

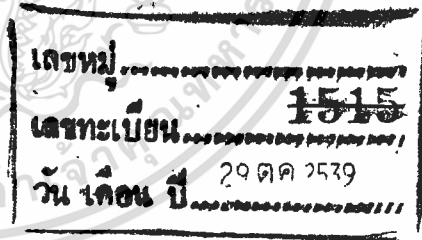
ปริญญาบัตร
ชุดฝึกอบรมสื่อสารดิจิทัลผ่านใยแก้ว
DIGITAL COMMUNICATION SYSTEM BY OPTICAL FIBER TRAINER



นายชูพงศ์ จุลานนท์
นายพิชิต สังข์สังข์ธรรม
นายสุพงษ์ บุปผาชาติ



A021284



021284

ปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตรอุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ใบรับรองปริญญาโท

ปริญญาโท ชุดฝึกอบรมสื่อสารดิจิทัลผ่านเส้นใยแสง






DIGITAL COMMUNICATION SYSTEM BY OPTICAL FIBER TRAINER

- | | | | |
|----------|---------------------------|--------------|----------|
| นักศึกษา | 1. นายชูพงศ์ จุลานนท์ | รหัสประจำตัว | 37031105 |
| | 2. นายพิชิต สังข์สังจรรยา | รหัสประจำตัว | 37031117 |
| | 3. นายสุพงษ์ บุปผาชาติ | รหัสประจำตัว | 37031137 |

หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท

- | |
|------------------------------------|
| 1. ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา |
| 2. ผศ.ประเชิญ ไทรแจ่มจันทร์ |
| 3. อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม |

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม	
2. อาจารย์กิติพงศ์ มะโน	
3. อาจารย์โกศล ตราชู	
4. อาจารย์ประเสริฐ เคนพันคอ	
5. อาจารย์สุชิน อาจหาญ	

วันเดือนปีที่สอบ วันที่ 7 พฤษภาคม 2539 เวลา 16.00 ถึง 17.00 น

สถานที่สอบ ห้อง ก.310 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม



ภาควิชารับรองแล้ว
 ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
 วันที่ ๑๕ เดือน มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๓๙

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ฝ่าฝืนจะดำเนินคดีทั้งสิน อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ชุดฝึกอบรมสื่อสารดิจิทัลผ่านเส้นใยแสง

DIGITAL COMMUNICATION SYSTEM BY OPTICAL FIBER

ผู้จัดทำ

1. นายชูพงศ์ จุลานนท์
2. นายพิชิต สังข์สังข์จรรยา
3. นายสุพงษ์ บุปผาชาติ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงนาม

(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

ลงนาม

(ผศ.ประเชิญ ไทรแจ่มจันทร์)

ลงนาม

(อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

ลงนาม

(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ชุดฝึกอบรมสื่อสารดิจิทัลผ่านเส้นใยแสง

DIGITAL COMMUNICATION SYSTEM BY OPTICAL FIBER TRAINER

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบสื่อสารดิจิทัลและการสื่อสารผ่านเส้นใยแสง
2. เพื่อออกแบบวงจรมอดูเลตและดีมอดูเลตของระบบการสื่อสารแบบดิจิทัล และการสื่อสารผ่านเส้นใยแสงเพื่อใช้เป็นชุดทดลอง
3. เพื่อสร้างชุดทดลองระบบการสื่อสารแบบดิจิทัลและการสื่อสารผ่านเส้นใยแสง
4. เพื่อนำชุดทดลองไปใช้ประกอบการเรียนการสอนในวิชาที่เกี่ยวกับระบบสื่อสาร

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเข้าใจหลักการทำงานของระบบการสื่อสารดิจิทัลแบบต่างๆ และการสื่อสารผ่านเส้นใยแสง
2. สามารถออกแบบและสร้างวงจรใช้งานได้
3. สามารถนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนได้

ชุดฝึกอบรมสื่อสารดิจิทัลผ่านเสันโยแสง

นายชูพงศ์ จุลานนท์
 นายพิชิต สังข์สังข์ธรรม
 นายสุพงษ์ บุปผาชาติ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา
 ผศ.ประเชิญ ไทรแจ่มจันทร์
 อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม
 ปีการศึกษา 2538

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้ การติดต่อสื่อสารเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก ทั้งในหน่วยงานรัฐบาล และเอกชน ทั้งนี้เพื่ออำนวยความสะดวกรวดเร็ว ประหยัดเวลา และค่าใช้จ่ายซึ่งในประเทศต่างๆ ได้ให้ความสนใจที่จะนำเทคโนโลยีมาช่วยพัฒนาการติดต่อสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ให้มีประสิทธิภาพการติดต่อสื่อสารอย่างสูงสุด จึงทำให้เทคโนโลยีด้านการสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์เกิดขึ้นมากมาย ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษา และเรียนรู้ในหลักการระบบสื่อสารนั้นๆ ให้เข้าใจ จึงได้มาเป็นวิชาหนึ่งสำหรับการเรียนการสอนในสถาบันต่างๆ จึงทำให้เกิดให้มีความคิดที่จะผลิตสื่อการสอนทางด้านระบบสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้ผู้ที่สนใจศึกษาสามารถทำการทดลองได้ด้วยตนเอง ซึ่งจะทำให้เกิดความเข้าใจได้ง่าย และรวดเร็ว

DIGITAL COMMUNICATION SYSTEM BY OPTICAL FIBER TRAINER

MR.CHUPONG	JULANON
MR.PICHIT	SUNGSUJJATHAM
MR.SUPONG	BUBPACHAT

ADVISOR

MR.TEERAPOL	TEPHATSADIN N AYUTAYA
MR.PRACHERN	SAICHAMJUNTR
MR.WISUIT	ATIPORNTUM

1995

ABSTRACT

Nowadays, the communication is very essential both in governmental and private sector because it can accord facilities, save time and expenditure. In many countries, technology is used for development of electronical communication to maximize an efficiency of communication. For this reason, more electronical communication occur, and principles of communication system should be studied clearly. Communication studies belong to subjects in curriculum of many institutes, and the concept for production of educational media in eletronical system was made. This is beneficial to an interested person who can do an experiment himself for his rapid and easy apprehension.

กิตติกรรมประกาศ

การที่ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีนั้น กลุ่มผู้จัดทำต้องขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์และอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมที่ได้ให้ข้อเสนอแนะ และแนวทางแก้ไขปัญหาต่างๆ อีกทั้งยังให้การสนับสนุนทางด้านเครื่องมือ และสถานที่ใช้ในการทำโครงการ และการสนับสนุนทางด้านงบประมาณ นอกจากนี้กลุ่มผู้จัดทำขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจเสมอมา



IV

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	IX
สารบัญตาราง	XV
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 การเปลี่ยนสัญญาณแอนะลอก	3
2.1.1 การแซมปลิง	3
2.1.2 การควอนไทซิง	5
2.1.3 การเข้ารหัสเป็นไบนารี	7
2.1.4 การถอดรหัสและการฟิลเตอร์รีจ	8
2.2 การมอดูเลตแบบเดลตา	9
2.2.1 หลักการมอดูเลตแบบเดลตา	9
2.2.2 ตัวส่งสัญญาณ DM	11
2.2.3 ตัวรับสัญญาณ DM	12
2.2.4 ปัญหาในระบบ DM	13
2.3 ฟรีควนซีซีพีทีอิงค์	15
2.3.1 ตัวส่ง FSK	15
2.3.2 การพิจารณาแบนด์วิดของ FSK	15
2.3.3 ตัวรับ FSK	17
2.4 พัลส์มอดูเลชัน	19
2.4.1 พัลส์แอมพลิจุมอดูเลชัน	20
2.4.2 พัลส์วีกท์มอดูเลชัน	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	หน้า
2.4.3 พัลส์เฟสมอดูเลชัน	21
2.4.4 พัลส์พรีแควนซีมอดูเลชัน	22
2.5 การส่งสัญญาณข้อมูลผ่านเส้นใยแสง	23
2.5.1 กล่าวนำ	23
2.5.1.1 การเดินทางของแสง	23
2.5.1.2 การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง	24
2.5.1.3 ชนิดของเส้นใยแสง	25
2.5.1.4 คุณสมบัติของเส้นใยแสง	26
2.5.2 อุปกรณ์กำเนิดแสง	27
2.5.2.1 โครงสร้างและการทำงานของอุปกรณ์เปล่งแสงของสารกึ่งตัวนำ	27
2.5.2.2 โครงสร้างของอุปกรณ์เปล่งแสงแบบ LD	31
2.5.3 การเชื่อมอุปกรณ์กำเนิดแสงกับเส้นใยแสง	35
2.5.4 อุปกรณ์รับแสง	36
2.5.4.1 สารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง	36
2.5.5 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์รับแสงกับเส้นใยแสง	39
2.5.6 การผสมและการแยกสัญญาณ	41
2.5.7 การมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์	42
2.5.7.1 อุปกรณ์มัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์ทางแสง	42
2.5.7.2 วิธีการมัลติเพล็กซ์	44
บทที่ 3 การสร้างและการออกแบบ	47
3.1 Pulse Code Modulation	47
3.1.1 ฟังก์ชันการทำงานของ PCM	47
3.1.2 การกำเนิดสัญญาณพัลส์นาฬิกา	48
3.1.3 วงจร PCM Code Filter	48
3.2 การมอดูเลตแบบเคลตา	49
3.2.1 ฟังก์ชันการทำงานของมอดูเลตแบบเคลตา	49

เรื่อง	หน้า
3.2.2 วงจรมอดูเลตแบบเคลตา	50
3.2.2.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นาฬิกา	50
3.2.2.2 วงจรคิจิตอลเซมเบิ้ล	50
3.2.2.3 วงจรอินทิเกรเตอร์ 1	51
3.2.2.4 วงจรอินทิเกรเตอร์ 2	52
3.2.2.5 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	53
3.3 การมอดูเลตแบบพัลส์	54
3.3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา	54
3.3.2 วงจรเซมเบิ้ล	55
3.3.3 วงจรเซมเบิ้ลและค้างสถานะ	56
3.3.4 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์เวฟหลัก	56
3.3.5 วงจรผสมสัญญาณ	57
3.3.6 วงจรซิงค์โครไนซ์	58
3.4 การมอดูเลตเตอร์สัญญาณคิจิตอล	60
3.4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นาฬิกา	60
3.4.2 วงจรเข้ารหัสข้อมูล	60
3.4.3 การเข้ารหัสสัญญาณ	61
3.4.4 การมอดูเลตแบบ FSK	62
3.4.5 วงจรการมอดูเลตแบบ FSK	62
3.4.6 การคีมอดูเลตแบบ FSK	63
3.4.7 วงจรการทดลองคีมอดูเลตแบบ FSK	63
3.4.8 วงจรตรวจจับสัญญาณเพื่อกรองความถี่	65
3.4.9 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	65
3.5 การทดลองมอดูเลตแบบ ASK และ PSK	66
3.5.1 วงจรมอดูเลตแบบ ASK และ PSK	66
3.5.2 วงจรกรองความถี่แคบผ่าน	67
3.5.3 วงจรการคีมอดูเลตแบบ ASK และ PSK	68

VII

เรื่อง	หน้า
3.6 สัญญาณรบกวน	69
3.6.1 วงจรกำเนิดสัญญาณรบกวน	69
3.6.2 วงจรแปลงสัญญาณรบกวนให้สูงขึ้น	69
3.6.3 วงจรช่องสัญญาณ	70
3.6.4 NOT FILTER / SPEAKER AMP	71
3.6.5 วงจร BER COUNTER	72
3.7 การสื่อสารผ่านเส้นใยแสง	73
3.7.1 ฟังก์ชันการทำงานของระบบการสื่อสารเส้นใยแสง	73
3.7.2 วงจรของระบบการสื่อสารเส้นใยแสง	73
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	81
4.1 การทดลอง PCM	81
4.1.1 ลำดับขั้นการทดลอง	81
4.1.2 ผลการทดลอง	82
4.2 การทดลอง PCM	84
4.2.1 ลำดับขั้นการทดลอง	84
4.2.2 ผลการทดลอง	85
4.3 การทดลอง DELTA MODULATION และ DEMODULATION	89
4.3.1 ลำดับขั้นการทดลอง	89
4.3.2 ผลการทดลอง	90
4.4 การทดลอง FSK MODULATION และ DEMODULATION	93
4.4.1 ลำดับขั้นการทดลอง	93
4.4.2 ผลการทดลอง	95
4.5 การทดลอง ASK MODULATION และ DEMODULATION	101
4.5.1 ลำดับขั้นการทดลอง	101
4.5.2 ผลการทดลอง	103
4.6 การทดลอง PSK MODULATION และ DEMODULATION	106
4.6.1 ลำดับขั้นการทดลอง	106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VIII

เรื่อง	หน้า
4.6.2 ผลการทดลอง	108
4.7 การทดลอง OPTIC FIBER	111
บทที่ 5 สรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา	120
5.1 บทสรุป	120
5.2 ปัญหาในการทดลอง	120
5.3 แนวทางการแก้ไขและพัฒนา	121
ภาคผนวก ก รูปภาพโครงการ	122
ภาคผนวก ข ใบงานการทดลอง	124
ภาคผนวก ค ใบงานการทดลองและผลการทดลอง	182
ภาคผนวก ง เอกสารข้อมูลอุปกรณ์	244
บรรณานุกรม	



สารบัญภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบ PCM	3
รูปที่ 2.2 การแซมปลิง	4
รูปที่ 2.3 การแซมปลิงสัญญาณเสียง	4
รูปที่ 2.4 สัญญาณ PAM	5
รูปที่ 2.5 การควอนไทซ์	5
รูปที่ 2.6 เสียงรบกวนควอนไทซ์	6
รูปที่ 2.7 การเข้ารหัส	7
รูปที่ 2.8 ระบบทวนสัญญาณสร้างขึ้นใหม่	8
รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก	8
รูปที่ 2.10 ขบวนการถอดรหัส	9
รูปที่ 2.11 ขบวนการฟิลเตอร์รีจ	9
รูปที่ 2.13 ผังการทำงานของระบบ PCM	10
รูปที่ 2.14 ตัวส่งสัญญาณ DM	11
รูปที่ 2.15 การทำงานทางอุดมคติของตัวเข้ารหัส DM	12
รูปที่ 2.16 ตัวรับสัญญาณ DM	13
รูปที่ 2.17 การเพี้ยนเนื่องจากการเกิด โอเวอร์ โหลดทางความชัน	14
รูปที่ 2.18 สัญญาณรบกวนแบบมีค	14
รูปที่ 2.19 ตัวมอดูเลตสัญญาณแบบ FSK	16
รูปที่ 2.20 วงจรคีมอดูเลตสัญญาณแบบ FSK	18
รูปที่ 2.21 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของตัวรับสัญญาณ FSK	18
รูปที่ 2.22 พัลส์มอดูเลชันระบบต่างๆ	19
รูปที่ 2.23 หลักการของ มอดูเลชัน PAM และคีมอดูเลชัน	20
รูปที่ 2.24 หลักการของ มอดูเลชัน PWM และคีมอดูเลชัน	21
รูปที่ 2.25 หลักการของ PPM มอดูเลชัน และคีมอดูเลชัน	22
รูปที่ 2.26 หลักการของ PFM มอดูเลชันและคีมอดูเลชัน	22

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.27 การเดินทางของแสงภายในแกนของเส้นใยแสง	23
รูปที่ 2.28 มุมรับแสงของเส้นใยแสง	24
รูปที่ 2.30 ตัวอย่างการจัดอิลีกตรอน และนิวเคลียสในสารกึ่งตัวนำ	27
รูปที่ 2.31 ระดับพลังงานในสารกึ่งตัวนำ	28
รูปที่ 2.32 หลักการออสซิลเลชันของแสง	29
รูปที่ 2.33 การเกิดคลื่นนิ่งของแสง	29
รูปที่ 2.34 ความยาวคลื่นต่างๆ ของ LASER	30
รูปที่ 2.35 โครงสร้างทั่วไปของ LD	31
รูปที่ 2.36 โครงสร้าง, ระดับพลังงาน และลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของ LD	33
รูปที่ 2.37 โครงสร้างแบบ PLANAR STRIPE	34
รูปที่ 2.38 โครงสร้างของ EMBEDDING STRIPE TYPE	35
รูปที่ 2.39 การเชื่อมแสงระหว่างอุปกรณ์ปล่อยแสงกับเส้นใยแสง	36
รูปที่ 2.40 ความยาวคลื่นในการรับแสงของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิด	37
รูปที่ 2.41 หลักการทำงานการรับแสง และระดับพลังงานของ PIN PD	38
รูปที่ 2.42 หลักการทำงานรับแสง และระดับพลังงานของ APD	39
รูปที่ 2.43 ตัวอย่างโครงสร้างภายในของ APD MODULE	40
รูปที่ 2.44 PIN-PD MODULE APD และ MODULE	40
รูปที่ 2.45 การผสมสัญญาณแสงและการส่ง	41
รูปที่ 2.46 การทำงานของ OPTICAL MULTIPLEXER และ OPTICAL DEMULTIPLEXER	42
รูปที่ 2.47 ลักษณะภายนอกของ OPTICAL MULTIPLEXER และ OPTICAL DEMULTIPLEXER แบบ INTERFERENCE FILM	44
รูปที่ 2.48 วิธีการทำมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแสง	45
รูปที่ 2.49 ส่วนประกอบของระบบการส่ง WAVE LENGTH DIVISION MULTIPLEX	46
รูปที่ 3.1 ผังการทำงานของ PCM	47

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 3.2 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นาฬิกา	48
รูปที่ 3.3 วงจร PCM CODEC FILTER	48
รูปที่ 3.4 ผังการทำงานของมอดูเลตแบบเฟส	49
รูปที่ 3.5 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา	50
รูปที่ 3.6 วงจรดิจิทัลออสซิลเลเตอร์	50
รูปที่ 3.7 วงจรอินเวอร์เตอร์ 1	51
รูปที่ 3.8 วงจรอินเวอร์เตอร์ 2	52
รูปที่ 3.9 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	53
รูปที่ 3.10 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา	54
รูปที่ 3.11 วงจรกำเนิดสัญญาณออสซิลเลเตอร์	55
รูปที่ 3.12 วงจรออสซิลเลเตอร์ และคางสภาวะ	56
รูปที่ 3.13 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์เวฟหลัก	57
รูปที่ 3.14 วงจรผสมสัญญาณ	57
รูปที่ 3.15 วงจรซิงค์โครไนซ์	58
รูปที่ 3.16 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นาฬิกา	60
รูปที่ 3.17 วงจรเข้ารหัสข้อมูล	61
รูปที่ 3.18 วงจรการเข้ารหัสสัญญาณ	61
รูปที่ 3.19 วงจรการทดลองมอดูเลตแบบ FSK	62
รูปที่ 3.20 วงจรการทดลองดีมอดูเลตแบบ FSK	64
รูปที่ 3.21 วงจรตรวจจับสัญญาณเพื่อกรองความถี่	65
รูปที่ 3.22 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	66
รูปที่ 3.23 วงจรมอดูเลตแบบ ASK และ PSK	66
รูปที่ 3.24 วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน	67
รูปที่ 3.25 วงจรการดีมอดูเลตแบบ ASK และ PSK	68
รูปที่ 3.26 วงจรสัญญาณรบกวน	69
รูปที่ 3.27 วงจรแปลงสัญญาณรบกวนให้สูงขึ้น	70
รูปที่ 3.28 วงจรช่องสัญญาณ	71

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 3.29 วงจร NOTCHFILTER/ SPEAKER AMP	71
รูปที่ 3.30 วงจร BER COUNTER	72
รูปที่ 3.31 ผังการทำงานของระบบการสื่อสารใยแสง	73
รูปที่ 3.32 วงจร FO TRANSMITTER	74
รูปที่ 3.33 วงจรที่ใช้ระบบดิจิทัลในการส่งผ่านสัญญาณไฟตรง	75
รูปที่ 3.34 (ก) วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่	76
(ข) วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่	76
รูปที่ 3.35 การกำหนดความกว้างของพัลส์	78
รูปที่ 3.36 วงจรของชุดฝึกที่ใช้ในการทดลอง	79
รูปที่ 4.1 วงจรผังการทำงานของ PCM	81
รูปที่ 4.2 ผลของสัญญาณ PCM ที่ความถี่แซมปลิง 8 KHz	82
รูปที่ 4.3 ผลของสัญญาณแอนะล็อกที่ความถี่แซมปลิง 8 KHz	82
รูปที่ 4.4 ผลของสัญญาณ PCM ที่ความถี่แซมปลิง 4 KHz	83
รูปที่ 4.5 ผลของสัญญาณแอนะล็อกที่ความถี่แซมปลิง 4 KHz	84
รูปที่ 4.6 ผังการทำงานของวงจร PAM	85
รูปที่ 4.7 ผังการทำงานของวงจร PAM	85
รูปที่ 4.8 ผลของสัญญาณแอนะล็อกกับสัญญาณแซมเปิ้ล A	86
รูปที่ 4.9 ผลของสัญญาณแอนะล็อกกับสัญญาณแซมเปิ้ล B	86
รูปที่ 4.10 ผลของสัญญาณ TDM	87
รูปที่ 4.11 ผลของสัญญาณ TDM	87
รูปที่ 4.12 ผลของสัญญาณแอนะล็อก A	88
รูปที่ 4.13 ผลของสัญญาณแอนะล็อก B	88
รูปที่ 4.14 ผังการทำงานของวงจรเคลตามอดูเลต	89
รูปที่ 4.15 ผลของสัญญาณแอนะล็อก	90
รูปที่ 4.16 ผลของสัญญาณดิจิทัลแซมเปิ้ล	90
รูปที่ 4.17 ผลของสัญญาณอินทิเกรต 1 กับสัญญาณอินทิเกรต 2	91
รูปที่ 4.18 ผลของสัญญาณแอนะล็อก	91

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 4.19 ผลของสัญญาณดิจิทัลแชนเนลเปิดกับสัญญาณแอนะล็อก ที่ความถี่ 800 Hz	92
รูปที่ 4.20 ผลของสัญญาณดิจิทัลแชนเนลเปิดกับสัญญาณแอนะล็อก ที่ความถี่ 1200 Hz	92
รูปที่ 4.21 ผลของสัญญาณดิจิทัลแชนเนลเปิดกับสัญญาณแอนะล็อก ที่ความถี่ 1600 Hz	93
รูปที่ 4.22 ผังการทำงานวงจรเข้ารหัส	93
รูปที่ 4.23 ผังการทำงานวงจร FSK	94
รูปที่ 4.24 ผังการทำงานวงจร FSK DEMOD	95
รูปที่ 4.25 ผลของสัญญาณรหัสข้อมูลแบบ NRZ กับสัญญาณ CLOCK	96
รูปที่ 4.26 ผลของสัญญาณรหัสข้อมูลแบบ NRZ	96
รูปที่ 4.27 ผลของสัญญาณรหัสข้อมูลแบบ RZ	97
รูปที่ 4.28 ผลของสัญญาณรหัสข้อมูลแบบ MANCHESTER	97
รูปที่ 4.29 ผลของสัญญาณรหัสข้อมูลแบบ NRZ กับสัญญาณ FSK MOD	98
รูปที่ 4.30 ผลของสัญญาณรหัสข้อมูลแบบ RZ กับสัญญาณ FSK MOD	98
รูปที่ 4.31 ผลของสัญญาณรหัสข้อมูลแบบ MANCHESTER กับสัญญาณ FSK MOD	99
รูปที่ 4.32 ผลของสัญญาณ OSCILLATOR กับสัญญาณ VCO	99
รูปที่ 4.33 ผลของสัญญาณแบบ FSK	100
รูปที่ 4.34 ผลของสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR	100
รูปที่ 4.35 ผังการทำงานวงจร ASK MOD	101
รูปที่ 4.36 ผังการทำงานวงจร ASK DEMOD	102
รูปที่ 4.37 ผลของสัญญาณรหัสข้อมูลแบบ NRZ กับสัญญาณ ASK DEMOD	103
รูปที่ 4.38 ผลของสัญญาณรหัสข้อมูลแบบ RZ กับสัญญาณ ASK DEMOD	103
รูปที่ 4.39 ผลของสัญญาณรหัสข้อมูลแบบ MANCHESTER กับ สัญญาณ ASK DEMOD	104
รูปที่ 4.40 ผลของสัญญาณ ASK MOD	104

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 4.41 ผลของสัญญาณ ASK DEMOD	105
รูปที่ 4.42 ผลของสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR กับสัญญาณ ขอมูลรหัสแบบ NRZ	105
รูปที่ 4.43 ผังการทำงานวงจร PSK MOD	106
รูปที่ 4.44 ผังการทำงานวงจร PSK DEMOD	107
รูปที่ 4.45 ผลของสัญญาณ PSK MOD กับสัญญาณ NRZ	108
รูปที่ 4.46 ผลของสัญญาณ PSK MOD กับสัญญาณ RZ	108
รูปที่ 4.47 ผลของสัญญาณ PSK MOD กับสัญญาณ MANCHESTER	109
รูปที่ 4.48 ผลของสัญญาณ PSK MOD	109
รูปที่ 4.49 ผลของสัญญาณ PSK DEMOD กับสัญญาณ PSK MOD	110
รูปที่ 4.50 ผลของสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR	110
รูปที่ 4.51 (ก) วงจรการทดลองการสื่อสารแอนะล็อกโดยใช้ ระบบเส้นใยแสง	111
(ข) วงจรการทดลองการสื่อสารแอนะล็อกโดยใช้ ระบบเส้นใยแสง	112
รูปที่ 4.52 สัญญาณเอาต์พุตที่จุด J27	112
รูปที่ 4.53 วงจรการส่งแรงดันไฟตรงผ่านเส้นใยแสง	113
รูปที่ 4.54 เปรียบสัญญาณที่จุด J26 กับ J8	115
รูปที่ 4.55 การวัดสัญญาณพัลส์เปรียบเทียบสัญญาณที่มีความต่อเนื่อง	115
รูปที่ 4.56 สัญญาณอันเนื่องมาจากกระแส IF ที่จุด J37	116
รูปที่ 4.57 การวัดสัญญาณพัลส์เปรียบเทียบสัญญาณที่มีความต่อเนื่อง	117
รูปที่ 4.58 สัญญาณอันเนื่องมาจากค่า DUTY CYCLE ลดลง 10% ที่จุด J45	117
รูปที่ 4.59 การเชื่อมต่อการทำงานของระบบ TDM ด้วยเส้นใยแสง	118

สารบัญภาพ

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ชนิดของเส้นใยแสง	26
ตารางที่ 2.2 วิธีการสร้าง Optical Multiplexer และ Optical Demultiplexer	43
ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพของการส่งแรงดันไฟตรงบนเส้นใยแสง	114



บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันนี้การติดต่อสื่อสาร เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่ขาดไม่ได้ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ในทุกๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นธุรกิจ, การธนาคาร, การบันเทิง, การทหาร ตลอดจนกระทั่ง การสาธารณสุขประโยชน์ด้านต่างๆ ซึ่งเราต่างคุ้นเคยกับระบบสื่อสารเป็นอย่างดีไม่ว่าจะเป็น โทรศัพท์, โทรเลข, วิทยุ, โทรสาร, ความเทียม ฯลฯ ซึ่งระบบดังกล่าวได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาตลอดเพื่อความสะดวกสบายของมนุษย์ เราอาจจะเห็นได้ว่าในสมัยแรกๆ นั้น ระบบสื่อสารต่างๆ ใช้สายเคเบิล และคลื่นวิทยุเป็นพาหะ และการสื่อสารเป็นระบบแอนะล็อก ซึ่งมีข้อจำกัดบางประการ เช่น คลื่นวิทยุที่ใช้มีความหนาแน่นจนไม่มีความถี่ว่าง หรือความถี่ในการสื่อสารอาจเต็มหมด ทำให้การติดต่อสื่อสารเป็นไปด้วยความยากลำบาก ด้วยเหตุนี้ จึงมีการพัฒนาระบบสื่อสารให้สามารถแก้ไขข้อจำกัดในสมัยแรกๆ ให้ดีขึ้นกว่าเดิม เช่น การติดต่อสื่อสารผ่านเส้นใยแสง (OPTICAL FIBER) และการติดต่อสื่อสารระบบดิจิทัลแทนระบบแอนะล็อก เป็นต้น

ในการติดต่อสื่อสารผ่านเส้นใยแสง คือ การส่งข้อมูลข่าวสารผ่านตัวกลางคือเส้นใยแสงไปยังผู้รับ โดยใช้ตัวกำเนิดแสง เช่น LASER DIODE หรือ LED เพื่อเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าที่จะส่งออกไปเป็นแสง โดยทางภาครับก็จะเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม ข้อดีของการติดต่อสื่อสารด้วยระบบแสง คือ จะมีการสูญเสียต่ำ, มีแบนวิทกว้าง, มีความสะดวกในการบำรุงรักษาเนื่องจากระบบมีขนาดเล็ก และสามารถส่งข้อมูลได้มาก เนื่องจากแสงมีความถี่สูงทำให้สามารถบรรจุข่าวสารได้มากมาย เป็นต้น ส่วนในการติดต่อสื่อสารระบบดิจิทัลนั้น ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และมีการนำไปใช้งานกันอย่างกว้างขวางในงานบางประเภทแทนระบบแอนะล็อก และทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า โดยการทำงานนั้นจะเริ่มจากการเปลี่ยนสัญญาณต่อเนื่องให้เป็นสัญญาณที่แยกจากกัน โดยการสุ่มสัญญาณต่อเนื่องเข้ามาในระบบ สัญญาณต่อเนื่องหลังจากที่ผ่านการสุ่มแล้วจะได้สัญญาณที่อยู่ในรูปของสัญญาณที่แยกจากกัน และทำการเข้ารหัสเป็นสัญญาณดิจิทัล ทางด้านรับก็จะทำการถอดรหัสสัญญาณดิจิทัลที่รับเข้ามาเป็นสัญญาณเดิม ข้อดีของการสื่อสาร ดิจิตอล คือ มีความละเอียดในการประมวลผลสัญญาณ และการป้องกันสัญญาณไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รบกวนได้มากกว่าระบบแอนะล็อก ดังนั้น ปรินทิพฉบับนี้จึงทำการออกแบบสร้างชุดทดลองระบบสื่อสารดิจิทัล และการสื่อสารผ่านเส้นใยแสงขึ้นมา เพื่อใช้เป็นชุดฝึกทดลองสำหรับ นักศึกษา ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง และหรือ ระดับปริญญาตรีทดลองการทำงาน ของระบบสื่อสารดิจิทัล และการสื่อสารผ่านเส้นใยแสง ปรินทิพฉบับนี้แบ่งออกเป็น 5 บท มีเนื้อหาแต่ละบทดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงเหตุผล, หลักการทั่วไปของปรินทิพ และเนื้อหาโดยสังเขปของปรินทิพฉบับนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ กล่าวถึงทฤษฎีที่สำคัญ, หลักการทำงานของระบบการสื่อสารดิจิทัล และการสื่อสารผ่านเส้นใยแสง

บทที่ 3 การออกแบบ, สร้าง และการทำงาน กล่าวถึงการออกแบบวงจร และการทำงานของวงจรต่างๆ

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง กล่าวถึงการเชื่อมต่อวงจรภาคต่างๆ เข้าด้วยกัน และทำการทดลองวัดสัญญาณที่จุดต่างๆ ของวงจร พร้อมทั้งผลการทดลองอย่างละเอียด

บทที่ 5 บทสรุป, ปัญหา, แนวทางแก้ไข และพัฒนา บทนี้จะเป็นบทสรุปว่าปรินทิพฉบับนี้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้หรือไม่อย่างไร และได้วางแนวทางแก้ไขและพัฒนาปรินทิพฉบับนี้ไว้

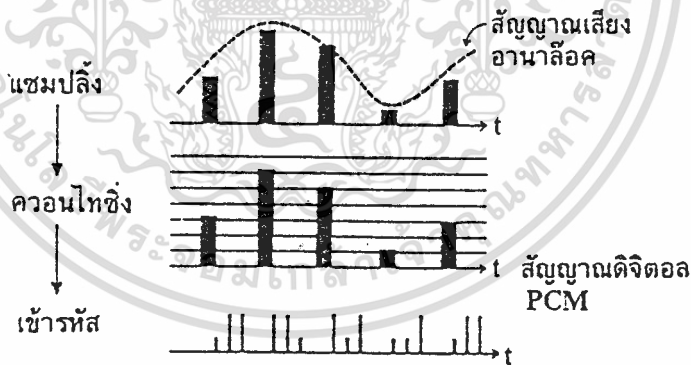
บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบ PCM

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการเปลี่ยนสัญญาณเสียง ซึ่งเดิมเป็นแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล PCM และการเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัล PCM กลับไปเป็นสัญญาณเสียงแอนะล็อกอย่างเดิม

ทางด้านส่ง สัญญาณเสียงแอนะล็อกถูกเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณดิจิทัล PCM โดยผ่านกระบวนการแซมปลิง, การควอนไทซ์ และการเข้ารหัส ขบวนการทั้งสามขั้นตอนนี้เรียกว่า ขบวนการเปลี่ยนแอนะล็อกเป็นดิจิทัล



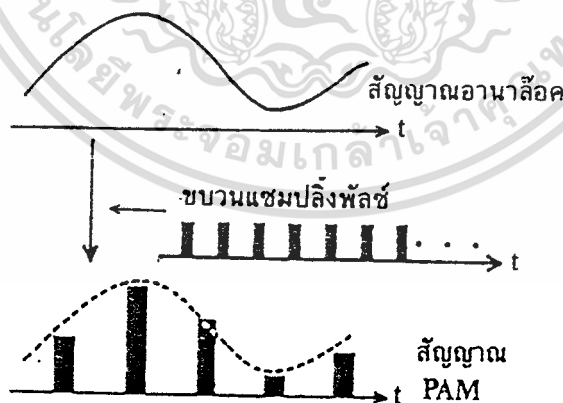
รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

2.1.1 การแซมปลิง

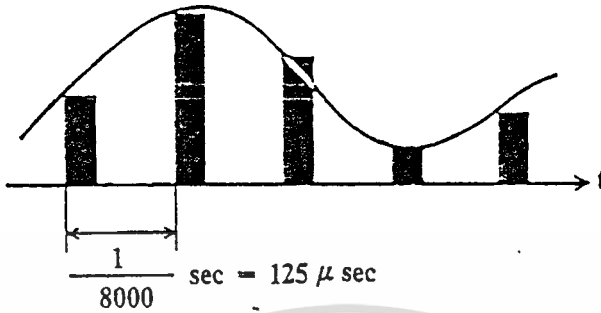
แอมพลิจูดของสัญญาณเสียงแอนะล็อกเป็นลักษณะต่อเนื่องตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป การแซมปลิง คือการนำเอาแอมพลิจูดของสัญญาณแอนะล็อกมาตามช่วงเวลาที่เหมาะสม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นช่วงๆ ขบวนการนี้คล้ายกับแอมพลิจูด โมดูเลชัน ซึ่งในขบวนการพัลซ์ช่วงหนึ่งๆ หรือพัลซ์ที่มีการแชนป์ลิงถูกโมดูเลตทางแอมพลิจูดโดยสัญญาณแอนะลอก แชนป์ลิงเหล่านี้ถูกจัดเรียงอยู่ในแกนของเวลา สัญญาณที่ได้จากขบวนการแชนป์ลิงเหล่านี้เรียกว่า สัญญาณ PAM (Pulse Amplitude Modulation)

องค์ประกอบที่สำคัญประการหนึ่งในการแชนป์ลิง คือสัญญาณแอนะลอกควรจะทำให้การแชนป์ลิงช่วงความถี่ขนาด ไหนทางค่านส่ง เพื่อให้ทางค่านรับรับสัญญาณเดิมได้อย่างถูกต้องที่สุด ทางทฤษฎีการแชนป์ลิงกล่าวไว้ว่า “ ถ้าสัญญาณข่าวสารซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลาถูกแชนป์ลิงอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาที่เท่าๆ กัน และที่อัตราอย่างน้อย 2 เท่าของความถี่สัญญาณสูงสุดแล้ว แชนป์ลิงที่ได้ก็จะบรรจุข่าวสารข้อมูลทั้งหมดของสัญญาณข่าวสารเดิมไว้ได้ ” ดังนั้นตามทฤษฎีนี้ ถ้าทำการแชนป์ลิงสัญญาณแอนะลอกที่อัตราอย่างน้อย 2 เท่าของความถี่สูงสุด เราจะได้รับสัญญาณเดิมอย่างสมบูรณ์จากแชนป์ลิงเหล่านี้ CCITT แนะนำว่ากรณีสัญญาณเสียงของมนุษย์ การแชนป์ลิงควรทำที่อัตรา 8 กิโลเฮิร์ต ดังนั้น ช่วงระหว่างแชนป์ลิงจะได้เท่ากับ $1/8,000$ หรือ $125 \mu\text{s}$



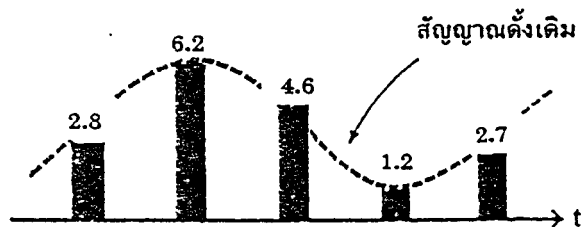
รูปที่ 2.2 การแชนป์ลิง



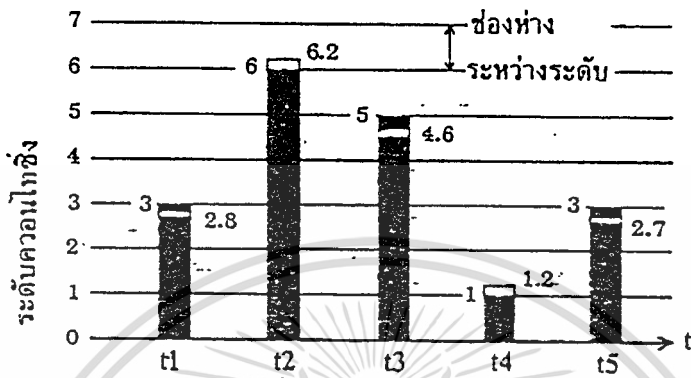
รูปที่ 2.3 การแซมปลิงสัญญาณเสียง

2.1.2 การควอนไทซิ่ง

สัญญาณ PAM เป็นขบวนของแซมเปิ้ลซึ่งถูกจัดเรียงอยู่ในแกนของเวลา ขนาดของแต่ละแซมเปิ้ลแตกต่างกันตามความสูงของสัญญาณเดิม ที่แต่ละเวลาของการแซมปลิง ขนาดของแซมเปิ้ลทั้งหลายถูกแสดงอยู่ในค่าต่อเนื่องบนแกนของความสูงทางแอมพลิจูด หลังจากนั้นสัญญาณ PAM จะถูกจัดระดับเรียกว่า ควอนไทซิ่ง ในการควอนไทซิ่งนี้แกนแอมพลิจูดถูกแบ่งเป็นช่วงเท่าๆ กัน ค่าควอนไทซ์แต่ละค่าเรียกว่า ระดับควอนไทซ์ และระยะระหว่างแต่ละระดับเรียกว่าช่องว่างระหว่างควอนไทซ์ ขนาดของแต่ละแซมเปิ้ลของสัญญาณ PAM จะถูกจัดให้อยู่ในระดับควอนไทซ์ที่อยู่ใกล้ที่สุด เช่น ในรูป 2.5 แซมเปิ้ลที่มีขนาด 2.8 ที่เวลา t_1 จะถูกจัดให้อยู่ที่ระดับควอนไทซ์ 3 ซึ่งใกล้ที่สุด



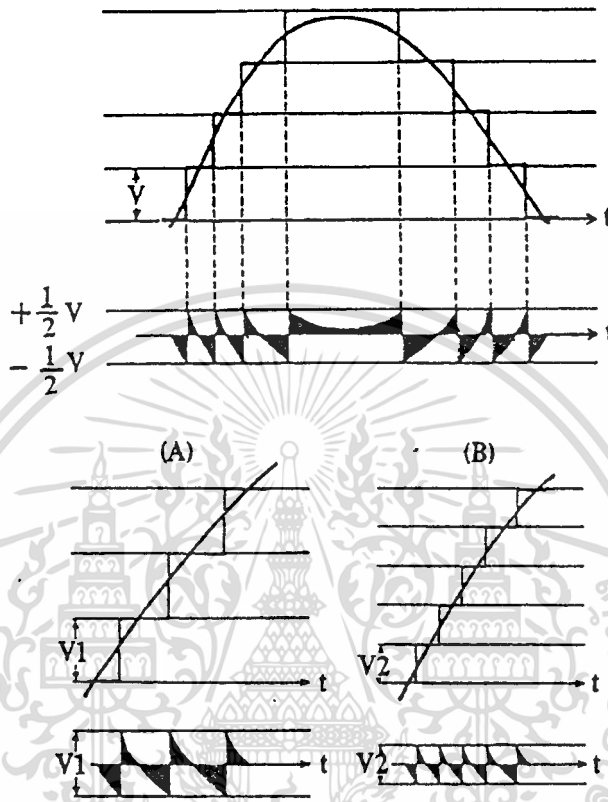
รูปที่ 2.4 สัญญาณ PAM



รูปที่ 2.5 การควอนไทซิง

สัญญาณ PAM ที่ได้รับการควอนไทซิงนี้เพียงแต่เป็นการประมาณค่าให้ใกล้เคียงกับสัญญาณแอนะล็อกดั้งเดิม ดังนั้น จึงมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นบ้างระหว่างค่าระดับแอมพลิจูดของสัญญาณทั้งสอง ข้อผิดพลาดนี้ เรียกว่าเสียงรบกวนที่เกิดจากการควอนไทซิง ขนาดของเสียงรบกวนเหล่านี้จะกระจายอย่างมีระเบียบภายในช่วงห่างระหว่างควอนไทซิง โดยจะไม่คำนึงถึงแอมพลิจูดของสัญญาณเดิม หรือกล่าวอีกทำนองหนึ่ง คือกำลังของเสียงรบกวนควอนไทซิงเกือบจะคงที่ ไม่ขึ้นอยู่กับระดับกำลังของสัญญาณ ถึงแม้เสียงรบกวนที่เกิดจากการควอนไทซิงไม่สามารถจะป้องกันไม่ให้เกิดขึ้นมาได้ แต่ก็ควรจะมีน้อยที่สุด เพื่อให้คุณภาพของการส่งสัญญาณเสียงมีคุณภาพดี

ถ้าเราดูจากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าเสียงรบกวนที่เกิดจากการควอนไทซิงจะสัมพันธ์กับช่วงห่างระหว่างควอนไทซิง เนื่องจาก แอมพลิจูดของเสียงรบกวนที่เกิดจากการควอนไทซิงจะไม่เกินช่วงห่างระหว่างควอนไทซิง เช่น เสียงรบกวนที่เกิดจากการควอนไทซิงดังในรูป B จะน้อยกว่าในรูป A ดังนั้น ถ้าทำช่วงห่างระหว่างควอนไทซิงให้แคบ เสียงรบกวนก็สามารถทำให้ลดลงได้



รูปที่ 2.6 เสียงรบกวนควอนไทซิ่ง

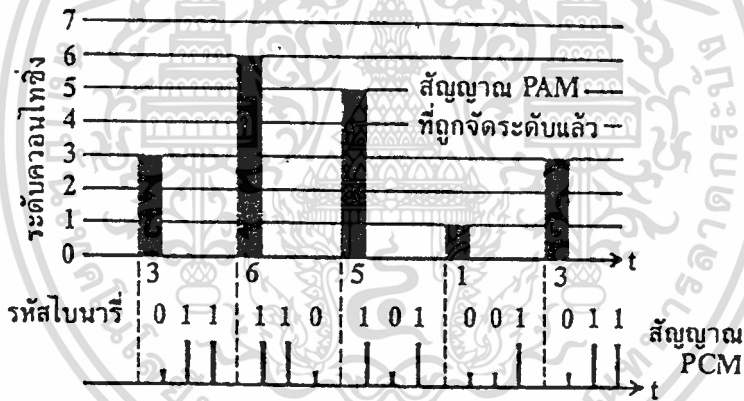
2.1.3 การเข้ารหัสเป็นไบนารี

สัญญาณ PAM ที่ได้รับการจัดระดับแล้ว จะถูกทำการเข้ารหัสให้อยู่ในรูปของ รหัสไบนารี ซึ่งประกอบด้วยการรวมกันของพัลส์หนึ่งหน่วย (Unit Pulse) ซึ่งอยู่ในการมีพัลส์ และไม่มีพัลส์คือ 1 และ 0 จำนวนของข่าวสารซึ่งแสดงโดยหนึ่งหน่วยพัลส์เรียกว่าหนึ่งบิต เช่น ในรูปที่ 2.7 สัญญาณแอมป์ที่ถูกเปลี่ยนเป็นรหัสไบนารี 3 บิต ขบวนการของพัลส์หนึ่งหน่วยที่ได้จากการเข้ารหัสนี้เรียกว่าสัญญาณ PCM

CCITT ได้แนะนำให้ใช้การเข้ารหัสแบบ 8 บิตต่อแอมป์ ดังนั้น จำนวนของระดับควอนไทซิ่งจะเป็น 2^8 หรือเท่ากับ 256 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

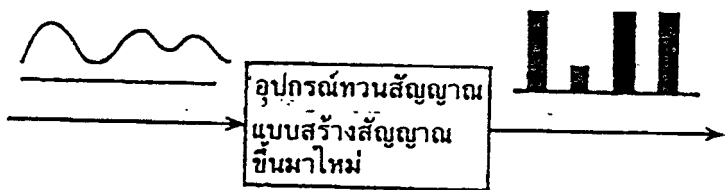
สัญญาณ PCM ถูกส่งจากทางด้านส่ง จะเกิดการผิดเพี้ยนเนื่องจากเสียงรบกวน และสัญญาณแทรกซ้อนขณะส่งไปตามสายส่ง หรือระบบส่ง สัญญาณ PCM สามารถที่จะสร้างขึ้นใหม่อย่างถูกต้องสมบูรณ์ที่ด้านรับ ถ้าหากการวินิจฉัยว่าแต่ละพัลส์หนึ่งหน่วยนั้น มีพัลส์ หรือไม่มีพัลส์ ดังนั้น ในการสร้างสัญญาณ PCM ที่ได้รับขึ้นมาใหม่ที่สถานีทวนสัญญาณ และส่งสัญญาณที่สร้างขึ้นมาใหม่ไปยังสถานีทวนสัญญาณถัดไปแล้ว เราจะสามารถจัดผลของเสียงรบกวน และสัญญาณแทรกซ้อนซึ่งเกิดขึ้นระหว่างสถานีทวนสัญญาณ และป้องกันไม่ให้ผลของเสียงรบกวนขยายไปยังสถานีทวนสัญญาณถัดๆ ไป ในระบบการส่งสัญญาณ ดิจิตอลจะไม่มีผลกระทบของเสียงรบกวนและสัญญาณแทรกซ้อนเหมือนดังที่เกิดขึ้นในระบบการส่งสัญญาณแอนะล็อก



รูปที่ 2.7 การเข้ารหัส

สัญญาณที่ได้รับได้

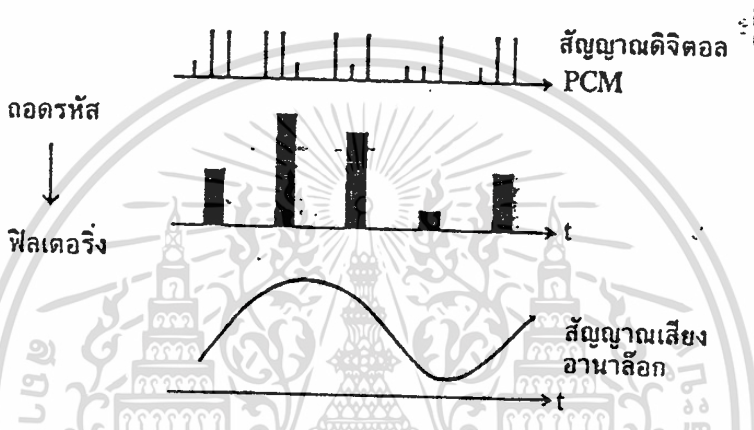
สัญญาณที่สร้างขึ้นมาใหม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 2.8 ระบบการทวนสัญญาณแบบสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่ ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

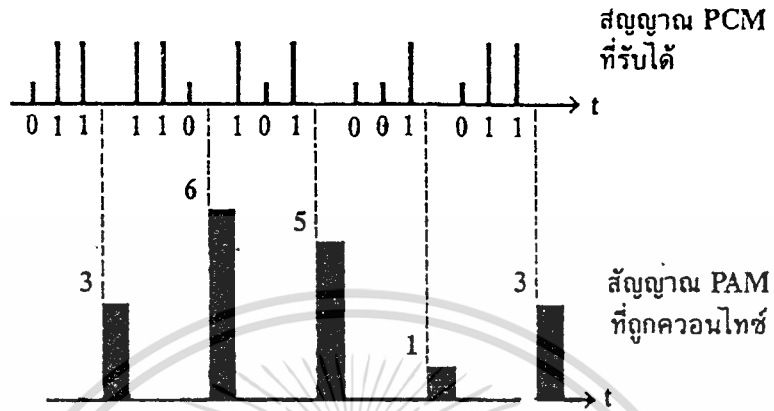
2.1.4 การถอดรหัสและการฟิลเตอร์ริง

ทางด้านรับสัญญาณดิจิทัล PCM จะถูกเปลี่ยนกลับไปเป็นสัญญาณเสียงแอนะล็อกอย่างเดิม โดยผ่านขบวนการถอดรหัส และการฟิลเตอร์ริง โดยขบวนการนี้เรียกว่า การเปลี่ยนดิจิทัลเป็นแอนะล็อก

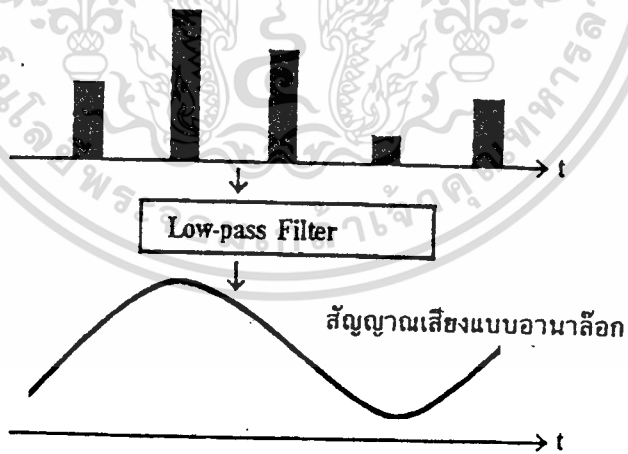


รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนดิจิทัลเป็นแอนะล็อก

การถอดรหัส คือ ขบวนการที่ตรงข้ามกับการเข้ารหัส ในการถอดรหัสจะเริ่มจากรหัสไบนารี ซึ่งแต่ละรหัสจะประกอบด้วยยูนิตพัลซ์จำนวนหนึ่งถูกดึงมาจากสัญญาณ PCM ที่รับมาได้ จากนั้นระดับควอนไทซ์จะถูกคำนวณออกมาจากรหัสไบนารีเหล่านี้ และควอนไทซ์แอมป์จะถูกสร้างขึ้นใหม่เป็นไปตามระดับของควอนไทซ์ สัญญาณ PAM ที่ได้รับการควอนไทซ์ทางด้านส่งจะถูกสร้างขึ้นใหม่ โดยขบวนการถอดรหัสทางด้านรับ สัญญาณ PAM นี้มีเสียงรบกวนที่เกิดจากการควอนไทซ์อยู่ด้วย หลังจากนั้น สัญญาณ PAM ก็将通过วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low-Pass Filter) สัญญาณเสียงซึ่งเป็นแอนะล็อกก็จะสามารถได้รับกลับออกมา ซึ่งสัญญาณจะต่อเนื่องตามแกนของเวลา ดังในรูปที่ 2.10 และรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 ขบวนการถอดรหัส



รูปที่ 2.11 ขบวนการฟิลเตอร์ริง

2.2 การมอดูเลตแบบเดลตา (Delta Modulation ; DM)

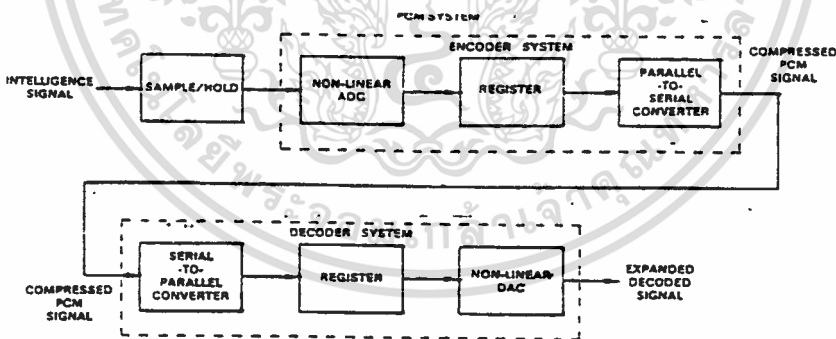
2.2.1 หลักการมอดูเลตแบบเดลตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การมอดูเลตแบบเคลตาไชรหัส PCM (Pulse Code Modulation) 1 บิต เพื่อที่จะส่งสัญญาณแอนะลอกออกโดยใช้การส่งแบบดิจิทัล (Digital Transmission) โดยที่สัญญาณ 1 บิต จะแทนความแตกต่างของตัวอย่างก่อนหน้านั้นกับตัวอย่างถัดมา คือ ถ้าตัวอย่างในปัจจุบันมีขนาดเล็กกว่าตัวอย่างก่อนหน้านั้นก็จะแทนด้วยลอจิก 0 และถ้าตัวอย่างปัจจุบันมีขนาดใหญ่กว่าตัวอย่างก่อนหน้านั้นก็จะแทนด้วย ลอจิก 1

PCM เป็นวิธีการหนึ่งในการมอดูเลตรหัสพัลซ์ (Pulse Modulation) ซึ่งสัญญาณพัลซ์จะมีขนาดและความยาวคงที่ PCM จะเป็นระบบไบนารี คือ สัญญาณพัลซ์ในหนึ่งช่วงเวลาจะแทนด้วยสัญญาณลอจิก 0 หรือ ลอจิก 1

โดยวงจรกรองผ่านแถบความถี่ (Bandpass Filter ; BPF) จะจำกัดสัญญาณแอนะลอกอินพุตให้อยู่ในช่วงแถบความถี่เสียง (300-3000 เฮิร์ต) วงจรแซมเปิ้ลแอนด์โฮลด์ (Sample And Hold) จะทำการสุ่มตัวอย่างสัญญาณแอนะลอกอินพุต และแปลงตัวอย่างเหล่านั้นให้เป็นสัญญาณ PAM หลายระดับ ส่วนวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter ; ADC) จะแปลงสัญญาณ PAM ให้เป็นข้อมูลไบนารีแบบอนุกรมเพื่อใช้ในการส่ง โดยข้อมูลไบนารีนั้นจะแปรเปลี่ยนตามขนาดของสัญญาณแอนะลอกอินพุต



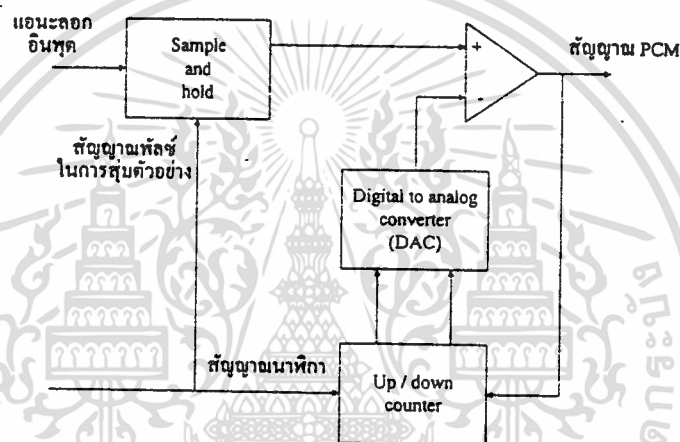
รูปที่ 2.13 ผังการทำงานของระบบ PCM

ส่วนทางด้านรับจะประกอบด้วยวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะลอก (Digital to Analog Converter ; DAC) จะแปลงข้อมูลไบนารีที่ส่งมาเป็นสัญญาณ PAM และวงจรแซมเปิ้ลแอนด์โฮลด์จะแปลงสัญญาณ PAM กลับเป็นสัญญาณแอนะลอกเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ตัวส่งสัญญาณ DM (DM Transmitter)

จากรูปที่ 2.14 จะเห็นว่าตัวส่งสัญญาณ DM จะประกอบด้วย การแซมเปิ้ลแอนด์โฮลด์ ซึ่งมีอินพุตเป็นสัญญาณแอนะล็อก วงจรจะแปลงสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณ PAM โดยเปรียบเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตของ DAC, เอาต์พุตของ DAC จะเป็นระดับแรงดันค่าหนึ่ง ที่เท่ากับขนาดของตัวอย่างก่อนหน้านั้น ซึ่งเก็บไว้ในวงจรนับขึ้น / ลง (Up / Down Counter) ในรูปของตัวเลขไบนารี



รูปที่ 2.14 ตัวส่งสัญญาณ DM

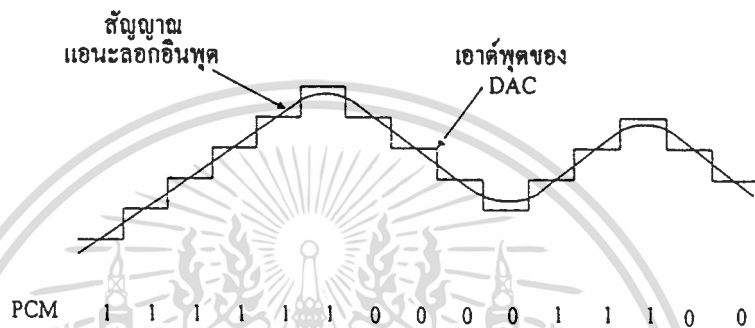
ค่าของข้อมูลในวงจรนับขึ้น / ลง จะเพิ่มหรือลดขึ้นอยู่กับขนาดของตัวอย่างปัจจุบันว่ามีขนาดใหญ่กว่า หรือเล็กกว่าข้อมูลก่อนหน้านั้น โดยความเร็วในการนับจะขึ้นอยู่กับการนาฬิกา ซึ่งจะมีค่าเท่ากับอัตราการสุ่มตัวอย่าง ดังนั้น วงจรนับขึ้น / ลง จะทำการนับหลังจากการเปรียบเทียบแต่ละครั้ง

ในรูปที่ 2.15 แสดงการทำงานทางอุดมคติของตัวเข้ารหัส DM ในภาวะเริ่มต้น วงจรนับขึ้น / ลง จะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น เอาต์พุตของ DAC จะเป็นศูนย์ เมื่อตัวอย่างแรกเข้ามาจะถูกแปลงเป็นสัญญาณ PAM และเปรียบเทียบกับแรงดัน 0 โวลต์ (แรงดันเอาต์พุตของ DAC ในภาวะเริ่มแรก) ซึ่งจะได้เอาต์พุตของการเปรียบเทียบเป็นลอจิก 1 (เป็นแรงดันบวก) เนื่องจาก

ในตัวอย่างปัจจุบันมีขนาดใหญ่กว่าตัวอย่างก่อนหน้านั้น เมื่อมีสัญญาณนาฬิกาเข้ามาวงจรนับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้น / ลงจะนับเพิ่มขึ้น 1 และแรงดันเอาต์พุตของ DAC จะมีค่าเท่ากับผลลัพธ์ของการเปรียบเทียบในครั้งก่อนและจะนำไปเปรียบเทียบกับตัวอย่างถัดไป

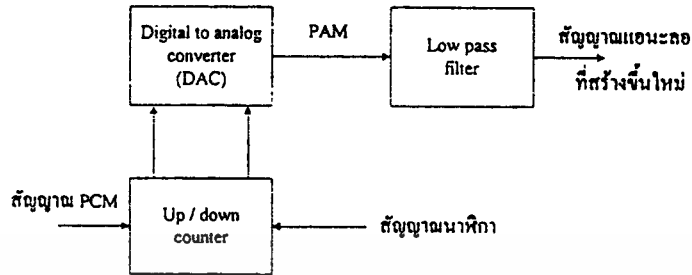


รูปที่ 2.15 การทำงานทางอุดมคติของตัวเข้ารหัส DM

วงจรมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัญญาณแอนะล็อกอินพุต จนกระทั่งเอาต์พุตของ DAC มีค่ามากกว่าตัวอย่างของสัญญาณแอนะล็อกวงจรมีค่าเพิ่มขึ้น / ลงก็จะเริ่มนับลง จนกระทั่งเอาต์พุตของ DAC มีค่าต่ำกว่าขนาดของตัวอย่าง ถ้าวางจรมีค่าเพิ่มขึ้น / ลงนับเพิ่มขึ้น ลอจิก 1 จะถูกส่งออกไป แต่ถ้ามีค่าลดลงลอจิก 0 จะถูกส่งออกไป

2.2.3 ตัวรับสัญญาณ (DM Receiver)

จากรูปที่ 2.16 จะเห็นว่าตัวรับสัญญาณ DM จะคล้ายกับตัวส่งสัญญาณ ต่างกันตรงที่ตัวรับสัญญาณไม่มีวงจรเปรียบเทียบ เมื่อได้รับสัญญาณลอจิก 1 หรือ ลอจิก 0 วงจรมีค่าเพิ่มขึ้น / ลงจะเพิ่มหรือลดค่าตามลำดับ ดังนั้น เอาต์พุตของ DAC ทางด้านรับจะเหมือนกับทางด้านส่ง จากนั้นเอาต์พุตของ DAC มาผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ก็จะได้สัญญาณแอนะล็อกเดิม



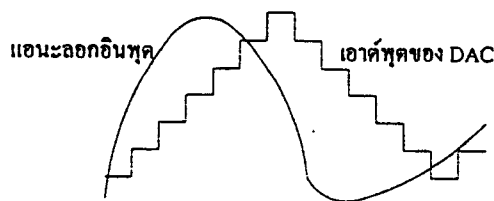
รูปที่ 2.16 ตัวรับสัญญาณ DM

2.2.4 ปัญหาในระบบ DM

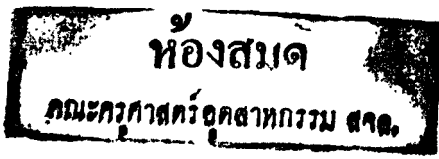
ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่าในการมอดูเลตแบบ DM ในแต่ละตัวอย่างจะใช้เพียง 1 บิตในการส่ง ดังนั้น บิตเรทของ DM จะต่ำกว่าระบบ PCM โดยทั่วไป อย่างไรก็ตามระบบ DM จะมีปัญหาอยู่ 2 ประการซึ่งไม่เกิดขึ้นกับระบบ PCM โดยทั่วไปได้แก่

ก) การเกิดโอเวอร์โหลดทางความชัน (Slope Overload)

รูปที่ 2.17 แสดงความผิดเพี้ยนที่เกิดขึ้น เมื่อสัญญาณแอนะล็อกที่อินพุตมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เร็วเกินกว่าที่ DAC จะตามทัน กล่าวคือ ความชันของสัญญาณแอนะล็อกมีค่ามากกว่าที่ตัวมอดูเลตแบบ DM จะรักษาไว้ได้ ซึ่งเราเรียกว่า “ การเกิดโอเวอร์โหลดทางความชัน ” สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มความถี่ของสัญญาณนาฬิกา

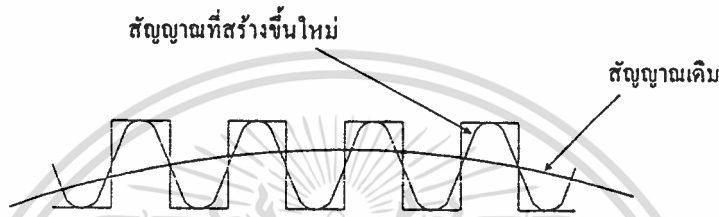


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 2.17 การเพี้ยนเนื่องจากการเกิดโอเวอร์โหลดทางความชันจะโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข) สัญญาณรบกวนแบบเม็ด (Granular Noise)

รูปที่ 2.18 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณเดิมและสัญญาณที่สร้างขึ้นใหม่ โดยระบบDMจะเห็นว่าสัญญาณที่สร้างขึ้นใหม่จะมีส่วนที่เกินจากสัญญาณแอนะล็อกเดิม ซึ่งส่วนที่เกินมานี้เรียกว่า สัญญาณรบกวนแบบเม็ด



รูปที่ 2.18 สัญญาณรบกวนแบบเม็ด

การลดสัญญาณรบกวนแบบเม็ดสามารถทำได้ โดยทำการลดขนาดของระดับขั้น ดังนั้น จะเห็นว่า การลดสัญญาณรบกวนแบบเม็ดจะต้องให้ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบมีขนาดเล็ก ในขณะที่การลดการเกิดโอเวอร์โพลิตทางความชัน จะต้องให้ผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบมีขนาดใหญ่ แต่ผลเสียของการเกิดโอเวอร์โพลิตทางความชันจะมีน้อยกว่าสัญญาณรบกวนแบบเม็ด เพราะสัญญาณข่าวสารเดิมที่ผ่านการดีมอดูเลตจะใกล้เคียงสัญญาณเดิมมากกว่า ดังนั้นในการใช้งานจะต้องเลือกค่าที่มีความเหมาะสม

2.3 ฟรีแควนซีซีฟคีย์อิงค์ (Frequency Shift Keying ; FSK)

Frequency Shift Keying (FSK) เป็นวิธีการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลที่ง่าย ๆ เมื่อเทียบกับแบบอื่น ๆ มีคุณสมบัติการใช้งานต่ำ FSK ถูกห่อหุ้มด้วยค่าคงที่ หรือที่เรียกว่า Constant Envelope จากมุมการมอดูเลตเช่นเดียวกับการมอดูเลตทางความถี่ (FM) แตกต่างกันที่สัญญาณที่นำมามอดูเลตเป็นสัญญาณพัลส์ที่มีรูปร่างถูกต้อง และเปลี่ยนแปลงระหว่างระดับสองระดับมากกว่าที่จะเป็นการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างสัญญาณอย่างต่อเนื่อง

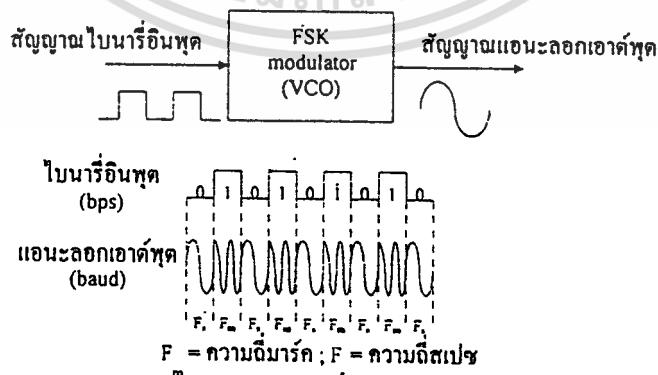
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยัดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ 1515 ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 ตัวส่ง FSK (FSK Transmitter)

การส่งรหัสไบนารีโดย FSK นั้น อาศัยความถี่คลื่นพาห้เป็นหลัก โดยใช้สัญญาณไบนารีทางอินพุตมาทำให้ความถี่คลื่นพาห้เลื่อนไปจากเดิม ผลที่ได้ทางเอาต์พุตของตัวมอดูเลต คือเป็น Step Function ใน Frequency Domain ดังนั้น ถ้าสัญญาณไบนารีทางอินพุตเปลี่ยนจาก 0 เป็น 1 ก็จะมีค่าความถี่ของ 1 หรือ Mark ถ้า Space หรือ 0 ก็จะมีค่าความถี่ของ 0 ซึ่งจะเห็นว่า FSK จะมีความถี่ทางเอาต์พุตที่เปลี่ยนแปลงตามเงื่อนไขของเวลา จากสัญญาณลอจิกทางอินพุตที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้เราได้อัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเอาต์พุตเท่ากับอัตราการเปลี่ยนของอินพุตในการมอดูเลตแบบดิจิตอล อัตราการเปลี่ยนแปลงที่อินพุตของตัวมอดูเลตนั้นเรียกว่า บิทเรท และมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เอาต์พุตของตัวมอดูเลตเรียกว่า บอดเรท ใน FSK นั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุต และอินพุตจะเท่ากัน คือ บิทเรท จะเท่ากับบอดเรท นั่นเอง

2.3.2 การพิจารณาแบนด์วิดของ FSK

ระบบการสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ทุกระบบนั้น แบนด์วิดเป็นสิ่งแรกที่เราจะต้องพิจารณาเมื่อมีการออกแบบตัวส่ง FSK ซึ่ง FSK เป็นการอาศัย หลักการแบบเดียวกับ FM โดยแยกอาการหรือกิริยาของ FM ออกเป็นช่วง ๆ



รูป 2.19 ตัวมอดูเลตสัญญาณแบบ FSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวที่ทำหน้าที่มอดูเลตสัญญาณแบบ FSK จะเปลี่ยนแปลงค่าโดยใช้วงจรรอสซิลเลเตอร์แบบควบคุมแรงดัน หรือ VCO ซึ่ง VCO จะตรวจดูอัตราการเปลี่ยนแปลงของรหัสไบนารี ซึ่งเป็นสัญญาณพัลส์ที่อินพุต และเป็นอนุกรมการสลับของ 1 และ 0 ความถี่หลัก (Fundamental Frequency) ของรหัสไบนารีนั้นจะเท่ากับบิทเรท ซึ่งถ้าพิจารณาความถี่หลักที่อินพุตเพียงอย่างเดียว ความถี่ที่มอดูเลตของ FSK จะเท่ากับครึ่งหนึ่งของบิทเรทที่อินพุต ส่วนความถี่หนึ่ง (Rest Frequency) ที่ VCO เลือกจะอยู่ที่กึ่งกลางระหว่างความถี่ Mark และ Space เงื่อนไขคือ เมื่อมีลอจิก 1 ที่อินพุต VCO จะเลื่อนจากความถี่หนึ่งไปที่ความถี่ Mark และถ้ามีลอจิก 0 ที่อินพุต VCO จะเลื่อนจากความถี่หนึ่งไปความถี่ Space ผลที่ตามมาคือ ถ้าสัญญาณไบนารีทางอินพุตเปลี่ยนจาก 1 ไปเป็น 0 แล้ว ในทางตรงข้ามก็จะปฏิบัติเช่นกัน คือความถี่ทางเอาต์พุตของ VCO จะเลื่อนไปหรือกลับหันเหไป และจะได้ความถี่ระหว่าง Mark กับ Space ออกมา เพราะ FSK นั้น ได้จากการมอดูเลตทางความถี่ ดังนั้น สูตรของดัชนีการมอดูเลต (Modulation Index) ที่ใช้ใน FM จะมีกฎเกณฑ์เหมือนกัน ซึ่งในที่นี้ดัชนีการมอดูเลต (MI) ให้เป็น

$$MI = \Delta F / F_a$$

เมื่อ MI = ดัชนีการมอดูเลต

ΔF = การเบี่ยงเบนของความถี่ (Hz)

F_a = ความถี่ที่มอดูเลต (Hz)

MI กรณีที่วิกฤต คือ กรณีที่ยอมให้แบนด์วิธทางเอาต์พุตกว้างที่สุด หรือที่เราเรียกว่า Deviation Ratio (อัตราส่วนความแตกต่างระหว่างความถี่ในขณะนั้นๆ ของการมอดูเลตกับความถี่พาหะ) กรณีที่แบนด์วิธกว้างสุดนั้นจะเกิดขึ้น เมื่อทั้งการเบี่ยงเบนของถี่ และความถี่ที่มอดูเลตมีค่าสูงสุด

ในภาคมอดูเลชันของ FSK ค่า ΔF จะเป็นการเบี่ยงเบนของความถี่สูงสุดของพาหะ และเท่ากับผลต่างระหว่างความถี่หนึ่ง และความถี่ Mark หรือความถี่ Space อย่างใดอย่างหนึ่ง (หรือครึ่งหนึ่งระหว่างผลต่างของความถี่ Mark และ Space) โดยที่การเบี่ยงเบนของความถี่สูงสุด จะขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของสัญญาณที่ทำการมอดูเลต ในสัญญาณ ไบนารีทุกสภาวะ 1 จะมีค่าโวลเทจระดับเดียวกัน และทุกสภาวะ 0 จะมีโวลเทจระดับเดียวกันเช่นกัน ผลที่ได้ ทำให้การเบี่ยงเบนของความถี่เป็นค่าคงที่ และจะมีค่าสูงสุดเสมอ F_a มีค่าเท่ากับความถี่หลักของ

ไบนารีอินพุตซึ่งอยู่ภายใต้เงื่อนไขรัยแรงที่สุด (สลับ 1 หรือ 0) เท่ากับครึ่งหนึ่งของบิทเรท ผลที่ได้ของ FSK คือ

$$M = \frac{\frac{|f_m - f_s|}{2}}{\frac{B}{2}} = \frac{|f_m - f_s|}{B}$$

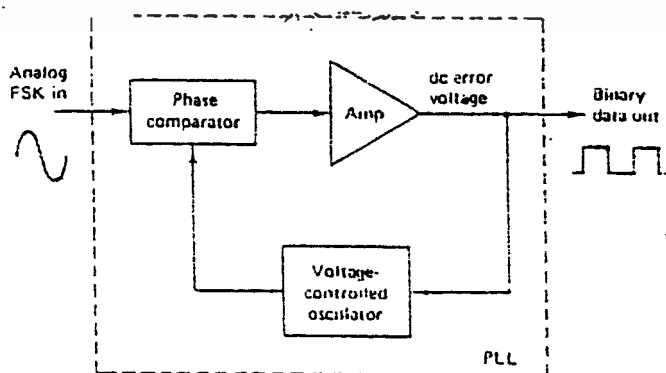
เมื่อ $\frac{|f_m - f_s|}{2} =$ การเบี่ยงเบนความถี่สูงสุด

$\frac{B}{2} =$ ความถี่หลักของอินพุตไบนารี

ซึ่งโดยปกติแล้วดัชนีการมอดูเลตจะต่ำกว่า 1.0

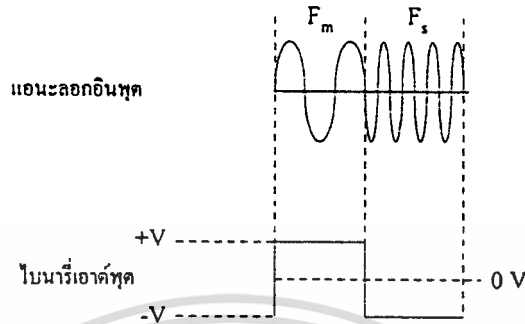
2.3.3 ตัวรับ FSK (FSK Receiver)

วงจรที่นิยมใช้ในการคิมอดูเลตสัญญาณแบบ FSK คือ PLL (Phase Lock Loop) ซึ่งแสดงในรูป 2.20 ซึ่งอินพุตของ PLL จะเลื่อนอยู่ระหว่างความถี่ Mark และที่เอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบเฟส (Phase Comparator) จะมีโวลต์เตทเกินไฟตรง ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบเฟสของสัญญาณแอนะลอก FSK กับสัญญาณจาก VCO ซึ่งเอาต์พุตที่ได้จะได้เป็นลอจิก 0 และ 1 ตามการเปลี่ยนของความถี่สัญญาณทางอินพุต และโดยปกติความถี่ของ PLL ต้องทำให้เท่ากับค่าความถี่ศูนย์กลางของตัวมอดูเลต FSK ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดความสมมาตรของสัญญาณลอจิก 0 และ 1 รอบระดับศูนย์ และมีค่าเฉลี่ยของ โวลต์เตทไฟตรงเป็นศูนย์ ซึ่งเป็นหลักการของ PLL



รูปที่ 2.20 วงจรคิมอดูเลตสัญญาณ FSK แบบ PLL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในหน่วยงานที่วางซื้อเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 เปรียบเทียบสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตของตัวรับสัญญาณ FSK

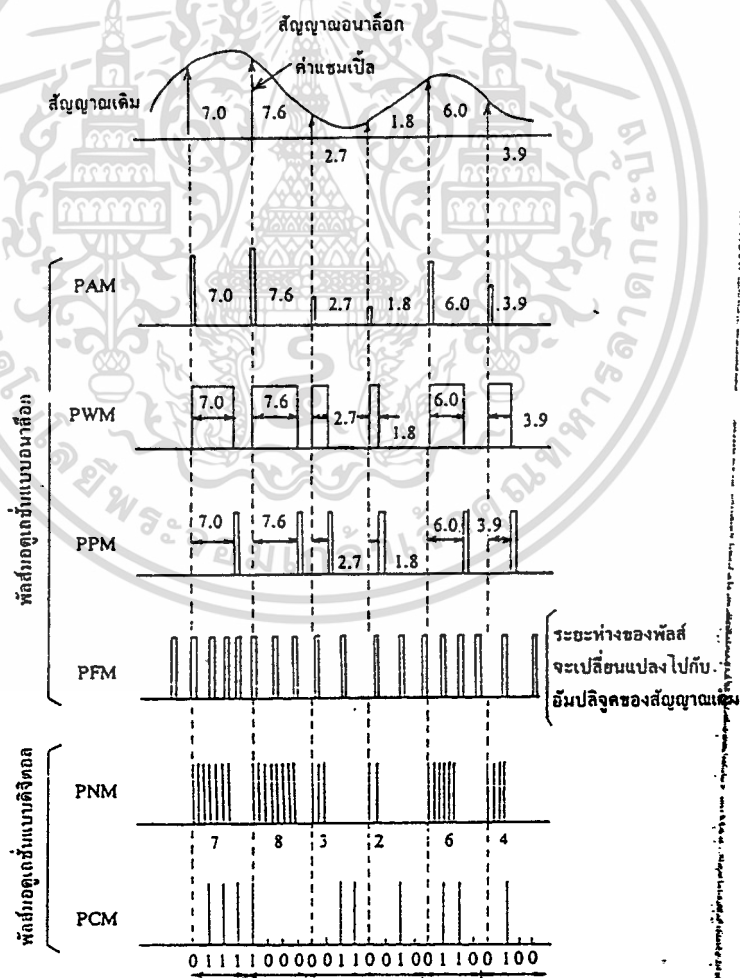
FSK มีข้อผิดพลาดในการทำงานมากกว่า PSK หรือ QAM และจากผลอันนี้ เราจึงไม่ค่อยนำมาใช้ในระบบวิทยุดิจิทัล ซึ่งต้องการความถูกต้องในการทำงานสูง FSK จึงถูกจำกัดใช้ในระบบที่คุณสมบัติการใช้งานต่ำ หรือพวกโมเด็มข้อมูลความเร็วสูงแบบ Asynchronous ที่ใช้สำหรับการสื่อสารข้อมูลที่เหนือกว่าสัญญาณแอนะล็อก

2.4 พัลส์มอดูเลชัน

เมื่อจำแนกระบบของพัลส์มอดูเลชันแล้วจะแบ่งออกเป็น 2 ระบบกว้างๆ ก็คือจะแบ่งเป็นระบบพัลส์แอนะล็อกมอดูเลชัน และระบบพัลส์ดิจิทัลมอดูเลชัน ระบบพัลส์แอนะล็อกมอดูเลชันได้จากการแซมปลิงสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นค่าที่แยกจากกันในช่วงเวลาที่เท่ากันอย่างสม่ำเสมอแล้วทำการส่งหลายๆ รูปแบบ โดยยังคงรักษาสัญญาณแอนะล็อกเดิมไว้ ดังเช่นระบบ PAM (Pulse Amplitude Modulation), PWM (Pulse Width Modulation), PPM (Pulse Phase Modulation) และ PFM (Pulse Frequency Modulation) ส่วนระบบพัลส์ดิจิทัลมอดูเลชันนั้นจะใช้ค่าที่แยกจากกันทั้งเวลาและแอมพลิจูด โดยผ่านกระบวนการควอนไทซ์และการเข้ารหัส ระบบนี้ได้แก่ PCM ซึ่งได้กล่าวแล้วใน 2.1 ดังนั้น จะกล่าวถึงแต่เฉพาะระบบพัลส์แอนะล็อกมอดูเลชัน รูปที่ 2.22 แสดงการเปรียบเทียบพัลส์มอดูเลชันระบบต่างๆ

