

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การส่งผ่านข้อมูลดิจิทัลด้วยแสง

DIGITAL DATA SIGNAL TRANSFER VIA FREE SPACE OPTICS



โดย

นายวิรัตน์ ช่างประเสริฐ

นายอนนท์ สีหัวโทน

211-
68116
2548

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 62678

วัน,เดือน,ปี..... 71 ส.ค. 2549

b. 11628303
i.

ปฏิญญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งผ่านข้อมูลดิจิทัลด้วยแสง
DIGITAL DATA SIGNAL TRANSFER VIA FREE SPACE OPTICS

โดย

นายวิรัตน์ ช่างประเสริฐ 46015027

นายอนนท์ สีหัวโทน 46015036

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.นิภา ลีตารุจิ

รศ.ณรงค์ เหมกรณ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

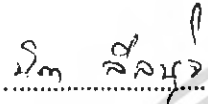
เรื่อง การส่งผ่านข้อมูลดิจิทัลด้วยแสง

DIGITAL DATA SIGNAL TRANSFER VIA FREE SPACE OPTICS

ผู้จัดทำ

1. นายวิรัตน์ ช่างประเสริฐ 46015027

2. นายอนนท์ สีหัวโทน 46015036


.....

(รศ. นิภา ดิศารัจ)


.....

(รศ. ณรงค์ เหมกรณ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งผ่านข้อมูลดิจิทัลด้วยแสง

DIGITAL DATA SIGNAL TRANSFER VIA FREE SPACE OPTICS

โดย นายวิรัตน์ ช่างประเสริฐ 46015027

นายอนนท์ สีหัวโทน 46015036

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.นิกา สีลาธุจิ

รศ.ณรงค์ เหมกรณ์

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการนำสัญญาณข้อมูลดิจิทัลส่งผ่านด้วยแสงแบบไร้สาย โดยแยกออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนทางด้านส่ง ส่วนของเทคโนโลยีแสงและส่วนทางด้านรับ โดยส่วนทางด้านส่งจะนำสัญญาณเสียง 3 ช่องสัญญาณ มาทำการมัลติเพล็กซ์แบบ TDM(Time Division Multiplex) แล้วแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ก่อนทำการแปลงเป็นสัญญาณแสง โดยส่วนของแสงจะเป็นคลื่นพาห์ส่งไปในลักษณะของแสงเลเซอร์ ส่วนทางด้านรับจะแปลงจากสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก จากนั้นทำการดีมัลติเพล็กซ์แล้วกรองเอาสัญญาณเสียงกลับมาดังเดิม

ABSTRACT

This project is digital wireless transmission via light consist of three part. There are transmitter light technology and receiver respectively. The transmitter used audio three channel to multiplex by using TDM(Time Division Multiplex) .Then convert analog signal to digital signal before convert to light. The receiver will convert light signal to electrical signal. Then convert digital signal to analog signal and demultiplex signal after that send to audio filter.

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมา	1
1.2 หลักการทำงานและการนำไปใช้งานของ FSO	2
1.3 เปรียบเทียบ fso กับระบบไวร์เลสอื่น ๆ	3
1.4 ข้อจำกัดของระยะทาง	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	6
2.1 ส่วนประกอบของระบบสื่อสาร	6
2.2 โครงสร้างและการทำงานของวงจร	6
2.3 หลักการของพัลส์โค้ดมอดูเลชัน (Pulse Code Modulation: PCM)	7
2.3.1 การสุ่มตัวอย่าง (Sampling)	7
2.3.2 การแบ่งย่านแอมพลิจูดออกเป็นระดับสัญญาณระดับต่างๆ	9
2.3.3 การเข้ารหัส (Coding)	10
2.4 การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (Time Division Multiplex: TDM)	12
2.5 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Conversion)	13
2.6 เลเซอร์ไดโอด	15
2.6.1 กลไกการเปล่งแสงของเลเซอร์ไดโอด	16
2.6.2 เลเซอร์ไดโอดชนิดรอยต่อคัมเบิลเซมิคอนดักเตอร์	18
2.6.3 เลเซอร์ไดโอดสร้างสไครป์และรอยต่อแบบคัมเบิลเซมิคอนดักเตอร์	20
2.6.4 ลักษณะสมบัติของเลเซอร์ไดโอด	22
2.6.5 ลักษณะสมบัติกำลังเอาต์พุตและกระแสไฟฟ้า	23
2.6.6 ลักษณะสมบัติของโหมดตามขวาง (Transverse Mode)	25
2.6.7 ลักษณะสมบัติของโหมดตามยาว (Longitudinal Mode)	26
2.6.8 เลเซอร์ไดโอดที่เปล่งแสงที่ตามองเห็น	26
2.6.9 เลเซอร์ไดโอดชนิดเปล่งแสงจากผิวระนาบ	27
2.6.10 การขับเลเซอร์ไดโอด	28
2.6.11 การประวิงเวลาก่อนการเลเซอร์	28
2.6.12 อิทธิพลของอุณหภูมิ	28
2.6.13 การใช้งานเลเซอร์ไดโอด	28
2.6.14 ข้อควรระวังเมื่อมีการสัมผัสเลเซอร์ไดโอด	29
บทที่ 3 การคำนวณ การสร้างและการออกแบบ	30
3.1 ภาคส่ง	30
3.1.1 วงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.2 วงจรมัลติเพล็กซ์	31
3.1.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter)	33
3.1.4 วงจรเปลี่ยนข้อมูลจากขนานเป็นอนุกรม (Parallel in Serial Out: PISO)	33
3.1.5 วงจรสร้างสัญญาณซิงโครไนซ์	35
3.1.6 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน	36
3.1.7 วงจรแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง	36
3.1.8 วงจรภาคจ่ายไฟ	37
3.2 ภาครับ	39
3.2.1 วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนุกรมให้เป็นขนาน (Serial Input Parallel Output)	39
3.2.2 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก	40
3.2.3 วงจรดีมัลติเพล็กซ์	40
3.2.4 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านและวงจรขยายเสียง	41
3.2.5 วงจรตรวจจับสัญญาณซิงโครไนซ์	42
3.2.6 วงจรแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า	42
บทที่ 4 ผลการทดลอง	45
4.1 ภาคส่ง	45
4.1.1 วงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณ	45
4.1.2 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล	46
4.1.3 วงจรสร้างสัญญาณซิงโครไนซ์	48
4.2 ภาครับ	49
4.2.1 วงจรตรวจจับสัญญาณซิงโครไนซ์	49
4.2.2 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก	50
4.2.3 วงจรดีมัลติเพล็กซ์	50
4.3 ผลการทดลองการส่งผ่านด้วยแสง	52
4.3.1 ผลการทดลองส่งด้วยสัญญาณไซน์	52
4.3.2 ผลการทดลองการส่งผ่านด้วยแสงที่ระยะทางต่างๆ	55
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	57
ภาคผนวก	
หนังสืออ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 ตัวอย่างการส่งสัญญาณแบบ FSO	3
รูปที่ 1.2 ระยะเวลาของระบบตามสภาพทัศนวิสัยของตัวกลางอากาศ	5
รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบระบบสื่อสารแบบ PCM ที่มีการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ	6
รูปที่ 2.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมภาคส่ง	7
รูปที่ 2.3 สัญญาณอนาลอกกับสัญญาณพัลส์ได้สัญญาณ PAM	8
รูปที่ 2.4 ความถี่ของการสุ่ม 8 KHz สำหรับสัญญาณเสียง	9
รูปที่ 2.5 แสดงการจัดสัญญาณ PAM ให้เป็นค่าตัวเลข	10
รูปที่ 2.6 แสดงการเข้ารหัส (Coding)	11
รูปที่ 2.7 การมัลติเพล็กซ์แบ่งแบ่งเวลา (TDM)	12
รูปที่ 2.8 การแปลงระดับของสัญญาณ	13
รูปที่ 2.9 หลักการของระบบ PCM จำนวน 2 ช่องสัญญาณ	14
รูปที่ 2.10 โครงสร้างภายในของตัวเลเซอร์ไดโอด	15
รูปที่ 2.11 ลักษณะของแอมพลิจูดของสารกึ่งตัวนำที่ได้อุปสรรจที่ความเข้มที่สูงมาก	16
รูปที่ 2.12 รอยต่อพีเอ็นที่กำเนิดแสงเลเซอร์ในเลเซอร์ไดโอด	17
รูปที่ 2.13 ลักษณะสมบัติความสัมพันธ์ของความเข้มแสงและกระแสไฟฟ้าในเลเซอร์ไดโอด	17
รูปที่ 2.14 กลไกการเปล่งแสงเลเซอร์ในเลเซอร์ไดโอดในยุคต้นๆ	18
รูปที่ 2.15 โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอดชนิดดับเบิลเฮเทอโร	19
รูปที่ 2.16 หลักการกักพาหะและการเปล่งแสงในเลเซอร์ไดโอด	20
รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการออกแบบแทนระบายความร้อนสำหรับเลเซอร์ไดโอด	20
รูปที่ 2.18 โครงสร้างเลเซอร์ไดโอดแบบสไตรป์	21
รูปที่ 2.19 ภาพการเปล่งแสงที่มีโหมดแบบตามขวาง	21
รูปที่ 2.20 เปรียบเทียบการเกิดปรากฏการณ์ประชากรผกผัน	22
รูปที่ 2.21 ตัวอย่างสเปกตรัมของแสงเลเซอร์	22
รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงตัวเสกตทิงและช่องว่างพลังงาน	23
รูปที่ 2.23 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าและแรงดันของเลเซอร์ไดโอด	24
รูปที่ 2.24 ลักษณะสมบัติกำลังของเลเซอร์เอาต์พุตและกระแสที่ฉีดเข้าเลเซอร์ไดโอด	24
รูปที่ 2.25 การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนอันเนื่องจากอุณหภูมิของเลเซอร์ไดโอด	24
รูปที่ 2.26 การออกแบบวิธีการควบคุมให้อาต์พุตของแสงเลเซอร์คงที่	24
รูปที่ 2.27 การออกแบบวิธีการควบคุมให้อาต์พุตของแสงเลเซอร์คงที่	25
รูปที่ 2.28 วิธีการวัดภาพลำแสงเลเซอร์	25
รูปที่ 2.29 สเปกตรัมของเลเซอร์ที่มีโหมดแบบตามขวาง (ก) มัลติโหมด และ (ข) ซิงเกิลโหมด	26
รูปที่ 2.30 โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอดที่เปล่งแสงจากผิวระนาบ	27
รูปที่ 2.31 ลักษณะสมบัติเอาต์พุตของไดโอดเปล่งแสงและเลเซอร์ไดโอด	28

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมภาคส่ง	30
รูปที่ 3.2 วงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา	31
รูปที่ 3.3 แสดงเฟรมของข้อมูล	31
รูปที่ 3.4 วงจรมัลติเพล็กซ์	32
รูปที่ 3.5 แสดงสัญญาณนาฬิกาควบคุมการทำงานของ IC เบอร์ MC 14052	32
รูปที่ 3.6 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล	33
รูปที่ 3.7 วงจรเปลี่ยนข้อมูลขนานเป็นอนุกรม	34
รูปที่ 3.8 แสดงไดอะแกรมการสร้างสัญญาณควบคุมที่ขา 1 ของ 74HC165	34
รูปที่ 3.9 วงจรสร้างสัญญาณซิงโครไนซ์	35
รูปที่ 3.10 วงจรกรองความถี่แบบปรับค่าความถี่ตอบสนองได้	36
รูปที่ 3.11 วงจรแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง	36
รูปที่ 3.12 วงจรภาคจ่ายไฟ	37
รูปที่ 3.13 วงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์	38
รูปที่ 3.14 บล็อกไดอะแกรมภาครับ	39
รูปที่ 3.15 วงจรเปลี่ยนข้อมูลอนุกรมให้เป็นขนาน	39
รูปที่ 3.16 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก	40
รูปที่ 3.17 วงจรดีมัลติเพล็กซ์	41
รูปที่ 3.18 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านและวงจรมายสัญญาณเสียง	41
รูปที่ 3.19 วงจรตรวจจับสัญญาณซิงโครไนซ์	42
รูปที่ 3.20 วงจรแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า	43
รูปที่ 3.21 วงจรดีมัลติเพล็กซ์เซอร์	44
รูปที่ 4.1 สัญญาณอินพุตไซน์ 500 Hz และเอาต์พุตของไอซีมัลติเพล็กซ์	45
รูปที่ 4.2 สัญญาณอินพุตไซน์ 1 KHz และเอาต์พุตของไอซีมัลติเพล็กซ์	45
รูปที่ 4.3 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมัลติเพล็กซ์	46
รูปที่ 4.4 แสดงผลการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล	46
รูปที่ 4.5 สัญญาณอินพุตอนาลอกและเอาต์พุตที่เป็นดิจิตอล	47
รูปที่ 4.6 สัญญาณอินพุตอนาลอกและเอาต์พุตที่เป็นดิจิตอล	47
รูปที่ 4.7 เอาต์พุตของวงจรสร้างสัญญาณซิงโครไนซ์	48
รูปที่ 4.8 สัญญาณซิงโครไนซ์เมื่อส่งไปพร้อมกับสัญญาณเสียง	48
รูปที่ 4.9 สัญญาณซิงโครไนซ์เมื่อส่งไปพร้อมกับสัญญาณเสียง	49
รูปที่ 4.10 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจจับสัญญาณซิงโครไนซ์	49
รูปที่ 4.11 แสดงการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก	50
รูปที่ 4.12 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจร D/A	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.13 สัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรมีลติเพล็กซ์	51
รูปที่ 4.14 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมีลติเพล็กซ์ทางด้านส่ง	51
รูปที่ 4.15 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมีลติเพล็กซ์ทางด้านส่ง	52
รูปที่ 4.16 สัญญาณที่รับได้ เมื่อส่ง sin wave 300 Hz	52
รูปที่ 4.17 สัญญาณที่รับได้ เมื่อส่ง sin wave 500 Hz	53
รูปที่ 4.18 สัญญาณที่รับได้ เมื่อส่ง sin wave 700 Hz	53
รูปที่ 4.19 สัญญาณที่รับได้ เมื่อส่ง sin wave 1 KHz	54
รูปที่ 4.20 สัญญาณที่รับได้เมื่อส่ง sin wave 1.5 KHz	54
รูปที่ 4.21 สัญญาณที่ป้อนอินพุตทางด้านส่ง	55
รูปที่ 4.22 สัญญาณที่รับได้เมื่อส่งที่ระยะทาง 10 เมตร	55
รูปที่ 4.23 สัญญาณที่รับได้เมื่อส่งที่ระยะทาง 30 เมตร	56
รูปที่ 4.24 สัญญาณที่รับได้เมื่อส่งที่ระยะทาง 50 เมตร	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การแปลงระดับของสัญญาณเป็นบิตข้อมูล	13
ตารางที่ 3.1 แสดงตารางความจริงของ MC14052	32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

การสื่อสารในปัจจุบันแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ แบบแรกเป็นแบบที่ต้องใช้สาย ไม่ว่าจะเป็นสายโทรเลขสายโทรศัพท์หรือแม้กระทั่งสายไฟฟ้าที่การไฟฟ้าใช้ส่งกระแสไฟฟ้ามายังบ้านเราและใช้สื่อสารไปในตัวด้วย ซึ่งการสื่อสารในลักษณะนี้จะต้องมีการโยงสายจากต้นกำเนิดของข้อมูลไปยังปลายทาง โดยข้อมูลที่ส่งในสายเหล่านี้จะอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า เมื่อมีการสื่อสารแบบใช้สาย ก็จะต้องมีการสื่อสารแบบไม่ใช้สาย ซึ่งเป็นแบบที่สอง หรือ ที่เรารู้จักกันดีกับคำว่า ไร้สาย (Wireless) นั่นเอง การสื่อสารในลักษณะนี้จะส่งข้อมูลผ่านอากาศโดยตรงโดยไม่ต้องมีการโยงสายระหว่างต้นทางกับปลายทางเข้าด้วยกัน แต่จะใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้ามาช่วย และ คลื่นนี้ก็จะรวมไปถึงคลื่นวิทยุชุมชนที่กำลังเป็นที่ถกเถียงในขณะนี้ คลื่นวิทยุของตำรวจ และ ทหาร และ คลื่นโทรศัพท์มือถือ

สำหรับระบบการสื่อสารที่ใช้เทคโนโลยี “โฟโตนิกส์” ก็สามารถแบ่งออกได้ในลักษณะเดียวกัน คือ ถ้าเป็นการสื่อสารแบบใช้สาย ก็จะใช้เส้นใยแก้วนำแสงที่ทำขึ้นจากแก้ว หรือ พลาสติกในการนำข้อมูลที่อยู่ในรูปของสัญญาณแสงจากต้นทางไปยังปลายทาง โดยเส้นใยแก้วนำแสงนี้จะถูกฝังไว้ใต้ดิน หรือ ห้อยไปกับสายไฟฟ้าตามเสาก็ได้ อย่างไรก็ตามการสื่อสารที่กล่าวถึงนี้ไม่ว่าจะเป็นแบบใช้สาย แบบไร้สาย ที่ใช้คลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟ และ คลื่นแสงเป็นพาหนะในการนำข้อมูล จะต้องได้รับอนุญาตก่อนที่จะมีการใช้งานจริง โดยเฉพาะกับระบบที่ต้องใช้สายนั้นจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น เพื่อที่จะฝังสายไว้ใต้ดิน หรือ แขนงไว้ระหว่างเสาไฟฟ้าอีกด้วย ดังนั้นในปัจจุบันหลายๆ ท่านคงได้ทราบ หรือ อาจกำลังใช้ระบบการสื่อสารที่ใช้แสงเข้ามาช่วย และ การส่งข้อมูลของระบบนี้ยังผ่านอากาศแทนที่จะผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ระบบที่ว่านี้เรียกกันทั่วไปว่า ระบบการสื่อสารด้วยแสงแบบผ่านอากาศ (Free Space Optics) หรือ เขียนย่อๆ ได้ว่า FSO หลักการของการสื่อสารที่ใช้ FSO นี้ไม่ใช่เป็นเรื่องใหม่แต่อย่างใด ทั้งนี้ก็เพราะว่าท่าน Alexander Graham Bell ของเราซึ่งเป็นผู้ที่คิดค้นระบบโทรศัพท์เป็นคนแรกของโลก ได้คิดค้นระบบการสื่อสารผ่านแสงไว้แล้วเมื่อ 125 ปีก่อน หรือ เมื่อ พ.ศ. 2423 โดยนำกระจกที่สั้นไหวได้เมื่อมีเสียงพูดหรือ แรงมากระทบ มาช่วยในการสะท้อนแสงจากต้นทางไปยังปลายทาง การสั้นของกระจกจะทำให้ปริมาณแสงที่ตกกระทบที่ปลายทางเปลี่ยนแปลง และ เมื่อแปลความเปลี่ยนแปลงของปริมาณแสงที่รับได้ก็จะได้ข้อมูลที่ส่งมาจากต้นทางนั่นเอง ความรู้ง่ายๆ เพียงเท่านี้ (แต่คงยากพอสมควรสำหรับเมื่อร้อยกว่าปีก่อน) ก็ทำให้ท่าน Alexander Graham Bell ได้รับสิทธิบัตร 4 ชิ้น แต่กว่าความรู้พื้นฐานนี้จะถูกนำมาต่อยอด เพื่อศึกษาเพิ่มเติมถึงความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานจริงก็ต้องรออีกกว่า 80 ปีทีเดียว และ จนกระทั่งอีก 30 ปีต่อมา จึงได้เริ่มมีการลงทุนเพื่อพัฒนาระบบ FSO ที่ใช้งานได้จริง แต่ก็เงียบหายไปอีกครั้ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้อจำกัดบางประการไม่ว่าจะเป็นความจำเป็นของระบบนี้ ราคา และ เทคโนโลยีคู่แข่ง ในช่วงประมาณ 8-9 ปีมานี้เองที่ระบบ FSO เริ่มพัฒนาอย่างเป็นจริงเป็นจังมากขึ้น โดยนำแสงเลเซอร์ และ ตัวขยายสัญญาณแสง (Optical amplifiers) เข้ามาช่วย เพื่อเพิ่มกำลังของแสงให้อยู่ในระดับหนึ่งวัตต์ นอกจากนี้ยังใช้ชุดเลนส์ที่ใช้ในกล้องโทรทรรศน์สำหรับส่องดูดาวเข้ามาช่วยในการปรับขนาด

ของลำแสงทั้งที่ภาคส่ง และ ภาครับให้เหมาะสม เช่น มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ทั้งนี้ก็เพื่อลดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนนิตยสารวิชาการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบี่ยงเบนของลำแสง และ ช่วยให้แสงตกกระทบที่ตัวรับได้ง่ายขึ้น ในปัจจุบันความต้องการใช้ระบบ FSO เริ่มมีมากขึ้น ทั้งนี้ก็เพราะว่าระบบนี้เหมาะกับการสื่อสารในระยะที่ไม่ไกลเกินไปนัก เช่น ระยะที่ไม่เกิน 5-10 กิโลเมตร ซึ่งจะช่วยให้ต้นทุนในการฝังหรือโยงสายถูกตัดทิ้งไปได้ดังนั้นระบบ FSO จึงเหมาะกับการส่งข้อมูลระหว่างอาคารสูงๆ หรือ แม้กระทั่งภายในอาคารเดียวกัน นอกจากนี้ระบบ FSO ยังไม่ต้องขออนุญาตในการติดตั้งอีกด้วย เราเพียงซื้อระบบมาแล้ววางตัวส่งไว้ที่อาคารแห่งหนึ่ง และ ติดตั้งตัวรับไว้ที่อีกอาคารหนึ่ง จากนั้นก็ตั้งให้แสงจากตัวส่งไปตกที่ตัวรับให้ได้ก็เป็นที่เรียบร้อยในการติดตั้งก็จะต้องคำนึงถึงทิศทางของแสงจากดวงอาทิตย์ที่สามารถรบกวนการทำงานของภาคส่ง และ ภาครับได้ ละอองน้ำ และ หมอกก็สามารถรบกวนการทำงานของระบบ และ เป็นตัวแปรที่จำกัดระยะทางในการสื่อสารลง ทั้งนี้ก็เพราะว่าแสงเลเซอร์ที่ใช้ในระบบนี้จะอยู่ในช่วงของอินฟราเรดใกล้ (ความยาวคลื่น 850-1550 นาโนเมตร) ซึ่งถูกลดทอนกำลังลงได้เมื่อวิ่งผ่านละอองน้ำ ความแปรปรวนของสภาวะอากาศที่ทำให้ค่าดัชนีหักเหของแสงของอากาศเปลี่ยนไป คล้ายๆ กับกรณีที่แสงหักเหจากถนนเข้าสู่ตาเราแล้วทำให้เราเห็นแหล่งน้ำบนถนน ซึ่งเป็นภาพลวงตานั่น ก็สามารถทำให้แสงเบี่ยงเบนจากตัวรับไปได้ และ ทำให้ข้อมูลสูญหายได้เช่นกัน จากความต้องการใช้แบนด์วิดท์ที่เพิ่มมากขึ้นในเครือข่ายที่เป็น Metro Network ประกอบกับมีรูปแบบการใช้งานต่างๆ เกิดขึ้นมากมาย เช่น การต่อขยายเครือข่าย การเชื่อมต่อเครือข่าย LAN เข้าหากัน การสร้างระบบเชื่อมโยงสำรองให้กับกราฟฟิคข้อมูล และอื่นๆ อีกมาก การใช้งานต่างๆ เหล่านี้ ก่อให้เกิดปัญหาคอขวดของกราฟฟิคข้อมูลจากผู้ให้บริการขึ้นมา ผู้ให้บริการจึงต้องเผชิญกับการหาหนทางที่จะเปิดให้บริการให้กับลูกค้าได้อย่างรวดเร็วและคุ้มค่าที่สุด เมื่อถูกจำกัดในเรื่องค่าใช้จ่ายในการลงทุน มีอยู่ไม่กี่หนทางด้วยกันที่จะนำมาช่วยแก้ปัญหาคอขวดของการเชื่อมต่อกราฟฟิคจากลูกค้าเข้ามายัง Metro Network แต่ส่วนใหญ่ก็คงจะไม่ค่อยคุ้มกับการลงทุนมากนัก

ทางเลือกแรก ที่เห็นชัดมากที่สุด คือการใช้ fiber เป็นวิธีที่น่าเชื่อถือที่สุดของการสื่อสารทางแสง แต่ปัญหาจากการวางสายเคเบิล ความล่าช้าและค่าใช้จ่ายการลงทุนที่สูงมาก

ทางเลือกที่ 2 คือการใช้ระบบที่ใช้ Radio Frequency (RF) อย่างเช่น ไมโครเวฟ หรือ LDMS (Local Multipoint Distribution System) เทคโนโลยีนี้ได้เติบโตและมีการใช้งานมาเป็นเวลาหลายปี ถึงแม้ว่าจะมีระยะทางการส่งได้ไกลกว่า FSO แต่เครือข่ายของ RF ต้องมีการลงทุนที่ค่อนข้างสูงกับการที่จะขออนุญาตใช้สเปกตรัมความถี่ รวมทั้งมี Capacity ค่อนข้างจำกัด

ทางเลือกที่ 3 คือเทคโนโลยีที่จะต้องใช้สายเคเบิลทองแดงอย่างเช่น Cable Modem T-1

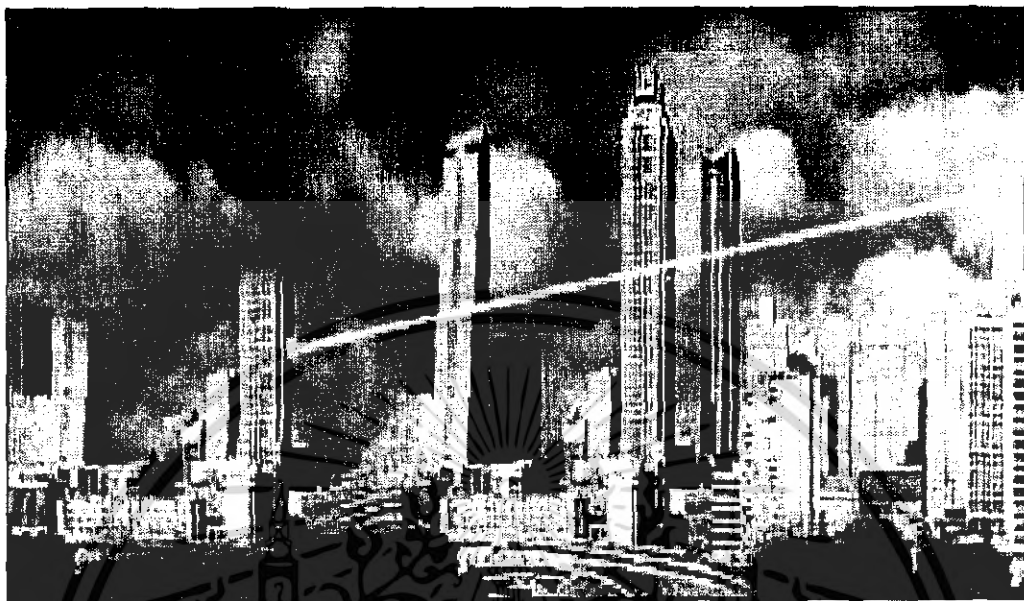
ทางเลือกที่ 4 คือ FSO เป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด ทั้งในแง่ของเทคโนโลยี ขนาดของแบนด์วิดท์ที่มีช่วงใช้งานที่กว้างมาก สามารถติดตั้งและเปิดใช้งานได้อย่างรวดเร็วและที่สำคัญที่สุด คือคุ้มกับการลงทุนด้วยค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างต่ำกว่าทางเลือกอื่นอยู่มาก

1.2 หลักการทำงานและการนำไปใช้งานของ FSO

ระบบสื่อสารทางแสงผ่านอากาศ fso มีคุณสมบัติเป็นแบบไร้สาย (wireless) ชนิดเส้นตรงตามแนวสายตาหรือ LOS (line-of-sight) ที่มีความสามารถในการสื่อสารข้อมูลที่มีแบนด์วิดท์สูงในระดับ Gb/s ได้ หลักการทำงานของ fso เป็นไปในทำนองเดียวกับระบบเส้นใยแก้ว ต่างกันตรงที่ตัวกลางที่มีข้อมูลแสง

เดินทางเป็นอากาศรูปที่ 1 แสดงตัวอย่างของการนำ fso เข้ามาใช้งานในย่านธุรกิจที่ต้องการสื่อสารข้อมูล
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันระหว่างอาคารสำนักงานของกลุ่มที่อยู่ห่างกันไม่มาก ระบบนี้จะใช้เวลาในการติดตั้งไม่มาก เพียงแต่นำเทอร์มินอลของ fso ซึ่งมีหน้าที่รับและส่งสัญญาณแสงไปติดตั้งบนหลังคาตึก แล้วก็เดินสายภายในอาคารเพิ่มเติมเพื่อต่อเข้ากับอุปกรณ์ภายใน อาคาร โดยในกลุ่มอาคารที่ติดต่อกันควรมีอย่างน้อยหนึ่งอาคาร



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างการส่งสัญญาณแบบ FSO

ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางต่อเชื่อมข้อมูลเข้ากับระบบแบ็กโบนหรือโครงข่าย สำหรับการติดต่อเชื่อมโยงกันระหว่างผู้ใช้ย่อยที่อาจเป็นคอมพิวเตอร์ จอภาพมอดิเตอร์หรือโทรศัพท์ ของเทอร์มินอลในแต่ละอาคารก็ใช้หลักการสื่อสารธรรมดาทั่วไป เพียงแต่สัญญาณแสงที่รับส่งระยะไกลจะถูกแปลงกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในอาคารตัวอย่างการใช้งานของระบบ fso ได้แก่

- 1) การประชุมทางไกล หรือ VDO Conference ระหว่างกลุ่มที่ต่อ fso ด้วยกันเอง หรืออาจมีการประชุมร่วมกับกลุ่มธุรกิจอื่นในต่างจังหวัดหรือต่างประเทศ โดยผ่านโครงข่าย
- 2) ระบบ LAN และระบบ WAN (wide Area Network) เป็นต้น โดยช่วงเวลาในการใช้งานเหมาะสำหรับกลุ่มธุรกิจที่ต้องการติดต่อสื่อสารเป็นแบบช่วงเวลาสั้น ๆ ไม่กี่วัน หรือไม่กี่ชั่วโมงที่ต้องการความรวดเร็วในการติดตั้ง ที่สำคัญระบบนี้มีค่าใช้จ่ายต่ำเพราะไม่ต้องคำนึงถึงการติดตั้งสายส่งสัญญาณระหว่างอาคารซึ่งมีราคาสูงมาก ระบบ fso ในปัจจุบันสามารถใช้ส่งข้อมูลได้ทั้งแบบอนาล็อกและดิจิทัลที่มีความเร็วระดับ Gb/s โดยใช้แสงที่มีความยาวคลื่นเดียวเป็นคลื่นพาห์ (carrier) แต่ในอนาคตเชื่อว่าจะสามารถรับส่งข้อมูลได้สูงขึ้นอีกหลายเท่า เมื่อใช้เทคนิคการทำงานแบบมัลติเพล็กซ์ข้อมูลเชิงแสงหรือ WDM (Wavelength Division Multiplexing) ซึ่งประกอบด้วยแสงหลายความยาวคลื่นส่งออกไปรวมกัน

