

รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์



โครงการวิจัยเรื่อง
เครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงด้วย
ระบบมัลติเพล็กซ์

นำเสนอ

คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

RCH

TK

5103-59

พ.1959

54571

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของหอสมุดกลางฯ ที่รับภาระใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อเจ้าหน้าที่หอสมุดกลางฯ
วัน,เดือน,ปี 21 ส.ค. 2548

b. 11306 725
i.

ชื่อโครงการวิจัย	เครื่องรับ-ส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงด้วยระบบมัลติเพล็กซ์
หัวหน้าโครงการฯ	รศ.ดร. ประกิจ ตั้งติสานนท์
ผู้ช่วยนักวิจัย 1	นายสถาพร พรหมวงศ์
ผู้ช่วยนักวิจัย 2	นายณัฐพล จินดา
ปีงบประมาณ	2543

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้นำเสนอการส่งสัญญาณภาพและเสียงแบบดิจิทัลผ่านเส้นใยแก้วนำแสงด้วยระบบมัลติเพล็กซ์ โดยมีจุดประสงค์เพื่อต้องการให้ได้ภาพที่มีความคมชัดมากยิ่งขึ้น โดยใช้เทคนิคการส่งข้อมูลทั้งหมดแบบอนุกรม ซึ่งอาศัยเลเซอร์ไดโอดเป็นตัวขับข้อมูล ส่วนภาครับจะใช้โฟโตไดโอดเป็นตัวรับ โครงการวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนของชุดเครื่องส่งซึ่งเป็นส่วนของการแปลงสัญญาณไฟฟ้ามาเป็นสัญญาณแสง และในส่วนของชุดเครื่องรับ โดยจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้กลับคืนมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อให้เหมือนกับข้อมูลที่ถูกลงจากเครื่องส่ง

Project Title Optical Video and Audio Transmitter-Receiver via Multiplex System
Researcher Assoc. Prof. Dr. Prakit Tangtisanon
Asst. Researcher 1 Mr. Sathaporn Promwong
Asst. Researcher 2 Mr. Nuttapol Chinda
Year 2001

Abstract

This project presents the prototype of video/audio transmitter and receiver via optical fiber in multiplex system. The serial mode transmission is used to provide data communication between transmitter and receiver. In this project, the laser diode is employed at the transmitter while the photo diode is used at the receiver. The project consists of two parts, first part is the transmitter which convert the electrical quantity to optical signal. And the second part is the receiver, which convert the optical signal to the electrical quantity.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	2
บทที่ 2 สัณญาณภาพ	3
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับสัณญาณภาพ	3
2.2 สัณญาณเชิงคี่ในแนวนอนและในแนวตั้ง	5
2.3 สัณญาณแบล็งในแนวนอนและแนวตั้ง	6
2.4 สัณญาณภาพ	6
2.5 ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่างและการมอดูเลตโดยใช้พัลส์ ✓	7
2.6 วิธีการถ่ายโอนข้อมูล	14
2.7 รูปแบบการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม	16
2.8 วงจรภาคส่ง ✓	17
2.9 วงจรภาครับ ✓	21
2.10 ความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม	23
2.11 สายไฟเบอร์ออปติก ✓	24
2.12 ชนิดของสายไฟเบอร์ออปติก ✓	24
2.13 การสูญเสียสัญญาณในไฟเบอร์ออปติก ✓	25
2.14 หลักการสื่อสารด้วยไฟเบอร์ออปติก ✓	27
2.15 คุณสมบัติของแหล่งกำเนิดแสง ✓	29
2.16 การทำงานของเลเซอร์ไดโอด ✓	30
2.17 การทำงานของโฟโตดีเทกเตอร์ ✓	31
2.18 คุณสมบัติของ โฟโตดีเทกเตอร์ ✓	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.19 การทำงานของวงจรไครเวอร์	33
2.20 การทำงานของวงจรสำหรับ LED	34
2.21 การทำงานของวงจรเลเซอร์ไดโอด	36
2.22 การทำงานของวงจรดีเท็คเตอร์	36
บทที่ 3 วงจรและการทำงานของวงจร	40
3.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรรวม	40
3.2 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภาคส่ง	41
3.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นข้อมูลดิจิทัล ✓	42
3.4 วงจรแปลงสัญญาณขนานเป็นสัญญาณอนุกรม ✓	43
3.5 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาของภาคส่ง	44
3.6 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภาครับ	45
3.7 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาของภาครับ	47
3.8 วงจรแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก	48
3.9 วงจรแปลงสัญญาณอนุกรมเป็นสัญญาณขนาน	49
3.10 การลงอุปกรณ์บนแผ่นปริ้นของวงจรต่าง	50
3.11 เครื่องต้นแบบ โดยสมบูรณ์ทั้งภาครับและภาคส่ง	53
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	54
4.1 การทดลองภาคส่ง	54
4.2 ผลการทดลองภาครับ	63
4.3 วิธีแก้ไขเมื่อเจอปัญหา	67
บทที่ 5 สรุปผลและแนวทางการพัฒนา	68
ภาคผนวก	69

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การสแกนในแนวนอน	3
รูปที่ 2.2 การสแกนภาพในแนวสลับของเส้นคู่	4
รูปที่ 2.3 การสแกนภาพในแนวสลับเส้นคู่	5
รูปที่ 2.4 ลักษณะสัญญาณภาพ	7
รูปที่ 2.5 สัญญาณอนาลอกกับการสุ่มตัวอย่าง	7
รูปที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมแสดงการสุ่มตัวอย่างและการสร้างสัญญาณเดิมกลับคืนมาเป็นอุดมคติ	8
รูปที่ 2.7 สเตปครัมของสมการอนาลอกเบสแบนสแควร์	9
รูปที่ 2.8 สเตปครัมของขบวนอิมพัลส์ที่มีความถี่เป็น f_s	9
รูปที่ 2.9 การกระจายสเตปครัมในกรณีที่ทำกรสุ่มตัวอย่างด้วย $f_s = 2W$	9
รูปที่ 2.11 กรณีที่ $f_s \geq 2W$	10
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างของการควอนไทน์สัญญาณแบบเชิงเส้น	11
รูปที่ 2.13 การเกิดควอนไทซ์เซชันนอยส์กรณีของการควอนไทซ์สัญญาณแบบเชิงเส้น	12
รูปที่ 2.14 การส่งข้อมูลแบบขนาน	15
รูปที่ 2.15 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม	16
รูปที่ 2.16 รูปแบบการส่งติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม	17
รูปที่ 2.17 การแปลงข้อมูลแบบขนานให้เป็นแบบอนุกรม	18
รูปที่ 2.18 การจัดขาของ IC 74F166	18
รูปที่ 2.19 วงจรเลื่อนข้อมูลแบบอนุกรมขนาด 8 บิตโดยใช้ไอซีเบอร์ 74F166	19
รูปที่ 2.20 ไดอะแกรมเวลาการทำงานของวงจรสร้างบิตเริ่มต้น	20
รูปที่ 2.21 วงจรสมบรูณ์ของวงจรส่งข้อมูลแบบอนุกรม	21
รูปที่ 2.22 ไดอะแกรมเวลาของวงจรหาบิตเริ่มต้น	22
รูปที่ 2.23 วงจรหาบิตเริ่มต้นของวงจรรับข้อมูล	23
รูปที่ 2.24 ไฟเบอร์ออปติกชนิดต่างๆ ที่เป็นพื้นฐาน	24
รูปที่ 2.25 ไฟเบอร์ออปติกชนิดโหมคเดี่ยวชนิดต่างๆ	25
รูปที่ 2.26 ระบบการสื่อสารด้วยไฟเบอร์ออปติก	27
รูปที่ 2.27 โครงสร้างภายในของ LED	28
รูปที่ 2.28 ไลน์วิด ($\Delta\lambda$) ของแหล่งกำเนิดแสง	29
รูปที่ 2.29 โครงสร้างภายในเลเซอร์ไดโอด	30
รูปที่ 2.30 โครงสร้างของโฟโตไดโอด	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.31 วงจรไครเวออร์ (LED) แบบดิจิทัล	33
รูปที่ 2.32 วงจรไครเวออร์ (LED) แบบอนาลอก	35
รูปที่ 2.33 บล็อกการทำงานของวงจรถ่ายโอนไอโอด	36
รูปที่ 2.34 วงจรการทำงานโฟโตไดโอด	37
รูปที่ 2.35 วงจรโฟโตดีเทกเตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์	39
รูปที่ 3.1 ลำดับขั้นการทำงานและการต่อวงจรโดยรวม	40
รูปที่ 3.2 วงจรต่างๆ ที่อยู่ในภาคส่ง	41
รูปที่ 3.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	42
รูปที่ 3.4 วงจรแปลงสัญญาณขนาเป็นสัญญาณอนุกรม	43
รูปที่ 3.5 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาของภาคส่ง	44
รูปที่ 3.6 วงจรแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง	44
รูปที่ 3.7 เครื่องต้นแบบของภาคส่ง	45
รูปที่ 3.8 วงจรต่างๆ ที่อยู่ในภาครับ	45
รูปที่ 3.9 เครื่องต้นแบบของภาครับ	46
รูปที่ 3.10 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา (Clock) ของภาครับ	47
รูปที่ 3.11 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก	48
รูปที่ 3.12 วงจรแปลงสัญญาณอนุกรมไปเป็นสัญญาณขนา	49
รูปที่ 3.13 วงจรแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า	49
รูปที่ 3.14 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก	50
รูปที่ 3.15 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	50
รูปที่ 3.16 การลงอุปกรณ์บนแผ่นปริ้นของภาคส่ง	51
รูปที่ 3.17 การลงอุปกรณ์บนแผ่นปริ้นของภาครับ	52
รูปที่ 3.18 เครื่องต้นแบบโดยสมบูรณ์	53
รูปที่ 4.1 กราฟเวลาของวงจรภาคส่ง	55
รูปที่ 4.2 ส่วนต่างๆ ของภาคส่ง	56
รูปที่ 4.3 (ก) สัญญาณภาพแบบแท่งสี่เหลี่ยมวัดจากอินพุตจุดที่ 1	57
รูปที่ 4.4 ขกระดับสัญญาณให้เหมาะสมกับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล จุดที่ 2	58
รูปที่ 4.5 สัญญาณที่ได้จากการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นข้อมูลดิจิทัล	58
รูปที่ 4.6 ระดับสัญญาณแนวตั้งและแนวนอน	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.7 (ก) ช่องสัญญาณที่ 1 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณ	60
รูปที่ 4.8 ช่องที่ 1 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	60
รูปที่ 4.9 สัญญาณสโตปที่ขา 15 ของ ไอซีเบอร์ 74F166	61
รูปที่ 4.10 ช่องที่ 1 สัญญาณนาฬิกา ช่องที่ 2 สัญญาณความถี่ที่เป็นตัวบอกว่าส่งข้อมูลเสร็จแล้ว	61
รูปที่ 4.11 สัญญาณนาฬิกาของระบบ จุดที่ 3	62
รูปที่ 4.12 ช่องที่ 1 สัญญาณที่ใช้ในการแชนเปลิ่ง	62
รูปที่ 4.13 สัญญาณสิ้นสุดการส่งข้อมูลเมื่อส่งข้อมูลเสร็จแล้วจะสโตปข้อมูลเข้ามา	63
รูปที่ 4.14 ส่วนต่างๆ ของภาครับ	65
รูปที่ 4.15 ช่องที่ 1 สัญญาณนาฬิกาของภาครับ	66
รูปที่ 4.16 สัญญาณเอาพุตที่ออกจากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	66



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การทำงานของไอซีเบอร์ 74F166	19
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	54
ตารางที่ 4.2 การแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นอนาลอก	64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางการส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงนั้นได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากความคมชัดของภาพและเสียงที่ดีกว่า อีกทั้งยังมีสัญญาณรบกวนต่ำและสามารถส่งสัญญาณได้ที่หลายช่องสัญญาณ เนื่องจากเป็นระบบที่มีแบนด์วิธกว้าง ดังนั้นแม้ว่าจะทำการส่งไปในระยะทางที่ไกลก็ตาม ความคมชัดของภาพและเสียงนั้นก็ยังคงปรากฏอยู่ ซึ่งจะอาศัยหลักการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ โดยส่วนใหญ่แล้วเครื่องรับและส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงที่ได้นำเข้ามาจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูงมาก ดังนั้นเพื่อความเหมาะสมและให้เพียงพอกับความต้องการของประเทศ อีกทั้งยังสามารถผลิตเป็นสินค้าส่งออกยังประเทศใกล้เคียงได้อีกด้วย ในราคาที่ไม่สูงเกินไป เป็นผลพลอยได้ทางเศรษฐกิจของประเทศด้วย จึงได้คิดค้นออกแบบเครื่องต้นแบบขึ้นมา โดยเน้นให้มีการใช้งานง่าย ราคาต่ำกว่าการนำเข้าจากต่างประเทศ แล้วสัญญาณภาพและเสียงจากเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นจะมีความคมชัดในระดับที่ดี จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจมาก

สำหรับการพัฒนาสร้างเครื่องต้นแบบโดยใช้ระบบการมัลติเพล็กซ์นั้น ในระยะเริ่มแรกของการทำวิจัยจะเป็นการศึกษาเปรียบเทียบวงจรต่างๆ และทำการสร้างเครื่องรับและส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

ส่วนระยะที่สองจะทำการทดลอง และทำการปรับแต่งสัญญาณ แล้วเก็บข้อมูลเปรียบเทียบจากนั้นเมื่อทดลองเสร็จแล้ว และทำการทดสอบอีกครั้ง แล้วจึงทำการประกอบเครื่องพร้อมเป็นเครื่องรับและส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงในระบบมัลติเพล็กซ์ที่สมบูรณ์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 วิจัย พัฒนา ออกแบบสร้างวงจรเครื่องรับและส่งสัญญาณภาพและเสียงให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้นในราคาต้นทุนต่ำ
- 1.2.2 ออกแบบระบบและพัฒนาระบบเชื่อมต่อ ตลอดจนการส่งผ่านตัวกลางเส้นใยแก้วนำแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการทำงานของระบบการรับและส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง และการนำเอาไปประยุกต์ใช้ได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพตามความต้องการ
- 1.2.4 เพื่อการวิจัยส่งเสริมการใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีภาคการผลิตของประเทศ

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

- 1.3.1 เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารทางด้านต่างๆ ที่สามารถส่งได้ทั้งภาพและเสียงด้วยเส้นใยแก้วนำแสง
- 1.3.2 เป็นการส่งเสริมการผลิตวงจร ลดต้นทุนการผลิต และลดการนำเข้าจากต่างประเทศ
- 1.3.3 ใช้ในการเรียนการสอนและฝึกฝนวิศวกร เพื่อพัฒนานักศึกษาให้มีประสิทธิภาพ

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

ทำการวิจัยและสร้างเครื่องรับและส่งสัญญาณภาพและเสียงผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ในระบบมัลติเพล็กซ์ กำลังขับต่ำประมาณ 10 uW ระยะส่งประมาณ 25 เมตร เพื่อทำเป็นต้นแบบในการพัฒนาให้กำลังส่งมากขึ้น และระยะส่งไกลขึ้นในอนาคตเพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในจำนวนมากตามที่ต้องการ

สำหรับรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ โครงการวิจัยสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

บทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นของสัญญาณภาพ การมอดูเลทแบบ PCM รวมถึงพื้นฐานของสายใยแก้วนำแสงซึ่งจะกล่าวถึงสายใยแก้วนำแสงชนิดต่างๆ การนำไปประยุกต์ใช้งาน รวมถึงคุณสมบัติต่างๆ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาใช้ร่วมกับสายใยแก้วนำแสง เช่น เลเซอร์ไดโอด และโฟโตไดโอด

บทที่ 3 จะเป็นส่วนของการออกแบบวงจรและการทำงานของวงจรในส่วนของการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลและการเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก การเปลี่ยนข้อมูลจากข้อมูลอนุกรมไปเป็นข้อมูลแบบขนาน และการเปลี่ยนข้อมูลจากข้อมูลแบบขนานเป็นข้อมูลแบบอนุกรม รวมถึงการเปลี่ยนแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง และการเปลี่ยนกลับคือการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าอีกครั้ง

บทที่ 4 จะเป็นส่วนของการทดลองและรวมผลการทดลองทั้งหมด โดยแสดงให้อยู่ในรูปของสัญญาณที่วัดได้จากส่วนต่างๆ โดยใช้ออสซิลโลสโคปแบบดิจิทัลเป็นตัววัดทั้งภาครับและภาคส่งของวงจร

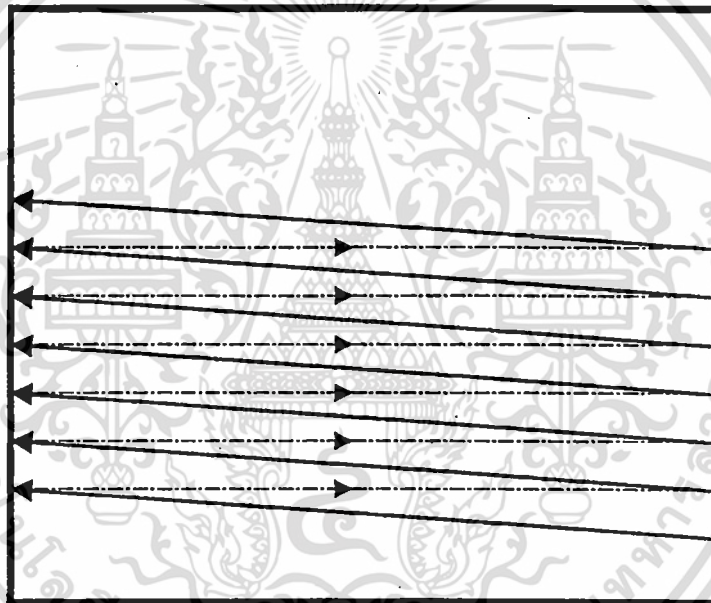
บทที่ 5 จะเป็นส่วนที่กล่าวถึงบทสรุปในการทำโครงการวิจัยนี้ ปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ที่เกิดขึ้น ตลอดจนวิธีการแก้ไขปัญหาต่างๆ และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการทำโครงการวิจัยรวมถึงข้อเสนอแนะในการพัฒนาโครงการชิ้นนี้ต่อไป

บทที่ 2

สัญญาณภาพ

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับสัญญาณภาพ

ภาพที่ฉายตามโรงภาพยนตร์เป็นภาพวิ่ง (Continuous motion picture) ซึ่งเกิดขึ้นจากการฉายภาพนิ่งต่อเนื่องบนจอภาพ โดยสายตาคคนเราไม่สามารถแยกภาพแต่ละภาพออกจากกันได้นั้นคือคนเราเห็นภาพต่อเนื่องกันไปซึ่งจะเกิดเมื่อฉายภาพด้วยความเร็ว 25 ภาพต่อวินาที (25 Frame/s) แต่ระบบการส่งแบบโทรทัศน์นั้นสัญญาณที่ส่งมาเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งในการส่งแต่ละภาพประกอบไปด้วยจุดจำนวนมากมายเรียงต่อเนื่องกัน โดยแต่ละจุดจะมีความสว่างหรือมืดเป็นความเข้มของระดับสีต่างๆ กันไป ภาพในเครื่องรับโทรทัศน์จะถูกสแกนต่อเนื่องกันไปทีละเส้น ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การสแกนในแนวนอน

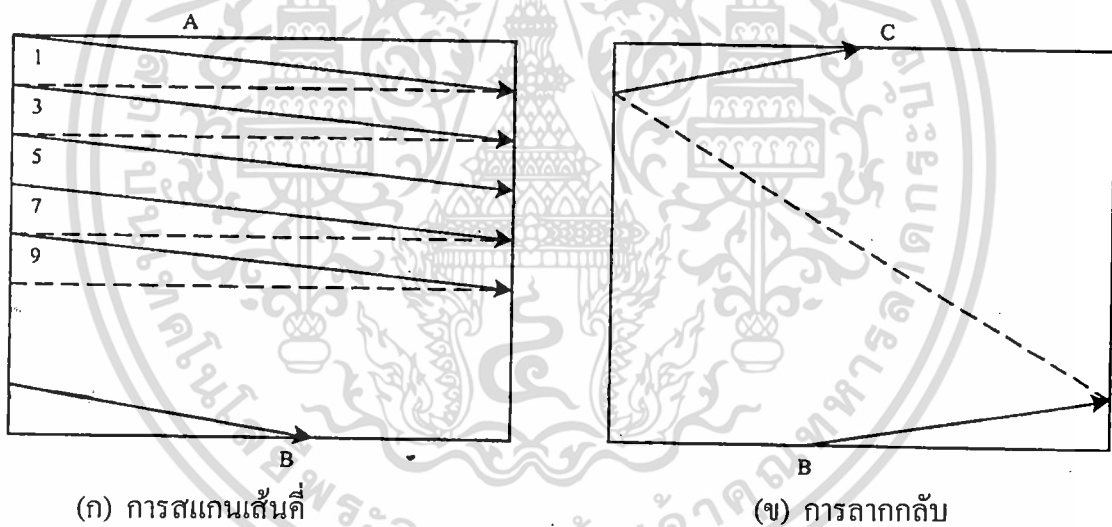
- ก) เส้นที่บแทนการลากจากขวามือมาซ้ายมือ
- ข) เส้นปะแทนการลากจากซ้ายมือมาขวามือ

ภาพในโทรทัศน์ 1 ภาพ เกิดจากการเรียงกันออกมาเป็นเส้นลากจากภาพหนึ่งไปอีกภาพหนึ่ง คือเริ่มต้นจากจุดบนซ้ายสแกนจากซ้ายไปขวาจากบนลงล่างวิธีการนี้เรียกว่าการสแกนเชิงเส้นในแนวนอน ลำดับการสแกนเป็นดังนี้

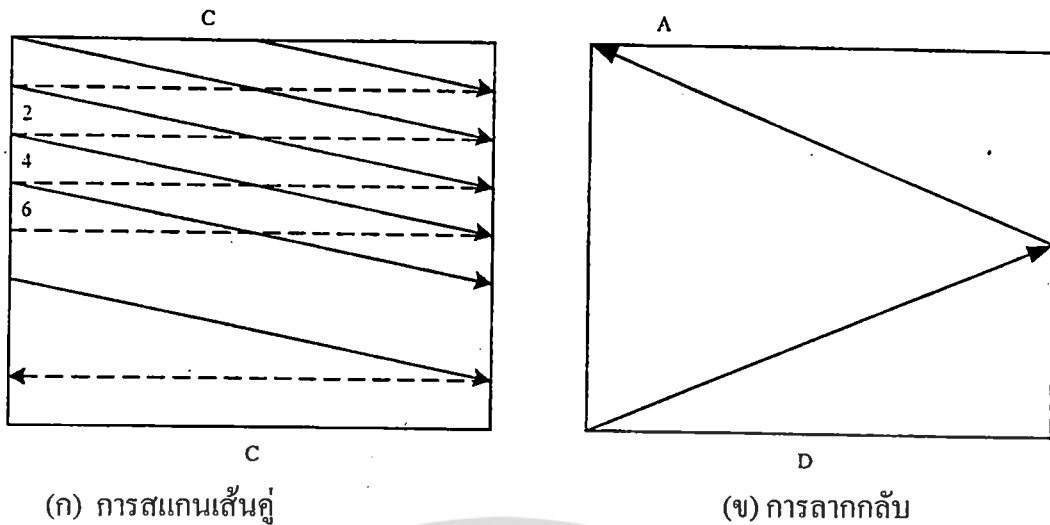
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) ลำแสงอิเล็กตรอนจะถูกส่งออกมาตามแนวนอน
- 2) ที่จุดปลายของเส้นลำแสง จะถูกลากกลับอย่างรวดเร็วมาทางซ้าย เพื่อเริ่มการสแกนใหม่ ช่วงเวลาที่ลากกลับนี้ว่า Retrace หรือ Feedback ในช่วงนี้จะไม่มีการรับข้อมูลในหลอดภาพดังนั้นช่วงเวลานี้จึงควรเร็วมาก
- 3) เมื่อลำแสงเลื่อนกลับมาทางด้านซ้ายในตำแหน่งแนวตั้งจะเลื่อนต่ำลงมาจะเกิดการสแกนเส้นใหม่ในที่สุดถึงขอบล่างขวาและจะมีการสแกนในแนวตั้ง เพื่อไปยังขอบบนซ้ายเพื่อสแกนภาพในแนวนอน เพรมาใหม่

ความถี่ของการสแกนภาพของโทรทัศน์จะใช้อัตราการส่งภาพ 30 ภาพต่อวินาที แต่อย่างไรก็ตามก็ยังไม่เร็วพอในการแก้ปัญหาการสั่นกระพริบของภาพ ดังนั้นจึงใช้วิธีการสแกนภาพโดยการสลับ (Interlacing) กล่าวคือจะมีการสแกน 2 ครั้ง (Field) ใน 1 ภาพ (Frame) ครั้งแรกสแกนเส้นเลขคี่จนถึงเส้นที่สุดท้ายของภาพแล้วจึงกลับมาสแกนเส้นคู่จนครบ ในการสแกนด้วยอัตราเร็ว 25 ภาพต่อวินาที จะมีการสแกนในแนวตั้งด้วยความเร็ว 50 Hz แต่ในระบบ 25 ภาพต่อวินาทีจะมีการสแกนในแนวตั้งด้วยความเร็ว 60 Hz รูปข้างล่างแสดงการสแกนภาพในแนวสลับ



รูปที่ 2.2 การสแกนภาพในแนวสลับของเส้นคี่



รูปที่ 2.3 การสแกนภาพในแนวสลับเส้นคู่

ในการสแกนในแนวตั้งด้วยความเร็ว 60 Hz ช่วงเวลาในการสแกนในแนวตั้งเท่ากับ $1/60$ วินาที ซึ่งจะประกอบไปด้วยการสแกนในระบบ 525 เส้น นั่นคือ 262.5 เส้น จำนวนของเส้นสแกนใน 1 วินาที จะเท่ากับ $262.5 \times 60 = 15750$ เส้น

ดังนั้นความเร็วในการสแกนในแนวนอนเท่ากับ 15750 เส้นต่อวินาทีจะได้ช่วงเวลาในการสแกนในแนวนอน คือ $1 / 15750 = 63.5 \mu s$ สำหรับประเทศไทยใช้ระบบ 625 เส้น ซึ่งความถี่ในการสแกนภาพคือ 25 ภาพต่อวินาที จะได้ความเร็วในการสแกนในแนวนอนเท่ากับ $25 \times 625 = 15625$ Hz และเวลาในการสแกนในแนวนอนเท่ากับ $64 \mu s$ การสแกนในแต่ละภาพจะใช้เวลา $1 / 50 = 20/ms$ แต่ในระบบ 625 เส้นจะใช้เวลา $1 / 60 = 16.67/ms$

2.2 สัญญาณซิงค์ในแนวนอนและในแนวตั้ง

ในการสแกนภาพนั้นการสแกนจะต้องเริ่มด้วยเวลาที่แน่นอนตรงกับเครื่องส่งเพื่อให้ข้อมูลของภาพแสดงตรงที่ตำแหน่งที่ถูกต้อง ในการที่จะให้เครื่องส่งและเครื่องรับมีความสัมพันธ์กันจำเป็นต้องมีสัญญาณซิงค์ส่งมากับสัญญาณภาพด้วยสัญญาณซิงค์นี้จะเป็นลักษณะพัลส์รูปสี่เหลี่ยม ซึ่งในการควบคุมการสแกนทั้งทางเครื่องรับและเครื่องส่ง

สัญญาณซิงค์จะถูกส่งรวมมากับสัญญาณภาพ เพื่อประกอบเป็นสัญญาณรวมสำหรับเครื่องรับ สัญญาณนี้จะเกิดขึ้นในระหว่างช่วงของการเกิดแบล็กคิงค์ ซึ่งไม่มีข้อมูลของภาพในการส่ง ช่วงที่ข้อมูลของภาพแบล็กคิงค์ จะตรงกับช่วงที่ลำอิเล็กตรอนลากกลับจากขวามาซ้ายสัญญาณซิงค์ในแนวนอน จะเกิดขึ้นในช่วงสุดท้ายของการสแกนเส้นตามแนวนอน ซึ่งเป็นการเริ่มลากกลับมาตามแนวนอน สัญญาณซิงค์ตามแนวตั้งจะเกิดตอนที่ภาพสแกนถึงตำแหน่งล่างสุดของจอภาพ เพื่อเป็นการลากกลับของลำอิเล็กตรอนตามแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการสแกนเส้นสแกนตามแนวนอนด้วยความถี่ 15625 Hz ความถี่ของสัญญาณซิงค์ในแนวนอนจะเท่ากับ 15625 Hz ส่วนการสแกนภาพตามแนวตั้งสแกนด้วยความถี่ 50 Hz สัญญาณซิงค์ในแนวตั้งจะเท่ากับ 50 Hz

2.3 สัญญาณแบล็กคิงในแนวนอนและแนวตั้ง

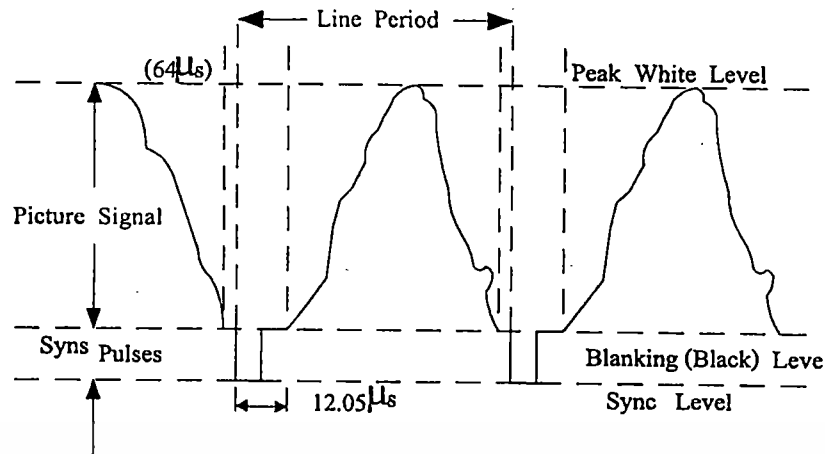
ในระบบโทรทัศน์สัญญาณแบล็กคิงคือ สัญญาณที่ทำให้เป็นสีดำ ในส่วนของสัญญาณวิดีโอ ระดับแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณแบล็กคิงจะอยู่ที่ระดับของสีดำ ระดับแรงดันไฟฟ้าของสีดำนี้อาจจะไปทำให้กระแสที่ใช้ในการยิงลำอิเล็กตรอนหยุดไหล ทำให้ไม่มีแสงออกมาที่จอภาพ จุดประสงค์ของสัญญาณแบล็กคิง ก็เพื่อไม่ให้มองเห็นภาพเส้นที่ลากกลับในช่วงของการสแกน

สัญญาณแบล็กคิงในแนวนอนมีความถี่ 15625 Hz ทำให้เกิดการแบล็กคิงในช่วงของเส้นที่ลากกลับมาจากทางขวามือมาซ้ายมือ สัญญาณแบล็กคิงในแนวตั้งมีความถี่ 60 Hz ทำให้เกิดการแบล็กคิงในส่วนลากกลับจากส่วนล่างขึ้นส่วนบน ช่วงเวลาของสัญญาณแบล็กคิงในแนวนอนมีค่าประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ของสัญญาณเส้นตามแนวนอนที่มีค่า $64 \mu s$ ดังนั้นสัญญาณแบล็กคิงตามแนวนอนมีค่าเท่ากับ $64 \times 0.2 = 12.8 \mu s$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาของการลากเส้นกลับจะต้องสิ้นสุดภายใน $12.8 \mu s$

สำหรับช่วงเวลาของสัญญาณแบล็กคิงตามแนวตั้ง มีค่าประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ ของสัญญาณตามแนวตั้งที่มีช่วงเวลาใน 1 ภาพ เท่ากับ 20 ms ดังนั้นสัญญาณแบล็กคิงตามแนวตั้งจะมีค่าเท่ากับ $20 \times 0.08 = 1.6/ms$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการลากกลับของภาพจุดล่างสุดไปจุดบนสุดต้องเสร็จสิ้นภายในเวลา $1.6/ms$