ในระบบแอนะล็อก ปริมาณที่เป็นแอนะล็อกอย่างเช่น PAM และ PWM นั้น เมื่อถูกส่งออกไปยังค่านับ ถ้ามีสัญญาณรบกวนปนอยู่ภายในช่องสัญญาณใดๆ ก็จะไม่สามารถแยกสัญญาณเดิมออกมาได้อย่างแจ่มชัด ซึ่งในระบบพัลซ์แอนะล็อกมอดูเลชันนี้ จะมีสัญญาณรบกวนมากกว่าระบบพัลซ์ดิจิทัลมอดูเลชัน แต่อย่างไรก็ตาม ระบบพัลซ์แอนะล็อกมอดูเลชันแบบ PFM เป็นการมอดูเลชันแบบความถี่จากสัญญาณเดิม ดังนั้น จะมีสัญญาณรบกวนน้อยกว่าของ PAM , PWM และ PPM จึงถูกนำไปใช้ในระบบการส่งสัญญาณภาพไปในสายใยแสง

2.4.1 พัลซ์แอมพลิจูดมอดูเลชัน (PAM)



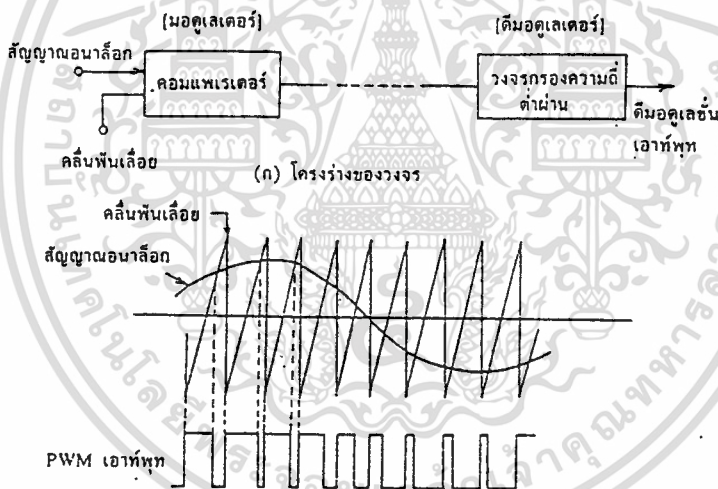
รูปที่ 2.23 หลักการของ PAM มอดูเลชันและคิมมอดูเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการเบื้องต้นของการมอดูเลตและดีมอดูเลตแบบ PAM นั้นแสดงไว้ในรูป 2.23 ตามรูปสวิตช์จะเปิดเฉพาะเวลาแซมปลิงเท่านั้น ขนาดของพัลส์ที่ได้รับจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแอมพลิจูดของสัญญาณเดิม

2.4.2 พัลส์วืดท่อมอดูเลชัน (PWM)

หลักการของมอดูเลชันและดีมอดูเลชันแบบ PWM แสดงดังรูป 2.24 จากรูปตัวเปรียบเทียบจะเป็น 1 เมื่อสัญญาณแอนะล็อกมีแอมพลิจูดสูงกว่าลักษณะของคลื่นรูปฟันเลื่อยเท่านั้น และขบวนการพัลส์ที่ได้จะมีความกว้างเปลี่ยนแปลงไปกับแอมพลิจูดของสัญญาณเดิม

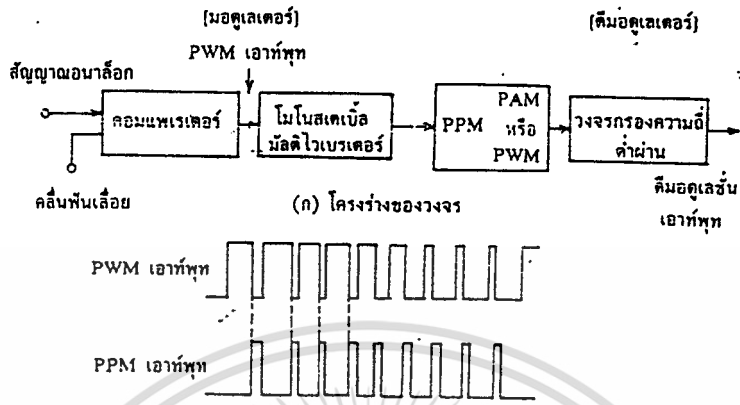


รูปที่ 2.24 หลักการของ PWM มอดูเลชันและดีมอดูเลชัน

2.4.3 พัลส์เฟสมอดูเลชัน (PPM)

จากรูปที่ 2.25 เมื่อเปลี่ยนสัญญาณเดิมให้เป็นแบบ PWM แล้ว ถ้าทำให้โมโนสเตเบิล-มัลติไวเบรเตอร์ทำงานที่จุดตกของพัลส์แล้ว จะได้พัลส์ที่มีความกว้างคงที่ กล่าวคือ จากจุดเริ่มต้นที่แซมปลิงมาถึงจุดนี้จะเป็นแอมพลิจูดของสัญญาณเดิม

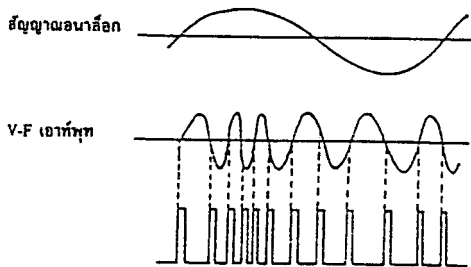
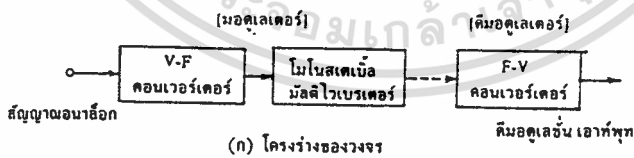
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 หลักการของ PPM มอดูเลชันและดีมอดูเลชัน

2.4.4 พัลส์ฟรีแควนซีมอดูเลชัน (PFM)

วิธีนี้จะใช้ฟรีแควนซี (Voltage Frequency ; V-F) คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งเปลี่ยนอินพุตโวลต์เทจของสัญญาณเดิม ให้เป็นความถี่ที่สูงบ้างต่ำบ้างตามขนาดของสัญญาณ และเมื่อตัดขอดีด้วยระดับที่คงที่ก็จะได้ PFM ตามต้องการตามรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 หลักการของ PFM มอดูเลชันและดีมอดูเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้จัดทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

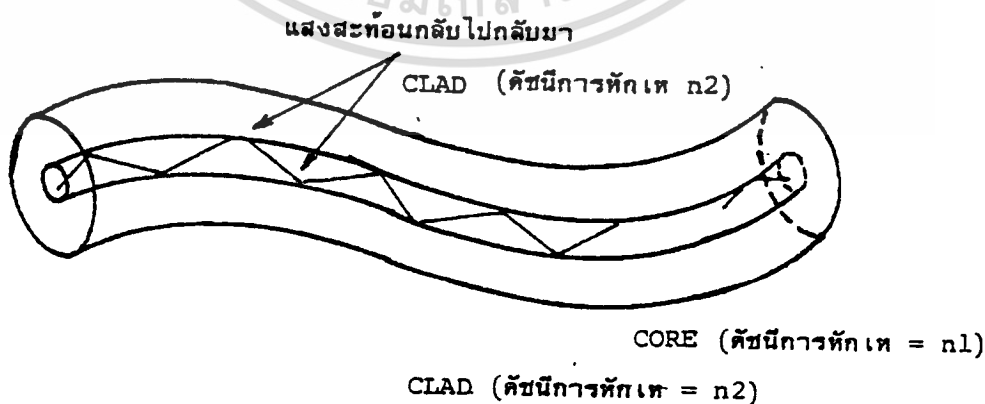
2.5 การส่งสัญญาณข้อมูลผ่านเส้นใยแสง

2.5.1 กล่าวนำ

2.5.1.1 การเดินทางของแสง

ในตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงค่าเดียวกันนั้น แสงจะเดินทางเป็นเส้นตรง ส่วนตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงต่างกันนั้น ตรงรอยต่อของตัวกลางทั้งสองแสงจะเกิดการหักเห (Refraction) และเกิดการสะท้อนกลับ (Reflection) ปรากฏการณ์เหล่านี้จะแสดงคุณสมบัติการเดินทางเป็นเส้นตรงของแสง คุณสมบัติการหักเหของแสง และคุณสมบัติการสะท้อนกลับของแสง เรียกว่ากฎ 3 ข้อของแสง นอกจากนี้คุณสมบัติอีกอันหนึ่งที่สำคัญของแสงคือ ความเร็วของแสงจะต่างกันในตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหต่างกัน สำหรับความเร็วของแสงในอากาศนั้นมีค่าประมาณ 3×10^8 เมตรต่อวินาที ส่วนในตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหของแสงเป็น n นั้น แสงจะมีความเร็วลดลงเป็น $1/n$ ของความเร็วในอากาศ

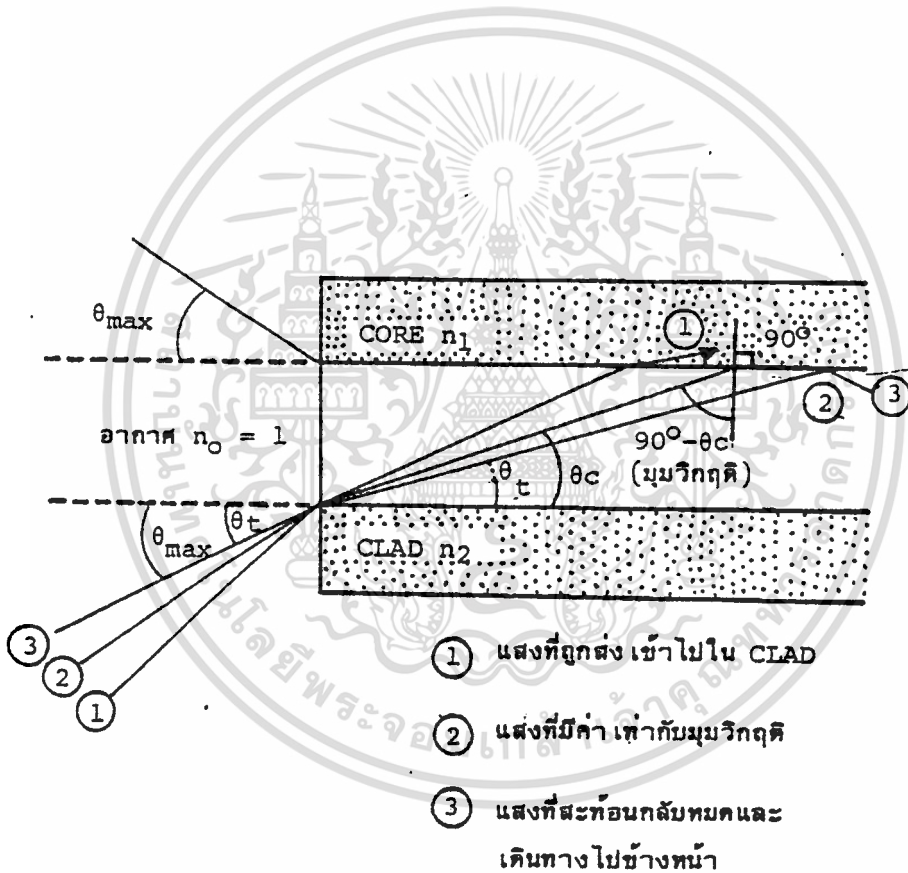
เส้นใยแสงมีโครงสร้างดังแสดงในรูป 2.27 ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนในเรียกว่าแกน (CORE) ทำด้วยสารที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า (DIELECTRIC) และส่วนนอกที่หุ้มแกนอยู่เรียกว่า CLAD ทำด้วยสารที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงต่ำกว่าแกนเล็กน้อย สำหรับการสื่อสารใยแสงนั้นใช้ปรากฏการณ์การสะท้อนกลับหมดของแสง โดยทำให้แสงเดินทางในแกนด้วยการสะท้อนกลับไปมาภายในแกนดังรูป 2.27



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 2.27 การเดินทางของแสงภายในแกนของเส้นใยแสงไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.2 การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง

แสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงจะกระจายกว้างออก เนื่องจากปรากฏการณ์การเบี่ยงเบนของแสง การที่จะป้อนแสงเข้าไปใน CORE ที่มีขนาดเล็กมากนั้น ต้องใช้เลนส์ทำการรวมแสง แต่ทว่าแสงที่รวมนั้น ไม่ใช่จะถูกรับเข้าไปในเส้นใยแสงได้ทั้งหมดแสงที่มีมุมตกกระทบที่เหมาะสมเท่านั้นจึงจะสามารถเข้าไปในเส้นใยแสงได้ จากรูปที่ 2.28 จะเห็นว่า ที่จุดป้อนแสงของเส้นใยแสงนั้นจะเป็นจุดต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงต่างกัน 3 ชนิด



รูปที่ 2.28 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยแสง

ตัวกลางทั้ง 3 ชนิด คือ อากาศ, CORE ของเส้นใยแสง และ CLAD ของเส้นใยแสง ถ้าให้ค่าดัชนีการหักเหของแสงของตัวกลางทั้ง 3 ชนิดเป็น n_0 ($n_0 = 1$), n_1 และ n_2 ตามลำดับ จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการหักเห, การสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของอากาศกับ CORE และที่รอยต่อ CORE กับ CLAD ในที่นี้ ให้มุมรับแสงของเส้นใยแสงที่มีค่ามากที่สุดเป็น θ_{\max} จากรูป 2.28 จะเห็นได้ว่าลำแสงที่ 2 นั้นมุมรับแสงตรงรอยต่อระหว่าง CORE กับ CLAD นั้นจะมีค่าเป็นมุมวิกฤติ (CRITICAL ANGLE) ตรงรอยต่อของอากาศกับ CORE และของ CORE กับ CLAD นั้น จากกฎของ SNELL จะได้ว่า

$$\sin \theta_{\max} = n_1 \sin \theta \quad (1)$$

$$\sin (90^\circ - \theta_c) = \cos \theta_c = n_2 / n_1 \quad (2)$$

ดังนั้นกรณีที่มุมรับแสง θ_{\max} มีค่าสูงสุดได้นั้น $n_2 = n_1$ จากสมการ (1) และ (2) จะได้ว่า

$$\sin \theta_{\max} = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_1} = n_1 \sqrt{2a} \quad (3)$$

ในที่นี้

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

Δ นี้ คืออัตราส่วนของผลต่างของดัชนีการหักเหของแสง สำหรับ $\sin \theta_{\max}$ ตามศัพท์เทคนิคเรียกว่า NUMERICAL APERTURE เขียนย่อว่า NA หมายถึงขนาดการเปิดรับให้แสงผ่าน และใช้เป็นตัวแสดงเงื่อนไขการป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง นอกจากนั้น ยังถือเป็นตัวประกอบพื้นฐานอันหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสงด้วย

2.5.1.3 ชนิดของเส้นใยแสง

วิธีการแบ่งชนิดของเส้นใยแสงมีหลายวิธี เช่น แบ่งตามชนิดของสารไดอิเล็กตริกที่ใช้ แบ่งตามจำนวน PROPAGATION MODE และแบ่งตามลักษณะของดัชนีการหักเหของ CORE ดังแสดงในตารางที่ 2.1

แบ่งตามชนิดของสาร ไดอิเล็กทริกที่ใช้	Silica glass optic fiber
	Muti component glass optic fiber
	Plastic optic fiber
แบ่งตามจำนวน PROPAGATION MODE	Single Mode optic fiber
	Multi Mode optic fiber
แบ่งตามลักษณะของ ดัชนีการหักเหของ CORE	Step Index optic fiber
	Graded Index optic fiber

ตารางที่ 2.1 ชนิดของเส้นใยแสง

2.5.1.4 คุณสมบัติของเส้นใยแสง

1. การสูญเสียของแสงต่ำ : เส้นใยแสงเมื่อเปรียบเทียบกับเคเบิลโลหะที่ทำด้วยทองแดง หรือเคเบิลแกนร่วม (COAXIAL CABLE) อย่างใดอย่างหนึ่งแล้ว ปรากฏว่ามีการสูญเสียต่ำกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2.29
2. แบนด์วิธกว้าง : เส้นใยแสงมีแบนด์วิธกว้าง ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยแสงด้วย แต่จากรูปที่ 2.29 จะเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเคเบิลแกนร่วมแล้ว สามารถส่งสัญญาณที่มีความถี่สูงมากกว่า
3. ขนาดเล็กและน้ำหนักเบา : เส้นใยแสงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวกลางที่ใช้ส่งอย่างอื่นแล้วมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบากว่า เช่น เคเบิลใยแสงขนาด 18 เส้นเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับโคแอกเซียลเคเบิลขนาด 18 เส้นเหมือนกันแล้ว ปรากฏว่ามีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 1/30 มีน้ำหนักเป็น 1/20 ของโคแอกเซียลเคเบิลเท่านั้น
4. ไม่มีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า (NON INDUCTION) : แก้วพวกซิลิกาจะไม่ยอมให้ไฟฟ้าผ่าน ดังนั้น จึงไม่มีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอก
5. ช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติ : ซิลิกาซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของเส้นใยแสงเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งทรัพยากรทองแดงที่สำคัญแล้วมีปัญหาน้อยมาก นอกจากนั้น ยังมีข้อดีคือ สามารถผลิตเส้นใยแสงได้ยาวมากโดยใช้วัตถุดิบน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 อุปกรณ์กำเนิดแสง

อุปกรณ์กำเนิดแสงหรืออุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสงในระบบการสื่อสารเส้นใยแสง นั้นทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณข่าวสารในรูปของสัญญาณไฟฟ้าให้เปลี่ยนเป็นสัญญาณแสงเพื่อส่งไปในเส้นใยแสง

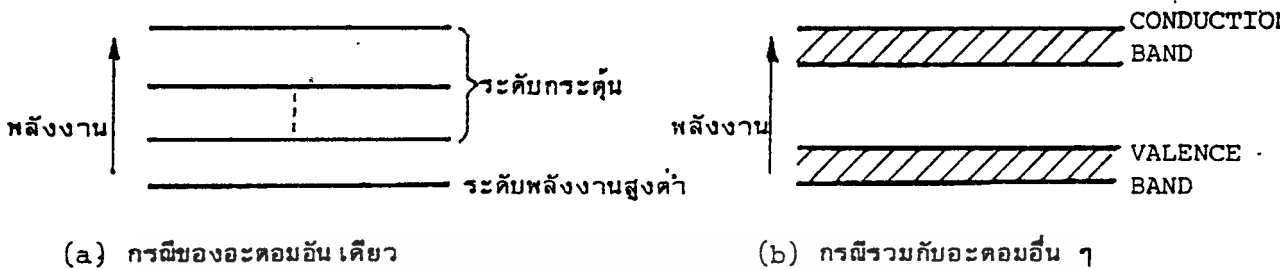
อุปกรณ์กำเนิดแสงที่นิยมใช้ในระบบการสื่อสารเส้นใยแสงได้แก่เลเซอร์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ (SEMICONDUCTOR LASER DIODE เรียกชื่อย่อว่า LD) และ LED (Light Emitting Diode)

2.5.2.1 โครงสร้างและการทำงานของการทำงานของสารกึ่งตัวนำ



รูปที่ 2.30 ตัวอย่างการจัดอิเล็กตรอนและนิวเคลียสในสารกึ่งตัวนำ

สารกึ่งตัวนำนั้นจะมีจำนวนอะตอมจำนวนมากจัดเรียงกันอย่างเป็นระเบียบดังรูปที่ 2.30 ด้วยเหตุนี้ อิเล็กตรอนของแต่ละอะตอมจะทำหน้าที่เชื่อมโยงกับอะตอมข้างเคียง และจะมีตำแหน่งอยู่ระหว่างอะตอมทั้งสองนั้น คือมันจะรับผลการดึงดูดจากอะตอมข้างเคียง สภาพพลังงานที่อะตอมได้รับในกรณีนี้จะแบ่งออกเป็น 2 สภาพ สภาพหนึ่งเป็นระดับพลังงานสูงเรียกว่า CONDUCTION BAND และอีกสภาพหนึ่งเป็นระดับพลังงานต่ำเรียกว่า VALENCE BAND และสภาพทั้งสองนี้ต่างก็มีความกว้างของพลังงานอยู่ดังแสดงในรูปที่ 2.31

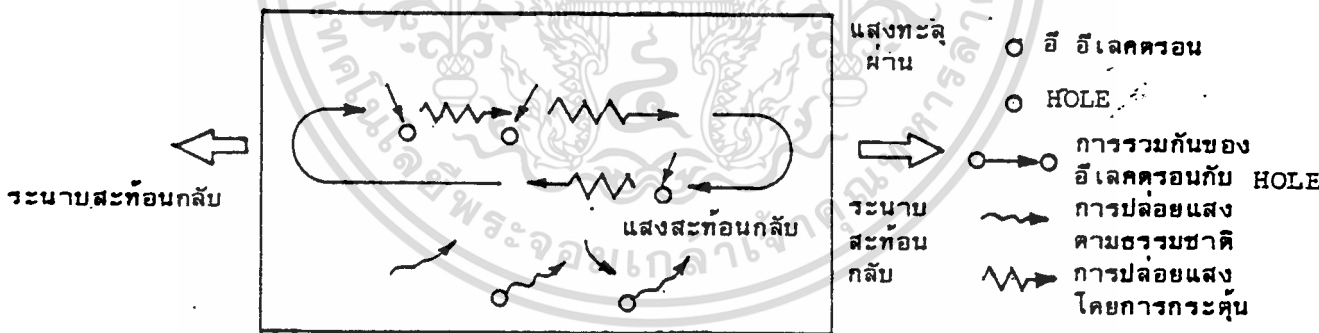


รูป 2.31 ระดับพลังงานในสารกึ่งตัวนำ

โดยปกติแล้วอิเล็กตรอนจำนวนมากจะรวมตัวกันอยู่ที่ VALENCE BAND ซึ่งจะมีระดับพลังงานต่ำและจะมีอิเล็กตรอนจำนวนเล็กน้อยอยู่ใน CONDUCTION BAND ซึ่งเป็นระดับพลังงานสูง ในตอนแรกนี้จะทำการอธิบายการทำงานของ LD ซึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีระดับพลังงานตามที่กล่าวมาแล้ว สมมุติว่าจำนวนอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำมีค่าเป็น N และในจำนวน N นี้แบ่งไปอยู่ใน VALENCE BAND เสีย n_1 ตัวและไปอยู่ใน CONDUCTION BAND n_2 ตัว ในสภาพปกติ n_1 จะมากกว่า n_2 และในสภาพเช่นนี้ ถ้าหากเราป้อนแสงจากภายนอกเข้าไปจะเป็นการกระตุ้นให้มันปล่อยแสง (STIMULATED EMISSION) และการดูดพลังงาน (ABSORPTION) ซึ่งขนาดของแสงจะเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนของ n_2 และ n_1 แต่โดยทั่วไปแล้วการดูดพลังงานจะมีขนาดมากกว่าทำให้แสงที่ป้อนเข้ามาจะมีขนาดลดลงไป แต่ทว่าถ้าหากเรามีวิธีอย่างใดอย่างหนึ่งที่ทำให้ $n_2 > n_1$ (เรียกว่าเกิด INVERSION DISTRIBUTION) ได้แล้วก็จะทำให้การกระตุ้นให้ปล่อยแสงออกมามีค่ามากกว่าการดูดพลังงาน ในกรณีนี้จะทำให้ความเข้มของแสงที่ป้อนเข้ามาเพิ่มมากขึ้น และเกิดปฏิกิริยาขยายแสง (LIGHT AMPLIFICATION ACTION)

การ INVERSION DISTRIBUTION สำหรับสารกึ่งตัวนำ สามารถทำให้เกิดได้โดยวิธีการที่เรียกว่า ฉีด (INJECTION) อิเล็กตรอน โดยการทำให้กระแสไหลก็จะเกิดปฏิกิริยาการขยายทางกระแสได้ ดังนั้น ในกรณีของสารกึ่งตัวนำพลังงานจากภายนอกที่เป็นตัวทำให้เกิด STIMULATED EMISSION เพื่อปล่อยแสงออกมานั้น คืออิเล็กตรอนที่ฉีดเข้าไปนั่นเอง เมื่อ

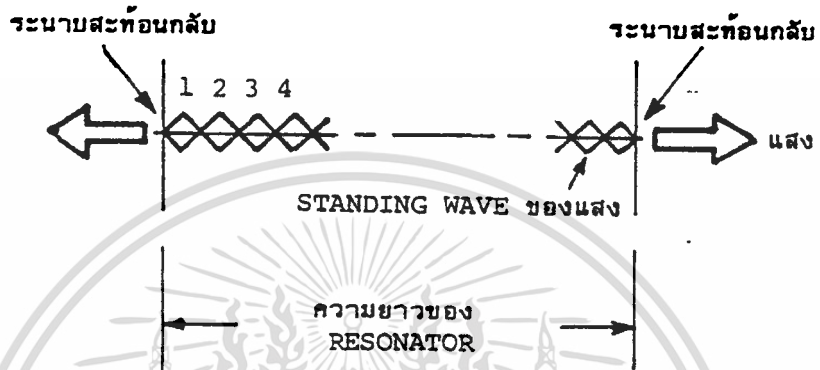
สามารถทำให้เกิดการขยายได้ก็จะต้องทำให้สามารถขยายกลับไปกลับมาได้ เพื่อให้แสงเกิดการออสซิลเลชันได้ หลักการขยายกลับไปกลับมาทำได้โดยใช้ระนาบสะท้อนกลับ 2 อันวางหันหน้าเข้าหากันดังรูปที่ 2.32 นั่นคือ แสงที่เกิดจากการกระตุ้นให้ปล่อยแสงนี้จะถูกขยายไปพร้อมกับเคลื่อนที่ไปด้วย และเมื่อไปกระทบกับระนาบสะท้อนกลับแล้ว ส่วนหนึ่งของแสงจะทะลุผ่านออกไปข้างนอก และส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับไปในทิศทางตรงกันข้ามกับครั้งแรก และแสงที่สะท้อนกลับนี้เมื่อไปถึงระนาบสะท้อนกลับอีกด้านหนึ่งก็จะเกิดผลเช่นเดียวกับในตอนแรกทีกล่าวมาแล้ว คือส่วนหนึ่งของแสงจะทะลุผ่านออกไปข้างนอก และส่วนที่เหลือจะสะท้อนกลับไปในทางตรงกันข้ามอีก ในระหว่างที่ทำให้เกิดการป้อนกลับซ้ำกลับไปมาอยู่อย่างนี้ จนถึงจุดหนึ่งที่พลังงานที่ถูกขยายโดยการกระตุ้นให้ปล่อยแสงมีค่ามากกว่าพลังงานที่สูญเสียไป เนื่องจากการดูดของอิเล็กตรอนที่อยู่ใน VALENCE BAND และที่หลุดออกไปจากระนาบสะท้อนกลับ ณ จุดนี้การออสซิลเลชันจะเริ่มขึ้น การทำให้เกิดแสงเช่นนี้เรียกว่า LASER (LIGHT AMPLIFICATION by STIMULATED EMISSION OF RADIATION)



รูปที่ 2.32 หลักการออสซิลเลชันของแสง

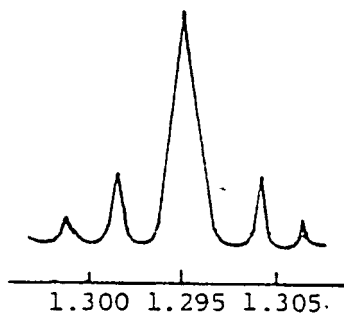
ในการที่ทำให้เกิดการออสซิลเลชันเริ่มขึ้นได้นั้นจะต้องใช้พลังงานจากภายนอก (การฉีดกระแสเข้าไป) ที่มีจำนวนมากกว่าค่าหนึ่งขึ้นไป และจำนวนกระแสที่ฉีดเข้าไปตอนทำให้ ออสซิลเลชันเริ่มขึ้นนั้นเรียกว่า กระแสเทรชโฮล ความยาวคลื่นแสงของ LD ในขั้นตอนของ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปล่อยแสงตามที่ได้กล่าวมาแล้วทำให้เกิด RESONANCE ระหว่างระนาบสะท้อนกลับ นั่นคือ สามารถทำให้เกิดความยาวคลื่นแสงของคลื่นนิ่ง (STANDING WAVE) ภายใน RESONATOR เท่านั้นดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 การเกิดคลื่นนิ่งของแสง

และเงื่อนไขที่ทำให้เกิด RESONANCE นี้ก็คือความยาวของ RESONATOR (ระยะห่างของระนาบสะท้อนกลับ) จะต้องมีความเป็นจำนวนเท่าที่เป็นเลขเต็มหน่วยของครึ่งหนึ่งของความยาวแสง นั่นคือ เท่ากับ $n\lambda / 2$ โดยปกติแล้ว ความยาวของ RESONATOR จะมากกว่าความยาวแสงมาก ดังนั้น แสงที่ได้จาก LD จะมีความยาวแสงกระจายออกเป็นจำนวนมาก ดังแสดงในรูป 2.34



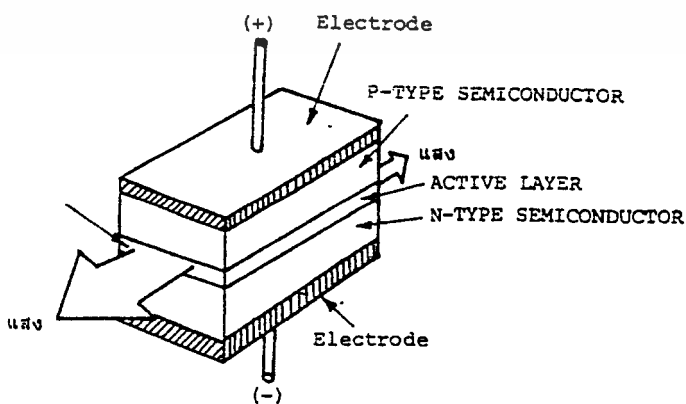
รูปที่ 2.34 ความยาวคลื่นต่างๆ ของ LASER

อนึ่งเกี่ยวกับคุณสมบัติของ LD นั้นต้องการให้มีการขยายกว้างออกของความยาวคลื่น (WAVE LENGTH DISPERSION) น้อย นั่นคือต้องทำให้จำนวนของความยาวคลื่นแสงมีน้อยมากเท่าไรยิ่งดีด้วยเหตุนี้ ได้มีการพัฒนาทำให้ความยาวคลื่นแสงมีค่าเดียวโดยการสร้าง DISTRIBUTED FEED BACK SEMICONDUCTOR LASER เรียกว่า DFB LASER ขึ้นมา

จากที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นจะเห็นว่า LASER OSCILLATION นั้นจะเกิดขึ้นได้จะต้องมีครบ 3 อย่าง คือ INVERSION DISTRIBUTION, STIMULATED EMISSION และ RESONANCE ส่วนทางด้านไดโอดเปล่งแสง (LED) นั้นต่างกับ LD คือ แทนที่จะใช้ปรากฏการณ์ STIMULATED EMISSION แต่จะใช้ปรากฏการณ์ NATURAL EMISSION แทน ดังนั้นแสงที่ได้ออกมาจะมีช่วงความยาวคลื่นแสงที่กว้างมาก ทั้งนี้เพราะกำหนดจากความสัมพันธ์ของพลังงาน CONDUCTION BAND กับ VALENCE BAND ที่มีความกว้างของพลังงานอยู่ในตัว และช่วงความยาวคลื่นแสงนี้เรียกว่า SPECTRUM WIDTH ของ LED เมื่อเทียบกับ LD แล้วมีค่าน้อยกว่า แต่มีข้อดีคือโครงสร้างของ LED ไม่ยุ่งยาก ทำให้สร้างได้ง่าย และมีราคาถูกกว่ามาก

2.5.2.2 โครงสร้างของอุปกรณ์เปล่งแสงแบบ LD

โดยทั่วไปแล้ว LD จะมีโครงสร้างเป็น 3 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.35 การทำให้เกิด LASER OSCILLATION นั้น คือส่วนที่ทำหน้าที่เป็น RESONATOR ซึ่งเรียกว่า ACTIVE LASER ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ระหว่างสารกึ่งตัวนำแบบ P (P-TYPE SEMICONDUCTOR) กับ สารกึ่งตัวนำแบบ N (N-TYPE SEMICONDUCTOR)



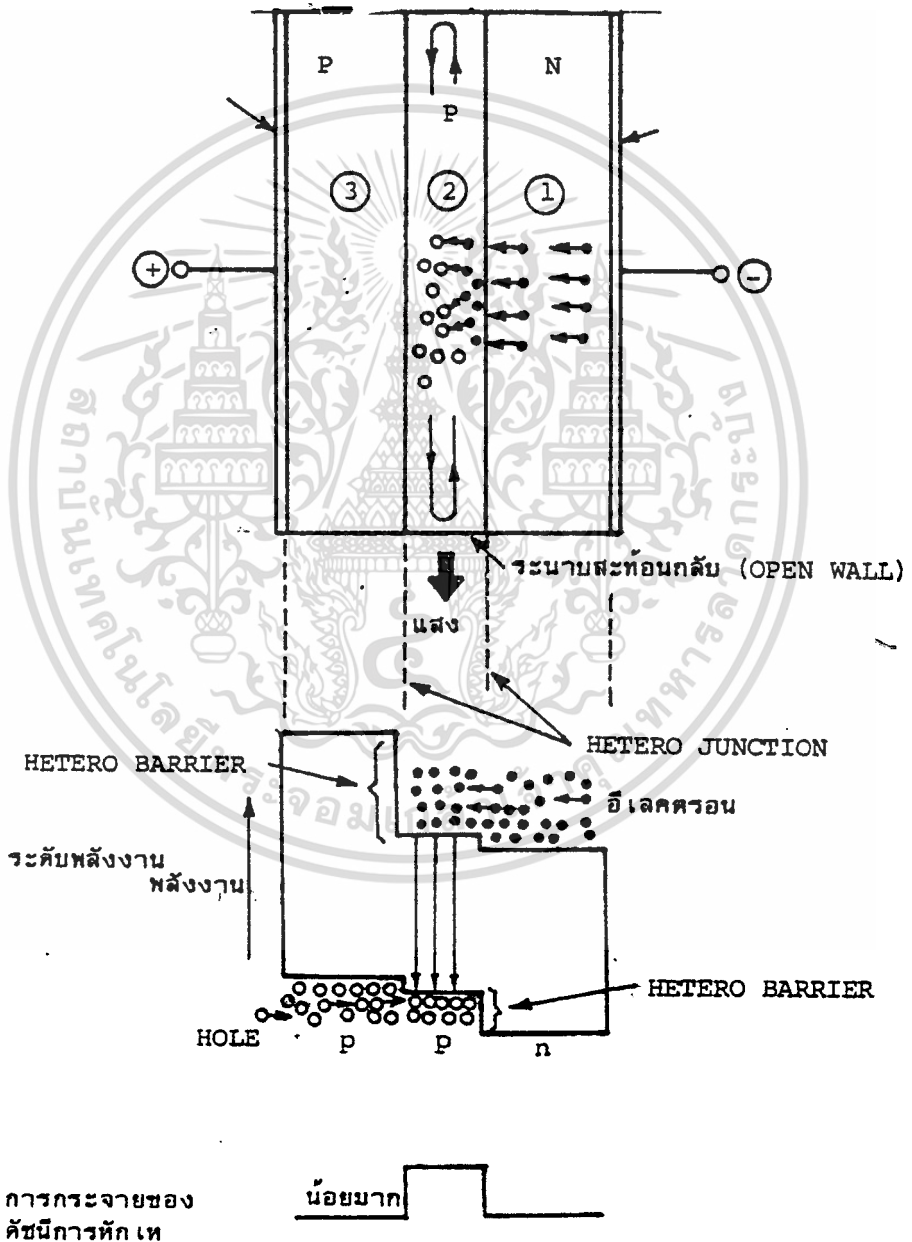
รูปที่ 2.35 โครงสร้างทั่วไปของ LD

จากรูปที่ 2.35 ถ้าหากทำให้กระแสไหลจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ (ทำการฉีดกระแส CURRENT INJECTION) จะเกิดแสง LASER ออกมาในทิศทางที่แสดงด้วยลูกศร เกี่ยวกับวิธีการเกิดออสซิลเลชันของ LD นั้นอธิบายโดยเน้นตรงบริเวณชั้นทั้ง 3 ของ P-TYPE, N-TYPE และ ACTIVE LAYER นี้ สำหรับโครงสร้างของสารกึ่งตัวนำอย่างนี้เรียกว่า DOUBLE HETERO JUNCTION คำว่า DOUBLE HETERO JUNCTION นั้นหมายความว่า รอยต่อของ LAYER ของสารที่มีส่วนประกอบต่างกันนั้นมี 2 ด้าน โครงสร้าง, ระดับพลังงาน และลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของ LD แสดงดังรูปที่ 2.36

ในการทำให้เกิด LASER OSCILLATION นั้น จะต้องทำให้ผลต่างระหว่างระดับพลังงานของ CONDUCTION BAND ของ P-TYPE และ CONDUCTION BAND ของ ACTIVE LAYER มีค่ามาก พร้อมทั้งทำให้ผลต่างระหว่างพลังงานของ CONDUCTION BAND กับ VALENCE BAND ของ P-TYPE มีค่ามากด้วย นอกจากนั้นยังจะต้องทำให้ระดับพลังงานของ N-TYPE มีค่าต่ำกว่าระดับพลังงานของ VALENCE BAND ของ ACTIVE LAYER ด้วย จากนั้นจึงนำมาเชื่อมต่อกันจะได้ระดับพลังงาน ดังแสดงในรูป 2.36 (ข) เมื่อทำให้มีกระแสไหลใน SEMICONDUCTOR ที่มีการเชื่อมต่อกันในลักษณะที่กล่าวข้างต้น โดยให้มีทิศทางไหลจาก P-TYPE ไปหา N-TYPE จะเป็นผลให้อิเล็กตรอนส่วนเกินที่มีอยู่ใน N-TYPE (แสดงด้วย (1) ในรูป 2.36) ดังแสดงในรูป 2.36 (ก) เคลื่อนที่ไปยัง P-TYPE และ HOLE ส่วนเกินที่มีอยู่ใน P-TYPE (แสดงด้วย (3) ในรูป 2.36) เคลื่อนที่ไปยัง N-TYPE ผลของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและ HOLE เหล่านี้ทำให้เกิดมีอิเล็กตรอนและ HOLE อยู่ภายใน ACTIVE LAYER (แสดงด้วย (2) ในรูป 2.36 และโดยทั่วไป ACTIVE LAYER นี้จะใช้สาร P-TYPE LAYER) เมื่อมาถึงจุดนี้ให้สังเกตดูระดับพลังงานของ LAYER ทั้ง 3 ที่แสดงในรูป (ข) จะเห็นว่าเกิดมีกำแพงของพลังงาน (เรียกว่า HETERO BARRIER) ขึ้น ทำให้อิเล็กตรอนและ HOLE ที่เคลื่อนที่ไปนั้นถูกจำกัดอยู่ใน ACTIVE LAYER เป็นผลให้เกิดสภาพ INVERSION DISTRIBUTION ได้อย่างดี ทำให้มีผลการขยายความเข้มของการปล่อยแสง

อนึ่ง โดยการทำให้ดัชนีการหักเหของ ACTIVE LAYER มีค่ามากกว่า LAYER ข้างเคียง ดังแสดงในรูป (ค) จะมีสภาพเหมือนกันกับเส้นในแสง แสงที่ปล่อยออกมาจะเดินทางอยู่ใน ACTIVE LAYER จากผลการกักอิเล็กตรอนและ HOLE เอาไว้ใน ACTIVE LAYER และผลการกักแสงเอาไว้ใน ACTIVE LAYER ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าแสงจะออกมาจากระนาบสะท้อนกลับ โดยที่ระนาบสะท้อนกลับนี้ทำจากการใช้สิ่งที่มีคมมากๆ คล้ายใบมีด

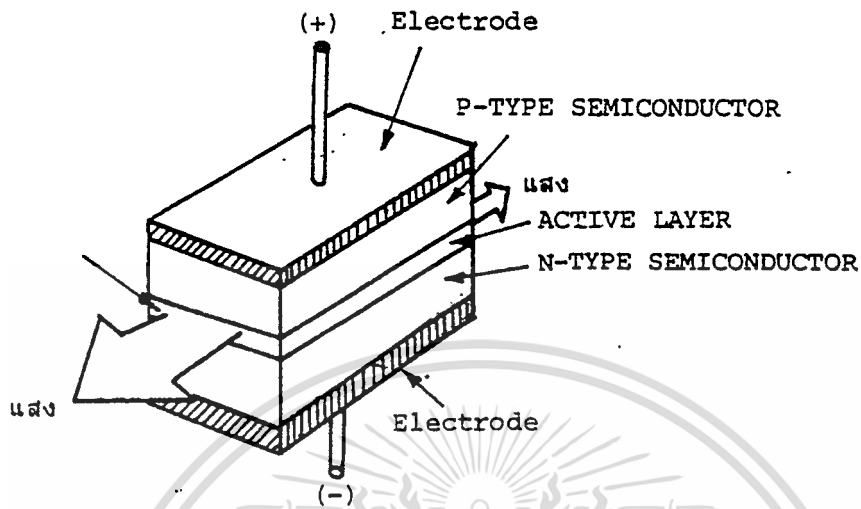
โหนดไปตัดสารกึ่งตัวนำที่ประกอบกันเป็น LD ให้มีช่องเปิด เรียกว่า OPEN WALL แสงจะหลุดออกมาข้างนอกตลอดแนวของ OPEN WALL นี้ ทำให้ประสิทธิภาพของการเชื่อมแสงเข้ากับเส้นใยแสงไม่ดี ด้วยเหตุนี้ เพื่อเป็นการทำให้ประสิทธิภาพดีจำเป็นต้องมีการปรับปรุงต่างๆ เพื่อให้มีปฏิกิริยาการนำคลื่นแสงในทิศทางแนวนอนด้วย ตัวอย่างของวิธีการปรับปรุงก็คือ PLANAR STRIPE STRUCTURE ดังแสดงดังในรูปที่ 2.37



รูปที่ 2.36 โครงสร้าง, ระดับพลังงาน และลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี

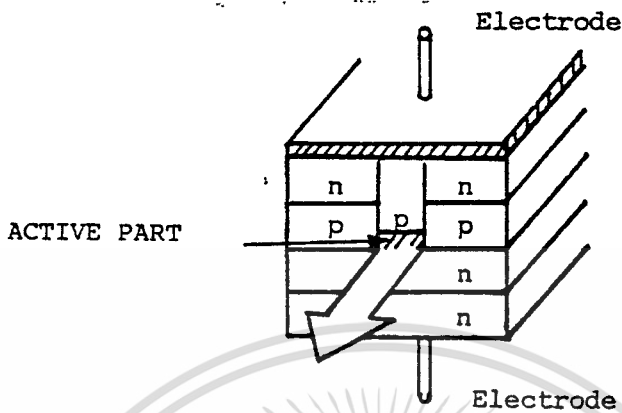
การหักเหของ LD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.37 โครงสร้างแบบ PLANAR STRIPE

เพื่อให้การผลิต LD ทำได้ง่าย (การสร้างผลึกและการสร้างขั้วไฟฟ้า) จะทำให้มีโครงสร้างเป็น 5 ชั้น และทำให้บริเวณที่กระแสไหลนั้นมีขนาดแคบลงส่วนเลเซอร์ออสซิลเลชันเป็นการใช้หลักการที่ทำให้การออสซิลเลชันเกิดขึ้นเฉพาะตรงส่วนที่กระแสไหลนั้นคือ ตรงส่วนที่มีการกระตุ้นเท่านั้น จากรูปที่ 2.37 จะเห็นว่าชั้นบนสุดที่มีขั้วไฟฟ้าบวกติดอยู่จะเป็น N-TYPE เกือบทั้งหมด แต่จะมีเฉพาะส่วนหนึ่งเท่านั้นซึ่งแคบมากเป็น P-TYPE เมื่อทำดังนี้ จะไม่มีกระแสไหลเฉพาะตรงส่วนเชื่อมต่อของ N-TYPE, P-TYPE, ACTIVE LAYER และ N-TYPE (ทั้งนี้เพราะว่า จากคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำกระแสจะไม่ไหลจาก N-TYPE ไปยัง P-TYPE) แต่ในทางตรงกันข้าม กระแสจะไหลเฉพาะตรงส่วนเชื่อมต่อของ N-TYPE, P-TYPE ACTIVE LAYER และ N-TYPE นั่นคือ ส่วน P-TYPE ของชั้นที่ 1 จะทำหน้าที่เป็นทางไหลเข้าของกระแสกลายเป็นแถบ P-TYPE ส่วนหนึ่งของ ACTIVE LAYER จึงเรียกว่า PLANAR STRIPE TYPE โครงสร้างแบบอื่นที่มีคุณสมบัติดีกว่าแบบ PLANAR STRIPE และนิยมใช้กันมากคือแบบ EMBEDDING STRIPE TYPE ดังแสดงในรูปที่ 2.38

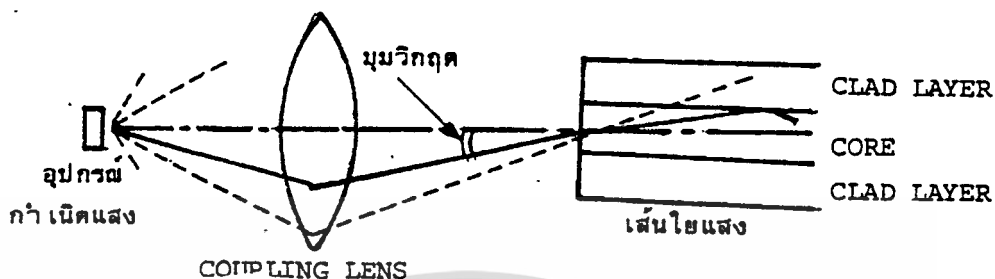


รูปที่ 2.38 โครงสร้างของ EMBEDDING STRIPE TYPE

โครงสร้างนี้มีลักษณะพิเศษตรงที่ทำให้ค่าดัชนีการหักเหของ ACTIVE LAYER มีค่าสูงทั้งส่วนบน, ล่าง, ซ้าย และขวา นั่นคือส่วนบนของ ACTIVE LAYER จะมีชั้นของ P-TYPE อยู่ซึ่งจะเหมือนกับ PLANAR STRIPE TYPE และกระแสจะไหลเฉพาะในส่วนนี้เท่านั้น จากข้างบนไปข้างล่าง นอกจากจะสามารถทำให้เกิดเลเซอร์ออสซิลเลชันด้วยกระแสที่มีค่าน้อยแล้ว ยังทำให้ค่าดัชนีการหักเหของ ACTIVE LAYER มีค่าสูงมากขึ้นอีก จึงเป็นผลให้ประสิทธิภาพของการกักแสงเพิ่มขึ้น สามารถได้แสงที่ปล่อยออกมาเป็นลำแสงที่คมมาก

2.5.3 การเชื่อมอุปกรณ์กำเนิดแสงกับเส้นใยแสง

โดยทั่วไปแล้ว แสงที่ปล่อยออกจากอุปกรณ์ปล่อยแสงจะกว้างออก เนื่องจากปรากฏการณ์เบี่ยงเบนของแสง การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสงที่มีขนาดเล็กมากจึงเป็นการยาก ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการใช้วิธีการต่างๆ เช่น ใช้เลนซ์มาทำการบีบลำแสงให้เล็กลงดังแสดงในรูปที่ 2.39



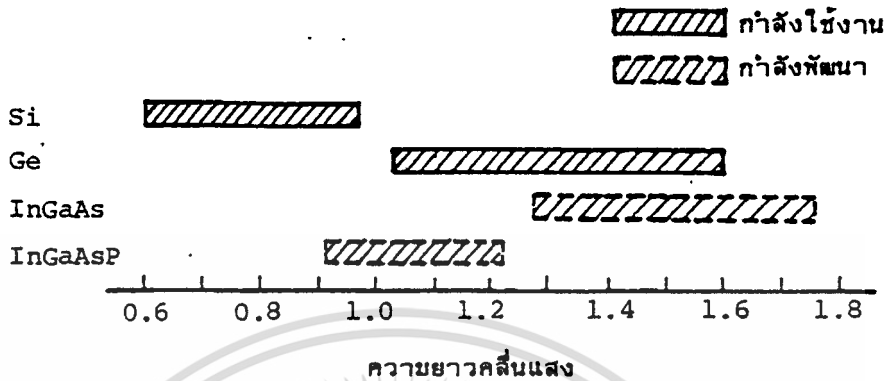
รูปที่ 2.39 การเชื่อมแสงระหว่างอุปกรณ์ปล่อยแสงกับเส้นใยแสง

ในการป้อนแสงเข้าไป CORE ของเส้นใยแสงจำเป็นต้องปล่อยแสงเข้าไปด้วยค่าของมุมตกกระทบที่อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่ามุมรับแสงสูงสุดของเส้นใยแสง เช่น สมมุติว่าป้อนแสงเข้าไปด้วยมุมตกกระทบที่มีค่ามากกว่ามุมรับแสงสูงสุดของเส้นใยแสง ดังแสดงด้วยเส้นประในรูปที่ 2.39 จะเห็นว่าแสงที่ป้อนเข้าไปนี้จะทะลุออกไปยัง CLAD หมด ด้วยเหตุนี้จึงต้องใช้เลนซ์นำไปวางใกล้ๆ อุปกรณ์ปล่อยแสง เพื่อบีบแสงให้แคบลง ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากวางตำแหน่งของเลนซ์ใกล้กับอุปกรณ์ปล่อยแสงมากเกินไป จะทำให้แสงถูกขยายกว้างมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของ CORE ของเส้นใยแสง ทำให้ประสิทธิภาพการเชื่อมแสงต่ำลงไปดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับแต่งเลนซ์ที่ใช้ให้ถูกต้อง

2.5.4 อุปกรณ์รับแสง

สารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง

สำหรับอุปกรณ์รับแสงก็เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสง นั่นคือจะมีสารหลายชนิด นอกจากนั้น ผลต่างของพลังงานของ CONDUCTION BAND และ VALENCE BAND ของอุปกรณ์รับแสงมีค่าแตกต่างกัน ทำให้มีย่านความยาวคลื่นต่างกัน คุณสมบัติความไวในการรับแสงของสารแต่ละชนิดแสดงดังรูปที่ 2.40



รูปที่ 2.40 ความยาวคลื่นในการรับแสงของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิด

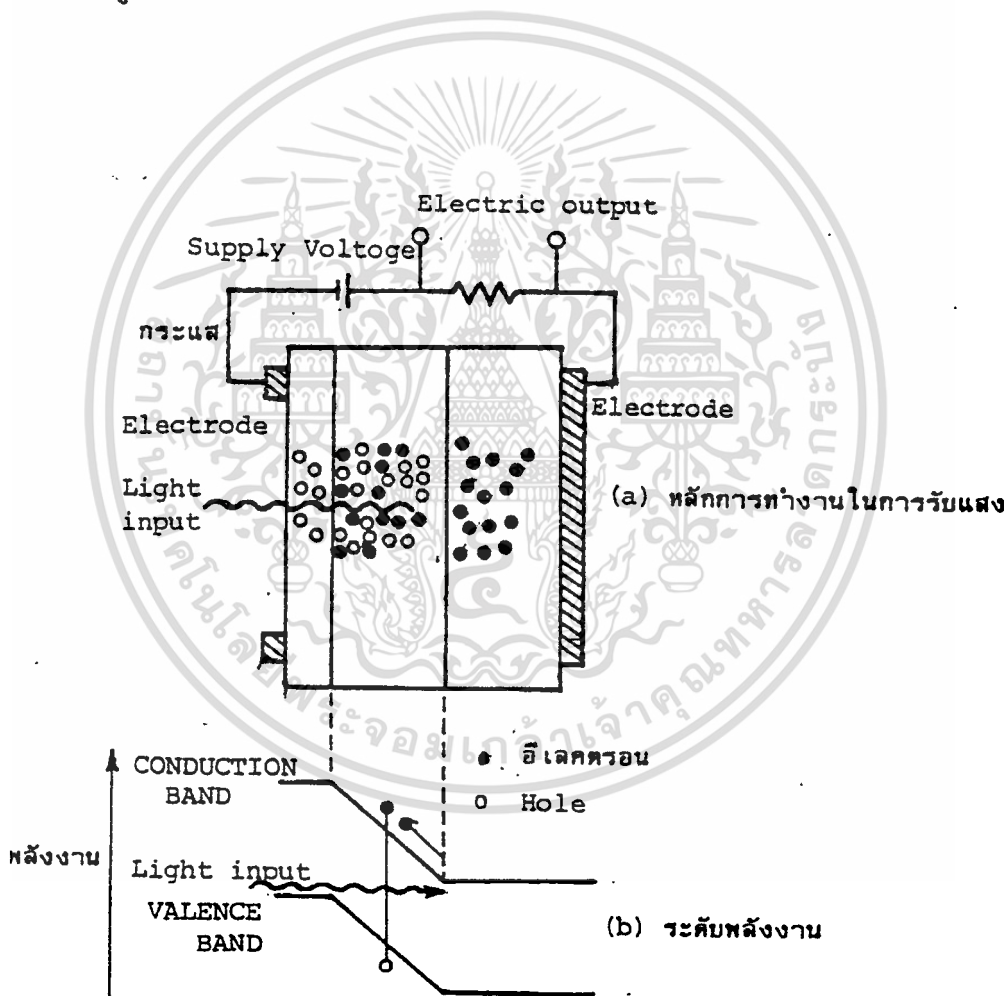
อุปกรณ์รับแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำนี้ แบ่งออกเป็นพวกใหญ่ๆ ได้ 2 พวก ตามปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้จากภายนอก คือ PHOTO DIODE ; PD กับ AVALANCE PHOTO DIODE ; APD

PD นั้นเป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณน้อย ส่วน APD เป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณมาก ตัวอย่างของ PD คือ PIN PD ดังแสดงในรูปที่ 2.41 PIN หมายถึงว่าในระหว่างสารกึ่งตัวนำ N-TYPE และ P-TYPE มีสารกึ่งตัวนำแบบที่เรียกว่า INTRINSIC ; I กั้นอยู่ สารกึ่งตัวนำแบบ I ที่กั้นกลางระหว่าง N-TYPE และ P-TYPE มีหน้าที่ทำให้ความกว้างของขอบเขตรอยต่อกว้างขึ้น เนื่องจาก PD ที่ใช้ในระบบการสื่อสารนั้นโดยทั่วไปต้องการความเร็วในการตอบสนองสูง ดังนั้นส่วนใหญ่จะใช้ PIN PD

อนึ่ง APD นั้นใช้ปฏิกิริยาการขยาย AVALANCE ของอิเล็กตรอน และ HOLE ในสารกึ่งตัวนำ เมื่อเปรียบเทียบกับ PD แล้วเป็นอุปกรณ์รับแสงที่ให้กระแสจำนวนมาก หลักการทำงานของ APD แสดงดังรูปที่ 2.42 สำหรับโครงสร้างนั้นส่วนใหญ่ทางด้าน P ของ PN-JUNCTION จะมีสารกึ่งตัวนำแบบ P-TYPE ที่มีความหนาแน่นของ HOLE สูงติดอยู่ (ส่วนที่แสดงด้วย P+ ในรูป) โดยการทำเช่นนี้ จะทำให้สนามไฟฟ้าภายในบริเวณใกล้ๆ รอยต่อที่มี P-LAYER เป็นศูนย์กลางมีค่ามาก อิเล็กตรอนที่ถูกแสงที่มาจากด้าน P+ และถูกกระตุ้นจาก VALENCE BAND ไปยัง CONDUCTION BAND ในระหว่างที่ได้รับอัตราเร่ง

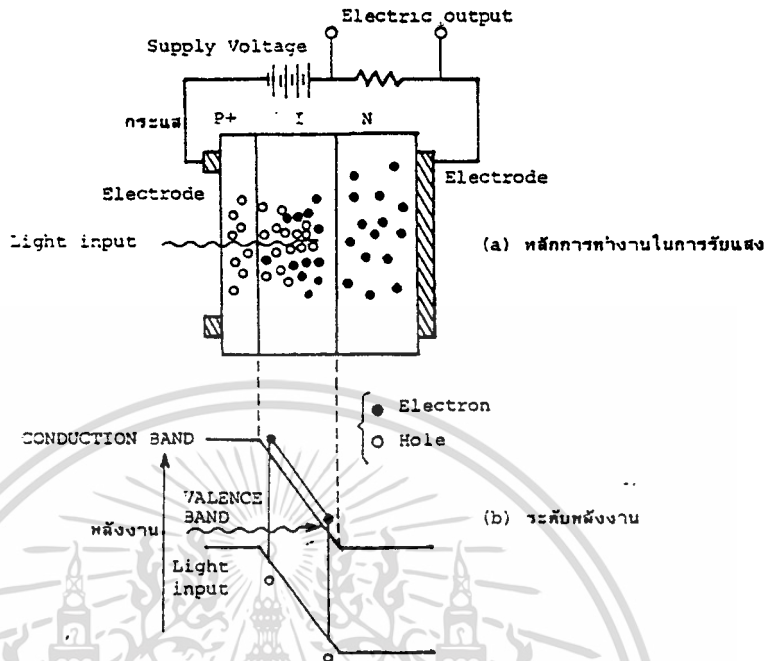
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และผ่านไปยัง P-LAYER นั้น มันจะได้รับพลังงานจำนวนมากว่าผลต่างของพลังงานของ CONDUCTION BAND กับ VALENCE BAND จากผลนี้ ทำให้สามารถกระตุ้นอิเล็กตรอนที่อยู่ใน VALENCE BAND และทำให้เกิดอิเล็กตรอนกับ HOLE ใหม่ได้ และอิเล็กตรอนกับ HOLE ใหม่ก็ยังถูกสนามไฟฟ้าเร่งอัตราเร่งให้อีก ทำให้อิเล็กตรอนกับ HOLE ใหม่ออกมาอีก เมื่อขบวนการนี้เกิดต่อเนื่องกัน จำนวนของอิเล็กตรอนกับ HOLE จะเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากมาย (AVALANCE) เป็นผลให้เกิดการขยายเรียกว่า AVALANCE MULTIPLICATION ผลนี้ทำให้กระแสถูกขยายนั่นเอง



รูป 2.41 หลักการทำงานการรับแสงและระดับพลังงานของ PIN PD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



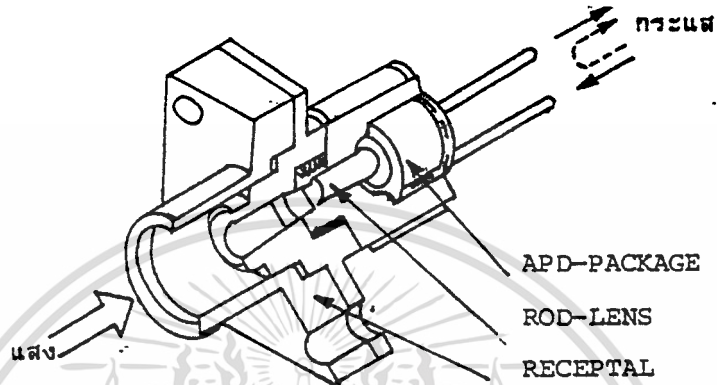
รูป 2.42 แสดงหลักการทำงานการรับแสงและระดับพลังงานของ APD

2.5.5 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์รับแสงกับเส้นใยแสง

สำหรับอุปกรณ์รับแสงที่เช่นเดียวกับอุปกรณ์กำเนิดแสงที่กล่าวมาแล้ว นั่นคือการเชื่อมต่อกับเส้นใยแสงเป็นองค์ประกอบสำคัญอันหนึ่งในการออกแบบระบบแสงที่เดินทางมาในเส้นใยแสง ในกรณีที่ถูกลอยออกไปในอากาศจากปลายของเส้นใยแสงนั้นแสงจะถูกออกไปจากปลายเส้นใยแสงในลักษณะที่มีความกว้างใกล้เคียงกับค่า NA ของเส้นใยแสง ด้วยเหตุนี้ การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์รับแสงกับเส้นใยแสงจะต้องทำให้อุปกรณ์รับแสงอยู่ใกล้กับปลายของเส้นใยแสงให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ หรือไม่อย่างนั้น ก็ต้องทำให้อุปกรณ์รับแสงมีพื้นที่รับแสงโตมาก เส้นผ่านศูนย์กลางการรับแสงของอุปกรณ์รับแสงที่ทำงานด้วยความเร็วสูงนั้น โดยทั่วไปต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 100 μm ดังนั้น จึงต้องมีการรวมแสงให้แก่ด้านรับแสงโดยใช้ ROD LENS (เลนซ์ที่มีลักษณะเป็นแท่งกลมยาว) ไปวางไว้ข้างหน้าอุปกรณ์รับแสง เพื่อทำหน้าที่รวมแสงที่ปล่อยออกมาจากเส้นใยแสงให้แก่ด้านรับแสงของอุปกรณ์รับแสง ROD LENS และอุปกรณ์รับแสงที่ประกอบเป็นชิ้นเดียวกันนี้เรียกว่า โมดูล (MODULE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง โครงสร้างภายในของ MODULE นี้แสดงดังรูปที่ 2.43 และตัวอย่างของ PIN-PD MODULE และ APD MODULE แสดงดังรูปที่ 2.44



รูปที่ 2.43 ตัวอย่าง โครงสร้างภายในของ APD MODULE

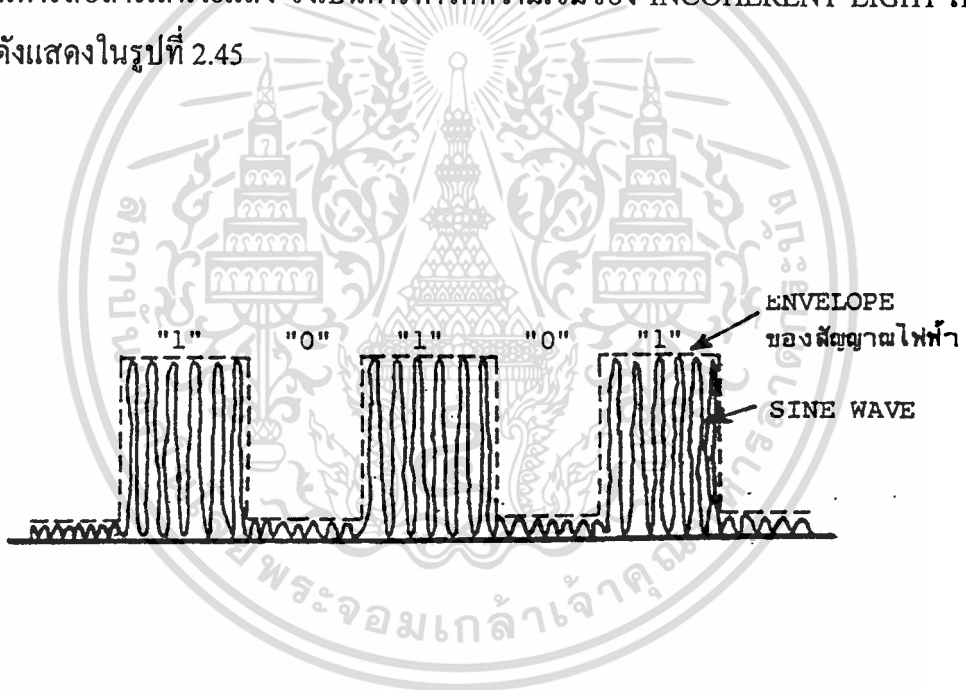


รูปที่ 2.44 PIN- PD MODULE และ APD MODULE

2.5.6 การผสมและการแยกสัญญาณ (Modulation And Demodulation)

ตัวกำเนิดแสงนั้นทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสง ซึ่งกระทำโดยการผสม (MODULATION) กับอุปกรณ์กำเนิดแสง กรณีการมอดูเลชั่นของการสื่อสารทางเอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าหมายความว่า เป็นการทำให้ความถี่ของออสซิลเลเตอร์เปลี่ยนแปลงตามสัญญาณข่าวสาร แต่สำหรับการสื่อสารเส้นใยแสงในปัจจุบัน เนื่องจากความถี่ (ความยาวคลื่น) ของแสงที่ปล่อยออกมาจากอุปกรณ์กำเนิดแสงมีค่าไม่คงที่ หรือกล่าวอีกอย่างก็คือ แสงไม่ใช่แสงที่เป็น TIME COHERENT ดังนั้น ความหมายของการมอดูเลชันจึงแตกต่างกับของการสื่อสารทางไฟฟ้าไปบ้างเล็กน้อย ถ้าหากสามารถทำให้แสงเป็น COHERENT ที่สมบูรณ์ นั่นคือมีความถี่คงที่ และสามารถเปลี่ยนความถี่ของแสงให้อยู่ในย่านความถี่ไมโครเวฟได้จะทำให้การสื่อสารเส้นใยแสงมีการผสมคลื่นชนิดต่างๆ (เช่น AM, FM, PM) เหมือนกับการสื่อสารไฟฟ้า แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังทำไม่ได้ เพียงแต่ยังอยู่ในขั้นตอนของการวิจัยพื้นฐานเท่านั้น ดังนั้น การผสมคลื่นในการสื่อสารเส้นใยแสง จึงเป็นการทำให้ความเข้มของ INCOHERENT LIGHT เปลี่ยนแปลงดังแสดงในรูปที่ 2.45



รูปที่ 2.45 การผสมสัญญาณแสงและการส่ง

การผสมคลื่นแสงนั้นเป็นการผสมทางความเข้มของสัญญาณแสงเท่านั้น (INTENSITY MODULATION) สำหรับทางด้านรับนั้น จากการรับสัญญาณแสงที่อ่อนกำลังและเกิดความเพี้ยนเนื่องจากเดินทางผ่านเส้นใยแสงด้วยอุปกรณ์รับแสงจะทำให้ได้สัญญาณไฟฟ้าออกมา รูปร่างของสัญญาณไฟฟ้านี้เป็นสัญญาณ BASE BAND สัญญาณ BASE BAND นี้จะนำไปผ่านขั้นตอนทางไฟฟ้าที่เรียกว่า REGENERATIVE AMPLIFIER ทำให้ได้สัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

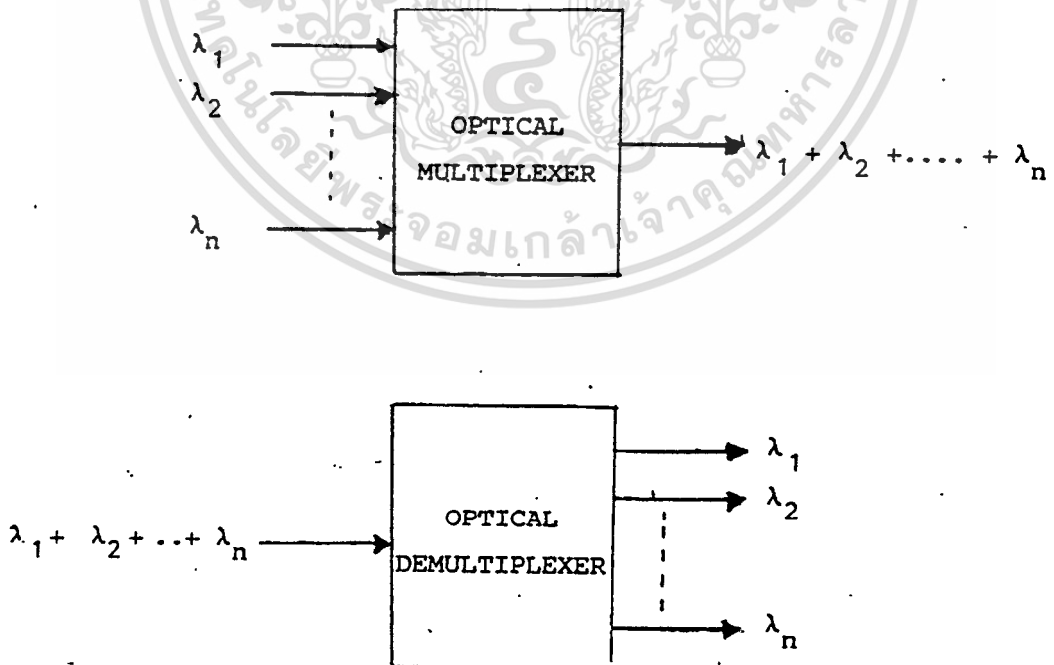
ที่เหมือนกันกับต้นกำเนิดข่าวสารทุกประการ ในอนาคตถ้าหากสามารถทำได้แสงที่เป็น COHERENT อย่างสมบูรณ์แล้วจะสามารถใช้วิธีการผสมคลื่นที่ทำให้ความถี่ต้นกำเนิดแสงเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณข่าวสาร นั่นคือ ใช้วิธีการผสมคลื่นที่มีประสิทธิภาพดีได้

2.5.7 การมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์

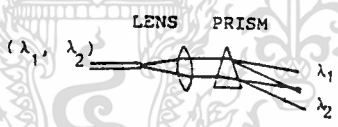
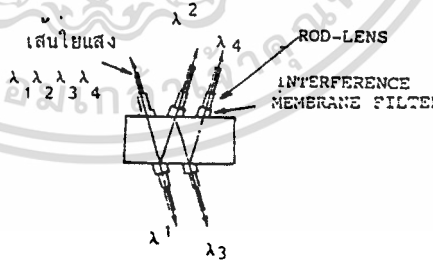
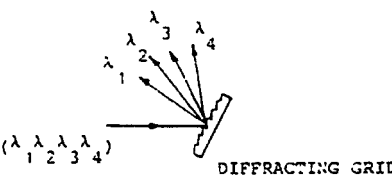
2.5.7.1 อุปกรณ์มัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์ทางแสง

(Optical Multiplexer และ Optical Demultiplexer)

Optical Multiplexer เป็นอุปกรณ์แสงที่ทำหน้าที่รวมสัญญาณแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันแล้วป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงเส้นเดียว ส่วน Optical Demultiplexer เป็นอุปกรณ์แสงที่ทำหน้าที่ตรงกันข้าม กล่าวคือ จะทำหน้าที่แยกสัญญาณแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันที่ส่งมาในเส้นใยแสงหนึ่งเส้นออกเป็นความยาวคลื่นค่าต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.46

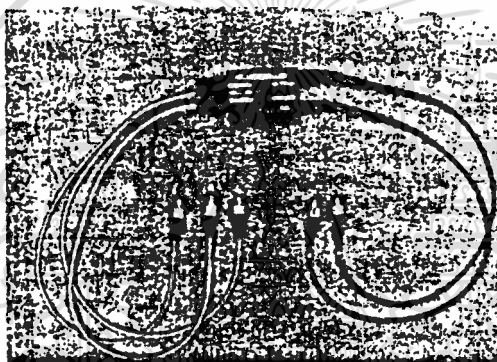


วิธีการสร้าง Optical Multiplexer และ Demultiplexer แสดงดังตารางที่ 2.2 โดยการใช้แท่งแก้วปริซึม Interference Film Filter และ Diffracting Lattice วิธีการใช้แท่งแก้วปริซึมก็คือ การใช้ความแตกต่างของดัชนีการหักเหตามความยาวคลื่นของแสง เหมือนอย่างที่เราเห็นแสงอาทิตย์ที่เข้ามาถูกแยกออกเป็น 7 สี วิธีนี้มีข้อดี แม้ความยาวคลื่นแสงจะมีจำนวนมากก็ตามแต่ โครงสร้างของมันจะไม่ยุ่งยาก แต่มีข้อเสีย คือสารที่ใช้ทำตัวแท่งแก้วปริซึมนั้นมีราคาสูงจึงไม่ค่อยนิยมใช้ ส่วนวิธี Interference Film ค่า Transmittivity ของ Interference Film Filter ที่ใช้จะเปลี่ยนค่าจาก 0 % ไปจนถึง 90 % ตามความยาวคลื่นต่างๆ เพื่อทำการแยกแสงที่ส่งผ่าน และแสงที่สะท้อนกลับวิธีนี้สามารถใช้ Interference Filter ซึ่งนำเอาฟิล์มโลหะที่มีคุณสมบัติให้ความยาวคลื่นแสงผ่านไปได้ (หรือสะท้อนกลับได้) เช่น สาร TiO₂ และอื่นๆ ไปเคลือบบนแผ่นแก้วแล้วนำไปประกอบร่วมกับเลนซ์แบบแท่ง ดังแสดงในรูปของตารางที่ 2.2

<p>ชิ้นส่วนที่ใช้</p>	<p>วิธีการสร้าง Optical Multiplexer และ Optical Demultiplexer</p>
<p>แท่งแก้วปริซึม</p>	
<p>Interference Film Filter</p>	
<p>Diffracting Lattice</p>	

ตารางที่ 2.2 แสดงวิธีการสร้าง Optical Multiplexer และ Optical Demultiplexer ด้านการคำนวณการกระจายของแสงที่ผ่านอุปกรณ์เหล่านี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้และโครงสร้างของอุปกรณ์

วิธีสุดท้ายคือ วิธีการใช้ Diffracting Lattice (Lattice ที่ทำให้แสงเบี่ยงเบน) เป็นวิธีที่แยกแสงออกโดยอาศัยหลักที่ว่าแสงที่มาจากกระทบที่ Diffracting Lattice นั้นจะมีมุมสะท้อนกลับแตกต่างกันตามความสัมพันธ์ของความยาวคลื่นแสง และระยะห่างของ Lattice ดังแสดงในตารางที่ 2.2 วิธีนี้มีข้อดี คือ มีขนาดเล็ก แม้ว่าจำนวน Multiplex จะมีค่ามากก็ตาม โครงสร้างของมันไม่ยุ่งยาก และยังมีการสูญเสียน้อยอีกด้วย ในปัจจุบันนิยมใช้กันมาก ลักษณะภายนอกของอุปกรณ์ Optical Multiplexer และ Optical Demultiplexer ที่ใช้ Interference Film Filter แสดงดังรูปที่ 2.47

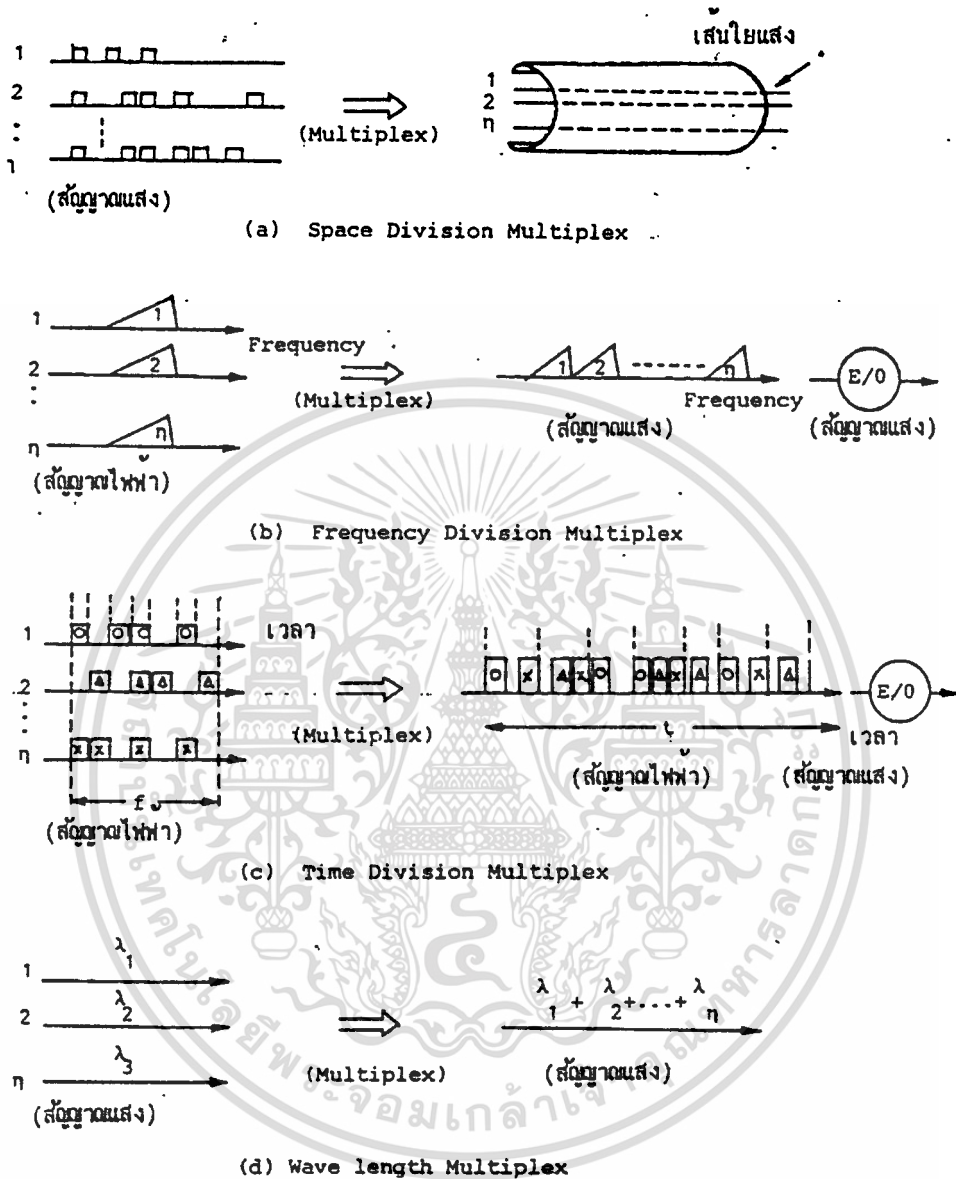


รูปที่ 2.47 ลักษณะภายนอกของ Optical Multiplexer และ Optical Demultiplexer แบบ Interference Film

2.5.7.2 วิธีการทำมัลติเพล็กซ์

จากแนวความคิดที่ว่า ถ้าสายส่งสามารถส่งข่าวสารได้มากเท่าใด ก็จะเป็นการประหยัดในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงก็เช่นเดียวกัน มีการทำมัลติเพล็กซ์ชนิดต่างๆ เหมือนกับระบบสื่อสารที่ใช้สายส่งเป็นโลหะ การทำมัลติเพล็กซ์นั้นแบ่งเป็นพวกใหญ่ๆ ได้เป็น 4 พวก คือ SPACE DIVISION MULTIPLEX , FREQUENCY DIVISION MULTIPLEX , TIME DIVISION MULTIPLEX และ WAVE LENGTH DIVISION MULTIPLEX ดังแสดงในรูปที่ 2.48

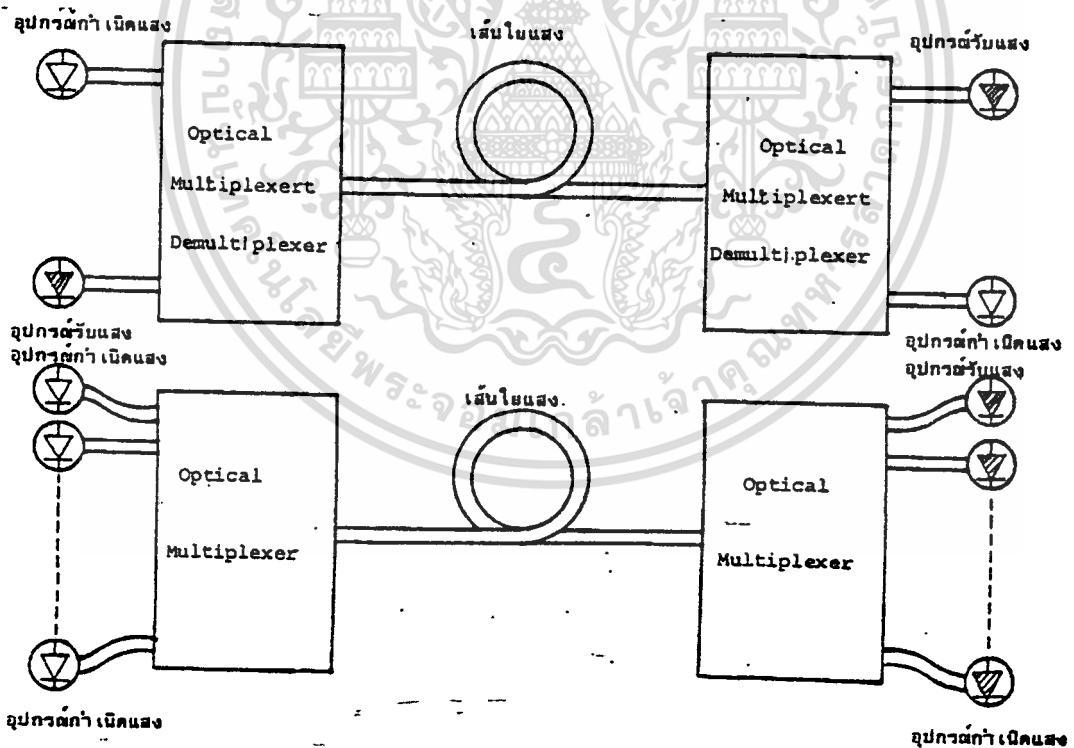
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.48 วิธีการทำมัลติเพล็กซ์ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

