

การสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสงสำหรับเครือข่ายคอมพิวเตอร์

FIBER OPTIC COMMUNICATION FOR COMPUTER NETWORK



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

พ.ศ.
2545
852

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 50086

วัน,เดือน,ปี. 2 1 เม.ย. 2547



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสงสำหรับเครือข่ายคอมพิวเตอร์
FIBER OPTIC COMMUNICATION FOR COMPUTER NETWORK



โดย
นายภักทรณัย โลหะสุวรรณ 43015080
นายเมธี คชเสน 43015082
นายสมพร ศรีเทพ 43015091

อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาถิพงษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสงสำหรับเครือข่ายคอมพิวเตอร์
FIBER OPTIC COMMUNICATION FOR COMPUTER NETWORK

โดย

นายภัทรคนัย โลหะสุวรรณ รหัสประจำตัว 43015080

นายเมธี คชะเสน รหัสประจำตัว 43015082

นายสมพร ศรีเทพ รหัสประจำตัว 43015091

ได้ทำการคืนอุปกรณ์ให้กับห้องทดลองเรียบร้อยแล้ว

(ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาถิพงษ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสงสำหรับเครือข่ายคอมพิวเตอร์

FIBER OPTIC COMMUNICATION FOR COMPUTER NETWORK

ผู้จัดทำ

1. นายภัทรดนัย โลหะสุวรรณ 43015080

2. นายเมธี คชเสนา 43015082

3. นายสมพร ศรีเทพ 43015091



(ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาถิพงษ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสงสำหรับเครือข่ายคอมพิวเตอร์

FIBER OPTIC COMMUNICATION FOR COMPUTER NETWORK

โดย	1. นายภัทรคนัย โลหะสุวรรณ	43015080
	2. นายเมธี คชเสนา	43015082
	3. นายสมพร ศรีเทพ	43015091

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุภาวิชัย นพนาดีพงษ์

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการส่งข้อมูลโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงเป็นตัวกลางในการรับ-ส่งระหว่างคอมพิวเตอร์ทางด้านส่งนั้นจะส่งสัญญาณดิจิทัลที่ได้จากคอมพิวเตอร์ซึ่งผ่านกระบวนการที่สามารถนำข้อมูลมามอดูเลตแล้วส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ทางด้านรับก็จะรับสัญญาณและทำการดีมอดูเลตแล้วจัดการเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลกลับคืนมา โดยจะทำการตรวจสอบอัตราการผิดพลาดของข้อมูลในแต่ละบิตที่อัตราความเร็วของบิตที่แตกต่างกันเพื่อกำหนดเป็นคุณสมบัติของระบบ

ABSTRACT

This project presented transmission data through the media of fiber optic for receive and transmit between computer. The transmitter is transmitted digital signal from computer that can be modulated and transmission through fiber optic. The receiver is receive that signal, demodulate and recovery to digital signal as the transmitting side, then check bit error rate in each bit rate for evaluate performance of system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
สารบัญรูปภาพ	II
สารบัญตาราง	III
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 ประวัติและวิวัฒนาการของการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง	5
2.2 การค้นพบเส้นใยแก้วนำแสง	6
2.3 เส้นใยแก้วนำแสง	8
2.4 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง	9
2.5 การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง	13
2.6 การเดินทางของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสง (Propagation Mode)	14
2.7 โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง	15
2.8 การสูญเสียแสงในระบบการสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง	16
2.9 อุปกรณ์แสง (Optical Device)	23
2.10 วงจรไดรเวอร์	30
2.11 วงจรดีเทกเตอร์	32
2.12 Frequency Modulation (FM)	34
2.13 Frequency Shift Keying (FSK)	38
2.14 เฟสล็อกคูป	38
2.15 เซรามิกฟิลเตอร์	40
2.16 การสื่อสารแบบอนุกรม	40
2.17 RS-232C แบบใช้ DB 9	44
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	47
3.1 วงจรขยายความแตกต่างของสัญญาณเสียง	48
3.2 วงจรในการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน RS 232	48
3.3 วงจรมอดูเลต	49
3.4 วงจรขับแสง	52
3.5 วงจรรับแสง	52
3.6 วงจรขยายสัญญาณ	53
3.7 วงจรกรองความถี่	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.8 วงจรคีมอคูเลท	54
3.9 วงจรขยายสัญญาณเสียง	56
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	59
4.1 วงจรขยายความแตกต่างของสัญญาณเสียง	59
4.2 วงจร FM MODULATOR	60
4.3 วงจร FM DEMODULATOR	63
4.4 วงจร FSK MODULATOR	65
4.5 วงจร FSK DEMODULATOR	68
4.6 วงจรขับแสง - วงจรรับแสง	70
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง กิตติกรรมประกาศ บรรณานุกรม ภาคผนวก	74



สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 แสดงมูลค่าทางการตลาดของเส้นใยแก้วนำแสงของประเทศในเอเชีย เปรียบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2536 และปี พ.ศ. 2542	3
รูปที่ 2.1 แสดงหลักการ โทรศัพท์แสง (Photo Phone)	5
รูปที่ 2.2 แสดงสายส่งแสงที่ใช้เลนส์นำมาวางเรียงกันเป็นชุด	7
รูปที่ 2.3 แสดงประวัติการพัฒนาเส้นใยแก้วนำแสงที่มีการสูญเสียต่ำ	8
รูปที่ 2.4 แสดง Multi Mode Optic Fiber	10
รูปที่ 2.5 แสดงการเดินทางของแสงใน Core ของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดต่างๆ	10
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงใน GI Fiber	11
รูปที่ 2.7 แสดง Step Index Optic Fiber	12
รูปที่ 2.8 แสดง Graded Index Optic Fiber	12
รูปที่ 2.9 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยแก้วนำแสง	13
รูปที่ 2.10 ก. แสดงผลของ NA และขนาดของ core ที่มีประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสง	14
รูปที่ 2.10 ข. กรณีขนาด core โตเท่ากันแต่ค่า NA ต่างกัน	14
รูปที่ 2.10 ค. กรณีค่า NA เท่ากันแต่ขนาด core ต่างกัน	15
รูปที่ 2.11 แสดง Parameter ทางโครงสร้างของ Multi Mode	16
รูปที่ 2.12 แสดงสาเหตุต่างๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสง	17
รูปที่ 2.13 แสดงคุณสมบัติการสูญเสียแสงจากการดูดซับแสงของเส้นใยแก้วนำแสงที่ทำจากแก้ว	19
รูปที่ 2.14 แสดง Scattering ของแสงในบรรยากาศ	20
รูปที่ 2.15 แสดงการสูญเสียแสงที่เกิดจากการโค้งงอแบบต่างๆ	21
รูปที่ 2.16 แสดงสาเหตุต่างๆ ของการสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแก้วนำแสง	22
รูปที่ 2.17 แสดงการสูญเสียแสงจากการเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับอุปกรณ์กำเนิดแสง	23
รูปที่ 2.18 แสดง ไลนั่วีลด์ ($\Delta\lambda$) ของแหล่งกำเนิดแสง	24
รูปที่ 2.19 แสดงโครงสร้างภายในของ LED	25
รูปที่ 2.20 เลเซอร์ไดโอด	26
รูปที่ 2.21 แสดงโฟโตดีเทกเตอร์ (ก) แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของโฟโตไดโอด (ข) PIN โฟโตไดโอด	27
รูปที่ 2.22 แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และโฟโตเคอร์เรนต์ (Photo Current)	29
รูปที่ 2.23 แสดงวงจรไครเวอร์ LED แบบดิจิทัล	31
รูปที่ 2.24 แสดงวงจรไครเวอร์ LED แบบอะนาล็อก	31
รูปที่ 2.25 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรเลเซอร์ไดโอด	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.26	วงจรทำงานของโฟโตไดโอด	33
รูปที่ 2.27	วงจรโฟโตดีเทคเตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์	33
รูปที่ 2.28	แสดงการมอดูเลททางความถี่	35
รูปที่ 2.29	แสดงสัญญาณดิจิทัลที่มอดูเลทเป็นสัญญาณ FSK	38
รูปที่ 2.30	แสดงแผนผังของเฟสล็อกคูล	38
รูปที่ 2.31 (a)	แสดงรูปร่างของเซรามิกฟิลเตอร์	
(b)	แสดงสัญลักษณ์ของเซรามิกฟิลเตอร์	40
รูปที่ 2.32	แสดงการสื่อสารทางเดียว	41
รูปที่ 2.33	การสื่อสารทางเดียวพร้อมด้วยแฮนด์เช็กกิงจาก DTE ไปยัง DCE	42
รูปที่ 2.34	การสื่อสารทางเดียวพร้อมด้วยแฮนด์เช็กกิงจาก DCE ไปยัง DTE	43
รูปที่ 2.35	การสื่อสารสองทางพร้อมด้วยวงจรแฮนด์เช็กกิงหลัก	43
รูปที่ 2.36	แสดงวิธีการต่อโมเด็ม	46
รูปที่ 3.1	แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสงสำหรับเครือข่ายคอมพิวเตอร์	47
รูปที่ 3.2	แสดงการต่อวงจรขยายสัญญาณเสียง	48
รูปที่ 3.3	แสดงการต่อ IC#MAX232 เพื่อแปลระดับสัญญาณจากคอมพิวเตอร์เป็นระดับสัญญาณ TTL	49
รูปที่ 3.4	แสดงการต่อ IC#MAX232 เพื่อแปลระดับสัญญาณ TTL เป็นระดับสัญญาณคอมพิวเตอร์	49
รูปที่ 3.5	แสดงการต่อวงจร FM MODULATOR	50
รูปที่ 3.6	แสดงการต่อวงจร FSK MODULATOR	51
รูปที่ 3.7	แสดงวงจรขับแสง	52
รูปที่ 3.8	แสดงวงจรรับแสง	52
รูปที่ 3.9	แสดงวงจรภาคขยายสัญญาณ	53
รูปที่ 3.10	แสดงวงจรกรองความถี่สัญญาณ FM	50
รูปที่ 3.11	แสดงวงจรกรองความถี่สัญญาณ FSK	54
รูปที่ 3.12.	แสดงวงจร FM DEMODULATOR	55
รูปที่ 3.13	แสดงวงจร FSK DEMODULATOR	55
รูปที่ 3.14	แสดงวงจรขยายสัญญาณเสียง	56
รูปที่ 3.15	แสดงวงจรรวมของภาคส่ง	57
รูปที่ 3.15	แสดงวงจรรวมของภาครับ	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนลิขสิทธิ์ทางปัญญา หากท่านนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณ Sine wave 4 kHz ที่ป้อนเป็น input	59
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณ output ของวงจรขยายความแตกต่างของสัญญาณเสียงเมื่อป้อน sine wave 4 kHz	60
รูปที่ 4.4 แสดงวงจร FM MODULATOR	60
รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณความถี่กลาง 5.5 MHz ของวงจร FM MODULATOR	61
รูปที่ 4.6 แสดงสเปกตรัมสัญญาณความถี่กลาง 5.5 MHz ของวงจร FM MODULATOR	61
รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณ FM เมื่อป้อน sine wave 4 kHz	62
รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณ FM เมื่อป้อน sine wave 10 kHz	62
รูปที่ 4.10 แสดงวงจร FM DEMODULATOR	63
รูปที่ 4.11 แสดงสเปกตรัมสัญญาณความถี่กลาง 5.5 MHz ของวงจร FM MODULATOR	63
รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจร FM DEMODULATOR (ch1) เปรียบเทียบกับสัญญาณ sine wave 1 kHz (ch2) ที่ป้อนให้กับวงจร ขยายความแตกต่างของสัญญาณเสียง	64
รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจร FM DEMODULATOR (ch1) เปรียบเทียบกับสัญญาณ sine wave 4 kHz (ch2) ที่ป้อนให้กับวงจร ขยายความแตกต่างของสัญญาณเสียง	64
รูปที่ 4.14 แสดงวงจร FSK MODULATOR	65
รูปที่ 4.15 แสดงสัญญาณความถี่กลาง 10.7 MHz ของวงจร FSK MODULATOR	65
รูปที่ 4.16 แสดงสเปกตรัมสัญญาณความถี่กลาง 10.7 MHz ของวงจร FSK MODULATOR	66
รูปที่ 4.17 แสดงสัญญาณ FSK เมื่อป้อนสัญญาณ square wave 100 kHz เป็นสัญญาณ input	66
รูปที่ 4.18 แสดงสัญญาณ FSK เมื่อป้อนสัญญาณ square wave 150 kHz เป็นสัญญาณ input	67
รูปที่ 4.19 แสดงสัญญาณ FSK เมื่อป้อนสัญญาณ square wave 200 kHz เป็นสัญญาณ input	67
รูปที่ 4.20 แสดงวงจร FSK DEMODULATOR	68
รูปที่ 4.21 แสดงสเปกตรัมสัญญาณความถี่กลาง 10.7 MHz ของวงจร FSK DEMODULATOR	68
รูปที่ 4.22 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจร FSK DEMODULATOR (ch1) เมื่อป้อน square wave 50 kHz เป็น input ให้กับวงจร FSK MODULATOR (ch2)	69
รูปที่ 4.23 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจร FSK DEMODULATOR (ch1) เมื่อป้อน square wave 100 kHz เป็น input ให้กับวงจร FSK MODULATOR (ch2)	69
รูปที่ 4.24 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจร FSK DEMODULATOR (ch1) เมื่อป้อน square wave 200 kHz เป็น input ให้กับวงจร FSK MODULATOR (ch2)	70
รูปที่ 4.25 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณ เมื่อป้อน square wave 100 kHz	

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.26 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรรับแสงและผ่านวงจรขยายสัญญาณ (ch1) เปรียบเทียบกับสัญญาณที่ป้อนให้กับวงจรรับแสง (ch2) ซึ่งเป็นสัญญาณ sine wave 500 kHz	71
รูปที่ 4.27 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรรับแสงและผ่านวงจรขยายสัญญาณ (ch1) เปรียบเทียบกับสัญญาณที่ป้อนให้กับวงจรรับแสง (ch2) ซึ่งเป็นสัญญาณ sine wave 10 MHz	71
รูปที่ 4.28 แสดงสัญญาณที่วัดจากวงจรขยายสัญญาณเสียงทางด้านรับ (ch1) ที่ได้จากการป้อนสัญญาณ sine wave 4 kHz เป็น input (ch2) ให้กับวงจรขยายความแตกต่างทางด้านส่งซึ่งส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสง	72
รูปที่ 4.29 แสดงสัญญาณที่วัดจาก MAX 232 ทางด้านรับ (ch1) ที่ได้จากการป้อนสัญญาณ square wave 50 kHz เป็น input ให้ MAX 232 ทางด้านส่งซึ่งส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงเทียบกับ FSK ทางด้านส่ง (ch2)	72
รูปที่ 4.30 แสดงสัญญาณที่วัดจาก MAX 232 ทางด้านรับ (ch1) ที่ได้จากการป้อนสัญญาณ square wave 100 kHz เป็น input ให้ MAX 232 ทางด้านส่งซึ่งส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงเทียบกับ FSK ทางด้านส่ง (ch2)	73
รูปที่ 4.31 แสดงสัญญาณที่วัดจาก MAX 232 ทางด้านรับ (ch1) ที่ได้จากการป้อนสัญญาณ square wave 200 kHz เป็น input ให้ MAX 232 ทางด้านส่งซึ่งส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงเทียบกับ FSK ทางด้านส่ง (ch2)	73

