
- A-Law Companding MC145557
- On-Chip Precision Voltage Reference (2.5 V)
- Typical Power Dissipation of 40 mW, Power Down of 1.0 mW at  $\pm 5$  V

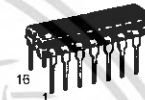
### MC145564/67 (20-Pin Package) — All of the Features of the MC145554/57 Plus:

- Mu-Law Companding MC145564
- A-Law Companding MC145567
- Push-Pull Power Drivers with External Gain Adjust
- Analog Loopback

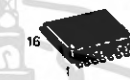
## MC145554 MC145557 MC145564 MC145567



L SUFFIX  
CERAMIC PACKAGE  
CASE 620  
MC145554/57



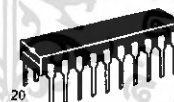
P SUFFIX  
PLASTIC DIP  
CASE 648  
MC145554/57



DW SUFFIX  
SOG PACKAGE  
CASE 751G  
MC145554/57



L SUFFIX  
CERAMIC PACKAGE  
CASE 732  
MC145564/67



P SUFFIX  
PLASTIC DIP  
CASE 738  
MC145564/67

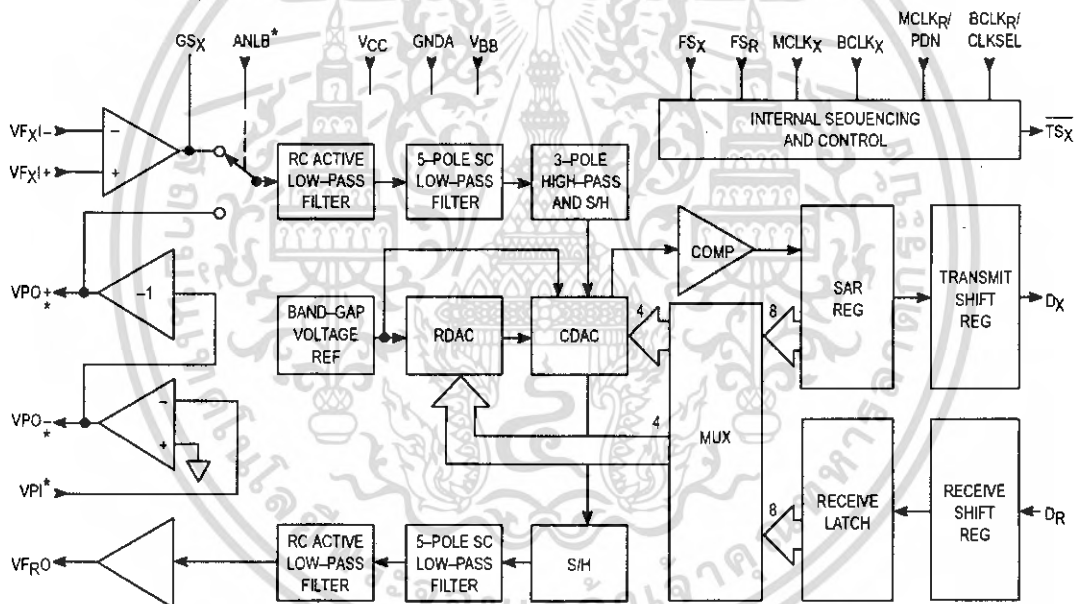


DW SUFFIX  
SOG PACKAGE  
CASE 751D  
MC145564/67

PIN ASSIGNMENTS

MC145554, MC145557				MC145564, MC145567			
V <sub>BB</sub>	1	16	V <sub>F<sub>X</sub>I+</sub>	V <sub>PO+</sub>	1	20	V <sub>BB</sub>
G <sub>NDA</sub>	2	15	V <sub>F<sub>X</sub>I-</sub>	G <sub>NDA</sub>	2	19	V <sub>F<sub>X</sub>I+</sub>
V <sub>F<sub>R</sub>O</sub>	3	14	G <sub>S<sub>X</sub></sub>	V <sub>PO-</sub>	3	18	V <sub>F<sub>X</sub>I-</sub>
V <sub>CC</sub>	4	13	T <sub>S<sub>X</sub></sub>	V <sub>PI</sub>	4	17	G <sub>S<sub>X</sub></sub>
F <sub>S<sub>R</sub></sub>	5	12	F <sub>S<sub>X</sub></sub>	V <sub>F<sub>R</sub>O</sub>	5	16	A <sub>NLB</sub>
D <sub>R</sub>	6	11	D <sub>X</sub>	V <sub>CC</sub>	6	15	T <sub>S<sub>X</sub></sub>
B <sub>CLK<sub>R</sub></sub> /CLKSEL	7	10	B <sub>CLK<sub>X</sub></sub>	F <sub>S<sub>R</sub></sub>	7	14	F <sub>S<sub>X</sub></sub>
M <sub>CLK<sub>R</sub></sub> /P <sub>DN</sub>	8	9	M <sub>CLK<sub>X</sub></sub>	D <sub>R</sub>	8	13	D <sub>X</sub>
				B <sub>CLK<sub>R</sub></sub> /CLKSEL	9	12	B <sub>CLK<sub>X</sub></sub>
				M <sub>CLK<sub>R</sub></sub> /P <sub>DN</sub>	10	11	M <sub>CLK<sub>X</sub></sub>

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



\* MC145564 and MC145567 only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MAXIMUM RATINGS** (Voltage Referenced to GNDA)

Rating	Symbol	Value	Unit
DC Supply Voltage V <sub>CC</sub> to V <sub>BB</sub> V <sub>CC</sub> to GNDA V <sub>BB</sub> to GNDA		- 0.5 to + 13 - 0.3 to + 7.0 - 7.0 to + 0.3	V
Voltage on Any Analog Input or Output Pin		V <sub>BB</sub> - 0.3 to V <sub>CC</sub> + 0.3	V
Voltage on Any Digital Input or Output Pin		GNDA - 0.3 to V <sub>CC</sub> + 0.3	V
Operating Temperature Range	T <sub>A</sub>	- 40 to + 85	°C
Storage Temperature Range	T <sub>stg</sub>	- 85 to + 150	°C

This device contains circuitry to protect against damage due to high static voltages or electric fields; however, it is advised that normal precautions be taken to avoid application of any voltage higher than maximum rated voltages to this high impedance circuit. For proper operation it is recommended that V<sub>in</sub> and V<sub>out</sub> be constrained to the range V<sub>SS</sub> ≤ (V<sub>in</sub> or V<sub>out</sub>) ≤ V<sub>DD</sub>.

Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., V<sub>BB</sub>, GNDA, or V<sub>CC</sub>).

**POWER SUPPLY** (T<sub>A</sub> = - 40 to + 85°C)

Characteristic	Min	Typ	Max	Unit
DC Supply Voltage	V <sub>CC</sub> 4.75 V <sub>BB</sub> - 4.75	5.0 - 5.0	5.25 - 5.25	V
Active Power Dissipation (No Load)	MC145554/57 MC145564/67 MC145564/67, V <sub>PI</sub> = V <sub>BB</sub>	— 40 45 40	60 70 60	mW
Power-Down Dissipation (No Load)	MC145554/57 MC145564/67 MC145564/67, V <sub>PI</sub> = V <sub>BB</sub>	— 1.0 2.0 1.0	3.0 5.0 3.0	mW

**DIGITAL LEVELS** (V<sub>CC</sub> = 5 V ± 5%, V<sub>BB</sub> = - 5 V ± 5%, GNDA = 0 V, T<sub>A</sub> = - 40 to + 85°C)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit	
Input Low Voltage	V <sub>IL</sub>	—	0.6	V	
Input High Voltage	V <sub>IH</sub>	2.2	—	V	
Output Low Voltage	D <sub>X</sub> or TS <sub>X</sub> , I <sub>OL</sub> = 3.2 mA	V <sub>OL</sub>	—	0.4	V
Output High Voltage	D <sub>X</sub> , I <sub>OH</sub> = - 3.2 mA I <sub>OH</sub> = - 1.6 mA	V <sub>OH</sub>	2.4 V <sub>CC</sub> - 0.5	—	V
Input Low Current	GNDA ≤ V <sub>in</sub> ≤ V <sub>CC</sub>	I <sub>IL</sub>	- 10	+ 10	μA
Input High Current	GNDA ≤ V <sub>in</sub> ≤ V <sub>CC</sub>	I <sub>IH</sub>	- 10	+ 10	μA
Output Current in High Impedance State	GNDA ≤ D <sub>X</sub> ≤ V <sub>CC</sub>	I <sub>OZ</sub>	- 10	+ 10	μA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

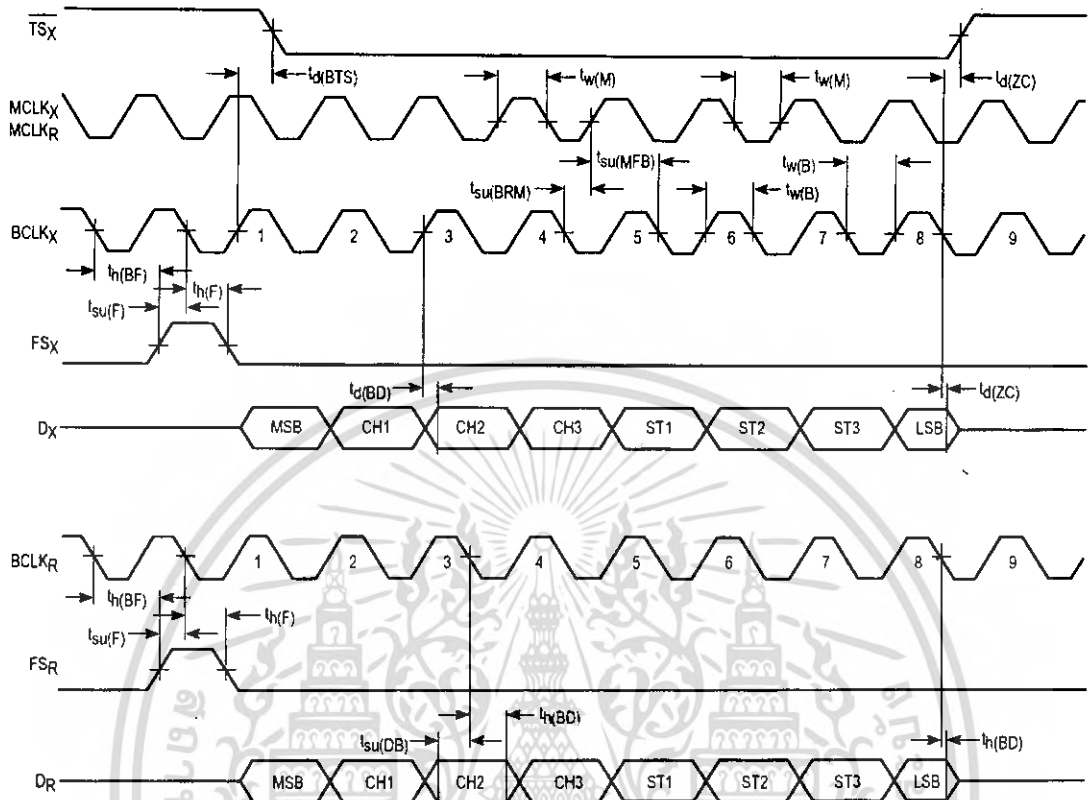


Figure 1. Short Frame Sync Timing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MOTOROLA**  
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

## 4-Bit Transparent Latch/4-to-16 Line Decoder

The MC14514B and MC14515B are two output options of a 4 to 16 line decoder with latched inputs. The MC14514B (output active high option) presents a logical "1" at the selected output, whereas the MC14515B (output active low option) presents a logical "0" at the selected output. The latches are R-S type flip-flops which hold the last input data presented prior to the strobe transition from "1" to "0". These high and low options of a 4-bit latch/4 to 16 line decoder are constructed with N-channel and P-channel enhancement mode devices in a single monolithic structure. The latches are R-S type flip-flops and data is admitted upon a signal incident at the strobe input, decoded, and presented at the output.

These complementary circuits find primary use in decoding applications where low power dissipation and/or high noise immunity is desired.

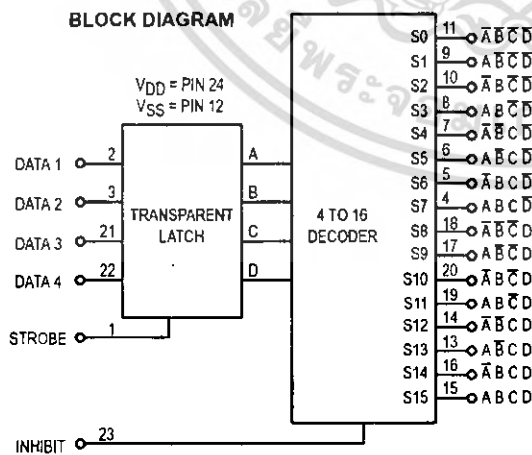
- Supply Voltage Range = 3.0 Vdc to 18 Vdc
- Capable of Driving Two Low-power TTL Loads or One Low-power Schottky TTL Load Over the Rated Temperature Range

**MAXIMUM RATINGS\*** (Voltages Referenced to V<sub>SS</sub>)

Symbol	Parameter	Value	Unit
V <sub>DD</sub>	DC Supply Voltage	- 0.5 to + 18.0	V
V <sub>in</sub> , V <sub>out</sub>	Input or Output Voltage (DC or Transient)	0.5 to V <sub>DD</sub> + 0.5	V
I <sub>in</sub> , I <sub>out</sub>	Input or Output Current (DC or Transient), per Pin	± 10	mA
P <sub>D</sub>	Power Dissipation, per Package†	500	mW
T <sub>stg</sub>	Storage Temperature	- 65 to + 150	°C
T <sub>L</sub>	Lead Temperature (8-Second Soldering)	260	°C

\* Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.  
† Temperature Derating:

Plastic "P and D/DW" Packages: - 7.0 mW/°C From 65°C To 125°C  
Ceramic "L" Packages: - 12 mW/°C From 100°C To 125°C



## MC14514B MC14515B



**L SUFFIX**  
CERAMIC  
CASE 623



**P SUFFIX**  
PLASTIC  
CASE 709



**DW SUFFIX**  
SOIC  
CASE 751E

**ORDERING INFORMATION**

MC14XXBCP Plastic  
MC14XXBCL Ceramic  
MC14XXBDW SOIC

T<sub>A</sub> = - 55° to 125°C for all packages.

