การส่งข้อมูลผ่านไฟเบอร์ออปติก
DATA COMMUNICATION ON FIBER OPTIC

โดย
นายปราโมทย์ วารินทร์
นายภูษณะ อุบลม่วง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขา เทคโนโลยีโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2536

033309

การส่งข้อมูลผ่านไฟเบอร์ออปติก

Data communication on fiber optic

โดย นายปราโมทย์ วารินทร์
นายภูษณะ อุบลม่วง

อาจารย์ที่ปรึกษา อ. ชวลิต เบญจางคประเสริฐ

บทคัดย่อ

เนื่องจากในปัจจุบันการสื่อสารทางด้านไฟเบอร์ออปติกกำลังมีบทบาทอย่างมากในการสื่อสารทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารทางด้านโทรศัพท์หรือการสื่อสารทางด้านดาวเทียม จะเห็นได้จากโครงการใหญ่ๆที่กำลังดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งข้อได้เปรียบของไฟเบอร์ออปติกนั้นมีมากกว่าสายที่เป็นเคเบิลอยู่มาก ไม่ว่าจะเป็นเรื่องแบนท์วิดหรือค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นการเสนอรูปแบบของการสื่อสารข้อมูลผ่านไฟเบอร์ออปติกชนิดหนึ่งที่ใช้สื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องโดยการเข้ารหัสแบบแมนเชสเตอร์โค๊ด(Manchester code) และการส่งแบบเอ็นอาร์แซด(NRZ)ซึ่งส่งด้วยบิทเรท 9600 บิทต่อวินาที โดยอาศัยโปรแกรม ภาษาซีเขียนโปรแกรมรับและส่งข้อมูล การส่งจะส่งเป็นอักษรตัวเดียวสำหรับการส่งแบบแมนเชสเตอร์และส่งแบบเป็นไฟล์สำหรับการส่งแบบเอ็นอาร์แซด

ABSTRACT

In present fiber optic have roling in all Telecommunication. Example telephone communication and Satelite communication . Fiber optic have advancetage more cable .It have wide bandwidth and low cost in operate . In thesis present about data communication on fiber optic between two computer by Manchester code and NRZ.it transmit 9600 bit per second .By Clagn guge help to write transmit and receive solfware. In transmitting use repetition pattern for manchester code and transmit file forNRZ

ชื่อปริญญานิพนธ์ : การส่งข้อมูลผ่านไฟเบอร์ออปติก

ผู้จัดทำ : นายปราโมทย์ วารินทร์ 35.102057
นายภูษณะ อุบลม่วง 35.102063

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ชวลิต เบญจางคประเสริฐ

ภาควิชา : เทคนิคอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา : 2536

ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของ การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(.....)

..... กรรมการ
(.....)

..... กรรมการ
(.....)

..... กรรมการ
(.....)

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สารบัญ

		หน้า
บทที่ 1	ทฤษฎีของเส้นใยแสง	1
บทที่ 2	ฮาร์ดแวร์ที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารข้อมูล	21
บทที่ 3	การเข้ารหัสข้อมูล	31
บทที่ 4	เทคนิคและวิธีการออกแบบไฟเบอร์ออปติก	43
บทที่ 5	วงจรที่ใช้ในการทดลองและผลการทดลอง	47

บทที่ 1
ทฤษฎีของเส้นใยแสง

เส้นใยแสงคืออะไร

เส้นใยแสงคือ เส้นใยขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำแสง โครงสร้างของเส้นใยแสงประกอบด้วย ส่วนที่แสงเดินทางผ่านเรียกว่า core และส่วนที่ห่อหุ้ม core อยู่เรียกว่า clad เป็น dielectric ใส 2 ชนิด โดยการให้ค่าดัชนีการหักเหของ clad มีค่าน้อยกว่าดัชนีการหักเหของ core เล็กน้อยประมาณ 0.2-3% และอาศัยปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสง สามารถทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปใน core เดินทางไปได้ นอกจากนั้นเนื่องจากกล่าวกันว่า เส้นใยแสงมีขนาดเล็กมากขนาดเท่ากับเส้นผมหมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของ clad ซึ่งมีค่าประมาณ 0.1 ม.ม ส่วน core ที่แสงเดินทางผ่านนั้นมีขนาดเล็กลงไปอีกประมาณหลาย μm ค่าต่างๆเหล่านี้เป็นค่าที่กำหนดขึ้นจากคุณสมบัติการส่งและคุณสมบัติเมคานิกส์ที่ต้องการ

ข้อได้เปรียบของไฟเบอร์ออปติก

1. แถบความถี่(bandwidth) กว้างขึ้น

โดยศักยของแบนด์วิดธ์และอัตราข้อมูลของตัวกลางพิ่มขึ้นตามความถี่ ด้วยความถี่ที่สูงของเส้นใยแสง ซึ่งสัญญาณที่มีอัตราข้อมูล 2 Gbs สามารถส่งผ่านไปได้เป็นระยะทางกว่า 10 กิโลเมตร เปรียบเทียบผลอันนี้กับเมื่อใช้สายโคแอคเชียลที่มีอัตราข้อมูลสูงสุด 10^8 bps สามารถเดินทางได้ประมาณ 1 km และเมื่อเปรียบเทียบกับสายคู่บิดเกลียวซึ่งมีอัตราข้อมูลสูงสุด 2 ถึง 3 Mbps สามารถเดินทางได้ 1 Km

2. ขนาดเล็ก และน้ำหนักเบา

สายใยแสงมีขนาดเล็กและเบากว่าสายคู่บิดเกลียวและสายโคแอกเชียล ถ้าเปรียบในเรื่องของน้ำหนักกับความจุแล้วจะเห็นได้ว่า สายใยนำแสงจะมีความจุสูงมากเมื่อเทียบกับน้ำหนัก ในระหว่างสายคู่บิดเกลียวและสายโคแอคเชียล จึงทำให้ง่ายต่อการวางโครงข่ายประหยัดเนื้อที่ได้มาก

3. การสูญเสียในการส่งต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับตัวกลางชนิดอื่นและยังสามารถใช้งานได้ในระยะทางไกลๆ

4. ปราศจากการรบกวนทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ระบบสายใยนำแสงจะไม่ถูกรบกวนโดยอิทธิพลของสนามแม่เหล็กจากภายนอก ดังนั้นระบบจึงไม่ได้รับอันตรายจากการแทรกสอด สัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์หรือครอสทอล์ก และในทำนองเดียวกันสายใยนำแสงก็จะไม่มีการแผ่รังสีพลังงาน จึงไม่ทำให้เกิดการแทรกสอดรบกวนเครื่องมือข้างเคียง และมีความปลอดภัยจากการดักฟังสูงมาก

5. ระยะระหว่างเครื่องทวนสัญญาณห่าง

จำนวนตัวทวนสัญญาณที่น้อยกว่านั้นหมายถึง ราคาจะถูกกว่า และแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนก็จะน้อยกว่าด้วย เพราะตามปกติแหล่งสัญญาณรบกวนก็มักจะเกิดจากตัวทวนสัญญาณได้ด้วย ห้องปฏิบัติการ Bell ได้ประสบผลสำเร็จในการทดสอบการส่งด้วยสายใยนำแสงที่อัตราข้อมูล 8 Gbps ด้วยอัตราความผิดพลาด $3x10^{-10}$ ในระยะทาง 68 Km โดยไม่ต้องใช้ตัวทวนสัญญาณ ซึ่งระบบของสายโคแอกเชียลหรือสายคู่บิดเกลียวจะต้องใช้ตัวสัญญาณทุกๆ 2-3 กิโลเมตร

ทฤษฎีของแสง

คุณสมบัติที่สำคัญของแสงมี 3 อย่าง คือ

1. เดินทางเป็นเส้นตรง

2. การสะท้อนกลับ คือ ตรงรอยต่อของตัวกลางต่างชนิดกันส่วนหนึ่งของแสงตกกระทบจะเกิดการสะท้อนกลับ

3. การหักเห คือ ตรงรอยต่อของตัวกลางต่างชนิดกันหลังจากที่แสงตกกระทบแล้วส่วนที่ไม่สะท้อนกลับจะเดินทางไปในตัวกลางอีกชนิดหนึ่งแต่ทิศทางของมันจะเปลี่ยนไป

ความเร็วของแสงในสูญญากาศเท่ากับความเร็วของแสงในอากาศ จากความสัมพันธ์นี้จึงเขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$n = c/v_m$$

เมื่อ

n = ดัชนีหักเหของแสง

c = ความเร็วของแสงในสูญญากาศมีค่าเท่ากับ $3x10^8$ m/s

v_m = ความเร็วของแสงในตัวกลาง

ปรากฏการณ์หักเหของแสงจะเกิดขึ้น เมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปอีกตัวกลางหนึ่ง (n1 ไม่เท่ากับ n2)ดังรูปที่ 1.1 พิจารณารังสี A ซึ่งเดินทางจากตัวกลางที่มีดัชนีหักเหของแสง n1 ไปยังตัวกลาง n2 (n1 < n2) จะเห็นว่ารังสีหักเหของ A จะเปลี่ยนทิศทางไปจากเดิม โดยเบนเข้าหาเส้นปกติมากขึ้น

ในกรณีตรงข้ามถ้าแสงเดินทางจากตัวกลางn2ไปยังตัวกลาง n1(n2>n1) ดังเช่น รังสี B จะทำให้รังสีหักเหของ B เบนออกจากเส้นปกติมากขึ้น

จากความสัมพันธ์นี้สามารถ ได้โดยกฎของ Snell ดังสูตร

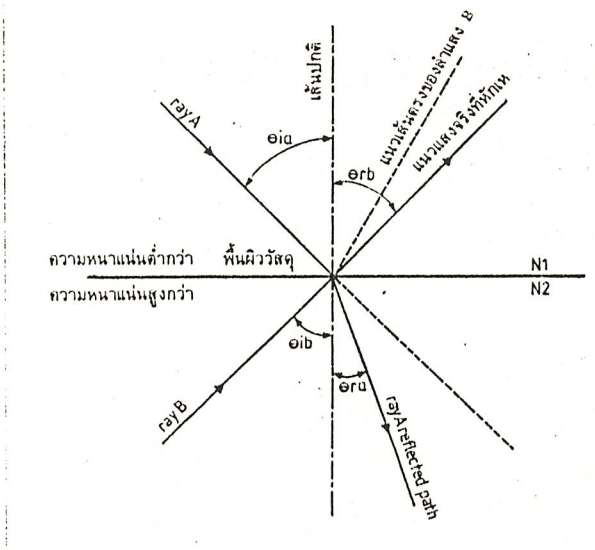
$$n1\sin\theta_{ta} = n2\sin\theta_{ra}$$

$$n1/n2 = \sin\theta_{ra}/\sin\theta_{ta}$$

เมื่อ

θ_{ta} = มุมตกกระทบของรังสี A

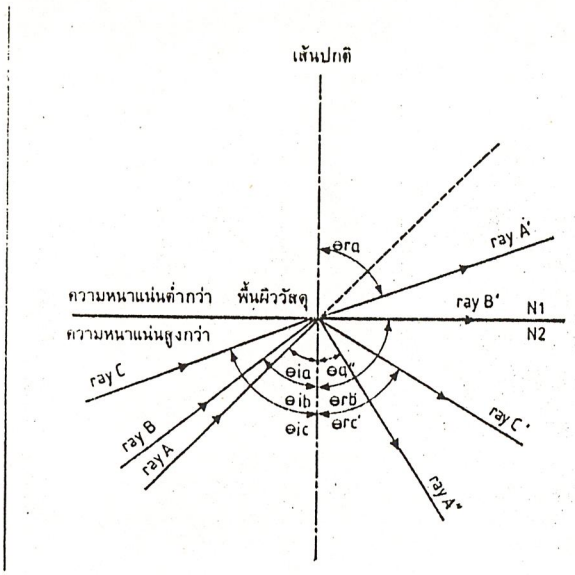
θ_{ra} = มุมหักเหของรังสี A



รูปที่ 1.1 การหักเหของแสง

สำหรับในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของไฟเบอร์ออปติก ก็คือ เฉพาะในกรณีที่แสงจะต้องเดินทางจากตัวกลางที่มีดรรชนีหักเหของแสงมากไปหาน้อยเท่านั้นดังในรูปที่ 1.2 จะแยกเป็น 3 กรณีต่างๆโดยจะกล่าวถึงรังสี B ก่อน

จากรูปจะเห็นได้ว่า รังสีหักเหของ B จะขนานไปตามผิวของตัวกลาง ในกรณีนี้จะได้ว่ามุมตกกระทบ ϕ_{1b} เป็นมุมวิกฤติ ดังนั้นรังสีส่วนใหญ่ก็จะเป็นรังสีหักเหของ A ทะลุผ่านตัวกลางออกไปจะมีบางส่วนเท่านั้นที่เป็นรังสีสะท้อน ซึ่งสะท้อนออกมาด้วยมุมสะท้อนที่เท่ากับมุมตกกระทบ ส่วนรังสี C จะมีมุมตกกระทบมากกว่ามุมวิกฤติ ทำให้ไม่เกิดการหักเหแต่จะเกิดการสะท้อนกลับภายในทั้งหมด กรณีของ C ก็คือ ลักษณะการใช้งานไฟเบอร์ออปติก



รูปที่ 1.2 การหักเหที่ทำให้เกิดการสะท้อนกลับภายในทั้งหมด

ชนิดของเส้นใยแสง

1.แบ่งตามชนิดของเส้นใยแสงตามชนิดของ Dielectric ที่ใช้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1.1 silica glass optic fiber ซึ่งใช้ Dielectric ที่เป็น Silica glass

1.2 Multi component glass optic fiber ซึ่งใช้ Dielectric ที่เป็นแก้วหลายชนิดปนกัน

1.3 Plastic optic fiber ซึ่งใช้ Dielectric ที่เป็นพลาสติก

2. แบ่งตามชนิดของเส้นใยแสงตามจำนวน Propagation Mode

2.1 single mode

2.2 Mutimode

3. แบ่งตามลักษณะของดัชนีการหักเห

3.1 Step index optic fiber เป็นเส้นใยแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่าง core กับ clad เป็นลักษณะขั้นบันได(step)

3.2 Graded index optic fiber เป็นเส้นใยแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่าง core กับ clad ค่อยๆลดลงทีละน้อย

คุณสมบัติในการส่งผ่าน

สายใยนำแสงสามารถส่งผ่านลำแสงที่เข้ารหัสข้อมูลด้วยการสะท้อนกลับหมดภายในซึ่งการสะท้อนกลับหมดภายในจะเกิดขึ้นในตัวกลางโปร่งในทั่วไป ที่มีค่าดัชนีหักเหของการสะท้อนสูงกว่าตัวกลางโปร่งใสที่อยู่รอบๆผลก็คือ สายใยนำแสงสามารถทำตัวเป็นตัวนำคลื่นได้ใน

ช่วงความถี่ $10^{14}-10^{15}$ Hz ซึ่งจะครอบคลุมย่านความถี่แสงที่มองเห็นและบางส่วนของย่านความถี่ความร้อน

ตาราง แสดงการเปรียบเทียบเส้นใยแก้วนำแสง 3 ชนิด

	Step-Index Multimode	**Graded-Index Multimode**	**Single-Mode**
Light Source	LED or laser	LED of laser	Laser
Bandwidth	Wide (up to 200 MHz/km)	Very wide (200 MHz to 3 GHz/km)	Extremely wide (3 GHz to 50 GHz/km)
Splicing	Difficult	Difficult	Difficult
Typical Application	Computer data links	Moderate-length telephone lines	Telecommunication long lines
Cost	Least expensive	More expensive	Most expensive
Core Diameter (μm)	50 to 125	50 to 125	2 to 8
Cladding Diameter (μm)	125 to 440	125 to 440	15 to 60
Attenuation (db/km)	10 to 50	7 to 15	0.2 to 2

Source:[SHUF84].

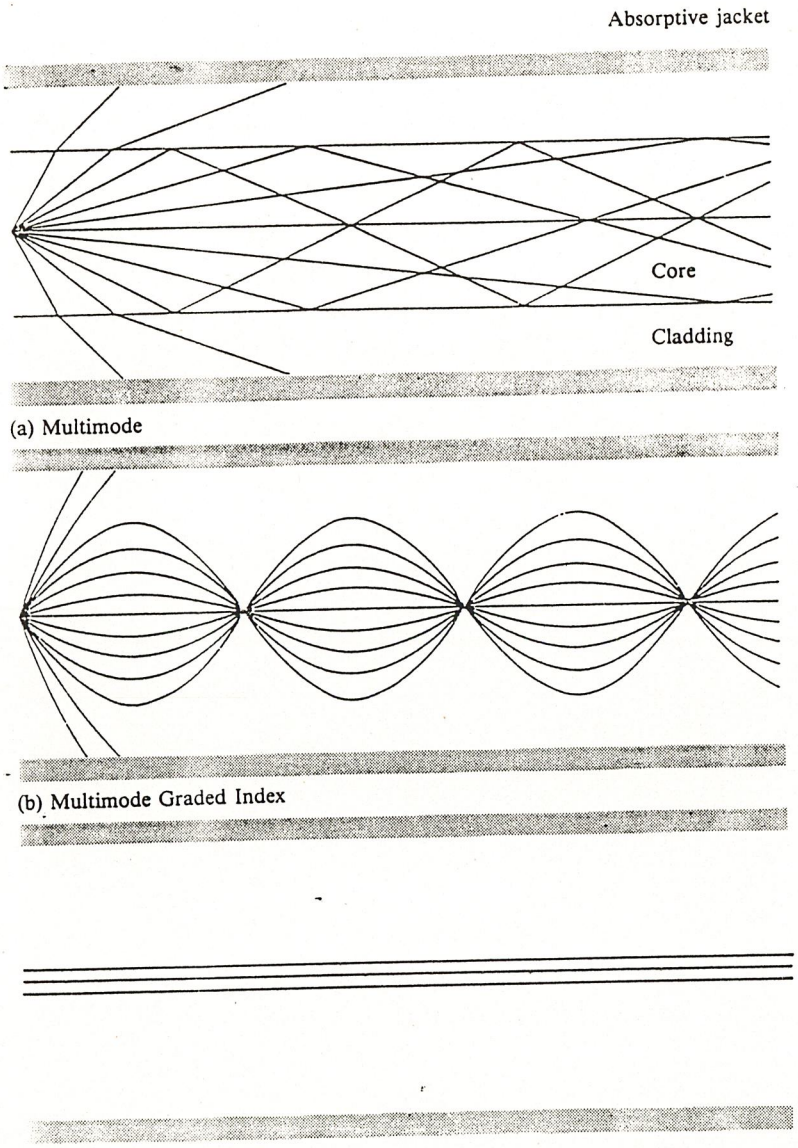
รังสีที่มีมุมแคบๆจะสะท้อนและเคลื่อนที่ผ่านสายใยนำแสงไปได้ไกล ส่วนรังสีอื่นๆที่เหลือจะถูกดูดซึมโดยวัตถุที่ล้อมรอบ รูปแบบของการเคลื่อนที่แบบนี้เรียกว่า มัลติโหมด ซึ่งมีมุมต่างๆของการสะท้อนหลายมุม เมื่อรัศมีของแกนสายใยนำแสงลดลง ก็จะมีมุมที่มีค่าน้อยๆเท่านั้นที่จะสะท้อนได้ ซึ่งก็จะมีเพียงรังสีจำนวนน้อยลงที่สะท้อน และถ้าเราลดรัศมีของแกนเส้นใยนำแสงลงจนมีค่าเท่ากับความยาวคลื่นของแสงที่จะส่งไปในสายนำแสงแล้วก็จะมีรังสีเพียงมุมเดียวเท่านั้นที่สามารถสะท้อนผ่านเข้าไปในเส้นใยนำแสงได้ในลักษณะเป็นแกนของรังสี ซึ่งการเคลื่อนที่ในโหมดเดี่ยวจะเหมาะสมในทางปฏิบัติมากด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้ เนื่องจากการส่งแบบหลายโหมดจะมีทางเดินของคลื่นหลายทาง โดยที่แต่ละทางจะมีความยาวแตกต่างกัน ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการเดินทางไปในสายใยนำแสงก็จะต่างกันไปด้วย ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้เป็นเหตุให้รังสีเดี่ยวๆไปได้ในเวลาที่สั้น และเป็นเหตุให้เกิดการจำกัดอัตราความละเอียดของข้อมูลที่รับมาได้ เนื่องจากการเคลื่อนที่เพียงเส้นทางเดียวด้วยการส่ง

ผ่านในโหมดเดี่ยว ดังนั้นการผิดเพี้ยนของสัญญาณจึงไม่เกิดขึ้น ในที่สุด ด้วยการเปลี่ยนค่าดัชนีหักเหของแกน ทำให้เกิดการส่งผ่านชนิดที่ 3 เรียกว่า mutimode graded index ขึ้น การส่งผ่านในรูปแบบนี้จะเป็นกลางอยู่ระหว่างการเคลื่อนที่ทั้งสองแบบที่กล่าวมาแล้ว ค่าการหักเหที่เปลี่ยนไปจะทำให้การโฟกัสของรังสีมีประสิทธิภาพมากกว่ามัลติโหมดธรรมดา ที่เรียกว่า มัลติโหมดสเตปอินเด็ก ตาราง 2-5 เปรียบเทียบให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ทั้ง 3 โหมด

แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในระบบเส้นใยนำแสงมีแตกต่างกันอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ ไดโอดเปล่งแสง(LED) และเลเซอร์ไดโอดอินเจคชั่น(ILD) แหล่งกำเนิดแสงทั้งคู่เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่เปล่งแสงออกมาเมื่อป้อนค่าศักย์ไฟฟ้าให้กับตัวอุปกรณ์ดังกล่าว สำหรับ LED เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาถูกมากสามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้างมาก และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ส่วน ILD เป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง และสามารถส่งอัตราข้อมูลได้สูง

ตัวตรวจจับที่ใช้ในด้านรับที่ทำการเปลี่ยนแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า คือ โฟโต้ไดโอด (photodiode) ตัวตรวจจับที่เป็นอุปกรณ์โซลิทสเตทที่ใช้กันอยู่มี 2 ชนิด ได้แก่ ตัวตรวจจับ PIN และ APD โดยที่ PIN โฟโต้ไดโอดมีส่วนเนื้อแท้ (I) ของซิลิกอนระหว่างชิ้นสาร P กับสาร N ส่วน APD (Avalanche photodiode) ก็มีโครงสร้างทำนองเดียวกับ PIN แต่ใช้สนามไฟฟ้าที่แรงกว่าอุปกรณ์ทั้งสองแบบใช้หลักการจับโฟตอน ซึ่ง PIN ถูกกว่า และมีความไวน้อยกว่า APD การส่งผ่านในรูปแบบต่างๆก็มีความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นที่ใช้กับอัตราข้อมูลสำหรับในโหมดเดียวและมัลติโหมดสามารถใช้กับความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกันได้ และใช้ได้กับทั้งแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ และจาก LED ในเส้นใยนำแสง การเคลื่อนที่ของแสงกระทำได้ดีกับความยาวคลื่นเหล่านี้อยู่ในส่วนของอินฟาเรดทั้งหมด บางส่วนอยู่ต่ำกว่าแสงที่มองเห็น สำหรับโดยทั่วไปในปัจจุบันจะใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นขนาด 850 nm แม้ว่าการใช้แหล่งกำเนิดคลื่น 850 nm จะทำให้ต้นทุนต่ำแต่มันก็มีข้อจำกัดในอัตราข้อมูลซึ่งต้องต่ำกว่า 100 Mbps และใช้ได้ในระยะเพียง 2-3 กิโลเมตรเท่านั้น ซึ่งถ้าจะให้ได้อัตราข้อมูลและระยะทางที่ไกลกว่านี้ก็จะต้องใช้แหล่งกำเนิดคลื่นแบบ LED หรือเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 1300 nm และถ้าจะให้ได้อัตราข้อมูลและระยะทางสูงสุดก็ต้องใช้แหล่งกำเนิดแบบเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 1500 nm

เนื่องจากเพียงคลื่นแสงเท่านั้นที่สามารถส่งผ่านเส้นใยนำแสงได้ ดังนั้น สัญญาณที่สามารถส่งผ่านไปได้ก็จะต้องเป็นสัญญาณอนาล็อก แต่ด้วยวิธีการมอดูเลชั่นที่เหมาะสม ทั้งข้อมูลอนาล็อกและดิจิตอลก็อาจจะส่งผ่านไปได้



รูปที่ 1.4 การเคลื่อนที่ของแสงใน optic fiber

การสูญเสียสัญญาณในไฟเบอร์ออปติก

เมื่อมีการป้อนข้อมูลที่เป็นสัญญาณแสงให้กับไฟเบอร์ออปติกในช่วงระยะทางหนึ่ง สัญญาณเอาท์พุทที่ได้ย่อมมีการสูญเสียในไฟเบอร์ออปติกแบ่งออกได้ดังนี้

1. **การสูญเสียเนื่องจากวัสดุตัวกลาง** เป็นผลมาจากการดูดซับพลังงานภายในเนื้อสารที่ใช้ทำไฟเบอร์ออปติกในขณะที่แสงเดินทางและชนกับโมเลกุลของมัน หากการดูดซับพลังงานในเนื้อสารมีมาก จะก่อให้เกิดการสูญเสียสัญญาณมากขึ้นด้วยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางโมเลกุลและความบริสุทธิ์ของเนื้อสารที่ใช้ทำไฟเบอร์ออปติก

2. **การสูญเสียจากการกระเจิงของแสง** เมื่อแสงเดินทางในไฟเบอร์ออปติก จะเกิดการกระเจิงของแสงอันเนื่องมาจากการชนกับโมเลกุลของเนื้อสารทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณไป โดยอัตราการสูญเสียขึ้นอยู่กับโครงสร้างที่ไม่สมบูรณ์ของเนื้อสาร อีกทั้งขึ้นกับความยาวคลื่นแสงที่เดินทางในไฟเบอร์ออปติกด้วย

3. **การสูญเสียจากท่อนำสัญญาณ** เป็นการสูญเสียอันเนื่องมาจากการจัดวางสายไฟเบอร์ออปติกที่ทำหน้าที่เป็นท่อนำสัญญาณในลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรง ทำให้มุมของการตกกระทบของแสงที่ผนังระหว่างคอร์กับแคดดิ้งเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นสัญญาณเอาท์พุตในระบบการสื่อสารชนิดใหม่ร่วมจึงเกิดการผิดเพี้ยนได้ง่าย โดยมีขนาดความกว้างของสัญญาณมากขึ้นกว่าเดิม