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงและดาวเทียมในระบบการสื่อสาร	2
ตารางที่ 2.1 แสดงค่ามาตรฐานของ Parameter ทางโครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง ที่ CCITT แนะนำ	17
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์ปล่อยแสงแบบ LED	25
ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง	30
ตารางที่ 2.4 แสดงการจัดขาของ Connector พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

สิ่งสำคัญที่สุดของการติดต่อสื่อสารก็คือ ข้อมูลข่าวสาร และตัวข้อมูลข่าวสารที่ส่งจากต้นทางไปยังปลายทางที่ต้องการได้นั้นจะอาศัยตัวกลางต่างๆ อาทิเช่น อากาศ สายทองแดง สายเคเบิล เส้นใยแก้วนำแสง เป็นต้น ซึ่งเส้นใยแก้วนำแสงนั้นนั้นมีบทบาทที่สำคัญยิ่งสำหรับการติดต่อสื่อสารในยุคปัจจุบัน เนื่องจากจากเส้นใยแก้วนำแสงมีขนาดของแบนด์วิดท์ที่กว้างมากเมื่อเทียบกับตัวกลางอื่นๆ หรือแม้แต่สายเคเบิลด้วยเหตุนี้ทำให้สามารถส่งข้อมูลจำนวนมากจากหลายๆ แหล่งข้อมูลได้ภายในช่วงเวลาเดียวกัน ลองคิดดูง่ายๆ หากระบบถูกออกแบบให้ใช้คลื่นแสงที่มีความยาวคลื่น 632 นาโนเมตร (แสงสีแดงที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า) หรือคิดเป็นความถี่ได้ประมาณ 4.7×10^{14} เฮิรตซ์ เป็นตัวส่งสัญญาณข้อมูลแบบอนาล็อก โดยกำหนดให้แบนด์วิดท์ของการส่งข้อมูลมีค่าเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ของค่าความถี่แสงที่ใช้งาน จะได้แบนด์วิดท์ที่มีค่าถึง 4,700 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งก็หมายถึงว่าจะสามารถส่งสัญญาณโทรทัศน์ได้เกือบหนึ่งล้านช่องในช่วงเวลาเดียวกัน แต่ยังไม่สามารถเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ เนื่องจากเทคโนโลยีในปัจจุบันยังไม่ถึง แต่ในอนาคตอันใกล้ก็มีโอกาสที่จะเป็นไปได้อย่างแน่นอน

การนำเส้นใยแก้วนำแสงมาใช้ในระบบสื่อสาร ถือเป็นการเปิดโลกกว้างของการสื่อสารอย่างแท้จริงเพราะระบบนี้สามารถส่งข้อมูลที่มีปริมาณมากและหลากหลายรูปแบบในเวลาเดียวกัน ความหมายของการส่งข้อมูลปริมาณมาก ก็คือการส่งข้อมูลได้เร็วมาก ลองพิจารณาว่าถ้าหากวางเส้นใยแก้วรอบโลกในแนวเส้นศูนย์สูตร ระยะทางรอบโลกนี้เมื่อคิดจากค่ารัศมีโลกที่มีค่าเท่ากับ 6378.2 กิโลเมตร ก็จะมีระยะทางประมาณ 40,000 กิโลเมตร เมื่อคำนวณเวลาที่แสงใช้ในการเดินทางด้วยความเร็วของแสงที่มีค่าประมาณ 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที จะพบว่าภายในเวลาเพียง 1 วินาทีข้อมูลแสงสามารถเดินทางรอบโลกได้ถึง 7 รอบครึ่ง

การนำเส้นใยแก้วนำแสงมาใช้ในระบบสื่อสาร จะใช้เฉพาะในส่วนที่เป็นสายส่งสัญญาณ โดยต้องทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลรูปแบบเดิมที่เป็นสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสง แล้วจึงส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้ ในขณะที่โครงสร้างของระบบสื่อสารในส่วนอื่นๆ ยังคงเป็นไปในทำนองเดิม เพียงแต่จะมีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นตามขีดความสามารถของเส้นใยแก้วนำแสงเท่านั้น การที่แสงมีความถี่ที่สูงมากเป็นพันล้านเฮิรตซ์ ทำให้สามารถส่งข้อมูลปริมาณมากได้ด้วย ซึ่งตรงนี้เป็นข้อได้เปรียบของระบบเส้นใยแก้วนำแสงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ และทำให้การใช้งานระบบเส้นใยแก้วนำแสงไม่ได้ถูกจำกัดเพียงการให้บริการเฉพาะด้านใดด้านหนึ่ง แต่สามารถเพิ่มบริการต่างๆ เข้าไปได้หลากหลายในเวลาเดียวกัน ลักษณะงานบริการต่างๆ อาจจำแนกตามชนิดของข้อมูลเช่น สัญญาณโทรศัพท์ โทรภาพ แฟกซ์ เคเบิลทีวี การสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์ รวมไปถึงระบบมัลติมีเดีย อินเทอร์เน็ต การประชุมระยะไกล เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้สามารถส่งผ่านไปมาได้ในเวลาเดียวกันด้วยเส้นใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้ยังเส้นเดียวหรือคู่เดียวเท่านั้น ตัวอย่างของระบบสื่อสารปัจจุบันที่ใช้เส้นใยแก้วนำแสงได้แก่

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบโครงข่ายสื่อสารรวมดิจิทัลหรือ ISDN (Integrated Services Digital Network) และระบบสื่อสารความเร็วสูงหรือ SDH (Synchronous Digital Hierarchy) เป็นต้น และเมื่อเปรียบเทียบกับระบบการสื่อสารความเร็วสูงก็สามารถสรุปได้ดังตาราง

	ดาวเทียม	เส้นใยแก้วนำแสง
1. อายุการใช้งาน	10 – 20 ปี (หมดอายุตามเชื้อเพลิง)	มากกว่า 50 ปี (หมดอายุเพราะล้าสมัย)
2. ความเร็วในการส่งข้อมูล	เร็ว (ความเร็วตามคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า)	เร็วกว่า (เพราะระยะทางอยู่บนผิวโลก จึงสั้นกว่า)
3. ปริมาณข้อมูล	ปานกลาง – มาก	มากมหาศาล
4. ต้นทุนต่อปริมาณข้อมูล	ปานกลาง	ถูกกว่า
5. เวลาในการติดตั้งระบบ	ประมาณ 2 ปี	ขึ้นอยู่กับขนาดของระบบ
6. การดูแลรักษา	ที่ตัวดาวเทียมไม่มี	กระทำเป็นช่วงเวลา
7. การพัฒนาจากระบบเดิม	ไม่มี	กระทำได้ตลอดเวลา

ตารางที่ 1.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงและดาวเทียมในระบบการสื่อสาร

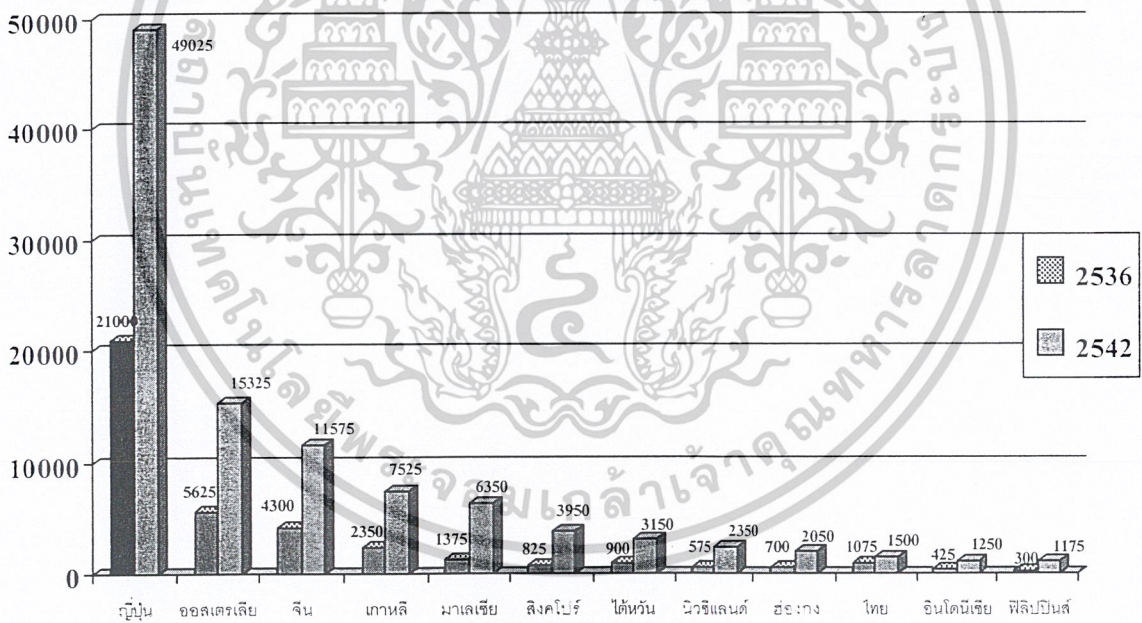
ดังนั้นในปัจจุบันการสื่อสารข้อมูลระยะทางไกลๆ จึงไม่จำเป็นจะต้องใช้ดาวเทียมเสมอไป เพราะระบบการสื่อสารข้อมูลด้วยโครงข่ายสายเคเบิลได้รับการพัฒนาจนครอบคลุมพื้นที่ให้บริการได้อย่างกว้างขวางทั่วโลก ยิ่งไปกว่านั้นสายเคเบิลทองแดงที่ใช้อยู่เดิมถูกแทนที่ด้วยเส้นใยแก้วนำแสง อย่างไรก็ตามพัฒนาการเหล่านี้มิได้หมายความว่าระบบการสื่อสารดาวเทียมกำลังจะหมดความสำคัญลงไป ในทางกลับกันระบบการสื่อสารร่วมกันที่ใช้ทั้งโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงและดาวเทียมจะทำให้เกิดระบบที่มีประสิทธิภาพในการทำงานที่สูงกว่าเดิม

ระบบการสื่อสารข้อมูลพื้นฐานแรกเริ่ม ก็คือระบบโทรศัพท์ที่จัดวางเป็นโครงข่ายขึ้นในพื้นที่ให้บริการในการติดต่อสื่อสาร การนำระบบโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงเข้ามาแทนที่ระบบสายโทรศัพท์เดิม ไม่สามารถกระทำได้ในทันที เพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียไปกับระบบเดิมซึ่งยังคงทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพอยู่ การนำระบบเส้นใยแก้วนำแสงเข้ามาจึงต้องรอจังหวะแล้วนำเข้ามาแทรกเสริมกับระบบเดิม โดยต้องสามารถทำงานร่วมกันได้ ซึ่งพอจะสังเกตเห็นได้จากการพัฒนาระบบสื่อสารในประเทศไทยในช่วงเวลาสิบกว่าปีที่ผ่านมา ไม่จะเป็นการเดินสายเคเบิลเลียบทางรถไฟเพื่อเชื่อมโครงข่ายการสื่อสารระหว่างเมืองใหญ่ ระบบเคเบิลใต้น้ำทั้งภายในและภายนอกระหว่างประเทศเรื่อยไปจนถึงระบบ ISDN

เอกสา (Integrated Services Digital Network) ที่เริ่มเปิดให้บริการในเขตห่มสายใหญ่ๆ เป็นต้น ซึ่งประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันระบบการสื่อสารข้อมูลด้วยเส้นใยแก้วนำแสงสามารถส่งข้อมูลดิจิทัลที่มีอัตราส่งข้อมูลสูงๆ ได้มาก ตัวอย่างเช่น ระบบสื่อสารดิจิทัลของบริษัท AT&T ที่ร่วมกับ KDD ที่ทำการทดสอบตอนช่วงต้นทศวรรษ 1990 สามารถส่งข้อมูลขนาด 5 Gb/s (5,000 ล้านบิตต่อวินาที) ไปได้ไกลถึง 7,000 กิโลเมตร โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Optical Fiber Amplifier ทำหน้าที่แทนสถานีทวนสัญญาณ โดยการจัดการกับข้อมูลในรูปของสัญญาณแสงโดยเฉพาะจำนวน 274 ตำแหน่ง เป็นต้น อย่างไรก็ตามเมื่อหันกลับมามองระบบสื่อสารปัจจุบันในประเทศไทย พบว่าการเชื่อมโยงระหว่างชุมสายใหญ่กับชุมสายย่อย ระหว่างชุมสายย่อยด้วยกันเอง รวมไปถึงการกระจายสัญญาณจากชุมสายย่อยหรือคู่สาขาเข้าสู่บ้านพักอาศัย หรือที่เรียกว่า FTTH (Fiber To The Home) ยังคงต้องใช้เวลาย่อยพอสมควร ซึ่งแม้แต่ประเทศที่พัฒนาแล้วอย่างอเมริกา ญี่ปุ่น หรือ ออสเตรเลีย ที่เป็นผู้นำของเทคโนโลยีด้านนี้ ยิ่งกล่าวจะต้องใช้เวลานานในการนำเส้นใยแก้วนำแสงเข้าไปแทนระบบสายตัวนำเดิมมานานไม่ต่ำกว่า 10 - 20 ปีเลยทีเดียว จากการสรุปการวางแผนงานพัฒนาระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงของบางประเทศในแถบเอเชียเป็นดังนี้



รูปที่ 1.1 แสดงมูลค่าทางการตลาดของเส้นใยแก้วนำแสงของประเทศในเอเชีย เปรียบเทียบในช่วงปี พ.ศ. 2536 และปี พ.ศ. 2542 (หน่วยล้านดอลลาร์สหรัฐ)

เริ่มจากเกาหลีใต้ ได้กำหนดแผนที่จะสร้างโครงข่ายระบบ FTTH ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2537 - 2568 ซึ่งถือเป็นโครงการระยะยาวเลยทีเดียว ในปี พ.ศ. 2539 ซึ่งถือเป็นระยะเริ่มต้นก็สามารถให้บริการลูกค้าได้แล้วถึง 800,000 ราย และคาดว่าจำนวนผู้ใช้บริการจะเพิ่มขึ้นถึง 12.74 ล้านรายในปี พ.ศ. 2549 ตาม