**DECODE TRUTH TABLE (Strobe = 1)**

Inhibit	Data Inputs				Selected Output MC14514 = Logic "1" MC14515 = Logic "0"
	D	C	B	A	
0	0	0	0	0	S0
0	0	0	0	1	S1
0	0	0	1	0	S2
0	0	0	1	1	S3
0	0	1	0	0	S4
0	0	1	0	1	S5
0	0	1	1	0	S6
0	0	1	1	1	S7
0	1	0	0	0	S8
0	1	0	0	1	S9
0	1	0	1	0	S10
0	1	0	1	1	S11
0	1	1	0	0	S12
0	1	1	0	1	S13
0	1	1	1	0	S14
0	1	1	1	1	S15
1	X	X	X	X	All Outputs = 0, MC14514 All Outputs = 1, MC14515

X = Don't Care  
\*Strobe = 0, Data is latched

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** (Voltages Referenced to  $V_{SS}$ )

Characteristic	Symbol	$V_{DD}$ Vdc	-55°C		25°C			125°C		Unit	
			Min	Max	Min	Typ #	Max	Min	Max		
Output Voltage $V_{in} = V_{DD}$ or 0  $V_{in} = 0$ or $V_{DD}$	"0" Level  $V_{OL}$	5.0	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05	Vdc	
		10	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05		
		15	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05		
	"1" Level  $V_{OH}$	5.0	4.95	—	4.95	5.0	—	4.95	—	Vdc	
		10	9.95	—	9.95	10	—	9.95	—		
		15	14.95	—	14.95	15	—	14.95	—		
Input Voltage ( $V_O = 4.5$ or $0.5$ Vdc) ( $V_O = 9.0$ or $1.0$ Vdc) ( $V_O = 13.5$ or $1.5$ Vdc)  ( $V_O = 0.5$ or $4.5$ Vdc) ( $V_O = 1.0$ or $9.0$ Vdc) ( $V_O = 1.5$ or $13.5$ Vdc)	"0" Level  $V_{IL}$	5.0	—	1.5	—	2.25	1.5	—	1.5	Vdc	
		10	—	3.0	—	4.50	3.0	—	3.0		
		15	—	4.0	—	6.75	4.0	—	4.0		
	"1" Level  $V_{IH}$	5.0	3.5	—	3.5	2.75	—	3.5	—	Vdc	
		10	7.0	—	7.0	5.50	—	7.0	—		
		15	11	—	11	8.25	—	11	—		
Output Drive Current ( $V_{OH} = 2.5$ Vdc) ( $V_{OH} = 4.6$ Vdc) ( $V_{OH} = 9.5$ Vdc) ( $V_{OH} = 13.5$ Vdc)  ( $V_{OL} = 0.4$ Vdc) ( $V_{OL} = 0.5$ Vdc) ( $V_{OL} = 1.5$ Vdc)	Source	$I_{OH}$	5.0	-1.2	—	-1.0	-1.7	—	-0.7	—	mAdc
			5.0	-0.25	—	-0.2	-0.36	—	-0.14	—	
			10	-0.62	—	-0.5	-0.9	—	-0.35	—	
			15	-1.8	—	-1.5	-3.5	—	-1.1	—	
	Sink	$I_{OL}$	5.0	0.64	—	0.51	0.88	—	0.36	—	mAdc
			10	1.6	—	1.3	2.25	—	0.9	—	
15	4.2	—	3.4	8.8	—	2.4	—	—			
Input Current	$I_{in}$	15	—	$\pm 0.1$	—	$\pm 0.00001$	$\pm 0.1$	—	$\pm 1.0$	$\mu$ Adc	
Input Capacitance ( $V_{in} = 0$ )	$C_{in}$	—	—	—	—	5.0	7.5	—	—	pF	
Quiescent Current (Per Package)	$I_{DD}$	5.0	—	5.0	—	0.005	5.0	—	150	$\mu$ Adc	
		10	—	10	—	0.010	10	—	300		
		15	—	20	—	0.015	20	—	600		
Total Supply Current**† (Dynamic plus Quiescent, Per Package) ( $C_L = 50$ pF on all outputs, all buffers switching)	$I_{TL}$	5.0	$I_T = (1.35 \mu\text{A/kHz}) f + I_{DD}$						$\mu$ Adc		
		10	$I_T = (2.70 \mu\text{A/kHz}) f + I_{DD}$								
		15	$I_T = (4.05 \mu\text{A/kHz}) f + I_{DD}$								

#Data labelled "Typ" is not to be used for design purposes but is intended as an indication of the IC's potential performance.

\*\*The formulas given are for the typical characteristics only at 25°C.

†To calculate total supply current at loads other than 50 pF:

$$I_T(C_L) = I_T(50 \text{ pF}) + (C_L - 50) V/k$$

where:  $I_T$  is in  $\mu\text{A}$  (per package),  $C_L$  in pF,  $V = (V_{DD} - V_{SS})$  in volts,  $f$  in kHz is input frequency, and  $k = 0.002$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SWITCHING CHARACTERISTICS\* (C<sub>L</sub> = 50 pF, T<sub>A</sub> = 25°C)

Characteristic	Symbol	V <sub>DD</sub>	All Types			Unit
			Min	Typ #	Max	
Output Rise Time t <sub>PLH</sub> = (3.0 ns/pF) C <sub>L</sub> + 30 ns t <sub>PLH</sub> = (1.5 ns/pF) C <sub>L</sub> + 15 ns t <sub>PLH</sub> = (1.1 ns/pF) C <sub>L</sub> + 10 ns	t <sub>PLH</sub>	5.0 10 15	— — —	180 90 65	360 180 130	ns
Output Fall Time t <sub>PHL</sub> = (1.5 ns/pF) C <sub>L</sub> + 25 ns t <sub>PHL</sub> = (0.75 ns/pF) C <sub>L</sub> + 12.5 ns t <sub>PHL</sub> = (0.55 ns/pF) C <sub>L</sub> + 9.5 ns	t <sub>PHL</sub>	5.0 10 15	— — —	100 50 40	200 100 80	ns
Propagation Delay Time; Data, Strobe to S t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub> = (1.7 ns/pF) C <sub>L</sub> + 465 ns t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub> = (0.86 ns/pF) C <sub>L</sub> + 192 ns t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub> = (0.5 ns/pF) C <sub>L</sub> + 125 ns	t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub>	5.0 10 15	— — —	550 225 150	1100 450 300	ns
Inhibit Propagation Delay Times t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub> = (1.7 ns/pF) C <sub>L</sub> + 315 ns t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub> = (0.66 ns/pF) C <sub>L</sub> + 117 ns t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub> = (0.5 ns/pF) C <sub>L</sub> + 75 ns	t <sub>PLH</sub> , t <sub>PHL</sub>	5.0 10 15	— — —	400 150 100	800 300 200	ns
Setup Time Data to Strobe	t <sub>su</sub>	5.0 10 15	250 100 75	125 50 38	— — —	ns
Hold Time Strobe to Data	t <sub>h</sub>	5.0 10 15	-20 0 10	-100 -40 -30	— — —	ns
Strobe Pulse Width	t <sub>WH</sub>	5.0 10 15	350 100 75	175 50 38	— — —	ns

\* The formulas given are for the typical characteristics only at 25°C.

#Data labelled "Typ." is not to be used for design purposes but is intended as an indication of the IC's potential performance.

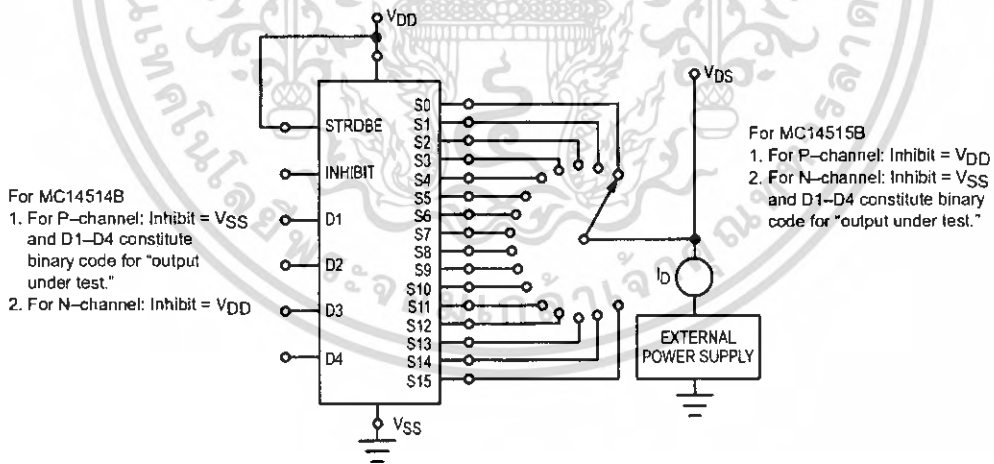


Figure 1. Drain Characteristics Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

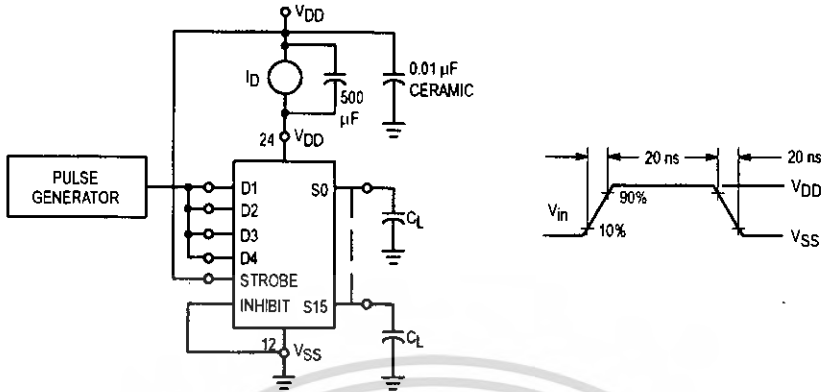


Figure 2. Dynamic Power Dissipation Test Circuit and Waveform

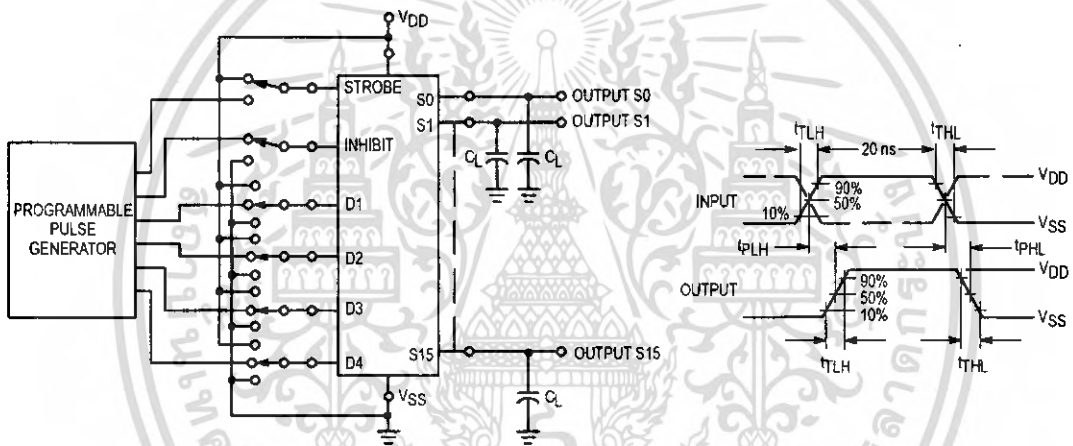


Figure 3. Switching Time Test Circuit and Waveforms

**PIN ASSIGNMENT**

ST	1	24	VDD
D1	2	23	INH
D2	3	22	D4
S7	4	21	D3
S6	5	20	S10
S5	6	19	S11
S4	7	18	S8
S3	8	17	S9
S1	9	16	S14
S2	10	15	S15
S0	11	14	S12
VSS	12	13	S13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# XR-2206

Monolithic  
Function Generator

June 1997-3

## FEATURES

- Low-Sine Wave Distortion, 0.5%, Typical
- Excellent Temperature Stability, 20ppm/°C, Typ.
- Wide Sweep Range, 2000:1, Typical
- Low-Supply Sensitivity, 0.01%V, Typ.
- Linear Amplitude Modulation
- TTL Compatible FSK Controls
- Wide Supply Range, 10V to 26V
- Adjustable Duty Cycle, 1% TO 99%

## APPLICATIONS

- Waveform Generation
- Sweep Generation
- AM/FM Generation
- V/F Conversion
- FSK Generation
- Phase-Locked Loops (VCO)

## GENERAL DESCRIPTION

The XR-2206 is a monolithic function generator integrated circuit capable of producing high quality sine, square, triangle, ramp, and pulse waveforms of high-stability and accuracy. The output waveforms can be both amplitude and frequency modulated by an external voltage. Frequency of operation can be selected externally over a range of 0.01Hz to more than 1MHz.