1.3 เปรียบเทียบ fso กับระบบไวร์เลสอื่น ๆ

เมื่อเปรียบเทียบ fso กับระบบสื่อสารแบบไร้สายที่เป็นระบบไมโครเวฟหรือใช้คลื่นวิทยุ RF จะพบว่า fso มีข้อดีเหนือกว่าหลายประการ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) ไม่จำเป็นต้องขอใบอนุญาตตั้งเช่นในกรณีใช้คลื่นวิทยุ
- 2) ข้อมูลมีความปลอดภัยสูงเพราะลำแสงที่ใช้มีขนาดเล็กมาก (เมื่อเทียบกับไมโครเวฟ หรือคลื่นวิทยุ) และมีทิศทางตรง การที่จะตั้งตัวรับดักสัญญาณคงทำได้ไม่ถนัดนัก
- 3) เทอร์มินอลของ fso ถูกออกแบบสำหรับการทำงานแบบเคลื่อนที่(mobile) มีความสะดวกและรวดเร็วในการติดตั้งเมื่อเทียบ fso กับระบบสายเคเบิลใยแก้วแล้วระบบ fso จะมีราคาถูกกว่ามากเพราะไม่ต้องมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสายเคเบิลระหว่างอาคารซึ่งมีราคาสูงมาก และไม่ต้องเสียเวลาในการออกแบบเลือกเส้นทางเดินสายเคเบิลรวมทั้งตัดปัญหาค่าใช้จ่ายในการเช่าสายส่งสัญญาณ (Leased Line) แต่ก็มีข้อด้อยตรงที่การส่งแสงผ่านอากาศจะมีค่าการลดทอนสัญญาณสูงกว่าและไม่แน่นอน ขึ้นกับสภาพของอากาศตัวกลาง ทำให้ระยะทางเชื่อมโยงระหว่างจุดสั้นลง อีกทั้งยังอาจเกิดความผิดพลาดในการสื่อสารข้อมูลอีกด้วย

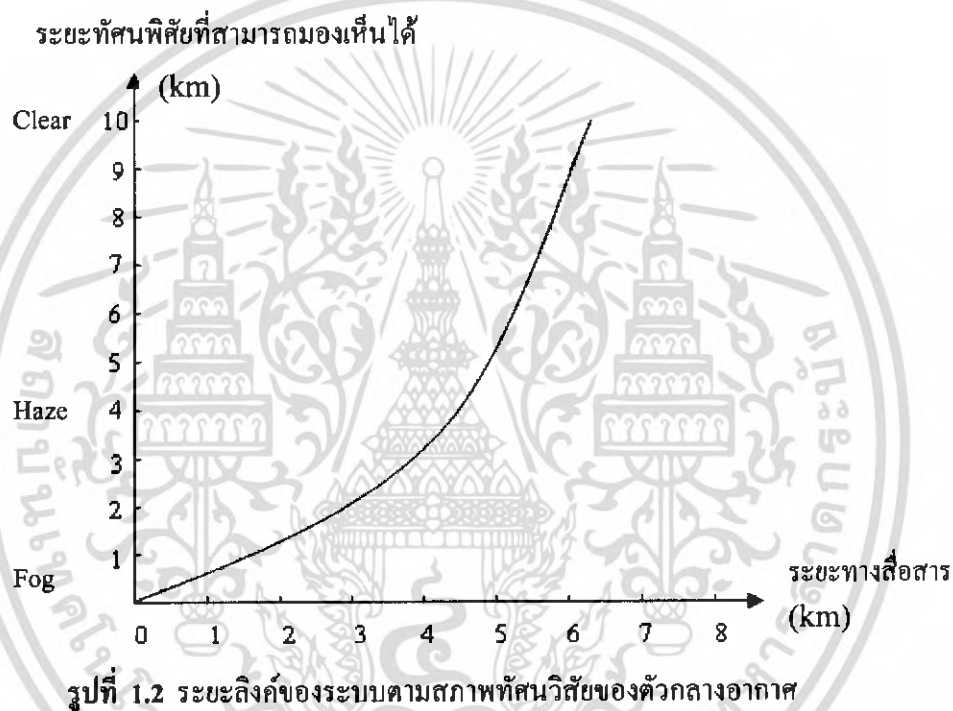
1.4 ข้อจำกัดของระยะทาง

ผลกระทบจากสภาพของตัวกลางอากาศที่แสงเลเซอร์ต้องเดินทางผ่าน ในการสื่อสารข้อมูลของระบบ fso ก่อนข้างจะมีความสำคัญมาก เพราะทำให้ค่าการลดทอนสัญญาณมีค่าแปรเปลี่ยนไปเป็นอย่างมากเลยทีเดียว ในสภาพอากาศที่แจ่มใส มีทัศนวิสัยดี (good visibility) ค่าการลดทอนสัญญาณของระบบ fso ที่ใช้แสงเลเซอร์อาจมีค่าต่ำเพียง 0.2 dB/km (เหมือนระบบเส้นใยแก้ว) และจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อสภาพทัศนวิสัยแย่ง จนอาจมีค่ามากถึง 350 dB/km เมื่อสภาพตัวกลางอากาศเต็มไปด้วยหมอกที่ลงจัดมาก ๆ สำหรับสภาพอากาศที่เต็มไปด้วยฝน จะมีอิทธิพลต่อการลดทอนสัญญาณน้อยกว่าสภาพหมอกจัดมาก สำหรับฝนตกหนักมากขนาดความเร็วเม็ดฝน 100 มม./ชม. ระบบ fso จะมีค่าการลดทอนสัญญาณมากที่สุดไม่เกิน 20 dB/km จะเห็นว่ามีค่าต่ำกว่าสภาพอากาศที่เป็นหมอกจัดมาก ทั้งนี้เพราะขนาดละอองน้ำที่เกิดหมอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-30 ไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับจำนวนเท่าของความยาวคลื่นแสงเลเซอร์เพียงไม่กี่เท่า (ทำให้ดูดคลื่นแสงได้มาก) ในขณะที่ละอองฝนมีขนาด 200-2000 ไมโครเมตร ใหญ่กว่าความยาวคลื่นแสงมาก สภาพของตัวกลางอากาศยังทำให้ความเข้มแสงที่ตกกระทบกับดีเทคเตอร์ (Detector) ที่ตัวรับมีสภาพไม่คงที่ แต่จะมีค่าเปลี่ยนแปลงกระเพื่อมขึ้นลงอย่างรวดเร็วตลอดเวลา เรียกเป็นศัพท์เทคนิคว่า ซิลทิลเลชัน (scintillation) หากระยะทางในการสื่อสารของ fso ยังมีค่ามากจะทำให้สภาพซิลทิลเลชันมีค่ามากขึ้นด้วย เช่นที่ระยะสื่อสารเพียง 100 ม. อาจเกิดซิลทิลเลชันหรือการกระเพื่อมความเข้มแสงสูงสุด ต่ำสุด 3 dB แต่ถ้าระยะทางเพิ่มเป็น 4 กม. ค่าซิลทิลเลชัน อาจมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 7 dB เป็นต้น การแก้ปัญหาของซิลทิลเลชัน อาจทำได้โดยตัวส่งแสงเลเซอร์มีช่องปล่อยแสงหลายขนาด (multiple transmit aperture) ในขณะที่ตัวรับแสงจะมีช่องรับแสงขนาดใหญ่ (large aperture)

เนื่องจากสภาพตัวกลางอากาศมีอิทธิพลต่อการลดทอนสัญญาณแสงเลเซอร์ในระบบ fso ก่อนข้างมากทำให้ระยะทางระหว่างสองสถานี หรือระยะลิงค์ (link distance) ในขณะใช้งานมีค่าขึ้นกับสภาพอากาศแจ่มใสของพื้นที่ใช้งาน รูปที่ 3 เป็นกราฟแสดงระยะลิงค์ ตามสภาพทัศนวิสัยของตัวกลางอากาศ ซึ่งจะเห็นว่าหากอากาศแจ่มใสจนสามารถมองเห็นได้ไกลถึง 10 กม. ระบบ fso จะมีระยะลิงค์ได้ไกลเกือบถึง 6 กม. (ต่อการลดทอนสัญญาณประมาณ 0.5 dB/km ซึ่งถือว่าไกลมากสำหรับระบบสื่อสาร

ในชุมชน ถ้านึกดูสภาพอากาศของกรุงเทพที่เต็มไปด้วยฝุ่นและหมอกควันระยะลิงค์มากที่สุดอาจอยู่ที่ 1-4

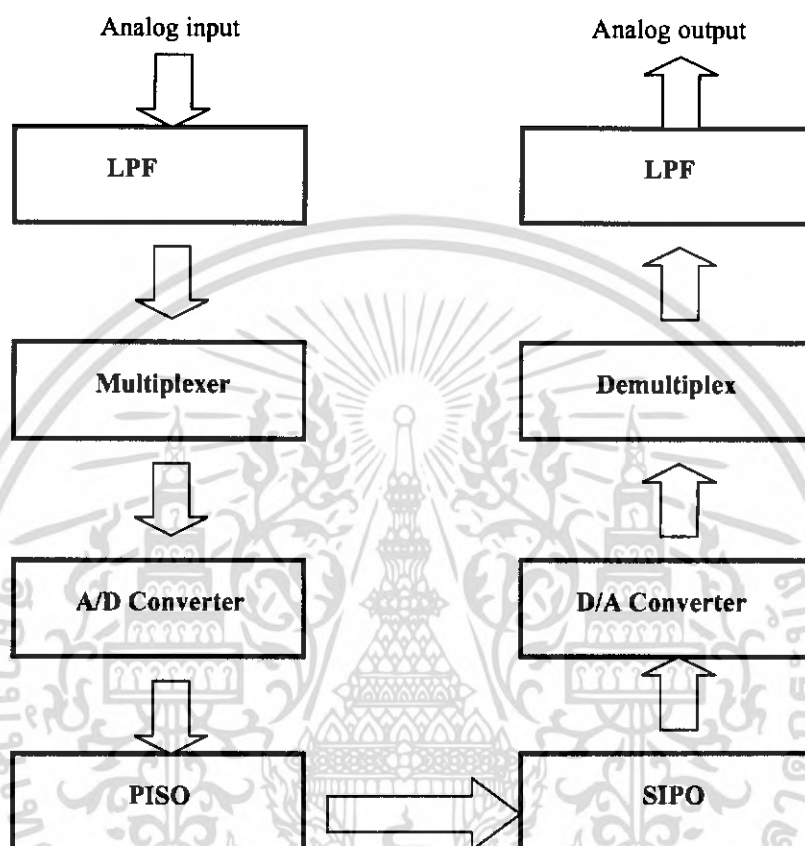
กม. (ค่าการลดทอนสัญญาณประมาณ 3-10 dB/km) ซึ่งถือว่าเพียงพอในการทำระบบ fso มาให้บริการกับกลุ่มลูกค้าธุรกิจในลักษณะเฉพาะงาน (ปัจจุบันเห็นมีบางบริษัทเริ่มทำ fso เข้ามาบริการแล้ว) ในการทำระบบ fso เข้ามาใช้งานจะต้องศึกษาเกี่ยวกับสภาพอากาศเฉลี่ย โดยจำเป็นต้องคำนึงถึงสภาพอากาศในช่วงเวลาที่ผ่านมาประกอบด้วย สภาพของหมอกจะมีผลต่อระยะล็งค์มากตามเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้ว ในทางปฏิบัติเทอร์มินอลของ fso จะมีระบบรับส่งสัญญาณไมโครเวฟเป็นตัวแบ็กอัพ (Backup) ระบบ ในกรณีที่หมอกลงจัดจนแสงเลเซอร์ไม่สามารถเดินทางไปยังปลายทางได้ ระบบไมโครเวฟจะทำงานแทน เพราะขนาดของละอองหมอก ไม่มีผลต่อการลดทอนสัญญาณของคลื่นไมโครเวฟมากนัก เหมือนกับขนาดของเม็ดฝนที่จะทำให้คลื่นไมโครเวฟเดินทางไปได้ไม่ไกล ซึ่งในกรณีที่เม็ดฝน ระบบ fso จะสามารถทำงานได้อย่างไม่มีปัญหามากนัก



ในอนาคต เราคงอาจได้เห็นการนำระบบ fso เข้ามาใช้งานในเมืองขนาดใหญ่ที่มีธุรกิจหนาแน่นกันมากขึ้นหรือเราอาจจะเป็นผู้ใช้บริการเองก็ได้ เพราะระบบ fso ไม่เพียงแต่ประหยัดค่าใช้จ่ายเมื่อเทียบกับระบบสายส่งสัญญาณ แต่ยังติดตั้งได้ง่ายสะดวกรวดเร็ว และการใช้งานก็อาจเป็นการเช่าใช้เพียงเวลาสั้น ๆ ได้อีกด้วย ทั้งที่ประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลไม่ด้อยไปกว่าระบบสายส่งเลยเมื่อเทียบกับลักษณะงานที่จะเกิดขึ้น

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ส่วนประกอบของระบบสื่อสาร



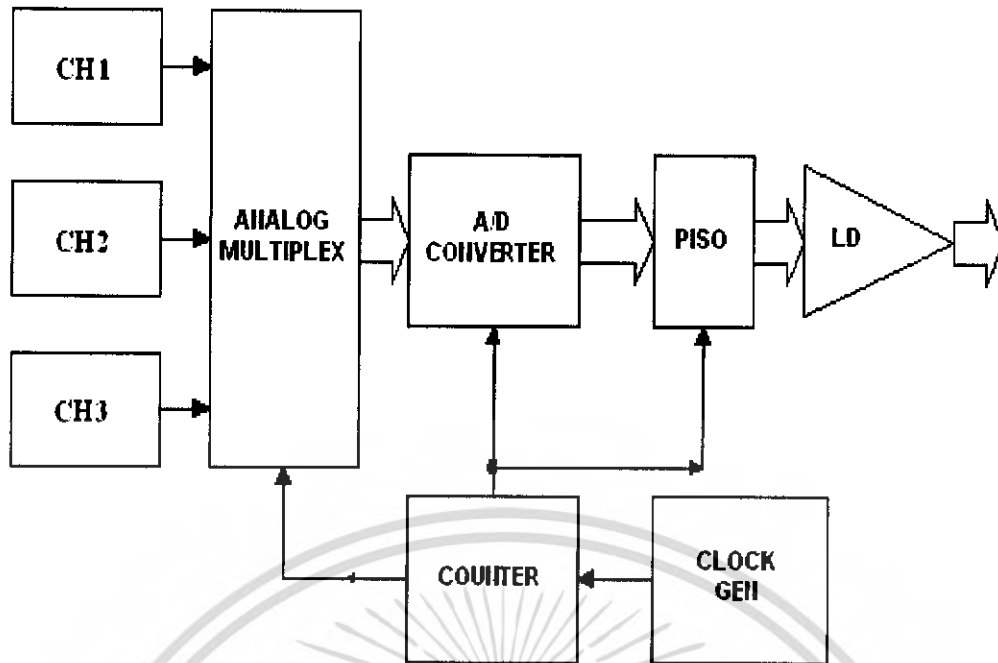
รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบระบบสื่อสารแบบ PCM ที่มีการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ

ในการสื่อสารจะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญต่างๆ ทำงานอย่างสัมพันธ์กันโดยใช้เทคนิคและวิธีการทำงานเพื่อให้สามารถส่งไปได้ปริมาณมากและมีประสิทธิภาพจากรูปบล็อกไดอะแกรมของระบบ จะแสดงขั้นตอนการทำงานอย่างเป็นลำดับ แยกเป็นส่วน แต่ละส่วนมีความสำคัญและต้องทำงานสัมพันธ์กัน การที่ทำงานสัมพันธ์กันได้ดีก็โดยการควบคุมของ Clock ซึ่งนับว่ามีความสำคัญ หรืออาจกล่าวได้ว่ามีความสำคัญมากที่สุดก็ว่าได้สำหรับระบบสื่อสารที่ต้องการซิงโครไนซ์กันระหว่างภาครับและภาคส่ง ซึ่งให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่ถูกต้องและครบถ้วน โดยทฤษฎีที่มีความสำคัญและนำมาใช้ในโครงการนี้ สามารถอธิบายแยกเป็นส่วนได้ดังนี้

2.2 โครงสร้างและการทำงานของวงจร

สำหรับในบทนี้จะนำทฤษฎีต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว มาทำการสร้างวงจรในภาคส่งให้ทำงานได้ตามเงื่อนไขหรือคุณสมบัติที่ต้องการ โดยระบบวงจรของภาคส่งเป็นไปตามบล็อกไดอะแกรมตามรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเชิงพาณิชย์เท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่บนเว็บไซต์เป็นการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงบล็อกโคเดแกรมภาคส่ง

2.3 หลักการของพัลส์โค้ดมอดูเลชัน (Pulse Code Modulation: PCM)

Pulse Code Modulation: PCM เป็นการมอดูเลตที่ให้สัญญาณพัลส์ออกมาเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยสมบูรณ์จึงได้รับความนิยมกันมากในปัจจุบัน ในระบบ PCM จะทำการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล(Analog-to-Digital Conversion) สัญญาณดิจิทัลมีความน่าใช้กว่าสัญญาณอนาลอกก็เพราะว่าสัญญาณดิจิทัลมีภูมิต้านทานต่อสัญญาณรบกวนและความผิดเพี้ยนที่ต่ำกว่า ข้อได้เปรียบของดิจิทัลก็คือ สามารถที่จะใช้ เครื่องทวนสัญญาณแบบสร้างพัลส์ใหม่ (regenerative repeater) ได้จึงทำให้ไม่เกิดการสะสมความผิดเพี้ยนขึ้นในระบบสื่อสาร ทำให้สามารถส่งข่าวสารได้ตลอดระยะทางไกลด้วยความถูกต้องสูง ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการที่สำคัญ 3 กระบวนการดังนี้คือ

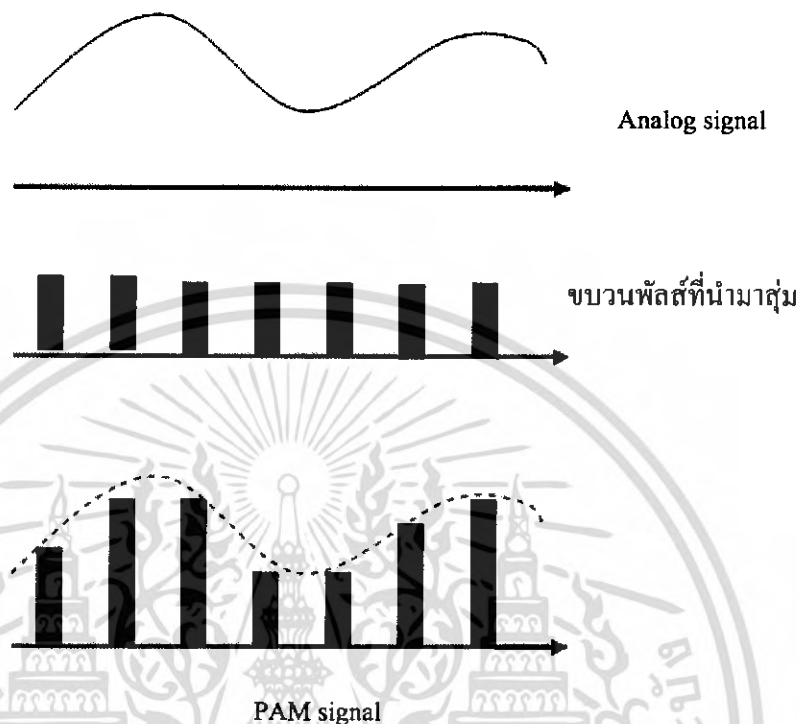
1. การสุ่มตัวอย่าง (Sampling)
2. การแบ่งย่านแอมพลิจูดออกเป็นระดับต่างๆ(Quantizing)
3. การเข้ารหัส(Coding)

2.3.1 การสุ่มตัวอย่าง (Sampling)

ในลำดับแรกลักษณะการสุ่มตัวอย่างของ PCM เป็นการสุ่มตัวอย่างตามทฤษฎีการสุ่มค่าที่ช่วงเวลาห่างเท่าๆ กัน จากสัญญาณอนาลอกที่เข้ามาทางด้านอินพุต(ไม่ว่าสัญญาณนั้นอาจจะถูกมัลติเพล็กซ์แล้วไม่ก็ตาม) ปกติแล้วสัญญาณอนาลอกจะต่อเนื่องกันตลอดตามแกนของเวลา การสุ่มค่าคือขบวนการนำค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอนาลอกบางค่า ในช่วงเวลาที่ห่างกันมาเรียงต่อกัน (โดยช่วงเวลาที่ห่างกันนี้จะต้องคำนวณให้เหมาะสมตามทฤษฎีการสุ่มค่า) วิธีนี้เปรียบเสมือนการมอดูเลตทางแอมพลิจูดโดยมีสัญญาณพาห้เป็นขบวนพัลส์ที่มีคาบเวลาคงที่ ซึ่งมอดูเลตกับสัญญาณอนาลอกทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ยูเอตเห็นประโยชน์ประการใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมพลิจูดของสัญญาณพาห์เปลี่ยนไปตามแอมพลิจูดของสัญญาณอนาล็อก ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องตามแกนของเวลา ซึ่งเรียกสัญญาณนี้ว่าสัญญาณ PAM (Pulse Amplitude Modulation) ดังแสดงตามรูปที่ 2.3



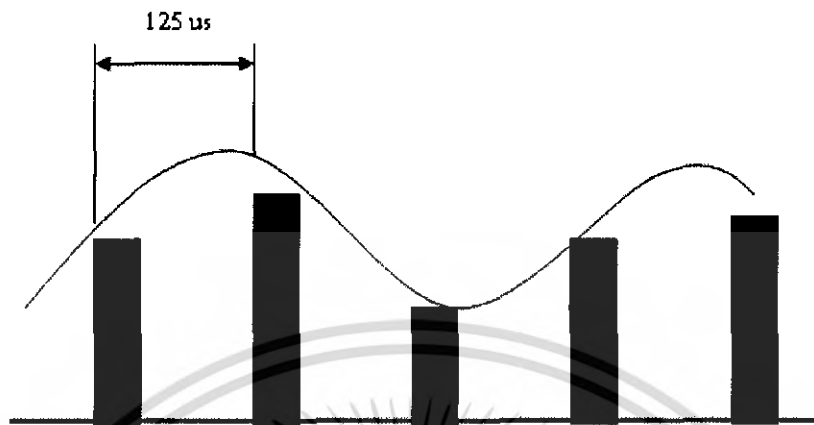
รูปที่ 2.3 สัญญาณอนาลอกกับสัญญาณพัลส์ได้สัญญาณ PAM

หลักการมีอยู่ว่า ในการมัลติเพล็กซ์สัญญาณไม่ว่าเป็นจำนวนกี่ช่องก็ตามจะต้องเป็นไปตามทฤษฎีที่เรียกว่า ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Theory) ของ ไนควิสต์ (Nyquist) ซึ่งกล่าวว่า “ถ้าทำการสุ่มตัวอย่างสัญญาณอนาลอกในช่วงเวลาที่สม่ำเสมอ ในอัตราอย่างน้อยเป็นสองเท่าของความถี่สูงสุดนั้นๆ แล้วตัวอย่างที่ได้สุ่มมาจะบรรจุสัญญาณสารเดิมครบถ้วน” เมื่อเราพิจารณาวิธีการมัลติเพล็กซ์สัญญาณแบบแบ่งเวลาในอีกแง่มุม จะเห็นว่าการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา คล้ายๆกับการสุ่มตัวอย่างของสัญญาณนั่นเอง เพียงแต่ว่าสัญญาณที่ทำการสุ่มไม่ได้สุ่มสัญญาณเพียงสัญญาณเดียว แต่สุ่มที่หลากหลายสัญญาณสลับกันไป ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการมัลติเพล็กซ์อีกแบบหนึ่งที่เรียกว่า การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (Time Division Multiplex) นั่นเอง ถ้าเรากำหนดสัญญาณความถี่สูงสุดเป็น f (Max) ความถี่ในการสุ่มตามทฤษฎีของไนควิสต์จะเป็น f_s จะได้ว่า

$$f_s \geq 2f$$

CCITT (International Telephone & Telegraph Consultative Committee) แนะนำให้ใช้ความถี่ของการสุ่มที่ 8 KHz ความถี่เสียงโดยปกติในระบบโทรศัพท์อยู่ระหว่าง 0.32 - 3.4 KHz ดังนั้นความถี่สุ่มตามทฤษฎีควรเป็นสองเท่าของ 0.32-3.4 KHz คือเท่ากับ 6.8 KHz เป็นอย่างน้อยแต่อย่างไรก็ดี ในทางเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิบัติจะใช้ค่าความถี่เท่ากับ 8KHz ด้วยเหตุผลทางเทคนิคในการออกแบบวงจรดังนั้นเวลาในการสุ่มแต่ละครั้งเท่ากับ $1/8000$ วินาทีหรือ 125ไมโครวินาที



รูปที่ 2.4 ความถี่ของการสุ่ม 8 KHz สำหรับสัญญาณเสียง

2.3.2 การแบ่งย่านแอมพลิจูดออกเป็นระดับสัญญาณระดับต่างๆ (Quantizing)

จากการสุ่มตัวอย่างในอัตราที่สม่ำเสมอ จะทำให้ได้ PAM Signal ที่แอมพลิจูดของมันเป็นส่วนหนึ่งของระดับทำการสุ่ม ณ เวลานั้น เราสามารถที่จะแทนแอมพลิจูดค่าต่างๆ กรรมวิธีในการแบ่งย่านแอมพลิจูดออกเป็นระดับต่างๆที่มีจำนวนจำกัดแน่นอนให้กับ PAM Signal เรียกว่า Quantizing โดยทั่วไปขั้นตอนการเทียบระดับแรงดันจะเกี่ยวข้องกับการเข้ารหัสสัญญาณอย่างมาก การจัดระดับควอนไทซ์มีจุดประสงค์หลักเพื่อปรับค่าแรงดันของสัญญาณที่ผ่านกระบวนการสุ่มสัญญาณมาแล้วให้ลงตัวกับค่าแรงดันมาตรฐานจำนวนหนึ่งที่กำหนดแรงดันเอาไว้โดยตรงกับระดับควอนไทซ์แต่ละค่า เพื่อทำการแปลงเป็นรหัสไบนารี ระดับตัดสินเป็นค่าแรงดันอ้างอิงซึ่งถูกกำหนดโดยขอบเขตรอยต่อของช่วงควอนไทซ์คู่หนึ่งๆ หรือเป็นในระบบทวนสัญญาณดิจิทัล ค่าดังกล่าวจะเป็นค่าทรซโวลระหว่างย่านแรงดัน โดยเรียกแต่ละระดับค่าตัวเลขว่า Quantizing Level และเรียกช่วงห่างระดับค่าตัวเลขว่า ช่วงตัวเลข (Quantizing Interval Step) ขนาดของสัญญาณ PAM จริงจะถูกแทนด้วยระดับค่าตัวเลขที่ใกล้เคียงกับมัน ดังรูปที่ 2.5

- สัญญาณที่ถูกสุ่มมีขนาด 2.6 จะถูกแทนด้วยระดับ 3.0
- สัญญาณที่ถูกสุ่มมีขนาด 6.3 จะถูกแทนด้วยระดับ 6.0

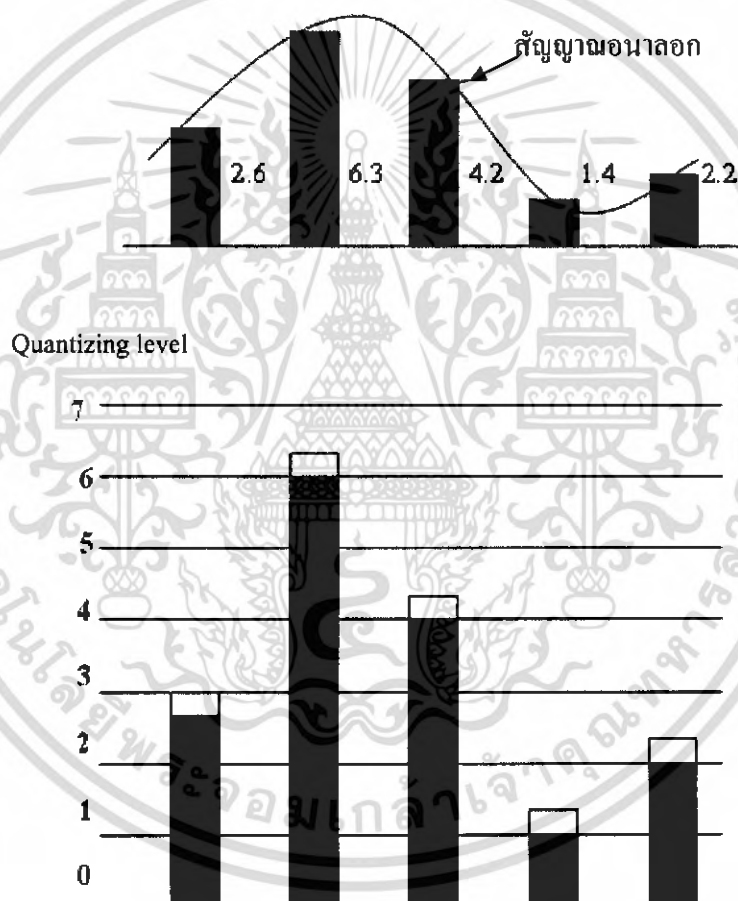
จึงเห็นได้ว่าระดับตัวเลขที่เรากำหนดให้มันเป็นเพียงค่าที่ใกล้เคียงกับค่าแอมพลิจูดจริงที่ได้มาจากการสุ่มตัวอย่าง ความคลาดเคลื่อนจึงเกิดขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนนี้เรียกว่า สัญญาณรบกวนจากการแปลงค่าตัวเลข (Quantizing Distortion) ขนาดของสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขจะกระจายสม่ำเสมอในระหว่างช่วงของตัวเลขและไม่ขึ้นกับแอมพลิจูดของสัญญาณอนาล็อก จะเห็นได้ว่าสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขนี้เป็นสิ่งที่ไม่สามารถเลี่ยงได้ แต่สามารถทำให้ลดลงได้เพื่อรักษาระดับคุณภาพของสัญญาณไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผังรูปที่ 2.5

- สัญญาณที่ถูกสุ่มมีขนาด 2.6 จะถูกแทนด้วยระดับ 3.0
- สัญญาณที่ถูกสุ่มมีขนาด 6.3 จะถูกแทนด้วยระดับ 6.0

จึงเห็นได้ว่าระดับตัวเลขที่เรากำหนดให้มันเป็นเพียงค่าที่ใกล้เคียงกับค่าแอมพลิจูดจริงที่ได้มาจากการสุ่มตัวอย่าง ความคลาดเคลื่อนจึงเกิดขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนนี้เรียกว่า สัญญาณรบกวนจากการแปลงค่าตัวเลข (Quantizing Distortion) ขนาดของสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขจะกระจายสม่ำเสมอในระหว่างช่วงของตัวเลขและไม่ขึ้นกับแอมพลิจูดของสัญญาณอนาลอก จะเห็นได้ว่าสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขนี้เป็นสิ่งที่ไม่สามารถเลี่ยงได้ แต่สามารถทำให้ลดลงได้เพื่อรักษาระดับคุณภาพของสัญญาณไว้



รูปที่ 2.5 แสดงการจัดสัญญาณ PAM ให้เป็นค่าตัวเลข

2.3.3 การเข้ารหัส (Coding)