2.4 สัญญาณภาพ

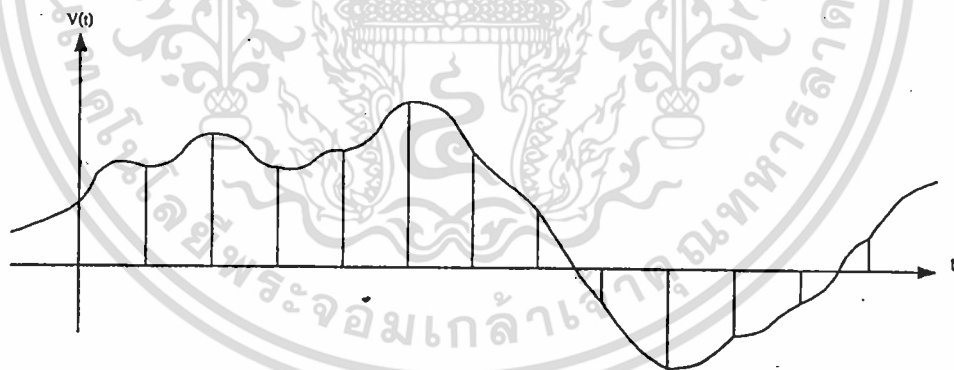
สัญญาณภาพรวม (Composite Video Signal) จะประกอบไปด้วย สัญญาณข้อมูลภาพ สัญญาณแบล็กคิง และสัญญาณซิงค์ ในส่วนของสัญญาณซิงค์และสัญญาณแบล็กคิงยังแบ่งออกเป็นสัญญาณซิงค์และสัญญาณแบล็กคิงในแนวนอน และสัญญาณซิงค์และสัญญาณแบล็กคิงในแนวตั้ง ระดับความสว่างหรือระดับความเข้มของแต่ละจุดในภาพของสัญญาณโทรทัศน์ ขึ้นอยู่กับค่าระดับ โวลเตจของสัญญาณภาพ ลักษณะของสัญญาณภาพแสดงดังรูปที่ 2.4



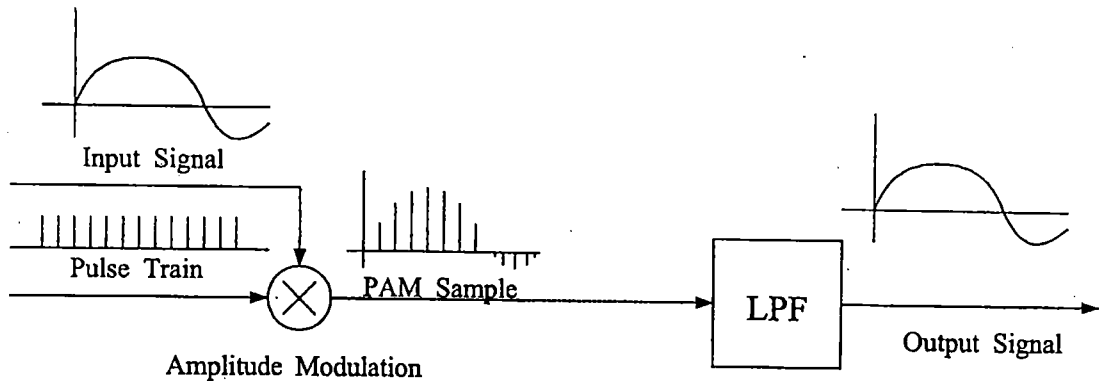
รูปที่ 2.4 ลักษณะสัญญาณภาพ

2.5 ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่างและการมอดูเลตโดยใช้พัลส์ (Pulse Code Modulation, PCM)

ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่างและการสร้างสัญญาณกลับคืนมา ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่างของทฤษฎีในควิสต์ ในควิสต์ได้เสนอทฤษฎีบทไว้ว่าถ้าเรามีสัญญาณอนาลอกที่มีสเปกตรัมสูงสุดจำกัดค่าหนึ่งเราสามารถสร้างสัญญาณพัลส์ที่มีข่าวสารของสัญญาณอนาลอกนั้นด้วยอัตราสุ่มที่เหมาะสม การที่กล่าวว่าการสร้างสัญญาณพัลส์ที่สร้างขึ้นจะมีข่าวสารของสัญญาณอนาลอกอยู่อย่างครบถ้วนก็เพราะว่าเราสามารถสร้างสัญญาณอนาลอกกลับคืนมาใหม่ได้ โดยการจัดการกับสัญญาณพัลส์อย่างเหมาะสม พิจารณารูปที่ 2.5 ถ้าให้สัญญาณอนาลอกที่พิจารณาอยู่นี้มีสเปกตรัมสูงสุด



รูปที่ 2.5 สัญญาณอนาลอกกับการสุ่มตัวอย่าง



รูปที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมแสดงการสุ่มตัวอย่างและการสร้างสัญญาณเดิมกลับขึ้นมาเป็นอุดมคติ

2.5.1 อัตราการสุ่มตัวอย่างและผลกระทบที่เกิดขึ้นในกรณีที่อัตราการสุ่มตัวอย่างไม่เพียงพอ ในทางอุดมคตินั้น สัญญาณอนาลอกที่มีสเปกตรัมสูงสุดจะต้องใช้ความถี่ในการสุ่มตัวอย่าง f_s อย่างน้อยที่สุดเป็นสองเท่าของสเปกตรัมสูงสุด $f_s \geq 2W$ แต่ในทางปฏิบัติระบบทั่วไปที่ไม่ใช่อุดมคตินั้น ความถี่ในการสุ่มตัวอย่างจะต้องมากกว่า $2W$ เสมอ ความจำเป็นที่ f_s จะต้องสูงกว่า $2W$ และผลกระทบที่เกิดขึ้นในกรณีที่ $f_s \geq 2W$ ระบบอุดมคติในรูปที่ 2.6 ตามรูปสัญญาณที่ออกมาจาก วงจรคูณ จะสามารถเขียนได้ดังนี้

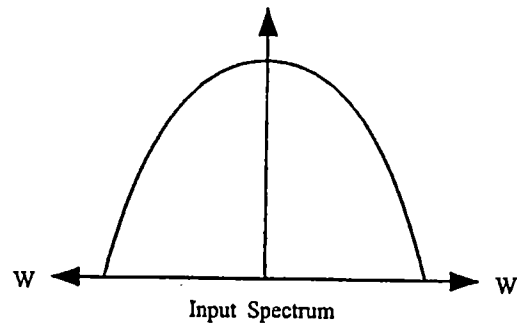
$$V_s(t) = v(t) \sum_{n=-\alpha}^{\alpha} \delta(t - nT_s) \quad (2.1)$$

เมื่อทำการหาฟูรีเยร์ของสมการ

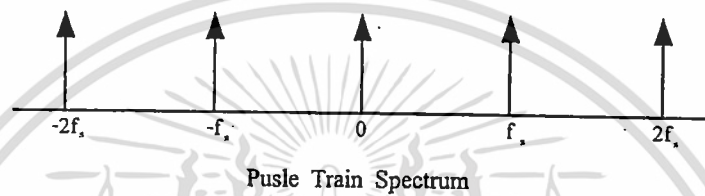
$$V_s(t) = v(t) \times \sum_{n=-\alpha}^{\alpha} f_s \delta(f - nf_s)$$

$$= \sum_{n=-\alpha}^{\alpha} f_s V(f - nf_s) \quad (2.2)$$

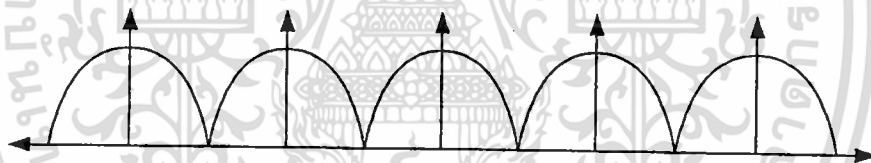
เมื่อนำฟูรีเยร์สเปกตรัมที่ได้ตามสมการ (2.2) นี้ไปเขียนเป็นรูปจะได้ดังรูปที่ 2.7



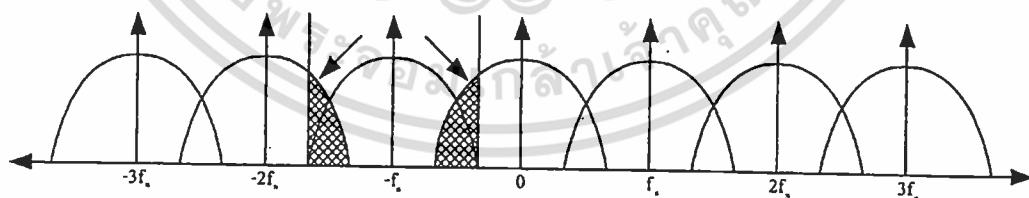
รูปที่ 2.7 สเปกตรัมของสมการอนุกรมเบสแบนสก็ดแคร์



รูปที่ 2.8 สเปกตรัมของขบวนอิมพัลส์ที่มีความถี่เป็น f_s

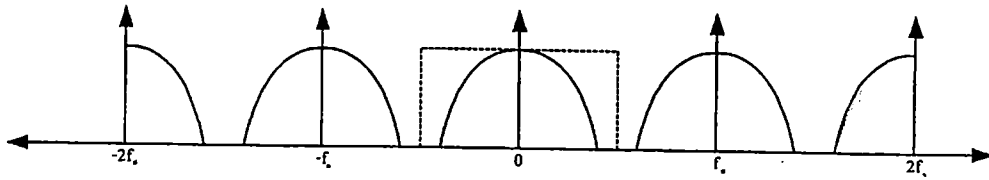


รูปที่ 2.9 การกระจายสเปกตรัมในกรณีที่ทำการสุ่มตัวอย่างด้วย $f_s = 2W$



รูปที่ 2.10 กรณีที่ $f_s \geq 2W$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 กรณีที่ $f_s \geq 2W$

สเปกตรัมของสัญญาณตามรูปที่ 2.9-2.11 นั่นก็คือ สเปกตรัมของสัญญาณที่มอดูเลตแล้วนั่นเอง ลักษณะการมอดูเลตแบบนี้เราเรียกว่า พัลส์แอมพลิจูดมอดูเลชัน (PCM = Pulse Amplitude Modulation) การทำคิมมอดูเลชันซึ่งก็คือ การดึงเอาเฉพาะสเปกตรัมของสัญญาณเบสแบนด์ออกมาก็อาจทำได้โดยการกรองความถี่แบบผ่านความถี่ต่ำ จากรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่า ถ้าต้องการดึงเอาสัญญาณเบสแบนด์ออกมา จะต้องใช้วงจรกรองความถี่แบบผ่านความถี่ต่ำที่เป็นอุดมคติ เพื่อที่จะสกัดสเปกตรัมของความถี่ที่อยู่ติดกันซึ่งในทางปฏิบัติไม่สามารถเป็นไปได้นั้น ดังนั้นจึงเกิดปัญหาของการรบกวนจากสเปกตรัมที่อยู่ติดกัน

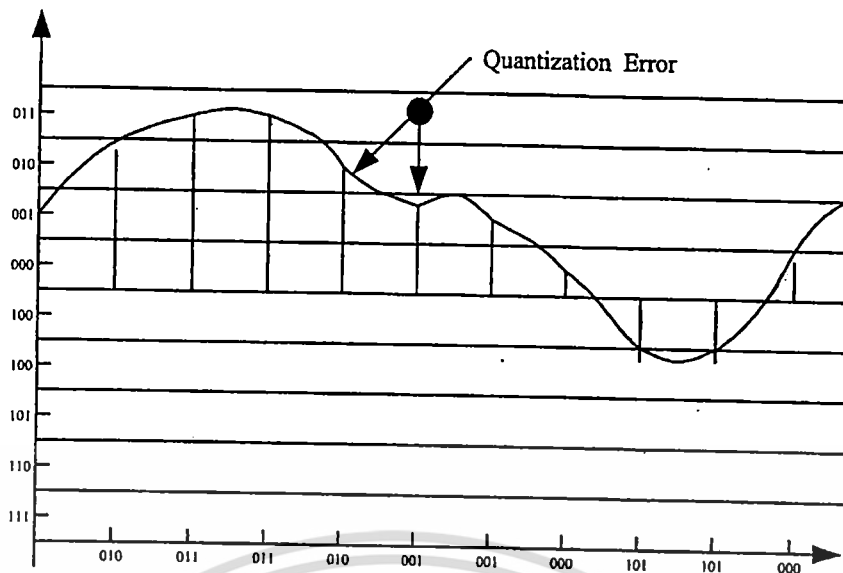
กรณีรูปที่ 2.10 $f_s \leq 2W$ ทำให้สเปกตรัมของสัญญาณไซเบอร์นซ์ซ้อนทับกัน ในกรณีเช่นนี้จะไม่สามารถที่จะสกัดการรบกวนระหว่างไซเบอร์นซ์ได้

สำหรับกรณีของรูปที่ 2.11 $f_s \geq 2W$ กรณีนี้จะลดความยุ่งยากในการใช้วงจรกรองความถี่สูง เพราะช่วงการ์ดแบนด์ (Guardband) คือ $f_s - 2W$ มีขนาดกว้างขึ้น ในกรณีทั่วไปจะเป็นไปตามเงื่อนไขในรูปที่ 2.11

ในกรณีที่ $f_s \leq 2W$ ซึ่งทำให้ไซเบอร์นซ์ของสเปกตรัมเกิดการซ้อนทับกันนั้น เมื่อทำการคิมมอดูเลตโดยใช้วงจรกรองความถี่แบบผ่านความถี่ต่ำที่มีแบนด์วิดท์ f_s จะพบว่าสัญญาณที่คิมมอดูเลตออกมาได้นั้นเกิดการผิดเพี้ยนขึ้น เพราะสเปกตรัมในช่วง $f_s - W$ คือ $f_s/2$ ซึ่งเป็นช่วงที่สเปกตรัมเกิดการซ้อนทับกันนั้นเป็นของปลอม ลักษณะเช่นนี้เราเรียกว่า การเกิดสเปกตรัมปลอม (Aliasing)

2.5.2 พัลส์โคดมอดูเลชัน (PCM = Pulse Code Modulation)

ระบบ PCM เป็นระบบที่มีประโยชน์จากทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง โดยจัดการกับสัญญาณ PAM ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างให้เป็นสัญญาณที่เหมาะสมกับการส่งผ่านระบบมากขึ้น ทั้งนี้เพราะสัญญาณ PAM นั้นเมื่อส่งผ่านระบบจะประสบกับปัญหาการผิดเพี้ยนซึ่งทำให้สเปกตรัมของสัญญาณเบสแบนด์ที่ปลายทางผิดเพี้ยนไปจากเดิม ระบบ PCM นั้นเป็นการจัดการกับสัญญาณ PAM โดยการนำสัญญาณ PAM ไปทำการเข้ารหัส (Encode) เป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วจึงนำสัญญาณดิจิทัลที่ได้ส่งผ่านระบบต่อไปทางภาครับจะทำการถอดรหัสเป็นสัญญาณ (Decoding) สัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณ PAM นั้นไปคิมมอดูเลตเป็นสัญญาณเบสแบนด์คืนมา



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างของการควอนไทน์สัญญาณแบบเชิงเส้น

2.5.3 การสร้างสัญญาณ PCM

ในการเข้ารหัสสัญญาณ PAM ซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อกที่เกิดจากการสุ่มตัวอย่างให้เป็นรหัสสัญญาณดิจิทัล PCM นั้นจะอาศัยตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog To Digital Converter, ADC) โดย ADC จะทำการนำค่าของสัญญาณ PAM มาเปรียบเทียบแล้วปัดขึ้นหรือปัดลงให้สามารถแทนระดับสัญญาณได้โดยใช้บิตจำกัดแทนค่าสัญญาณ วิธีเช่นนี้เราเรียกว่า การควอนไทซ์สัญญาณ (Quantization Signal) และถ้าให้ระดับสัญญาณมีขนาดเท่ากันก็จะเป็นการควอนไทซ์สัญญาณเชิงเส้น สัญญาณ PAM ที่ถูกควอนไทซ์แล้วจะถูกนำมาเข้ารหัสเป็นสัญญาณ PCM ออกมา

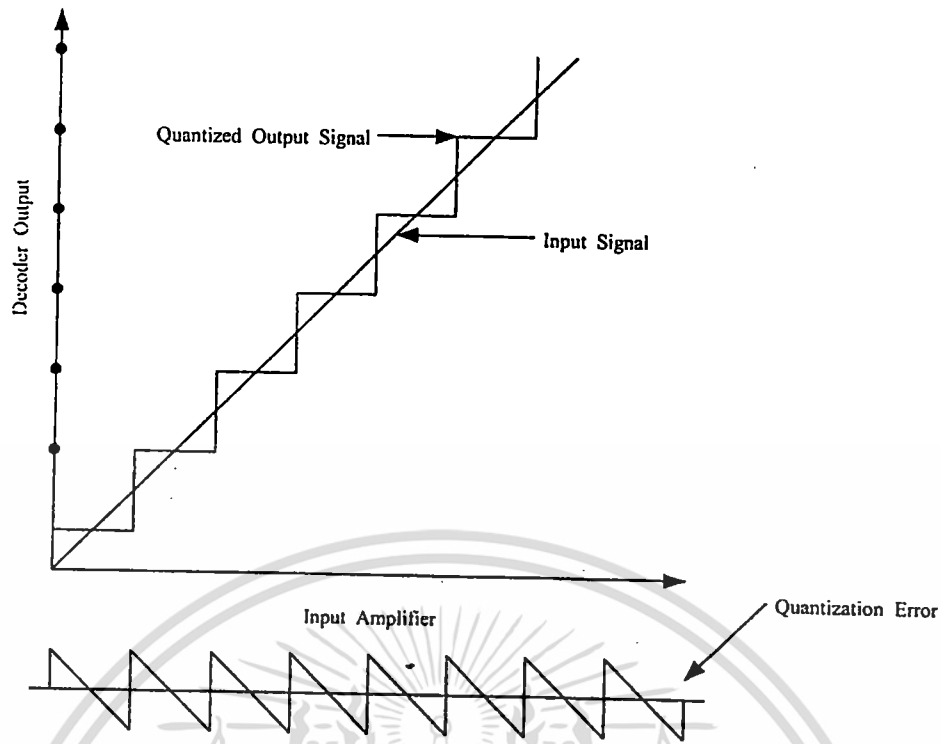
2.5.4 ควอนไทซ์เซชันนอยส์ (Quantization Noise)

การควอนไทซ์สัญญาณ PAM นั้นค่าที่ได้จะเป็นเพียงค่าประมาณ ดังนั้นการแปลงสัญญาณกลับมาก็อาจมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ค่าความผิดพลาดชนิดนี้เราเรียกว่า การควอนไทซ์เซชันนอยส์

ในกรณีที่การควอนไทซ์เซชันนอยส์เป็นแบบเชิงเส้น โดยช่วงกว้างของแต่ละขั้นของระดับสัญญาณที่ถูกควอนไทซ์เป็น q จะได้ว่า

1. ระดับสัญญาณที่ถอดรหัสได้จะต่างจากระดับของสัญญาณจริงสูงสุดไม่เกิน $q/2$
2. ระดับของสัญญาณที่ถูกสุ่มตัวอย่างมาจะมีความน่าจะเป็นที่จะอยู่ที่ระดับต่างๆ ในช่วง q ได้เท่าๆ กัน นั่นคือความน่าจะเป็นเท่ากับ $1/q$
3. ระดับสัญญาณสูงสุดจะต้องอยู่ในช่วงการทำการควอนไทซ์ ถ้าระดับสัญญาณสูงเกินกว่าค่าสูงสุดที่จะทำการควอนไทซ์ได้ก็จะเกิดการผิดเพี้ยนเนื่องมาจากสาเหตุนี้ขึ้นมาอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การเกิดควอนไทซ์เซชันนอยส์กรณีของการควอนไทซ์สัญญาณแบบเชิงเส้น

กำลังของสัญญาณรบกวนแบบควอนไทซ์เซชันนอยส์นี้สามารถเขียนได้เป็น

$$N_q = \frac{q^2}{12}; \quad q = \text{step size } q \quad (2.3)$$

ถ้าค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอยู่ในช่วง 0 ถึง A_{\max}

$$A_{\max} = q \times 2^n \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} SNR_{(rms)} &= \frac{\text{RMS signal power}}{\text{Quantizer noise power}} \\ &= \frac{(\text{rms signal level})^2}{q^2 / 12} \end{aligned}$$

rms signal คือ A_{\max} และ $q = \frac{A_{\max}}{2^n}$ ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} SNR_{(rms)} &= \frac{A_{(rms)}^2}{(A_{(\max d)} / 2^n)^2 / 12} \\ &= 12(2^{2n})(A_{\max} / A_{\max})^2 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ว่า

$$SNR_{(rms)} = 6.02n + 10.8 + 20 \log \frac{A_{rms}}{A_{max}} \quad (2.5)$$

- ; A_{rms} = ระดับสัญญาณ rms
- ; A_{max} = ค่าแอมป์ริจูดสูงสุดแบบ Peak to Peak
- n = จำนวนบิตที่ใช้ในการควอนไทซ์

ถ้า $A_{max} = A_{peak} / 1.414$ และ $A_{max} = 2A_{peak}$

$$\begin{aligned} SNR_{(rms)} &= 6.02n + 10.8n + 20 \log \frac{A_{peak}}{2 \times 1.414A_{peak}} \\ &= 6.02n + 1.8 \text{ dB} \end{aligned}$$

โดยทั่วไปแล้วสัญญาณที่ถูกควอนไทซ์อาจเป็นสัญญาณซึ่งซับซ้อนซึ่งจะไม่อยู่ในรูปของสัญญาณ Peak To Peak แต่จะอยู่ในรูปของสัญญาณ rms ซึ่งสามารถแสดงค่าเฉลี่ยหรือระดับ rms ดังนั้นในกรณีนี้ ค่า $SNR_{(rms)}$ จะต้องหักลบค่า QF (Quantizer Conversion Factor) ด้วย ดังนั้นจะได้ว่า

$$SNR_{(P-P)} = 6.02n + 1.8\text{dB} - QF \quad (2.6)$$

$$QF = 20 \log \frac{A_{max}}{A}$$

จากสมการที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ นั้น สัญญาณเบสแบนด์ของวิดีโอ จะถูกแยกออกจากสัญญาณเสียง และทำการเข้ารหัสแยกโดยในส่วนของสัญญาณภาพที่มีคุณภาพของสัญญาณดีพอนั้นควรมีค่า $SNR_{(P-P)} > 52\text{dB}$ ดังนั้นในการเข้ารหัสสัญญาณจะต้องใช้จำนวนบิต 7 ถึง 8 บิต และอัตราในการสุ่มตัวอย่างควรมีค่าประมาณ 10 MHz

ในการเข้ารหัสสัญญาณวิดีโอ นั้นจะต้องทำการเข้ารหัสเฉพาะส่วนของสัญญาณที่เป็นภาพ (Picture) ส่วนสัญญาณซิงค์ (Sync) จะทำการสร้างขึ้นมาใหม่ที่ตัวรับ ในกรณีนี้ค่าระดับสัญญาณ Peak To Peak ตั้งแต่ระดับสัญญาณไวท์ (White) ถึงแบล็กกิง (Blanking) คือ A และช่วงของการควอนไทซ์คือ $A_{(MAX)}$ ดังนั้น $A_{(MAX)} = 2A$

ระดับของสัญญาณ rms คือ $V_s / 1.414$ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\begin{aligned} SNR_{(rms)} &= 6.02n + 10.8n + 20 \log \frac{(V_s / 1.414)}{2V_s} \\ &= 6.02n + 1.8n \text{ dB} \end{aligned}$$

ทำการเปลี่ยนค่า $SNR_{(P-P)}$ เป็น $SNR_{(rms)}$ โดย

$$SNR_{(rms)} = SNR_{P-P} - CF - WF$$

; CF = Conversion Factor สำหรับการเปลี่ยนค่าระดับสัญญาณ Peak To Peak เป็น rms
Signal Power

= 9 dB สำหรับสัญญาณรูปไซน์ (Sine) และ 7.66 dB สำหรับสัญญาณวิดีโอ

; WF = Weighting Factor สำหรับการลด SNR ใช้ไวท์นอยส์เวจติง (White Noise Weighting)
สำหรับ PCM , 6.2 dB สำหรับมาตรฐาน CCIR และใช้ 6.8 dB สำหรับ มาตรฐาน EIA

ดังนั้นจะได้ $SNR_{(P-P)} = 6.02n + 1.8n + CF + WF$

บิตเรต (Bit Rate, BR) ของ PCM คือ

$$\begin{aligned} BR &= nf_s \\ &= 8 \times 10 \text{ MHz} \\ &= 80 \text{ Mb/s} \end{aligned} \tag{2.7}$$

จะได้ว่า

$$\begin{aligned} SNR_{(P-P)} &= 6.02n + 1.8 + 7.66 + 6.2 \\ &= (6.02 \times 8) + 1.8 + 7.66 + 6.2 \\ &= 48.16 + 1.8 + 7.66 + 6.2 \\ &= 63.82 \text{ dB} \end{aligned}$$

สำหรับมาตรฐานของ CCIR White - Noise Weighting ของสัญญาณวิดีโอและมีแบนด์วิดท์
เท่ากับ 4.2 MHz

2.6 วิธีการถ่ายโอนข้อมูล

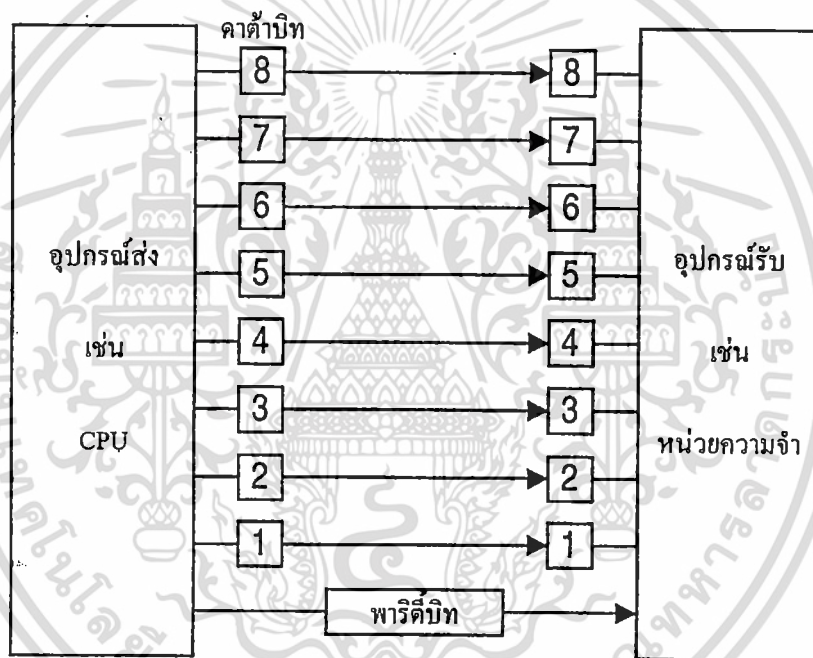
การถ่ายโอนข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ การถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรมและการถ่ายโอน
ข้อมูลแบบขนาน ซึ่งจะมีรูปแบบการส่งและประโยชน์การส่งที่ต่างกัน

2.6.1 การถ่ายโอนข้อมูลแบบขนาน

ลักษณะการส่งข้อมูลแบบขนาน ทำได้โดยการส่งข้อมูลที่ละ 1 ไบท์ คือ 8 บิต จากอุปกรณ์ส่ง
ไปยังอุปกรณ์รับตัวกลางระหว่างเครื่อง 2 เครื่องที่จะต้องมียช่องทางให้ข้อมูลอย่างน้อย 8 ช่องทาง โดย
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากจะเป็นสายขนานให้กระแสไฟฟ้าวิ่งมากกว่าจะเป็นตัวกลางชนิดอื่นแต่เนื่องจากมีสัญญาณการสูญหายไปกับความต้านทานของสาย ดังนั้นระยะทางระหว่างเครื่อง 2 เครื่องจึงไม่ควรจะเกิน 100 ฟุต หากระยะทางของสายมากกว่านี้ปัญหาที่จะเกิดขึ้นคือ ระดับของกราวด์ในทางไฟฟ้าที่จุดรับ จะผิดไปจากจุดส่ง ทำให้เกิดการผิดพลาดในการรับสัญญาณลอจิกทางฝ่ายรับ นอกจากสายที่เป็นทางเดินของข้อมูลแล้ว อาจจะมีทางเดินสำหรับควบคุมทางเดินของสายสัญญาณต่างๆ อื่นอีกเป็นต้นว่า บิทที่บอกพริตซ์ของสัญญาณ เพื่อเป็นการบอกความผิดพลาดของการรับสัญญาณที่ปลายทาง หรือสายที่ควบคุม โดยการโต้ตอบ (Hand-shake)

จะเห็นได้ว่าการส่งข้อมูลแบบขนานจะทำในระยะทางที่ใกล้ๆ เนื่องจากต้องมีช่องทางเดินสัญญาณมากกว่า 8 สายตัวอย่าง เช่น อุปกรณ์ที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ จะเห็นได้จากเครื่องพิมพ์หรือแสดงดังรูปที่ 2.14

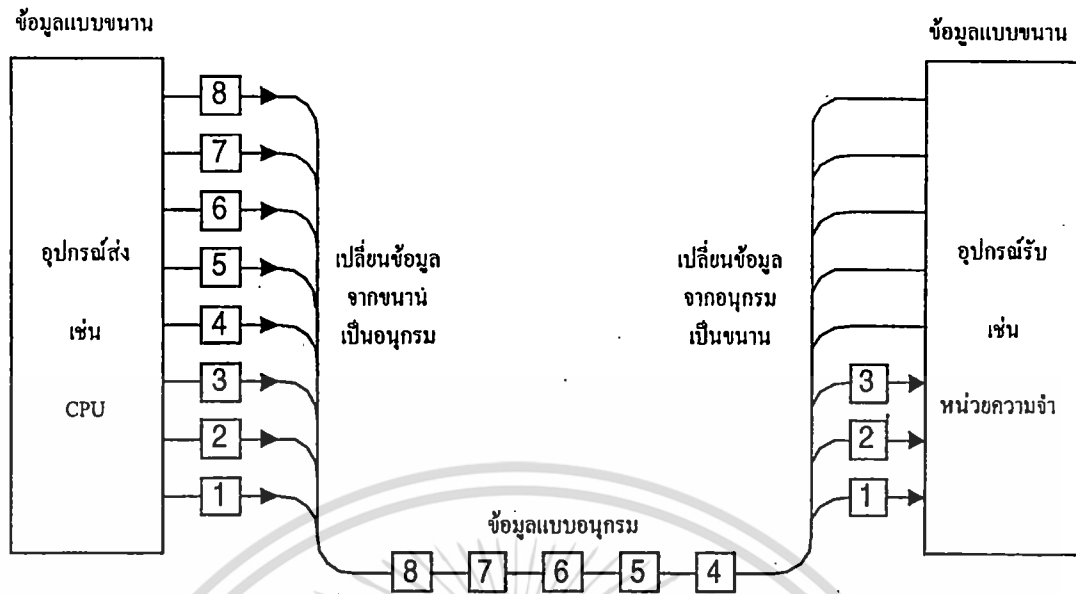


รูปที่ 2.14 การส่งข้อมูลแบบขนาน

2.6.2 การถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม

การถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลจะถูกส่งออกมาทีละบิต ระหว่างจุดรับและจุดส่ง จะเห็นว่าการส่งข้อมูลแบบนี้จะช้ากว่าการส่งข้อมูลแบบขนาน แต่เหตุผลประการสำคัญที่ต้องมีการใช้การส่งข้อมูลแบบอนุกรมก็คือ ตัวกลางสื่อสารต้องเป็นเพียงช่องทางเดียว หรือสายเพียงคู่เดียว ค่าใช้จ่ายจะต้องถูกกว่าการส่งแบบขนานอย่างแน่นอน ใช้สำหรับการส่งระยะทางไกลๆ โดยเฉพาะเมื่อเรามีระบบการสื่อสารทางโทรศัพท์ไว้ใช้งานอยู่แล้ว ย่อมจะเป็นการประหยัดกว่าที่จะทำการติดตั้งที่ละ 8 ช่อง ดังแสดงดังรูปที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม

จากรูปข้างบนแสดงให้เห็นการส่งข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลจากจุดส่งจะถูกเปลี่ยนให้เป็นข้อมูลแบบอนุกรมเสียก่อน แล้วค่อยทยอยส่งออกมาทีละบิตไปยัง ณ จุดรับ ที่จุดรับจะต้องมีกลไกในการเปลี่ยนข้อมูลที่ส่งออกมาทีละบิต ให้เป็นสัญญาณแบบขนานซึ่งจะให้ส่งตัวพอดี้ นั่นคือบิตที่ 1 จะลงที่บิตข้อมูลเส้นที่ 1 พอดี้ การที่จะทำให้สัญญาณแปลงจากสัญญาณอนุกรมทีละบิตให้พอดี้มันจำเป็นต้องมีกลไกที่เหมาะสม เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการรับ กลไกที่ว่าแบ่งออกเป็น 2 แบบ

1. การสื่อสารแบบซิงโครนัส
2. การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

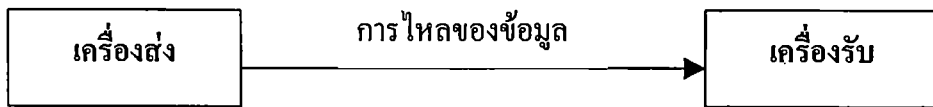
2.7 รูปแบบการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม

การติดต่อสื่อสารแบบอนุกรมอาจจะแบ่งออกตามรูปลักษณะได้ 3 แบบ

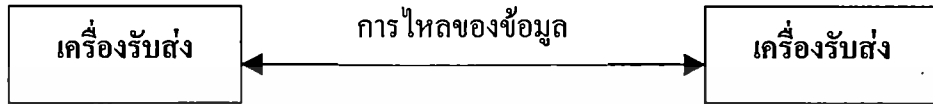
1. แบบซิมเพล็กซ์ (Simplex) ข้อมูลจะส่งได้เพียงทางเดียวเท่านั้น บางครั้งก็เรียกว่าการส่งทิศทางเดียว (Unidirectional data bus) แสดงในรูปที่ 2.16 (1)
2. แบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half duplex) ข้อมูลสามารถส่งออกได้ 2 สถานี แต่จะผลัดกันส่งและผลัดกันรับ จะส่งหรือรับที่เดียวพร้อมกัน 2 ตัวไม่ได้ แสดงในรูปที่ 2.16 (2)
3. แบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full duplex) ทั้งสองสถานีจะส่งและรับที่เดียว พร้อมกันทั้ง 2 สถานีในเวลาเดียวกัน แสดงในรูปที่ 2.16 (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.) แบบซิมเพล็กซ์



2.) แบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์



3.) แบบฟูลดูเพล็กซ์



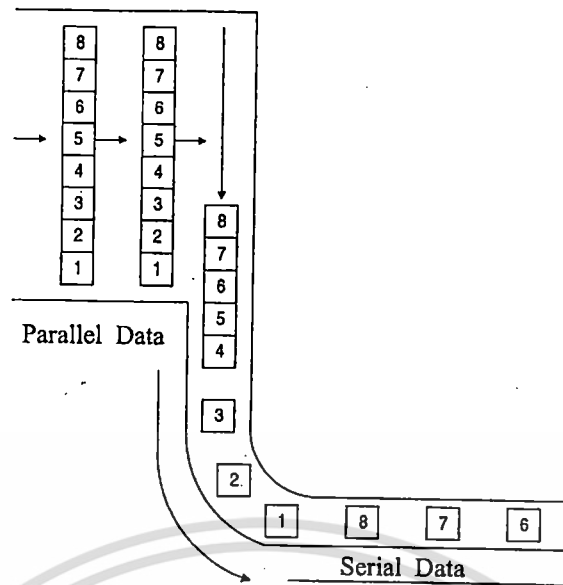
รูปที่ 2.16 รูปแบบการส่งติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

การส่งแบบฟูลดูเพล็กซ์และแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ จะไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนของสายที่ใช้ในการติดต่อ บางครั้งคำว่า ทูไวร์ (Two wire) หรือสองเส้น และโฟร์ไวร์ (Four wire) หรือสี่เส้น ใช้ในการบรรยายถึงลักษณะการสื่อสารข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ โดยสายโทรศัพท์ทุกๆ ไปจะเป็นแบบ 2 เส้น หรือในแบบที่เป็นสายเช่า (Lease line) จะเป็น 4 เส้น

2.8 วงจรภาคส่ง

หลักการทํางานของภาคส่งจะเริ่มจาก การแปลงรูปแบบของข้อมูล โดยได้จากการอาศัยชิฟท์รีจิสเตอร์ (Shift register)

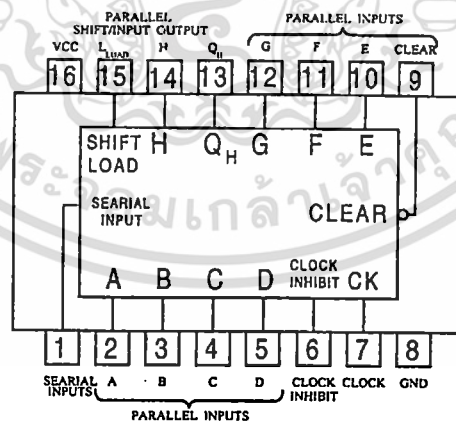
ข้อมูลทุกบิตที่จะเข้ามาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์แล้วส่งออกไปทีละบิต บิตที่มีความสำคัญน้อยที่สุด (Least significant bit) ออกไปก่อนแล้วทำการจัดเรียงกันออกจนถึงบิตที่มีความสำคัญมากที่สุด (Most significant bit) และอาจมีวงจรสร้างบิตเริ่มต้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การแปลงข้อมูลแบบขนานให้เป็นแบบอนุกรม

2.8.1 วงจรเลื่อนข้อมูล

วงจรมีหน้าที่ในการเลื่อนข้อมูล ดังนั้นเราต้องหาไอซีเลื่อนข้อมูลที่เหมาะสมที่สุด ก่อนอื่นเราต้องดูคุณสมบัติของวงจรก่อน แล้วจึงนำไอซีที่มีคุณสมบัติตรงตามที่ต้องการมาใช้ คุณสมบัติของวงจรมีคือ มีอินพุต 8 อินพุตเข้าแบบขนานและมีเอาต์พุตเพียง 1 เอาต์พุตออกแบบอนุกรม เมื่อเปิดคู่มือไอซีที่ทีแอล เราจะได้ไอซีเบอร์ 74F166 เป็นไอซีชิฟต์รีจิสเตอร์แบบขนาน 8 บิต รูปแบบการจัดขาตั้งรูปที่ 2.18 แสดงข้างล่างนี้และมีหลักการทำงานดังตารางที่ 1

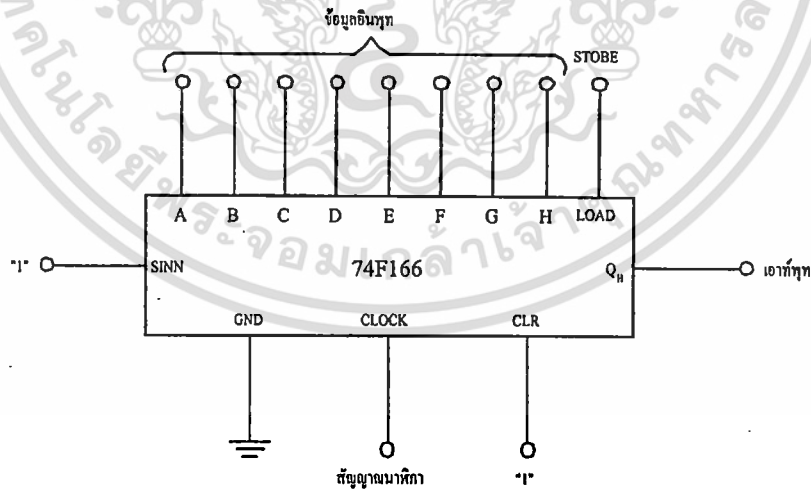


รูปที่ 2.18 การจัดขาของ IC74F166

ตารางที่ 2.1 การทำงานของไอซีเบอร์ 74F166

อินพุท						เอาพุทภายใน		เอาพุท
เคลียร์	ชิฟต์โหลด	ยับยั้งคลิก	คลิก	อนุกรม	จนวน	Q _A	Q _B	Q _H
					A.....H			
L	X	X	X	X	X	L	L	L
H	X	L	L	X	X	Q _{AO}	Q _{BO}	Q _{HO}
H	L	L	↑	X	a.....h	a	b	h
H	H	L	↑	H	X	H	Q _{An}	Q _{Gn}
H	H	L	↑	L	X	L	Q _{An}	Q _{Gn}
H	H	H	↑	X	X	Q _{AO}	Q _{BO}	Q _{HO}

จากตารางที่ 2.1 ขาเคลียร์ (CLEAR) ต้องต่อเข้ากับลอจิก “1” ตลอดเพราะในวงจรไม่ได้ใช้ และขายับยั้งคลิกก็ไม่ได้ใช้อีกเหมือนกันดังนั้นจึงต้องให้ต่อเข้ากับลอจิก “0” หรือกราวด์ ที่ขาเข้าอนุกรม (Serial input) ต่อเข้ากับวงจรสร้างบิตสูงสุด ซึ่งเรากำหนดให้เป็นลอจิก “0” ดังนั้นเราจึงต้องต่อขาเข้ากับลอจิก “0” แทนวงจรสร้างบิตสูงสุด ที่ขาเข้าขนาน (Parallel input) ทั้ง 8 ขาต่อเข้ากับข้อมูลที่ต้องการส่ง ส่วนขาเลื่อน / โหลด (Shift / load) เป็นขากำหนดโหมดเลื่อนข้อมูลหรือโหมดการโหลดข้อมูล ในตารางที่ 2.1 แถวที่ 3 จะโหมดการเลื่อนข้อมูลเข้าไปเก็บในตัวเลื่อนข้อมูล (ปกติขานี้จะเป็น “0”) ส่วนแถวที่ 4 และแถวที่ 5 จะเป็นโหมดการเลื่อนข้อมูล ดังนั้นเราจะต้องขานี้เข้ากับสัญญาณสโตป เมื่อสัญญาณสโตปเข้ามา ไอซี 74F166 ก็จะโหลดข้อมูลเข้าไป หลังจากนั้นก็ให้ข้อมูลเลื่อนออกไปได้ทันทีสำหรับเอาต์พุทภายใน ในตารางที่ 2.1 เขียนไว้เพื่อบอกสถานะ



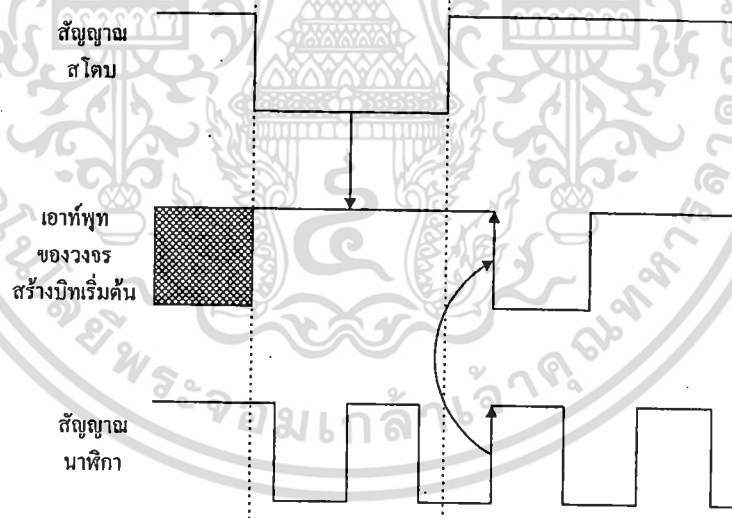
รูปที่ 2.19 วงจรเลื่อนข้อมูลแบบอนุกรมขนาด 8 บิต โดยใช้ไอซีเบอร์ 74F166

การทำงานของเอาต์พุต Q_A และ Q_B ภายในไอซี เพื่อให้ได้การทำงานภายในของไอซีได้ง่ายขึ้น ขาที่เหลือคือขาสัญญาณนาฬิกา (CLOCK) ให้ต่อเข้ากับสัญญาณนาฬิกาของระบบ ส่วนขาเอาต์พุต (Q_H) ก็ต่อออกเป็นเอาต์พุตของวงจร แสดงดังวงจรในรูปที่ 2.19

2.8.2 วงจรสร้างบิตเริ่มต้น

วงจรมีจะทำหน้าที่ในการกำหนดบิตเริ่มต้น (สร้างพัลส์ที่มีระดับค่าเริ่มต้นที่ลอจิก “1”) เมื่อมีสัญญาณสตอปเข้ามา โดยพัลส์ที่สร้างขึ้นต้องมีช่วงความกว้างของพัลส์จะเท่ากับสัญญาณนาฬิกาหนึ่ง ลูกพอดี ดังนั้นเราไม่สามารถใช้วงจรโมโนสเตเบิลทั่วๆ ไปได้ เนื่องจากวงจรดังกล่าวใช้ค่าความต้านทาน และตัวเก็บประจุต้องทำการกำหนดค่าความกว้างของพัลส์ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูงหรือมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณนาฬิกาแต่ละครั้งก็ต้องเปลี่ยนค่าอุปกรณ์ดังกล่าวด้วยจึงเกิดความยุ่งยากมาก

วงจรที่ทำงานตามสถานะของสัญญาณนาฬิกาจึงเป็นวงจรที่ใช้ฟลิปฟล็อปเป็นส่วนประกอบ เนื่องจากสัญญาณสตอปนี้เราจะทราบว่ามีช่วงความกว้างเท่าไรซึ่งอาจได้มาจากการตีโค้ดพัลส์ของไมโครโปรเซสเซอร์ หรือจากวงจรดิจิทัลอื่นๆ ที่นำไปประยุกต์ใช้งาน ดังนั้นจะต้องให้วงจรสร้างบิตเริ่มต้นทำงาน หลังจากสัญญาณสตอปสิ้นสุดลง ดูจากไคอะแกรมในรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 2.20 ไคอะแกรมเวลาการทำงานของวงจรสร้างบิตเริ่มต้น

เราจะใช้ดี – ฟลิปฟล็อปเบอร์ 74F74 ต่อกันในลักษณะซิฟริจิสเตอร์เพื่อให้ข้อมูลผ่านออกมาได้ แต่จะใช้ก็ตัวเราต้องพิจารณาอีกทีหนึ่ง แต่ก่อนอื่นเราต้องมาดูว่าเราจะสร้างบิตเริ่มต้นอย่างไร การจะทำให้เอาต์พุต Q เป็นลอจิก “1” ได้นั้นทำได้ 2 วิธีคือ

1. ให้สัญญาณเข้าไปที่ขา PRESET

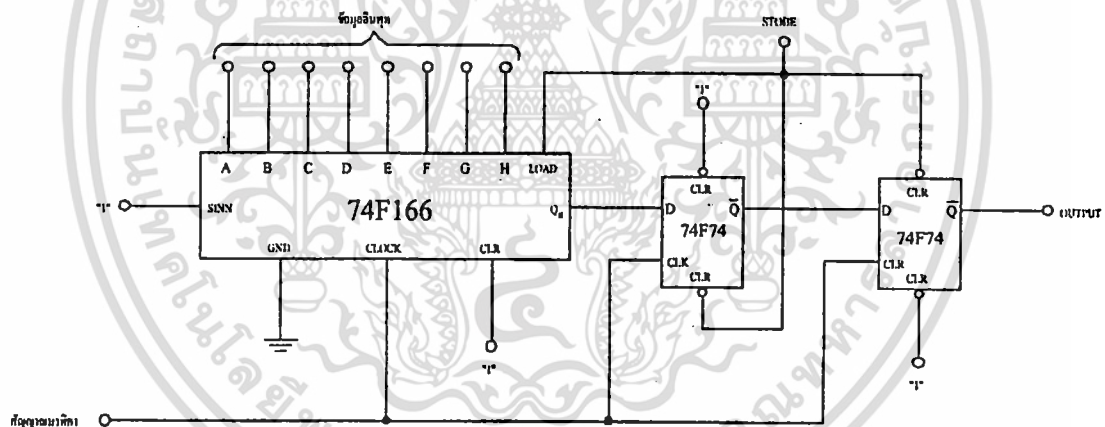
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ให้ขา D เป็นลอจิก “1” แล้วให้สัญญาณนาฬิกาเข้า 1 ลูก

วิธีแรกจะเป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุดและทำได้ง่ายที่สุดแต่หากเราให้สัญญาณเข้าที่ขา PRESET โดยตรงเอาท์พุท Q จะเป็นลอจิก “1” นานเกินไป (ในกรณีที่สัญญาณเข้าที่ขา PRESET มีช่วงนานเกินกว่าสัญญาณนาฬิกา) ทำให้บิทเริ่มต้นผิดพลาดไป ทางที่ถูกต้อง คือให้ลอจิก “1” ออกมาหลังจาก PRESET แล้ว หากต่อวงจรเพียงแค่นี้คงเป็นไปได้ ดังนั้นจึงต้องเพิ่มอุปกรณ์ที่จะกั้นไม่ให้ลอจิก “1” ออกไประหว่างการ PRESET ดังนั้นจึงต้องใช้ไอซี 74F74 อีกหนึ่งตัวเป็นตัวกั้น เพื่อให้ข้อมูลส่งออกผ่านไปได้ จึงต้องต่อวงจรในลักษณะซีฟริจิสเตอร์

ส่วนการบังคับให้เอาท์พุทของฟลิปฟลอปตัวหลังนี้เป็นลอจิก “0” ในขณะที่เอาท์พุทของฟลิปฟลอปตัวแรกถูก PRESET เป็นลอจิก “1” ทำได้โดยให้สัญญาณเข้าที่ขาเคลียร์ ก็จะทำให้เอาท์พุท Q ของฟลิปฟลอปได้ค่าเป็นลอจิก “0” ได้ดังนั้นต้องเอาสัญญาณที่ต่อเข้ากับขา PRESET ของฟลิปฟลอปตัวแรก มาต่อกับขาเคลียร์ของฟลิปฟลอปตัวที่สอง สัญญาณที่ต่อเข้ากันทั้งสองขาสามารถใช้สัญญาณสโตปได้โดยตรง

เมื่อนำเอาวงจรเลื่อนข้อมูลมาต่อกับวงจรสร้างบิทเริ่มต้น จะได้วงจรของภาคส่งที่สมบูรณ์ ดังรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 2.21 วงจรสมบูรณ์ของวงจรส่งข้อมูลแบบอนุกรม

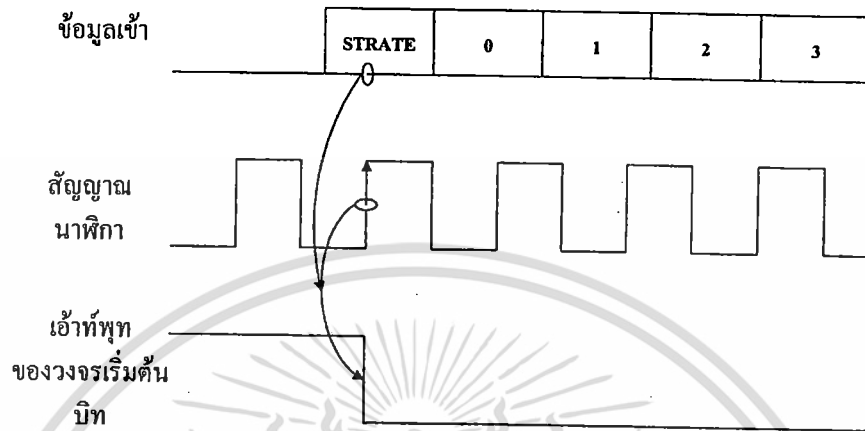
2.9 วงจรภาครับ

เมื่อเราออกแบบวงจรส่งข้อมูลแล้วและหากเราไม่ออกแบบวงจรรับข้อมูล วงจรส่งข้อมูลก็ใช้ประโยชน์อะไรไม่ได้เลย จึงต้องออกแบบวงจรรับข้อมูลด้วย วงจรรับนี้จะมีความซับซ้อนน้อยกว่าวงจรภาคส่งเล็กน้อย คือ เมื่อพบลอจิก “1” ซึ่งเป็นบิทเริ่มต้นแล้วจะให้เอาท์พุทไปเปิดเกตเพื่อให้สัญญาณนาฬิกาผ่านเกตไปสู่วงจรเลื่อนข้อมูล วงจรเลื่อนข้อมูลก็จะเลื่อนข้อมูลที่ได้จากอินพุทเข้ามาเก็บที่ละบิท จนครบ 8 บิท ก็จะให้อาท์พุทพร้อมกันทั้ง 8 บิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

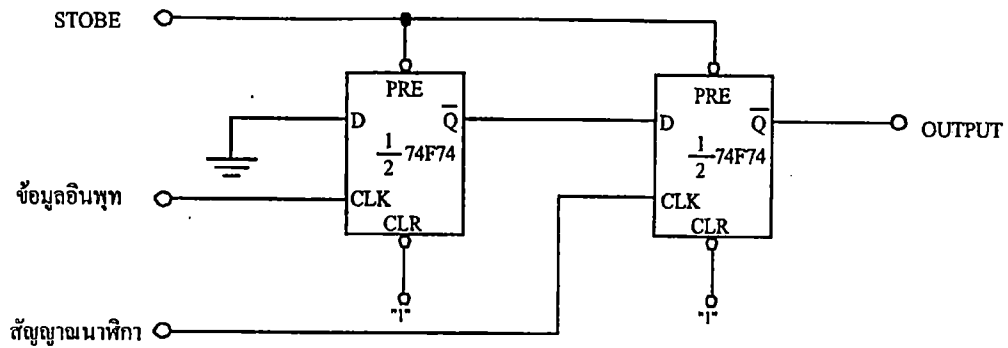
2.9.1 วงจรหาบิตเริ่มต้น

ปกติสายสัญญาณที่รับข้อมูลเข้ามา หากยังไม่มีการส่งข้อมูลจะมีลอจิกเป็น “0” และหากมีการส่งข้อมูลเข้ามาจะเริ่มด้วยบิตเริ่มต้นที่มีระดับลอจิกเป็น “1” แต่เมื่อตรวจจับลอจิก “1” ได้แล้ว จะส่งเอาท์พุทไปเลยไม่ได้ จะต้องทำตามสัญญาณนาฬิกาของระบบ เพื่อให้เข้าใจดีขึ้นจากรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ไคอะแกรมเวลาของวงจรหาบิตเริ่มต้น

จากรูปจะเห็นว่าเมื่อข้อมูลเข้ามา และสัญญาณนาฬิกาของระบบ จะมีเฟสไม่ตรงกัน ซึ่งเป็นเรื่องปกติ เนื่องจากใช้วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาคนละตัวกันแต่ความถี่ของทั้งสองจะต้องเท่ากัน จะสังเกตได้ว่าเมื่อมีสัญญาณที่เป็นลอจิก “1” เข้ามาแล้ว หากสัญญาณนาฬิกาที่มีพัลส์ที่ขอบขาขึ้นในลูกต่อไป ที่เอาท์พุทของวงจรหาบิตเริ่มต้นจึงจะเริ่มทำงาน วงจรที่ทำงานตามสถานะของสัญญาณนาฬิกาอย่างนี้ เราจะได้เลยว่าต้องมีส่วนประกอบของฟลิปฟล็อปเสมอ จะเห็นว่าเมื่อมีบิตเริ่มต้นเข้ามาวงจรจะรอให้สัญญาณนาฬิกาทำงานที่ขอบขาขึ้นก่อนมันจึงจะทำงาน หากใช้วงจรซีพรีจิสเตอร์ โดยต่อให้สัญญาณข้อมูลเข้ามาเป็นสัญญาณนาฬิกาของฟลิปฟล็อปตัวแรกแล้วต่อขา D ลงลอจิก “0” หากมีข้อมูลที่เป็นลอจิก “1” เข้ามาก็จะทำให้เอาท์พุท Q ออกลอจิก “0” ได้ เมื่อต่อวงจรซ้อนกันอีกชั้นเพื่อนำลอจิก “0” นี้ออกไปเป็นเอาท์พุทของวงจรหาบิตเริ่มต้น ก็จะทำให้เอาท์พุทเป็นลอจิก “0” ได้ก็ต่อเมื่อสัญญาณนาฬิกาที่ขอบขาขึ้นเข้ามาก่อนซึ่งตรงกับไคอะแกรมเวลาในรูปที่ 2.12 พอดี วงจรที่ออกแบบแล้วแสดงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 วงจรหาบิตเริ่มต้นของวงจรรับข้อมูล

เราใช้ไอซีเบอร์ 74F74 เป็นดี-ฟลิปฟล็อปขาของไอซีเบอร์นี้จะทำงานที่ขอบขาขึ้นเสมอ ฟลิปฟล็อปตัวที่ 2 จะใช้สัญญาณนาฬิกาของระบบมาต่อ เพื่อให้ทำงานพร้อมกับสัญญาณนาฬิกาของระบบ การเริ่มทำงานจะเริ่มเมื่อมีสัญญาณเข้ามาเคลียร์ที่ขา PRESET ของทั้งสองตัว ทำให้ขา Q ของมันเป็นลอจิก “1” ถ้าหากมีข้อมูลเข้ามาเคลียร์ที่ขา PRESET ของทั้งสองตัว ทำให้ขา Q ของมันเป็นลอจิก “1” ถ้าหากมีข้อมูลเข้ามา ที่เอาท์พุทของมันจะเปลี่ยนจากลอจิก “1” เป็นลอจิก “0” และหากมีสัญญาณนาฬิกาขอบขาขึ้นเข้ามาลอจิก “0” ก็จะไปปรากฏที่เอาท์พุทของตัวที่สอง

2.9.2 วงจรเลื่อนข้อมูล

วงจรที่ทำหน้าที่เลื่อนข้อมูลแบบอนุกรม แล้วให้เอาท์พุทออกมาเป็นแบบขนาน เราสามารถเลือกใช้ไอซีชิฟต์รีจิสเตอร์แทนวงจรนี้ได้โดยเปิดคู่มือไอซีที่ที่แอลได้ไอซีเบอร์ 74F166 ซึ่งมีคุณสมบัติตามต้องการ ไอซีตัวนี้มีขาที่ต้องการควบคุมเพียงขาเดียวคือขาเคลียร์ ใช้สำหรับเคลียร์เอาท์พุททั้ง 8 ขา เราไม่ได้ใช้ต่อจึงต่อกับลอจิก “1”

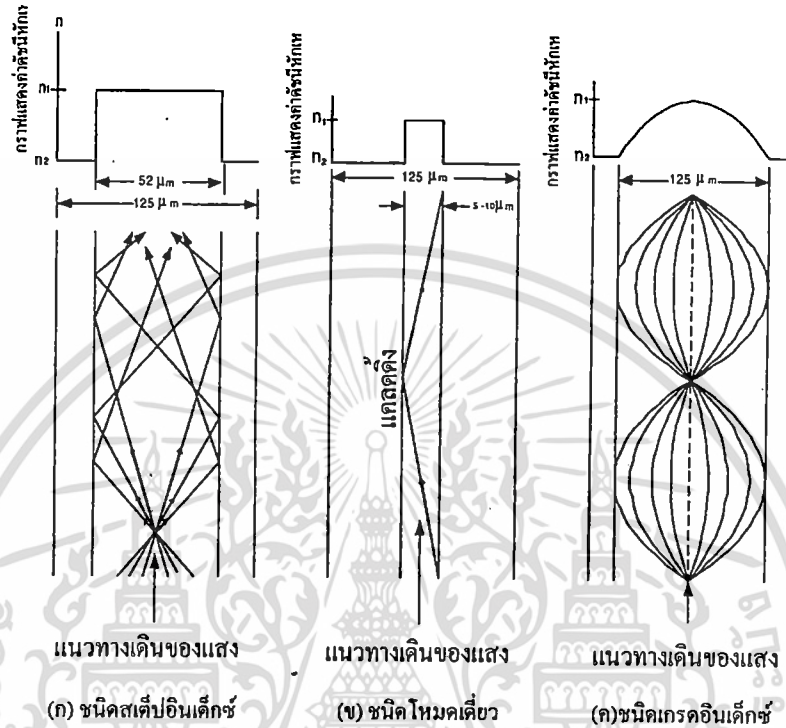
2.10 ความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม

ความเร็วของการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม หน่วยที่ใช้วัดเป็นบิตต่อวินาที (bps) หน่วยที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณใน 1 วินาที เราเรียกว่าไบต์เรต (baud rate) หรืออัตราไบต์เรต หลายคนเข้าใจสับสนระหว่าง อัตราไบต์เรต (baud rate) และอัตราบิตเรต (bit rate) การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ 1 ครั้ง อาจแสดงถึงการส่งข้อมูลแบบอนุกรมมากกว่า 1 บิต ถ้าเขียนเป็นรูปสมการทางคณิตศาสตร์เราก็จะได้สมการดังนี้

$$\text{อัตราบิตเรต (bit rate)} = \text{อัตราไบต์เรต (baud rate)} \times \text{บิตใน 1 บอดเรต}$$

2.11 สายไฟเบอร์ออปติก

ไฟเบอร์ออปติกหรือใยแก้วนำแสงทำจากวัสดุประเภทโปร่งแสง เช่น แก้วหรือพลาสติกใส นำมาดึงเป็นเส้นตรงกลายเป็นลวด เพื่อใช้เป็นทางเดินสำหรับข้อมูลแสง วัสดุสำคัญที่ใช้ในการผลิตไฟเบอร์ออปติก คือ ซิลิกา ซึ่งหาได้ง่ายจากทรายทั่วไป



รูปที่ 2.24 ไฟเบอร์ออปติกชนิดต่างๆ ที่เป็นพื้นฐาน

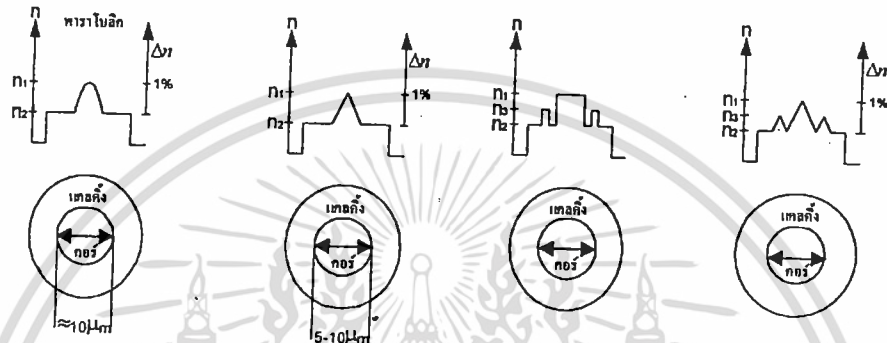
โครงสร้างของไฟเบอร์ออปติกประกอบด้วย ส่วนที่เป็นแกนหรือ “คอร์” (Core) อยู่ในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางทำหน้าที่เป็นท่อนำสัญญาณแสง และส่วนที่เป็นวัสดุหุ้มแกนหรือ “แคลดดิ้ง” (Cladding) ทำหน้าที่คล้ายกับผนังกันการสูญเสียข้อมูลโดยรอบแกน อีกทั้งยังมีผลช่วยให้ระบบการนำแสงดีขึ้นด้วย

2.12 ชนิดของไฟเบอร์ออปติก

2.12.1 สเต็ปอินเด็กซ์ (Step-Index) หมายถึง ไฟเบอร์ออปติกที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงคงที่ตลอดเนื้อสารทั้งในส่วนที่เป็นคอร์และในส่วนที่เป็นแคลดดิ้ง โดยปกติค่าดัชนีการหักเหตรงที่คอร์จะมากกว่าที่แคลดดิ้งแนวทางของแสงที่เดินทางผ่านจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงสะท้อนไปมาตรงบริเวณรอยต่อระหว่างคอร์และแคลดดิ้งตามกฎของสแนลล์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของไฟเบอร์ออปติกทั้งเส้นส่วนใหญ่มีค่าเท่ากับ 125 ไมครอน โดยขนาดของคอร์จะขึ้นอยู่กับการออกแบบว่าจะใช้สำหรับส่ง

ข้อมูลในลักษณะโหมคร่วม (multi mode) หรือโหมคเดี่ยว (single mode) การส่งข้อมูลแบบโหมคร่วมหมายความว่า แสงสามารถเดินทางไปในไฟเบอร์ออปติกได้หลายแนวทาง ขึ้นกับมุมและองศาที่แสงตกกระทบไฟเบอร์ออปติกเข้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์แบบโหมคร่วมมีค่าประมาณ 52 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 2.24 (ก)

สำหรับไฟเบอร์ออปติกแบบโหมคเดี่ยวจะมีแนวทางเดินของข้อมูลแสงเพียงแนวเดียวเท่านั้น จึงทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์เล็กลงมากเหลือประมาณ 5-10 ไมครอนเท่านั้นดังแสดงในรูปที่ 2.24 (ข)



รูปที่ 2.25 ไฟเบอร์ออปติกชนิดโหมคเดี่ยวชนิดต่างๆ

2.12.2 เกรดเด็คอินเด็คซ์ (graded-index) หมายถึง ไฟเบอร์ออปติกที่มีค่าดัชนีหักเหของคอร์เปลี่ยนแปลงไปตามแนวรัศมีคลื่นของมัน โดยที่ตำแหน่งแนวศูนย์กลางของเส้น จะมีค่าดัชนีการหักเหสูงสุด จากนั้นค่าดัชนีการหักเหจะค่อยๆ ลดลงไปตามระยะที่ห่างออกจากศูนย์กลางตามลำดับจนมีค่าเท่ากับค่าดัชนีการหักเหของแคลคดิ่งในตำแหน่งที่คอร์ต่อกับแคลคดิ่งพอดี ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของคอร์นี้ขึ้นอยู่กับสมการทางคณิตศาสตร์ที่ออกแบบ เช่น เป็นลักษณะครึ่งวงกลมหรือพาราโบลา เป็นต้น ในการเดินทางของแสงในไฟเบอร์ออปติกแบบนี้ จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งดังรูปที่ 2.25 (ค) ทั้งนี้เป็นผลมาจากค่าดัชนีหักเหที่เปลี่ยนแปลงไปจากแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง ในรูปที่ 2.25 แสดงถึงไฟเบอร์ออปติกประเภทอื่นๆ ที่มักไม่ค่อยได้เห็นกันบ่อยนัก แต่ก็เริ่มมีการใช้กันแพร่หลายมากขึ้น