The circuit is ideally suited for communications, instrumentation, and function generator applications requiring sinusoidal tone, AM, FM, or FSK generation. It has a typical drift specification of 20ppm/°C. The oscillator frequency can be linearly swept over a 2000:1 frequency range with an external control voltage, while maintaining low distortion.

## ORDERING INFORMATION

Part No.	Package	Operating Temperature Range
XR-2206M	16 Lead 300 Mil CDIP	-55°C to +125°C
XR-2206P	16 Lead 300 Mil PDIP	-40°C to +85°C
XR-2206CP	16 Lead 300 Mil PDIP	0°C to +70°C
XR-2206D	16 Lead 300 Mil JEDEC SOIC	0°C to +70°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## XR-2206

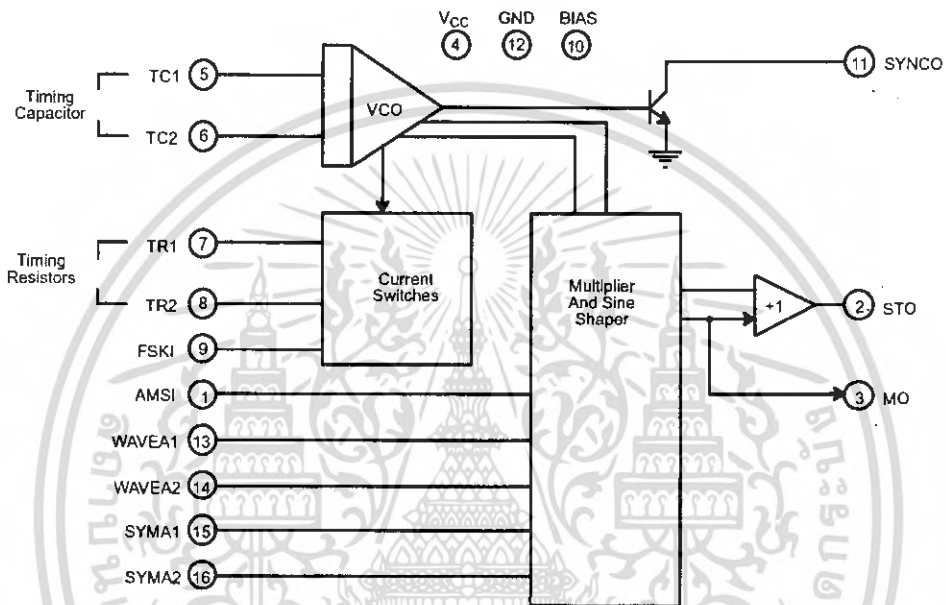
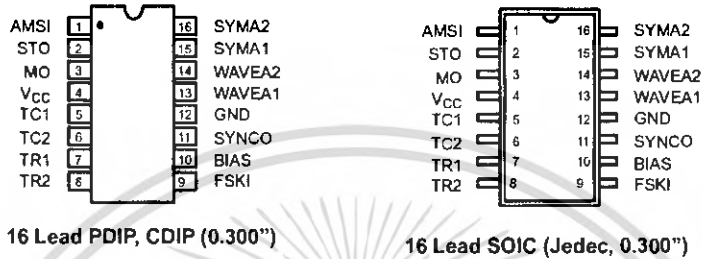


Figure 1. XR-2206 Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## PIN DESCRIPTION

Pin #	Symbol	Type	Description
1	AMSI	I	Amplitude Modulating Signal Input.
2	STO	O	Sine or Triangle Wave Output.
3	MO	O	Multiplier Output.
4	V <sub>CC</sub>		Positive Power Supply.
5	TC1	I	Timing Capacitor Input.
6	TC2	I	Timing Capacitor Input.
7	TR1	O	Timing Resistor 1 Output.
8	TR2	O	Timing Resistor 2 Output.
9	FSKI	I	Frequency Shift Keying Input.
10	BIAS	O	Internal Voltage Reference.
11	SYNCO	O	Sync Output. This output is a open collector and needs a pull up resistor to V <sub>CC</sub> .
12	GND		Ground pin.
13	WAVEA1	I	Wave Form Adjust Input 1.
14	WAVEA2	I	Wave Form Adjust Input 2.
15	SYMA1	I	Wave Symetry Adjust 1.
16	SYMA2	I	Wave Symetry Adjust 2.

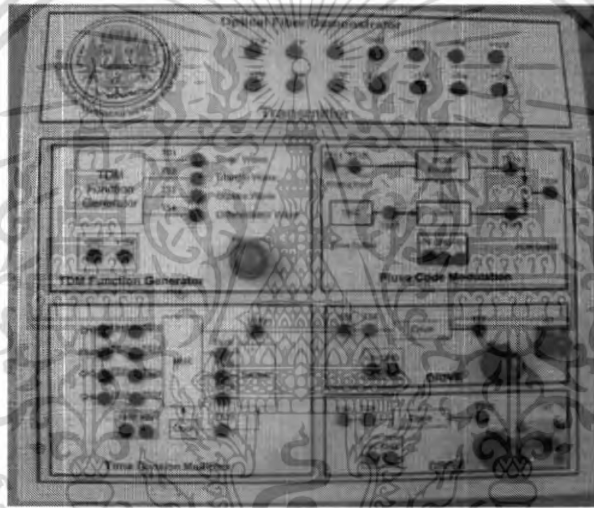
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คู่มือการใช้งาน

## ชุดทดลองการรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

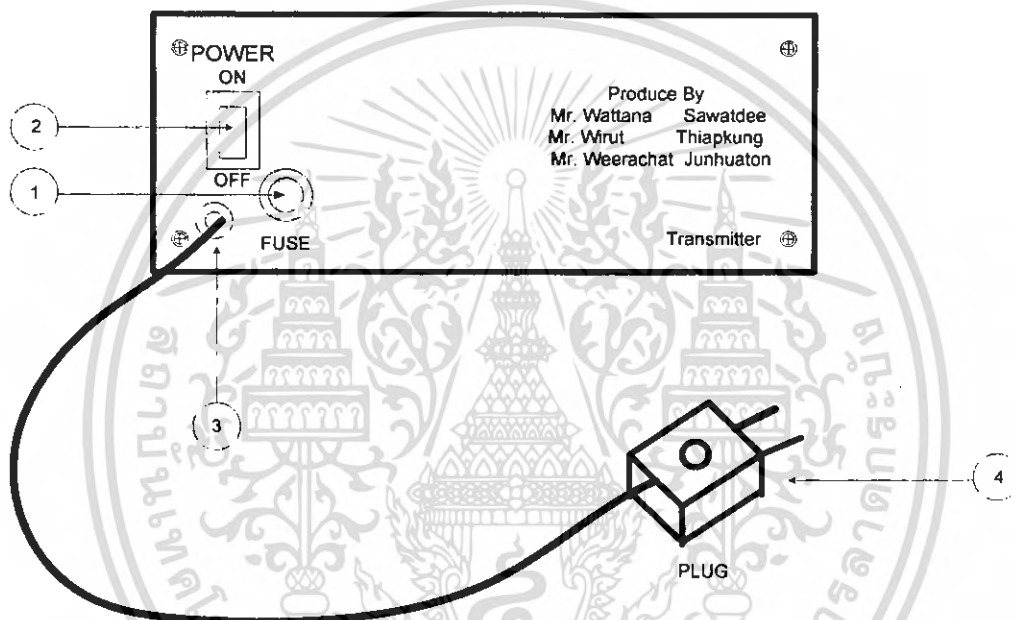
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. คำแนะนำเบื้องต้น

ก่อนที่จะลงมือใช้งานชุดทดลองการรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ควรทำการศึกษาข้อมูลการใช้งานให้ เพื่อการใช้งานที่ถูกต้องและป้องกันการเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับชุดทดลองนี้และอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกันกับชุดทดลองนี้

## 2. ส่วนประกอบและควบคุม

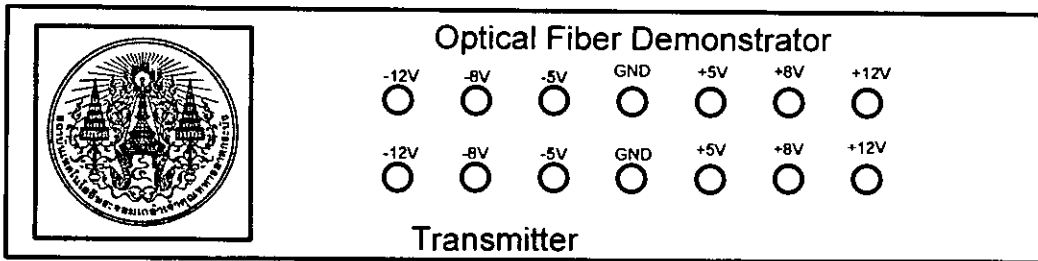


รูปที่ จ.1 ส่วนประกอบและควบคุมชุดทดลองการรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง (ด้านหลังของเครื่องส่ง)

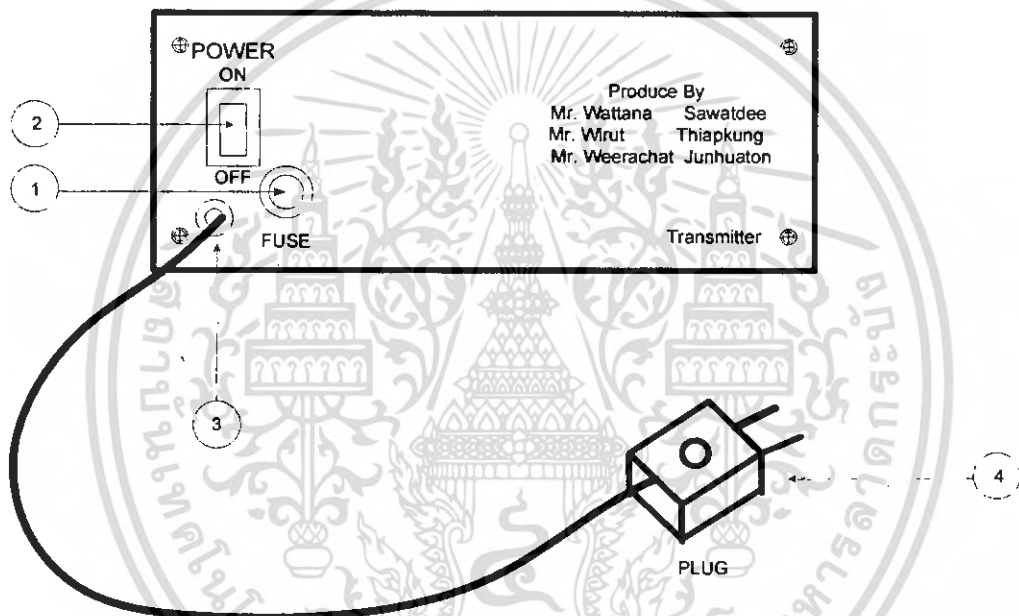
จากรูปที่ จ.1 มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1. ครอบอกฟิวส์
2. สวิตช์เปิดปิด
3. สายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์
4. เต้าเสียบไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑.๒ จุดต่อแรงดันไฟฟ้า (ด้านบนของเครื่องส่ง)

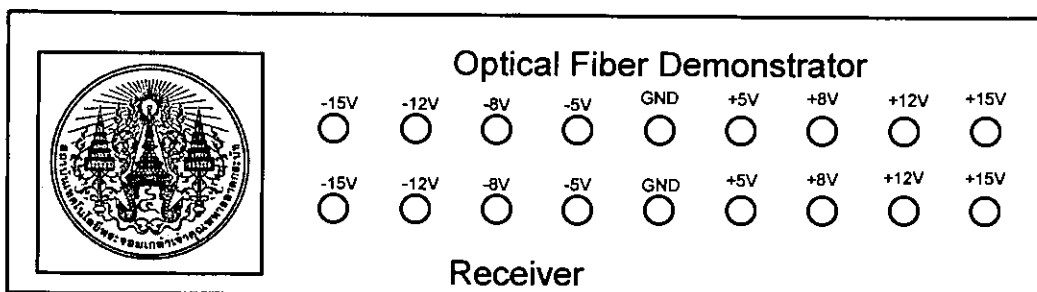


รูปที่ ๑.๓ ส่วนประกอบและควบคุมชุดทดลองการรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง (ด้านหลังของเครื่องรับ)

จากรูปที่ ๑.๒ มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1. ครอบอกฟิวส์
2. สวิตช์เปิดปิด
3. สายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์
4. เต้าเสียบไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑.4 จุดต่อแรงดันไฟฟ้า (ด้านบนของเครื่องรับ)