การคิดกำลังการสูญเสีย(L)ในไฟเบอร์ออปติก มักจะทำในเทอมของเดซิเบล (dB) โดยการคำนวณจากสูตร

$$L_{dB} = 10 \log P_o/P_i$$

เมื่อ P_o คือ ค่าพลังงานเอาท์พุท และ P_i คือ ค่าพลังงานอินพุท

หลักการสื่อสารด้วยไฟเบอร์ออปติก

ระบบการสื่อสารด้วยไฟเบอร์ออปติกมีโครงสร้างคล้ายกับระบบการสื่อสารคล้ายกับระบบการนำข้อมูลที่ต่างกัน กล่าวคือ เมื่อต้องการส่งข้อมูลที่อาจอยู่ในรูปของสัญญาณเสียง สัญญาณภาพ หรือ ข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ วงจรภาคส่งจะทำหน้าที่จัดรูปสัญญาณให้เหมาะสมด้วยวิธีการเข้ารหัสและมอดูเลท โดยลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่มักจัดให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิตอลเพราะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าจากนั้นวงจรในส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงหรือไดร์เวอร์ขับสัญญาณ จะแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้ให้เป็นสัญญาณแสงส่งไปยังสถานีรับ โดยมีไฟเบอร์ออปติกทำหน้าที่เป็นท่อนำสัญญาณ ที่สถานีรับจะมีโฟโตทรานซิสเตอร์คอยเปลี่ยนสัญญาณแสงที่รับได้ให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า แล้วส่งไปยังวงจรภาครับเพื่อถอดรหัสและดีมอดูเลทสัญญาณ ทำให้ได้สัญญาณที่มีลักษณะเดียวกับสัญญาณเดิมเป็นข้อมูลขาออกเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

ในช่วงระหว่างสถานีส่งสัญญาณและสถานีรับสัญญาณที่เชื่อมด้วยไฟเบอร์ออปติก จะ

ต้องมีสถานีทวนสัญญาณทำหน้าที่ขยายสัญญาณและจัดรูปสัญญาณที่เกิดการผิดเพี้ยนไปในระหว่างการเดินทาง ในการใช้งานจริงระยะห่างระหว่างสถานีทวนสัญญาณมีค่าประมาณประมาณ 10 กิโลเมตรขึ้นไป โดยจะขึ้นกับขนาดหรือปริมาณของข้อมูลที่ใช้ส่งสำหรับระบบที่มีประสิทธิภาพสามารถส่งสัญญาณข้อมูลที่มีขนาด 2 Gb/s ไปเป็นระยะทาง 2,200 กิโลเมตร โดยมีสถานีทวนสัญญาณเพียง 25 สถานีในทุกๆระยะ 80 กิโลเมตร

วงจรภาคส่ง

เนื่องจากไฟเบอร์ออปติกมีขนาดของแบนท์วิดกว้างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับสายเคเบิลทำให้สามารถส่งข้อมูลจำนวนมากจากหลายๆแหล่งได้ในช่วงเวลาเดียวกัน หากระบบถูกออกแบบให้ใช้คลื่นแสงที่มีขนาดความยาวคลื่น 0.63ไมครอนหรือ มีค่าความถี่ 4.7×10^{14} Hz เป็นตัวส่งสัญญาณ โดยกำหนดให้ช่วงแบนวิดของการส่งข้อมูลมีเพียง 1% ของความถี่แสงที่ใช้ จะได้แบนวิดที่มีความกว้างถึง 4,700 GHz นั่นหมายความว่า เราสามารถส่งสัญญาณโทรศัพท์ได้เกือบ 1 ล้านช่อง ในช่วงเวลาเดียวกัน หลักการสำคัญที่จะส่งสัญญาณจำนวนมากพร้อมกันให้มีประสิทธิภาพขึ้นกับวิธีการเข้ารหัส การมอดูเลทและการมัลติเพล็กสัญญาณในวงจรภาคส่ง

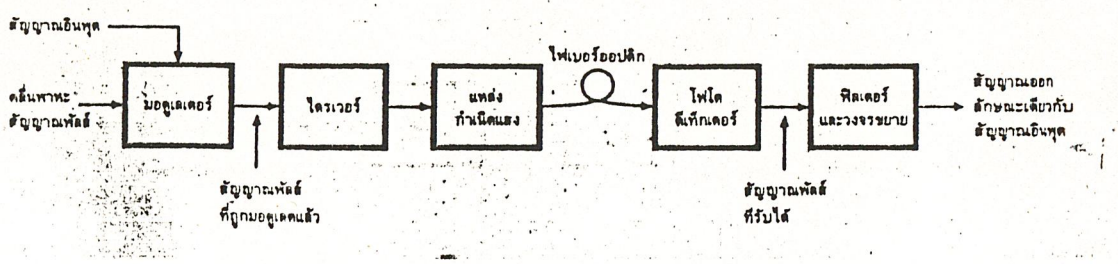
การมอดูเลท

การมอดูเลทเป็นการผสมสัญญาณข้อมูลกับสัญญาณที่เป็นคลื่นพาหะเข้าด้วยกันในลักษณะใดลักษณะหนึ่ง เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลนั้นไปในระยะทางไกลได้ การมอดูเลทสัญญาณที่ภาคส่งของระบบการสื่อสารไฟเบอร์ออปติก อาจทำได้ดังนี้

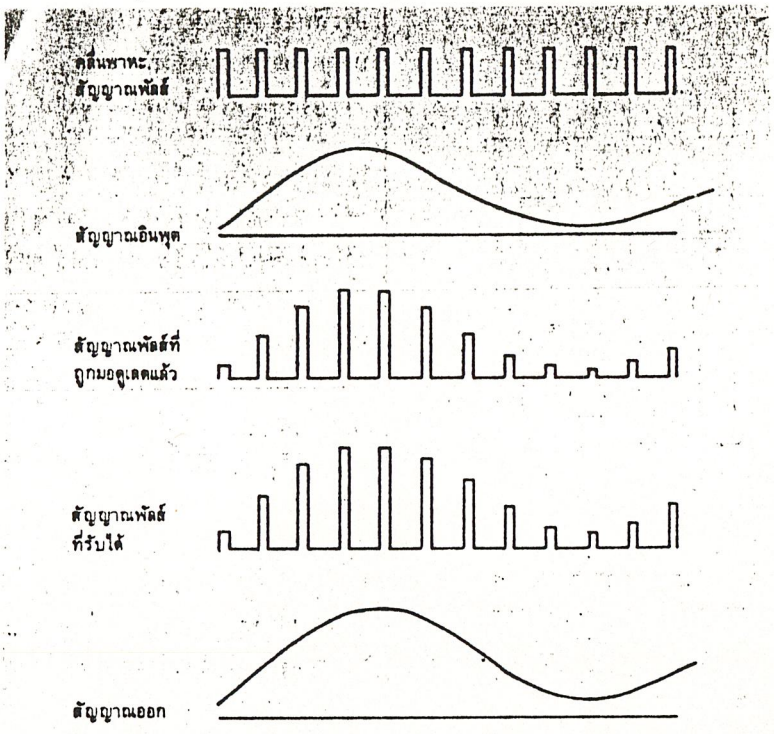
1. **pulse amplitude modulation(PAM)** ลักษณะการทำงานของระบบ PAM แสดงดังรูปที่ 1.5 และรูปที่ 1.6 ซึ่งเป็นการมอดูเลทสัญญาณโดยใช้ขนาดของสัญญาณทางอินพุทที่เป็นสัญญาณอะนาล็อกเป็นตัวกำหนดขนาดของสัญญาณพลัส์ที่ทำหน้าที่เป็นคลื่นพาหะ สัญญาณพลัส์ที่ถูกมอดูเลทแล้วจะทำหน้าที่ควบคุมแหล่งกำเนิดแสง ให้ส่งสัญญาณข้อมูลที่เป็นพลังงานความเข้มของแสงขึ้นกับแอมปริจูดของพลัส์โดยตรง ขนาดความถี่ของพลัส์ที่เป็นคลื่นพาหะต้องมีค่ามากกว่าความถี่สัญญาณอินพุทอย่างน้อยสองเท่า ค่าความถี่ของคลื่นพาหะนี้เรียกว่าอัตราการแซมปลิ้ง ในระบบทั่วไปอาจใช้อัตราการแซมปลิ้งมากกว่าความถี่สัญญาณอินพุทประมาณ 3 หรือ 4 เท่า

โดยปกติระบบการมอดูเลทแบบ PAM ไม่ค่อยนิยมใช้กันมากนัก เว้นแต่จะใช้กับระบบสื่อสารระยะใกล้ ทั้งนี้ก็เพราะ PAM มีข้อเสียตรงที่มีความไวต่อการเกิดสัญญาณรบกวนสูงมาก

033309



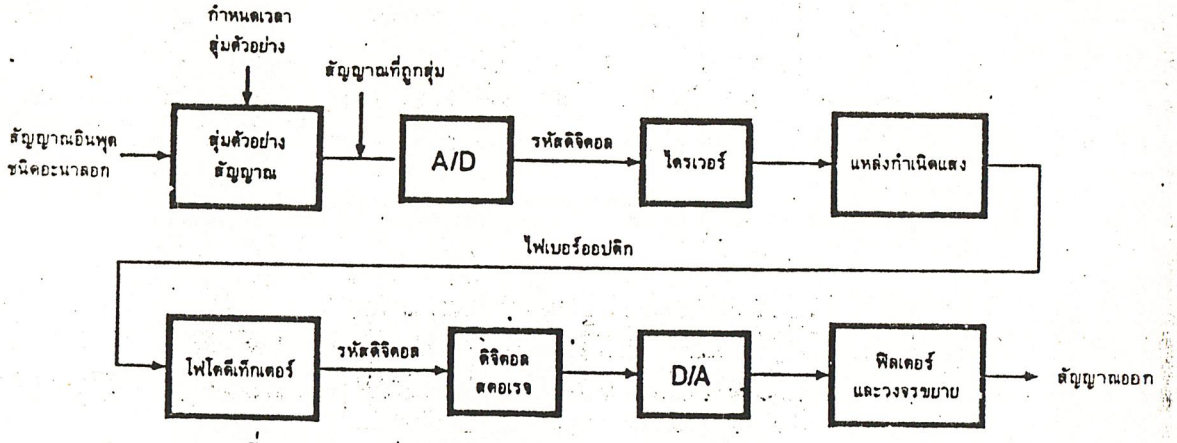
รูปที่ 1.5 บล็อคไดอะแกรมของระบบ PAM



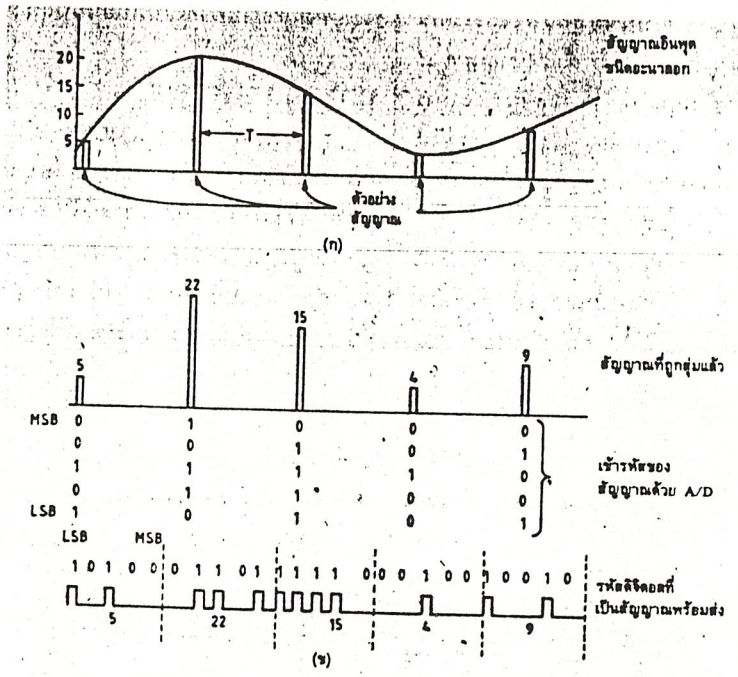
รูปที่ 1.6 การมอดูเลทแบบ PAM

2. **Pusle code Modulation(PCM)** เป็นเทคนิคการมอดูเลทที่นิยมใช้กันแพร่หลายในระบบสื่อสาร โดยเฉพาะระบบโทรศัพท์ทางไกล ลักษณะการทำงานของระบบ PCM แสดงในรูปที่ 1.7 และรูปที่ 1.8 ในตอนแรกสัญญาณอินพุทจะถูกสุ่มตัวอย่างหรือแซมเปิล (sample) ด้วยอัตราการแซมปลิ้งเหมือนกับระบบ PAM จากนั้นขนาดของสัญญาณที่ถูกสุ่มออกมา จะถูกทำการเข้ารหัสเป็นข้อมูลทางดิจิตอลด้วยระบบไบนารีความละเอียดของระดับสัญญาณขึ้นอยู่กับจำนวนบิตที่ใช้ในการเข้ารหัส ข้อมูลดิจิตอล ที่ถูกเข้ารหัสแล้วจะทำหน้าที่ควบคุมแหล่งกำเนิดแสงให้ส่งข้อมูลออกไปในลักษณะของสวิทช์ปิดเปิด ดังนั้นในระบบนี้สัญญาณแสงที่เป็นข้อมูลจะไม่คำนึงถึงระดับความเข้มของแสงเลย นอกจากการปิดเปิดแสงในช่วงเวลาที่กำหนดในแต่ละบิตข้อมูล ทำให้ลดการเกิดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบ PAM ลงได้มาก สัญญาณดิจิตอลที่รับได้ในภาครับ จะถูกแปลงกลับสู่สัญญาณอะนาล็อกอีกครั้งหนึ่ง ก่อนส่งผ่านวงจรกรองความถี่เพื่อทำให้ได้สัญญาณที่มีลักษณะเดียวกับสัญญาณอินพุทก่อนนำไปขยายสัญญาณเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

ประสิทธิภาพการส่งข้อมูลทางดิจิตอล สามารถกำหนดได้จากอัตราการส่งข้อมูลหรือ บิทเรตในลักษณะของจำนวนบิทต่อเวลา

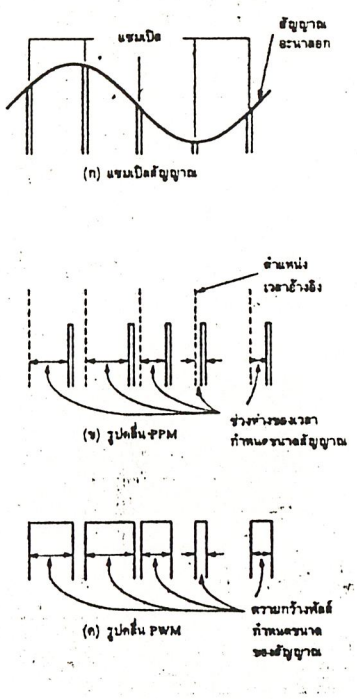


รูปที่ 1.7 บล็อคไดอะแกรมของระบบ PCM



รูปที่ 1.8 รูปคลื่นของสัญญาณระบบมอดูเลทแบบ PCM

3. **Pulse position modulation(PPM)** เป็นการมอดูเลทโดยใช้ขนาดของสัญญาณที่ถูกสุ่มตัวอย่าง เป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการส่งสัญญาณ ดังรูปที่ 1.9(ข) ข้อมูลแสงที่ถูกส่งออกจะเป็นลักษณะของการปิด-เปิดแสงโดยมีช่วงเวลาเริ่มต้นของการเปิดแสงที่เปลี่ยนไปจากจุดเวลาเริ่มต้นของการสุ่มตัวอย่างเป็นตัวบอกขนาดของข้อมูล ดังนั้นอัตราการแซมปลิ้งในระบบ PPM จะต้องมีช่วงเวลาห่างของการสุ่มตัวอย่างมากพอที่จะไม่ทำให้ระยะเวลาของการส่งข้อมูลแสงเกิดการซ้อนทับกันได้



รูปที่ 1.9 เทคนิคของ PPM และ PWM

4. **Pulse width Modulation(PWM)** มีลักษณะการทำงานแสดงดังรูปที่ 1.9 (ค) ซึ่งมีหลักการคล้ายกับระบบ PPM เพียงแต่สัญญาณที่เป็นข้อมูลแสงจะเริ่มต้นทำงาน ณ ตำแหน่งเวลาของการเริ่มต้นสุ่มตัวอย่าง โดยช่วงเวลาการเปิดแสงหรือมีขนาดความกว้างของพลัส์จะเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมกับขนาดของข้อมูลที่ถูกสุ่มตัวอย่าง

ในระบบ PPM และ PWM ระยะเวลาของการปิด-เปิด แสงเพื่อส่งข้อมูลต้องมีความแม่นยำสูง มิฉะนั้นข้อมูลที่รับได้อาจเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ง่ายในขณะเดียวกันระบบการส่งสัญญาณแสงในช่วงระยะหนึ่ง มีผลทำให้สัญญาณข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงในเรื่องของขนาดความกว้างสัญญาณได้ จึงทำให้ระบบดังกล่าวไม่ค่อยนิยมใช้กันนัก

แหล่งกำเนิดแสง

อุปกรณ์ที่เป็นหัวใจสำคัญซึ่งทำให้ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง หรือไฟเบอร์ออปติกแตกต่างจากระบบสื่อสารทั่วไปก็คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณแสงที่ใช้นำข้อมูลไปตามเส้นไฟเบอร์ออปติก อุปกรณ์เหล่านี้ทำหน้าที่คล้ายกับตัวแปลงสัญญาณกลับไปกลับมาระหว่างสัญญาณไฟฟ้ากับสัญญาณแสงซึ่งจะมาทำความรู้จักและความเข้าใจให้มากขึ้น

แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในระบบสื่อสารด้วยไฟเบอร์ออปติกจำเป็นต้องมีคุณสมบัติดังต่อ ไปนี้คือ

1. สามารถให้แสงที่มีพลังงานหรือความเข้มแสงมากพอที่จะส่งสัญญาณหรือเดินทางไปตลอดระยะทางของการสื่อสารได้

2. โครงสร้างของแหล่งกำเนิดแสงต้องสามารถส่งพลังงานแสงส่วนใหญ่หรือทั้งหมดเข้าไปในไฟเบอร์ออปติกที่มุมของการเกิดแสงจากแหล่งกำเนิดต้องเป็นมุมแคบๆ และทิศทางที่แน่นอนในกรณีที่แสงจากแหล่งกำเนิดมีลักษณะกระจายเป็นมุมกว้าง สามารถใช้อุปกรณ์คัปปลิ้งแสง เช่น เลนซ์นูนเข้ามาช่วยเพื่อรวมแสงส่วนใหญ่พุ่งเข้าไปสู่ไฟเบอร์ออปติกได้

3. ความยาวคลื่นของแสงที่ได้ต้องมีความเหมาะสมไฟเบอร์ออปติกที่ใช้ในระบบการสื่อสารใยแสง ความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมกับไฟเบอร์ออปติกมากที่สุดมีค่าประมาณ 1.55 ไมครอน และ 0.82 ไมครอน

4. ไลน์วิด(line width) ของแสงที่ได้จะต้องมีค่าน้อยๆ เพื่อให้สามารถ ส่งข้อมูลปริมาณมากๆได้

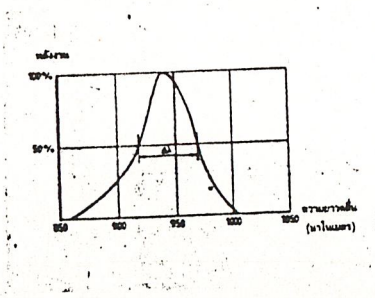
5. ช่วงเวลาตอบสนองของแหล่งกำเนิดแสง หรือช่วงเวลาที่แหล่งกำเนิดได้รับสัญญาณไฟฟ้าแล้วสร้างสัญญาณแสงออกมาต้องมีค่าสั้นมากๆอันจะมีผลทำให้ได้วงจรไดร์เวอร์ที่สามารถส่งข้อมูลปริมาณมากๆได้ดี

6. พลังงานแสงต้องมีค่าคงที่ต่อเนื่องตลอดเวลาและไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆอันเนื่องมาจากผลของอุณหภูมิ และ สภาพแวดล้อม

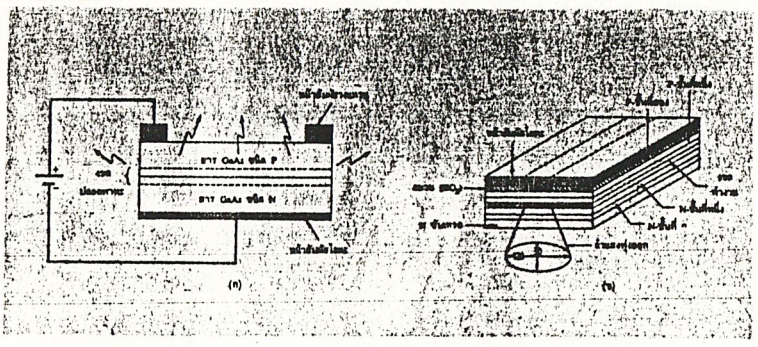
โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้จะขึ้นอยู่กับระบบเช่นในระบบที่มีระยะทางสื่อสารไม่ไกลมากนัก หรือระบบที่ใช้ในการศึกษา อาจใช้LEDเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณได้ส่วนในระบบที่ต้องการประสิทธิภาพสูงๆจะใช้แสงเลเซอร์เป็นตัวนำข้อมูลซึ่งอาจอยู่ในลักษณะของเลเซอร์ไดโอด (Laser diode)หรือเครื่องกำเนิดเลเซอร์ชนิดต่างๆก็ได้ในที่นี้จะกล่าวถึงLEDและ Laser diode อย่างคร่าวๆ

แหล่งกำเนิดแสง

LED (Light emitting diode)หรือก็คือ ไดโอดที่ถูกออกแบบโครงสร้างให้สามารถเปล่งพลังงานแสงออกมาได้เมื่อไม่มีการไบแอสที่ถูกต้องลักษณะโครงสร้างของ LEDแบบพื้นฐานที่ใช้ระบบไฟเบอร์ออปติกแสดงดังรูปที่ 2(ก)ซึ่งประกอบไปด้วยสารชนิดแกลเลียมอาร์เซไนด์หรือ GaAs(LED ทั่วไปจะใช้สารพวกเจอร์มาเนียมหรือซิลิคอน)ถูกโดปเป็นชนิด P(มีโฮลหรือประจุบวกมากกว่า)และชนิด N(มีอิเล็คตรอนอิสระมากกว่า)วางต่อกัน หลักการทำงานก็เหมือนไดโอดหรือ LED ธรรมดาทั่วไป เมื่อมีการไบแอสถูกทางด้วยค่าที่เหมาะสมจะเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็คตรอนไปยังโฮลในระหว่างช่วงรอยต่อของสาร P-N(ที่เรียกว่าบริเวณปลอดพาหะหรือบริเวณดีพลีชั่น)และมีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของชั้นอิเล็คตรอนเกิดการคลายพลังงานออกมาภายในรูปของแสง



รูปที่ 1 ,2



บางครั้งสารที่ใช้ทำ LED อาจเป็นประเภทแกลเลียมอาร์เซไนด์ฟอสเฟอร์(GaAsP)แกลเลียมฟอสเฟอร์(GaP)อะลูมิเนียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ฟอสเฟอร์(InGaAsP)ก็ได้เพื่อเปลี่ยนแปลงขนาดความยาวคลื่นแสงที่ต้องการ

แสงที่เปล่งออกมาจาก LED ในช่วงรอยต่อจะมีลักษณะการกระจัดกระจายไม่มีแนวทางเดียวกันนักและมักทำมุมค่อนข้างกว้างทำให้แสงที่ได้มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ การแก้ไขทำได้โดยปรับปรุงโครงสร้างของสารให้มีความซับซ้อนขึ้นและมีการกำหนดขอบเขตการเปล่งแสงเพื่อให้แสงมีการรวมตัวออกมาในทิศทางเดียวกันในรูปที่2(ข)ซึ่งลักษณะของแสงที่เปล่งออกมามักจะมีพื้นที่ภาคตัดขวางเป็นรูปวงรีโดยมีมุมกระจายแสงในแนวตั้ง 30 องศาเล็กกว่ามุมกระจายแสง

อุปกรณ์รับสัญญาณแสง

อุปกรณ์รับสัญญาณแสงหรือโฟโต้ดีเท็กเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นข้อมูลทางไฟฟ้า คุณสมบัติที่สำคัญของโฟโต้ดีเท็กเตอร์ในระบบสื่อสาร ได้แก่

1. ต้องมีความไวในการรับแสงได้ดีเฉพาะในช่วงที่ต้องการ เนื่องจากการส่งสัญญาณแสงจะใช้ความยาวคลื่นแสงในช่วงเฉพาะ ดังนั้นหากแสงอื่นที่มีความยาวคลื่นไม่เกี่ยวข้องกันมาตกกระทบพร้อมกัน ย่อมทำให้ข้อมูลมีการผิดพลาดได้

2. เวลาในการตอบสนองสัญญาณต้องสั้นมาก กล่าวคือ เมื่อมีแสงตกกระทบโฟโต้ดีเท็กเตอร์ต้องเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยเวลาที่สั้นที่สุด เพื่อว่าข้อมูลจำนวนมากสามารถใช้รับส่งด้วยความเร็วสูงได้

3. ในระบบการสื่อสารแบบอะนาล็อกต้องใช้โฟโต้ดีเท็กเตอร์ชนิดลิเนียร์เพื่อลดการผิดเพี้ยนของสัญญาณลงให้น้อยที่สุด

4. สัญญญาณรบกวนภายในอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมต้องมีค่าน้อยที่สุด

โฟโต้ดีเท็กเตอร์ที่ใช้ในงานท้องตลาดมีหลายชนิดเริ่มจาก"โฟโตดีเท็กเตอร์"ธรรมดาดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) มีหลักการทำงานตรงข้ามกับไดโอดเปล่งแสงหรือLED กล่าวคือ เมื่อไดโอดได้รับพลังงานแสงจากภายนอก จะทำให้เกิดโฟตรอนขึ้นในบริเวณปลอดพาหะหรือรอยต่อ P-Nเกิดเป็นกระแสรั่วไหลหรือกระแสมืด (Dark current)ในช่วงนี้หากมีการไบแอสให้กลับไดโอดบริเวณปลอดพาหะจะขยายกว้างขึ้นเป็นผลให้มีกระแสไหลมากขึ้น ทิศทางการไหลของกระแสเนื่องมาจากแสงนี้มีทิศทางเดียวกับการไบแอสกลับคือจะไหลจากขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟเข้าสู่ขั้วแคโทดของไดโอด

การเพิ่มบริเวณปลอดพาหะให้กว้างขึ้นนอกจากทำได้โดยการเพิ่มค่าแรงดันไบอัสกลับของโฟโต้ไดโอดแล้ว อาจทำได้โดยตรงกับโครงสร้างภายในของมันโดยแทรกสารแบบอินทรินซิก (I)ไว้ระหว่างรอยต่อ P-N ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า เป็นโฟโต้ไดโอดชนิด PIN ดังแสดงในรูปที่ 4 (ข) ซึ่งช่วยให้ได้กระแสไหลมากขึ้นกว่าไดโอดแบบธรรมดาเมื่อมีแสงตกกระทบ จากผลของโครงสร้างแบบPIN ทำให้โฟโต้ไดโอดชนิดนี้มีโหมดการทำงานได้สองแบบ คือโหมดโฟโต้วอลตาอิก ซึ่งจะผลิตกระแสเมื่อแสงตกกระทบโดยไม่ต้องมีการไบแอสเลย และ โหมดโฟโต้คอนดักตีฟ เป็นการทำงานเมื่อมีการไบแอสกลับให้กับตัวมัน