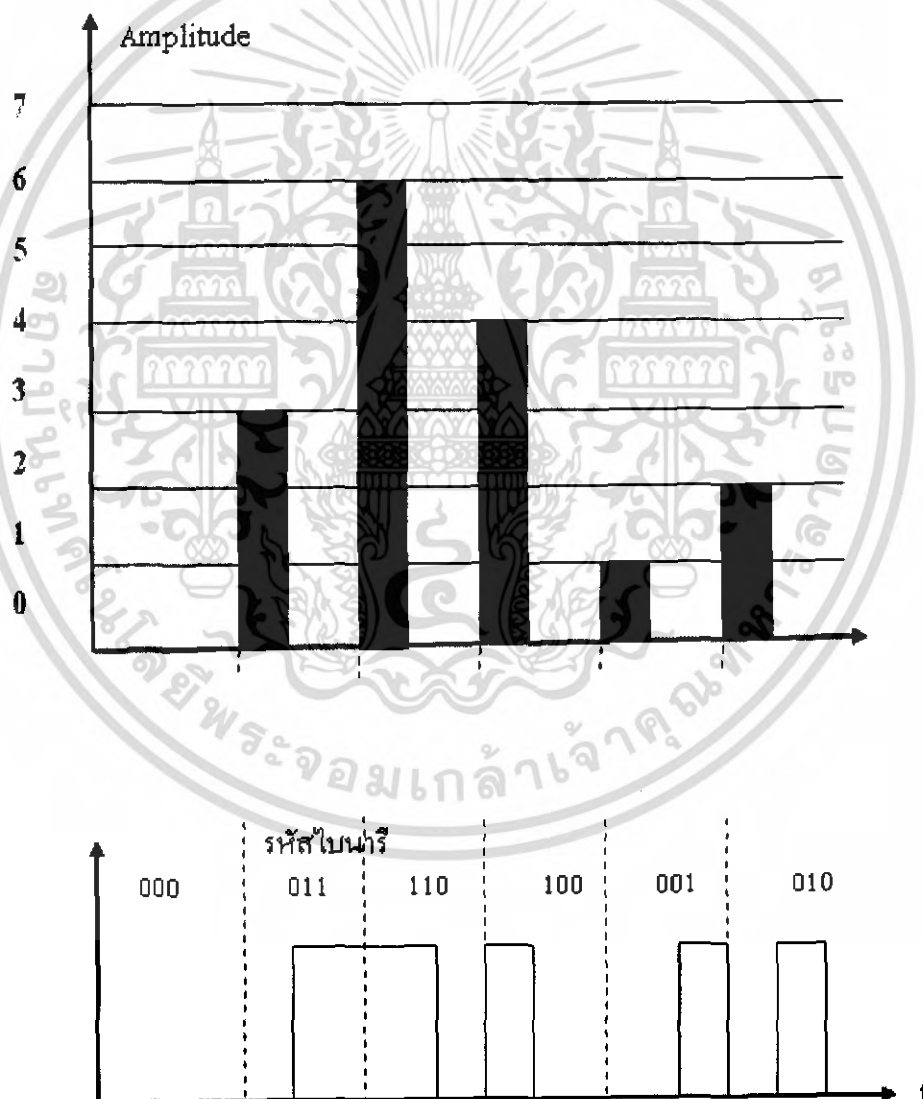
หลังจากการเปลี่ยนเป็นตัวเลขแล้ว สัญญาณ PAM ที่ได้จะถูกเข้ารหัสโดยเปลี่ยนเป็นรหัสฐานสอง (Binary Code) ข้อดีของสัญญาณไบนารี คือ สามารถทนต่อสัญญาณรบกวนได้ดี และสามารถสร้างสัญญาณใหม่ได้ง่าย จำนวนของรหัสฐานสองจะมากหรือน้อยนั้นก็ขึ้นอยู่กับระดับค่าตัวเลขที่เรากำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้หน่วยงานราชการ เอกสารนี้ถูกสร้างขึ้นโดยอัตโนมัติจากโปรแกรมเอกสารอัตโนมัติของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไว้ในขั้นตอนของการแบ่งย่านแอมพลิจูดนั่นเอง เช่นถ้าเราแบ่งระดับแอมพลิจูดเป็น 8 ระดับตั้งแต่ 0 ถึง 7 โวลต์ ดังนั้นเราก็ต้องใช้รหัสฐานสองจำนวน 3 บิต (2^3) เท่ากับ 8 ระดับ

การทำงานทั้งหมดของระบบ PCM นั้น กล่าวโดยสรุปก็คือเริ่มจากการสุ่มตัวอย่างจากสัญญาณอนาล็อกอินพุต สัญญาณที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างเรียกว่า PAM ซึ่งจะถูส่งผ่านไปทำการแบ่งระดับ (Quantizing) ให้ระดับของสัญญาณมีค่าที่แน่นอนซึ่งเป็นค่าที่จำกัดและเข้ารหัสสัญญาณ (Code) กลายเป็นสัญญาณ PCM ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัลจำนวน 8 บิต ต่อหนึ่งระดับสัญญาณออกมา และทำการส่งผ่านสัญญาณนี้ต่อไป การทำงานทั้งหมดของระบบ PCM นั้น กล่าวโดยสรุปก็คือเริ่มจากการสุ่มตัวอย่างจากสัญญาณอนาล็อกอินพุต สัญญาณที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างเรียกว่า PAM ซึ่งจะถูส่งผ่านไปทำการแบ่งระดับ (Quantizing) และเข้ารหัสสัญญาณ (Code) กลายเป็นสัญญาณ PCM ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัลออกมา และทำการส่งผ่านสัญญาณนี้ต่อไป

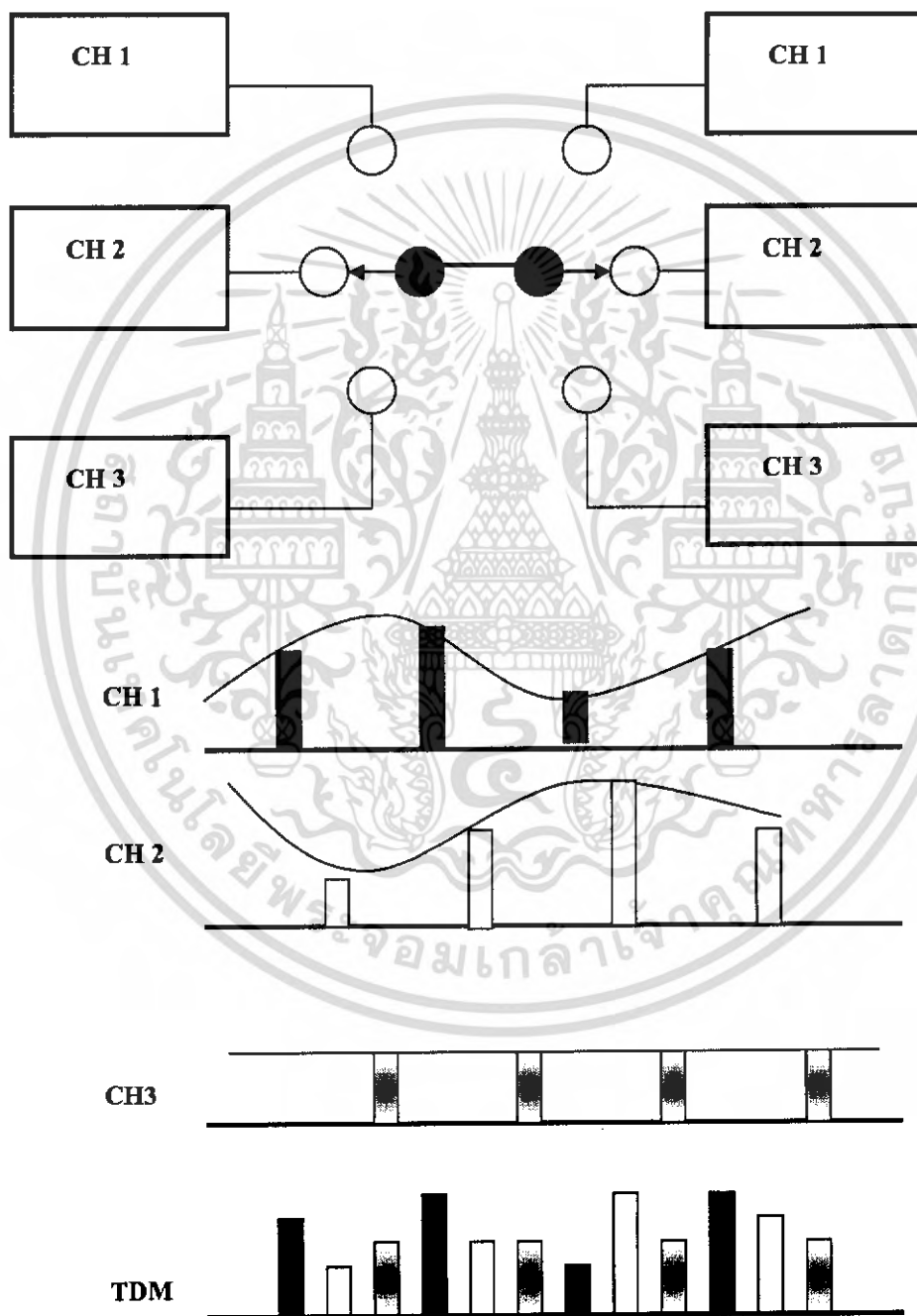


รูปที่ 2.6 แสดงการเข้ารหัส (Coding)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (Time Division Multiplex: TDM)

การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา หมายถึง การรวมสัญญาณหลายๆ แหล่งข้อมูล เพื่อส่งผ่านช่องสัญญาณร่วมอันเดียวกัน โดยการจัดสรรช่วงเวลาให้ทำการส่งคนละช่วงเวลากัน โดยถ้าดูจากรูปที่ 2.7 การเข้าใช้ช่องสัญญาณจะมีเพียงช่องเดียวในขณะนั้น ส่วนสวิทช์กลางหรือตัวมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) ซึ่งทำหน้าที่ในการสวิตช์เลือกสัญญาณช่องใดช่องหนึ่งจากหลายช่องสัญญาณส่งออกไป อีกทางด้านหนึ่ง โดยในแต่ละช่องสัญญาณได้รับการแบ่งช่วงเวลาให้เข้าใช้ช่องสัญญาณ โดยเท่าเทียมกัน

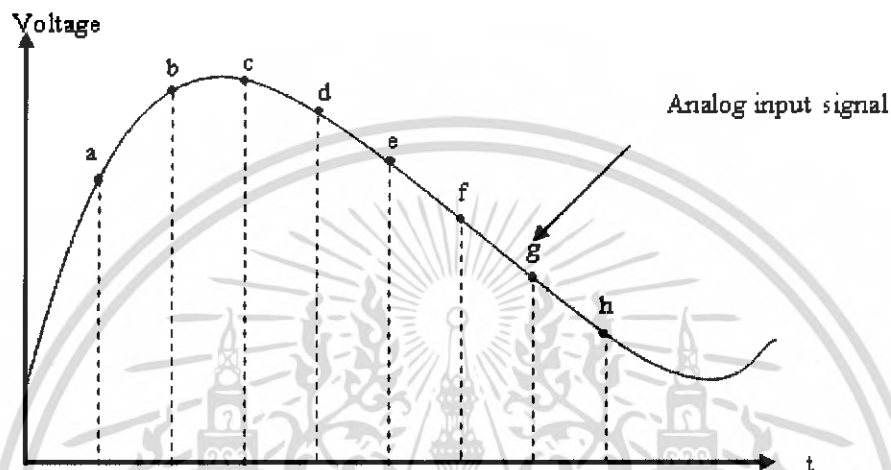


รูปที่ 2.7 การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (TDM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล(Analog to Digital Conversion)

การแปลงสัญญาณข้อมูลอนาลอกเป็นดิจิทัล ในปัจจุบันนับว่ามีความสำคัญปัจจุบันระบบของการสื่อสารเป็นโลกของดิจิทัลแทบทั้งสิ้น การพัฒนาเป็นไปอย่างรวดเร็วจึงมีความจำเป็นเพื่อให้สามารถส่งผ่านเข้าสู่ระบบสื่อสารที่เป็นดิจิทัลได้ ซึ่งมีข้อดีคือ ทำให้สามารถในลดผลการรบกวนของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถส่งข่าวสารได้ตลอดระยะทางไกลด้วยความถูกต้อง

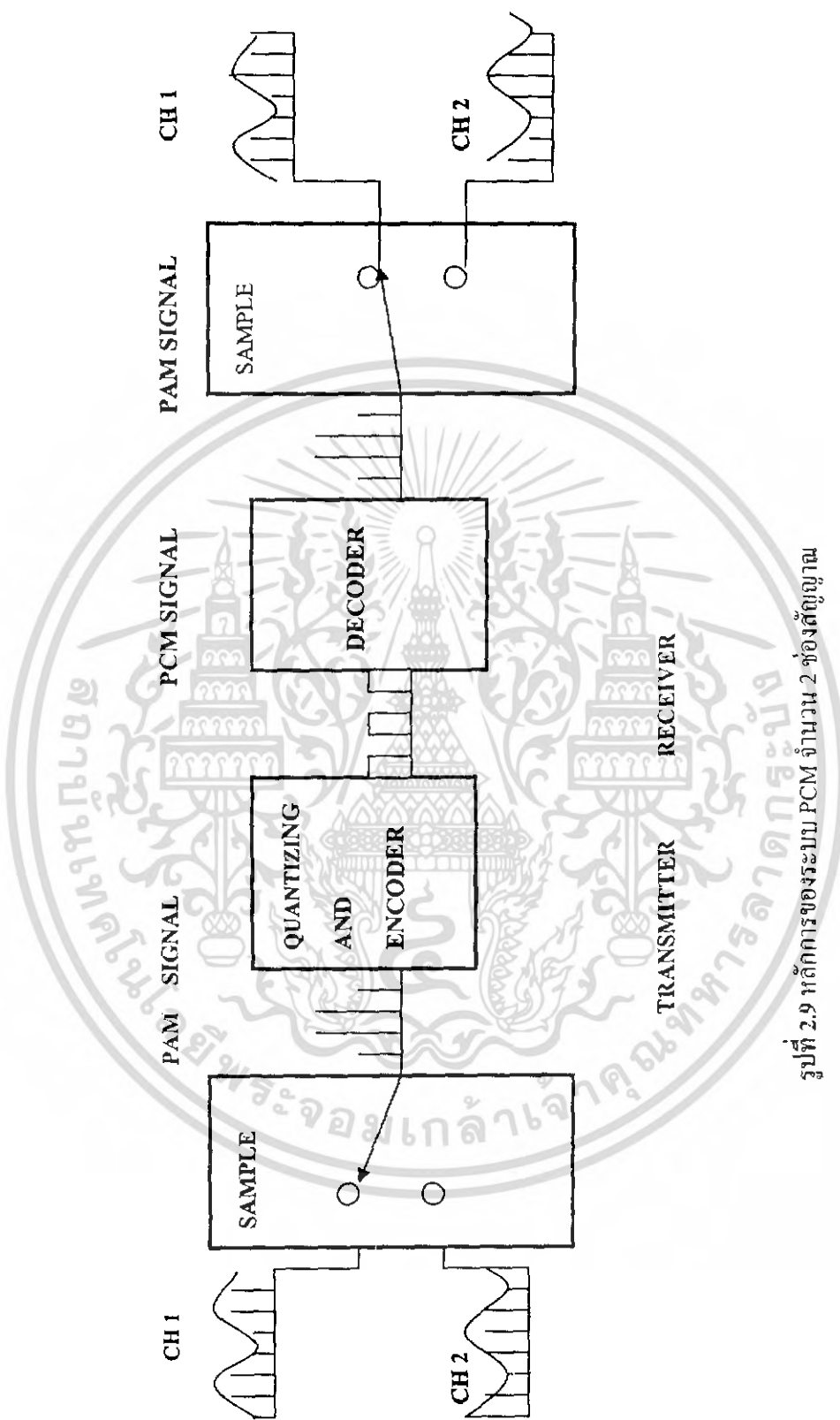


รูปที่ 2.8 การแปลงระดับของสัญญาณ

Point	Actual	Digital Equivalent
a	1.22	01111010
b	1.47	10010011
c	1.74	10101110
d	1.70	10101010
e	1.35	10000111
f	1.12	01110000
g	0.91	01011011
h	0.82	01010010

ตารางที่ 2.1 การแปลงระดับขนาดของสัญญาณให้เป็นบิตข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

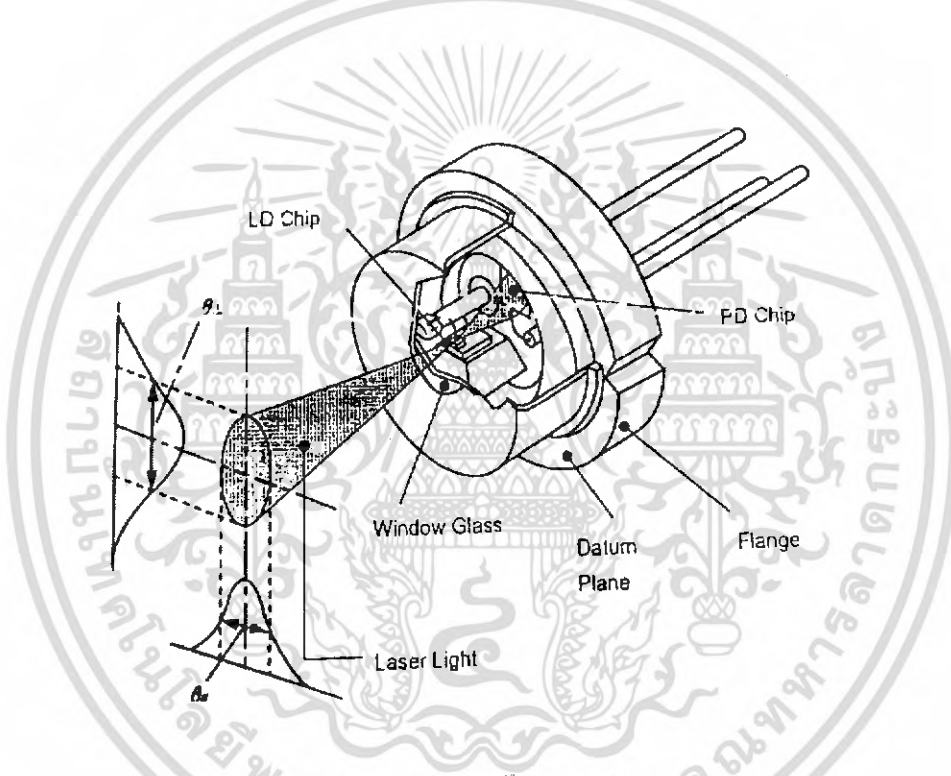


รูปที่ 2.9 หลักการของระบบ PCM จำนวน 2 ช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เลเซอร์ไดโอด

เลเซอร์อีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญมากคือ เลเซอร์ชนิดสารกึ่งตัวนำ (semiconductor laser) หรือ เลเซอร์ไดโอด (laser diode) แนวความคิดของเลเซอร์ไดโอดถูกเสนอเป็นครั้งแรกใน ค.ศ. 1957 และผลิตได้สำเร็จจริง ๆ ใน ค.ศ. 1962 ซึ่งตอนนั้นต้องทำงานที่อุณหภูมิไนโตรเจนเหลว (77k) ต่อมาใน ค.ศ. 1970 มีการผลิตเป็นรอยต่อพีเอ็นชนิดโครงสร้างแบบเฮเทโร (heterojunction) ที่สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิห้อง และเมื่อใช้โครงสร้างแบบดับเบิลเฮเทโร (double heterojunction) ทำให้เลเซอร์ไดโอดทำงานได้ที่อุณหภูมิห้องและเปล่งแสงแบบต่อเนื่อง (CW) ได้และมีอายุการใช้งานยาวนาน เลเซอร์ไดโอดมีโครงสร้างรอยต่อแบบพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำทำจากสารประกอบกึ่งตัวนำเช่น GaAs, InP มีขนาดเล็กมาก สิ่งประดิษฐ์มีปริมาตรเพียงไม่ถึง 1 ลูกบาศก์มิลลิเมตร บรรจุอยู่ในกล่องโลหะ (metal package) ที่มีขาคัดอยู่เพื่อใช้ป้อนกระแสไฟฟ้า แสดงตัวอย่างเลเซอร์ไดโอด



รูปที่ 2.10 โครงสร้างภายในของตัวเลเซอร์ไดโอด

คุณสมบัติเด่นของเลเซอร์ไดโอดซึ่งเลเซอร์ชนิดอื่นไม่มี

- 1) มีขนาดเล็กและเบา
- 2) มีประสิทธิภาพสูง
- 3) สามารถลดความเข้มของการเปล่งแสงด้วยกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง
- 4) มีอายุการใช้งานยาวนาน
- 5) ผลิตจำนวนมากได้ง่ายและราคาถูก

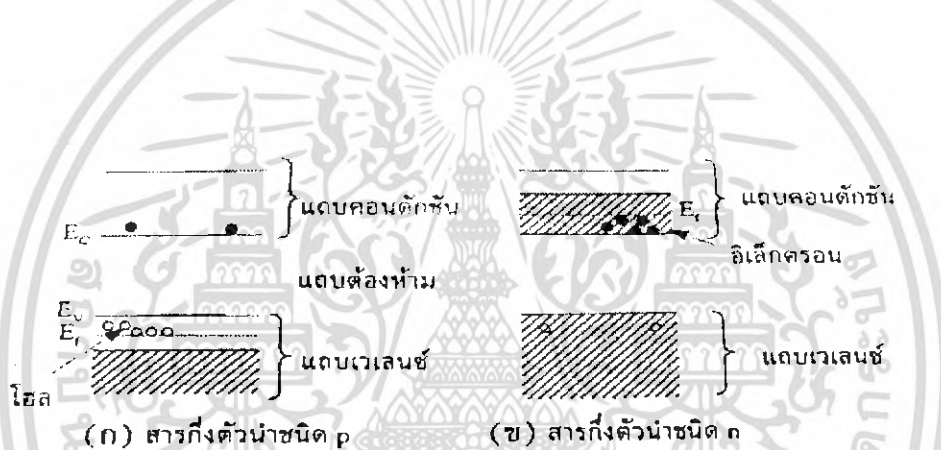
ปัจจุบันเลเซอร์ไดโอดถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น การสื่อสารด้วยแสง การวัด

สารสนเทศ คอมแพคต์ดิสก์ เลเซอร์ดิสก์ ซีดีรอม การแพทย์ การบันเทิง ฯลฯ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 กลไกการเปล่งแสงของเลเซอร์ไดโอด

โครงสร้างพื้นฐานของเลเซอร์ไดโอดคือ รอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานแบบตรง (direct band gap) เช่น GaAs สารเจือปนสำหรับชนิดพีได้แก่ Zn หรือ Be และสารเจือปนสำหรับชนิดเอ็นได้แก่ Te หรือ Si ลักษณะของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็นแสดงในรูปที่ 2.11 โดยที่เนื่องจากการโด๊ปสารเจือปนนั้นจะโด๊ปมาก ดังนั้นระดับพลังงานเฟอร์มิจึงล้าเข้าไปในแถบวาเลนซ์สำหรับชนิดพี และเข้าไปในแถบคอนดักชันสำหรับชนิดเอ็น เราเรียกสารกึ่งตัวนำที่โด๊ปมากเช่นนี้ว่า ดีเจเนอเรต (degenerated semiconductor) เมื่อนำสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดมาสร้างเป็นรอยต่อพี-เอ็นแบบไดโอด จะได้แถบพลังงานดังรูปที่ 2.11 (ก)

ในการกระตุ้นพาหะเพื่อให้เกิดเลเซอร์นั้น จะใช้วิธีจ่ายกระแสไฟฟ้าจากนอกให้ไหลเข้าสู่รอยต่อพีเอ็นโดยป้อนแรงดันไฟฟ้าแบบไบแอสตาม นั่นคือ ป้อนแรงดันบวกเข้าด้านพี และป้อนแรงดันลบเข้าด้านเอ็น จะทำให้แถบพลังงานเปลี่ยนรูปเป็นรูปที่ 2.11 (ข) อิเล็กตรอนจะไหลจาก

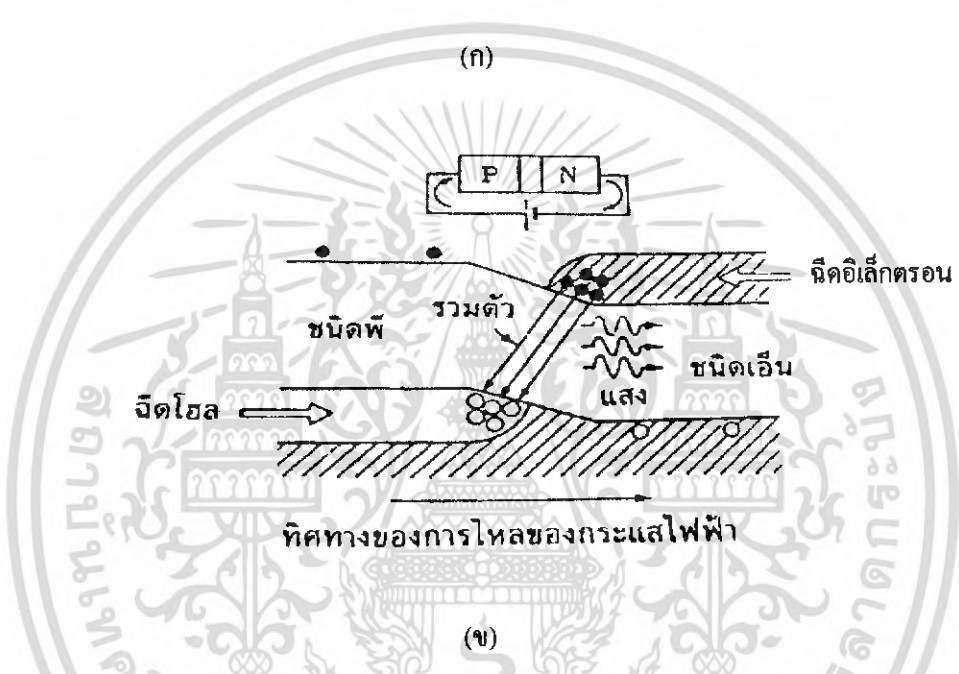
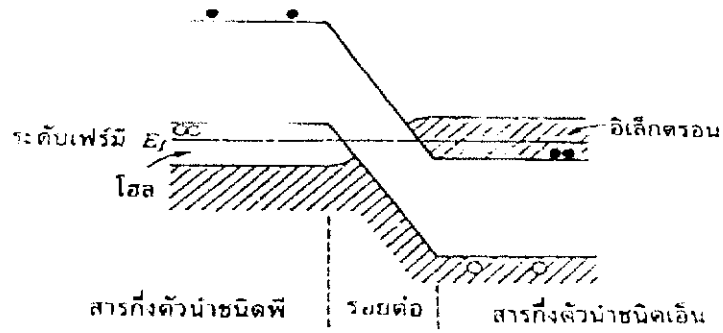


รูปที่ 2.11 ลักษณะของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่โด๊ปสารเจือปนที่มีความเข้มข้นสูงมาก

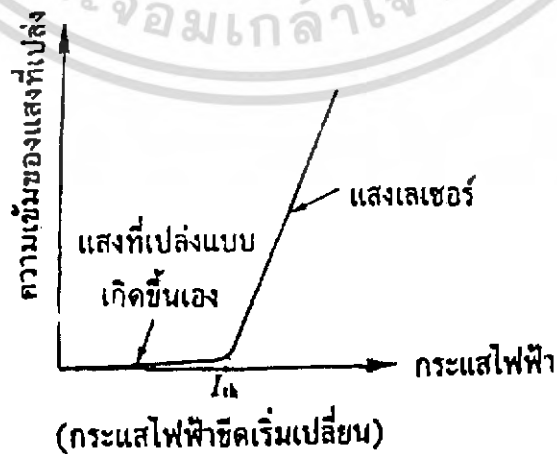
ด้านเอ็นเข้าสู่รอยต่อ และโฮลจะไหลจากด้านพีเข้าสู่รอยต่อ ที่บริเวณรอยต่อจะมีคู่ของอิเล็กตรอนและโฮลเกิดขึ้นจำนวนมาก เมื่ออิเล็กตรอนและโฮลรวมตัวกัน (recombine) จะเกิดการเปล่งแสงออกมาด้วยพลังงานโฟตอนเท่ากับช่องว่างพลังงานของรอยต่อ $E = h\nu$ หลักการเปล่งแสงเช่นนี้คล้ายกับกรณี LED แต่การทำให้เกิดแสงเลเซอร์นั้นจะต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าให้มากเป็นพิเศษดังที่แสดงในรูปที่ 2.12 (ก) ถ้ากระแสไฟฟ้ามีน้อยการเปล่งแสงจะเป็นแบบเกิดขึ้นเอง (spontaneous) และเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าให้สูงกว่ากระแสไฟฟ้าขีดเริ่ม (threshold current ; I) จะเกิดประชากรผกผัน (population inversion) กล่าวคือ ถ้าจำนวนคู่ของอิเล็กตรอนและโฮลมีค่ามากกว่าค่า ๆ หนึ่ง ก็จะทำให้เกิดการรวมตัวของอิเล็กตรอนและโฮลและเกิดการเปล่งแสงแบบเร่งเร็ว (stimulated emission) ที่ด้านข้างภายนอกของรอยต่อพีเอ็นจะถูกออกแบบให้เป็นผิวมันแบบกระจก ให้ทำหน้าที่เป็นออปติคัลเรโซเนเตอร์ (optical resonator) แสงที่สะท้อนกลับไปมาภายในเรโซเนเตอร์นี้จะกลายเป็นแสงเลเซอร์วิ่งออกสู่ภายนอกในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

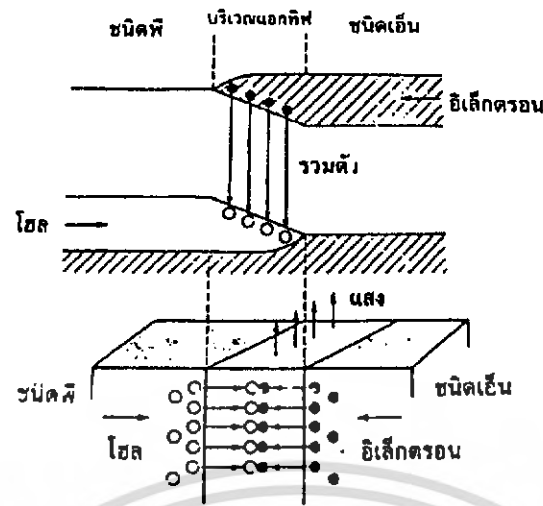
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.12 (ก) รอยต่อพีเอ็นที่ได้ปสารเจือปนที่มีความเข้มข้นที่สูงมาก
 (ข) รอยต่อพีเอ็นที่กำเนิดแสงเลเซอร์ในเลเซอร์ไดโอด



รูปที่ 2.13 ลักษณะสมบัติความสัมพันธ์ของความเข้มแสงและกระแสไฟฟ้าในเลเซอร์ไดโอด
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาเอกสารต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 กลไกการเปล่งแสงเลเซอร์ในเลเซอร์ไดโอดในยุคต้นๆ

ในรูปที่ 2.13 เมื่อเกิดการเปล่งแสงแบบเร่งเร้า กระแสไฟฟ้าเพิ่มอย่างรวดเร็ว เราเรียก กระแสไฟฟ้าที่เริ่มทำให้เกิดการเปล่งแสงแบบเร่งเร้าว่า กระแสไฟฟ้าขีดเริ่ม (threshold current ; I) ในยุคแรก ๆ โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอดเป็นรอยต่อพีเอ็นของวัสดุที่มีช่องว่างพลังงานเท่ากันเรียกว่า รอยต่อแบบโฮโม ซึ่งมีข้อเสียว่าพาหะที่ถูกฉีดเข้าไปนั้นบางตัวแทนที่จะรวมตัวกันแต่จะวิ่งแพร่กระจายไปทั่วทั้งรูปที่ 2.14 ทำให้ประสิทธิภาพของเลเซอร์มีค่าต่ำ และต้องใช้วิธีการฉีดกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์ ต่อมาได้มีการแช่ตัวเลเซอร์ไดโอดลงในไนโตรเจนเหลว (77k) ทำให้การแพร่กระจายของพาหะลดน้อย จึงเกิดเลเซอร์แบบต่อเนื่องได้ ในยุคนี้ตัวเลเซอร์ไดโอดมีขนาดประมาณ $100\mu\text{m} \times 300\mu\text{m}$ อย่างไรก็ตามในยุคแรก ๆ อายุการใช้งานของเลเซอร์ไดโอดยังสั้น

2.6.2 เลเซอร์ไดโอดชนิดรอยต่อดับเบิลเฮเทอโร

ใน ค.ศ. 1963 ได้มีการออกแบบให้เลเซอร์ไดโอดมีโครงสร้างแบบดับเบิลเฮเทอโร (double heterojunction) กล่าวคือใช้วัสดุที่มีช่องว่างพลังงานกว้างประกบชั้นเปล่งแสง (active layer) ซึ่งมีช่องว่างพลังงานแคบกว่า ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนมีค่าลดลง และใน ค.ศ. 1970 สถาบันวิจัยเบลล์ (Bell) ก็ได้ประสบความสำเร็จในการผลิตเลเซอร์ไดโอดชนิดรอยต่อดับเบิลเฮเทอโร ที่สามารถเปล่งแสงเลเซอร์ได้แบบต่อเนื่อง (CW)

ตัวอย่างโครงสร้างของเลเซอร์ไดโอดชนิดรอยต่อดับเบิลเฮเทอโรแสดงในรูปที่ 2.15 ชั้นแอคทีฟซึ่งมีความหนาเพียง $0.1 - 1 \mu\text{m}$ คือ GaAs (มีช่องว่างพลังงาน 1.42 eV) และมี AlGaAs ซึ่งมีช่องว่างพลังงานประมาณ 1.8 eV ประกบอยู่ทั้งด้านบนและล่างของ GaAs อัตราส่วนของ Al:Ga ประมาณ 3:7 เราเรียกชั้น AlGaAs ที่ประกบว่าชั้นแกลด (clad layer)