SPACE DIVISION MULTIPLEX หมายถึง ในสายเคเบิลหนึ่งเส้นมีเส้นใยแสงจำนวนมาก เป็นวิธีที่ทำให้ส่งได้จำนวนมากต่อสายเคเบิลหนึ่งเส้น FREQUENCY DIVISION MULTIPLEX และ TIME DIVISION MULTIPLEX เป็นวิธีที่ใช้กันอยู่ในระบบการส่งแบบแอนะล็อก และแบบดิจิทัลในสายโลหะ สำหรับระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง สัญญาณจำนวนมากที่จะถูกส่งไปนั้นจะถูก MULTIPLEX ในขั้นตอนของสัญญาณไฟฟ้า

วิธีสุดท้ายคือ WAVE LENGTH DIVITION MULTIPLEX เป็นวิธีที่ส่งแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกันจำนวนมากไปในเส้นใยแสงหนึ่งเส้น วิธีนี้เป็นการผสม Optical Multiplexer และ Optical Demultiplexer จะทำให้ได้การส่งแบบ Duplex ดังแสดงในรูปที่ 2.49 (a) หรือการส่งแบบ Simplex ดังแสดงในรูปที่ 2.49 (b) แต่ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดกรณีหนึ่งก็ตาม เนื่องจากการสูญเสียที่เพิ่มมาจาก Optical Multiplexer และ Optical Demultiplexer ทำให้ระยะห่างของตัวทวนสัญญาณสั้นลง จึงต้องคำนึงถึงระยะทางที่เหมาะสมของระบบ การลดราคาอาจโดยการลดจำนวนเส้นของเส้นใยแสงและอื่นๆ แล้วจึงกำหนดการใช้ที่เหมาะสมของ WAVE LENGTH DIVITION MULTIPLEX อนึ่ง ข้อดีก็คือสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งไปกับความยาวคลื่นแต่ละอัน ไม่ว่าจะเป็นแอนะลอกหรือดิจิตอล สามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ซึ่งเป็นความยืดหยุ่นของการสร้างระบบ



รูปที่ 2.49 ส่วนประกอบของระบบการส่ง WAVE LENGTH DIVISION MULTIPLEX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

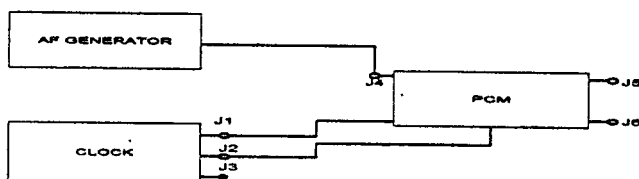
การสร้างและการออกแบบ

ในบทนี้จุดประสงค์จะกล่าวถึงทำการสร้าง และออกแบบวงจรชุดทดลองระบบสื่อสารดิจิทัล และการสื่อสารผ่านเส้นใยแสงขึ้น โดยแยกส่วนของระบบสื่อสารดิจิทัลออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ PCM, DELTA MODULATION, FSK และ PULSE MODULATION แบบ PAM ซึ่งในส่วนของ PCM จะประกอบด้วยวงจร CLOCK, วงจร CODEC FILTER ในส่วนของ DELTA MODULATION จะประกอบด้วยวงจร CLOCK, วงจร INTEGRATOR 1 , วงจร INTEGRATOR 2 และ วงจร LOWPASS FILTER ในส่วนของ FSK จะประกอบด้วย วงจร CLOCK, วงจร CLOCK GENERATOR, วงจร ENCODER, วงจร FSK MODULATION , วงจร FSK DEMODULATION วงจร POST DETECTION, วงจร FSK FILTER, วงจร VOLTAGE COMPARATOR, วงจร NOISE และในส่วนของ PAM จะประกอบด้วยวงจร CLOCK วงจร SAMPLER, วงจร SAMPLER AND HOLD, วงจร ADDER (TDM), วงจร SYNCHRONIZE และ วงจร LOWPASS FILTER

ส่วนในระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยแสงนั้นจะแบ่งออกเป็นวงจร TRANSMITTER INTERFACE , วงจร FO TRANSMITTER , และวงจร FO RECEIVER และได้อธิบายการทำงานของแต่ละวงจรไว้ทุกวงจรโดยละเอียด

3.1 PULSE CODE MODULATION (PCM)

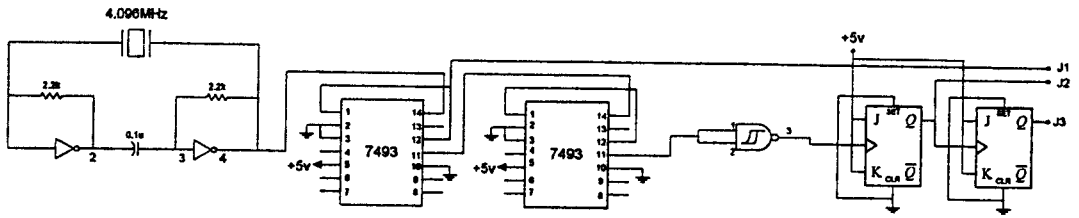
3.1.1 แผนผังวงจรของ PCM



รูปที่ 3.1 แผนผังวงจรของ PCM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลซ่านาฬิกา

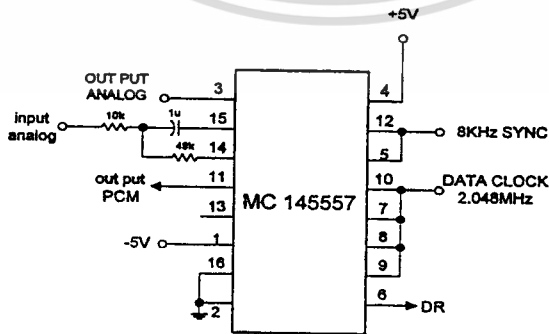


รูปที่ 3.2 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลซ่านาฬิกา

การทำงานของวงจร

สัญญาณพัลซ่านาฬิกาความถี่ 2.048 MHz กับ 8 KHz ถูกกำเนิดโดยใช้แร่คริสตอลเป็นตัวกำเนิดความถี่และนำความถี่ไปหารให้เหลือ 8 KHz มีขั้นตอนการทำงานดังนี้ แร่คริสตอลความถี่ 4.096 MHz กำเนิดสัญญาณออกมาแล้วถูกหารความถี่ลงครึ่งหนึ่งโดยไอซี 7493A เหลือความถี่ 2.048 Mhz และถูกหารด้วย 8 โดยไอซี 7493 ตัวเดิม จากนั้นความถี่ถูกหารด้วย 16 โดยไอซี 7493B เหลือความถี่ 16 KHz จากนั้นนำสัญญาณความถี่เข้าไปทำการปรับแต่งรูปร่างสัญญาณให้มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมแล้วความถี่ถูกหาร 2 ด้วยไอซี 4027 เหลือความถี่ 8 KHz

3.2.2 วงจร PCM CODEC FILTER



รูปที่ 3.3 วงจร PCM CODEC FILTER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

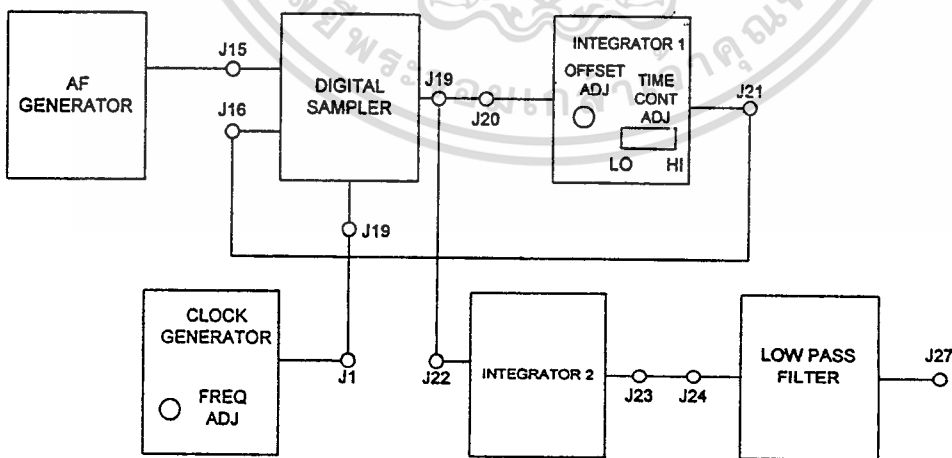
การทำงานของวงจร

สัญญาณแอนะล็อกถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยใช้ไอซี 14557 ซึ่งมีการทำงานของวงจรมอดูเลตแบบเดลตา สัญญาณจะเข้ามาทางอินพุต J1 ผ่านตัวต้านทาน $10\text{ K}\Omega$ ตัวเก็บประจุ $0.1\text{ }\mu\text{F}$ เข้าที่ขา K หรือขา 14 ของไอซี 14557 ซึ่งภายในเป็นออป-แอมป์ขยายสัญญาณก่อนผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านไปโดยใช้ตัวเก็บประจุทำหน้าที่เป็นสวิทช์เมื่อสัญญาณแอนะล็อกมีความถี่ตั้งแต่ 200 Hz ถึง 3.4 KHz ก่อนที่จะนำสัญญาณไปเข้ารหัสจากนั้นสัญญาณจะถูกแซมปลิงด้วยความถี่ 8 KHz จากนั้นจะทำการควอนไทซ์และบีบอัดสัญญาณแล้วจะได้สัญญาณดิจิทัลออกมาเอาต์พุตที่ขา 11 ของไอซี 14557

การถอดรหัสสัญญาณดิจิทัลทำโดยนำสัญญาณจากขา 11 ต่อเข้ากับขา 6 ของไอซี 14557 จากนั้นสัญญาณถูกขยายออก และจะนำสัญญาณป้อนเข้าวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อกจากนั้นสัญญาณถูกกรองความถี่สูงออกจะได้สัญญาณแอนะล็อกออกมาที่เอาต์พุตขา 3 ของไอซี 14557

3.2 การมอดูเลตแบบเดลตา (DELTA MODULATION)

3.2.1 แผนผังวงจรของการมอดูเลตแบบเดลตา

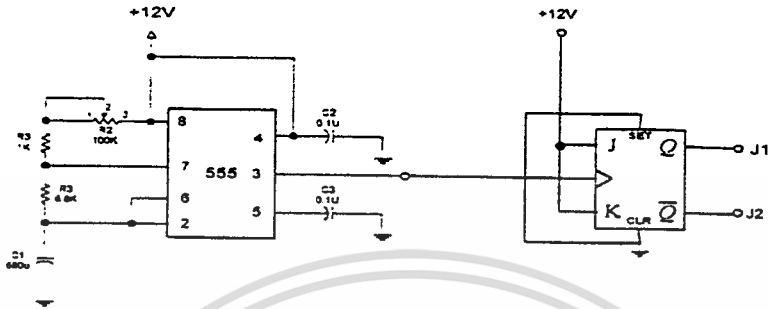


รูปที่ 3.4 แผนผังวงจรของการมอดูเลตแบบเดลตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 วงจรมอดูเลตแบบเคลตต้า

3.2.2.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นาฬิกา

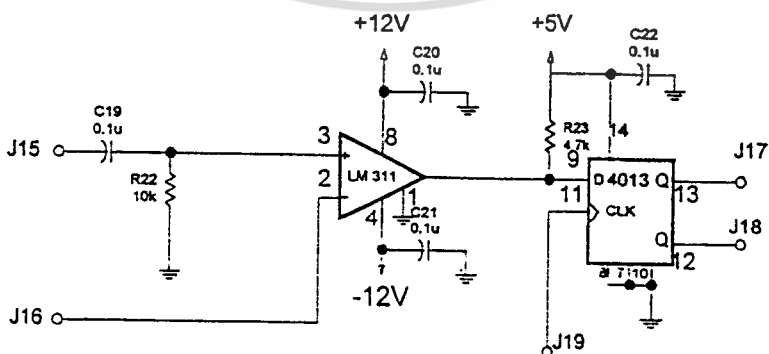


รูปที่ 3.5 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

การทำงานของวงจร

สัญญาณเอาต์พุตคลื่นสี่เหลี่ยมถูกกำเนิดโดยไอซีเบอร์ 555 มีลักษณะการทำงานแบบอะสแตเบิลมีลต์ติไวเบรเตอร์ ตัวต้านทาน R_1 , R_2 , R_3 และตัวเก็บประจุ C_1 เป็นตัวกำหนดความถี่ทางด้านเอาต์พุต จากนั้นสัญญาณผ่านเข้าไอซีเบอร์ 4027 ซึ่งทำหน้าที่ให้สัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมมีค่าควิตซ์ไซเคิลเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์

3.2.2.2 วงจรดิจิตอลแซมเปิ้ล (Digital Sampler)



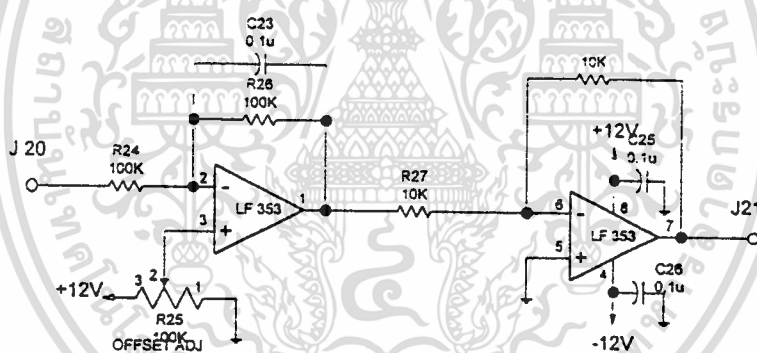
รูปที่ 3.6 วงจรดิจิตอลแซมเปิ้ล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจร

วงจรจะประกอบด้วยออป-แอมป์คอมแพเรเตอร์ และ D FLIP-FLOP สัญญาณอินพุตถูกป้อนเข้าที่ J19 และถูกขับเปิดด้วย R₂₂, C₁₉ โดย R₂₂ เป็นตัวดึงแรงดัน (Pull Up) สัญญาณให้มีค่าเป็น 0 โวลต์ หรือ 5 โวลต์ สัญญาณป้อนกลับจะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และถูกขับเปิดเข้าที่อินพุตของออปแอมป์คอมแพเรเตอร์แบบอินเวอร์ตติ้งที่ J16 ถ้าสัญญาณที่เข้ามามีค่ามากกว่าอินพุตอีกด้านหนึ่งที่เอาต์พุตจะเป็นสัญญาณดิจิตอลสภาวะ 1 แต่ถ้าสัญญาณที่เข้ามามีค่าน้อยกว่าที่เอาต์พุตจะเป็นสภาวะ 0 จากนั้นสัญญาณจะผ่าน D FLIP-FLOP ในขณะเดียวกันก็จะมีสัญญาณพัลส์นาฬิกาเข้ามาเข้าที่ J19 และจะได้สัญญาณดิจิตอลออกมาที่ J17

3.2.2.3 วงจรอินทิเกรเตอร์ 1 (Integrator 1)



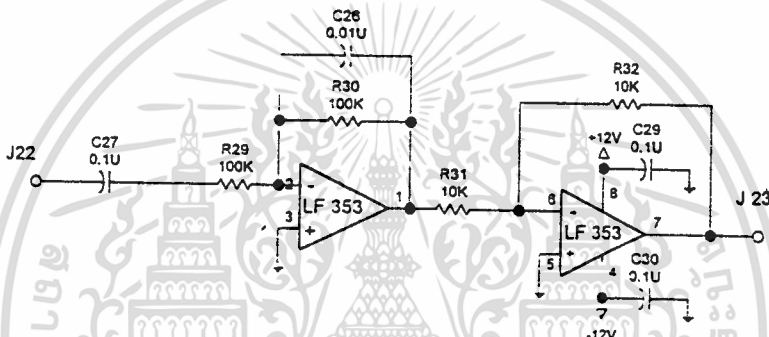
รูปที่ 3.7 วงจรอินทิเกรเตอร์ 1

การทำงานของวงจร

วงจรประกอบด้วยออป-แอมป์อินทิเกรเตอร์แบบอินเวอร์ตติ้งที่มีอัตราขยายเท่ากันที่สวิทช์ S3 จะทำการเลือกคาปาซิเตอร์ C₂₄ หรือ C₂₃ เพื่อกำหนดค่าคงที่ของเวลา (time-constant) ของออป-แอมป์อินทิเกรเตอร์ และกำหนดความชันของสัญญาณป้อนกลับ เมื่อปรับสวิทช์ไปที่ตำแหน่ง L_o จะได้ ค่าคงที่ของเวลาเท่ากับ 0.1 ms และที่ตำแหน่ง H_I จะได้ค่าคงที่ของเวลาเท่ากับ 1.0 ms โปเทนชิโอมิเตอร์ R₂₃ ใช้เป็นตัวปรับค่าออฟเซต (Offset) โวลต์เดจ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณดิจิทัลที่เป็นอินพุตของออป-แอมป์ อินทิเกรเตอร์เมื่อสัญญาณสภาวะ 1 เข้ามาที่ J20 จะถูกทำให้มีความชันลดลง และเมื่อมีสภาวะ 0 เข้ามาจะทำให้มีความชันเพิ่มขึ้น จากนั้นจะผ่านออป-แอมป์อินเวอร์ตติ้งเพื่อกลับขั้วของสัญญาณออกมาที่ J21

3.2.2.4 วงจรอินทิเกรเตอร์ 2 (Integrator 2)

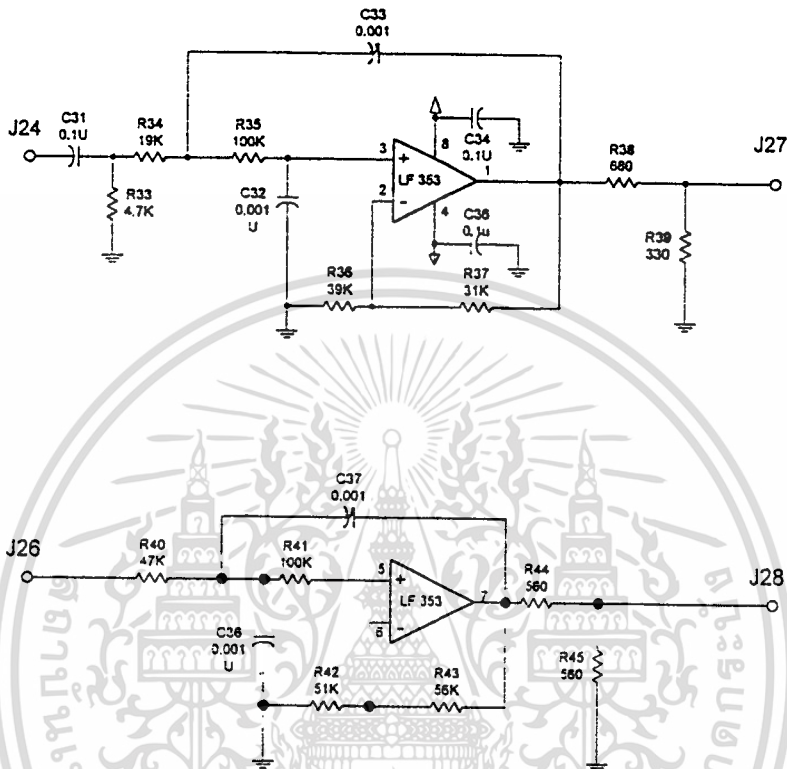


รูปที่ 3.8 วงจรอินทิเกรเตอร์ 2

การทำงานของวงจร

วงจรจะประกอบด้วยออป-แอมป์อินทิเกรเตอร์แบบอินเวอร์ตติ้งที่มีอัตราขยายเท่ากัน สัญญาณดิจิทัลจะถูกกลับเฟสผ่าน R_{29} กับ C_{27} R_{30} กับ C_{21} ซึ่งประกอบกันเป็นวงจรปรับค่าคงที่ของเวลาของสัญญาณ R_{31} กับ R_{32} จะใช้ปรับค่าอัตราขยายของออป-แอมป์ให้มีค่าเดียวกับคอนแรก สัญญาณดิจิทัลที่มีสภาวะ 1 ออป-แอมป์อินทิเกรเตอร์จะเปลี่ยนเป็นสัญญาณที่มีความชันลดลง และเมื่อมีสภาวะ 0 ออป-แอมป์อินทิเกรเตอร์จะเปลี่ยนเป็นสัญญาณที่มีความชันเพิ่มขึ้น โดยที่ความกว้างของสัญญาณจะเท่ากับพัลส์สัญญาณดิจิทัลจากนั้นสัญญาณจะผ่านเข้าออป-แอมป์อินเวอร์ตติ้งเพื่อกลับขั้วของสัญญาณให้ออกไปที่ J23

3.2.2.5 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (LOW PASS FILTER)



รูปที่ 3.9 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

การทำงานของวงจร

วงจรจะประกอบด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 2 ชุด ชุดแรก มี R_{33} กับ C_{31} เป็นตัวเก็บประจุสัญญาณ วงจรอาร์-ซี เนทเวอร์ค (RC network) ซึ่งประกอบด้วย R_{34} , C_{31} และ R_{35} , C_{32} มีลักษณะเป็นวงจรอาร์-ซี ต่อกันแบบคาสเคดที่ให้ความถี่ต่ำผ่าน (RC low-pass cascaded) อัตราการขยายของวงจรกรองความถี่มีค่าเท่ากับ 3.3 ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนของ R_{37} ต่อ R_{36} R_{38} และ R_{39} เป็นวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) และจุดตัดแบ่งความถี่ (cut-off) ของวงจรกรองความถี่มีค่าเท่ากับ 2.5 kHz

ในส่วนของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านชุดที่สอง วงจรอาร์-ซี เนทเวอร์คประกอบด้วย R_{40} , C_{37} และ R_{41} , C_{36} มีลักษณะเป็นวงจรอาร์-ซี ต่อกันแบบคาสเคด อัตราการขยายของวงจร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

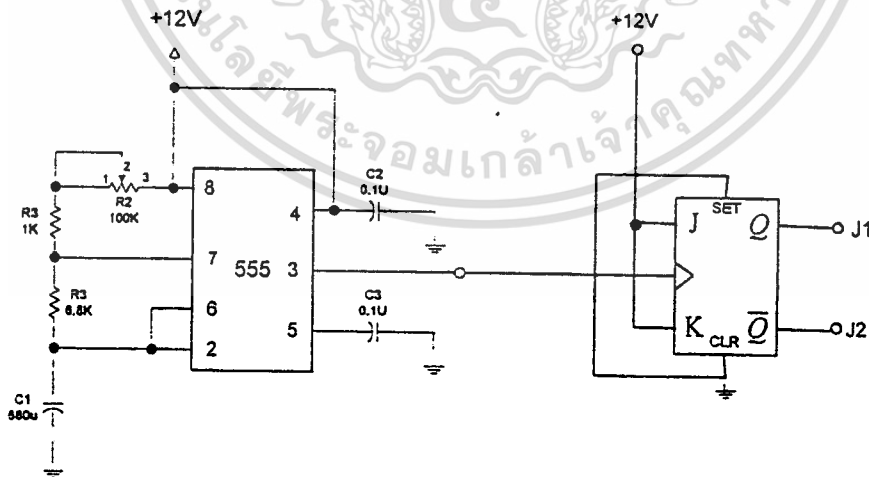
มีค่าเท่ากับ 2.1 ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนของ R_{43} ต่อ C_{42} R_{44} กับ R_{45} เป็นวงจรแบ่งแรงดัน และจุดตัดแบ่งความถี่ของวงจรกรองความถี่มีค่า 2.5 kHz

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านจะมีอินพุตเข้ามาที่ J26 โดยวงจรจะกรองความถี่สูงที่มีค่ามากกว่า 2.5 kHz ออกไป จะได้สัญญาณที่ต้องการออกมาที่ J27

3.3 การมอดูเลตแบบพัลส์ (PULSE AMPLITUDE MODULATION)

สัญญาณแชนเปลิ่งมีการทำงานที่มีค่าควิตีไซเกิลต่ำ โดยทำการควบคุมการตำแหน่งของสวิทช์ ซึ่งสวิทช์จะถูกปิดเมื่อขอมให้สัญญาณแอนะลอกแต่ละช่วงเวลาผ่านด้วยการแชนเปลิ่ง เพื่อให้สัญญาณผ่านออกไปยังเอาต์พุต และสวิทช์เปิดเพื่อให้สัญญาณส่วนที่เหลือของแต่ละการแชนเปลิ่งให้มีเอาต์พุตเป็น ศูนย์ และเรียกสัญญาณนี้ว่าสัญญาณ natural sampling

3.2.1 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (CLOCK)



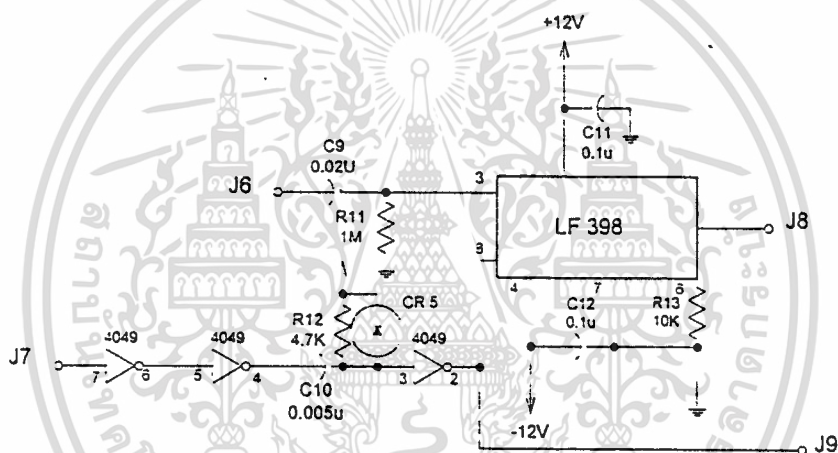
รูปที่ 3.10 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจร

สัญญาณเอาต์พุตรูปคลื่นสี่เหลี่ยมมุมมนโดยไอซีเบอร์ 555 มีลักษณะการทำงานแบบอะอสเตเบิลล์มัลติไวเบรเตอร์ โดยมีตัวต้านทาน R_1 , R_2 , R_3 และตัวเก็บประจุ C_1 เป็นตัวกำหนดความถี่ทางด้านเอาต์พุต จากนั้นสัญญาณผ่านเข้าไอซีเบอร์ 4027 ซึ่งทำหน้าที่ให้สัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีค่าควิตซ์ไจเกิดเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์

3.2.2 วงจรแซมเปิ้ล (SAMPLER)



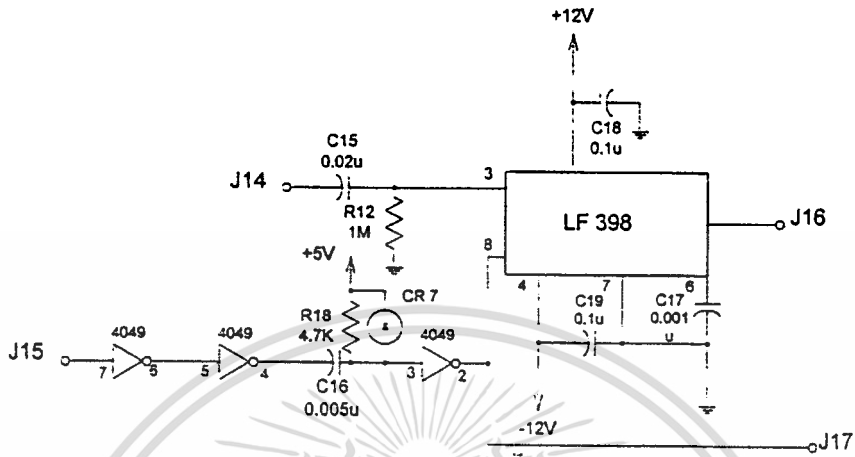
รูปที่ 3.11 วงจรแซมเปิ้ล

การทำงานของวงจร

จากวงจรสัญญาณเข้ามาทางอินพุตส่วนแรกที่ J6 แล้วถูกคัปเปิ้ลเข้าไปในไอซีเบอร์ LF 356 และสัญญาณอินพุตส่วนที่สองเข้ามาทาง J7 ซึ่งเป็นสัญญาณแซมปลิ่งที่ได้จากวงจรพัลส์นาฬิกาผ่านเข้ามาแล้วถูกกั้นไว้ด้วยไอซีอินเวอร์เตอร์ (U_{4A} กับ A_{4B}) จากนั้นสัญญาณถูกคัปเปิ้ลเฟอเรนเชียลด้วยตัวต้านทาน R_{12} กับตัวเก็บประจุ C_{10} จากนั้นสัญญาณผ่านไอซีอินเวอร์เตอร์อีกเพื่อให้ได้สัญญาณแซมปลิ่ง โดยจะมีตัวเรียงกระแส CR_5 ช่วยให้ตัวเก็บประจุ C_{10} เกิดการคายประจุได้เร็วขึ้น และยังยกระดับแรงดันสัญญาณให้มีความสูงเท่ากับบวก 12 โวลต์ จะได้สัญญาณแซมเปิ้ลออกไปยังเอาต์พุตที่ J6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 วงจรแฉวมเปิด และค้างสภาวะ (SAMPLER / HOLD)



รูปที่ 3.12 วงจรแฉวมเปิดและค้างสภาวะ

การทำงานของวงจร

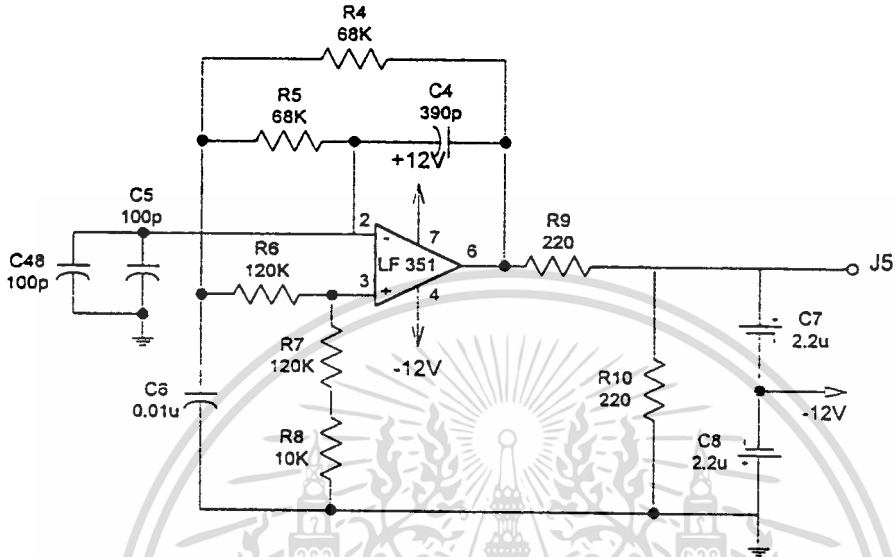
สัญญาณเข้ามาที่ J7 ถูกกั้นไว้โดยไอซีอินเวอร์เตอร์ (U_{4A}, U_{4B}, U_{4C}) เป็นแบบน็อดเกต จากนั้นสัญญาณผ่านวงจรคิฟเฟอร์เชี่ยลที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน R_{12} กับตัวเก็บประจุ C_{10} เพื่อให้เป็นสัญญาณแฉวมปลิ่งที่ J9 และเข้าไปที่ขา 8 ของไอซี LF 398 ส่วนสัญญาณแอนนะลอกเข้ามาที่อินพุต J6 จะได้สัญญาณแบบ PAM ออกไปที่เอาต์พุตขา 5 ของ LF 398

3.2.4 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์เวฟหลัก (TONE GENERATOR)

การทำงานของวงจร

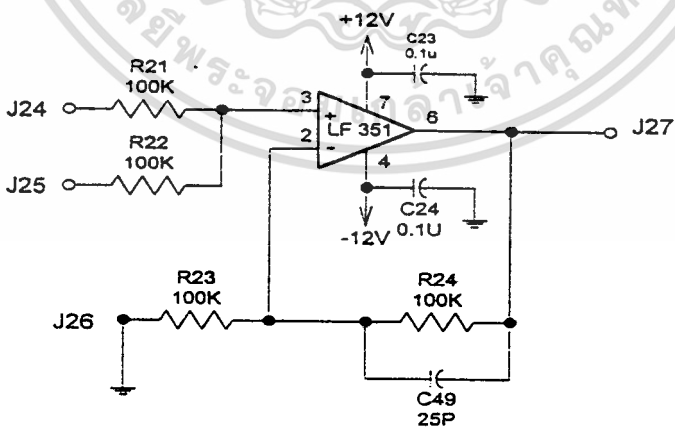
วงจรจะประกอบด้วยไอซี LF 351 เป็นสำคัญในการผลิตความถี่ซึ่งจะกำหนดค่าโดยตัวเก็บประจุ C_5 และตัวต้านทาน R_4 กับ R_5 จะได้ความถี่ประมาณ 800 Hz ส่วนสัญญาณป้อนกลับเป็นอินพุตที่ขา 3 ของไอซี LF 351 ตัวต้านทาน R_6 กับ R_7 ให้ความแรงสัญญาณการป้อนกลับเพิ่มขึ้น ตัวต้านทาน R_9 กับ R_{10} และตัวเก็บประจุ C_7 กับ C_8 เป็นตัวลดทอนความถี่สัญญาณ

ให้เหลือ 2Vp-p ที่ J5 โฟลบบ 12 โวลต์ถูกต่อที่ตัวเก็บประจุ C₇ กับ C₈ เพื่อแยกสัญญาณส่วนที่ไม่ต้องการออกจะได้เอาต์พุตที่ J5



รูปที่ 3.13 วงจรกำเนิดสัญญาณไซน์เวฟหลัก

3.2.5 วงจรผสมสัญญาณ (ADDER)



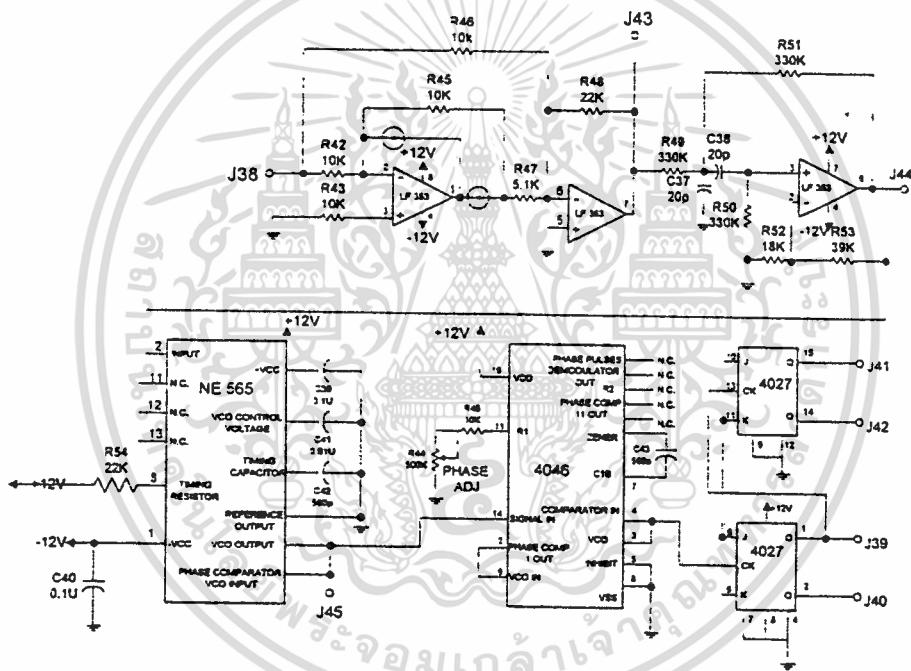
รูปที่ 3.14 วงจรผสมสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจร

วงจรจะประกอบด้วยไอซีขยายแบบนอน-อินเวอร์เตอร์ LF 351 ที่มี R_{23} กับ R_{24} ซึ่งมีสัญญาณอินพุตส่วนแรกเข้ามาที่ J8 ผ่าน R_{21} เป็นตัวแบ่งแรงดัน และส่วนที่สองเข้ามาที่ J12 ผ่าน R_{22} เป็นตัวแบ่งแรงดัน จากนั้นสัญญาณถูกรวมสัญญาณ 2 สัญญาณเข้าด้วยกันออกไปที่เอาต์พุต J27

3.2.6 วงจรซิงค์โครไนซ์ (SYNCHRONIZER)



รูปที่ 3.15 วงจรซิงค์โครไนซ์

การทำงานของวงจร

สัญญาณ PAM ที่เข้ามามีความถี่ 24 KHz ที่ J38 แล้วผ่านเข้าไอซี LF 353 A กับ LF 353 B ซึ่งใช้เป็นวงจรกรองกระแสแบบเต็มคลื่น เพื่อต้องการกลับสัญญาณคลื่นพัลส์ลบให้เป็นคลื่นพัลส์บวกทั้งหมด ไอซีขยายแบบนอนอินเวอร์เตอร์ LF 353A มีตัวต้านทาน R_{42} กับ R_{45} เป็นตัวปรับอัตราขยาย จากนั้นสัญญาณ PAM พัลส์บวกถูกเปลี่ยนเป็นพัลส์ลบตามการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปอัสตรงของตัวเรียงกระแส D_1 จากนั้นสัญญาณพัลส์ถูกเปลี่ยนเป็นบวกตามการไปอัสของตัวเรียงกระแส D_2 และสัญญาณอินพุตจาก J38 อีกส่วนผ่าน R_{46} เข้าไอซี LF 353B มีอัตราขยายขึ้นอยู่กับ R_{46} กับ R_{48} มีค่าประมาณ 2.2 สัญญาณเอาต์พุตจาก LF 353A มีอัตราขยายประมาณ 4.3 จากการปรับของ R_{47} กับ R_{48} สัญญาณ PAM กลืนพัลส์บวกจาก J38 ถูกรวมเข้าที่อินพุตไอซี LF 353B กับสัญญาณ PAM กลืนพัลส์ลบ สัญญาณจาก LF 353A ผ่านเข้าอินพุตไอซี LF 353B เป็นกลืนพัลส์บวก ที่มีความถี่ 24 KHz และสัญญาณเอาต์พุตของไอซี LF 353 เป็นอินพุตให้กับวงจรกรองความถี่แถบผ่าน ซึ่งประกอบด้วยไอซี LF 351 จะเอาส่วนประกอบความถี่สูง และความถี่ต่ำกว่า 24 KHz ออกเอาต์พุต J44 ส่วนตัวต้านทาน R_{52} , R_{53} ปรับอัตราขยายให้มีค่า 3.1 สัญญาณป้อนกลับของคอมพัลส์บวกผ่านตัวต้านทาน R_{51} , R_{49} กับตัวเก็บประจุ C_{37} เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำ และตัวเก็บประจุ C_{38} กับตัวต้านทาน R_{50} ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองความถี่สูง เอาต์พุตที่ได้จากไอซี LF 351 เป็นไซน์เวฟที่มีความถี่ 24 KHz

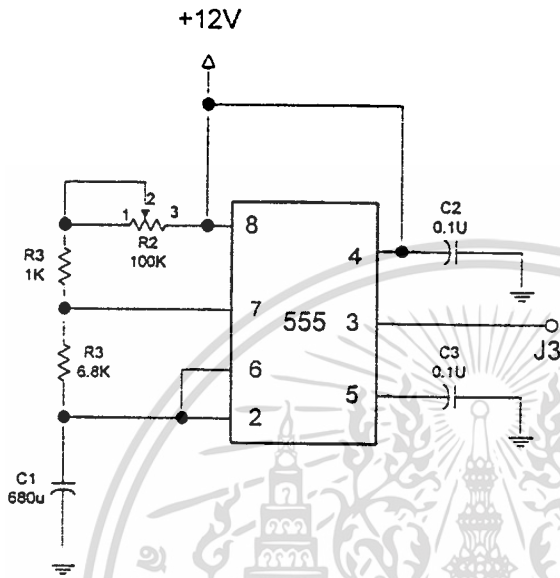
จากสัญญาณไซน์เวฟความถี่ 24 KHz เป็นอินพุตให้กับ PLL ที่ขา 2 ของไอซี NE 565 ซึ่งมีหน้าที่รักษาสภาพความถี่ของกลืนสัญญาณของเอาต์พุต VCO ที่ขา 4 เหมือนกับอินพุตขา 2 ของไอซี NE 565 ตัวต้านทาน R_{54} กับตัวเก็บประจุ C_{12} จะเป็นตัวกำหนดค่า free running ของ VCO ให้มีค่าประมาณ 24 KHz ในขณะที่ขา 2 ของไอซีลอยอยู่ ตัวเก็บประจุ C_{41} กับตัวต้านทานภายในเป็นการต่อแบบลูปฟิลเตอร์ (LOOP FILTER) ให้กับ PLL ตัวเก็บประจุ C_{39} กับ R_{40} ทำหน้าที่ลดการกลับปัดของแหล่งจ่าย เอาต์พุตของ VCO ที่ขา 4 ถูกป้อนเข้าที่วงจรเปรียบเทียบเฟสซึ่ง VCO เป็นอินพุตที่ขา 5 ของไอซี NE 565 ซึ่งภายในเป็นการเปรียบเทียบเฟสที่อินพุตจากขา 2 และขา 5 และการกำเนิดแรงดันผิดพลาด เพื่อใช้เปลี่ยนเอาต์พุตของ VCO ที่ขา 4 เมื่อเฟสลือกปฏิบัติงานที่ความถี่กลาง 24 KHz ทำให้เฟสต่างกันระหว่างของขา 2 กับขา 4 เท่ากับ 90 องศา เอาต์พุตของขา 4 เป็นอินพุตให้กับขา 14 ของไอซี 4046

วงจร PLL ภายในไอซี 4046 ทำหน้าที่เลื่อนเฟสของสัญญาณเอาต์พุตที่ขา 4 ไป 90 องศา และรวมกับการเลื่อนเฟสของไอซี NE 565 ไปเป็น 180 องศา ในส่วนของโพรเทกซ์ไอโอมิเตอร์ R44 ต้องการช่วยให้มีการปรับสัญญาณเปลี่ยนไป 180 องศา ตัวเก็บประจุ C_{43} และตัวต้านทาน R_{44} กับ R_{45} กำหนดย่านความถี่ภายในวงจร VCO ให้มีค่า 24 KHz ที่ขา 4 จากนั้นสัญญาณจะเป็นอินพุตให้กับขา 3 ของไอซี 4027

ไอซี 4027 ใช้เพื่อหารความถี่ลดลงครึ่งหนึ่งจาก 24 KHz ให้เหลือ 12 KHz ที่เอาต์พุต J39

3.4 การมอดูเลเตอร์สัญญาณดิจิทัล (Digital Modulator)

3.4.1 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นาฬิกา (XMT Clock Gen.)



รูปที่ 3.16 วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นาฬิกา

การทำงานของวงจร

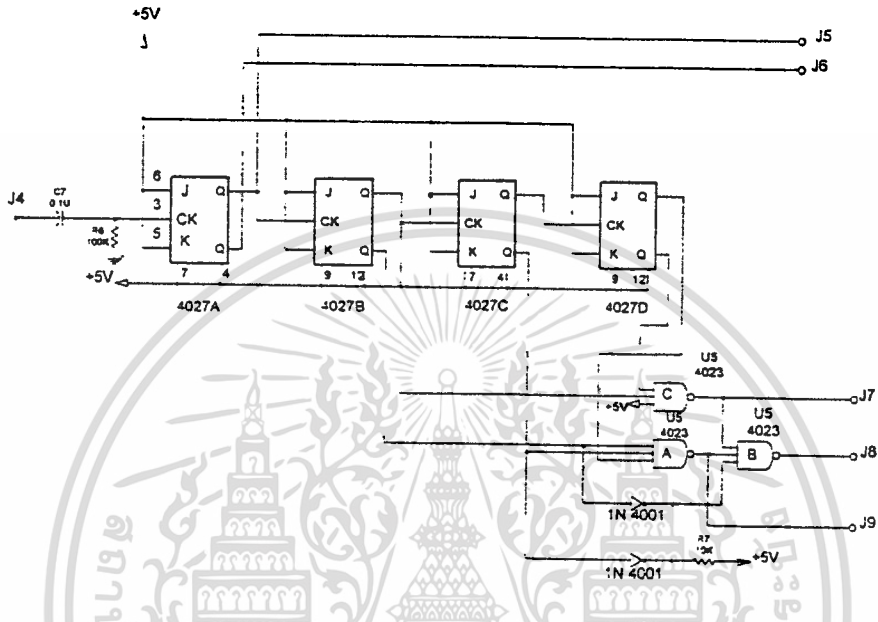
ไอซีเบอร์ 555 นำมาต่อใช้งานแบบออสเตเบิลมัลติไวเบรเคเตอร์ (Astable multivibrator) มีสัญญาณเอาต์พุตออกมาที่ขา 3 ของไอซีเบอร์ 555 และความถี่สามารถปรับได้จากความต้านทาน R_2, R_3 และ R_4 กับคาปาซิเตอร์ C_1

3.4.2 วงจรการเข้ารหัสข้อมูล (DATA GEN)

การทำงานของวงจร

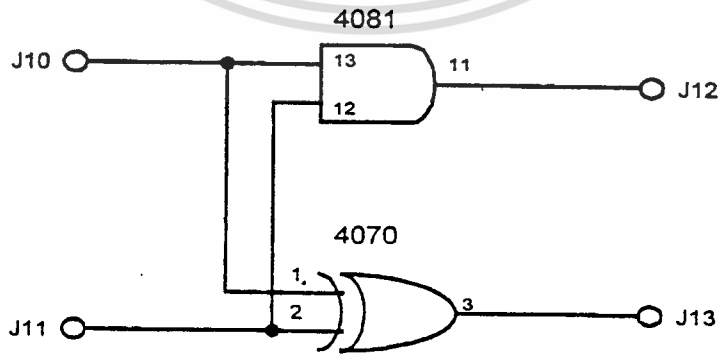
มีฟลิปฟลอปจำนวน 4 ตัวชนิด เจ-เค ฟลิปฟลอปที่ต่ออนุกรมกันอยู่ ซึ่งฟลิปฟลอปแต่ละตัวจะหารความถี่ลดลงครึ่งหนึ่งของเอาต์พุตไอซีเบอร์ 4027 และสัญญาณจะมีค่าคิวตี้ไซเคิล (duty cycle) 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเอาต์พุตที่ J6 เป็นส่วนกลับ (Complement) ของเอาต์พุตที่

J5 ไอซีชนิดแชนเกต (U5) มี 3 อินพุต ซึ่งได้มาจากไอซี เจ-เค ฟลิปฟลอปเบอร์ 4027a กับ 4027b และเอาต์พุตที่ได้เป็นรหัสข้อมูล 8 บิต ที่ J7 คือ 10101111 กับ J8 คือ 11010100 และ J9 คือ 01111111 ซึ่งทำรหัสข้อมูลทั้งหมดเป็นแบบ NRZ



รูปที่ 3.17 วงจรการเข้ารหัสข้อมูล

3.4.3 การเข้ารหัสสัญญาณ (ENCODER)



รูปที่ 3.18 วงจรการเข้ารหัสสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจร

ประกอบด้วยไอซีชนิดแอนเกตเบอร์ 4081 กับไอซีชนิดเอ็กซ์คลูซีฟ-ออร์ (U7) มีรหัสข้อมูลสัญญาณแบบ NRZ เข้ามาที่ J10 แล้วจะเปลี่ยนเป็นรหัสข้อมูลแบบ RZ เอาต์พุตที่ J12 และมีสัญญาณเข้ามาที่ J11 จะเปลี่ยนเป็นรหัสข้อมูลแบบ Manchester ของเอาต์พุตที่ J13

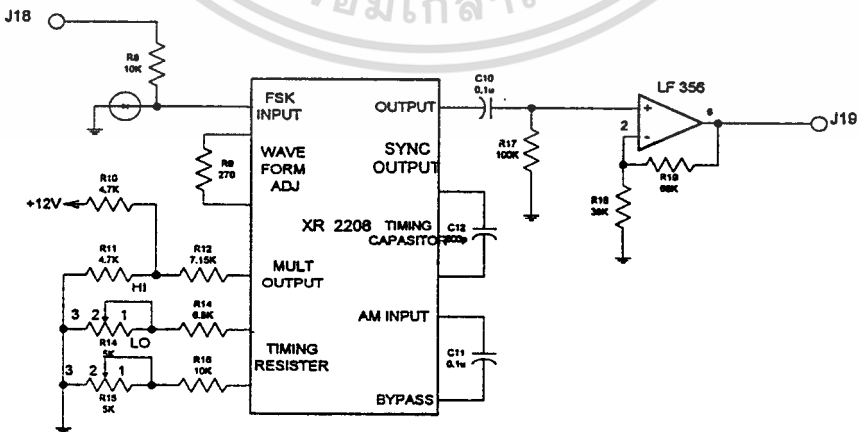
3.4.4 การมอดูเลตแบบ FSK (FSK MOD)

หลักการกำเนิดสัญญาณ FSK

ระดับของสัญญาณดิจิทัลที่เข้ามาผสมสัญญาณความถี่ จะเป็นส่วนหนึ่งของสัญญาณเอาต์พุตความถี่สูงก็ต่อเมื่อมีสัญญาณดิจิทัลสถานะ 1 เข้ามา และถ้าสัญญาณดิจิทัลสถานะ 0 เข้ามาสัญญาณเอาต์พุตความถี่ต่ำ ผลของสัญญาณทั้งสองความถี่เป็นรูปแบบของสัญญาณมอดูเลตแบบ FSK

สัญญาณมอดูเลตแบบ FSK จะมีความถี่ต่างกันจะขึ้นอยู่กับสัญญาณรหัสข้อมูลดังรูปสัญญาณรหัสข้อมูลแบบ NRZ มีจำนวน 4 ลูกคลื่น ซึ่งไบนารี 0 แสดงเป็นความถี่พาหะต่ำมีจำนวน 6 ลูกคลื่น และไบนารี 1 แสดงเป็นความถี่พาหะสูง

3.4.5 วงจรการมอดูเลตแบบ FSK



รูปที่ 3.19 วงจรการมอดูเลตแบบ FSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษานี้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจร

สัญญาณเข้ามาที่ J18 หรือ ขา 9 ของไอซีเบอร์ XR 2206 จะมีตัวต้านทาน R8 กับ ตัวเรียงกระแสไดโอดทำการตัดสัญญาณ ทางด้านพัลส์ซีกลบของสัญญาณดิจิตอลออก ถ้าสัญญาณมีแรงดันมากกว่าบวกสองโวลต์ที่ขา 9 ของไอซี ทำให้มีคลื่นสัญญาณที่เหลื่อมจาก VCO ซึ่งความถี่จะได้จากตัวต้านทาน R15 ,R16 กับตัวเก็บประจุ C12 จะได้ความถี่พาหะสูงที่เอาต์พุต J19

ถ้าสัญญาณเข้ามามีแรงดันระหว่างศูนย์ถึงบวกหนึ่งโวลต์ที่ขา 9 ของไอซี ทำให้มีคลื่นสัญญาณที่เหลื่อมจาก VCO เป็นไซน์เวฟที่ขา 2 ของไอซีเบอร์ XR 2206 อัตราส่วนของตัวต้านทาน R10 กับ R11 ปรับค่าแรงดันออฟเซต (offset voltage) ของเอาต์พุต จะมีตัวต้านทาน R12 ปรับความสูงของสัญญาณ ไซน์เวฟที่เอาต์พุต จากนั้นสัญญาณ ไซน์เวฟ ถูกขับเปิดผ่านตัวเก็บประจุ C10 ไปที่ออป-แอมป์แบบนอนอินเวอร์ตติ้งของไอซีเบอร์ LF 356 จะมีตัวต้านทาน R18 กับ R19 กำหนดอัตราขยายของออปแอมป์ที่เอาต์พุต ซึ่งเป็นสัญญาณมอดูเลตแบบ FSK มี 2 ความถี่ที่แตกต่างกัน คือทางด้านความถี่ต่ำมีค่าเท่ากับ 128 KHz ส่วนทางด้านความถี่สูงมีค่าเท่ากับ 192 KHz และมีขนาดความสูงของคลื่นเท่ากับ 5 Vp-p

3.4.6 การดีมอดูเลตแบบ FSK (FSK DEMOD)

เป็นกระบวนการของการนำสัญญาณดิจิตอลกลับคืนมาจากการมอดูเลต ซึ่งสามารถทำได้สองแบบ คือ

1. อะซิงค์โครนัส (asynchronous) เพราะต้องการตรวจจับสัญญาณ โดยที่ไม่ต้องการคลื่นพาหะ ที่จะมาซิงค์โครไนซ์กับความถี่คลื่นพาหะของเครื่องส่ง
2. ซิงค์โครนัส (Synchronous) ต้องการตรวจจับสัญญาณคลื่นพาหะใช้ในการซิงค์โครไนซ์กับความถี่คลื่นพาหะของเครื่องส่ง

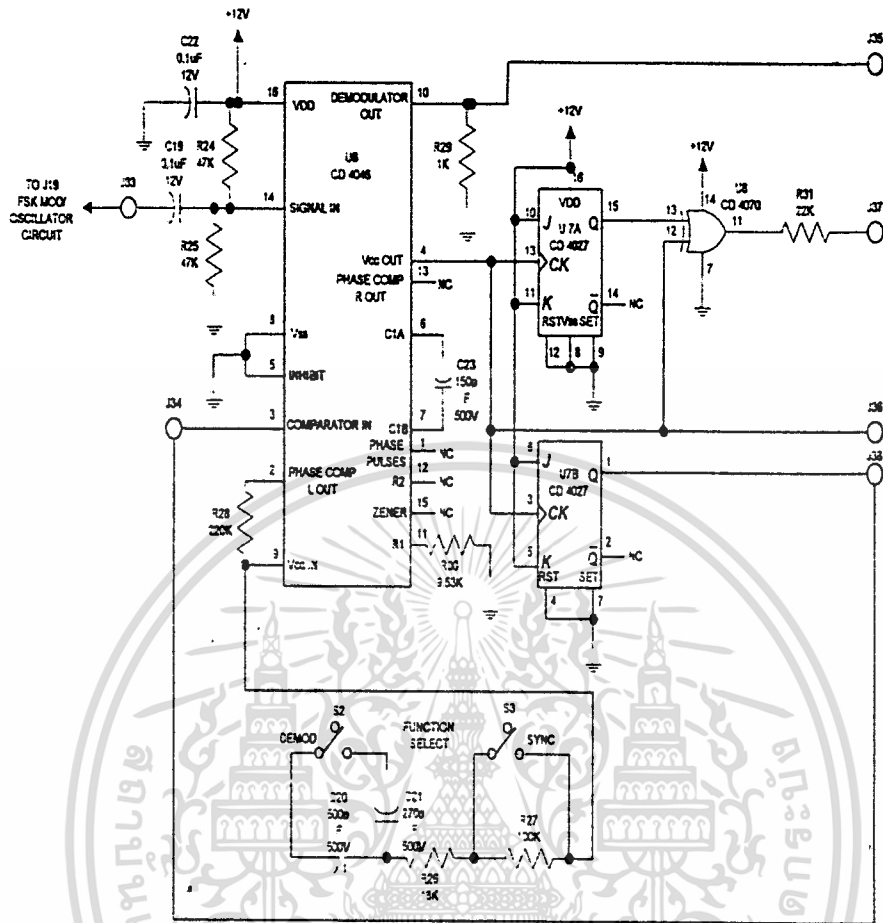
3.4.7 วงจรการทดลองดีมอดูเลตแบบ FSK

การทำงานของวงจร

ถ้าเลือก Function select switch เลื่อนทางซ้ายเพื่อเลือกการทำงานแบบ demod และถ้าเลื่อนทางขวาเป็นการซิงค์โครนัสของวงจร PSK กับ ASK สัญญาณ FSK เข้ามาที่อินพุต J35

ถูกตัวเก็บประจุ C19 ขับเปิดไปที่เฟสล็อกกลูบขา 14 ของไอซีเบอร์ 4046 ตัวต้านทาน R24

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 วงจรการทดลองคีมอดูเลตแบบ FSK

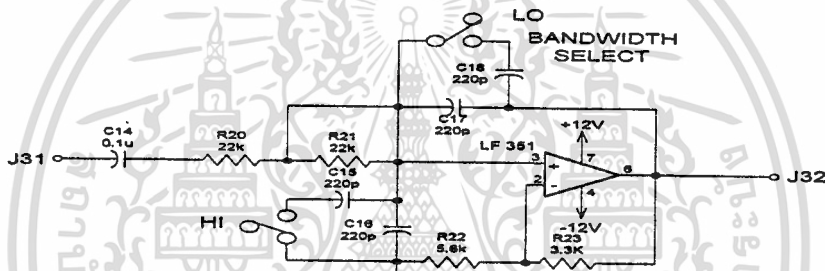
กับ R25 ทำหน้าที่ไบอัสสัญญาณให้มีค่า 6 โวลต์ แล้วอินพุตอีกทางหนึ่งของเฟสล็อกลูป ที่ขา 3 ของไอซีเบอร์ 4046 เป็นอินพุตของวงจรเปรียบเทียบเฟส ซึ่งได้สัญญาณมาจาก J38 แล้วผ่าน เจ-เค ฟลิปฟลอป ซึ่งเป็นเอาต์พุตของ VCO สัญญาณคีมอดูเลต แบบ FSK ออกที่เอาต์พุตขา 10 ของไอซีเบอร์ 4046 ส่วนตัวต้านทาน R30 กับตัวเก็บประจุ C23 ทำหน้าที่ให้ VCO มีความถี่ 320 kHz ในส่วนวงจรฟิลเตอร์ (loop filter) ประกอบด้วยตัวต้านทาน R26 กับ R27 และ ตัวเก็บประจุ C20 กับ C21 ต่อขนานกัน และในส่วนของเจ-เค ฟลิปฟลอป กับไอซีชนิดเอ็ทคลู- ชิฟเฟอร์ จะทำให้สัญญาณ VCO ถูกหารลงครึ่งหนึ่ง และ จะเลื่อนเฟสไป 90 องศา ก่อน สัญญาณออกมาที่เอาต์พุต J37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.8 วงจรตรวจจับสัญญาณเพื่อกรองความถี่ (Post detection Filter)

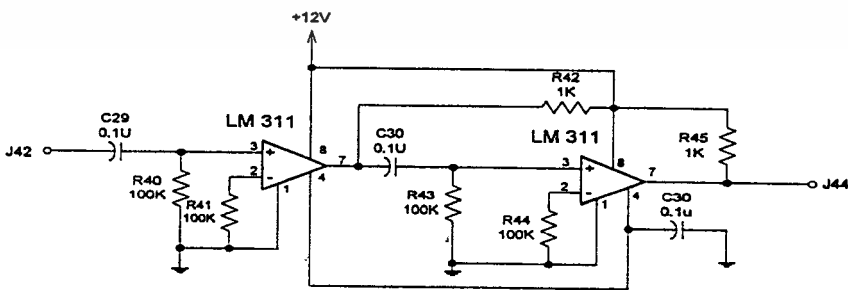
วงจรการทดลอง

ประกอบด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำที่มี 2 กัทอพอ ถูกกำหนดโดยตัวต้าน R20 กับตัวเก็บประจุ C17 ,และตัวต้านทาน R21 กับตัวเก็บประจุ C16 สัญญาณอินพุตถูกขับเปิดด้วยตัวเก็บประจุ C14 ส่วนตัวเก็บประจุ C15 กับ C18 โดยการเลือกสวิตซ์ทำให้วงจรมีแถบความถี่เปลี่ยนไปจาก 32 kHz เป็น 66 kHz ถ้าเลือก Band width select ไปที่ HI จะใช้กับสัญญาณข้อมูลแบบ RZ หรือ Manchester ถ้าเลือกไปที่ตำแหน่ง LO จะใช้กับสัญญาณ ข้อมูลรหัสแบบ NRZ และตัวต้านทาน R22 กับ R23 ทำหน้าที่ปรับอัตราขยายของไอซีเบอร์ LF 351 ให้มีเอาต์พุตที่ J32



รูปที่ 3.21 วงจรตรวจจับสัญญาณเพื่อกรองความถี่

3.4.7 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator)



รูปที่ 3.22 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

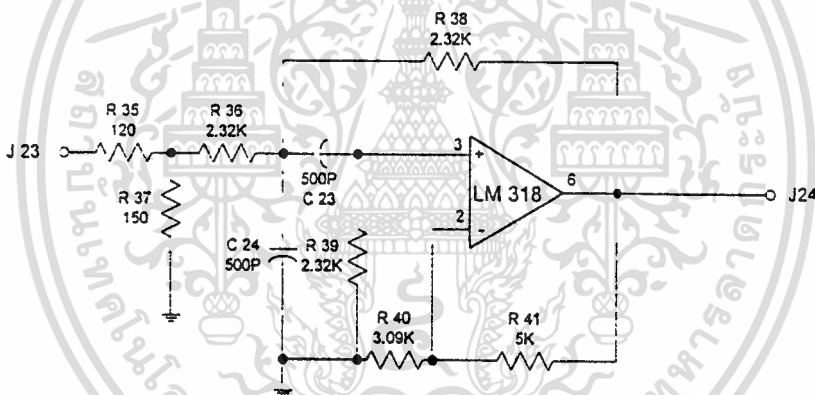
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจร

เพื่อให้ลักษณะสัญญาณที่เอาต์พุตของวงจรตรวจจับเพื่อกรองความถี่ให้มีสัญญาณเป็นสี่เหลี่ยม โดยสัญญาณอินพุตเข้าที่ J42 แล้วถูกขับเปิดผ่านตัวเก็บประจุ C29 และตัวต้านทาน R40 เพื่อเข้าไปเปรียบเทียบกับไอซีเบอร์ LM 311 เมื่อสัญญาณอินพุตที่ J42 เป็นพัลส์บวกทำให้เอาต์พุตของไอซีเบอร์ LM 311 ที่ J43 เปรียบเสมือนเป็นกราวด์ และเป็นสัญญาณอินพุตให้กับไอซีเบอร์ LM 311 ตัวที่สอง ดังนั้นเอาต์พุตที่ได้จาก J34 เป็นสัญญาณบวก 5V

3.5 การทดลองมอดูเลตแบบ ASK และ PSK

3.5.1 วงจรมอดูเลตแบบ ASK และ PSK



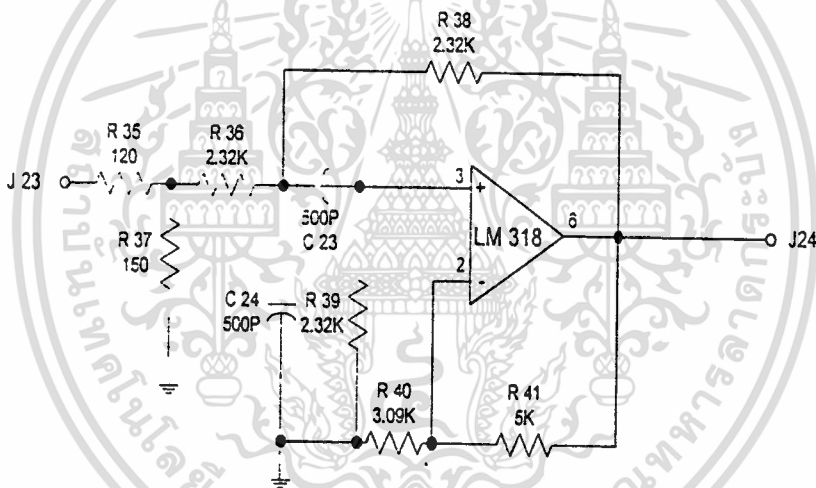
รูปที่ 3.23 วงจรมอดูเลตแบบ ASK และ PSK

การทำงานของวงจร

สัญญาณข้อมูลรหัสแบบ NRZ, RZ หรือ Manchester เข้ามาอินพุตที่ J20 ขา 2 ของไอซีออป-แอมป์แบบอินเวอร์เตอร์ (U11) มีโปเทนชิโอมิเตอร์ R23 เพิ่มระดับสัญญาณไฟตรงของข้อมูล และถ้าอยู่ตำแหน่งกราวด์เพื่อที่จะกำเนิดสัญญาณมอดูเลตแบบ PSK จากนั้นสัญญาณข้อมูลเข้าที่อินพุตขา 3 หรือ Xinput ของไอซีเบอร์ XR 2208 ที่ต้องการสัญญาณคลื่นพาหะ 192 KHz ที่ J19 และเข้าที่อินพุต J21 หรือ Y input ของขา 5 ไอซีเบอร์ XR 2208

ไอซี XR 2208 ทำหน้าที่ให้สัญญาณมีรูปร่างเหมือนกับการมอดูเลเตอร์แบบดุล (balance modulator) โปเทนชิโอมิเตอร์ R_{28} ใช้ปรับอัตราการมอดูเลเตอร์แบบดุล ส่วน Xinput กับ Yinput ถูกกำหนดโดยตัวต้านทาน R_{32} และ R_{29} เมื่อสัญญาณเข้ามาที่อินพุต ไอซี XR 2208 จะผลิตสัญญาณความถี่สูงออกมาที่เอาต์พุตขา 15 จะมีตัวต้านทาน R_{30} ป้องกันไฟตรงย้อนกลับ จากนั้นสัญญาณถูกขับเป็ลเข้าไปไอซีออป-แอมป์แบบอินเวอร์เตอร์ LF 356 ด้วยตัวเก็บประจุ C_{17} และตัวต้านทาน R_{31} สัญญาณจะถูกขยายและกั้นไว้เพื่อเป็นแบบสัญญาณ ASK หรือ PSK ที่ J22

3.5.2 วงจรกรองความถี่แถบผ่าน (Bandpass filter)



รูปที่ 3.24 วงจรกรองแถบความถี่ผ่าน

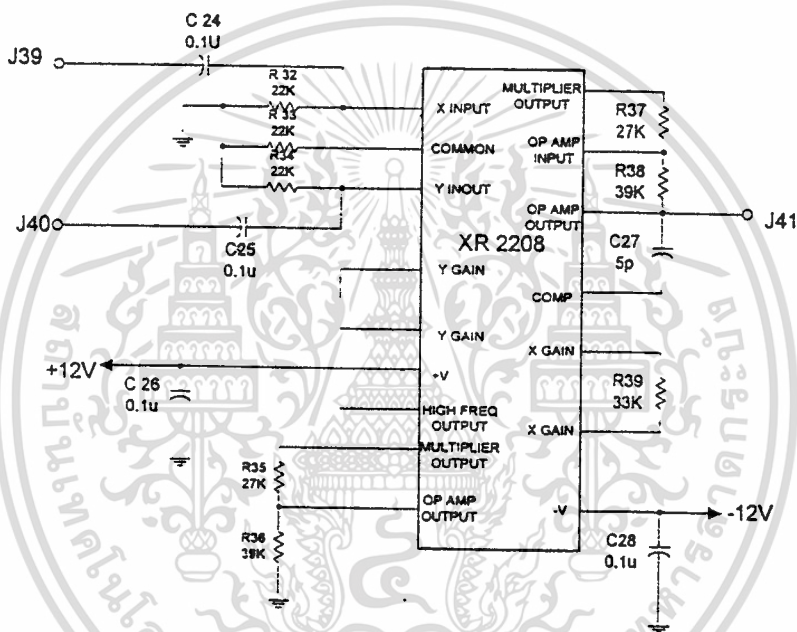
การทำงานของวงจร

สัญญาณมอดูเลตแบบ ASK หรือ PSK เข้าที่อินพุต J23 ผ่านวงจรแบ่งแรงดันที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน R_{35} กับ R_{37} ซึ่งตัวต้านทาน R_{36} กับตัวเก็บประจุ C_{24} จะกรองความถี่สูงออกไป ส่วนตัวต้านทาน R_{39} กับตัวเก็บประจุ C_{23} จะกรองความถี่ต่ำ สัญญาณป้อนกลับจากเอาต์พุตของออปแอมป์เพื่อต้องการให้ค่า Q ของวงจรมีค่ามากกว่า 1 และในส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสส่วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรโซแนนซ์ (resonant) ของวงจรความถี่แถบผ่านให้ได้ 192 kHz และในส่วนตัวต้านทาน R40 และ R41 ปรับค่า Q ของวงจรให้มีค่าเท่ากับ 2 ดังนั้นจะได้สัญญาณ ASK และ PSK ออกมาที่เอาต์พุต J24

3.5.3 วงจรการดีมอดูเลตแบบ ASK และ PSK



รูปที่ 3.25 วงจรการดีมอดูเลตแบบ ASK และ PSK

การทำงานของวงจร

สัญญาณอินพุตจะเข้ามาที่ J39 และถูกคัปเปิลด้วยตัวเก็บประจุ C24 เข้าไปที่ Xinput หรือขา 3 ของไอซี XR 2208 ส่วนสัญญาณอ้างอิงเข้ามาที่อินพุต J40 ถูกคัปเปิลด้วยตัวเก็บประจุ C25 เข้าที่ Yinput หรือขา 5 ของไอซี XR 2208 โดยทั้งสองสัญญาณมีตัวต้านทาน R32 R33 และ R34 ไปอัสที่ขา 3 และขา 5 ของไอซี XR 2208 ตัวต้านทาน R39 ปรับอัตราขยายของ Xinput ในส่วนอัตราขยายของ Yinput สามารถปรับให้สูงสุดโดยการต่อขา 6 กับขา 7 ถึงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

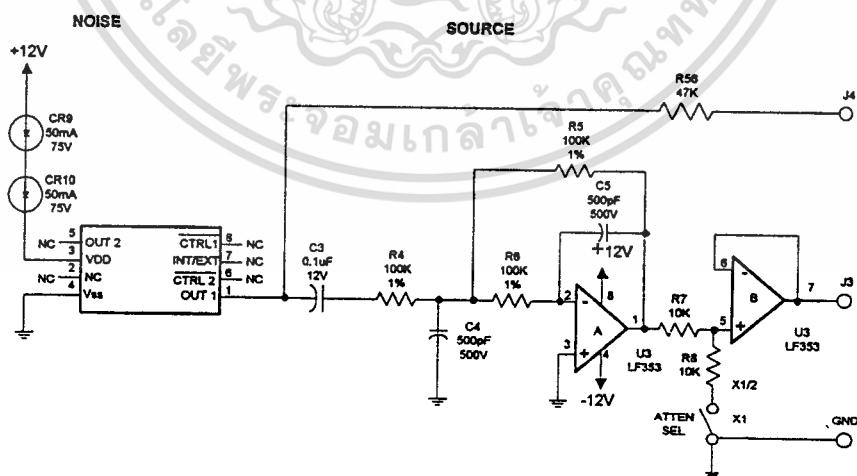
สัญญาณอ้างอิงถูกกำหนดขนาดความสูงของสัญญาณไว้ภายใน IC XR 2208 ดังนั้นเมื่อขนาดความสูงของสัญญาณอ้างอิงเปลี่ยนแปลงจะไม่มีผลต่อสัญญาณเอาต์พุตที่ J4

3.5 วงจรสัญญาณรบกวน

วงจรถ้าเนิดสัญญาณรบกวน (NOISE SOURCE)

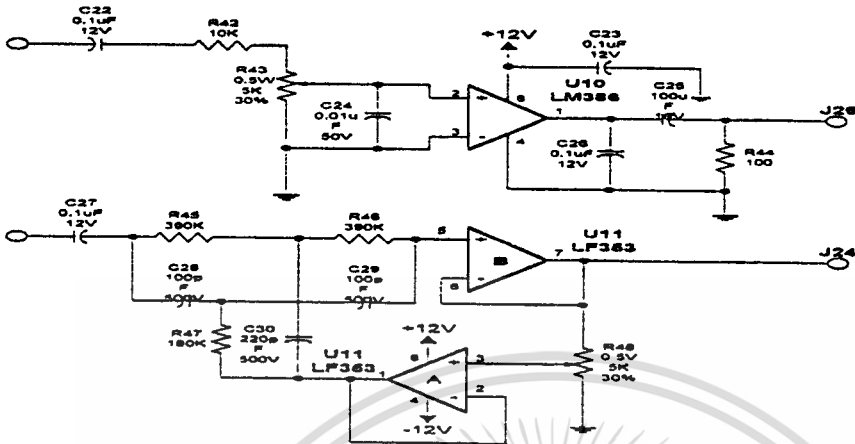
เพื่อต้องการสัญญาณรบกวนน้อยๆ โดยใช้ไอซีเบอร์ 5437 ที่ประกอบด้วยส่วนของวงจรถ้าหน้าที่กำเนิดสัญญาณพัลส์ และเลื่อนข้อมูล 17 ครั้งเป็นแบบเชิงเส้น (Seventeen stage linear shift register counter) จะมีเอาต์พุตที่ขา 3 เป็นสัญญาณลำดับการสุ่มของพัลส์ที่ Double-pole ส่วนไอซีเบอร์ 353A เป็นวงจรรองความถี่ต่ำผ่านประกอบด้วยตัวต้านทาน R5 ,R6 ตัวเก็บประจุ C4 ,C5 สัญญาณรบกวนต่ำถูกกำเนิดโดยการกรองความถี่ต่ำของพัลส์สัญญาณลำดับการสุ่ม และถูกกั้นไว้ โดยวงจรถ้าขยายของไอซีเบอร์ 353B และ ตัวต้านทาน R7 กับ R8 กับสวิทช์ ใช้ ATTEN SELECT เลือกการขยายหรือลดทอนสัญญาณ

วงจรถ้าแปลงสัญญาณรบกวนให้สูงขึ้น (NOISE UP CONVERTER)



รูปที่ 3.26 วงจรถ้าแปลงสัญญาณรบกวนให้สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



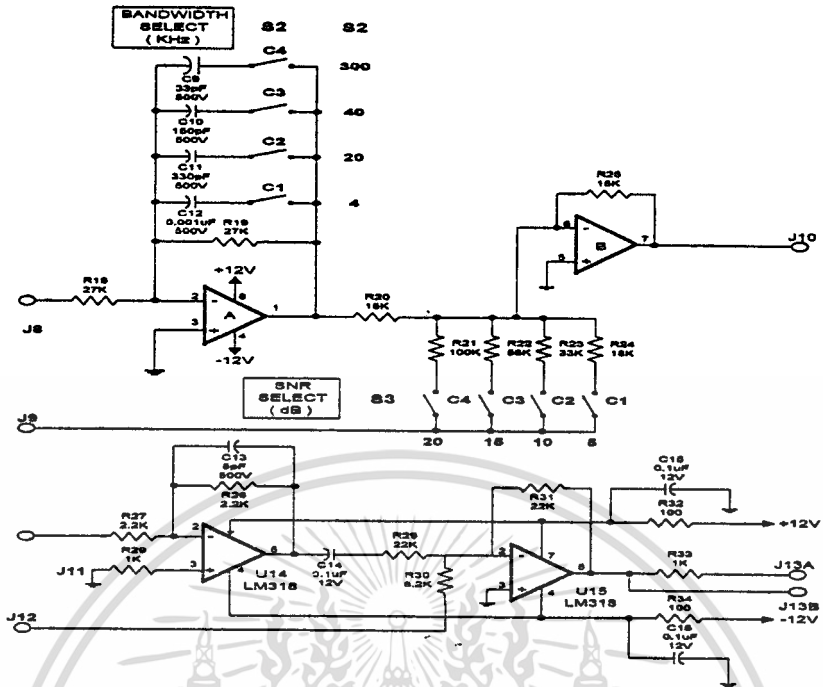
รูปที่ 3.27

เพื่อต้องการรวมสัญญาณรบกวนต่ำผ่านให้เป็นสัญญาณรบกวนทั้งแถบผ่าน โดยใช้ ไอซีเบอร์ XR 2208 ให้สัญญาณเข้ามาที่อินพุต X input กับอินพุต Yinput และให้ตัวต้านทาน R12 กับตัวเก็บประจุ C13 เป็นตัวปรับอัตราขยายสัญญาณของ Xinput กับ Yinput แล้วสัญญาณรบกวนทั้งแถบผ่านไปที่เอาต์พุตขา 5 ของไอซี XR 2208 แล้วสัญญาณถูกทำให้เป็นสัญญาณตรงกันข้ามโดยไอซี LF 356

วงจรช่องสัญญาณ (CHANNEL)

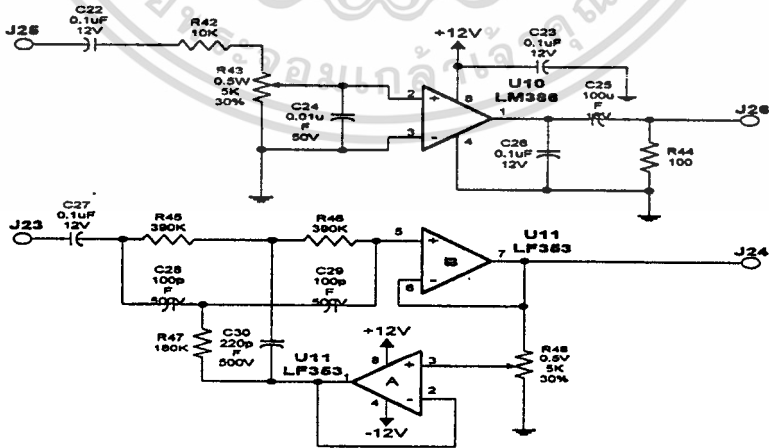
เพื่อต้องการเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลกลับคืนมา โดยใช้ระบบการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลความถี่ต่ำมีสัญญาณคลื่นพาหะเข้าที่อินพุต J8 กับสัญญาณรบกวนเข้าที่อินพุต J9 แล้วสัญญาณรวมกันออกมาเอาต์พุต J10 โดยใช้ไอซี LF 353 และระบบการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลความถี่สูงมีสัญญาณคลื่นพาหะเข้ามาที่อินพุต J11 กับสัญญาณรบกวนเข้าที่อินพุต J12 แล้วสัญญาณรวมกันออกมาเอาต์พุต J13A ซึ่งสัญญาณคลื่นพาหะถูกมอดูเลตผ่านตัวกรองความถี่ต่ำโดยใช้ ไอซี LF 353A ที่มีตัวต้านทาน R18 ,R19 และตัวเก็บประจุ C9 ,C12 ถ้าต้องการความถี่จุดตัดสามารถเลือกได้จากสวิทซ์ Bandwidth select และค่า SNR กำหนดได้ที่ 20dB ,15dB ,dB10 และ dB5 สามารถใช้สวิทซ์ SNR select จากนั้นสัญญาณผ่านวงจรขยายของ ไอซี LF 353B เพื่อรวมสัญญาณออกที่เอาต์พุตที่ J10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 วงจรของสัญญาณ

วงจร NOTFILTER / SPEAKER AMP

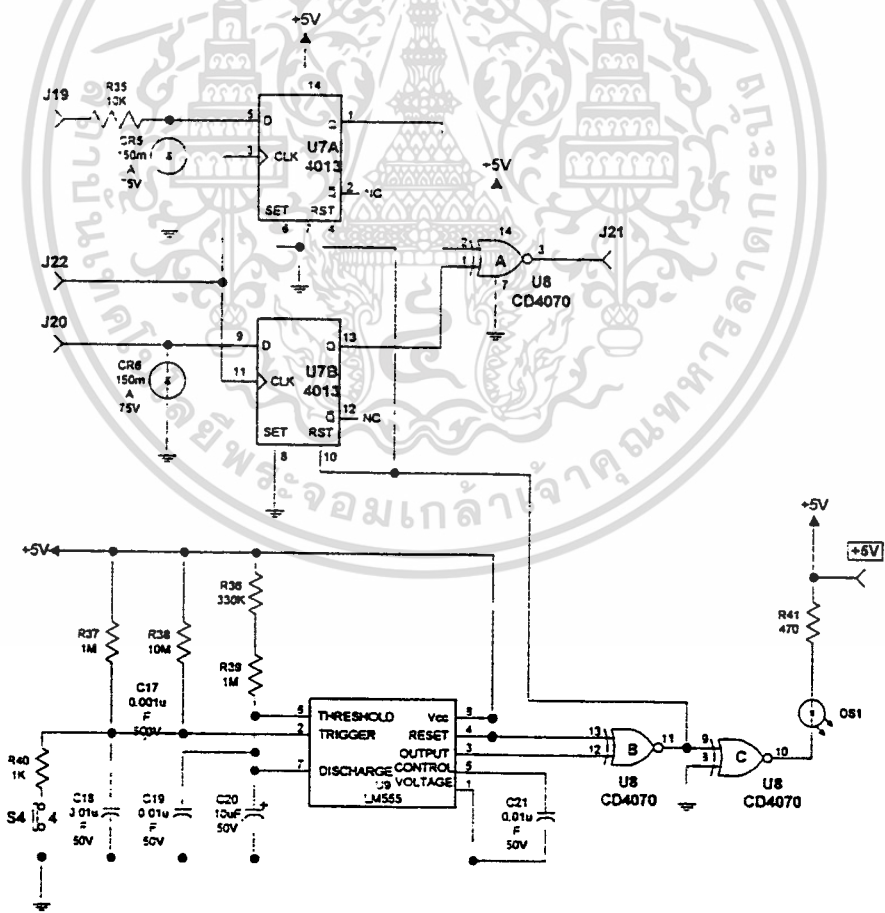


รูปที่ 3.29 วงจรNOTFILTER / SPEAKER AMP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้สัญญาณความถี่แถบผ่าน ให้สัญญาณเข้ามาที่อินพุต J23 ตัวเก็บประจุ C27 ป้องกันไฟตรงไหลผ่าน จากนั้นสัญญาณผ่านไปที่วงจรกรองความถี่แบบ TWIN T ประกอบด้วย R45 ,R46 ,R47 กับตัวเก็บประจุ C28 ,C29 และ C30 เป็นตัวกำหนดให้ความถี่ผ่านได้ 4 KHz และส่วนของวงจรขยายเสียงใช้ไอซี LM386 สัญญาณอินพุตเข้ามาผ่านตัวเก็บประจุ C22 ไปที่ไอซี LM386 ออกเอาต์พุตที่ J26 โดยมีตัวเก็บประจุ C24 กับ C26 ซึ่งจะให่วงจรมีความเสถียรภาพ และตัวต้านทาน R44 เป็นโหลดให้กับวงจรขยายเมื่อไม่ได้ต่อลำโพง