2.13 การสูญเสียสัญญาณในไฟเบอร์ออปติก

2.13.1 การสูญเสียเนื่องจากวัสดุตัวนำ เป็นผลมาจากการดูดซับพลังงานภายในเนื้อสารที่ใช้ทำไฟเบอร์ออปติกในขณะที่แสงเดินทางและชนกับโมเลกุลของมัน หากการดูดซับพลังงานในเนื้อสารมีมาก จะก่อให้เกิดการสูญเสียสัญญาณมากขึ้นด้วย ทั้งนี้ทั้งนั้นขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางโมเลกุลและความบริสุทธิ์ของเนื้อสารที่ใช้ทำไฟเบอร์ออปติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.2 การสูญเสียจากการกระเจิงของแสง เมื่อแสงเดินทางในไฟเบอร์ออปติกจะเกิดการกระเจิงของแสงอันเนื่องมาจากการชนกับโมเลกุลของเนื้อสาร อีกทั้งขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสงที่เดินทางในไฟเบอร์ออปติกด้วย

2.13.3 การสูญเสียจากท่อนำสัญญาณ เป็นการสูญเสียอันเนื่องมาจากการจัดวางของสายไฟเบอร์ออปติกที่ทำหน้าที่เป็นท่อนำสัญญาณในลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรงทำให้มุมการตกกระทบของแสงที่ผนังระหว่างคอร์กับแคลดดิ้งเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นสัญญาณเอาท์พุทในการสื่อสารในชนิดโหมดร่วมจึงเกิดการผิดเพี้ยนได้ง่ายโดยมีขนาดความกว้างของสัญญาณมากขึ้นกว่าเดิมการคิดค่ากำลังสูญเสีย (L) ในไฟเบอร์ออปติก มักกระทำในเทอมของเดซิเบล (dB) โดยการคำนวณจากสูตร

$$L_{dB} = 10 \log \left(\frac{P_o}{P_i} \right) \quad (2.8)$$

เมื่อ P_o คือ ค่าพลังงานเอาท์พุท และ P_i คือ ค่าพลังงานที่อินพุทป้อนให้กับไฟเบอร์ออปติก สมมติเราต้องการที่จะคำนวณค่ากำลังการสูญเสียจากไฟเบอร์ออปติกที่มีขนาดความยาว 100 เมตร เมื่อป้อนสัญญาณแสงที่มีพลังงาน $P_i = 10 \mu\text{W}$ เข้าไปในสาย และวัดสัญญาณขาออก $P_o = 9 \mu\text{W}$ จะได้ค่ากำลังสูญเสียคำนวณได้จากสูตร

$$\begin{aligned} L_{dB} &= 10 \log \left(\frac{9}{10} \right) \\ &= -0.458 \text{ dB} \end{aligned}$$

หรืออาจคิดค่ากำลังสูญเสียต่อหนึ่งหน่วยความยาว ได้จากการนำเอาค่าความยาว 100 เมตร (0.1 กิโลเมตร) ไปหารจะได้

$$\begin{aligned} L &= \frac{-0.458}{0.1} \\ L &= -0.458 \text{ dB/km} \end{aligned}$$

ค่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าเป็นลบหมายความว่าค่าที่คำนวณได้เป็นค่าการสูญเสียนั่นเอง ค่ากำลังสูญเสียต่ำสุดของไฟเบอร์ออปติกที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ขึ้นกับค่าความยาวคลื่นของแสงที่ใช้ นำสัญญาณข้อมูลกล่าวคือ

ที่ความยาวคลื่นแสง $1.55 \mu\text{m}$ ค่ากำลังสูญเสียต่ำสุด 0.2 dB / km

ที่ความยาวคลื่นแสง $1.30 \mu\text{m}$ ค่ากำลังสูญเสียต่ำสุด 0.4 dB / km

ที่ความยาวคลื่นแสง $0.85 \mu\text{m}$ ค่ากำลังสูญเสียต่ำสุด 2.0 dB / km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 หลักการสื่อสารด้วยไฟเบอร์ออปติก

ในระบบการสื่อสารด้วยไฟเบอร์ออปติกจะมีโครงสร้างคล้ายกับระบบการสื่อสารด้วยสายเคเบิลเพียงแต่ใช้ตัวกลางในการนำข้อมูลที่ต่างกัน กล่าวคือเมื่อต้องการส่งข้อมูลที่อาจจะอยู่ในรูปของสัญญาณเสียงสัญญาณภาพ หรือข้อมูลทางคอมพิวเตอร์วงจรภาคส่งจะทำหน้าที่จัดรูปสัญญาณให้เหมาะสมด้วยวิธีการเข้ารหัสและมอดูเลต โดยลักษณะข้อมูลที่ใช้ในขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่จะถูกจัดให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัลเพราะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าจากนั้นวงจรในส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง หรือขับสัญญาณ จะแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้ให้เป็นสัญญาณแสงสว่างไปยังสถานีรับ โดยมีไฟเบอร์ออปติกทำหน้าที่เป็นท่อนำสัญญาณ ที่สถานีจะมีโฟโตทรานซิสเตอร์คอยเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า แล้วส่งไปยังวงจรภาครับเพื่อถอดรหัสและดีมอดูเลตสัญญาณ ทำให้ได้สัญญาณที่มีลักษณะเดียวกับสัญญาณเดิมเป็นข้อมูลขาออกเพื่อนำไปใช้งานต่อไปในช่วงระหว่างสถานีส่งและสถานีรับ สัญญาณที่เชื่อมด้วยไฟเบอร์ออปติก จะต้องมีสถานีทวนสัญญาณ (Repeater) ทำหน้าที่ขยายและจัดรูปสัญญาณที่เกิดการผิดเพี้ยนไปในระหว่างการส่งข้อมูล ในการใช้งานจริงระยะห่างระหว่างสถานีทวนสัญญาณมีค่าประมาณ 10 กิโลเมตรขึ้นไป โดยจะขึ้นกับขนาดหรือปริมาณของข้อมูลที่รับและส่งระบบที่มีประสิทธิภาพสามารถรับส่งสัญญาณข้อมูลที่มีขนาดเท่ากับ 2 Gb/s (สองพันล้านบิตในหนึ่งวินาที) ไปเป็นระยะทาง 2,200 กิโลเมตร โดยมีสถานีทวนสัญญาณเพียง 25 สถานี ในทุกๆ ระยะทาง 80 กิโลเมตร แหล่งกำเนิดแสง LED (Light Emitting Diode) หรือก็คือ ไดโอดที่ถูกออกแบบโครงสร้างให้

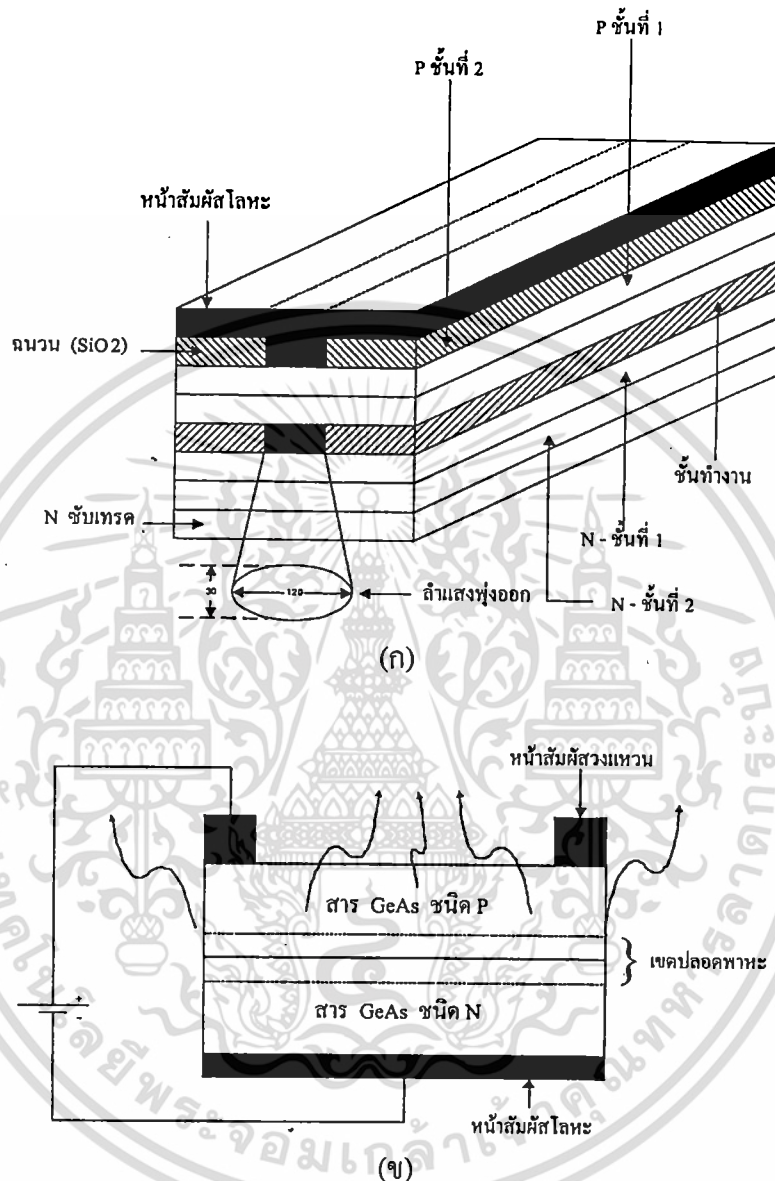


รูปที่ 2.26 ระบบการสื่อสารด้วยไฟเบอร์ออปติก

สามารถแปลงพลังงานแสงออกมาได้เมื่อมีการไบแอสที่ถูกต้องลักษณะโครงสร้างของ LED แบบพื้นฐานที่ใช้ในไฟเบอร์ออปติกแสดงดังรูปที่ 2.27 (ก) ซึ่งจะประกอบไปด้วยสารชนิดแกเลียมอาร์เซไนด์ (GeAs) หรือ (LED ทั่วไปจะใช้สารจำพวกเจอร์เมเนียมหรือซิลิกอน) ถูกโด๊ปให้เป็นชนิด P (มีโฮลหรือประจุบวกมากกว่า) และชนิด N (มีอิเล็กตรอนอิสระมากกว่า) วางต่อกัน หลักการทำงานก็เหมือนไดโอด หรือ LED ธรรมดาทั่วไป เมื่อมีการไบแอสถูกทางด้วยค่าที่เหมาะสม จะเกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไปยังโฮลในระหว่างช่วงรอยต่อของสาร P-N (ที่เรียกว่าบริเวณดีฟิฟิชั่นหรือเขตปลอดพาหะ) และมีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของชั้นอิเล็กตรอน เกิดการคายพลังงานออกมาภายนอกในรูปของแสง



รูปที่ 2.27 โครงสร้างภายในของ LED

บางครั้งสารที่ใช้ทำ LED อาจจะเป็นประเภทแกเลียมอาร์เซไนด์ฟอสเฟออร์ (GaAsP) แกเลียมฟอสเฟออร์ (GaP) อะลูมิเนียมแกเลียมอาเซไนด์ (AlGaAs) หรืออินเดียมแกเลียมอาร์เซไนด์ฟอสเฟออร์ (InGaAsP) ก็ได้ เพื่อเปลี่ยนแปลงขนาดความยาวคลื่นแสงที่ได้

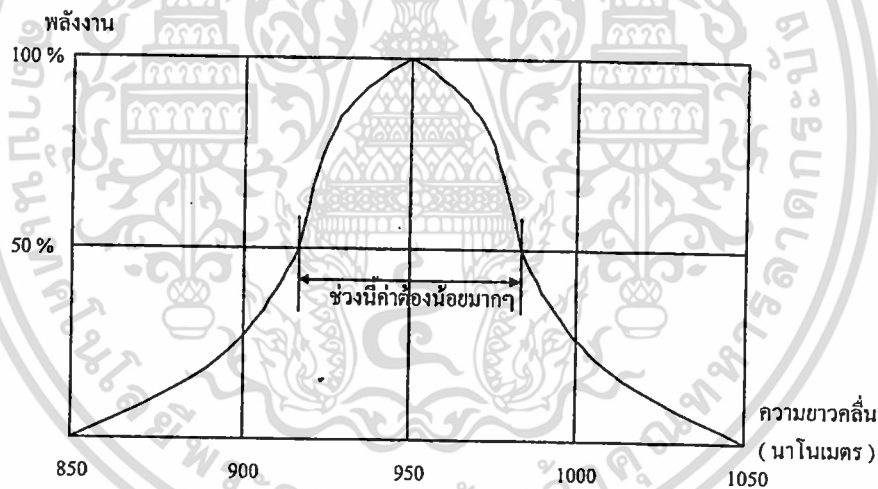
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงที่เปล่งออกมาจาก LED ในช่วงรอยต่อ จะมีลักษณะการกระจายไม่มีแนวทแยงเดียวกัน และมักทำมุมค่อนข้างกว้างทำให้แสงที่ได้โดยปรับปรุงโครงสร้างของสารให้มีความซับซ้อนขึ้นและมีการกำหนดขอบเขตการเปล่งแสงเพื่อให้แสงมีการรวมตัวออกมาในทิศทางเดียวกัน ดังรูปที่ 27(ข) ซึ่งลักษณะของแสงที่เปล่งมักจะมีพื้นที่ภาคตัดขวางเป็นรูปวงรี โดยมีมุมกระจายแสงในแนวตั้ง (30°) เล็กกว่ามุมกระจายแสงในแนวนอน (120°)

2.15 คุณสมบัติของแหล่งกำเนิดแสง

1) สามารถให้แสงที่มีพลังงานหรือความเข้มแสงมากพอที่จะส่งสัญญาณหรือเดินทางไปตามตลอดระยะทางของการสื่อสารได้

2) โครงสร้างของแหล่งกำเนิดแสงต้องสามารถส่งพลังงานแสงส่วนใหญ่หรือทั้งหมดเข้าไปในไฟเบอร์ออปติกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กได้ นั่นคือมุมของการเกิดแสงจากแหล่งกำเนิดต้องเป็นมุมแคบๆ และมีทิศทางที่แน่นอนในกรณีที่แสงจากแหล่งกำเนิดมีลักษณะกระจายเป็นมุมกว้าง สามารถใช้อุปกรณ์ในการคับปลิงแสง เช่น เลนส์นูนเข้ามาช่วยเพื่อรวมแสงส่วนใหญ่พุ่งเข้าสู่ไฟเบอร์ออปติกได้



รูปที่ 2.28 เส้นวิด ($\Delta\lambda$) ของแหล่งกำเนิดแสง

3) ความยาวคลื่นของแสงที่ได้ต้องมีความเหมาะสมกับสายไฟเบอร์ออปติกที่ใช้ในระบบสื่อสาร โดยแสงความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมกับไฟเบอร์ออปติกมากที่สุดมีค่าประมาณ 1.55 ไมครอน รองลงมาอาจได้แก่ 1.30 ไมครอน และ 0.82 ไมครอน

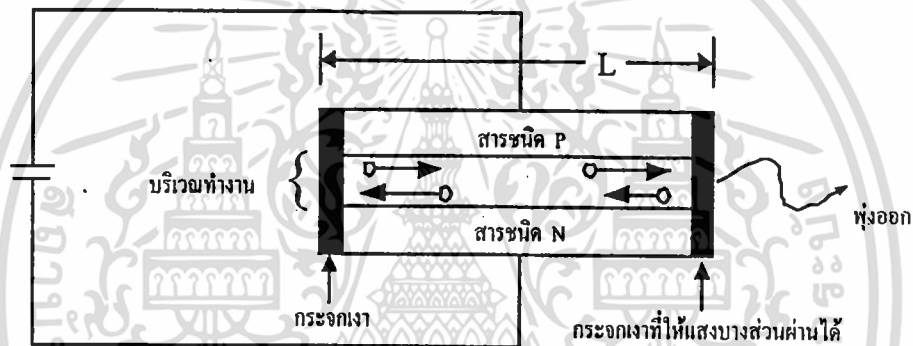
4) เส้นวิดธ์ (line width, $\Delta\lambda$) ของแสงที่ได้จะต้องมีค่าน้อยๆ เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลปริมาณมากๆ ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.28

5) ช่วงเวลาตอบสนองของแหล่งกำเนิด หรือช่วงเวลาที่แหล่งกำเนิดได้รับสัญญาณไฟฟ้าแล้ว สร้างสัญญาณแสงออกมา ต้องมีค่าสั้นมากๆ อันจะมีผลทำให้ได้วงจรไมโครเวเวอร์ที่สามารถส่งข้อมูลปริมาณมากๆ ได้ดี

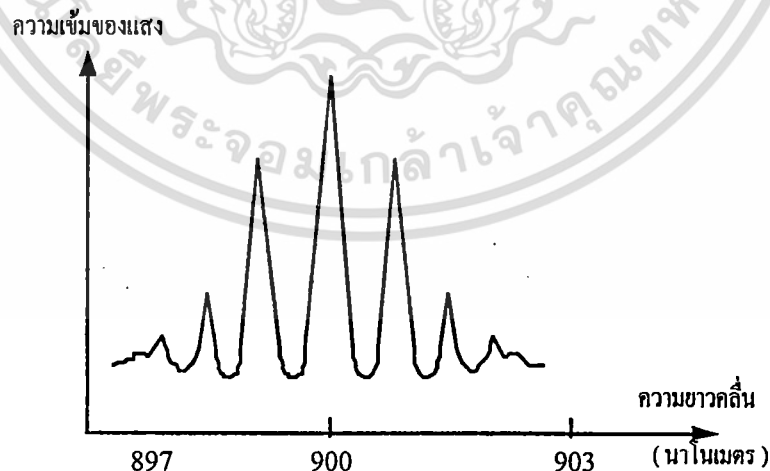
6) พลังงานแสงต้องมีค่าคงที่ต่อเนื่องตลอดเวลา และไม่มีเปลี่ยนแปลงใดๆ อันเนื่องมาจากผลของอุณหภูมิ และสภาพแวดล้อม

2.16 การทำงานของเลเซอร์ไดโอด (LD)

เลเซอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทเดียวกับไดโอดแต่ถูกออกแบบให้สามารถแปลงแสงเลเซอร์ออกมาได้ ลักษณะของแสงเลเซอร์เป็นแสงที่เป็นระเบียบ มีทิศทางการพุ่งของแสงไปในทิศทางเดียวกัน และมีเฟสตรงกันทำให้มีความเข้มแสงสูงมาก ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของเลเซอร์ไดโอด แสดงดังรูปที่ 2.29 (ก) ซึ่งประกอบด้วยสารที่ใช้ทำ LED



(ก) โครงสร้างพื้นฐาน



(ข) ตัวอย่างสเปกตรัมของแสงจากแอลอีดี

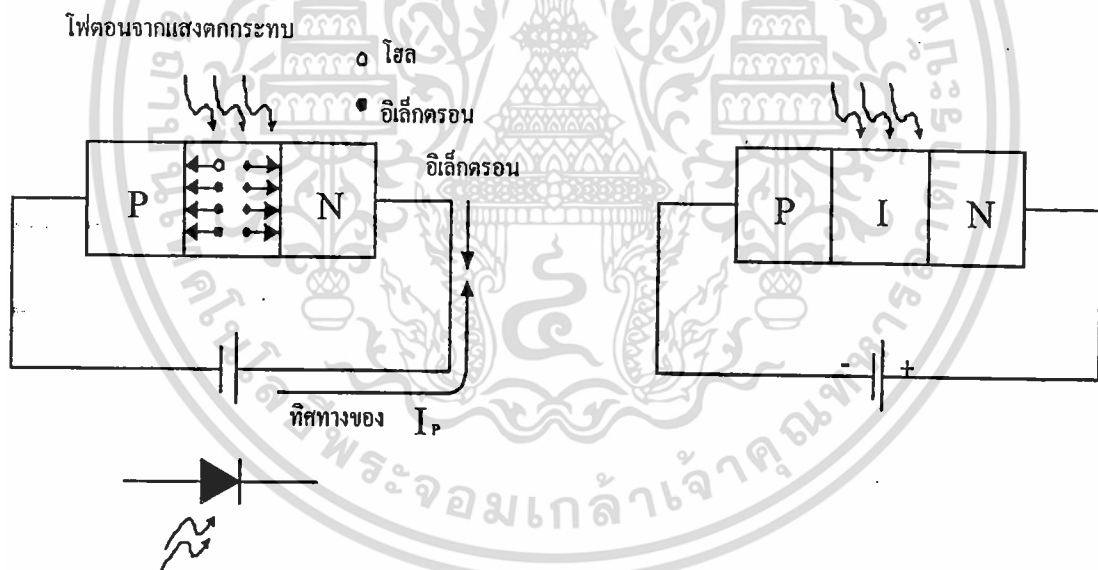
รูปที่ 2.29 ก,ข โครงสร้างภายในเลเซอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการไบแอสที่เหมาะสมทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโฟตอนในระหว่างเขตปลอดพาหะ เมื่อโฟตอนเคลื่อนที่ไปกระทบโฟตอนตัวอื่นจะมีการถ่ายเทพลังงานทำให้เกิดมีโฟตอนตัวใหม่ขึ้นมามากมายและสะท้อนกลับไปกลับมาตรงบริเวณรอยต่อ อันเนื่องมาจากกระจกเงาที่ปลายทั้งสอง พฤติกรรมเช่นนี้ทำให้เกิดการสะสมพลังงานภายในมากขึ้นอย่างเป็นระเบียบ เมื่อพลังงานมีค่ามากพอที่จะพุ่งทะลุกระจกเงาด้านหนึ่งออกมาเป็นแสงเลเซอร์

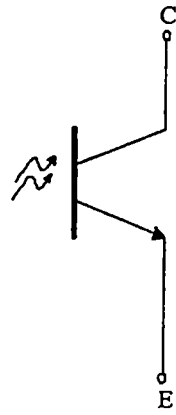
2.17 การทำงานของโฟโตดีเท็กเตอร์

การทำงานของโฟโตดีเท็กเตอร์หรืออุปกรณ์รับสัญญาณแสง โฟโตดีเท็กเตอร์ที่ใช้ในท้องตลาด มีหลายชนิดเริ่มจาก โฟโตไดโอดธรรมดา แสดงในรูปที่ 2.29 (ก) มีหลักการทำงานตรงข้ามกับไดโอดเปล่งแสงหรือ LED กล่าวคือ เมื่อไดโอดได้รับพลังงานแสงจากภายนอกจะทำให้เกิดโฟตอนขึ้นภายในบริเวณปลอดพาหะหรือรอยต่อ P-N เกิดเป็นการกระแสรั่วไหลหรือกระแสมืด (dark current) ไหลในช่วงนี้หากมีการไบแอสให้แก่ไดโอดบริเวณช่วงปลอดพาหะจะขยายกว้างขึ้น เป็นผลให้กระแสมีการรั่วไหลมากขึ้น ทิศทางการไหลของกระแสเนื่องจากแสงนี้มีทิศทางเดียวกันกับการไบแอสกลับคือจะไหลจากขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟเข้าสู่ขั้วแคโทดของไดโอด

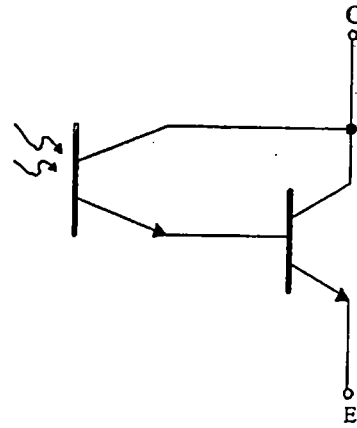


(ก) โครงสร้างและสัญลักษณ์ของ PIN โฟโตไดโอด

(ข) PIN โฟโตไดโอด



(ค) สัญลักษณ์ของ โฟโตทรานซิสเตอร์



(ง) โฟโตทรานซิสเตอร์ต่อแบบดาร์ลิงตัน.

รูปที่ 2.30 (ก,ข,ค,ง) โครงสร้างของโฟโตไดโอด

การเพิ่มบริเวณปลอดพาหะให้กว้างขึ้นนอกจากทำได้โดยการเพิ่มค่าแรงดันไบแอสกลับของ โฟโตไดโอดแล้ว อาจทำได้โดยตรงกับโครงสร้างภายในของมันโดยแทรกสารอินทรีนซิค (I) ไว้ระหว่างรอยต่อ P-N ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าเป็นโฟโตไดโอดชนิด PIN ดังที่แสดงในรูปที่ 2.30 (ข) ซึ่งช่วยให้ได้กระแสไหลมากกว่าโฟโตไดโอดแบบธรรมดาเมื่อมีแสงตกกระทบ จากผลของโครงสร้างแบบ PIN ทำให้โฟโตไดโอดชนิดนี้มีโหมดการทำงานได้สองแบบคือ “โหมดโฟโตวอลตาจิก” ซึ่งจะผลิตกระแสเมื่อแสงตกกระทบโดยไม่ต้องมีการไบแอสเลย และ “โหมดโฟโตคอนดักทีฟ” เป็นการทำงานเมื่อมีการไบแอสกลับให้กับตัวมัน

โฟโตไดโอดแบบอะวาลานซ์ (APD) อาศัยหลักการทำงานเช่นเดียวกับอะวาลานซ์ไดโอด ทำให้มีกระแสไหลมากกว่าโฟโตไดโอดธรรมดาหลายเท่า แต่มีข้อเสียตรงที่มีความไวต่ออุณหภูมิสูง และเกิดสัญญาณรบกวนมาก การใช้งานโฟโตไดโอดแบบอะวาลานซ์จำเป็นต้องใช้แรงดันไบแอสกลับค่อนข้างสูง (ประมาณ 40-400 โวลต์) แต่ก็เป็นผลดีเพราะทำให้เวลาตอบสนองสัญญาณสั้นมาก

โฟโตทรานซิสเตอร์นับเป็นโฟโตดีเทกเตอร์อีกชนิดหนึ่งที่พวกเราคุ้นเคยกันดี หลักการทำงานของมันจะขึ้นกับขนาดความเข้มแสงที่ตกกระทบ เปรียบเหมือนกับการต่อโฟโตไดโอดเข้ากับขาเบสของทรานซิสเตอร์ เมื่อแสงที่มีความเข้มสูงตกกระทบ กระแสไหลผ่านไดโอดที่ขาเบสจะมีค่ามาก ทำให้กระแสที่ขาคอลเลคเตอร์ (I_C) มีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย ในรูปที่ 2.30(ค) เป็นโฟโตทรานซิสเตอร์แบบธรรมดา ส่วนรูป 2.30 (ง) เป็นโฟโตทรานซิสเตอร์แบบดาร์ลิงตันที่สามารถจ่ายกระแส (I_C) ได้มากกว่าแบบธรรมดาเมื่อมีแสงตกกระทบเท่ากัน

ข้อดีของโฟโตทรานซิสเตอร์คือสามารถดีเทกสัญญาณที่มีขนาดความเข้มของแสงน้อยๆ ได้ดี แต่มีช่วงเวลาตอบสนองสัญญาณค่อนข้างช้าคือ มีช่วงเวลาที่ช้าขึ้น (Rise Time, t_r) ประมาณ 10 ไมโครวินาที ซึ่งไม่เหมาะกับข้อมูลขนาดใหญ่ในการใช้งานกับระบบที่มีข้อมูลจำนวนมาก หรือแบนด์วิดท์สูงๆ

(100 เมกะเฮิร์ตซ์ขึ้นไป) จะใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ชนิด PIN-FET ที่มีโครงสร้างเป็นแบบวงจรรวมเสมือนมี PIN โฟโตไดโอดเป็นตัวดีเท็กสัญญาณและมีวงจรถานซิสเตอร์แบบ FET เป็นตัวขยายสัญญาณอยู่ในตัวถึงเดียวกันจากหลักการนี้ทำให้เราได้โฟโตดีเท็กเตอร์ที่มีความไวในการรับสัญญาณสูง และมีค่าสัญญาณรบกวนต่ำ

2.18 คุณสมบัติของโฟโตดีเท็กเตอร์

คุณสมบัติของโฟโตดีเท็กเตอร์หรืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการรับสัญญาณแสงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นข้อมูลทางไฟฟ้า คุณสมบัติที่สำคัญของโฟโตดีเท็กเตอร์ในระบบสื่อสารได้แก่

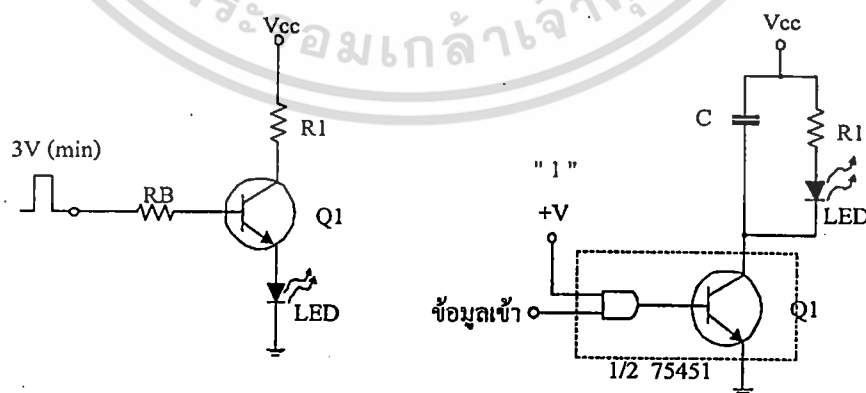
1) ต้องมีความไวในการรับแสงได้ดีเฉพาะในช่วงที่ต้องการ เนื่องจากการส่งสัญญาณแสงจะใช้ความยาวคลื่นแสงในช่วงเฉพาะ ดังนั้นหากแสงอื่นที่มีความยาวคลื่นไม่เกี่ยวข้องกันมาตกกระทบพร้อมกัน ย่อมทำให้ข้อมูลมีความผิดพลาดได้

2) เวลาในการตอบสนองของสัญญาณต้องสั้นมากๆ กล่าวคือเมื่อมีแสงตกกระทบโฟโตดีเท็กเตอร์ต้องเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยเวลาที่สั้นที่สุดเพื่อที่ว่าข้อมูลจำนวนมากสามารถรับส่งด้วยความเร็วสูงได้

3) ในระบบสื่อสารแบบอนาลอกต้องใช้โฟโตดีเท็กเตอร์ชนิดเชิงเส้น เพื่อลดการผิดเพี้ยนของสัญญาณลงให้น้อยที่สุดสัญญาณรบกวนภายในอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมต้องมีค่าน้อยที่สุด

2.19 การทำงานของวงจรวอร์

วงจรวอร์หรือวงจรับสัญญาณเป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยให้แหล่งกำเนิดแสงที่เป็น LED หรือเลเซอร์ไดโอดทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพลักษณะวงจรวอร์สำหรับ LED ก่อนข้างแตกต่างจากวงจรวอร์ของเลเซอร์ไดโอด



รูปที่ 2.31 วงจรวอร์ (LED) แบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้เนื่องจาก LED มีคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นในการเปล่งแสงตามค่ากระแสไบแอสโดยตรงทำให้เหมาะสำหรับระบบสื่อสารที่ใช้ข้อมูลแบบอนาลอก ในขณะที่พลังงานแสงที่เปล่งออกมาจากเลเซอร์ไดโอด มักมีการเปลี่ยนแปลงสูงมากอย่างรวดเร็ว ทั้งๆ ที่กระแสไบแอสที่มากกว่ากระแสเทรชโฮลด์ (I_{th}) มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จึงนิยมใช้เลเซอร์ไดโอดกับวงจรขับสัญญาณที่มีข้อมูลเป็นแบบดิจิทัล

2.20 การทำงานของวงจรสำหรับ LED

แม้ว่า LED จะเหมาะสำหรับการส่งสัญญาณแบบอนาลอก แต่ในระบบสื่อสารระยะทางไกลก็อาจสามารถใช้ส่งข้อมูลที่เป็นดิจิทัลได้ ดังเช่น วงจรในรูปที่ 2.31 ซึ่งเป็นวงจรใช้งานแบบง่ายๆ ซึ่งในวงจรรูปที่ 2.31 (ก) ใช้สำหรับส่งข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 ทางดิจิทัล โดยค่าของกระแสที่ไหลผ่าน LED (I_F) ถูกกำหนดโดยกระแสคอลเลคเตอร์ (I_C) ของทรานซิสเตอร์ Q_1 และคำนวณได้ด้วย