จากการที่ชั้นแกลดมีช่องว่างพลังงานกว้างกว่าชั้นแอคทีฟ ดังนั้นพาหะที่ถูกฉีดเข้ามาจะถูกกักขังอยู่ในชั้นแอคทีฟซึ่งคล้ายกับการเกิดเป็นบ่อของพาหะดังรูปที่ 2.15(ค) เราเรียกปรากฏการณ์นี้อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในชั้นแอกทีฟซึ่งคล้ายกับการเกิดเป็นบ่อของพาหะดังรูปที่ 2.15(ค) เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “ปรากฏการณ์กักพาหะ” (carrier confinement effect)

ปรากฏการณ์ กักพาหะมีผลช่วยให้เกิดปรากฏการณ์ประชากรผกผันภายในชั้นแอกทีฟได้เป็นอย่างดี จึงทำให้เกิดการเปล่งแสงแบบเร้าได้ง่าย และทำให้กระแสไฟฟ้าชนิดเริ่มเปลี่ยนมีค่าลดลงด้วย

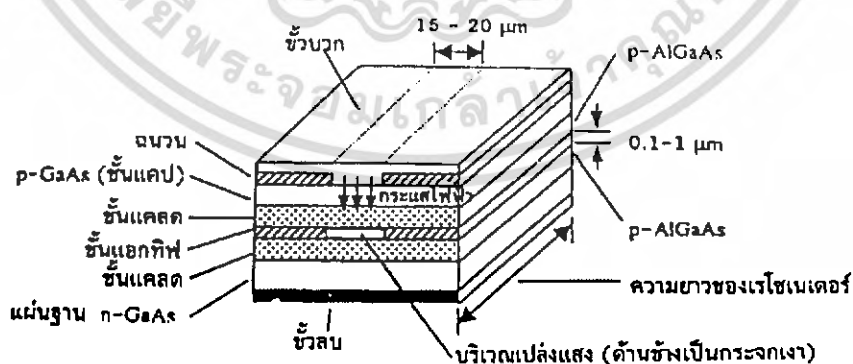
สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งในเลเซอร์ไดโอดชนิดนี้คือ จากรูปที่ 2.15 (ค) ซึ่งออกแบบให้ดัชนีหักเหแสงของ GaAs มีค่ามากกว่าของ AlGaAs ประมาณ 5% ดังนั้นแสงที่เปล่งออกมาจากชั้นแอกทีฟจึงถูกสะท้อนกลับที่รอยต่อระหว่างชั้นแอกทีฟและชั้นแกลด ซึ่งส่งผลให้เลเซอร์มีเอาต์พุตสูงขึ้นด้วยมุมวิกฤติ (θ_c) ที่แสงเลเซอร์จะเล็ดลอดออกมาได้สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\theta_c = \cos^{-1} \left(\frac{1}{1+1.05} \right) = 18^\circ$$

โดยที่ให้ดัชนีหักเหแสงของ AlGaAs เป็นค่าอ้างอิงและมีค่าเท่ากับ 1 และดัชนีหักเหแสงของ GaAs เท่ากับ 1.05

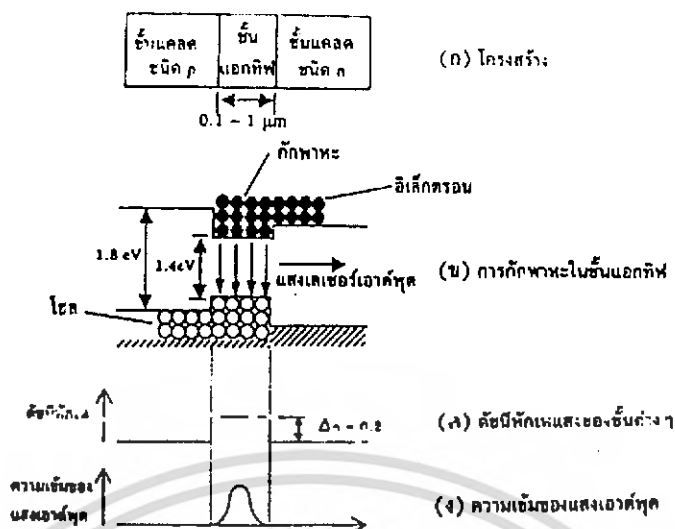
จากสมการนี้ทำให้เราทราบว่า มุมที่แสงจะวิ่งออกมาจากชั้นแอกทีฟมีค่าน้อย ดังนั้นแสงส่วนใหญ่จะถูกกักขังอยู่ในชั้นแอกทีฟ ซึ่งทำให้เกิด “ปรากฏการณ์กักแสง” (optical confinement effect) และทำให้เลเซอร์มีเอาต์พุตสูงขึ้นด้วย

อุปติกัลดเรโซเนเตอร์ในเลเซอร์ไดโอดนั้น โดยทั่วไปไม่ต้องใช้กระจกอะไรพิเศษเพิ่มเติมเข้าไป ทั้งนี้เพราะได้ใช้ขอบผนังด้านข้างของผลึกเป็นกระจกเงาไปในตัวเลย เพราะปกติเวลาดัดผลึก (cleave) จะได้ขอบด้านข้างที่ขนานกันอยู่แล้ว แต่ต้องระวังว่าเมื่อใช้งานไปนาน ๆ ขอบด้านข้างจะเกิดออกไซด์ ทำให้ลักษณะสมบัติของเลเซอร์ไดโอดเลวลง อาจมีการเคลือบด้านข้างเพื่อป้องกันออกไซด์ด้วยฉนวนคาร์บอน หรือ อะลูมิเนียมออกไซด์ หรือ ซิลิคอนออกไซด์



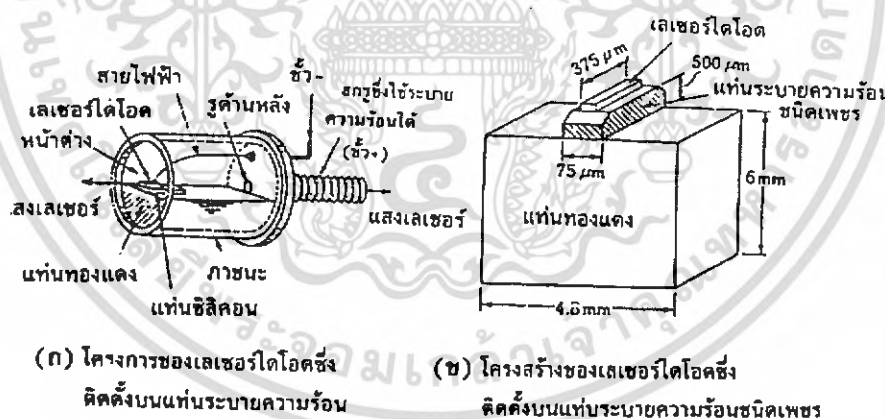
รูปที่ 2.15 โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอดชนิดคัปเบิลเฮเทอโร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 หลักการกักพาหะและการเปล่งแสงในเลเซอร์ไดโอด

ในการใช้งานจริงจะต้องระบายความร้อนให้ออกจากตัวเลเซอร์ไดโอดให้มากที่สุด ในทางปฏิบัติ มีวิธีคือ จะติดตัวเลเซอร์ไดโอดไว้บนแท่นระบายความร้อน (heat sink) ซึ่งได้แก่ แท่นโลหะทองแดงดัดที่แสดงในรูปที่ 2.8 เพราะทองแดงมีค่าสภาพนำความร้อนสูง ระหว่างเลเซอร์ไดโอดและแท่นระบายความร้อนนี้อาจจะแทรกใส่ฉนวนที่นำความร้อนได้ดีไว้ด้วยก็ได้ เช่น แผ่นเพชร เป็นต้น



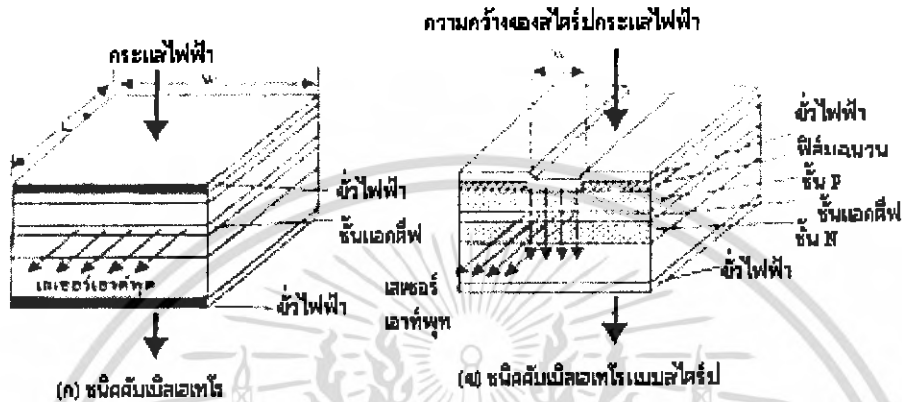
รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการออกแบบแท่นระบายความร้อนสำหรับเลเซอร์ไดโอด

2.6.3 เลเซอร์ไดโอดสร้างสไครป์และรอยต่อแบบดับเบิลเฮเทโร

ดังที่กล่าวมาแล้วนั้นการสร้างเลเซอร์ไดโอดให้มีรอยต่อแบบดับเบิลเฮเทโรจะทำให้กระแสจิดเริ่มเปลี่ยนแปลงและเพิ่มประสิทธิภาพของเลเซอร์ไดโอดได้ อย่างไรก็ตามเอาท์พุทแบบโหมดตามขวาง (Transverse mod) นั้นจะไม่เป็นเชิงกลม แต่จะเป็นมัลติโหมดที่ซับซ้อนและเปล่งแสงเต็มรอยต่อ วิธีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งที่จะช่วยให้เกิดโหมคตามขวางแบบซิงเกิลโหมค และเพิ่มประสิทธิภาพคือ การสร้างให้เลเซอร์ไดโอดมีโครงสร้างแบบสไตรป์ (Stripe structure)

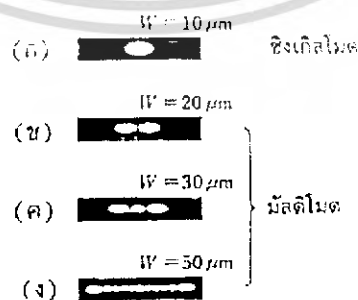
โครงสร้างแบบสไตรป์ แสดงดังรูปที่ 2.18 กล่าวคือได้ออกแบบให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านรอยต่อในบริเวณแคบๆซึ่งออกแบบให้มีรูปร่างแบบแถบ การใช้โครงสร้างนี้จะทำให้กระแสจิดเริ่มเปลี่ยนลดลงและเหลือเพียง 1/10 และเอาต์พุตก็เป็นซิงเกิลโหมคด้วย



รูปที่ 2.18 โครงสร้างเลเซอร์ไดโอดแบบสไตรป์

การสร้าง การทำให้กระแสไฟฟ้าไหลเฉพาะในบริเวณสไตรป์ ทำได้โดยการเคลื่อนฉนวน (เช่น ซิลิคอนออกไซด์ ซิลิคอนไนไตรด์) บางๆ ลงบนผิวด้าน AlGaAs ชนิดพี แล้วจึงกัดฉนวนนี้ออกเพื่อเปิดให้เป็นช่องแคบๆ (stripe) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.18 (ข) ความกว้างของสไตรป์ซึ่งกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมีค่าประมาณ 10-20 μm และยาวประมาณ 200-400 μm

ลักษณะสมบัติเอาต์พุตชนิดโหมคตามขวางจะขึ้นกับกระแสไฟฟ้างแสดงในรูปที่ 2.19 ถ้ากระแสไฟฟ้ายังมีค่าน้อย (ก) จะมีรูปค่อนข้างเป็นวงรีซึ่งอนุโลมได้ว่าเป็นซิงเกิลโหมค แต่เมื่อกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นอัตราขยาย (gain) ของโครงสร้างแบบ (ข) - (ง) จะสูงขึ้นและเอาต์พุตจะเปลี่ยนเป็นมัลติโหมค



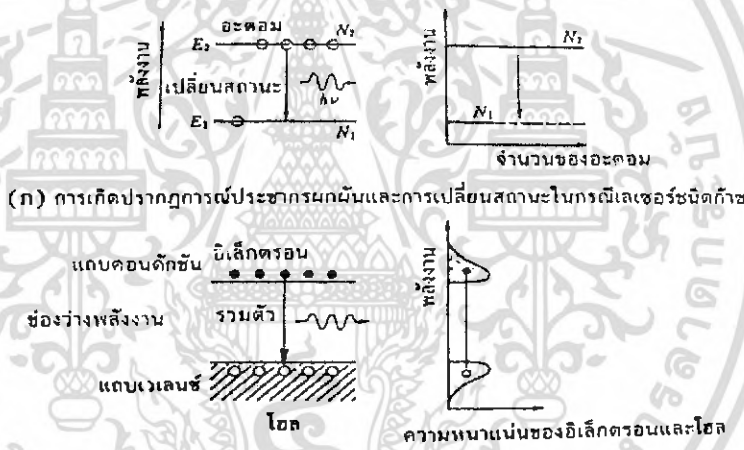
รูปที่ 2.19 ภาพการเปล่งแสงที่มีโหมคแบบตามขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 ลักษณะสมบัติของเลเซอร์ไดโอด

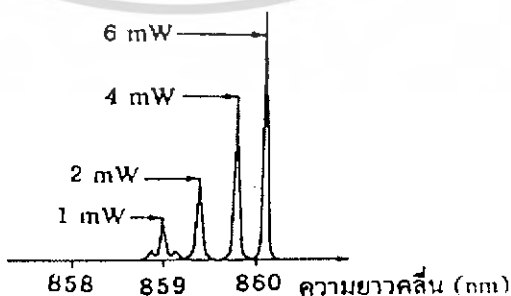
ความยาวคลื่นของแสงเอาต์พุตของเลเซอร์ไดโอดจะถูกกำหนดโดยช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่นำมาผลิตเป็นเลเซอร์ไดโอด แต่เนื่องจากการแจกแจงของอิเล็กตรอนในแถบคอนดักชันและของโฮลในแถบวาเลนซ์มีลักษณะแผ่ออกเป็นแถบกว้างหลายระดับดังที่แสดงในรูปที่ 2.20 (ข) และเนื่องจากการเปลี่ยนสถานะของพาหะเหล่านั้น มิได้เกิดระหว่างขอบล่างสุดของแถบคอนดักชันและขอบบนสุดของแถบวาเลนซ์เท่านั้น ดังนั้นการเปลี่ยนสถานะของพาหะจึงเกิดได้ในลักษณะวงกว้าง จึงทำให้สเปกตรัมของแสงเอาต์พุตมีรูปแผ่กว้างกว่ากรณีของเลเซอร์ชนิดก๊าซ

นอกจากนี้ ถ้าอุณหภูมิของเลเซอร์ไดโอดสูงขึ้นก็จะทำให้การแจกแจงพาหะกว้างขึ้น จึงทำให้สเปกตรัมยิ่งกว้างขึ้นด้วย การเพิ่มกระแสไฟฟ้ามากขึ้น จะทำให้เอาต์พุตสูงขึ้น แต่จะทำให้ชั้นแอกทิฟมีอุณหภูมิสูงขึ้นและช่องว่างพลังงานจะแคบลง และส่งผลให้สเปกตรัมเคลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่ยาวขึ้นได้ดังแสดงดังรูปที่ 2.21 ด้วยเหตุผลเหล่านี้บางครั้งจึงบอกไม่ได้ชัดเจนว่าเลเซอร์ไดโอดที่กำลังใช้งานให้แสงที่มีความยาวคลื่นเท่าใด แต่อาจบอกเป็นย่านกว้างๆ ได้ โดยทั่วไปแล้วการต้องการเลเซอร์ไดโอดย่านความยาวคลื่นเท่าไร สามารถเลือกได้ตามขนาดของช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำตัวแสดงในรูปที่ 2.22 และควรเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานชนิดตรง



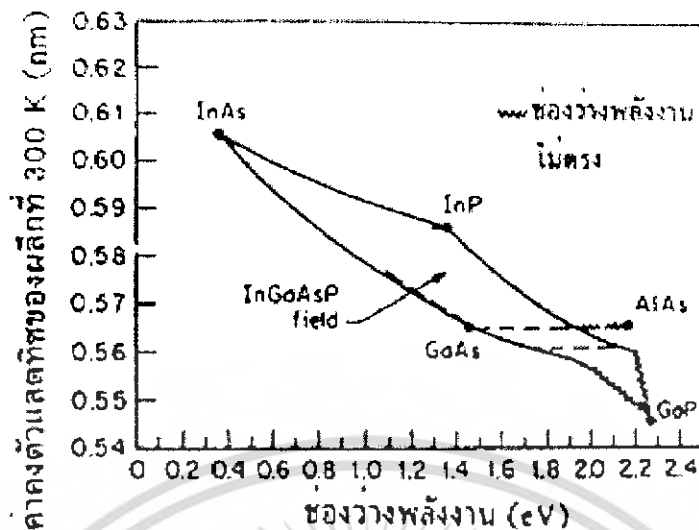
รูปที่ 2.20 เปรียบเทียบการเกิดปรากฏการณ์ประชากรผกผัน เลเซอร์แก๊สและเลเซอร์ไดโอด

การเคลื่อนที่ของความยาวคลื่น



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างสเปกตรัมของแสงเลเซอร์ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มกำลังเอาต์พุตทำให้สเปกตรัม

เคลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่ยาวขึ้น
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงตัวแลตทิซและช่องว่าง

2.6.5 ลักษณะสมบัติกำลังเอาต์พุตและกระแสไฟฟ้า

เราเรียกความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (injection current) ที่ฉีดเข้าสู่เลเซอร์ไดโอดและพลังงานเอาต์พุต (energy output) ว่า ลักษณะสมบัติความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุต (input-output characteristics) ในรูปที่ 2.23 เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้มีความใกล้เคียงค่าช่องว่างพลังงาน จะทำให้กระแสไฟฟ้าเริ่มไหลและจะเริ่มมีแสงเปล่งแบบเกิดขึ้นเองออกมาดังรูปที่ 2.24 และเมื่อกระแสไหลมากขึ้นจนสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนค่าหนึ่งจะเกิดการเลเซอร์ (lasing) และกำลังของแสงเอาต์พุตจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ค่ากระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนนี้จะขึ้นกับอุณหภูมิขณะทำงาน ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้อัตราขยายลดลง และกระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนมีค่าสูงขึ้น

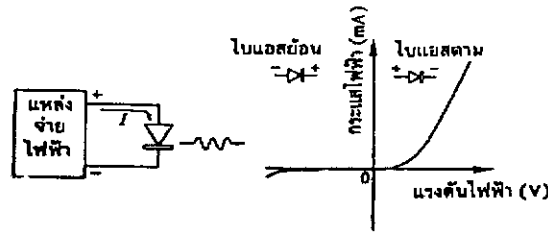
ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยน (I_{th0}) และอุณหภูมิของชั้นแอกทีฟ (T_d) คือ

$$I_{th} = I_{th0} \exp(T_d/T_0)$$

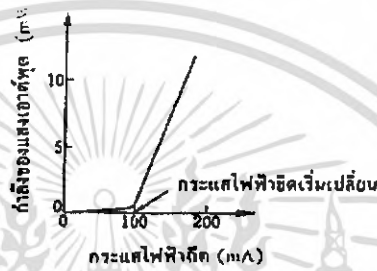
โดยที่ I_{th0} คือ กระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนที่อุณหภูมิห้อง

T_0 คือ ค่าคงตัวที่ขึ้นกับวัสดุ มีชื่อเรียกว่า “อุณหภูมิลักษณะ” (characteristic temperature)

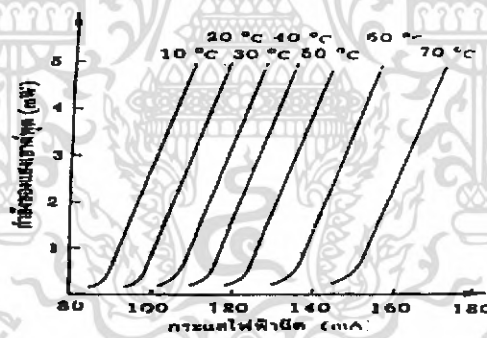
รูปที่ 2.25 แสดงตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนเมื่ออุณหภูมิของเลเซอร์ไดโอดเปลี่ยนแปลง ในทางปฏิบัติเพื่อมิให้กำลังของแสงเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากอุณหภูมิเปลี่ยน ได้มีการออกแบบผลิตให้เลเซอร์ไดโอดมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.26 โดยจะมีโฟโตไดโอดติดอยู่ใกล้ๆ เลเซอร์ไดโอดเพื่อตรวจวัดกำลังของแสงเอาต์พุต และป้อนกลับไปควบคุมให้เลเซอร์ไดโอดเปล่งแสงที่มีกำลังคงที่ตลอดเวลา หลักการที่กล่าวถึงนี้แสดงในรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.23 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าและแรงดันของเลเซอร์ไดโอด

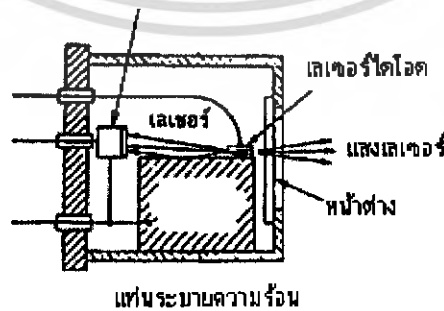


รูปที่ 2.24 ลักษณะสมบัติกำลังของเลเซอร์เอาต์พุตและกระแสที่ฉีดเข้าเลเซอร์ไดโอด



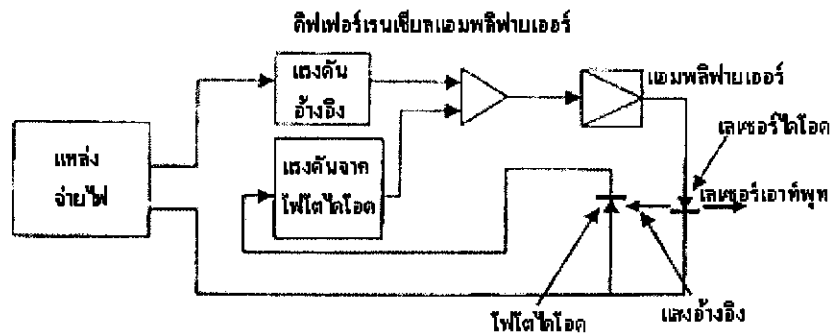
รูปที่ 2.25 การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนอันเนื่องมาจากอุณหภูมิของเลเซอร์ไดโอด

โฟโตไดโอดสำหรับวัดแสง



รูปที่ 2.26 การออกแบบวิธีการควบคุมให้เอาต์พุตของแสงเลเซอร์คงที่ โดยการใช้โฟโตไดโอดที่วางอยู่

ใกล้เลเซอร์ไดโอดเป็นตัวตรวจวัดความเข้มแสงและป้อนข้อมูลไปปรับกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเลเซอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเชิงในเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อผู้ยูตเห็นาเบเซบระเซชันดานการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



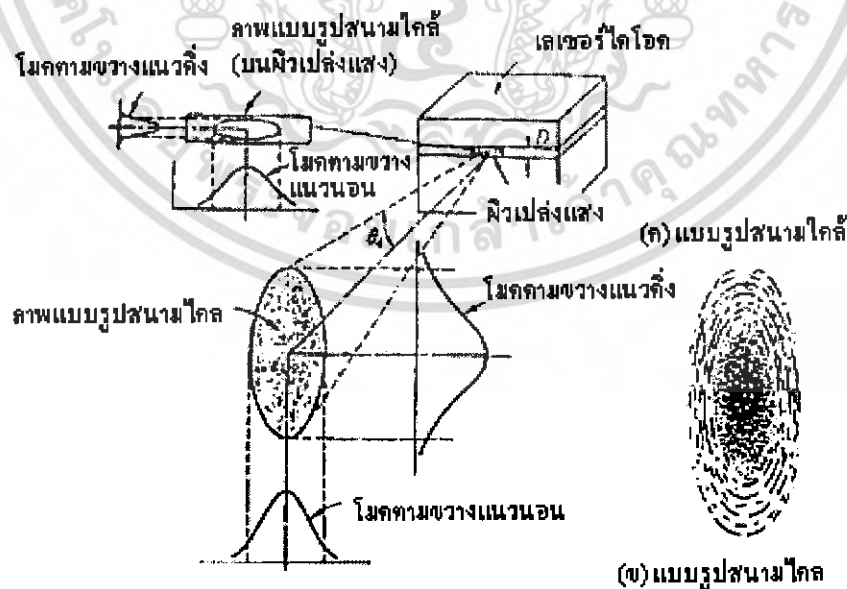
รูปที่ 2.27 การออกแบบวิธีการควบคุมให้เอาต์พุตของแสงเลเซอร์คงที่ โดยการใช้โฟโตไดโอดที่วางอยู่ใกล้เลเซอร์ไดโอดเป็นตัวตรวจวัดความเข้มแสงและป้อนข้อมูลไปปรับกระแสไฟฟ้าที่ฉีดเข้าสู่เลเซอร์ไดโอด

2.6.6 ลักษณะสมบัติของโหมดตามขวาง (Transverse Mode)

โดยทั่วไปเนื่องจากพื้นที่ตัดขวางของบริเวณที่เปล่งแสงของเลเซอร์ไดโอดมีขนาดเล็กมากเพียงหลายสิบลำดับ μm^2 จึงทำให้แสงเอาต์พุตถูกหักเหให้แผ่กว้างออกดังแสดงในรูปที่ 2.20 ถ้าให้ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนตัดขวางของชั้นแอคทีฟ และ θ_d คือความยาวคลื่นแสง จะได้มุมของการบานออกของแสง θ_d เท่ากับ

$$\theta_d = \lambda / D$$

ดังนั้นถ้า D ยิ่งเล็ก มุม θ_d จะยิ่งกว้างขึ้น นอกจากนี้ถ้าส่วนตัดขวางชั้นแอคทีฟมีรูปเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า จะทำให้มุม ในทิศทางด้านสั้นนั้นกว้างออกมากเป็นพิเศษ จึงทำให้ลักษณะของบีมมีรูปเป็นวงรีดังแสดงในรูปที่ 2.28 (ข)



รูปที่ 2.28 วิธีการวัดภาพลำแสงเลเซอร์ (ก) แบบรูปสนามใกล้ (near field pattern) และ (ข) แบบรูปสนามไกล (far field pattern)

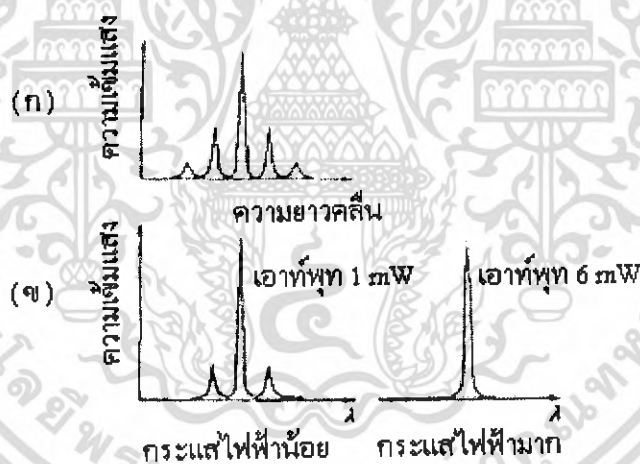
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีโครงสร้างสไตรป์แบบดับเบิลเฮเทโรของ *AlGaAs* นั้น ชั้นแอกทิฟหนาเพียง $0.1\mu\text{m}$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความยาวคลื่นแสงเลเซอร์จะทำให้มุม θ_d มีค่าเกือบ 20 องศา ในกรณีเลเซอร์ไดโอดซึ่งเกิดโหมดตามขวางและชนิดซึ่งเกิดโหมดตามยาว มีการออกแบบให้มุม θ_d มีค่าเพียง 5-10 องศา ลักษณะการสังเกตการเปล่งแสงในรูปที่ 2.28 (ก) เรียกว่าภาพแบบรูปสนามใกล้ (near field pattern) และ (ข) เรียกว่าภาพแบบรูปสนามไกล (far field pattern) (วัดที่ตำแหน่งไกลมากๆ)

2.6.7 ลักษณะสมบัติของโหมดตามยาว (Longitudinal Mode)

ในการทำงานเดียวกันกับเลเซอร์ชนิดอื่นๆ ลักษณะของโหมดตามยาวของเลเซอร์ไดโอดจะขึ้นกับความยาวของออปติคัลเรโซเนเตอร์ (optical resonator length) (เท่ากับผลคูณของความยาวของเลเซอร์ไดโอดและดัชนีหักเหแสง) และความยาวคลื่นแสงเลเซอร์ ตัวอย่างเช่น ถ้าเลเซอร์ไดโอดยาว 0.1-0.3 mm และเส้นสเปกตรัมกว้างประมาณ 2-3 nm จะทำให้เกิดโหมดตามยาวจำนวนหลายเส้นดังแสดงดังรูปที่ 2.29 (ก) ซึ่งเรียกว่ามัลติโหมด (multi-mode)

ส่วนในกรณีเลเซอร์ไดโอดโครงสร้างทางนำแสงและสไตรป์จะมีซึ่งเกิดโหมดตามยาว ถ้ากระแสไฟฟ้ามีค่าน้อยๆ สเปกตรัมอาจเป็นมัลติโหมด แต่ถ้ากระแสไฟฟ้ามีค่ามากๆ จะกลายเป็นซึ่งเกิดโหมดคั้งที่แสดงในรูปที่ 2.29 (ข)



รูปที่ 2.29 สเปกตรัมของเลเซอร์ที่มีโหมดแบบตามยาว (ก) มัลติโหมด และ (ข) ซึ่งเกิดโหมด

2.6.8 เลเซอร์ไดโอดที่เปล่งแสงที่ตามองเห็น

เลเซอร์ไดโอดที่ใช้งานในการสื่อสารเป็นชนิดเปล่งแสงย่านอินฟราเรดซึ่งตาคนมองไม่เห็น นิยมใช้ย่าน $1.3-1.5\mu\text{m}$ ทั้งนี้เพราะเส้นใยนำแสงจะนำแสงได้ดีที่สุดในย่านนี้ ทำให้การสูญเสียสัญญาณน้อยที่สุด แต่ในการใช้งานบางอย่างมีความจำเป็นต้องใช้แสงเลเซอร์ที่ตามองเห็น เช่น การใช้งานในเครื่องเลเซอร์ดีสก์ บาร์โค้ด เครื่องพิมพ์ชนิดเลเซอร์ ทั้งนี้เพราะถ้าตามองเห็นแสง จะสะดวกต่อการสังเกตและปรับแต่งลำแสงตามที่ต้องการ และที่สำคัญการที่ความยาวคลื่นแสงสั้นลงนั้น จะทำให้สามารถปรับจุดโฟกัสได้คมและเล็ก ทำให้สามารถอ่านและบันทึกข้อมูลได้มากขึ้น นอกจากนี้วัสดุไวแสงส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มักจะไวต่อแสงที่ตามองเห็น ดังนั้นปัจจุบันความต้องการเลเซอร์ไดโอดที่เปล่งแสงที่ตามองเห็นจึงเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

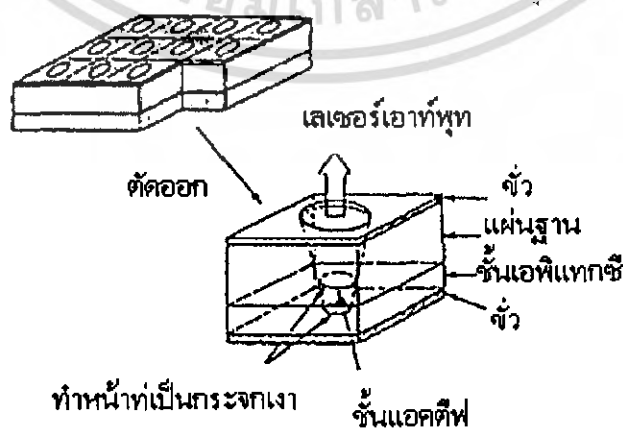
ตัวอย่างวัสดุสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานกว้างพอที่จะเปล่งแสงที่ตามองเห็น ได้แก่ $Al_xGa_{1-x}As$ โดยถ้ามีส่วนผสมของ Al มากก็จะยิ่งทำให้ช่องว่างพลังงานกว้างขึ้น โครงสร้างที่ใช้เป็นชนิดคัมเบิลเฮเทโร โดยชั้นแคดคือ $Al_xGa_{1-x}As$ และชั้นแอกทีฟคือ $Al_yGa_{1-y}As$ และ $x > y$ เช่นถ้าให้ $y = 0.16$ และ $x = 0.5$ จะได้แสงเลเซอร์ย่าน 740-780 nm ตรงกับย่านสีแดง