วงจร BER COUNTER



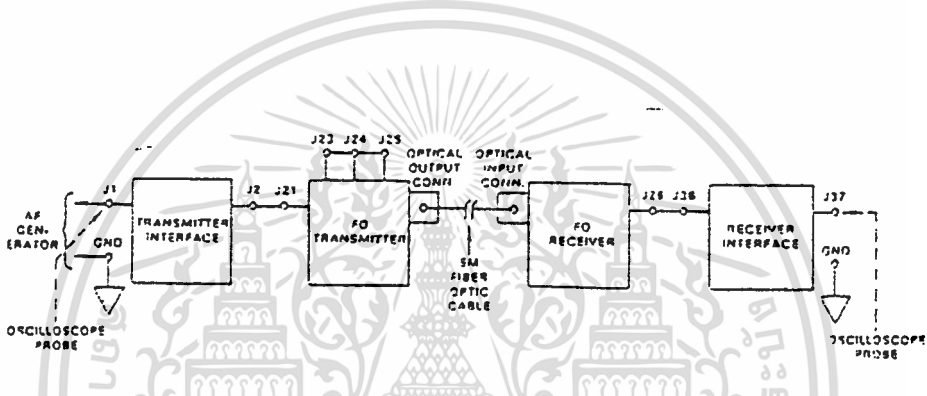
รูปที่ 3.30 วงจร BER COUNTER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการใช้นับจำนวนของบิตที่ผิดพลาดในแต่ละคาบเวลาโดยมีการทำงานเมื่อสัญญาณเข้ามาทางอินพุตของไอซี 4013A ที่ J19 และ J20 ของไอซี 4013B ซึ่งสัญญาณทั้งสองจะซิงโครไนซ์กัน โดยมีสัญญาณพัลส์นาฬิกาเข้าจากที่อินพุตที่ J22 เมื่อกดสวิตช์ S4 สัญญาณพัลส์ถูกกำเนิดออกมาที่เอาต์พุตขา 3 ของไอซี 555 และ ไปรีเซ็ตให้กับไอซี 4013A กับ 4013B

3.5 การสื่อสารผ่านเส้นใยแสง

3.5.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยแสง

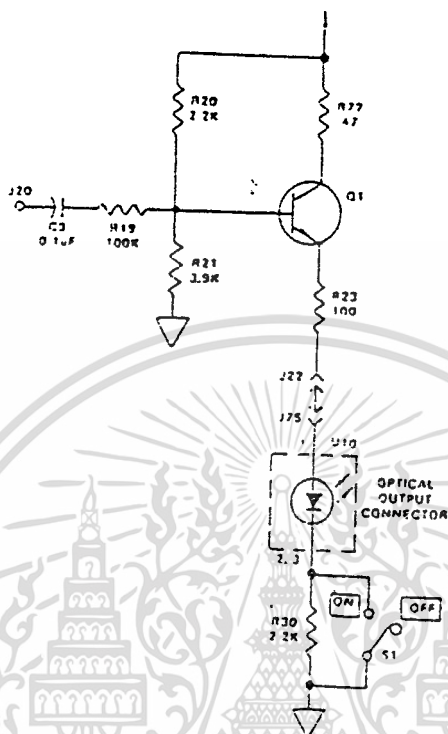


รูปที่ 3.31 บล็อกไดอะแกรมของระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยแสง

3.5.2 วงจรของระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยแสง

วงจร FO TRANSMITTER ที่ใช้ในการทดลองระบบสื่อสารแอนะล็อกจะประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์ Q_1 ซึ่งเป็นตัวขับสัญญาณแอนะล็อกและภาคเครื่องส่ง U_{10} ดังในรูปที่ 3.32 คาปาซิเตอร์ C_1 จะเป็นตัวกรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและเป็นตัวคัปปลิงไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งแรงดันที่ถูกคัปปลิงจะเป็นสัญญาณอินพุตให้กับทรานซิสเตอร์ Q_1 ตัวต้านทาน R_{20} ซึ่งต่อระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันและขาเบสของวงจรรวมทำการเลื่อนระดับแรงดันไฟตรงของสัญญาณอินพุตเพื่อหลีกเลี่ยงการคัปปลิง ตัวต้านทาน R_{19} และ R_{20} จะเป็นตัวลดทอนให้ได้ค่าผิดเพี้ยนน้อยที่สุด ตัวต้านทาน R_{21} ใช้จำกัดกระแสเบส Q_1 ส่วน R_{22} และ R_{23} ใช้สำหรับการไบอัส Q_1 ให้ได้กระแสฟอร์เวิร์ด เพื่อแปลงสัญญาณจากแรงดันอินพุต

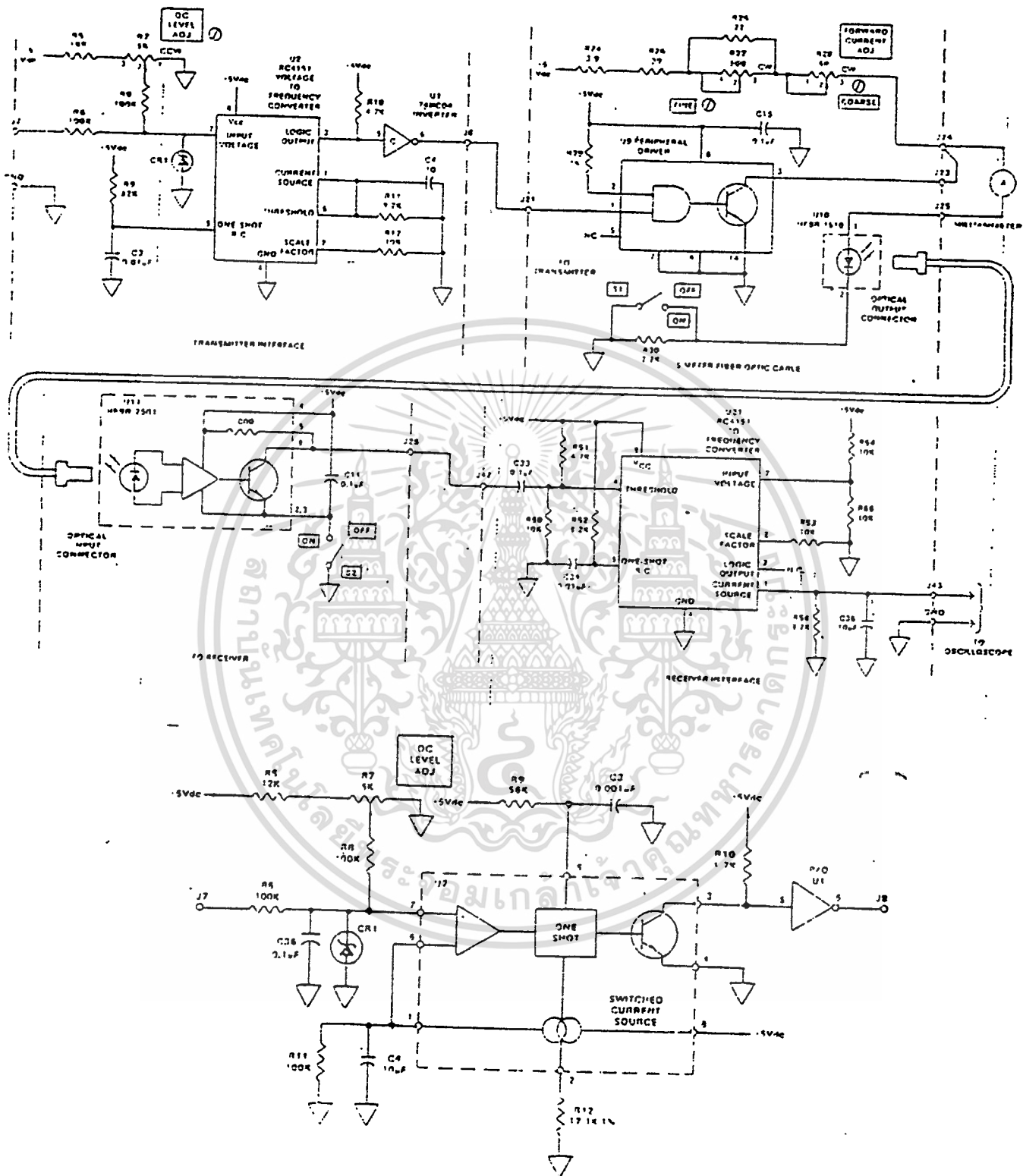
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.32 วงจร FO TRANSMITTER

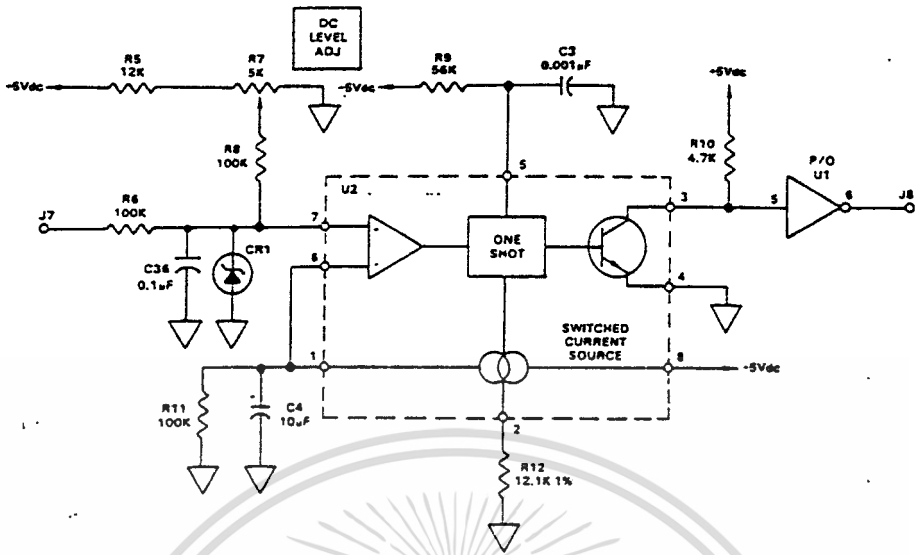
ในการส่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงผ่านระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยแสง ทำได้โดยใช้แรงดันเพิ่มหรือลดกระแสฟลูออไรด์เคลื่อนที่ผ่านไปยัง LED การไหลเพิ่มหรือลดลงของค่าเฉลี่ยวงจรจะมีการสูญเสีย ไม่มีความแน่นอน และจะไม่สัมพันธ์กันระหว่างการส่งและการรับ ดังนั้นการส่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจึงต้องทำการเปลี่ยนเป็นสัญญาณพัลส์ก่อนแล้วจึงทำการแปลงสัญญาณพัลส์กลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงอีกที่ตัวรับ จากรูปที่ 3.33 วงจร FO TRANSMITTER และ FORECEIVER จะรวมกันอยู่ใน U_2 และ U_{21} ในส่วนของ TRANSMITTER INTERFACE และ RECEIVER INTERFACE ใน U_2 และ U_{21} ซึ่งวงจรทั้งสองแสดงในรูป 3.34 (a) และ (b) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

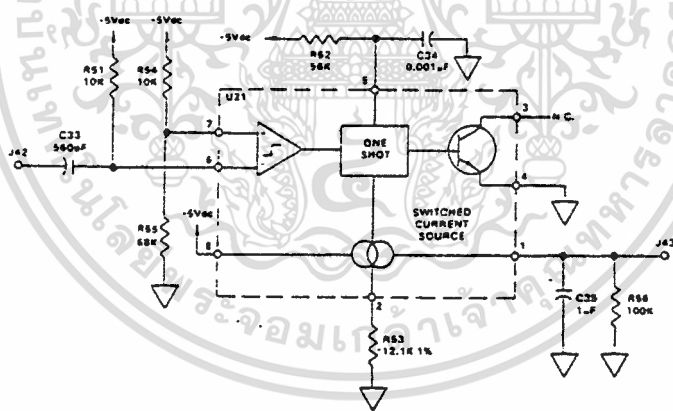


รูปที่ 3.33 วงจรที่ใช้ระบบดิจิทัลในการส่งผ่านสัญญาณไฟตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.34 (ก) วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่



รูปที่ 3.34 (ข) วงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่

IC U₂ เป็นวงจรที่ถูกรวมไว้แล้ว ถูกต่อเข้ากับแรงดันเพื่อผลิตความถี่ออกมาดังรูปที่ 3.34 ระดับแรงดันไฟตรงที่ขา 7 จะถูกใช้ในการผลิตความถี่ให้ใช้สมการดังนี้

$$f_o = k V_{IN}$$

$$\text{เมื่อ } k = 0.48 R_{12} / [(R_{11})(R_9)(C_3)]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $k=0.48 R_{12} / [(R_{11})(R_9)(C_3)]$

วงจรนี้ถูกออกแบบให้ค่า k มีค่า = 1kHz / VOLT วงจรนี้จึงผลิตความถี่ได้จาก 0 ถึง 1 KHz ออกที่ขา 7 ภายใต้เงื่อนไขสองเงื่อนไขคือ

1. แรงดันจาก 0 ถึง 1 โวลต์ ที่ขา 7 กับกราวด์ ได้จาก DC LEVEL ADJ หรือตัวต้านทานปรับค่าได้ (R_7)

2. แรงดันจาก 0 ถึง 2 โวลต์ ที่วัดจากขา 7 ซึ่งจะต้องหมุน R_7 ไปทวนเข็มนาฬิกาให้สุด ซีเนอร์ไดโอด CR_1 เป็นตัวบล็อกแรงดันจากแหล่งจ่าย +5 โวลต์ให้กับขาที่ 7

IC U_2 โดยพื้นฐานแล้วประกอบด้วย วงจรเปรียบเทียบแรงดัน วันซ็อดมัลติไวเบรเตอร์ วงจรจ่ายกระแส และวงจรขับที่เป็นทรานซิสเตอร์ทางด้านเอาต์พุต เมื่อมีแรงดันที่ขา 7 และทำแรงดันนี้ไปเปรียบเทียบก็จะส่งแรงดันบวกไปทริกให้วงจรวันซ็อดด้วยเวลา 60 μ S ระยะเวลาของคาบเวลานี้แหล่งจ่ายกระแสจะเริ่มจ่ายกระแส ขณะเดียวกัน C_1 จะทำการชาร์จประจุ ถ้าแรงดันทางอินพุตมีสถานะเท่ากับหรือมากกว่าแรงดันที่ตัวเก็บประจุในช่วงเวลาหนึ่งวงจรวันซ็อดจะทริกอีกครั้งหนึ่ง และ C_1 จะทำการประจุต่อในช่วงเวลาต่อมา เมื่อแรงดันที่ตัวเก็บประจุมีค่ามากกว่าแรงดันทางด้านอินพุตแหล่งจ่ายกระแสจะหยุดจ่ายกระแส ทำให้ตัวเก็บประจุคายประจุผ่าน R_{11} ทำให้แรงดันต่ำกว่าทางด้านอินพุต และเป็นไปตามคอนแรกเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ช่วงเวลาที่เกิดพัลซนั้นจะเป็นเวลาที่แน่นอน และช่วงค่าของเวลาที่ไม่เกิดพัลซจะเป็นตัวเปลี่ยนแปลงความถี่ทางด้านเอาต์พุตตามแรงดันที่เอามาทางอินพุต จากนั้นความถี่ที่ได้จะส่งออกมาขาที่ 3 ให้กับ U_1 ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์โคร์เวอร์ เพื่อมีกระแสและแรงดันให้สูงขึ้นและกลับสัญญาณส่งออก J8 และ R_{10} ถูกใช้ปูล์อัพกับ V_{cc} สำหรับทรานซิสเตอร์ของ U_2 ที่ open collector ได้

สัญญาณดิจิทัลที่ได้จาก J8 จะถูกนำไปจ่ายให้ J21 เพื่อนำไปขับ U_9 ของเครื่องส่ง วงจรจะประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายกระแสแบบฟอร์เวิร์ดแบบปรับค่า โดยตัวต้านทานปรับค่าได้ R_{27} และ R_{28} และอุปกรณ์อื่นที่มีส่วนรวมของ แหล่งจ่ายกระแสฟอร์เวิร์ดให้กับเครื่องส่ง ออปติก U_{10} กระแสนี้จะไหลออกจาก J24 ผ่าน แอมป์มิเตอร์ภายนอกเข้าที่ J25 เข้ายัง U_{10} ซึ่งเป็นความถี่ที่ได้จาก U_9 ผ่าน J23 และ J24 ด้วยมิลลิแอมป์มิเตอร์ ส่งเข้าขาเอาโนดของเครื่องส่งออปติกพัลซที่ได้จากเอาต์พุตของ U_9 จะถูกมอดูเลตกับกระแสฟอร์เวิร์ดของ U_{10} และถูกรวมเข้าด้วยกัน เป็นกำลังของแสงเพื่อส่งไปในสายไฟเบอร์ออปติกซึ่งจะสัมพันธ์กับความถี่

ทางด้านชุดรับ U_{11} ของ RECEIVER นั้นจะดีเท็คพลังงานของแสงที่ส่งมาเป็นช่วงๆ จากเครื่องส่ง ที่ส่งมาตามสายไฟเบอร์ออปติก ซึ่งใ้ข้ออธิบายรายละเอียดในการทดลองที่ 4 มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

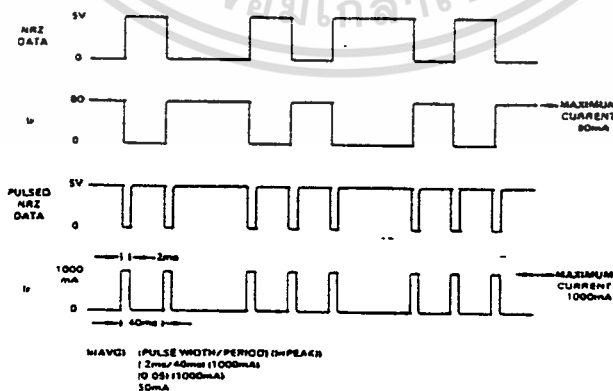
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนจากแสงที่เอามาทางอินพุตให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าก็จะได้สัญญาณที่ขา 8 ซึ่งจะส่งออกทาง J26 จาก J26 จะถูกต่อไปยัง J42 ของชุด RECEIVER INTERFACE

IC U₂₁ ทำหน้าที่เปลี่ยนค่าแรงดันให้อยู่ในรูปของความถี่ซึ่งจะคล้ายกับ U₂ เพียงแต่ U₂ นั้นเปลี่ยนจากความถี่เป็นแรงดันซึ่งแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.34 (b) ซึ่งจะเห็นได้ว่าจะมีการป้อนกลับของขาที่ 1 ไปยังขาที่ 6 ขาอินพุตอินเวอร์ตติ้งจะกลับปลีงสัญญาณ AC ด้วย C₃₃ ซึ่งขานอนอินเวอร์ตติ้งจะถูกไบอัสด้วยแรงดัน 4.3 V โดย R₅₄ และ R₅₅ เมื่อแรงดันอินพุต ที่ J42 มีค่าต่ำจะทำให้วงจรวนชอตทริกให้ CURRENT SOURCE ให้จ่ายกระแสไปชาร์จที่ C₃₅ และเมื่อ CURRENT SOURCE หยุดจ่ายกระแส C₃₅ ก็จะเริ่มคายประจุผ่าน R₅₆ ก็จะได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงออกที่ J43 เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ที่ได้จากอินพุตที่เป็นสัญญาณความถี่

เครื่องส่งออปติคัลที่ใช้ในชุดทดลองนั้นสามารถป้องกันการเสียหายได้โดยการจ่ายกระแสฟอร์เวิร์ดค่า 80 mA โดยเฉลี่ยและ 1000 mA peak ระยะเวลาที่สามารถส่งได้ของเครื่องส่งขึ้นอยู่กับกำลังทางเอาต์พุตของเครื่องส่ง การเชื่อมต่อระบบไฟเบอร์ออปติกจะยึดเอาค่าความกว้างของพัลส์ ซึ่งจะกำหนดจากขอบขาขึ้นและขาลง จากรูปที่ 3.35 เรขอมให้ค่าของกระแสเพิ่มขึ้นได้สูงสุด 1000 mA ได้ชั่วขณะเท่านั้นทั้งนี้เพื่อให้มีค่าเฉลี่ยของกระแสต่ำกว่า 80 mA

การส่งในระยะทางไกลๆ ถูกกำหนดโดย ค่าความแตกต่างระหว่างกำลังส่งรวม (Pt) และค่ากำลังสูงสุดที่เครื่องรับนั้นสามารถรับได้ (PR) หากด้วยค่าความสูญเสียภายในสายหรือเท่ากับ (Pt-Pr/αO)

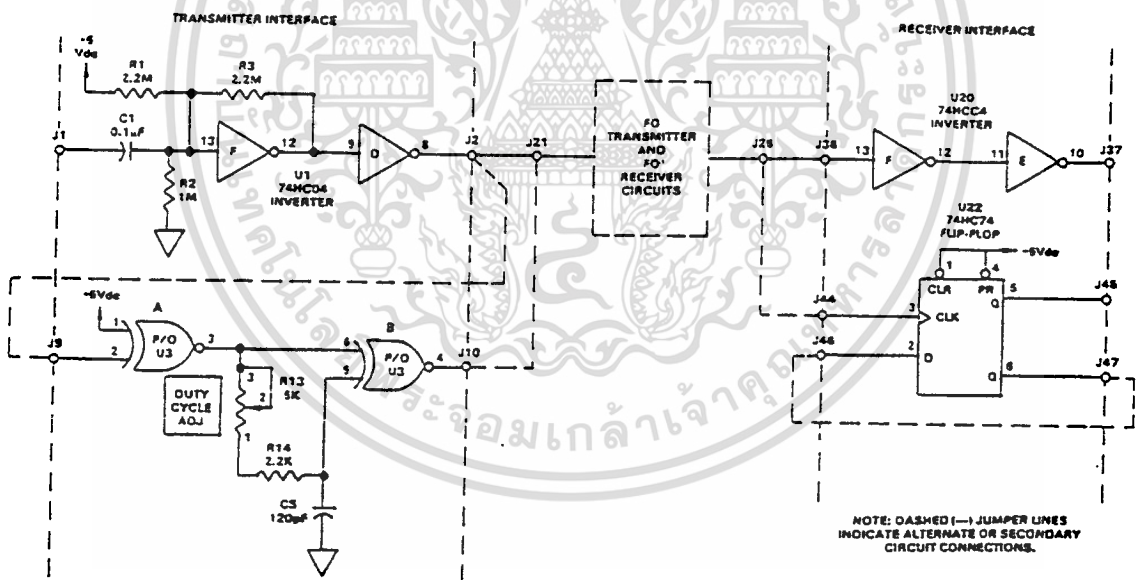


รูปที่ 3.35 การกำหนดความกว้างของพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ากำลังเฉลี่ยทางด้านเอาต์พุตถูกกำหนดโดยผลคูณของจุดสูงสุดของกำลังกับค่าความถี่ไซเคิลของสัญญาณพัลส์ ($Pt \cdot \text{duty cycle}$) ซึ่งความถี่ไซเคิล คือ ช่วงเวลาการเกิดพัลส์ซ้ำหารด้วยช่วงเวลาการเกิดพัลส์ (ค่าของความถี่ไซเคิลสัญญาณสี่เหลี่ยมจะมีค่าเท่ากับ 0.5 หรือเท่ากับ 50%) ข้อเสียของการเปลี่ยนข้อมูลเป็นแบบนี้คือจะทำให้เกิดการสูญเสียแบนด์วิธไปครึ่งหนึ่ง ซึ่งหมายความว่า จะต้องใช้เวลามากกว่าเดิม 2 เท่า เครื่องส่งในชุดทดลองนั้นจะจำกัดกระแสไว้ที่ประมาณ 75 mA เพื่อจำลองสภาพการเชื่อมต่อแบบระยะทางไกลๆ การลดกระแสก็คือการลดค่าความถี่ไซเคิล กระแสเฉลี่ยก็จะลดลงตามไปด้วย ซึ่งก็จะรักษาระดับของความถี่ไซเคิลให้อยู่ในระดับคงที่ตลอดการสื่อสาร

วงจรของชุดฝึกที่ใช้ทดลองแสดงดังรูปที่ 3.36 วงจรใหม่นี้ถูกวางไว้ในตำแหน่ง TRANSMITTER INTERFACE และ RECEIVER INTERFACE เครื่องส่ง, เครื่องรับ และสายออปติคอลลแสดงรายละเอียดต่างๆ ไว้ในรูปที่ 3.33



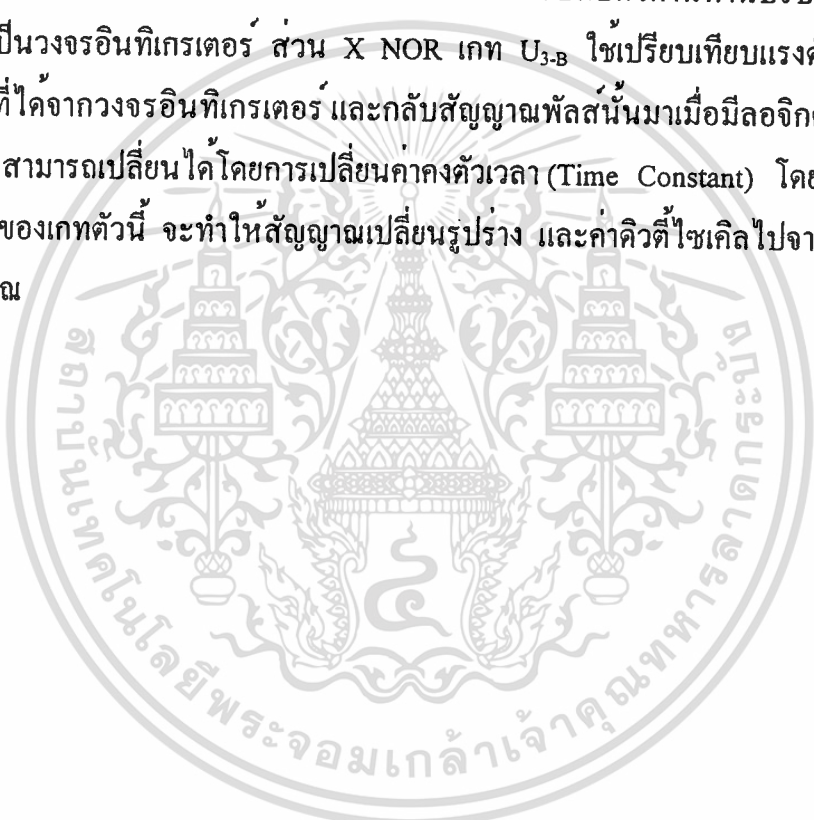
รูปที่ 3.36 วงจรของชุดฝึกที่ใช้ในการทดลอง

เกตอินเวอเตอร์ U_{1-F} และ U_{1-D} ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไซน์เวฟ, สัญญาณสี่เหลี่ยมหรือสัญญาณสามเหลี่ยมให้อยู่ในรูปของสัญญาณ CMOS เกตอินเวอเตอร์ U_{1-F} ถูกไบอัสโดยตัวต้านทาน R_1, R_2 และ R_3 ดังรูปซึ่งเอาต์พุตจะอยู่ที่สถานะลอจิก 0 ในช่วงที่ไม่มีสัญญาณเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินพุตเข้าที่ J1 เกทอินเวอร์เตอร์ U_{1-D} ทำหน้าที่กลับสัญญาณแต่ยังคงรักษารูปร่างและเป็นบัฟเฟอร์เพื่อส่งออกไปยัง J2 อีกด้วย ตัวเก็บประจุ C_1 ทำหน้าที่กันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เกทอินเวอร์เตอร์ U_{20-F} และ U_{20-E} ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ของสัญญาณที่จะส่งออกยัง J37

ทางด้านเอ็กคลูซีฟ นอร์ (Exclusive NOR) เกทที่ประกอบเป็นวงจร U_{3-A} และ U_{3-B} ถูกต่อระหว่างจุด J9 และ J10 ซึ่งจะเป็นตัวดีเทคขอบของความถี่ ซึ่งจะทำให้พัลส์ทางด้านเอาต์พุตมีระดับ 0 ถึง 1 และ 1 ถึง 0 เพื่อที่จะนำไปเข้าที่อินพุตของเครื่องต่อไป

X NOR U_{3-A} ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ซึ่งจะประกอบกับตัวต้านทานปรับค่าได้ R_{13} , R_{14} และ C_5 เป็นวงจรอินทิเกรเตอร์ ส่วน X NOR เกท U_{3-B} ใช้เปรียบเทียบแรงดันที่วัดได้ทางอินพุตกับที่ได้จากวงจรอินทิเกรเตอร์ และกลับสัญญาณพัลส์นั้นมาเมื่อมีลอจิกต่างกันค่าของคิวตี้ไซเคิลสามารถเปลี่ยนได้โดยการเปลี่ยนค่าคงตัวเวลา (Time Constant) โดยปรับ R_{13} ซึ่งการทำงานของเกทตัวนี้ จะทำให้สัญญาณเปลี่ยนรูปร่าง และค่าคิวตี้ไซเคิลไปจากเดิมทางด้านของสัญญาณ



บทที่ 4

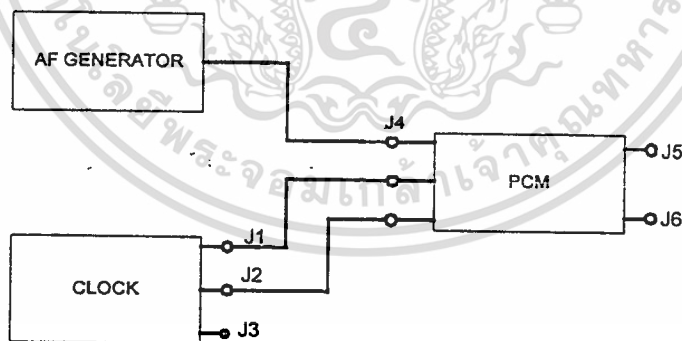
การทดลอง และผลการทดลอง

โครงการนี้เกี่ยวกับการมอดูเลตพัลส์สัญญาณดิจิทัล ประกอบด้วย PCM, PAM, และ DELTA MODULATION ในส่วนการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัล ประกอบด้วย FSK MODULATION และ DEMODULATION, ASK MODULATION และ DEMODULATION, PSK MODULATION และ DEMODULATION และสุดท้ายเป็นการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแสง

4.1 การทดลอง PCM

4.1.1 ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ประกอบวงจรตามรูปที่ 4.1 เปิด แหล่งจ่ายไฟ ปรับ OSCILLOSCOPE CH1 ที่เอาต์พุตของ PCM ที่จุด J5 บันทึกผลสัญญาณ



รูปที่ 4.1 ผังการทำงานของวงจร PCM

2. นำ PROBE CH2 ไปวัดที่จุด DEMODULATION ที่จุด J6 บันทึกผลสัญญาณ

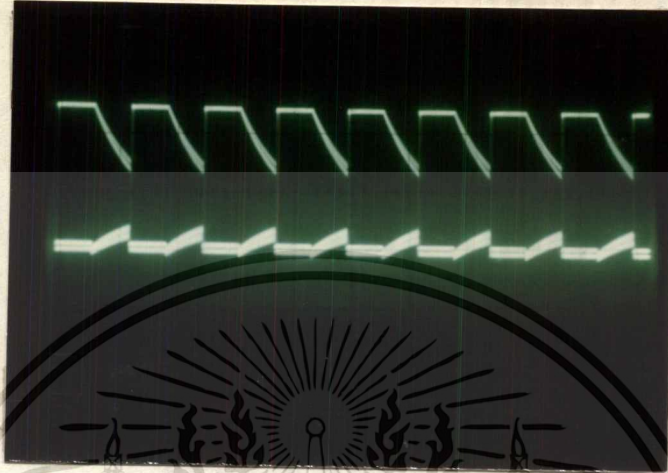
3. ย้ายสายต่อจาก J2 ไปที่ J3 บันทึกผลสัญญาณที่ J5 เอาต์พุตของ PCM และบันทึก

ผลการทดลองที่ J6 เป็นเอาต์พุตของ DEMODULATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการทดลอง PCM

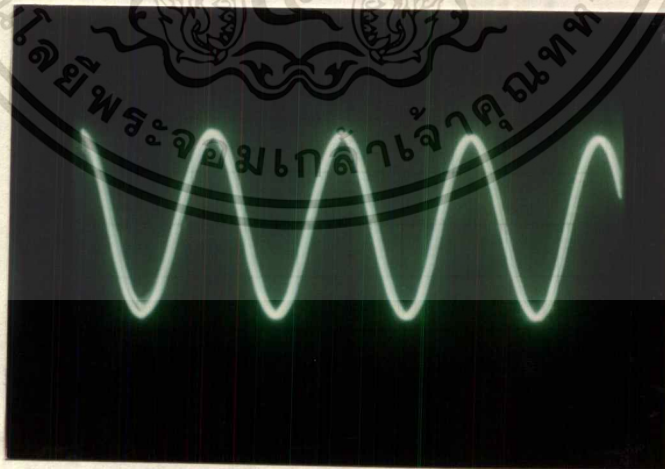
1. ผลการทดลองของสัญญาณ PCM ที่ J5 ของความถี่ 8 KHz



VOLT / DIV = 2 V TIME / DIV = 1 mS

รูปที่ 4.2 ผลของสัญญาณ PCM ที่ความถี่แชนเปลิ่ง 8 KHz

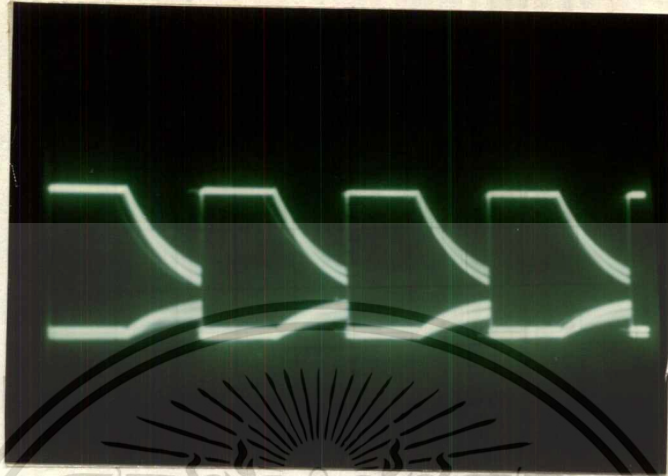
2. ผลการทดลองของสัญญาณ DEMODULATION ที่ J6 ของความถี่ 8 KHz ที่ J5



VOLT / DIV = 2 V TIME / DIV = 1 mS

รูปที่ 4.3 ผลของสัญญาณแอนะลอกที่ความถี่แชนเปลิ่ง 8 KHz ที่ J6

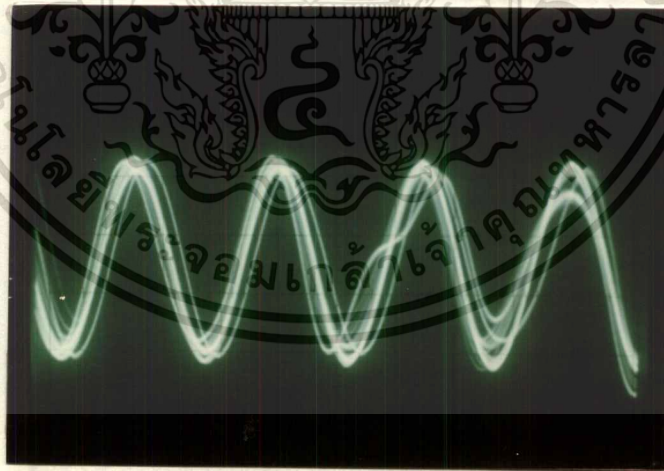
3. ผลการทดลองของสัญญาณ PCM ที่ J5 ของความถี่ 4 KHz



VOLT /DIV = 2 V TIME /DIV = 2 mS

รูปที่ 4.4 ผลของสัญญาณ PCM ที่ความถี่แชนป์ลิง 4 KHz ที่ J5

4. ผลการทดลองของสัญญาณ DEMODULATION ที่ J6 ของความถี่ 4 KHz



VOLT /DIV = 2 V TIME /DIV = 1 mS

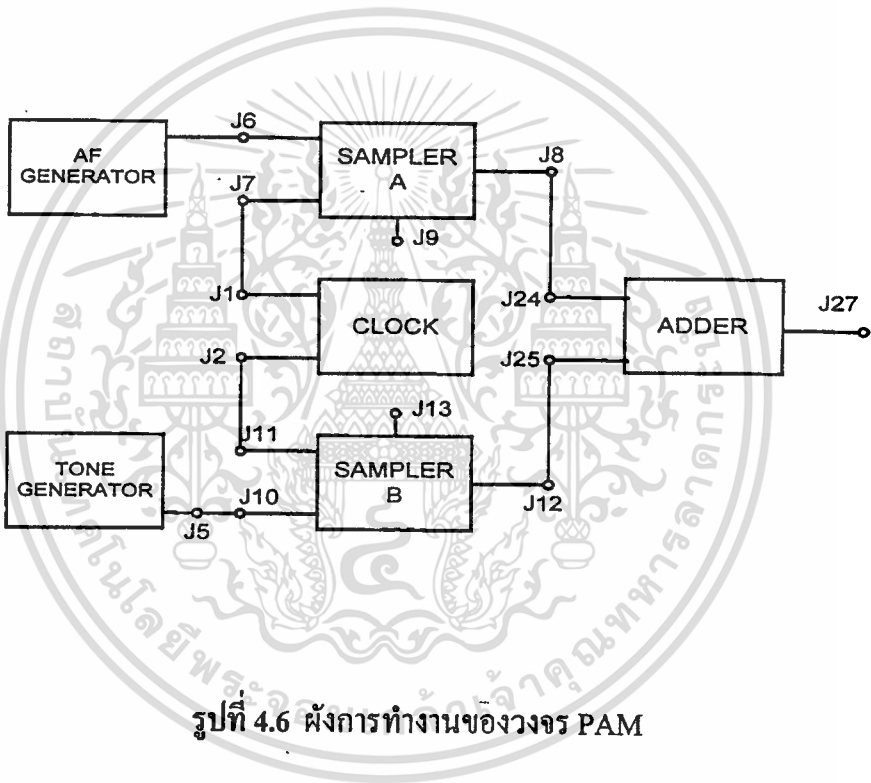
รูปที่ 4.5 ผลของสัญญาณแอนะลอกที่ความถี่แชนป์ลิง 4 KHz

4.2 การทดลอง PAM

4.2.1 ลำดับขั้นการทดลอง

ตอนที่ 1

1. ต่อบังคับตามรูปที่ 4.6 เปิดแหล่งจ่ายไฟปรับ FREQUENCY ADJUST ให้มีสัญญาณพัลส์นาฬิกา 12 KHz ที่ J1 แล้วปรับ AF GENERATOR มี 1 KHz 3 V_{p-p} ไซน์เวฟที่ J6 ของ PROBE CH1 และปรับวงจรถ้าเนตสัญญาณไซน์เวฟหลักมีความถี่ 800 Hz ที่ J5 ต่อ PROBE CH 2 ไปที่ J5 บันทึกผลการทดลอง



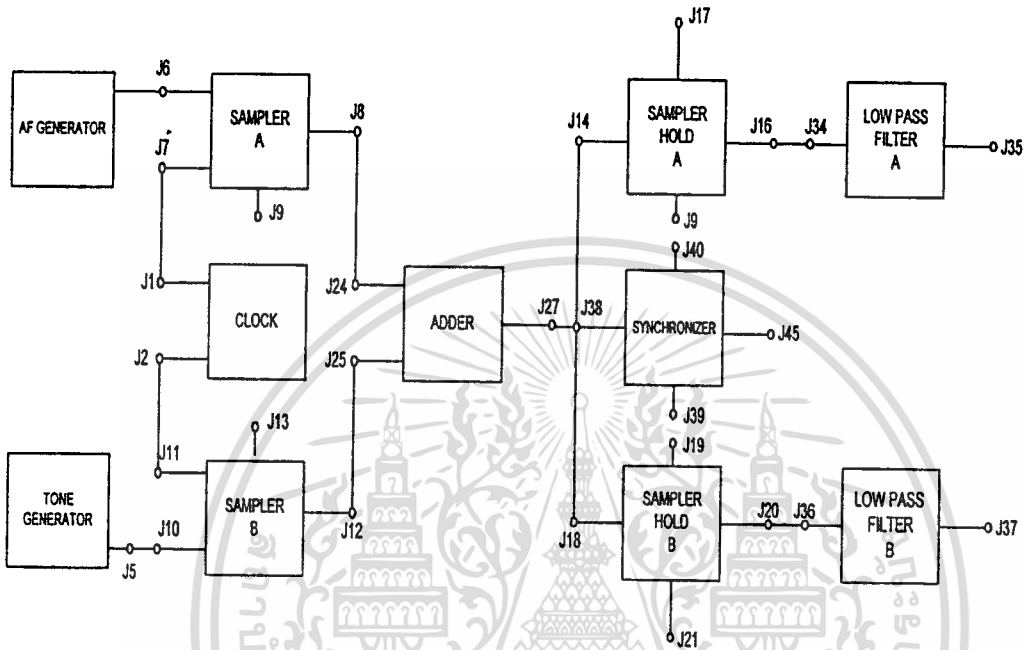
2. ย้าย PROBE CH 1 จาก J6 ไปที่ J8 บันทึกผลการทดลอง
3. ย้าย PROBE CH 1 จาก J8 ไปที่ J12 บันทึกผลการทดลอง
4. ย้าย PROBE CH 1 จาก J12 ไปที่ 27 บันทึกผลการทดลองสัญญาณ TDM

ตอนที่ 2

1. ต่อบังคับตามรูปที่ 4.7 ต่อแหล่งจ่ายไฟ, OSCILLOSCOPE, AF- GENERATOR ให้มีเอาต์พุต 1 KHz 3 V_{p-p} ที่ J6 กับวงจรถ้าเนตสัญญาณไซน์เวฟหลัก, มี 800 Hz ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

J5 และปรับ FREQUENCY ADJUST ให้มีสัญญาณพัลส์นาฬิกา 12 KHz ที่ J1 และต่อ PROBE CH 1 ที่ J38 บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 4.7 ผังการทำงานของวงจร PAM

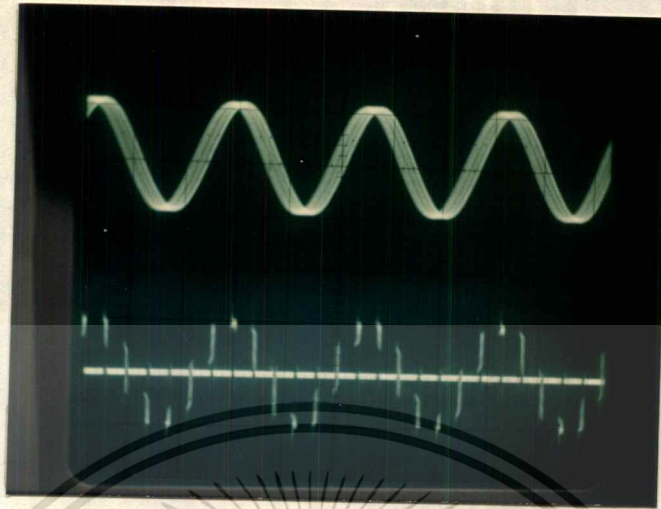
2. ย้าย PROBE CH 1 จาก J38 ไปที่ J45 ต่อ PROBE CH 2 ที่ J1 จากนั้นปรับ FREQUENCY ADJUST ให้สัญญาณเอาต์พุตทั้งสองมีเฟสต่างกัน 90 องศา จากนั้นย้าย PROBE CH 1 จาก J45 ไปที่ J40 ปรับ ADJUST PHASE ให้สัญญาณทั้งสองเฟสตรงกัน
3. ย้าย PROBE CH 1 จาก J40 ไปที่ J35 และย้าย PROBE CH 2 จาก J1 ไปที่ J37 บันทึกผลการทดลอง

4.2.2 ผลการทดลอง PAM

ตอนที่ 1

1. ผลของสัญญาณแอนะล็อกที่ J6 กับสัญญาณแชนเนล A ที่ J8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

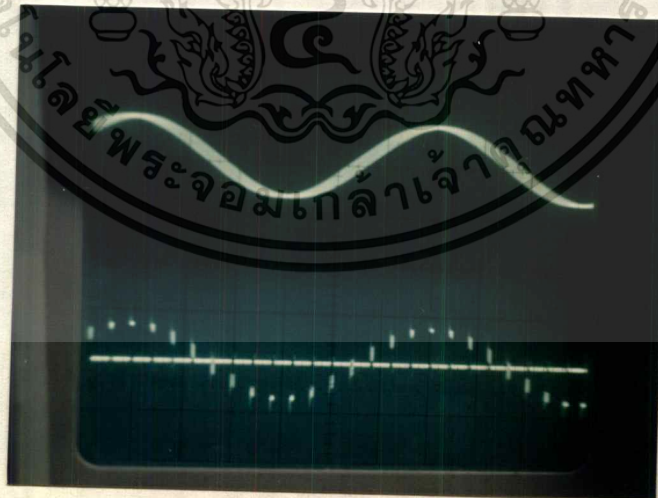


CH 1 VOLT/DIV = 2 V CH 2 VOLT/DIV = 2 V

TIME /DIV = 0.2 mS

รูปที่ 4.8 ผลของสัญญาณแอนะล็อกกับสัญญาณแชนเนล A

2. ผลของสัญญาณแอนะล็อกที่ J5 กับสัญญาณแชนเนล B ที่ J12



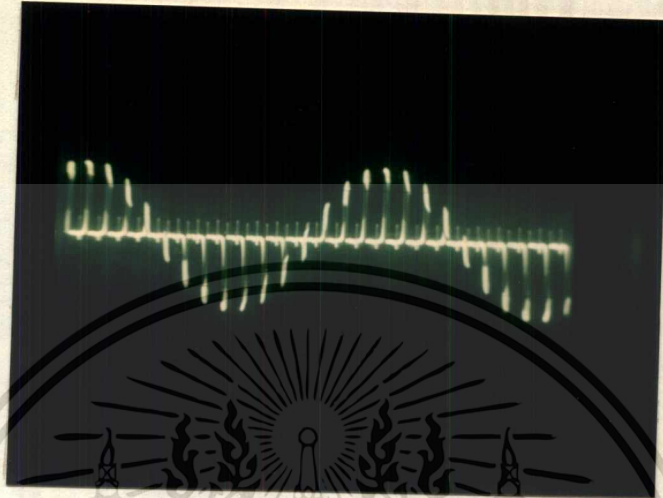
CH 1 VOLT/DIV = 2 V CH 2 VOLT/DIV = 2 V

TIME /DIV = 0.2 mS

รูปที่ 4.9 ผลของสัญญาณแอนะล็อกกับสัญญาณแชนเนล B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลของสัญญาณ TDM ที่ J27

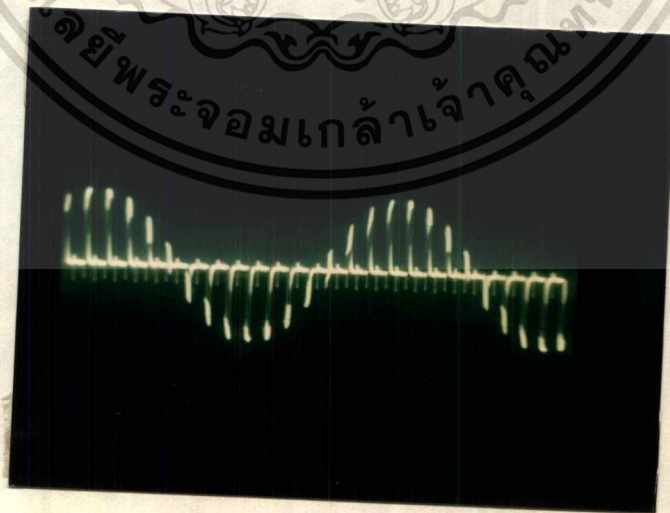


VOLT /DIV = 1 V TIME /DIV = 0.2 mS

รูปที่ 4.10 ผลของสัญญาณ TDM ที่ J27

ตอนที่ 2

1. ผลของสัญญาณ TDM ที่ J38

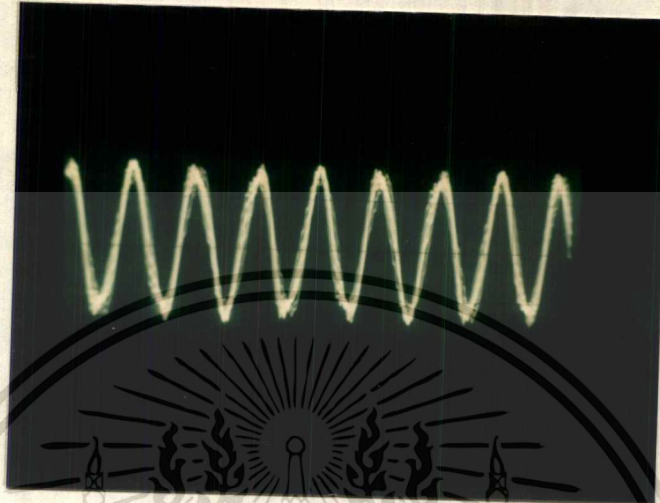


VOLT /DIV = 2 V TIME /DIV = 0.5 mS

รูปที่ 4.11 ผลของสัญญาณ TDM ที่ J38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ کارเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลของสัญญาณแอนะล็อกที่ J35



VOLT/DIV = 1 V TIME/DIV = 1 mS

รูปที่ 4.12 ผลของสัญญาณแอนะล็อก A ที่ J35

3. ผลของสัญญาณแอนะล็อกที่ J37



VOLT/DIV = 1 V TIME/DIV = 1 mS

รูปที่ 4.13 ผลของสัญญาณแอนะล็อก B ที่ J37

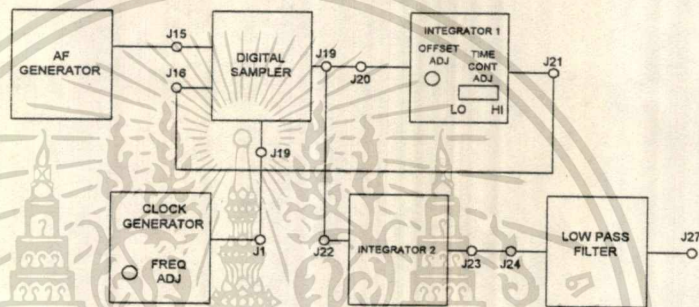
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในชื่อของสถาบันฯ เท่านั้น มิอนุญาตให้ท่านนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลอง DELTA MODULATION และ DEMODULATION

4.3.1 ลำดับการทดลอง

ตอนที่ 1

1. ต่อดังรูปที่ 4.14 ต่อ OSCILLOSCOPE CH 1 ที่ J15 CH 2 ที่ J1 จากนั้นปรับ FREQUENCY ADJUST ให้ได้พัลส์นาฬิกา 32 KHz ที่ J1 และปรับ AF GENERATOR ให้ได้ไซน์เวฟ 800 Hz, 2 Vp-p ที่ J15 บันทึกผลของสัญญาณ



รูปที่ 4.14 ผังการทำงานวงจรเดลตามอดูเลต

2. ย้าย PROBE CH 1 จาก J15 ไปที่ J17 บันทึกผลสัญญาณ
3. ย้าย PROBE CH 1 จาก J17 ไปที่ J21 แล้วปรับให้อยู่ 0.1V/DIV บันทึกผลสัญญาณ ทั้งสองระหว่างอินทิเกรเตอร์ 1 กับอินทิเกรเตอร์ 23
4. ย้าย PROBE CH 1 จาก J21 ไปที่ J27 บันทึกผลของสัญญาณ

ตอนที่ 2

1. ต่อดังรูปที่ 9.14 เปิดสวิตช์แหล่งจ่ายไฟแล้วปรับ OSCILLOSCOPE ทั้ง 2 CH ให้อยู่ 0.1 V/DIV กับ 0.5 mS/DIV จากนั้นปรับ FREQUENCY ADJUST ให้มีพัลส์นาฬิกา 32 KHz ที่ J1 แล้วปรับ AF GENERATOR ได้ไซน์เวฟ 800 Hz 1 Vp-p ที่ J15 และปรับ OFFSET ADJUST ให้อินทิเกรเตอร์ 1 ให้มีเอาต์พุตที่ J23 ของ CH2 มีสัญญาณสมมาตร

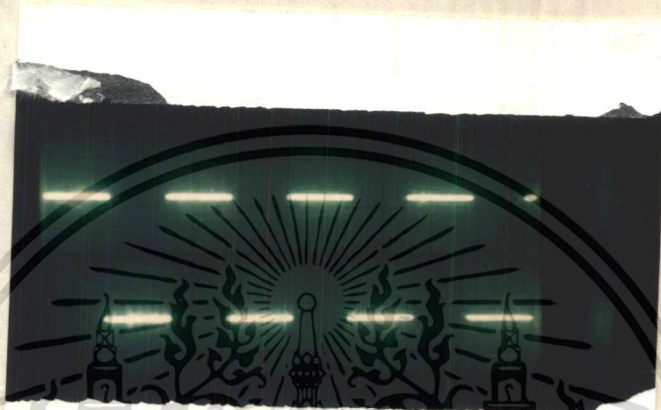
2. ก่อขยับปรับให้ AF GENERATOR มีความถี่ไปที่ 800 Hz, 1.2 KHz, 1.6 KHz และบันทึกผลสัญญาณของเอาต์พุตที่ J23 กับสัญญาณเอาต์พุตที่ J27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการทดลอง DELTA MODULATION และ DEMODULATION

ตอนที่ 1

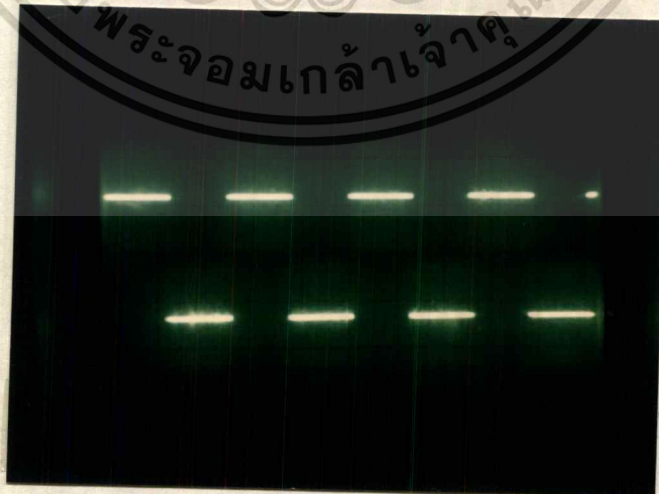
1. ผลของสัญญาณแอนะล็อกที่ J15



VOLT /DIV = 1 V TIME /DIV = 0.5 mS

รูปที่ 4.15 ผลของสัญญาณแอนะล็อกที่ J15

2. ผลสัญญาณดิจิทัลอลแซมเบิล 800 Hz ที่ J 17

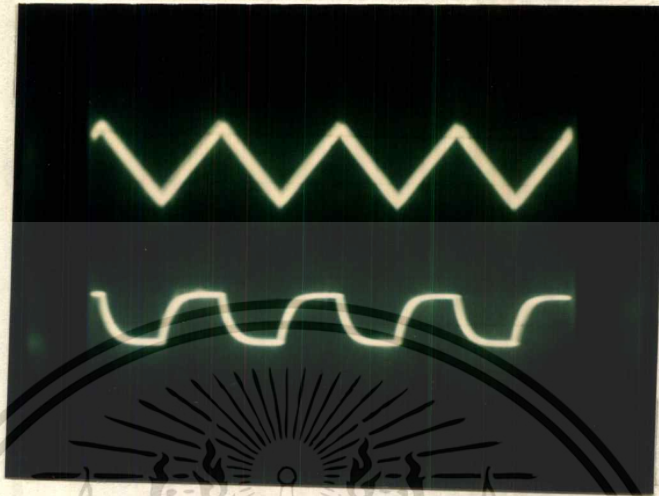


VOLT/DIV = 1 V TIME/DIV = 0.5 mS

รูปที่ 16 ผลสัญญาณดิจิทัลอลแซมเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลของสัญญาณอินทิเกรต 1 ที่ J21 กับสัญญาณอินทิเกรต 2 ที่ J23

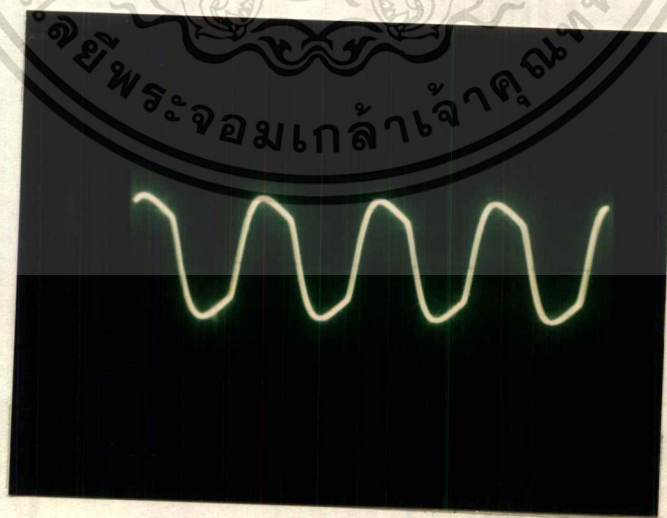


CH 1 VOLT /DIV = 5 V CH 2 VOLT /DIV = 5 V

TIME /DIV = 1 mS

รูปที่ 4.17 ผลของสัญญาณอินทิเกรต 1 กับสัญญาณอินทิเกรต 2

4. ผลของสัญญาณแอนะล็อกที่ J27



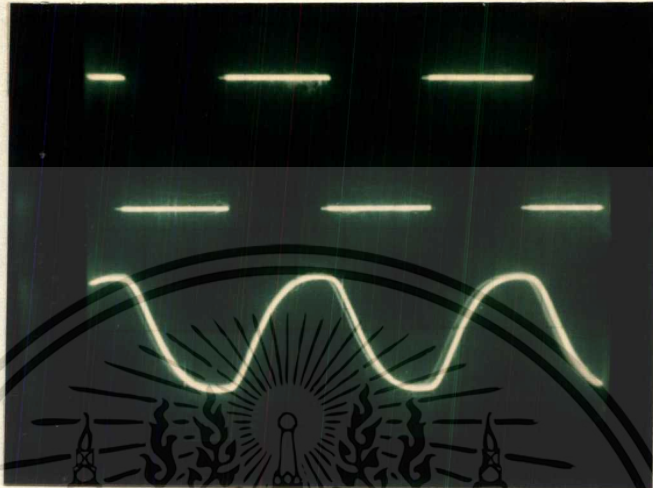
VOLT /DIV = 1 V TIME /DIV = 0.5 mS

รูปที่ 4.18 ผลของสัญญาณแอนะล็อกที่ J27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2

1. ผลของสัญญาณคิจิตอลแชนเบิ้ลที่ J17 กับสัญญาณแอนะลอกที่ J27 ความถี่ 800 Hz

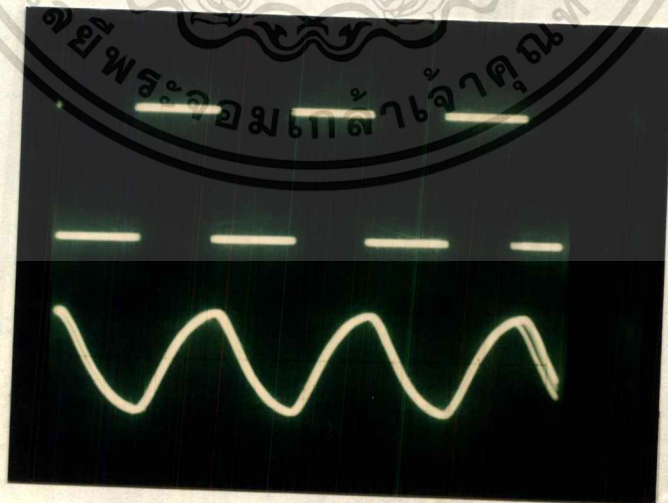


CH 1 VOLT /DIV = 2 V CH 2 VOLT /DIV = 1 V

TIME /DIV = 0.5 mS

รูปที่ 4.19 ผลของสัญญาณคิจิตอลแชนเบิ้ลที่ J17 กับสัญญาณแอนะลอกที่ความถี่ 800 Hz

2. ผลของสัญญาณคิจิตอลแชนเบิ้ลที่ J17 กับสัญญาณแอนะลอกที่ J27 ที่ 1.2 KHz



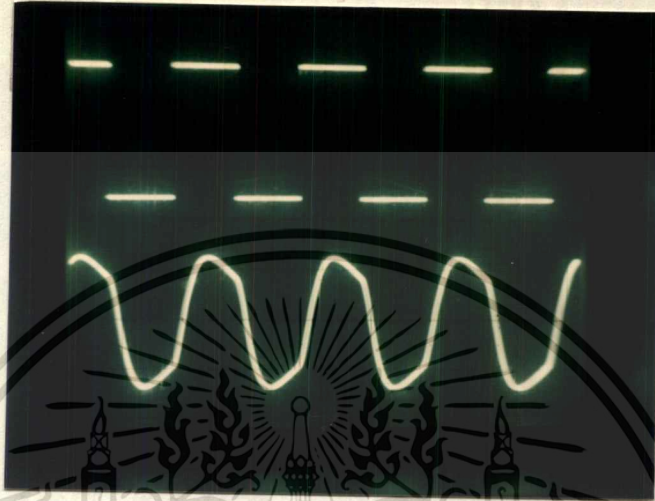
CH 1 VOLT /DIV = 2 V CH 2 VOLT /DIV = 1 V

TIME /DIV = 0.5 mS

รูปที่ 4.20 ผลของสัญญาณคิจิตอลแชนเบิ้ลที่ J17 กับสัญญาณแอนะลอกที่ความถี่ 1.2 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปเผยแพร่ในทางอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลของสัญญาณดิจิทัลแอมป์เปิดที่ J17 กับสัญญาณแอนะล็อกที่ J27 ของความถี่ 1.6 KHz



CH 1 VOLT/DIV = 2 V CH 2 VOLT/DIV = 1 V

TIME/DIV = 0.1 mS

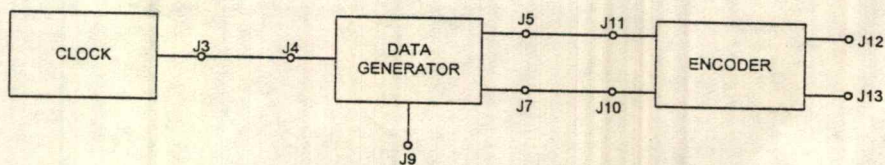
รูปที่ 4.21 ผลของสัญญาณดิจิทัลแอมป์เปิดกับสัญญาณแอนะล็อกที่ความถี่ 1.6 KHz

4.4 การทดลอง FSK MODULATION และ DEMODULATION

4.4.1 ลำดับขั้นการทดลอง

ตอนที่ 1

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 4.22 แล้วปรับความถี่ให้ได้ 32 KHz ที่ J5 แล้วตั้ง OSCILLOSCOPE ทั้ง 2 CH ให้อยู่ 2 V/DIV จากนั้นปรับความถี่ให้เป็นตรงกันข้าม แล้วปรับปุ่มต่างๆ ให้สัญญาณแสดงที่หน้าจอบันทึกผลสัญญาณ



รูปที่ 4.22 ผังการทำงานวงจรเข้ารหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ต่อ PROBE CH1 ที่ J7 แล้วเปรียบเทียบสัญญาณ J7 กับ J5 แล้วสังเกตสัญญาณ J7 ว่ามีรูปแบบรหัสข้อมูล NRZ เป็น 10101111 แล้วดูจำนวนลูกคลื่นของไบนารี 1 กับ 0 บันทึกผลการสัญญาณ

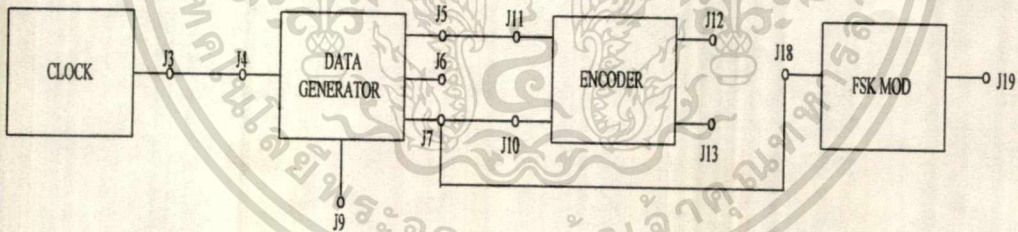
3. ย้าย PROBE CH 2 จาก J7 ไปที่ J9 บันทึกผลสัญญาณ

4. ย้าย PROBE CH 2 จาก J9 กลับมาที่ J7 แล้วย้าย PROBE CH 1 จาก J5 ไป J12 บันทึกผลสัญญาณ

5. ย้ายสายต่อระหว่างจุด J5 กับ J11 ไปต่อ J6 กับ J11 แล้วย้าย PROBE CH 1 จาก J12 ไปที่ J13 บันทึกผลสัญญาณ

ตอนที่ 2

1. ประกอบวงจรตามรูปที่ 4.23 แล้วปรับ FREQUENCY ADJUST LOW ให้วงจร FSK MOD มีความถี่ 128 KHz ที่ J19 และเปิดวงจรที่ J18 แล้วปรับ FREQUENCY ADJUST HIGH ให้ FSK MOD มีความถี่ 192 KHz



รูปที่ 4.23 ผังการทำงานวงจร FSK

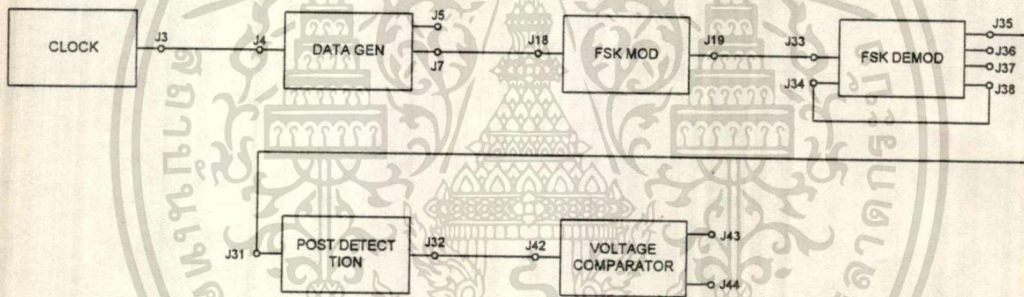
2. ต่อสายจากจุด J7 ไปที่ J18 และต่อ PROBE CH 1 ที่ J7 ต่อ PROBE CH 2 ที่ J19 แล้วตั้ง CH ทั้งสองให้อยู่ 0.5V/DIV และ 20 μ S/DIV จากนั้นปรับความชันสัญญาณของ OSCILLOSCOPE ให้อยู่ตรงกันข้าม จากนั้นค่อยๆเปลี่ยนความถี่วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นาฬิกาให้สัญญาณแสดงออกมาคงที่ บันทึกผลสัญญาณที่ J7 กับ J19

3. ย้ายสายจากจุด J7 กับ J18 ไปเป็น J12 กับ J18 จากนั้นย้าย PROBE CH 1 จาก J7 ไปที่ J12 บันทึกผลการสัญญาณ J12 กับ J18

4. ย้ายสายจากจุด J5 กับ J11 ไปเป็น J6 กับ J11 และจุด J12 กับ J18 ไปเป็น J13 กับ J18 จากนั้นย้าย PROBE CH 1 จาก J12 ไปเป็น J13 บันทึกผลสัญญาณ J13 กับ J18

ตอนที่ 3

1. ต่อยังตามรูปที่ 4.24 แล้วตั้ง CH 1 ที่ J5 ให้อยู่ 20 μ S/DIV และ 2 V/DIV จากนั้นปรับแกนนอน และแกนตั้งให้แสดงผลหน้าจอ OSCILLOSCOPE 32 KHz ของ J5 จากนั้นย้าย PROBE CH 1 จาก J5 ไป J33 แล้วเลื่อนสวิทช์ไปที่ DEMOD แล้วต่อ PROBE CH 2 ที่ J34 และบันทึกผลสัญญาณ J33 กับ J34



รูปที่ 4.24 ผังการทำงานวงจร FSK DEMOD

2. ย้าย PROBE CH 2 จาก J34 ไป J35 แล้วปรับที่ 2 V/DIV กับ 20 μ S/DIV บันทึกผล

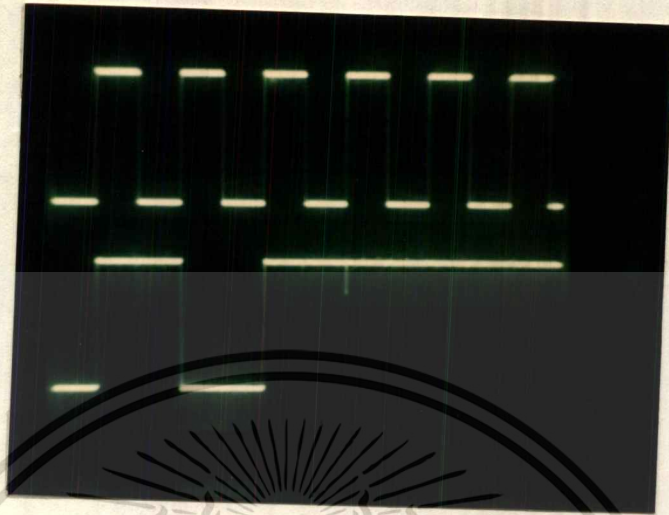
3. เลือก BAND SWITCH ของวงจร POST DETECTION FILTER ไปที่ตำแหน่ง LOW จากนั้นย้าย PROBE CH 1 จาก J33 ไปที่เอาต์พุตของวงจร VOLTAGE COMPARATER ที่ J44 บันทึกผลสัญญาณ

4.4.2 ผลการทดลอง

ตอนที่ 1

1. ผลของสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ NRZ ที่ J7 กับสัญญาณ CLOCK ที่ J5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CH 1 VOLT /DIV = 2 V CH 2 VOLT /DIV = 2 V
 TIME /DIV = 20 μ S

รูปที่ 4.25 ผลของสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ NRZ กับสัญญาณ CLOCK

2. ผลของสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ NRZ ที่ J9

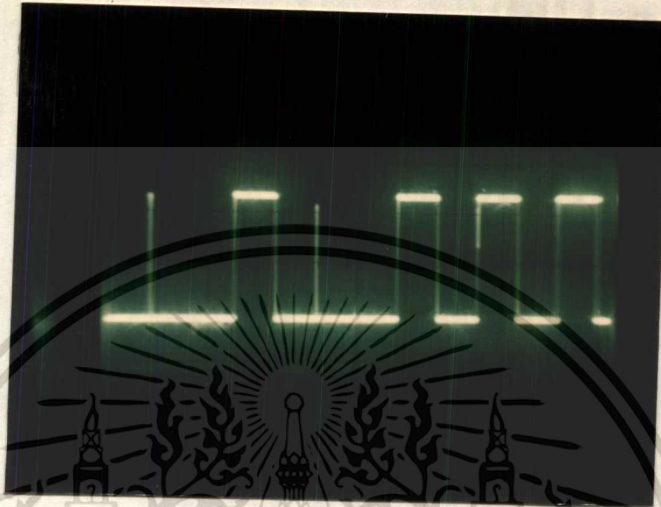


TIME /DIV = 50 μ S VOLT /DIV = 2 V

รูปที่ 4.26 ผลของสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ NRZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

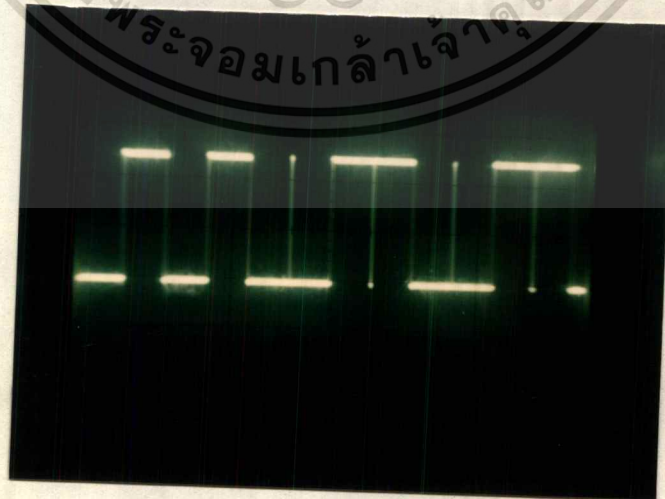
3. ผลของสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ RZ ที่ J12



VOLT /DIV = 2 V TIME /DIV = 20 μ S

รูปที่ 4.27 ผลของสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ RZ

4. ผลของสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ MANCHESTER ที่ J13



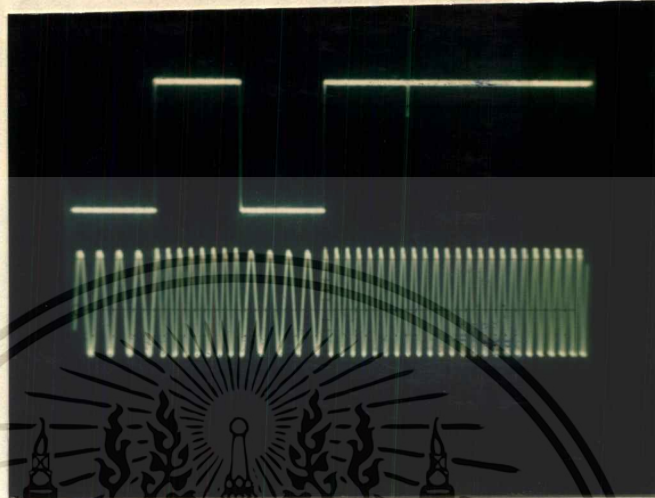
VOLT /DIV = 2 V TIME /DIV = 20 μ S

รูปที่ 4.28 ผลของสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ MANCHESTER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2

1. ผลของสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ NRZ ที่ J7 กับสัญญาณ FSK MOD ที่ J19

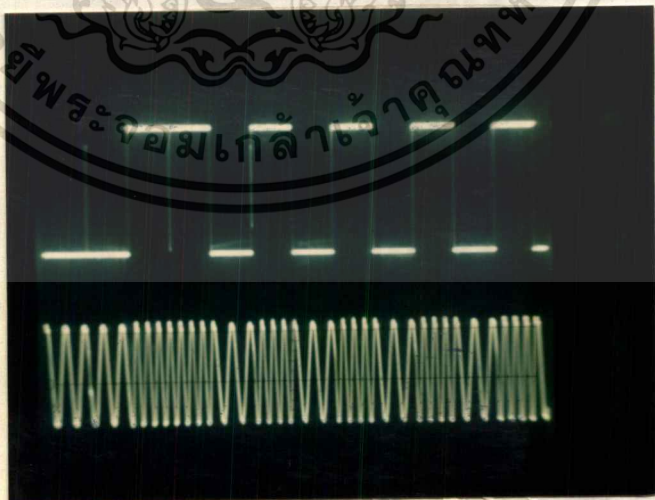


CH 1 VOLT / DIV = 2 V CH 2 VOLT / DIV = 2 V

TIME / DIV = 10 μ S

รูปที่ 4.29 ผลของสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ NRZ กับสัญญาณ FSK MOD

2. ผลของสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ RZ ที่ J12 กับสัญญาณ FSK MOD ที่ J 19



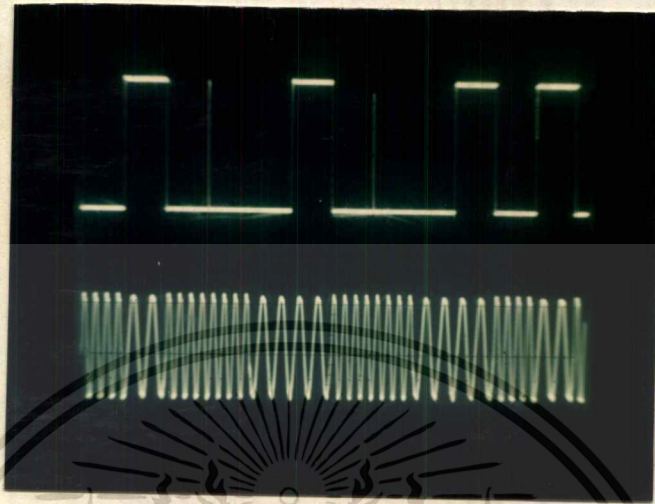
CH 1 VOLT / DIV = 2 V CH 2 VOLT / DIV = 2 V

TIME / DIV = 20 μ S

รูปที่ 4.30 ผลของสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ RZ กับสัญญาณ FSK MOD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลของสัญญาณข้อมูลรหัส MANCHESTER ที่ J13 กับสัญญาณ FSK MOD ที่ J19

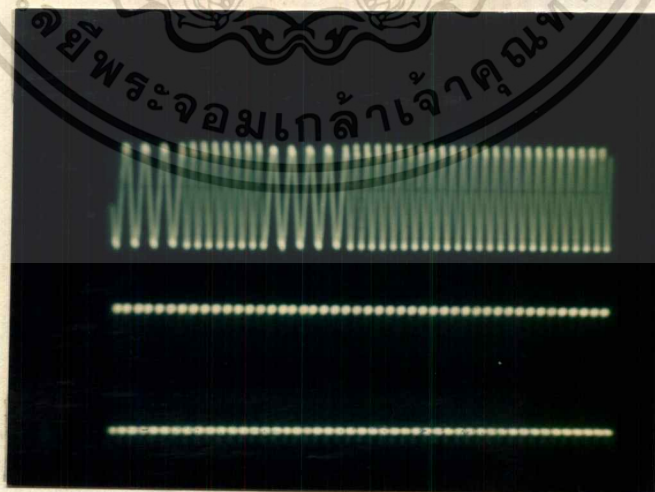


CH 1 VOLT /DIV = 2 V CH 2 VOLT/DIV = 2 V
TIME /DIV = 20 μ S

รูปที่ 4.31 ผลของสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ MANCHESTER กับสัญญาณ FSK MOD

ตอนที่ 3

1. ผลของสัญญาณ OSCILLATOR ที่ J33 กับสัญญาณ VCO ที่ J34

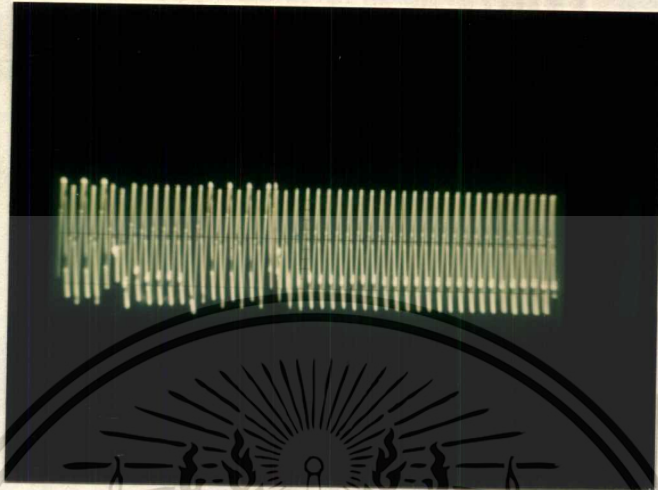


CH 1 VOLT /DIV = 2 V CH 2 VOLT/DIV = 5 V
TIME /DIV = 20 μ S

รูปที่ 4.32 ผลของสัญญาณ OSCILLATOR กับสัญญาณ VCO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