สูตร

$$I_F = I_C = \left[\frac{V_{CC} - V_F}{R_1} \right] \quad (2.9)$$

เมื่อ V_F เป็นแรงดันตกคร่อม LED ขณะไบแอสตรง มีค่าตามสเปกที่กำหนด กระแสเบส I_C อีกทีหนึ่งตามสูตรของ

$$I_B = \left(\frac{I_C}{\beta} \right) \quad (2.10)$$

เมื่อ β คือ กำลังขยายของทรานซิสเตอร์ และ I_B คำนวณได้จาก

$$I_B = \left[\frac{(V_{i(max)} - V_{BE} - V_f)}{\beta} \right] \quad (2.11)$$

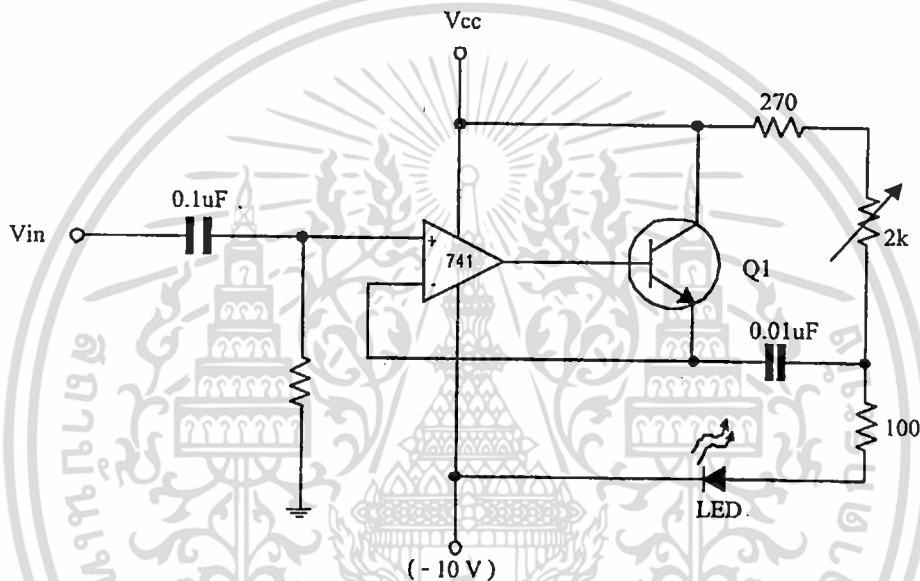
เมื่อ $V_{i(max)}$ คือ ค่าแรงดันสูงสุดของสัญญาณเข้าหรือก็คือระดับแรงดันขณะข้อมูลทางดิจิทัลเป็น “1”

วงจรในรูปที่ 2.31 (ข) เป็นอีกลักษณะหนึ่งของการส่งข้อมูลแบบดิจิทัล ที่มีเสถียรภาพมากกว่ารูปที่ 2.31 (ก) โดยใช้ไอซีเบอร์ 75451 หรือ 75450 เพียงบางส่วน ที่ขา 1 ของแอนด์เกตถูกกำหนดให้มีสถานะทางลอจิกเป็น “1” (+5V) ขาที่เหลือใช้สำหรับส่งข้อมูล โดยขณะข้อมูลเป็น “1” LED จะไม่ทำงานและเมื่อข้อมูลเป็น “0” LED จะส่งสัญญาณแสงออกมา ส่วนตัวเก็บประจุใช้สำหรับลดผลการ

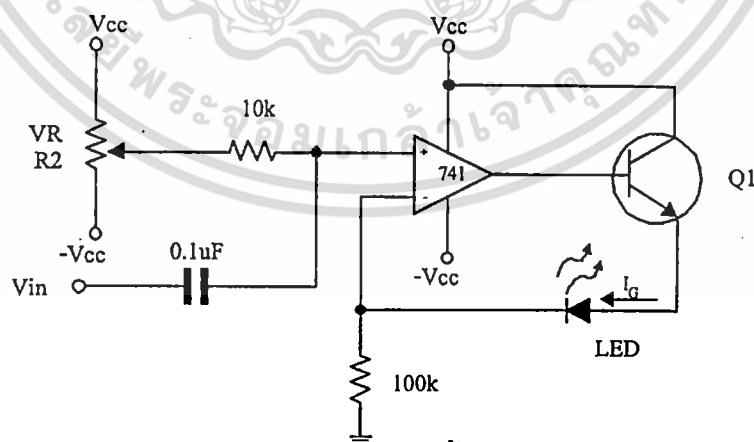
เกิดแรงกระชาก ซึ่งปกติจะใช้ค่าประมาณ $1 \mu\text{F}$ และค่าของตัวต้านทาน R_1 สามารถคำนวณได้จากกระแสไบแอสตรง I_F ของ LED ที่กำหนดตามสเปกของมัน โดยใช้สูตรการคำนวณ

$$R_1 = \left[\frac{(V_{CC} - I_F)}{I_F} \right] \quad (2.12)$$

วงจรวอร์ LED สำหรับสัญญาณอนาลอก แสดงดังรูปที่ 2.31 โดยในรูปที่ 2.31 (ก) เป็นตัวอย่างวงจรถูกออกแบบให้มีค่ากระแสไบแอส LED อยู่ระหว่าง 7.5-40 มิลลิแอมป์ ขึ้นกับค่าของตัวต้านทาน VR_1 ขนาดของสัญญาณอินพุทมีค่าอยู่ระหว่าง +2 โวลต์ ซึ่งจะถูกลบเป็นกระแสไหลผ่าน LED ที่มีค่าระหว่าง ± 10 มิลลิแอมป์



(ก) กระแสไบแอสอยู่ที่ 7.5-40 มิลลิแอมป์



(ข) ใช้กระแสไบแอสที่ดีเป็นสัญญาณป้อนกลับวงจรรูปที่ 2.32 ก,ข วงจรวอร์ (LED) แบบอนาลอก

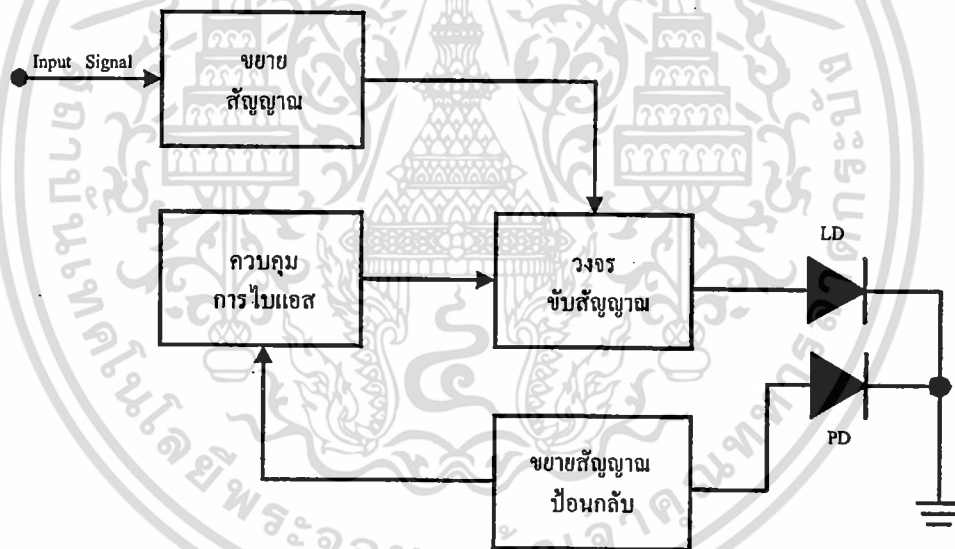
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรในรูปที่ 2.31 (ข) ใช้กระแสขับ LED เป็นสัญญาณป้อนกลับวงจร ทำให้วงจรมีเสถียรภาพมากขึ้น ตัวต้านทานปรับค่าได้ VR_2 ใช้กำหนดขนาดของกระแสไบแอสให้กับวงจร

2.21 การทำงานของวงจรเลเซอร์ไดโอด

การใช้เลเซอร์ไดโอดในระบบสื่อสาร ก่อนข้างจะยุ่งยากในการออกแบบวงจร เพราะวงจรต้องมีประสิทธิภาพและความเที่ยงตรงสูงบล็อกไดโอดแอมพลิฟายเออร์ของวงจรใช้งานเลเซอร์ไดโอด ซึ่งมีหลักการไม่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับวงจร LED เพียงแต่เพิ่มส่วนป้อนกลับหรือฟีดแบ็คสัญญาณ เพื่อทำหน้าที่ควบคุมวงจรไดรเวอร์ให้เกิดความแน่นอน

สัญญาณป้อนกลับอาจจะได้มาจากโฟโตดีเทกเตอร์ ที่มีประกอบอยู่ในตัวถังเดียวกันกับเลเซอร์ไดโอดในระบบสื่อสาร เป็นตัวที่เก็บสัญญาณแสงที่ส่งออกไป หากพลังงานมีมากเกินไป สัญญาณป้อนกลับจะควบคุมให้วงจรไดรเวอร์ลดกระแสขับเลเซอร์ไดโอดลงในทางกลับกันหากความเข้มแสงที่ส่งออกมาค่าน้อย วงจรไดรเวอร์จะช่วยเพิ่มกระแสไบแอสเลเซอร์ไดโอด ทำให้ระดับพลังงานแสงของระบบที่ส่งออกไปมีความเที่ยงตรงและแน่นอน

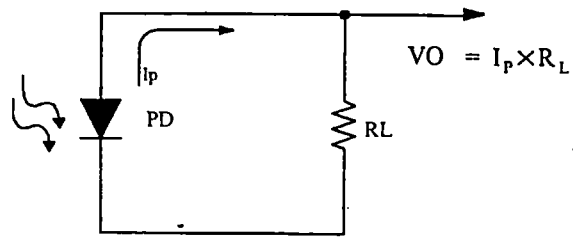


รูปที่ 2.33 บล็อกการทำงานของวงจรเลเซอร์ไดโอด

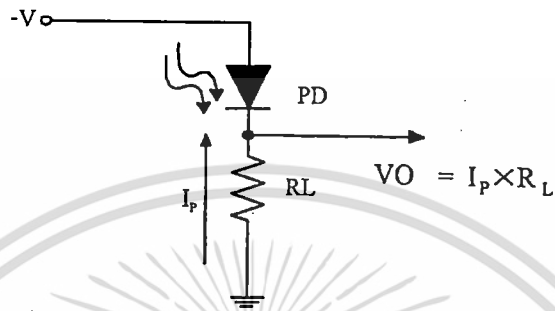
2.22 การทำงานของวงจรดีเทกเตอร์

ในตอนต้นได้กล่าวถึงการทำงานของโฟโตไดโอดไปบ้างแล้วลักษณะวงจรการทำงานในแบบของโหมดโฟโตวอลตาจิกแสดงดังรูปที่ 2.34 (ก) โดยการต่อไดโอดให้อนุกรมกับต้านทานโหลด RL

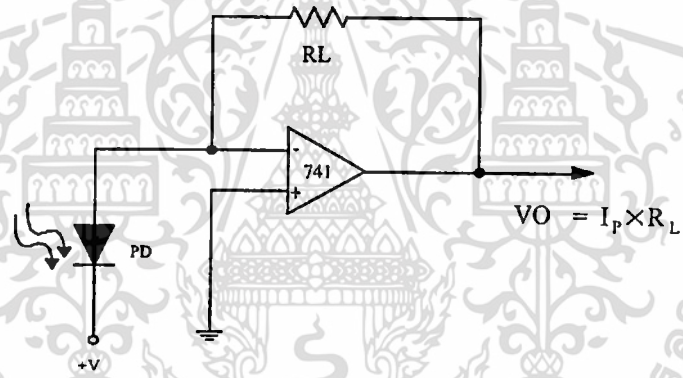
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



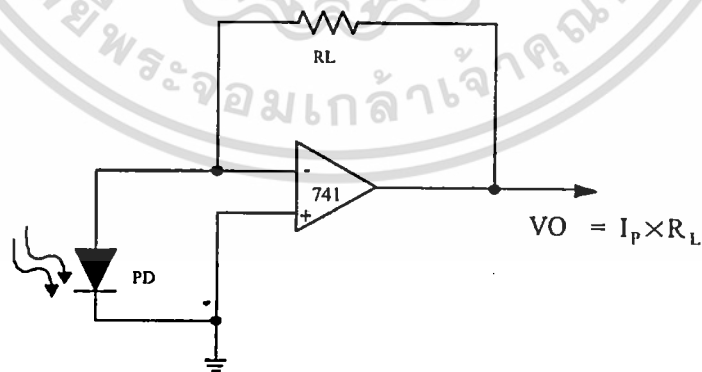
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 2.34 วงจรการทำงานโฟโตไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแสงตกกระทบบนจะเกิดกระแสไหล ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม R_L มีค่าเท่ากับ $I_p \times R_L$ เมื่อ I_p คือกระแสที่ไหลในวงจรอนุกรมซึ่งมักมีค่าไม่มาก หากต้องการกระแส I_p มีค่ามากขึ้น ต้องเพิ่มแรงดันให้กับโฟโตไดโอด ดังรูปที่ 2.34 (ข) เพื่อให้เกิดการทำงานในโหมดโฟโตคอนดักทีฟ ในทางปฏิบัติมักจะใช้วงจรที่ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมแรงดันโฟโตไดโอดมีค่าคงที่ตลอดเวลา เพื่อช่วยให้สามารถสร้างกระแส I_p ได้อย่างมีเสถียรภาพ ดังเช่นวงจรในรูปที่ 2.34 (ค) และรูปที่ 2.34 (ง) ที่ทำงานในโหมดต่างกัน แต่ค่าของแรงดันเอาต์พุต V_{out} ที่ต้องการมีค่าเป็นไปตามสมการเดียวกันคือ

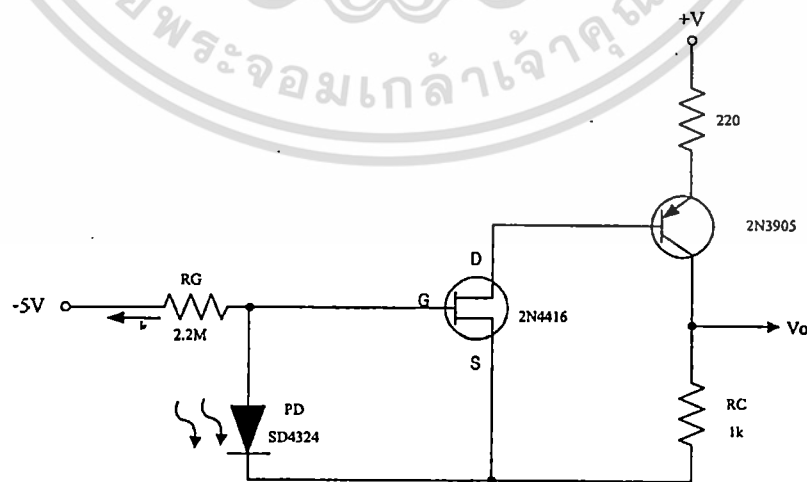
$$V_{OUT} = -I_p \times R_f \quad (2.13)$$

วงจรรูปที่ 2.34 (ง) ที่มีโหมดการทำงานแบบโฟโตคอนดักทีฟจะทำงานได้เร็วกว่าการทำงานในรูปที่ 2.34 (ค) ซึ่งเป็นชนิดโฟโตวอลตาจิก ค่าของกระแส I_p เป็นผลเนื่องมาจากผลของแรงดันตกกระทบบน และคำนวณได้จาก

$$I_p = R \times P_{in} \quad (2.14)$$

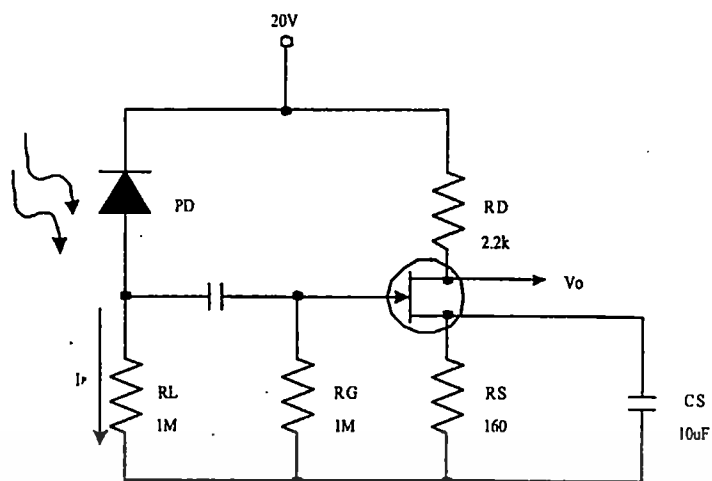
เมื่อ R เป็นค่ากระแสต่อพลังงาน (แอมแปร์ / วัตต์) กำหนดด้วยสเปกของมัน และ P_{in} เป็นพลังงานแสงที่ตกกระทบบนโฟโตไดโอด

ในการออกแบบวงจรต้องคำนึงถึงค่าของกระแสที่เกิดจากตัวโฟโตไดโอด ขณะมีการไบแอสกลับรวมเข้าไปกับ I_p ด้วยจึงจะได้ค่าจริงออกมาวงจรในรูปที่ 2.35 เป็นวงจรโฟโตไดโอดที่ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวขยายสัญญาณขั้นต้นโดยที่วงจรในรูปที่ 2.35 (ก) เหมาะสำหรับการใช้งานในระบบอนาล็อกและวงจรในรูปที่ 2.35 (ข) นั้นใช้กับระบบดิจิทัล



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ)

รูปที่ 2.35 วงจรโฟโตดีเทกเตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์

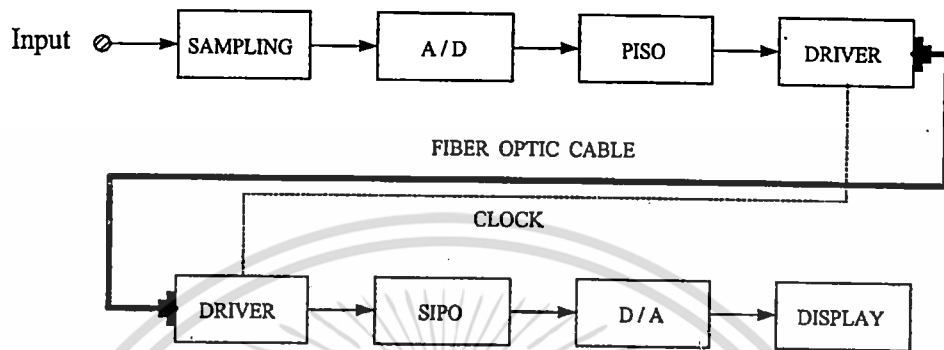


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วงจรและการทำงานของวงจร

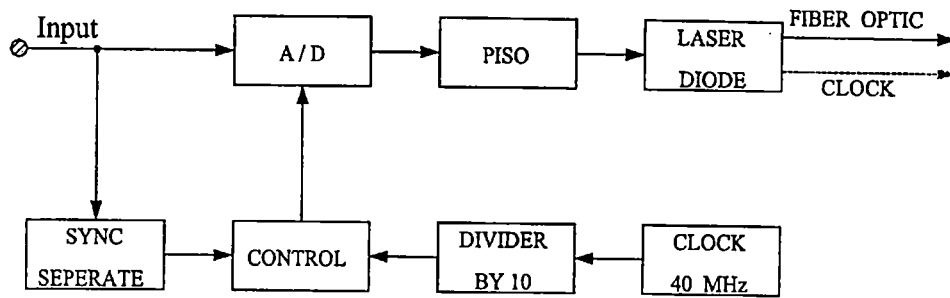
3.1 บล็อกไดอะแกรมของวงจรรวม



รูปที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนการทำงานและการต่อวงจรโดยรวม

บล็อกไดอะแกรมดังที่แสดงในรูปที่ 3.1 จะแสดงถึงลำดับขั้นตอนการทำงานต่างๆ ของโครงการนี้ ซึ่งจะแยกออกเป็นบล็อกย่อยๆ เพื่อทำการแจกแจงละเอียดในหัวข้อของบล็อกต่างๆ เมื่อมีสัญญาณอินพุตเข้ามา ภาคแซมปลิง จะทำหน้าที่ในการสุ่มตัวอย่างสัญญาณเพื่อทำการหาบิตเริ่มต้น (Bit Start) เมื่อทำการสุ่มตัวอย่างสัญญาณ และหาบิตเริ่มต้น (Bit Start) เสร็จเรียบร้อยแล้ว สัญญาณวิดีโอจากภาคแซมปลิงจะถูกส่งเข้ามาสู่ในภาค A/D ในส่วนของภาค A/D จะทำการแปลงสัญญาณ จากสัญญาณไฟฟ้าเป็นข้อมูลทางดิจิทัลเมื่อสัญญาณถูกเปลี่ยนเป็นข้อมูลแล้ว ข้อมูลทั้งหมดจะอยู่ในรูปแบบขนาน (8 บิต) พร้อมส่งออกไปเป็นแบบดิจิทัล แต่ข้อมูลทั้งหมดที่อยู่ในรูปแบบขนานจะถูกเปลี่ยนเป็นแบบอนุกรมเพื่อลดความสิ้นเปลืองของสายนำสัญญาณ โดยภาค PISO เป็นตัวจัดการให้ เพื่อที่จะให้ได้ข้อมูลเป็นเพียงเส้นทางเดียวเนื่องจากสะดวกในการทำการส่ง ภาคไดรเวอร์ ทางด้านส่ง จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนข้อมูลทางไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงแล้วทำการการขับข้อมูลทั้งหมดส่งผ่านสายไฟเบอร์ออฟติก ภาคไดรเวอร์ ทางด้านรับจะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณแสงทางไฟฟ้ามาทำการเปลี่ยนเป็นข้อมูลทางไฟฟ้า ข้อมูลทางไฟฟ้าทั้งหมดที่รับมาได้ ภาค SIPO จะทำการเปลี่ยนข้อมูลแบบอนุกรมให้มาเป็นข้อมูลแบบขนานอีกครั้ง เพื่อที่จะส่งไปยังภาค D/A ภาค D/A จะทำการแปลงข้อมูลทางไฟฟ้าในรูปแบบของพอร์ตขนานในรูปดิจิทัลกลับไปสู่สัญญาณทางไฟฟ้าในรูปแบบของอะนาล็อกและทำการแสดงผลออกสู่จอ มอนิเตอร์

3.2 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภาคส่ง

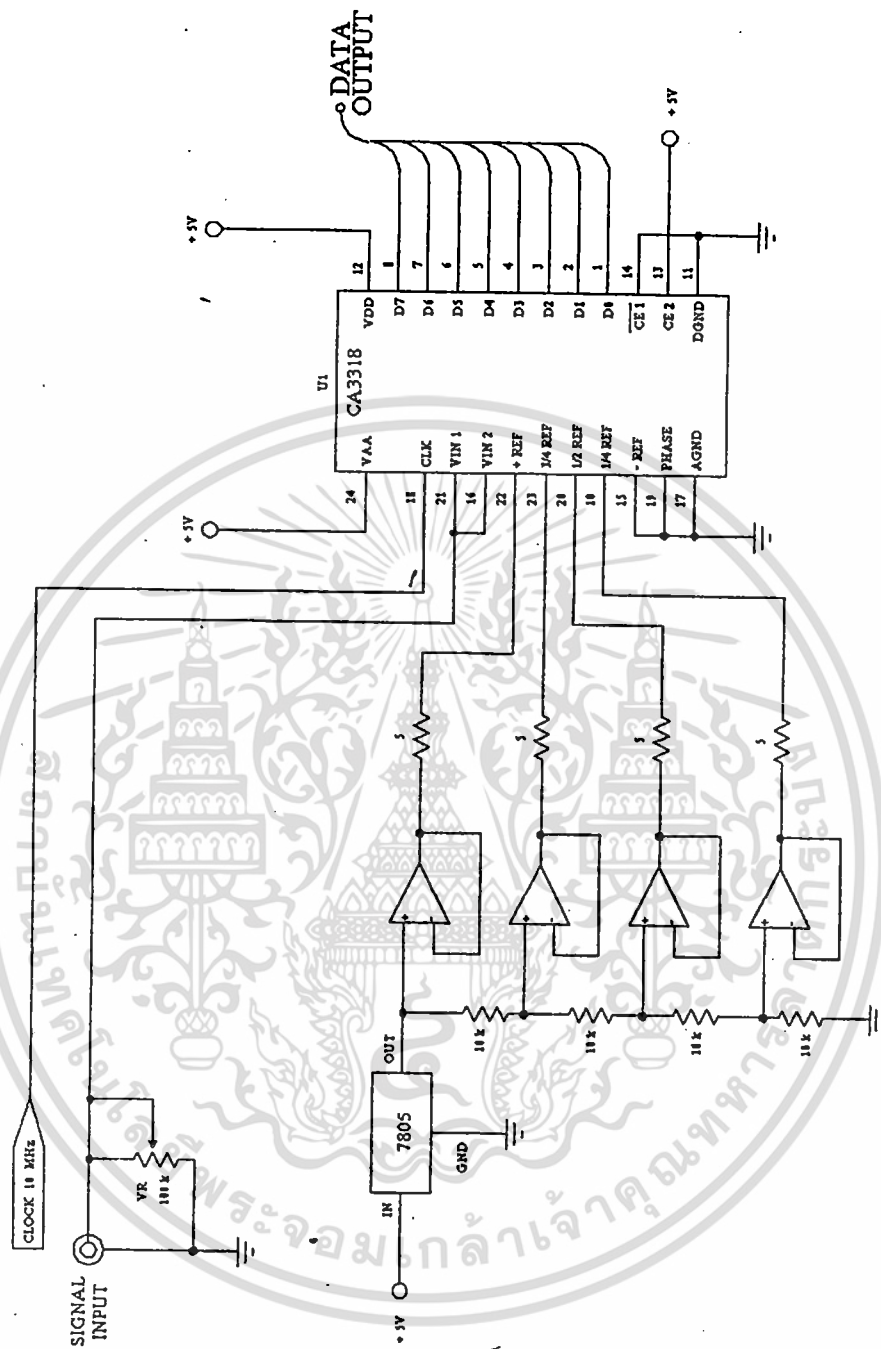


รูปที่ 3.2 วงจรต่างๆ ที่อยู่ในภาคส่ง

บล็อกไดอะแกรมของวงจรภาคส่งแสดงดังรูปที่ 3.2 ซึ่งจะเป็นการรวบรวมภาคต่างๆ ที่อยู่ในภาคส่งทั้งหมดมาเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรม เมื่อมีสัญญาณ Input เข้ามาสัญญาณซิงค์จะถูกแยกออกมาเพื่อเป็นตัวควบคุมการทำงานของวงจรพร้อมกันนั้น สัญญาณนาฬิกา (CLOCK) จะทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณนาฬิกาออกมา และจะทำการนับสลับเพื่อทำการตรวจสอบบิตเริ่มต้นของข้อมูล เมื่อสัญญาณเข้ามาที่ภาคเปลี่ยนสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล A/D สัญญาณนาฬิกาจะทำการนับสลับเพื่อเช็คบิตเริ่มต้นของข้อมูลเพื่อควบคุมการทำงานของภาคเปลี่ยนสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล A/D ในส่วนของภาคควบคุม (CONTROL) เมื่อสัญญาณในภาคเปลี่ยนสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล A/D ถูกแปลงจากสัญญาณไฟฟ้าแบบอะนาลอกมาเป็นข้อมูลทางไฟฟ้าแบบดิจิตอลแล้ว ในส่วนของภาคข้อมูลขนานเข้าอนุกรมออก (PISO) จะทำการเปลี่ยนข้อมูลไฟฟ้าดิจิตอลจากแบบขนานมาเป็นข้อมูลดิจิตอลแบบอนุกรม ในส่วนของภาคขับสัญญาณ (DIVER) จะทำหน้าที่ในการแปลงข้อมูลดิจิตอลแบบอนุกรมให้เป็นข้อมูลแสงแบบอนุกรมเพื่อทำการส่งผ่านสายไฟเบอร์ออฟติกไปสู่ภาครับได้

วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล หรือ A/D (มีศักดา, กระแสความถี่ ฯลฯ) จะให้เอาท์พุทเป็นแบบดิจิตอล เพื่อสะดวกในการจัดเรียงข้อมูล โครงการนี้ต้องการข้อมูลจำนวน 8 บิต ซึ่งสามารถแยกความแตกต่างของภาพได้ 64 ระดับสี ดังนั้นเราจึงต้องใช้ไอซีเบอร์ CA3318 ซึ่งมีการทำงานแบบ 8 บิตที่มีความละเอียด $\pm 1/2$ LBS ใช้กำลังต่ำแต่ความไวในการทำงานสูงแสดงดังรูปที่ 3.3

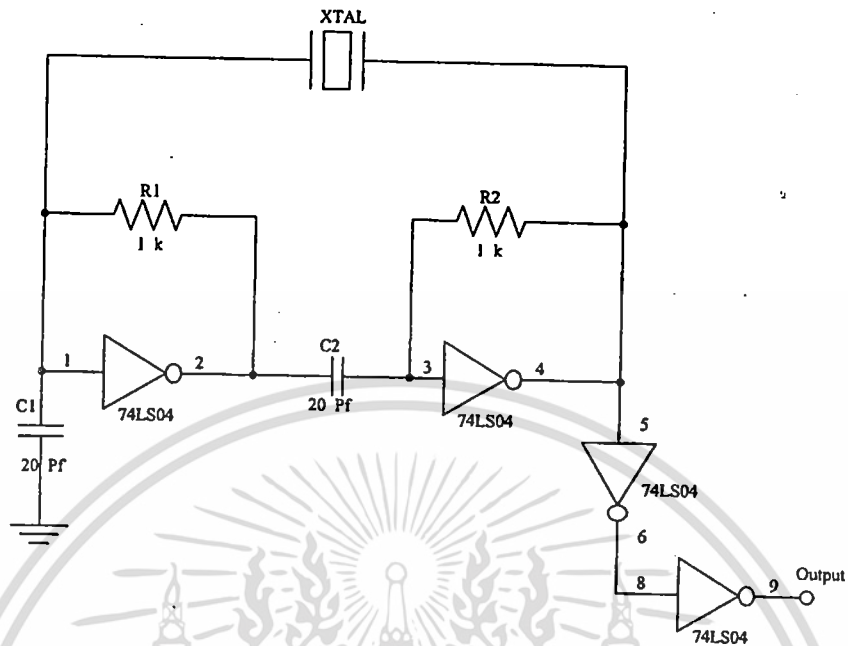
3.3 วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D)



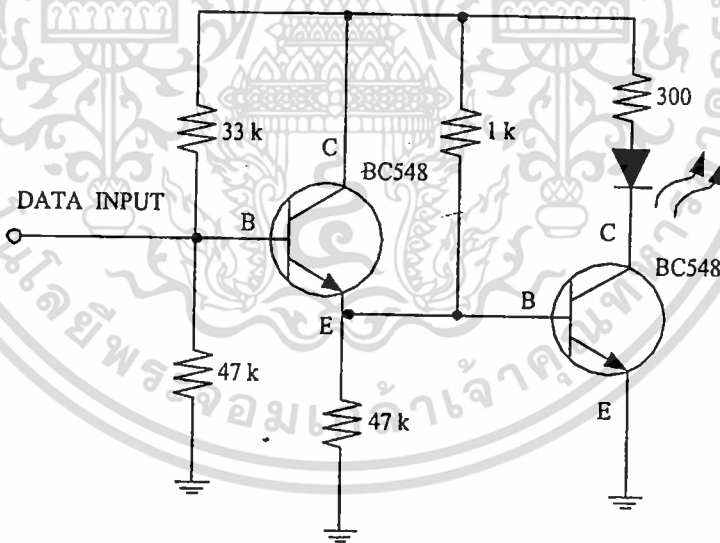
รูปที่ 3.3 วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา (Clock) ของภาคส่ง

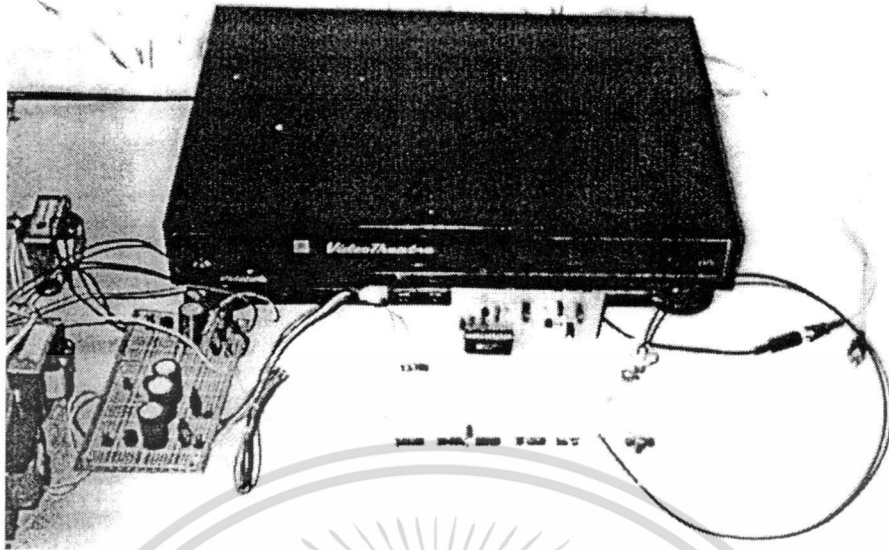


รูปที่ 3.5 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาของภาคส่ง



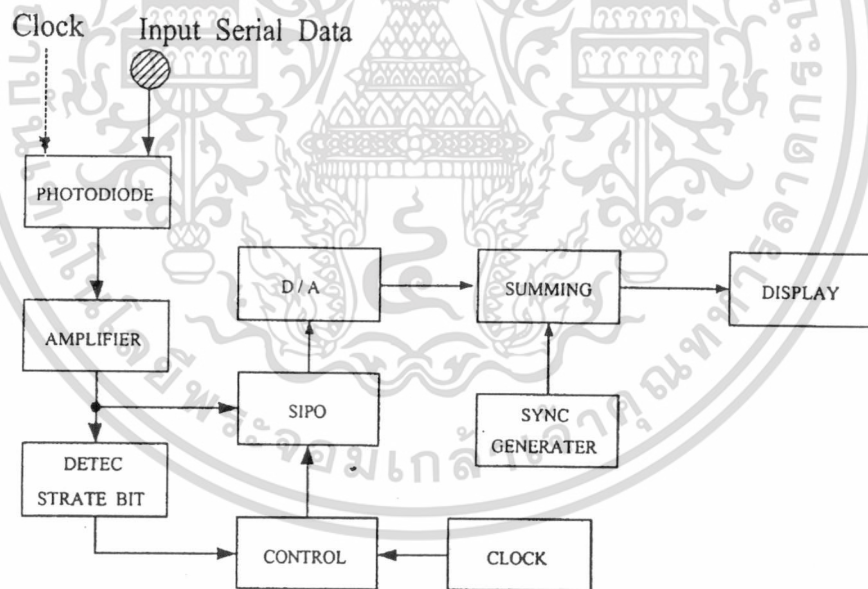
รูปที่ 3.6 วงจรแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 เครื่องต้นแบบของภาคส่ง