แผนที่ตั้งไว้ คาดว่าเส้นใยแก้วนำแสงจะเข้ามาแทนระบบคู่สายโทรศัพท์เดิมได้ทั้งหมดในปี พ.ศ. 2568

เอกสารแนบเอกสารที่ส่งถึงกรมการสื่อสารแห่งประเทศไทยฉบับนี้ มีอยู่ ๒๒ หน้า โดยในฉบับนี้ขอเสนอให้ดำเนินการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเทศไต้หวัน ซึ่งถือว่าเป็นประเทศที่มีเงินทุนสำรองมากที่สุดและแทบจะไม่ได้รับผลกระทบกับเศรษฐกิจที่ถดถอยในช่วงที่ผ่านมาเลย ได้กำหนดแผนด้านการพัฒนาระบบสื่อสารไว้เป็นช่วงๆ ละประมาณ 6 ปี โดยเป็นส่วนหนึ่งของแผนระยะยาวที่จะให้ประเทศสามารถใช้บริการของระบบ FTTH ได้ภายในปี พ.ศ. 2563 ด้วยวงเงินลงทุนมหาศาล

ในส่วนของประเทศญี่ปุ่นซึ่งถือเป็นผู้นำด้านการสื่อสารที่สำคัญรายหนึ่งของวงการ ปัจจุบันนี้ญี่ปุ่นมีระบบเส้นใยแก้วนำแสงใช้อยู่เกือบทั่วประเทศ โดยมีชุมสายย่อยให้บริการครอบคลุมพื้นที่ในรัศมี 2 กิโลเมตร อย่างไรก็ตามญี่ปุ่นคาดว่าระบบ FTTH จะเสร็จสมบูรณ์ภายในปี พ.ศ. 2558 ซึ่งข้อแตกต่างในการพัฒนาระบบเส้นใยแก้วนำแสงของญี่ปุ่นเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่นๆ คือ ในการพัฒนาระบบทั่วไปจะมีภาคเอกชนเป็นผู้นำในการดำเนินการเป็นส่วนใหญ่

สำหรับฮ่องกงซึ่งเป็นที่มาธุรกิจที่สำคัญแม้จะอยู่ภายใต้การปกครองของจีนแล้วก็ตาม งานส่วนใหญ่ก็ยังคงถูกดำเนินการต่อไปตามแผนที่ได้วางไว้ ปัจจุบันฮ่องกงมีระบบ ISDN (Integrated Services Digital Network) ที่ต้องอาศัยโครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงสำหรับบริการลูกค้าได้ประมาณ 5 ล้านรายซึ่งถือว่ามากทีเดียวสำหรับพื้นที่เล็กๆ บนเกาะอย่างฮ่องกง

เมื่อดูแผนการพัฒนารวมไปถึงความเป็นจริงในการพัฒนาระบบเส้นใยแก้วนำแสงในประเทศไทย ก็ต้องยอมรับว่าอัตราการเจริญเติบโตของระบบในประเทศยังตามหลังประเทศชั้นนำในเอเชียอยู่พอสมควร โดยเฉพาะในช่วงที่ต้องประสบกับปัญหาสถานะเศรษฐกิจตกต่ำ ทำให้การพัฒนาระบบสื่อสารต่างๆ มีการชะลอตัว แต่อย่างไรก็ตามจากนโยบายและแผนการเปิดเสรีโทรคมนาคมในปี พ.ศ. 2549 จะทำให้วงการสื่อสารโทรคมนาคมต้องมีการจัดเตรียมรูปแบบและระบบจัดการ โดยมีภาครัฐเป็นแกนนำ ซึ่งถือเป็นแนวโน้มที่ดีที่จะทำให้ระบบสื่อสารโทรคมนาคมเจริญก้าวหน้ายิ่งขึ้น

ด้วยเหตุผลต่างๆ ทั้งหมดข้างต้นทำให้มีความต้องการที่จะศึกษาถึงกระบวนการและวิธีการที่จะทำให้สามารถส่งข้อมูลผ่านเส้นใยแก้วนำแสงได้ รวมถึงทำการออกแบบและสร้างเครื่องรับ-ส่งข้อมูลโดยใช้เส้นใยแก้วนำแสงเป็นตัวกลาง เพื่อที่จะได้ทำการทดลองรับ-ส่งข้อมูลจริง ซึ่งจะได้เรียนรู้และเข้าใจถึงหลักการวิธีการต่างๆ ที่จำเป็นขั้นพื้นฐานของระบบเส้นใยแก้วนำแสงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

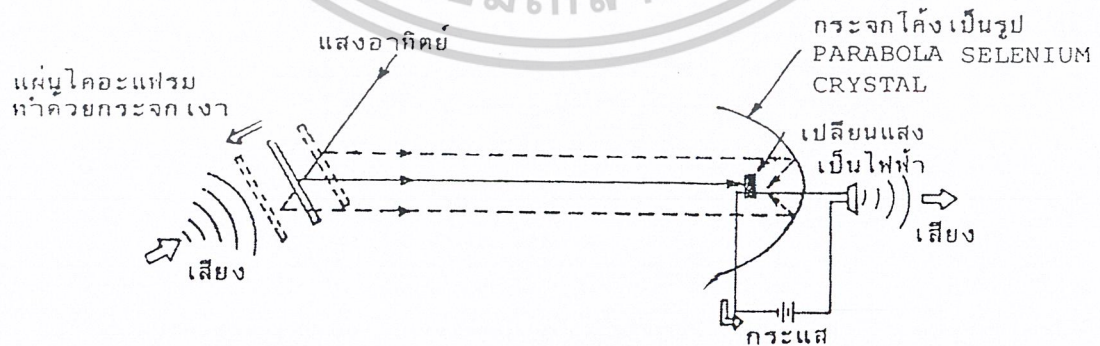
การสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง

2.1 ประวัติและวิวัฒนาการของการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง

ในสมัยโบราณที่มนุษย์เราได้คิดค้นหาวิธีต่างๆ ที่จะทำการส่งข่าวสารเพื่อให้ผู้ที่อยู่ห่างไกลออกไป สามารถที่รับรู้ข่าวสารตามความประสงค์ของตนเองได้ แสงเป็นตัวกลางหนึ่งที่มนุษย์นำมาใช้ในการสื่อสาร เช่น การใช้สัญญาณไฟ การทำให้แสงตะเกียงสว่างหรือมืด การใช้สัญญาณธง และวิธีการอื่นๆ แนวความคิดเหล่านี้ก็เพื่อจุดประสงค์ในการส่งข่าวสารไปไกลๆ นั่นเอง ซึ่งการกระทำโดยการเปลี่ยนเนื้อหาข่าวสารที่ต้องการที่จะส่งออกไปในรูปแบบต่างๆ เช่น รูปร่างของคลื่นไฟที่ตกลงกันไว้ล่วงหน้าแล้ว หรือเปลี่ยนเป็นระยะการสว่าง มืด ของแสงตะเกียง ตะเกียง หรือไฟฉาย หรือการโบกธงเสียก่อนแล้วส่งออกไปส่วนทางด้านรับก็จะทำการแปลความหมายตามที่ตกลงกันไว้แล้วลับออกมาเป็นข่าวสารตามเดิม วิธีการที่กล่าวมานี้จัดเป็นการสื่อสารทางแสงชนิดหนึ่งที่ใช้แสงธรรมชาติ

แม้ว่าจะได้มีการบันทึกของชนชาติกรีกโบราณที่กล่าวถึงเรื่องเกี่ยวกับเรื่องของแสงซึ่งสามารถเดินทางไปตามสายน้ำที่ไหลอยู่ในท่อระบายน้ำซึ่งคิดคล้ายก็ตาม แต่ก็ดูเหมือนว่าไม่มีใครที่จะใส่ใจในเรื่องนี้อย่างจริงจังเลยจนกระทั่งในปี 1870 John Tydal ได้ทำการทดลองแสดงให้เห็นว่าแสงนั้นสามารถเดินทางตามสายน้ำที่เทออกมาจากภาชนะซึ่งมีแสงสว่างอยู่ภายในได้ และกล่าวกันว่าบันทึกเรื่องราวต่างๆ เหล่านี้ คือ ต้นเหตุที่มาของการคิดค้นเกี่ยวกับสายใยแก้วนำแสงในปัจจุบัน

เมื่อไม่นานกระจกที่ใช้ในการสะท้อนแสงอาทิตย์หรือการสื่อสารด้วยแสงแบบโบราณแล้ว สิ่งประดิษฐ์ชิ้นแรกที่เกี่ยวข้องกับระบบการสื่อสารด้วยแสงก็ควรจะเป็นโฟโตโฟน (Photo Phone) ของ Alexander Graham Bell ซึ่งเป็นนักประดิษฐ์โทรศัพท์ที่มีชื่อเสียงของประเทศอเมริกา ซึ่งโฟโตโฟนนี้ได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นในปี 1880 (Photo Phone : โทรศัพท์ที่ใช้แสง) ส่วนประกอบของโฟโตโฟนแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงหลักการ โทรศัพท์แสง (Photo Phone)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของโฟโตโฟนอนิบายได้ง่ายๆ ดังนี้คือ เมื่อมีเสียงพูดเข้าไปยังกรวยรับเสียง เสียงก็จะทำให้แผ่นไดอะแฟรม (Diaphragm) สะท้อนแสงที่ติดอยู่กับกรวยรับเสียงนั้นสั้น เป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแสงที่สะท้อนออกมาจากแผ่นไดอะแฟรมนั้น ดังนั้นแล้วแสงนี้จะถูกสะท้อนส่งไปยังเครื่องรับ ซึ่งมีโฟโตเซล (Photo Cell) เป็นตัวรับแสงและเป็นตัวควบคุมการไหลของไฟฟ้าในวงจรจตุรัสรูป (เปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า) ทำให้โฟโตโฟนนี้สามารถที่จะส่งข่าวสารที่เป็นเสียงได้ โดยใช้แสงเป็นตัวพาหะ จากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสภาพแวดล้อมต่างๆ นั้น มีอิทธิพลต่อการส่งสัญญาณในระบบนี้มาก จึงทำให้ระยะเวลาใช้งานของโฟโตโฟนนั้นสั้นมาก เพียงประมาณ 200 เมตรเท่านั้น เพราะฉะนั้นโฟโตโฟนจึงไม่ได้เข้ามามีบทบาทในวงการธุรกิจการสื่อสารในเวลาต่อมาแต่อย่างใด

แม้ว่าในปี 1960 Dr. Theodore Maiman จะสามารถคิดค้นวิธีผลิตแสงเลเซอร์ออกมาได้เป็นผลสำเร็จก็ตาม แต่แสงเลเซอร์ที่ผลิตออกมาได้โดยวิธีการนี้ ก็ยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการสื่อสารจวบจนกระทั่งปี 1970 จึงได้มีการประดิษฐ์เลเซอร์ไดโอด ที่สามารถใช้เป็นตัวผลิตสัญญาณเพื่อการสื่อสารร่วมกับสายใยแก้วนำแสงขึ้นได้เป็นครั้งแรกถึงกระนั้นก็ตามคุณสมบัติของเลเซอร์ไดโอดและสายใยแก้วนำแสงที่สร้างขึ้นในสมัยนั้นเมื่อเทียบข้อดีข้อเสียกับการสื่อสารในระบบไฟฟ้าที่มีอยู่ก็ยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานจริง อย่างไรก็ตามผลจากการทดลองที่ได้ในครั้งนั้นได้เกิดแรงผลักดันอันยิ่งใหญ่ทำให้มีการพัฒนาระบบการสื่อสารด้วยใยแก้วนำแสงขึ้นอย่างจริงจัง และประเด็นสำคัญที่ในการพัฒนาก็คือ ความต้องการที่จะลดค่าการลดทอนในสายใยแก้วนำแสงให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้

2.2 การค้นพบเส้นใยแก้วนำแสง

การส่งแสงผ่านอากาศนั้นไม่สามารถหลีกเลี่ยงการรบกวนของสิ่งต่างๆ เช่น ฝน หมอก และสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีสายส่งที่มีความเชื่อถือสูง (Reliability) โดยที่การส่งนั้นจะไม่ถูกรบกวนจากสัญญาณภายนอกได้เลย

สายส่งสำหรับการส่งสัญญาณแสงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. ระบบนำแสงไปในอากาศ

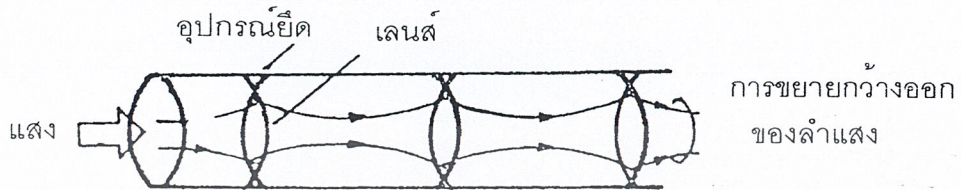
เช่น การนำเลนส์มาเรียงกันเป็นชุด การใช้กระจกสะท้อนมาเรียงกันเป็นชุด การใช้ Glass lens เป็นชุดเป็นต้น

2. ระบบนำแสงที่ทำด้วยไดอิเล็กตริก (Dielectric)

ได้แก่ เส้นใยแก้วนำแสง สารไดอิเล็กตริก เป็นสารที่นำไฟฟ้าได้ยาก เช่น แก้ว ตัวอย่างของสายส่งแสงที่เป็นระบบนำแสงไปในอากาศ แสดงดังรูปที่ 2.2 โดยการนำเอาเลนส์ หรือกระจกเงาไปติดตั้งเป็นระยะๆ ในท่อที่วางบนพื้นดินหรือฝังอยู่ใต้ดินและส่งแสงผ่านไป เช่น การนำเอาเลนส์มาวางเรียงกันเป็นระยะๆ ห่างกันทุกๆ 100 เมตร และได้ทำการทดสอบส่งเป็นระยะทางไกลประมาณ 50 กิโลเมตร ระบบนี้เนื่องจากการส่งไปในที่ว่างที่ถูกปิดไว้ จึงไม่ได้รับผลกระทบรบกวนจากปรากฏการณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมชาติ เช่น ฝน หมอก และอื่นๆ แต่ต้องการการควบคุมที่ละเอียดเพื่อจัดตำแหน่งและมุมของเลนส์หรือกระจกเงาให้ถูกต้อง การทำการควบคุมนี้เป็นสิ่งยุ่งยากมากในการปฏิบัติ