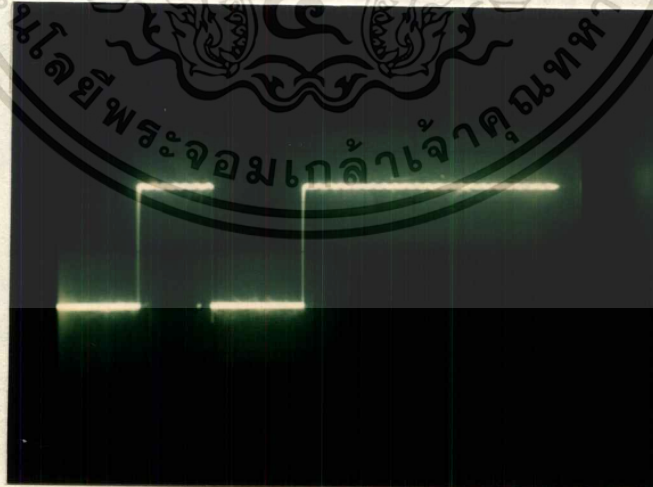
2. ผลของสัญญาณ FSK MOD ที่ J35



VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 20 μ S

รูปที่ 4.33 ผลของสัญญาณแบบ FSK

3. ผลของสัญญาณ VOLTAGE COMPARATER ที่ J44



VOLT /DIV = 2 V TIME /DIV = 20 μ S

รูปที่ 4.34 ผลของสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR

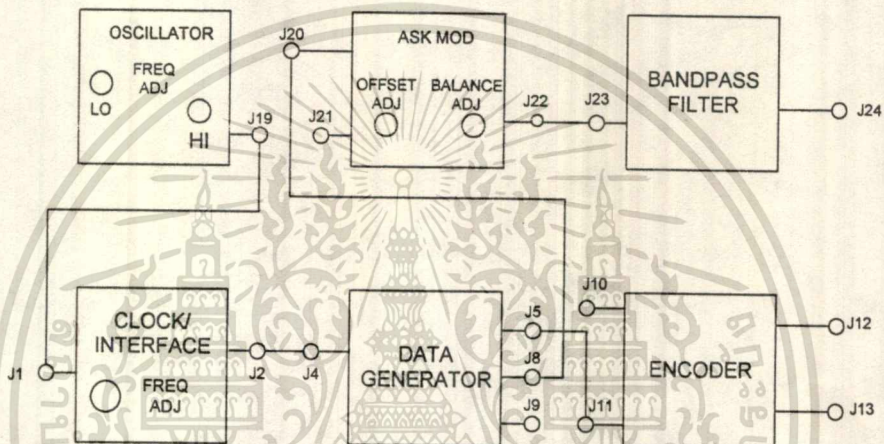
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดลอง ASK MODULATION และ DEMODULATION

4.5.1 ลำดับขั้นการทดลอง

ตอนที่ 1

1. ประกอบวงจรตามรูปที่ 4.35 แล้วตั้ง OSCILLOSCOPE CH 1 ที่ J8 ให้อยู่ 0.5 V/DIV CH 2 ที่ J22 ให้อยู่ 0.2V/DIV และ 10 μ S/DIV จากนั้นปรับ OFFSET ADJUST ให้มีสัญญาณพัลส์มากๆ และปรับ BALAND ADJUST ให้เป็น 0 โวลต์ที่ J2



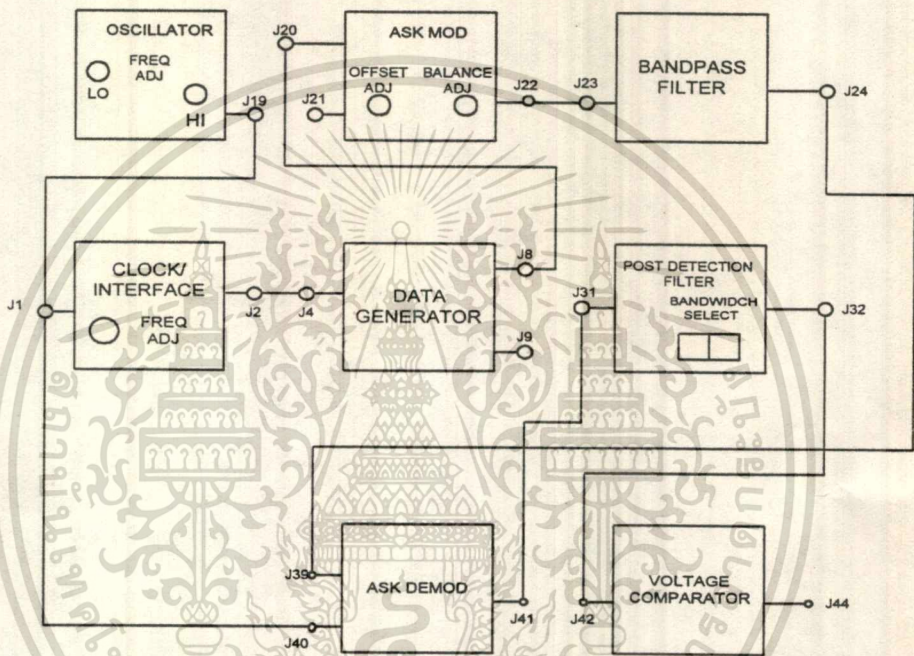
รูปที่ 4.35 ผังการทำงานของวงจร ASK MOD

2. ต่อสายจากจุด J19 ไป J21 ย้าย PROBE CH 2 จาก J22 ไป J19 แล้วปรับ FREQUENCY ADJUST HIGH ให้ออสซิลโลสโคป FSK MOD มีสัญญาณไซน์เวฟ 192 KHZ ที่ J19
3. ปรับ OFFSET ADJUST ของวงจร ASK MOD ให้มีสัญญาณพัลส์มากๆ และปรับจนกระทั่งสัญญาณคลื่นพาร์มีแอมพลิจูด 2 Vp-p และย้าย PROBE CH2 จาก J19 ไปที่ J24 บันทึกผลการทดลอง J20 กับ J24
4. ย้ายสายจากจุด J8 กับ J20 ไปเป็น J12 กับ J20 และย้าย PROBE CH 2 จาก J8 ไป J12 จากนั้นปรับ OFFSET ADJUST ให้มีสัญญาณคลื่นพาร์ที่ J24 มี 0 โวลต์ เมื่อสัญญาณ RZ ที่ J20 เป็นไบนารี 0 สังเกตสัญญาณแล้วบันทึกผล และปรับ OFFSET ADJUST ให้มีสัญญาณพัลส์มากๆ จนกระทั่งสัญญาณ ASK ที่ J24 มีแอมพลิจูด 2 Vp-p บันทึกผลจำนวนลูกคลื่น
5. ย้ายสายจากจุด J5 กับ J11 ไปเป็น J6 กับ J11 และจุด J12 กับ J20 ไปเป็น J13 กับ J20 และย้าย PROBE CH 1 จาก J13 แล้วบันทึกผลสัญญาณ J13 กับ J24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2

1. ต่อดังรูปที่ 4.36 แล้วปรับ OSCILLOSCOPE CH 1 ที่ J20 และ CH 2 ที่ J19 ให้อยู่ 0.5 V/DIV และ 10 μ S/DIV แล้วปรับ FREQ ADJUST HIGH ให้ วงจร FSK MOD มี สัญญาณไซน์เวฟ 192 KHz ที่ J19 แล้วปรับ BANDWIDTH SELECT ของวงจร POST DETECTION ไปที่ HIGH



รูปที่ 4.36 ผังการทำงานของวงจร ASK DEMOD

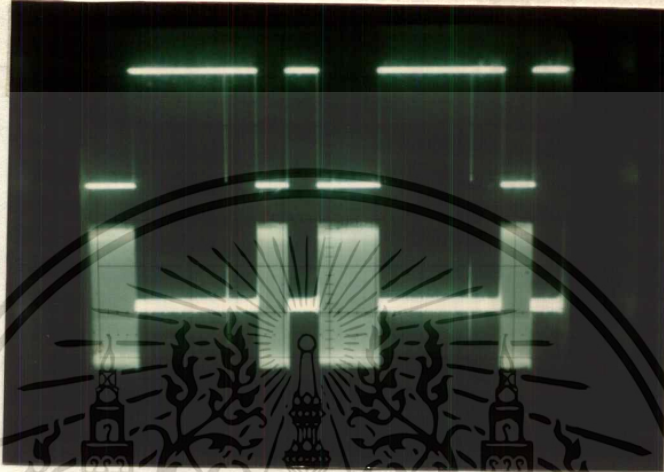
2. ย้าย PROBE CH 2 จาก J19 ไป J22 ปรับ BALANCE ADJUST ของวงจร ASK MOD ให้มีแอมพลิจูดเป็น 0 โวลต์ แล้วต่อสายจากจุด J19 กับ J21 จากนั้นปรับ OFFSET - ADJUST ให้ ASK MOD มีสัญญาณพัลซ์หลายๆ บันทึกลงผลสัญญาณ J22
3. ย้าย PROBE CH 1 จาก J20 ไปที่ J41 แล้วปรับให้อยู่ 0.1 V/DIV บันทึกลงผลสัญญาณ J41
4. ย้าย PROBE CH 1 จาก J41 ไป J44 และย้าย PROBE CH 2 จาก J22 ไปที่ J20 เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองสัญญาณ NRZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ผลการทดลอง

ตอนที่ 1

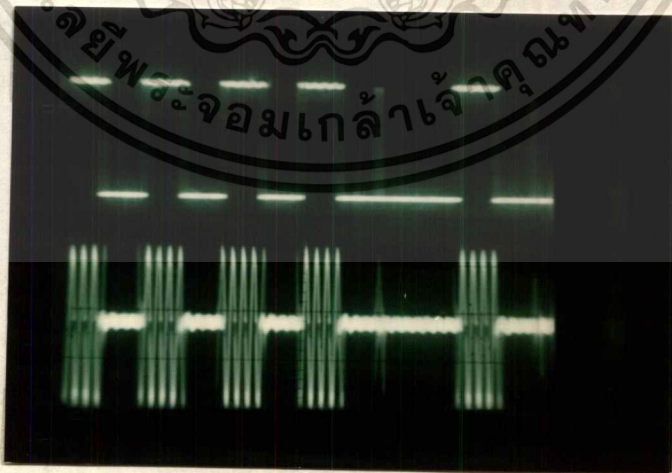
1. ผลของสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ NRZ ที่ J20 กับสัญญาณ ASK MOD ที่ J24



VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 20 μ S

รูปที่ 4.37 ผลสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ NRZ กับสัญญาณ ASK DEMOD

2. ผลของสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ RZ ที่ J12 กับสัญญาณ ASK DEMOD ที่ J24

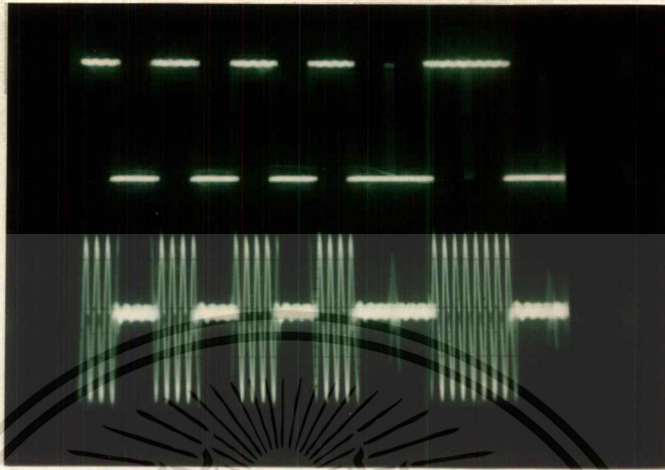


VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 10 μ S

รูปที่ 4.38 ผลของสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ RZ กับสัญญาณ ASK DEMOD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลของสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ MANCHESTER ที่ J13 กับสัญญาณ ASK DEMOD

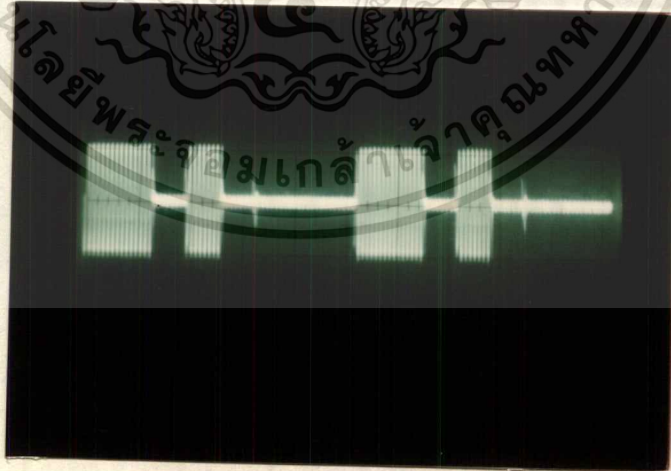


VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 10 μ S

รูปที่ 4.39 ผลของสัญญาณ MANCHESTER กับสัญญาณ ASK DE MOD

ตอนที่ 2

1. ผลของสัญญาณ ASK MOD ที่ J22

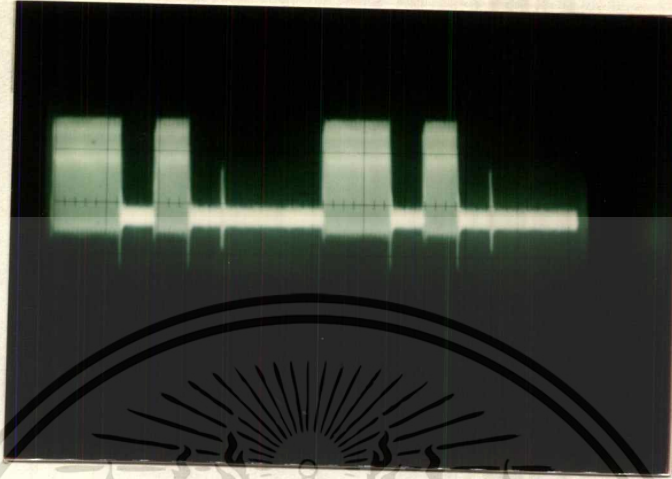


VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 10 μ S

รูปที่ 4.40 ผลของสัญญาณ ASK MOD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

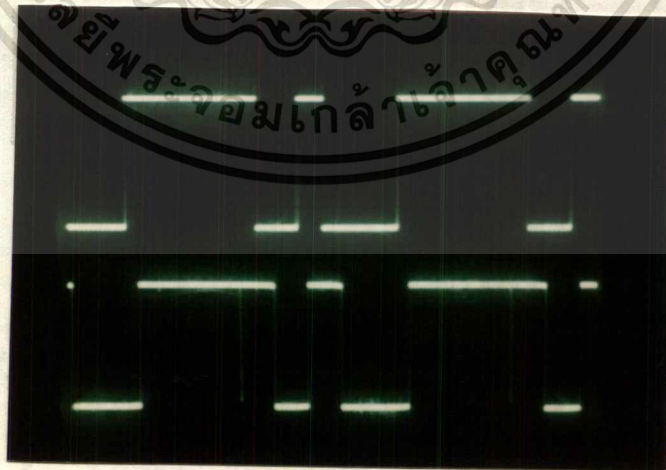
2. ผลของสัญญาณ ASK DEMOD ที่ J41



VOLT/DIV = 0.5 V TIME/DIV = 0.2 mS

รูปที่ 4.41 ผลของสัญญาณ ASK DEMOD

3. ผลของสัญญาณ VOLTAGE COMPARATER ที่ J44 กับสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ NRZ ที่ J20



VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 10 μ S

รูปที่ 4.42 ผลของสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR กับสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ NRZ

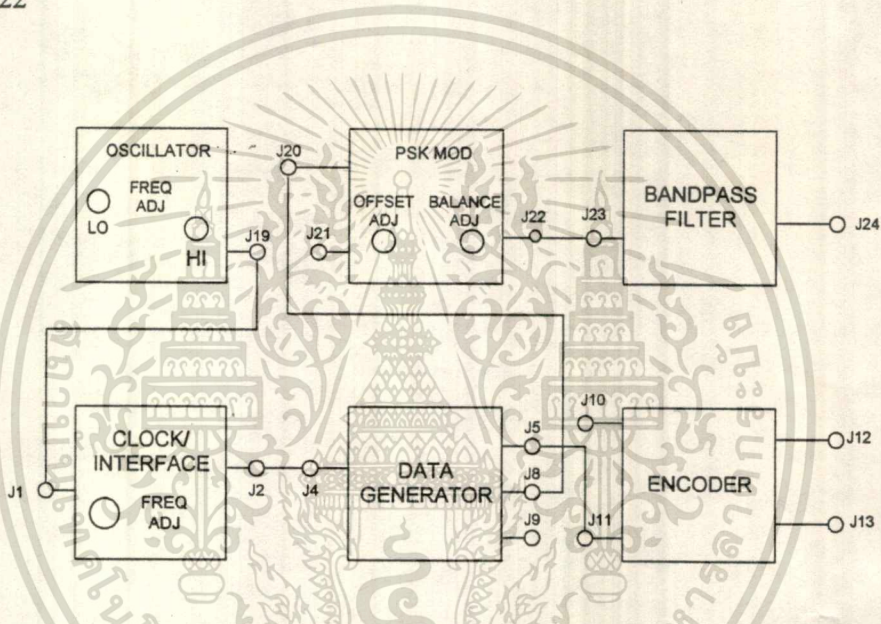
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การทดลอง PSK MODULATION และ DEMODULATION

4.6.1 ลำดับขั้นการทดลอง

ตอนที่ 1

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 4.43 ตั้ง OSCILLOSCOPE CH1 ที่ J8 ให้อยู่ 0.5 V/DIV CH2 ที่ J22 ให้อยู่ 0.2 V/DIV และตั้ง 20 μ S/DIV จากนั้นปรับ OFFSET ADJUST ของวงจร PSK MOD ให้มีสัญญาณพัลส์มากๆ และปรับ BALANCE ADJUST ให่วงจร PSK MOD เป็น 0 โวลต์ที่ J22

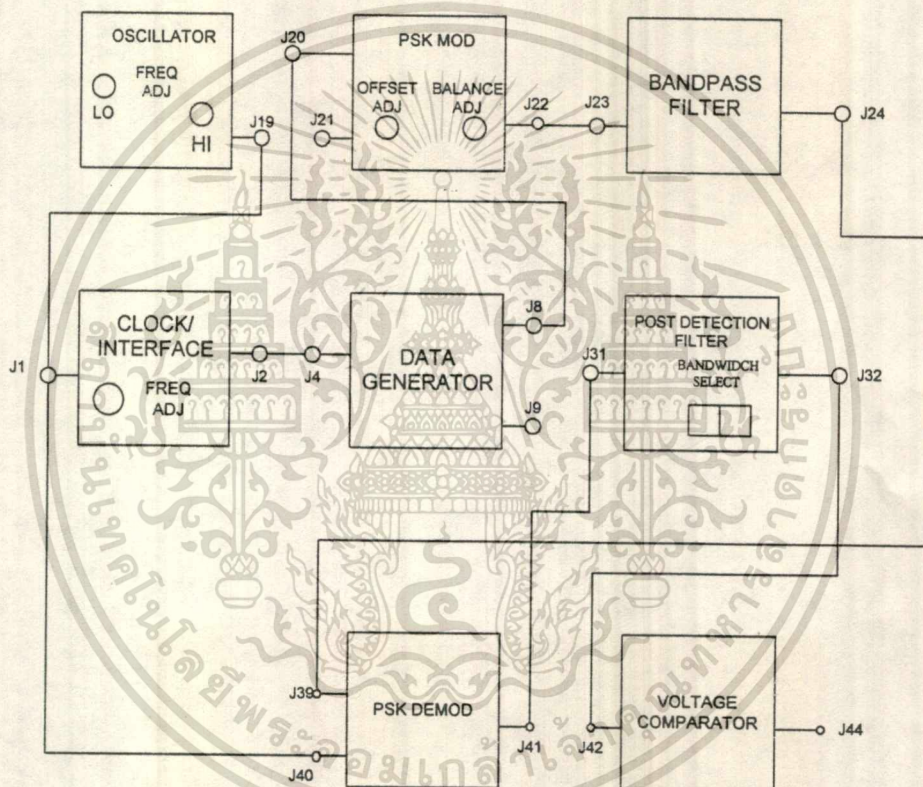


รูปที่ 4.43 ผังการทำงานของวงจร PSK MOD

2. ต่อสายจากจุด J19 กับ J21 แล้วย้าย PROBE CH 2 จาก J22 ไป J19 ให้ปรับ FREQUENCY ADJUST HIGH ของวงจร FSK MOD มีเอาต์พุต 192 KHz ที่ J19
3. ย้าย PROBE CH 2 จาก J19 ไปที่ J24 แล้วบันทึกผลสัญญาณ
4. ย้ายสายจากจุด J20 กับ J8 ไปต่อ J20 กับ J12 แล้วปรับ OFFSET ADJUST ให้มีพัลส์มากๆ จากนั้นย้าย PROBE CH 1 จาก J8 ไปที่ J12 และย้าย PROBE CH 2 กลับมายัง J24 บันทึกผลสัญญาณทั้งสอง
5. ย้ายสายจากจุด J9 กับ J11 และ J12 กับ J20 ไปเป็น J6 กับ J11 และ J13 กับ J20 ตามลำดับ แล้วบันทึกผลสัญญาณ J13 กับ J24

ตอนที่ 2

1. ต่อดังรูปที่ 4.44 จากนั้นปรับ OSCILLOSCOPE CH1 ที่ J20 และ CH2 ที่ J19 ให้อยู่ 0.5 V/DIV และ 10 μ S/DIV ทั้ง 2 CH จากนั้นปรับ FREQUENCY ADJUST HIGH ของ FSK MOD ให้ได้ 192 KHz ที่ J19 แล้วเลือก BANDWIDTH SELECT ของวงจร POST DETECTION ไปที่ HI แล้วย้าย PROBE CH2 จาก J19 ไปที่ J22 ปรับ BALANCE ADJ ให้ PSK MOD เป็น 0 โวลต์ที่ J22



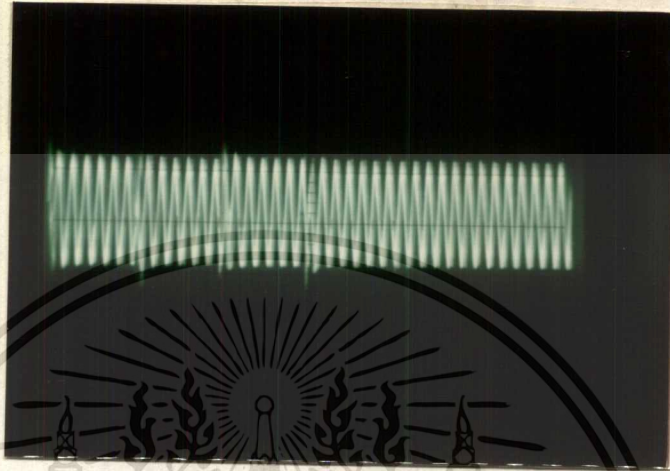
รูปที่ 4.44 ผังการทำงานของวงจร PSK DEMOD

2. ย้าย PROBE CH 1 จาก J20 ไปที่ J24 สังเกตสัญญาณ BANDPASS FILTER บนที่กผลสัญญาณ
3. ย้าย PROBE CH 1 จาก J24 ไปที่ J41 แล้วปรับให้อยู่ 0.1 V/DIV สังเกตสัญญาณ J22 กับ J41 บนที่กผลสัญญาณ
4. ย้าย PROBE CH 1 จาก J41 ไปที่ J44 แล้วบนที่กผลสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 ผลการทดลอง

1. ผลของสัญญาณ PSK MOD ของข้อมูลรหัสแบบ NRZ ที่ J24



VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 10 μ S

รูปที่ 4.45 ผลของสัญญาณ PSK MOD ของข้อมูลแบบ NRZ

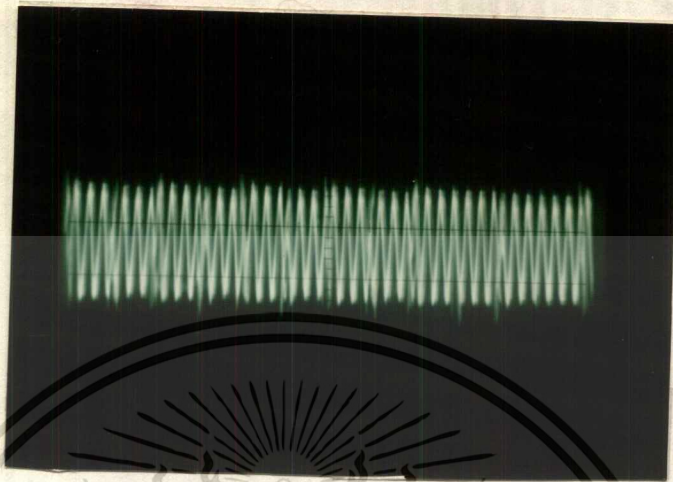
2. ผลของสัญญาณ PSK MOD ของข้อมูลรหัสแบบ RZ ที่ J24



VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 10 μ S

รูปที่ 4.46 ผลของสัญญาณ PSK MOD ของข้อมูลรหัสแบบ RZ

3. ผลของสัญญาณ PSK MOD ของข้อมูลรหัสแบบ MANCHESTER ที่ J24

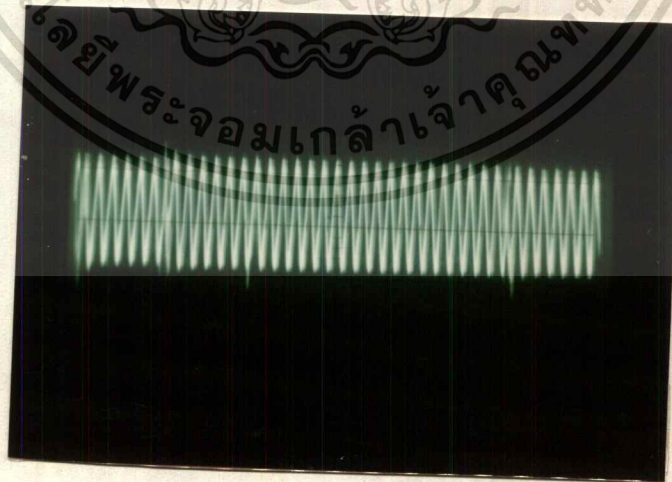


VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 10 μ S

รูปที่ 4.47 ผลของสัญญาณ PSK MOD ของข้อมูลรหัสแบบ MANCHESTER

ตอนที่ 2

1. ผลของสัญญาณ PSK MOD ที่ J24

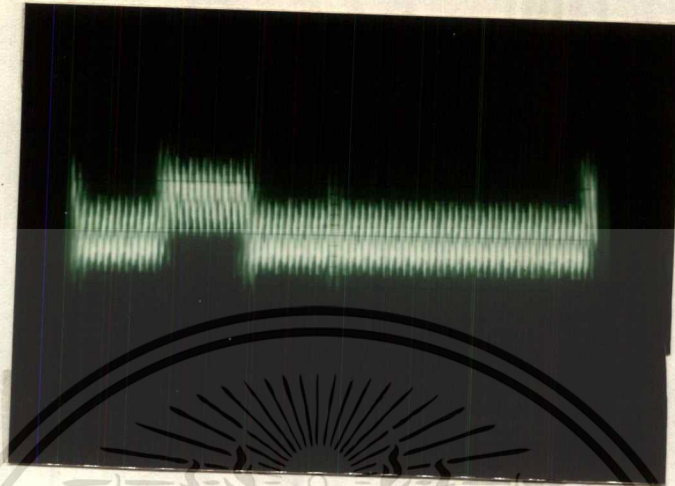


VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 10 μ S

รูปที่ 4.48 ผลของสัญญาณ PSK MOD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลของสัญญาณ PSK DEMOD ที่ J41



VOLT/DIV = 1 V TIME/DIV = 0.5 mS

รูปที่ 4.49 ผลของสัญญาณ PSK DEMOD

3. ผลของสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR ที่ J44



VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 10 μ S

รูปที่ 4.50 ผลของสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

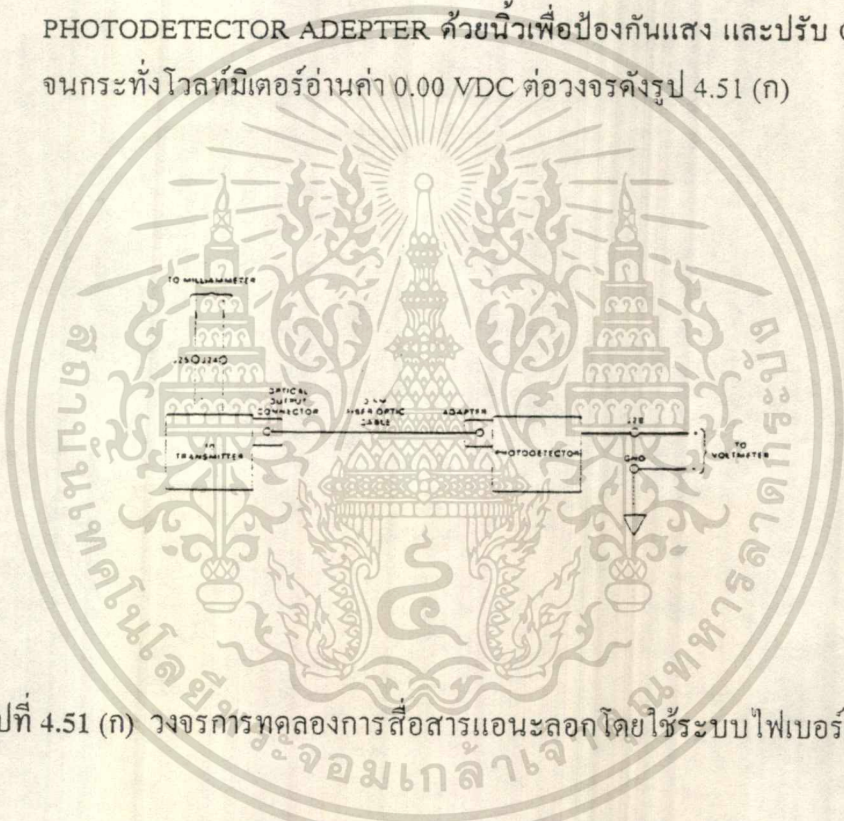
4.7 การทดลอง FIBER OPTIC

ตอนที่ 1 การสื่อสารแบบอนาล็อกโดยใช้ระบบไฟเบอร์ออปติก

1. เปิดเพาเวอร์ซัพพลาย และปรับให้ได้อาต์พุต +8 VDC และ -8 VDC โดยยังไม่ต่อแหล่งจ่ายให้ชุดทดลองปิดเพาเวอร์ซัพพลาย และต่อเพาเวอร์ซัพพลายกับชุดทดลองดูชี้ให้เห็นใจแล้วจึงเปิดเพาเวอร์ซัพพลาย

2. ที่วงจร PHOTO DETECTOR ปรับ CAL ADJ ไปตามเข็มนาฬิกา

3. ต่อ DC Voltmeter range 0.5 VDC ระหว่างจุด J28 กับ GND ปิด PHOTODETECTOR ADAPTER ด้วยนิ้วเพื่อป้องกันแสง และปรับ OFFSET ADJ จนกระทั่งโวลต์มิเตอร์อ่านค่า 0.00 VDC ต่อวงจรดังรูป 4.51 (ก)



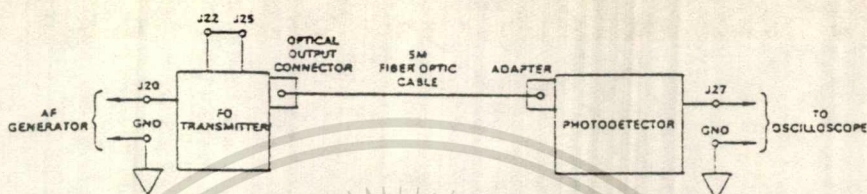
รูปที่ 4.51 (ก) วงจรการทดลองการสื่อสารแอนะลอกโดยใช้ระบบไฟเบอร์ออปติก

4. ที่ FO TRANSMITTER ปิดสวิตช์ S1 ปรับ FORWARD ADJ CURRENT ADJ FINE และ COARSE ทวนเข็มนาฬิกา

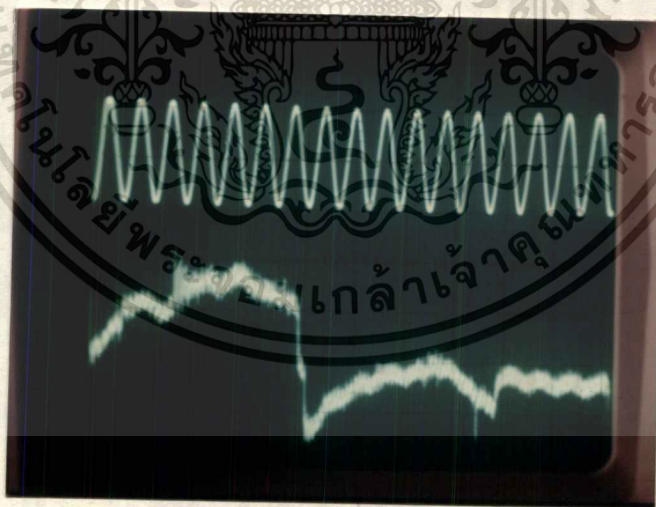
5. เปิดสวิตช์ S1 ปรับ FORWARD CURRENT ADJ COARSE จนกระทั่งแอมป์มิเตอร์อ่านค่า 30 mA เป็นกระแสฟอร์เวิร์ด IF ถ้าจำเป็นให้ปรับ FINE ให้ได้กระแส 30 mA ซึ่งมีค่าตรงกับ 30 μ W ของ Transmitter optical power และใช้ค่านี้ในการคำนวณสำหรับ PHOTODETECTOR Trainer

6. ปรับ CAL ADJ ที่วงจร PHOTODETECTOR ให้ได้แรงดัน 0.6 VDC โดยวัดที่จุด J28 กับ GND

7. ต่อยวงจรตามรูปที่ 4.51 (ข)



รูปที่ 4.51 (ข) วงจรการทดลองการสื่อสารแอนะล็อกโดยใช้ระบบไฟเบอร์ออปติก



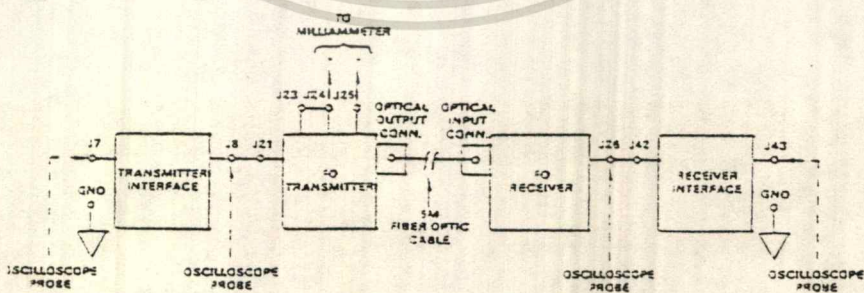
รูปที่ 4.52 สัญญาณเอาต์พุตที่จุด J27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ทิวจร FO TRANSMITTER เปิดสวิตช์ S1 ปรับ AF GEN ให้ได้เอาต์พุตเป็นสัญญาณไซน์ความถี่ 1.0 kHz, 10 V_{p-p} ให้ออสซิลโลสโคป วัดสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต
9. วัดค่าแรงดัน E_o ที่ AC PHOTODETECTOR เอาต์พุตที่จุด J27 ได้ 1 V_{p-p}
10. ตรวจสอบรูปคลื่นเอาต์พุตที่ถูกลดทอนไปหรือเปลี่ยนแปลงจากรูปคลื่นสัญญาณอินพุตอย่างไร วงจรถูกออกแบบให้มีการลดทอนต่ำสุด แต่ขนาดอาจถูกลดทอนได้บ้าง
11. ลดแอมป์ปลิจูดของสัญญาณอินพุตลงที่ 0 V สังเกตรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตมีการลดทอนของสัญญาณหรือไม่ จากสัญญาณเล็ก ๆ ที่ขนาดค่า ๆ อาจทำให้เอาต์พุตมีขนาดลดลง
12. ปรับสัญญาณอินพุตใหม่เป็น 10 V_{p-p} ให้ค่าความถี่ของแหล่งกำเนิด AF จากประมาณ 0.3 ไปถึง 4.0 kHz ชั่วครู่หนึ่ง สังเกตดูเอาต์พุต ว่าเมื่อความถี่เปลี่ยนไปมีผลต่อการลดทอนของสัญญาณหรือไม่ อธิบายนั่นคือสัญญาณเอาต์พุตจะไม่ถูกลดทอน
13. ปรับแหล่งจ่ายแรงดันไปที่ศูนย์ และนำวงจรทดสอบออก

ตอนที่ 2 การสื่อสารโดยส่งแรงดันไฟตรงผ่านระบบดิจิทัลไฟเบอร์ออปติก

1. ยังไม่ต่อ power supply ให้กับชุดฝึก เปิด supply ปรับแรงดันให้ได้ +, - 8VDC ปิด supply แล้วต่อแหล่งจ่ายเข้ากับชุดฝึก ตรวจสอบให้แน่ใจ จึงเปิด power supply ได้
2. ประกอบวงจรตามที่แสดงในรูปที่ 4.53



รูปที่ 4.53 วงจรการส่งแรงดันไฟตรงผ่านไฟเบอร์ออปติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตั้ง S1 ของชุดส่ง และ S2 ของชุดรับ ให้อยู่ในตำแหน่ง ON ปรับ CURRENT ADJ COARSE และ FINE ให้อยู่ในตำแหน่งสุดตามเข็มนาฬิกา

4. ต่อสายโพรบของออสซิลโลสโคปเข้ากับจุด J7 ปรับ DC LEVEL ของชุด TRANSMITTER INTERFACE โดยการหมุนตัวต้านทานปรับค่าได้ สังเกตการเปลี่ยนแปลง หน้าจอออสซิลโลสโคป จะมีแรงดันเปลี่ยนแปลงจาก 0 ถึง 1 VDC

5. ปรับตัวต้านทาน DC LEVEL ADJ ให้ SCOPE อ่านค่าได้ E_{in} 0.5 V DC

6. ใช้ SCOPE จับที่จุด J8 เพื่อวัดความถี่ของพัลส์ที่เกิดขึ้น มีความถี่ 590 Hz

7. ใช้ SCOPE จับที่จุด J26 และวัดความถี่ที่เกิดขึ้นว่าเหมือนกับที่จุด J8 หรือไม่ อธิบาย จะมีความถี่เท่ากันประมาณ 590 Hz คือสัญญาณที่ J8 พัลส์ของแสงจะถูกเปลี่ยนกลับมาเป็น สัญญาณไฟฟ้า

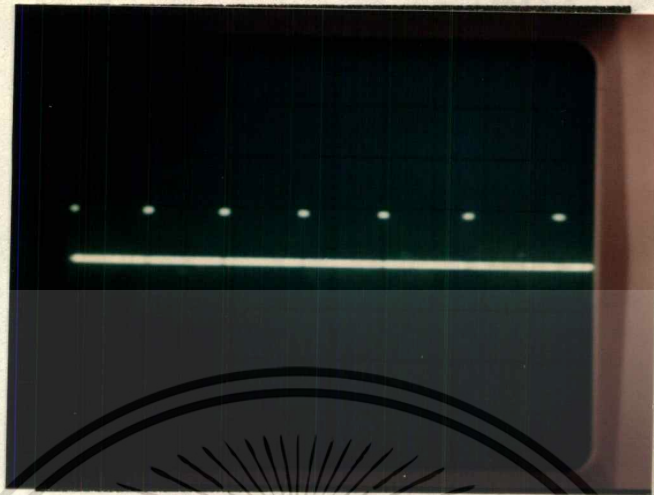
8. ใช้ SCOPE จับที่จุด J43 และวัดแรงดันที่ได้เปรียบเทียบกับจุด J7 มีค่าเท่ากันหรือไม่ อธิบายมีค่าเท่ากันโดยหลักการแปลงความถี่เป็นระดับแรงดัน

9. ทำซ้ำตามข้อ 4 ถึง 8 ภายใต้การกำหนดตามตารางที่ 4.1

E_{IN}	$F_{O(T)}$	$F_{O(R)}$	E_o
0.25 V _{DC}	250 Hz	250 Hz	0.25 V _{DC}
0.50 V _{DC}	500 Hz	500 Hz	0.50 V _{DC}
0.75 V _{DC}	750 Hz	750 Hz	0.75 V _{DC}
1.00 V _{DC}	1 kHz	1 kHz	1.00 V _{DC}

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพของการส่งแรงดันไฟตรงบนสายไฟเบอร์อปติก

10. เปรียบเทียบค่าจากตาราง 4.1 จากการเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลและอธิบาย ประสิทธิภาพของการส่งแรงดัน DC ไปบนสายไฟเบอร์อปติก

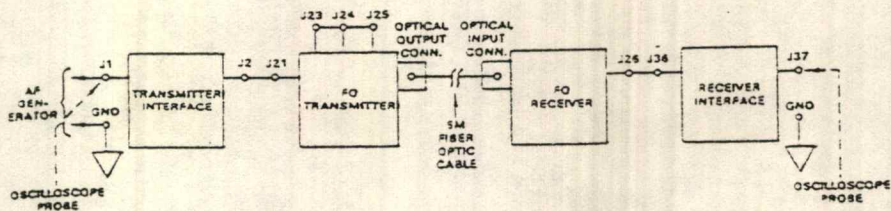


รูปที่ 4.54 เปรียบเทียบสัญญาณที่จุด J26 กับ J8

11. ปิด power supply และถอดออกจากชุดฝึก

ตอนที่ 3 การทดลองให้เห็นถึงประโยชน์ของสัญญาณพัลส์ที่คิดว่าสัญญาณที่มีความต่อเนื่องของการเชื่อมต่อที่มีระยะทางเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

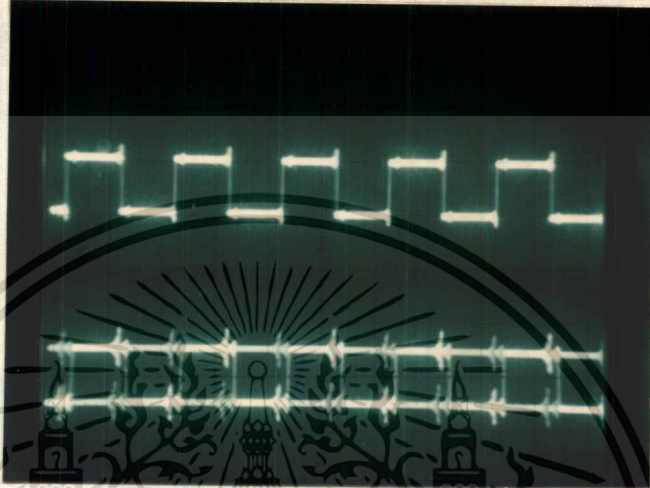
1. ยังไม่ต่อ power supply ให้กับชุดฝึก ปิด supply ปรับแรงดันให้ได้ $\pm 8V$ DC ปิด supply แล้วต่อแหล่งจ่ายเข้ากับชุดฝึก ตรวจสอบให้แน่ใจ จึงเปิด power supply ได้
2. ประกอบวงจรที่แสดงไว้ดังรูปที่ 4.55



รูปที่ 4.55 การวัดสัญญาณพัลส์เปรียบเทียบสัญญาณที่มีความต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ปรับ FORWARD CURRENT ADJ FINE และ COURSE TRANSMITTER ให้ไปตามเข็มนาฬิกาจนสุด ลดกระแส FORWARD CURRENT (IF) ของเครื่องส่งลง จนปรากฏรูปคลื่นที่จุด J37 ให้ได้สัญญาณ square ตามที่ได้จ่ายเข้ามาทางอินพุต



รูปที่ 4.56 สัญญาณอันเนื่องมาจากกระแส IF ที่จุด J37

5. ถอด J23, J24 และ J25 ออกโดยการนำไปต่อกับ DC มิลลิแอมป์มิเตอร์ ระหว่างจุด J24 และ J25 โดยเพิ่ม J24 เข้าไปต่อกับ J25 กระแสที่ได้จากมิเตอร์จะเทียบเท่ากับกระแส IF ความถี่ 100 kHz square wave จะกำหนดให้มิเตอร์แสดงผลออกมา วัด และบันทึกกระแสเพื่อศึกษากระแส IF ของส่วนที่เป็นสัญญาณ square wave ซึ่งมีผลโดยตรงกับเครื่องส่ง ปริมาณกระแส forward = 5 mA

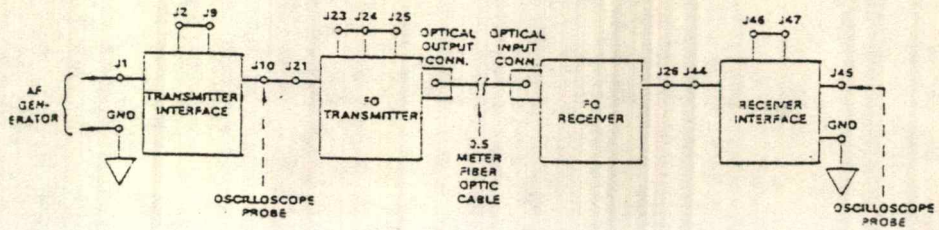
6. คำนวณกระแสเฉลี่ย (A1) ที่ความถี่ 100 kHz square wave โดยใช้ค่า ON CURRENT ในข้อ 3 คำนวณตามสูตร ดังนี้ $I_A = I_F \cdot \text{duty cycle}$ ค่า duty cycle ของสัญญาณ square wave มีค่า = 50% หรือ (0.5) ค่ากระแสเฉลี่ย $I_A = 2.5 \text{ mA}$

7. คำนวณค่ากระแสสูงสุด ซึ่งให้ค่า 10% ของ duty cycle และใช้ค่ากระแสเฉลี่ยในข้อ 6 มาคำนวณตามสูตร

$$I_p = I_A / \text{duty cycle} = 2.5 / 0.1 = 25 \text{ mA}$$

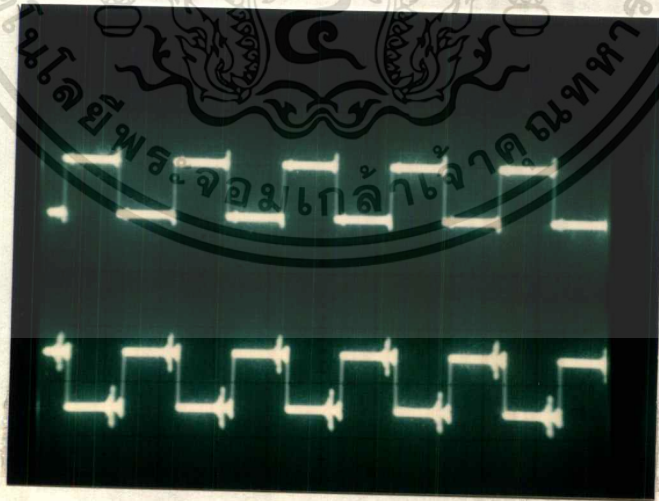
8. ค่าของ FORWARD CURRENT ADJ เพื่อคำนวณหาค่าของ I_p ต่อไปประกอบวงจรใหม่ตามรูปที่ 4.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.57 การวัดสัญญาณพัลซ์เปรียบเทียบสัญญาณที่มีความต่อเนื่อง

9. ปรับ duty cycle adj ของชุด TRANSMITTER INTERFACE จนกระทั่งได้เอาต์พุตที่ J10 ให้มีค่า duty cycle 10% สังเกตรูปคลื่นที่จุด J45 บนออสซิลโลสโคปการทำให้ระบบของ fiber optic ทำงานที่ค่าเฉลี่ยกำลัง โดย duty cycle 10% ที่ความถี่ 100 kHz ทำให้เกิดอะไรขึ้น จงอธิบาย ค่ากำลังสูงสุดของพัลซ์แคบๆเพิ่มขึ้นแต่ค่ากระแสเฉลี่ยจะยังคงเหมือนเดิม



รูปที่ 4.58 สัญญาณอันเนื่องมาจากค่า duty cycle ลดลง 10% ที่จุด J45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. คำนวณค่า power ของเครื่องส่ง PT (dBm) โดยใช้สูตร และใช้กระแส forward current 800 mA (เป็นค่าเฉลี่ย = 80 mA ที่ 10% ของ duty cycle ทำกับค่าของ 800 μ F ของ optical power $PT \text{ (dBm)} = 10 \log PT \text{ (}\mu\text{W)} / 1000 = 10 \log 800 / 1000 = 0.969 \text{ dBm}$

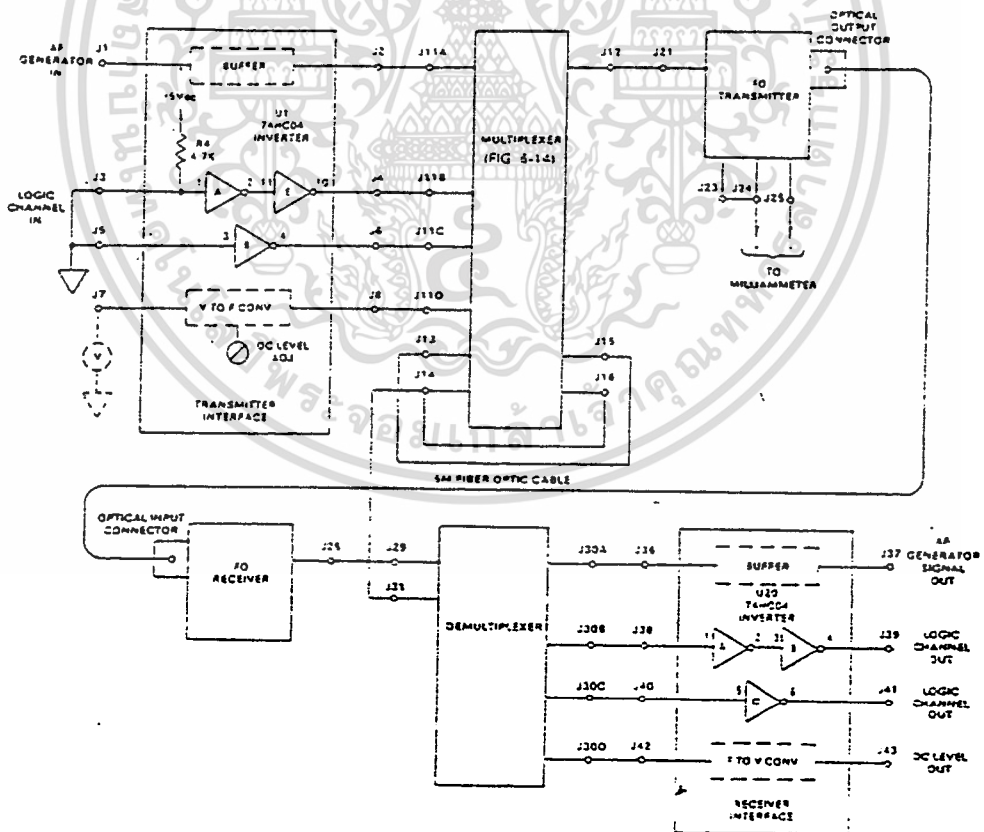
11. ใช้สูตรข้างล่างคำนวณค่าความยาวสูงสุดที่เครื่องส่งสามารถส่งได้ค่า PT (dBm) ในข้อ 9 มีค่า = (-0.969) dBm จากสูตร $1 = [PT(\text{dBm}) - PR(L)(\text{dBm})] / \alpha_0(\text{dBm}) = 86.17 \text{ m}$

12. ปิด power supply และถอดออกจากวงจร

ตอนที่ 4 การทำงานของระบบ TDM โดยเชื่อมต่อด้วยสายไฟเบอร์อปติก

1. ยังไม่ต่อ power supply ให้กับชุดฝึก ปรับ supply ให้มีค่า +8 V DC และ -8 VDC ปิด supply ต่อ supply ให้กับชุดฝึก ตรวจสอบให้แน่ใจแล้วจึงเปิด power supply

2. ประกอบวงจรตามรูปที่ 4.59



รูปที่ 4.59 การเชื่อมต่อการทำงานของระบบ TDM ด้วยสายไฟเบอร์อปติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตั้ง TRANSMITTER S1 และ RECEIVER S2 ให้อยู่ในตำแหน่งเปิด ต่อ J12 และ J21 เข้าด้วยกัน ต่อ J21 ลง GND ปรับ FORWARD CURRENT COARSE และ FINE โดยการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ใช้ milliammeter อ่านค่าให้ได้ค่า +60 mA ถอด J21 ออกจาก GND และต่อ J21 กับ J12

4. ต่อสายวัดของ scope เข้าที่ J15 กับ GND และปรับความถี่ให้ได้ 128 kHz

5. ปรับ AF generator ให้ได้ค่า 1 kHz, $5V_{p-p}$ square wave ที่อินพุต J1 ใช้ฮอสซิลโลสโคปวัด

6. ปรับ TRANSMITTER INTERFACE DC LEVEL ADJ POTENTIOMETER ให้มีค่า 1.0 VDC ที่ J7 โดย Scope

7. ตรวจสอบทางด้านอินพุต J3 และ J5 ว่าต่อไว้ที่กราวด์แล้วหรือยัง

8. นำสายโพรบของฮอสซิลโลสโคปวัดเอาต์พุตที่ J37 ปรับ DEMULTIPLEXER PHASE ADJ จนกระทั่งได้สัญญาณสแควเวฟ 1 kHz

9. ต่อโวลต์มิเตอร์เข้ากับชุดฝึก transmitter interface ที่ J7 และปรับ DC LEVEL ADJ ให้โวลต์มิเตอร์อ่านค่าได้ 0.5 VDC จะเกิดอะไรขึ้นในส่วนของเอาต์พุตที่ J43 ของชุด RECEIVER INTERFACE จะได้ค่าแรงดันประมาณ 0.7 Vdc เท่ากันกับที่จุด J7

10. ต่อโวลต์มิเตอร์ที่ J39 ค่าเอาต์พุตจะเป็นค่าเดียวของ 2 ช่องดิจิตอล นำกราวด์ออกจากจุด J3 สังเกตที่โวลต์มิเตอร์ ระดับลอจิกที่โวลต์มิเตอร์จะเป็นอย่างไรเมื่อถอดกราวด์ออกจอร์บาย ระดับลอจิกจะเปลี่ยนจาก “0” เป็น “1” คือแรงดัน 5 Vdc เมื่อถอดกราวด์ออก

11. นำกราวด์ออกจาก J5 และต่อ J5 กับระดับแรงดันลอจิก “1” ที่ J3 ระดับลอจิกของช่องที่ 2 ของดิจิตอลที่ J41 เอาต์พุตที่ได้เป็นอย่างไร จะมีสภาวะลอจิกเหมือนกับอินพุตคือลอจิก “1”

12. ปรับค่าแหล่งจ่ายไฟให้เป็น 0 จบการทดลอง

หมายเหตุ : power supply ของชุดฝึกอาจใช้ power supply ที่มีแรงดัน +15 VDC แทนได้ซึ่งหาได้ง่ายกว่า มันสามารถใช้อินพุตที่เป็นสัญญาณดิจิตอลเข้าที่ J3 และ J5 และ ที่ J39 กับ J41 จะเป็นทางออกของลอจิกของระบบไฟเบอร์ออปติกซึ่งสามารถต่อกับ Modulation decoder สำหรับการสื่อสารแบบทิศทางเดียว

บทที่ 5

บทสรุปปัญหา แนวทางแก้ไขและการพัฒนา

5.1 บทสรุป

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารได้มีการพัฒนามากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะระบบการสื่อสารดิจิทัล ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำได้จัดทำชุดทดลองระบบสื่อสารดิจิทัลผ่านเส้นใยแสง เพื่อต้องการให้รู้พื้นฐานก่อนที่จะเข้าใจถึงรายละเอียดมากยิ่งขึ้น ที่ประกอบด้วย PCM, PAM, DELTA MODULATON ทั้ง ส่วน 3 นี้ต้องการให้รู้ถึงการนำสัญญาณแอนะล็อกเข้ามาแซมปลิง ควอนไทซ์ และเข้ารหัส แล้วส่งออกไปทางค่านรับทำการถอดรหัสออกมา ในส่วน FSK ASK PSK MODULATION และ DEMODULATION ให้รู้ถึงการนำสัญญาณดิจิทัลเข้ามาถอดสัญญาณพหุค่า แล้วทำการตีความสัญญาณ เพื่อต้องการสัญญาณดิจิทัลกลับคืนมา และส่วนสุดท้าย FIBER OPTIC เป็นการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแสงดูผลการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเป็นอย่างไร

5.2 ปัญหาในการทดลอง

1. ชุดทดลองของ PCM สัญญาณเอาต์พุตไม่เป็นดิจิทัล ได้ทำการแก้ไขโดยเปลี่ยนตัวต้านทานคร่อมขา 15 และขา 14 ของ IC 145557 เป็น 100 K
2. ชุดทดลองเคลตาสัญญาณป้อนกลับไม่เป็นสัญญาณสามเหลี่ยม ได้ทำการแก้ไขโดยเปลี่ยนตัวเก็บประจุเป็น 0.1 μF
3. ชุดทดลอง FSK สัญญาณดิจิทัลไม่สามารถมอดูเลตได้ แก้ปัญหาโดยตรวจสอบขาของ IC XR2006 .ให้ต่อลงกราวด์
4. ชุดทดลอง ASK และ FSK หาซื้อ IC ที่ใช้ในการทดลองไม่ได้ทำให้ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ
5. IC ที่ใช้ในการทดลองส่วนมากเป็นแบบ CMOS จึงทำให้เกิดการเสียหายได้ง่าย

6. IC MM5437 ไม่สามารถหาซื้อได้ จึงทำการทดลองในภาค NOISE ไม่ได้

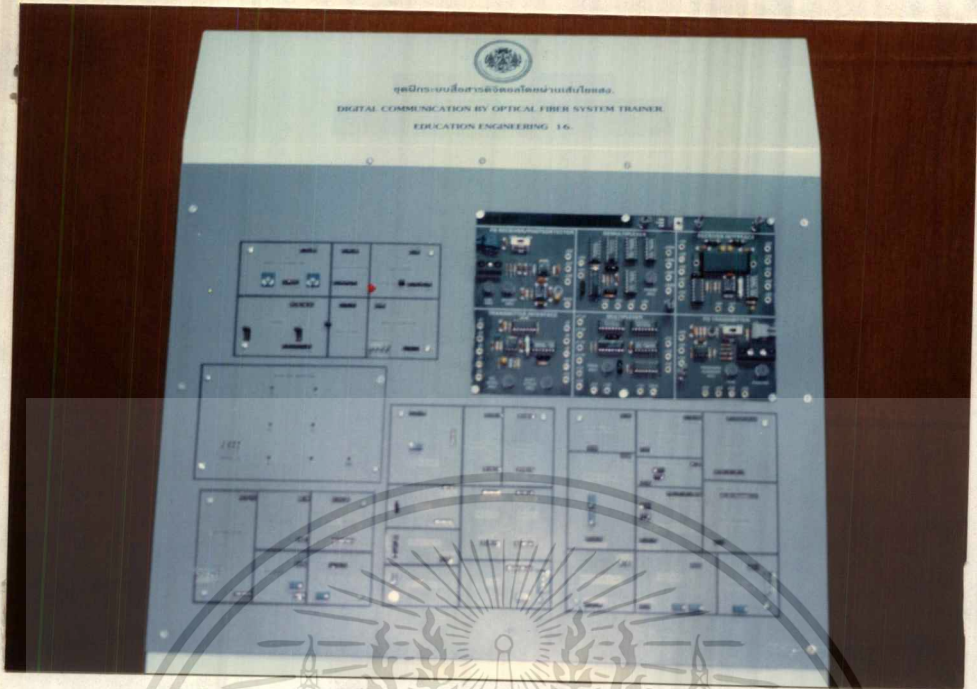
5.3 แนวทางแก้ไขและพัฒนา

1. ชุดทดลอง FSK, ASK และ PSK จะต้องให้มีการตีมอดูเลชันแบบ Asynchonize เพื่อเปรียบเทียบกับแบบ Synchronize
2. ชุดทดลองระบบการสื่อสารผ่านเส้นใยแสงควรมีการเพิ่มการทดลองส่งสัญญาณสื่อสารแบบ 2 ทิศทาง (Duplex)





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.ชุดทดลองสำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 1

การทดลอง PULSE CODE MODULATION (PCM)

จุดประสงค์

1. เพื่อเรียนรู้ และเข้าใจการทำงานวงจร PCM
2. เพื่อเรียนรู้ และเข้าใจผลของสัญญาณแอมพลิจูด

หลักการและทฤษฎี

สัญญาณแอนะล็อกจะถูกเข้าไปเข้ารหัสแบบ PCM เพื่อต้องการสัญญาณดิจิทัล โดยผ่านวงจรแอมป์และค้ำสถานะไว้ซึ่งสัญญาณความถี่ที่ใช้แอมพลิจูดต้องมีค่ามากกว่าเป็นสองเท่าของสัญญาณแอนะล็อก แล้วส่งไปเข้าวงจร ADC เพื่อทำหน้าที่ควอนไทซ์สัญญาณจากนั้นสัญญาณจะถูกส่งออกมาแบบขนาน การถอดรหัสสัญญาณดิจิทัลเป็นการทำงานตรงกันข้ามกับการเข้ารหัสเพื่อต้องการสัญญาณแอนะล็อกกลับคืนมาเมื่อสัญญาณข้อมูลเข้ามาแบบขนานแล้วสัญญาณผ่านเข้าวงจร DAC และขยายสัญญาณแอนะล็อกออกมา

อุปกรณ์การทดลอง

แหล่งจ่ายไฟ

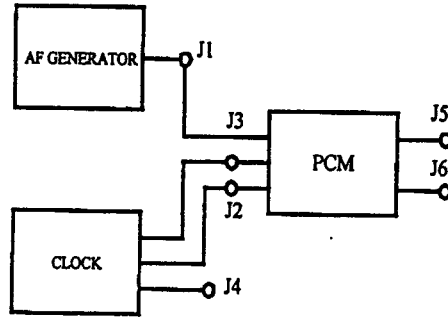
OSCILLOSCOPE

AF GENERATOR

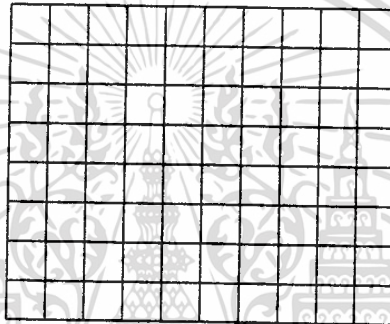
ชุดทดลอง PCM

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ประกอบวงจรตามรูปที่ 1 เปิดแหล่งจ่ายไฟปรับ OSCILLOSCOPE CH1 ที่เอาต์พุตของ PCM ที่จุด J5 บันทึกผลสัญญาณ



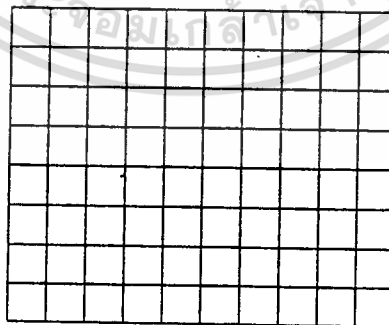
รูปที่ 1.1 ผังการทำงานของวงจร PCM



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 1.2 ผลสัญญาณ PCM

2. นำ PROBE CH2 ไปวัดที่จุด DEMODULATION ที่จุด J6

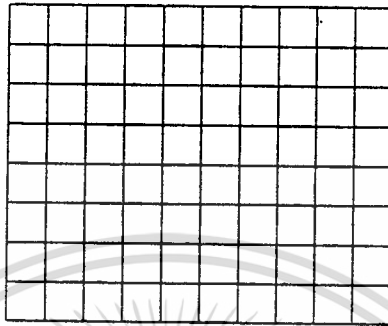


VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 1.3 ผลสัญญาณแอนะล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

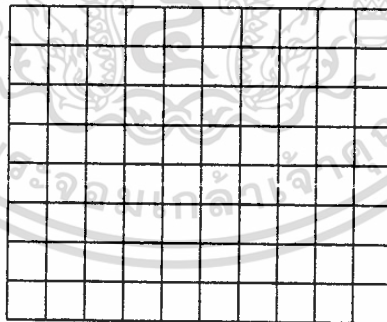
3. ย้ายจุดต่อจาก J2 ไปเป็น J3 และย้าย PROBE จาก J6 ไปที่ J5 บันทึกผลสัญญาณที่ J5 เอาต์พุตของ PCM



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 1.4 ผลสัญญาณ PCM

4. ย้าย PROBE จาก J5 ไปเป็น J6 บันทึกผลการทดลองที่ J6 เป็นเอาต์พุตของ PCM DEMODULATION



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 1.5 ผลสัญญาณแอนะล็อก

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. สัญญาณแหลมปฏิกิริยา มีผลต่อสัญญาณ PCM หรือไม่
2. ในการเข้ารหัสสัญญาณ PCM มีกี่แบบ



ใบงานที่ 2

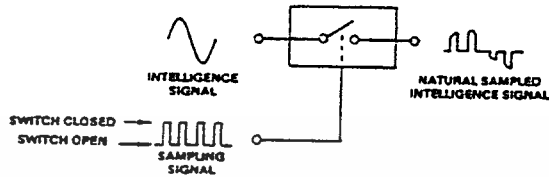
การทดลอง PULSE AMPLITUDE MODULATION (PAM)

จุดประสงค์

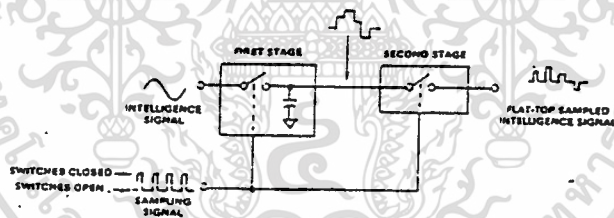
1. เรียนรู้ และเข้าใจการทำงานของวงจร PCM
2. เรียนรู้หลักการกำเนิดสัญญาณ PAM
3. เรียนรู้หลักการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ PAM แบบ TDM
4. เรียนรู้หลักการคิมอดูเลตของสัญญาณ PAM

ทฤษฎีและหลักการ

ในการส่งสัญญาณข้อมูลดิจิทัล การแชนเปลิ่งมีความสำคัญมาก เพราะต้องการให้สัญญาณนั้นมีการผิดเพี้ยนน้อยที่สุด เมื่อสัญญาณไปถึงผู้รับ ซึ่งความถี่ในการแชนเปลิ่งสัญญาณต้องมีค่ามากกว่าความถี่สูงสุดเป็นสองเท่าของสัญญาณแอนะล็อกที่เข้ามา แต่เมื่อความถี่การแชนเปลิ่งน้อยกว่าทำให้สัญญาณไปถึงผู้รับจะเกิดการผิดเพี้ยนสัญญาณการแชนเปลิ่งแบ่งได้สองแบบแรกเรียกว่า NATURAL SAMPLED ที่ได้นำหลักการใช้สวิทช์เปิดเอาต์พุตเป็นศูนย์โวลต์ และเมื่อสวิทช์ปิดเอาต์พุต มีค่าเท่ากับสัญญาณแอนะล็อกที่ผ่านเข้ามา ดังรูปที่ 2.1 แบบที่สองเรียกว่า FLAT-TOP SAMPLED ที่มีการทำงานดังรูปที่ 2.2 โดยขั้นแรกจะทำการ SAMPLE/HOLD ของระดับสัญญาณแอนะล็อกไว้ โดยตัวเก็บประจุ และเมื่อสัญญาณผ่านขั้นที่สอง เมื่อสวิทช์เปิดทางเอาต์พุตจะเป็นศูนย์ เมื่อสวิทช์ปิดทางค่านเอาต์พุตจะมีค่าตามขั้นที่หนึ่ง ดังนั้นกระบวนการแชนเปลิ่งจึงเป็นการกำเนิดสัญญาณ PAM



รูปที่ 2.1 หลักการแซมปลิงแบบ NATURAL



รูปที่ 2.2 หลักการแซมเปิ้ลแบบ FLAT-TOP

วัสดุและอุปกรณ์

แหล่งจ่ายไฟ

OSCILLOSCOPE

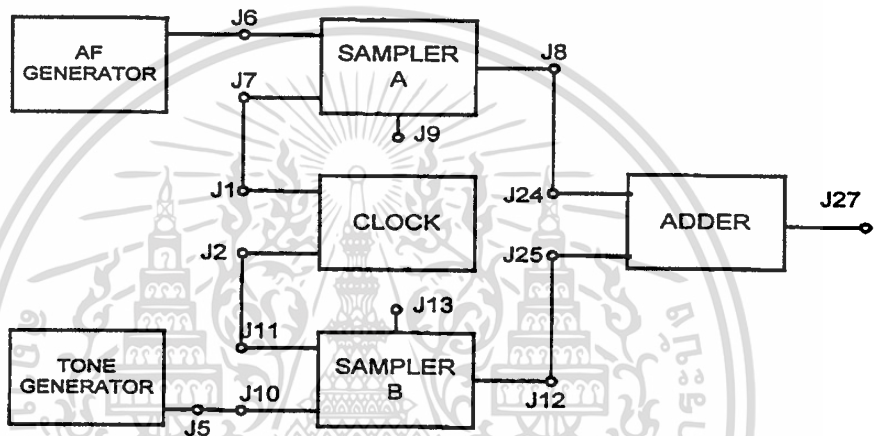
AF GENERATOR

ชุดทดลอง PAM

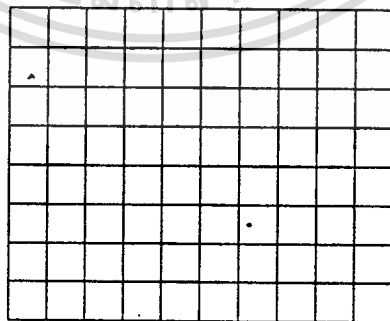
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 2.3 เปิดแหล่งจ่ายไฟปรับ FREQUENCY ADJUST ให้มีสัญญาณพัลส์นาฬิกา 12 KHz ที่ J1 แล้วปรับ AF GENERATOR มี 1 KHz 3 V_{p-p} ไซน์เวฟที่ J6 ของ PROBE CH1 และปรับวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์เวฟหลักมีความถี่ 800 Hz ที่ J5 ต่อ PROBE CH 2 ไปที่ J5 บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 2.3 ผังการทำงานของวงจร PAM

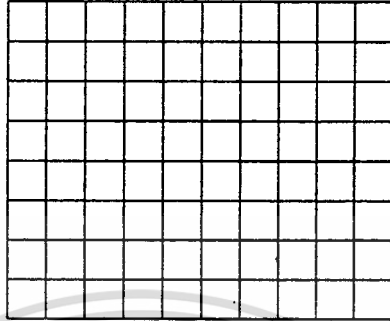


VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 2.4 ผลของสัญญาณแอนะล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

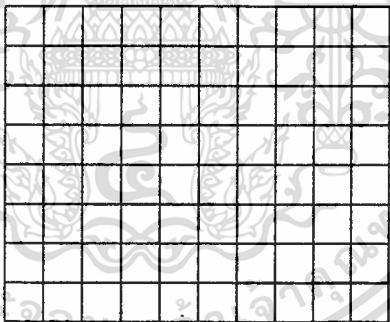
2. ย้าย PROBE CH 1 จาก J6 ไปที่ J8 บันทึกผลการทดลอง



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 2.5 ผลของสัญญาณแฉมเบิ้ล A

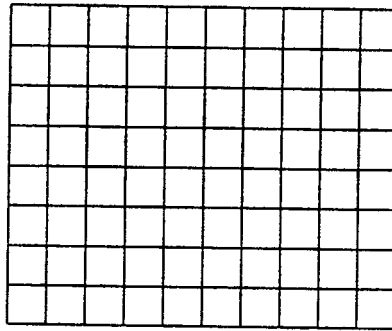
3. ย้าย PROBE CH 1 จาก J8 ไปที่ J12 บันทึกผลการทดลอง



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 2.6 ผลของสัญญาณแฉมเบิ้ล B

4. ย้าย PROBE CH 1 จาก J12 ไปที่ 27 บันทึกผลการทดลองสัญญาณ TDM

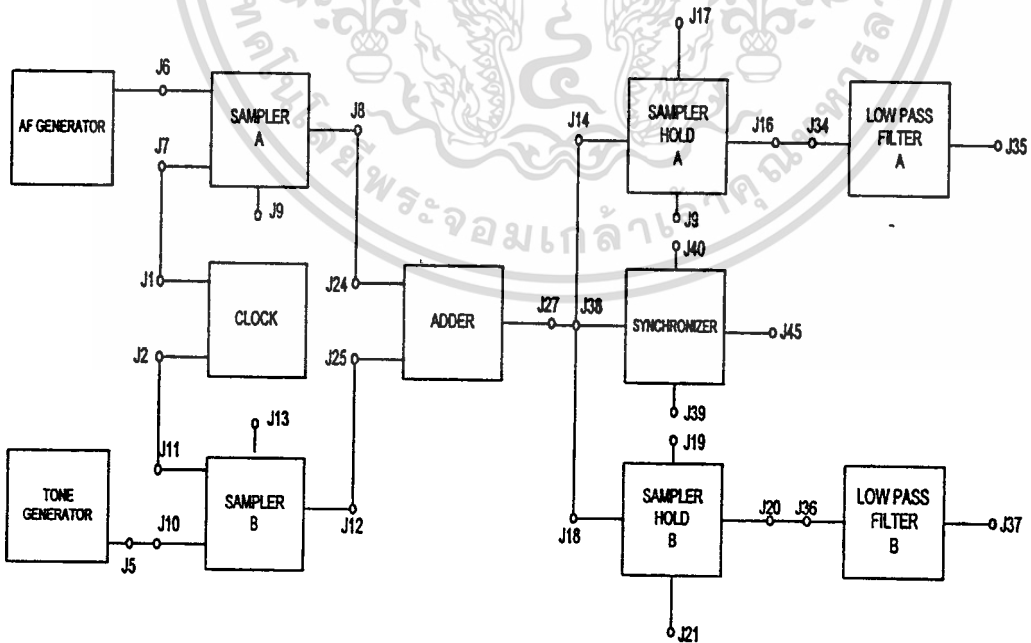


VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 2.7 ผลของสัญญาณ TDM

ตอนที่ 2

1.ต่อวงจรตามรูปที่ 2.8 ต่อแหล่งจ่ายไฟ, OSCILLOSCOPE, AF- GENERATOR ให้มีเอาต์พุต 1KHz 3Vp-p ที่ J6 กับวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์เวฟหลัก, มี 800 Hz ที่ J5 และปรับ FREQUENCY ADJUST ให้มีสัญญาณพัลส์นาฬิกา 12 KHz ที่ J1 และต่อ PROBE CH 1 ที่ J38 บันทึกผลการทดลอง

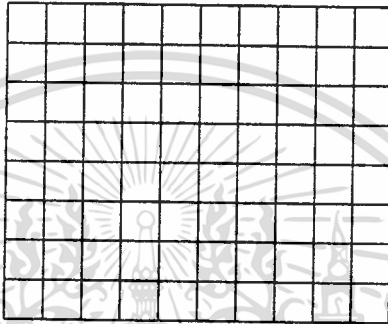


รูปที่ 2.8 ฝั่งการทำงานของวงจร PAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

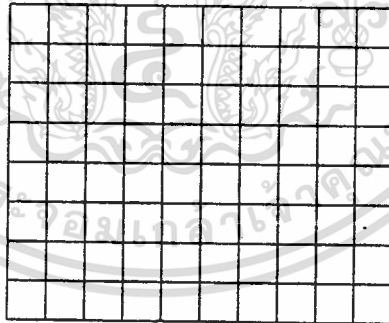
2. ย้าย PROBE CH 1 จาก J38 ไปที่ J45 ต่อ PROBE CH 2 ที่ J1 จากนั้นปรับ FREQUENCY ADJUST ให้สัญญาณเอาต์พุตทั้งสองมีเฟสต่างกัน 90 องศา จากนั้นย้าย PROBE CH 1 จาก J45 ไปที่ J40 ปรับ ADJUST PHASE ให้สัญญาณทั้งสองเฟสตรงกัน

3. ย้าย PROBE CH 1 จาก J40 ไปที่ J35 และย้าย PROBE CH 2 จาก J1 ไปที่ J37 บันทึกผลการทดลอง



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 2.9 ผลของสัญญาณแอมพล็อก A



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 2.10 ผลของสัญญาณแอมพล็อก B

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. ความถี่แชนเปลิ่งมีผลต่อการกำเนิดสัญญาณ PAM หรือไม่
2. การซงกโกรไนซ์ของสัญญาณมอดูเลต และการคีมอดูเลตมีผลอย่างไร
3. การทำมัลติเพล็กซ์แบบ TDM มีวิธีการอย่างไร



ใบงานที่ 3

การทดลอง DELTA MODULATION และ DEMODULATION

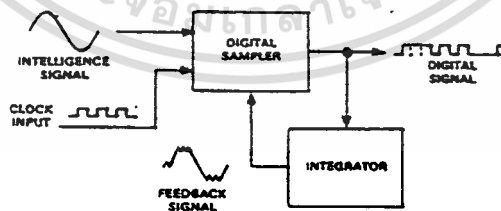
จุดประสงค์

1. เรียนรู้ถึงการเข้ารหัสเคลตตามออดูเลตด้วยวงจรอินทิเกรเตอร์ 1 กับวงจรดิจิตอลแชนเนล
2. เรียนรู้ถึงผลของสัญญาณพัลซที่มีผลต่อการเข้ารหัส และถอดรหัสเคลตตามออดูเลต
3. เรียนรู้ถึงวิธีการถอดรหัสเคลตตามออดูเลต

ทฤษฎีและหลักการ

มีวิธีการหลายอย่างของการมอดูเลตสัญญาณดิจิตอล โดยการเปลี่ยนสัญญาณเดิมเป็นอีกสัญญาณหนึ่ง เรียกว่าเคลตตามออดูเลต

การเข้ารหัสเคลตตามออดูเลต เป็นกระบวนการแชนเนล ควอนไทซ์ และเข้ารหัสสัญญาณเดิมในสัญญาณดิจิตอลดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 หลักการของมอดูเลตเคลตตามออดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่ระดับแรงดันสัญญาณเดิมถูกเปรียบเทียบกับสัญญาณป้อนกลับ (FEEDBACK SIGNAL) ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบถูกควอนไทซ์ และเข้ารหัสอยู่ในลักษณะสถานะ 1 กับสถานะ 0 ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับแรงดัน ถ้าระดับแรงดันสัญญาณป้อนกลับมากกว่าระดับแรงดันสัญญาณเดิม จะได้ระดับสัญญาณสถานะ 0

ดังนั้นในการถอดรหัสสัญญาณ โดยการผ่านวงจรอินทิเกรเตอร์จะได้สัญญาณอินทิเกรต ซึ่งเป็นสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณเดิม จากนั้นผ่านวงจรความถี่ต่ำจะได้สัญญาณเดิมออกมา โดยที่การทำงานของวงจรถอดรหัสไม่ได้ซึ่งคโครไนซ์กับการเข้ารหัส

อุปกรณ์การทดลอง

แหล่งจ่ายไฟ

OSCILLOSCOPE

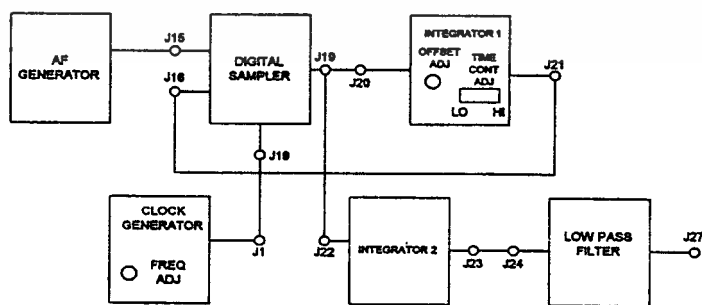
AF GENERATOR

ชุดทดลอง DELTA ENCODING และ DECODING

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1

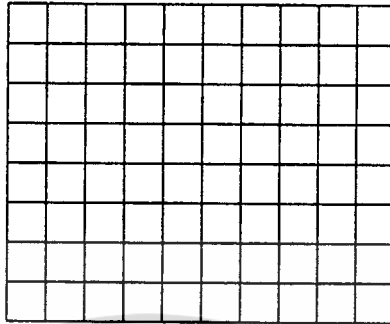
1. ต่อวงจรตามรูปที่ 3.2 ต่อ OSCILLOSCOPE CH 1 ที่ J15 CH 2 ที่ J1 จากนั้นปรับ FREQUENCY ADJUST ให้ได้พัลส์นาฬิกา 32 KHz ที่ J1 และปรับ AF GENERATOR ให้ได้ไซน์เวฟ 800 Hz, 2 V_{p-p} ที่ J15 บันทึกผลของสัญญาณ



รูปที่ 3.2 ผังการทำงานของวงจรมอดูเลตเดลตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

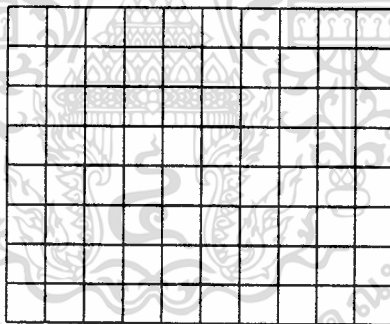
2. ย้าย PROBE CH 1 จาก J15 ไปที่ J17 บันทึกผลสัญญาณ



$$\text{VOLT/DIV} = \text{TIME/DIV} = \text{S}$$

รูปที่ 3.3 ผลของสัญญาณดิจิทัลแชนเนล

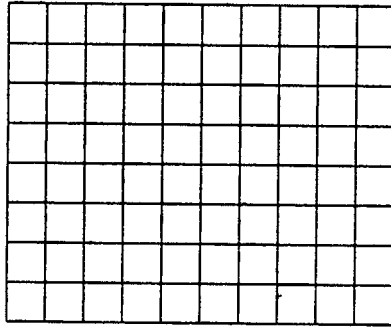
3. ย้าย PROBE CH 1 จาก J17 ไปที่ J21 แล้วปรับให้อยู่ 0.1V/DIV บันทึกผลสัญญาณ ทั้งสองระหว่างอินทิเกรเตอร์ 1 กับอินทิเกรเตอร์ 23



$$\text{VOLT/DIV} = \text{V TIME/DIV} = \text{S}$$

รูปที่ 3.4 ผลของสัญญาณอินทิเกรต

4. ย้าย PROBE CH 1 จาก J21 ไปที่ J27 บันทึกผลของสัญญาณ



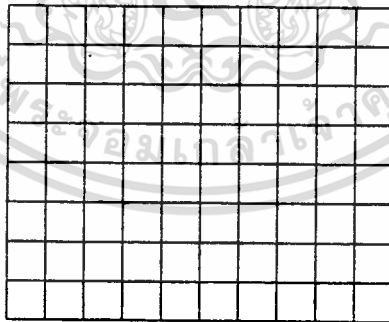
VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 3.5 ผลของสัญญาณแอนะล็อก

ตอนที่ 2

1. ต่อบอร์ดตามรูปที่ 3.2 เปิดสวิตช์แหล่งจ่ายไฟแล้วปรับ OSCILLOSCOPE ทั้ง 2 CH ให้อยู่ 0.1 V/DIV กับ 0.5 ms/DIV จากนั้นปรับ FREQUENCY ADJUST ให้มีพัลส์นาฬิกา 32 KHz ที่ J1 แล้วปรับ AF GENERATOR ได้ไซน์เวฟ 800 Hz 1 V_{p-p} ที่ J15 และปรับ OFFSET ADJUST ให้อินทิเกรเตอร์ 1 ให้อีแอดพุทที่ J23 ของ CH2 มีสัญญาณสมมาตร

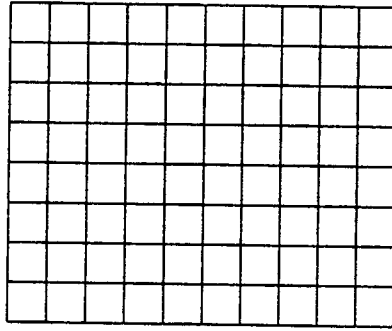
2. ค่อยๆปรับให้ AF GENERATOR มีความถี่ไปที่ 800 Hz, 1.2 KHz, 1.6 KHz และบันทึกผลสัญญาณของเอาต์พุทที่ J23 กับสัญญาณเอาต์พุทที่ J27



CH 1 VOLT /DIV = V CH 2 VOLT /DIV = V

TIME /DIV = ms

รูปที่ 3.6 ผลของสัญญาณดิจิทัลแอมป์กับสัญญาณแอนะล็อกที่ความถี่ 800 Hz

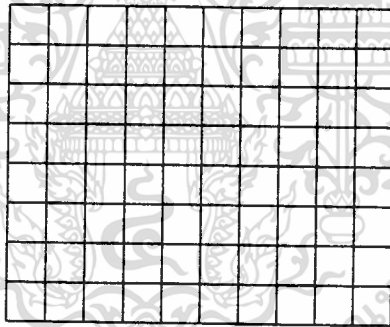


CH 1 VOLT/DIV = V CH 2 VOLT/DIV = V

TIME /DIV = mS

รูปที่ 3.7 ผลของสัญญาณดิจิทัลแชนเนลกับสัญญาณแอนะล็อกที่มีความถี่ 1.2 KHz

3. ผลของสัญญาณดิจิทัลแชนเนลที่ J17 กับสัญญาณแอนะล็อกที่ J27 ของความถี่ 1.6 KHz



CH 1 VOLT/DIV = V CH 2 VOLT/DIV = V

TIME/DIV = mS

รูปที่ 3.8 ผลของสัญญาณดิจิทัลแชนเนลกับสัญญาณแอนะล็อกที่มีความถี่ 1.6 KHz

สรุปผลการทดลอง

.....