โดยหลักการแล้ว ถ้าเพิ่มอัตราผสมของ Al (ค่า y) อีก ก็อาจได้แสงสีส้ม สีเขียว แต่ในทางปฏิบัติถ้า y มีค่ามากกว่า 0.2 วัสดุนี้จะเริ่มเปลี่ยนสภาพจากการมีช่องว่างพลังงานชนิดตรงไปเป็นช่องว่างพลังงานชนิดไม่ตรง ทำให้กระแสไฟฟ้าจืดเริ่มเปลี่ยนสูงขึ้นมาก และประสิทธิภาพของการเปล่งแสงเลเซอร์จะลดลงในที่สุดก็จะไม่เป็นแสงเลเซอร์อีกต่อไป นอกจากนี้ทางด้านชั้นแคดนั้น ถ้า x มีค่ามากกว่า 0.5 ก็จะทำให้เกิดความแตกต่างของสัมประสิทธิ์การขยายตัวอันเนื่องมาจากความร้อนระหว่างชั้นแอกทีฟและชั้น แคดมากขึ้น ซึ่งอาจทำให้ก้อนผลึกแตกหักได้ง่าย ดังที่กล่าวมานี้ก่อนข้างยากที่จะผลิตเลเซอร์ไดโอดความยาวคลื่นสั้นๆ ด้วยวัสดุ $AlGaAs$

2.6.9 เลเซอร์ไดโอดชนิดเปล่งแสงจากผิวระนาบ

เลเซอร์ไดโอดชนิดเปล่งแสงจากผิวระนาบได้แก่เลเซอร์ไดโอดที่เปล่งแสงให้พุ่งออกในทิศทางตั้งฉากกับแผ่นฐาน (substrate) ปัจจุบันมีรายงานความสำเร็จในระดับการวิจัยแล้ว แต่ยังไม่มีการผลิตออกขาย ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.30 ใช้วัสดุตระกูล GaAs และ AlGaAs ชั้นแอกทีฟมีรูปร่างทรงกรวยเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ $6 \mu\text{m}$ ที่ผิวด้านบนและด้านล่างของเลเซอร์ไดโอดมีการเคลือบด้วยฟิล์มบางหลายๆ ชั้นของ SiO_2 และ TiO_2 เพื่อประกอบเป็นออปติคัลเรโซเนเตอร์ กระแสไฟฟ้าจืดเริ่มเปลี่ยนมีค่าประมาณ 6 mA และใช้งานได้ทั้งชนิดพัลส์และ CW ถ้าแสงเอาต์พุตมีเส้นผ่านศูนย์กลางระดับ μm เป็นซิงเกิลโหมดและโคฮีเรนท์ก็ค่อนข้างดี

คุณสมบัติเด่นของเลเซอร์ไดโอดชนิดเปล่งแสงจากระนาบนี้คือ 1) บีมเอาต์พุตที่ถูกสะท้อนให้วิ่งกลับมา จะไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงาน 2) บีมเอาต์พุตเป็นรูปกลมชนิดซิงเกิลโหมดตามขวาง จึงเหมาะกับการใช้งานในเลเซอร์ดิสก์และคอมแพคต์ดิสก์ได้เป็นอย่างดี

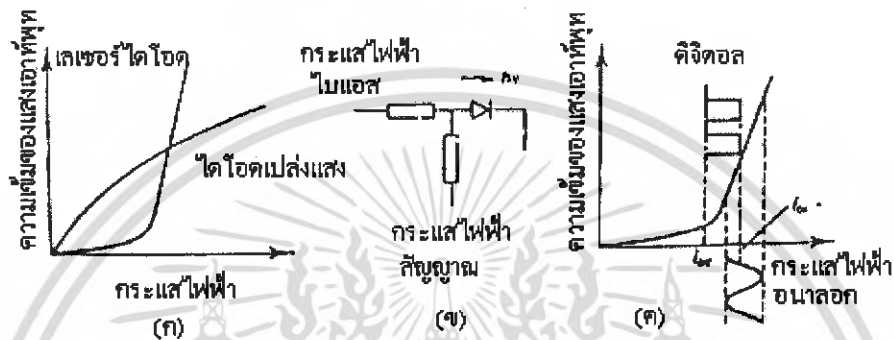


รูปที่ 2.30 โครงสร้างของเลเซอร์ไดโอดที่เปล่งแสงจากผิวระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.10 การขับเลเซอร์ไดโอด

ความแตกต่างระหว่างการขับไดโอดเปล่งแสง (LED) และเลเซอร์ไดโอด (LD) ได้แก่ ความสว่างของไดโอดเปล่งแสงนั้นเพิ่มขึ้นแบบค่อนข้างจะเป็นเชิงเส้นกับกระแสไฟฟ้านิด ในขณะที่ความสว่างของเลเซอร์ไดโอดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่กระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนดังที่แสดงในรูปที่ 2.31 (ก) การใช้งานเลเซอร์ไดโอดแบบคิวิตอลจะต้องใช้กระแสไฟฟ้าที่ต่ำกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนเมื่อต้องการสัญญาณ "0" การใช้งานเลเซอร์ไดโอดแบบแอนะล็อกจะต้องใช้กระแสไฟฟ้าที่สูงกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนเสมอดังที่แสดงในรูปที่ 2.31 (ค) โดยทั่วไปแล้วการใช้งานเลเซอร์ไดโอดแบบทั้งสองกรณีจะต้องมีกระแสไฟฟ้าไบแอสเลี้ยงไว้ตลอดเวลาตามที่แสดงในรูปที่ 2.31 (ข)



รูปที่ 2.31 (ก) ลักษณะสมบัติเอาต์พุตของไดโอดเปล่งแสงและเลเซอร์ไดโอด
(ข) วงจรสมมูลการขับเลเซอร์ไดโอดมีการไบแอสกระแสไฟฟ้าเลี้ยง
(ค) การออกแบบการขับเลเซอร์ไดโอดแบบคิวิตอลและอนาล็อก

2.6.11 การประวิงเวลาก่อนการเล็ง

ปกติเมื่อเลเซอร์ไดโอดได้รับกระแสไฟฟ้าพัลส์ไม่ว่าจะเริ่มจากตอนไม่มีกระแสไฟฟ้าเลยหรือเริ่มจากระดับต่ำกว่าขีดเริ่มเปลี่ยนเล็กน้อย เลเซอร์ไดโอดจะต้องใช้เวลาระยะหนึ่งในการรวบรวมโฟตอนเพื่อให้เกิดการเปล่งแสงแบบเร่งเร็ว เวลาที่ใช้ดังกล่าวเรียกว่า เวลาประวิง (turn-on delay time) ในช่วงเวลาที่กระแสไฟฟ้าคิวิตมีค่าน้อยกว่าขีดเริ่มเปลี่ยน เลเซอร์ไดโอดจะมีคุณสมบัติแบบไดโอดเปล่งแสงและสามารถแสดงพฤติกรรมได้ด้วยสมการอัตรา (rate equation)

2.6.12 อิทธิพลของอุณหภูมิ

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่ากระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนของเลเซอร์ไดโอดเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้กระแสไฟฟ้าขีดเริ่มเปลี่ยนมีค่าสูงขึ้นการขับเลเซอร์ไดโอดโดยการไบแอสกระแสไฟฟ้าไว้ที่ใกล้ขีดเริ่มเปลี่ยนจะช่วยให้อุณหภูมิของเลเซอร์ไดโอดคงที่และแม้จะฉีดกระแสไฟฟ้าเพื่อให้เกิดการเล็งก็จะไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มมากเท่าใดนัก

2.6.13 การใช้งานเลเซอร์ไดโอด

เนื่องจากเลเซอร์ไดโอดทั่วไปมีการตอบสนองเร็วมาก (มากกว่า 1 GHz) และแรงดันที่ใช้งานมีค่าต่ำ (โดยทั่วไปประมาณ 2 โวลต์) ดังนั้นเลเซอร์ไดโอดจึงเกิดการเสียหายได้ง่าย โดยมีสาเหตุมาจากคลื่นเอกสารถับเป็นเอกสารถับสวงนเวสสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานน ไมออนุญาตให้เข้าไปไซบะระโยชนดานการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงแบบช่วงสั้น (surge currents) อันเนื่องมาจากการเกิดไฟฟ้าสถิต (electrostatic) และเมื่อกระแสที่ไหลผ่านเลเซอร์ไดโอดมีค่ามากกว่าขีดจำกัดของเลเซอร์ไดโอดเอง กำลังแสงที่ออกมาจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากส่งผลทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์

2.6.14 ข้อควรระวังเมื่อมีการสัมผัสเลเซอร์ไดโอด (Handling Precautions for Laser Diodes)

การป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิต (Electrostatic surge prevention) เนื่องจากเลเซอร์ไดโอดมีความไวต่อการเกิดไฟฟ้าสถิตสูง (มากกว่าอุปกรณ์ประเภท CMOS) ด้วยเหตุนี้จึงต้องคำนึงถึงเรื่องการป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิตด้วย และเมื่อต้องสัมผัสกับเลเซอร์ไดโอดควรปฏิบัติดังนี้

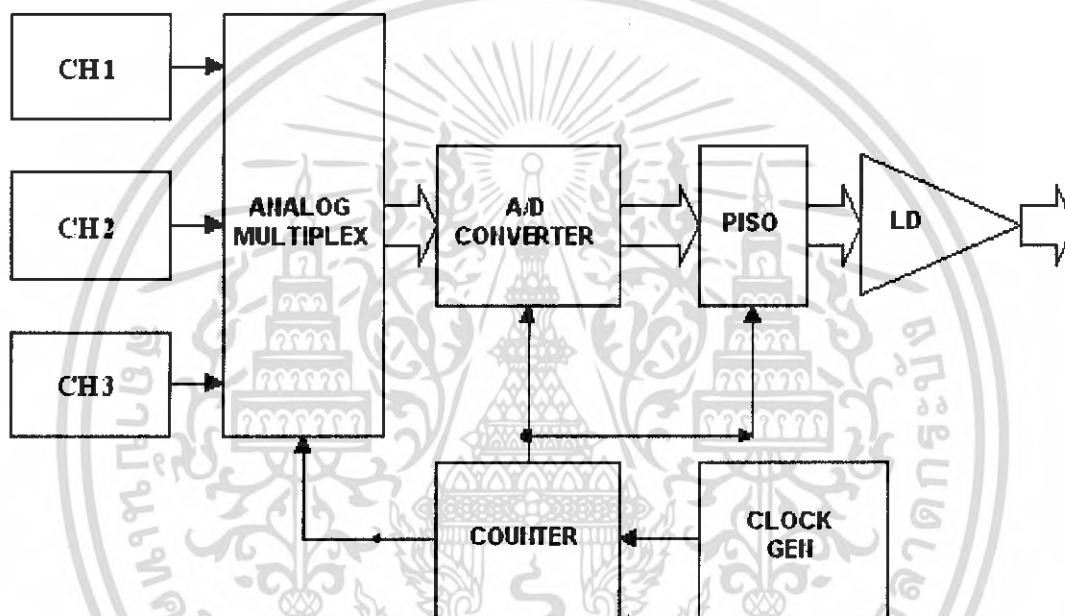
1. เมื่อใช้โต๊ะม้านั่งและพื้นปูที่เป็นสื่อนำไฟฟ้าในการปฏิบัติงานจะต้องต่อสายผ่านตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทาน 1 เมกะโอห์มลงสู่สายดิน
2. เมื่อมีการสัมผัสกับเลเซอร์ไดโอดจะต้องใช้ห่วงรัดข้อมือต่อผ่านตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทาน 1 เมกะโอห์มลงสู่สายดิน
3. ต่ออุปกรณ์ที่ใช้งานทุกอย่างรวมทั้งหัวแร่ที่ใช้บัดกรีลงสู่สายดินด้วย

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

3.1 ภาคส่ง

สำหรับบทนี้จะนำทฤษฎีต่างๆ ที่ได้กล่าวมาในบทที่แล้ว มาทำการสร้างและออกแบบวงจรซึ่งจะได้อธิบายลงลึกถึงส่วนต่างๆ อย่างละเอียด ในส่วนของภาคส่ง เองก็มีการทำงานตามเงื่อนไขหรือคุณสมบัติที่ต้องการ โดยระบบการทำงานของวงจรจะเป็นไปตามบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 3.1 ข้างล่างนี้ และจากบล็อกไดอะแกรมสามารถกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ได้ดังนี้

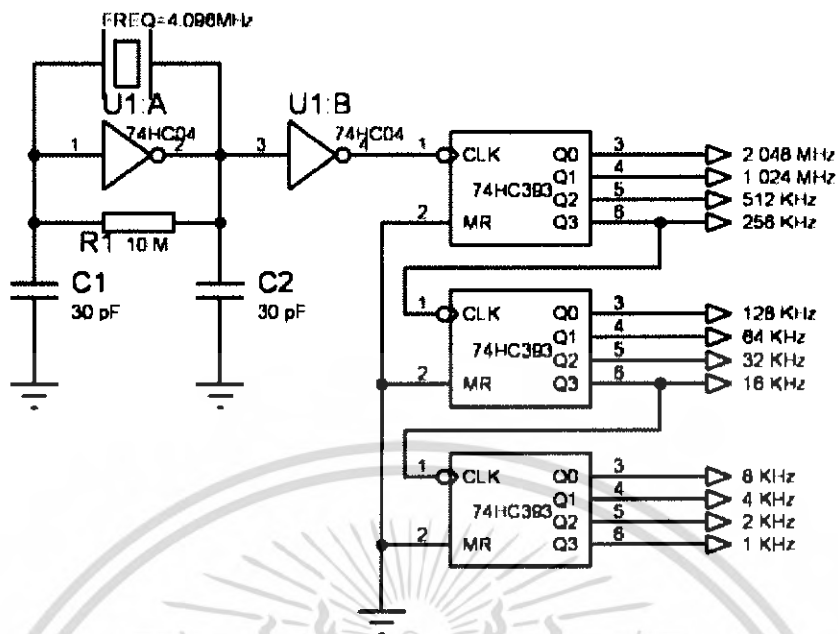


รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมภาคส่ง

3.1.1 วงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา

วงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาได้ใช้ไอซี CMOS เบอร์ 74HC04 มาสร้างวงจรออสซิลเลเตอร์ซึ่งเป็นแบบคริสตัลออสซิลเลเตอร์(Crystal Oscillator) ดังรูปที่ 3.1 สัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณพัลส์ที่เหลี่ยมความถี่ 4.096 MHz เมื่อออสซิลเลเตอร์ได้แล้วจะส่งต่อไปให้อินเวอร์เตอร์เกตอีกตัวหนึ่งซึ่งทำหน้าที่เป็น บัฟเฟอร์จากนั้นส่งต่อไปให้อิซีนับความถี่เบอร์ 74HC393 ซึ่งเป็น Binary Counter เอาท์พุทที่ได้จาก 74HC393 จะประกอบด้วยความถี่ต่างๆ ดังนี้ คือ 2.048 MHz, 1.024 MHz, 512 KHz, 256 KHz, 128 KHz, 64 KHz, 32 KHz, 16 KHz, 8 KHz, 4 KHz, 2 KHz และ 1 KHz สัญญาณต่างๆ เหล่านี้จะถูกนำไปควบคุมการทำงานในวงจรซีพรีจิสเตอร์วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลและวงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณ

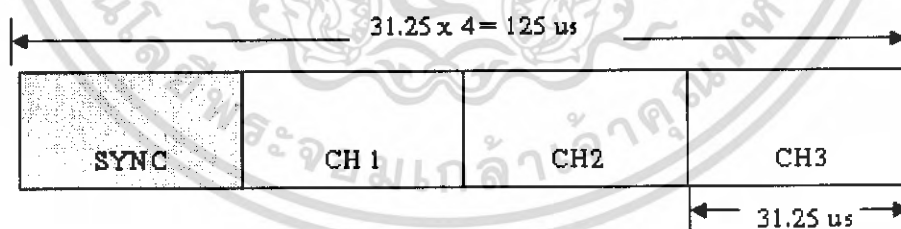
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 วงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา

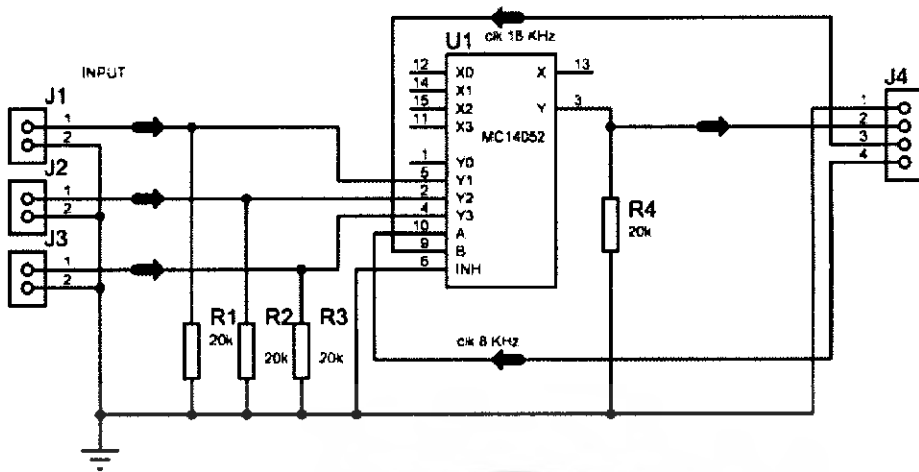
3.1.2 วงจรมัลติเพล็กซ์

วงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณที่ใช้จะเป็นแบบ TDM (Time Division Multiplex) ซึ่งเป็นการนำเอาสัญญาณเสียง ช่วงความถี่ 300-3400 Hz จำนวน 3 ช่องสัญญาณเป็นอินพุตให้กับวงจร โดยใน 1 เฟรมของสัญญาณที่ได้จะแบ่งออกเป็น 4 บล็อก ซึ่งแต่ละบล็อกจะมีช่วงเวลาเท่ากับ 31.25 us เมื่อรวมกันทั้ง 4 บล็อกแล้วจะได้เท่ากับเวลาที่ใช้ไปใน 1 เฟรม โดยอีกหนึ่งบล็อกที่เพิ่มเข้ามามีไว้สำหรับใช้เป็นช่องสัญญาณซิงโครไนซ์ ดังนั้นใน 1 เฟรมจะใช้เวลา



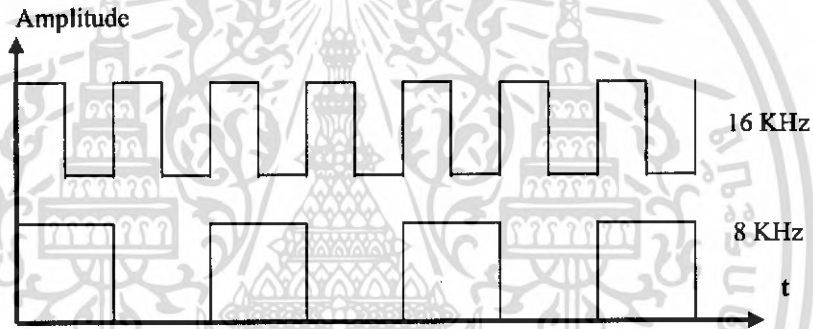
รูปที่ 3.3 แสดงเฟรมของข้อมูล

ในการออกแบบวงจรนั้นได้ใช้ไอซีอนาล็อกมัลติเพล็กซ์ เบอร์ MC14052 ซึ่งเป็นไอซีมัลติเพล็กซ์ขนาด 4:1 ทำการป้อนสัญญาณเสียงเข้าที่อินพุต ขา 2, 4 และ 5 เอาท์พุทออกที่ ขา 3 สัญญาณที่เอาท์พุทนี้จะเป็นสัญญาณอนาล็อกที่ได้จากการสุ่มสัญญาณเสียง สำหรับการเลือกช่องสัญญาณนั้นจะควบคุมโดยการใช้นาฬิกาความถี่ 16 KHz และ 8 KHz เป็นตัวควบคุมป้อนเข้าที่ขา 9 และขา 10 ตามลำดับ จากนั้นเมื่อได้สัญญาณเอาท์พุท TDM แล้วก็จะส่งไปยังวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ในวงจำกัดโดยไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรมัลติเพล็กซ์

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นว่าใช้ขา Control เพียง 2 ขา คือ A และ B ซึ่งจะมี ไดอะแกรมการทำงานของสัญญาณควบคุมดังรูปที่ 3.5 สัญญาณอินพุตจะถูกเลือกเข้ามาทีละ 1 ช่องหมุนเปลี่ยนกันไปเรื่อยๆดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.5 แสดงสัญญาณนาฬิกาควบคุมการทำงานของ IC เบอร์ MC 14052

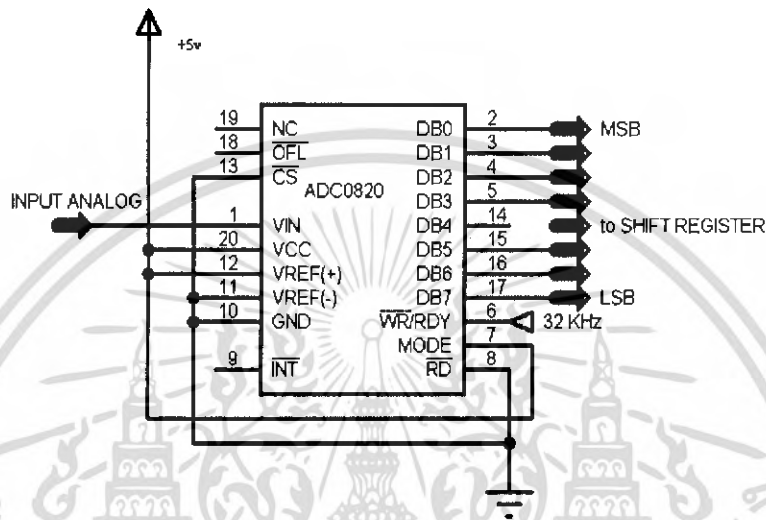
A	B	Output
0	0	
0	1	CH1
1	0	CH2
1	1	CH3

ตารางที่ 3.1 แสดงตารางความจริงของ MC14052

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter)

จากการที่สัญญาณแต่ละช่องสัญญาณต้องถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลภายในเวลา 31.25 us และพร้อมที่จะรับสัญญาณช่องต่อไป จึงเลือกใช้ ไอซีแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล เบอร์ ADC0820 ซึ่งเป็น 8 Bit A/D Converter ความเร็วสูง มีความเร็วในการแปลงประมาณ 1.5 us จากวงจรรูปที่ 3.6 ขา 12 ซึ่งเป็นขาแรงดันอ้างอิง ต่อไว้กับแรงดัน Vcc 5 v โดยที่ ADC0820 มีจำนวนเอาต์พุตทั้งหมด 8 บิต นั้นหมายความว่า A/D converter นี้สามารถแบ่งระดับแรงดันอินพุตได้ละเอียดสุด 256 ระดับ ($2^8 = 256$) ดังนั้นแต่ละระดับจะมีความแตกต่างกัน เท่ากับ $5/256 = 19.531 \text{ mV}$



รูปที่ 3.6 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล

สัญญาณที่ได้รับการมัลติเพล็กซ์แล้วจะป้อนเข้าที่ขา 1 ของ ADC 0820 ซึ่งภายใน ADC 0820 จะมีวงจร Sample and Hold อยู่ภายในตัวแล้ว เมื่อสัญญาณที่ขา 6 active (เปลี่ยนสถานะจาก High เป็น Low) ADC0820 จะเริ่มทำการแปลงสัญญาณ จะเห็นได้ว่าความถี่ที่ใช้ในควบคุมการแปลงสัญญาณจะเป็น 32 kHz เนื่องจากสัญญาณที่เข้ามาในแต่ละช่องมีช่วงเวลา 31.25 us เท่า ๆ กัน ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สั้นมากดังนั้นสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ควบคุม จึงต้องมีความถี่สูงพอที่จะทำให้สามารถตรวจเช็ค Amplitude ของสัญญาณในช่วงนี้ได้ทันนั้นคือสาเหตุที่ทำให้ต้องใช้ สัญญาณนาฬิกาความถี่ 32 KHz

3.1.4 วงจรเปลี่ยนข้อมูลจากขนานเป็นอนุกรม (Parallel in Serial Out: PISO)

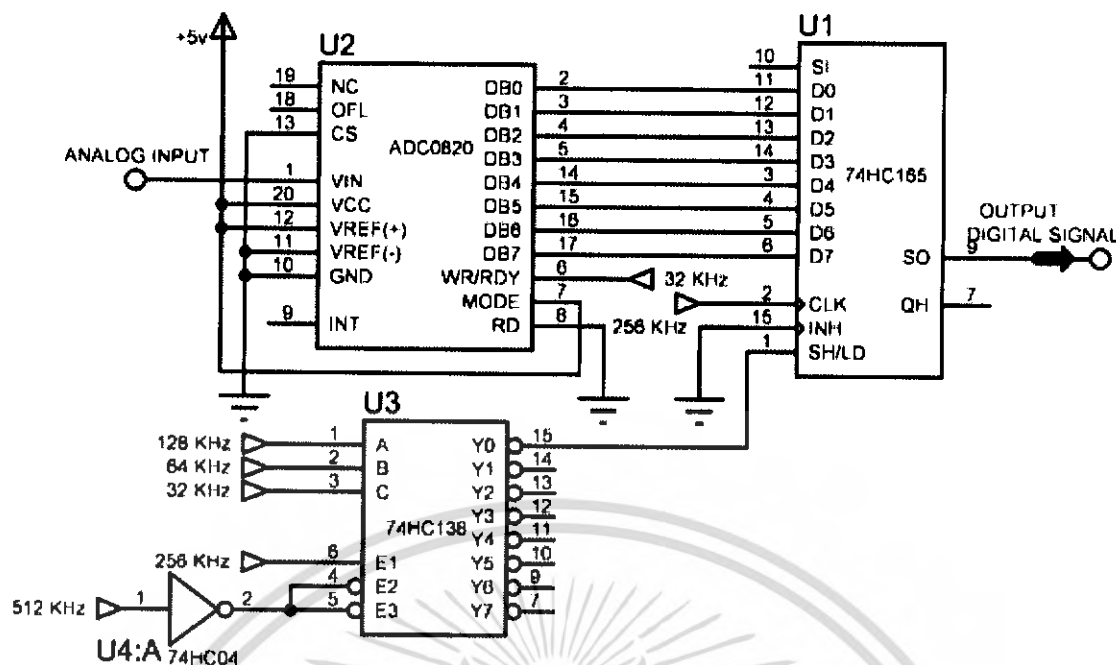
วงจร PISO ในโครงการนี้ใช้ IC เบอร์ 74HC165 ซึ่งเป็น Parallel-Load 8 Bit Shift Register ซึ่งข้อมูลที่เข้ามาทางอินพุตเป็นแบบขนาน 8 บิต จะถูกโหลดเข้ามาพร้อมกัน และจะทยอยส่งออกไปทีละบิต โดยส่งบิตที่สำคัญสูงสุด (MSB) ออกไปเป็นบิตแรก และเรียงตามลำดับไปจนถึงบิตต่ำสุด (LSB) โดยข้อมูลที่ทำการส่งถูกสุ่มสัญญาณที่มีความเร็ว 8,000 ครั้ง/วินาที แต่แต่ละครั้งได้ข้อมูล 8 บิต ดังนั้นใน 1 ช่องสัญญาณมีอัตราการส่งข้อมูลเท่ากับ

$$8,000 \times 8 = 64 \text{ Kbits / Sec}$$

ดังนั้นเมื่อทำการส่งข้อมูล 4 ช่องสัญญาณจึงเป็นการส่งข้อมูลทั้งหมดด้วยความเร็ว

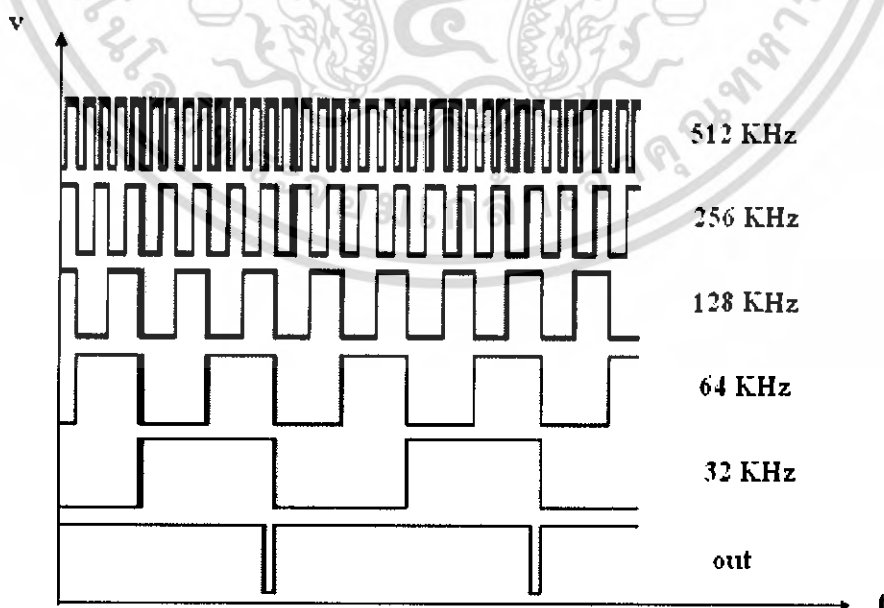
$$(64 \text{ Kbits / Sec}) \times 4 = 256 \text{ Kbits / Sec}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 วงจรเปลี่ยนข้อมูลขนานเป็นอนุกรม

ซึ่งความเร็วที่ใช้ทำการส่งนี้จะบ่งบอกถึงความถี่ของสัญญาณนาฬิกา ที่จะนำมาใช้ในการควบคุมไอซี 74HC165 เพื่อให้สามารถส่งข้อมูล ออกไปได้ครบถ้วนถูกต้อง ในการควบคุมการทำงานของตัว ไอซีชิพรีจิสเตอร์ 74HC 165 ซึ่งเป็นชิพรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต จะใช้ไอซีเบอร์ 74 HC 30 ซึ่งเป็นแอนเกต 8 อินพุต เป็นตัวสร้างสัญญาณควบคุม โดยการนำสัญญาณนาฬิกาความถี่ 512 KHz ,256 KHz, 128 KHz ,64 KHz และ 32 KHz ป้อนเข้าที่อินพุต ขา 4 ,5,6,11และ12 ตามลำดับ ส่วนขาอินพุตอีก 3 ขา คือ ขา 1,2,และ3 จะต่อเข้ากับแรงดัน +Vcc ดังวงจร