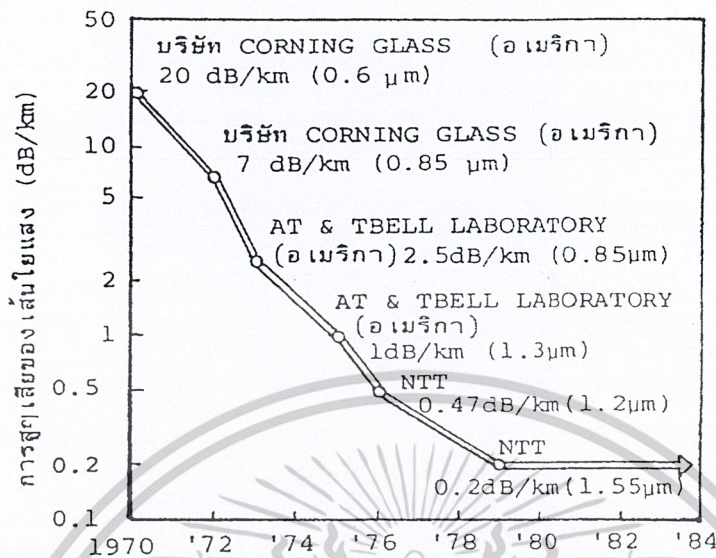
รูปที่ 2.2 แสดงสายส่งแสงที่ใช้เลนส์นำมาวางเรียงกันเป็นชุด

ส่วนสายส่งที่ใช้เส้นใยแก้วนำแสงเป็นการส่งโดยป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง ในปี ค.ศ. 1951 ได้มีการพัฒนาเส้นใยแก้วนำแสงสำหรับใช้ในวงการแพทย์ ซึ่งเป็นเส้นใยแก้วนำแสงอันแรกที่สร้างขึ้น โดยมีการสูญเสียของแสง 1,000 dB/Km (เมื่อแสงเดินทางไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้ 3 เมตร กำลังของแสงจะลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง) เส้นใยแก้วนำแสงนี้มีการสูญเสียแสงมากไม่สามารถนำมาใช้เป็นตัวกลางของการสื่อสารได้

การเริ่มวิจัยค้นคว้าเกี่ยวกับเส้นใยแก้วนำแสงเพื่อนำมาใช้ในการสื่อสารอย่างจริงจังนั้นเริ่มขึ้นในปี ค.ศ. 1966 Mr. KAO แห่งศูนย์วิจัย STL ของประเทศอังกฤษ ได้แถลงบทความในเชิงประวัติศาสตร์เกี่ยวกับความเป็นไปได้ของการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง ในบทความนี้ได้วิเคราะห์เกี่ยวกับสาเหตุของการสูญเสียของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงและกล่าวว่า

ถ้าหากสามารถกำจัดสิ่งแปลกปลอม (Impurity) ที่มีอยู่ในแก้วออกอย่างเพียงพอ แล้วจะสามารถทำให้การสูญเสียของแสงต่ำลงเหลือประมาณ 20 dB/Km (เมื่อแสงเดินทางไปได้ 150 เมตร กำลังของแสงจะตกลงเหลือครึ่งหนึ่ง) บทความนี้ได้กลายเป็นสิ่งกระตุ้นให้แต่ละประเทศเริ่มต้นการวิจัยที่มุ่งมั่นจะสร้างเส้นใยแก้วนำแสงที่มคการสูญเสียต่ำ และในปี 1970 บริษัท CORNING GLASS ของประเทศอเมริกา ก็ประสบความสำเร็จในการทดลองเส้นใยแก้วนำแสงที่มีการสูญเสียแสงต่ำอย่างน่าอัศจรรย์สำหรับในสมัยนั้น คือการสูญเสียแสง 20 dB/Km นับตั้งแต่นั้นมาจนถึงปัจจุบันเทคโนโลยีของเส้นใยแก้วนำแสงที่มุ่งพัฒนาให้เส้นใยแก้วนำแสงมีการสูญเสียต่ำได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าการพัฒนาการเส้นใยแก้วนำแสงให้มีค่าต่ำที่สุดนั้น ประสบผลสำเร็จรวดเร็วมก กล่าวคือ ปี ค.ศ. 1972 การสูญเสียลดลงเหลือ 7 dB/Km, ปี ค.ศ. 1973 ลดลงเป็น 2.5 dB/Km และในปี ค.ศ. 1976 ลดลงเป็น 0.47 dB/Km และจากนั้นในปี ค.ศ. 1979 ก็สามารถทำให้ลดลงเป็น 0.2 dB/Km นั้นหมายความว่าในปัจจุบันสามารถผลิตเส้นใยแก้วนำแสงที่มีการสูญเสียต่ำ จนกระทั่งเข้ามาใกล้ขีดจำกัดทางทฤษฎีของเส้นใยแก้วนำแสงที่ทำด้วย Silica glass

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงประวัติการพัฒนาเส้นใยแก้วนำแสงที่มีการสูญเสียต่ำ

เส้นใยแก้วนำแสงที่มีการสูญเสียแสง 0.2 dB/Km นี้สามารถที่จะส่งได้ไกล 15 กิโลเมตร กำลังของแสงจึงจะตกลงเป็นครึ่งหนึ่ง ถ้าเป็นกระจกหน้าต่างธรรมดาจะส่งได้ไม่กี่เซนติเมตร แม้แต่แก้วพวก Optical glass ก็สามารส่งได้ไกลเพียงไม่กี่เมตร ดังนั้นแสดงว่าเส้นใยแก้วนำแสงมีความใสมาก

2.3 เส้นใยแก้วนำแสง

เส้นใยแก้วนำแสงก็คือ เส้นใยขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำแสง ซึ่งโครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงประกอบด้วยส่วนที่แสงเดินทางผ่านเรียกว่า Core และส่วนที่ห่อหุ้ม Core อยู่อีกชั้นเรียกว่า Clad ทั้ง Core และ Clad เป็น Dielectric ใส 2 ชนิด (Dielectric หมายถึงสารที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า เช่น แก้ว พลาสติก เป็นต้น) โดยการนำค่าดัชนีหักเหของ Clad มีค่าน้อยกว่าค่าดัชนีหักเหของ Core เล็กน้อย (ประมาณ 0.2 – 3 %) และอาศัยปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสง สามารถทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปใน Core เดินทางไปได้ นอกจากนั้นเนื่องจากว่าเส้นใยแก้วนำแสงมีขนาดเล็กมากถ้าเปรียบเทียบกับจะมีขนาดเท่าเส้นผมนั่นเองซึ่งนั่นหมายถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกของ Clad มีขนาดโดยประมาณ 0.1 มม. ส่วน Core ที่แสงเดินทางผ่านนั้นมีขนาดเล็กลงไปอีก คือประมาณหลาย μm ~ หลายสิบล μm จึงมีค่าหลายเท่าถึงหลายสิบลเท่าของความยาวคลื่นของแสงที่ใช้งาน ค่าต่างๆเหล่านี้เป็นค่าที่กำหนดขึ้นจากคุณสมบัติการส่งและคุณสมบัติทาง Mechanic ที่ต้องการ เส้นใยแก้วนำแสงนอกจากมีคุณสมบัติดีเยี่ยมแล้วยังมีลักษณะอย่างอื่นอีก เช่น น้ำหนักเบา และมีขนาดเบา และสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไม่สามารถจะรบกวนได้แล้วยังมีข้อดีอื่นๆ อีกมากจึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ Optical Fiber เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในปัจจุบันจนเป็นที่คาดการณ์ว่าจะมาทดแทนสายที่เป็น Copper ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันอย่างแน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ชนิดของเส้นใยแก้วนำแสง

วิธีการแบ่งชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงมีอยู่ 3 วิธีคือ

1. แบ่งตามชนิดของสาย Dielectric ที่ใช้
2. แบ่งตามจำนวน Propagation Mode
3. แบ่งตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเห

1. การแบ่งชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงตามชนิดของ Dielectric

การแบ่งชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงตามชนิดของ Dielectric สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

- 1.1 Silica Glass Optic Fiber
- 1.2 Multi component Glass Optic Fiber
- 1.3 Plastic Optic Fiber

1.1 Silica Glass Optic Fiber จะใช้ Silica Glass เป็น Dielectric และนอกจากจะใช้ Silica Glass ที่บริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่แล้วยังใช้สารอื่นเติมเข้าไปเพื่อทำค่าดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงตามความต้องการ สารอื่นที่เติมลงไปเรียกว่า Dopant ได้แก่ Germanium (Ge), Boron (B), Fluorine (F) เป็นต้น

1.2 Multi component Glass Optic Fiber ซึ่งใช้ Dielectric ที่เป็นแก้วหลายชนิดปนกัน ส่วนมากจะใช้ Soda Calcium, แก้ว, หรือแก้วที่มี Boron และ Silicon ผสม และอื่นๆ เป็นสารหลัก ส่วนสารที่ใช้ในการ Dopant ได้แก่ โซเดียม (Na), แคลเซียม (Ca)

1.3 Plastic Optic Fiber ซึ่งใช้ Plastic เป็น Dielectric ได้แก่สารพวก Silicon Resin, Acryl Resin (เช่น Polymethyl Methacrylate : PMMA)

สำหรับเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้ในข่ายการสื่อสารโทรคมนาคม (Telecommunication Network) นั้น นิยมใช้ Silicon Glass Optic Fiber เพราะมีข้อดีคือ การสูญเสีย (Loss) ต่ำและคุณสมบัติการส่ง (Transmission Characteristic) คงที่ ไม่มีเปลี่ยนแปลง

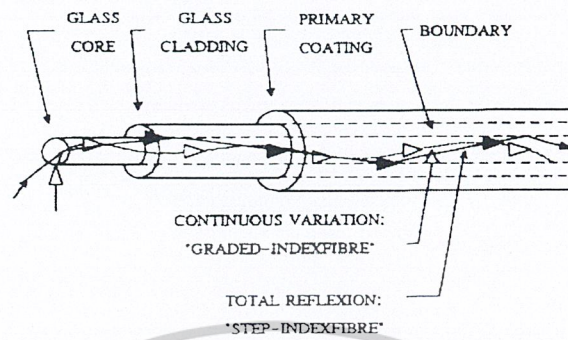
แต่สำหรับงานที่ต้องการคุณสมบัติการส่งที่ด้อยลงมา เช่น ใช้งานง่าย ต่อสายง่าย หักยากแม้จะงอเส้นใยแก้วนำแสงมากๆ เป็นต้น และใช้กับการสื่อสารระยะทางใกล้ หรือใช้กับการเดินสายภายในรถยนต์ (Wire Harness) และอื่นๆ ในกรณีเหล่านี้นิยมใช้เส้นใยแก้วนำแสงที่เป็น Plastic Optic Fiber

2. การแบ่งชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงตามจำนวน Propagation Mode

การแบ่งชนิดของเส้นใยแก้วนำแสงตามจำนวน Propagation Mode สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

- 2.1 Single Mode Optical Fiber (SM Fiber)
- 2.2 Multi Mode Optical Fiber

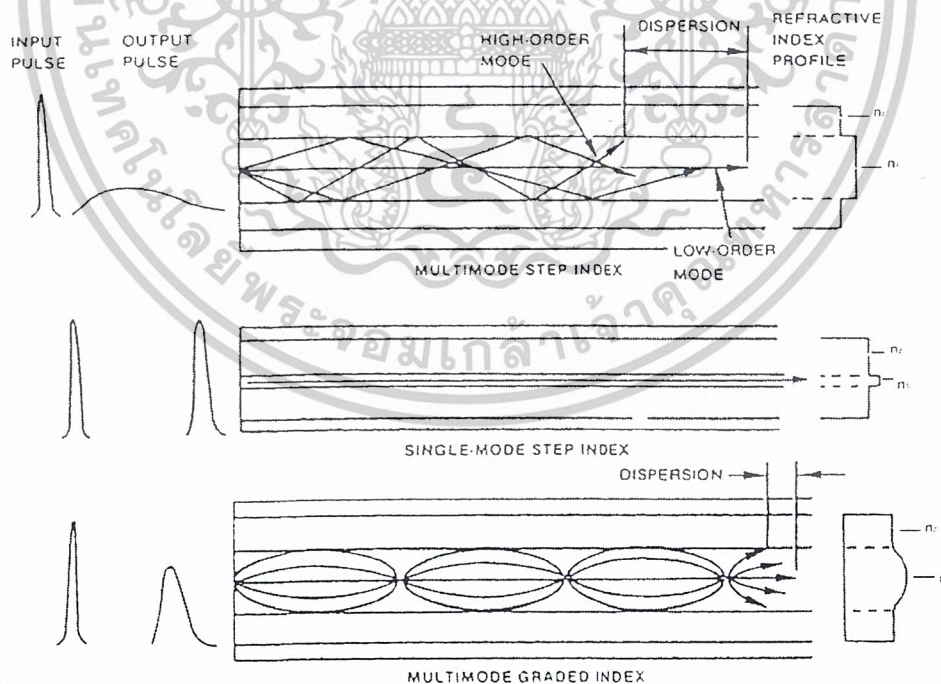
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดง Multi Mode Optic Fiber

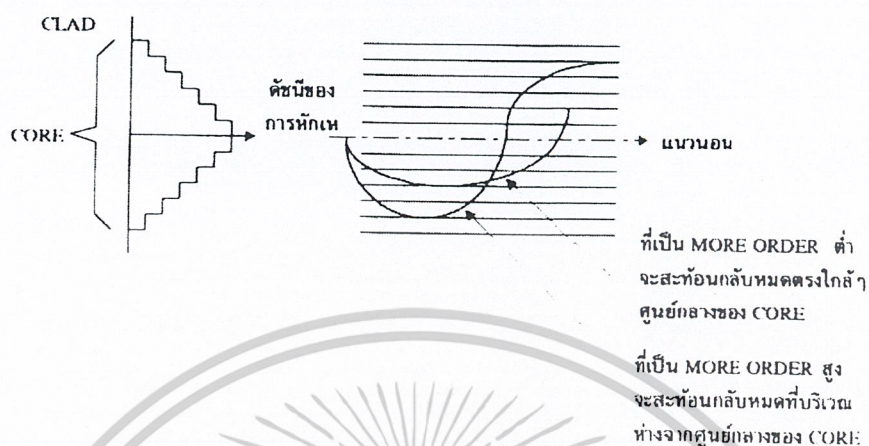
SM Fiber นั้นจัดอยู่ในพวก SI Fiber เหมือนกันแต่ที่ว่าเนื่องจากจุดประสงค์ต้องการให้เป็น Single Mode จึงทำให้อัตราส่วนผลต่างของค่าดัชนีการหักเหของ Core และ Clad มีค่าน้อยมากจึงแบ่งชนิดแยกออกมาต่างหาก ดังนั้นในกรณีที่เรียกว่า SI Fiber นั้น โดยทั่วไปจะหมายถึง Multi Mode Optic Fiber ที่มีผลต่างของดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงเป็นขั้นบันได (Step)

GI-Fiber เป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่จัดทำเป็นพิเศษเพื่อการส่ง Multi Mode แสดงถึง Propagation Mode ของ GI-Fiber



รูปที่ 2.5 แสดงการเดินทางของแสงใน Core ของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงใน GI Fiber