คำถามท้ายการทดลอง

- 1.สัญญาณอินทิเกรตมีผลอย่างไรกับสัญญาณดิจิทัลแชนเนล
2. สัญญาณความถี่ AF GENERATOR จะมีผลต่อสัญญาณดิจิทัลแชนเนลหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 4

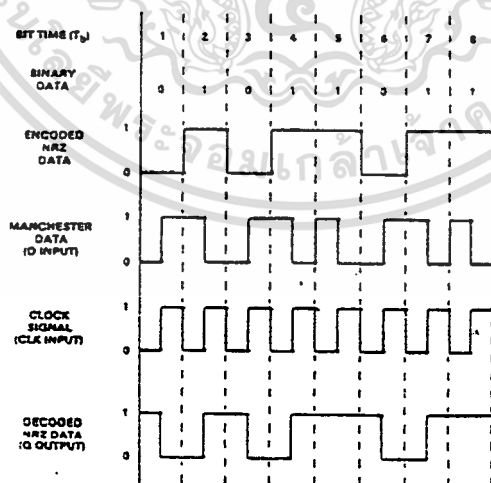
การทดลอง FREQUENCY SHIFT KEYING (FSK)

จุดประสงค์

1. เรียนรู้วิธีการกำเนิดสัญญาณข้อมูล RZ, NRZ และ MANCHESTER
2. เรียนรู้วิธีการมอดูเลต (MODULATION)
3. เรียนรู้วิธีการดีมอดูเลต (DEMULATION)
4. เรียนรู้เกี่ยวกับสัญญาณรบกวน (NOISE) ที่มีผลกระทบต่อ การส่งแบบ FSK

ทฤษฎีและหลักการ

ในการออกแบบระบบสื่อสารข้อมูลในการส่ง และรับสัญญาณที่เป็นสัญญาณดิจิทัล ประกอบด้วยสถานะ 2 สถานะ คือสถานะ 0 กับสถานะ 1 ซึ่งในแต่ละระดับสัญญาณเป็น 1 บิต ซึ่งความเร็วในการส่งข้อมูลจะมีค่าเป็น บอดเลต (BAUDRATE) สัญญาณดิจิทัลที่นิยมนำมาทำรหัสข้อมูลมีหลายแบบด้วยกัน เช่น NRZ, RZ, และ Manchester ดังแสดงในรูปที่ 4.1



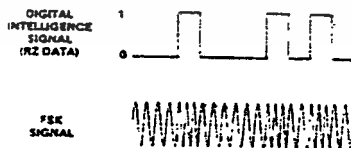
รูปที่ 4.1 รหัสข้อมูลแบบต่างๆ

เมื่อสัญญาณดิจิทัลถูกส่งออกไปในสายส่งในขณะที่มีข้อมูลจำนวนไม่มาก ก็จะสามารถส่งข้อมูลดังกล่าวได้ดี แต่ในงานที่มีความต้องการจำนวนข้อมูล และระยะทางเพิ่มมากขึ้นจึงมีการเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณให้อยู่แบบการมอดูเลต เพื่อจะได้ส่งสัญญาณได้มากขึ้น วิธีการแรก ก็คือการมอดูเลตแบบ FSK ลักษณะการมอดูเลตสัญญาณจะถูกเลื่อนไป (SHIFT) ระหว่าง 2 ความถี่ โดยความถี่แรกจะแสดงเป็น ไบนารี 1 และความถี่ที่เหลือแสดงเป็น ไบนารี 0 ของสัญญาณดิจิทัลซึ่งแอมพลิจูด (AMPLITUDE) ของความถี่จะคงที่ และลักษณะของความถี่แตกต่างกันก็ขึ้นอยู่กับรหัสที่ใช้ในการมอดูเลตดังรูปที่ 4.2



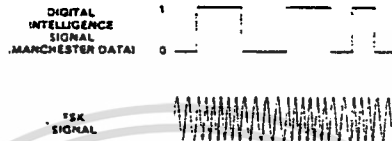
รูปที่ 4.2 รหัสข้อมูลแบบ NRZ

รูปที่ 4.2 รหัสข้อมูลแบบ NRZ จะมีจำนวนลูกคลื่น 6 ลูกคลื่น (CYCLE) ในส่วนที่เป็น ไบนารี 1 หรือความถี่สูง และมีจำนวนลูกคลื่น 4 ลูกคลื่นแสดงเป็น ไบนารี 0 หรือความถี่ต่ำ



รูปที่ 4.3 รหัสข้อมูลแบบ RZ

รูปที่ 4.3 รหัสข้อมูลแบบ RZ จะมีจำนวนลูกคลื่น 4 ลูกคลื่นแสดงเป็นไบนารี 0 และจำนวนลูกคลื่น 2 ลูกคลื่นแสดงเป็นช่วงครึ่งบิตแรก เป็นไบนารี 1 กับอีกจำนวนลูกคลื่น 2 ลูกคลื่นแสดงเป็นไบนารี 0 ของส่วนบิตที่เหลือ



รูปที่ 4.4 รหัสข้อมูลแบบ MANCHESTER

รูปที่ 4.4 รหัสข้อมูลแบบ MANCHESTER ใน 1 บิตแสดงเป็น 2 สภาวะ คือไบนารี 0 กับไบนารี 1 ซึ่งไบนารี 0 จะแสดงจำนวนลูกคลื่น 2 ลูกคลื่น และไบนารี 1 แสดงจำนวนลูกคลื่น 3 ลูกคลื่น

การดีเทกชันดีมอดูเลต (DETECTION DEMODULATION) ของสัญญาณ FSK โดยใช้ วงจรเฟสล็อกกลุ๊ป, วงจรกรองความถี่ต่ำ และวงจรปรับแต่งสัญญาณ (PULSE SHAPE) เพื่อให้ได้สัญญาณดิจิทัลเดิมกลับคืนมา

สัญญาณ FSK ที่เข้ามาเปรียบเทียบกับเฟส (PHASE COMPARATER) ที่อินพุตของเฟสล็อกกลุ๊ป ซึ่งเอาต์พุตจาก VCO (VOLTAGE CONTROLLED OSCILLATOR) ผ่าน เจ-เค ฟลิป-ฟลอปทำให้ซิงค์โครนัสกับความถี่คลื่นพาห้ของ FSK ส่วนการเปรียบเทียบกับเฟส จะทำให้ค่าผิดพลาดของแรงดัน (ERROR VOLTAGE) ในแต่ละเฟสที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาใช้สร้างสัญญาณดิจิทัลเดิมกลับคืนมา โดยผ่านเข้าวงจรกรองความถี่ต่ำทำให้ความถี่สูงถูกกรองออกไปจากนั้นสัญญาณผ่านเข้าวงจรขยาย และปรับแต่งสัญญาณให้เป็นสภาวะ 1 กับสภาวะ 0 ชัดเจน

อุปกรณ์การทดลอง

แหล่งจ่ายไฟ

OCILLOSCOPE

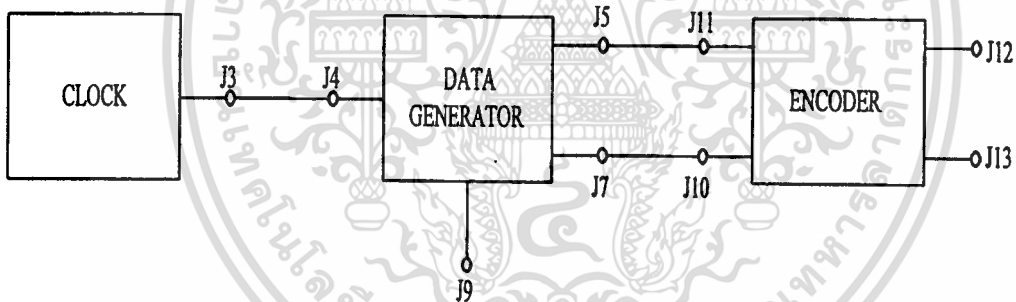
AF GENERATOR

ชุดทดลอง FSK MODULATION และ DEMODULATION

วิธีการทดลอง

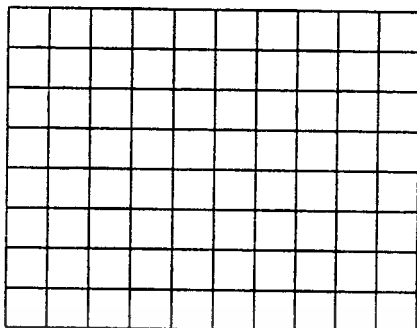
ตอนที่ 1

1. ค่อยๆจรตามรูปที่ 4.5 แล้วปรับความถี่ให้ได้ 32 KHz ที่ J5 แล้วตั้ง OSCILLOSCOPE ทั้ง 2 CH ให้อยู่ 0.5V/DIV จากนั้นปรับความชันให้เป็นตรงกันข้าม แล้วปรับปุ่มต่างๆ ให้สัญญาณแสดงที่หน้าจอบันทึกผลสัญญาณ



รูปที่ 4.5 ผังการทำงานของวงจรเข้ารหัส

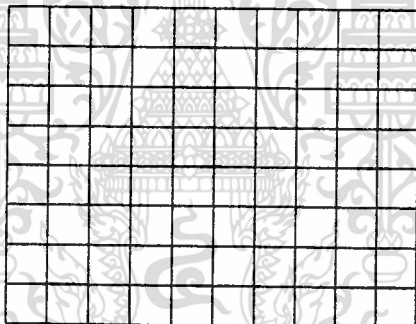
2. ต่อ PROBE CH1 ที่ J7 แล้วเปรียบเทียบสัญญาณ J7 กับ J5 แล้วสังเกตสัญญาณ J7 ว่ามีรหัสข้อมูลแบบ NRZ เป็น 10101111 แล้วดูจำนวนลูกคลื่นของไบนารี 1 กับ 0 บันทึกผลการทดลอง



$$\text{VOLT/DIV} = \quad \text{V TIME/DIV} = \quad \text{S}$$

รูปที่ 4.6 ผลของสัญญาณ CLOCK กับข้อมูลรหัสแบบ NRZ

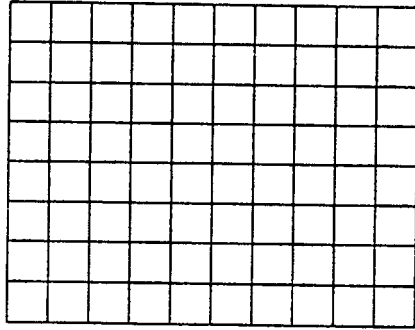
3. ย้าย PROBE CH 2 จาก J7 ไปที่ J8 และ J9 บันทึกผลการทดลอง



$$\text{VOLT/DIV} = \quad \text{V TIME/DIV} = \quad \text{S}$$

รูปที่ 4.7 ผลของสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ NRZ

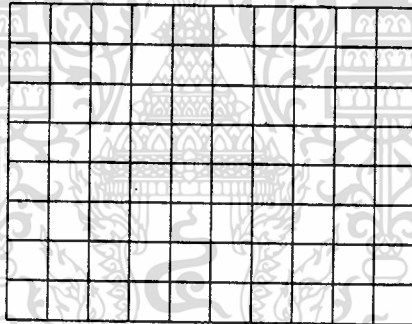
4. ย้ายสาย PROBE CH 2 จาก J9 กลับมาที่ J7 แล้วย้าย PROBE CH 1 จาก J5 ไป J12 แล้วบันทึกผลการทดลอง



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 4.8 ผลสัญญาณรหัสข้อมูลแบบ RZ

5. ย้ายสายต่อระหว่างจุด J5 กับ J11 ไปต่อ J6 กับ J11 แล้วย้าย PROBE CH 1 จาก J12 ไปที่ J13 บันทึกผลการทดลอง

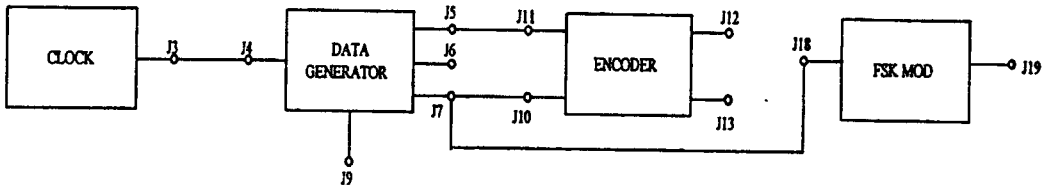


VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 4.9 ผลสัญญาณรหัสข้อมูลแบบ MANCHESTER

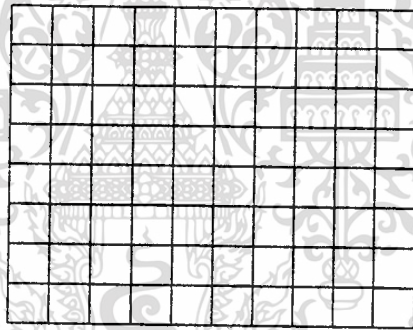
ตอนที่ 2

1. ประกอบวงจรตามรูปที่ 4.10 แล้วปรับ FREQUENCY ADJUST LOW ให้วงจร FSK MOD มีความถี่ 128 KHz ที่ J19 และเปิดวงจรที่ J18 แล้วปรับ FREQUENCY ADJUST- HIGH ให้ FSK MOD มีความถี่ 192 KHz



รูปที่ 4.10 ผังการทำงานของวงจร FSK MOD

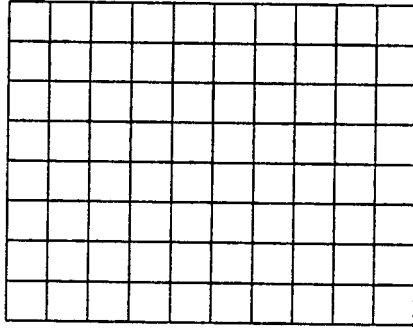
2. ค่อยสายจากจุด J7 ไปที่ J18 และต่อ PROBE CH 1 ที่ J7 ต่อ PROBE CH 2 ที่ J19 แล้วตั้ง CH ทั้งสองให้อยู่ 0.5V/DIV และ 20 μ S/DIV จากนั้นปรับความชันสัญญาณของ OSCILLOSCOPE ให้อยู่ตรงกันข้าม จากนั้นค่อยๆเปลี่ยนความถี่วงจรถูกเนคสัญญาณพัลซ์ให้สัญญาณแสดงออกมาคงที่บน ผี ผลสัญญาณที่ J7 กับ J19



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 4.11 ผลสัญญาณรหัสข้อมูลแบบ NRZ กับสัญญาณ FSK MOD

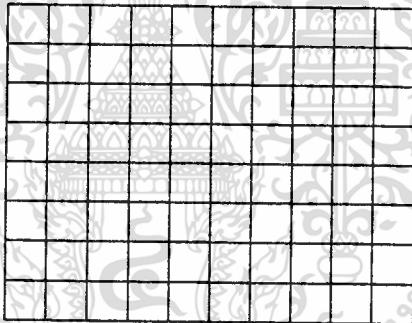
3. ข้ายสายจากจุด J7 กับ J18 ไปเป็น J12 กับ J18 จากนั้นข้าย PROBE CH 1 จาก J7 ไปที่ J12 บันทึกผลการสัญญาณ J12 กับ J18



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 4.12 ผลสัญญาณรหัสข้อมูลแบบ RZ กับสัญญาณ FSK MOD

4. ย้ายสายจากจุด J5 กับ J11 ไปเป็น J6 กับ J11 และจุด J12 กับ J18 ไปเป็น J13 กับ J18 จากนั้นย้าย PROBE CH 1 จาก J12 ไปเป็น J13 บันทึกผลสัญญาณ J13 กับ J18

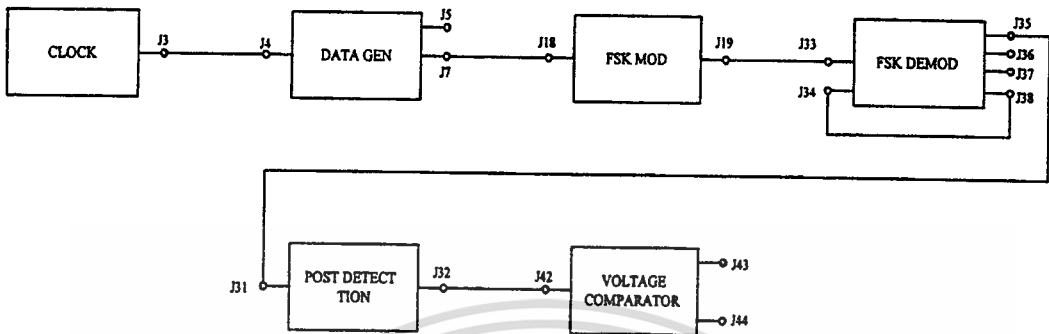


VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

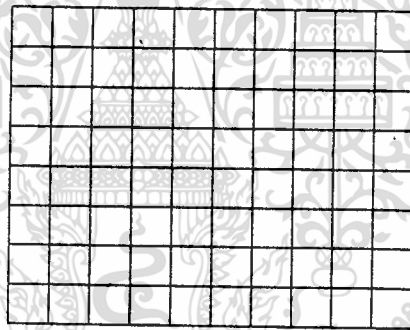
รูปที่ 4.13 ผลสัญญาณรหัสข้อมูลแบบ MANCHSESTER กับสัญญาณ FSK MOD

ตอนที่ 3

1. ต่อกวงจรตามรูปที่ 4.14 แล้วตั้ง CH 1 ที่ J5 ให้อยู่ 20 μ S/DIV และ 0.5 V/DIV จากนั้นปรับแกนนอน และแกนตั้งให้แสดงผลหน้าจอ OSCILLOSCOPE 32 KHz ของ J5 จากนั้นย้าย PROBE CH 1 จาก J5 ไป J33 แล้วเลื่อนสวิตช์ไปที่ DEMOD แล้วต่อ PROBE CH 2 ที่ J34 และบันทึกผลสัญญาณ J33 กับ J34



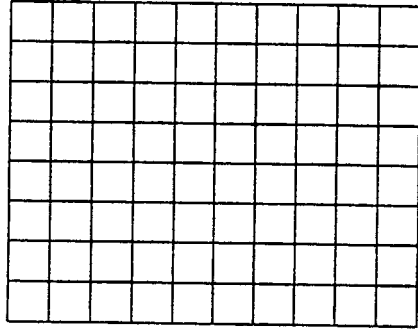
รูปที่ 4.14 ผังการทำงานของวงจร FSK DEMOD



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 4.15 ผลสัญญาณข้อมูล OSCILLATOR กับสัญญาณ VCO

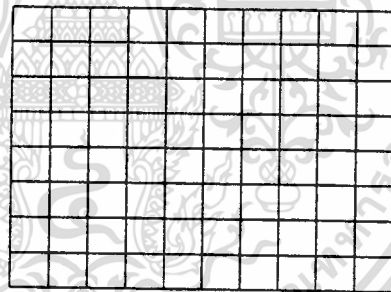
2. ย้าย PROBE CH 2 จาก J34 ไป J35 แล้วปรับที่ 0.2 V/DIV กับ 20 μ S/DIV บันทึกผล



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 4.16 ผลสัญญาณ FSK MOD

3. เลือก BAND SWITCH ของวงจร POST DETECTION FILTER ไปที่ตำแหน่ง LOW จากนั้นย้าย PROBE CH 1 จาก J33 ไปที่เอาต์พุตของวงจร VOLTAGE COMPARATOR ที่ J44 บันทึกผลการสัญญาณ



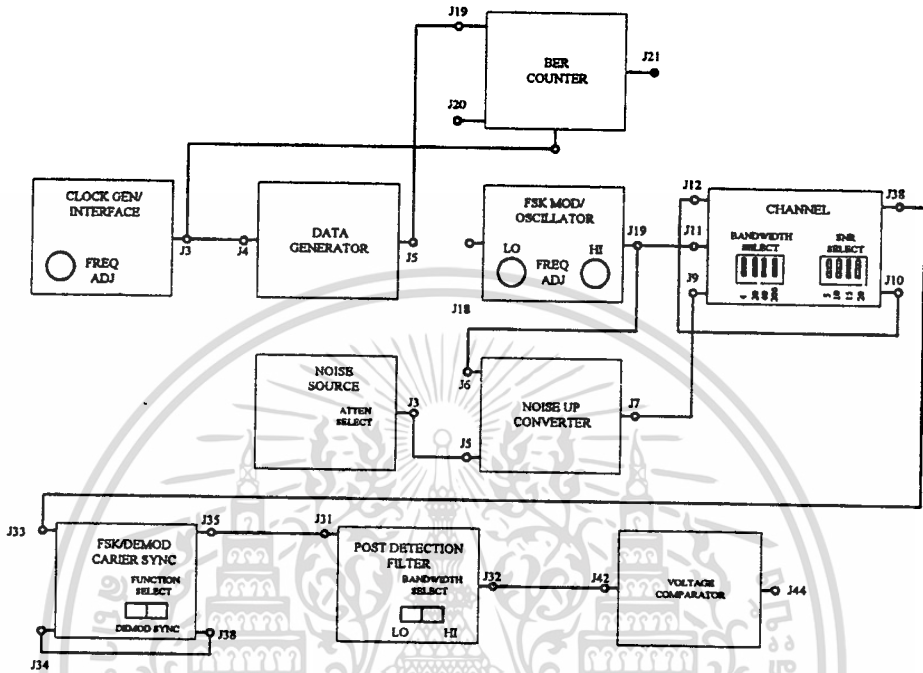
VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 4.17 ผลสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR

ตอนที่ 4

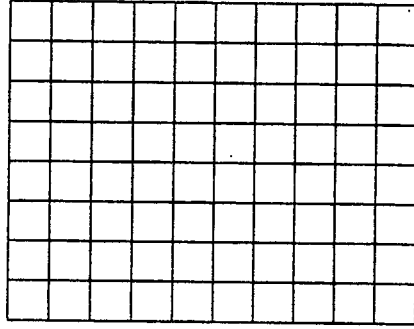
1. ต่อวงจรตามรูปที่ 4.18 แล้วต่อ OSCILLOSCOPE CH 1 ที่ J5 กับ CH 2 ที่ J19 ตั้งทั้งสอง CH ให้อยู่ 0.5 V/DIV และ 10 μ s/DIV จากนั้นปรับสวิตช์ ATTEN SELECT ของวงจร NOISE SOURCE ไปที่ x1 แล้วปรับ BANDWIDTH SELECT ทั้งหมด และสวิตช์ SNR SELECT ของวงจร CHANNEL ไปตำแหน่ง OFF และให้ปรับวงจร CLOCK ให้มีพัลส์ 32 KHz ที่ J3 ปรับ

สวิตช์ FUNCTION SELECT ของวงจร FSK MOD ไปที่ DEMOD จากนั้นปรับสวิตช์ BANDWIDTH ของวงจร POST DETECTION FILTER ไปที่ LO



รูปที่ 4.18 ผังการทำงานของวงจรสัญญาณรบกวน

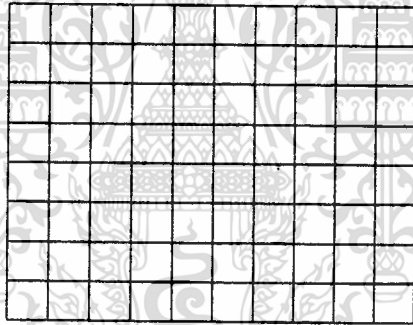
2. ต่อ FREQUENCY COUNTER ที่ J19 ของวงจร FSK MOD แล้วปรับ FREQUENCY ADJUST HIGH ให้ได้ความถี่ 192 KHz ที่ J19 แล้วต่อ J18 ลงกราวด์ปรับให้มีความถี่ 128 KHz ที่ J19 จากนั้นต่อสายจาก J18 กับ J5 ของวงจร DATA GENERATOR แล้วบันทึกผลสัญญาณ J5 กับ J19



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 4.19 ผลสัญญาณ CLOCK

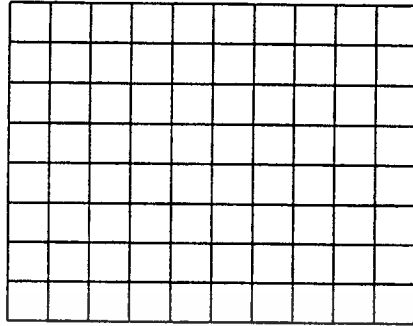
3. ย้าย PROBE CH 2 จาก J19 ไปที่ J13 แล้วบันทึกผลสัญญาณ



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

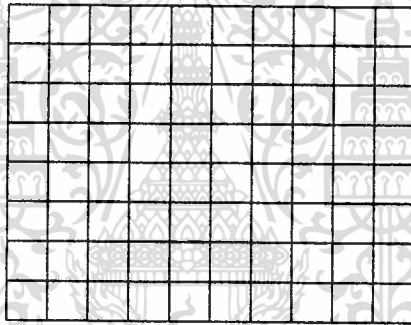
รูปที่ 4.20 ผลสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR กับที่ SNR 15 dB

4. ย้าย PROBE 2 จาก J13 ไปที่ J34 แล้วปรับ SNR SELECT ไปที่ 20dB และกดสวิทช์ S4 ของวงจร BER COUNTER บันทึกผลสัญญาณจากนั้น แล้วเปลี่ยนสวิทช์ NSR SELECT ไปที่ 15dB, 10dB, 5dB แล้วบันทึกผลตามลำดับ



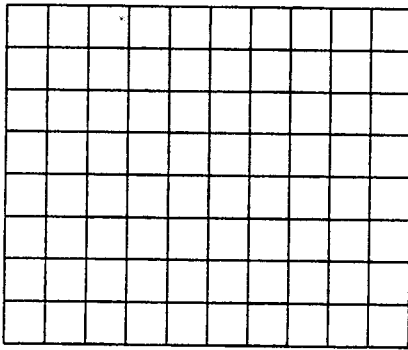
VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 4.21 ผลสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR กับที่ SNR 20 dB



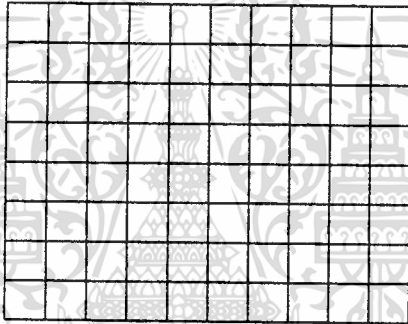
VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 4.22 ผลสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR กับที่ SNR 15 dB



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 4.23 ผลสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR กับที่ SNR 10 dB



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 4.24 ผลสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR กับที่ SNR 5 dB

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. การมอดูเลตสัญญาณ FSK มีหลักการอย่างไร
2. การดีมอดูเลตสัญญาณ FSK มีกี่แบบ

ใบงานที่ 5

การทดลอง AMPLITUDE SHIFT KEYING (ASK)

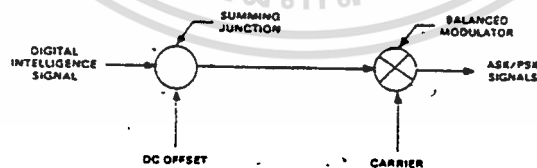
จุดประสงค์

1. เรียนรู้ถึงกระบวนการนำสัญญาณดิจิทัลไปมอดูเลต แบบ ASK
2. เรียนรู้ถึงกระบวนการดีมอดูเลตสัญญาณแบบ ASK

หลักการและทฤษฎี

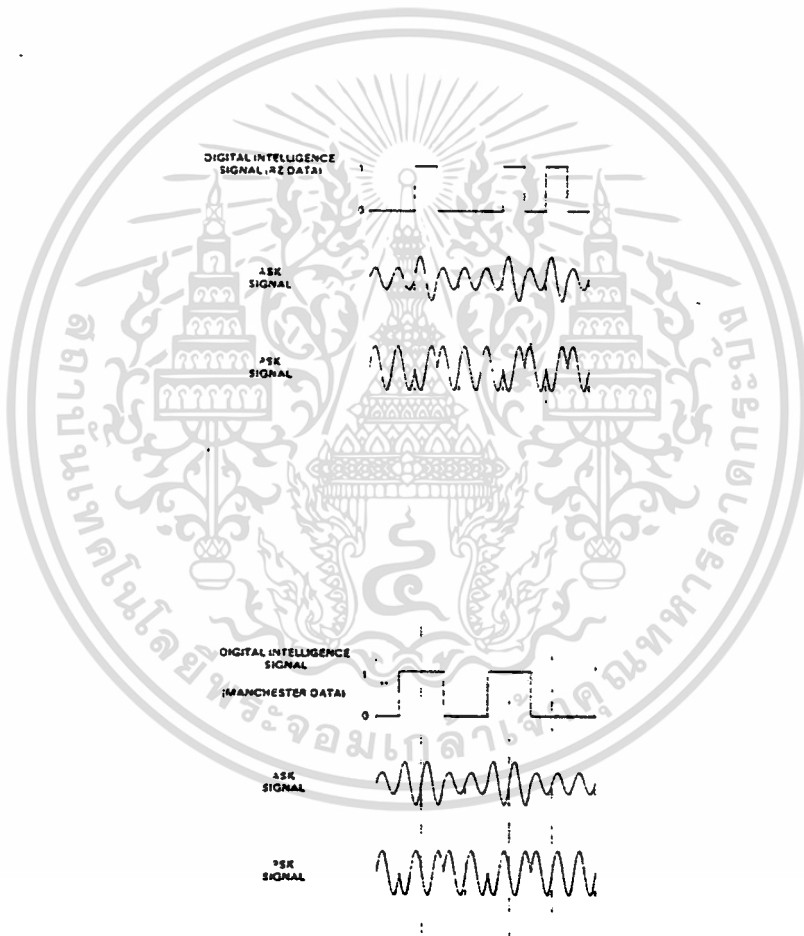
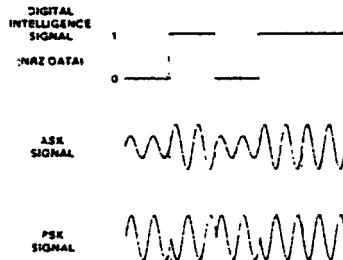
ASK เป็นการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลด้วยคลื่นพาห์ สัญญาณที่เป็น ไบนารี 1 ทำให้ค่าแอมพลิจูดของพาหะมีค่าสูงสุด ถ้าเป็น ไบนารี 0 ค่าแอมพลิจูดของพาหะมีค่าต่ำสุด ส่วน ASK ในแบบของ ON-OFF KEYING (OOK) การมอดูเลตทำให้ ไบนารี 0 มีค่าเป็น 0

สัญญาณ ASK สามารถทำการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลด้วยรหัสต่างกันก็ได้ ดังเช่น เกิดจากรหัสข้อมูลแบบ NRZ ที่สัญญาณ ASK จะมี 1 พัลซ์ประกอบด้วยไบนารี 0 และเป็นไบนารี 1 มี 1 ลูกคลื่น และที่เหลือเป็นไบนารี 0 มีจำนวน 2 ลูกคลื่น และเกิดจากรหัสข้อมูลแบบ MANCHESTER สัญญาณ ASK ใน 1 บิต จะมีไบนารี 2 ระดับ ที่เป็นสภาวะ 1 กับสภาวะ 0



รูปที่ 5.1 หลักการมอดูเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 การมอดูเลตกับสัญญาณรหัสข้อมูลแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์การทดลอง

แหล่งจ่ายไฟ

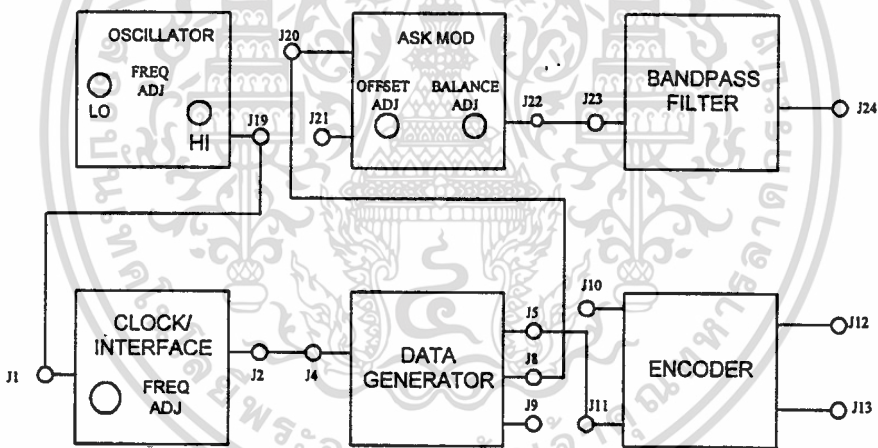
OSCILLOSCOPE

ชุดทดลอง ASK MODULATION และ DEMODULATION

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1

1. ประกอบวงจรตามรูปที่ 5.3 แล้วตั้ง OSCILLOSCOPE CH 1 ที่ J8 ให้อยู่ 0.5 V/DIV CH 2 ที่ J22 ให้อยู่ 0.2V/DIV และ 10 μ S/DIV จากนั้นปรับ OFFSET ADJUST ให้มีสัญญาณพัลส์มากๆ และปรับ BALAND ADJUST ให้เป็น 0 โวลต์ที่ J22

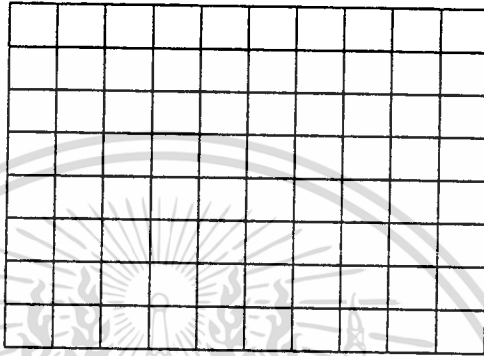


รูปที่ 5.3 ผังการทำงานของวงจร ASK MOD

2. ต่อสายจากจุด J19 ไป J21 ย้าย PROBE CH 2 จาก J22 ไป J19 แล้วปรับ FREQUENCY ADJUST HIGH ให่วงจร FSK MOD มีสัญญาณไซน์เวฟ 192 KHZ ที่ J19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

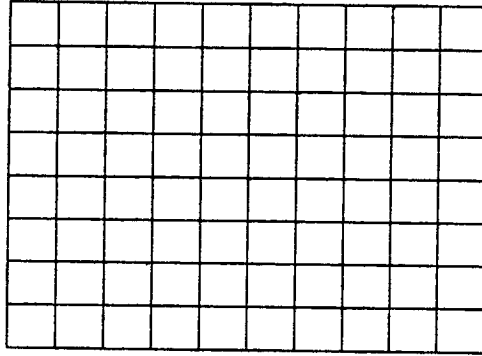
3. ปรับ OFFSET ADJUST ของวงจร ASK MOD ให้มีสัญญาณพัลซ์หลายๆ และปรับจนกระทั่งสัญญาณคลื่นพาหะมีแอมพลิจูด 2 Vp-p และย้าย PROBE CH2 จาก J19 ไปที่ J22 บันทึกผลการทดลอง J20 กับ J22



VOLT/DIV = ...V TIME/DIV = S

รูปที่ 5.4 ผลสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ NRZ กับสัญญาณ ASK MOD

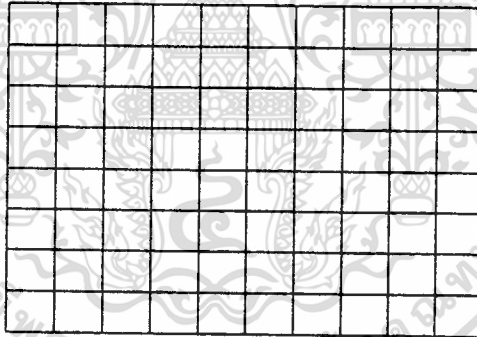
4. ย้ายสายจากจุด J8 กับ J20 ไปเป็น J12 กับ J20 และย้าย PROBE CH 2 จาก J8 ไป J12 จากนั้นปรับ OFFSET ADJUST ให้มีสัญญาณคลื่นพาหะที่ J24 มี 0 โวลต์เมื่อสัญญาณ RZ ที่ J20 เป็นไบนารี 0 สังเกตสัญญาณแล้วบันทึกผล และปรับ OFFSET ADJUST ให้มีสัญญาณพัลซ์หลายๆ จนกระทั่งสัญญาณ ASK ที่ J24 มีแอมพลิจูด 2 Vp-p บันทึกผลจำนวนลูกคลื่น



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 5.5 ผลสัญญาณ BANDPASS FILTER

5. ย้ายสายจากจุด J5 กับ J11 ไปเป็น J6 กับ J11 และจุด J12 กับ J20 ไปเป็น J13 กับ J20 และย้าย PROBE CH 1 จาก J13 แล้วบันทึกผลสัญญาณ J13 กับ J24



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

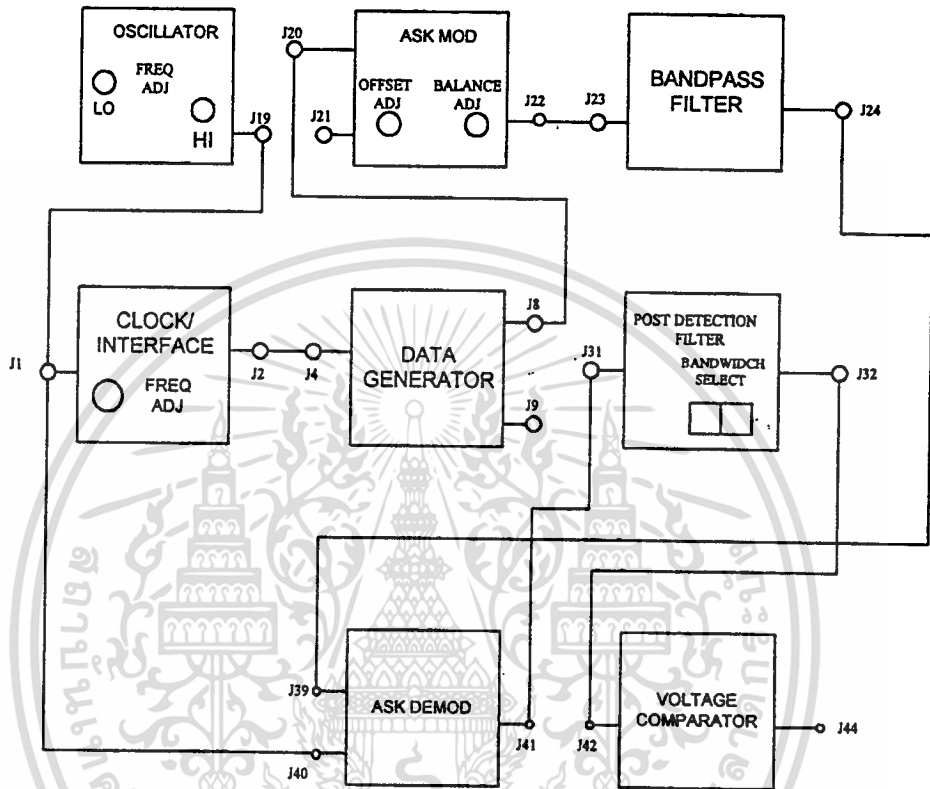
รูปที่ 5.6 ผลสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ MANCHESTER กับ
สัญญาณ BANDPASS FILTER

ตอนที่ 2

1. ต่วงจรตามรูปที่ 5.7 แล้วปรับ OSCILLOSCOPE CH 1 ที่ J20 และ CH 2 ที่ J19 ให้อยู่ 0.5 V/DIV และ 10 μ S/DIV แล้วปรับ FREQ ADJUST HIGH ให้ วงจร FSK MOD มีสัญญาณไซน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

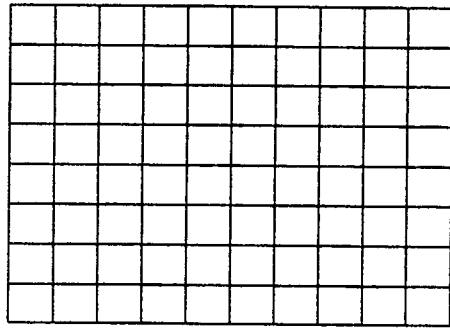
เวฟ 192 KHz ที่ J19 แล้วปรับ BANDWIDTH SELECT ของวงจร POST DETECTION ไปที่ HIGH



รูปที่ 5.7 ผังการทำงานของวงจร ASK DEMOD

2. ข้าย PROBE CH 2 จาก J19 ไป J22 ปรับ BALANCE ADJUST ของวงจร ASK MOD ให้มีแอมพลิจูดเป็น 0 โวลต์ แล้วต่อสายจากจุด J19 กับ J21 จากนั้นปรับ OFFSET ADJUST ให้ ASK MOD มีสัญญาณพัลซ์หลายๆ บันทึกลงผลสัญญาณที่ J22

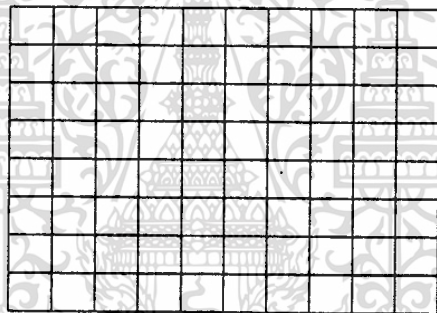
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 5.8 ผลสัญญาณ NRZ กับสัญญาณ ASK MOD

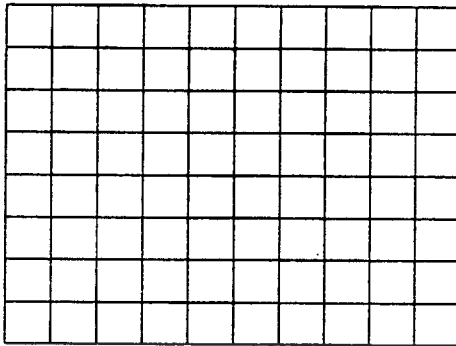
3. ย้าย PROBE CH 1 จาก J20 ไปที่ J41 แล้วปรับให้อยู่ 0.1 V/DIV บันทึกผลสัญญาณ J41



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 5.9 ผลสัญญาณ ASK DEMOD

5. ย้าย PROBE CH 1 จาก J41 ไปที่ J44 และย้าย PROBE CH 2 จาก J32 ไปที่ J20 เปรียบเทียบสัญญาณรหัสข้อมูลแบบ NRZ



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 5.10 ผลสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR
กับสัญญาณรหัสข้อมูลแบบ NRZ

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. การมอดูเลตสัญญาณ ASK มีหลักการอย่างไร
2. ลักษณะการคิ่มมอดูเลตสัญญาณ ASK มีกี่แบบ

ใบงานที่ 6

การทดลอง PHASE-SHIFT KEYING (PSK)

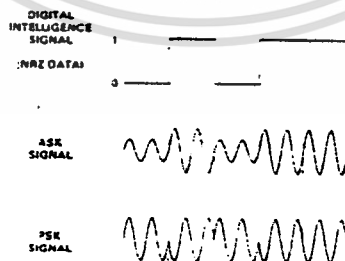
จุดประสงค์

1. เรียนรู้ถึงกระบวนการมอดูเลตแบบ PSK โดยให้สัญญาณดิจิทัลอยู่ในรหัสข้อมูลแบบ RZ, NRZ และ MANCHESTER
2. เรียนรู้ถึงกระบวนการดีมอดูเลตแบบ PSK

ทฤษฎีและหลักการ

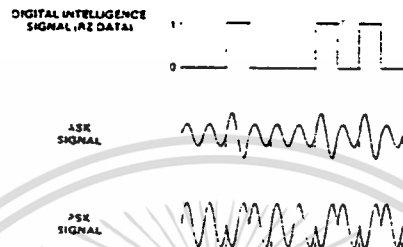
การมอดูเลตแบบ PSK เป็นการมอดูเลตของเฟสคลื่นพาหะ (PHASE CARRIER) เมื่อสัญญาณดิจิทัลเป็นไบนารี 1 การมอดูเลตจะได้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นสัญญาณที่มีค่าเป็นบวก (POSITIVE VOLTAGE) และไบนารี 0 เข้ามาผลที่ได้ คือสัญญาณจะมีเฟสตรงกันข้าม (OUT OF PHASE) แต่ถ้าไบนารี 1 เข้ามาอีกสัญญาณที่ได้จะมีเฟสตรงกัน (IN PHASE)

สัญญาณ PSK สามารถมอดูเลตได้จากสัญญาณดิจิทัลที่มีรหัสต่างกัันดังเช่นรหัสข้อมูลแบบ NRZ ในรูปที่ 1 สัญญาณ PSK ที่ไบนารี 0 จะมี 2 ลูกคลื่น และ ไบนารี 1 มีจำนวน 2 ลูกคลื่น แต่ไบนารี 0 กับไบนารี 1 จะมีเฟสต่างกัน 180 องศา



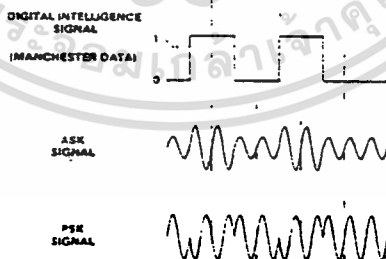
รูปที่ 6.1 รหัสข้อมูลแบบ NRZ

รหัสข้อมูลแบบ RZ รูปที่ 2 สัญญาณ PSK ในแต่ละลูกคลื่นจะมี 2 ไบนารี แต่ถ้าลูกคลื่นที่มีสัญญาณดิจิทัล 2 ระดับ คือ ไบนารี 1 กับ ไบนารี 0 ลูกคลื่นจะมีเฟสต่างกัน 180 องศา และบิตที่มีสัญญาณดิจิทัลระดับเดียว คือเป็น ไบนารี 1 หรือ ไบนารี 0 ลูกคลื่นจะมีเฟสตรงกัน



รูปที่ 6.2 รหัสข้อมูลแบบ RZ

รหัสข้อมูลแบบ MANCHESTER รูปที่ 6.3 สัญญาณ PSK ในแต่ละลูกคลื่นจะมี 2 ไบนารี ลูก ซึ่ง ไบนารี 1 กับ ไบนารี 0 จะมีจำนวนลูกคลื่นอย่างละ 1 ลูกคลื่น และ ไบนารี 1 เปลี่ยนไปเป็น ไบนารี 0 สัญญาณจะมีเฟสตรงกันข้าม 180 องศา เช่นเดียวกัน ไบนารี 1 เปลี่ยนไปเป็น ไบนารี 1



รูปที่ 6.3 รหัสข้อมูลแบบ MANCHESTER

อุปกรณ์การทดลอง

แหล่งจ่ายไฟ

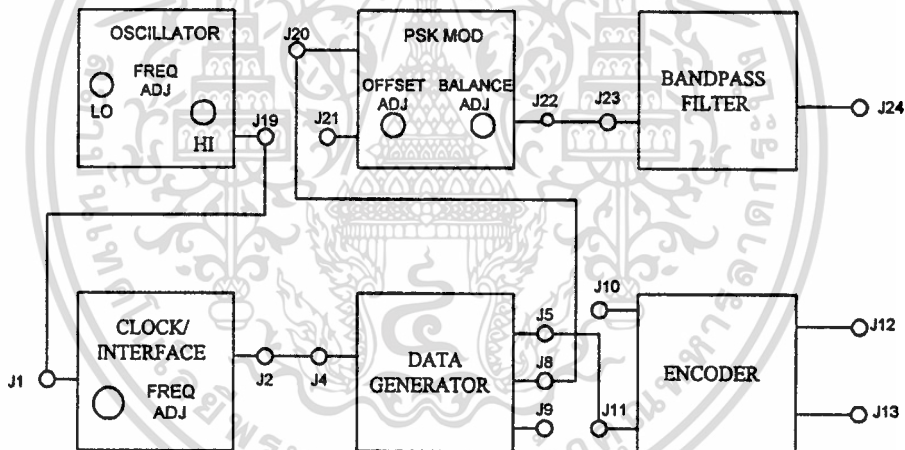
OSCILLOSCOPE

ชุดทดลอง PSK MODULATER และ DEMODULATER

วิธีการทดลอง

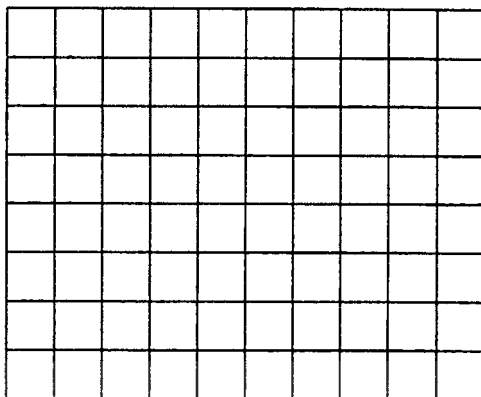
ตอนที่ 1

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 6.4 ตั้ง OSCILLOSCOPE CH1 ที่ J8 ให้อยู่ 0.5 V/DIV CH2 ที่ J22 ให้อยู่ 0.2 V/DIV และตั้ง 20 μ S/DIV จากนั้นปรับ OFFSET ADJUST ของวงจร PSK MOD ให้มีสัญญาณพัลส์หลายๆ และปรับ BALANCE ADJUST ให่วงจร PSK MOD เป็น 0 โวลต์ที่ J22



รูปที่ 6.4 ผังการทำงานของวงจร PSK MOD

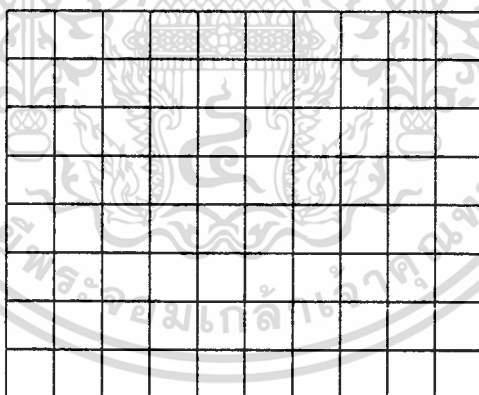
2. ต่อสายจากจุด J19 กับ J21 แล้วย้าย PROBE CH 2 จาก J22 ไป J19 ให้ปรับ FREQUENCY ADJUST HIGH ของวงจร FSK MOD มีเอาต์พุต 192 KHz ที่ J19
3. ย้าย PROBE CH 2 จาก J19 ไปที่ J22 แล้วบันทึกผลเปรียบเทียบกับสัญญาณ ที่ J20 เป็นรหัสข้อมูลแบบ NRZ



$$\text{VOLT/DIV} = \quad \text{V} \quad \text{TIME/DIV} = \quad \text{S}$$

รูปที่ 6.5 ผลสัญญาณรหัสข้อมูลสัญญาณ NRZ

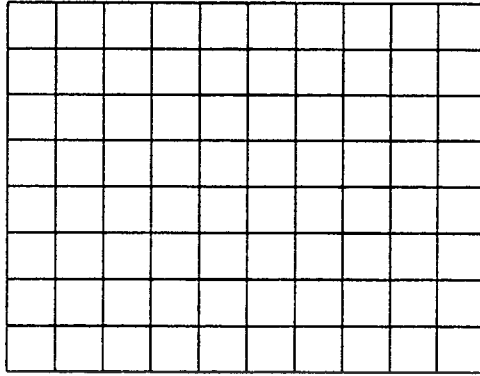
4. ย้ายสายจากจุด J20 กับ J8 ไปต่อ J20 กับ J12 แล้วปรับ OFFSET ADJUST ให้มี พัลส์ มากๆ จากนั้นย้าย PROBE CH 1 จาก J8 ไปที่ J12 และย้าย PROBE CH 2 กลับมายัง J22 บันทึก ผลสัญญาณทั้งสอง



$$\text{VOLT/DIV} = \quad \text{V} \quad \text{TIME/DIV} = \quad \text{S}$$

รูปที่ 6.6 ผลสัญญาณรหัสข้อมูลแบบ RZ กับสัญญาณ PSK MOD

5. ย้ายสายจากจุด J9 กับ J11 และ J12 กับ J20 ไปเป็น J6 กับ J11 และ J13 กับ J20 ตาม ลำดับ แล้วบันทึกผลสัญญาณ J13 กับ J24

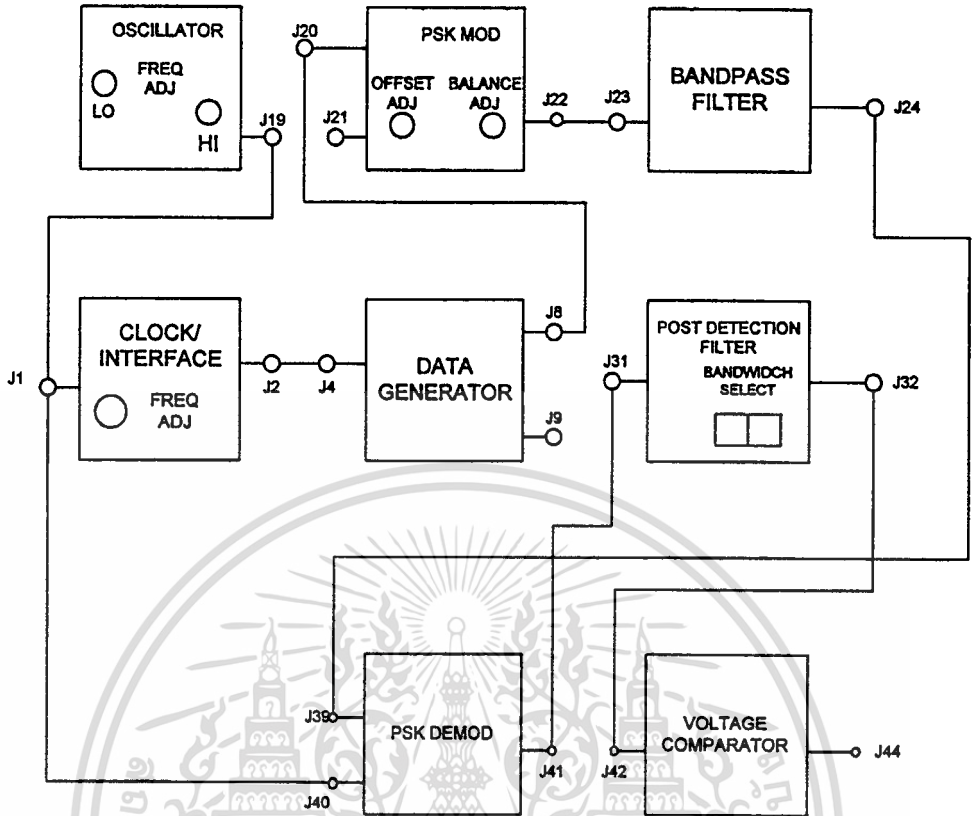


VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 6.7 ผลสัญญาณรหัสข้อมูลแบบ MANCHESTER กับสัญญาณ PSK MOD

ตอนที่ 2

1. ค่อยๆจตามรูปที่ 6.9 จากนั้นปรับ OSCILSCOPE CH1 ที่ J20 และ CH2 ที่ J19 ให้อยู่ 0.5 V/DIV และ 10 μ S/DIV ทั้ง 2 CH จากนั้นปรับ FREQUENCY ADJUST HIGH ของ FSK MOD ให้ได้ 192 KHz ที่ J19 แล้วเลือก BANDWIDTH SELECT ของวงจร POST DETECTION ไปที่ HI แล้วย้าย PROBE CH2 จาก J19 ไปที่ J22 ปรับ BALANCE ADJ ให้ PSK MOD เป็น 0 โวลต์ที่ J22 บันทึกผลการทดลอง ที่ J20 กับ J22



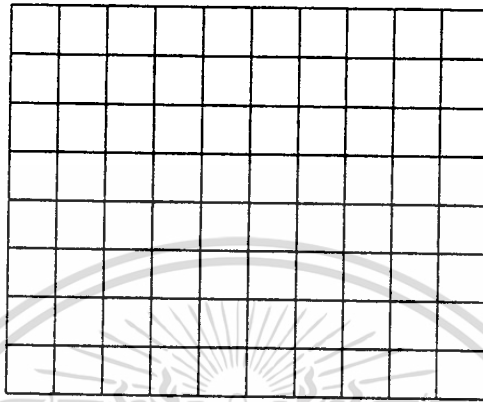
รูปที่ 6.8 ผังการทำงานของวงจร PSK DEMOD

VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 6.9 ผลสัญญาณรหัสข้อมูลแบบ NRZ กับสัญญาณ PSK MOD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

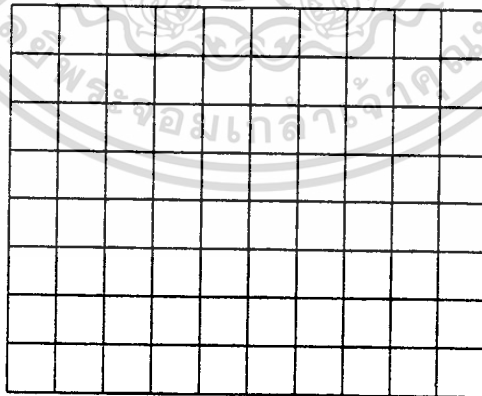
2. ย้าย PROBE CH 1 จาก J20 ไปที่ J24 สังเกตสัญญาณ BANDPASS FILTER บันทึกผลการทดลอง



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 6.10 ผลสัญญาณ PSK MOD

3. ย้าย PROBE CH 1 จาก J24 ไปที่ J41 แล้วปรับให้อยู่ 0.1 V/DIV สังเกตสัญญาณ J22 กับ J41 บันทึกผลการทดลอง

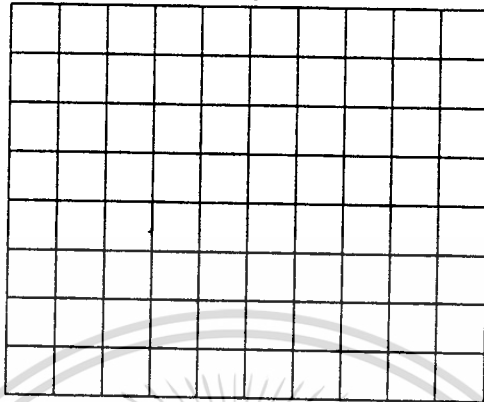


VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 6.11 ผลสัญญาณ PSK DEMOD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ช่าย PROBE CH 2 จาก J22 ไปที่ J41 บันทึกผลสัญญาณ



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 6.12 ผลสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. การมอดูเลตสัญญาณ PSK มีหลักการอย่างไร
2. การดีมอดูเลตสัญญาณ PSK มีกี่แบบ

ใบงานที่ 7

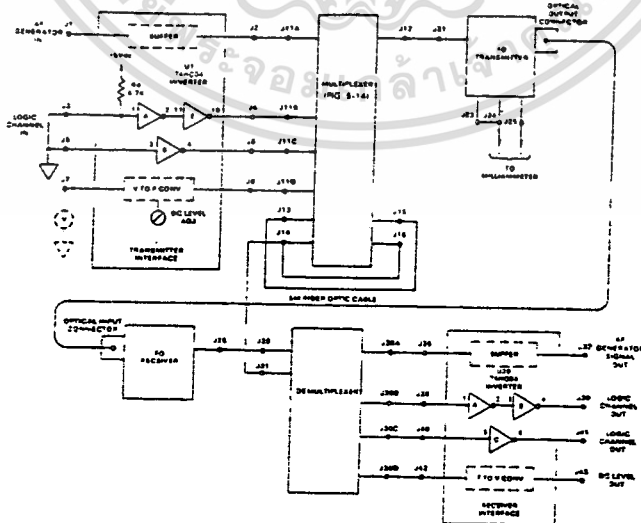
การทดลอง FIBER OPTIC

จุดประสงค์

1. สามารถเรียนรู้ และเข้าใจการสื่อสารแบบอนาล็อกโดยใช้เส้นใยแสง
2. สามารถเรียนรู้ และเข้าใจการสื่อสาร โดยส่งแรงดันไฟตรงผ่านระบบดิจิทัลผ่านเส้นใยแสง
3. สามารถเรียนรู้ และเข้าใจประโยชน์ของสัญญาณพัลส์ที่ดีกว่าสัญญาณที่มีความต่อเนื่องของการเชื่อมต่อที่มีระยะทางเข้ามาเกี่ยวข้องกับควย
4. สามารถเรียนรู้และเข้าใจการทำงานของระบบ TDM โดยเชื่อมต่อควยเส้นใยแสง

ทฤษฎีและหลักการ

ในทางอุดมคติ การผสมสัญญาณในการสื่อสารที่ใช้เส้นใยแสง โดยการนำเอาคุณสมบัติพิเศษของการส่งสัญญาณดิจิทัลของการเชื่อมต่อควย และนำมารวมกันหลาย ๆ CHANNEL เดียว สัญญาณที่ถูกรวมจะถูกตัดแปลง ทำการสื่อสารผ่านเส้นใยแสง บนชุดฝึกจะประกอบไปด้วย TIME DIVISION MULTIPLEXING (TDM) พื้นฐานของ TDM ทำงานวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้

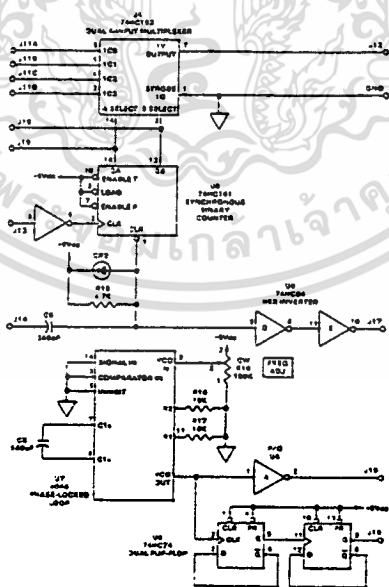


รูปที่ 7.1 วงจรมัลติเพล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงส่วนประกอบของวงจรของ TDM ซึ่งบางส่วนของวงจรมีจะถูกวางอยู่ในตำแหน่งระหว่าง TRANSMITTER INTERFACE และ RECEIVER INTERFACE INPUT ของวงจร คอเข้ากับเกต และ U1-E เป็น BUFFER ให้แก่ J3 และ J4 วงจรนี้ รับสัญญาณ อินพุตที่เป็นระดับสัญญาณ TTL หรือ CMOS เกตอินเวอร์เตอร์ U1-B สามารถรับสัญญาณ CMOS และขับสัญญาณให้กลับสัญญาณระหว่าง J5 กับ J6 ในส่วนของภาคเอาต์พุตของวงจรมี U20-A และ U20-B เป็นตัวขับสัญญาณระหว่าง J38 กับ J39 เกต อินเวอร์เตอร์ U20-C ทำหน้าที่ขับสัญญาณแบบกลับเฟสระหว่างจุด J40 และ J41

ทางด้านส่วนของ MULTIPLEXER TIME DIVISION ING (TDM) ซึ่งมีอยู่ 4 ช่องของสัญญาณข้อมูล ซึ่งแต่ละช่องสัญญาณมีค่าสูงสุดของแบนวิท 32 KHz รายละเอียดของวงจรที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 7.2 มีดังนี้ U4 เป็นมัลติเพล็กซ์ 4 LINE TO 1 LINE ของการเลือกข้อมูล ซึ่งจะมีขา A และ B ทำหน้าที่เลือก LINE โดย U4 จะรับสัญญาณจาก IC0 ถึง IC3 จาก J11A ถึง J11D แล้วเลือกเพียงเส้นเดียวส่งออกยัง LINE iy ซึ่งส่งออกทาง J12 บนชุดฝีกการเลือกข้อมูลออกทาง iy นั้นถูกควบคุมโดย QA และ QB ของวงจรมับภายใต้การส่งพัลส์และไม่ส่งพัลส์เข้าที่ J14 ตัวเก็บประจุ C6 , ความต้านทาน R15 และไดโอด CR2 เพื่อรักษาพัลส์ของ U5 , U7 เป็น PHASE LOCK LOOP ใช้แรงดันควบคุมการกำเนิด



รูปที่ 7.2 วงจรมัลติเพล็กซ์ 4 Line To 1 Line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันที่ควบคุมการ OSCILLATE จะส่งไปยัง CLOCK GENERATOR ซึ่งความถี่ที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับ R16 และ R17 ตัวเก็บประจุ C8 และตัวค่านทานปรับค่าได้ FREQ ADJ (R18) เอาต์พุตที่ได้จะถูกกลับโดย U6-A และจ่ายออกยัง J15, IC U8 เป็นฟลิปฟลอปแบบ D-ทริกซ์ ซึ่งทั้งถูกรับต่อให้เป็นวงจรหารสอง ซึ่งสัญญาณที่ได้ทั้งสองส่วนนี้จะถูกส่งไปยัง VCO ที่จุด J16

สัญญาณจะถูกสุ่ม เมื่อ J15 และ J16 ถูกต่อเข้ากับ J13 และ J14 ดังแสดงดังรูป 7.1 ความถี่ 128 KHz ที่เอาต์พุตของ VCO ซึ่งเป็นสัญญาณไปนารีจะถูกส่งไปยังอินเวอร์เตอร์ U6-A ผังการทำงานแสดงให้เห็นดังรูปที่ 7.2 และสัญญาณพัลส์ที่เหลือในวงจร คือ J14 ถึง J17 จะทำหน้าที่ส่งพัลส์ไปยังกลไกวงจรนับ และจะทำงานซ้ำทุกๆ 4 พัลส์การทำมัลติเพล็กซ์ ใน 1 เฟรม ต้องใช้เวลา 31.25 ms

เอาต์พุตของวงจรนับคือ QA และ QB ซึ่ง SELECT A และ SELECT B จะเป็นอินพุตของ (U4) ในแต่ละส่วนของตัวจะมีตัวนับฐาน 4 หลัก ซึ่งจะเป็นตัวกำเนิด TIME SLOT 4 ช่วง คือ TS0 ถึง TS3 ในตัวในขณะที่แต่ละ TIME SLOT สัญญาณอินพุต 4 สัญญาณจะไปที่ตัวมัลติเพล็กซ์ และถูกเรียบเรียงให้เป็นข้อมูลทางด้านเอาท์เพียงเส้นทางเดียว สัญญาณที่ถูกมัลติเพล็กซ์นี้ จะถูกส่งไปทางเส้นใยแสง ซึ่งจะนำข้อมูลมาพิจารณาในการทดลองนี้

ส่วนของตัวมัลติเพล็กซ์ของชุดฝึกจะมีอุปกรณ์คล้ายกับส่วนของมัลติเพล็กซ์ ซึ่งอุปกรณ์จะถูกต่อกลับมาทางอินพุตของ TDM ที่ J29 เพื่อให้มีสัญญาณมาตรฐาน 4 ช่อง และปรับปรุงมาที่เอาต์พุต J30A ผ่าน J30D, IC U14, U15, U16 และวงจรเปรียบเทียบ C23, R49 และ CR4 จะเป็นส่วนที่เหมือนกับส่วนเวกเตอร์ของมัลติเพล็กซ์ อุปกรณ์ U17 คือ สาย 2-4 ซึ่งจะถอดรหัสออกมาใช้ให้เป็นตัวทำให้เกิด TIME SLOT ออกจาก TS0 ถึง TS3 จากตัวนับไบนารี U16 สัญญาณนี้จะปรากฏที่เอาต์พุต IY0 ผ่าน IY3 และสัญญาณนาฬิกาของ U18 และ U19 ที่เวลาที่เหมาะสม

ตัวดีมัลติเพล็กซ์ จะเป็นส่วนที่สำเร็จ โดยดูจากวงจรในรูปที่ 6-16 เฟสล็อกยูนิท U14 ซึ่งจะถูกใช้กำเนิดสัญญาณนาฬิกา เพื่อเป็นสัญญาณนาฬิกาซิงโครนัสให้กับ U16 ในอัตรา 128 KHz ที่ PHASE ADJ R48 จะเป็นตัวควบคุมเวลา โดยปรับความถี่ของ VCO เพื่อให้ได้สัญญาณนาฬิกาซิงโครนัสเอาต์พุตของ VCO อยู่ที่ขา J32

ฟลิปฟลอปแบบ D U15 ซึ่งถูกต่อเหมือนหารโดย 4 วงจร โดยหารสัญญาณนาฬิกา 128 KHz ให้เป็น 32 KHz สัญญาณนี้จะถูกกระตุ้นโดยวงจรเปรียบเทียบ C23, R49 และ CR4 ทุก ๆ 31.25 ms เพื่อไปกำเนิดพัลส์รีเซ็ต และยกเลิกตัวนับ ซึ่งจะถูกนำไปใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินพุตของเฟสล็อกกลุ่ม U14 กับสัญญาณมัลติเพล็กซ์จาก J26 ที่อินพุต J31 ซึ่งฝั่งการทำงาน M จะแสดงดังรูปที่ 6-17 ซึ่งตัวนับ U16 จะนับสัญญาณนาฬิกา 4 ลูก (J31) และจะมีรีเซ็ต (J33) จะกระทำเช่นนี้ซ้ำ ๆ ทุก ๆ 31.25 mS

ตัวนับจะถูกสร้างที่ U16 QA และ QB จะรับ AI SELECT และ BI SELECT ซึ่งเป็น อินพุต 2 ถึง 4 ของตัวถอดรหัส ตัวนับทั้งที่จะถูกถอดรหัสเพื่อจะทำให้เกิด time shot อีกครั้ง หนึ่งที่ TS0 ถึง TS3 ที่เอาต์พุต IY0 ผ่าน IY3

สัญญาณ TDM ของเครื่องรับเส้นใยแสงจะถูกไปใช้ที่ขา 29 และไปที่อินพุตฟลิปฟลอป D U18 และ U19, time shot จะถูกซิงค์โครไนซ์โดยตัวมัลติเพล็กซ์ ตัวอย่างที่เหมาะสมของ สัญญาณประกอบด้วยสัญญาณนาฬิกาในแต่ละ ฟลิปฟลอป ที่เวลาที่ถูกต้องเอาต์พุต 4 ตัวที่ J30A ถึง J30D ซึ่งจะมีสัญญาณ 4 สัญญาณ

อุปกรณ์การทดลอง

แหล่งจ่ายไฟ

OSCILLOSCOPE

AF GENERATOR

มัลติมิเตอร์

ชุดทดลอง OPTIC FIBER

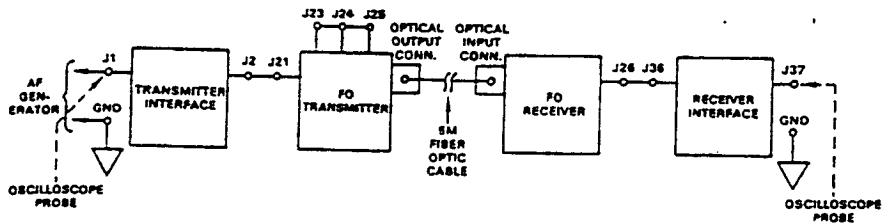
ลำดับขั้นการทดลอง

ตอนที่ 1

1. เปิดแหล่งจ่ายไฟ และปรับให้ได้อาต์พุต +8 VDC และ -8 VDC โดยยังไม่ต่อแหล่งจ่ายให้ชุดทดลองปิดแหล่งจ่ายไฟ และต่อแหล่งจ่ายไฟกับชุดทดลองดูซ้ำให้แน่ใจแล้วจึงเปิดแหล่งจ่ายไฟ

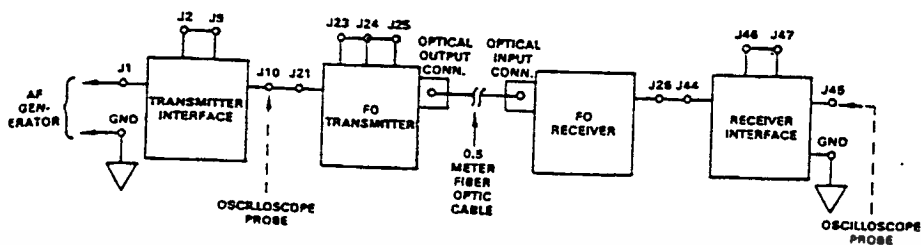
2. ที่วงจร PHOTO DETECTOR ปรับ CAL ADJ ไปตามเข็มนาฬิกา

3. ต่อ DC Voltmeter range 0.5 VDC ระหว่างจุด J28 กับ GND ปิด PHOTODETECTOR ADAPTER ด้วยนิ้วเพื่อป้องกันแสง และปรับ OFFSET ADJ จนกระทั่ง โวลต์มิเตอร์อ่านค่า 0.00 VDC ต่อวงจรดังรูป 7.3 (ก)



รูปที่ 7.3 (ก) วงจรการทดลองการสื่อสารแอนะล็อกโดยใช้เส้นใยแสง

4. ที่ FO TRANSMITTER ปิดสวิตช์ S1 ปรับ FORWARD ADJ CURRENT ADJ FINE และ COARSE ทวนเข็มนาฬิกา
5. เปิดสวิตช์ S1 ปรับ FORWARD CURRENT ADJ COARSE จนกระทั่งแอมป์มิเตอร์อ่านค่า 30 mA เป็นกระแสฟอร์เวิร์ด IF ถ้าจำเป็นให้ปรับ FINE ให้ได้กระแส 30 mA ซึ่งมีค่าตรงกับ 30 μ W ของ Transmitter optical power และใช้ค่านี้ในการคำนวณสำหรับ PHOTODETECTOR Trainer
6. ปรับ CAL ADJ ที่วงจร PHOTODETECTOR ให้ได้แรงดัน 0.6 VDC โดยวัดที่จุด J28 กับ GND
7. ต้องวงจรตามรูปที่ 7.3 (ข)



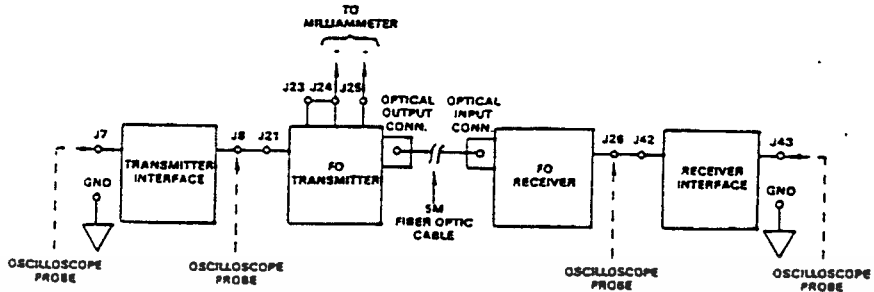
รูปที่ 7.3 (ข) วงจรการทดลองการสื่อสารแอนะล็อกโดยใช้เส้นใยแสง

8. ที่วงจร FO TRANSMITTER เปิดสวิตช์ S1 ปรับ AF GEN ให้ได้เอาต์พุตเป็นสัญญาณไซน์ความถี่ 1.0 kHz, 10 V_{p-p} ให้ OSCILLOSCOPE วัดสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต
9. วัดและบันทึกค่าแรงดัน E_o ที่ AC PHOTODETECTOR เอาต์พุตที่จุด J27
10. ตรวจสอบรูปคลื่นเอาต์พุตที่ถูกลดทอนไปหรือเปลี่ยนแปลงจากรูปคลื่นสัญญาณอินพุตอย่างไร
11. ลดแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุตลงที่ 0 VAC ชั่วครู่หนึ่ง สังเกตรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตมีการลดทอนของสัญญาณหรือไม่
12. ปรับสัญญาณอินพุตใหม่เป็น 10 V_{p-p} ให้ค่าความถี่ของแหล่งกำเนิด AF จากประมาณ 0.3 ไปถึง 4.0 KHz ชั่วครู่หนึ่ง สังเกตดูเอาต์พุต ว่าเมื่อความถี่เปลี่ยนไปมีผลต่อการลดทอนของสัญญาณหรือไม่
13. ปรับแหล่งจ่ายแรงดันไปที่ศูนย์ และนำวงจรทดสอบออก