### 3. การใช้งาน

1. เสียบปลั๊กไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ (หมายเลข 4)
2. เปิดสวิตช์การทำงานของเครื่อง (หมายเลข 2)
3. เปิดโบบางแล้วทดลองตามขั้นตอนต่างๆ ในโบบางซึ่งบอกขั้นตอนและวิธีการอย่างละเอียด

### 4. การแก้ปัญหาเบื้องต้น

1. เมื่อเสียบปลั๊กแล้วเปิดสวิตช์แล้วไฟสวิตช์ไม่ติด ให้ไปตรวจสอบที่ฟิวส์ด้านหลังกล่องว่าขาดหรือไม่ ถ้าฟิวส์ขาดก็ให้เปลี่ยนฟิวส์ใหม่
2. เมื่อต่ออุปกรณ์ต่างๆ ครบถ้วนแล้ววัดสัญญาณจุดต่างๆ ตามโบบางแล้วปรากฏว่าไม่มีสัญญาณให้ทำการตรวจเช็คที่สายต่อสัญญาณตามจุดต่างๆ ซึ่งอาจจะหลวมได้

### 5. การดูแลรักษาและข้อควรระวัง

#### 5.1 การดูแลรักษา

1. ส่วนของชุดส่งและชุดรับให้รีบเก็บรักษาไว้ในที่ที่มิดชิดเพื่อป้องกันฝุ่นละอองเข้าไปอุดตามจุดต่อต่างๆ ซึ่งชุดฝึกลูกนี้จะเกี่ยวกับสัญญาณอาจจะทำให้มีความผิดเพี้ยนและสัญญาณรบกวนได้
2. ส่วนของเส้นใยแก้วนำแสงตรงหัวต่อให้มีที่ปิดปลายหัวต่อด้วยเพื่อป้องกันฝุ่นเข้า
3. ตรวจสอบเช็คสภาพของชุดทดลองอย่างสม่ำเสมอ

#### 5.2 ข้อควรระวัง

1. ควรศึกษาคู่มือการใช้งานของชุดทดลองก่อนการใช้งาน
2. การม้วนเก็บสายเส้นใยแก้วนำแสงไม่ควรม้วนเก็บให้มีวงแคบเกินไปเพราะจะทำให้สายหักและขาดในได้ และการใช้งานไม่ควรจับที่ตัวสายให้จับที่ตรงหัวต่อ
3. การเคลื่อนย้ายไม่ควรทำให้เกิดการกระแทกเพราะจะทำให้วงจรข้างในเกิดความเสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาคผนวก จ**  
**ใบงานการทดลอง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ใบงานที่ 1

### ทดลองการส่งสัญญาณต่างๆ ผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

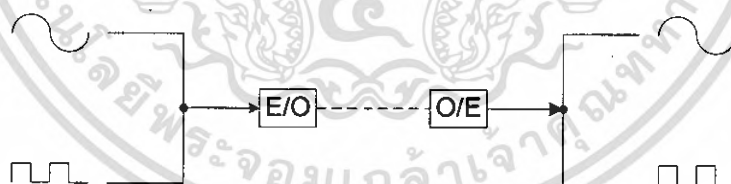
#### จุดประสงค์

1. เพื่อทดสอบการส่งสัญญาณชนิดต่างๆ ผ่านเส้นใยแก้วนำแสงได้
2. เพื่อให้สามารถเข้าใจหลักการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงและการเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

#### ทฤษฎีและหลักการ

ในการทดสอบวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงและวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้านั้นสามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณต่างๆ เข้าไปที่วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง ซึ่งวงจรนี้จะเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงและส่งแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงออกไป ส่วนทางด้านวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้านั้นจะรับสัญญาณแสงที่ส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงมาแล้วและทำการเปลี่ยนสัญญาณแสงนั้นให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าให้เหมือนเดิม

สัญญาณชนิดต่างๆ ที่ส่งเข้าไปที่วงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ สี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยมที่ได้จากเครื่องผลิตความถี่ป้อนเข้าไป ซึ่งหลักการดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 1.1



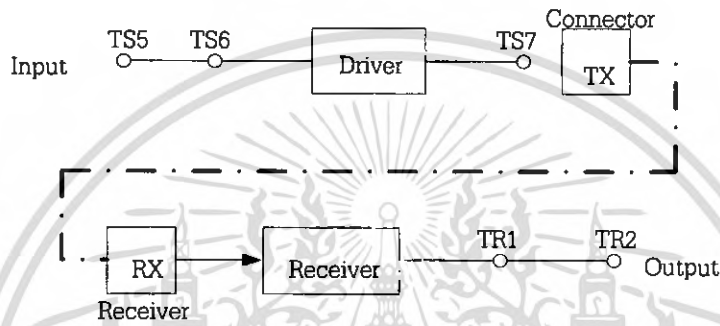
รูปที่ 1.1 หลักการส่งสัญญาณชนิดต่างๆ ผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

#### อุปกรณ์การทดลอง

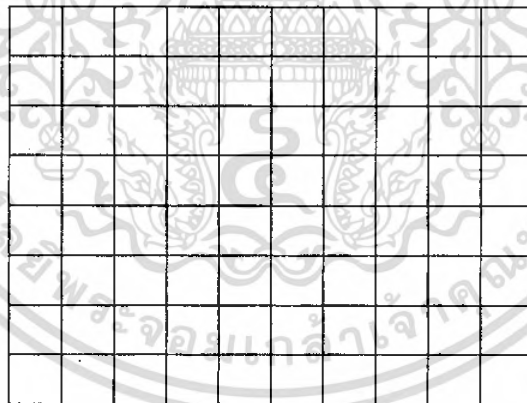
- |   |   |         |
|---|---|---------|
| 1. ชุดทดลองการรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง | 1 | ชุด     |
| 2. ออสซิลโลสโคป                               | 1 | เครื่อง |
| 3. เครื่องกำเนิดสัญญาณ                        | 1 | เครื่อง |

**ลำดับขั้นการทดลอง**

1. ประกอบแหล่งจ่ายไฟและเส้นใยแก้วนำแสง
2. ประกอบวงจรตามรูปที่ 1.2 โดยการป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ขนาด 5 Vp-p เข้าที่จุด TS5 แล้วนำโพรบ CH1 วัดสัญญาณอินพุตที่จุด TS6 และนำโพรบ CH2 วัดสัญญาณเอาต์พุตที่จุด TR1 บันทึกรูปสัญญาณ



รูปที่ 1.2 ชุดวงจรมากรับและส่ง

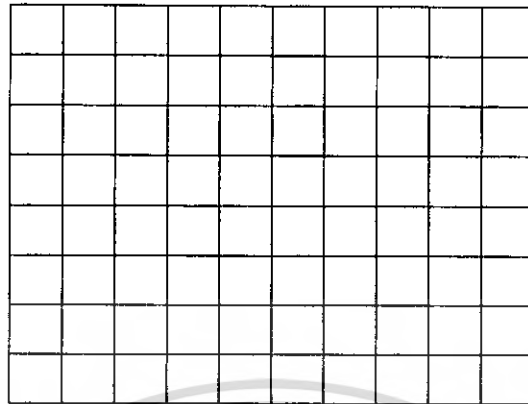


CH 1 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

CH 2 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

3. ป้อนสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมที่มีความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ขนาด 2 Vp-p เข้าที่จุด TS5 แล้วนำโพรบ CH1 วัดสัญญาณอินพุตที่จุด TS6 และนำโพรบ CH2 วัดสัญญาณเอาต์พุตที่จุด TR1 บันทึกรูปสัญญาณ

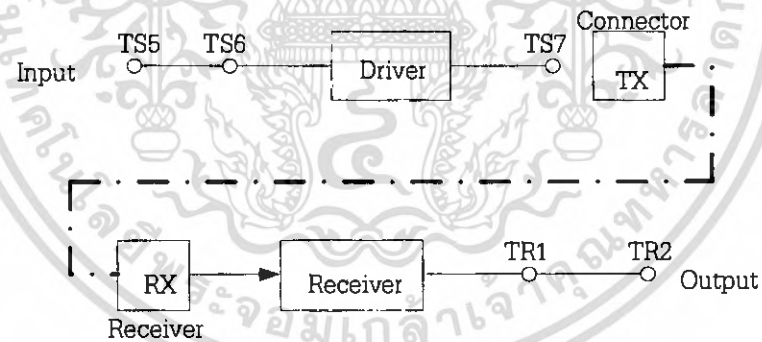
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



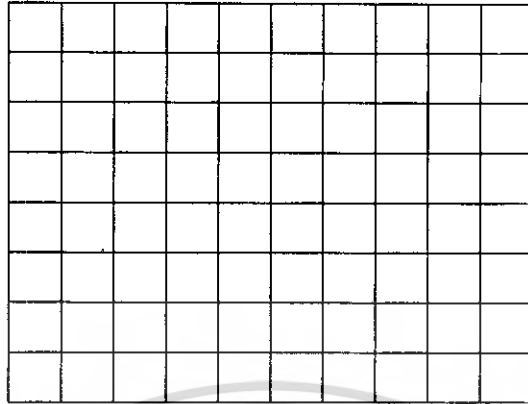
CH 1 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

CH 2 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

4. ประกอบวงจรตามรูปที่ 1.3 โดยการป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่ 2 กิโลเฮิร์ตซ์ ขนาด 5 Vp-p เข้าที่จุด TS5 แล้วนำโพรบ CH1 วัดสัญญาณอินพุตที่จุด TS6 และนำโพรบ CH2 วัดสัญญาณเอาต์พุตที่จุด TR3 บันทึกการปฏิบัติงาน

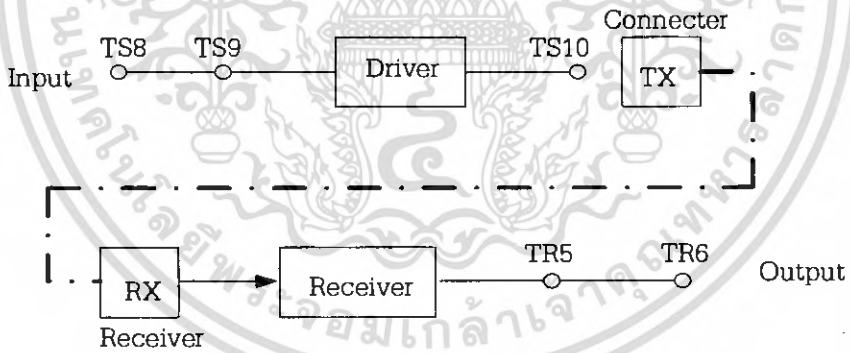


รูปที่ 1.3 ชุดวงจรภาครับและส่ง

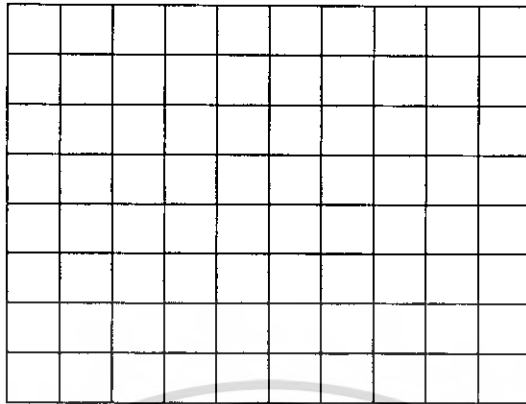


CH 1 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_  
 CH 2 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

5. ประกอบวงจรตามรูปที่ 1.4 โดยการป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่ความถี่ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ ขนาด 5 Vp-p เข้าที่จุด TS8 แล้วนำโพรบ CH1 วัดสัญญาณอินพุตที่จุด TS9 และนำโพรบ CH2 วัดสัญญาณเอาต์พุตที่จุด TR5 แล้วบันทึกรูปสัญญาณ



รูปที่ 1.4 ชุดวงจรภาครับและส่ง



CH 1 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

CH 2 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

### สรุปผลการทดลอง

---



---



---



---



---



---

### คำถามท้ายการทดลอง

1. จากการทดลอง การรับสัญญาณแบบใดมีความคมชัดใกล้เคียงสัญญาณเดิมที่สุดและสัญญาณแบบใดที่เกิดสัญญาณรบกวนที่สุด
2. ในการทดสอบวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงและวงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าสามารถทำได้โดยวิธีใด

## ใบงานที่ 2

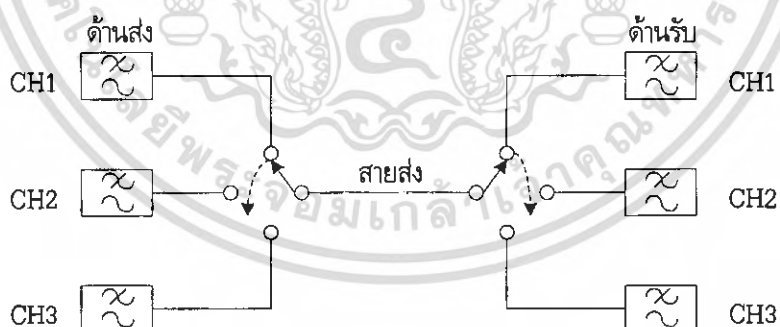
### การส่งสัญญาณการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

#### จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการจัดเวลาให้กับช่องสัญญาณอินพุตต่างๆ และการรวมสัญญาณเอาต์พุต

#### ทฤษฎีและหลักการ

ในการส่งสัญญาณข่าวสารเพื่อให้เกิดความประหยัดนั้น ถ้ารวมข้อมูลที่มาจากอุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกันเป็นกลุ่มใหญ่ แล้วทำการมัลติเพล็กซ์ออกไปจะมีผลดีกว่า สำหรับการทดลองนี้จะใช้การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา ซึ่งใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างอินพุตทั้ง 4 ช่อง ด้วยระยะเวลาเท่ากันซึ่งทฤษฎีการสุ่มตัวอย่างกล่าวว่า ถ้าสัญญาณข่าวสารมีความถี่สูงสุดเป็น  $f_c$  แล้วถ้าหากใช้ขบวนพัลส์ซึ่งจะมีความถี่เท่ากับหรือมากกว่า  $2f_c$  ทำการสุ่มตัวอย่างสัญญาณข่าวสารก็จะสามารถเก็บข้อมูลข่าวสารได้อย่างสมบูรณ์ สำหรับหลักการเบื้องต้นแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 หลักการรับส่งการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

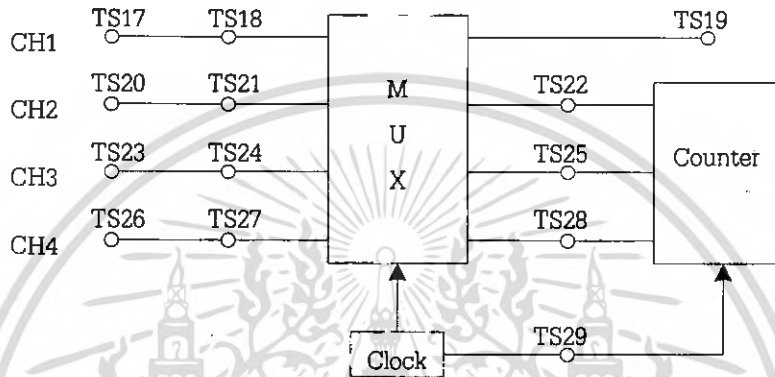
#### อุปกรณ์การทดลอง

- |   |   |         |
|---|---|---------|
| 1. ชุดทดลองการรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง | 1 | ชุด     |
| 2. ออสซิลโลสโคป                               | 1 | เครื่อง |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ประกอบแหล่งจ่ายไฟและเส้นใยแก้วนำแสง
2. ประกอบวงจรตามรูปที่ 2.2 โดยใช้ฮอสซิลโลสโคปวัดสัญญาณนาฬิกาที่จุด TS29 สังเกตและบันทึกรูปสัญญาณ

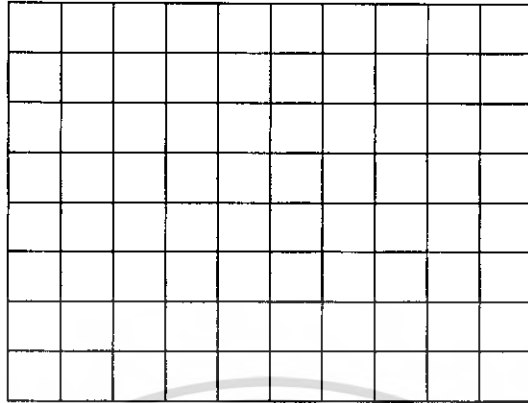


รูปที่ 2.2 ชุดวงจรผลิตพัลส์แบบแบ่งเวลา


Volt /Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

3. นำโพรบ CH1 วัดสัญญาณที่จุด TS22 และนำโพรบ CH2 วัดสัญญาณที่จุด TS25 และบันทึกรูปสัญญาณ

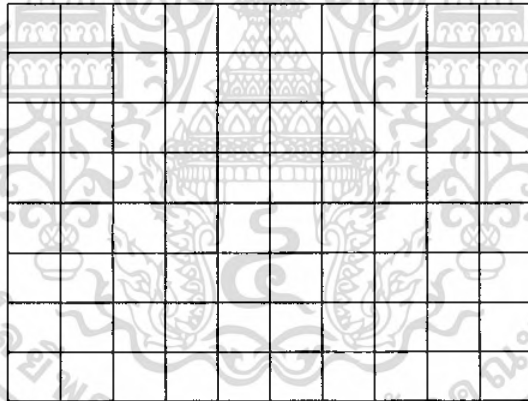
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CH 1 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

CH 2 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

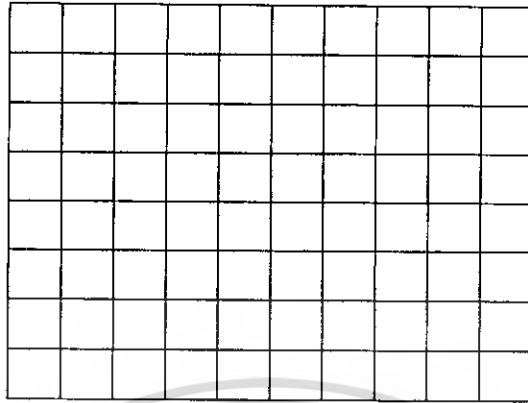
4. นำโพรบ CH1 วัดสัญญาณที่จุด TS28 สังเกตผลการทดลองที่ได้และบันทึกรูปสัญญาณ



Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

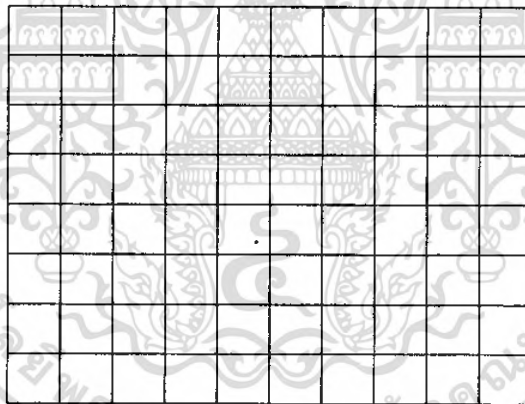
5. นำโพรบ CH1 วัดสัญญาณแอมป์พุทที่จุด TS19 ซึ่งสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณเข้าจังหวะที่จะส่งไปยังภาครับให้สังเกตผลและบันทึกรูปสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



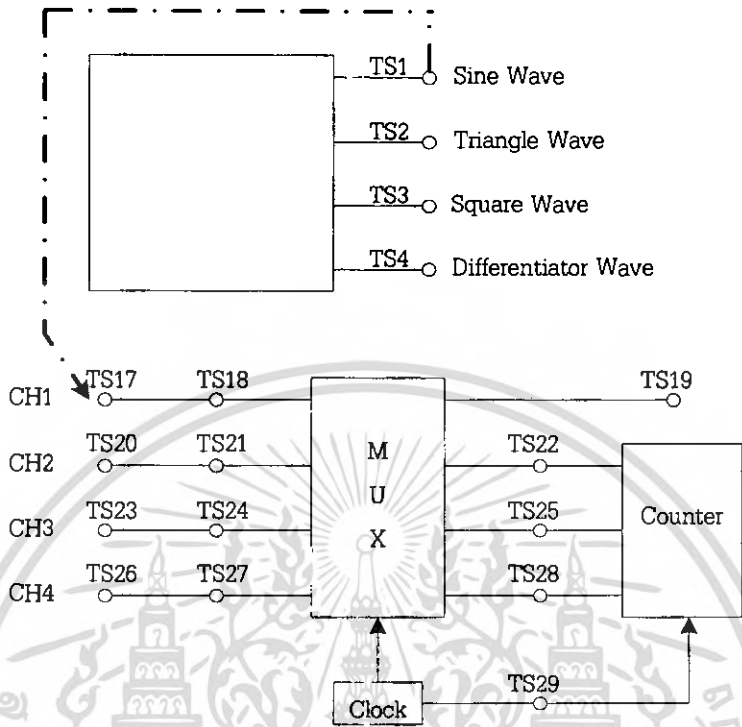
Volt/Div = \_\_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_\_

6. ประกอบวงจรตามรูปที่ 2.3 โดยการนำสัญญาณไทม์ปรับความถี่ 2 กิโลเฮิร์ตซ์ ต่อไปยังช่องที่ 1 (TS17) แล้วใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่จุด TS19



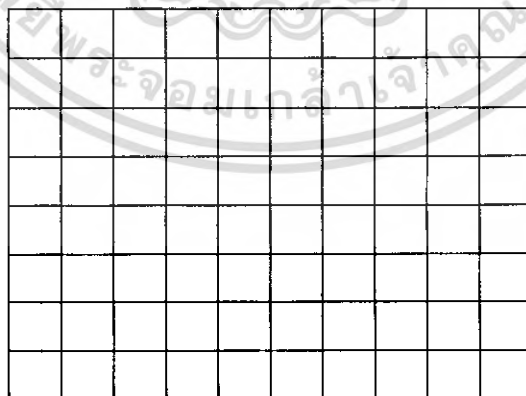
Volt/Div = \_\_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_\_

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การต่อแหล่งกำเนิดสัญญาณให้กับวงจรมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

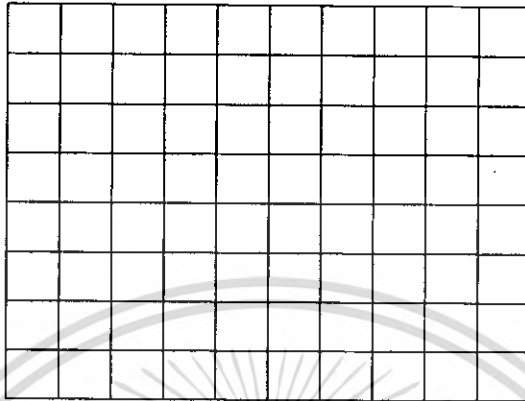
6.1 ปรับปุ่ม Volt/Div = 1 V และปรับปุ่ม Time/Div = 5  $\mu$ S สังเกตผลที่ได้และบันทึกรูปสัญญาณ



Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

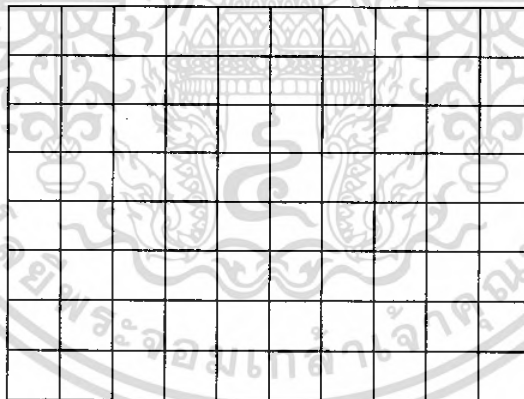
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ปรับปุ่ม Volt/Div = 1 V และปุ่ม Time/Div = 200  $\mu$ S บันทึกผลสัญญาณ



Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

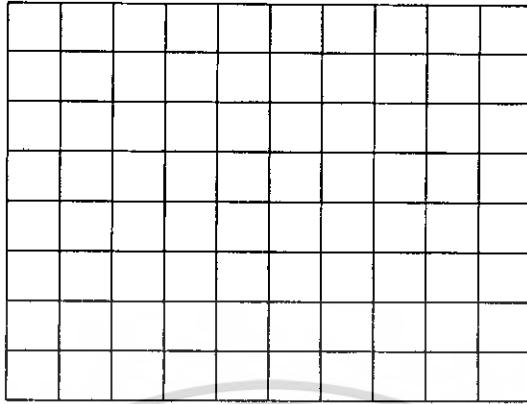
7. ทำการทดลองตามข้อ 6 โดยย้ายสัญญาณจากจุด TS17 ไปต่อยังจุด TS20 และบันทึกผลทดลองที่ได้



Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

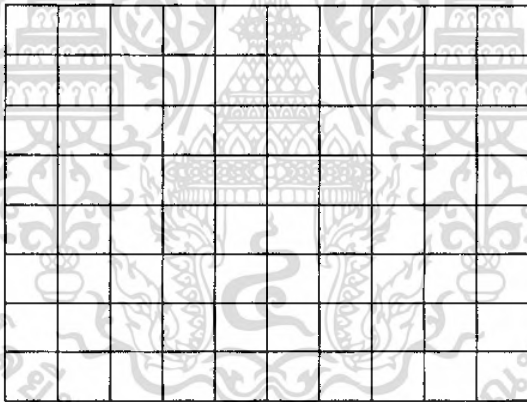
8. ทำการทดลองตามข้อ 6 โดยย้ายสัญญาณจากจุด TS17 ไปต่อยังจุด TS23 บันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