รูปที่ 3.8 แสดงไคอะแกรมการสร้างสัญญาณควบคุมที่ขา 1 ของ 74HC165

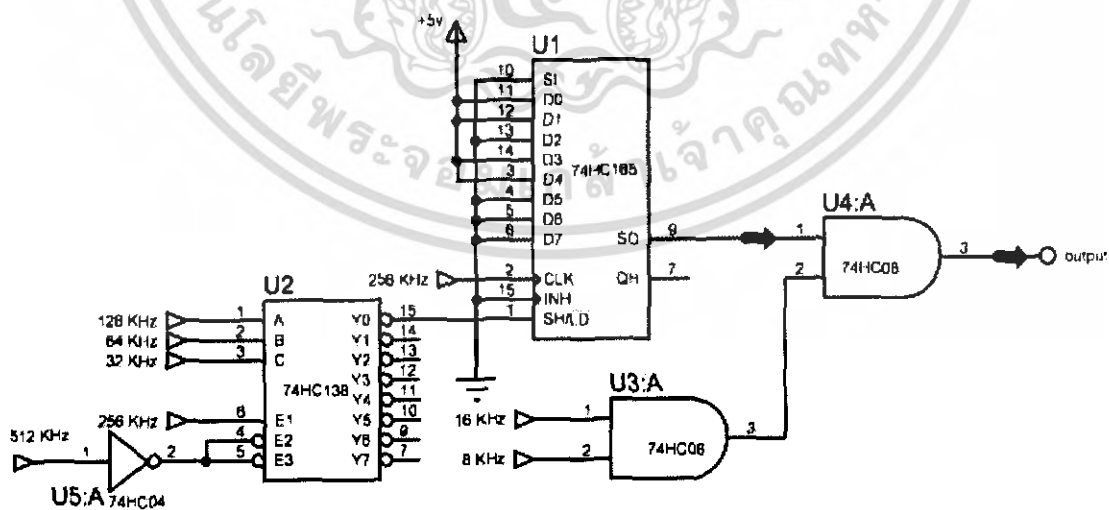
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 วงจรสร้างสัญญาณซิงโครไนซ์

ในการออกแบบ TDM 4 ช่องสัญญาณ เราใช้ช่องสัญญาณ 1 ใน 4 ช่องส่งเป็นสัญญาณซิงโครไนซ์ โดยได้กำหนดบิตซิงโครไนซ์ขึ้นมาทั้งหมดจำนวน 8 บิต คือ 00011011 และใส่เข้าไปในช่องสัญญาณคั้งเฟรมข้อมูล รูปที่ 3.3 ในการออกแบบวงจรได้ใช้ไอซีเบอร์ 74HC165 ซึ่งเป็นไอซีชิฟต์รีจิสเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่รับข้อมูลเข้ามาแบบขนานที่ขา D₀-D₇ เพื่อนสัญญาณอินพุตตามบิตซิงโครไนซ์ที่กำหนดไว้คงที่ตลอดเวลา และใช้สัญญาณควบคุมเดียวกันกับวงจรชิฟต์รีจิสเตอร์ในส่วนของบิตข้อมูลคั้งรูปที่ 3.7 เพื่อให้ได้ความเร็วในการส่งออกและช่วงเวลาการชิฟ/โหลตที่เท่ากันคือ 256 Kbits/Sec บิตซิงโครไนซ์จะถูกส่งออกต่อเนื่องกันไปติดต่อกันไปเมื่อมีสัญญาณนาฬิกาเข้ามา ข้อมูลที่ได้จากเอาต์พุตจะเป็น

000110110001101100011011

เมื่อได้ข้อมูลเอาต์พุตซิงโครไนซ์แล้ว ข้อมูลนี้จะถูกนำไปผ่านกระบวนการควบคุมให้ส่งออกให้ตรงช่องสัญญาณซิงโครไนซ์ที่ได้กำหนดไว้ โดยนำไป AND กับสัญญาณควบคุมคั้งวงจรรูปที่ 3.8 ซึ่งจากสัญญาณควบคุม ได้กำหนดให้ส่งออกในช่องสัญญาณแรกแล้วเว้นไปอีก 3 ช่องสัญญาณแล้วค่อยกลับมาส่งซ้ำใหม่อีกครั้ง ส่วนทางด้านสัญญาณข้อมูลเสียงก็จะถูกควบคุมให้ส่งเฉพาะช่องสัญญาณข้อมูลเสียงที่เว้นไว้ 3 ช่องเหมือนกันโดยการนำข้อมูลไป AND กับสัญญาณควบคุมที่ตรงข้ามกับสัญญาณควบคุมการส่งสัญญาณซิงโครไนซ์ จากนั้นสัญญาณเอาต์พุตข้อมูลและสัญญาณเอาต์พุตซิงโครไนซ์จะถูกนำไป OR กันจะได้เอาต์พุตออกมาคั้งเฟรมข้อมูลรูปที่ 3.3 โดยจากวงจรมีการต่อ D-Flip Flop ไว้ที่เอาต์พุตของ 74HC165 เพื่อเป็นตัววัดขนาดความกว้างของบิตข้อมูลแต่ละบิตให้เท่ากับ 1 คาบของสัญญาณนาฬิกา 256 KHz เนื่องจากการโหลตข้อมูล 8 บิตของ 74HC165 เป็นแบบทันทีทันใด (Direct Access) ทำให้บิตแรกหรือบิตสุดท้ายของชุดข้อมูลมีความกว้างบิตข้อมูลไม่แน่นอน D-Flip Flop ที่ต่อเพิ่มขึ้นมาจึงช่วยสร้างสัญญาณเอาต์พุตให้มีความกว้างของบิตสม่ำเสมอเท่ากันตลอด

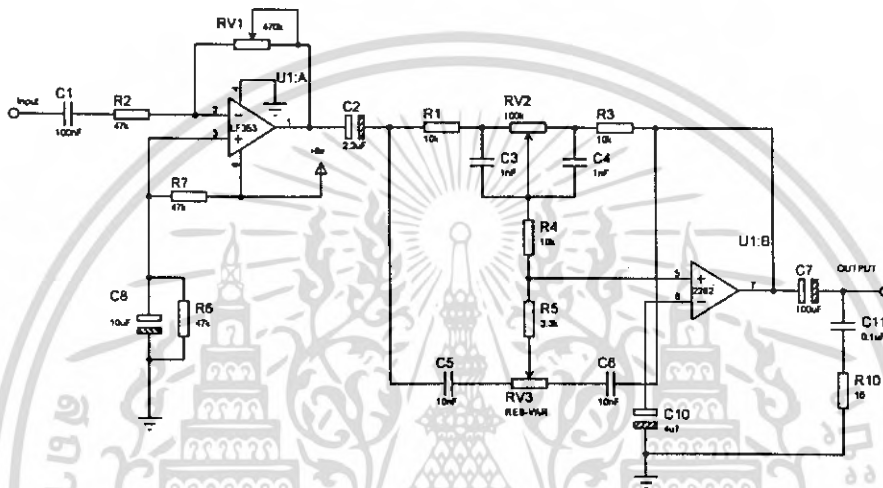


รูปที่ 3.9 วงจรสร้างสัญญาณซิงโครไนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน

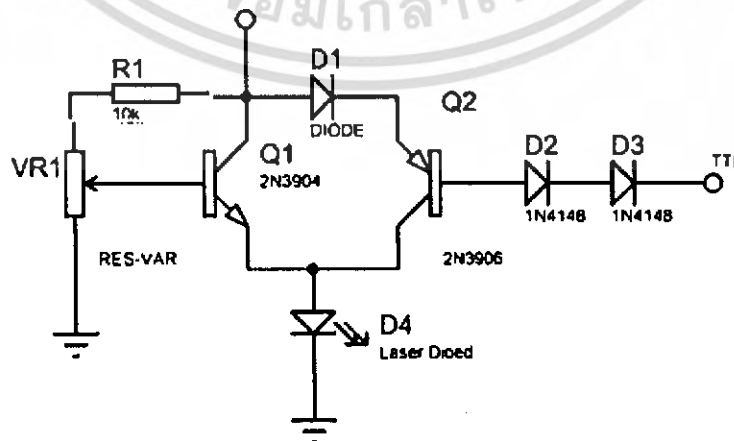
ในการออกแบบนั้นต้องการที่จะส่งสัญญาณเสียงช่วงความถี่ 300-3400 Hz จึงได้ออกแบบวงจรกรองสัญญาณความถี่ให้สามารถปรับย่านการตอบสนองความถี่ได้ตามที่ต้องการและเพื่อให้สามารถเปลี่ยนแปลงได้อีกเมื่อจะต้องส่งด้วยบิตเรทที่สูงขึ้นอีก เพื่อคุณภาพเสียงที่ดีขึ้น โดยการออกแบบได้ใช้ ไอซีออปแอมป์ เบอร์ LF353 ออกแบบวงจรกรองความถี่แบบแอกติฟฟิลเตอร์ โดย U1:A จะทำหน้าที่เป็นตัวขยายสัญญาณอินพุตและเป็นบัฟเฟอร์ ซึ่งสามารถปรับอัตราการขยายได้ที่ RV1 ก่อนส่งผ่านไปยังวงจรกรองความถี่ที่มี RV2 และ RV3 ทำหน้าที่เป็นตัวปรับช่วงความถี่ที่ตอบสนองและส่งให้ U1:B ทำการขยายสัญญาณส่งออกเอาท์พุทเพื่อส่งให้วงจรมัลติเพล็กซ์ต่อไป



รูปที่ 3.10 วงจรกรองความถี่แบบปรับค่าความถี่ตอบสนองได้

3.1.7 วงจรแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

วงจรแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงจะนำข้อมูลดิจิทัลจากมัลติเพล็กซ์เซอร์มาทำการแปลงเป็นสัญญาณแสง ในวงจรใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นเลเซอร์พอยท์เตอร์ เป็นตัวส่งผ่านข้อมูล

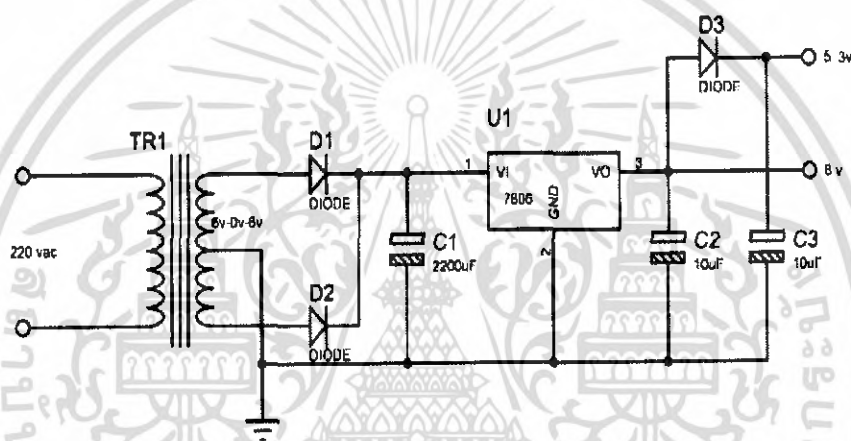


รูปที่ 3.11 วงจรแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

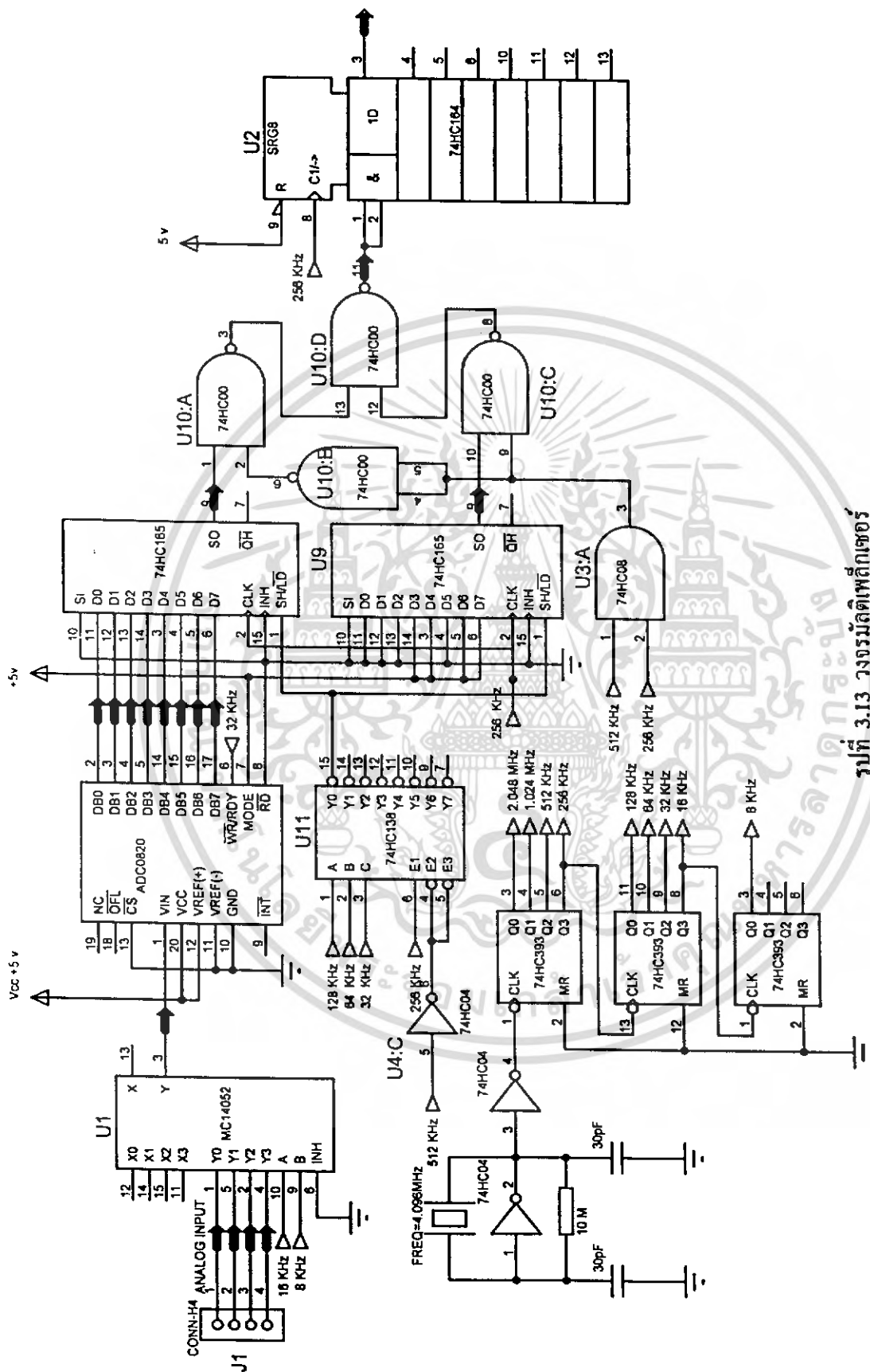
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.8 วงจรภาคจ่ายไฟ

ในการออกแบบวงจรภาคจ่ายไฟนั้นเป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วนหนึ่ง เพื่อให้วงจรส่วนอื่นๆทำงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพไว้สัญญาณรบกวนและสามารถจ่ายกำลังได้เพียงพอต่อความต้องการของโหลด ซึ่งจากการใช้งานในวงจรภาคส่งใช้ไฟประมาณ 300 mA และสูงสุดไม่เกิน 500 mA จึงได้เลือกใช้หม้อแปลงขนาด 1 แอมแปร์ แรงดันเอาต์พุต 6-0-6 โวลต์ ซึ่งกระแสเพียงพอกับความต้องการของโหลด จากนั้นนำไปทำการเรกติไฟเออร์แบบเต็มรูปคลื่นด้วยไดโอดเรกติไฟร์ดั่งวงจรรูปที่ 5 และผ่านการฟิลเตอร์โดย C 2200 μ F ได้เอาต์พุตที่จุดนี้เป็นแรงดัน DC 9v ต่อจากนั้นส่งไปทำการเรกติฟายด้วยไอซีเบอร์ 7806 เพื่อให้ได้แรงดันค่าคงที่ เป็นเอาต์พุตที่ 1 6 v สำหรับจ่ายให้กับวงจรรองความถี่และขยายสัญญาณ ต่อมาเอาต์พุตที่ 2 ได้มาจากการนำแรงดัน DC 6 v จากเอาต์พุตที่ 1 มาผ่านไดโอดแบบซิลิกอน เพื่อให้เหลือแรงดัน DC 5.3 v แรงดันเอาต์พุตที่ 2 นี้จะจ่ายให้กับวงจรในส่วนที่เป็นไอซีดิจิตอลของวงจรภาคส่งทั้งหมด



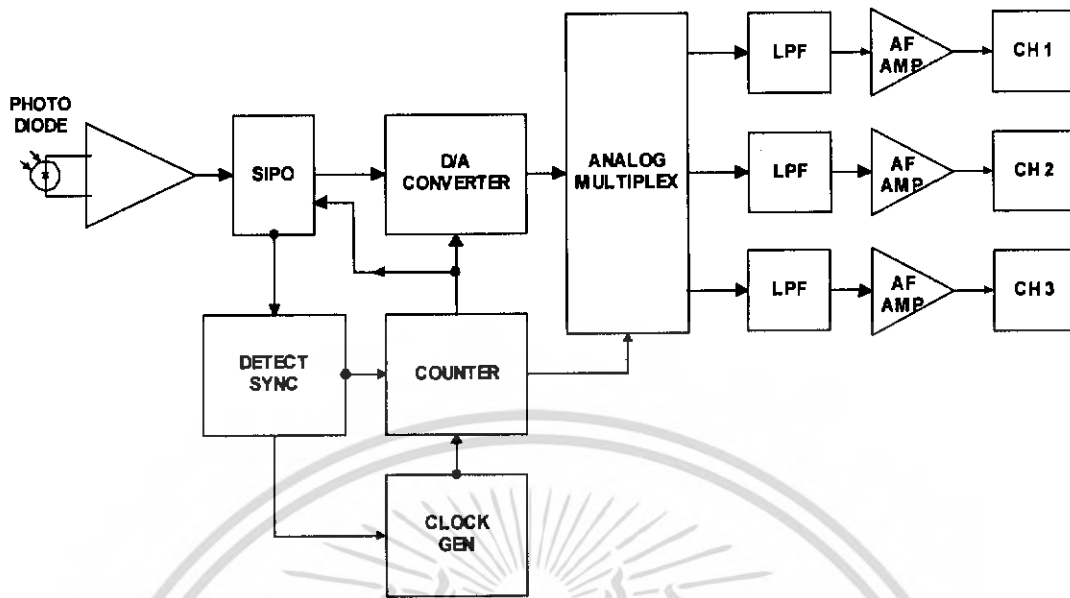
รูปที่ 3.12 วงจรภาคจ่ายไฟ



รูปที่ 3.13 วงจรมัลติเพล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

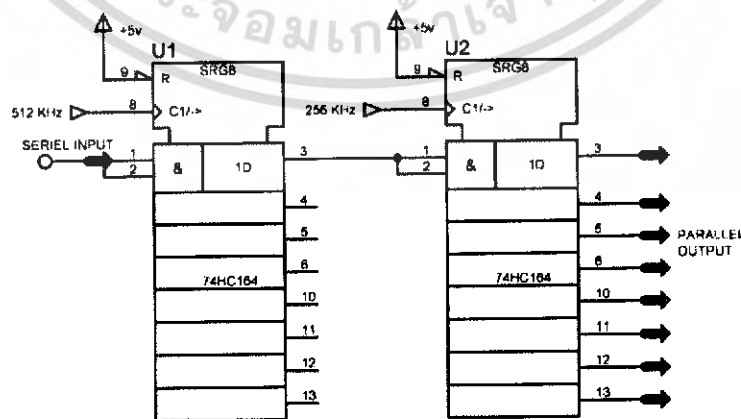
3.2 ภากรับ



รูปที่ 3.14 บล็อกโคอะแกรมภากรับ

3.2.1 วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนุกรมให้เป็นขนาน (Serial Input Paralel Output)

ทำหน้าที่เปลี่ยนข้อมูลในลักษณะอนุกรมให้เป็นขนาน 8 บิต โดยใช้ไอซีเบอร์ 74HC164 จำนวน 2 ตัว ตัวแรกจะทำการรับสัญญาณอนุกรมที่มีขนาดไม่แน่นอนเข้ามา จัดให้ตีขึ้นระดับหนึ่ง ซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนข้อมูลเข้าตามจังหวะสัญญาณนาฬิกา 1024 KHz เพื่อให้ได้ความละเอียดของสัญญาณที่ดีกว่า ส่วนตัวถัดมาจะรับสัญญาณอนุกรมเข้ามา เพื่อเปลี่ยนเป็นข้อมูลขนาน 8 บิต ซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนข้อมูลเข้าตามจังหวะสัญญาณนาฬิกา 256 KHz ได้จากวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาหรือวงจรคู่สัญญาณนาฬิกา เมื่อข้อมูลเข้ามาครบ 8 บิต หรือครบ 1 บล็อกของช่องสัญญาณนั้นๆแล้วก็จะถูกส่งออกไปพร้อมๆกันในรูปแบบขนานให้กับไอซี DAC0832 ซึ่งมีวงจรบัฟเฟอร์อยู่ภายในเป็นตัวเก็บข้อมูลเอาไว้ก่อนและคงค้างสถานะนั้นเอาไว้ จนกว่าข้อมูลบล็อกต่อไปจะเข้ามาครบจึงจะเปลี่ยนข้อมูลอีกครั้งเป็นชุดต่อไป

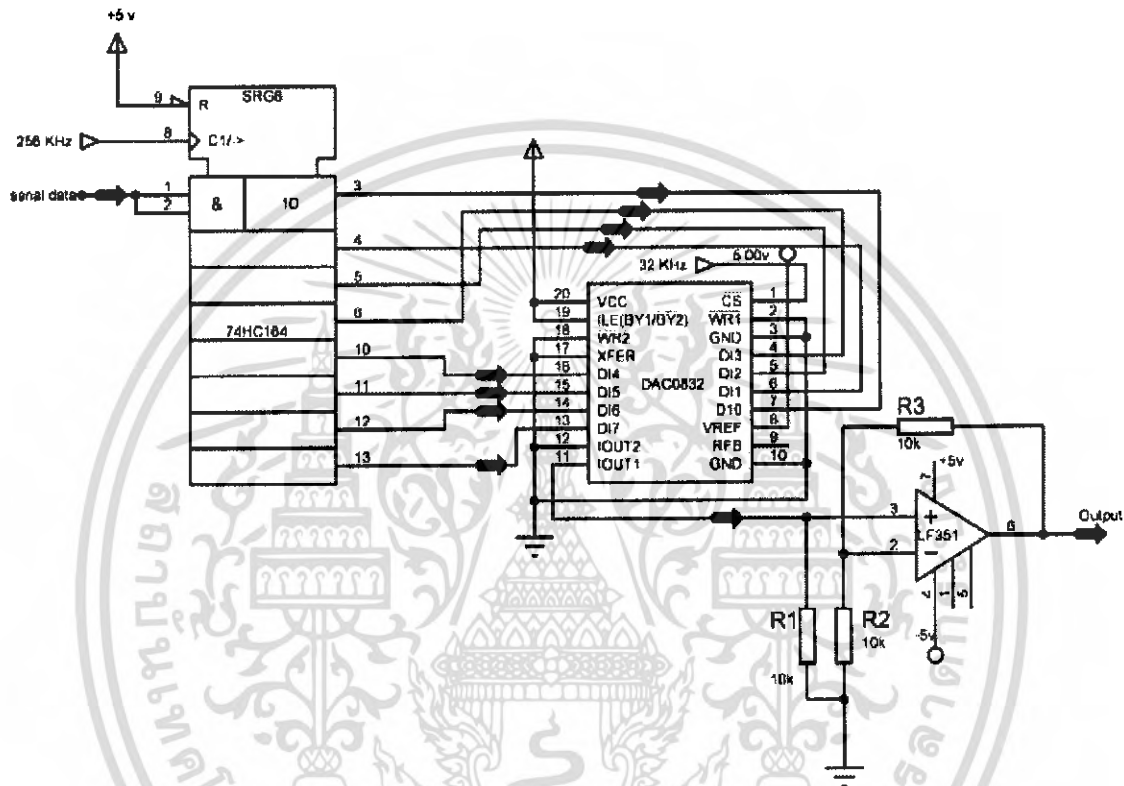


รูปที่ 3.15 วงจรเปลี่ยนข้อมูลอนุกรมให้เป็นขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก (Digital to Analog Converter)

ข้อมูล 8 บิตที่ได้จากวงจรเปลี่ยนสัญญาณอนุกรมให้เป็นขนานจะถูกส่งมาที่อินพุทของวงจร ซึ่งในโครงงานนี้ใช้ไอซีเบอร์ DAC0832 โดยในการทำงานนั้น DAC0832 จะนำข้อมูลทั้ง 8 บิตมาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงที่ได้กำหนดไว้ (5v) และทำการแปลงสัญญาณกลับมาให้อยู่ในรูปอนาล็อก ซึ่งจะเป็นระดับแรงดันใดๆ ก็ได้จาก 0-5 v โดยมีความละเอียดสูงสุดเท่ากับ 19.531 mV แต่เนื่องจากเอาต์พุทของ DAC0832 จะอยู่ในรูปของกระแส Iout1 และ Iout2 จึงต้องนำออปแอมป์มาต่อร่วมด้วย เพื่อทำการเปลี่ยนกระแสให้เป็นแรงดัน จากนั้นจะนำสัญญาณเอาต์พุทที่ได้ไปทำการคีมัลติเพล็กซ์ต่อไป

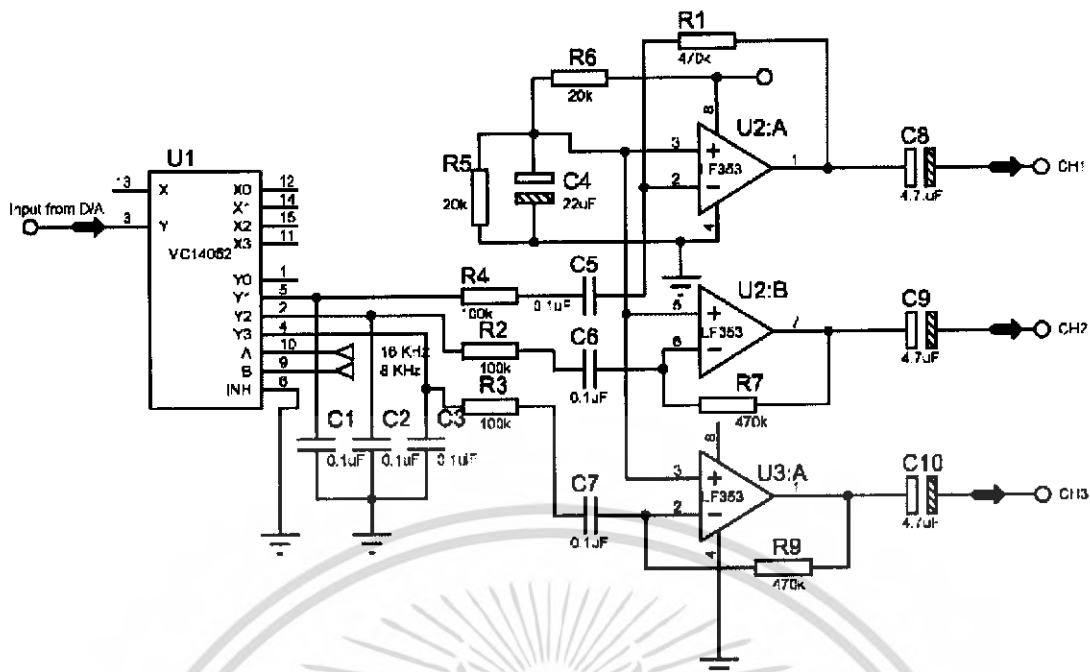


รูปที่ 3.16 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก

3.2.3 วงจรคีมัลติเพล็กซ์

หลังจากที่แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกแล้วสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณรวมในลักษณะของสัญญาณอนาล็อกมัลติเพล็กซ์ ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณ Ch1- Ch3 สัญญาณเหล่านี้จะถูกส่งไปทำการคีมัลติเพล็กซ์ เพื่อทำการแยกสัญญาณออกเป็นแต่ละช่องในการออกแบบวงจรได้ใช้ไอซีเบอร์ MC14052 ซึ่งเป็นเบอร์เดียวกันกับที่ใช้ในวงจรมัลติเพล็กซ์ทางด้านส่ง เป็นไอซีอนาล็อกมัลติเพล็กซ์ขนาด 4:1 ทำการป้อนอินพุทเข้าทางขา 3 ของไอซี ซึ่งตรงกันข้ามกับทางด้านส่ง(ทางด้านส่งที่ขา 3 จะเป็นเอาต์พุท ส่วนขา 1,2,4 และ 5 จะเป็นอินพุท) เอาต์พุทที่ได้จะออกที่ขา 1,2,4 และ 5 ในจำนวนเอาต์พุททั้ง 4 ขานี้จะมีเพียง 3 ขาเท่านั้นที่เป็นสัญญาณ คือ ขา 2,4 และ 5 ส่วนขา 1 จะเป็นเพียงสัญญาณที่ได้จากการแปลงบิตซิงโครไนซ์ ซึ่งจะไ้ระดับแรงดันเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง ต่อมาสัญญาณที่ได้จะต้องทำการฟิลเตอร์อันดับแรกก่อนและเนื่องสัญญาณที่จุดนี้มีขนาดเล็กมากจึงต้องทำการขยายสัญญาณก่อน โดยใช้ออปแอมป์เบอร์ LF353 ก่อนที่จะส่งไปทำการฟิลเตอร์ขั้นต่อไป

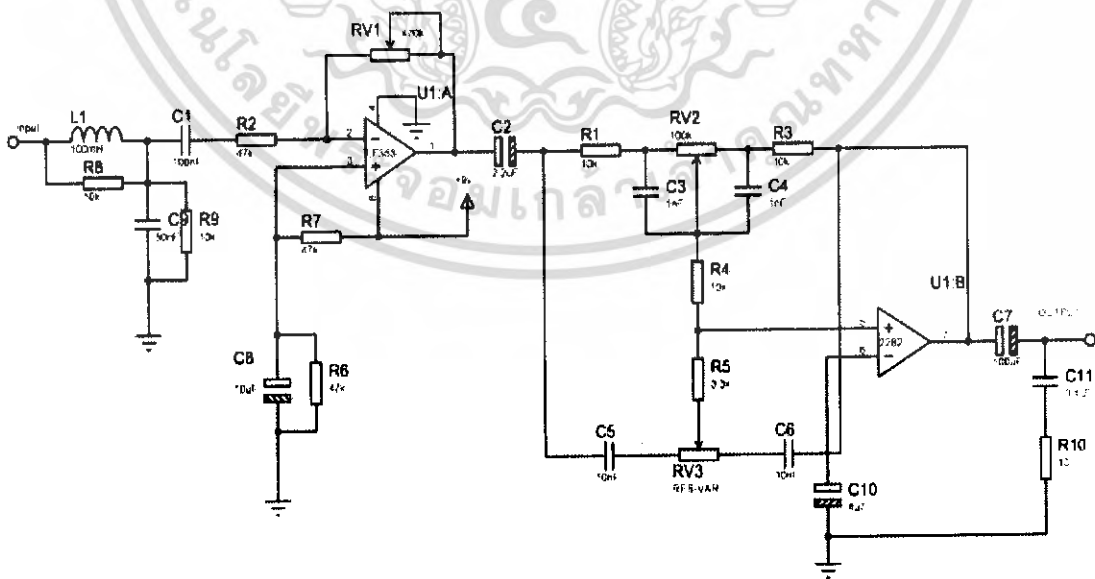
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 วงจรคีมัลติเพล็กซ์

3.2.4 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านและวงจรขยายเสียง

วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่าน ใช้กรองสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากวงจรคีมัลติเพล็กซ์ซึ่งเป็นสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่อง ในโครงงานนี้ใช้วงจรฟิลเตอร์แบบ LC กรองความถี่ต่ำผ่าน หลังจากนั้นเพื่อให้ได้คุณภาพเสียงที่ดีขึ้นมาอีก ได้เพิ่มวงจร โทนคอนโทรลเข้ามาเพื่อปรับแต่งคุณภาพเสียงอีกทีหนึ่ง ส่วนภาคขยายเสียงได้เลือกใช้ออปแอมป์เบอร์ TDA2822 ซึ่งเป็นออปแอมป์ขยายเสียงที่ให้กำลังเอาท์พุทปานกลางและสามารถทำงานที่แรงดันต่ำได้