ตอนที่ 2

1. ยังไม่ต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับชุดฝึก เปิดแหล่งจ่ายไฟปรับแรงดันให้ได้ +, - 8VDC ปิดแหล่งจ่ายไฟ แล้วต่อแหล่งจ่ายเข้ากับชุดฝึก ตรวจสอบให้แน่ใจ จึงเปิดแหล่งจ่ายไฟได้
2. ประกอบวงจรตามที่แสดงในรูปที่ 7.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.6 วงจรการส่งแรงดันไฟตรงผ่านเส้นใยแสง

3. ตั้ง S1 ของชุดส่ง และ S2 ของชุดรับ ให้อยู่ในตำแหน่ง ON ปรับ CURRENT ADJ COARSE และ FINE ให้อยู่ในตำแหน่งสุดตามเข็มนาฬิกา
4. ต่อสาย PROBE ของ OSCILLOSCOPE เข้าที่จุด J7 ปรับ DC LEVEL ของชุด TRANSMITTER INTERFACE โดยการหมุนตัวต้านทานปรับค่าได้ สังเกตการเปลี่ยนแปลง หน้าจอ OSCILLOSCOPE
5. ปรับตัวต้านทาน DC LEVEL ADJ ให้ SCOPE อ่านค่าได้ $E_{in} 0.5 \text{ V DC}$
6. ใช้ OSCILLOSCOPE จับที่จุด J8 เพื่อวัดความถี่ของพัลส์ที่เกิดขึ้น
7. ใช้ OSCILLOSCOPE จับที่จุด J26 และวัดความถี่ที่เกิดขึ้นว่าเหมือนกับที่จุด J8 หรือไม่ อธิบาย
8. ใช้ OSCILLOSCOPE จับที่จุด J43 และวัดแรงดันที่ได้เปรียบเทียบกับจุด J7 มีค่าเท่ากันหรือไม่ อธิบาย
9. ทำซ้ำตามข้อ 4 ถึง 8 ภายใต้การกำหนดตามตารางที่ 7.1
10. เปรียบเทียบค่าจากตาราง 7.1 จากการเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลและอธิบายประสิทธิภาพของการส่งแรงดัน DC ไปบนเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

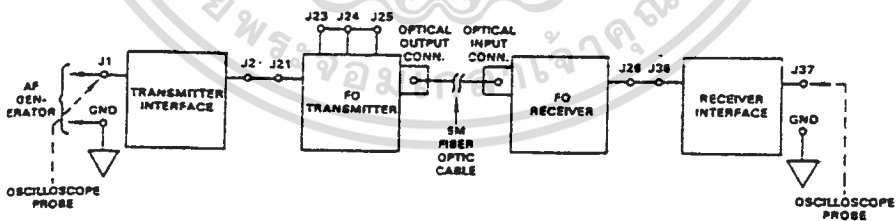
E_{IN}	$F_{O(T)}$	$F_{O(R)}$	E_o
0.25 V _{DC}	250 Hz	250 Hz	0.25 V _{DC}
0.50 V _{DC}	500 Hz	500 Hz	0.50 V _{DC}
0.75 V _{DC}	750 Hz	750 Hz	0.75 V _{DC}
1.00 V _{DC}	1 kHz	1 kHz	1.00 V _{DC}

ตารางที่ 7.1 ประสิทธิภาพของการส่งแรงดันไฟตรงบนเส้นใยแสง

11. ปิดแหล่งจ่ายไฟ และถอดออกจากชุดฝึก

ตอนที่ 3

12. ยังไม่ต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับชุดฝึก เปิดแหล่งจ่ายไฟปรับแรงดันให้ได้ +,-8V DC ปิดแหล่งจ่ายไฟ แล้วต่อแหล่งจ่ายเข้ากับชุดฝึก ตรวจสอบให้แน่ใจ จึงเปิดแหล่งจ่ายไฟได้
13. ประกอบวงจรที่แสดงไว้ดังรูปที่ 7.5



รูปที่ 7.5 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่มีความต่อเนื่อง

3. ตั้ง S1 ของ TRANSMITTER และ S2 ของ RECEIVER ให้อยู่ในตำแหน่ง ON ปรับเครื่องกำเนิด AF generator ให้ได้เอาต์พุต 100 KHz สัญญาณสี่เหลี่ยม ที่ 5 V_{pp}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ปรับ FORWARD CURRENT ADJ FINE และ COURSE TRANSMITTER ให้ไปตามเข็มนาฬิกาจนสุด ลดกระแส FORWARD CURRENT (IF) ของเครื่องส่งลง จนปรากฏรูปคลื่นที่จุด J37 ให้ได้สัญญาณสี่เหลี่ยมตามที่ได้อ่ายเข้ามาทางอินพุต

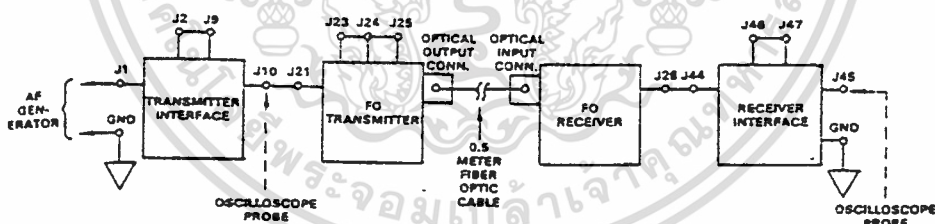
5. ถอด J23, J24 และ J25 ออกโดยการนำไปต่อกับ DC มิลลิแอมป์มิเตอร์ ระหว่างจุด J24 และ J25 โดยเพิ่ม J24 เข้าไปต่อกับ J25 กระแสที่ได้จากมิเตอร์จะเทียบเท่ากับกระแส IF ความถี่ 100 KHz สัญญาณสี่เหลี่ยม จะกำหนดให้มิเตอร์แสดงผลออกมา วัด และบันทึกกระแสเพื่อศึกษากระแส IF ของส่วนที่เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม ซึ่งมีผลโดยตรงกับเครื่องส่ง

6. กำหนดกระแสเฉลี่ย (I_A) ที่ความถี่ 100 KHz square wave โดยใช้ค่า ON CURRENT ในข้อ 3 กำหนดตามสูตร ดังนี้ $I_A = I_F \cdot \text{duty cycle}$ ค่า duty cycle

7. กำหนดค่ากระแสสูงสุด ซึ่งให้ค่า 10%1 ของ duty cycle และใช้ค่ากระแสเฉลี่ยใจข้อ 6 มาคำนวณตามสูตร

$$I_p = I_A / \text{duty cycle}$$

8. คงค่าของ FORWARD CURRENT ADJ เพื่อคำนวณหาค่าของ I_p ต่อไปประกอบวงจรใหม่ตามรูปที่ 7.6



รูปที่ 7.6 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่มีความต่อเนื่อง

9. ปรับ duty cycle adj ของชุด TRANSMITTER INTERFACE โดยการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ จนกระทั่งได้ output waveform ที่จุด J10 ให้มีค่า duty cycle 10% สังเกต wave form ที่จุด J45 บน OSCILLOSCOPE การทำให้ระบบของไฟเบอร์ออปติกทำงานที่ค่าเฉลี่ยของ power ของ duty cycle ที่ความถี่ 100 KHz ซึ่งมีค่า duty cycle 10% ทำให้เกิดอะไรขึ้น จงอธิบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตั้ง TRANSMITTER S1 และ RECEIVER S2 ให้อยู่ในตำแหน่งเปิด ต่อ J12 และ J21 เข้าด้วยกัน ต่อ J21 ลง GND ปรับ FORWARD CURRENT COARSE และ FINE โดยการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ใช้มิลลิแอมมิเตอร์อ่านค่าให้ได้ค่า +60 mA ถอด J21 ออกจาก GND และต่อ J21 กับ J12
 4. ต่อสายวัดของ OSCILLOSCOPE เข้าที่ J15 กับ GND และปรับความถี่ให้ได้ 128 KHz
 5. ปรับ AF generator ให้ได้ค่า 1 KHz, $5V_{p-p}$ เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่อินพุต J1 ใช้ OSCILLOSCOPE
 6. ปรับ TRANSMITTER INTERFACE DC LEVEL ADJ POTENTIOMETER ให้มีค่า 1.0 VDC ที่ J7
 7. ตรวจสอบทางค่านอินพุต J3 และ J5 ว่าต่อไว้ที่กราวด์แล้วหรือยัง
 8. นำ PROBE ของ OSCILLOSCOPE วัดเอาต์พุตที่ J37 ปรับ DEMULTIPLEXER PHASE ADJ จนกระทั่งได้สัญญาณสี่เหลี่ยม 1 KHz
 9. ต่อโวลต์มิเตอร์เข้ากับชุดฝึก transmitter interface ที่ J7 และปรับ DC LEVEL ADJ ใหโวลต์มิเตอร์อ่านค่าได้ 0.5 VDC โดยการปรับตัวต้านทาน และเกิดอะไรขึ้นในส่วนของเอาต์พุตที่ J43 ของชุด RECEIVER INTERFACE
 10. ต่อ โวลต์มิเตอร์ที่ J39 ค่าเอาต์พุตจะเป็นค่าเดียวของ 2 ช่องดิจิตอล นำกราวด์ออกจากจุด J3 สังเกตที่โวลต์มิเตอร์ ระดับสถานะของสัญญาณ
 11. นำกราวด์ออกจาก J5 และต่อ J5 กับระดับแรงดันสถานะ 1 ที่ J3 ระดับสถานะของช่องที่ 2 ของดิจิตอลที่ J41 เอาต์พุตที่ได้เป็นอย่างไร
 12. ปิดแหล่งจ่ายไฟจบการทดลอง
- หมายเหตุ : แหล่งจ่ายไฟของชุดฝึกอาจใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดัน +15 VDC แทนได้ซึ่งหาได้ง่ายกว่า มันสามารถใช้อินพุตที่เป็นสัญญาณดิจิตอลเข้าที่ J3 และ J5 และ ที่ J39 กับ J41 จะเป็นทางออกของลอจิกของระบบไฟเบอร์ออปติกซึ่งสามารถต่อกับ Modulation decoder สำหรับการสื่อสารแบบทิศทางเดียว

10. คำนวณค่ากำลังงานของเครื่องส่ง PT (dBm) โดยใช้สูตร และใช้กระแส forward current 800 mA

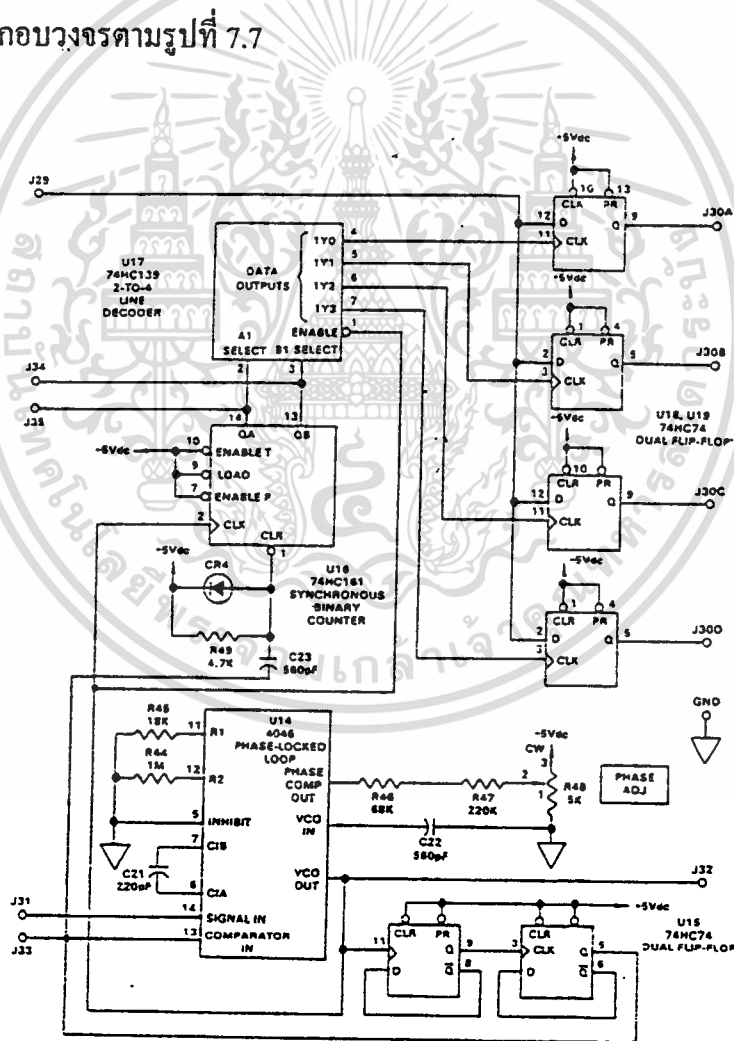
11. ใช้สูตรข้างล่างคำนวณค่าความยาวสูงสุดที่เครื่องส่งสามารถส่งได้ค่า PT (dBm) ในข้อ 9 มีค่า สูตร $1 = [PT(dBm) - PR(L)(dBm)] / \alpha_0(dBm)$

12. ปิดแหล่งจ่ายไฟ และถอดออกจากวงจร

ตอนที่ 4

1. ยังไม่ต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับชุดฝึก ปรับแหล่งจ่ายไฟให้มีค่า +8 V DC และ -8 VDC ปิดแหล่งจ่ายไฟ ต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับชุดฝึก ตรวจสอบให้แน่ใจแล้วจึงเปิดแหล่งจ่ายไฟ

2. ประกอบวงจรตามรูปที่ 7.7



รูปที่ 7.7 การเชื่อมต่อการทำงานของระบบ TDM ด้วยเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 1

การทดลอง PULSE CODE MODULATION (PCM)

จุดประสงค์

1. เพื่อเรียนรู้ และเข้าใจการทำงานวงจร PCM
2. เพื่อเรียนรู้ และเข้าใจผลของสัญญาณแอมพลิจูด

หลักการและทฤษฎี

สัญญาณแอนะล็อกจะถูกเข้าไปเข้ารหัสแบบ PCM เพื่อต้องการสัญญาณดิจิทัล โดยผ่านวงจรแอมป์และคั้งสถานะไวซึ่งสัญญาณความถี่ที่ไซ้แอมป์ลิ่งต้องมีค่ามากกว่าเป็นสองเท่าของสัญญาณแอนะล็อก แล้วส่งไปเข้าวงจร ADC เพื่อทำหน้าที่ควอนไตซ์สัญญาณจากนั้นสัญญาณจะถูกส่งออกมาแบบขนาน การถอดรหัสสัญญาณดิจิทัลเป็นการทำงานตรงกันข้ามกับการเข้ารหัสเพื่อต้องการสัญญาณแอนะล็อกกลับคืนมาเมื่อสัญญาณข้อมูลเข้ามาแบบขนานแล้วสัญญาณผ่านเข้าวงจร DAC และขยายสัญญาณแอนะล็อกออกมา

อุปกรณ์การทดลอง

แหล่งจ่ายไฟ

OSCILLOSCOPE

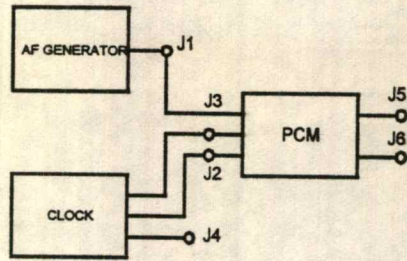
AF GENERATOR

ชุดทดลอง PCM

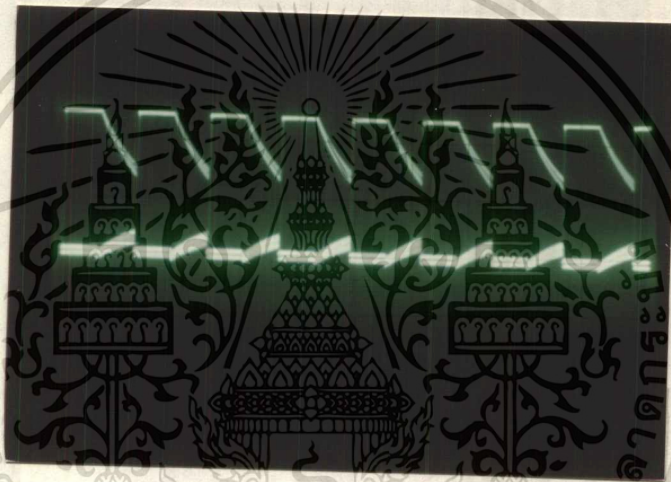
ลำดับขั้นการทดลอง

1. ประกอบวงจรตามรูปที่ 1 เปิดแหล่งจ่ายไฟ ปรับ OSCILLOSCOPE CH1 ที่เอาต์พุตของ PCM ที่จุด J5 บันทึกผลสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 ผังการทำงานของวงจร PCM

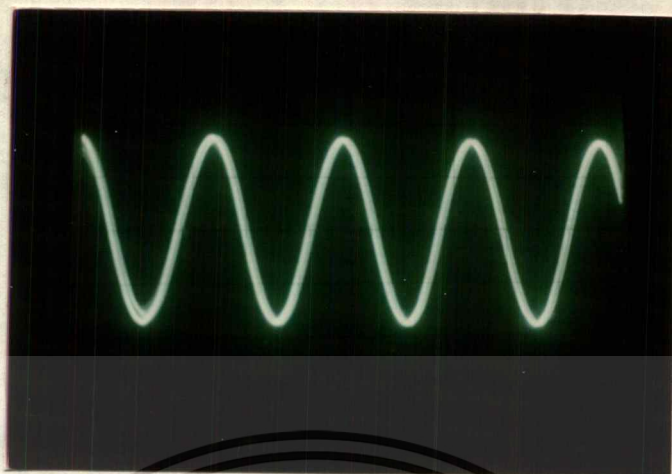


VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 0,1 mS

รูปที่ 1.2 ผลสัญญาณ PCM

2. นำ PROBE CH2 ไปวัดที่จุด DEMODULATION ที่จุด J6

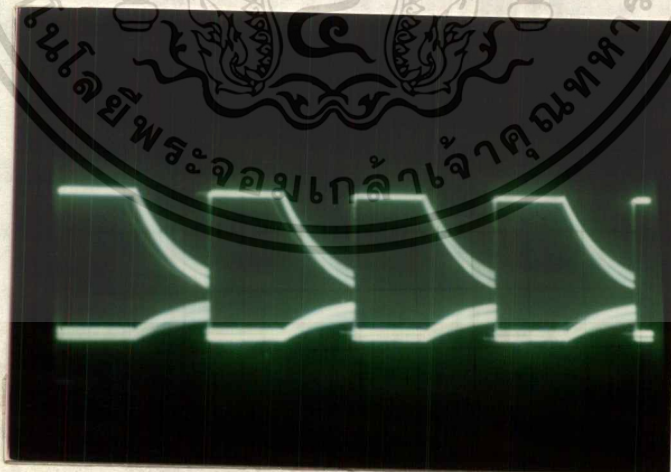
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 0.1 mS

รูปที่ 1.3 ผลสัญญาณแอนะล็อก

3. ย้ายจุดต่อจาก J2 ไปเป็น J3 และย้าย PROBE จาก J6 ไปที่ J5 บันทึกผลสัญญาณที่ J5 เอาต์พุตของ PCM

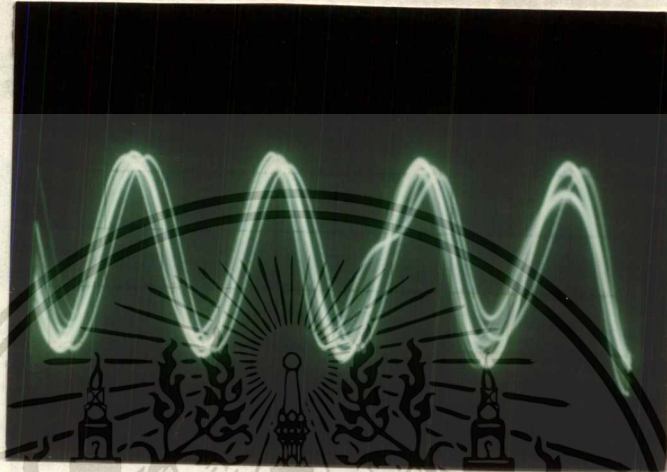


VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 0.1 mS

รูปที่ 1.4 ผลสัญญาณ PCM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ข่ายPROBE จาก J5 ไปเป็น J6 บันทึกผลสัญญาณที่ J6 เป็นเอาต์พุตของ PCM DEMODULATION



VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 0.1mS

รูปที่ 1.5 ผลสัญญาณแอนะล็อก

สรุปผลการทดลอง

การทดลอง PCM สัญญาณแอนะล็อกเข้ามาทางอินพุตจะมีค่าอยู่ในช่วง 400- 3400 Hz ถึงจะทำให้การเข้ารหัสไม่เกิดการผิดพลาด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสัญญาณความถี่แซมป์ลิ่งด้วย

คำถามท้ายการทดลอง

1. สัญญาณแซมปลิ่งมีผลต่อสัญญาณเข้ารหัส PCM หรือไม่

ตอบ ไม่มีผลต่อสัญญาณ PCM แต่จะมีผลต่อการถอดรหัสสัญญาณ เพราะสัญญาณแซมปลิ่งต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับสองเท่าของสัญญาณแอนะล็อก ถ้าหากสัญญาณแซมปลิ่งมีค่าน้อยกว่าจะมีผลทำให้สัญญาณที่ถอดรหัสกลับมาไม่เหมือนกับสัญญาณเดิม

2. ในการเข้ารหัสสัญญาณ PCM มีกี่แบบ

ตอบ มี 2 แบบ 1. แบบ μ -LAW

2. แบบ A-LAW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 2

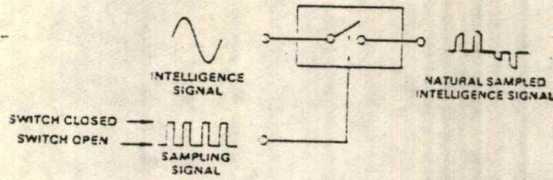
การทดลอง PULSE AMPLITUDE MODULATION (PAM)

จุดประสงค์

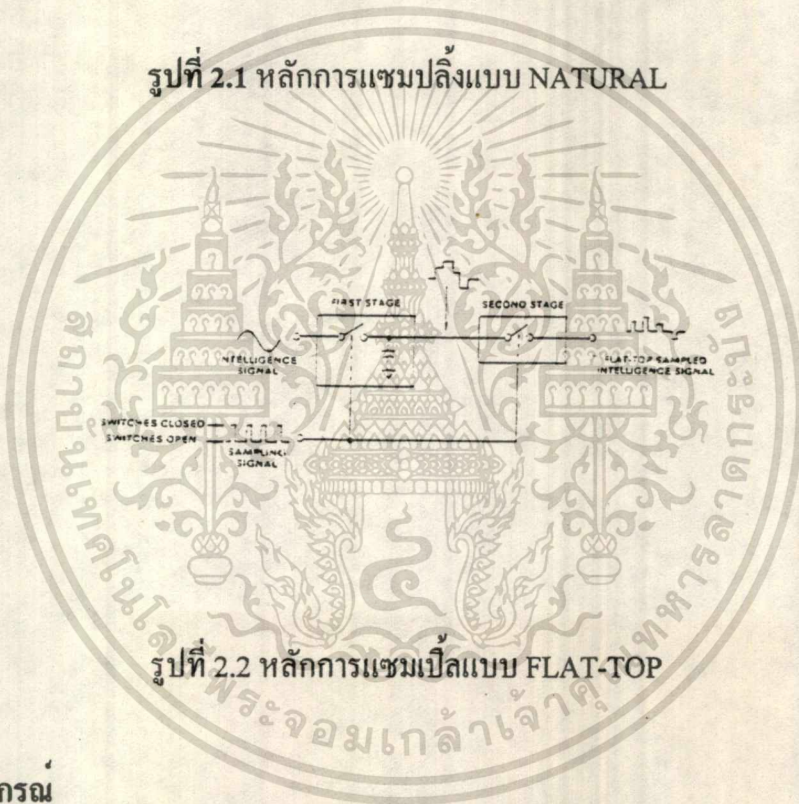
1. เรียนรู้ และเข้าใจการทำงานของวงจร PCM
2. เรียนรู้หลักการกำเนิดสัญญาณ PAM
3. เรียนรู้หลักการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ PAM แบบ TDM
4. เรียนรู้หลักการดีมอดูเลตของสัญญาณ PAM

ทฤษฎีและหลักการ

ในการส่งสัญญาณข้อมูลดิจิทัล การแชนเปลิ่งมีความสำคัญมาก เพราะต้องการให้สัญญาณนั้นมีการผิดเพี้ยนน้อยที่สุด เมื่อสัญญาณไปถึงผู้รับ ซึ่งความถี่ในการแชนเปลิ่งสัญญาณต้องมีค่ามากกว่าความถี่สูงสุดเป็นสองเท่าของสัญญาณแอนะล็อกที่เข้ามา แต่เมื่อความถี่การแชนเปลิ่งน้อยกว่าทำให้สัญญาณไปถึงผู้รับจะเกิดการผิดเพี้ยน สัญญาณการแชนเปลิ่งสามารถแบ่งได้เป็นสองแบบแรกเรียกว่า NATURAL SAMPLED ที่ได้นำหลักการใช้สวิทช์เปิดเอาต์พุตเป็นศูนย์โวลต์ และเมื่อสวิทช์ปิดเอาต์พุต มีค่าเท่ากับสัญญาณแอนะล็อกที่ผ่านเข้ามาดังรูปที่ 2.1 แบบที่สองเรียกว่า FLAT-TOP SAMPLED ที่มีการทำงานดังรูปที่ 2.2 โดยขั้นแรกจะทำการ SAMPLE/HOLD ของระดับสัญญาณแอนะล็อกไว้ โดยตัวเก็บประจุ และเมื่อสัญญาณผ่านขั้นที่สอง เมื่อสวิทช์เปิดทางเอาต์พุตจะเป็นศูนย์ เมื่อสวิทช์ปิดทางค่านเอาต์พุตจะมีค่าตามขั้นที่หนึ่ง ดังนั้นกระบวนการแชนเปลิ่งจึงเป็นการกำเนิดสัญญาณ PAM



รูปที่ 2.1 หลักการแซมปลิงแบบ NATURAL



รูปที่ 2.2 หลักการแซมเปิลแบบ FLAT-TOP

วัสดุและอุปกรณ์

แหล่งจ่ายไฟ

OSCILLOSCOPE

AF GENERATOR

ชุดทดลอง PAM

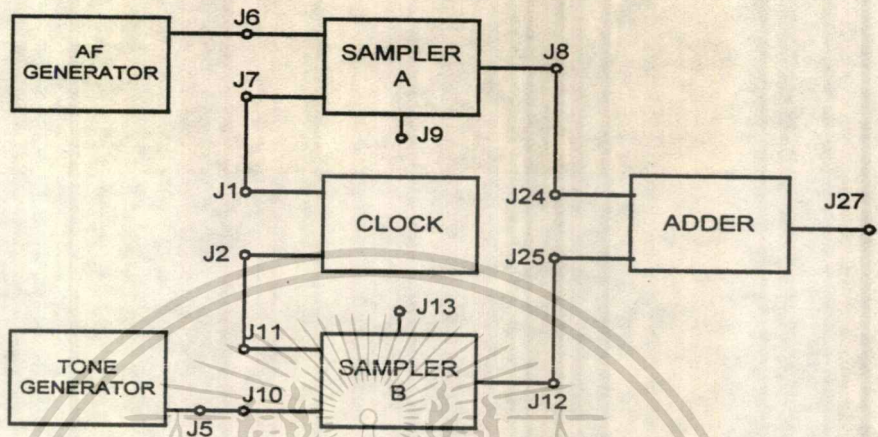
วิธีการทดลอง

1. ต่อดังรูปตามรูปที่ 2.3 เปิดแหล่งจ่ายไฟปรับ FREQUENCY ADJUST ให้มีสัญญาณ

พัลส์นาฬิกา 12 KHz ที่ J1 แล้วปรับ AF GENERATOR มี 1 KHz 3 Vp-p ไซน์เวฟที่ J6 ของ

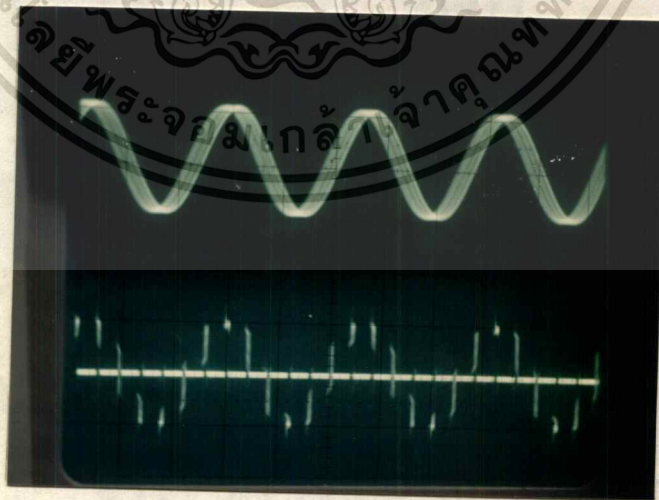
เอกอสโคปให้ดูที่ J7 ถ้าไม่ชัดก็ปรับที่ J6 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROBE CH1 และปรับวงจรถ้าเกิดสัญญาณไซน์เวฟหลักมีความถี่ 800 Hz ที่ J5 ต่อ PROBE CH 2 ไปที่ J5 บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 2.3 ผังการทำงานของวงจร PAM

- ย้าย PROBE CH 1 จาก J6 ไปที่ J8 บันทึกผลการทดลอง

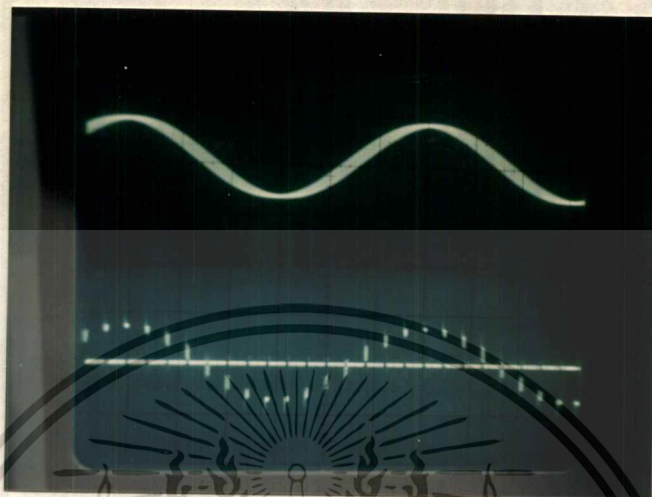


VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 0.2 ms

รูปที่ 2.4 ผลของสัญญาณแอนะล็อกกับสัญญาณแซมเปิล A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ข่าย PROBE CH 1 จาก J8 ไปที่ J12 บันทึกผลการทดลอง



VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 0.2 mS

รูปที่ 2.5 ผลของสัญญาณแอมป์ B

4. ข่าย PROBE CH 1 จาก J12 ไปที่ 27 บันทึกผลการทดลองสัญญาณ TDM



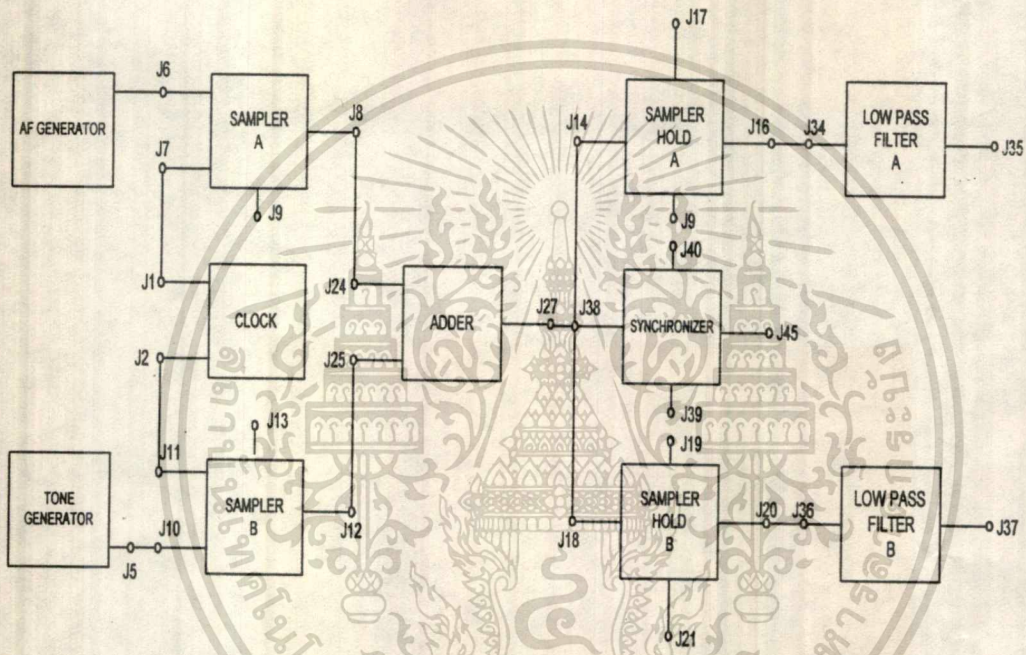
VOLT/DIV = 1 V TIME/DIV = 0.2 mS

รูปที่ 2.6 ผลของสัญญาณ TDM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

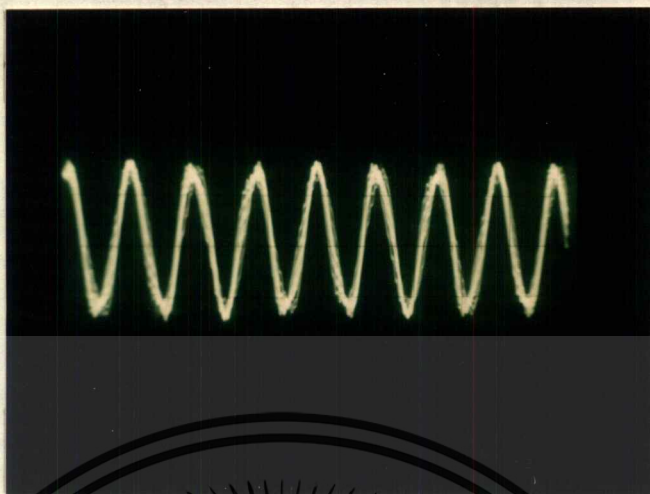
ตอนที่ 2

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 2.7 ต่อแหล่งจ่ายไฟ, OSCILLOSCOPE, AF- GENERATOR ให้มีเอาต์พุต 1KHz 3Vp-p ที่ J6 กับวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์เวฟหลัก, มี 800 Hz ที่ J5 และปรับ FREQUENCY ADJUST ให้มีสัญญาณพัลส์นาฬิกา 12 KHz ที่ J1 และต่อ PROBE CH 1 ที่ J38 บันทึกผลการทดลอง



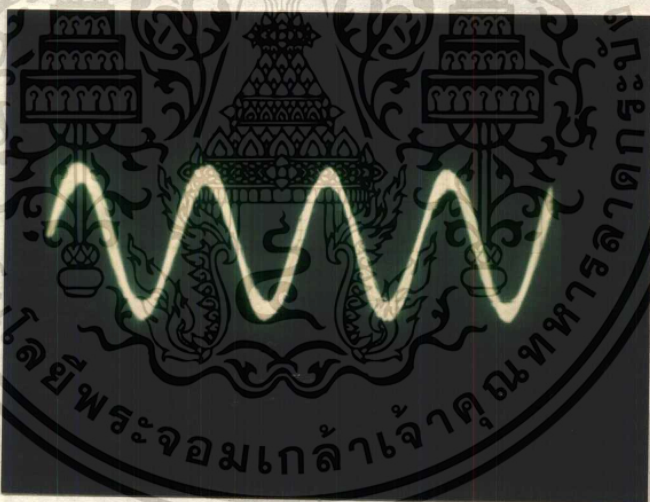
รูปที่ 2.7 ผังการทำงานของวงจร PAM

2. ย้าย PROBE CH 1 จาก J38 ไปที่ J45 ต่อ PROBE CH 2 ที่ J1 จากนั้นปรับ FREQUENCY ADJUST ให้สัญญาณเอาต์พุตทั้งสองมีเฟสต่างกัน 90 องศา จากนั้นย้าย PROBE CH 1 จาก J45 ไปที่ J40 ปรับ ADJUST PHASE ให้สัญญาณทั้งสองเฟสตรงกัน
3. ย้าย PROBE CH 1 จาก J40 ไปที่ J35 และย้าย PROBE CH 2 จาก J1 ไปที่ J37 บันทึกผลการทดลอง



VOLT/DIV = 1 V TIME/DIV = 1mS

รูปที่ 2.8 ผลของสัญญาณแอนะล็อก A



VOLT/DIV = 1 V TIME/DIV = 1 mS

รูปที่ 2.9 ผลของสัญญาณแอนะล็อก B

สรุปผลการทดลอง

ความถี่ที่ใช้ในการแชนเปลิ่งควรมีค่ามากกว่าเป็นสองเท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณแอนะล็อกเดิม แล้วจะทำให้ปราศจากสัญญาณรบกวน เมื่อทำการถอดรหัสสัญญาณกลับคืนมา เมื่อสัญญาณแอนะล็อกถูกแชนเปลิ่ง แล้วจะได้สัญญาณดิจิทัล ซึ่งจะมีค่าแอมพลิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดตามแอมพลิฟายด์สัญญาณแอนะล็อกเดิม เมื่อต้องการทำมัลติเพล็กซ์ตามเวลาของสัญญาณ โดยการนำสัญญาณแซมเปิ้ลทั้งสอง CH มารวมเป็นสัญญาณ CH เดียวออกไป

คำถามท้ายการทดลอง

1. ความถี่แซมปลิงมีผลต่อการกำเนิดสัญญาณ PAM หรือไม่
มีผลต่อการกำเนิดสัญญาณ PAM เพราะถ้าความถี่แซมปลิงมีค่าน้อยจะทำให้สัญญาณ PAM ที่ได้จะมีช่วงเวลาของการแซมปลิงห่าง มีผลทำให้การถอดรหัสสัญญาณ PAM กลับคืนมาไม่ได้เป็นสัญญาณเดิม
2. การชงค้โครโมสโคปของสัญญาณมอดูเลต และการคีมมอดูเลตมีผลอย่างไร
จะทำให้การถอดรหัสสัญญาณ PAM เป็นไปได้โดยไม่ถูกต้อง สัญญาณที่ได้ก็จะไม่เกิดการผิดพลาดทางด้านเฟสอินพุตกับเอาต์พุต
3. การทำมัลติเพล็กซ์แบบ TDM มีวิธีการอย่างไร
เป็นการนำสัญญาณจากอุปกรณ์ต่างกัน นำมารวมกัน ก่อนที่จะส่งสัญญาณออกไป โดยมีวิธีการนำสัญญาณช่วงแรกของสัญญาณมาที่ช่องสัญญาณ ต่อจากนั้นเวลาต่อมา ก็จะนำสัญญาณที่สองเข้ามาที่ช่องสัญญาณซึ่งจะทำให้สัญญาณเรียงต่อกัน

.ใบงานที่ 3

การทดลอง DELTA MODULATION และ DEMODULATION

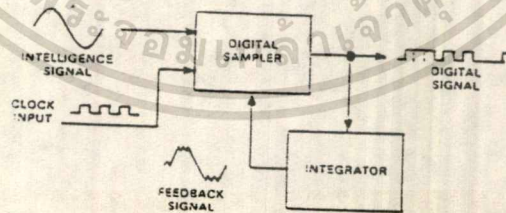
จุดประสงค์

1. เรียนรู้ถึงการเข้ารหัสเคลตาคด้วยวงจรอินทิเกรเตอร์ 1 กับวงจรดิจิตอลแชนเปลล์
2. เรียนรู้ถึงผลของสัญญาณพัลซ์ที่มีผลต่อการเข้ารหัส และถอดรหัสเคลตตามอคูเลต
3. เรียนรู้ถึงวิธีการถอดรหัสเคลตตา

ทฤษฎีและหลักการ

มีวิธีการหลายอย่างของการมอดูเลตสัญญาณดิจิตอล โดยการเปลี่ยนสัญญาณเดิมเป็นอีกสัญญาณหนึ่ง เรียกว่าเคลตตามอคูเลต

การเข้ารหัสเคลตตามอคูเลต เป็นกระบวนการแชนเปลล์ กวอนไทซ์ และเข้ารหัสสัญญาณเดิมในสัญญาณดิจิตอลดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 หลักการของมอดูเลตเคลตตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่ระดับแรงดันสัญญาณเดิมถูกเปรียบเทียบกับสัญญาณป้อนกลับ (FEEDBACK SIGNAL) ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบถูกควอนไทซ์ และเข้ารหัสอยู่ในลักษณะสภาวะ 1 กับสภาวะ 0 ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับแรงดัน ถ้าระดับแรงดันสัญญาณป้อนกลับมากกว่าระดับแรงดันสัญญาณเดิม จะได้ระดับสัญญาณสภาวะ 0

ดังนั้นในการถอดรหัสสัญญาณ โดยการผ่านวงจรอินทิเกรเตอร์จะได้สัญญาณอินทิเกรต ซึ่งเป็นสัญญาณใกล้เคียงกับสัญญาณเดิม จากนั้นผ่านวงจรความถี่ต่ำจะได้สัญญาณเดิมออกมา โดยที่การทำงานของกรอดรหัสไม่ได้ซึ่งโครไนซ์กับการเข้ารหัส

อุปกรณ์การทดลอง

แหล่งจ่ายไฟ

OSCILLOSCOPE

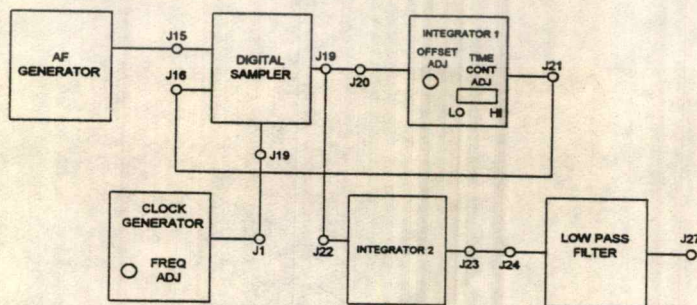
AF GENERATOR

ชุดทดลอง DELTA ENCODING และ DECODING

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1

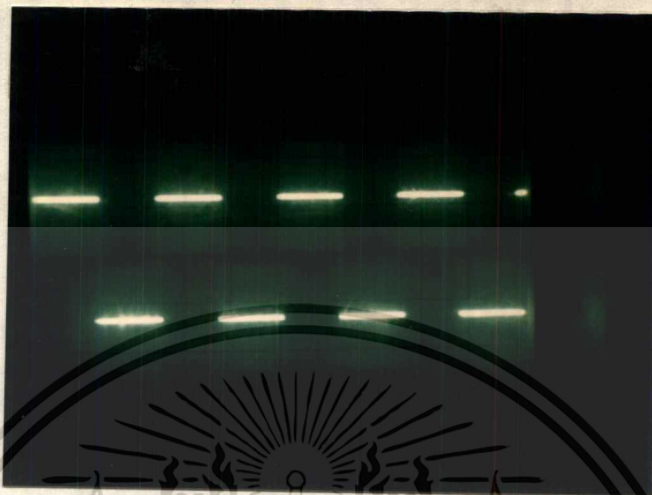
1. ต้องจรมตามรูปที่ 3.2 คือ OSCILLOSCOPE CH 1 ที่ J15 CH 2 ที่ J1 จากนั้นปรับ FREQUENCY ADJUST ให้ได้พัลส์นาฬิกา 32 KHz ที่ J1 และปรับ AF GENERATOR ให้ได้ไซน์เวฟ 800 Hz, 2 Vp-p ที่ J15 บันทึกผลของสัญญาณ



รูปที่ 3.3 ผังการทำงานวงจรมอดูเลตเดลตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

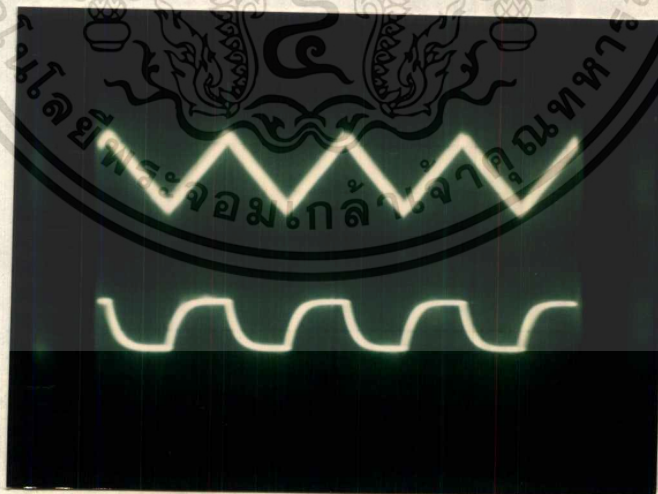
2. ย้าย PROBE CH 1 จาก J15 ไปที่ J17 บันทึกผลสัญญาณ



VOLT/DIV = 1 V TIME = 0.5 mS

รูปที่ 3.4 ผลของสัญญาณดิจิทัลแชนเนล

3. ย้าย PROBE CH 1 จาก J17 ไปที่ J21 แล้วปรับให้อยู่ 0.1V/DIV บันทึกผลสัญญาณ ทั้งสองระหว่างอินทิเกรเตอร์ 1 กับอินทิเกรเตอร์ 23

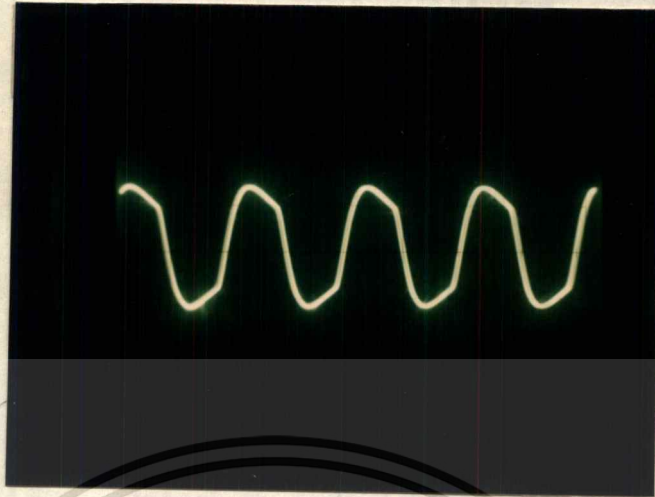


VOLT/DIV = 1 V TIME = 0.5 mS

รูปที่ 3.5 ผลของสัญญาณอินทิเกรต

4. ย้าย PROBE CH 1 จาก J21 ไปที่ J27 บันทึกผลของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

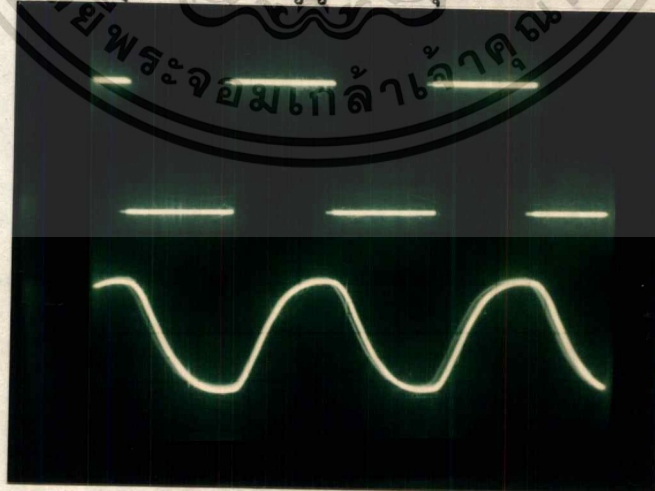


VOLT/DIV = 1 V TIME/DIV = 0.5 mS

รูปที่ 3.6 ผลของสัญญาณแอนะล็อก

ตอนที่ 2

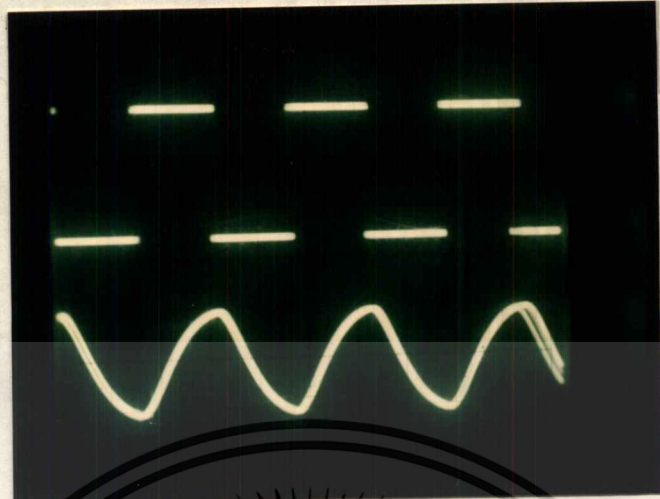
1. ต่อวงจรตามรูปที่ 3.3 เปิดสวิตซ์แหล่งจ่ายไฟแล้วปรับ OSCILLOSCOPE ทั้ง 2 CH ให้อยู่ 0.1 V/DIV กับ 0.5 mS/DIV จากนั้นปรับ FREQUENCY ADJUST ให้มีพัลส์นาฬิกา 32 KHz ที่ J1 แล้วปรับ AF GENERATOR ได้ไซน์เวฟ 800 Hz 1 Vp-p ที่ J15 และปรับ OFFSET ADJUST ให้อินทิเกรเตอร์ 1 ให้มีเอาต์พุตที่ J23 ของ CH2 มีสัญญาณสมมาตร
2. ค่อยๆปรับให้ AF GENERATOR มีความถี่ไปที่ 800 Hz, 1.2 KHz, 1.6 KHz และบันทึกผลสัญญาณของเอาต์พุตที่ J23 กับสัญญาณเอาต์พุตที่ J27



VOLT /DIV = 2 V TIME /DIV = 0.5 mS

รูปที่ 3.7 ผลของสัญญาณดิจิทัลแอมป์กับสัญญาณแอนะล็อกที่มีความถี่ 800 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

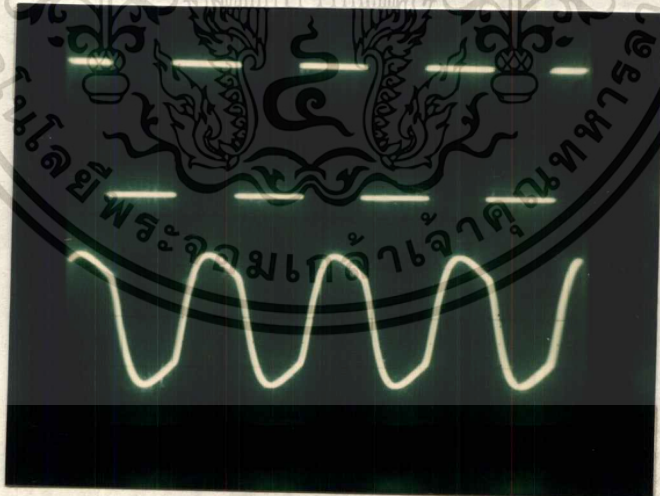


CH 1 VOLT/DIV = 2 V CH 2 VOLT/DIV = 1 V

TIME /DIV = 0.5 mS

รูปที่ 3.8 ผลของสัญญาณดิจิทัลแอมป์กับสัญญาณแอนะล็อกที่มีความถี่ 1.2 KHz

3. ผลของสัญญาณดิจิทัลแอมป์ที่ J17 กับสัญญาณแอนะล็อกที่ J27 ของความถี่ 1.6 KHz



CH 1 VOLT/DIV = 2 V CH 2 VOLT/DIV = 1 V

TIME/DIV = 0.1 mS

รูปที่ 3.10 ผลของสัญญาณดิจิทัลแอมป์กับสัญญาณแอนะล็อกที่มีความถี่ 1.6 KHz

สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองสัญญาณป้อนกลับมีผลต่อสัญญาณคิจิตอลแชนเบิ้ลเพราะต้องนำสัญญาณกลับไปเปรียบเทียบกับสัญญาณคิจิตอลทางอินพุตเพื่อนำไปเข้ารหัสแบบเคลตา จากนั้นสัญญาณเข้ารหัสจะถูกไปทำการถอดรหัส โดยการเปรียบเทียบสัญญาณอินเทอร์ 1 กับสัญญาณอินเทอร์ 2 เพื่อนำสัญญาณคิจิตอลกลับคืนมา

คำถามท้ายการทดลอง

1. สัญญาณอินเทอร์คมีผลอย่างไรกับสัญญาณคิจิตอลแชนเบิ้ล

สัญญาณอินเทอร์คจะกลับไปเปรียบเทียบกับสัญญาณคิจิตอล ถ้าสัญญาณอินเทอร์คมีค่าน้อยกว่าสัญญาณคิจิตอล ผลสัญญาณคิจิตอลแชนเบิ้ลจะมีค่าเป็นสภาวะ 1 แต่ถ้าสัญญาณอินเทอร์คมีมากกว่าสัญญาณคิจิตอล ผลสัญญาณแชนเบิ้ลจะมีค่าเป็นสภาวะ 0

2. สัญญาณความถี่ AF GENERATOR จะมีผลต่อสัญญาณคิจิตอลแชนเบิ้ลหรือไม่ มีผลต่อสัญญาณคิจิตอลแชนเบิ้ลเพราะต้องนำสัญญาณไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอินเทอร์ค

ใบงานที่ 4

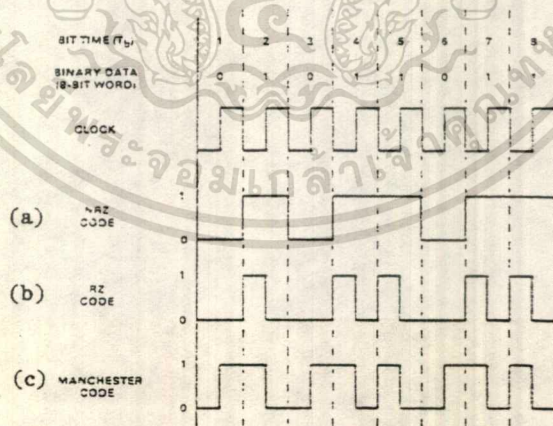
การทดลอง FREQUENCY SHIFT KEYING (FSK)

จุดประสงค์

1. เรียนรู้วิธีการกำเนิดสัญญาณขอมูล RZ, NRZ และ MANCHESTER
2. เรียนรู้วิธีการมอดูเลต (MODULATION)
3. เรียนรู้วิธีการดีมอดูเลต (DEMODULATION)
4. เรียนรู้เกี่ยวกับสัญญาณรบกวน (NOISE) ที่มีผลกระทบต่อการใช้งาน FSK

ทฤษฎีและหลักการ

ในการออกแบบระบบสื่อสารขอมูลในการส่ง และรับสัญญาณที่เป็นสัญญาณดิจิทัล ประกอบด้วยสภาวะ 2 สภาวะ คือสภาวะ 0 กับสภาวะ 1 ซึ่งในแต่ละระดับสัญญาณเป็น 1 บิต ซึ่งความเร็วในการส่งขอมูลจะมีค่าเป็น บอดเลต (BAUDRATE) สัญญาณดิจิทัลที่นิยมนำมาทำรหัสขอมูลมีหลายแบบด้วยกัน เช่น NRZ, RZ, และ Manchester ดังแสดงในรูปที่ 4.1

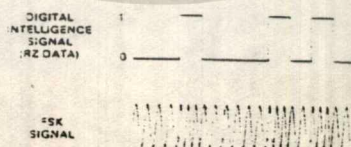


รูปที่ 4.1 รหัสขอมูลแบบต่างๆ

เมื่อสัญญาณดิจิทัลถูกส่งออกไปในสายส่งในขณะที่มีข้อมูลจำนวนไม่มาก ก็จะสามารถส่งข้อมูลดังกล่าวได้ดี แต่ในงานที่มีความต้องการจำนวนข้อมูล และระยะทางเพิ่มมากขึ้นจึงมีการเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณให้อยู่แบบการมอดูเลต เพื่อจะได้ส่งสัญญาณได้มากขึ้น วิธีการแรก คือการมอดูเลตแบบ FSK ลักษณะการมอดูเลตสัญญาณจะถูกเลื่อนไป (SHIFT) ระหว่าง 2 ความถี่ โดยความถี่แรกจะแสดงเป็นไบนารี 1 และความถี่ที่เหลือแสดงเป็นไบนารี 0 ของสัญญาณดิจิทัลซึ่งแอมพลิจูด (AMPLITUDE) ของความถี่จะคงที่ และลักษณะของความถี่แตกต่างกันก็ขึ้นอยู่กับรหัสที่ใช้ในการมอดูเลตดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 รหัสข้อมูลแบบ NRZ จะมีจำนวนลูกคลื่น 6 ลูกคลื่น (CYCLE) ในส่วนที่เป็นไบนารี 1 หรือความถี่สูง และมีจำนวนลูกคลื่น 4 ลูกคลื่นแสดงเป็นไบนารี 0 หรือความถี่ต่ำ



รูปที่ 4.3 รหัสข้อมูลแบบ RZ

อุปกรณ์การทดลอง

แหล่งจ่ายไฟ

OCILLOSCOPE

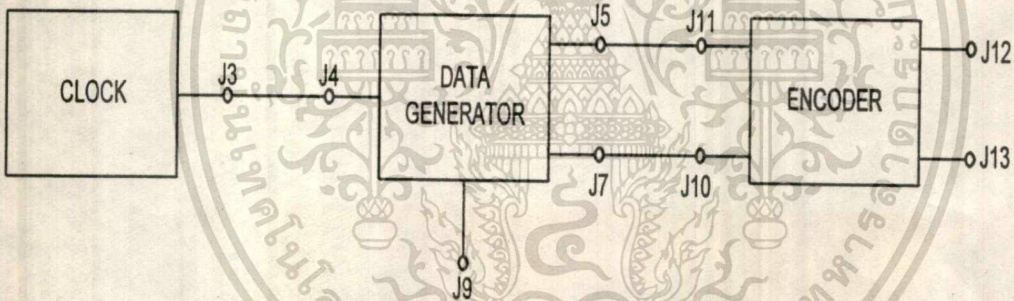
AF GENERATOR

ชุดทดลอง FSK MODULATION และ DEMODULATION

วิธีการทดลอง

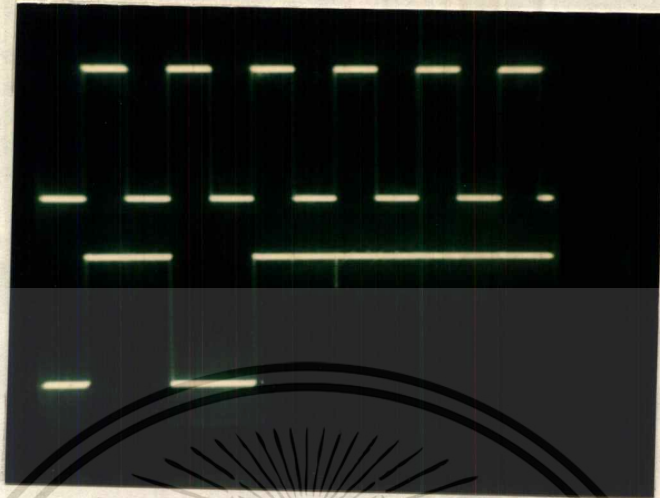
ตอนที่ 1

1. ต่อดังรูปที่ 4.5 แล้วปรับความถี่ให้ได้ 32 KHz ที่ J5 แล้วตั้ง OSCILLOSCOPE ทั้ง 2 CH ให้อยู่ 0.5V/DIV จากนั้นปรับความถี่ให้เป็นตรงกันข้าม แล้วปรับปุ่มต่างๆ ให้สัญญาณแสดงที่หน้าจอบันทึกผลสัญญาณ



รูปที่ 4.5 ผังการทำงานของวงจรเข้ารหัส

2. ต่อ PROBE CH1 ที่ J7 แล้วเปรียบเทียบสัญญาณ J7 กับ J5 แล้วสังเกตสัญญาณ J7 ว่ามีรหัสข้อมูลแบบ NRZ เป็น 10101111 แล้วดูจำนวนลูกคลื่นของไบนารี 1 กับ 0 บันทึกผลการทดลอง



VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 20 μ S

รูปที่ 4.6 ผลของสัญญาณ CLOCK กับข้อมูลรหัสแบบ NRZ

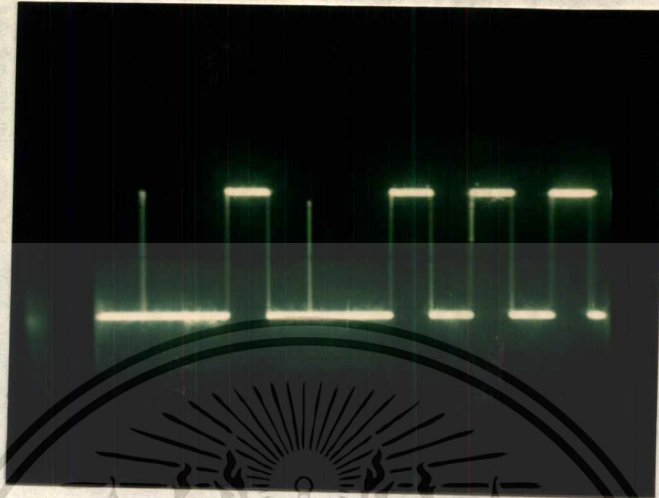
3. ข่าย PROBE CH 2 จาก J7 ไปที่ J8 และ J9 บันทึกผลการทดลอง



VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 20 μ S

รูปที่ 4.7 ผลของสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ NRZ

4. ข่ายสาย PROBE CH 2 จาก J9 กลับมาที่ J7 แล้วข้าย PROBE CH 1 จาก J5 ไป J12 แล้วบันทึกผลการทดลอง



VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 20 μ S

รูปที่ 4.8 ผลสัญญาณรหัสขอมูลแบบ RZ

5. ข่ายสายต่อระหว่างจุด J5 กับ J11 ไปต่อ J6 กับ J11 แล้วข้าย PROBE CH 1 จาก J12 ไปที่ J13 บันทึกผลการทดลอง

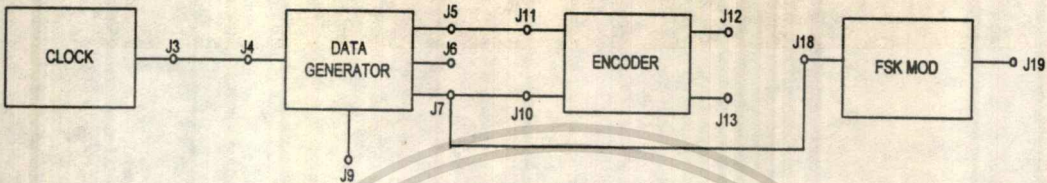


VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 20 μ S

รูปที่ 4.9 ผลสัญญาณรหัสขอมูลแบบ MANCHESTER

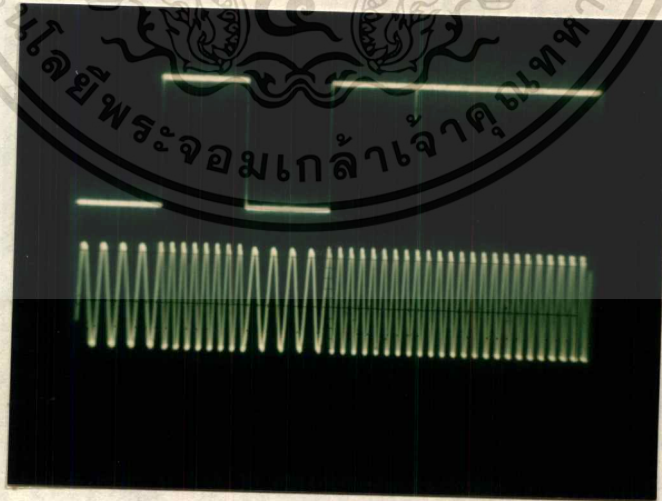
ตอนที่ 2

1. ประกอบวงจรตามรูปที่ 4.10 แล้วปรับ FREQUENCY ADJUST LOW ให้วงจร FSK MOD มีความถี่ 128 KHz ที่ J19 และเปิดวงจรที่ J18 แล้วปรับ FREQUENCY ADJUST- HIGH ให้ FSK MOD มีความถี่ 192 KHz



รูปที่ 4.10 ผังการทำงานของวงจร FSK MOD

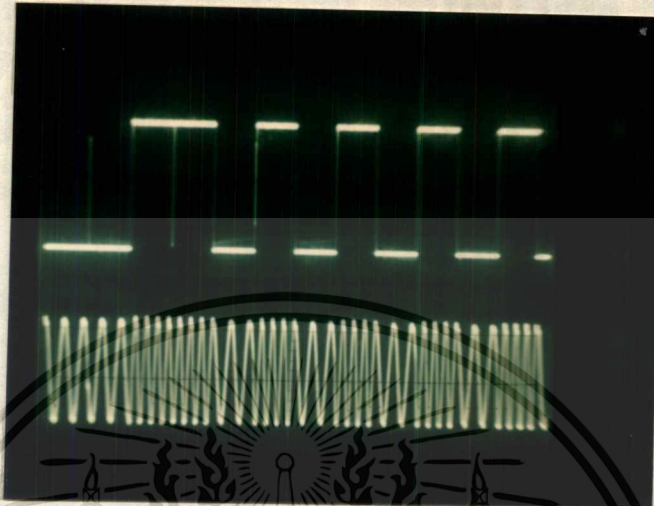
2. ต่อสายจากจุด J7 ไปที่ J18 และต่อ PROBE CH 1 ที่ J7 ต่อ PROBE CH 2 ที่ J19 แล้วตั้ง CH ทั้งสองให้อยู่ 0.5V/DIV และ 20 μ S/DIV จากนั้นปรับความชันสัญญาณของ OSCILLOSCOPE ให้อยู่ตรงกันข้าม จากนั้นค่อยๆเปลี่ยนความถี่วงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ให้สัญญาณแสดงออกมาคงที่ บันทึกผลสัญญาณที่ J7 กับ J19



VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 10 μ S

รูปที่ 4.11 ผลสัญญาณรหัสข้อมูลแบบ NRZ กับสัญญาณ FSK MOD

3. ย้ายสายจากจุด J7 กับ J18 ไปเป็น J12 กับ J18 จากนั้นย้าย PROBE CH 1 จาก J7 ไปที่ J12 บันทึกผลการสัญญาณ J12 กับ J18



VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 20 μ S

รูปที่ 4.12 ผลสัญญาณรหัสขอมูลแบบ RZ กับสัญญาณ FSK MOD

4. ย้ายสายจากจุด J5 กับ J11 ไปเป็น J6 กับ J11 และจุด J12 กับ J18 ไปเป็น J13 กับ J18 จากนั้นย้าย PROBE CH 1 จาก J12 ไปเป็น J13 บันทึกผลสัญญาณ J13 กับ J18

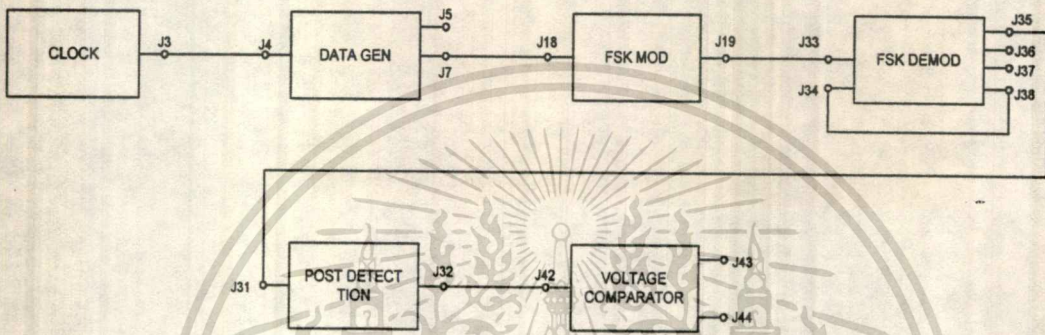


VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 20 μ S

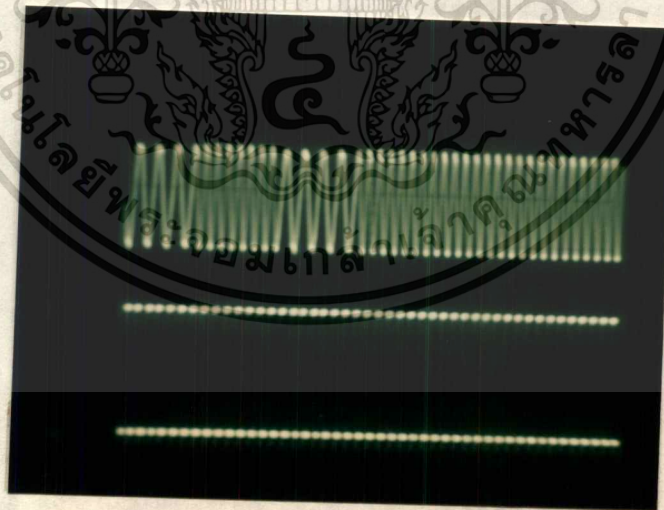
รูปที่ 4.13 ผลสัญญาณรหัสขอมูลแบบ MANCHSESTER กับสัญญาณ FSK MOD

ตอนที่ 3

1. ต่อยวงจรตามรูปที่ 4.14 แล้วตั้ง CH 1 ที่ J5 ให้อยู่ 20 $\mu\text{S}/\text{DIV}$ และ 0.5 V/DIV จากนั้นปรับแกนนอน และแกนตั้งให้แสดงผลหน้าจอ OSCILLOSCOPE 32 KHz ของ J5 จากนั้นย้าย PROBE CH 1 จาก J5 ไป J33 แล้วเลื่อนสวิตช์ไปที่ DEMOD แล้วต่อ PROBE CH 2 ที่ J34 และบันทึกผลสัญญาณ J33 กับ J34



รูปที่ 4.14 ผังการทำงานของวงจร FSK DEMOD

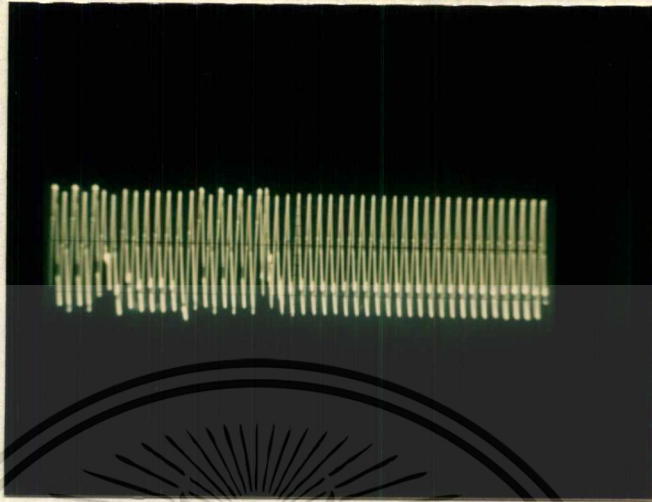


VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 20 μS

รูปที่ 4.15 ผลสัญญาณข้อมูล OSCILLATOR กับสัญญาณ VCO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ย้าย PROBE CH 2 จาก J34 ไป J35 แล้วปรับที่ 0.2 V/DIV กับ 20 μ S/DIV บันทึกผล



VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 20 μ S

รูปที่ 4.16 ผลสัญญาณ FSK MOD

3. เลือก BAND SWITCH ของวงจร POST DETECTION FILTER ไปที่ตำแหน่ง LOW จากนั้นย้าย PROBE CH 1 จาก J33 ไปที่เอาต์พุตของวงจร VOLTAGE COMPARATOR ที่ J44 บันทึกผลการสัญญาณ



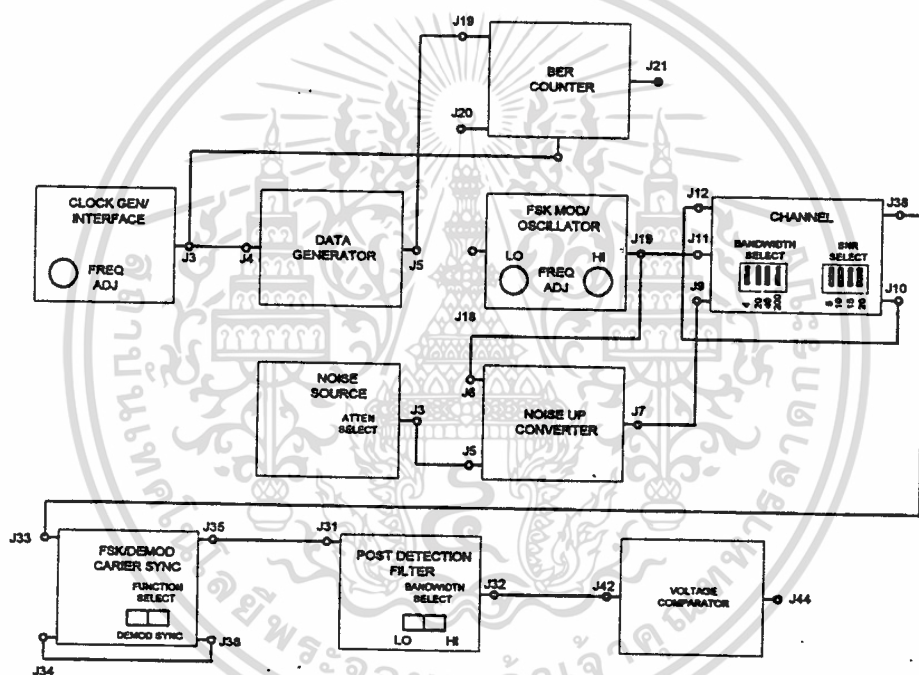
VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 20 μ S

รูปที่ 4.17 ผลสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 4

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 4.18 แล้วต่อ OSCILLOSCOPE CH 1 ที่ J5 กับ CH 2 ที่ J19 ตั้งทั้งสอง CH ให้อยู่ 0.5 V/DIV และ 10 μ s/DIV จากนั้นปรับสวิทช์ ATTEN SELECT ของวงจร NOISE SOURCE ไปที่ x1 แล้วปรับ BANDWIDCH SELECT ทั้งหมด และสวิทช์ SNR SELECT ของวงจร CHANNEL ไปตำแหน่ง OFF และให้ปรับวงจร CLOCK ให้มีพัลส์ 32 KHz ที่ J3 ปรับสวิทช์ FUNCTION SELECT ของวงจร FSK MOD ไปที่ DEMOD จากนั้นปรับสวิทช์ BANDWIDCH ของวงจร POST DETECTION FILTER ไปที่ LO



รูปที่ 4.18 ผังการทำงานของวงจรสัญญาณรบกวน

2. ต่อ FREQUENCY COUNTER ที่ J19 ของวงจร FSK MOD แล้วปรับ FREQUENCY ADJUST HIGH ให้ได้ความถี่ 192 KHz ที่ J19 แล้วต่อ J18 ลงกราวด์ปรับให้มีความถี่ 128 KHz

ที่ J19 จากนั้นต่อสายจาก J18 กับ J5 ของวงจร DATA GENERATOR แล้วบันทึกผลสัญญาณ J5 กับ J19



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 4.19 ผลสัญญาณ CLOCK

3. ข่าย PROBE CH 2 จาก J19 ไปที่ J13 แล้วบันทึกผลสัญญาณ

VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 4.20 ผลสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR กับที่ SNR 15 dB

4. ย้าย PROBE 2 จาก J13 ไปที่ J34 แล้วปรับ SNR SELECT ไปที่ 20dB และกดสวิทช์ S4 ของวงจร BER COUNTER บันทึกผลสัญญาณจากนั้น แล้วเปลี่ยนสวิทช์ NSR SELECT ไปที่ 15dB, 10dB, 5dB แล้วบันทึกผลตามลำดับ



VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 4.21 ผลสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR กับที่ SNR 20 dB

VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 4.22 ผลสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR กับที่ SNR 15 dB

VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 4.23 ผลสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR กับที่ SNR 10 dB

VOLT/DIV = V TIME/DIV = S

รูปที่ 4.24 ผลสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR กับที่ SNR 5 dB

สรุปผลการทดลอง

วิธีการเข้ารหัสสัญญาณแบบ NRZ, RZ และ MANCHESTER มีวิธีการเข้ารหัสแต่ละไบนารี 1 กับ ไบนารี 0 แตกต่างกันไป และเมื่อนำรหัสสัญญาณไปมอดูเลตแบบ FSK ผลของสัญญาณไบนารี 1 จะเป็นสัญญาณคลื่นพาห์ความถี่สูง และไบนารี 0 จะเป็นสัญญาณคลื่นพาห์ความถี่ต่ำ และการมอดูเลต โดยใช้เฟสล็อกในการขยายสัญญาณ FSK จากนั้นสัญญาณไปกรองความถี่ต่ำ และเปรียบเทียบสัญญาณ เพื่อต้องการนำสัญญาณดิจิทัลเดิมกลับคืนมา

คำถามท้ายการทดลอง

1. การมอดูเลตสัญญาณ FSK มีหลักการอย่างไร

คลื่นพาหะสูงกับคลื่นพาหะต่ำจะเป็นส่วนประกอบทางค่านเอคท์พุดของสัญญาณมอดูเลตแบบ FSK ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสัญญาณดิจิทัล ถ้าสัญญาณดิจิทัลเป็นสภาวะ 1 สัญญาณมอดูเลตแบบ FSK สัญญาณคลื่นพาหะสูง ถ้าเป็นสภาวะ 0 จะอยู่ในลักษณะตรงกันข้าม

2. การคีมอดูเลตสัญญาณ FSK มีกี่แบบ

การมอดูเลตมี 2 แบบ คือ 1.แบบอะซิงโครนัส

2.แบบซิงโครนัส



ใบงานที่ 5

การทดลอง AMPLITUDE SHIFT KEYING (ASK)

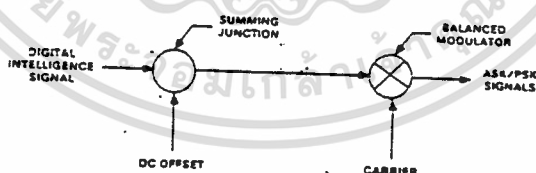
จุดประสงค์

1. เรียนรู้ถึงกระบวนการนำสัญญาณดิจิทัลไปมอดูเลต แบบ ASK
2. เรียนรู้ถึงกระบวนการดีมอดูเลตสัญญาณแบบ ASK

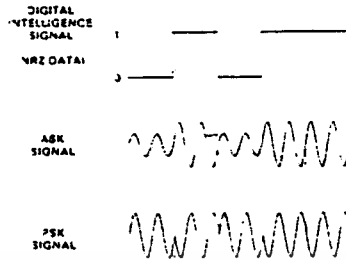
หลักการและทฤษฎี

ASK เป็นการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลด้วยคลื่นพาห้ สัญญาณที่เป็น ไบนารี 1 ทำให้ค่าแอมพลิจูดของพาห้มีค่าสูงสุด ถ้าเป็น ไบนารี 0 ค่าแอมพลิจูดของพาห้มีค่าต่ำสุด ส่วน ASK ในแบบของ ON-OFF KEYING (OOK) การมอดูเลตทำให้ ไบนารี 0 มีค่าเป็น 0