โฟโต้ไดโอดแบบอะวาลานซ์(APD)อาศัยหลักการทำงานเช่นเดียวกับอะวาลานซ์ไดโอด ทำให้มีกระแสไหลมากขึ้นกว่าโฟโต้ไดโอดธรรมดาหลายเท่า แต่ก็มีข้อเสียตรงที่มีความไวต่ออุณหภูมิสูงและเกิดสัญญาณรบกวนมากการใช้งานโฟโต้ไดโอดแบบอะวาลานซ์จำเป็นต้องใช้แรงดันไบแอสกลับค่อยข้างสูง(ประมาณ 40-400 โวลท์) แต่ก็ผลดีเพราะทำให้เวลาตอบสนองสัญ

ในแนวนอน 120 องศา

เลเซอร์ไดโอด(Laser Diode)

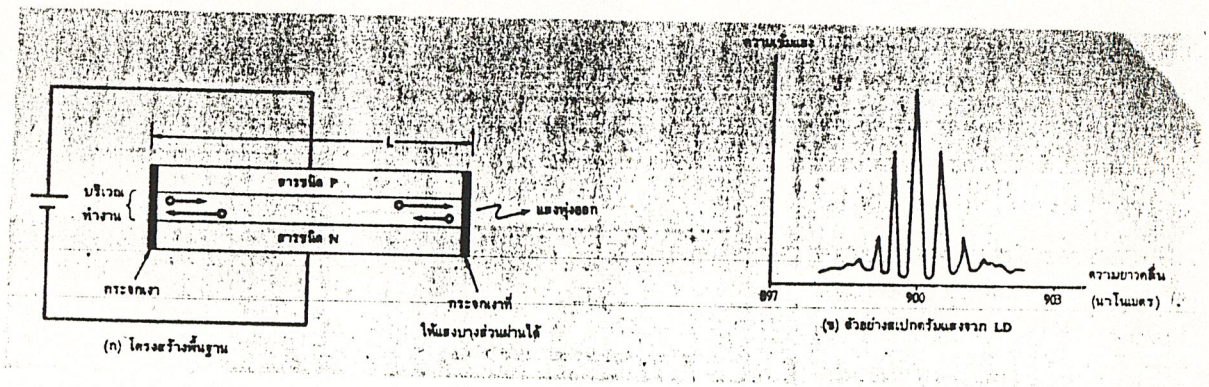
เลเซอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทเดียวกันกับไดโอดแต่ถูกออกแบบให้สามารถเปล่งแสงเลเซอร์ออกมาได้ ลักษณะของแสงเลเซอร์เป็นแสงที่เป็นระเบียบ มีการพุ่งทิศทางของแสงไปในทางเดียวกันและมีเฟสตรงกันทำให้มีความเข้มแสงมากขึ้น ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของเลเซอร์ไดโอดแสดงดังรูปที่ 3(ก) ซึ่งประกอบด้วยสารแบบเดียวกับที่ใช้ทำ LED ดังกล่าวมาแล้วแต่ที่ปลายทั้งสองด้านถูกเคลือบด้วยสารที่ทำหน้าที่เสมือนกระจกเงา

เมื่อมีการไบแอสที่เหมาะสมทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโฟตรอนในระหว่างเขตปลอดพาหะ เมื่อโฟตอนเคลื่อนที่ไปกระทบโฟตรอนตัวอื่นจะมีการถ่ายเทพลังงานทำให้เกิดมีโฟตรอนตัวใหม่เพิ่มขึ้นมากมายและสะท้อนกลับไปกลับมาบริเวณรอยต่อ อันเนื่องมาจากกระจกเงาที่ปลายทั้งสองพฤติกรรมเช่นนี้ทำให้เกิดการสะสมพลังงานภายในมากขึ้นอย่างเป็นระเบียบเมื่อมีพลังงานมีค่ามากพอจะพุ่งทะลุกระจกเงาด้านหนึ่งออกมาเป็นแสงเลเซอร์

หลักการทำงานที่กล่าวมานี้เป็นแนวทางการเกิดแสงเลเซอร์อย่างคร่าวๆ

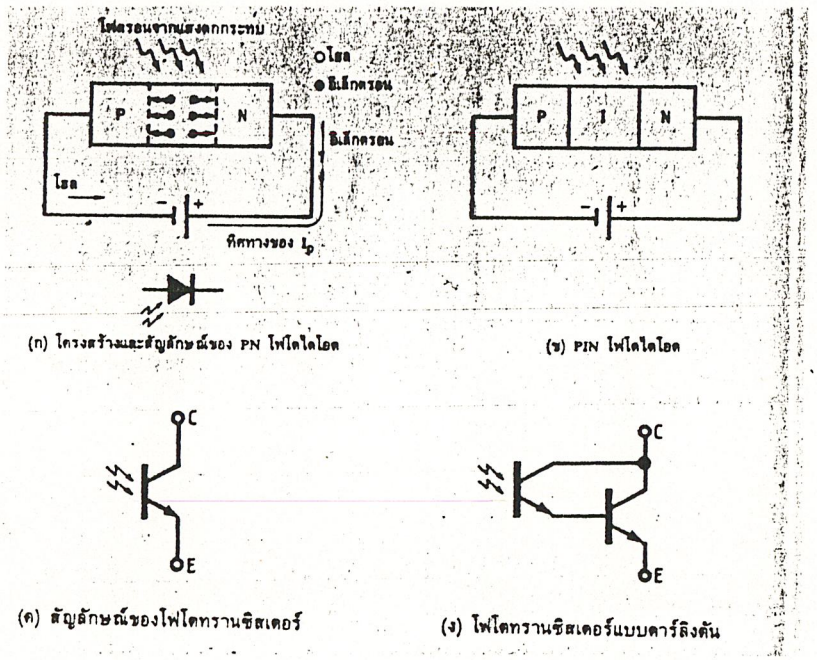
การไบแอสเลเซอร์ไดโอดให้ทำงานจนเปล่งแสงเลเซอร์ออกมาได้ขึ้นอยู่กับค่าของกระแสที่ป้อนให้กับตัวมัน โดยจะต้องมีค่าสูงกว่าค่ากระแสเทรชโฮลด์(I_{th})ที่กำหนดตามสเปกของมัน หากกระแสไบแอสมีค่าต่ำกว่ากระแสเทรชโฮลด์เลเซอร์ไดโอดยังคงทำงานอยู่ แต่แสงที่เปล่งออกมาจะมีลักษณะสะเปะสะปะคล้ายกับการเปล่งแสงของ LED ธรรมดา

ในอดีตกระแสเทรชโฮลด์ของเลเซอร์ไดโอดมีค่าสูงมาก ทำให้การใช้งานเลเซอร์ไดโอดถูกกำจัดในวงแคบ เพราะต้องออกแบบวงจรที่ค่อนข้างยุ่งยาก แต่ในปัจจุบันเลเซอร์ไดโอดถูกออกแบบให้ใช้กระแสเทรชโฮลด์เพียงไม่กี่มิลลิแอมป์ทำให้สามารถสร้างวงจรขับหรือไดร์เวอร์ขึ้นได้ง่าย



ญาณสั้นมากโฟโต้ทรานซิสเตอร์นับเป็นโฟโต้ดีเท็กเตอร์อีกชนิดหนึ่งที่พวกเราคุ้นเคยกันดี หลักการทำงานของมันจะขึ้นกับขนาดความเข้มแสงที่ตกกระทบเปรียบเสมือนกับการต่อโฟโต้ไดโอดเข้ากับขาเบสของทรานซิสเตอร์เมื่อแสงที่มีความเข้มสูงตกกระทบกระแสไหลผ่านโฟโต้ไดโอดที่ขาเบสจะมีค่ามาก ทำให้กระแสที่ขาคอลเล็คเตอร์ (I_c)มีค่ามากขึ้นในรูปที่ 4 (ค)เป็นโฟโต้ทรานซิสเตอร์แบบธรรมดาส่วนรูปที่ 4(ง)เป็นโฟโต้ทรานซิสเตอร์แบบดาร์ลิงตัน ที่สามารถจ่ายกระแส(I_c)ได้มากกว่าแบบธรรมดาเมื่อมีแสงตกกระทบเท่ากัน

ข้อดีของโฟโต้ทรานซิสเตอร์คือ สามารถดีเท็กสัญญาณที่มีขนาดความเข้มแสงน้อยๆได้ดี แต่มีช่วงเวลาตอบสนองสัญญาณค่อนข้างช้า คือ มีช่วงเวลาขาขึ้น(rise time ,t_r)ประมาณ 10 ไมโครวินาทีซึ่งไม่เหมาะกับข้อมูลขนาดใหญ่ในการใช้งานกับระบบที่มีข้อมูลจำนวนมากหรือแบนวิทสูงๆ(ประมาณ100 MH_zขึ้นไป)จะใช้โฟโต้ทรานซิสเตอร์ชนิด PIN FET ที่มีโครงสร้างเป็นวงจรรวมเสมือนมีPINโฟโต้ไดโอดเป็นตัวดีเท็คสัญญาณและมีวงจรทรานซิสเตอร์แบบ FET เป็นตัวขยายสัญญาณอยู่ในตัวถังเดียวกันจากหลักการทำงานนี้ทำให้ได้โฟโต้ดีเท็คเตอร์ที่มีความไวในการรับสัญญษณสูงและมีค่าสัญญาณรบกวนต่ำ



วงจรไดร์เวอร์

วงจรไดร์เวอร์หรือวงจรขับสัญญาณเป็นส่วนที่สำคัญที่จะช่วยให้แหล่งกำเนิดแสง ที่เป็น LEDหรือเลเซอร์ไดโอด ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลักษณะวงจรไดร์เวอร์สำหรับ LED ค่อนข้างแตกต่างจากวงจรของเลเซอร์ไดโอด ทั้งนี้เนื่องจากLED มีคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นในการเปล่งแสงตามค่ากระแสไบแอสโดยตรงทำให้เหมาะสมสำหรับระบบสื่อสารที่ ใช้-ข้อมูลแบบอะนาล็อกในขณะที่พลังงานแสงที่เปล่งออกมาจากเลเซอร์ไดโอด มักมีการเปลี่ยนแปลงสูงมากอย่างรวดเร็วทั้งๆที่กระแสไบแอสที่มากกว่ากระแสเทรชโฮลด์(I_{th}) มีค่าเพิ่ม-ขึ้นเล็กน้อย จึงนิยมใช้เลเซอร์ไดโอดกับวงจรขับสัญญาณที่มีข้อมูลเป็นแบบดิจิตอล

วงจรสำหรับ LED

แม้ว่า LED จะเหมาะสำหรับการส่งสัญญาณแบบอะนาล็อกแต่ในระบบสื่อสารระยะใกล้สามารถใช้ส่งข้อมูลที่เป็นดิจิตอลได้ ดังเช่นวงจรในรูปที่ 5ซึ่งเป็นวงจรใช้งานแบบง่ายซึ่งในวงจรในรูปที่ 5 (ก)ใช้สำหรับส่งข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 ทางดิจิตอลโดยค่าของกระแสที่ไหลผ่าน LED (I_F)ถูกกำหนดโดยกระแสคอลเล็คเตอร์(I_C)ของทรานซิสเตอร์Q1และคำนวณได้ด้วย

$$I_F = I_C = (V_{CC} - V_F)/R1$$

เมื่อ V_F เป็นแรงดันตกคร่อม LED ขณะไบอัสตรง มีค่าตามสเปกที่กำหนด

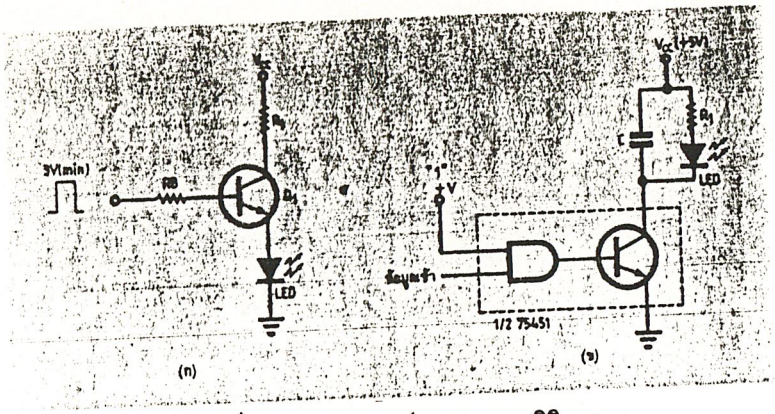
กระแสเบส I_B เป็นตัวควบคุมกระแส I_C อีกทีหนึ่งตามสูตรของ$I_B = I_C/\beta$ เมื่อ β คือ กำลังขยายของทรานซิสเตอร์ และ I_B คำนวณได้จาก

$$I_B = (V_{i(max)} - V_{BE} - V_F)/R_B$$

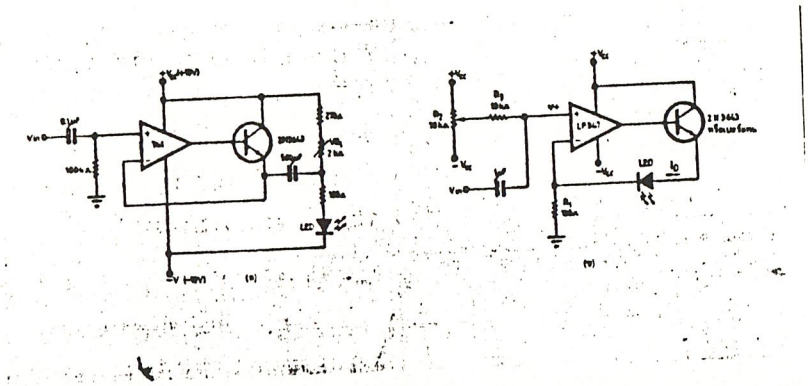
เมื่อ $V_{i(max)}$ คือ ค่าแรงดันสูงสุดของสัญญาณเข้า หรือก็คือระดับแรงดันขณะข้อมูลทางดิจิตอลเป็น "1"วงจรในรูปที่ 5 (ข) เป็นอีกลักษณะหนึ่งของการส่งข้อมูลดิจิตอลที่มีเสถียรภาพมากกว่าวงจรในรูปที่ 5 (ก)โดยใช้ไอซีเบอร์ 75451 หรือ 75450 เพียงบางส่วน ที่ขาหนึ่งของแอนด์เกตถูกกำหนดให้มีสภาวะทางลอจิกเป็น "1" (+5V)ขาที่เหลือใช้สำหรับส่งข้อมูล โดยขณะข้อมูลเป็น "1" LED จะไม่ทำงานและเมื่อข้อมูลเป็น "0" LEDจะส่งสัญญาณแสงออกมา ส่วนตัวเก็บประจุ (C)ใช้สำหรับลดผลของการเกิดแรงดันกระชากซึ่งปกติจะใช้ค่าประมาณ 1 uF และค่าของตัวต้านทาน R1 สามารถคำนวณได้จากกระแสไบอัสตรง I_F ของ LED ที่กำหนดตามสเปกของมัน โดยใช้สูตรการคำนวณ

$$R1 = (V_{CC} - V_F)/I_F$$

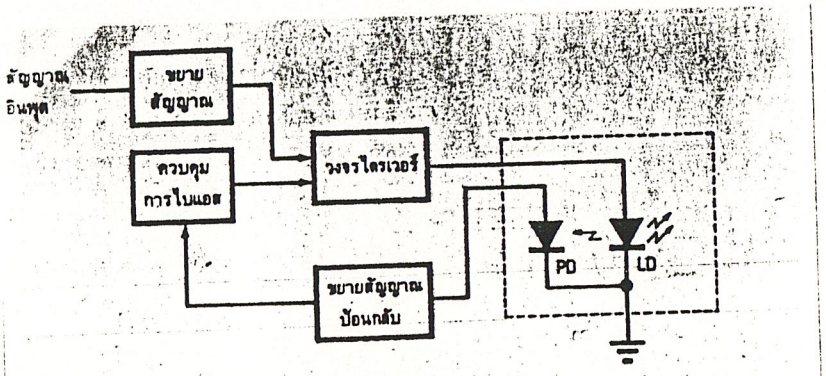
วงจรไดร์เวอร์ LED สำหรับสัญญาณอะนาล็อก แสดงดังในรูปที่ 6 (ก)เป็นตัวอย่างที่ถูกออกแบบให้มีค่ากระแสไบแอส LED อยู่ระหว่าง 7.5-40 มิลลิแอมป์ ขึ้นกับค่าของตัวต้านทาน VR1ขนาดของสัญญาณอินพุทควรมีค่าอยู่ระหว่าง +2 โวลต์ซึ่งจะถูกแปลงเป็นกระแสไหลผ่าน LEDที่มีกระแสระหว่าง บวก ลบ 10 มิลลิแอมป์



รูปที่ 5 วงจรไดรเวอร์ LED แบบดิจิตอล



รูปที่ 6 วงจรไดรเวอร์ LED แบบอะนาลอก



รูปที่ 7 บล็อกการทำงานของวงจรเลเซอร์ไดโอด

วงจรดีเท็คเตอร์

ในตอนต้นได้กล่าวถึงโหมดการทำงานของโฟโต้ไดโอดไปบ้างแล้ว ลักษณะวงจรทำงานในแบบของโหมดโฟโตวอลตาอิกแสดงในรูปที่ 8 (ก) โดยการต่อโฟโตไดโอดอนุกรมกับตัวต้านทานโหลด R_L เมื่อมีแสงตกกระทบจะเกิดกระแสไหล ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมโหลด R_L มีค่าเท่ากับ $I_p \times R_L$ เมื่อ I_p คือกระแสที่ไหลในวงจรอนุกรมซึ่งมักมีค่าไม่มากหากต้องการให้กระแส I_p มีค่ามากขึ้น ต้องเพิ่มแรงดันไบอัสให้กับโฟโต้ไดโอด ดังรูปที่ 8 (ข) เพื่อให้เกิดการทำงานในโหมดโฟโตคอนดักทีฟ

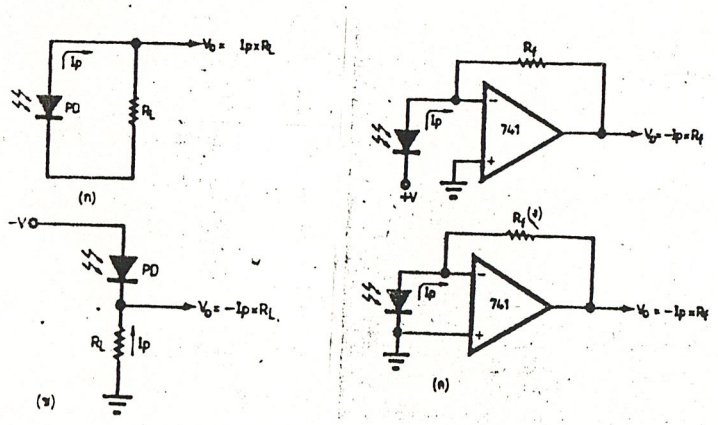
ในทางปฏิบัติมักจะใช้วงจรที่ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมโฟโตไดโอดมีค่าคงที่ตลอดเวลา เพื่อช่วยให้สามารถสร้างกระแส I_p ได้อย่างมีเสถียรภาพดังเช่นวงจรในรูปที่ 8 (ค) และรูปที่ 8 (ง) ที่ทำงานในโหมดต่างกัน แต่ค่าของแรงดันเอาท์พุต V_{out} ที่ต้องการมีค่าเป็นไปตามสมการเดียวกันคือ

$$V_{out} = I_p \times R_f$$

วงจรในรูปที่ 8 (ง) ที่มีโหมดการทำงานแบบโฟโตคอนดักทีฟจะทำงานได้เร็วกว่าวงจรในรูปที่ 8 (ค) ซึ่งเป็นชนิดโหมดโฟโตวอลตาอิก ค่าของกระแส I_p เป็นผลอันเนื่องมาจากผลของแสงตกกระทบ และคำนวณได้จาก

$$I_p = R \times P_{in}$$

เมื่อ R เป็นค่าของกระแสต่อพลังงาน (แอมป์แปร์/วัตต์) กำหนดด้วยสเปกของมัน และ Pin เป็นพลังงานแสงหรือขนาดความเข้มแสงที่ตกกระทบโฟโตไดโอด ในการออกแบบวงจรต้องคำนึงถึงค่ากระแสมืดที่เกิดจากตัวโฟโต้ไดโอดขณะมีการไบอัสกลับรวมเข้าไปกับ I_p ด้วย จึงจะได้ค่าจริงออกมา วงจรในรูปที่ 9 เป็นวงจรโฟโต้ไดโอดที่ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นส่วนขยายสัญญาณขั้นต้นโดยที่วงจรในรูปที่ 9 (ก) เหมาะสำหรับการใช้งานในระบบอะนาล็อกและวงจรในรูปที่ 9 (ข) นั้นใช้กับระบบดิจิตอล



รูปที่ 8 วงจรทำงานของโฟโตไดโอด

บทที่ 2
ฮาร์ดแวร์ที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารข้อมูล

พอร์ต RS-232c

โดยปกติไมโครคอมพิวเตอร์จะมีพอร์ตที่เป็นแบบอนุกรม เรียกชื่อกันว่า RS-232C อยู่ในตัวเองอยู่แล้ว พอร์ต RS232-C นี้ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลในแบบอนุกรมเรียกว่า Universal Asynchronous Adapter เหตุที่มีชื่อเรียกว่า RS-232C ก็เนื่องจากสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์ของอเมริกาหรือ EIA ได้กำหนดมาตรฐานของอุปกรณ์การสื่อสารแบบอนุกรมเอาไว้ภายใต้ชื่อว่า RS232C ความจริงมาตรฐานการส่งข้อมูลมีหลายมาตรฐาน แต่ที่นิยมมากที่สุดสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์ก็คือ RS232-C

หน้าที่สำคัญของการสื่อสารแบบอะซิงโครนัสคือ

รับสัญญาณ

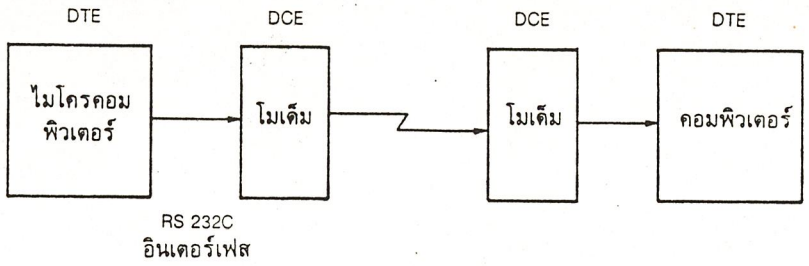
1. เปลี่ยนสัญญาณเข้ามาแบบอนุกรมให้เป็นแบบขนาน
2. ตรวจสอบความผิดพลาดของสัญญาณที่รับ
3. ตัดสต็อปบิตและพาริตี้บิตออก
4. ส่งสัญญาณให้ซีพียูรู้ว่ารับสัญญาณไว้แล้ว

ส่งสัญญาณ

1. เปลี่ยนสัญญาณแบบขนานจากซีพียูค่อยทยอยส่งออกเป็นแบบอนุกรม
2. เพิ่มสต็อบบิตและพาริตี้
3. เพิ่มสัญญาณควบคุมโมเด็มที่ต่อเชื่อม(ถ้ามี)

มาตรฐาน RS232C

มาตรฐาน RS232C ได้จัดพิมพ์ขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1969 โดยสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แห่งสหรัฐอเมริกา RS ย่อมาจาก Recommened Standard ส่วน 232 เป็นหมายเลขบ่งบอกของมาตรฐานตัวนี้ C เป็นหมายเหตุของฉบับท้ายสุดของมาตรฐานนี้ จุดประสงค์ของมาตรฐานตัวนี้ก็เพื่อบรรยายคุณลักษณะของการเชื่อมต่ออุปกรณ์รับส่งข้อมูลปลายทาง(Data Terminal Equipment DTE) กับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล (Data Communication Equipment DCE) สำหรับผู้ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ DTE หมายถึง ตัวไมโครคอมพิวเตอร์ และ DCE หมายถึงโมเด็ม อุปกรณ์อื่นๆเช่น เครื่องพิมพ์ที่รับสัญญาณแบบอนุกรมอาจจะเป็นได้ทั้ง DTE และ DCE



รูปที่ 2.1 การใช้ RS232C เชื่อมต่ออุปกรณ์

ขึ้นกับผู้ผลิต ข้อแตกต่างของ DTE และ DCE จะเห็นได้จาก รูปที่ 1 จากรูปนี้เราจะเห็นได้ว่า RS232C มีส่วนสำคัญอย่างใหญ่หลวงสำหรับการสื่อสารข้อมูลระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์ความจริงอีกประการหนึ่งของ RS232C ก็คือ ความเร็วและระยะทางของการเชื่อมต่อ RS232C สามารถเชื่อมต่อการถ่ายโอนข้อมูลได้จาก 0-20,000 บิตต่อวินาที ซึ่งเพียงพอสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์ที่ขนาดอัตราบอด 110 - 9600 ความยาวของสายเชื่อมต่อโดยสัญญาณมาตรฐานของ RS232C จำกัดอยู่แค่ 50 ฟุต ซึ่งเพียงพอสำหรับการสื่อสารไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์รอบนอก

ลักษณะของสัญญาณ RS232 C

เพื่อเป็นหลักประกันว่าข้อมูลถูกส่งออกไปอย่างถูกต้อง และอุปกรณ์ถูกควบคุมอย่างถูกต้อง จำเป็นจะต้องมีข้อตกลงกันในเรื่องของสัญญาณที่ใช้ มาตรฐาน RS232C กำหนดย่านของแรงดันไฟฟ้าในสัญญาณเพื่อสนองจุดประสงค์ข้างบน ดังแสดงในตารางที่ 1 และ รูปที่ 2.2

มาตรฐานของการใช้แรงดันไฟฟ้า			
แรงดันไฟฟ้า	สถานภาพลอจิก	สถานภาพของสัญญาณ	ฟังก์ชันในการควบคุม
บวก	0	สเปซ	ออน
ลบ	2	มาร์ค	ออฟ

+15v ——————————————————————

ย่านแรงดันไฟฟ้าบวก

+3v ——————————————————————

ย่านเปลี่ยนแปลงระดับ

-3v ——————————————————————

ย่านแรงดันไฟฟ้าลบ

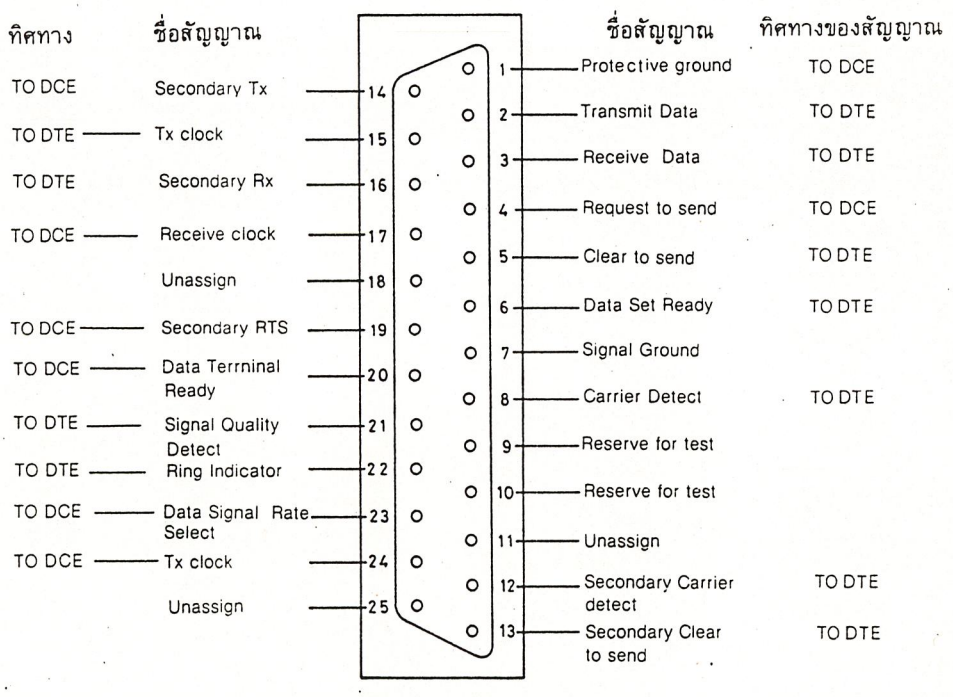
-15v ——————————————————————

รูปที่ 2.2

สำหรับไมโครคอมพิวเตอร์บางเครื่อง ใช้แต่สัญญาณลอจิกออกมาเป็นสัญญาณของ RS232C เลยอย่างเช่น อะซิงโครนัสอะแดปเตอร์ของ IBM PC