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่า ค่าดัชนีการหักเหของ GI Fiber นี้ค่อยๆ ลดลงทีละน้อยในแนวรัศมีของเส้นใยแก้วนำแสง ดังนั้นลำแสง 1 ที่มี Mode ต่ำและเดินทางในระยะทางสั้นนั้นจะสะท้อนกลับก่อนที่จะเดินทางไปถึงรอยต่อของ Core และ Clad ซึ่งกล่าวได้ว่าส่วนใหญ่จะผ่านส่วนที่มีดัชนีการหักเหสูงของ Core ส่วนลำแสงที่มี Mode สูงและเดินทางในระยะไกลนั้น ส่วนใหญ่จะผ่านส่วนที่มีดัชนีการหักเหต่ำของ Core หนึ่งความเร็วในการเดินทางของแสงนั้นจะเป็นสัดส่วนกลับกับค่าดัชนีการหักเห (เรียกว่า PROFILE) ให้เหมาะสมแล้วเราจะให้เวลาที่ใช้ในการเดินทางในระยะทางอันหนึ่งของ Propagation Mode (1) และ (2) มีค่าเท่ากันได้ด้วยจุดประสงค์อันนี้ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ผลต่างของเวลาการเดินทางระหว่าง Propagation Mode ต่างๆ มีค่าน้อยที่สุดได้นั้นกล่าวกันว่าต้องมีรูปร่างเป็นลักษณะพาราโบลา (Parabola) ดังนั้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหของ GI Fiber จึงต้องทำให้มีรูปร่างดังรูปที่ 2.6

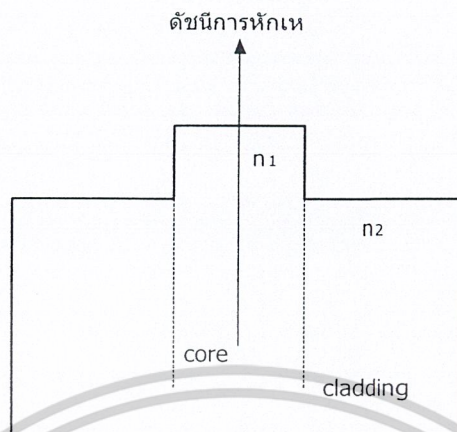
3. การแบ่งตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเห

การแบ่งตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเห สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

3.1 Step Index Optic Fiber (SI – Fiber)

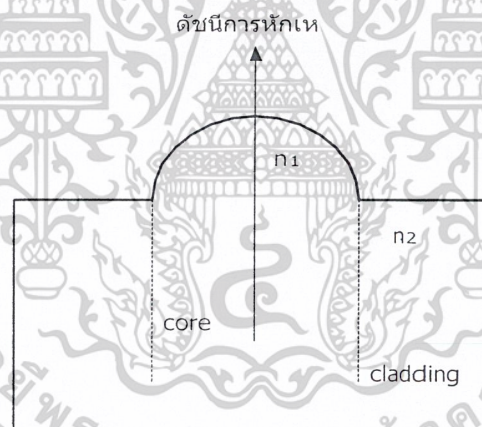
3.2 Graded Index Optic Fiber (GI – Fiber)

3.1 Step Index Optic Fiber (SI – Fiber) เป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่าง Core กับ Clad เป็นลักษณะขั้นบันได (step) แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดง Step Index Optic Fiber

3.2 Graded Index Optic Fiber (GI Fiber) เป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่าง Core กับ Clad ค่อยๆ ลดลงทีละน้อยแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดง Graded Index Optic Fiber

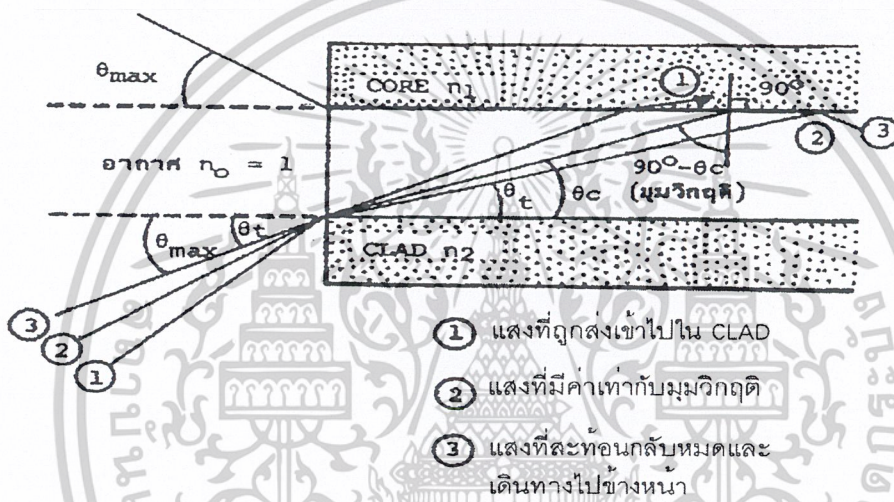
SM Fiber นั้นจัดอยู่ในพวก SI Fiber เหมือนกันแต่ทว่าเนื่องจากจุดประสงค์ต้องการให้เป็น Single Mode จึงทำให้อัตราส่วนผลต่างของค่าดัชนีการหักเหของ Core และ Clad มีค่าน้อยมากจึงแบ่งชนิดแยกออกมาต่างหาก ดังนั้นในกรณีที่เรียกว่า SI Fiber นั้น โดยทั่วไปจะหมายถึง Multi Mode Optic Fiber ที่มีผลต่างของดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงเป็นขั้นบันได (Step)

GI - Fiber เป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่จัดทำเป็นพิเศษเพื่อการส่ง Multi Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง

เนื่องจากว่าแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้น จะกระจายกว้างออกเนื่องจากปรากฏการณ์การเบี่ยงเบนของแสง (ตามที่กล่าวมาแล้ว) ในการที่จะป้อนแสงเข้าไปใน Core ที่มีขนาดเล็กมากานั้น ต้องใช้ Lens (ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป) ทำการรวมแสง แต่ทว่าแสงที่รวมนั้นไม่ใช่ว่าจะถูกป้อนเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงทั้งหมด แสงที่มีมุมตกกระทบที่เหมาะสมเท่านั้นจึงจะสามารถเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงได้ (ดูรูปด้านล่างประกอบ) แสงมุมรับแสงของเส้นใยแสง จากรูปจะเห็นว่าที่จุดป้อนแสงของเส้นใยแก้วนำแสงนั้นจะเป็นจุดต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงต่างๆ กัน 3 ชนิด



รูปที่ 2.9 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยแก้วนำแสง

- ตัวกลางทั้ง 3 ชนิดคือ
1. อากาศ
 2. Core ของเส้นใยแก้วนำแสง
 3. Clad ของเส้นใยแก้วนำแสง

ถ้าให้ค่าดัชนีการหักเหของแสงของตัวกลางทั้ง 3 ชนิดเป็น n_0 ($n_0 = 1$), n_1 และ n_2 ตามลำดับจะเกิดการหักเห การสะท้อนกลับของแสงมีรอยต่อของอากาศกับ (Core และของอากาศกับ Clad ตามกฎที่กล่าวมาแล้วในที่นี้ให้มีมุมรับแสงของเส้นใยแสงที่มีค่ามากที่สุดเป็น θ_{max}

จากรูปที่ 2.9 จะเห็นว่า ลำแสงที่ 2 นั้น มุมรับแสงตรงรอยต่อของ Core กับ Clad นั้นมีค่าเป็นมุมวิกฤติ (Critical Angle) ตรงรอยต่อของอากาศ Core กับ Clad นั้นจากกฎของ Snell จะได้ว่า

$$\sin\theta_{max} = n_1 \sin\theta \dots\dots\dots 1$$

$$\sin(90 - \theta_c) = \cos\theta_c = n_2/n_1 \dots\dots\dots 2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่มุมรับแสง $\sin\theta_{\max}$ มีค่าสูงสุดได้นั้น $n_1 = n_2$ จากสมการ 1 และ 2 จะได้ว่า

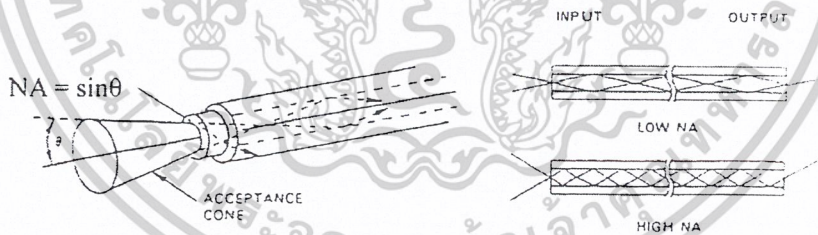
$$\sin\theta_{\max} = \sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_1}}$$

เรียกว่า อัตราส่วนผลต่างของดัชนีการหักเหของแสง

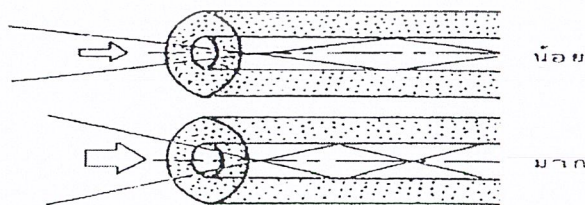
สำหรับ $\sin\theta_{\max}$ นี้ตามศัพท์เทคนิคของวิชาแสงเรียกว่า Number Aperture เขียนย่อว่า “NA” หมายถึง ขนาดของการเปิดรับให้แสงผ่าน และใช้เป็นตัวแสงเงื่อนไขการป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง นอกจากนั้นยังถือเป็นตัวประกอบพื้นฐานอันหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสง ระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแก้วนำแสงด้วย ยกตัวอย่างเช่น สมมุติว่าเส้นใยแก้วนำแสง $n_1 = 1.475$ และ $n_2 = 1.46$ (ค่าอัตราส่วนผลต่างของดัชนีการหักเหของแสง = 1%) ในกรณีนี้มีค่า $NA = 0.21$ (ดูรูป 2.10 ก,ข,ค) แสดงความหมายของ NA และขนาดของ Core ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับใยแก้วนำแสง

2.6 การเดินทางของแสงภายในเส้นใยแก้วนำแสง (Propagation Mode)

แสงที่ป้อนเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงด้วยค่าของมุมรับแสงที่อยู่ในช่วงของมุมรับแสงสูงสุดนั้น แสงจะเดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงด้วยลักษณะที่เกิดการสะท้อนกลับไปทางตรงรอยต่อของ Core กับ Clad โดยที่สะท้อนกลับไปมาและเคลื่อนที่ไปข้างหน้าพร้อมกันด้วย แต่ทว่าจาก Interference ของแสงภายใน Core นั้นมุมสะท้อนกลับที่รอยต่อจะเกิดขึ้นได้จำเป็นต้องมีเงื่อนไขที่เหมาะสม

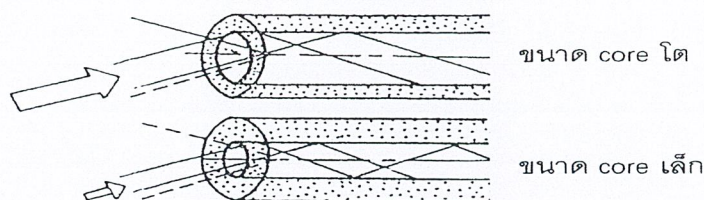


รูปที่ 2.10 ก. แสดงผลของ NA และขนาดของ Core ที่มีประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสง



รูปที่ 2.10 ข. กรณีขนาด Core โตเท่ากันแต่ค่า NA ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ค. กรณีค่า NA เท่ากันแต่ขนาด Core ต่างกัน

จากรูปที่ 2.10 จะเห็นว่าถ้าหากขนาดของ Core และ NA มีค่าคงที่แล้วจะกำหนดปริมาณของแสงที่ป้อนเข้าไปใน Core ได้ทันที เส้นใยแก้วนำแสงที่มี Core ขนาดใหญ่และมี NA มากจะมีประสิทธิภาพการเชื่อมภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแก้วนำแสงสูงมาก

2.7 โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง

องค์ประกอบพื้นฐานที่กำหนดโครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงคือ เส้นผ่าศูนย์กลางนอก (เส้นผ่าศูนย์กลาง Clad), Numerical Aperture (NA) และอื่นๆ องค์ประกอบเหล่านี้เรียกว่าเป็น Parameter ทางโครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสง Parameter ทางโครงสร้างเหล่านี้นอกจากมีผลต่อการสูญเสีย, Transmission band width, ความแข็งแรงทางเมคานิคและคุณสมบัติอื่นๆ ของเส้นใยแก้วนำแสง ยังเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง กับ เส้นใยแก้วนำแสง หรือการต่อของเส้นใยแก้วนำแสงกับอุปกรณ์แสง (Optic Device) อีกด้วย นอกจากนี้ยังมี Parameter ประกอบทางโครงสร้างเพิ่มเติมอีกได้แก่ เปอร์เซ็นการคลาดเคลื่อนทางศูนย์กลาง (Eccentricity), อัตราความเพี้ยนของวงกลม (Non-Circular Rate) สำหรับ Parameter ประกอบนี้จะไม่มีผลอะไรทางด้านคุณสมบัติการส่ง (Transmission Characteristic) แต่ทว่ามันจะมีผลอย่างมากต่อการสูญเสียของการต่อ (Connection Loss) ของเส้นใยแก้วนำแสง

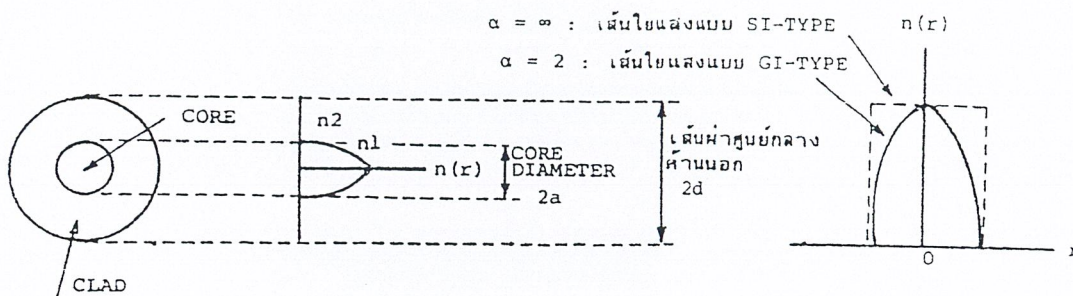
ตัวอย่าง เช่น ในการกำหนดโครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงชนิด Multi Mode Optic Fiber จะต้องอาศัย Parameter 4 อันคือ

1. เส้นผ่าศูนย์กลางของ Core
2. เส้นผ่าศูนย์กลางนอก
3. Numerical Aperture (NA)
4. ลักษณะของค่าดัชนีการหักเห