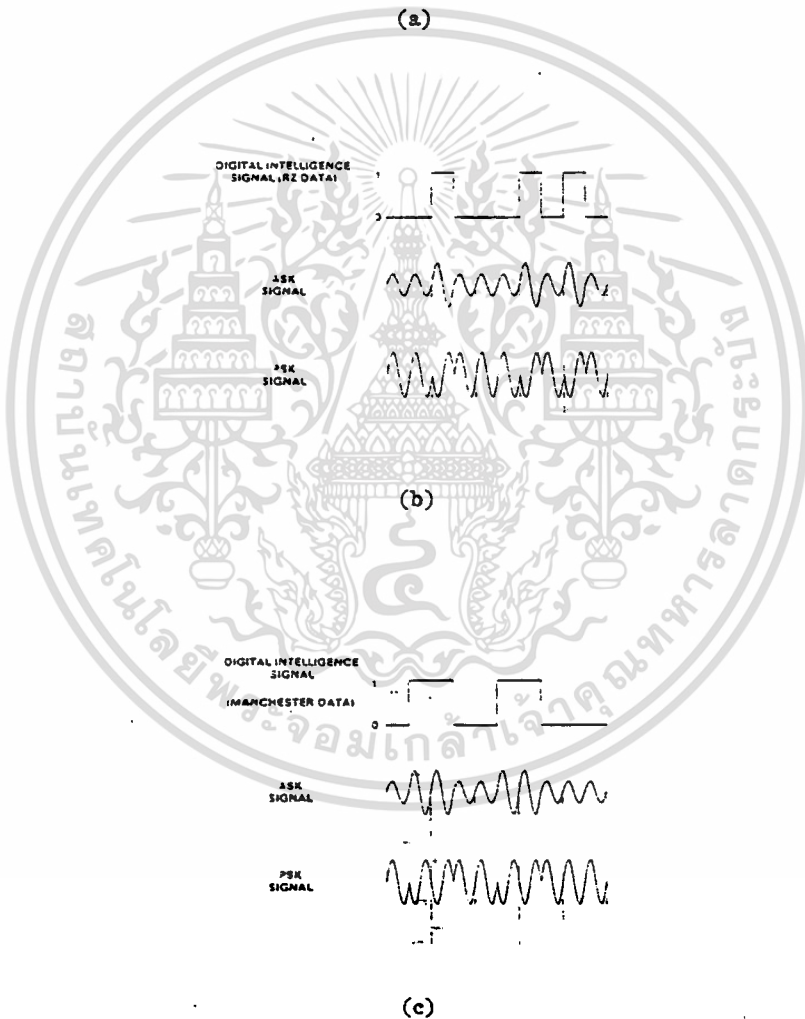
สัญญาณ ASK สามารถทำการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลด้วยรหัสต่างกันได้ ดังเช่น เกิดจากรหัสข้อมูลแบบ NRZ ที่สัญญาณ ASK จะมี 1 พัลส์ประกอบด้วยไบนารี 0 และเป็นไบนารี 1 มี 1 ลูกคลื่น และที่เหลือเป็นไบนารี 0 มีจำนวน 2 ลูกคลื่น และเกิดจากรหัสข้อมูลแบบ MANCHESTER สัญญาณ ASK ใน 1 บิต จะมีไบนารี 2 ระดับ ที่เป็นสภาวะ 1 กับสภาวะ 0



รูปที่ 5.1 หลักการมอดูเลต



(a)



รูปที่ 5.2 การมอดูเลตกับสัญญาณข้อมูลแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์การทดลอง

แหล่งจ่ายไฟ

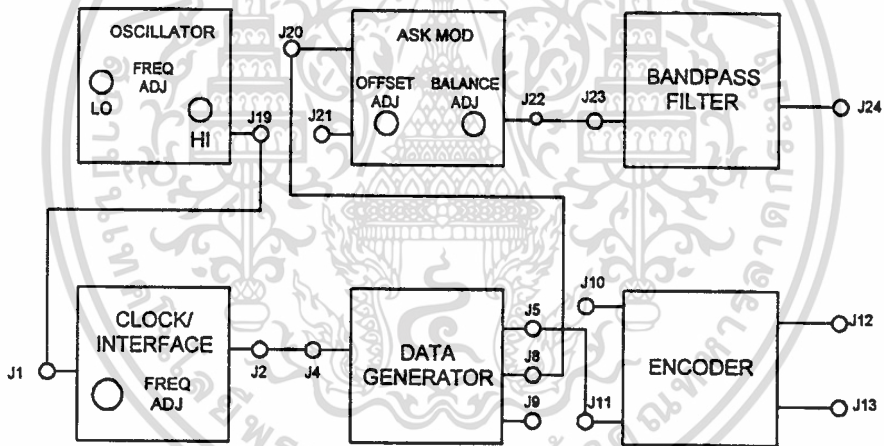
OSCILLOSCOPE

ชุดทดลอง ASK MODULATION และ DEMODULATION

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1

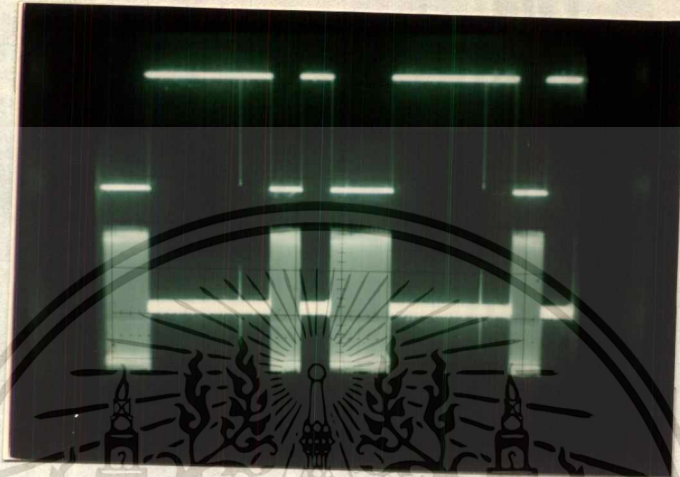
1. ประกอบวงจรตามรูปที่ 5.3 แล้วตั้ง OSCILLOSCOPE CH 1 ที่ J8 ให้อยู่ 0.5 V/DIV CH 2 ที่ J22 ให้อยู่ 1 V/DIV และ 10 μ S/DIV จากนั้นปรับ OFFSET ADJUST ให้มีสัญญาณพัลส์หลายๆ และปรับ BALAND ADJUST ให้เป็น 0 โวลต์ที่ J22



รูปที่ 5.3 ผังการทำงานของวงจร ASK MOD

2. ค่อยสายจากจุด J19 ไป J21 ย้าย PROBE CH 2 จาก J22 ไป J19 แล้วปรับ FREQUENCY ADJUST HIGH ให่วงจร FSK MOD มีสัญญาณไซน์เวฟ 192 KHz ที่ J19

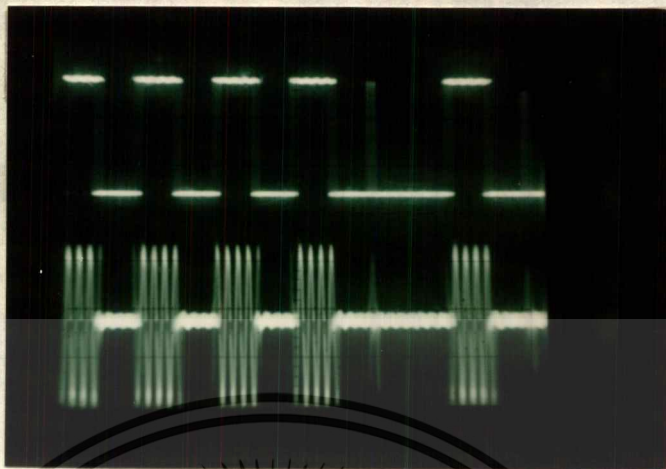
3. ปรับ OFFSET ADJUST ของวงจร ASK MOD ให้มีสัญญาณพัลซ်หลายๆ และปรับจนกระทั่งสัญญาณคลื่นพหุมีแอมพลิจูด 2 Vp-p และย้าย PROBE CH2 จาก J19 ไปที่ J24 บันทึกผลการทดลอง J24 กับสัญญาณ J20



VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 10 μ S

รูปที่ 5.4 ผลสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ NRZ กับสัญญาณ ASK MOD

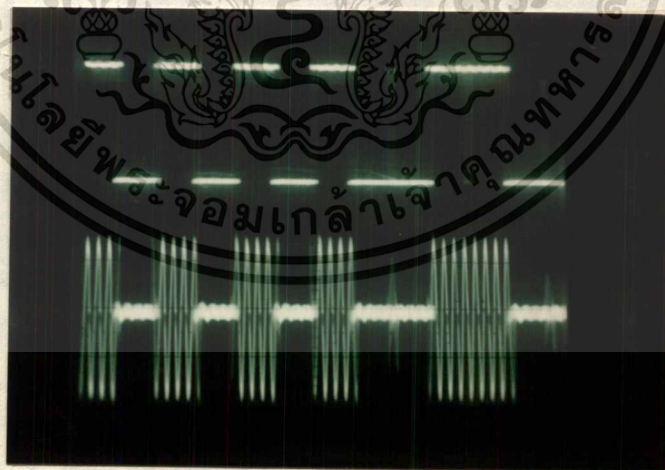
4. ย้ายสายจากจุด J8 กับ J20 ไปเป็น J12 กับ J20 และย้าย PROBE CH 2 จาก J8 ไป J12 จากนั้นปรับ OFFSET ADJUST ให้มีสัญญาณคลื่นพหุที่ J24 มี 0 โวลต์ เมื่อสัญญาณ RZ ที่ J20 เป็นไบนารี 0 สังเกตสัญญาณแล้วบันทึกผล และปรับ OFFSET ADJUST ให้มีสัญญาณพัลซ်หลายๆ จนกระทั่งสัญญาณ ASK ที่ J24 มีแอมพลิจูด 2 Vp-p บันทึกผลจำนวนลูกคลื่น



VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 10 μ S

รูปที่ 5.5 ผลของสัญญาณขอมูลรหัสแบบ RZ กับสัญญาณ ASK MOD

5. ย้ายสายจากจุด J5 กับ J11 ไปเป็น J6 กับ J11 และจุด J12 กับ J20 ไปเป็น J13 กับ J20 และย้าย PROBE CH 1 จาก J13 แลวนับที่กผลสัญญาณ J13 กับ J24

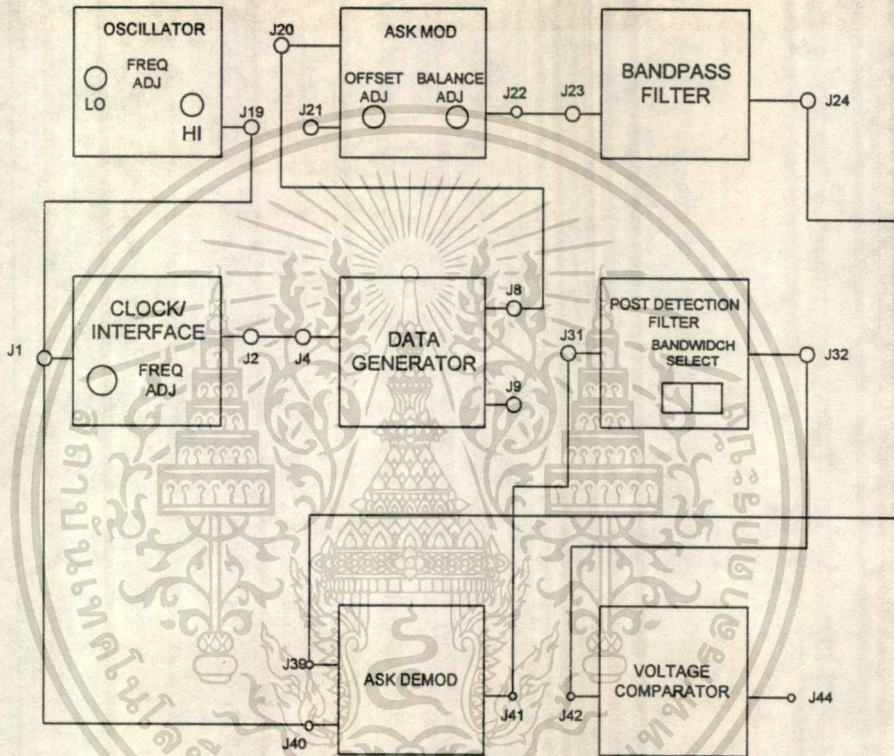


VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 10 μ S

รูปที่ 5.6 ผลสัญญาณขอมูลรหัสแบบ MANCHESTER กับสัญญาณ ASK MOD

ตอนที่ 2

1. ต่อดิจิตอลตามรูปที่ 5.7 แล้วปรับ OSCILLOSCOPE CH 1 ที่ J20 และ CH 2 ที่ J19 ให้อยู่ 0.5 V/DIV และ 10 μ S/DIV แล้วปรับ FREQ ADJUST HIGH ให้ วงจร FSK MOD มีสัญญาณไซน์ เหวฟ 192 KHz ที่ J19 แล้วปรับ BANDWIDTH SELECT ของวงจร POST DETECTION ไปที่ HIGH



รูปที่ 5.7 ฟังก์ชันการทำงานของวงจร ASK DEMOD

2. ข่าย PROBE CH 2 จาก J19 ไป J22 ปรับ BALANCE ADJUST ของวงจร ASK MOD ให้มีแอมพลิจูดเป็น 0 โวลต์ แล้วต่อสายจากจุด J19 กับ J21 จากนั้นปรับ OFFSET - ADJUST ให้ ASK MOD มีสัญญาณพัลส์ขึ้นมาๆ บันทึกผลสัญญาณกับ J22



VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 10 μ S

รูปที่ 5.8 ผลสัญญาณ ASK MOD

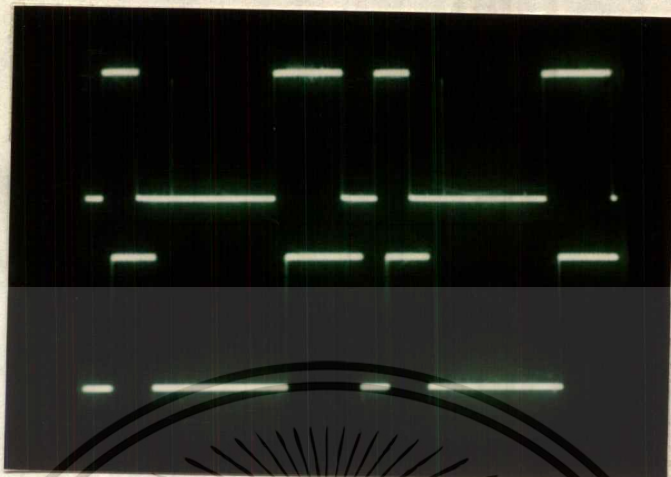
3. ย้าย PROBE CH 1 จาก J20 ไปที่ J41 แล้วปรับให้อยู่ 0.1 V/DIV บันทึกผลสัญญาณ J41



VOLT/DIV = 1 V TIME/DIV = 10 μ S

รูปที่ 5.9 ผลสัญญาณ ASK DEMOD

4. ย้าย PROBE CH 1 จาก J41 ไป J44 บันทึกผลสัญญาณที่ J44 กับสัญญาณที่ J20



VOLT/DIV = 1 V TIME/DIV = 10 μ S

รูปที่ 5.10 ผลสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR กับสัญญาณข้อมูลแบบ NRZ

สรุปการทดลอง

การมอดูเลตสัญญาณแบบ ASK ประกอบด้วย สัญญาณคลื่นพาห์แอมพลิจูดสูงสุดแสดงเป็นไบนารี 1 กับสัญญาณคลื่นพาห์แอมพลิจูดต่ำสุดแสดงเป็นไบนารี 0 ซึ่งทั้งสองสัญญาณข้อมูลรหัสแบบ RZ, NRZ และ MANCHESTER เข้ามามอดูเลต และการดีมอดูเลต เป็นการตรวจจับสัญญาณคลื่นพาห์ เพื่อนำมาขยายกลับแล้วส่งไปกรองความถี่ต่ำ และเปรียบแรงดันเพื่อต้องการนำสัญญาณดิจิทัลกลับคืนมา

คำถามท้ายการทดลอง

1. การมอดูเลตสัญญาณ ASK มีหลักการอย่างไร

ตอบ นำสัญญาณคลื่นพาห์กับสัญญาณดิจิทัลเข้ามามอดูเลตกัน โดยให้สัญญาณดิจิทัลที่เป็นสถานะ 1 มีสัญญาณไซน์เวฟที่มีค่าแอมพลิจูดค่าหนึ่ง ส่วนสัญญาณดิจิทัลที่เป็นสถานะ 0 จะมีแอมพลิจูดของสัญญาณศูนย์

2. การดีมอดูเลตสัญญาณ ASK มีกี่แบบ

- ตอบ มี 2 แบบ คือ 1. แบบอะซิงค์โครไนซ์
2. แบบซิงค์โครไนซ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 6

การทดลอง PHASE SHIFT KEYING (PSK)

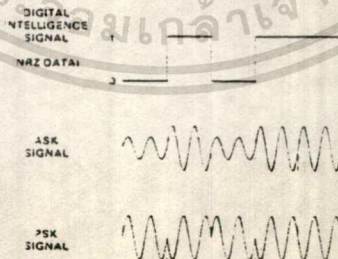
จุดประสงค์

1. เรียนรู้ถึงกระบวนการมอดูเลตแบบ PSK โดยให้สัญญาณดิจิทัลอยู่ในรหัสข้อมูลแบบ RZ, NRZ และ MANCHESTER
2. เรียนรู้ถึงกระบวนการดีมอดูเลตแบบ PSK

ทฤษฎีและหลักการ

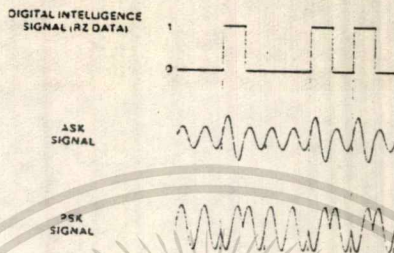
การมอดูเลตแบบ PSK เป็นการมอดูเลตของเฟสคลื่นพาห์ (PHASE CARRIER) เมื่อสัญญาณดิจิทัลเป็นไบนารี 1 การมอดูเลตจะได้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นสัญญาณที่มีค่าเป็นบวก (POSITIVE VOLTAGE) และไบนารี 0 เข้ามาผลที่ได้ คือสัญญาณจะมีเฟสตรงกันข้าม (OUT OF PHASE) แต่ถ้าไบนารี 1 เข้ามาอีกสัญญาณที่ได้จะมีเฟสตรงกัน (IN PHASE)

สัญญาณ PSK สามารถมอดูเลตได้จากสัญญาณดิจิทัลที่มีรหัสต่างกันดังเช่นรหัสข้อมูลแบบ NRZ ในรูป 4.7a สัญญาณ PSK ที่ไบนารี 0 จะมี 2 ลูกคลื่น และ ไบนารี 1 มีจำนวน 2 ลูกคลื่น แต่ไบนารี 0 กับไบนารี 1 จะมีเฟสต่างกัน 180 องศา



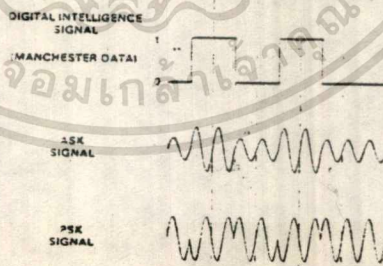
รูปที่ 6.1a รหัสข้อมูลแบบ NRZ

รหัสขอมูลแบบ RZ รูป 4.7b สัญญาณ PSK ในแต่ละลูกคลื่นจะมี 2 ไบนารี แต่ถ้าลูกคลื่นที่มีสัญญาณดิจิทัล 2 ระดับ คือ ไบนารี 1 กับไบนารี 0 ลูกคลื่นจะมีเฟสต่างกัน 180 องศา และบิตที่มีสัญญาณดิจิทัลระดับเดียว คือเป็นไบนารี 1 หรือไบนารี 0 ลูกคลื่นจะมีเฟสตรงกัน



รูปที่ 6.1b รหัสขอมูลแบบ RZ

รหัสขอมูลแบบ MANCHESTER รูป 4.7c สัญญาณ PSK ในแต่ละลูกคลื่นจะมี 2 ไบนารี ลูก ซึ่งไบนารี 1 กับไบนารี 0 จะมีจำนวนลูกคลื่นอย่างละ 1 ลูกคลื่น และไบนารี 1 เปลี่ยนไปเป็นไบนารี 0 สัญญาณจะมีเฟสตรงกันข้าม 180 องศา เช่นเดียวกันไบนารี 1 เปลี่ยนไปเป็นไบนารี 1



รูปที่ 6.1c รหัสขอมูลแบบ MANCHESTER

อุปกรณ์การทดลอง

แหล่งจ่ายไฟ

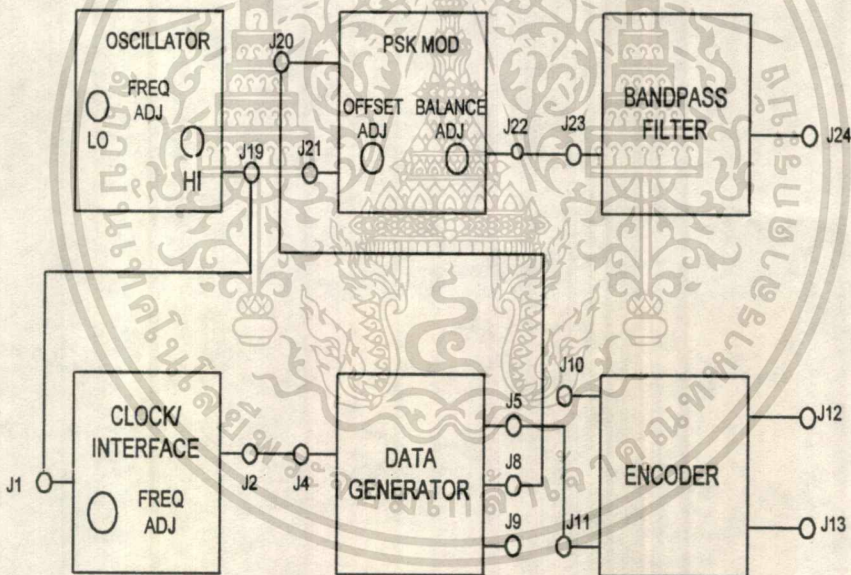
OSCILLOSCOPE

ชุดทดลอง PSK MODULATER และ DEMODULATER

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1

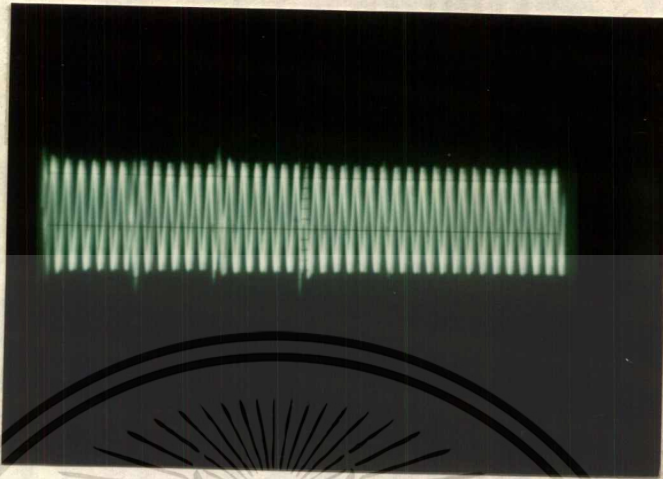
1. ต่อดังตามรูปที่ 6.2 ตั้ง OSCILLOSCOPE CH1 ที่ J8 ให้อยู่ 0.5 V/DIV CH2 ที่ J22 ให้อยู่ 0.2 V/DIV และตั้ง 20 μ S/DIV จากนั้นปรับ OFFSET ADJUST ของวงจร PSK MOD ให้มีสัญญาณพัลซ်หลายๆ และปรับ BALANCE ADJUST ให่วงจร PSK MOD เป็น 0 โวลต์ที่ J22



รูปที่ 6.2 ฟังก์ชันการทำงานของวงจร PSK MOD

2. ต่อดังจากจุด J19 กับ J21 แล้วย้าย PROBE CH 2 จาก J22 ไป J19 ให้ปรับ FREQUENCY ADJUST HIGH ของวงจร FSK MOD มีเอาท์พุท 192 KHz ที่ J19

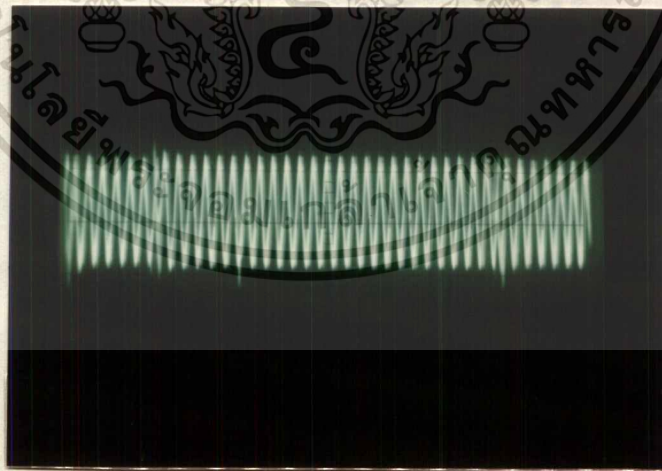
3. ย้าย PROBE CH 2 จาก J19 ไปที่ J22 แล้วบันทึกผลเปรียบเทียบกับสัญญาณ ที่ J20 เป็นข้อมูลรหัสแบบ NRZ



VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 20 μ S

รูปที่ 6.3 ผลสัญญาณข้อมูลรหัสสัญญาณ NRZ

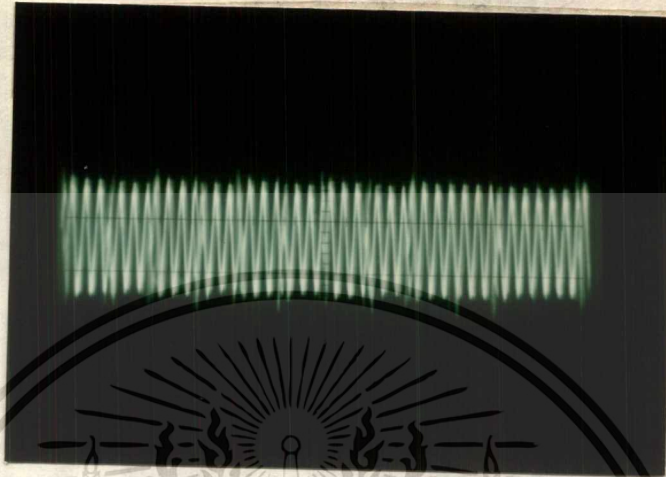
4. ย้ายสายจากจุด J20 กับ J8 ไปต่อ J20 กับ J12 แล้วปรับ OFFSET ADJUST ให้มี พัลส์ มากๆ จากนั้นย้าย PROBE CH 1 จาก J8 ไปที่ J12 และย้าย PROBE CH 2 กลับมายัง J22 บันทึกผลสัญญาณ J22



VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 20 μ S

รูปที่ 6.4 ผลสัญญาณ PSK MOD

5. ขยายสายจากจุด J9 กับ J11 และ J12 กับ J20 ไปเป็น J6 กับ J11 และ J13 กับ J20 ตามลำดับ แล้วบันทึกผลสัญญาณ J24

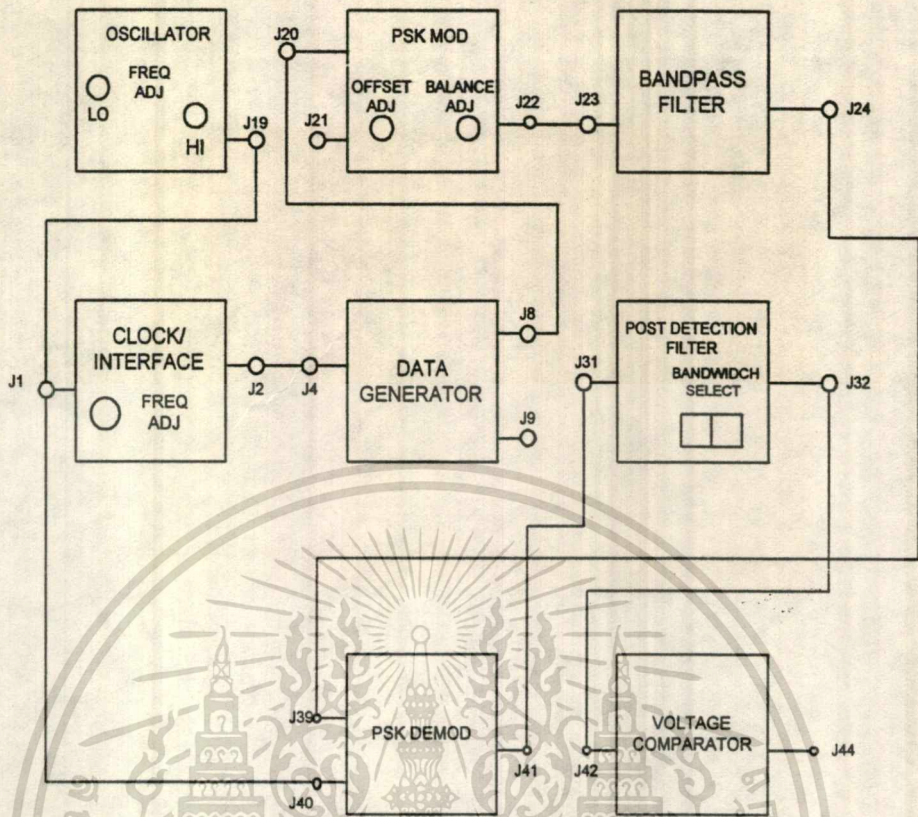


VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 20 μ S

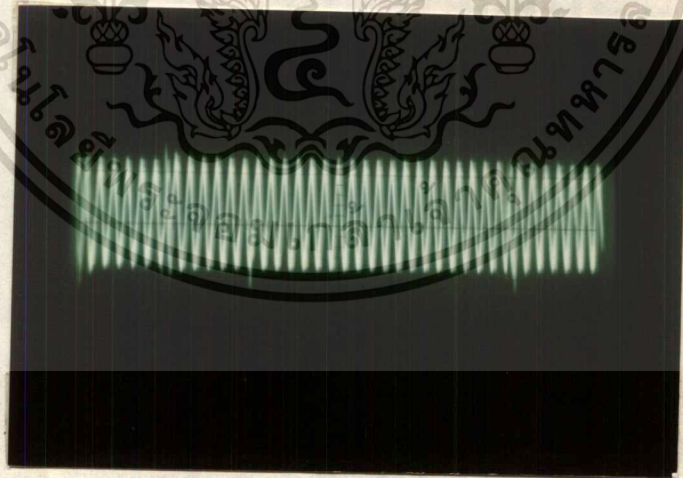
รูปที่ 6.5 ผลสัญญาณ PSK MOD

ตอนที่ 2

1. ต่อยังตามรูปที่ 6.6 จากนั้นปรับ OSCILLOSCOPE CH1 ที่ J20 และ CH2 ที่ J19 ให้อยู่ 0.5 V/DIV และ 10 μ S/DIV ทั้ง 2 CH จากนั้นปรับ FREQUENCY ADJUST HIGH ของ FSK MOD ให้ได้ 192 KHz ที่ J19 แล้วเลือก BANDWIDTH SELECT ของวงจร POST DETECTION ไปที่ HI แล้วย้าย PROBE CH2 จาก J19 ไปที่ J22 ปรับ BALANCE ADJ ให้ PSK MOD เป็น 0 โวลต์ที่ J22 บันทึกผลการทดลองที่ J24



รูปที่ 6.6 ฟังก์ชันการทำงานของวงจร PSK DEMOD

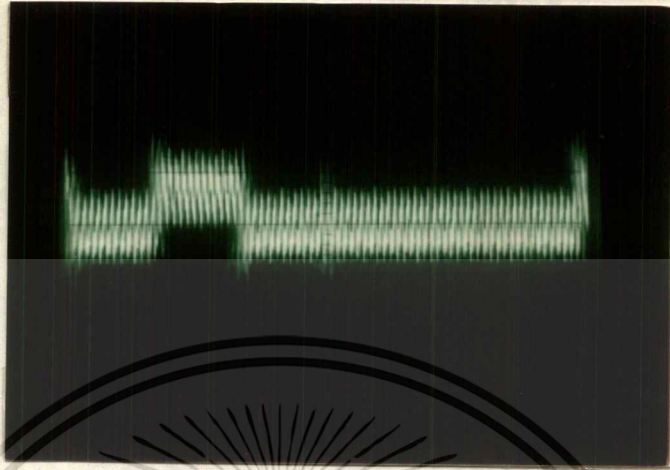


VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 20 μ S

รูปที่ 6.7 ผลสัญญาณ PSK MOD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ย้าย PROBE CH 1 จาก J24 ไปที่ J41 บันทึกผลการทดลอง J41



VOLT/DIV = 1 V TIME/DIV = 20 μ S

รูปที่ 6.8 ผลสัญญาณ PSK DEMOD

3. ย้าย PROBE CH 2 จาก J22 ไปที่ J44 สัญญาณของวงจร VOLTAGE COMPARATOR
บันทึกผลการทดลอง



VOLT/DIV = 2 V TIME/DIV = 0.5 mS

รูปที่ 6.9 ผลสัญญาณ VOLTAGE COMPARATOR

สรุปผลการทดลอง

การมอดูเลตสัญญาณแบบ PSK ประกอบด้วยสัญญาณข้อมูลที่เฟสเลื่อนไปตามไบนารี 1 เปลี่ยนเป็นไบนารี 0 หรือไบนารี 1 เปลี่ยนเป็นไบนารี 1 ของสัญญาณดิจิทัล และการมอดูเลต มีการกระทำแบบ SYNCHRONOUS โดยการตรวจจับสัญญาณ เพื่อนำคลื่นพาห์มาขยาย แล้วส่งสัญญาณไปกรองความถี่ต่ำ และเปรียบเทียบกับแรงดัน เพื่อต้องการนำสัญญาณดิจิทัลเดิมกลับคืนมา

คำถามท้ายการทดลอง

1. การมอดูเลตสัญญาณ PSK มีหลักการอย่างไร

นำสัญญาณคลื่นพาห์กับสัญญาณดิจิทัลเข้ามามอดูเลตด้วยกัน ผลที่ได้เมื่อสัญญาณดิจิทัลมีสถานะ 1 จะแสดงเป็นไซแคว์หลายๆ ลูกคลื่น ถ้าสัญญาณต่อมา มีสถานะ 0 จะทำให้ช่วงที่สัญญาณดิจิทัลเปลี่ยนเป็นสถานะ 0 ลูกคลื่นไซแคว์แสดงผลของเฟสตรงกันข้ามกัน 180 องศา

2. การดีมอดูเลตสัญญาณ PSK ทำไม ทำแบบ SYNCHRONOUS ได้อย่างเดียวในการทดลอง

เพราะในการดีมอดูเลตสัญญาณแบบอะซิงโครไนซ์จำเป็นต้องตรวจจับสัญญาณมอดูเลตแบบ PSK ตรงช่วงการเปลี่ยนเฟสให้แน่นอนเพื่อการนำสัญญาณดิจิทัลกลับคืนมา

ใบงานที่ 7

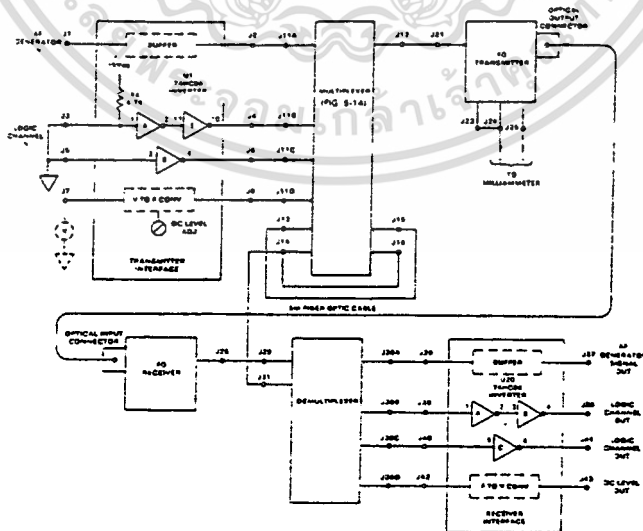
การทดลอง FIBER OPTIC

จุดประสงค์

1. สามารถเรียนรู้และเข้าใจการสื่อสารแบบอนาล็อกโดยใช้เส้นใยแสง
2. สามารถเรียนรู้และเข้าใจการสื่อสาร โดยส่งแรงดันไฟตรงผ่านระบบดิจิทัลผ่านเส้นใยแสง
3. สามารถเรียนรู้และเข้าใจประโยชน์ของสัญญาณพัลส์ที่ดีกว่าสัญญาณที่มีความต่อเนื่องของการเชื่อมต่อที่มีระยะทางเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย
4. สามารถเรียนรู้และเข้าใจการทำงานของระบบ TDM โดยเชื่อมต่อด้วยเส้นใยแสง

ทฤษฎีและหลักการ

ในทางอุดมคติ การผสมสัญญาณในการสื่อสารที่ใช้เส้นใยแสง โดยการนำเอาคุณสมบัติพิเศษของการส่งสัญญาณดิจิทัลของการเชื่อมต่อด้วย และนำมารวมกันหลาย ๆ CHANNEL เดียว สัญญาณที่ถูกรวมจะถูกคิดแปลง ทำการสื่อสารผ่านเส้นใยแสงบนชุดฝักจะประกอบไปด้วย TIME DIVISION MULTIPLEXING (TDM) พื้นฐานของ TDM ทำงานวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้

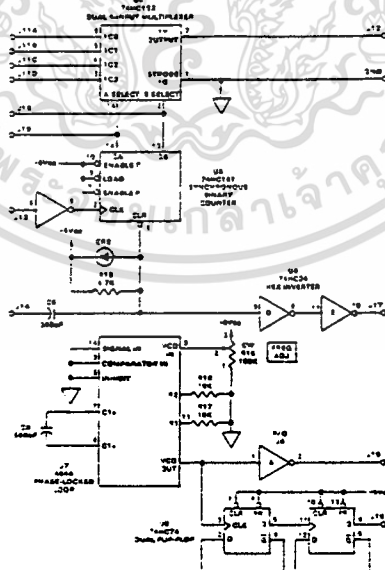


รูปที่ 7.1 วงจรมัลติเพล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงส่วนประกอบของวงจรของ TDM ซึ่งบางส่วนของวงจรนี้จะถูกวางอยู่ในตำแหน่งระหว่าง TRANSMITTER INTERFACE และ RECEIVER INTERFACE INPUT ของวงจร ต่อเข้ากับเกต และ U1-E เป็น BUFFER ให้แก่ J3 และ J4 วงจรนี้ รับสัญญาณ อินพุต ที่เป็นระดับสัญญาณ TTL หรือ CMOS เกตอินเวอร์เตอร์ U1-B สามารถรับสัญญาณ CMOS และขับสัญญาณให้กลับสัญญาณระหว่าง J5 กับ J6 ในส่วนของภาคเอาต์พุตของวงจรมี U20-A และ U20-B เป็นตัวขับสัญญาณระหว่าง J38 กับ J39 เกต อินเวอร์เตอร์ U20-C ทำหน้าที่ขับสัญญาณแบบกลับเฟสระหว่างจุด J40 และ J41

ทางด้านส่วนของ MULTIPLEXER TIME DIVISION ING (TDM) ซึ่งมีอยู่ 4 ช่องของสัญญาณข้อมูล ซึ่งแต่ละช่องสัญญาณมีค่าสูงสุดของแบนวิทที่ 32 KHz รายละเอียดของวงจรที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 7.2 มีดังนี้ U4 เป็นมัลติเพล็กซ์ 4 LINE TO 1 LINE ของการเลือกข้อมูล ซึ่งจะมีขา A และ B ทำหน้าที่เลือก LINE โดย U4 จะรับสัญญาณจาก IC0 ถึง IC3 จาก J11A ถึง J11D แล้วเลือกเพียงเส้นเดียวส่งออกยัง LINE iy ซึ่งส่งออกทาง J12 บนชุดฝักการเลือกข้อมูลออกทาง iy นั้นถูกควบคุมโดย QA และ QB ของวงจรมัลติเพล็กซ์และไมส่งพัลส์เข้าที่ J14 ตัวเก็บประจุ C6 , ความต้านทาน R15 และไดโอด CR2 เพื่อรักษาพัลส์ของ U5 , U7 เป็น PHASE LOCK LOOP ใช้แรงดันควบคุมการกำเนิด



รูปที่ 7.2 วงจรมัลติเพล็กซ์ 4 Line to 1 Line

แรงดันที่ควบคุมการ OSCILLATE จะส่งไปยัง CLOCK GENERATOR ซึ่งความถี่ที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับ R16 และ R17 ตัวเก็บประจุ C8 และตัวต้านทานปรับค่าได้ FREQ ADJ (R18) เอาต์พุตที่ได้จะถูกกลับโดย U6-A และจ่ายออกยัง J15, IC U8 เป็นฟลิปฟล็อปแบบ D-ทริกซ์ ซึ่งทั้งคู่ถูกต่อให้เป็นวงจรรหัสสอง ซึ่งสัญญาณที่ได้ทั้งสองส่วนนี้จะถูกส่งไปยัง VCO ที่จุด J16

สัญญาณจะถูกสุ่ม เมื่อ J15 และ J16 ถูกต่อเข้ากับ J13 และ J14 ดังแสดงดังรูป 7.1 ความถี่ 128 KHz ที่เอาต์พุตของ VCO ซึ่งเป็นสัญญาณไบนารีจะถูกส่งไปยังอินเวอร์เตอร์ U6-A พังการการทำงานแสดงให้เห็นดังรูปที่ 7.3 และสัญญาณพัลส์ที่เหลือในวงจร คือ J14 ถึง J17 จะทำหน้าที่ส่งพัลส์ไปยกเลิวงจรรัน และจะทำงานซ้ำทุกๆ 4 พัลส์การทำมัลติเพิล็กซ์ ใน 1 เฟรม ต้องใช้เวลา 31.25 ms

เอาต์พุตของวงจรรันคือ QA และ QB ซึ่ง SELECT A และ SELECT B จะเป็นอินพุตของ (U4) ในแต่ละส่วนของตัวจะมีตัวนับฐาน 4 หลัก ซึ่งจะเป็นตัวกำเนิด TIME SLOT 4 ช่วง คือ TS0 ถึง TS3 ในตัวในขณะที่แต่ละ TIME SLOT สัญญาณอินพุต 4 สัญญาณจะไปที่ตัวมัลติเพิล็กซ์ และถูกเรียบเรียงให้เป็นข้อมูลทางด้านเอาต์เพียงเส้นทางเดียว สัญญาณที่ถูกมัลติเพิล็กซ์นี้ จะถูกส่งไปทางสายใยแสง ซึ่งจะนำข้อมาพิจารณาในการทดลองนี้

ส่วนของตัวมัลติเพิล็กซ์ของชุดฝึกจะมีอุปกรณ์คล้ายกับส่วนของมัลติเพิล็กซ์ ซึ่งอุปกรณ์จะถูกต่อกลับมาทางอินพุตของ TDM ที่ J29 เพื่อให้มีสัญญาณมาตรฐาน 4 ช่อง และปรับปรุงมาที่เอาต์พุต J30A ผ่าน J30D, IC U14, U15, U16 และวงจรเปรียบเทียบ C23, R49 และ CR4 จะเป็นส่วนที่เหมือนกับส่วนเวกเตอร์ของมัลติเพิล็กซ์ อุปกรณ์ U17 คือ สาย 2-4 ซึ่งจะถอดรหัสออกมาใช้ให้เป็นตัวทำให้เกิด TIME SLOT ออกจาก TS0 ถึง TS3 จากตัวนับไบนารี U16 สัญญาณนี้จะปรากฏที่เอาต์พุต IY0 ผ่าน IY3 และสัญญาณนาฬิกาของ U18 และ U19 ที่เวลาที่เหมาะสม

ตัวคีมัลติเพิล็กซ์ จะเป็นส่วนที่สำเร็จโดยดูจากวงจรในรูปที่ 6-16 เฟสล็อกยู U14 ซึ่งจะถูกใช้กำเนิดสัญญาณนาฬิกา เพื่อเป็นสัญญาณนาฬิกาซิงโครนัสให้กับ U16 ในอัตรา 128 KHz ที่ PHASE ADJ R48 จะเป็นตัวควบคุมเวลา โดยปรับความถี่ของ VCO เพื่อให้ได้สัญญาณนาฬิกาซิงโครนัสเอาต์พุตของ VCO อยู่ที่ขา J32

ฟลิปฟล็อปแบบ D U15 ซึ่งถูกต่อเหมือนหาร โดย 4 วงจร โดยหารสัญญาณนาฬิกา 128 KHz ให้เป็น 32 KHz สัญญาณนี้จะถูกกระตุ้นโดยวงจรเปรียบเทียบ C23, R49 และ CR4 ทุก ๆ 31.25 ms เพื่อไปกำเนิดพัลส์รีเซ็ต และยกเลิควัดนับ ซึ่งจะถูกนำไปใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ

อินพุตของเฟสล็อกกรุป U14 กับสัญญาณมัลติเพล็กซ์จาก J26 ที่อินพุต J31 ซึ่งผังการทำงานจะแสดงผังรูปที่ 6-17 ซึ่งตัวนับ U16 จะนับสัญญาณนาฬิกา 4 ลูก (J31) และจะมีรีเซ็ต (J33) จะกระทำเช่นนี้ซ้ำ ๆ ทุก ๆ 31.25 mS

ตัวนับจะถูกสร้างที่ U16 QA และ QB จะรับ AI SELECT และ BI SELECT ซึ่งเป็นอินพุต 2 ถึง 4 ของตัวถอดรหัส ตัวนับทั้งที่จะถูกถอดรหัสเพื่อจะทำให้เกิด time shot อีกครั้งหนึ่งที่ TS0 ถึง TS3 ที่เอาต์พุต IY0 ผ่าน IY3

สัญญาณ TDM ของเครื่องรับเส้นใยแสงจะถูกไปใช้ที่ขา J29 และไปที่อินพุต ฟลิปฟลอป D U18 และ U19, time shot จะถูกซิงค์โครไนซ์โดยตัวมัลติเพล็กซ์ ตัวอย่างที่เหมาะสมของสัญญาณประกอบด้วยสัญญาณนาฬิกาในแต่ละฟลิปฟลอป ที่เวลาที่ถูกต้องเอาต์พุต 4 ตัวที่ J30A ถึง J30D ซึ่งจะมีสัญญาณ 4 สัญญาณ

อุปกรณ์การทดลอง

แหล่งจ่ายไฟ

OSCILLOSCOPE

AF GENERATOR

มัลติมิเตอร์

ชุดทดลอง OPTIC FIBER

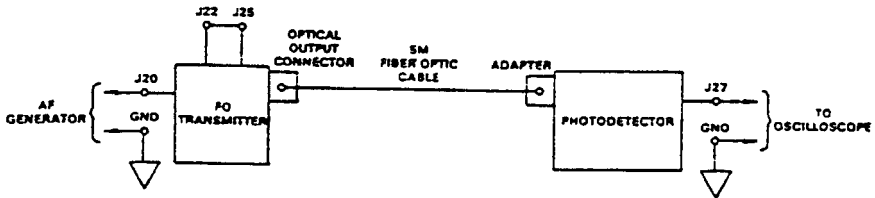
ลำดับขั้นการทดลอง

ตอนที่ 1

1. เปิดแหล่งจ่ายไฟ และปรับให้ได้อาต์พุต +8 VDC และ -8 VDC โดยยังไม่ต่อแหล่งจ่ายให้ชุดทดลองปิดแหล่งจ่ายไฟ และต่อแหล่งจ่ายไฟกับชุดทดลองดูซ้ำให้แน่ใจแล้วจึงเปิดแหล่งจ่ายไฟ

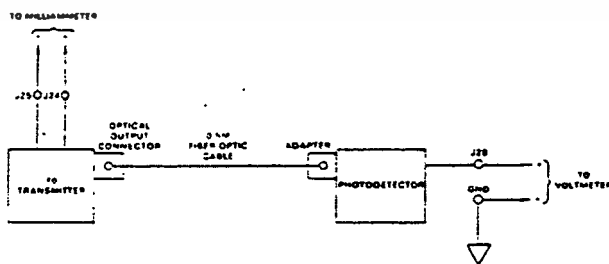
2. ที่วงจร PHOTO DETECTOR ปรับ CAL ADJ ไปตามเข็มนาฬิกา

3. ต่อ DC Voltmeter range 0.5 VDC ระหว่างจุด J28 กับ GND ปิด PHOTODETECTOR ADAPTER ด้วยนิ้วเพื่อป้องกันแสง และปรับ OFFSET ADJ จนกระทั่งโวลต์มิเตอร์อ่านค่า 0.00 VDC ต่อวงจรผังรูป 7.3 (ก)



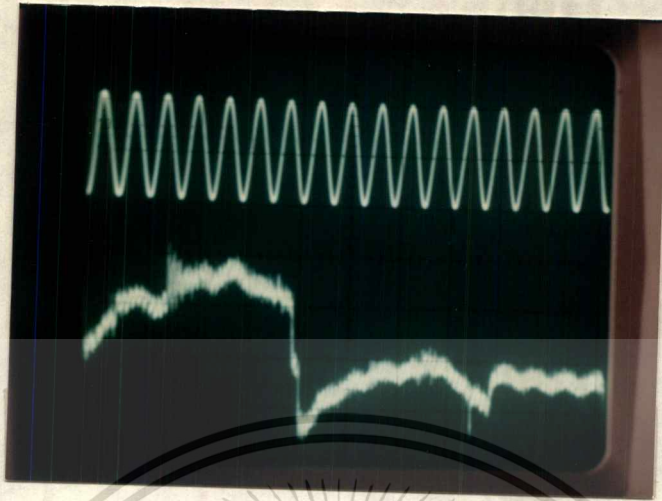
รูปที่ 7.3 (ก) วงจรการทดลองการสื่อสารแอนะล็อกโดยใช้เส้นใยแสง

4. ที่ FO TRANSMITTER ปิดสวิตช์ S1 ปรับ FORWARD ADJ CURRENT ADJ FINE และ COARSE ทวนเข็มนาฬิกา
5. เปิดสวิตช์ S1 ปรับ FORWARD CURRENT ADJ COARSE จนกระทั่งแอมป์มิเตอร์อ่านค่า 30 mA เป็นกระแสฟอร์เวิร์ด IF ถ้าจำเป็นให้ปรับ FINE ให้ได้กระแส 30 mA ซึ่งมีค่าตรงกับ 30 μ W ของ Transmitter optical power และใช้ค่านี้ในการคำนวณสำหรับ PHOTODETECTOR Trainer
6. ปรับ CAL ADJ ที่วงจร PHOTODETECTOR ให้ได้แรงดัน 0.6 VDC โดยวัดที่จุด J28 กับ GND
7. ต้องวงจรตามรูปที่ 7.3 (ข)



รูปที่ 7.4 (ข) วงจรการทดลองการสื่อสารแอนะล็อกโดยใช้เส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.4 สัญญาณเอาต์พุตที่จุด J27

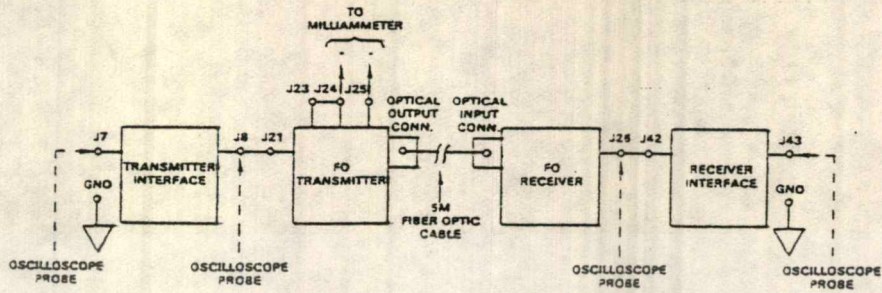
8. ทิวจอร์ FO TRANSMITTER เปิดสวิตช์ S1 ปรับ AF GEN ให้ได้เอาต์พุตเป็นสัญญาณไซน์ความถี่ 1.0 kHz, 10 V_{p-p} ให้ OSCILLOSCOPE วัดสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต
9. วัดและบันทึกค่าแรงดัน E_o ที่ AC PHOTODETECTOR เอาต์พุตที่จุด J27
10. ตรวจสอบรูปคลื่นเอาต์พุตที่ถูกลดทอนไปหรือเปลี่ยนแปลงจากรูปคลื่นสัญญาณอินพุตอย่างไร
11. ลดแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุตลงที่ 0 VAC ช่วงหนึ่ง สังเกตรูปคลื่นสัญญาณเอาต์พุตมีการลดทอนของสัญญาณหรือไม่
12. ปรับสัญญาณอินพุตใหม่เป็น 10 V_{p-p} ให้ค่าความถี่ของแหล่งกำเนิด AF จากประมาณ 0.3 ไปถึง 4.0 KHz ช่วงหนึ่ง สังเกตดูเอาต์พุต ว่าเมื่อความถี่เปลี่ยนไปมีผลต่อการลดทอนของสัญญาณหรือไม่
13. ปรับแหล่งจ่ายแรงดันไปที่ศูนย์ และนำวงจรทดสอบออก

ตอนที่ 2

1. ยังไม่ต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับชุดฝึก เปิดแหล่งจ่ายไฟปรับแรงดันให้ได้ +, - 8VDC ปิดแหล่งจ่ายไฟ แล้วต่อแหล่งจ่ายเข้ากับชุดฝึก ตรวจสอบให้แน่ใจ จึงเปิดแหล่งจ่ายไฟได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ประกอบวงจรตามที่แสดงในรูปที่ 7.5



รูปที่ 7.5 วงจรการส่งแรงดันไฟตรงผ่านเส้นใยแสง

3. ตั้ง S1 ของชุดส่ง และ S2 ของชุดรับ ให้อยู่ในตำแหน่ง ON ปรับ CURRENT ADJ COARSE และ FINE ให้อยู่ในตำแหน่งสุดตามเข็มนาฬิกา
4. ต่อสาย PROBE ของ OSCILLOSCOPE เข้าที่จุด J7 ปรับ DC LEVEL ของชุด TRANSMITTER INTERFACE โดยการหมุนตัวต้านทานปรับค่าได้ สังเกตการเปลี่ยนแปลง หน้าจอ OSCILLOSCOPE
5. ปรับตัวต้านทาน DC LEVEL ADJ ให้ SCOPE อ่านค่าได้ $E_{in} = 0.5 \text{ V DC}$
6. ใช้ OSCILLOSCOPE จับที่จุด J8 เพื่อวัดความถี่ของพัลส์ที่เกิดขึ้น
7. ใช้ OSCILLOSCOPE จับที่จุด J26 และวัดความถี่ที่เกิดขึ้นว่าเหมือนกับที่จุด J8 หรือไม่ อธิบาย
8. ใช้ OSCILLOSCOPE จับที่จุด J43 และวัดแรงดันที่ได้เปรียบเทียบกับจุด J7 มีค่าเท่ากันหรือไม่ อธิบาย
9. ทำซ้ำตามข้อ 4 ถึง 8 ภายใต้การกำหนดตามตารางที่ 7.1
10. เปรียบเทียบค่าจากตาราง 7.1 จากการเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลและอธิบายประสิทธิภาพของการส่งแรงดัน DC ไปในเส้นใยแสง
11. ปิดแหล่งจ่ายไฟ และถอดออกจากชุดฝึก

E_{IN}	$F_{O(T)}$	$F_{O(R)}$	E_O
0.25 V _{DC}	250 Hz	250 Hz	0.25 V _{DC}
0.50 V _{DC}	500 Hz	500 Hz	0.50 V _{DC}
0.75 V _{DC}	750 Hz	750 Hz	0.75 V _{DC}
1.00 V _{DC}	1 kHz	1 kHz	1.00 V _{DC}

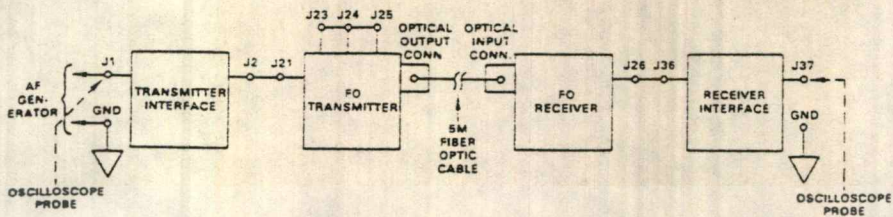
ตารางที่ 7.1 ประสิทธิภาพของการส่งแรงดันไฟตรงบนเส้นใยแสง



รูปที่ 7.6 เปรียบเทียบสัญญาณที่จุด J26 กับ J8

ตอนที่ 3

1. ยังไม่ต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับชุดฝึก เปิดแหล่งจ่ายไฟปรับแรงดันให้ได้ $\pm 8V$ DC ปิดแหล่งจ่ายไฟ แล้วต่อแหล่งจ่ายเข้ากับชุดฝึก ตรวจสอบให้แน่ใจ จึงเปิดแหล่งจ่ายไฟได้
2. ประกอบวงจรที่แสดงไว้ดังรูปที่ 7.7
3. ตั้ง S1 ของ TRANSMITTER และ S2 ของ RECEIVER ให้อยู่ในตำแหน่ง ON ปรับเครื่องกำเนิด AF ให้ได้ output 100 KHz square wave ที่ $5 V_{pp}$



รูปที่ 7.7 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่มีความต่อเนื่อง

4. ปรับ FORWARD CURRENT ADJ FINE และ COURSE TRANSMITTER ให้ไปตามเข็มนาฬิกาจนสุด ลดกระแส FORWARD CURRENT (IF) ของเครื่องส่งจนปรากฏรูปคลื่นที่จุด J37 ให้ได้สัญญาณสี่เหลี่ยมตามที่ได้อายเข้ามาทางอินพุต

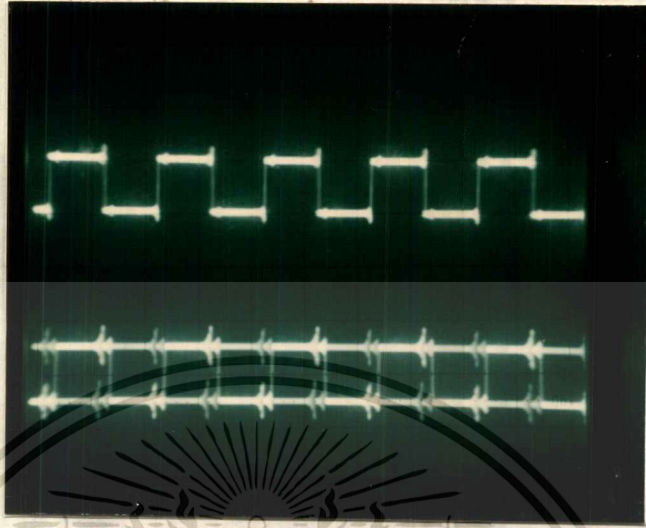
5. ถอด J23, J24 และ J25 ออกโดยการนำไปต่อกับ DC มิลลิแอมป์มิเตอร์ ระหว่างจุด J24 และ J25 โดยเพิ่ม J24 เข้าไปต่อกับ J25 กระแสที่ได้จากมิเตอร์จะเทียบเท่ากับกระแส IF ความถี่ 100 KHz square wave จะกำหนดให้มิเตอร์แสดงผลออกมา วัด และบันทึกกระแสเพื่อศึกษากระแส IF ของส่วนที่เป็นสัญญาณ square wave ซึ่งมีผลโดยตรงกับเครื่องส่ง

6. คำนวณกระแสเฉลี่ย (A1) ที่ความถี่ 100 KHz square wave โดยใช้ค่า ON CURRENT ในข้อ 3 คำนวณตามสูตร ดังนี้ $I_A = I_F \cdot \text{duty cycle}$ ค่า duty cycle ของสัญญาณ square wave มีค่า = 50% หรือ (0.5)

7. คำนวณค่ากระแสสูงสุด ซึ่งให้ค่า 10%1 ของ duty cycle และใช้ค่ากระแสเฉลี่ยข้อ 6 มาคำนวณตามสูตร

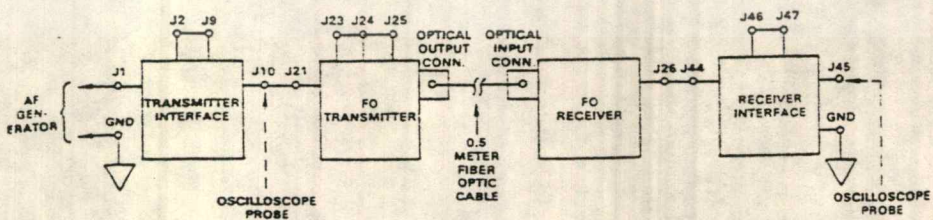
$$I_p = I_A / \text{duty cycle}$$

8. คงค่าของ FORWARD CURRENT ADJ เพื่อคำนวณหาค่าของ I_p ต่อไปประกอบวงจรใหม่ตามรูปที่ 7.9



รูปที่ 7.8 สัญญาณอันเนื่องมาจากกระแส IF ที่จุด J37

9. ปรับ duty cycle adj ของชุด TRANSMITTER INTERFACE โดยการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ จนกระทั่งได้ output waveform ที่จุด J10 ให้มีค่า duty cycle 10% สังเกต waveform ที่จุด J45 บน OSCILLOSCOPE การทำให้ระบบของไฟเบอร์ออปติกทำงานที่ค่าเฉลี่ยของ power ของ duty cycle ที่ความถี่ 100 KHz ซึ่งมีค่า duty cycle 10% ทำให้เกิดอะไรขึ้น จงอธิบาย



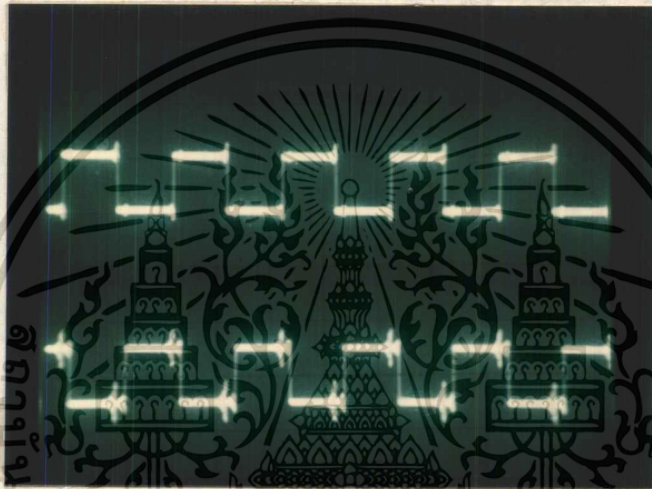
รูปที่ 7.9 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณที่มีความต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. คำนวณค่า power ของเครื่องส่ง PT (dBm) โดยใช้สูตร และใช้กระแส forward current 800 mA (เป็นค่าเฉลี่ย = 80 mA ที่ 10% ของ duty cycle ทำกับค่าของ 800 μ F ของ optical power $PT \text{ (dBm)} = 10 \log PT \text{ (}\mu\text{W)} / 1000$

11. ใช้สูตรข้างล่างคำนวณค่าความยาวสูงสุดที่เครื่องส่งสามารถส่งได้ค่า PT (dBm) ในข้อ 9 มีค่า = (-0.969) dBm จากสูตร $1 = [PT \text{ (dBm)} - PR \text{ (L)} \text{ (dBm)}] / \infty 0 \text{ (dBm)}$

12. ปิดแหล่งจ่ายไฟ และถอดออกจากวงจร



รูปที่ 7.10 สัญญาณอันเนื่องมาจากค่า duty cycle ลดลง 10% ที่จุด J45

ตอนที่ 4

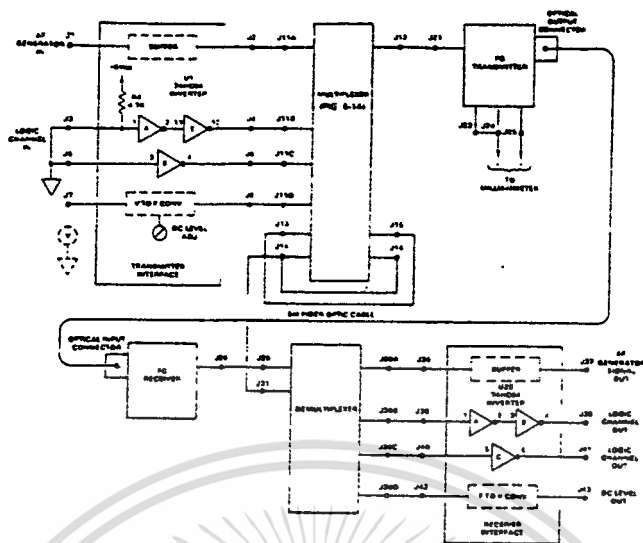
1. ยังไม่ต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับชุดฝึก ปรับแหล่งจ่ายไฟให้มีค่า +8 V DC และ -8 VDC ปิดแหล่งจ่ายไฟ ต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับชุดฝึก ตรวจสอบให้แน่ใจแล้วจึงเปิดแหล่งจ่ายไฟ

2. ประกอบวงจรตามรูปที่ 7.11

3. ตั้ง TRANSMITTER S1 และ RECEIVER S2 ให้อยู่ในตำแหน่งเปิด ต่อ J12 และ J21 เข้าด้วยกัน ต่อ J21 ลง GND ปรับ FORWARD CURRENT COARSE และ FINE โดยการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ใช้มิลลิแอมมิเตอร์อ่านค่าให้ได้ค่า +60 mA ถอด J21 ออกจาก GND และต่อ J21 กับ J12

4. ต่อสายวัดของ OSCILLOSCOPE เข้าที่ J15 กับ GND และปรับความถี่ให้ได้ 128

KHz



รูปที่ 7.11 การเชื่อมต่อการทำงานของระบบ TDM ด้วยเส้นใยแสง

5. ปรับ AF generator ให้ได้ค่า 1 KHz, $5V_{p-p}$ เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่อินพุต J1 ใช้ OSCILLOSCOPE
6. ปรับ TRANSMITTER INTERFACE DC LEVEL ADJ POTENTIOMETER ให้มีค่า 1.0 VDC ที่ J7
7. ตรวจสอบทางคานอินพุต J3 และ J5 ว่าต่อไว้ที่กราวด์แล้วหรือยัง
8. นำ PROBE ของ OSCILLOSCOPE วัดเอาต์พุตที่ J37 ปรับ DEMULTIPLEXER PHASE ADJ จนกระทั่งได้สัญญาณสี่เหลี่ยม 1 KHz
9. ต่อโวลต์มิเตอร์เข้ากับชุดฝึก transmitter interface ที่ J7 และปรับ DC LEVEL ADJ ให้โวลต์มิเตอร์อ่านค่าได้ 0.5 VDC โดยการปรับตัวต้านทาน และเกิดอะไรขึ้นในส่วนของเอาต์พุตที่ J43 ของชุด RECEIVER INTERFACE
10. ต่อโวลต์มิเตอร์ที่ J39 ค่าเอาต์พุตจะเป็นค่าเดียวของ 2 ช่องดิจิทัล นำกราวด์ออกจากจุด J3 สังเกตที่โวลต์มิเตอร์ ระดับสภาวะของสัญญาณ
11. นำกราวด์ออกจาก J5 และต่อ J5 กับระดับแรงดันสภาวะ 1 ที่ J3 ระดับสภาวะของช่องที่ 2 ของดิจิทัลที่ J41 เอาต์พุตที่ได้เป็นอย่างไร
12. ปิดแหล่งจ่ายไฟจบการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

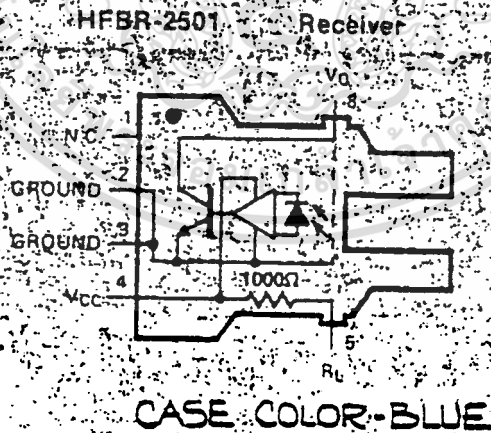


ภาคผนวก ง
เอกสารขอมูลอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HFBR-2501 (5 MBd)

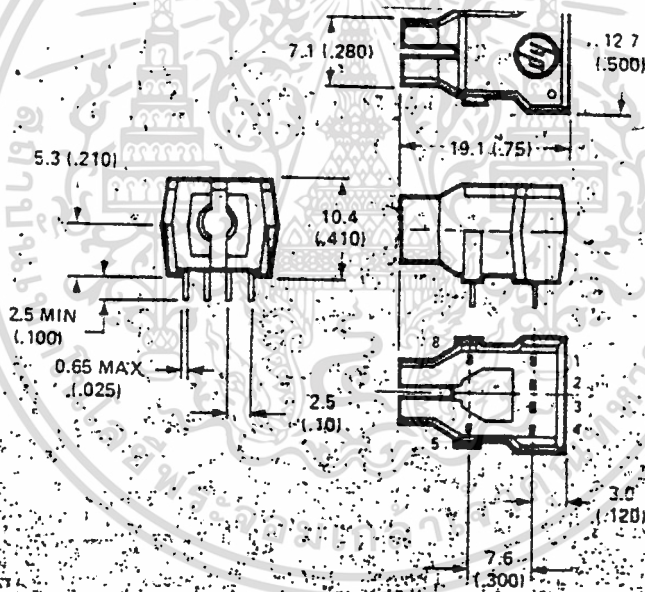
The HFBR-2501 Receiver modules feature a shielded integrated photodetector and wide bandwidth DC amplifier for high EMI immunity. A Schottky-clamped open-collector output transistor allows interfacing to common logic families and enables "wired-OR" circuit designs. The open collector output is specified up to 18V. An integrated 1000 ohm resistor internally connected to Vcc may be externally jumpered to provide a pull-up for ease-of-use with +5V logic.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mechanical Dimensions

All dimensions in mm (inches).
All dimensions ± 0.25 mm unless otherwise specified.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Units	Ref.
Storage Temperature	T _s	-40	+75	°C	
Operating Temperature	T _A	0	+70	°C	
Lead Soldering Cycle	Temp		260	°C	Note 1
	Time		10	sec	
Supply Voltage	V _{CC}	-0.5	7	V	Note 6
Output Collector Current	I _O		25	mA	
Output Collector Power Dissipation	P _{OB}		40	mW	
Output Voltage	V _O	-0.5	18	V	
Pullup Voltage	V _{PL}	-0.5	V _{CC}	V	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

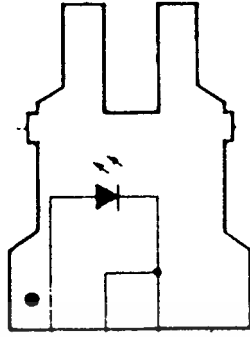
665 nm Transmitter

HFBR-1510

The HFBR-1510 Transmitter module incorporates a 665 nm LED emitting at a low attenuation wavelength at the HFBR-3510, 3610 plastic fiber optic cable. The open collector in transmitter interfaced to standard TTL logic DC amplifier power output of the HFBR-1510 connected at the end of 0.5 m of cable.

HFBR-1510

Transmitter



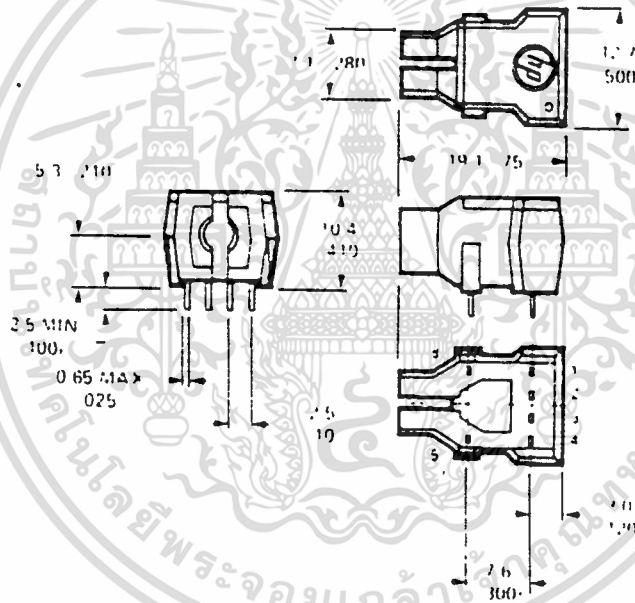
NC

CASE COLOR - GRAY

Mechanical Dimensions

All dimensions in mm unless inches

All dimensions ± 0.25 mm unless otherwise specified



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Axial Luminous Intensity and Viewing Angle @ 25°C

Part Number HLMP-	Package Description	Color	I _v (mcd) @ 20 mA DC		2θ 1/2 Note 1.	Package Outline
			Min.	Typ.		
3950	T-1 3/4	GREEN	80	120	24°	A

NOTE:

1. θ1/2 is the typical off-axis angle at which the luminous intensity is half the axial luminous intensity

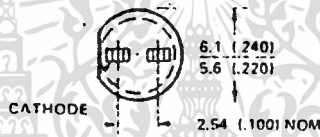
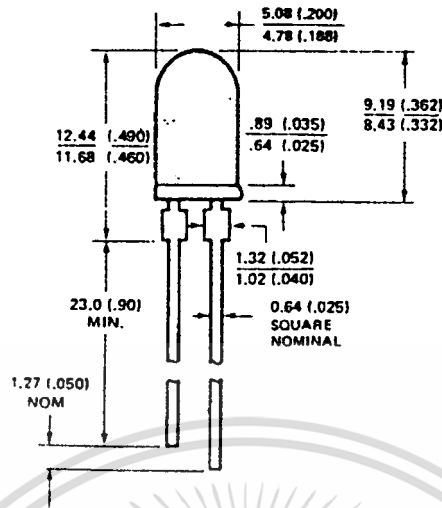
Parameter	GREEN	MR19871-00
Peak Forward Current	90	
Average Forward Current ⁽¹⁾	25	
DC Current ⁽²⁾	30	
Power Dissipation ⁽³⁾	135	
Transient Forward Current ⁽⁴⁾ (10 μsec pulse)	500	
Reverse Voltage (I _R = 100 μA)	5	
Operating Temperature Range	-20 TO +100	
Storage Temperature Range	-55 TO +100	
Lead Soldering Temperature {1.6 mm (0.063 in.) from body}	260°C for 5 seconds	

NOTES:

1. See Figure 2 to establish pulsed operating conditions
2. For Red and Green series derate linearly from 50°C at 0.5 mA/°C. For Yellow series derate linearly from 50°C at 0.2 mA/°C.
3. For Red and Green series derate power linearly from 25°C at 1.8 mW/°C. For Yellow series derate power linearly from 50°C at 1.6 mW/°C.
4. The transient peak current is the maximum non-recurring peak current that can be applied to the device without damaging the LED and wirebond. It is not recommended that the device be operated at peak currents beyond the peak forward current listed in Absolute Maximum Ratings.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Dimensions



PACKAGE OUTLINE "A"
HLMP-3 50

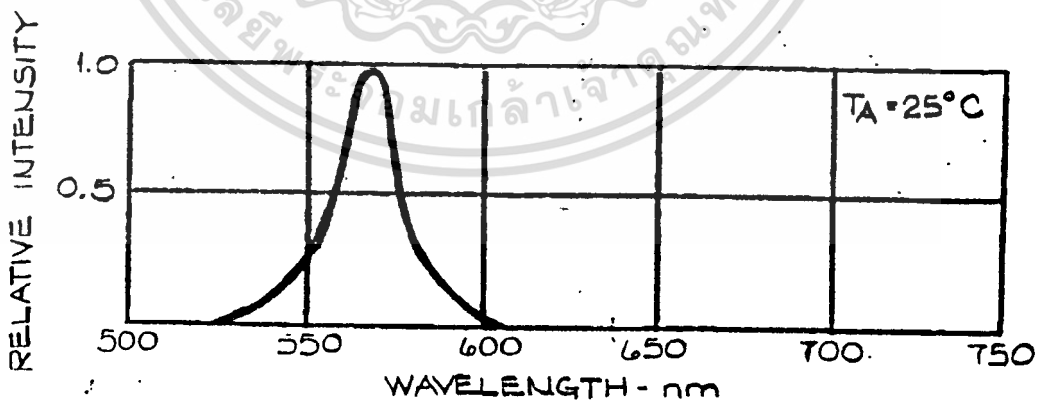


FIGURE 1
RELATIVE INTENSITY VS. WAVELENGTH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Axial Luminous Intensity and Viewing Angle @ 25°C

Part Number HLMP-	Package Description	Color	I _v (mcd) @ 20 mA DC		2θ 1/2 Note 1.	Package Outline
			Min.	Typ.		
3750	T-1 3/4	Red	80	125	24°	A

NOTE:

1. θ1/2 is the typical off-axis angle at which the luminous intensity is half the axial luminous intensity

Absolute Maximum Ratings at T_A = 25°C

Parameter	Red
Peak Forward Current	90
Average Forward Current ⁽¹⁾	25
DC Current ⁽²⁾	30
Power Dissipation ⁽³⁾	135
Transient Forward Current ⁽⁴⁾ (10 μsec pulse)	500
Reverse Voltage (I _R = 100 μA)	5
Operating Temperature Range	-55 to +100
Storage Temperature Range	
Lead Soldering Temperature [1.6 mm (0.063 in.) from body]	260°C for 5 seconds

NOTES:

1. See Figure 2 to establish pulsed operating conditions.
2. For Red and Green series derate linearly from 50°C at 0.5 mA/°C. For Yellow series derate linearly from 50°C at 0.2 mA/°C.
3. For Red and Green series derate power linearly from 25°C at 1.8 mW/°C. For Yellow series derate power linearly from 50°C at 1.6 mW/°C.
4. The transient peak current is the maximum non-recurring peak current that can be applied to the device without damaging the device and wirebond. It is not recommended that the device be operated at peak currents beyond the peak forward current listed in the Absolute Maximum Ratings.

Package Dimensions

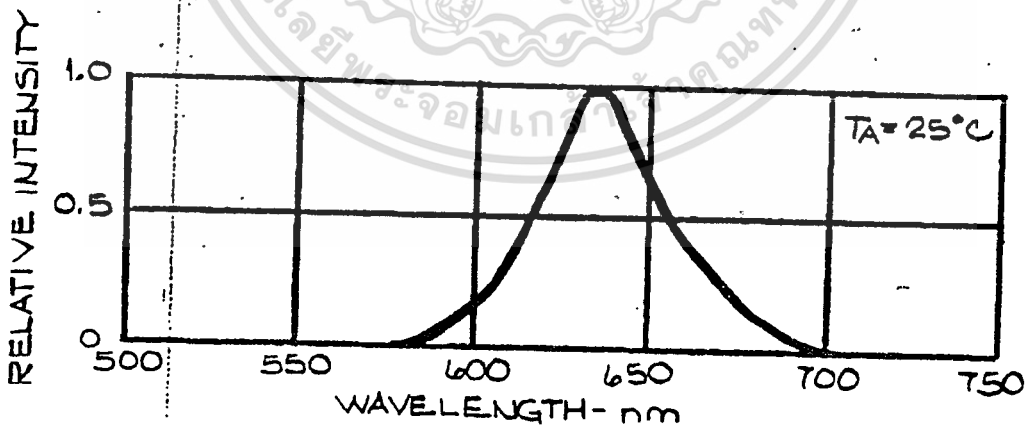
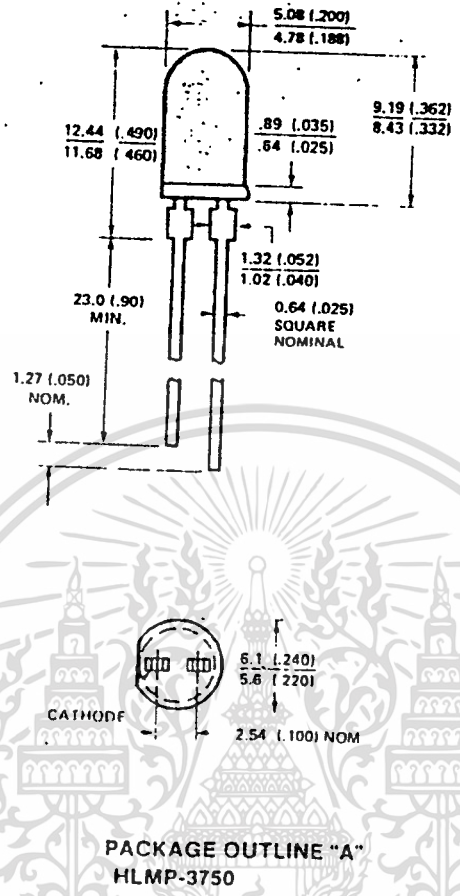


FIGURE 1
RELATIVE INTENSITY VS. WAVELENGTH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Plastic Fiber Optic Cable

HFBR-3510

The HFBR-3510 Simplex Fiber Optic Cable is constructed of a single step index plastic fiber sheathed in a PVC jacket

Ordering Guide

HFBR-3510 FIBER CABLE

Connected Plastic Fiber Optic Cable

Single Channel

Length (metres)

HFBR-3510
HFBR-3514

Customer Specified

5

• CONNECTOR