การกำหนดจุดข้อต่อของ RS232C

ในทางฟิสิกส์แล้ว มาตรฐานของ RS232C กำหนดข้อต่อแบบ DB-25 แต่ละขาของข้อต่อกำหนดไว้ในรูปที่ 2.3 อย่างไรก็ตามผู้ผลิตไมโครคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.3 การกำหนดของข้อต่อ RS232

สัญญาณต่างๆถูกมอบหมายให้ทำหน้าที่ดังนี้

Transmit Data(TD ขาที่ 2)

เป็นสัญญาณที่ส่งออกจาก DTE (หรือตัวไมโครคอมพิวเตอร์)ไปยังโมเด็มหรือต่อเข้าโดยตรงกับไมโครคอมพิวเตอร์ตัวอื่น หรือ เครื่องพิมพ์ เมื่อไม่มีสัญญาณส่งออกสถานะภาพของลอจิกที่ขานี้จะมีค่าเท่ากับ "1"หรือเทียบเท่ากับสต็อบบิต

Receive Data(RD ขาที่ 3)

เป็นทางของสัญญาณเข้าไปยัง DTE หรือไมโครคอมพิวเตอร์เมื่อไม่มีสัญญาณรับเข้ามาขานี้จะมีสถานภาพทางลอจิก เป็น "1"

Request To send(RTS ขาที่ 4)

ใช้สำหรับส่งสัญญาณไปยังโมเด็มหรือเครื่องพิมพ์เป็นการเรียกร้องที่จะส่งสัญญาณมาทางขา 2 สัญญาณนี้ใช้คู่กับ CTS หรือ Clear to send อุปกรณ์รับหากได้รับสัญญาณ RTS จะตรวจสอบตัวเองว่าพร้อมจะรับสัญญาณได้หรือยังหากพร้อมที่จะรับก็ส่งสัญญาณออกไปที่สาย CTS

Clear to send(CTS ขาที่ 5)

ดังอธิบายไว้ใน RTS เมื่อสัญญาณนี้อยู่ในสถานะออฟ(negative voltage หรือลอจิก "1")หมายความว่า อุปกรณ์รับกำลังบอกว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลแล้ว

Data set Ready(DSR ขาที่ 6)

เมื่อสัญญาณสายนี้อยู่ในสถานะออน(หรือลอจิก 0)เป็นการบอกไมโครคอมพิวเตอร์หรือฝ่ายส่งว่าโมเด็มต่อเข้ากับสายโทรศัพท์เรียบร้อยแล้วและพร้อมที่จะส่งได้แล้วโมเด็มที่มีการหมุนหมายเลขอัตโนมัติจะส่งสัญญาณสายนี้ไปบอกให้คอมพิวเตอร์รู้ว่าต่อโทรศัพท์ได้สำเร็จแล้ว

Signal Ground(SG ขาที่ 7)

SG ทำหน้าที่เป็นระดับแรงดันอ้างอิงสำหรับทุกๆสายของสัญญาณ จะมีแรงดันเป็น "0" เมื่อเทียบกับสัญญาณอื่น

Carrier Detect(CD ขาที่ 8)

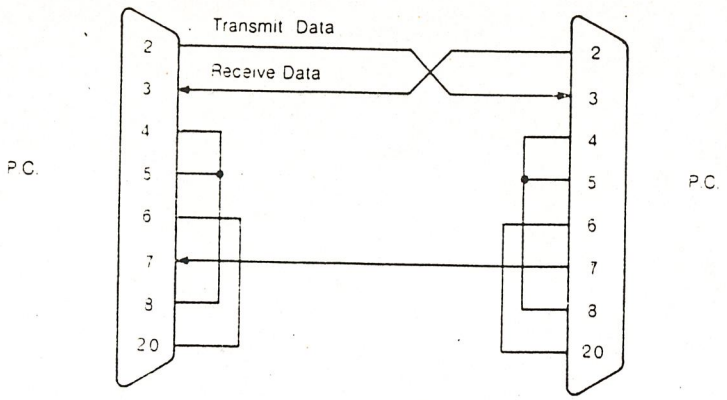
โมเด็มจะส่งสัญญาณที่อยู่ในสถานะออน(ลอจิก"0")ไปบอกไมโครคอมพิวเตอร์ เมื่อได้รับสัญญาณจากโมเด็มของอีกฝ่ายหนึ่ง สัญญาณนี้จะนำไปจุด LED บอกว่าได้รับสัญญาณจากโมเด็มอีกฝ่ายหนึ่งแล้ว ไฟ LED จะอยู่บนหน้าปัดของโมเด็มเอง

Data Terminal Ready(DTR ขาที่ 20)

คอมพิวเตอร์เปิดสัญญาณสายนี้ให้ออน(ลอจิก "0")เมื่อพร้อมที่จะติดต่อกับโมเด็ม โมเด็มส่วนมากจะไม่รายงานสถานภาพของตัวเอง(CD,DSR และ CTS)ให้คอมพิวเตอร์รู้ หากคอมพิวเตอร์ไม่เปิดสัญญาณ DTR

การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับคอมพิวเตอร์โดยตรง

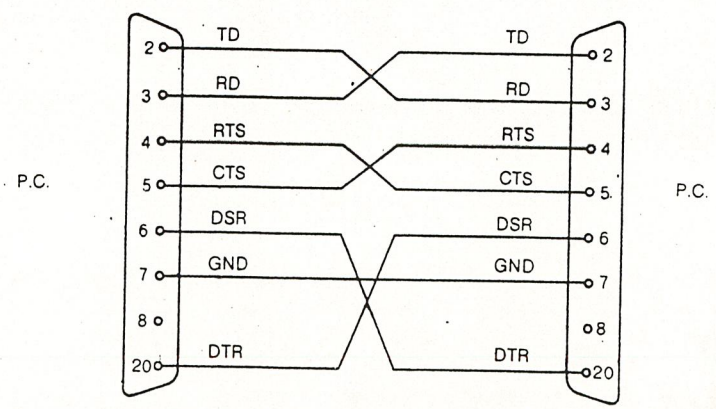
วิธีการต่อ RS232C เข้าระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์โดยตรงมีอยู่หลายวิธีตามแต่ข-บวนที่จะใช้ ถ้าไม่ต้องการมีการตรวจสอบสัญญาณกันก็ต่อ RD เข้า TD ของอีกเครื่องหนึ่ง-



รูปที่ 2.4 การต่อ RS232 แบบง่ายๆ

ปกติ OS ที่ให้บริการเกี่ยวกับพอร์ท RS232 จะส่งสัญญาณ RTS หรือ Request to send ออกมาที่ขา 4 ก่อน เมื่อ CS หรือ Clear to send ที่ขา 5 เป็นลอจิก"1" (หรือไฟลบ) จึงจะเริ่มทำการส่งข้อมูลที่โอปอเรเตอร์บอกให้ส่งออกไปที่เท่าไหร่ ในกรณีที่เป็นการต่อแบบง่ายๆในรูปที่ 2.4 จึงถือว่าเป็นการหลอกคอมพิวเตอร์ส่งข้อมูลได้ทันทีโดยไม่ต้องการความเรียบร้อยของฝ่ายรับสำหรับขา 6 Data Set Ready ต่อเข้ากับขาที่ 20 Data Terminal Ready ก็ทำนองเดียวกัน โดยปกติคอมพิวเตอร์จะถามอุปกรณ์ที่มาต่อพ่วงกับ RS-232C ว่าพร้อมที่จะส่งแล้วหรือยังโดยส่งสัญญาณถามที่ขา 20 และรอคำตอบที่ขา 6

นี่ก็เป็นการหลอกคอมพิวเตอร์เหมือนกัน คือ ถามขาที่ 20 ก็ได้รับคำตอบที่ขา 6 ทันที ในการต่อแบบนี้ฝ่ายรับจะต้องรอรับอยู่ก่อนแล้ว ก่อนที่ฝ่ายส่งจะเป็นผู้ส่งไม่เช่นนั้นข้อมูลที่ส่งออกมาหายแน่ๆ เพราะฝ่ายส่งไม่ได้ตรวจสอบความเรียบร้อยของฝ่ายรับก่อน เราอาจจะต่อสายให้มีการตรวจสอบสัญญาณโต้ตอบ (Hand shake) ที่ดีกว่านี้ ในรูปที่ 2.5 ในกรณีเช่นนี้จะมีการโต้ตอบที่ดีขึ้น เมื่อฝ่ายรับยังไม่พร้อมที่จะรับก็จะยังไม่มีสัญญาณ RTS ออกมา (พอร์ทอนุกรมยังไม่เปิด หรือ open "com1"ในภาษาเบสิกยังไม่ถูกเอ็กซีคิ้ว)ฝ่ายส่งซึ่งถือเอา RTS ของฝ่ายรับเป็น CTS ก็จะยังไม่ส่ง



รูปที่ 2.5 การต่อ RS232 แบบมี handshake

วิธีของการถ่ายโอนข้อมูล

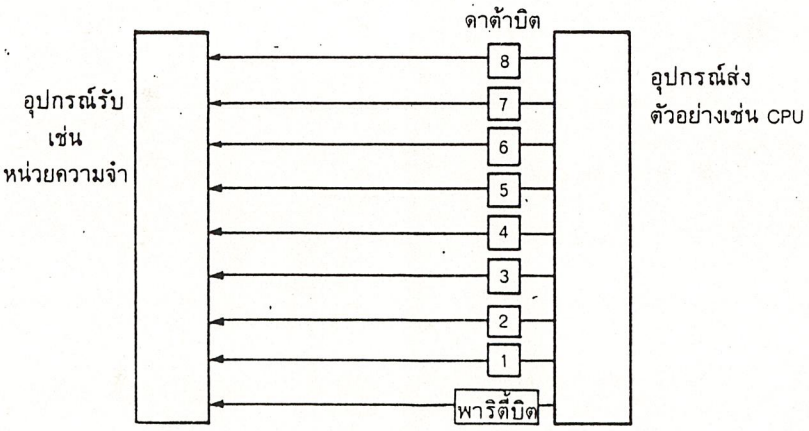
การสื่อสารหรือการถ่ายโอนข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์รับ- ส่งข้อมูลภายนอกสามารถแยกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. การถ่ายโอนข้อมูลแบบขนาน

ลักษณะของการส่งข้อมูลแบบขนาน ทำได้โดยการส่งข้อมูลออกมาทีละ 1 ไบท์ คือ 8 บิตจากอุปกรณ์ส่งไปยังอุปกรณ์รับ ตัวกลางระหว่าง 2 เครื่องจะต้องมีช่องทางให้ข้อมูลเดินทางอย่างน้อย 8 ช่องทางโดยมากจะเป็นสายขนานให้กระแสไฟฟ้าวิ่งมากกว่าจะเป็นตัวกลางชนิดอื่น เนื่องจากมีสัญญาณสูญหายไปกับความต้านทานของสาย ระยะทางระหว่าง 2 เครื่องไม่ควรจะเกิน 100 ฟุตปัญหาที่เกิดขึ้นหากระยะทางของสายมากกว่านี้ก็คือ ระดับของกราวด์ในทางไฟฟ้าที่จุดรับผิดไปจากจุดส่ง ทำให้เกิดการผิดพลาดในการรับสัญญาณลอจิกทางฝ่ายรับ

นอกจากสายที่เป็นทางเดินของข้อมูลแล้วอาจจะมีทางเดินของสัญญาณควบคุมอื่นๆอีกเป็นต้นว่าบิตที่บอกพาริตี้ของสัญญาณเพื่อเป็นการตรวจสอบความผิดพลาดของการรับสัญญาณที่ปลายทาง หรือสายที่ควบคุมการโต้ตอบ(Hand shake)

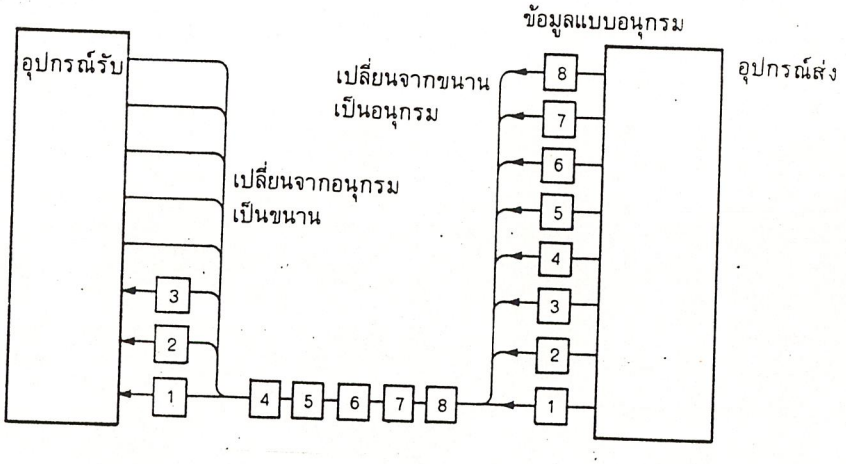
จะเห็นว่าการส่งแบบขนานส่วนมากจะทำในระยะใกล้ๆ เนื่องจากจะต้องมีช่องทางเดินของสัญญาณมากกว่า 8 สายและอุปกรณ์ที่ติดต่อแบบขนานกับคอมพิวเตอร์ก็เห็นจะได้แก่เครื่องพิมพ์



รูปที่ 2.6 การส่งข้อมูลแบบขนาน

2. การถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม

ในการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลถูกส่งออกมาทีละบิต ระหว่างจุดส่งและจุดรับจะเห็นว่าการส่งข้อมูลแบบนี้จะช้ากว่าแบบขนานที่กล่าวมาแล้วแน่นอน แล้วทำไมต้องส่งแบบนี้ คำตอบก็คือ ตัวกลางการสื่อสารต้องการเพียงช่องเดียวหรือสายเพียงคู่เดียวค่าใช้จ่ายในการสื่อสารจะต้องถูกกว่าแบบขนานอย่างแน่นอน สำหรับการส่งระยะทางไกลๆโดยเฉพาะเมื่อเรามีการสื่อสารทางโทรศัพท์ไว้ใช้งานอยู่แล้วย่อมจะเป็นการประหยัดกว่าที่เราจะทำการติดต่อสื่อสารทีละ 8 ช่อง เพื่อการถ่ายโอนข้อมูลแบบขนานอย่างแน่นอน



รูปที่ 2.7 การส่งข้อมูลแบบอนุกรม

รูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นการส่งข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลจากจุดส่งจะถูกเปลี่ยนให้เป็นอนุกรมเสียก่อนแล้วค่อยทยอยส่งออกทีละบิตไปยังจะจุดรับ ณ ที่จุดรับจะต้องมีกลไกในการเปลี่ยนข้อมูลที่ส่งออกมาทีละบิต ให้เป็นสัญญาณแบบขนานซึ่งลงตัวพอดี นั่นคือ บิต 1ลงที่บัสข้อมูลเส้นที่ 1พอดี การที่จะทำให้การแปลงสัญญาณจากอนุกรมทีละบิตให้ลงพอดีนั้นจำเป็นจะต้องมีกลไกที่เหมาะสม เพื่อป้องกันการผิดพลาดในการรับ กลไกที่ว่านี้มี 2 แบบ คือ

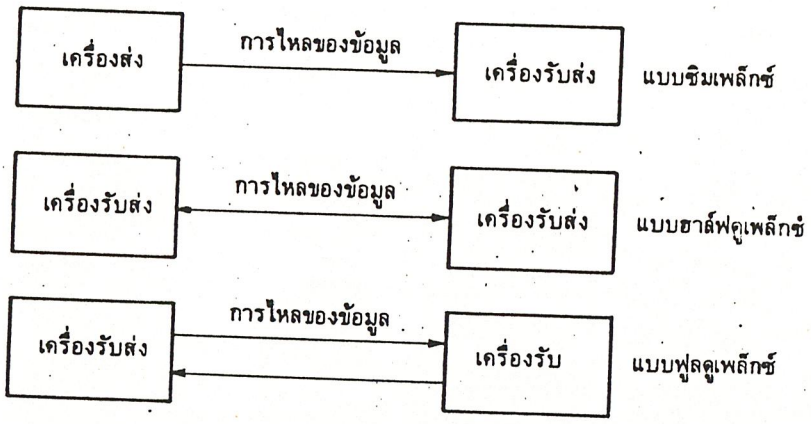
1. การสื่อสารแบบซิงโครนัส
2. การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

รูปแบบของการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม

1. แบบซิมเพล็ก(simplex) ข้อมูลส่งได้ในทางเดียวเท่านั้น บางครั้งเรียกว่าการส่งทิศทางเดียว(Unidirectionnal data bus)

2. แบบฮาล์ฟดูเพล็ก(Halfduplex)ข้อมูลสามารถส่งได้ทั้งสองสถานี แต่จะต้องผลัดกันส่งและผลัดกันรับ จะส่งและรับพร้อมกันไม่ได้

3. แบบฟลูดูเพล็ก(Full duplex) ทั้งสองสถานีรับและส่งได้ในเวลาเดียวกัน



รูปที่ 2.8 รูปแบบของการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม

การส่งแบบฟลูดูเพล็กและฮาล์ฟดูเพล็ก ไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนของสายในการติดต่อ บางครั้งคำว่า ทูไวร์(two wire) หรือสองเส้น และ โฟร์ไวร์(four wire) หรือ 4 เส้น ใช้ในการบรรยายถึงลักษณะการสื่อสารข้อมูลซึ่งอาจจะทำให้เข้าใจและฮาล์ฟดูเพล็ก สายโทรศัพท์ทั่วไปเป็นแบบ 2เส้น ส่วนที่เป็นแบบเช่า(lease line) นั้นส่วนมากจะเป็นแบบ 4 เส้น

ความเร็วในการส่งข้อมูลแบบอนุกรม

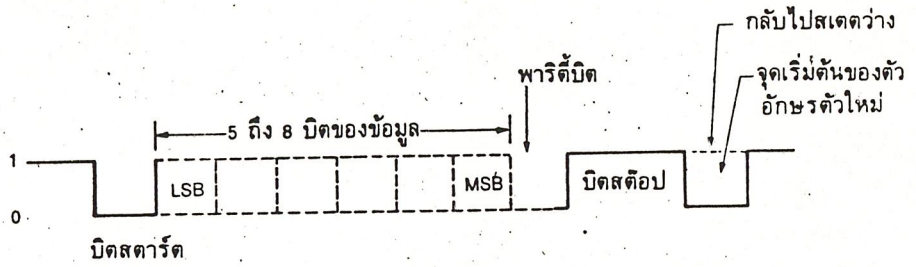
ความเร็วของการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม หน่วยวัดเป็นบิตต่อวินาที (bps) หน่วยที่บรรยายถึงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณใน 1 วินาที เรียกว่า บอดเรท (boud rate) หรืออัตราบอดหลายคนยังเข้าใจสับสนระหว่างอัตราบอดและอัตราบิท(bit rate) การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ 1 ครั้ง อาจจะแสดงถึงการส่งข้อมูลแบบอนุกรมมากกว่า 1 บิตถ้าเขียนในรูปของสมการคณิตศาสตร์เราก็จะได้

อัตราบิต (bit rate) = อัตราบอด(baud rate) x บิตใน 1 บอด

การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

การส่งแบบอะซิงโครนัสนี้ พัฒนามาจากการส่งโทรพิมพ์ในสมัยก่อน ลักษณะของสัญญาณ

เริ่มต้นหรือบิตสตาร์ต(start bit) และบิตสิ้นสุด(stop bit)



รูปที่ 2.9 ฟอร์แมตการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

ขณะที่สถานะของการส่งแบบว่าง(Idle) คือ ยังไม่มีสัญญาณส่งออกมาจะมีสัญญาณหรือมีแรงดัน(หรือกระแส)ตลอดเวลา เพื่อความแน่ใจว่าฝ่ายรับยังติดต่ออยู่กับฝ่ายส่ง เมื่อเริ่มจะส่งข้อมูล สัญญาณของอะซิงโครนัสจะเป็น 0 หนึ่งช่วงสัญญาณนาฬิกา บิตนี้เรียกว่า สตาร์ทบิต ตามหลังของสตาร์ทบิตก็จะเป็นข้อมูลสำหรับ 1 ตัวอักษร ซึ่งอาจจะมีขนาดตั้งแต่ 5 บิต ถึง 8 บิตโดยบิตที่มีค่าน้อยที่สุด(LSB) จะถูกส่งออกมาก่อนไล่ไปจนถึงบิตที่มีค่ามากที่สุด (MSB) การเข้ารหัสอักขระนี้ส่วนมากจะใช้รหัส ASCII แรกเริ่มทีเดียวในงานโทรพิมพ์ เขาใช้รหัส Baudotซึ่งใช้ 5 บิตในการแทนอักขระ 1 ตัวอักษร ตามหลังข้อมูลก็จะเป็นพาริตี้บิต ซึ่งอาจจะใช้หรือไม่ใช้ก็ได้ พาริตี้บิตทำหน้าที่เป็นตัวตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณที่รับได้ พาริตี้อาจจะเป็นแบบคู่ (Even) หรือ คี่ (Odd)หมายความว่า ถ้าหากเป็นพาริตี้คู่ จำนวนบิตที่เป็น 1 ในช่วงบิตข้อมูลกับบิตบิตพาริตี้รวมแล้วจะต้องเป็นจำนวนคู่ ผู้ส่งจะต้องทำหน้าที่ตรวจสอบข้อมูลแล้วใส่พาริตี้เอง ฝ่ายรับเมื่อรับแล้วก็จะตรวจสอบดู่ว่าเป็นจริงดังสถานการณ์ที่ตั้งเอาไว้ หรือไม่ หากผิดพลาดก็หมายความว่า สัญญาณที่รีบนั้นผิดพลาดไปจากสถานีส่งส่งออกมา ทั้งนี้ทั้งนั้นจะต้องผิดเป็นจำนวนคี่เท่านั้น คือ ผิดไป 1 บิต 3 บิต หรือ 5 บิต พร้อมกันจึงจะตรวจสอบได้ว่าผิด มองเห็นง่ายๆ ว่า ถ้าผิดเป็นจำนวนคู่ ผลรวมของจำนวนหนึ่งก็ยังเป็นคู่อยู่ดีทั้งนี้ทั้งนั้นไม่ได้หมายความว่าพาริตี้คี่(Odd Parity)จะตรวจสอบการผิดพลาดเป็นจำนวนคี่ความจริงแล้วตรวจสอบความผิดพลาดได้เหมือนกับพาริตี้คู่(Even Parity) แต่แทนที่จะ-ตรวจสอบดูว่าสัญญาณที่รับเข้ามามีจำนวนคู่ ก็ตรวจสอบดูว่ามีจำนวนคี่หรือเปล่าอย่างไรก็ตามโอกาสที่จะผิดพลาด 2 บิตพร้อมกันมีน้อยมากย้อนกลับมาดู สัญญาณอะซิงโครนัสใหม่ หลังจากบิตพาริตี้แล้วก็จะต้องมีสต๊อปบิตซึ่งเป็น 1 ความกว้างของสต๊อปบิตอาจจะเป็น 1, 1.5 หรือ2 พลัสช์ของสัญญาณนาฬิกา . แล้วแต่ผู้รับและผู้ส่งจะตกลงใช้กันเองการเริ่มต้นใช้พอร์ตอนุกรม(ทางออกอนุกรม)จึงจำเป็นจะต้องตั้งค่าต่างๆสำหรับเป็นการส่งแบบอนุกรมอันได้แก่

1. ความเร็วในการส่ง
2. ความยาวรหัส 1 อักขระ

3. บิตตรวจสอบ

4. จำนวนสต็อบบิต

จะเห็นว่ากลไกในการซิงโครนัสของการสื่อสารอะซิงโครนัส มีลักษณะเป็นไปทีละอักษรจำนวนพลัส์ของสัญญาณที่ส่งออกยังมีส่วนใช้ในการควบคุมการส่งอยู่อันได้แก่ บิตสตาร์ตบิตสต็อปและบิตพาริตี้ ทำให้ความเร็วการส่งอักขระต่อวินาทีน้อยลงไป การสัญญาณด้วยความเร็ว 300 บอดสำหรับการเข้ารหัส 7 บิต ไม่ได้หมายความว่า ส่งได้ 300 หารด้วย 7 อักขระต่อวินาที

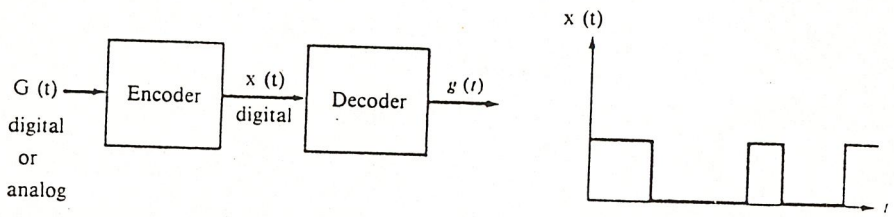
บทที่ 3

การเข้ารหัสข้อมล (Data Encoding)

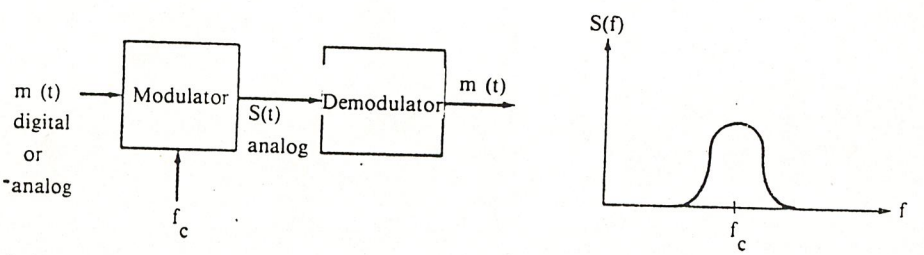
ในการเข้ารหัสและการมอดดูเลชั่น ซึ่งขบวนการดังกล่าวอาจมีข้อมูลต้นกำเนิด เป็นอนาล็อกหรือดิจิตอลก็ได้ และสำหรับเทคนิคในการเข้ารหัสแบบดิจิตอลแล้วรูปแบบของสัญญาณ x(t) จะมีรูปแบบที่หลากหลายซึ่งขึ้นอยู่กับการเลือกเทคนิควิธีในการเข้ารหัสได้เหมาะสมได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการส่งผ่านเข้าไปในตัวกลางนั้นๆตัวอย่างการเลือกการเข้ารหัสบางครั้งบางครั้งเราก็อาจเลือกเพื่อให้สอดคล้องกับแบนท์วิท หรือ เพื่อทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด

ในกรณีของสัญญาณอนาล็อก คุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญประการหนึ่งของสัญญาณก็คือ การมีค่าความถี่ที่คงต่อเนื่อง จึงเป็นคุณสมบัติที่เหมาะจะใช่เป็นสัญญาณนำพาข้อมูล และความถี่ของสัญญาณตัวนำพาใดๆจะถูกเลือกให้เหมาะสมกับตัวกลางที่จะใช้ส่งผ่านโดยการนำพาข้อมูลอาศัยวิธีการ มอดดูเลชั่น ซึ่งถือว่าขบวนการของการเข้ารหัสข้อมูลไปบนสัญญาณตัวนำพาที่มีความถี่ f_c เทคนิคการมอดดูเลชั่นทั้งหมดจะอยู่ภายในขอบเขตของการทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ที่เป็นคุณสมบัติเบื้องต้นของสัญญาณซึ่งได้แก่

- ขนาด (Amplitude)
- ความถี่ (Frequency)
- เฟส (phase)



(a) Encoding onto a digital signal



(b) Modulation onto an analog signal

รูปที่ 3.1 เทคนิคการเข้ารหัสและการมอดูเลชั่น

ในรูป b สัญญาณอินพุท M(t)จะมีรูปแบบเป็นดิจิตอลหรืออนาล็อกก็ได้โดยเราจะเรียกมันว่า สัญญาณมอดดูเลติ้ง หรือ เบสแบนท์ ผลของการมอดูเลชั่นกับสัญญาณตัวนำพาจะได้สัญญาณ S(t) ที่เรียกว่า สัญญาณที่มอดดูเลทแล้วซึ่งมีแบนท์วิดที่จำกัด และมีแบนท์วิดที่สัมพันธ์กับ f_c โดยมี f_c เป็นตำแหน่งศูนย์กลางของแบนท์ และเนื้อหาต่อจากนี้จะเป็นการกล่าวถึงคุณสมบัติของการเข้ารหัสแบบต่างๆ ซึ่งก็มีจุดประสงค์เพื่อให้ได้คุณสมบัติของสัญญาณที่ดีที่สุดในการส่งผ่าน

การจัดส่งสัญญาณนั้นมี 4 วิธี ตามลักษณะของข้อมูลและสัญญาณ ซึ่งข้อพิจารณาในการเลือกใช้วิธีการจัดส่งสัญญาณทั้ง 4 วิธีนั้นมีดังต่อไปนี้

- Digital data,digital signal :โดยทั่วๆ ไปแล้วอุปกรณ์ที่ใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลดิจิตอลเป็นสัญญาณดิจิตอลจะไม่ยุ่งยากซับซ้อน และมีราคาถูกกว่าอุปกรณ์ที่ใช้มอดดูเลทข้อมูลจากดิจิตอลไปเป็นอนาล็อก

- Analog data,digital signal : การแปลงข้อมูลอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ได้มีการนำมาใช้กันในการส่งผ่านแบบดิจิตอลแบบใหม่กับอุปกรณ์สวิทชิ่ง

- Digital data,Analog signal : สำหรับตัวกลางการส่งผ่านบางตัว เช่น ไฟเบอร์ออพติกและตัวกลางแบบไร้สาย จะยอมให้สัญญาณอนาล็อกเคลื่อนที่ไปได้เพียงอย่างเดียว

- Analog data,Analog signal : ข้อมูลอนาล็อกในรูปแบบทางไฟฟ้า สามารถส่งผ่านในลักษณะเบสแบนท์ได้ง่ายและถูก ตัวอย่างอันหนึ่งก็ได้แก่ การส่งผ่านเสียงไปในสายโทรศัพท์ ประโยชน์โดยทั่วไปอันหนึ่งของการมอดดูเลทชั่นก็คือ การเลื่อนแบนท์วิทของสัญญาณเบสแบนท์ไปอีกส่วนหนึ่งของสเปคตรัม ด้วยวิธีการดังกล่าวนี้ สัญญาณหลายๆตัว โดยที่แต่ละตัวอยู่ในตำแหน่งของสเปคตรัมที่แตกต่างกัน สามารถใช้ตัวกลางในการส่งผ่านร่วมกันได้วิธีการนี้เรียกว่า การมัลติเพ็ลกทางความถี่

3.1ข้อมูลดิจิตอล,สัญญาณดิจิตอล สัญญาณเบสแบนท์เป็นสัญญาณที่ได้จากการเข้ารหัสโดยตรง โดยที่ยังไม่มีการมอดดูเลชั่นใดๆ ซึ่งในบางโอกาสสำหรับสัญญาณดิจิตอล ตามปกติแล้วโดยทั่วไปเราก็สามารถส่งสัญญาณเบสแบนท์ไปได้โดยไม่ต้องมีการมอดดูเลชั่นเช่นสัญญาณโทรศัพท์เป็นต้น ช่องทางเดินของสัญญาณการส่งผ่านจะเป็นตัวกำหนดรูปแบบของสัญญาณที่ใช้ในการส่งผ่าน การส่งผ่านแบบเบสแบนท์บ่อยครั้งที่จะต้องมีการเปลี่ยนรูปแบบของสัญญาณที่ตัวส่งเพื่อให้สัญญาณที่ส่งไปถึงตัวรับได้ และตัวรับสามารถกู้สัญญาณเดิมกลับคืนมาได้ถูกต้องรูปแบบของสัญญาณดังกล่าวนี้อาจจะกำหนดด้วยรูปร่างหรือรหัส ที่ยังคงรักษาคุณลักษณะเบสแบนท์ของสัญญาณดิจิตอลเอาไว้ได้เทคนิคที่จะได้กล่าวถึงในที่นี้ก็จะนำไปใช้กับระบบสายเคเบิลทั้งแบบโลหะและเส้นใยนำแสงที่ใช้การส่งผ่านแบบเบสแบนด์

คุณสมบัติต่างๆที่สำคัญในการส่งผ่านแบบเบสแบนท์ที่ใช้รูปร่างหรือรหัสของสัญญาณมีดังต่อไปนี้

- ข่าวสารทางเวลาที่เหมาะสม (Adequate timing information)

เทคนิครหัสเบสแบนท์ที่ดีจะต้องทำให้จำนวนการเปลี่ยนแปลงสถานะของข้อมูลมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของวงจรกู้สัญญาณเวลาให้ดีขึ้นทั้งค่าของบิทข้อมูลและสัญลักษณ์ในการซิงค์(Synchronization)

- การตรวจสอบความผิดพลาด และการแก้ไขให้ถูกต้อง (Error detection /correction)รหัสที่พิจารณาต่อไปนี้จะมีความสามารถในการตรวจสอบความผิดพลาดอยู่ภายในได้ถ้าเรากำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างกลางระดับสัญญาณ ถ้าคุณสมบัติที่กำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงไปก็จะเป็นการเตือนให้รู้ว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นแม้ว่า การแก้ไขความผิดพลาดเกิดขึ้นแม้ว่าการแก้ไขความผิดพลาดจะไม่สามารถทำได้จากคุณสมบัติของรหัสเบสแบนท์นี้ก็ตาม

- การลดแบนท์วิด (Reduced bandwidth) แบนวิทของสัญญาณดิจิตอลอาจจะถูกลดลงได้โดยการใช้การใช้โครงสร้างตัวกรองสัญญาณที่ละเอียดแน่นอน กับการส่งผ่านแบบมีหลายระดับ หรือ เทคนิคการเข้ารหัสบางแบบอาจจะไม่ได้รับความนิยมเพราะเมื่อเข้ารหัสไปแล้วอาจทำให้ S/N ลดลงหรือจำนวนการเกิด การสอดแทรกระหว่างสัญญาณ (Intersymbo-linterferrence) มีจำนวนมากขึ้น

- รูปร่างของสเปคตรัม (Spectrum shaping) รูปร่างของข้อมูลสามารถเปลี่ยน-แปลงได้ด้วยโครงสร้างของการสแกรมบิ้ง(Scrambling) หรือการกรองซึ่งโครงสร้างเหล่านี้จะถูกเลือกให้เหมาะสมระหว่างสัญญาณกับคุณสมบัติของช่องสัญญาณการส่งผ่าน หรือกับการควบคุมการแทรกสอดระหว่างช่องทางเดินสัญญาณที่แตกต่างกัน

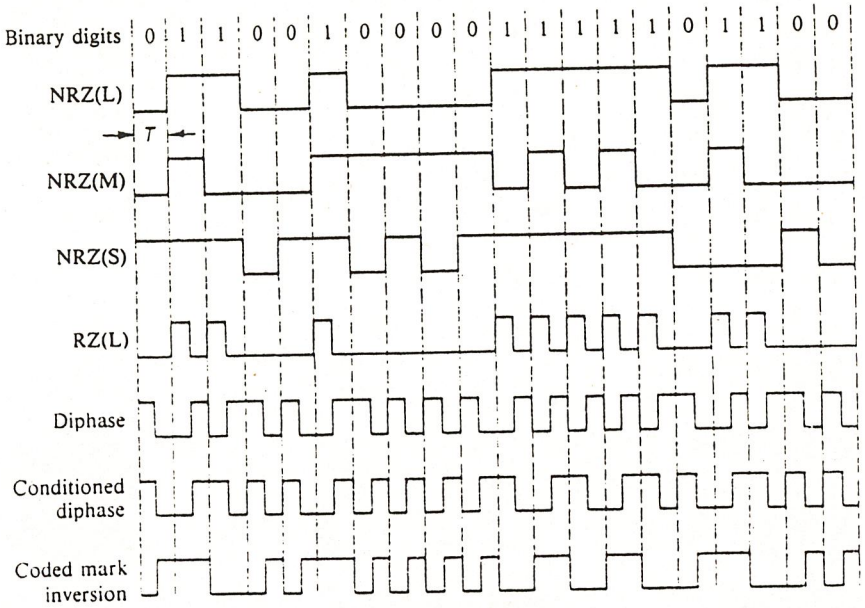
ชนิดของรหัสไบนารี

การเข้ารหัสข้อมูลไบนารีสอดคล้องโดยตรงกับสัญญาณไบนารีที่ใช้ในการส่งผ่าน เงื่อนไขสัญญาณดังกล่าวนี้ทำขึ้นเพื่อให้คุณสมบัติของคลื่นสี่เหลี่ยมเหมาะสมโดยตรงกับการส่งผ่านบนสายเคเบิล สำหรับในที่นี้จะกล่าวถึงประโยชน์โดยทั่วไปของการส่งผ่านแบบไบนารี รวมทั้งแสดงรูปคลื่น,คุณสมบัติและโครงร่างแผนภาพของตัวเข้ารหัสและถอดรหัส

Nonreturn-to-Zero(NRZ)

สำหรับ NRZ ระดับของสัญญาณจะถูกรักษาให้คงอยู่ที่ 1 ใน 2 ระดับของโวลเตจระหว่างช่วงเวลาบิท T ถ้าโวลเตจทั้งสองกำหนดให้เป็น 0 และ V โวลต์ แล้วรูปคลื่น NRZ จะเรียกว่าเป็นขั้วเดียว(Unipolar) เพราะว่ามันมีขั้วศักย์ไฟฟ้าเพียงขั้วเดียว สัญญาณนี้มีองค์ประกอบ DC ที่มีค่าไม่เป็นศูนย์คือเป็นครึ่งหนึ่งของศักย์ไฟฟ้าบวกสัญญาณ NRZ แบบมีขั้วใช้ขั้วสองขั้วคือ ศักย์ + - ซึ่งทำให้องค์ประกอบ DC มีค่าเป็นศูนย์

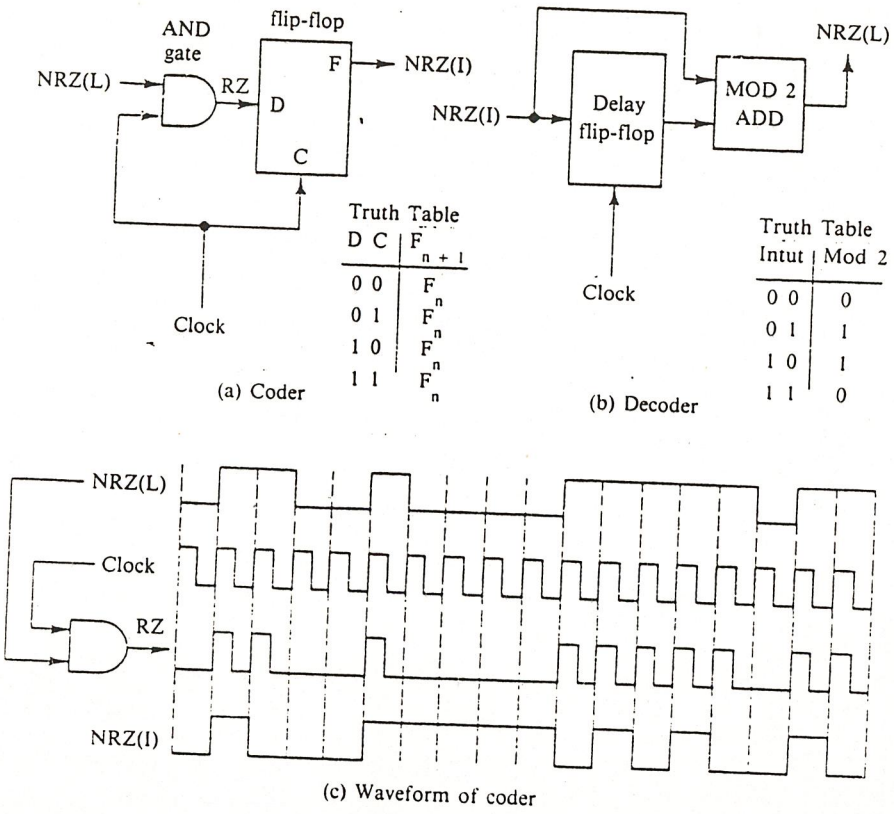
รูปแบบต่างๆ ของ NRZ อธิบายดังในรูปที่ 3.2 ตัวอย่างเช่น NRZ(L)ระดับศักย์ไฟฟ้าของสัญญาณจะเป็นตัวแสดงค่าของบิท การกำหนดของบิท 0 กับ 1ขึ้นอยู่กับระดับศักย์ไฟฟ้าสามารถกำหนดได้อย่างอิสระสำหรับ NRZ(L)



รูปที่ 3.2 รูปคลื่นรหัสไบนารี

แต่ตามแบบแผนโดยทั่วไปแล้วจะกำหนดให้ค่า 1 มีค่าระดับศักย์ไฟฟ้าสูงๆ และค่า 0 มีค่าระดับศักย์ไฟฟ้าต่ำๆ รหัส NRZ(L) เป็นรูปแบบของ NRZ ในการส่งผ่านที่รู้จักกันมากที่สุดเพราะระบบรับและส่งทำได้ง่าย ตัวเข้ารหัส/ถอดรหัส ประกอบด้วยตัวขับและตัวรับอย่างง่ายๆซึ่งคุณสมบัติมาตรฐานได้ถูกกำหนดไว้ในมาตรฐานการเชื่อมต่อระดับ 1

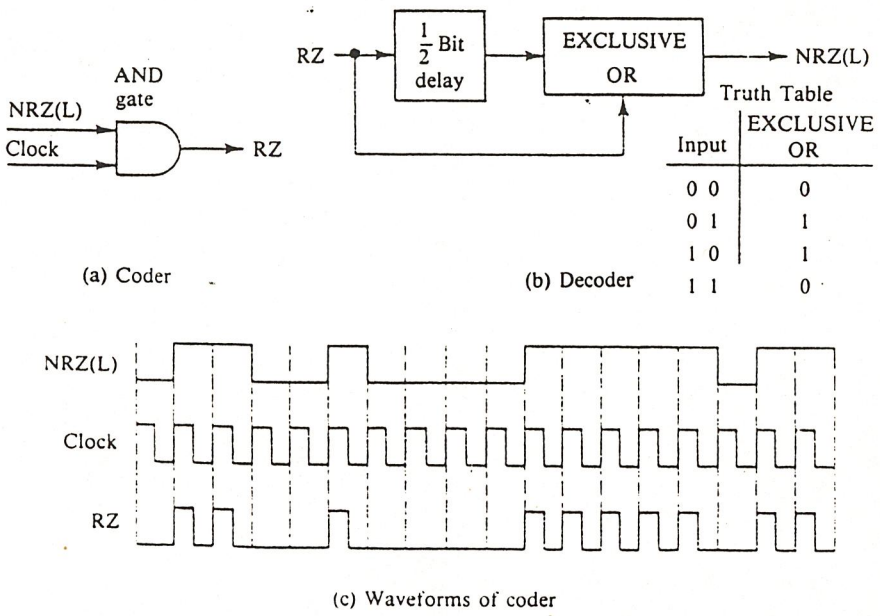
รูปแบบของ NRZ(M)จะใช้การเปลี่ยนระดับสัญญาณแทนค่ามาร์ค(mark) ซึ่งมีค่าเท่ากับลอจิก"1"ส่วนค่าลอจิก"0"จะแทนได้ด้วยการไม่เปลี่ยนระดับของสัญญาณ สำหรับ NRZ(S) ก็จะมีลักษณะทำนองเดียวกันกับ NRZ(M) เพียงแต่จะกลับกันคือ ลอจิก "0" จะแทนด้วยการเปลี่ยนระดับสัญญาณรูปแบบของ NRZ(M,S)ที่กล่าวมาแล้วคือ สับเซตของ NRZ(I)ซึ่งเรียกว่า "conditioned NRZ" ซึ่งอาศัยการเปลี่ยนแปลงระดับมาเป็นตัวกำหนดชนิดของลอจิกหรือค่าไบนารีรูปที่ 7 และตัวเข้ารหัสและถอดรหัสของลอจิก NRZ(I)ข้อได้เปรียบของ NRZ(I) ที่มีเหนือ NRZ(L)ก็คือ มันจะมีภูมิคุ้มกันเนื่องจากการสลับขั้ว เพราะว่าข้อมูลถูกเข้ารหัสด้วยการมีหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงแทนที่จะเป็นการมีหรือไม่มี พลัส์ ดังในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 คุณลักษณะของรหัส NRZ(I)

Return-to-Zero(RZ)

โดยการเข้ารหัส Return-to-Zero(RZ) การแสดงระดับสัญญาณค่าบิท จะกระทำเพียงครึ่งช่วงแรกของช่วงเวลาบิทหลังจากครึ่งหนึ่งของบิทผ่านไป สัญญาณจะเปลี่ยนกลับไปยังระดับสัญญาณอ้างอิง(zero)เป็นเวลาครึ่งหนึ่งของช่วงความยาวบิทตามรูปที่ 3.3 ค่าศูนย์จะถูกแสดงด้วยาการไม่มีการเปลี่ยนแปลงโดยที่สัญญาณจะยังคงอยู่ที่ระดับอ้างอิง ซึ่งมันจะมีประโยชน์ในการเปลี่ยนแปลง (Transition) และทำให้สัญญาณเวลาในการกู้สัญญาณคืนดีขึ้นรูปคลื่นของ RZ สำหรับค่าบิท 1 และ 0 แสดงไว้ดังในรูปที่ 3.2 เปรียบเทียบกับรูปแบบของรหัสตัวอื่นจะสังเกตเห็นว่า ค่าบิท 0 ก็คือค่าของสัญญาณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงซึ่งทำให้เกิดปัญหาเรื่องศักยภาพของวงจรเวลาในการกู้สัญญาณซึ่ง เขาอาจจะกำจัดปัญหาดังกล่าวได้โดยการทำ Precodingตัวเข้ารหัส,รูปคลื่นและตัวถอดรหัสแสดงไว้ในรูปที่ 3.4 รหัส RZ จะถูกสร้างโดยการแอนด์ NRZ(L) กับ สัญญาณเวลาที่ทำหน้าที่เป็นอัตราบิทของระบบ ตัวถอดรหัสจะถอดรหัสได้โดยการหน่วงเวลา RZ ไป 1/2 บิท และนำเอาสัญญาณ RZ ที่หน่วงเวลา



รูปที่ 3.4 คุณลักษณะของการเข้ารหัส Return-to-Zero

Diphase หรือ Manchester

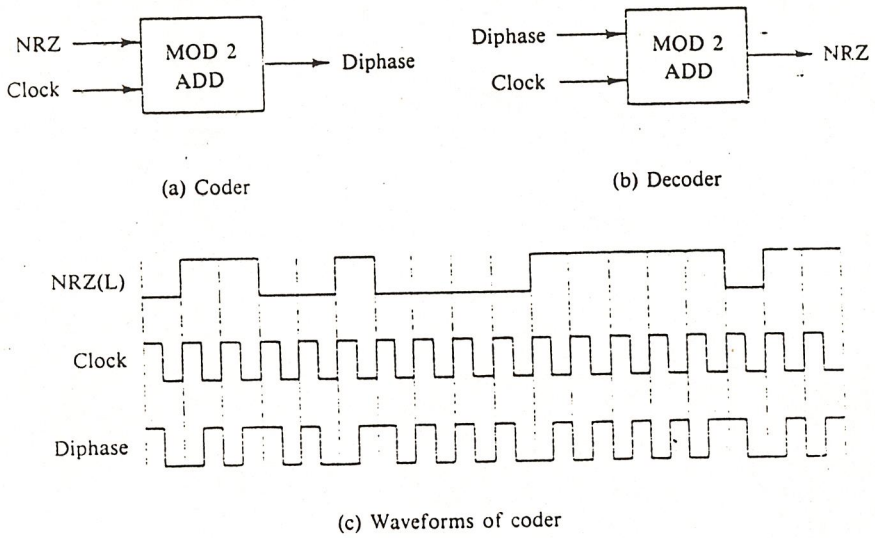
ในบางครั้งอาจเรียกว่า ไบเฟส (diphase) สปลิทเฟส(split phase)และ แมนเชสเตอร์(Manchester) นั้นเป็นวิธีการเข้ารหัสสองระดับดังนี้คือ

$$f_1(t) = \begin{cases} V & 0<t<T/2 \\ -V & T/2<t<t \end{cases}$$

$$f_{2(t)} = -f_1(t)$$

รหัสไดเฟสนี้สามารถสร้างได้จากการนำเอา NRZ(L) เอกคลูซีฟออร์ หรือ Mod 2 ADD กับสัญญาณนาฬิกา ดังในรูปที่ 9 ถ้าเราสมมติว่า 1 ถูกส่งผ่านไปโดยใช้ +v และ 0 ถูกส่งไปโดยใช้ -v จากรูปคลื่นของไดเฟสที่แสดงในรูปที่ 9แสดงให้เห็นชัดว่าจำนวนของการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณจะเพิ่มขึ้นซึ่งจะทำให้การสร้างสัญญาณควบคุมจังหวะเวลาแบบ self timing เพื่อนำมาทำาการกู้สัญญาณดีขึ้น ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบที่สำคัญของไดเฟส การกู้สัญญาณจะทำได้โดยวิธีการเช่นเดียวกับการเข้ารหัส

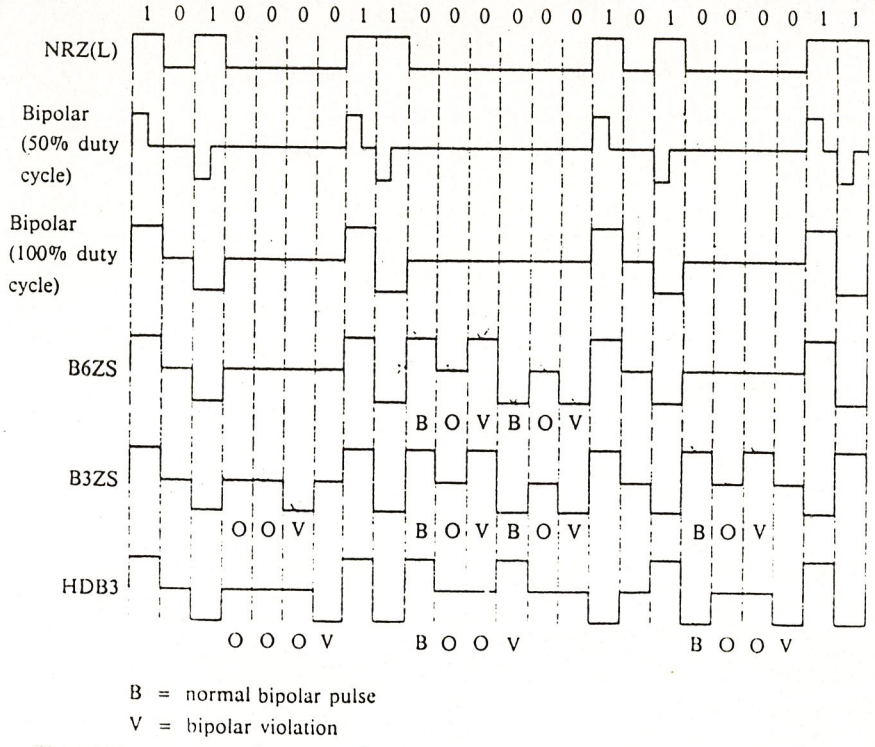
ไดเฟสใช้กับสัญญาณ NRZ(I) หรือที่รู้จักกันในนาม ไดเฟสแบบมีเงื่อนไข conditioned diphase จะมีทั้งคุณสมบัติของ NRZ(I) และไดเฟสกล่าวคือ จะมีภูมิคุ้มกันต่อการกลับขั้ว และเพิ่มจำนวนของการเปลี่ยนแปลงสถานะ ดังแสดงในรูปที่ 3.2