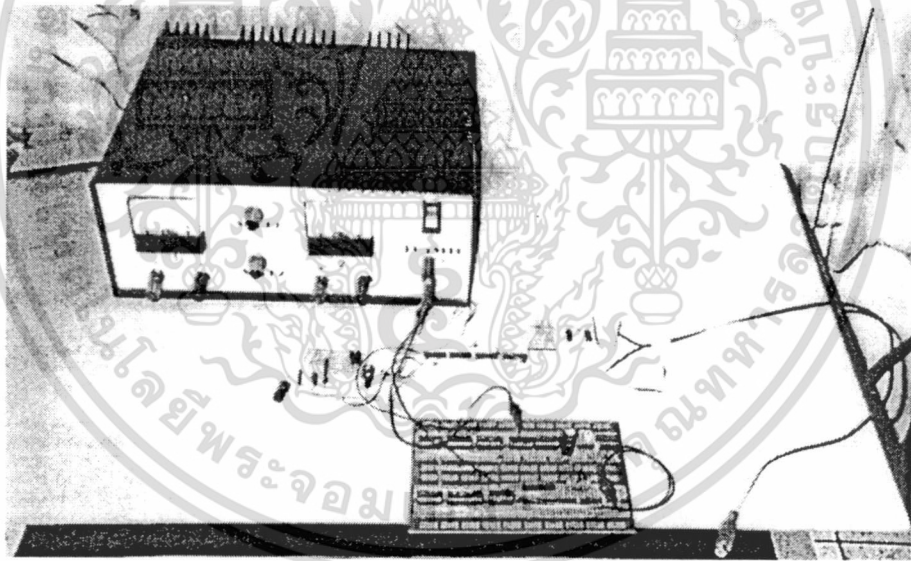
3.6 บล็อกไดอะแกรมของวงจรภาครับ



รูปที่ 3.8 วงจรต่างๆ ที่อยู่ในภาครับ

จากรูปข้างบนบล็อกไดอะแกรมโดยรวมของวงจรภาครับแสดงดังรูปที่ 3.8 ในส่วนของภาครับเมื่อมีข้อมูลแบบอนุกรมเข้ามา ภาคขับสัญญาณ (Driver) โดยโฟโตไดโอดจะเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนข้อมูลดิจิทัลในรูปของสัญญาณแสงให้เป็นข้อมูลดิจิทัลในรูปเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

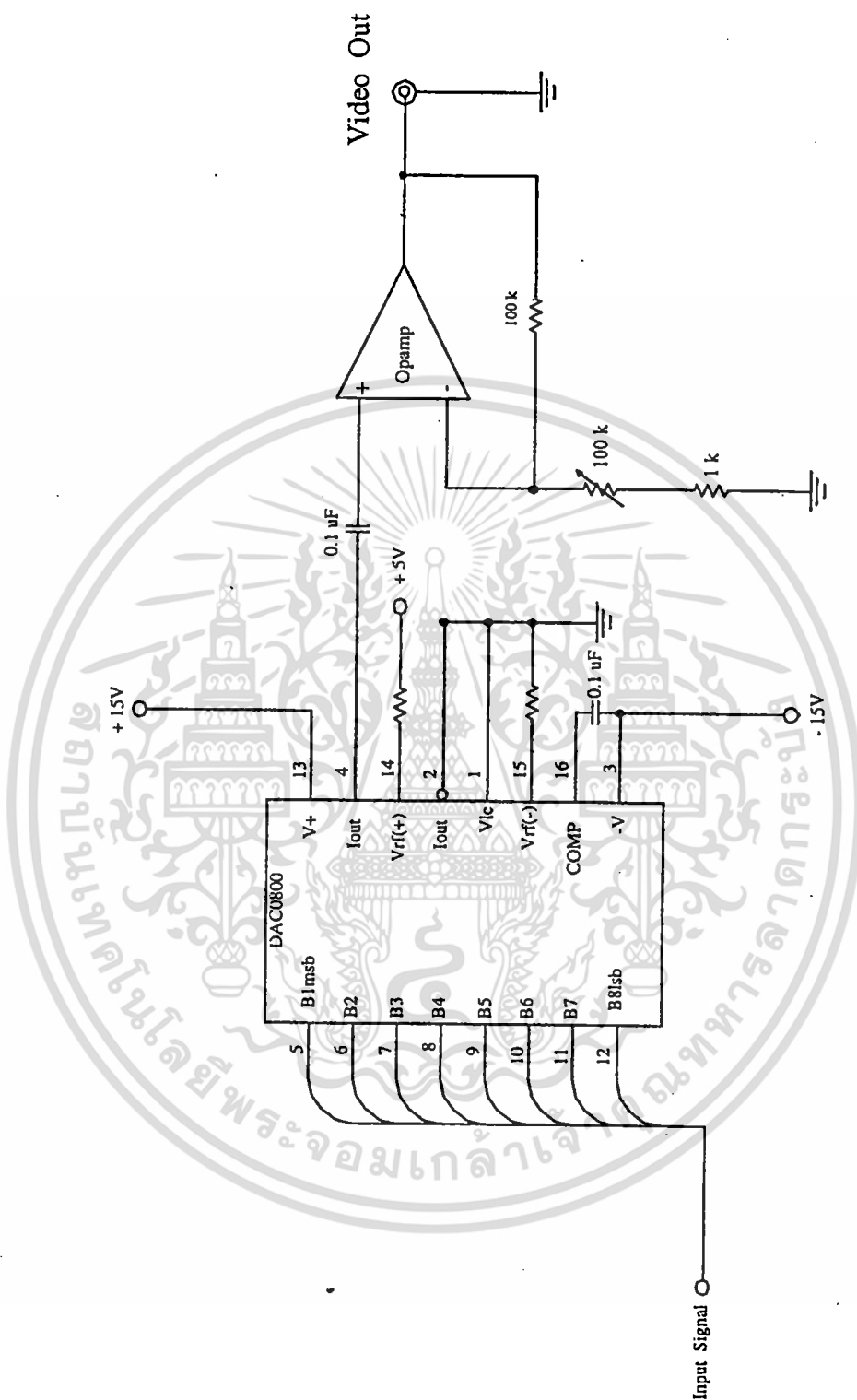
สัญญาณไฟฟ้าเสร็จเรียบร้อยแล้ว ภาค Amplifier จะทำการขยายข้อมูลดิจิทัลให้แรงขึ้นเนื่องจากข้อมูล ถูกลดทอนระหว่างการส่งผ่านสายไฟเบอร์ออฟติกในระยะทางไกลๆ และสัญญาณจะถูกแบ่งออกเป็น สองส่วนคือส่วนที่หนึ่งจะถูกส่งไปยังภาคหาบิตเริ่มต้น (Detect Start Bit) เพื่อทำการเช็คหาบิตเริ่มต้น และในเวลาเดียวกัน ภาคสัญญาณนาฬิกา (Clock) จะทำการสร้างสัญญาณนาฬิกาออกมาและส่งไปยัง ภาคควบคุม (Control) ภาคควบคุมจะนำบิตที่ทำการเช็คได้ว่าเป็นบิตเริ่มต้นมารวมกับสัญญาณนาฬิกา เพื่อทำการควบคุมการทำงานของภาคการแปลงข้อมูลจากอนุกรมเป็นข้อมูลขนาน (SIPO) ภาคการ แปลงข้อมูลจากอนุกรมเป็นข้อมูลขนาน (SIPO) จะทำการแปลงข้อมูลทางดิจิทัลในรูปของแบบ อนุกรมให้มาเป็นข้อมูลดิจิทัลแบบขนานและจะทำการส่งไปยังภาคเปลี่ยนข้อมูลดิจิทัลเป็นข้อมูล อนุลอก (D/A) ภาคเปลี่ยนข้อมูลดิจิทัลเป็นข้อมูลอนุลอก (D/A) จะทำการเปลี่ยนข้อมูลดิจิทัลให้ กลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าอนุลอกอย่างเดิมและสัญญาณอนุลอกจะถูกส่งไปยังภาครวมสัญญาณ (Summing) และในเวลาเดียวกันภาคสร้างสัญญาณซิงค์ (Sync generator) จะทำการสร้างสัญญาณซิงค์ ออกมาเพื่อเสริมและทดแทนซิงค์ที่แยกออกตอนจะทำการส่งในภาคส่งและเมื่อทำการรวมสัญญาณซิงค์ กับสัญญาณภาพแล้วทำการนำออกสู่ภาคแสดงผล (Display) เพื่อทำการแสดงผลต่อไป



รูปที่ 3.9 เครื่องต้นแบบของภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

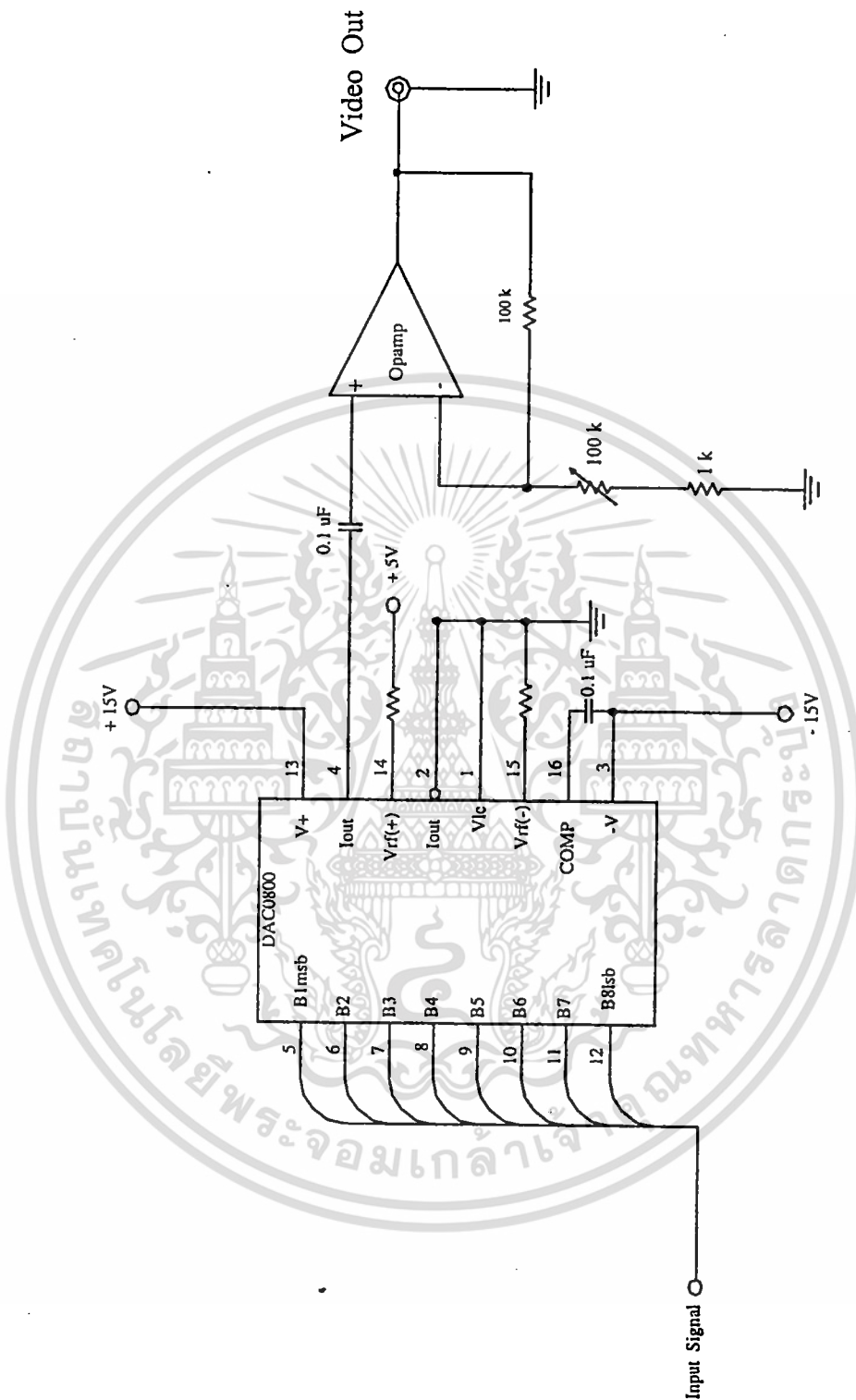
3.7 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา (Clock) ภาครับ



รูปที่ 3.10 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา (Clock) ของภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก (D/A)

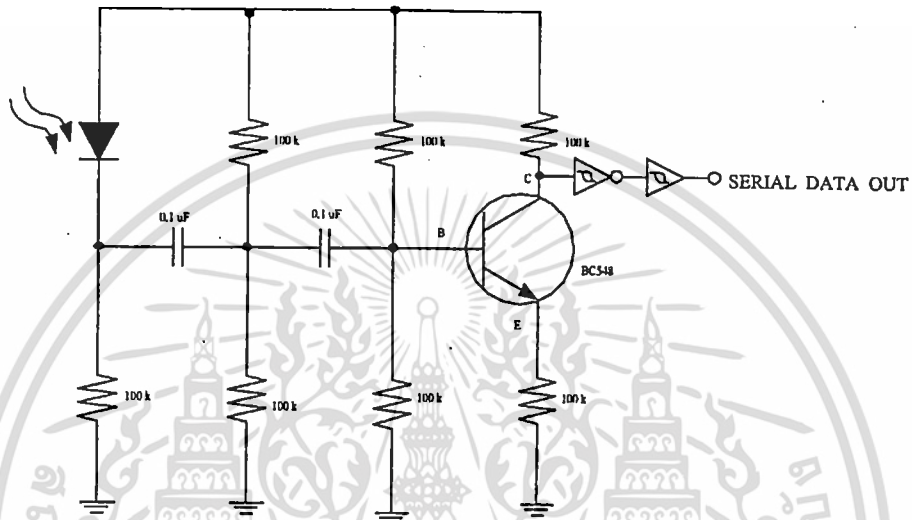


รูปที่ 3.11 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก (D/A)

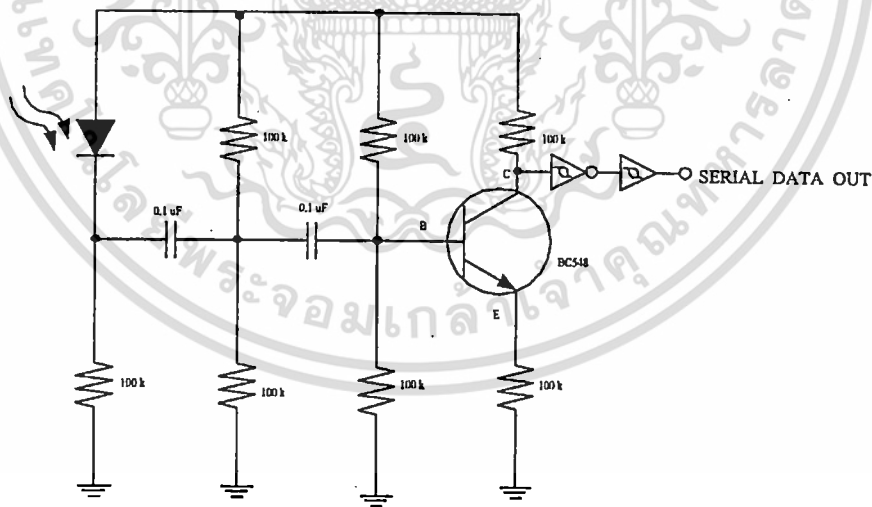
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D/A ใช้แปลงสัญญาณจากดิจิทัลไปเป็นสัญญาณอนาลอก เพื่อสะดวกในการรวมสัญญาณกับสัญญาณซิงค์ โครงการนี้จะใช้วงจร R-2R summing (Binary Weighted DAC) โดยมี 74LS245 เป็นบัฟเฟอร์นั้น อยู่ระหว่างส่วนดิจิทัลกับส่วนอนาลอกที่ทำงานด้วยความเร็วสูง และยังสามารถขับกระแสเอาต์พุตได้สูงอีกด้วย แสดงดังรูปที่ 3.9

3.9 วงจรแปลงสัญญาณอนุกรมเป็นสัญญาณขนาน (SIPO)



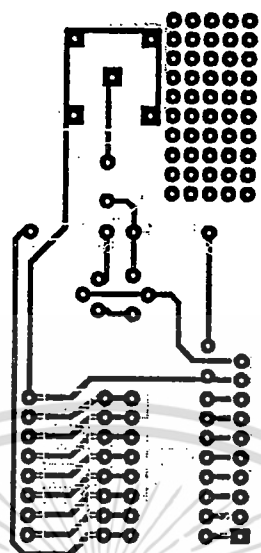
รูปที่ 3.12 วงจรแปลงสัญญาณอนุกรมไปเป็นสัญญาณขนาน



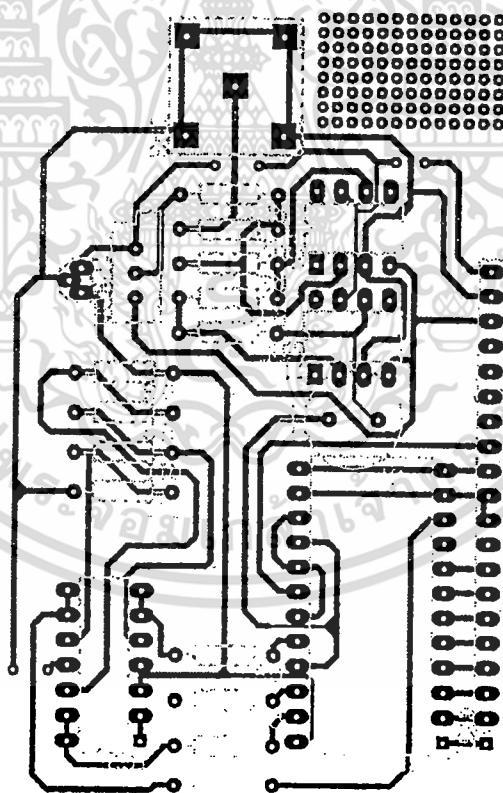
รูปที่ 3.13 วงจรแปลงสัญญาณแอสแตงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 การลงอุปกรณ์บนแผ่นปริ๊นของวงจรต่างๆ

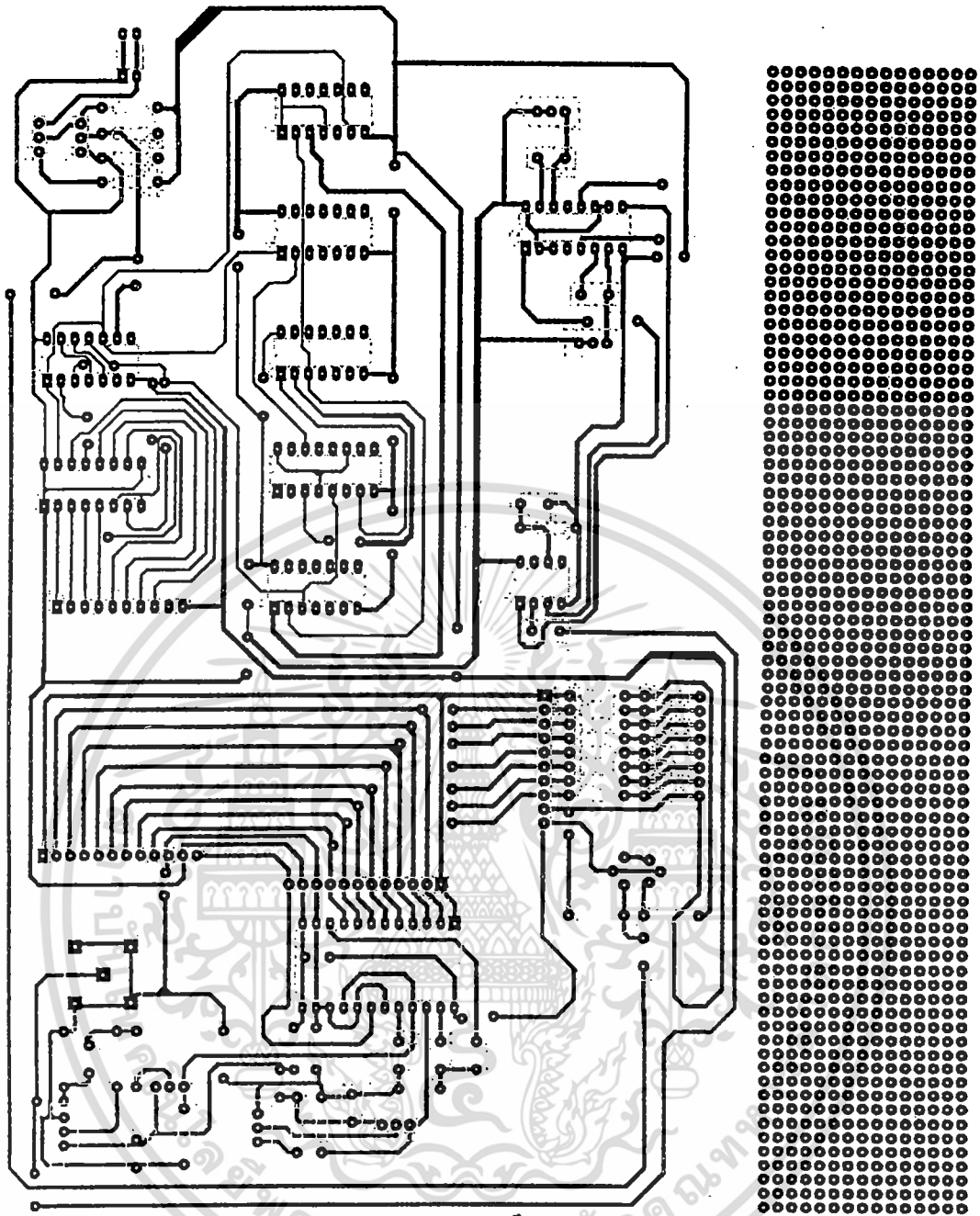


รูปที่ 3.14 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก



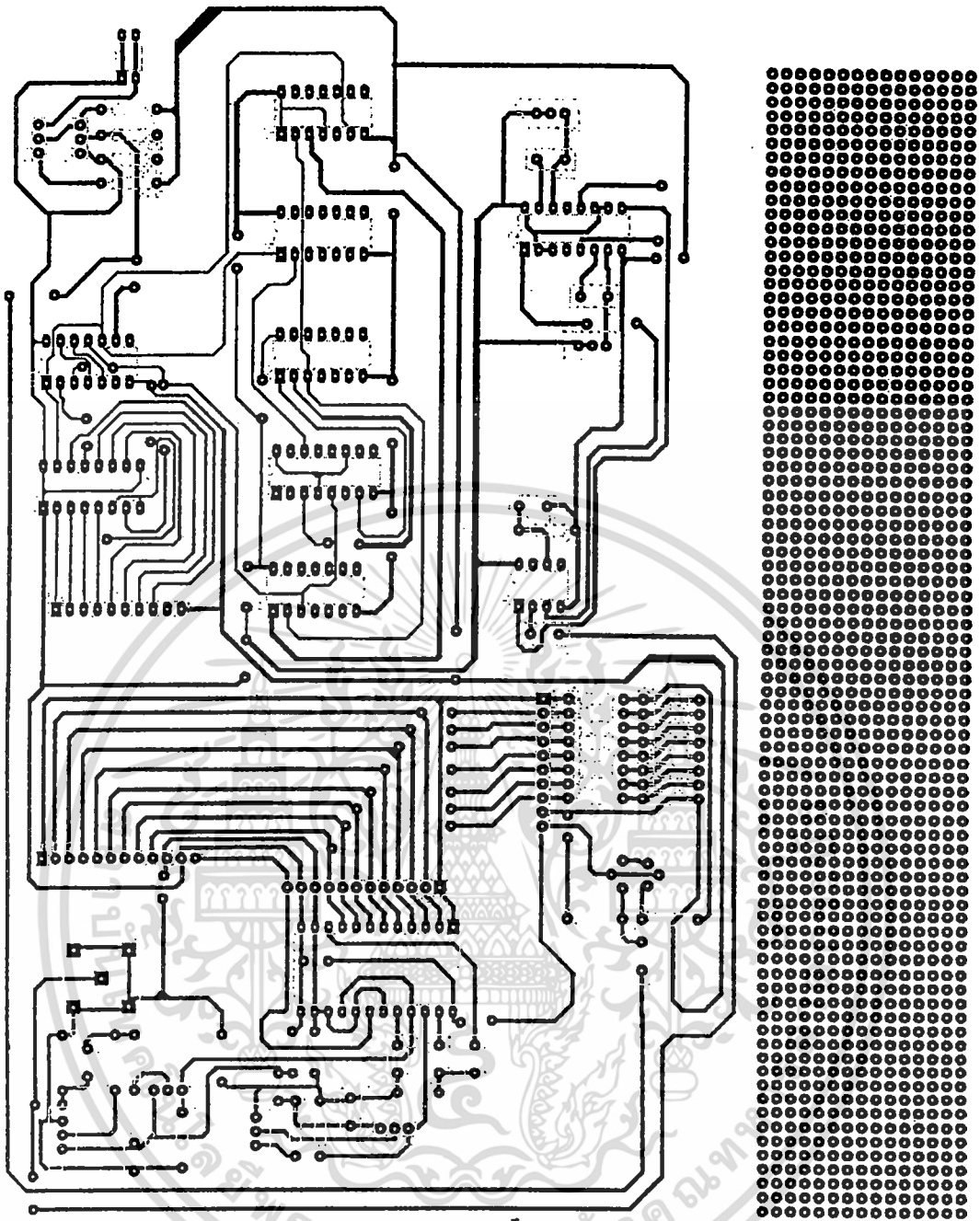
รูปที่ 3.15 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 การลงอุปกรณ์บนแผ่นปริ้นของภาคส่ง

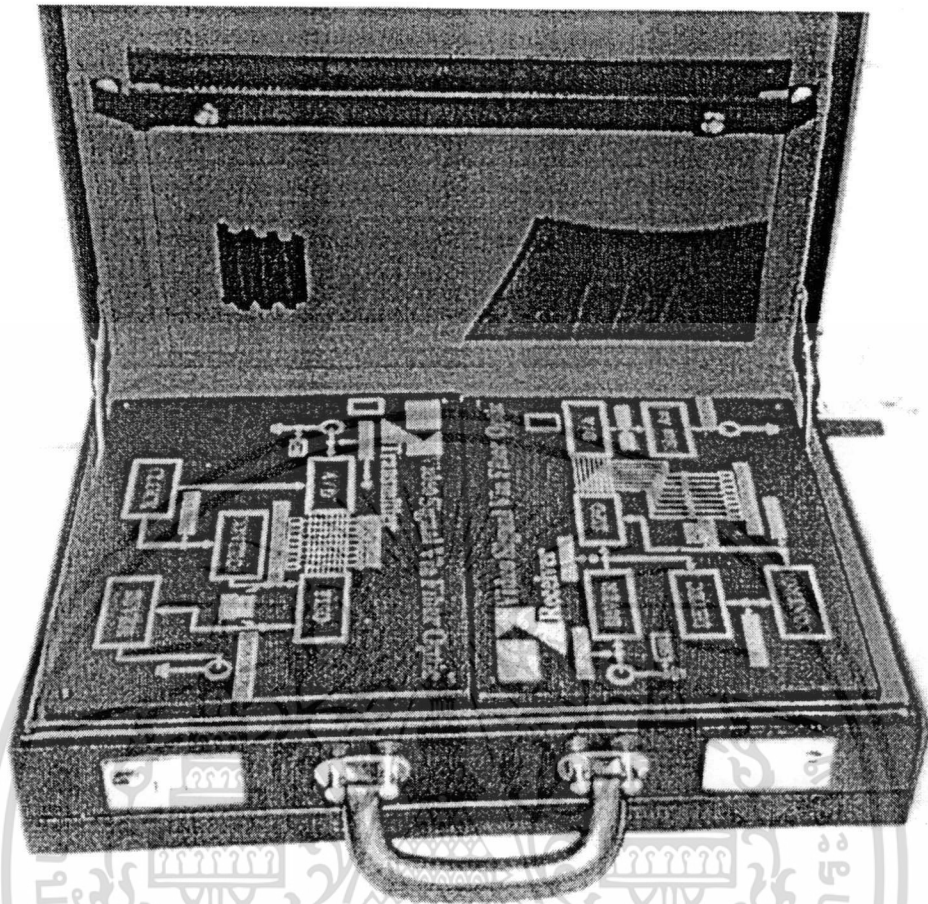
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 การลงอุปกรณ์บนแผ่นปริ้นของภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11 เครื่องต้นแบบโดยสมบูรณ์ทั้งภาครับและภาคส่ง



รูปที่ 3.18 เครื่องต้นแบบ โดยสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองภาคส่ง

เริ่มต้นด้วยการทดลองวงจรที่ละวงจรที่เราได้ทำการออกแบบวงจรนั้นๆ ไว้ แล้วนำวงจรนั้นมาทดลองในโฟโตบอร์ด เมื่อทดลองจนแน่ใจแล้วว่าวงจรแต่ละส่วนทำงานได้อย่างแน่นอนตามที่เราต้องการ ให้เริ่มต้นนำวงจรต่างๆ ลงอุปกรณ์ในแผ่นปริ้น แล้วให้นำวงจรต่างๆ ที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้วมาเชื่อมต่อกันเราจะแบ่งวงจรออกเป็นภาครับและภาคส่ง เมื่อแบ่งเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงเริ่มปฏิบัติการทำการส่งสัญญาณ โดยใช้สัญญาณวิดีโอ (Video signal) เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณแล้วสังเกตดูว่าทางด้านรับที่จอมอนิเตอร์จะมีภาพเหมือนด้านส่งหรือไม่

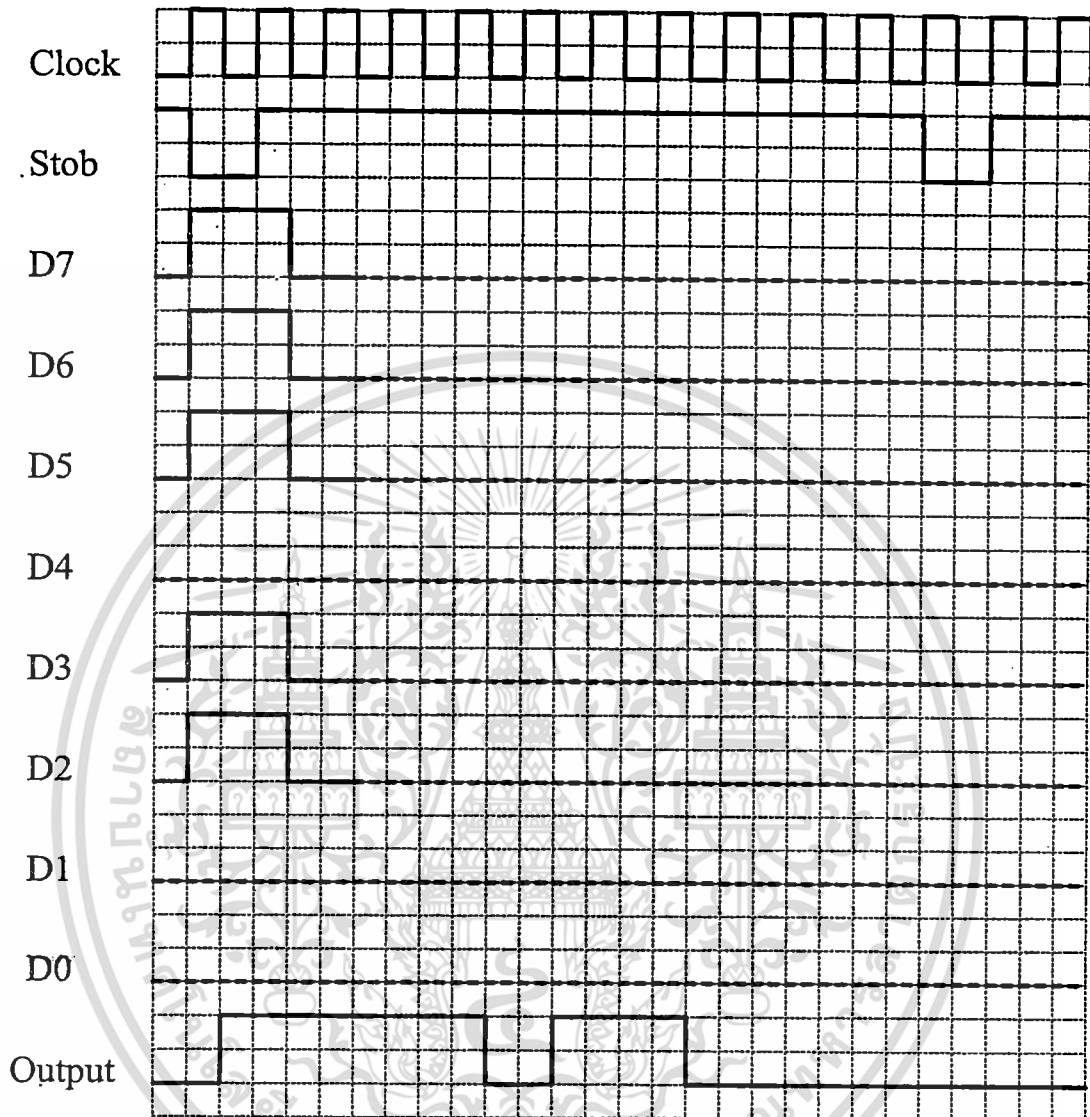
4.1.1 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นข้อมูลดิจิทัล (A/D)