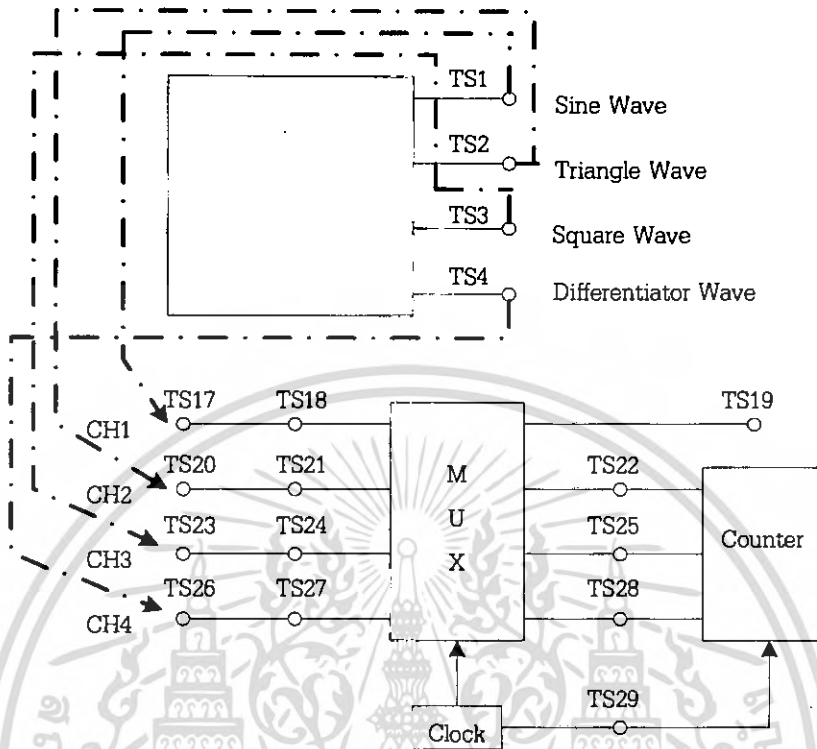
9. ทำการทดลองตามข้อ 6 โดยย้ายสัญญาณจากจุด TS17 ไปต่อยังจุด TS26 บันทึกผลการทดลอง  
ที่ได้



Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

10. ประกอบวงจรตามรูปที่ 2.4 โดยการนำรูปสัญญาณจากแหล่งกำเนิดสัญญาณ (TDM Function Generator) ทั้ง 4 ช่อง ต่อยังอินพุตทั้ง 4 ของวงจร Time Division Multiplex โดยต่อลำดับของวงจร  
อย่างไรก็ได้ ใช้โพรบ CH1 ของออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณที่จุด TS19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



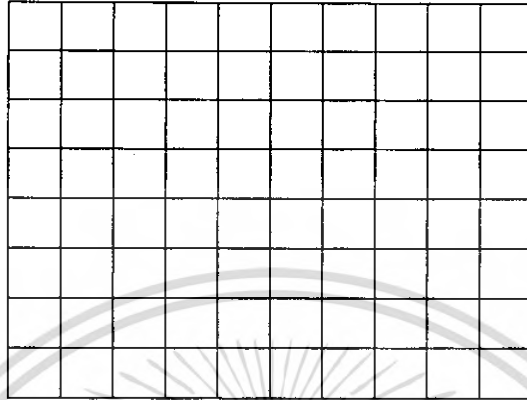
รูปที่ 2.4 การต่อสัญญาณจากแหล่งสัญญาณ 4 ช่องสัญญาณ

10.1 ปรับปุ่ม Volt/Div = 1V และ Time/Div = 5uS บันทึกผลการทดลอง


Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.2 ปรับปุ่ม Volt/Div = 1V และ Time/Div = 200  $\mu$ S บันทึกผลการทดลอง



Volt/Div = \_\_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_\_

สรุปผลการทดลอง

---



---



---



---



---

คำถามท้ายบท

1. TDM มีหลักการมัลติเพล็กซ์อย่างไรจงอธิบาย
2. จากผลการทดลองวงจร TDM นี้มีการส่งสัญญาณ 4 ช่องรวมสัญญาณเข้าจังหวะด้วยอีกช่องรวมเป็น 5 ช่อง ดังนั้นวงจร TDM นี้มีเวลาในการสุ่มตัวอย่างช่องละเท่าไร

## ใบงานที่ 3

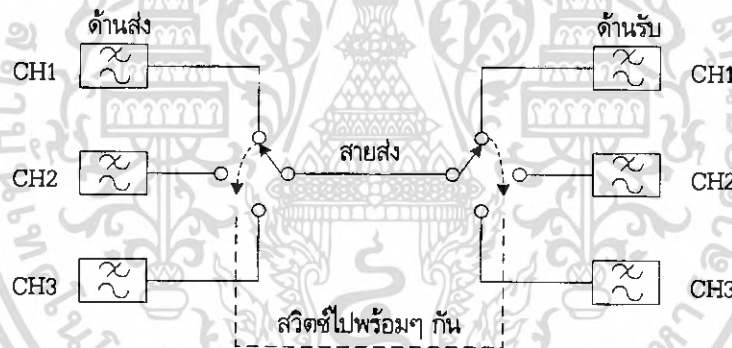
### การรับสัญญาณการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

#### จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา
2. เพื่อศึกษาการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

#### ทฤษฎีและหลักการ

กระบวนการส่งตัวอย่างการมัลติเพล็กซ์ทางด้านส่งตลอดทั้งการตีมัลติเพล็กซ์ทางด้านรับจะต้องมีสัญญาณเข้าจังหวะเป็นตัวควบคุมให้สอดคล้องทั้งทางด้านส่งและทางด้านรับ



รูปที่ 3.1 หลักการทำงานให้ช่องสัญญาณทางด้านส่งและทางด้านรับตรงกัน

การที่จะรับสัญญาณให้ตรงกับช่องที่ส่งมา โดยทั่วไปแล้วทางด้านรับจะมีวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาขึ้นมาใหม่ โดยอาศัยขบวนการพัลส์ที่ได้รับจึงจะทำให้กระบวนการระหว่างด้านส่งและด้านรับเป็นไปด้วยความถูกต้องในเวลาเดียวกัน

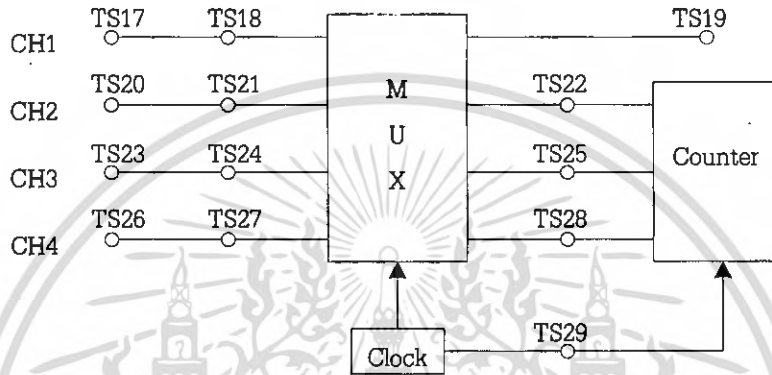
#### อุปกรณ์การทดลอง

- |   |   |         |
|---|---|---------|
| 1. ชุดทดลองการรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง | 1 | ชุด     |
| 2. ออสซิลโลสโคป                               | 1 | เครื่อง |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ลำดับขั้นการทดลอง**

1. ประกอบแหล่งจ่ายและเส้นใยแก้วนำแสง
2. ประกอบวงจรตามรูปที่ 3.2 โดยการต่อจุด TS19 ของวงจรมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา กับจุด TS5 ของวงจรมากซ์สัญญาณ เพื่อส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

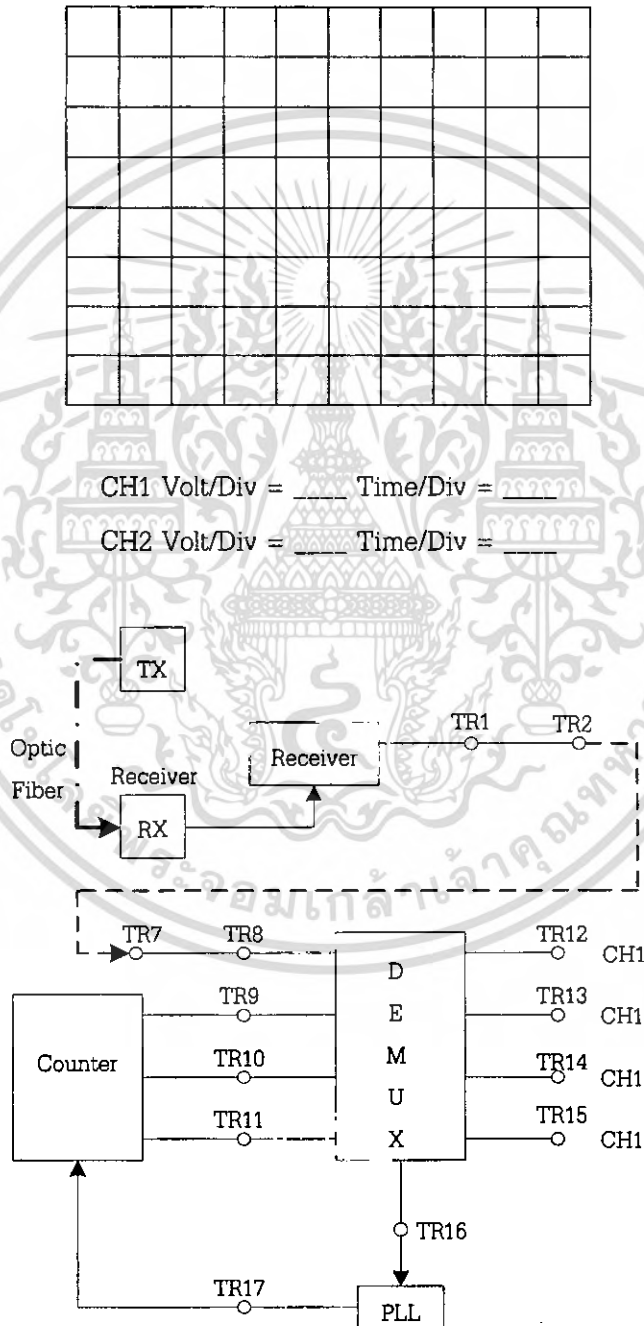


**รูปที่ 3.2** ชุดวงจรมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

3. ใช้ออสซิลโลสโคปโดยใช้โพรบ CH1 วัดที่จุด TS18 และใช้ CH2 วัดสัญญาณที่จุด TS19 ซึ่งเป็นสัญญาณเข้าจังหวะ สังเกตและบันทึกรูปสัญญาณ


CH1 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_  
 CH2 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

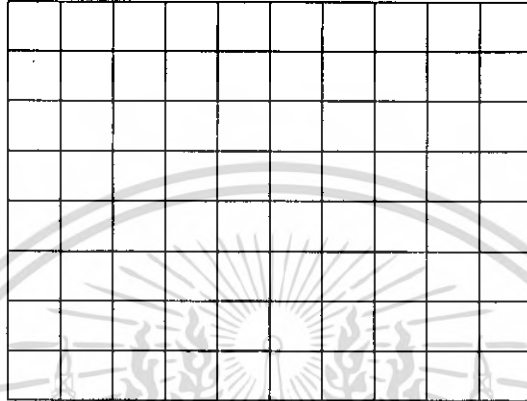
4. ป้อนสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ ขนาด 5 Vp-p เข้าที่จุด TS17 ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณการส่งสัญญาณการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาและการรับสัญญาณการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาโดยใช้ CH1 วัดสัญญาณจากภาคส่งที่จุด TS18 และใช้ CH2 วัดสัญญาณที่จุด TR12 และปรับ Volume Adjust ให้สัญญาณออกมาแล้วบันทึกรูปสัญญาณ



รูปที่ 3.3 วงจรดีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

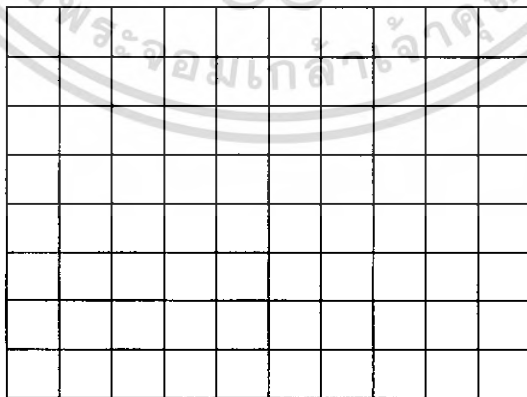
5. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณของวงจรมอดูเลชันของภาคส่งและภาครับ หากภาครับมีความถี่และเฟสไม่เท่ากับภาคส่งให้ปรับ Volume Adjust จนได้เฟสและความถี่เท่ากับภาคส่ง โดยใช้ CH1 วัดสัญญาณที่จุด TS28 และใช้ CH2 วัดสัญญาณที่จุด TS11 บันทึกรูปสัญญาณ



CH1 Volt/Div = \_\_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_\_

CH2 Volt/Div = \_\_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_\_

6. ถ่ายสัญญาณรูปคลื่นไซน์และรูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ในช่วง 1 ถึง 2 กิโลเฮิรตซ์ เข้าที่ TS17 และ TS23 แล้วต่อเข้าวงจรมอดูเลชันแบบแอมพลิจูดที่ 3.3 สัญญาณออสซิลโลสโคปช่อง CH1 วัดสัญญาณที่จุด TR12 ช่อง CH2 วัดสัญญาณที่จุด TR14 และปรับ Volume Adjust ให้ได้รูปสัญญาณชัดเจนบันทึกรูปสัญญาณตาราง