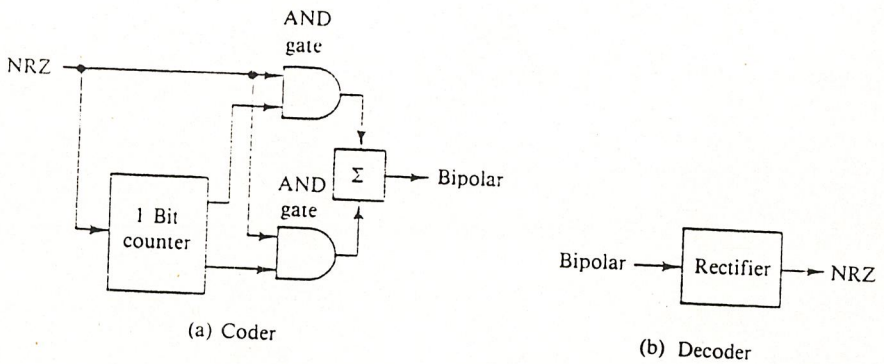
รูปที่ 3.5 คุณลักษณะของรหัสไดเฟส

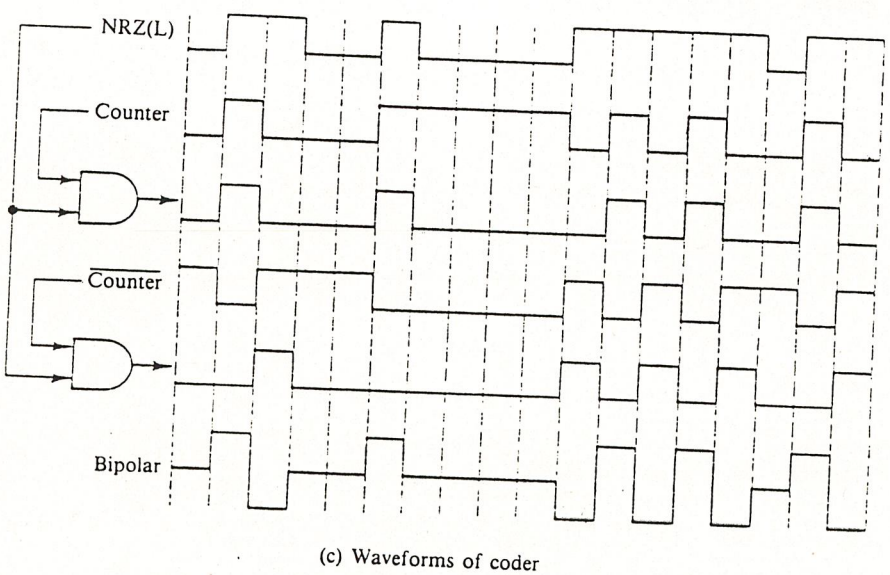
Bipolar หรือ Alternate Mark Inversion

ในไบโพล่าร์หรือ alternate mark inversion(AMI) ข้อมูลเลขฐานสองจะถูกเข้ารหัสโดยใช้แอมปริจูด 3 ระดับ คือ +v และ -v และ 0 โดยที่เลขไบนารี 0 จะถูกเข้ารหัสกับระดับ 0 เสมอ สำหรับไบนารี 1 จะถูกเข้ารหัสเป็น +v หรือ -v สลับกันทุกครั้งที่มีค่า 1 เกิดขึ้น ผลของการเข้ารหัสไบโพล่าร์จะทำให้องค์ประกอบ DC กลายเป็น 0 ซึ่งเหมาะสมกับเงื่อนไขการส่งผ่านสัญญาณแบบเบสแบนท์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 รหัสไบโพล่าร์นี้อาจจะเป็น NRZ (duty cycle 100%)หรือRZ(dutycycle50%)รูปที่ 3.6 แสดงแผนภูมิการทำงานของตัวเข้ารหัส/ถอดรหัสและรูปคลื่นของสัญญาณไบโพล่าร์สัญญาณไบโพล่าร์ที่ถูกสร้างขึ้นจากNRZ โดยใช้ตัวนับ 1 bit ทำการควบคุมแนนเกท เพื่อบังคับการทำงานให้เป็นไปตามกฎการสลับขั้ว การกู้สัญญาณของ NRZ(L)จากไบโพล่าร์ทำได้โดยใช้การเรติไฟร์เต็มคลื่นแบบง่ายๆ



รูปที่ 3.6 คุณลักษณะของรูปคลื่นรหัสไบโพลาร์





รูปที่ 3.7 คุณลักษณะของรหัสไบโพลาร์

ประโยชน์ต่างๆที่ได้จากการส่งสัญญาณไบโพล่าร์ ทำให้มันถูกเลือกใช้งานอย่างกว้างขวางตัวอย่างเช่น ระบบคลื่นพาร์ T1 ของ AT&T ซึ่งไบโพล่าร์ Duty cycle 50% เนื่องจาก

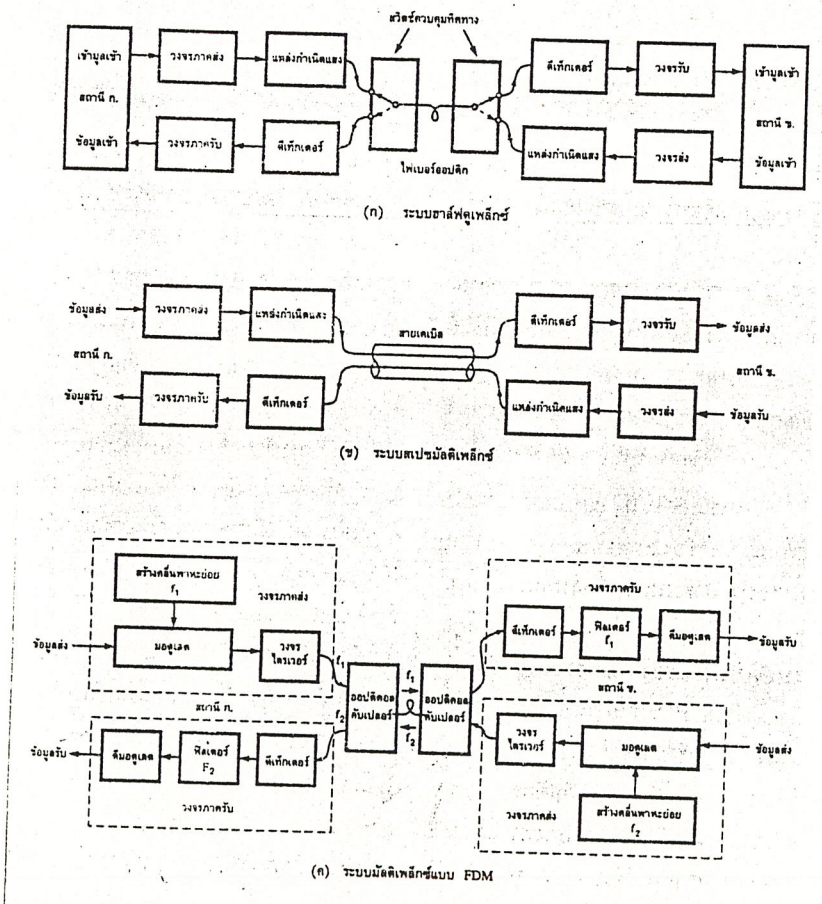
การเปลี่ยนสถานะของสัญญาณจะประกันได้ว่าที่ทุกๆ ค่าไบนารี 1จังหวะเวลาในการกู้สัญญาณในทางปฏิบัติของไบโพล่าร์ถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นกว่า NRZ ความสามารถในการตรวจสอบความผิดพลาดก็เป็นผลมาจากคุณสมบัติของการสลับกลับไปกลับมาของค่าบิท 1 ค่าแอมปริจูดลบสลับก็คือ ไบโพล่าร์ที่เสียหายและแสดงว่ามีความผิดพลาดในการส่งผ่านเกิดขึ้น คุณสมบัตินี้จะใช้ในการเตือนไปยังตัวทวนสัญญาณหรือตัวรับโดยไม่เกิดการรบกวนข้อมูล

แม้ว่าจังหวะเวลาในการกู้สัญญาณคืนของไบโพล่าร์จะได้รับการปรับปรุง ให้เหนือกว่าของ NRZ แล้วก็ตาม ผลของสัญญาณ 0 ที่ยาวนานโดยที่ไม่มีการเปลี่ยนสถานะในสัญญาณไบโพล่าร์จะทำให้เกิดความลำบากในเรื่องการจัดจังหวะเวลาในการกู้สัญญาณได้ สำหรับตัวทวนสัญญาณระบบคลื่นพาห์ T1 ยอมให้ค่า 0 ที่เกิดเรียงติดต่อกันได้สูงสุด 14 ตัวการปฏิบัติโดยทั่วๆไปในการมัลติเพล็ก PCM การออกแบบตัวเข้ารหัสก็จะมีข้อจำกัดดังกล่าว อย่างไรก็ตามในการแก้ปัญหานี้ก็คือการแทนของลำดับค่าของเลข "0" พิเศษ ลงไปตามสัญญาณไบโพล่าร์ที่เสียหาย

บทที่ 4
เทคนิคและวิธีการออกแบบระบบไฟเบอร์ออปติก

4.1 ระบบติดต่อสื่อสาร

ลักษณะการติดต่อสื่อสารถึงกันจากสถานีหนึ่งไปยังสถานีหนึ่ง ต้องสามารถตอบโต้ข่าวสารถึงกันได้ทันท่วงทีกล่าวคือ ความสามารถในการส่งและรับควรจะเป็นไปในช่วงเวลาเดียวกัน จากหลักการสื่อสารด้วยไฟเบอร์ออปติกที่แสดงในบล็อคไดอะแกรม เป็นการทำงานเมื่อสถานีส่งทำหน้าที่ส่งข้อมูลเพียงอย่างเดียว ทำนองเดียวกันกับสถานีรับที่ไม่มีความสามารถในการส่งข้อมูลกลับ ระบบเช่นนี้เป็นระบบสื่อสารทางเดียวเรียกว่า"ระบบซิมเพล็ก"(Simplex) ซึ่งในทางปฏิบัติมีใช้กันอยู่น้อยมาก ระบบสื่อสารที่แต่ละสถานีสามารถทำหน้าที่ส่งและรับข้อมูลได้เรียกว่าระบบสื่อสารสองทางคือ "ระบบดูเพ็ลก"(Duplex)ในการสื่อสารข้อมูลสองทางอย่างง่ายๆอาจใช้สวิทช์เป็นตัวตัดต่อสัญญาณรับ-ส่ง และสัญญาณส่ง-รับให้มีความสัมพันธ์กันในระหว่างสองสถานีดังรูปที่ 4.1(ก)ระบบสถานีทั้งสองยังไม่สามารถโต้ตอบข้อมูลได้ทันทีทันใดต้องรอจังหวะช่วงเวลาที่สวิทช์ต่อสัญญาณก่อน จึงเรียกลักษณะนี้ว่า ระบบกึ่งสองทาง หรือ-ฮาล์ฟดูเพล็ก(half duplex)

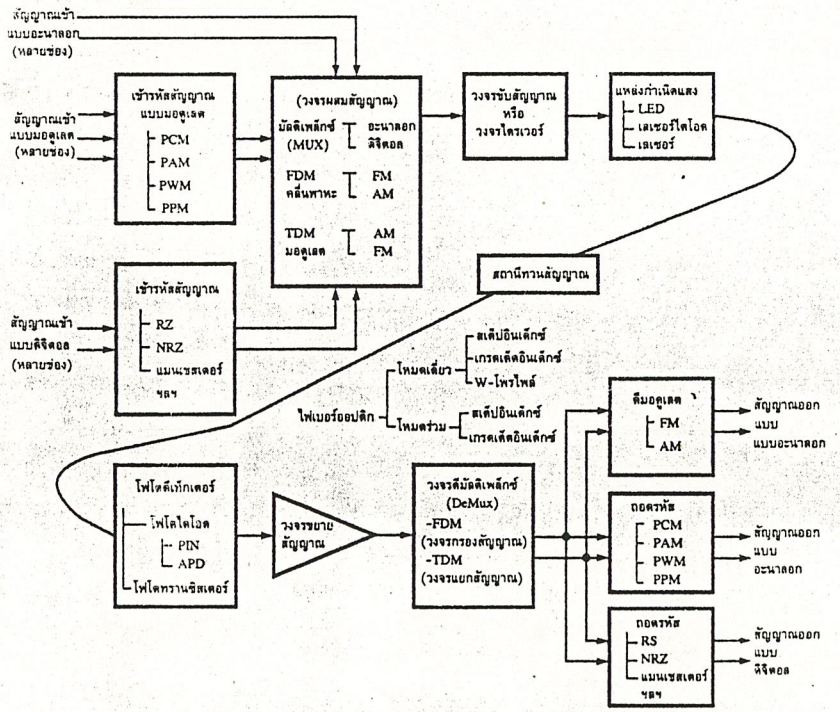


รูปที่ 4.1 ระบบการสื่อสารแบบสองทางหรือดูเพล็ก

การแก้ไขให้สถานีทั้งสองสามารถรับส่งข้อมูลได้ช่วงเวลาเดียวกันอย่างง่ายๆ ทำได้โดยนำระบบซิมเพล็ก 2 ชุดเข้ามาใช้เรียกว่า ระบบสเปซมัลติเพล็ก(Space multiplex) ดังรูปที่ 4.1 ข แต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเกี่ยวกับอุปกรณ์นำสัญญาณหรือไฟเบอร์ออปติกอีกเส้นหนึ่ง วิธีการแก้ไขก็คือการนำระบบมัลติเพล็กแบบ FDM หรือ TDM เข้ามาใช้ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ค การเลือกใช้ระบบ FDM หรือ TDM นั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และอุปกรณ์ใช้งานในระบบเป็นหลัก

ทางเลือกโครงสร้างระบบ

ในการออกแบบระบบสื่อสารด้วยไฟเบอร์ออปติก จำเป็นต้องทราบสเปกและภาวะการใช้งานของระบบเสียก่อนรูปที่ 4.2 เป็นทางเลือกที่เป็นไปได้ ที่ใช้สำหรับพิจารณาในการออกแบบระบบทางเดียว เริ่มจากวงจรภาคส่งสัญญาณเข้าที่เป็นข้อมูลต่างๆอาจอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิตอลหรืออนาล็อกหากสัญญาณเข้าเป็นชนิดอะนาล็อกที่มีหลายช่องสัญญาณสามารถนำมารวมกันได้ในภาคของวงจรผสมสัญญาณ ด้วยวิธีทางมัลติเพล็กเพื่อส่งออกแบบอะนาล็อกได้เลย ลักษณะเช่นนี้ข้อมูลแสงจะถูกกำหนดด้วยความเข้มของแสงที่ส่งออกไปแต่ถ้าหากต้องการให้ข้อมูลแสงเป็นแบบดิจิตอลคือ มีลักษณะการเปิด-ปิด แสงเป็นตัวกำหนดชนิดข้อมูลจะต้องทำการเข้ารหัสสัญญาณอะนาล็อกเสียก่อน ด้วยวิธีการมอดูเลทให้เป็นสัญญาณดิจิตอล โดยอาจเลือกใช้วิธีของพลัสโค้ดมอดูเลชั่น(PCM)พลัสวิดธ์มอดูเลชั่น(PWM) หรืออื่นๆก็ได้ก่อนถูกส่งเข้าไปผสมสัญญาณด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งจากระบบการแบ่งความถี่(FDM)ระบบการแบ่งเวลา(TDM)หรือ การมอดูเลชั่นด้วยสัญญาณ AM หรือ FM ก่อนที่จะส่งออกเป็นข้อมูลแสงต่อไป



รูปที่ 4.2 ทางเลือกในการแบบระบบสื่อสารไฟเบอร์ออปติก

ในส่วนของวงจรขับสัญญาณหรือไดเวอร์ ต้องออกแบบให้เหมาะสมกับแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ว่าเป็นชนิดใด เช่น LED หรือเลเซอร์ไดโอด เป็นต้น บริเวณช่วงรอยต่อระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับไฟเบอร์ออปติก ต้องมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า "คัปเปอร์" ทำหน้าที่รวบรวมแสงจากแหล่งกำเนิดให้ผ่านเข้าไปในไฟเบอร์ออปติกให้หมดหรือมากที่สุด เพื่อลดกำลังการสูญเสียสัญญาณ ตัวอย่างของคัปเปอร์แบบง่ายๆได้แก่ การใช้เลนส์รวมแสง เป็นต้น

การเลือกใช้ไฟเบอร์ออปติก ขึ้นกับลักษณะของข้อมูลแสงที่ถูกส่งออกมารวมทั้งงบประมาณในการสร้างระบบ ซึ่งนั่นก็หมายถึง การเลือกไฟเบอร์ออปติกให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานนั่นเองตัวอย่างเช่น ในระบบที่ไฟเบอร์ออปติกชนิดโหมดร่วม สามารถทำงานได้ดีอยู่แล้วก็ไม่จำเป็นต้องใช้ไฟเบอร์ออปติกชนิดโหมดเดี่ยว แม้ว่าจะดีกว่าก็ตาม เพราะมีราคาแพงกว่าอย่าลืมว่าระยะทางระหว่างสถานีมิได้ห่างกันเพียงแค่ไม่กี่สิบเมตร แต่ห่างกันเป็นสิบๆกิโลเมตร และระบบอาจต้องใช้ไฟเบอรออปติกหลายร้อยกิโลเมตร ต้นทุนของสายไฟเบอร์ออปติกจึงนับเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบ

สถานีทวนสัญญาณมีความสำคัญต่อระบบสื่อสารที่มีระยะห่างระหว่างสถานีมากๆตำแหน่งของสถานีทวนสัญญาณขึ้นกับระบบประสิทธิภาพของระบบ เทคโนโลยีในปัจจุบันสามารถสร้างระบบที่มีระยะห่างระหว่างสถานีทวนสัญญาณได้ประมาณ 100 กิโลเมตร แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณข้อมูลที่ใช้สื่อสารถึงกันด้วย เช่น ถ้าปริมาณข้อมูลมีมาก ระยะห่างระหว่างสถานีทวนสัญญาณก็จะสั้นลงที่สถานีรับข้อมูลแสงจากไฟเบอร์ออปติก จะถูกถ่ายทอดสู่ตัวรับแสงหรือโฟโต้ดีเท็คเตอร์ด้วยอุปกรณ์คัปเปอร์เช่นเดียวกับการส่งสัญญาณแสง โฟโต้ดีเท็คเตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า การเลือกใช้ชนิดของโฟโต้ดีเท็คเตอร์ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น แบนท์วิดและกำลังความเข้มของแสงที่ปลายไฟเบอร์ออปติก สัญญาณไฟฟ้าที่ถูกแปลงแล้วจะมีกำลังอ่อนมาก ต้องทำการขยายสัญญาณเสียก่อน แล้วจึงส่งเข้าไปสู่วงจรแยกสัญญาณซึ่งอาจเป็นวงจรดีมัลติเพล็กหรือเป็นวงจรกรองสัญญาณในระบบ FDM ตามความเหมาะสมของระบบ สัญญาณข้อมูลที่ถูกแยกออกแล้วจะถูกถอดรหัสหรือกีมอดูเลทให้ได้สัญญาณที่มีลักษณะเดิมก่อนส่งออกไปใช้งานต่อไป

สถานีทวนสัญญาณ

สถานีทวนสัญญาณมีความจำเป็นในระหว่างช่วงของระยะสถานี เพื่อเสริมสร้างประสิทธิภาพของระบบ และลดการผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในระบบการสื่อสารแบบอะนาล็อกมักไม่ค่อยเห็นสถานีทวนสัญญาณถูกใช้งานกันมากนักผิดกับระบบดิจิตอลที่สถานีทวนสัญญาณมีความสำคัญและจำเป็นมากโดยเฉพาะการสื่อสารระยะทางไกลเมื่อข้อมูลแสงที่เป็นดิจิตอลถูกส่งออกจากสถานีต้นทางไปเป็นระยะทางหนึ่งซึ่งจะไกลมากไกลน้อยขึ้นอยู่กับคุณภาพของระบบ สัญญาณจะถูกลดทอนและสูญเสียไปบ้าง อันเนื่องมาจากคุณสมบัติของไฟเบอร์ออปติกเอง ทำให้ลักษณะสัญญาณผิดไป ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ก ในตำแหน่งที่สัญญาณผิดไปมากที่สุดแต่ยังพอจะมองรูปสัญญาณเดิม

ออกจะเป็นที่ตั้งของสถานีทวนสัญญาณซึ่งจะทำหน้าที่รับสัญญาณนี้เข้ามาแปลงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วผ่านวงจรขยายก่อนทำการจัดรูปสัญญาณเสียใหม่ ให้มีรูปแบบเหมือนเดิมเช่นเดียวกับที่ถูกส่งมาจากสถานีต้นทางแล้วส่งออกต่อไปยังสถานีปลายทาง

ดังนั้นหากระยะทางระหว่างสถานีรับและสถานีส่งไกลกันมาก จำเป็นต้องใช้สถานีทวนสัญญาณหลายสถานี สถานีทวนสัญญาณที่ดีต้องมีการออกแบบให้สามารถทำงานแบบอัตโนมัติได้-อย่างมีประสิทธิภาพ และอายุการทำงานนานๆเพื่อหลีกเลี่ยงการซ่อมแซมบ่อยๆ มิฉะนั้นจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายมาก ดังเช่น สถานีทวนสัญญาณที่อยู่ใต้มหาสมุทร ในกรณีที่สถานีทวนสัญญาณชำรุดหรือการผิดพลาดขึ้น จะทำให้ข้อมูลถูกปิดกั้นและไม่สามารถเดินทางต่อไปยังสถานีปลายทางได้ จึงต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์อัตโนมัติเรียกว่า สวิทช์บายพาส(Bypass switch) ขึ้นภายในสถานี โดยสวิทช์มีลักษณะการทำงานเชิงแสงไฟเบอร์โดยจะทำหน้าที่เชื่อมออปติกระหว่างจุดที่รับสัญญาณและส่งสัญญาณเข้าด้วยกันโดยอัตโนมัติเมื่อสถานีทวนสัญญาณไม่สามารถทำหน้าที่ตามปกติของมันได้ วิธีนี้แม้ว่าสัญญาณข้อมูลจะมีคุณภาพที่แย่ลง แต่ก็ยังดีกว่าการที่ไม่มีข้อมูลส่งออกไปเสียเลย

4.2 ตัวอย่างการออกแบบระบบ

ก่อนอื่นเราต้องทราบหรือกำหนดสเปกของระบบเสียก่อน ซึ่งจะมีค่าขึ้นอยู่กับการใช้งานสำคัญ ในที่นี้สมมุติระบบมีสเปกการทำงานดังนี้

- มีสัญญาณอินพุทแบบดิจิตอล 8 ช่อง แต่ละช่องส่งข้อมูลแบบอนุกรมขนาด 1,250 คำต่อวินาที และข้อมูล 1 คำ ประกอบด้วยข้อมูลดิจิตอล 8 บิต
- มีสัญญาณอินพุทที่เป็นอะนาล็อก 2 ช่อง แต่ละช่องมีแบนท์วิด 5 กิโลเฮริตซ์ถ้าหากมีการเข้ารหัสให้ใช้แบบ PCM ที่มีข้อมูลดิจิตอล 6 บิตต่อหนึ่งแซมเปิล และควรมีอัตราการส่ง-อย่างน้อย 10,000 แซมเปิลต่อวินาทีต่อช่องสัญญาณ
- ระยะทางระหว่างสถานีส่งและสถานีรับมีค่าเท่ากับ 5 กิโลเมตร
- ใช้ LED หรือเลเซอร์ไดโอดเป็นตัวส่งสัญญาณ

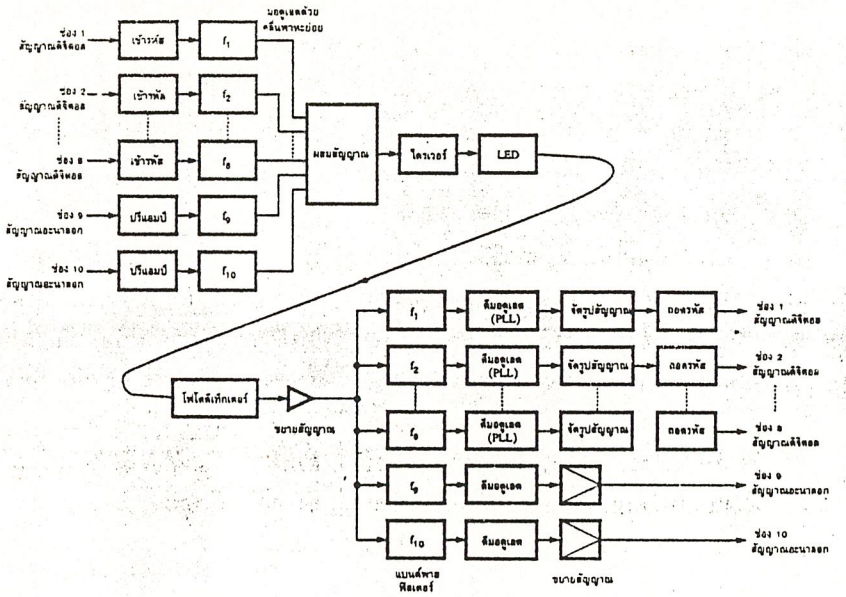
จากข้อกำหนดของระบบสัญญาณอินพุทมีจำนวนทั้งสิ้น 10 ช่อง ที่เป็นทั้งอะนาล็อกและดิจิตอล เมื่อย้อนกลับไปพิจารณาทางเลือกของการออกแบบในรูปที่ 4.2

ทางเลือกแรกที่เป็นไปได้คือ ใช้ระบบมัลติเพล็กแบบ FDM ดังเช่นรูปที่ 4.4 โดยแบ่ง-คลื่นพาหะออกเป็น 10 ช่วง คือ f1,f2,...f10 เพื่อใช้สำหรับนำพาข้อมูลทั้งที่เป็นอะนา-ล็อกและดิจิตอลทั้ง10 ช่องสัญญาณไปพร้อมๆกันเลยโดยสัญญาณดิจิตอลทั้ง 8 ช่องสัญญาณ อาจต้องถูกเข้ารหัสด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งก่อนถูกมอดูเลทกับคลื่นพาหะย่อย

ส่วนสัญญาณอะนาล็อก หลังจากมีการขยายสัญญาณด้วยภาคปรีแอมป์ก็สามารถมอดูเลทได้เลย การมอดูเลทก็เลือกระหว่าง AM และ FM จากนั้นทำการผสมสัญญาณทั้งหมดเพื่อส่ง-ออก

พร้อมกันการเลือกใช้ LED เป็นแหล่งกำเนิดแสงก็เพราะว่าในระบบใช้งานนี้ต้องการความ-

เป็นเชิงเส้นมากกว่าอันเนื่องมาจากสัญญาณอินพุทที่เป็นอะนาล็อก



รูปที่ 4.4 ระบบ FDM ที่ถูกออกแบบ

เนื่องจากระยะห่างระหว่างสถานีเพียงแค่ 5 กิโลเมตร จึงไม่น่าจะต้องใช้สถานีทวนสัญญาณแต่ประการใด

ที่สถานีรับก็ใช้การสร้างวงจรกรองช่วงความถี่ ของแต่ละความถี่ของคลื่นพาหะย่อย เพื่อแยกสัญญาณแต่ละช่วงออกมาแล้วทำการดีมอดูเลทและถอดรหัสสำหรับสัญญาณดิจิตอล สำหรับสัญญาณอะนาล็อกอาจนำสัญญาณที่ถูกดีมอดูเลทแล้วมาใช้ได้เลย ในกรณีที่สัญญาณดิจิตอลมีการมอดูเลทแบบ FM วงจรรดีมอดูเลทอาจทำได้ไม่ยากนัก โดยใช้ไอซีประเภทเฟสล็อกลูป-(PLL)เพียงตัวเดียวเท่านั้น

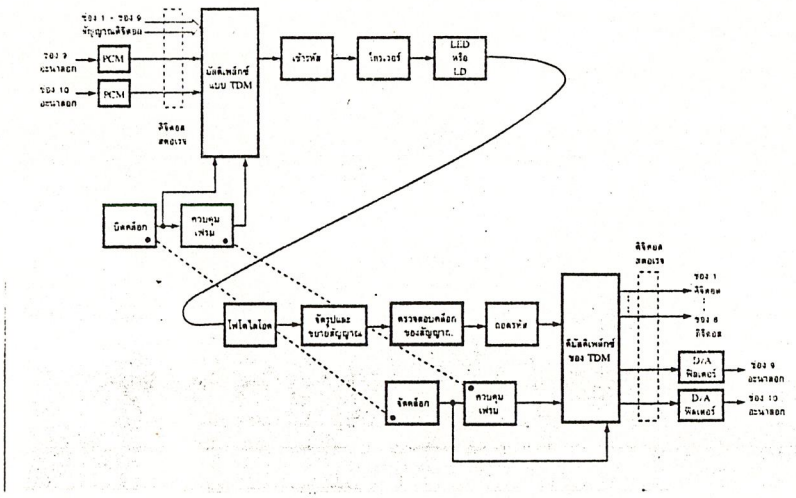
ทางเลือกที่สอง ของการออกแบบแสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งใช้ระบบมัลติเพล็กแบบ TDM สัญญาณอะนาล็อกสองช่องจะต้องถูกแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิตอลแบบ PCM เสียก่อน ตามเงื่อนไขของสเปกที่กำหนด เนื่องจากสัญญาณดิจิตอล 8 ช่องมีจำนวนข้อมูล 8 บิตต่อหนึ่งคำ แต่สเปกของสัญญาณอะนาล็อกที่ถูกแปลงให้เป็นดิจิตอลต้องการเพียง 6 บิตต่อแซมเปิล(หรือต่อคำ) ดังนั้นเราจะเพิ่ม 2 บิตมีที่ไม่มีค่าใดๆ(เหมือนกันหมดทุกคำในตำแหน่งเดียวกัน)รวมเข้าไป-เพื่อให้ดูเสมือนข้อมูลมี 8 บิตต่อ หนึ่งคำ