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

Input (Volt)	Output							
	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
0.0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	1	1	0	0	0
1.0	0	0	1	1	0	0	0	1
2.0	0	1	1	0	0	0	1	1
3.0	1	0	0	1	1	0	1	1
4.0	1	1	0	1	1	0	1	1
5.0	1	1	1	1	1	1	1	1

$$V_{ref} = 5 \text{ V}$$

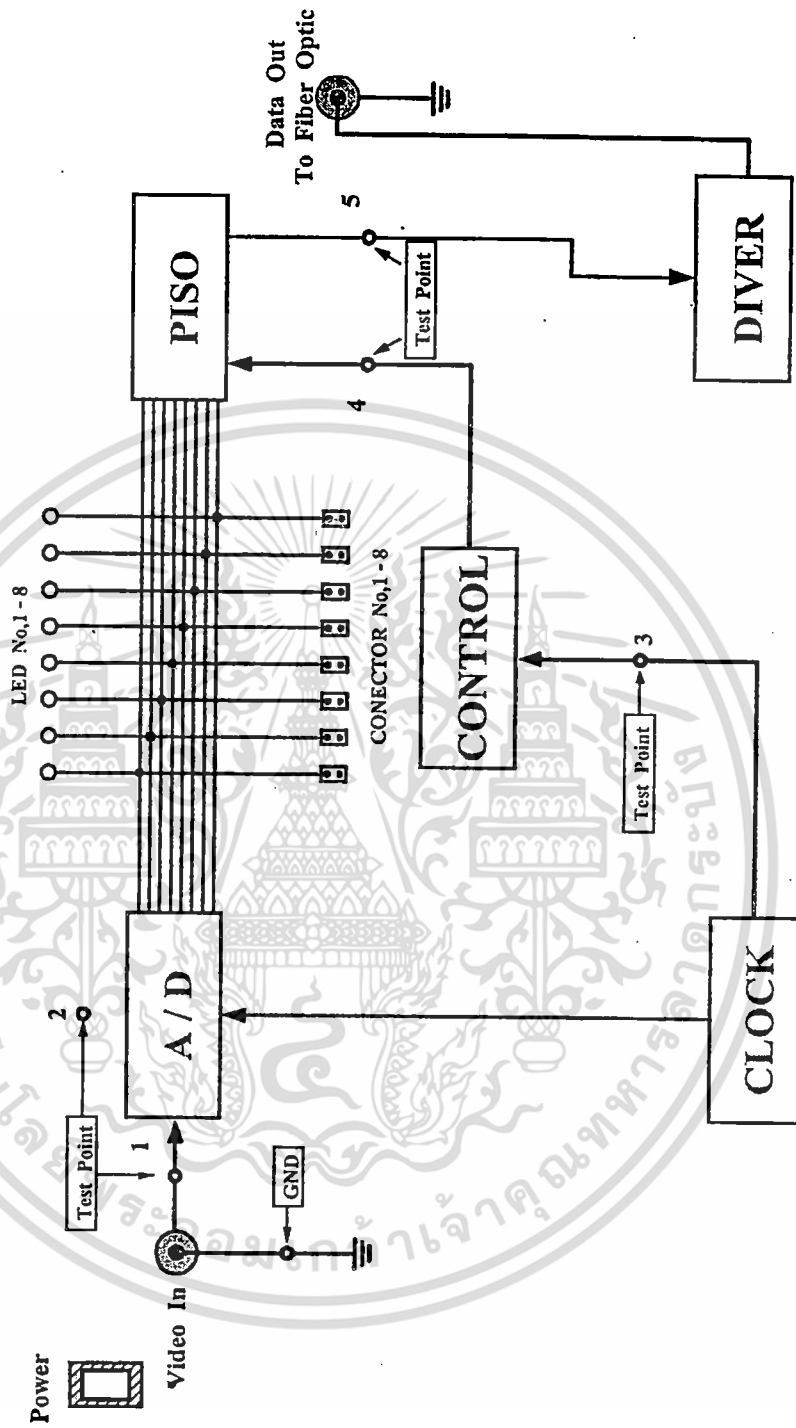
4.1.2 จากผลการทดลองสามารถนำมาเขียนเป็นกราฟเวลา (Timing diagram) ได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 กราฟเวลา (Timing Diagram) ของวงจรภาคส่ง

4.1.3 จุดทดสอบต่างๆ ของภาคส่ง

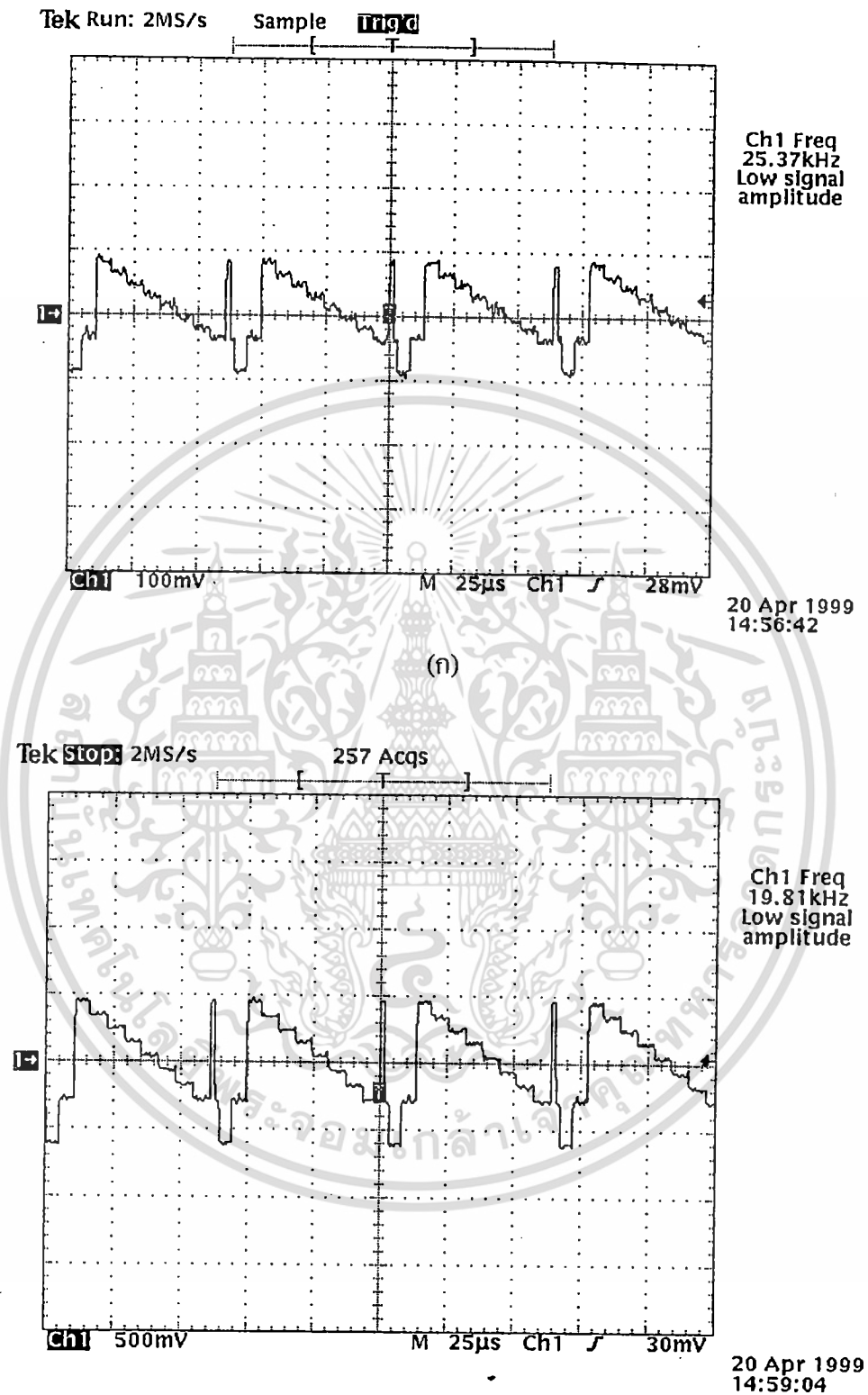
Digital Video Signal Transmission Via Fiber Optic Transmission



รูปที่ 4.2 ส่วนต่างๆ ของภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

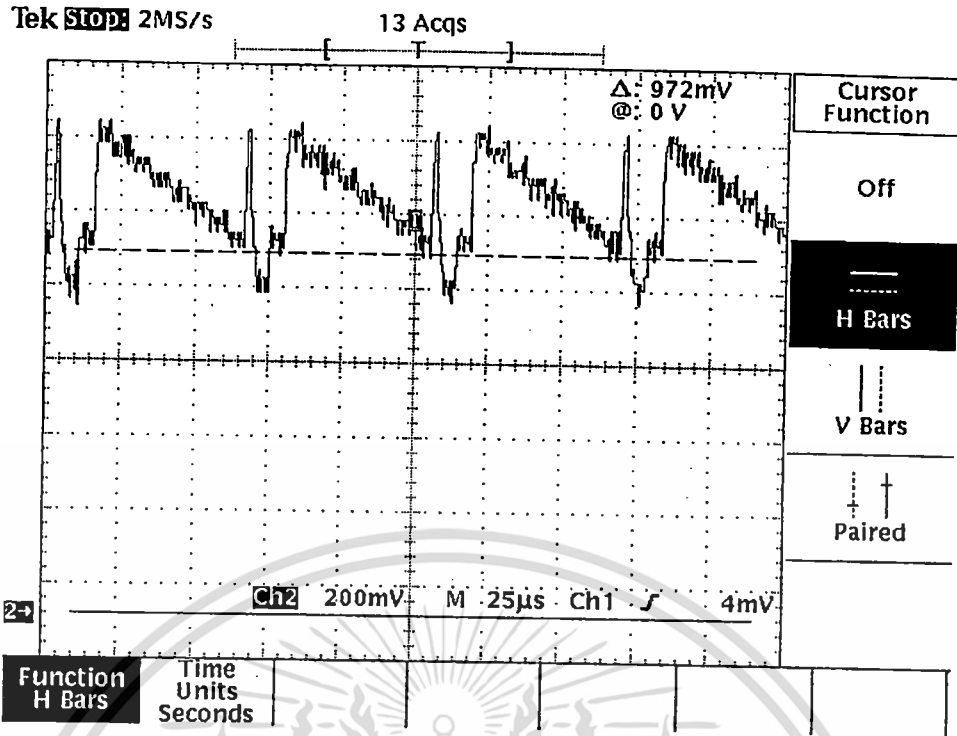
4.1.4 ผลการทดลองวัดด้วยออสซิลโลสโคปแบบดิจิทัล



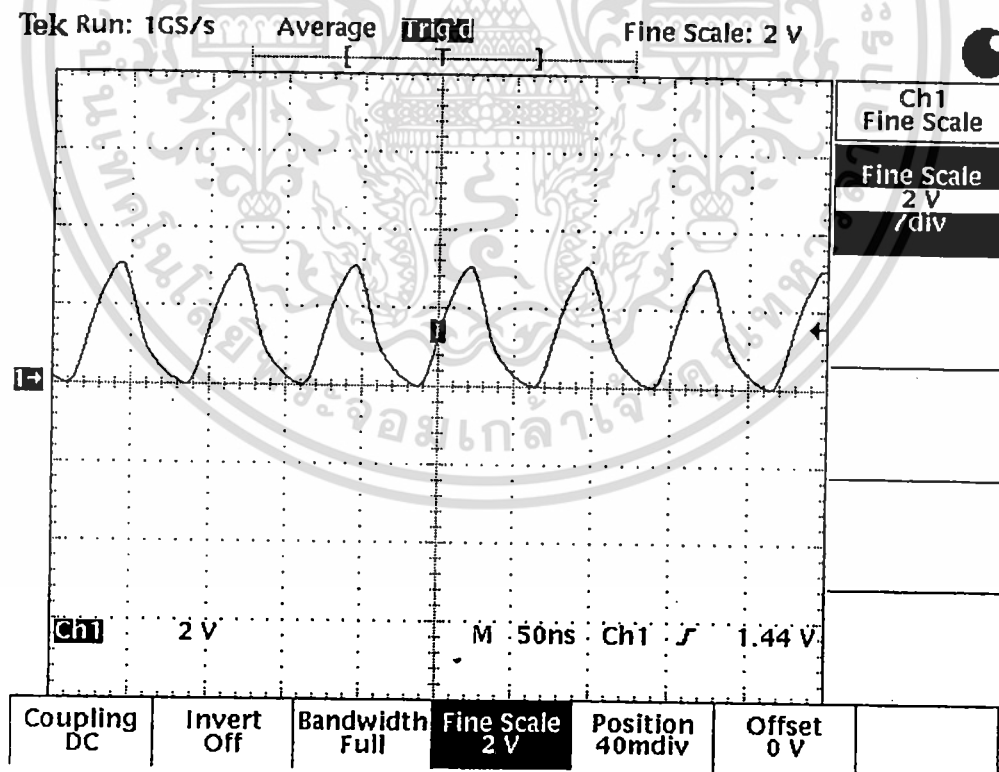
รูปที่ 4.3 (ก) สัญญาณภาพแบบแท่งสี่เหลี่ยมวัดจากอินพุตจุดที่ 1

(ข) สัญญาณภาพแบบแท่งสี่เหลี่ยมวัดจากอินพุตจุดที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

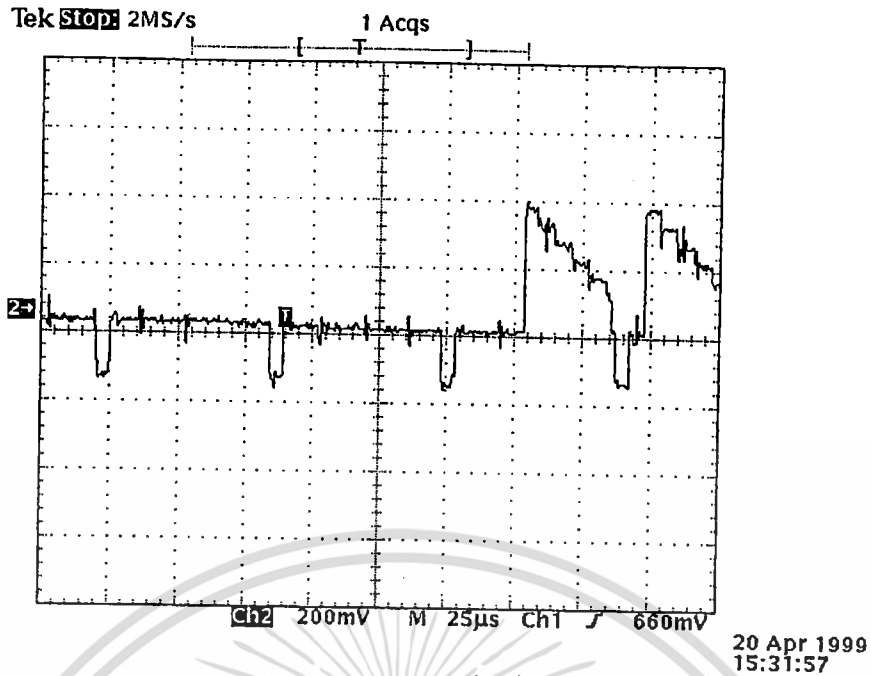


รูปที่ 4.4 ขระดับสัญญาณให้เหมาะสมกับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลจุดที่ 2



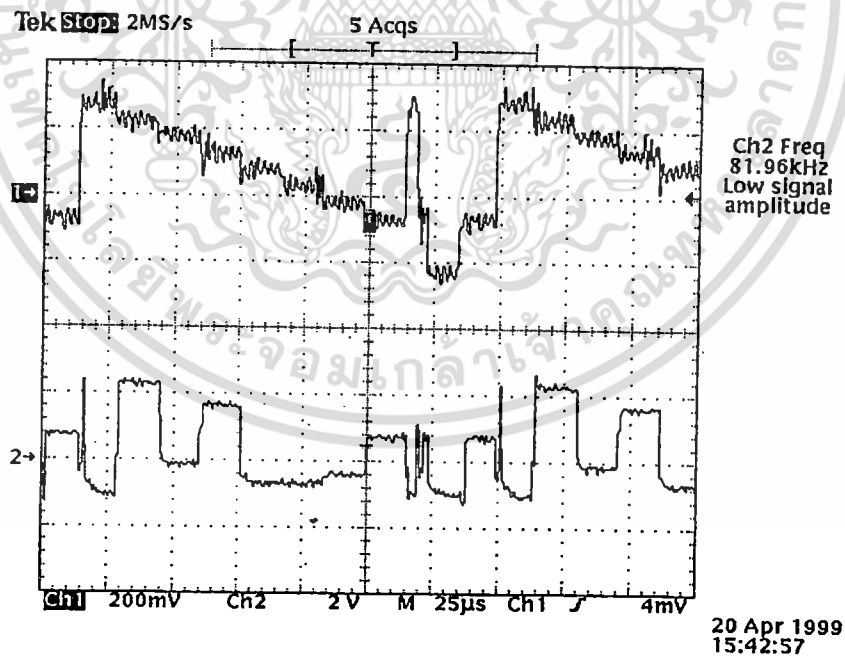
รูปที่ 4.5 สัญญาณที่ได้จากการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นข้อมูลดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



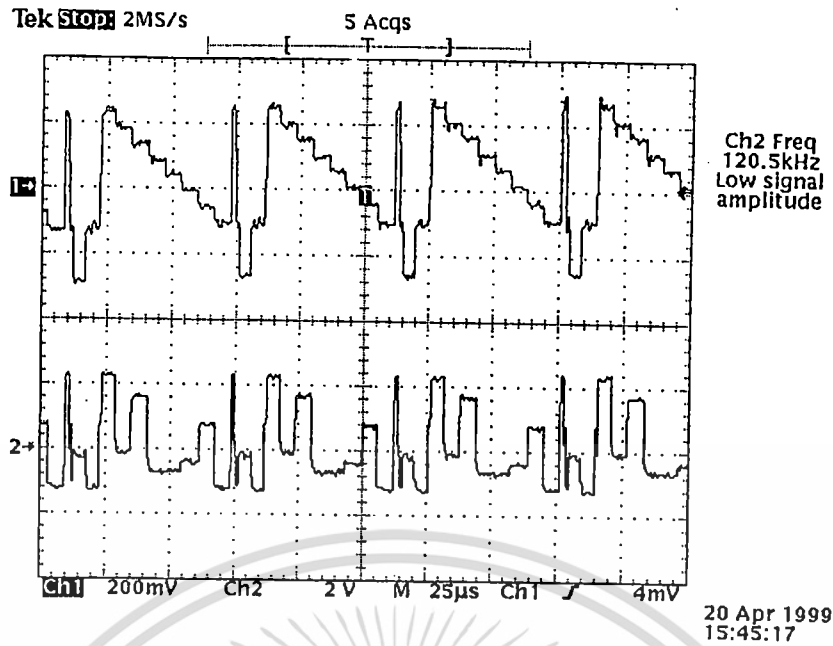
รูปที่ 4.6 ระดับสัญญาณแนวตั้งและแนวนอน

นำข้อมูลที่ออกจากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลมาป้อนเข้าวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอกโดยตรง ทำการวัดสัญญาณอินพุตและเอาพุตมาเปรียบเทียบกัน จะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.6 (ก) และรูปที่ 4.6 (ข)



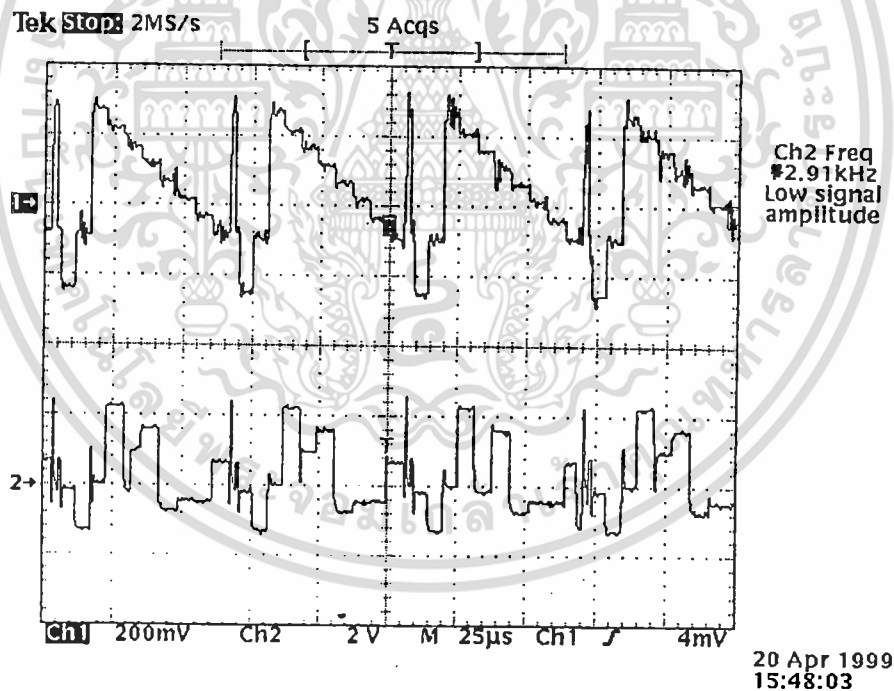
(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



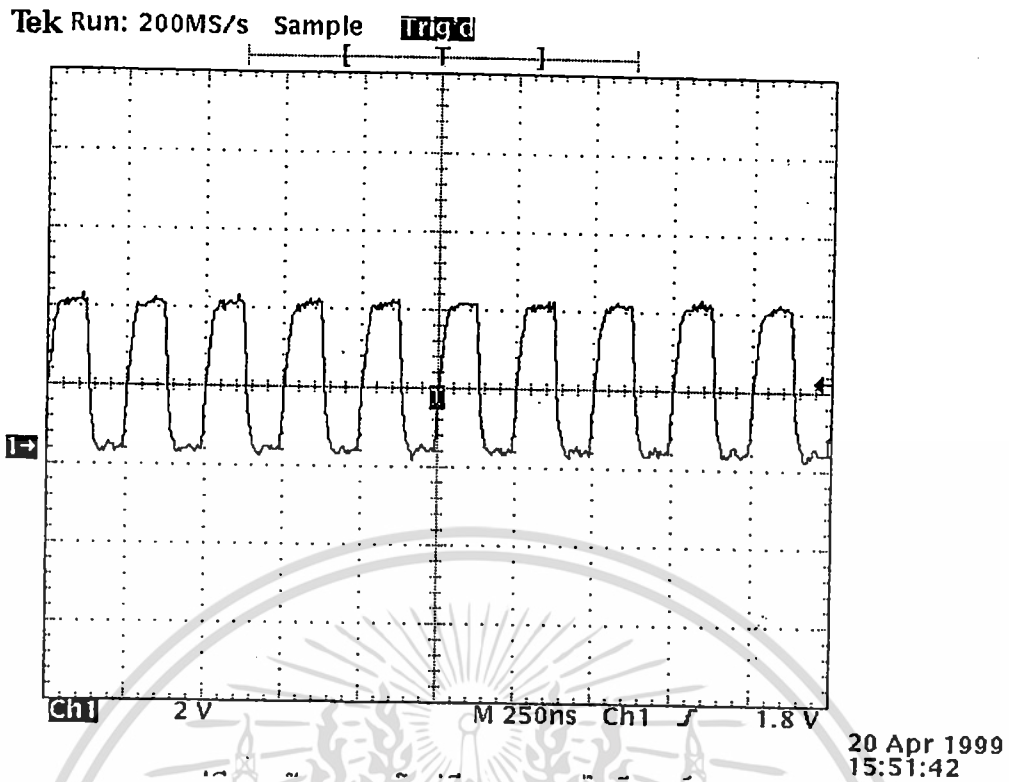
(จ)

รูปที่ 4.7 (ก) ช่องสัญญาณที่ 1 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (จ) ช่องสัญญาณที่ 2 สัญญาณเอาพุตที่ที่แชนเปลิ่งที่ความถี่ 4 เมกะเฮิรท์

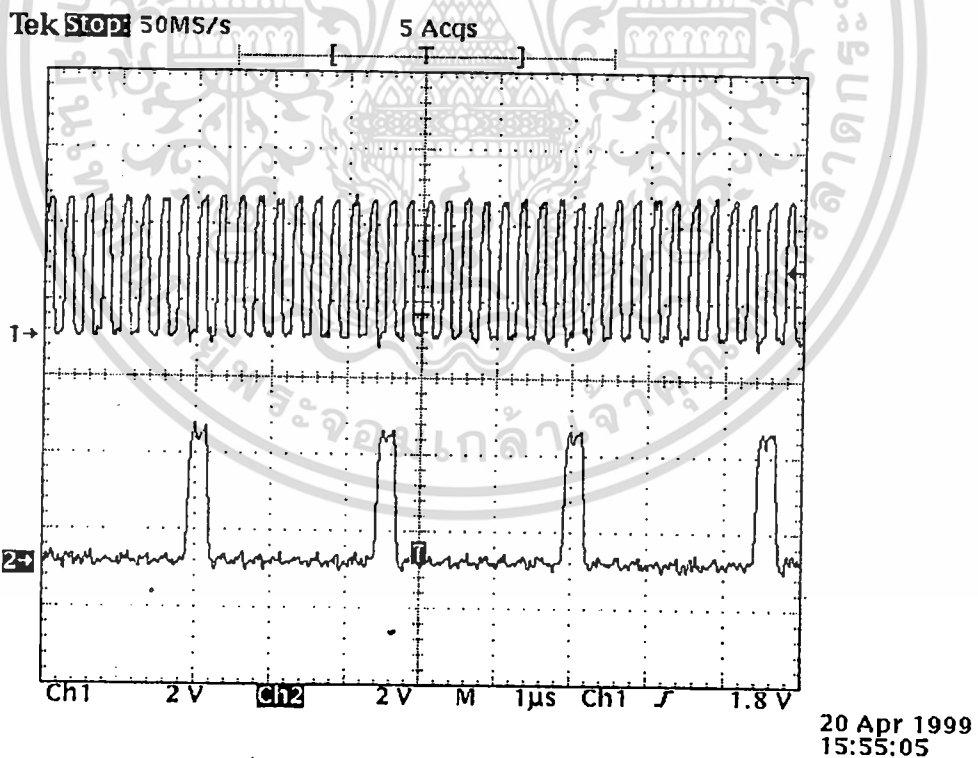


รูปที่ 4.8 ช่องที่ 1 สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ช่องที่ 2 แสดงสัญญาณภาพเอาพุตที่ที่แชนเปลิ่งความถี่ 13 เมกะเฮิรท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

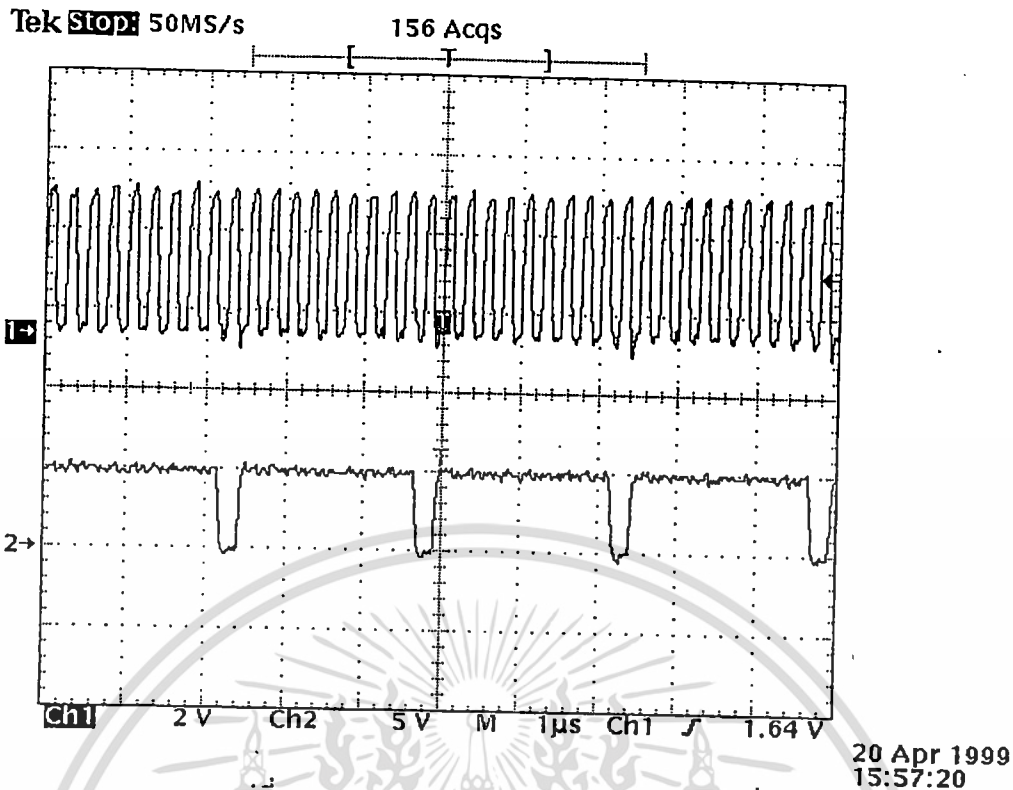


รูปที่ 4.9 สัญญาณสโตปที่ขา 15 ของไอซีเบอร์ 74F166

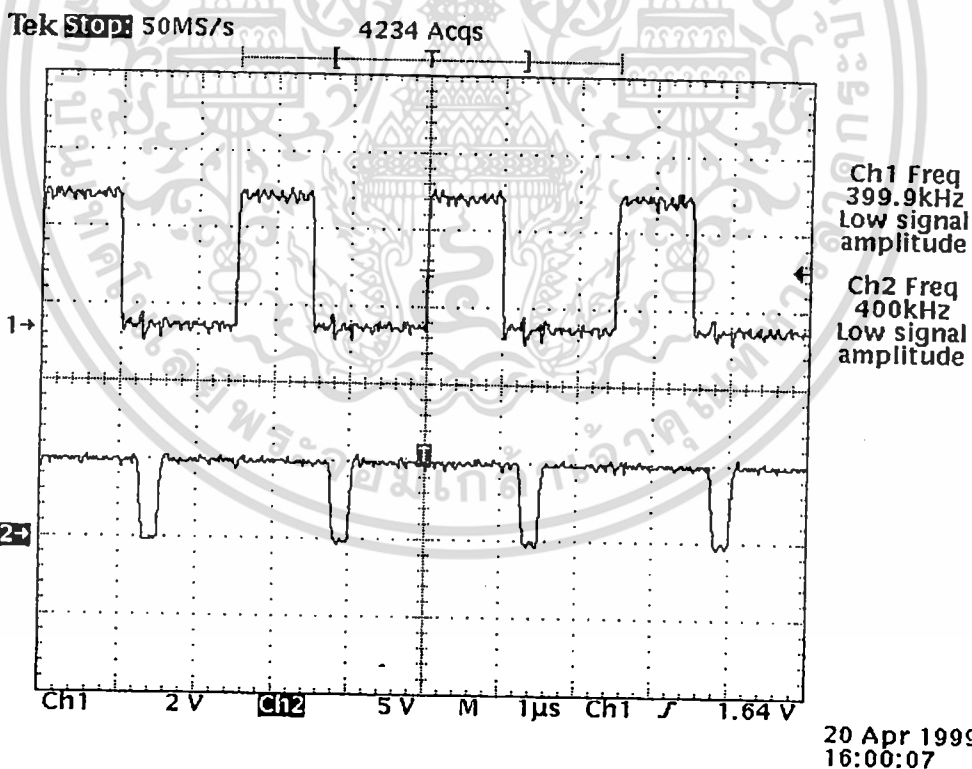


รูปที่ 4.10 ช่องที่ 1 สัญญาณนาฬิกา ช่องที่ 2 สัญญาณความถี่ที่เป็นตัวบอกว่าจะส่งข้อมูลเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