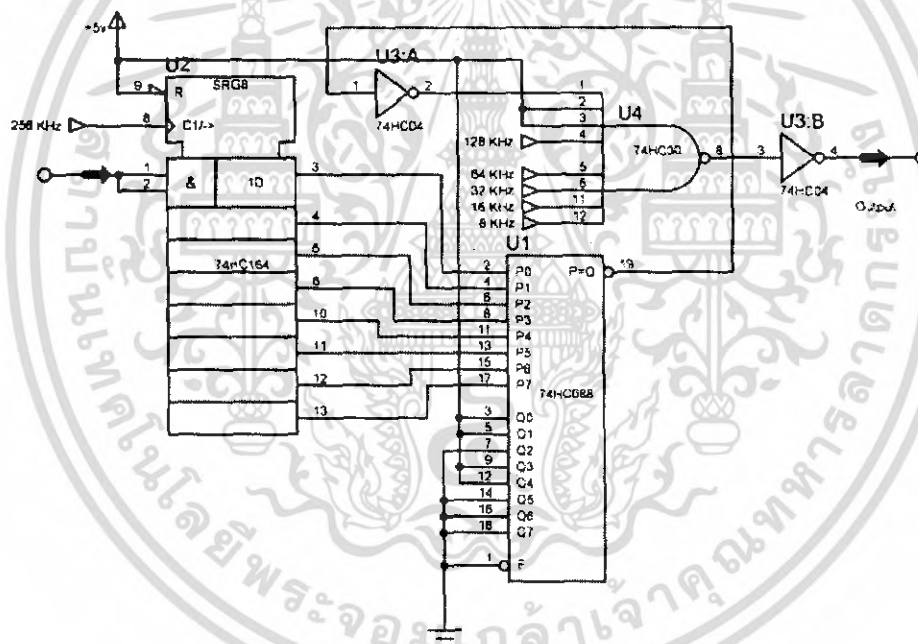


รูปที่ 3.18 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านและวงจรขยายสัญญาณเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนลิขสิทธิ์ สำหรับการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 วงจรตรวจจับสัญญาณเชิงโครโมโซม

วงจรตรวจจับสัญญาณเชิงโครโมโซมนี้ใช้หลักการ นำสัญญาณเชิงโครโมโซมที่ตรวจจับได้ไปควบคุมการทำงานของวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาให้เริ่มต้นทำงานใหม่ ให้ความสัมพันธ์กับทางภาคส่ง โดยอาศัยการตรวจจับข้อมูลอินพุตที่รับเข้ามา หากข้อมูลที่ตรวจจับได้ตรงกับบิต ข้อมูล 00011011 ซึ่งก็คือบิตเชิงโครโมโซมที่ส่งมาในทุกๆเฟรมข้อมูล การที่จะตรวจจับเจอสัญญาณเชิงโครโมโซมได้ ข้อมูลต้องเข้ามาครบและตรงทั้ง 8 บิต ช่วงเวลาที่ตรวจเจอจะเท่ากับ 1 บิตพอดี พอสิ้นสุด บิตถัดไปก็จะเป็นจุดเริ่มต้นของช่องสัญญาณถัดไปพอดี สัญญาณที่ตรวจจับได้จะเป็นสัญญาณ Low ในการสร้างสัญญาณนาฬิกาเริ่มต้นทำงานใหม่ ส่วนในกรณีที่ไม่มีบิตข้อมูลซ้ำบิตเชิงโครโมโซม ในการที่จะทราบได้ว่าเป็นบิตเชิงโครโมโซมหรือไม่นั้น ได้ใช้วงจรนับ นับบิตไปจนกว่าจะถึงช่องสัญญาณเชิงโครโมโซมแล้วจึงจะยอมให้สัญญาณนั้นผ่านไปได้ โดยสัญญาณเชิงโครโมโซมในวงจรได้กำหนดไว้เมื่อเข้ามาครบทั้ง 8 บิต จะอยู่ที่บิตที่ 32 ของเฟรมซึ่งเป็นบิตสุดท้ายของเฟรมข้อมูลพอดี ในตำแหน่งนี้วงจรนับจะแสดงค่าเป็น 11111 เมื่อนำมา AND กันทั้งหมดร่วมกับสัญญาณที่ตรวจได้อีกหนึ่งบิตก็จะ ได้อาท์พุทของสัญญาณเชิงโครโมโซมที่ต้องการ

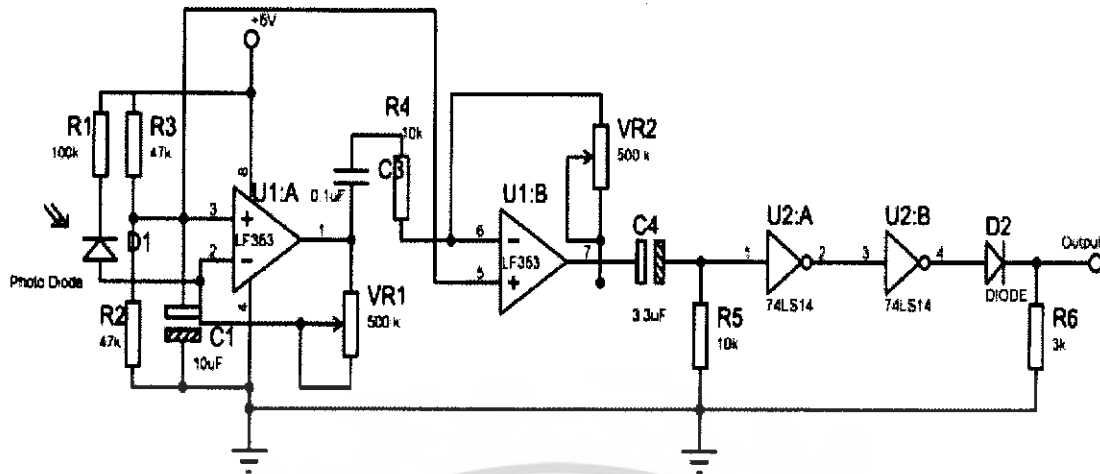


รูปที่ 3.19 วงจรตรวจจับสัญญาณเชิงโครโมโซม

3.2.6 วงจรแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

วงจรแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า นั้นได้ออกแบบวงจร โดยใช้ตัวรับแสงเป็นโฟโตไดโอด เบอร์ SFH213 เมื่อรับสัญญาณแสงที่ส่งผ่านมาในอากาศแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้ว สัญญาณที่ได้จะมีขนาดเล็กมาก จากนั้นจะส่งต่อไปให้ออปแอมป์ดังในรูปที่ 3.19 ทำการขยายสัญญาณให้แรงขึ้น เพื่อที่จะสามารถส่งต่อไปให้ไอซีลอจิกเกตเบอร์ 74LS14 ทำการตัดสินใจว่าควรจะเป็นบิต 0 หรือบิต 1 โดยพิจารณาจากระดับแรงดันที่รับเข้ามาได้ ก่อนที่จะส่งต่อไปให้กับดีมัลติเพล็กซ์เนอร์ นำไปแปลงสัญญาณกลับคืนมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 วงจรแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

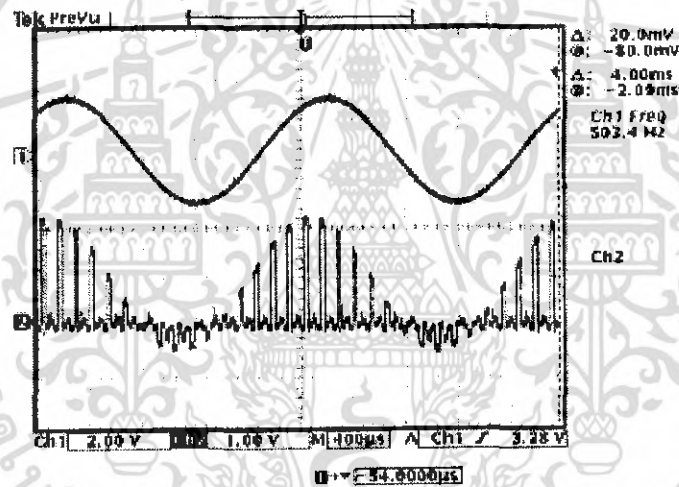
การทดลองและผลการทดลอง

4.1. ภาคส่ง

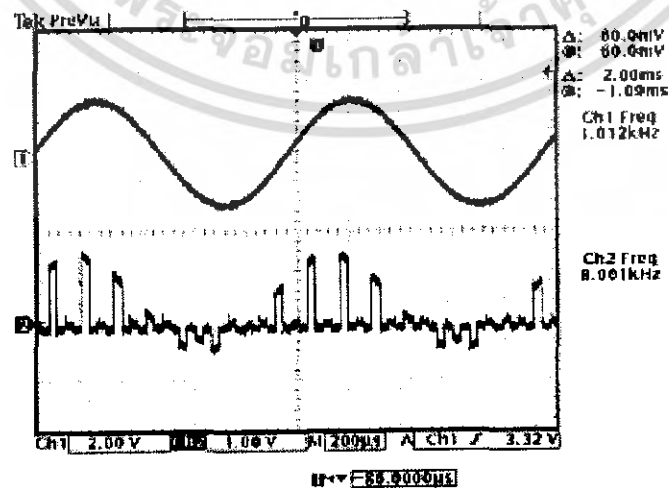
ทางด้านภาคส่งได้ทำการวัดสัญญาณที่จุดต่างๆ แยกตามบล็อกโคอะแกรมได้ดังนี้

4.1.1 วงจรมัลติเพล็กซ์สัญญาณ

การมัลติเพล็กซ์สัญญาณ ได้ทำการป้อนสัญญาณอินพุตย่านความถี่เสียง ให้กับไอซีอนาลอกมัลติเพล็กซ์เบอร์ MC14052 ดังรูปที่ 3.4 โดยที่ขา 1 ป้อน ด้วยสัญญาณไซน์ความถี่ 500 Hz และป้อนสัญญาณที่ขา 2 ด้วยสัญญาณไซน์ความถี่ 1 KHz แล้ววัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 3 เอาต์พุตที่ได้จะยังคงเป็นสัญญาณอนาลอกอยู่ ซึ่งเมื่อเทียบกับสัญญาณนาฬิกาความถี่ 8 KHz ก็จะทำให้เห็นว่าตำแหน่งของแต่ละช่องสัญญาณจะถูกจัดเรียงอย่างเป็นระเบียบตามช่วงเวลาของตนเอง ส่วนตำแหน่งช่องสัญญาณที่ว่างเป็นของช่องสัญญาณซิงโครไนซ์ 1 ช่องและช่องสัญญาณอินพุตที่ไม่ได้ป้อนสัญญาณ อีก 1 ช่องสัญญาณ

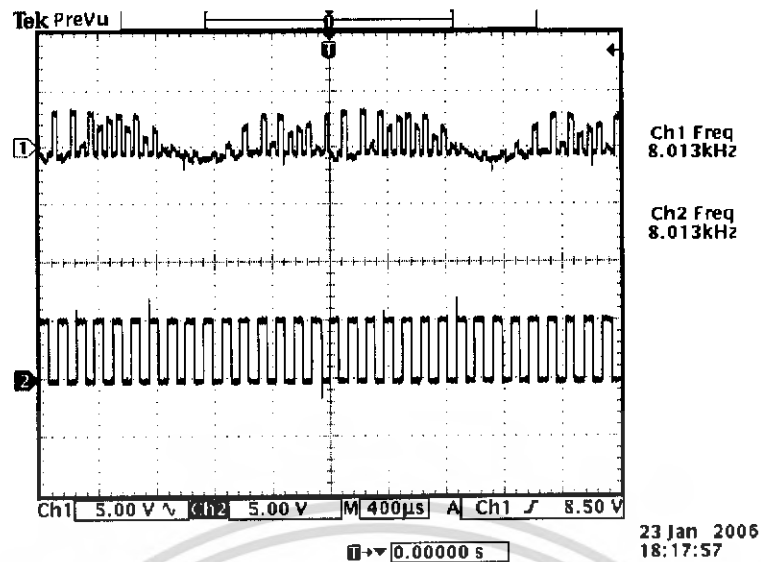


รูปที่ 4.1 สัญญาณอินพุตไซน์ 500 Hz และเอาต์พุตของไอซีมัลติเพล็กซ์



รูปที่ 4.2 สัญญาณอินพุตไซน์ 1 KHz และเอาต์พุตของไอซีมัลติเพล็กซ์

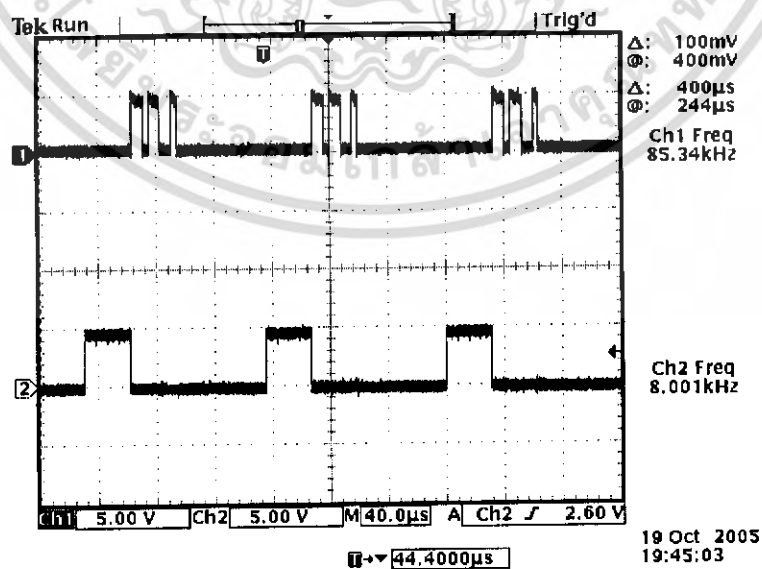
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมัลติเพล็กซ์ เมื่อป้อนอินพุตเป็นสัญญาณไซน์ 500 Hz และ 1 KHz เปรียบเทียบกับสัญญาณนาฬิกา 8 KHz

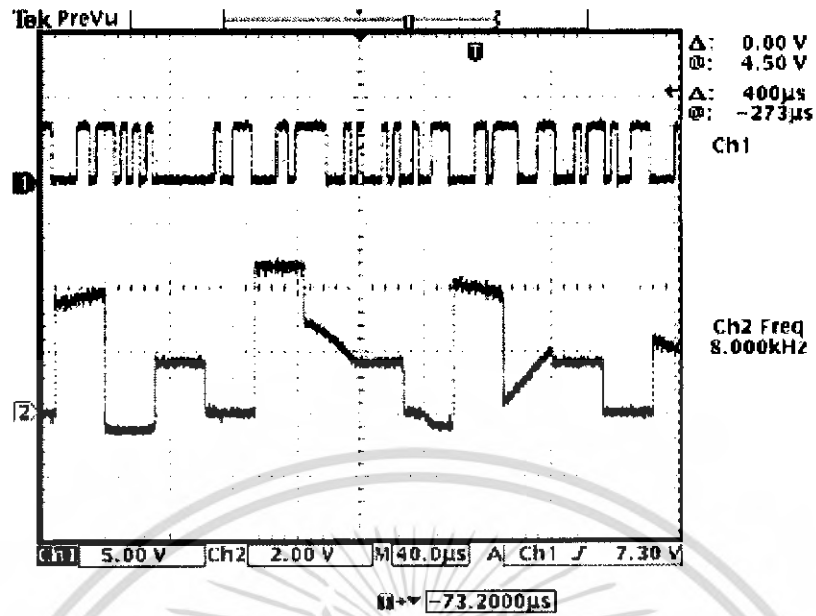
4.1.2 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลใช้ไอซีเบอร์ ADC0820 เป็นไอซีแปลงสัญญาณความเร็วสูงขนาด 8 บิต ซึ่งมีความเร็วในการแปลงประมาณ 1.5 μ s การควบคุมการแปลงสัญญาณทำได้โดยการป้อนสัญญาณนาฬิกาความถี่ 32 KHz ที่ขา 6 ตามรูปที่ 3.6 เพื่อสั่งให้ทำการแปลงสัญญาณด้วยความถี่ 4 ครั้งต่อเฟรม เพื่อให้เห็นความชัดเจนของบิตข้อมูล จึงได้ทำการป้อนแรงดันคีย์ค่าหนึ่งให้กับอินพุต และเอาเอาต์พุตที่ได้ซึ่งเป็นสัญญาณแบบขนานไปทำให้เป็นสัญญาณอนุกรมด้วยไอซีแปลงสัญญาณขนานให้เป็นอนุกรม จะได้เอาต์พุตดังรูปที่ 4.2

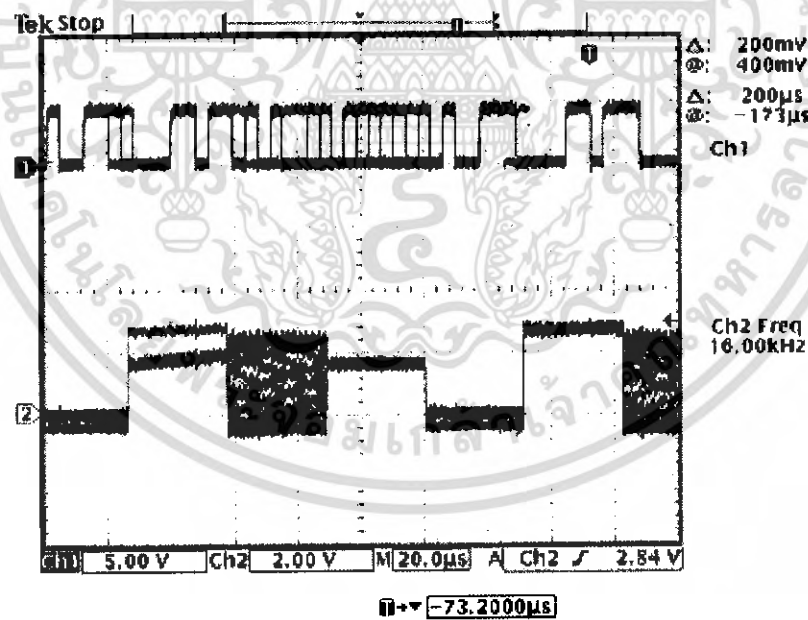


รูปที่ 4.4 แสดงผลการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 สัญญาณอินพุตอนาลอกและเอาต์พุตที่เป็นดิจิทัล
เมื่อส่งพร้อมกันทั้งสามช่องสัญญาณ

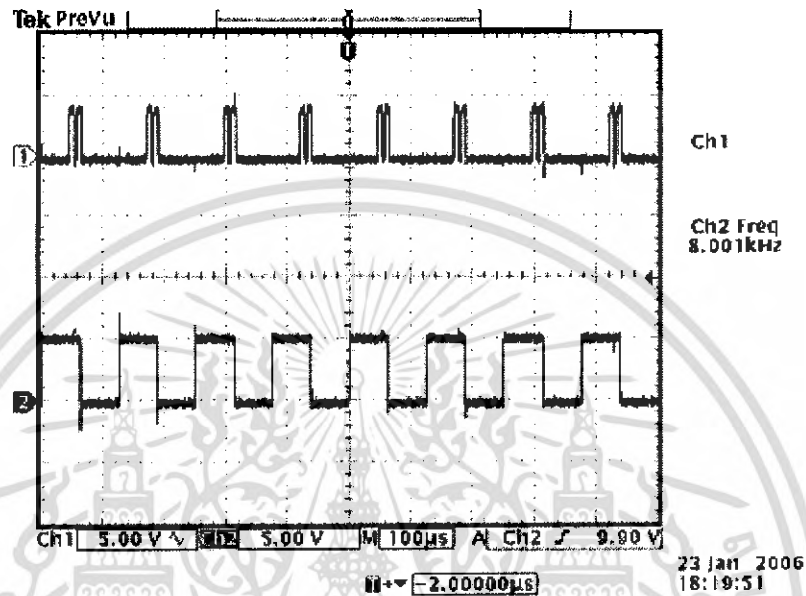


รูปที่ 4.6 สัญญาณอินพุตอนาลอกและเอาต์พุตที่เป็นดิจิทัล
เมื่อส่งพร้อมกันทั้งสามช่องสัญญาณ

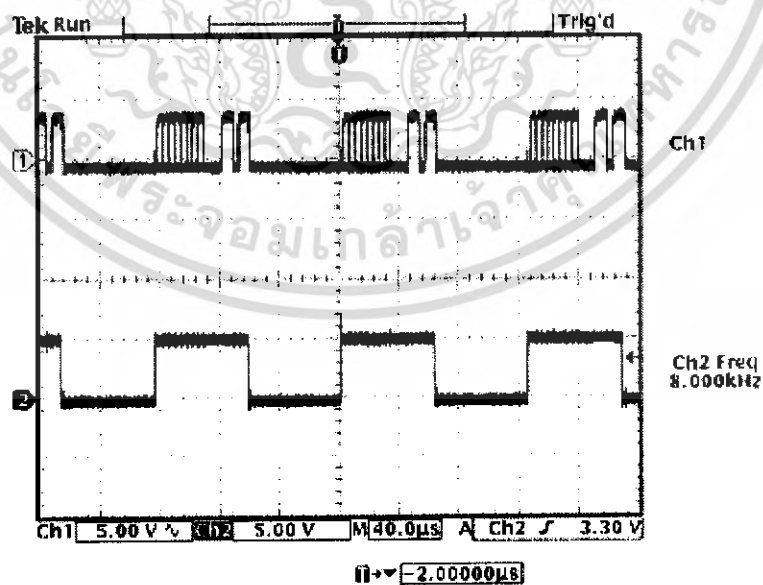
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 วงจรสร้างสัญญาณซิงโครไนซ์

วงจรสร้างสัญญาณซิงโครไนซ์ใช้ไอซีเบอร์ 74HC165 ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งเป็นไอซีแปลงสัญญาณจากขนานเป็นอนุกรม บ้อนสัญญาณอินพุตที่ขา 6,5,4,3,14,13,12 และ 11 เป็นลอจิก 0,0,0,1,1,0,1 และ 1 ตามลำดับ แปลงให้เป็นสัญญาณอนุกรมด้วยความเร็ว 256 Kb/s และควบคุมสัญญาณส่งออกที่ขา 15 ให้ออกตรงช่องสัญญาณซิงโครไนซ์



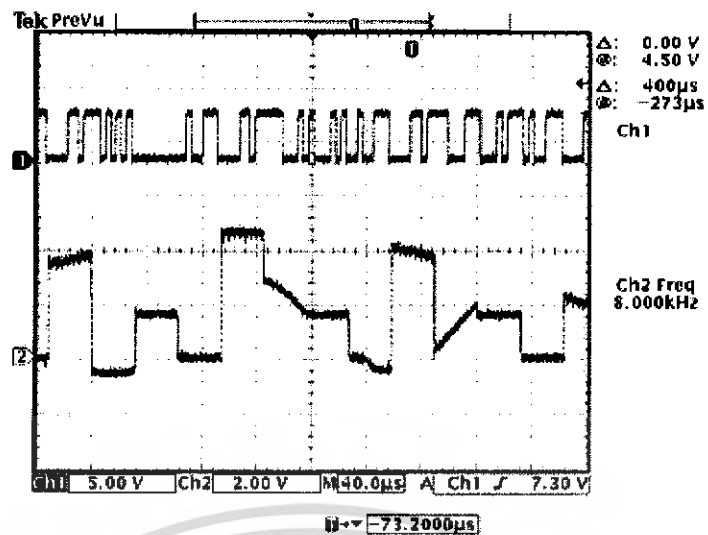
รูปที่ 4.7 เอาท์พุทของวงจรสร้างสัญญาณซิงโครไนซ์
เปรียบเทียบกับสัญญาณนาฬิกา 8 KHz



รูปที่ 4.8 สัญญาณซิงโครไนซ์เมื่อส่งไปพร้อมกับสัญญาณเสียง

เปรียบเทียบกับสัญญาณนาฬิกา 8 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



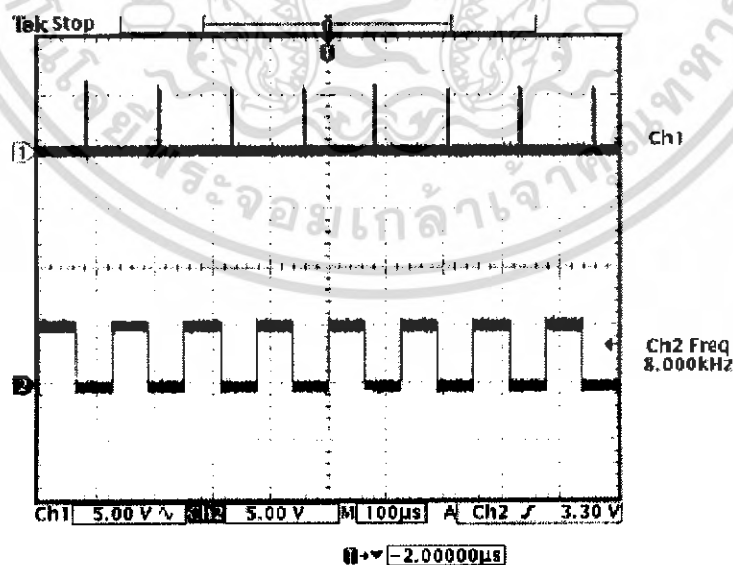
รูปที่ 4.9 สัญญาณซิงโครไนซ์เมื่อส่งไปพร้อมกับสัญญาณเสียง

4.2 ภาครับ

ทางด้านภาครับได้ทำการวัดสัญญาณที่จุดต่างๆ แยกตามบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้

4.2.1 วงจรตรวจจับสัญญาณซิงโครไนซ์

การตรวจจับสัญญาณซิงโครไนซ์ใช้ไอซีเบอร์ 74HC688 ดังรูปที่ 3.18 ทำการตรวจจับบิต 00011011 ที่รับเข้ามา แล้วทำการเปรียบเทียบ หากมีค่าตรงครบทั้งหมดจะให้เอาต์พุตเป็น Low เมื่อนำไปผ่านอินเวอร์เตอร์เกตจะได้เอาต์พุตเป็น High ซึ่งสัญญาณนี้จะเกิดขึ้นทุกๆ คาบเวลา 125 us เอาต์พุตที่ได้จะนำไปควบคุมการสร้างสัญญาณนาฬิกา โดยการทดลองได้ทำการส่งผ่านด้วยแสงที่ระยะทาง 1 เมตร สัญญาณที่ส่งมา คือ รูปที่ 4.4 (Ch1) ส่วนสัญญาณที่ตรวจจับได้เป็นดังรูปที่ 4.5



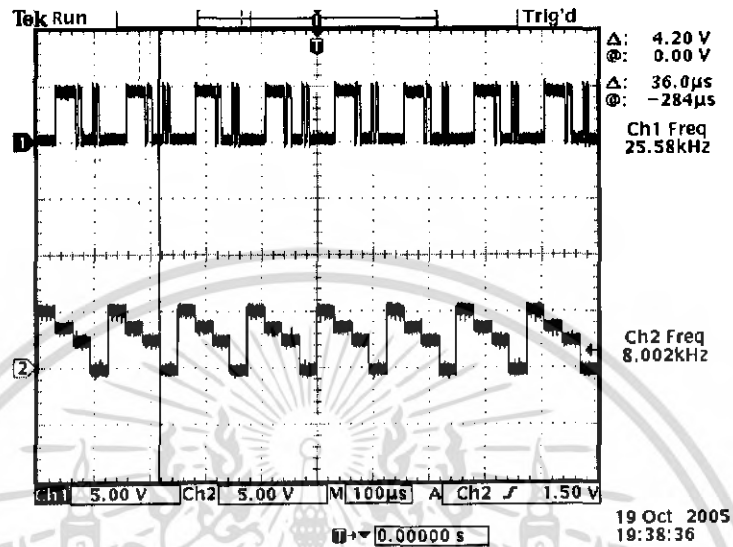
รูปที่ 4.10 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรตรวจจับสัญญาณซิงโครไนซ์

เปรียบเทียบกับสัญญาณนาฬิกา 8 KH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก

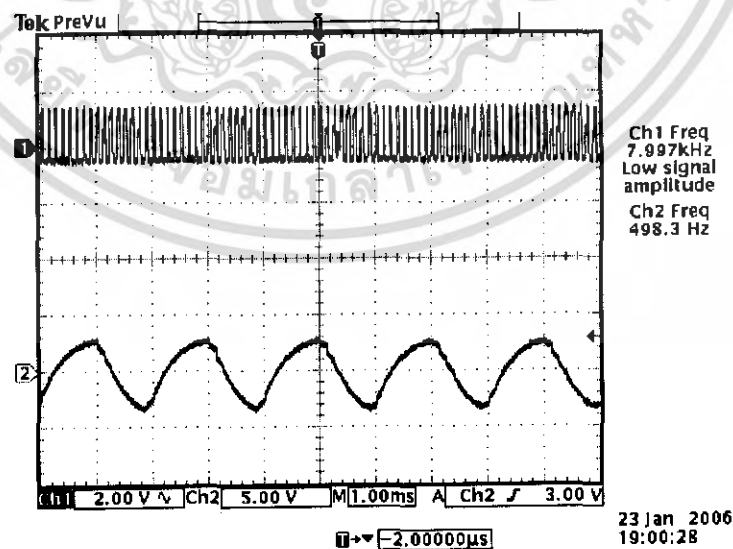
วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก ใช้ไอซีเบอร์ DAC0832 ดังรูปที่ 3.15 ควบคุมการรับเข้ามาแปลงที่ขา 1 และควบคุมเวลาส่งออกที่ขา 17 สัญญาณเอาต์พุตที่ขา 11 เป็นสัญญาณรวมของสัญญาณ Ch1 – Ch3 และสัญญาณซิงโครไนซ์ โดยทางด้านส่งได้ป้อนเป็นแรงดันดิจิทัลโดยตรง



รูปที่ 4.11 แสดงผลการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก

4.2.3 วงจรดีมัลติเพล็กซ์

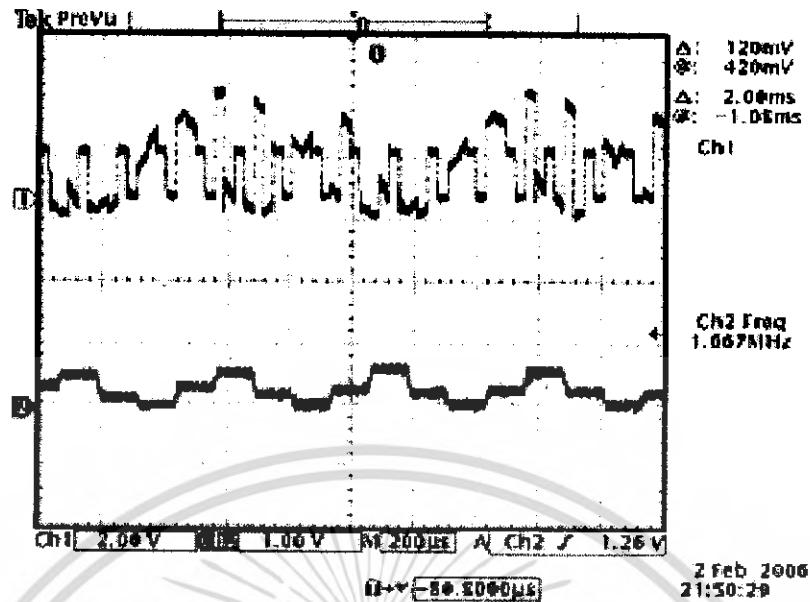
วงจรดีมัลติเพล็กซ์ใช้ไอซีอนาล็อกมัลติเพล็กซ์เบอร์ MC14052 ดังรูปที่ 3.16 ค่อยสัญญาณเอาต์พุตออกที่ขา 1, 2, 4 และ 5 สัญญาณอินพุตจะถูกควบคุมให้ส่งออกแต่ละช่องสัญญาณเพียงช่วงเวลา 1/8 ของหนึ่งช่องสัญญาณ เป็นการป้องกันการรบกวนจากช่องสัญญาณข้างเคียงที่อยู่ติดกัน



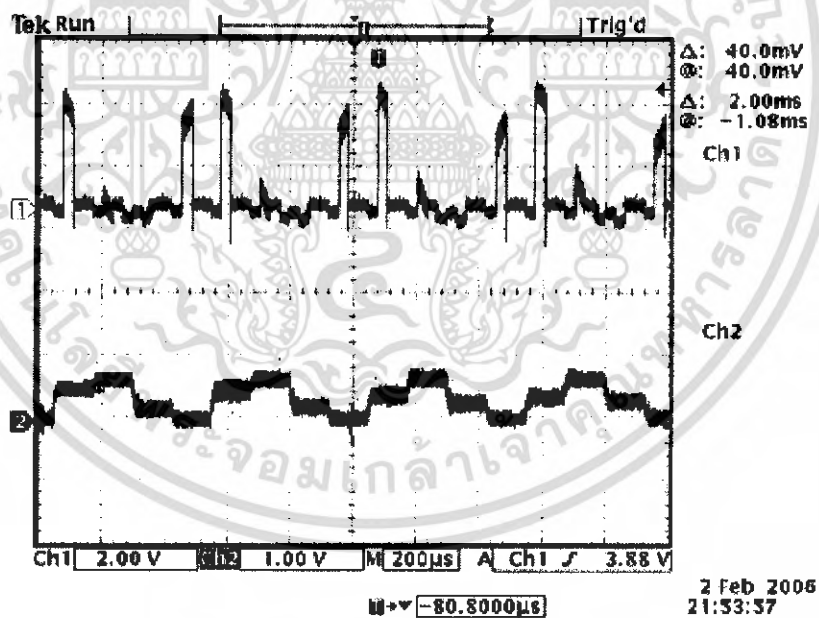
รูปที่ 4.12 รูปบน(Ch1) สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจร D/A