อัตราการส่งที่กำหนดต้องการอย่างน้อย 10,000 คำต่อวินาทีต่อหนึ่งช่องสัญญาณ(1 คำมี 8 บิต)หรือนั่นก็คือส่ง 1 คำในทุกๆ 100 ไมโครวินาที ช่องสัญญาณทั้งหมดมี 10 ช่อง

จึงต้องทำการแบ่งเวลา 100 ไมโครวินาที ออกเป็น 10 ช่อง เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลทุกช่องสัญญาณได้พร้อมกันไปทีเดียวกัน จะได้ว่าเวลาในการส่งข้อมูลหนึ่งคำของแต่ละช่องคือ 10 ไมโครวินาที เมื่อนำมาจัดเป็นเฟรมสำหรับระบบ TDMจะได้ดังรูปที่ 4.5 ที่นี้ย้อนกลับมาคำนวณความเร็วของระบบหรือบิตเรทจะได้เท่ากับ 8 บิตต่อ 10 ไมโครวินาทีหรือ 800 กิโลบิตต่อวินาที (ไม่รวมเวลาที่ใช้ในการซิงโครไนซ์)แต่ถ้าจะคิดบิตเรทเฉพาะช่องสัญญาณที่เป็นดิจิตอลแล้ว ตามสเปกกำหนดไว้ว่า แต่ละช่องจะส่งข้อมูล 10,000 บิตต่อวินาที(มาจาก 1250X8)หรือ 10 กิโลบิตต่อวินาที ซึ่งช้ากว่าระบบที่ออกแบบมากทำให้เวลาในการส่งข้อมูลสูญเสียไป

การแก้ไขทำได้โดยการใช้งานเป็นแบบอะซิงโครนัส เพื่อให้เวลาในการรับข้อมูลในแต่ละช่องไม่ต้องถูกกำจัดด้วยเวลาที่เท่ากัน การคิดบิตเรทจริงของระบบต้องคำนวณจากค่าบิตเรทในแต่ละช่องรวมกัน ในที่นี้ระบบที่ใช้งานมีบิตเรทเท่ากับ 240 กิโลเมตรต่อวินาที

การจัดเฟรมในระบบ TDM จะถูกควบคุมด้วยสัญญาณบิตคล็อกและส่วนควบคุมเฟรมเพื่อใช้เป็นสัญญาณซิงโครไนซ์ในสถานีที่รับ ข้อมูลดิจิตอลที่ถูกจัดในแต่ละเฟรมอาจมีการเข้ารหัสในลักษณะของ RZ ,NRZ หรือ Manchester เพื่อให้สามารถส่งออกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ตัวกำเนิดแสงอาจใช้ LED หรือ เลเซอร์ไดโอดตามความเหมาะสม



รูปที่ 4.5 ระบบ TDM ที่ถูกออกแบบ

ที่ภาครับข้อมูลที่รับได้จะถูกจัดรูปและตรวจสอบสัญญาณ เพื่อซิงโครไนซ์สัญญาณให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง และหากมีการเข้ารหัส (เช่น RZ,NRZ) มาก่อนจะต้องถูกถอดรหัสเสียก่อนแล้วจึงทำการดีมัลติเพล็กสัญญาณออกมา ขณะทำการดีมัลติเพล็ก สัญญาณคล็อกในสถานีส่งจะเป็นตัวกำหนดการซิงโครไนซ์ให้ถูกต้องยิ่งขึ้น สัญญาณคล็อกที่มาจากสถานีส่งอาจใช้ไฟเบอร์ออปติกอีกเส้นหนึ่งส่งมาพร้อมกันกับข้อมูล แต่วิธีการเช่นนี้ทำให้งบประมาณการใช้จ่ายมีค่าเพิ่มขึ้น การแก้ไขสามารถทำได้โดยใช้วิธีเข้ารหัสข้อมูลที่จะส่งเป็นแบบแมนเชสเตอร์ ซึ่งจะทำให้รับทราบตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสุดท้ายของข้อมูลได้โดยการตรวจสอบด้วยตนเอง จึงไม่จำเป็นต้องใช้ไฟเบอร์ออปติกเส้นอื่นเพื่อส่งสัญญาณคล็อกหรือสัญญาณซิงโครไนซ์อีกต่อไป

สัญญาณที่ถูกแยกออกมาแล้วในแต่ละช่วง จะผ่านขบวนการที่เหมาะสมของมันก่อนนำไปใช้งานต่อไป ดังเช่น สัญญาณอะนาล็อกที่ส่งมาแบบดิจิตอล จะต้องถูกแปลงกับด้วยวงจรดีทูเอคอนเวอร์เตอร์(D/A Converter)

ประสิทธิภาพของระบบ

ในระบบไฟเบอร์ออปติกที่ถูกออกแบบ ต้องมีการทดลองประสิทธิภาพของมันว่าอยู่ในระดับใดและมีความสามารถในการใช้งานได้แค่ไหน โดยทั่วไปประสิทธิภาพของระบบมักพูดกันในเทอมของสิ่งเหล่านี้ เช่น กำลังการสูญเสีย (เดซิเบลต่อกิโลเมตร) ปริมาณข้อมูลในการส่งรับหรือบิทเรท(กิโลบิตต่อวินาที) ระยะทางทั้งหมดของระบบระหว่างสถานีต้นทางกับปลายทาง หรือตลอดสายไฟเบอร์ออปติก(กิโลเมตร)จำนวนสถานีทวนสัญญาณ เป็นต้น แต่ก็มีบางครั้งคุณภาพของระบบอาจถูกแสดงด้วยศัพท์เทคนิคบางอย่าง เช่น

BER เป็นคำย่อมาจากคำว่า bit error rate หมายถึง จำนวนข้อมูลที่ผิดพลาดในการรับต่อปริมาณข้อมูลทั้งหมดที่ส่งออกมา ค่าของ BER มากที่สุดที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนดมาตรฐานคือ ในการส่งข้อมูลจำนวน 10^9 บิต(หนึ่งพันล้านบิต)จะมีข้อมูลผิดพลาดได้เพียง 1บิต นั่นคือ ค่าของ BER มีค่าเท่ากับ 10^{-9} หากค่าของ BER มีค่าน้อยกว่านี้ เช่น 10^{-14} แสดงว่าระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ความไวในการรับ (Sensitivity) ของระบบไฟเบอร์ออปติก หมายถึง ค่าพลังงานแสงต่ำสุด(P) ที่ทำให้ระบบมีค่า BER ตามที่กำหนด เช่น 10^{-9} คำนวณได้จากสูตร

ความไว = 10log P/1mW) dbm

เมื่อ P มีหน่วยเป็นมิลลิวัตร์

บทที่ 5
วงจรที่ใช้ในการทดลองและผลการทดลอง

รูปแบบการทดลอง

1. แมนเชสเตอร์ โค๊ด

การทดลองจะนำเอาข้อมูลที่ออกจาก RS232C มาทำการเข้าโค๊ดโดยการเข้าโค๊ดแบบแมนเชสเตอร์ หลังจากนั้นก็นำไปเข้าวงจรที่เปลี่ยนสัญญาณจากไฟฟ้าเป็นแสง และส่งผ่านสายไฟเบอร์ออปติกไปยังภาครับ ที่ภาครับก็จะมีการเปลี่ยนจากแสงเป็นไฟฟ้า มาเป็นข้อมูลที่เป็นแมนเชสเตอร์ หลังจากนั้นก็จะมีวงจรถอดโค๊ด แมนเชสเตอร์ สัญญาณนาฬิกาที่ใช้ที่ภาครับจะใช้หลักการ clock Recovery ซึ่งจะนำเอาข้อมูลที่ส่งมาจากทางด้านรับนั้นมาสร้างเป็นสัญญาณนาฬิกาใช้ในการถอดรหัส

จากวงจรที่ใช้ในการทดลองจะใช้คริสตอล 4.9152 MHz เป็นตัวผลิตความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ภาคส่ง สัญญาณนาฬิกาที่ใช้จะใช้ความถี่ 9600 Hz ซึ่งในโปรแกรมนั้นจะเซ็ตให้ส่งข้อมูลออกมามีค่าเท่ากับ 9600 bps โดยที่ภาคส่งจะรันโปรแกรมส่งและขณะเดียวกันที่ภาครับก็จะรันโปรแกรมรับข้อมูลเช่นกัน

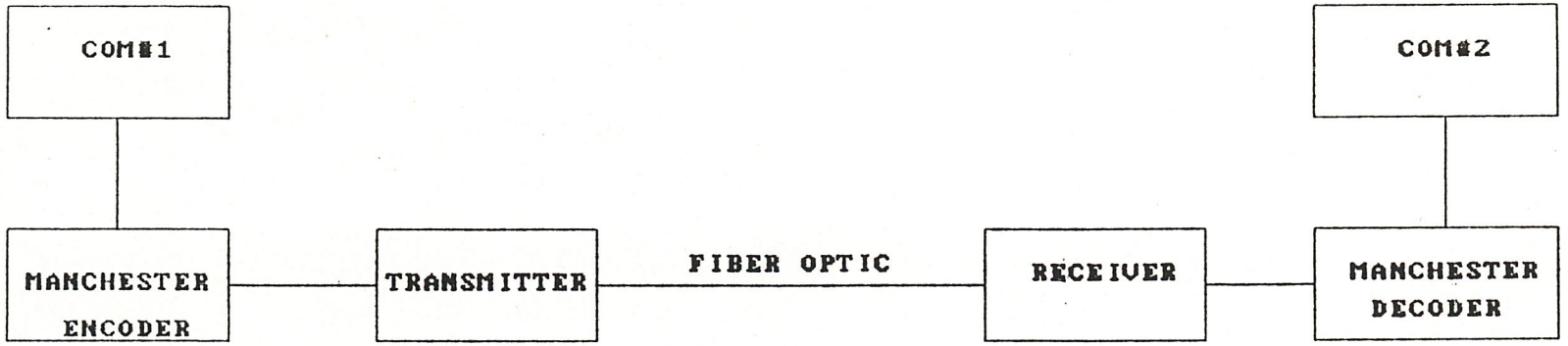
ในการส่งรหัสแบบแมนเชสเตอร์นั้นมีข้อดีอยู่อย่างคือช่วยในการแก้ไขของการส่งที่มีหนึ่งติดกันนานๆซึ่งรหัส แมนเชสเตอร์นี้จะเปลี่ยนสถานะทุกๆครึ่งบิตของข้อมูล และในการกู้ข้อมูลเดิมกลับมานั้นสามารถทำได้แน่นอน

จากการทดลองการส่งอักษรตัว 't' ตัวเดียวนั้นที่ภาครับยังไม่สามารถที่จะรับนำข้อมูลคืนกลับคืนมาได้เหมือนเดิม ซึ่งสาเหตุที่เกิดขึ้นนี้เกิดขึ้นจากการเริ่มต้นของข้อมูลไม่พร้อมกันระหว่างข้อมูลที่ส่งและสัญญาณนาฬิกาที่ส่งออกมา ทำให้ได้ข้อมูลที่ผิดแปลกไปจากความเป็นจริงซึ่งผลการทดลองอยู่ในหน้าถัดไป

2. เอ็นอาร์แซด

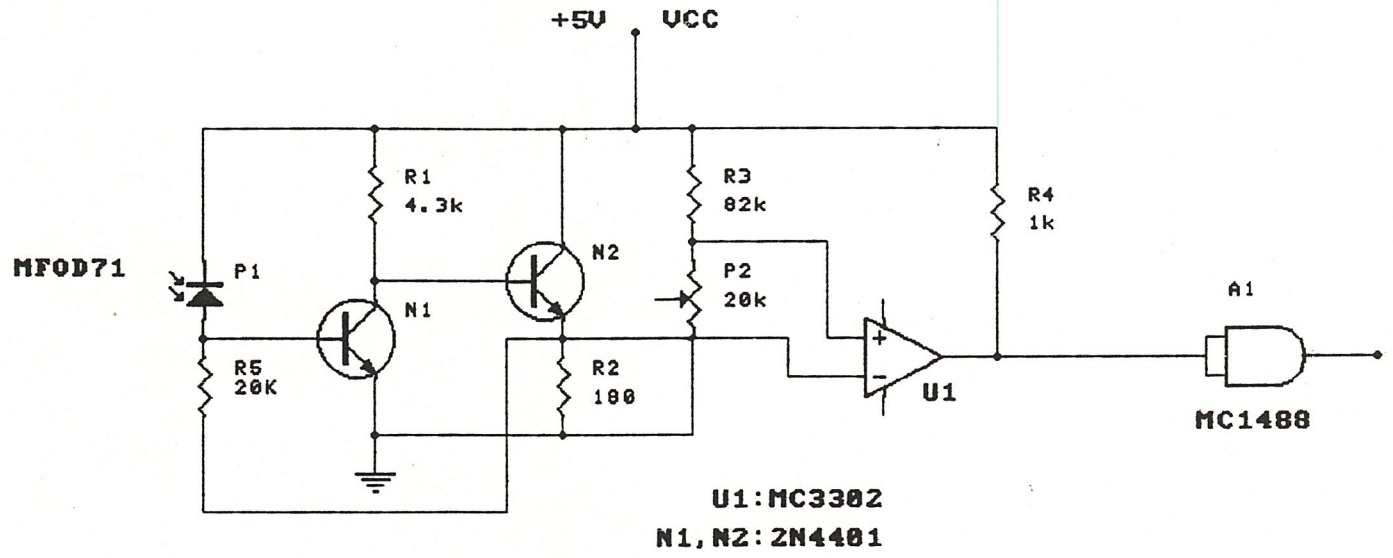
ในการทดลองการส่งแบบเอ็นอาร์แซดก็ทำในลักษณะเดียวกันกับการส่งแบบแมนเชสเตอร์แต่ว่าการส่งแบบเอ็นอาร์แซดนั้นไม่มีการนำเอาสัญญาณนาฬิกาเข้ามาใช้ในการส่งข้อมูล แต่จะส่งโดยตรงจาก RS232C เข้าไปยังวงจรเปลี่ยนจากสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าและในขณะเดียวกันที่ทางด้านรับก็จะนำเอาข้อมูลที่รับได้ไปทำการเปลี่ยนจากแสงเป็นไฟฟ้าและส่งเข้าไปยังคอมพิวเตอร์อีกทีหนึ่ง

ผลการทดลองการส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องนั้นสามารถส่งและรับได้เหมือนกัน ซึ่งในการทดลองนั้นได้ส่งอักษรที่เป็นตัวอักษรตัวเดียวและส่งเป็นไฟล์ ซึ่งสามารถที่จะรับได้เหมือนกันทั้งส่งและรับ ในการส่งแบบเอ็นอาร์แซดนั้น ข้อมูลที่ส่งมาจากคอมพิวเตอร์นั้นจะต้องนำข้อมูลมาลดระดับโวลท์เตจลงก่อนที่จะส่งออกไป ซึ่งโวลท์เตจที่ออกจาก RS232c นั้นมีค่าอยู่ระหว่างบวกลบ 15 โวลท์ ซึ่งไม่สามารถที่จะใช้กับวงจรในการส่งสัญญาณแสงได้จึงต้องทำการลดระดับโวลท์เตจลงให้เหลือเพียง 5 โวลท์โดยใช้ IC MC1489 ในการลดระดับโวลท์เตจลง



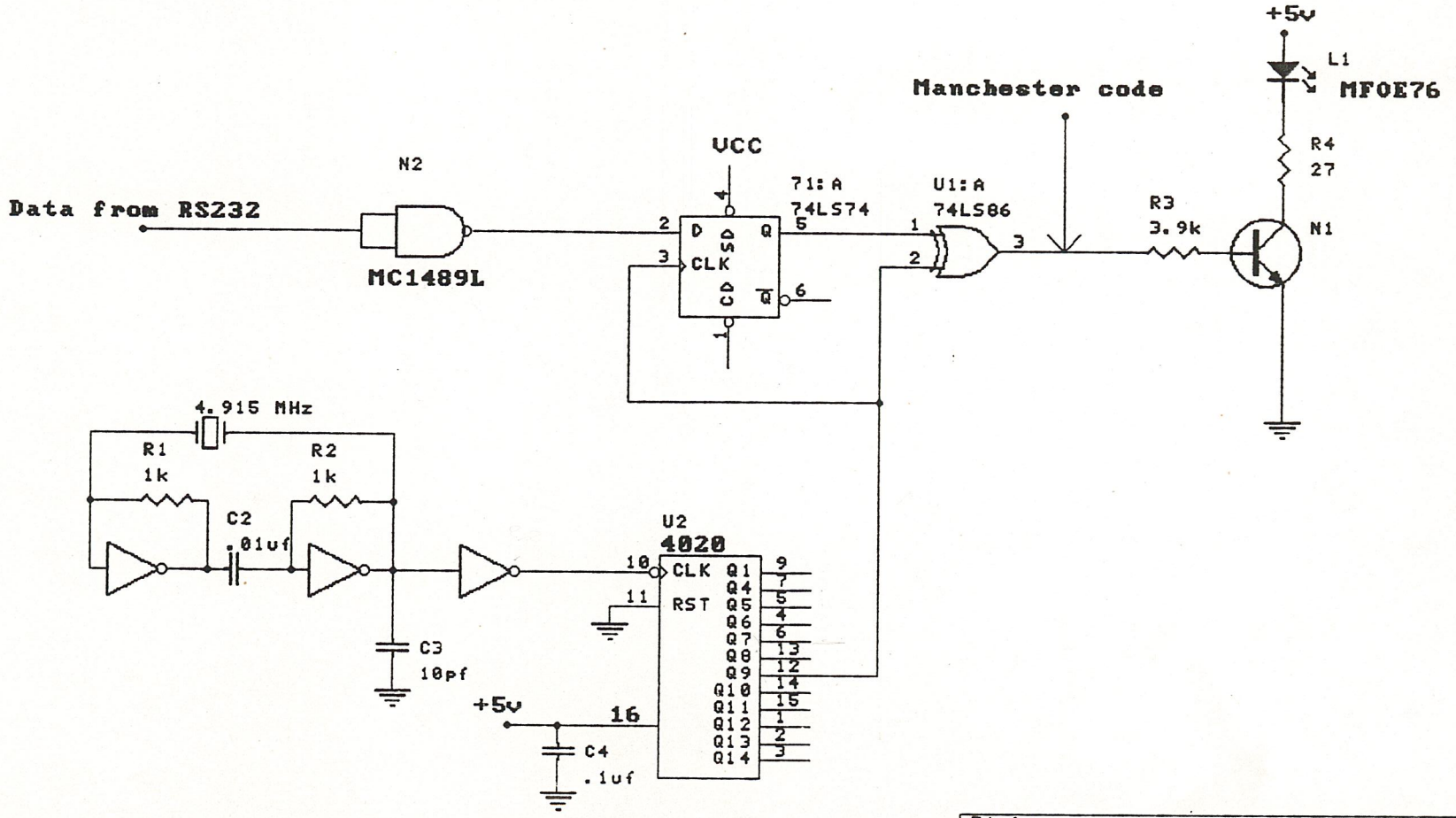
BLOCK DIAGRAM

Title		
Size A4	Number	Revision
Date: 24-MAR 1994		Sheet of
File: B:\DIAGRAM/1		Drawn By:

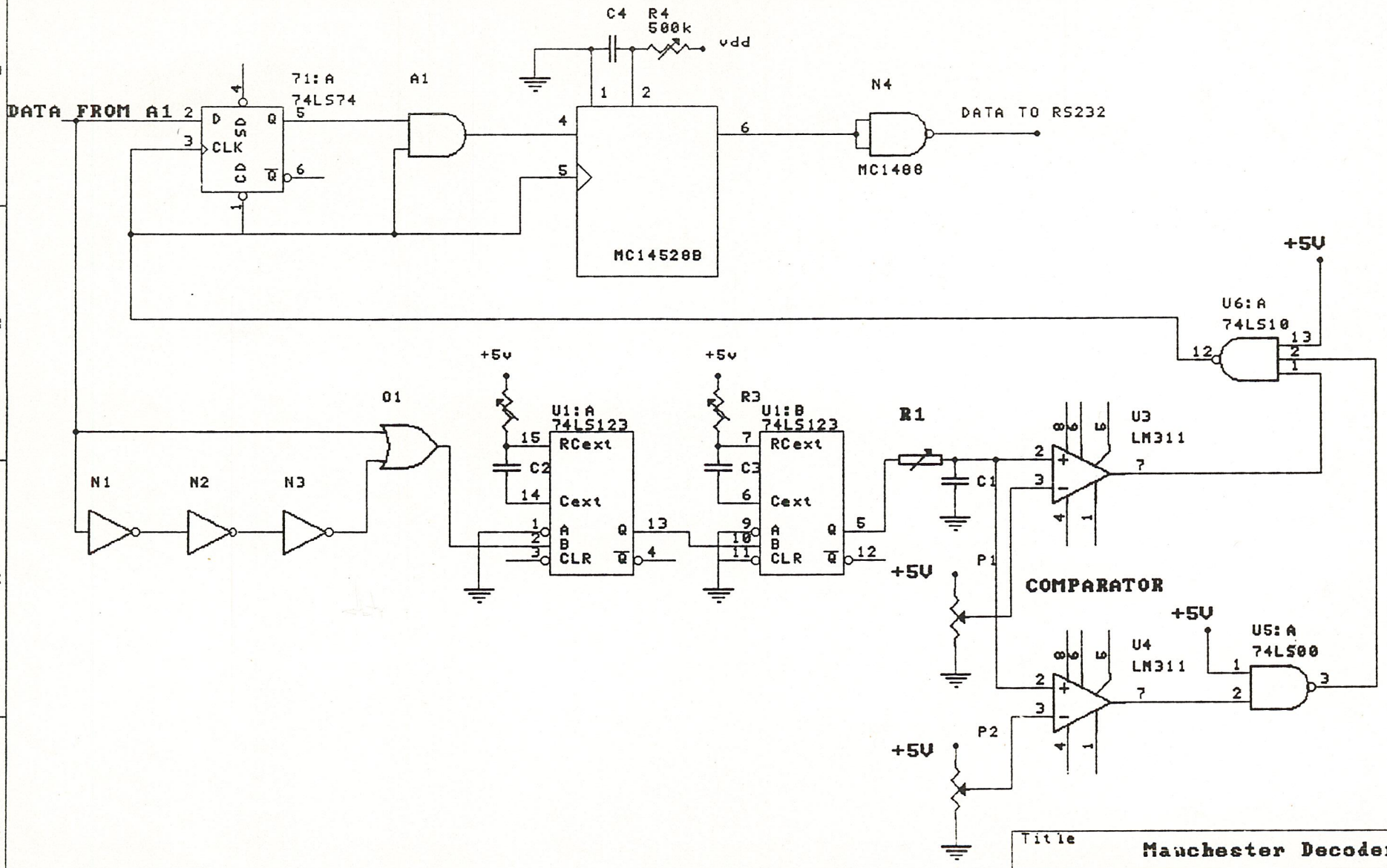


NRZ RECEIVER

Title: Receiver		
Size: A4	Number:	Revision:
Date: 5-APR 1994		Sheet of
File: B:NRZ1/1		Drawn By:



Title: Manchester Encoder		
Size: A4	Number	Revision
Date: 5-APR 1994		Sheet of
File: B:OPTIC/1		Drawn By:



Title	Manchester Decoder	
Size A4	Number	Revision
Date: 5-APR 1994		Sheet of
File: B:OPTIC1/1		Drawn By:

```
                    /* transmit program */
#include"stdio.h"
#include"dos.h"
#include"conio.h"
#define port 1
void sport(),port_initial();
char t;
main()
{
        port_initial(port,251);
        while(!kbhit())
        sport(port,t);

}
/* send character */
void sport()
{
      union REGS r;
      r.x.dx = 01;  /* set port */
      r.h.ah = 0x01; /* set function port */
      r.h.al = 't';  /* charater to send */
      int86(0x14,&r,&r);
      printf("%c",r.h.al);
      if(r.h.ah & 128)     /* check bit 7 of ah */
      {
printf("read error detected in serial port ");
exit(1);
      }
}
/* initial port */
void port_initial()
{
      union REGS r;
```

```
    r.x.dx = 1;       /* set port */
    r.h.ah = 0x00;    /* set function port */
    r.h.al = 251;     /* set  baudrate ,parity,data */
    int86(0x14,&r,&r);
}
```

```
                    /* receive program */
#define port 1
#define code 251
#include"stdio.h"
#include"dos.h"
void port_init();
char x;
main()
{
     port_init(port,code);
     clrscr();
     for(;;)
     {
          x = rport();
          printf("%c",x);
      }
}
/* Initial port */
void port_init()
{
     union REGS r;
     r.x.dx = 01;
     r.h.ah = 0x00;
     r.h.al = code;
     int86(0x14,&r,&r);
}
/* read character from port */
     rport()
     {
          union REGS r;
          while(!(check_stat(port) & 256 ))
          if(kbhit())
          {
              getche();
              exit(1);
           }
```

```
        r.x.dx = 01;
        r.h.ah = 0x02;
        int86(0x14,&r,&r);
        if(r.h.ah & 128 )
          {
            printf("read error detected in serial port");
            exit(1);
          }
         return r.h.al;
      }

/* check the status of the serial port */
check_stat()
{
 union REGS r;
 r.x.dx = 01;
 r.h.ah = 0x03;
 int86(0x14,&r,&r);
 return r.x.ax;
}
```