ในการกำหนดค่าต่างๆ ของ Parameter ทางโครงสร้างทั้ง 4 เหล่านี้จำเป็นต้องคำนึงถึงผล Parameter ทางโครงสร้างแต่ละอันที่มีคุณสมบัติต่างๆ ของเส้นใยแก้วนำแสง การสร้างจะสร้างได้งานและประหยัดสำหรับโครงสร้างของ Single Mode Optic Fiber จะกำหนดจาก Parameter 3 อันคือ

1. เส้นผ่าศูนย์กลางของ Mode Field
2. เส้นผ่าศูนย์กลางนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือที่สงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$\alpha = \infty$: เส้นใยแสงแบบ SI-TYPE
 $\alpha = 2$: เส้นใยแสงแบบ GI-TYPE

Numerical Aperture (NA) : $NA = n_1 \sqrt{2\Delta}$, $\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$

Refracting Index Distribution : $n(r) = n_1 \left\{ 1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a} \right)^\alpha \right\}^{\frac{1}{2}}$, $0 < r < a$

รูปที่ 2.11 แสดง Parameter ทางโครงสร้างของ Multi Mode

ซึ่งต่างกับกรณีของ Multi Mode Optic Fiber ที่กล่าวมาแล้ว สาเหตุที่ใช้เส้นผ่าศูนย์กลางของ Mode Field เป็น Parameter ทางโครงสร้างของ Single Mode Optic Fiber แทนการใช้เส้นผ่าศูนย์กลางของ Core นั้นก็คือว่า เส้นผ่าศูนย์กลางของ Mode Field มีค่ามาก

กล่าวคือเป็นค่าเส้นผ่าศูนย์กลางตรงจุดที่ความเข้มของแสงลดลงเป็น 1/e (e ในที่นี้มีค่า 2.71828) ของค่าสูงสุด (คือค่าตรงจุดศูนย์กลางของ Core) และค่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของ Core ของ Single Mode Optic Fiber มีค่าน้อยยิ่งกว่านั้นอัตราส่วนของผลต่างของค่าดัชนีการหักเหก็ค่าน้อยด้วย ทำให้เป็นการยากที่จะบอกส่วนที่เป็นรอยต่อของ Core และ Clad ได้ชัดเจน ด้วยเหตุนี้เพื่อความสะดวกจึงใช้ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของ Mode Field แทนค่ามาตรฐานของ Parameter ทางโครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงที่ CCITT (International Telegraph and Telephone Consultative Committee) แนะนำ

2.8 การสูญเสียแสงในระบบการสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสง

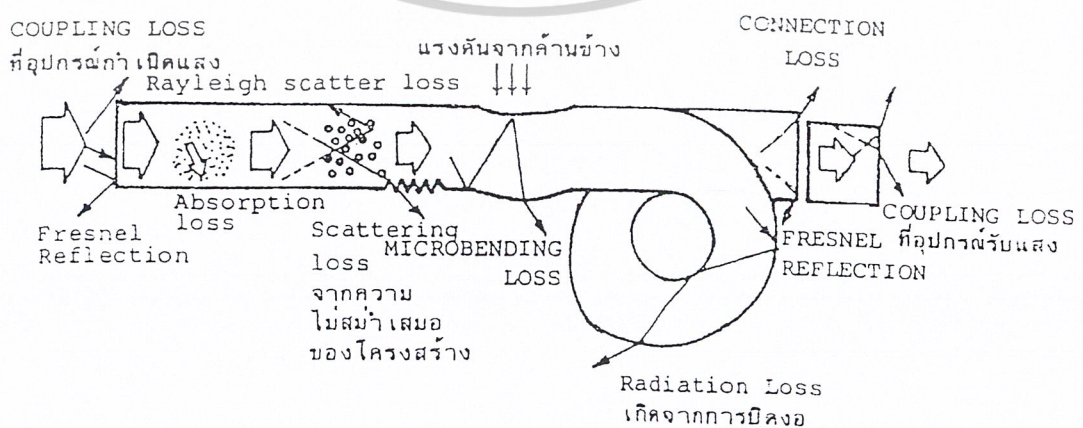
ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงมีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 อันที่จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการส่ง (Transmission Speed) และระยะห่างของการถ่ายทอดสัญญาณ (Repeater Span) องค์ประกอบเหล่านี้คือ การสูญเสียของแสง กับ Band Width ของการส่ง (Transmission Band Width) การสูญเสียของแสง (Optic Loss) เป็นตัวบอกให้ทราบว่า กำลังของแสงที่เดินทางไปในเส้นใยแก้วนำแสงนั้นลดลงไปจากเดิมเท่าไร ซึ่งการสูญเสียแสงนี้ยิ่งมีค่าน้อยเท่าไรจะทำให้สามารถส่งสัญญาณแสงได้ไกลมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ	ชนิด	GRADED INDEX OPTIC FIBER	SINGLE MODE OPTIC FIBER
ความยาวคลื่นที่ใช้		(a) 0.85 μm (b) 1.30 μm	(a) 1.30 μm (b) 1.55 μm
เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของ CORE		0.85 $\mu\text{m} \pm 6\%$	-
เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของ MODE FIELD		-	9~10 $\mu\text{m} \pm 10\%$ (1.30 μm)
CUT OFF WAVE LENGTH		-	1.10 ~ 128 μm (l)
เส้นผ่าศูนย์กลางนอก		125 $\mu\text{m} \pm 2.4\%$	125 $\mu\text{m} \pm 2.4\%$
เปอร์เซ็นต์การคลาดเคลื่อนของศูนย์กลาง		<6%	0.5~3.0 μm
อัตราความเพี้ยนของวงกลมของ CORE		<6%	-
อัตราความเพี้ยนของวงกลมของ CLAD		<2%	<2%
Numeral Aperture (NA)		(a) 0.18 ~ 0.24 $\mu\text{m} \pm 0.02$ (0.85 μm) (b) 0.15 ~ 0.30 $\mu\text{m} \pm 0.02$ (1.30 μm)	-

ตารางที่ 2.1 แสดงค่ามาตรฐานของ Parameter ทางโครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงที่ CCITT แนะนำ

การสูญเสียแสง แบ่งออกตามความแตกต่างของโครงสร้างที่เกิดขึ้นได้เป็นการสูญเสียที่มีอยู่ในตัวของเส้นใยแก้วนำแสงเอง (Fixed Loss) และการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมา (Addition Loss) เมื่อตอนนำเส้นใยแก้วนำแสงไปใช้ในระบบสื่อสารสาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสง แสดงดังรูปที่ 2.12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.12 แสดงสาเหตุต่างๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของสาเหตุของการเกิดการสูญเสียแสงในกรณีต่างๆ อธิบายได้ดังนี้

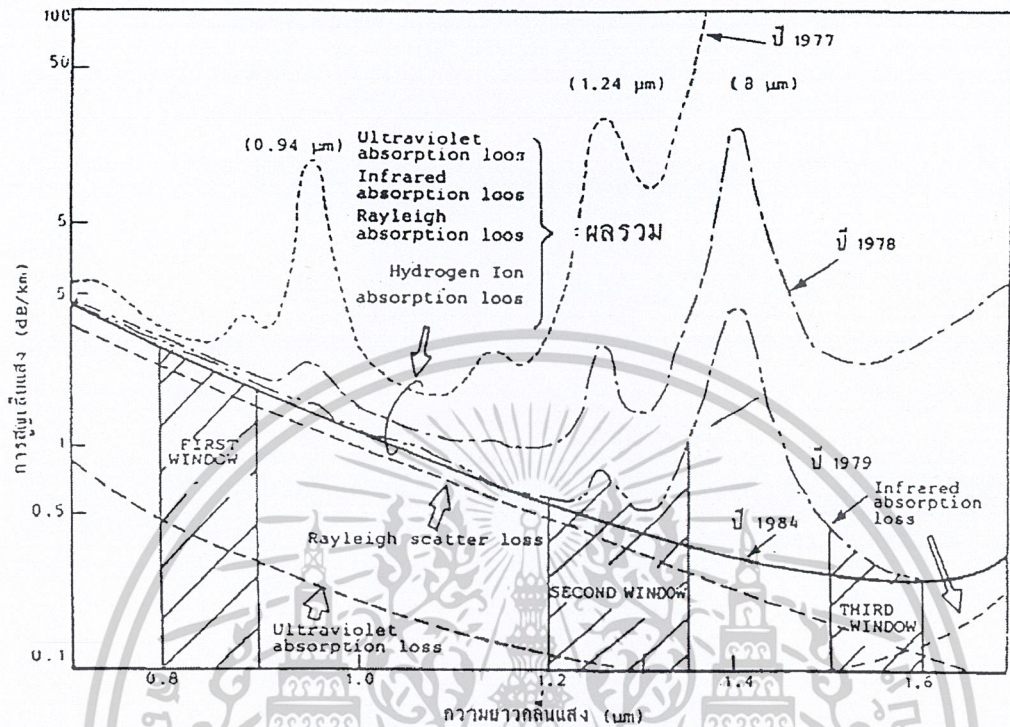
1. การสูญเสียแสงที่เกิดจากการดูดแสง (Absorption Loss)

การสูญเสียที่เกิดจากการดูดแสงนี้เป็นลักษณะทำนองเดียวกันกับม่านสีดำที่ดูดแสงที่ได้ดี กล่าวคือ สารที่ใช้ในการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงเองนั้นจะเป็นตัวดูดแสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสง แล้วเปลี่ยนเป็นการสูญเสียทางความร้อนทั่วไป แล้วจะมีการดูดแสงอันเนื่องมาจากแก้วเอง (สารที่ใช้ผลิตเส้นใยแก้วนำแสง) และเนื่องมาจากสารอื่นที่เจือปนอยู่ในแก้ว (Impurity)

สำหรับการสูญเสียจากการดูดแสงของแก้วนั้น มันจะดูดแสง Ultraviolet กับแสง Infrared การดูดแสง Ultraviolet นั้นจะดูดมากที่สุดที่ความยาวคลื่นใกล้กับ $0.1\mu\text{m}$ ส่วนที่ความยาวคลื่นอื่นๆ นั้น การสูญเสียจากการดูดแสงจะลดลงอย่างมาก ดังรูปที่ 2.13 จะเห็นว่าจากความยาวคลื่นประมาณ $0.1\mu\text{m}$ ไปจนถึงประมาณ $1.6\mu\text{m}$ การสูญเสียจะตกลงเป็นเสมือนหุบเขา (Valley)

การสูญเสียจากการดูดแสงอันเนื่องมาจากสารแปลกปลอม (Impurity) ปนอยู่นั้นในตอนแรกทีพัฒนาเส้นใยแก้วนำแสงใหม่ๆ นั้นปรากฏว่าส่วนใหญ่เป็น ION ของโลหะต่างๆ เช่น ION ของเหล็ก ION ของทองแดง และอื่นๆ แต่ต่อมาเทคนิคในการทำให้การสูญเสียแสงต่ำลงได้พัฒนาไปมากสามารถจำกัด ion ของโลหะต่างๆ ออกไปได้ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็น Hydroxyl ion (OH^-) นั่นคือ กล่าวได้ว่าประวัติศาสตร์ของการทำให้การสูญเสียแสงที่มีอยู่ในเส้นใยแก้วนำแสงให้มีค่าน้อยนั้นเป็นการจำกัด Absorption Loss อันเนื่องมาจาก ion ของโลหะ Hydroxyl ion เหล่านี้นั่นเอง ในรูปที่ 2.13 จะเห็นว่าแสดงการสูญเสียแสงที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆ ของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงที่ทำด้วยแก้วตัวเลข ค.ศ. ที่ค่าสูญเสียสูงสุดต่างๆ นั้นบอกให้ทราบถึงประวัติศาสตร์ของการทำให้ทราบถึงประวัติศาสตร์ของการทำให้การสูญเสียแสงน้อยลง ค่าสูญเสียแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น $0.94\mu\text{m}$, $1.24\mu\text{m}$ และ $1.38\mu\text{m}$ นั้นเป็นการสูญเสียที่เกิดจากการดูดของ Hydroxyl ion ที่กล่าวข้างต้นและตรงส่วนที่เป็นหุบเขา (เรียกว่า Window ของเส้นใยแก้วนำแสง) บริเวณใกล้ๆ กับความยาวคลื่น $0.85\mu\text{m}$, $1.3\mu\text{m}$ และ $1.55\mu\text{m}$ (เรียกว่า Window ที่ 1, ที่ 2, ที่ 3) นั้น มีการสูญเสียแสงต่ำ ซึ่งนำมาใช้ในการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงคุณสมบัติการสูญเสียแสงจากการดูดซับแสงของเส้นใยแก้วนำแสงที่ทำจากแก้ว

2. การสูญเสียแสงที่เกิดจากการกระจัดกระจายแสงแบบเรเลย์ (Rayleigh Scattering Loss)

การสูญเสียแบบนี้เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อแสงไปกระทบกับวัตถุที่มีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่นแล้ว ทำให้แสงนั้นแตกกระจัดกระจายออกไปในทิศทางต่างๆ ตัวอย่างของปรากฏการณ์เช่นนี้แสดง ดังรูปที่ 2.14 คือการที่เรามองเห็นท้องฟ้าเป็นสีน้ำเงิน และมองเห็นท้องฟ้าเป็นสีแดงตอนตะวันตกดินนั้นเกิดจากการแตกกระจัดกระจายของแสง ผู้ที่ทำการอธิบายปรากฏการณ์การแตกกระจัดกระจายของแสงนี้คือ นักฟิสิกส์ชื่อ Rayleigh ดังนั้นจึงใช้ชื่อของเขาเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า (Rayleigh Scattering Loss) สำหรับการผลิตเส้นใยแก้วนำแสงนั้น ทำได้โดยการให้ความร้อนประมาณ 2,000 องศาเซลเซียส แก่แท่งแก้วซึ่งเรียกว่า Preform ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจากหลายมิลลิเมตร ไปจนถึงหลายสิบลมิลลิเมตร จากนั้นจึงทำการดึงแท่งแก้วให้เป็นเส้นใยแก้วขนาดเล็ก และในตอนนี้ต้องทำให้เส้นใยแก้วนำแสงนั้นมีอุณหภูมิลดลงจาก 2,000 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิห้อง 20 องศาเซลเซียส อย่างรวดเร็วการทำเช่นนี้จะทำให้ความไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่นที่เกิดขึ้นตอนให้ความร้อน 2,000 องศาเซลเซียส (นั่นคือ ความไม่สม่ำเสมอ ของค่าดัชนีการหักเห) ตกค้างอยู่อย่างนั้นในเส้นใยแก้วนำแสงและสาเหตุทำให้เกิด Rayleigh Scattering ขึ้นในเส้นใยแก้วนำแสง จัดเป็นสาเหตุการเกิดการสูญเสียแสงที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในขั้นตอนการผลิตถือเป็นการสูญเสียแสงที่มีประจำอยู่ในตัวของเส้นใยแก้วนำแสง ขนาดของ Rayleigh Scattering จะเป็นสัดส่วนกลับกับความยาวแสงยกกำลัง 4 ด้วยเหตุนี้จึงเห็นว่า ในรูปที่ 2.14 ความยาวของคลื่นแสงที่เดินทางยังมีค่ามาก Rayleigh Scattering จะมีค่าน้อยลงยกตัวอย่างเช่นเมื่อความยาวคลื่นเป็น 1 μm ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rayleigh Scattering Loss จะมีค่าประมาณ 1 dB/Km และเมื่อความยาวคลื่นเป็น 1.6 μ m ค่า Rayleigh Scattering Loss จะมีค่าประมาณ 0.1 dB/Km