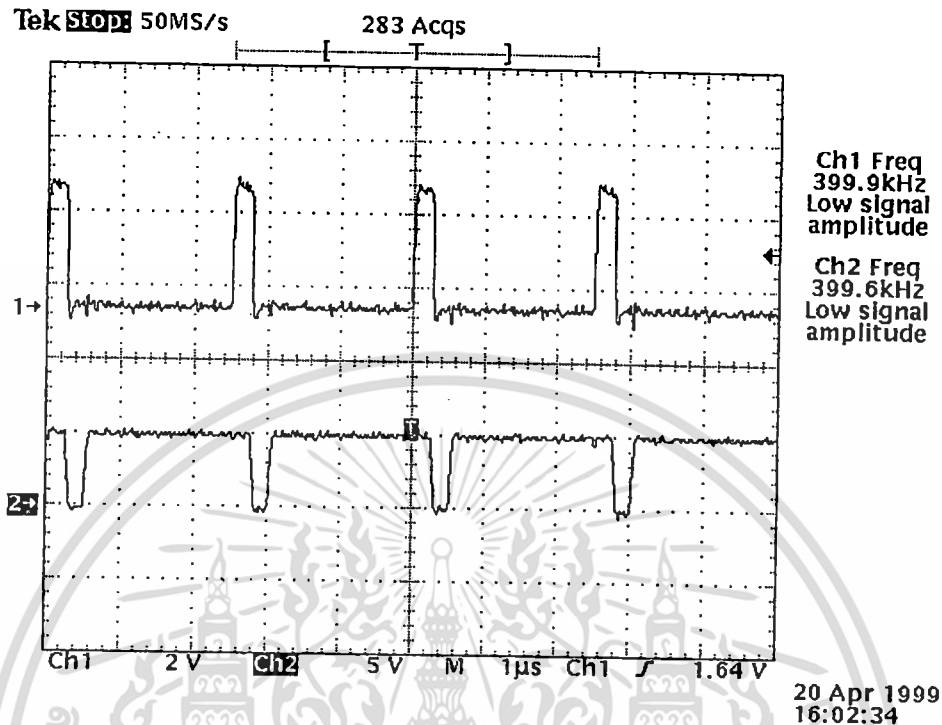
รูปที่ 4.11 สัญญาณนาฬิกาของระบบ จุดที่ 3



รูปที่ 4.12 ช่องที่ 1 สัญญาณที่ใช้ในการแชมป์ลิง
ช่องที่ 2 สัญญาณที่ใช้ในการสโตปข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นว่าเมื่อทำการสุ่มตัวอย่างข้อมูลแล้ว เราจะนำสัญญาณที่ได้มาสร้างสัญญาณควบคุมการสโตปของซีพริจิสเตอร์ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.13 สัญญาณสิ้นสุดการส่งข้อมูลเมื่อส่งข้อมูลเสร็จแล้วจะสโตปข้อมูลเข้ามา ดังแสดงในช่องสัญญาณที่ 2

เมื่อทำการส่งข้อมูลเสร็จแล้วจะมีสัญญาณที่บอกว่าสิ้นสุดการส่งข้อมูลจากนั้นทำการสโตปข้อมูลเข้ามาใหม่จากรูปที่ 4.13

4.2 ผลการทดลองภาครับ

เมื่อทำการส่งสัญญาณภาพจากภาคส่งไปแล้ว ให้อุปกรณ์ที่ภาครับที่แสดงในจอมอนิเตอร์จะมีภาพสัญญาณเหมือนกับสัญญาณอินพุตที่เราทำการส่งสัญญาณมา เราจะเห็นภาพมีความคมชัดค่อนข้างคมชัดพอๆ กับสัญญาณทางด้านอินพุตที่เราทำการส่งมา และให้ทำการเปรียบเทียบความต่างของสัญญาณทั้งภาครับและภาคส่งว่ามีความสว่างหรือความมืดของสัญญาณทั้ง 2 ส่วนมากน้อยต่างกันเพียงใด

4.2.1 วงจรแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นอนาลอก

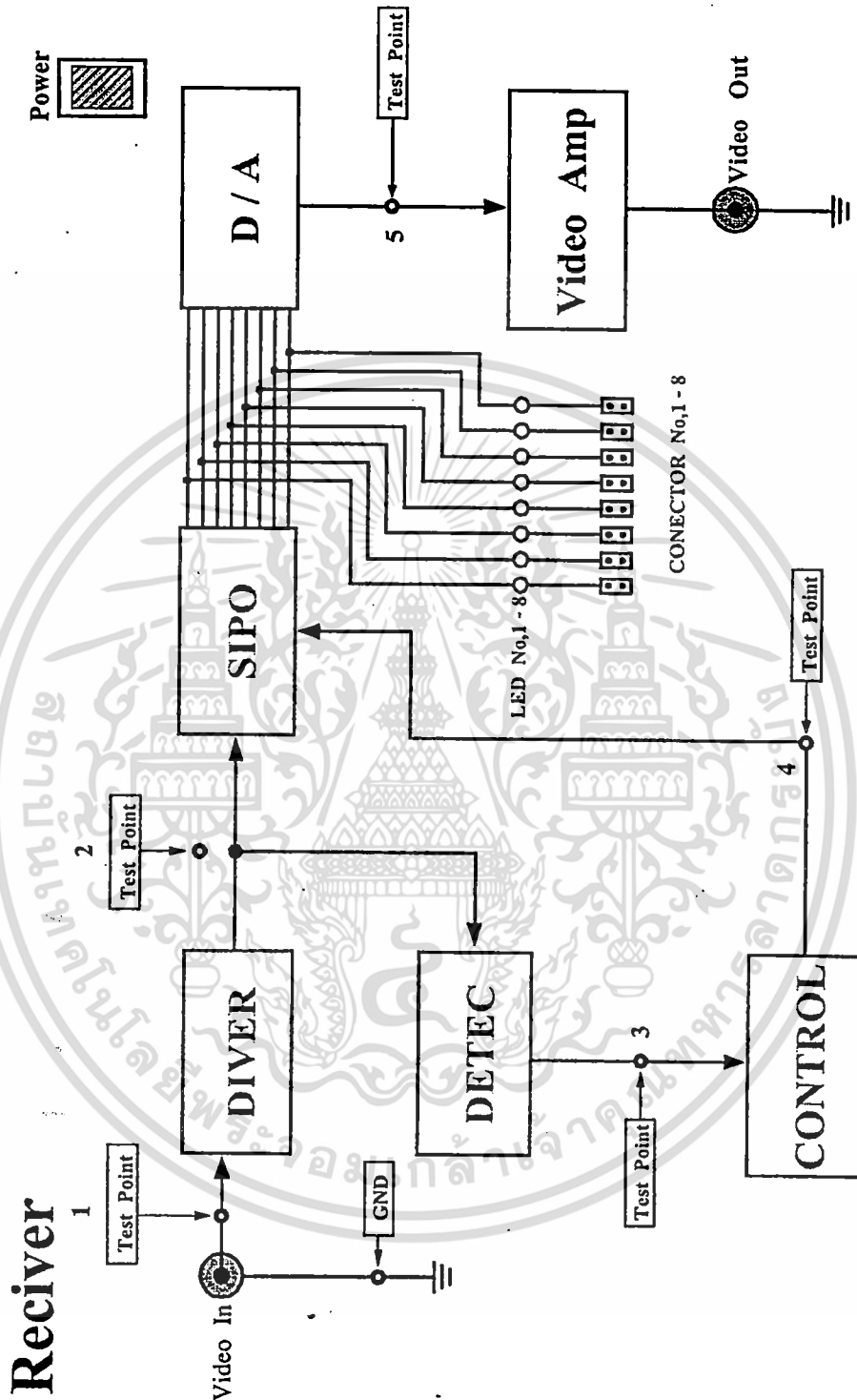
ตารางที่ 4.2 การแปลงข้อมูลดิจิทัลเป็นอนาลอก

Data Inputs								Output
B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	(Volt)
1	1	1	1	1	1	1	1	9.9
1	1	1	1	1	1	1	0	9.9
1	1	1	1	1	1	0	0	9.7
1	0	0	0	0	0	0	0	0.03
0	0	0	0	0	0	0	1	-9.8
0	0	0	0	0	0	0	0	-9.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

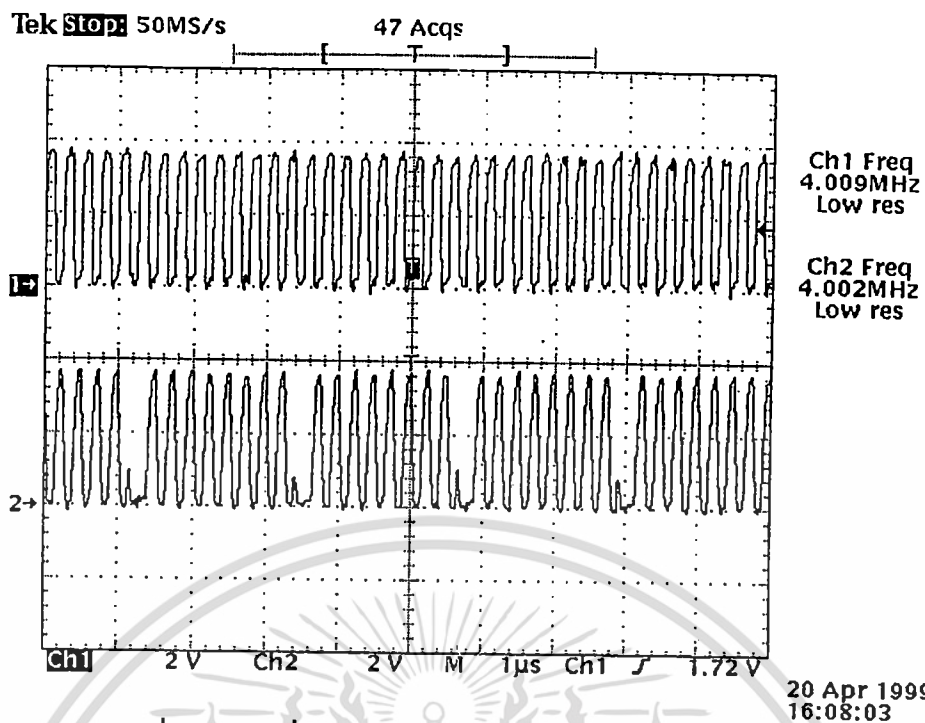
4.2.2 จุดทดสอบต่างๆ ของภาครับ

Digital Video Signal Transmission Via Fiber Optic



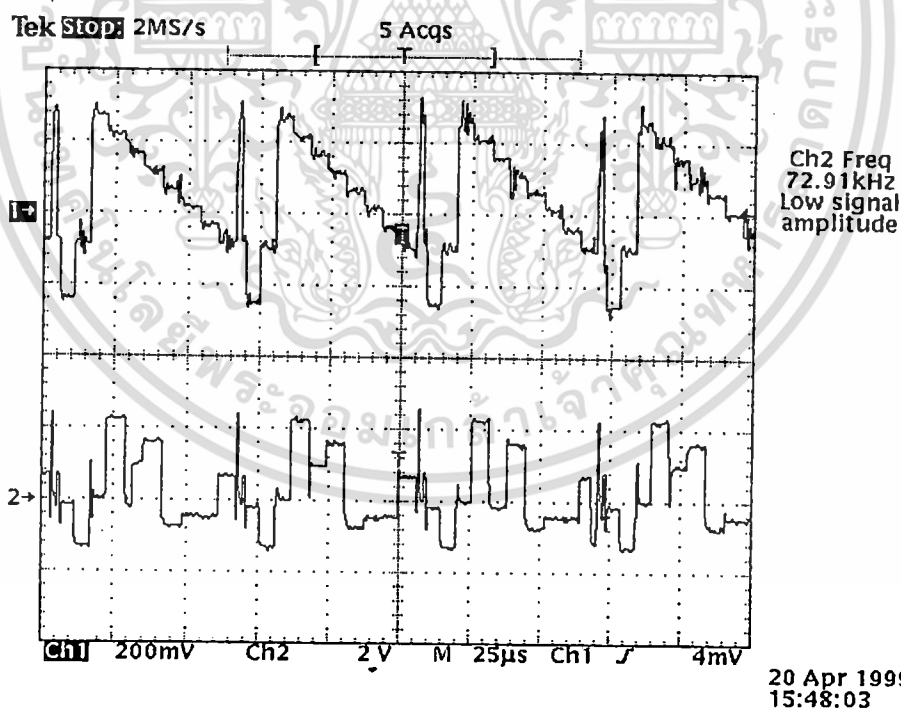
รูปที่ 4.14 ส่วนต่างๆ ของภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ช่องที่ 1 สัญญาณนาฬิกาของภาครับ

ช่องที่ 2 เอาพุตต์ของวงจรหยุดสัญญาณนาฬิกาเมื่อทำการส่งข้อมูล



รูปที่ 4.16 สัญญาณเอาพุตต์ที่ออกจากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล
เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุตทางภาคส่ง (จุดที่ 5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วิธีแก้ไขเมื่อเจอปัญหา

เมื่อทำการส่งสัญญาณภาพจากภาคส่งไปแล้ว ให้อ่านค่าที่ภาครับที่จอมอนิเตอร์จะมีภาพเหมือนที่อินพุตส่งมาหรือไม่ ถ้าเหมือนแสดงว่าการส่งของการทดลองนี้ประสบความสำเร็จ แต่ถ้าไม่เหมือนหรือไม่ มีภาพหรือสัญญาณใดๆ ที่จะชี้ให้เห็นว่ามีสัญญาณเหมือนหรือคล้ายคลึงทางภาคส่งเลยแสดงว่าการทดลองนี้ล้มเหลว ซึ่งอาจเกิดจากวงจรไม่ทำงานหรือการบัดกรีตรงจุดต่อเชื่อมหลวม หรือสายที่ใช้เป็นจุดเชื่อมต่อขาด หรือเหตุผลอื่นๆ อีกหลายประการ ให้เราทำการเริ่มต้นตรวจสอบวงจรที่ส่วนตรงจุดเชื่อมต่อ โดยทำการวัดที่ละจุดจากภาคส่งไปยังภาครับที่ละวงจรจนทำการส่งได้ตามวัตถุประสงค์ของเราที่วางไว้ ถ้าหากภาพมีความคมชัดที่ไม่ดีพอให้ทำการปรับปรุงแก้ไขให้ภาพมีความคมชัดและดีกว่าทางด้านอินพุตจึงจะถือว่าการทดลองนี้ประสบความสำเร็จ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและแนวทางการพัฒนา

โครงการนี้ได้นำเสนอเครื่องต้นแบบของการส่งสัญญาณภาพแบบดิจิทัลผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ถึงแม้ว่าภาพที่ปรากฏบนหน้าจอมอนิเตอร์จะมีลักษณะที่ไม่ค่อยชัดเจนมากนัก แต่เครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตามความต้องการ และตรงกับแนวความคิดที่ได้วางไว้ สาเหตุที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุปกรณ์มีแบนด์วิธที่ไม่เพียงพอ รอยจุดเชื่อมต่อไม่ดีพอ จึงทำให้เกิดการสูญเสียหรือขาดหายของสัญญาณ รวมทั้งภาพที่ได้จากจอมอนิเตอร์เมื่อเทียบกับภาพทางอินพุตแล้วจะไม่คมชัดมากนัก

การปรับปรุงแก้ไขเพื่อพัฒนาระบบการส่งสัญญาณภาพแบบดิจิทัลผ่านเส้นใยแก้วนำแสงต่อไปคือ ควรเพิ่มวงจร Error detection และวงจรเพิ่ม Parity Bit เพื่อให้การส่งข้อมูลมีความถูกต้องมากพอที่จะเป็นแนวทางที่จะพัฒนาปรับปรุงให้มีการส่งสัญญาณได้หลายช่องสัญญาณ โดยวิธีการมัลติเพล็กซ์ต่อไป



บรรณานุกรม

- [1] รศ. ปิ่น ภูสุวรรณ และ น.ต.ดร.ไพศาล สงวนหมู่, "การสื่อสารข้อมูลและไมโครคอมพิวเตอร์เน็ตเวิร์ค", บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 231 หน้า, 2531
- [2] ทรงชัย วีระทรีมาศ, "วงจรรับ-ส่งข้อมูลแบบอนุกรม", วารสารอิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 111, 2534, หน้า 118-126.
- [3] Don Lancaster, "TTL Cookbook", Howard W. Sams & Co., Inc., 335 pages, 1977.
- [4] Forrest M. Mins III, "Engineer's Notebook", McGraw-Hill Book Company, 152 pages, 1986.

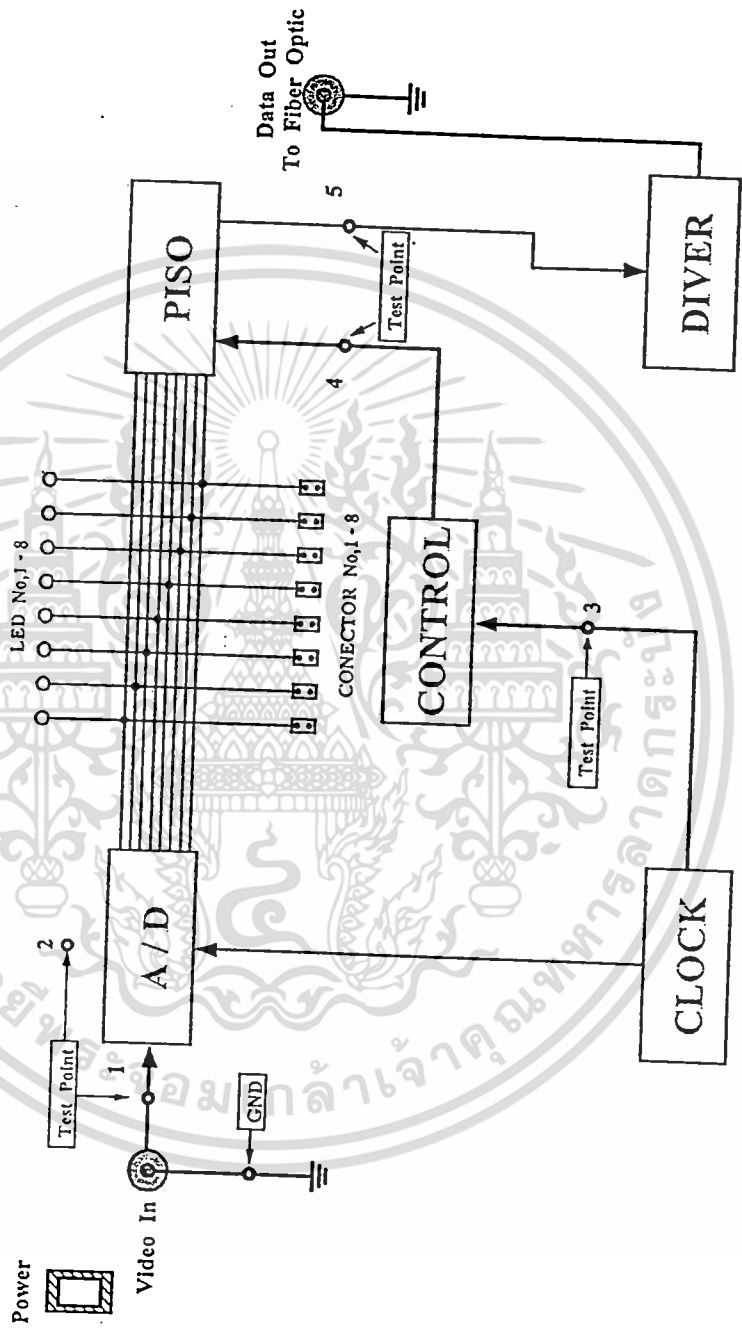


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

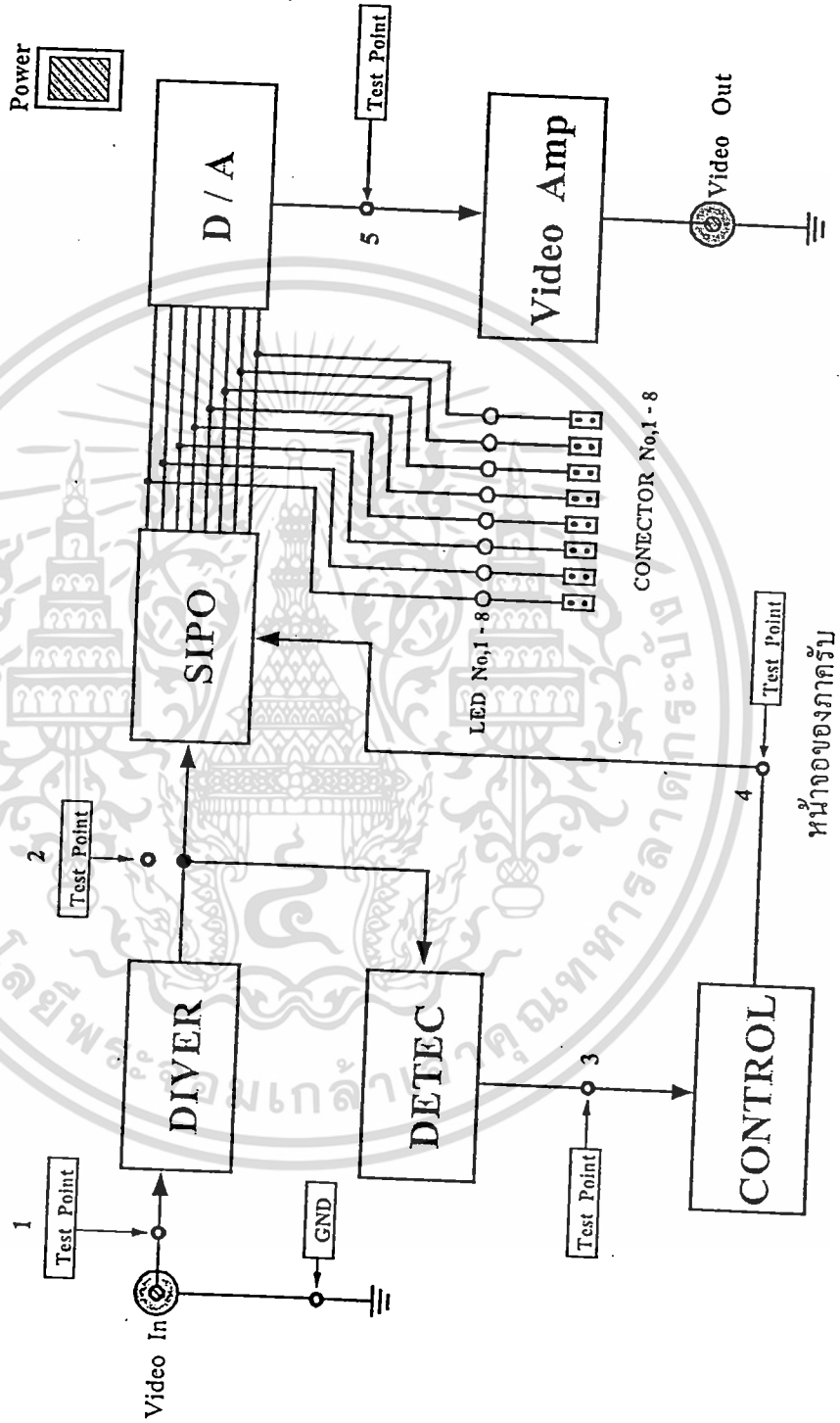
Digital Video Signal Transmission Via Fiber Optic Transmission



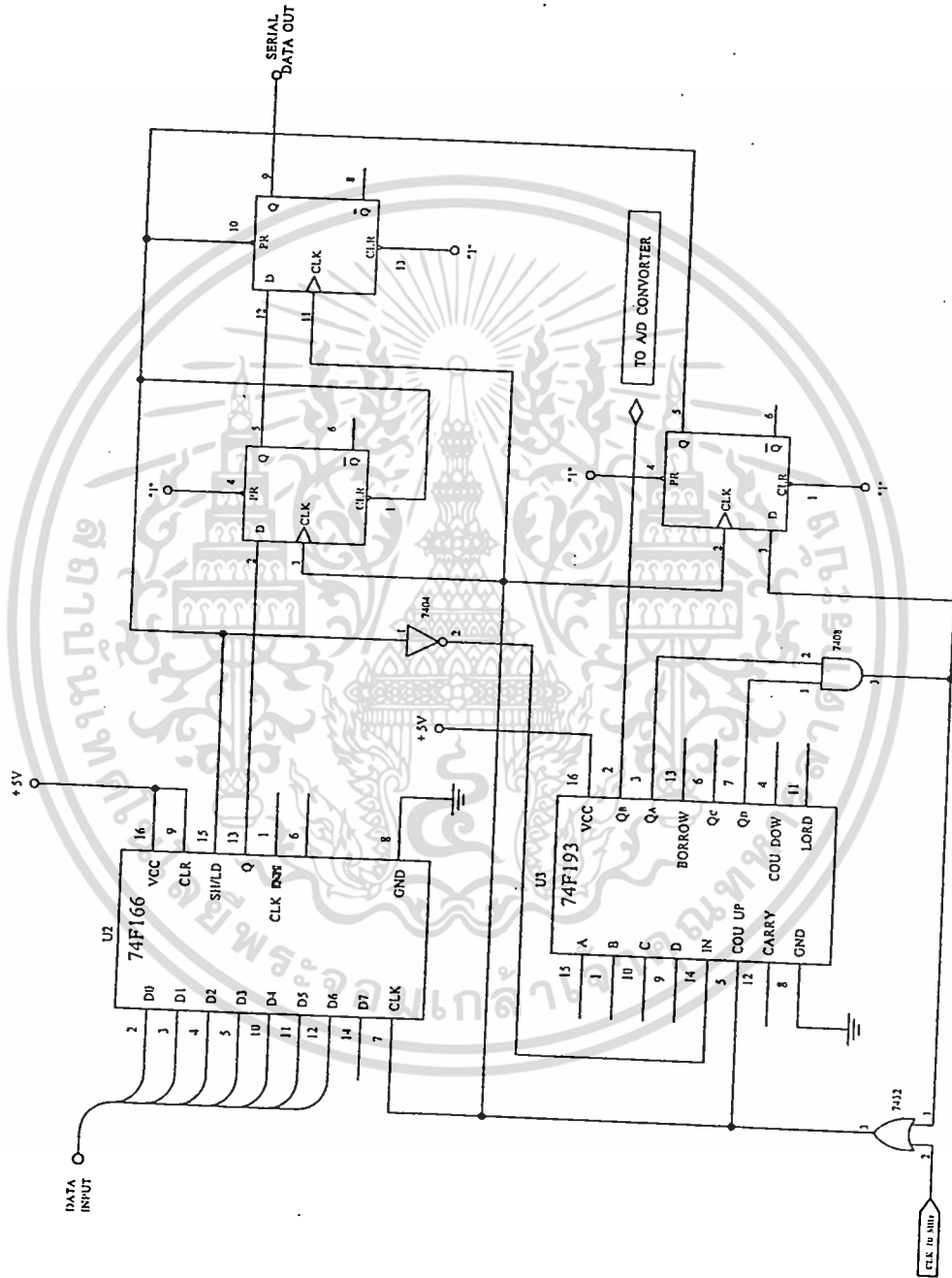
หน้าของภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Digital Video Signal Transmission Via Fiber Optic Receiver

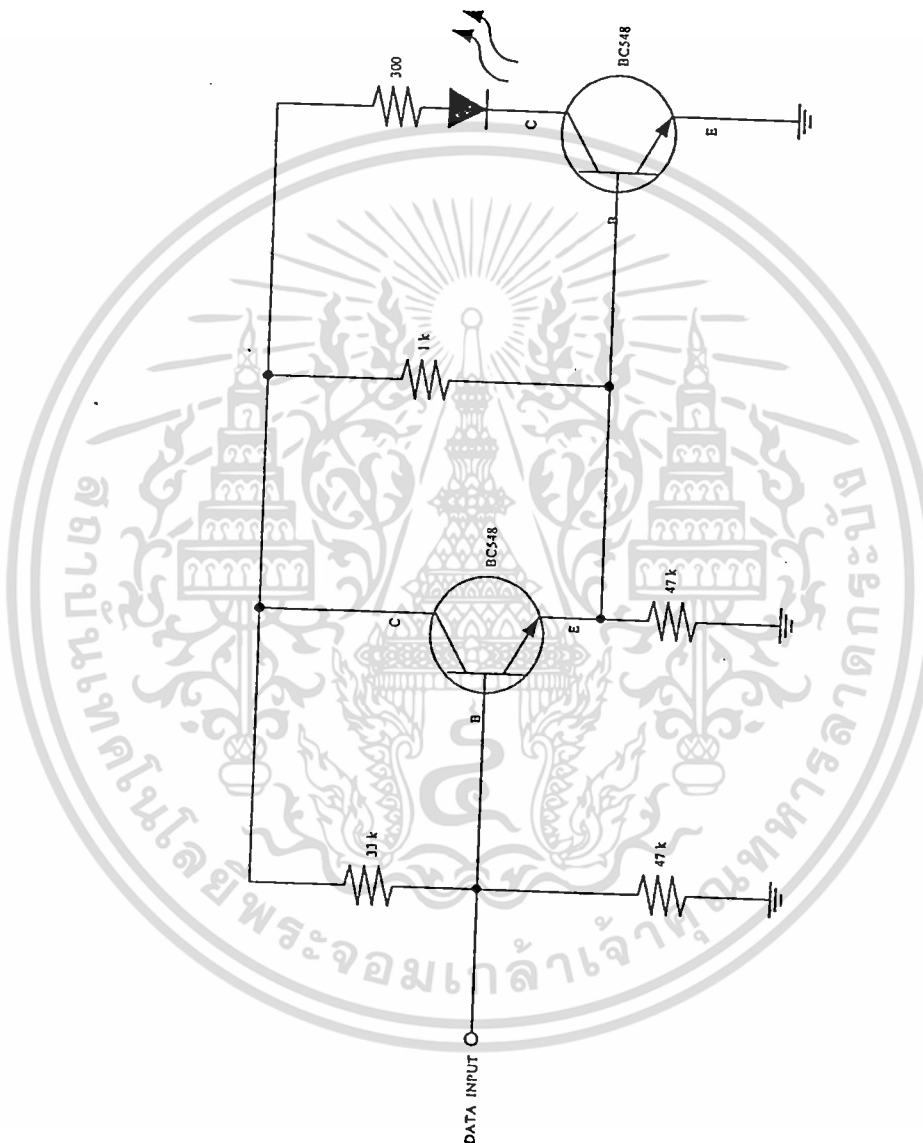


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



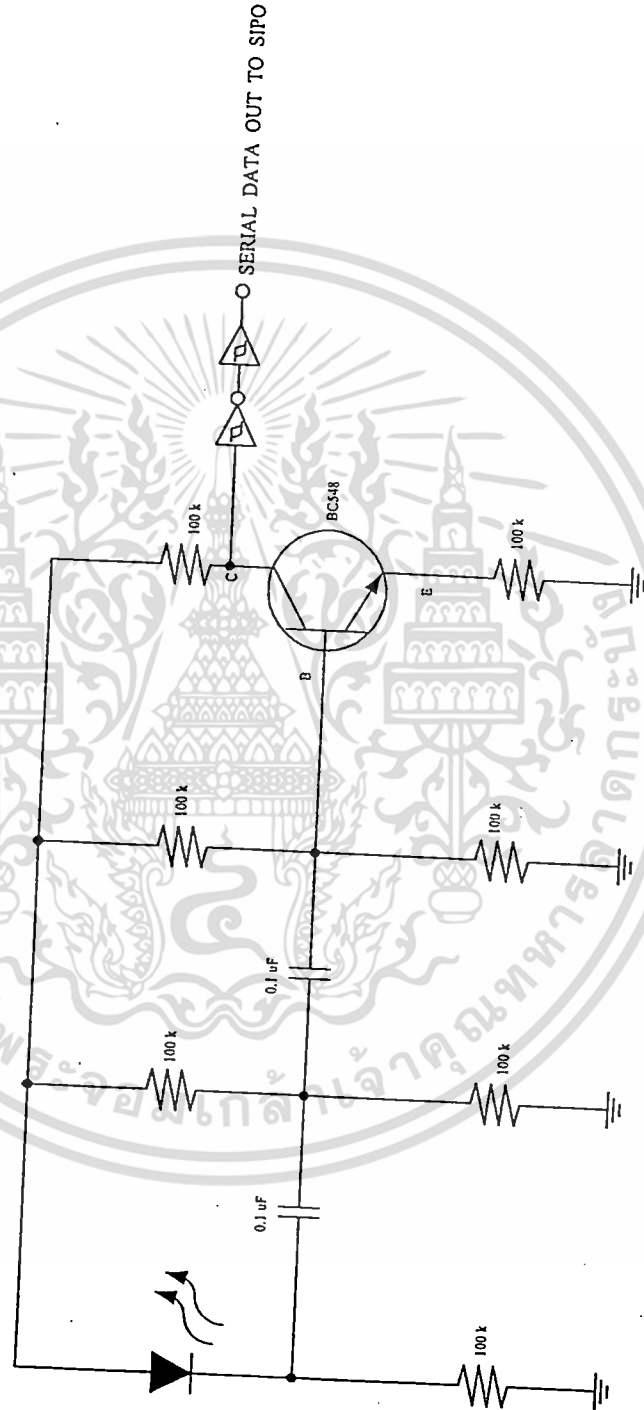
วงจรแปลงสัญญาณขนานเป็นสัญญาณอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรแปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