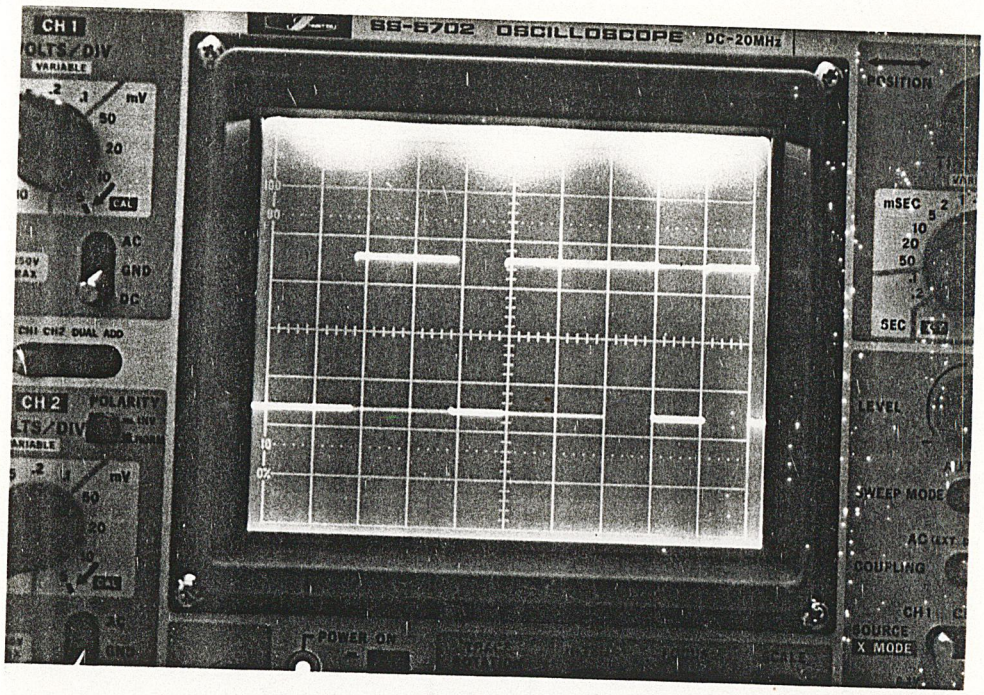
```
                    /* program send file */
#include"dos.h"
#include"stdio.h"
#include"conio.h"
main()
{
     char a;
     FILE *fp;
     char *file_name = "rr.c";
     fp = fopen(file_name,"rb");
     intil();
     while(!kbhit())
     {
         a = getc(fp);
         printf("%c",a);
         send(a);
     }
     fclose(fp);
}

    /* function init */
     intil()
      {
         union  REGS r;
         r.x.dx = 1;
         r.h.ah = 0;
         r.h.al = 251;
         int86(0x14,&r,&r);
      }
     /* function send */
      send(a)
       char a;
       {
           union REGS r;
           r.x.dx = 1;
           r.h.ah = 1;
```

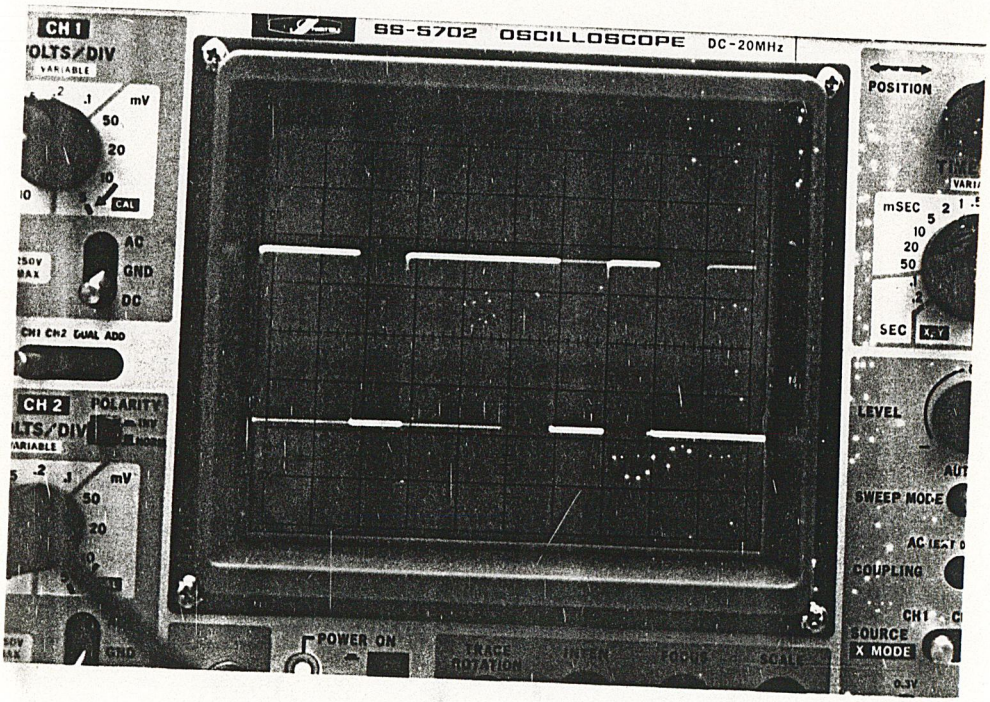
```
    r.h.al = a;
    int86(0x14,&r,&r);
}
```

```
                    /* programe receive file */
#include"dos.h"
#include"stdio.h"
#include"conio.h"
main()
{
     char a;
     FILE *fp;
     char *file_name="bb.C";
     fp = fopen(file_name,"wb");
     intil();
     while(!kbhit())
     {
         a = rept();
         putc(a,fp);
         printf("%c",a);
     }
     fclose(fp);
}
     intil()                /* initial port */
      {
          union  REGS r;
          r.x.dx = 1;
          r.h.ah = 0;
          r.h.al = 251;
          int86(0x14,&r,&r);
      }
     rept()                 /* read character */
      {
          union REGS r;
          r.x.dx = 1;
          r.h.ah = 2;
          int86(0x14,&r,&r);
          return r.h.al;
      }
```

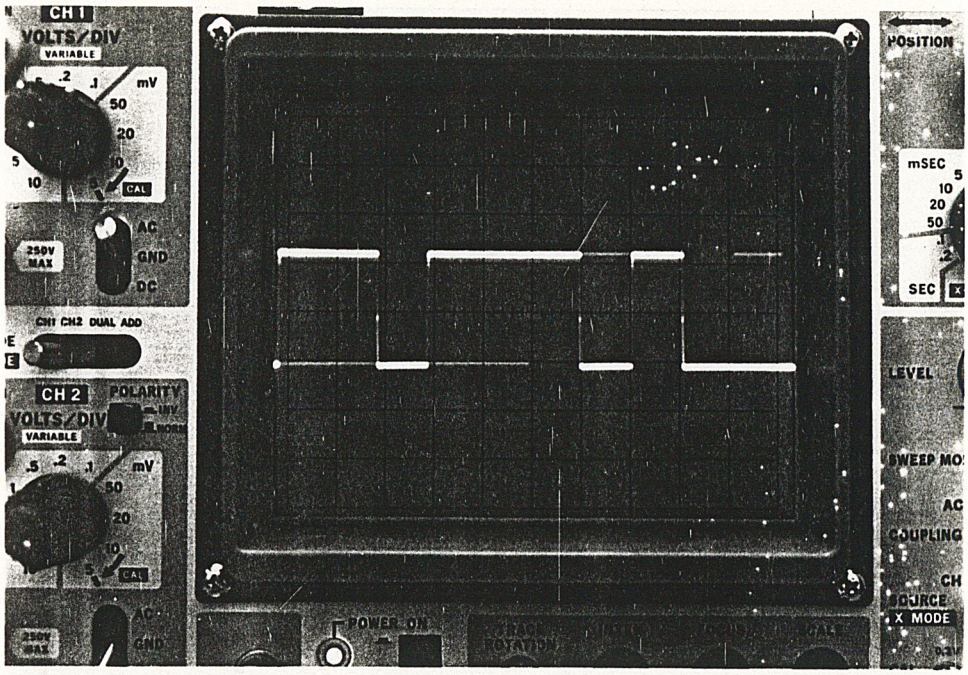
ผลการทดลองการส่งแบบเอ็นอาร์แซด



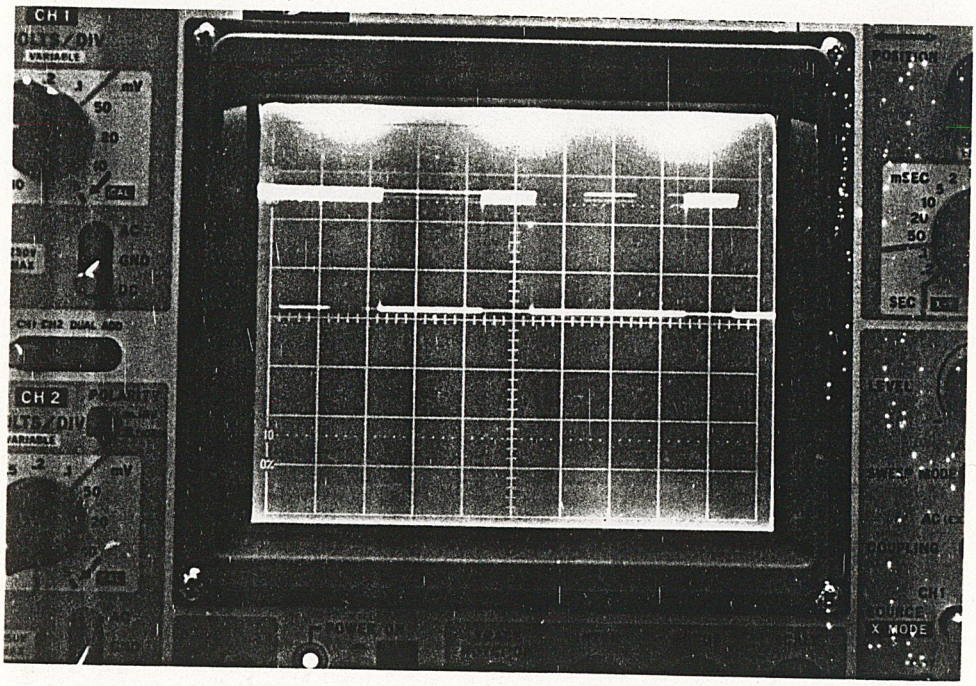
รูปที่ 5.1 ข้อมูลขณะส่ง



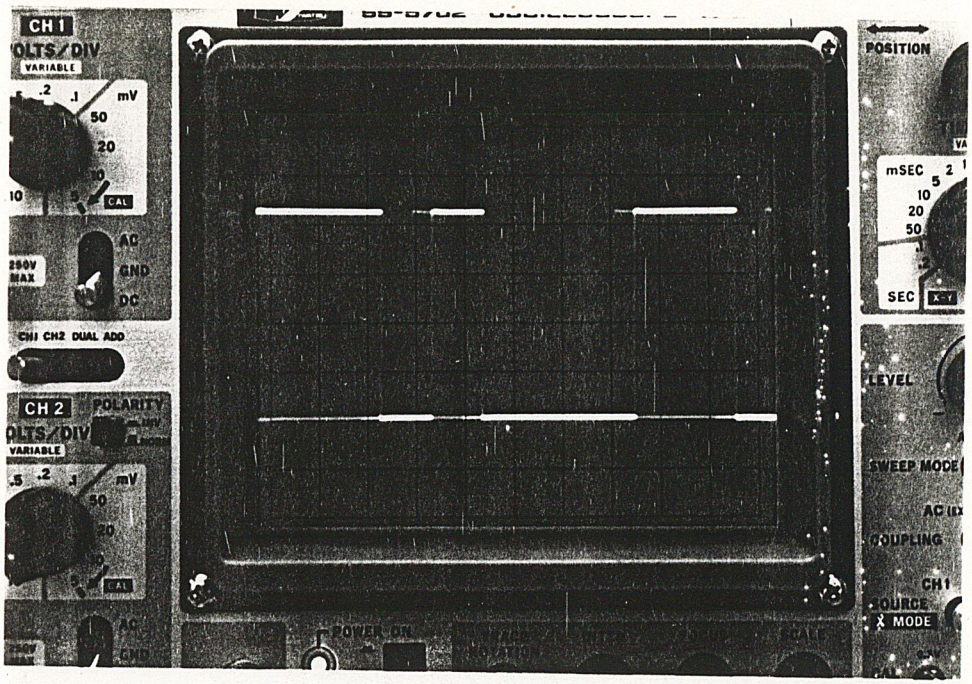
รูปที่ 5.2 ที่ขาคอลเลคเตอร์ของภาคส่ง



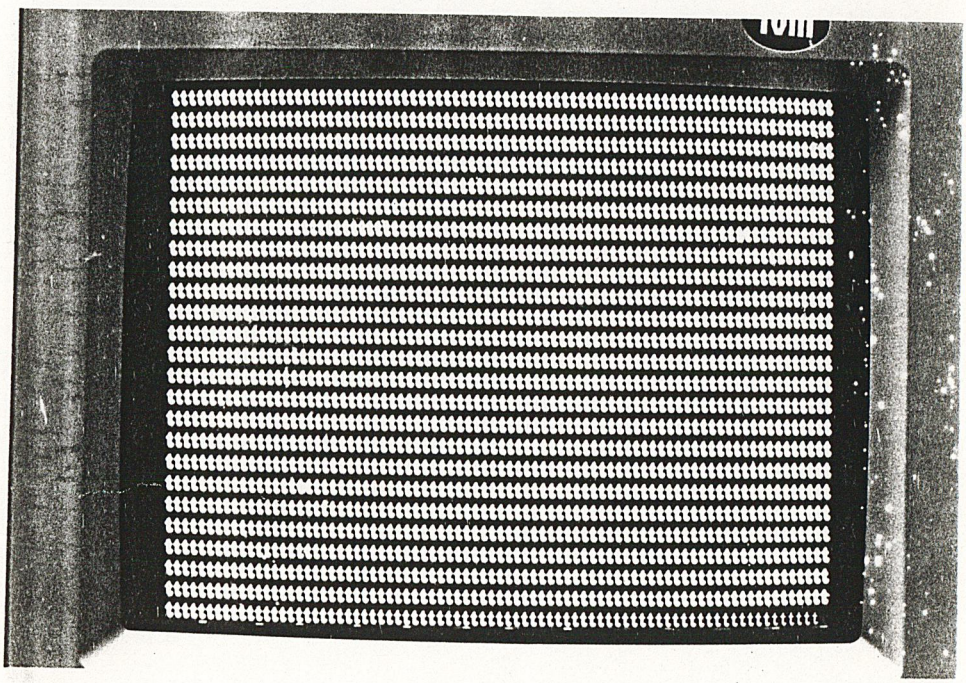
รูปที่ 5.3 ที่ขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ตัวที่ 1 ของภาครับ



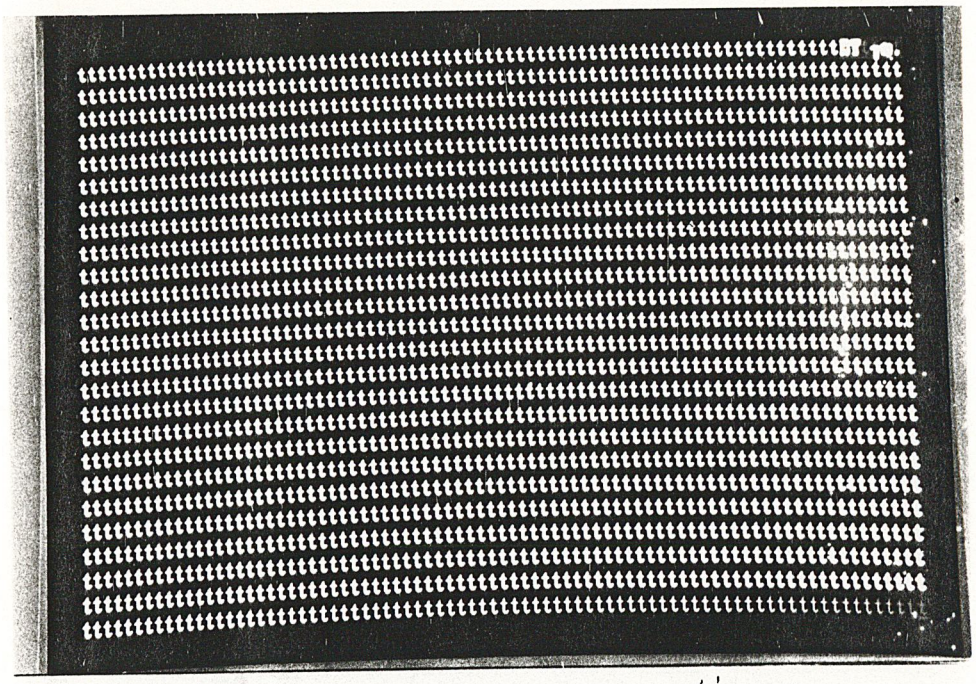
รูปที่ 5.4 ที่ขา 2 ของ IC MC3302



รูปที่ 5.5 ที่เอ้าท์พุท IC MC1488

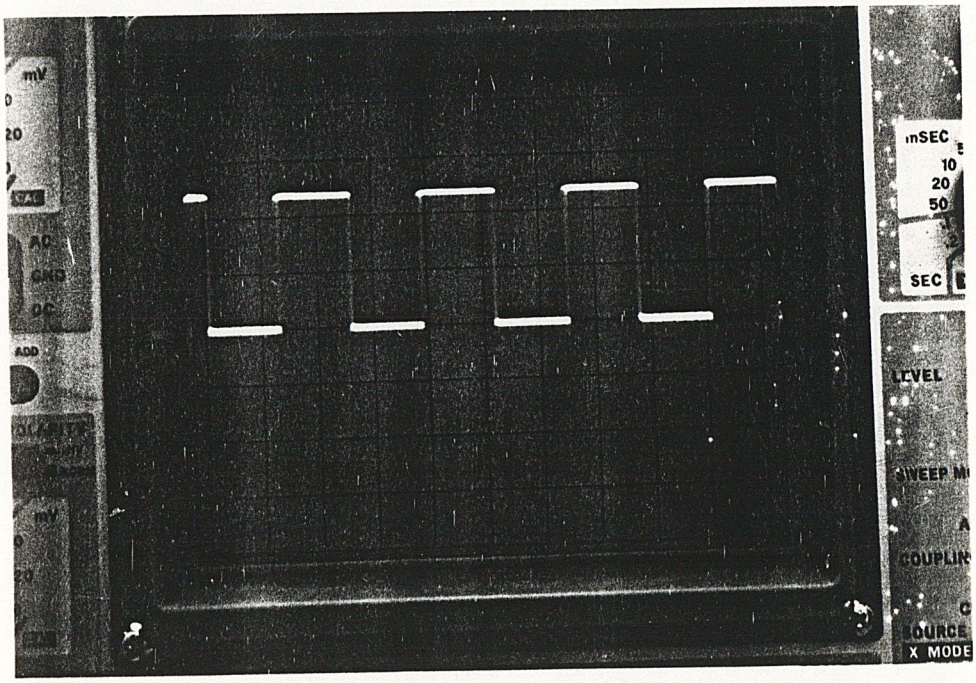


รูปที่ 5.6 แสดงข้อมูลบนจอคอมพิวเตอร์ที่ส่ง

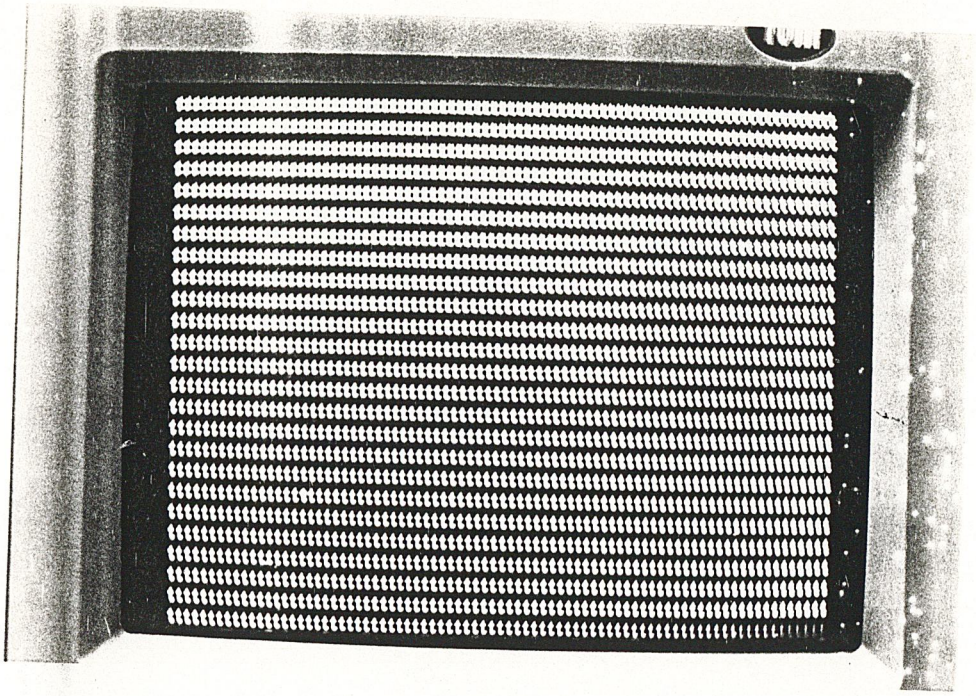


รูปที่ 5.7 แสดงข้อมูลบนจอคอมพิวเตอร์ที่ภาครับ

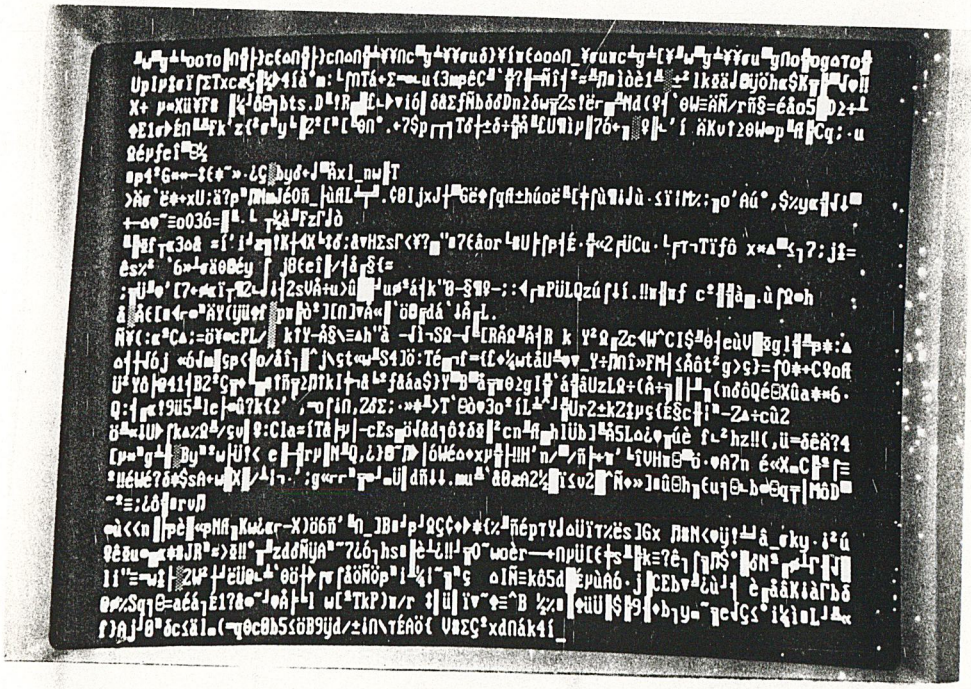
ผลการทดลองการส่งแบบแมนเชสเตอร์



รูปที่ 5.8 แสดงสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 5.9 ข้อมูลที่ส่งแบบแมนเชสเตอร์



รูปที่ 5.10 ข้อมูลที่รับแบบแมนเชสเตอร์

ปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงงาน

1. ในการส่งข้อมูลแบบแมนเชสเตอร์ที่ภาครับยังไม่สามารถที่จะถอดรหัสข้อมูลได้เหมือนกับภาคส่งจะต้องมีวงจร clock recovery ให้มีความถี่เท่ากับทางด้านภาคส่งคือ 9600 Hz
2. ในการส่งข้อมูลนั้นจะต้องใส่สายไฟเบอร์ให้ตรงกับรูที่แสงออก มิฉะนั้นแล้วจะทำให้ข้อมูลที่ภาครับนั้นผิดไปในการส่งแบบ NRZ
3. จากวงจรในส่วนของวงจร MONOSTABLE นั้นควรจะใช้เป็นแบบ non-retrigerred

แนวทางในการพัฒนา

1. พัฒนาวงจรในการถอด clock recovery ให้ได้ความถี่เท่ากับ 9600 Hz แล้วนำมาทำการเอ็กคูลซีฟกับข้อมูลที่รับมาได้ ก็จะได้ข้อมูลที่ถูกต้อง
2. พัฒนาการส่งข้อมูลให้มีความเร็วมากขึ้นกว่าที่มีอยู่เดิม
3. เขียนโปรแกรมให้มีการเลือกอัตราการส่งข้อมูลได้

สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์นั้นในการส่งข้อมูลแบบ NRZ นั้นส่งด้วยอัตราเร็ว 9600Hz ที่ภาครับสามารถรับข้อมูลได้เหมือนกับที่ส่งมาทุกประการ ข้อควรระวังเกี่ยวกับข้อต่อสายของไฟเบอร์ออปติกนั้นถ้าหากสายไฟเบอร์ไม่ตรงกับช่องที่แสงออกมาแล้วนั้นจะทำให้ข้อมูลที่รับได้นั้นผิดเพี้ยนไปจากเดิม ส่วนการส่งข้อมูลแบบ แมนเชสเตอร์นั้นยังไม่สามารถที่จะทำงานได้ดี ในการส่งนั้นส่งอัตราบิทเรทเท่ากับ 9600 Hz ซึ่งที่ภาครับรับข้อมูลยังผิดเพี้ยนอยู่ ส่วนที่จะต้องทำการปรับปรุงคือส่วนของวงจร clock recovery ซึ่งจากวงจรที่ทดลองนี้ยังไม่สามารถที่จะนำมาใช้งานได้ จะต้องหาวงจร clock recovery ที่ดีกว่านี้และสามารถถอดคล็อกออกมาให้ได้เท่ากับคล็อกที่ภาคส่งจึงจะทำให้ได้ข้อมูลเหมือนกับที่ภาคส่ง

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี โดยได้รับการแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาคืออาจารย์ชวลิต เบญจางคประเสริฐ ซึ่งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงงานนี้ และขอขอบคุณพี่สุวรรณ อินแบนและพี่สรสิทธิ์ กิจคณะ ที่ช่วยในการยืมอุปกรณ์มาทดลอง ไม่ว่าจะเป็นคอมพิวเตอร์ หรือ หนังสือคู่มือต่างๆ และขอขอบคุณอาจารย์ท่านอื่นๆที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงงานนี้ และที่สำคัญคือกำลังใจจากเพื่อนทุกคนที่คอยให้อยู่ตลอดเวลาและที่ขาดไม่ได้คือ พ่อแม่ที่ช่วยเหลือเงินทุนในการทำโครงงานนี้อย่างเต็มที่

บรรณานุกรม

วิวัฒน์ กิรานนท์ ดร.,ปราโมทย์ วาดเขียน .พื้นฐานการสื่อสารข้อมูล.คณะวิศวกรรมศาสตร์ พระจอมเกล้าลาดกระบัง กรุงเทพฯ

อธิคม ฤกษบุตร, เซมิคอนดักเตอร์, ฉบับที่ 118-120.สำนักพิมพ์ซีเอ็ด กรุงเทพฯ

อภินันท์ มัณยานนท์, การสื่อสารเส้นใยแสง.คณะวิศวกรรมศาสตร์ พระจอมเกล้าลาดกระบัง กรุงเทพฯ

ไพศาล สงวนหมู่ ดร.,ยืน ภู่วรรณ รศ.,การสื่อสารข้อมูลและไมโครคอมพิวเตอร์. สำนักพิมพ์ซีเอ็ด กรุงเทพฯ

Donald G. Bakker, MONO MODE FIBER OPTIC WITH LOCAL AREA AND LONG HAUL NETWORK APPLICATION. VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY. 1987