นอกจากนั้นขนาดของ Rayleigh Scattering ยังเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิในตอนที่ทำให้การดึง Preform ให้เป็นเส้นใยแก้วนำแสง ถ้าหากเราสามารถทำให้อุณหภูมิค่าได้ Rayleigh Scattering Loss จะน้อยลง ยกตัวอย่างเช่น อุณหภูมิความร้อนที่ใช้ในการดึง Glass Fiber ที่มีสาร Fluoride ปนอยู่มีค่าประมาณ 700 องศาเซลเซียส ทำให้ Rayleigh Scattering Loss มีค่าเป็น 1/3 ของ Glass Fiber ธรรมดาซึ่งกว่านั้นสำหรับ Glass Fiber ที่มีสาร Fluoride ปนอยู่ยังทำให้การสูญเสียแสงที่เกิดจากการดูดแสง Infrared เลื่อนตัวออกไปในย่านที่มีความยาวคลื่นมากขึ้นดังแสดง Window ที่ 3 ของรูปที่ 2.13 จากข้อดีอันนี้ร่วมกับ Rayleigh Scattering Loss ที่มีค่าต่ำดังกล่าวทำให้สามารถได้เส้นใยแสงที่มีการสูญเสียต่ำมากคือประมาณ 10 mili dB/Km (= 0.001 dB/Km)

3. การสูญเสียจากการกระจายระจายแสง อันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในเส้นใยแก้วนำแสง (Ununiformity Loss)

สำหรับเส้นใยแก้วนำแสงที่สร้างขึ้นมาจริงๆ นั้น จากสาเหตุต่างๆ นานาสร้างทำให้ไม่สามารถได้เส้นใยแก้วนำแสงที่มีลักษณะกลม 100% นอกจากนั้น Core และ Clad ที่ประกบกันเป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่ไม่สามารถทำให้ได้ลักษณะรูปทรงระบอบที่สม่ำเสมออย่างสมบูรณ์ตลอดความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงได้ กล่าวคือตรงรอยต่อของ Core กับ Clad นั้นจะไม่สม่ำเสมอตลอด กล่าวคือจะมีลักษณะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

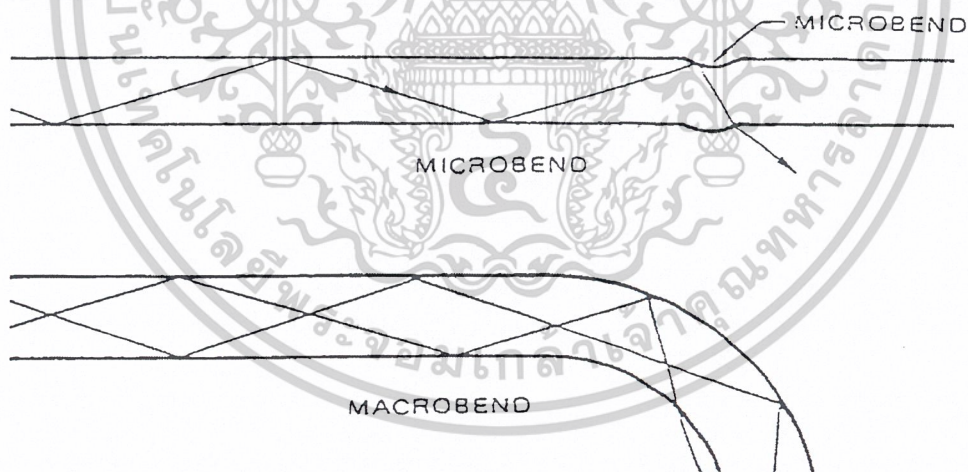
คล้ายดนนขรุขระเมื่อมีรอยค่อไม่เรียบสม่ำเสมอเช่นนี้จะทำให้เกิดการกระจัดกระจายของแสง ทำให้แสงบางส่วนไม่สามารถเดินทางไปใน Core ได้ กระจายออกไปข้างนอก ดังนั้นรอยค่อที่ไม่เรียบสม่ำเสมอจะทำให้แสงที่เดินทางเกิดการสะท้อนกลับอย่างสะเปะสะปะทำให้การสูญเสียแสงเพิ่มขึ้นการสูญเสียแสงเช่นนี้เรียกว่า การกระจัดกระจายแสงอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในเส้นใยแสง

4. การสูญเสียอันเนื่องมาจากการงอโค้งของเส้นใยแก้วนำแสง (Macro Bending Loss)

เป็นการสูญเสียแสงที่เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยแก้วนำแสงถูกทำให้โค้งงอไป สำหรับการโค้งงอเส้นใยแก้วนำแสงดังแสดง ในรูปที่ 2.15 แสงที่มุมโค้งมากกว่ามุมวิกฤตแล้วแสงนั้นจะกระจายออกไปนอก Core ทำให้เกิดการสูญเสียขึ้น ดังนั้นในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงจะต้องระวังอย่าให้เกิดมีการงอเส้นใยแก้วนำแสงเป็นส่วน โค้งที่มีรัศมีเกินกว่ารัศมีที่ยอมรับได้ เช่น ไม่นเกิน 40 millimeter เป็นต้น

5. การสูญเสียที่เกิดจากการโค้งงอแบบ Micro Bending Loss

เป็นการสูญเสียที่เกิดจากการที่มีแรงกดไม่สม่ำเสมอกระทำด้านข้างของเส้นใยแก้วนำแสงทำให้แกนของเส้นใยแก้วนำแสงบิดงอไปเล็กน้อย (ประมาณ 2-30 μ m) เป็นเหตุให้การสูญเสียเพิ่มขึ้น การสูญเสียนี้เรียกว่า Micro Bending Loss ด้วยเหตุนี้ในการออกแบบโครงสร้างเส้นใยแก้วนำแสงจะต้องทำการป้องกันแรงกดจากทางด้านข้างเช่นทำชั้น (Layer) ป้องกันการกระแทกหุ้มเส้นใยแก้วนำแสง เป็นต้น



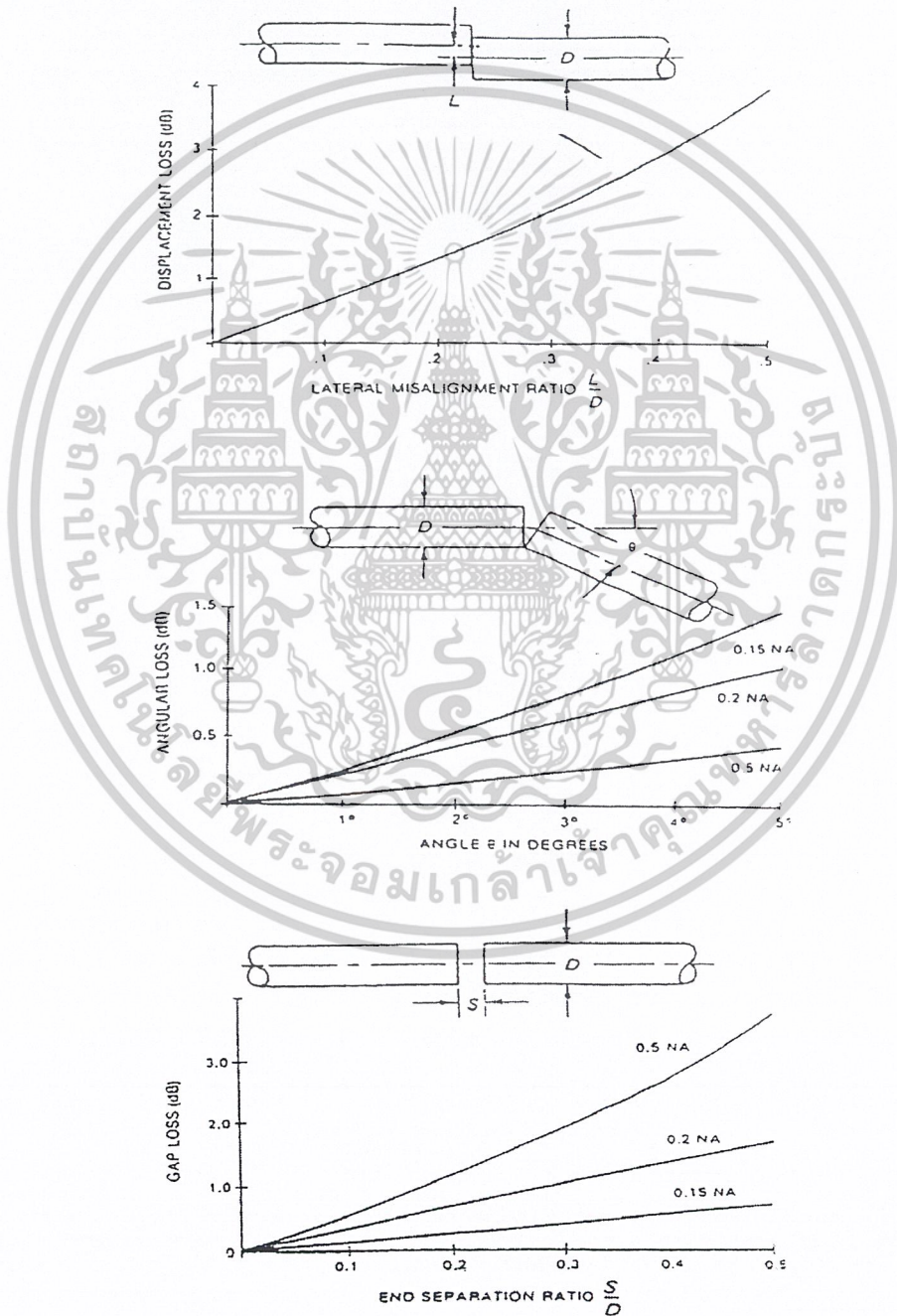
รูปที่ 2.15 แสดงการสูญเสียแสงที่เกิดจากการโค้งงอแบบต่างๆ

6. การสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแก้วนำแสง (Connect Loss)

การต่อเส้นใยแก้วนำแสงนั้นคล้ายกับการต่อของน้ำประปาหรือท่อแก๊ส กล่าวคือต้องต่อกันอย่างดีไม่ให้มีน้ำประปาหรือแก๊สที่อยู่ข้างในท่อรั่วออกไปข้างนอก กรณีที่ทำการต่อเส้นใยแก้วนำแสง 2 เส้นเข้าด้วยกันนั้น อันดับแรกจำเป็นต้องทำการปรับ Core ทั้งสองที่แสงเดินทางให้ตรงกันพอดี ถ้าหากว่า Core ทั้งสองก่อนไม่สนิทอย่างสมบูรณ์นั้น แสงที่ออกมาจาก Core ด้านหนึ่งบางส่วนของมันจะไม่เข้าไปใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Core อีกด้านหนึ่งแต่ละจะกระจายออกไปข้างนอกทำให้เกิดการสูญเสียสาเหตุการเกิดการสูญเสียอย่างนี้แสดง ในรูปที่ 2.16 กล่าวคือ มีทั้งการคลาดเคลื่อนของแกน Core และอื่นๆ สำหรับค่าการสูญเสียในส่วนใหญ่จะมาจาก การคลาดเคลื่อนของแกนของ Core อนึ่งตรงส่วนที่ทำการต่อกันกรณีที่มีช่องว่าง (Gap) เพียงเล็กน้อยจะทำให้เกิดการสูญเสียจากการสะท้อนกลับถ้าหากช่องว่างโตมากขึ้นกว่านี้ จะเกิดการสะท้อนกลับที่เรียกว่า Fresnel Reflection

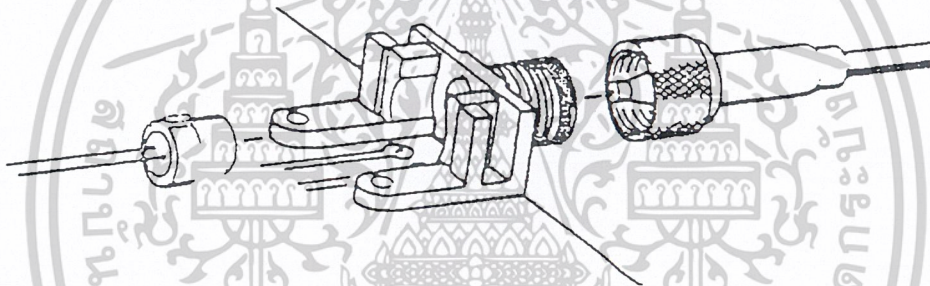


รูปที่ 2.16 แสดงสาเหตุต่างๆ ของการสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแก้วนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับอุปกรณ์กำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสง (Coupling Loss)

แสงที่ปล่อยออกจากอุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงนั้น มีเงื่อนไขในการที่จะป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสงดังที่กล่าวมาแล้ว นั่นคือค่า NA (Numerical Aperture) กรณีที่ใช้อุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงได้แก่ Laser Diode (LD) หรือ Light Emitting Diode (LED) จะมีความแตกต่างกันทางความกว้างของลำแสงที่ปล่อยออกมาจากต้นกำเนิดแสงแม้จะใช้เลนส์รวมแสงแล้วก็ตาม LD จะมีการสูญเสียของการเชื่อมต่อแสงน้อยกว่า นอกจากนั้น โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงที่จะถูกป้อนแสงเข้าไปนั้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Core ของเส้นใยแก้วนำแสงแบบ SM และแบบ GI จะมีค่าต่างกันทำให้ขนาดของการสูญเสียของการเชื่อมต่อแสงมีค่าต่างกันไปด้วย เกี่ยวกับการสูญเสียของการเชื่อมต่อแสงระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับอุปกรณ์รับแสงนั้น เส้นใยแก้วนำแสงที่มี NA มากนั้นคือแสงที่ออกจากเส้นใยแก้วนำแสงแบบ GI จะมีลำแสงกว้างกว่าลำแสงที่ออกจากเส้นใยแก้วนำแสงแบบ SM ทำให้การสูญเสียแสงมีมากกว่า



รูปที่ 2.17 แสดงการสูญเสียแสงจากการเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงกับอุปกรณ์กำเนิดแสง

2.9 อุปกรณ์แสง (Optical Device)

อุปกรณ์แสง (Optical Device) จะแบ่งออกเป็น 2 แบบก็คือ

1. อุปกรณ์ปล่อยแสง คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสง
2. อุปกรณ์รับแสง คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้กล่าวถึง อุปกรณ์สำคัญต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยแสงและการรับแสงรวมถึงโครงสร้างและการทำงานในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงและการเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า