รูปล่าง(Ch2) สัญญาณเอาต์พุตของวงจรดีมัลติเพล็กซ์ที่กรองความถี่แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

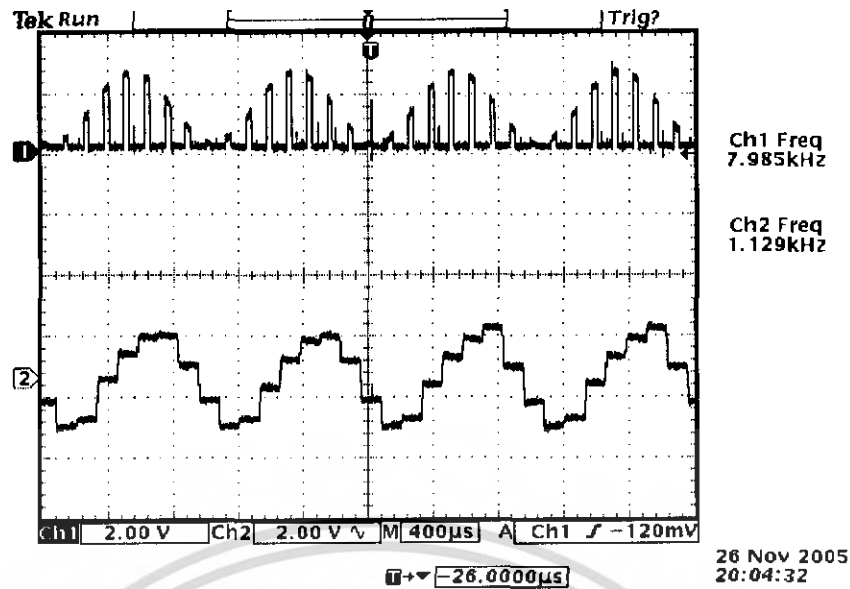


รูปที่ 4.13 สัญญาณอินพุตกับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรมัลติเพล็กซ์ โดยเปรียบเทียบสัญญาณที่ส่งมาที่ทางด้านส่งและสัญญาณที่ถอดรหัสคืนมาได้



รูปที่ 4.14 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมัลติเพล็กซ์ทางด้านส่ง กับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรดีมัลติเพล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรมัลติเพล็กซ์
กับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรมัลติเพล็กซ์

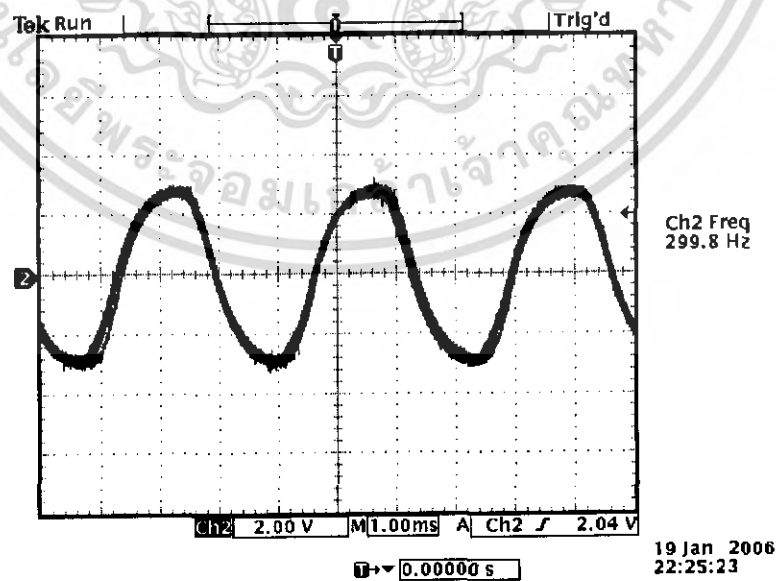
4.3 ผลการทดลองการส่งผ่านด้วยแสง

การทดลองได้ทำการส่งสัญญาณด้วยความถี่ต่างๆ และที่ระยะทางต่างๆ ได้ดังนี้

4.3.1 ผลการทดลองส่งด้วยสัญญาณไซน์

การทดลองได้ทำการป้อนสัญญาณอินพุตทางด้านส่งด้วยค่าความถี่ต่างๆ แล้วเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยป้อนที่ Ch1 ด้วยสัญญาณ sin wave ช่วงความถี่ตั้งแต่ 300 Hz - 4000 Hz และใช้ระยะทางในการทดสอบ 4 เมตร สามารถรับสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ ได้ดังนี้

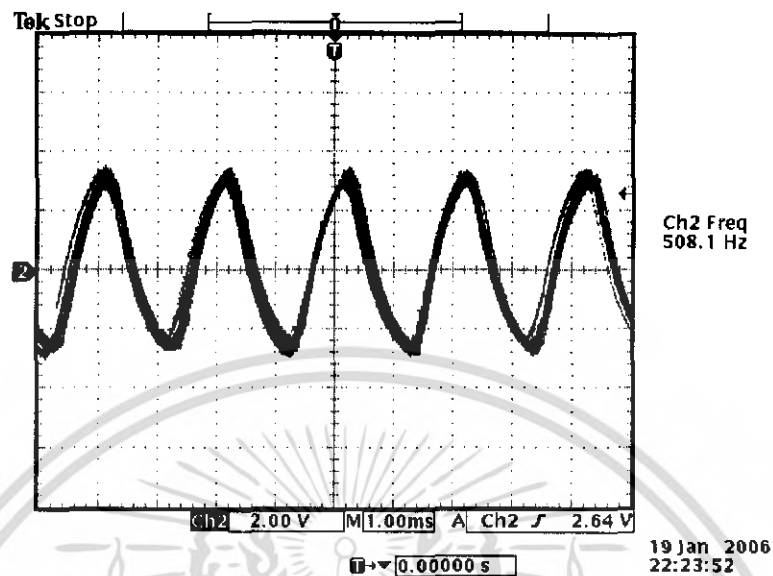
1. ทำการป้อนสัญญาณอินพุต sin wave ความถี่ 300 Hz



รูปที่ 4.16 สัญญาณที่รับได้ เมื่อส่ง sin wave 300 Hz

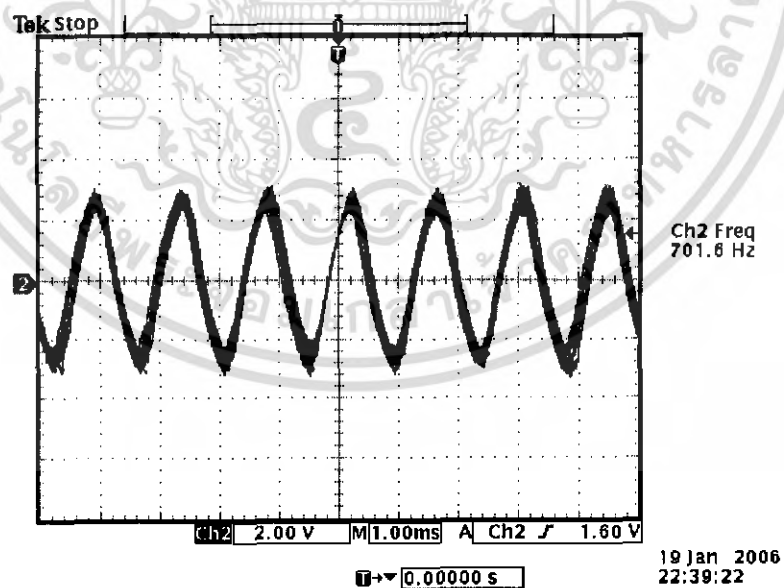
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เมื่อทำการป้อนสัญญาณอินพุต sin wave ความถี่ 500 Hz ที่ทางด้านส่งและรับสัญญาณที่ ระยะทางห่างออกไป 4 เมตร



รูปที่ 4.17 สัญญาณที่รับได้ เมื่อส่ง sin wave 500 Hz

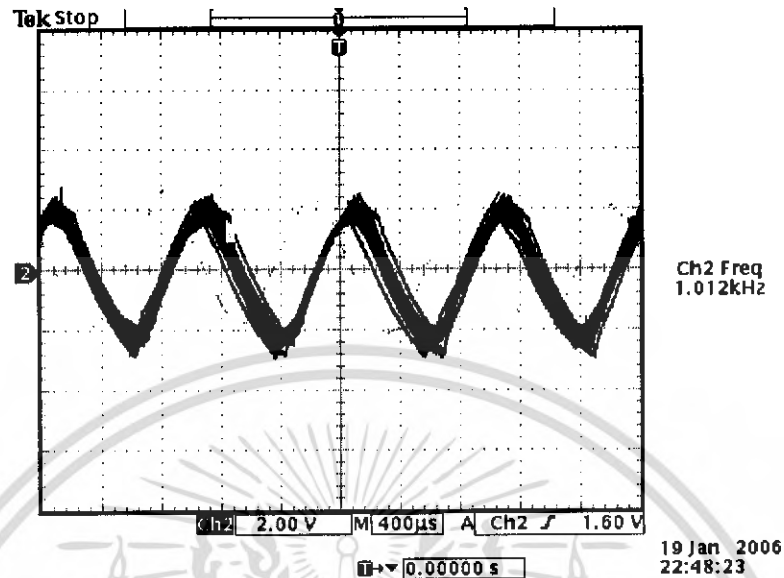
3. เมื่อทำการป้อนสัญญาณอินพุต sin wave ความถี่ 700 Hz ที่ทางด้านส่งและรับสัญญาณที่ ระยะทางห่างออกไป 4 เมตร



รูปที่ 4.18 สัญญาณที่รับได้ เมื่อส่ง sin wave 700 Hz

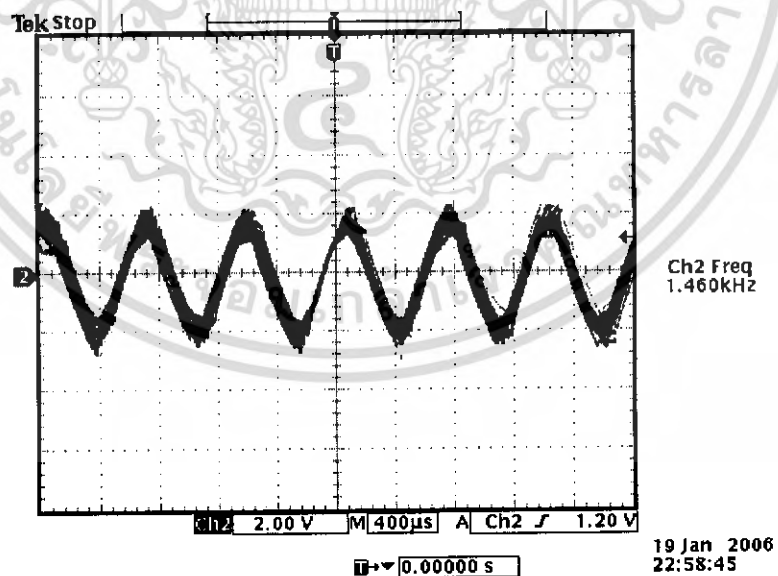
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อทำการป้อนสัญญาณอินพุต sin wave ความถี่ 1 KHz ที่ทางด้านส่งและรับสัญญาณที่ ระยะทางห่างออกไป 4 เมตร



รูปที่ 4.19 สัญญาณที่รับได้เมื่อส่ง sin wave 1 KHz

5. เมื่อทำการป้อนสัญญาณอินพุต sin wave ความถี่ 1.5 KHz ที่ทางด้านส่งและรับสัญญาณที่ ระยะทางห่างออกไป 4 เมตร

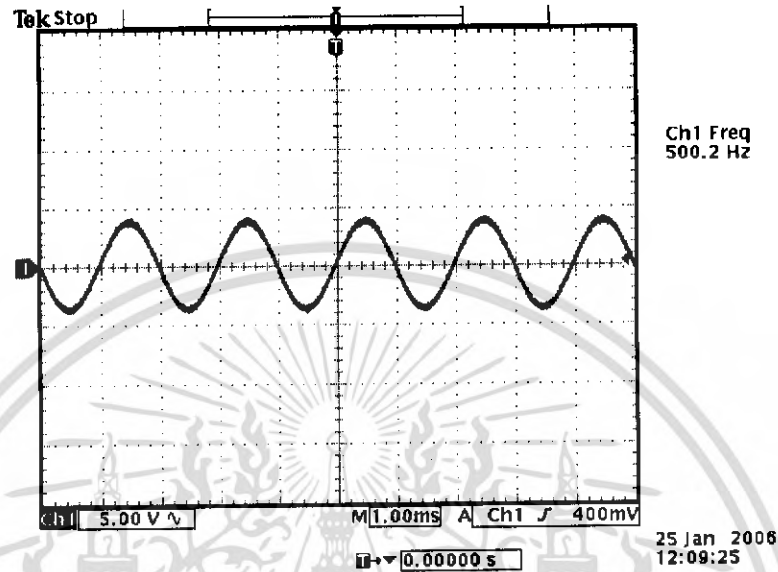


รูปที่ 4.20 สัญญาณที่รับได้เมื่อส่ง sin wave 1.5 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

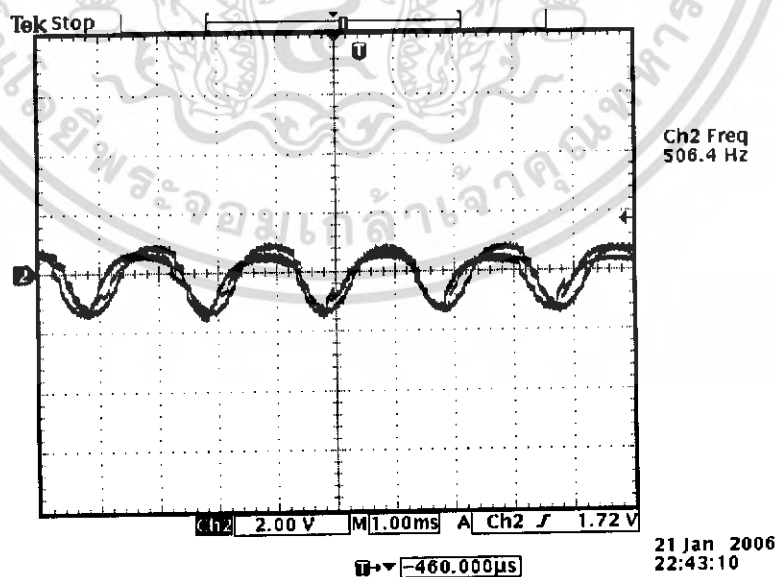
4.3.2 ผลการทดลองการส่งผ่านด้วยแสงที่ระยะทางต่างๆ

การทดลองได้ทำการป้อนสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณ sin wave ความถี่ 500 Hz ป้อนที่ Ch1 เพียงช่องเดียวแล้วทำการวัดสัญญาณที่ระยะทางต่างๆ จนถึงตำแหน่งสุดท้ายที่สัญญาณเริ่มหายไปได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.21 สัญญาณที่ป้อนอินพุตทางด้านส่ง

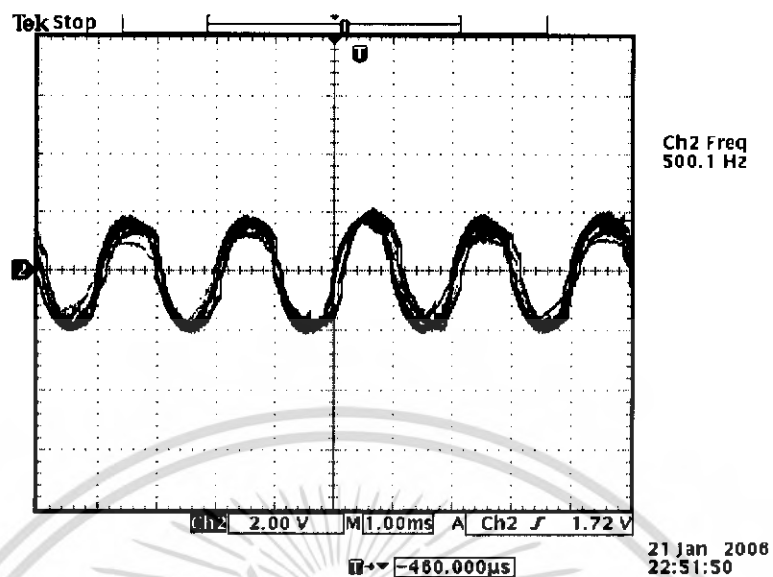
1. ทำการรับสัญญาณที่ระยะทาง 10 เมตร



รูปที่ 4.22 สัญญาณที่รับได้เมื่อส่งที่ระยะทาง 10 เมตร

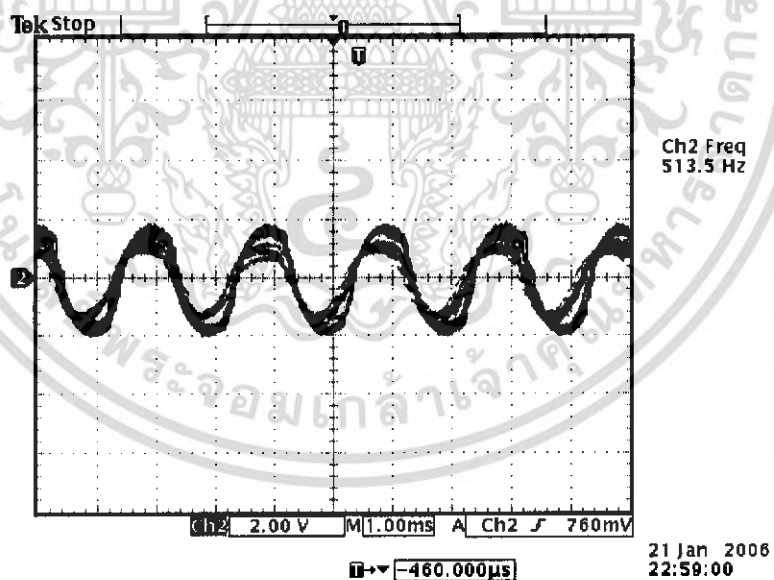
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตไหนไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการรับสัญญาณที่ระยะทาง 30 เมตร



รูปที่ 4.23 สัญญาณที่รับได้เมื่อส่งที่ระยะทาง 30 เมตร

3. ทำการรับสัญญาณที่ระยะทาง 50 เมตร



• รูปที่ 4.24 สัญญาณที่รับได้เมื่อส่งที่ระยะทาง 50 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป

จากการทดลองทำการส่งสัญญาณพบว่า เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตเสียงให้กับวงจรแล้วส่งไปยังเครื่องรับปลายทาง เครื่องรับจะใช้เวลาช่วงหนึ่งในตอนเริ่มต้นในการค้นหาสัญญาณซิงโครไนซ์ ช่วงที่ทำการค้นหาอยู่นั้นสัญญาณที่รับได้จะเลื่อนไปไม่ตรงกับช่องของตัวเองและยังไม่สามารถที่จะรับฟังได้ พอเจอสัญญาณซิงโครไนซ์แล้วช่องต่างๆ ก็จะเข้าที่และสามารถรับฟังได้เป็นปกติ แต่ยังคงมีปัญหาอยู่อีกอย่างหนึ่งคือ เมื่อทำการส่งสัญญาณผ่านไปในอากาศ พอมาถึงเครื่องรับปลายทาง พบว่าขนาดความกว้างของบิตข้อมูลเปลี่ยนไปแคบบ้างกว้างบ้างโดยเฉพาะบิต 0 มีขนาดแคบกว่าปกติจนบางครั้งทำให้การตรวจจับสัญญาณบางช่วงมองเห็นว่าเป็นบิต 1 ทำให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลขึ้น แต่เมื่อสัญญาณที่ส่งเป็นสัญญาณเสียงพบว่ายังคงสามารถรับฟังได้คืออยู่ ประเด็นต่อมาเป็นเรื่องของการติดตั้งอุปกรณ์ เนื่องจากลำแสงที่ส่งไปมีขนาดเล็กและต้องเล็งให้ตรงกับตัวรับพอดี ดังนั้นการเล็งที่ระยะไกลขึ้นจึงทำได้ยากกว่า ทำให้เสียเวลาในการติดตั้งนาน แนวทางการแก้ไขก็คือ อาจจะใช้เครื่องควบคุมตำแหน่งบังคับระยะไกล ควบคุมการหาตำแหน่งที่แน่นอนแล้วค่อยสื่อกตำแหน่งให้คงที่ อีกประเด็นหนึ่งคือเรื่องของระยะทางในการส่งสัญญาณและจำนวนช่องสัญญาณ จากการทดลองได้ใช้เลเซอร์พอยท์เตอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสง พบว่ากำลังส่งที่ใช้และแบนด์วิดท์ยังคงต่ำอยู่ จึงทำให้ระยะทางในการส่งยังคงน้อยอยู่ และจำนวนช่องสัญญาณยังคงน้อยเช่นกัน วิธีที่จะเพิ่มขึ้นอีกทำได้โดยการเปลี่ยนไปใช้เลเซอร์ไดโอดที่มีกำลังวัตต์และแบนด์วิดท์ที่มากขึ้น จะช่วยให้ระยะทางไกลขึ้นอีก จำนวนช่องสัญญาณที่จุได้เพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพก็จะดีขึ้น สำหรับแนวทางการพัฒนาต่อสามารถที่จะพัฒนาจากการส่งข้อมูลเสียงเป็นส่งทั้งเสียงและภาพและสามารถพัฒนาให้เป็นแบบพูลดูเพล็กซ์ใช้ติดต่อแบบสองทิศทางได้ โดยการปรับปรุงการมัลติเพล็กซ์และระบบแสงเลเซอร์ให้ทำงานได้เร็วขึ้น

หนังสืออ้างอิง

1. อภินันท์ มัชฌานนท์, การสื่อสารเส้นใยแสง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ปรีชา ยูพาพิน, เครือข่ายใยแก้วนำแสง สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

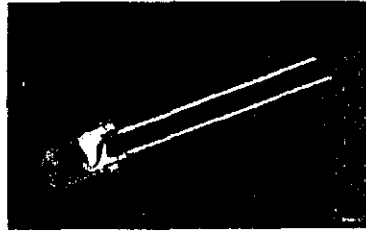


ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Silizium-PIN-Fotodiode mit sehr kurzer Schaltzeit Silicon PIN Photodiode with Very Short Switching Time

SFH 213
SFH 213 FA



SFH 213



SFH 213 FA

Wesentliche Merkmale

- Speziell geeignet für Anwendungen im Bereich von 400 nm bis 1100 nm (SFH 213) und bei 880 nm (SFH 213 FA)
- Kurze Schaltzeit (typ. 5 ns)
- 5 mm-Plastikbauform im LED-Gehäuse
- Auch gegurtet lieferbar

Anwendungen

- Industrieelektronik
- „Messen/Steuern/Regeln“
- Schnelle Lichtschranken für Gleich- und Wechsellichtbetrieb
- LWL

Features

- Especially suitable for applications from 400 nm to 1100 nm (SFH 213) and of 880 nm (SFH 213 FA)
- Short switching time (typ. 5 ns)
- 5 mm LED plastic package
- Also available on tape and reel

Applications

- Industrial electronics
- For control and drive circuits
- Photointerrupters
- Fiber optic transmission systems

Typ Type	Bestellnummer Ordering Code
SFH 213	Q62702-P930
SFH 213 FA	Q62702-P1671



เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้

เผยแพร่ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Grenzwerte
Maximum Ratings

Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Betriebs- und Lagertemperatur Operating and storage temperature range	$T_{op}; T_{stg}$	- 40 ... + 100	°C
Löttemperatur (Lötstelle 2 mm vom Gehäuse entfernt bei Lötzeit $t \leq 3$ s) Soldering temperature in 2 mm distance from case bottom ($t \leq 3$ s)	T_S	300	°C
Sperrspannung Reverse voltage	V_R	50	V
Verlustleistung Total power dissipation	P_{tot}	100	mW

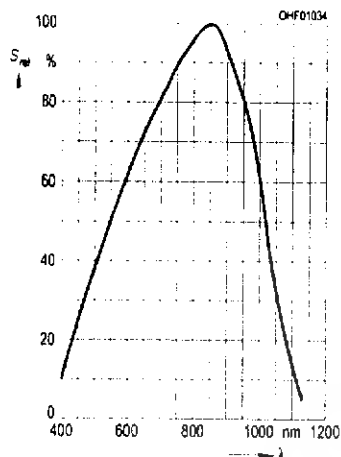
Kennwerte ($T_A = 25$ °C)
Characteristics

Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value		Einheit Unit
		SFH 213	SFH 213 FA	
Fotostrom Photocurrent $V_R = 5$ V, Normlicht/standard light A, $T = 2856$ K, $E_V = 1000$ lx $V_R = 5$ V, $\lambda = 870$ nm, $E_e = 1$ mW/cm ²	I_P	135 (≥ 100)	–	μ A
	I_P	–	90 (≥ 65)	μ A
Wellenlänge der max. Fotoempfindlichkeit Wavelength of max. sensitivity	$\lambda_{S\ max}$	850	900	nm
Spektraler Bereich der Fotoempfindlichkeit $S = 10$ % von S_{max} Spectral range of sensitivity $S = 10$ % of S_{max}	λ	400 ... 1100	750 ... 1100	nm
Bestrahlungsempfindliche Fläche Radiant sensitive area	A	1	1	mm ²
Abmessung der bestrahlungsempfindlichen Fläche Dimensions of radiant sensitive area	$L \times B$ $L \times W$	1 × 1	1 × 1	mm × mm
Abstand Chipoberfläche zu Gehäuseoberfläche Distance chip front to case surface	H	5.1 ... 5.7	5.1 ... 5.7	mm
Halbwinkel Half angle	φ	± 10	± 10	Grad deg.

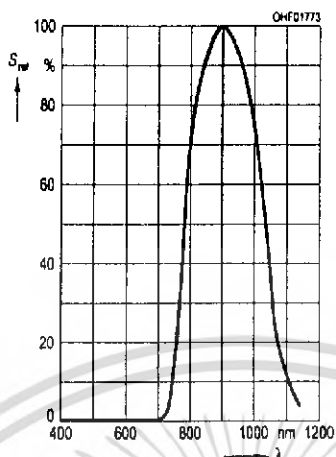
Kennwerte ($T_A = 25\text{ °C}$)
Characteristics (cont'd)

Bezeichnung Parameter	Symbol Symbol	Wert Value		Einheit Unit
		SFH 213	SFH 213 FA	
Dunkelstrom, $V_R = 20\text{ V}$ Dark current	I_R	1 (≤ 5)	1 (≤ 5)	nA
Spektrale Fotoempfindlichkeit, $\lambda = 870\text{ nm}$ Spectral sensitivity	S_λ	0.62	0.59	A/W
Quantenausbeute, $\lambda = 870\text{ nm}$ Quantum yield	η	0.89	0.86	<u>Electrons</u> Photon
Leerlaufspannung Open-circuit voltage $E_v = 1000\text{ lx}$, Normlicht/standard light A, $T = 2856\text{ K}$ $E_e = 0.5\text{ mW/cm}^2$, $\lambda = 870\text{ nm}$	V_O V_O	430 (≥ 350) –	– 380 (≥ 300)	mV mV
Kurzschlußstrom Short-circuit current $E_v = 1000\text{ lx}$, Normlicht/standard light A, $T = 2856\text{ K}$ $E_e = 0.5\text{ mW/cm}^2$, $\lambda = 870\text{ nm}$	I_{SC} I_{SC}	125 –	– 42	μA μA
Anstiegs- und Abfallzeit des Fotostromes Rise and fall time of the photocurrent $R_L = 50\ \Omega$; $V_R = 20\text{ V}$; $\lambda = 850\text{ nm}$; $I_p = 800\ \mu\text{A}$	t_r, t_f	5	5	ns
Durchlaßspannung, $I_F = 80\text{ mA}$, $E = 0$ Forward voltage	V_F	1.3	1.3	V
Kapazität, $V_R = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$, $E = 0$ Capacitance	C_0	11	11	pF
Temperaturkoeffizient von V_O Temperature coefficient of V_O	TC_V	– 2.6	– 2.6	mV/K
Temperaturkoeffizient von I_{SC} Temperature coefficient of I_{SC} Normlicht/standard light A $\lambda = 870\text{ nm}$	TC_I	0.18 –	– 0.2	%/K
Rauschäquivalente Strahlungsleistung Noise equivalent power $V_R = 10\text{ V}$, $\lambda = 870\text{ nm}$	NEP	2.9×10^{-14}	2.9×10^{-14}	$\frac{\text{W}}{\sqrt{\text{Hz}}}$
Nachweisgrenze, $V_R = 20\text{ V}$, $\lambda = 870\text{ nm}$ Detection limit	D^*	3.5×10^{12}	3.5×10^{12}	$\frac{\text{cm} \times \sqrt{\text{Hz}}}{\text{W}}$

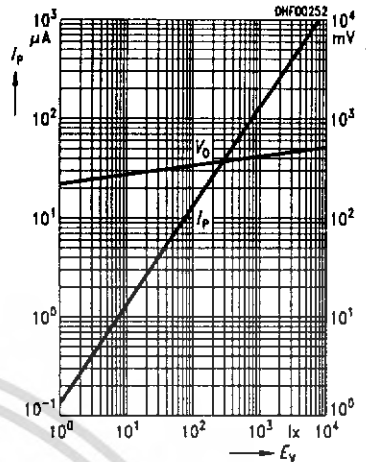
Relative Spectral Sensitivity
SFH 213, $S_{rel} = f(\lambda)$



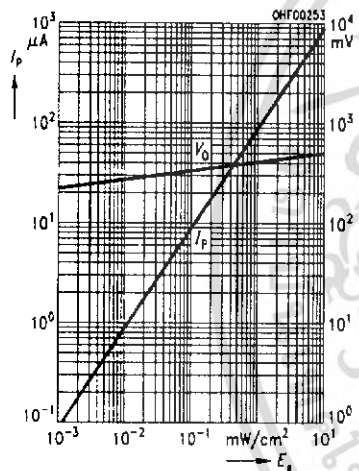
Relative Spectral Sensitivity
SFH 213 FA, $S_{rel} = f(\lambda)$



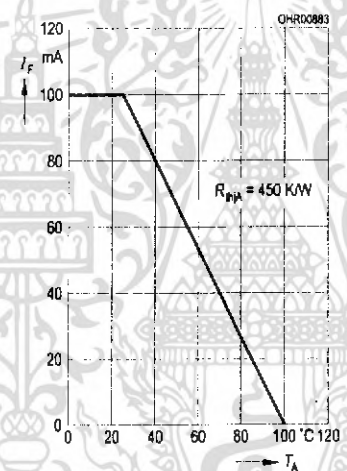
Photocurrent $I_p = f(E_v)$, $V_R = 5 V$
Open-Circuit Voltage $V_O = f(E_v)$
SFH 213



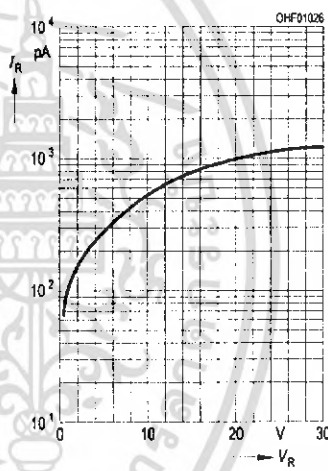
Photocurrent $I_p = f(E_e)$, $V_R = 5 V$
Open-Circuit Voltage $V_O = f(E_e)$
SFH 213 FA



Total Power Dissipation
 $P_{tot} = f(T_A)$



Dark Current
 $I_R = f(V_R)$, $E = 0$



Directional Characteristics
 $S_{rel} = f(\phi)$