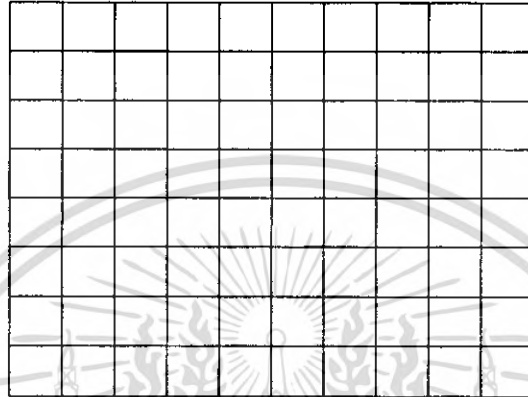


CH1 Volt/Div = \_\_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_\_

CH2 Volt/Div = \_\_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_\_

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. จ่ายสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่ในช่วง 1 ถึง 2 กิโลเฮิร์ตซ์ เข้าที่ TS20 และ TS26 แล้วต่อเข้าวงจรผ่านเส้นใยแก้วนำแสงดังรูปที่ 3.3 สัญญาณออสซิลโลสโคปช่อง CH1 วัดสัญญาณที่จุด TR13 ช่อง CH2 วัดสัญญาณที่จุด TR15 และปรับ Volume Adjust ให้ได้รูปสัญญาณชัดเจนบันทึกรูปสัญญาณตาราง



CH1 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_  
 CH2 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

**สรุปผลการทดลอง**

---



---



---



---



---



---

**คำถามท้ายการทดลอง**

1. ท่านคิดว่า TDM มีประโยชน์อย่างไรบ้างในระบบสื่อสาร

## ใบงานที่ 4

### การส่งสัญญาณการเข้ารหัสพัลส์ผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

#### จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรเข้ารหัสพัลส์
2. เพื่อศึกษาผลการทำงานการส่งสัญญาณการเข้ารหัสพัลส์ผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

#### ทฤษฎีและหลักการ

สัญญาณแอนะล็อกที่ผ่านกระบวนการเข้ารหัสพัลส์เพื่อต้องการขยายสัญญาณแอนะล็อกแบบการเข้ารหัสพัลส์ โดยผ่านการสุ่มตัวอย่าง ซึ่งความถี่ที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่างจะต้องมีค่ามากกว่าสองเท่าของสัญญาณแอนะล็อกจึงจะสามารถสร้างสัญญาณแอนะล็อกกลับคืนมาได้แล้วส่งเข้าไปเข้าวงจรจัดระดับสัญญาณ เพื่อทำการจัดระดับสัญญาณและนำไปเข้ารหัสสัญญาณดิจิตอลแบบอนุกรมเพื่อส่งออกไปทางด้านส่ง ส่วนทางด้านรับจะมีวงจรถอดรหัสสัญญาณดิจิตอลซึ่งจะเป็นการสร้างสัญญาณแอนะล็อกกลับคืนมา เมื่อสัญญาณดิจิตอลเข้ามาแบบอนุกรมแล้ววงจรจะถูกส่งเข้าวงจรจัดระดับสัญญาณ เพื่อสร้างสัญญาณแอนะล็อกให้ใกล้เคียงสัญญาณเดิมมากที่สุด แล้วจะส่งผ่านวงจรรองความถี่ต่ำเพื่อให้ได้สัญญาณแอนะล็อกกลับคืนมา

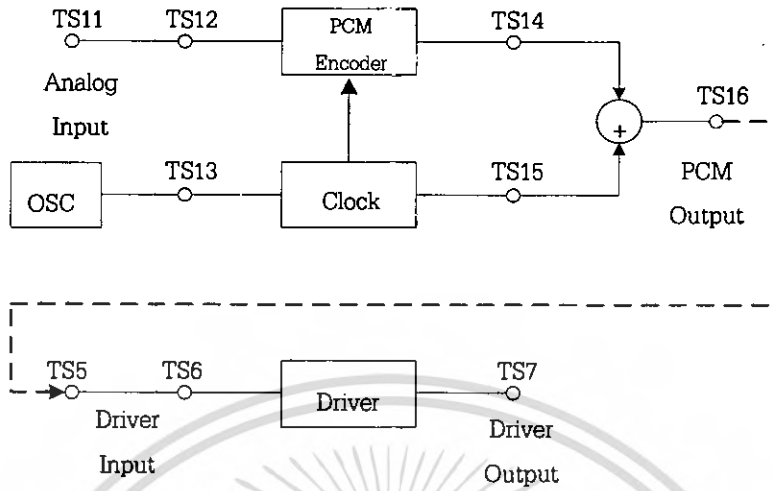
#### อุปกรณ์การทดลอง

- |   |   |         |
|---|---|---------|
| 1. ชุดทดลองการรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง | 1 | ชุด     |
| 2. ออสซิลโลสโคป                               | 1 | เครื่อง |
| 3. เครื่องกำเนิดสัญญาณ                        | 1 | เครื่อง |

#### ลำดับขั้นการทดลอง

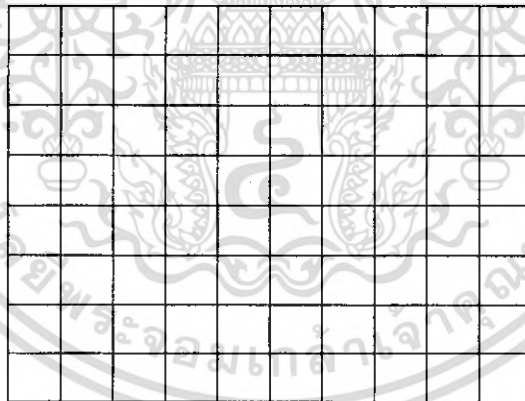
1. ประกอบแหล่งจ่ายไฟและเส้นใยแก้วนำแสง
2. ประกอบวงจรดังรูปที่ 4.1 โดยการป้อนสัญญาณแอนะล็อกจากเครื่องผลิตความถี่ที่มีความถี่ 1,500 เฮิรตซ์ ขนาด 0.2 V<sub>p-p</sub> ที่จุด TS11 และต่อจุด TS16 ไปเข้าจุด TS5 ของวงจรขับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



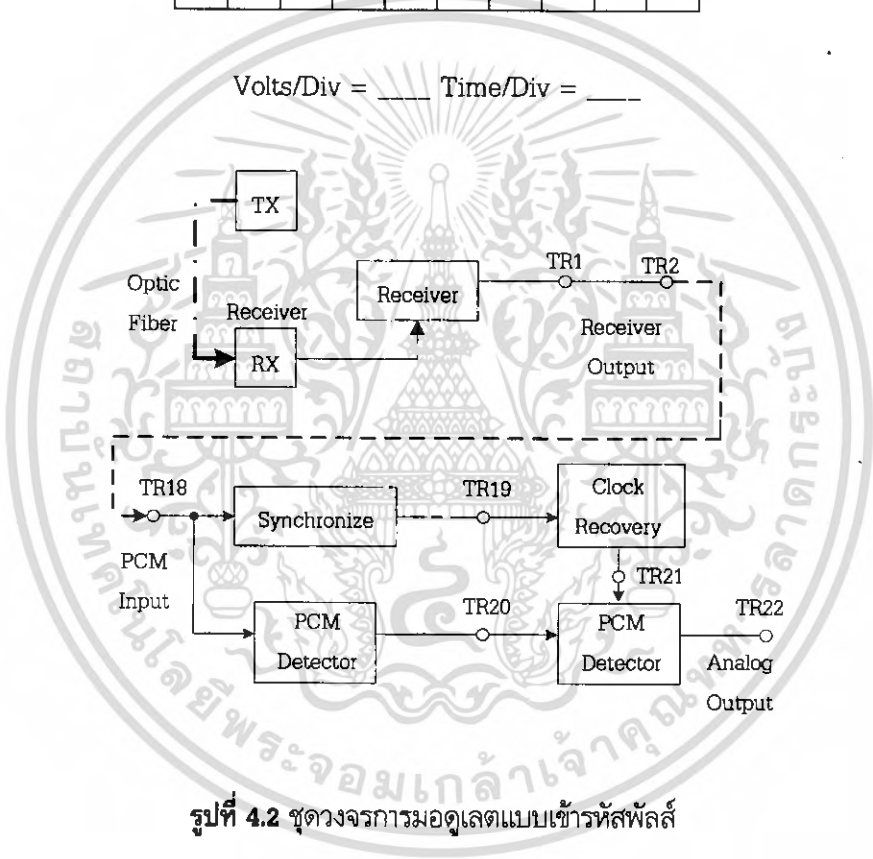
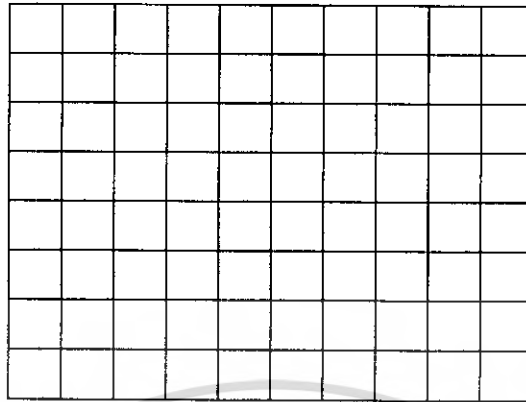
รูปที่ 4.1 ชุดวงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์

3. นำโพรบของ CH1 ของออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณแอนาล็อกอินพุตที่จุด TS12 แล้วบันทึกสัญญาณ



Volts/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

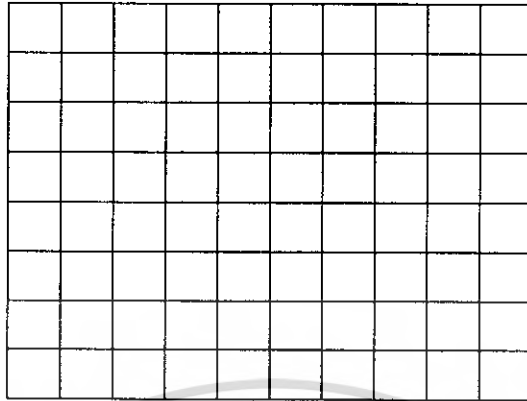
4. นำโพรบ CH1 วัดที่จุด TS6 ซึ่งเป็นสัญญาณการเข้ารหัสพัลส์ที่เข้ารหัสแล้วสัญญาณนาฬิกาที่ส่งเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาปลายทาง เพื่อให้สัญญาณการเข้ารหัสพัลส์ทางด้านส่งและทางด้านรับเกิดการซิงค์กัน โดยจะส่งไปก่อนสัญญาณการเข้ารหัสพัลส์และบันทึกรูปสัญญาณ



รูปที่ 4.2 ชุดวงจรการมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์

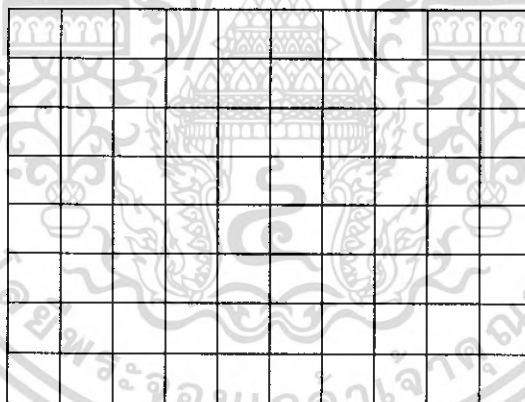
5. ประกอบวงจรตามรูปที่ 4.2

6. นำโพรบ CH1 มาวัดสัญญาณการเข้ารหัสพัลส์ที่ส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงมาแล้วที่จุด TR1 บนที่กรุปสัญญาณ



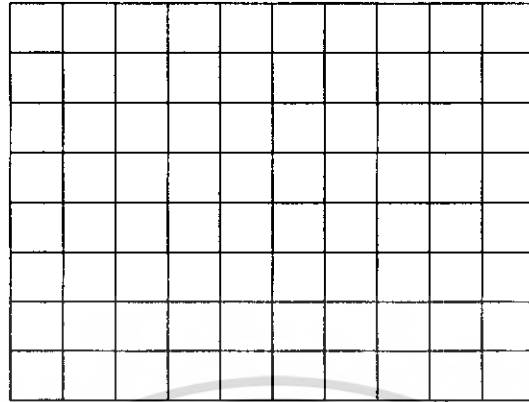
Volts/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

7. นำโพรบ CH1 มาวัดสัญญาณที่จุด TR20 ซึ่งสัญญาณนาฬิกาจะถูกตัดออกไป เหลือเพียงสัญญาณการเข้ารหัสพัลส์สัญญาณเดียวที่นำไปถอดรหัสสัญญาณพัลส์ที่ภาค PCM Decoder บันทึกสัญญาณ



Volts/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

8. นำโพรบ CH1 มาวัดสัญญาณที่จุด TR22 ซึ่งเป็นสัญญาณแอนาล็อกเอาต์พุตที่ผ่านการถอดรหัสมาแล้ว บันทึกรูปสัญญาณ



Volts/Div = \_\_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_\_

### สรุปผลการทดลอง

---



---



---



---



---



---

### คำถามท้ายบท

1. ถ้าอัตราการสุมตัวอย่างน้อยกว่า 2 เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณแอนาโลกจะทำให้เกิดผลอย่างไรจงอธิบาย
2. จงอธิบายถึงวิธีการเปลี่ยนสัญญาณแอนาโลกเป็นสัญญาณดิจิตอลตามกระบวนการเข้ารหัสพัลส์

## ใบงานที่ 5

### การสร้างสัญญาณนาฬิกาปลายทางของวงจรดีมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการการทำงานของวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาปลายทาง
2. เพื่อศึกษาผลของการสร้างสัญญาณนาฬิกาปลายทางเมื่อผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

#### ทฤษฎีและหลักการ

ในการถอดรหัสสัญญาณพีซีเอ็ม สัญญาณนาฬิกาทางด้านรับที่ใช้อ้างอิงจะต้องตรงกับสัญญาณนาฬิกาทางด้านส่ง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสร้างสัญญาณนาฬิกาปลายทางขึ้น การสร้างสัญญาณนาฬิกาปลายทางนั้น จะใช้หลักการส่งสัญญาณเข้าจันทวะรวมไปกับสัญญาณการเข้ารหัสพัลส์ซึ่งเป็นข้อมูล 8 บิต "1111111" เช่นเดียวกับสัญญาณการเข้ารหัสพัลส์จากนั้นทางด้านรับจะผ่านวงจรอีกส่วนหนึ่งคือ วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ตรวจจับข้อมูลที่เป็น "1111111" และนำสัญญาณนาฬิกา 8 กิโลเฮิร์ตซ์ เข้าสู่วงจรเฟสล็อกเพื่อผลิตสัญญาณนาฬิกาความถี่ 2.048 เมกะเฮิร์ตซ์ ป้อนให้กับวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาปลายทาง ซึ่งจะเหมือนกับทางด้านส่ง

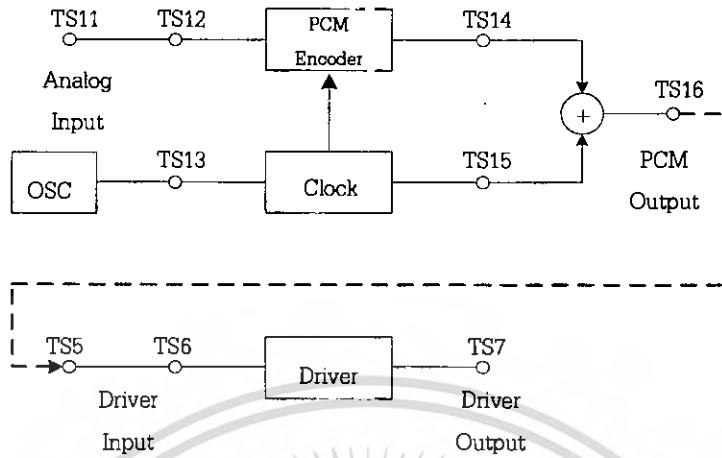
#### อุปกรณ์การทดลอง

- |   |   |         |
|---|---|---------|
| 1. ชุดทดลองการรับส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง | 1 | ชุด     |
| 2. ออสซิลโลสโคป                               | 1 | เครื่อง |
| 3. เครื่องกำเนิดสัญญาณ                        | 1 | เครื่อง |

#### ลำดับขั้นตอนการทดลอง

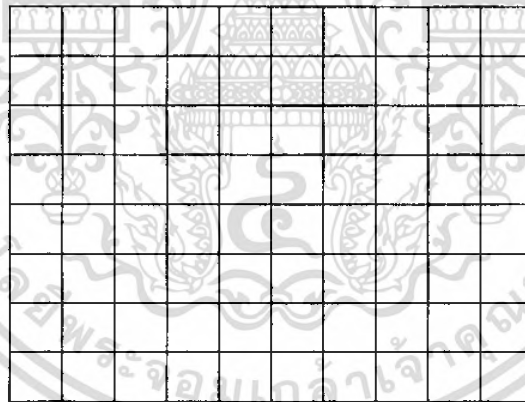
1. ประกอบวงจรตามรูปที่ 5.1 โดยการป้อนสัญญาณแอนาล็อกรูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่ประมาณ 1,000 เฮิร์ตซ์ ขนาด 0.5 Vp-p จากเครื่องผลิตความถี่ที่จุด TS11 ของวงจรดีมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์ และต่อจุด TS16 เข้าที่จุด TS5 ของวงจรขับสัญญาณเพื่อส่งสัญญาณการเข้ารหัสพัลส์ผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



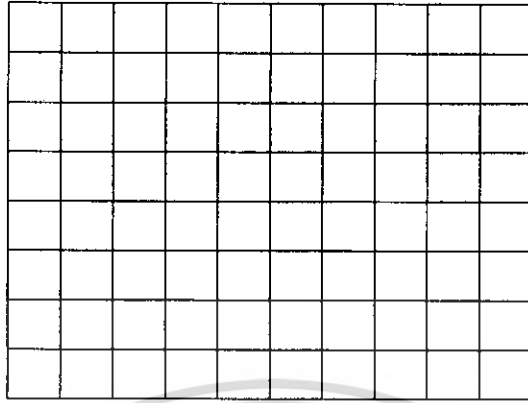
รูปที่ 5.1 ชุดวงจรตีมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์

2. นำโพรบ CH1 ของออสซิลโลสโคปมาวัดสัญญาณแอนาล็อกอินพุตที่จุด TS12 บันทึกภาพสัญญาณ



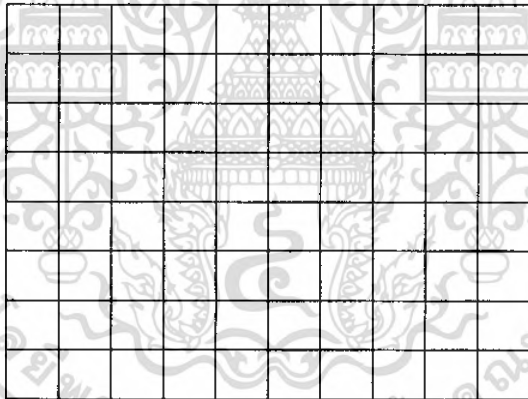
Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

3. นำโพรบ CH1 ของออสซิลโลสโคปมาวัดความถี่ที่ผลิตจากวงจรผลิตความถี่ ที่จุด TS13 บันทึกภาพสัญญาณ



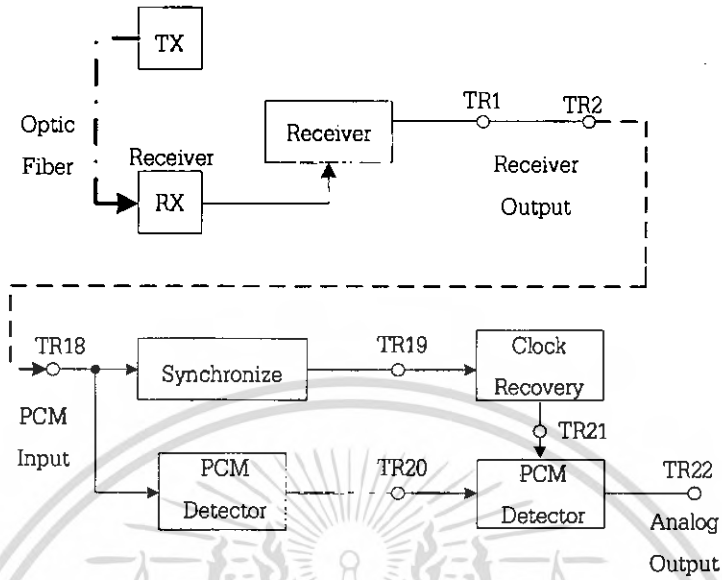
Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

4. นำโพรบ CH1 วัดสัญญาณนาฬิกาที่จะนำไปสร้างสัญญาณนาฬิกาปลายทาง ที่จุด TS14 และนำโพรบ CH2 วัดที่จุด TS16 บันทึกรูปสัญญาณ



Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



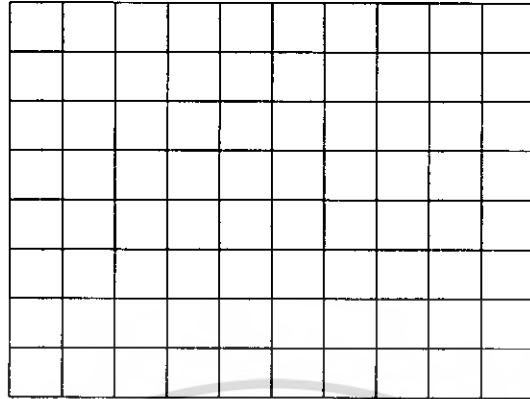
รูปที่ 5.2 ชุดวงจรมอดูเลตแบบเข้ารหัสพัลส์

5. ประกอบวงจรตามรูปที่ 5.2 นำโพรบ CH1 มาวัดสัญญาณที่จุด TR19 ซึ่งเป็นสัญญาณนาฬิกา ความถี่ 8 กิโลเฮิร์ตซ์ที่สร้างขึ้นมาจากสัญญาณนาฬิกาที่ส่งมาพร้อมๆ กันกับสัญญาณเข้ารหัสพัลส์แล้ว บันทึกรูปสัญญาณ


Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

6. นำโพรบ CH1 มาวัดสัญญาณนาฬิกาที่สร้างขึ้นมาจากวงจรผลิตความถี่ทางด้านส่งที่จุด TS13 และนำโพรบ CH2 มาวัดสัญญาณนาฬิกาที่สร้างขึ้นมาจากสัญญาณนาฬิกาที่ส่งมาพร้อมกับสัญญาณเข้ารหัสพัลส์ที่จุด TR21 สังเกตความถี่ของทางด้านส่งและทางด้านรับแล้วบันทึกรูปสัญญาณ

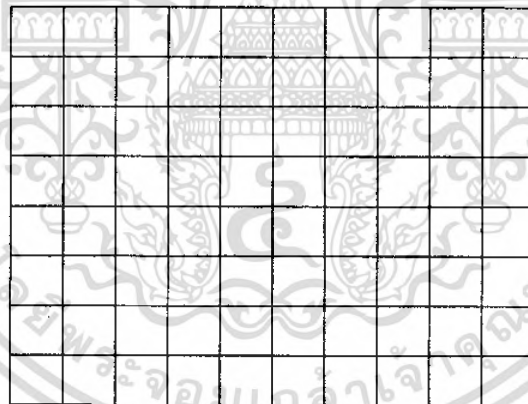
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CH1 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

CH2 Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

7. นำโพรบ CH1 มาวัดสัญญาณแอนะล็อกเอาต์พุตที่จุด TR22 ซึ่งเป็นสัญญาณแอนะล็อกที่ถูกถอดรหัสเป็นสัญญาณแอนะล็อก แล้วบันทึกผลสัญญาณที่ได้



Volt/Div = \_\_\_\_ Time/Div = \_\_\_\_

**สรุปผลการทดลอง**

---



---



---



---



---

### คำถามท้ายการทดลอง

1. สัญญาณนาฬิกาที่ส่งไปพร้อมกับสัญญาณเข้ารหัสพัลส์ส่งไปเพื่ออะไรจงอธิบายมาสังเขป
2. ถ้าไม่ส่งสัญญาณนาฬิกาไปพร้อมกับสัญญาณการเข้ารหัสพัลส์จะมีผลอย่างไรต่อวงจรถอดรหัสสัญญาณพัลส์ทางด้านรับ จงอธิบายมาพอสังเขป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ - สกุล	นายวัฒนา สวัสดิ์
วันเดือนปีเกิด	14 กันยายน 2526
ภูมิลำเนา	เลขที่ 27 หมู่ 3 ตำบลคลองโยง อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านห้วยพลู จังหวัดนครปฐม
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัยนครปฐม (พระตำหนักสวนกุหลาบมัธยม) จังหวัดนครปฐม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคนครปฐม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคนครปฐม
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความสนใจพิเศษ	เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีการสื่อสาร
คติเตือนใจ	ขยันและหมั่นทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ - สกุล	นายวิรุทธิ์ เทียบกิ่ง	
วันเดือนปีเกิด	1 มิถุนายน 2526	
ภูมิลำเนา	เลขที่ 13 หมู่ 1 ตำบลหนองคูขาด อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม 44130	
ประวัติการศึกษา		
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านหนองคูขาด	จังหวัดมหาสารคาม
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนบรบือวิทยาคาร	จังหวัดมหาสารคาม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม	จังหวัดมหาสารคาม
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม	จังหวัดมหาสารคาม
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม	
	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.	
ความสนใจพิเศษ	เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีการสื่อสาร	

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ - สกุล

นายวีระฉัตร จุ่นหัวโตน

วันเดือนปีเกิด

20 กุมภาพันธ์ 2527

ภูมิลำเนา

เลขที่ 53 หมู่ที่ 5 ตำบลดอนกลาง อำเภอโกสุมพิสัย  
จังหวัดมหาสารคาม 44140

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนบ้านหินแท่นเสริมศิลป์

จังหวัดมหาสารคาม

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนวังยาวศึกษาวิทย์

จังหวัดมหาสารคาม

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ

วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม

จังหวัดมหาสารคาม

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม

จังหวัดมหาสารคาม

ปริญญาตรี

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ ๒๕๖๒

ทุนการศึกษา

ทุนงบประมาณ

ความสนใจพิเศษ

คอมพิวเตอร์เทคโนโลยีและโทรคมนาคม

คติเตือนใจ

สู้ให้ถึงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้