อุปกรณ์ปล่อยแสง

แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในระบบสื่อสารด้วยไฟเบอร์ออฟติก จำเป็นต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ

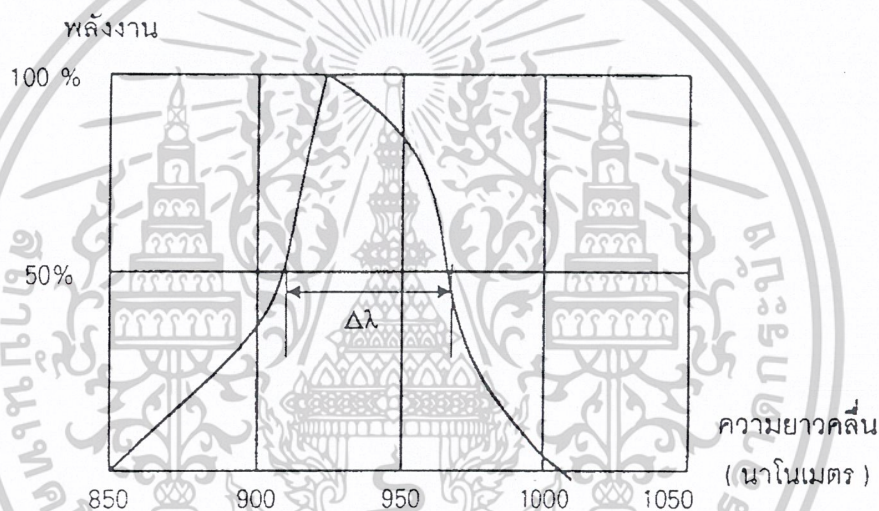
1. สามารถให้แสงที่มีพลังงานหรือความเข้มแสงมากพอที่จะส่งสัญญาณหรือเดินทางไปตามตลอดระยะทางของการสื่อสารได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โครงสร้างของแหล่งกำเนิดแสง ต้องสามารถส่งพลังงานแสงส่วนใหญ่หรือทั้งหมดเข้าไปในไฟเบอร์ออฟติกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็กๆ ได้ นั่นคือมุมของการเกิดแสงจากแหล่งกำเนิดต้องเป็นมุมแคบๆ และมีทิศทางที่แน่นอนในกรณีที่แสงจากแหล่งกำเนิดมีลักษณะกระจายเป็นมุมกว้าง สามารถใช้อุปกรณ์คัปปลิงแสง เช่นเลนส์นูนเข้ามาช่วยเพื่อรวมแสงส่วนใหญ่พุ่งเข้าสู่ไฟเบอร์ออฟติกได้

3. ความยาวคลื่นของแสงที่ได้ต้องมีความเหมาะสมกับไฟเบอร์ออฟติกที่ใช้ ในระบบสื่อสารใยแก้วนำแสงความยาวคลื่นแสงที่เหมาะสมกับไฟเบอร์ออฟติกมากที่สุดมีค่าประมาณ 1.55 ไมครอน รองลงมาอาจได้แก่ 1.3 ไมครอน และ 0.82 ไมครอน

4. ไลน์วิธ (Line Width : $\Delta\lambda$) ของแสงที่ได้จะต้องมีค่าน้อยๆ เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลปริมาณมากๆ ได้



รูปที่ 2.18 แสดงไลน์วิธ ($\Delta\lambda$) ของแหล่งกำเนิดแสง

5. ช่วงเวลาตอบสนองของแหล่งกำเนิด หรือช่วงเวลาที่แหล่งกำเนิดได้รับสัญญาณไฟฟ้าแล้วสร้างสัญญาณแสงออกมา ต้องมีค่าสั้นมากๆ อันจะมีผลทำให้ได้วงจรรีเลย์ที่สามารถส่งข้อมูลปริมาณมากๆ ได้ดี

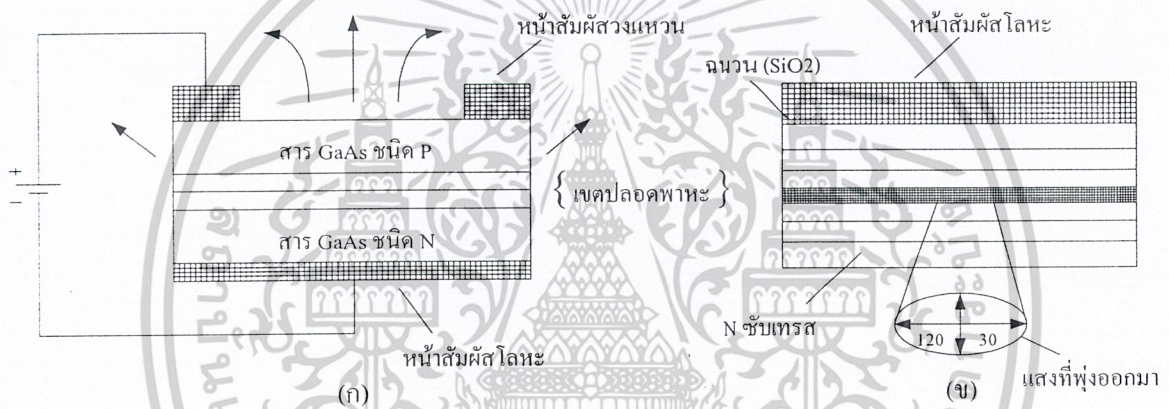
6. พลังงานแสงต้องมีค่าคงที่ต่อเนื่องตลอดเวลา และไม่มีเปลี่ยนแปลงใดๆ อันเนื่องมาจากผลของอุณหภูมิ และสภาพแวดล้อม

โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้จะขึ้นอยู่กับระบบ เช่น ในระบบที่มีระยะทางสื่อสารไม่ไกลนัก หรือระบบที่ใช้ในการศึกษา อาจใช้ LED เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณได้ ส่วนในระบบที่ต้องการประสิทธิภาพสูงๆ จะใช้แสงเลเซอร์เป็นตัวนำข้อมูล ซึ่งอาจอยู่ในลักษณะของเลเซอร์ไดโอด (LD) หรือเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ชนิดต่างๆ ก็ได้ ในที่นี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์กำเนิดแสงที่เป็น LED และเลเซอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LED (Light emitting Diode)

LED ก็คือ ไดโอดที่ถูกออกแบบโครงสร้างให้สามารถแปลงพลังงานแสงออกมาได้เมื่อมีการไบแอสที่ถูกต้อง ลักษณะโครงสร้างของ LED แบบพื้นฐานที่ใช้ในระบบไฟเบอร์ออปติกแสดงดังรูปที่ 2.19 (ก) ซึ่งประกอบไปด้วยสารชนิดแกเลียมอาร์เซไนต์หรือ GaAs (LED) ทั่วไปจะได้สารพวกเจอร์เมเนียมหรือซิลิคอน ถูกโคปเป็นชนิด P (มีโฮลหรือประจุบวกมากกว่า) และชนิด N (มีอิเล็กตรอนอิสระมากกว่า) วางต่อกัน หลักการทำงานก็เหมือนไดโอดหรือ LED ธรรมดาทั่วไป เมื่อมีการไบแอสถูกทาง (forward bias) ด้วยค่าที่เหมาะสม จะเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไปยังโฮลในระหว่างช่วงรอยต่อของสาร P-N (ที่เรียกว่าบริเวณดีพลีชันหรือเขตปลอดพาหะ) และมีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของชั้นอิเล็กตรอนเกิดการคลายพลังงานออกมาภายในรูปของแสง



รูปที่ 2.19 แสดงโครงสร้างภายในของ LED

บางครั้งสารที่ใช้ทำ LED อาจเป็นประเภทแกเลียมอาร์เซไนต์ฟอสเฟออร์ (GaAsP) แกเลียมฟอสเฟออร์ (GaP) อะลูมิเนียมแกเลียมอาร์เซไนต์ (AlGaAs) หรืออินเดียมแกเลียมอาร์เซไนต์ฟอสเฟออร์ (InGaAsP) ก็ได้ เพื่อเปลี่ยนแปลงขนาดความยาวคลื่นแสงที่ได้

หัวข้อ	อุปกรณ์ที่ปล่อยแสง	LED
OUTPUT POWER ของแสง		2.5 mW
INPUT POWER ของแสงในเส้นใยแก้วนำแสง		≤ 0.05 mW
ความกว้างของ SPECTRUM ที่จุด POWER ตกลงครึ่งหนึ่ง		100 nm
FREQUENCY RESPONSE SPEED		≤ หลายร้อย MHz
อายุการใช้งาน		≤ 10 ⁶ ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ที่ 2.2 คุณสมบัติต่างๆของอุปกรณ์ปล่อยแสงแบบ LED ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงที่เปล่งออกมาจาก LED ในช่วงรอยต่อ จะมีลักษณะกระจายไม่มีแนวทางเดียวกันนัก และมักทำมุมค่อนข้างกว้างทำให้แสงที่ได้มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ การแก้ไขทำได้โดยปรับปรุงโครงสร้างของสารให้มีความซับซ้อนขึ้นและมีการกำหนดของเขตการเปล่งแสงเพื่อให้แสงมีการรวมตัวออกมาในทิศทางเดียวกัน ดังรูปที่ 2.19(ข) ซึ่งลักษณะของแสงที่เปล่งออกมามักจะมีพื้นที่ภาคตัดขวางเป็นรูปวงรี โดยมีมุมกระจายแสงในแนวตั้ง (30 องศา) เล็กกว่ามุมกระจายแสงในแนวนอน (120 องศา)

LD (Laser Diode)

เลเซอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทเดียวกับไดโอดแต่ถูกออกแบบให้สามารถเปล่งแสงเลเซอร์ออกมาได้ ลักษณะแสงเลเซอร์เป็นแสงที่เป็นระเบียบ มีทิศทางพุ่งของแสงไปในทางเดียวกัน และมีเฟสตรงกันทำให้มีความเข้มแสงสูงมาก ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของเลเซอร์ไดโอด แสดงดังรูปที่ 2.20 ซึ่งประกอบด้วยสารแบบเดียวกับที่ทำ LED ดังกล่าวมาแล้วตอนต้น แต่ที่ปลายทั้งสองด้านถูกเคลือบด้วยสารที่ทำหน้าที่เสมือนกระจกเงา

เมื่อมีการไบแอสที่เหมาะสมทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโฟตอนในระหว่างเขตปลอดพาหะ เมื่อโฟตอนเคลื่อนที่ไปกระทบโฟตอนตัวอื่นจะมีการถ่ายเทพลังงานทำให้เกิดมีโฟตอนตัวใหม่เพิ่มขึ้นมากมายและสะท้อนกลับกลับมาบริเวณรอยต่อ อันเนื่องมาจากกระจกเงาที่ปลายทั้งสองพฤติกรรมเช่นนี้ทำให้เกิดการสะสมพลังงานภายในมากขึ้นอย่างเป็นระเบียบ เมื่อพลังงานมีค่ามากพอจะพุ่งทะลุกระจกเงาด้านหนึ่งออกมาเป็นแสงเลเซอร์



รูปที่ 2.20 เลเซอร์ไดโอด

หลักการทํางาน ที่กล่าวมานี้เป็นเพียงแนวทางการเกิดแสงเลเซอร์อย่างคร่าวๆ เท่านั้น การไบแอสเลเซอร์ไดโอดให้ทํางานจนเปล่งแสงเลเซอร์ออกมาได้ ขึ้นอยู่กับค่าของกระแสที่ป้อนให้กับตัวมัน โดยจะต้องมีค่าสูงกว่าค่ากระแสเทรชโฮลด์ (I_{th}) ที่กำหนดตามสเปคของมัน หากกระแสไบแอสมีค่าต่ำกว่ากระแสเทรชโฮลด์เลเซอร์ไดโอดยังคงทํางานอยู่ แต่แสงที่เปล่งออกมาจะมีลักษณะสะเปะสะปะคล้ายกับการเปล่งแสงของ LED ธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

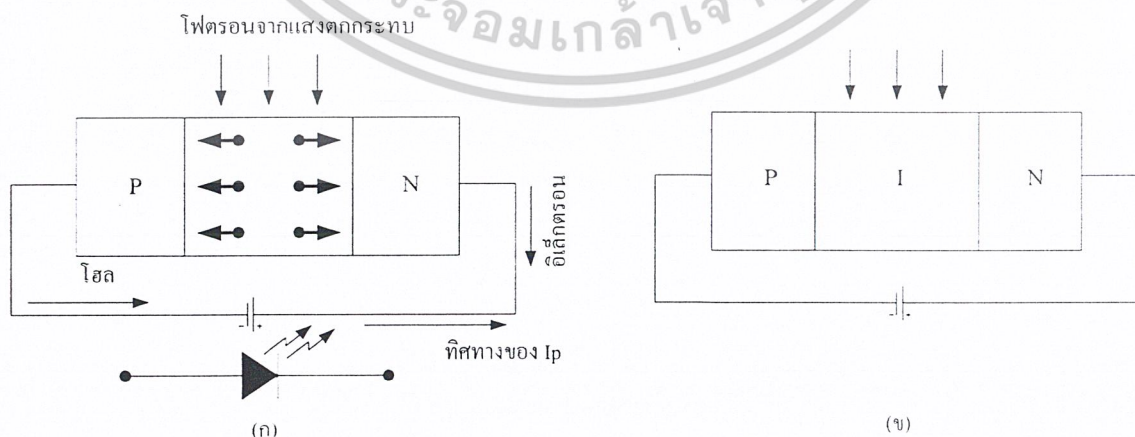
ในอดีตกระแสทรานซิสเตอร์ของเลเซอร์ไดโอดมีค่าสูงมาก ทำให้การใช้งานเลเซอร์ไดโอดถูกจำกัดอยู่ในวงแคบ เพราะต้องออกแบบวงจรที่ค่อนข้างยุ่งยาก แต่ในปัจจุบันเลเซอร์ไดโอดถูกออกแบบมาให้ใช้กระแสทรานซิสเตอร์เพียงไม่กี่มิลลิแอมป์ทำให้สามารถสร้างวงจรขับหรือไดรเวอร์ได้ง่ายขึ้น

อุปกรณ์รับแสง (Photo Detector)

อุปกรณ์รับสัญญาณแสงหรือโฟโตดีเทกเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นข้อมูลทางไฟฟ้า คุณสมบัติที่สำคัญของโฟโตดีเทกเตอร์ในระบบสื่อสาร ได้แก่

1. ต้องมีความไวในการรับแสงได้ดีเฉพาะในช่วงที่ต้องการ เนื่องจากการส่งสัญญาณแสงจะใช้เวลาความยาวคลื่นแสงในช่วงเฉพาะ ดังนั้นหากแสงอื่นที่มีความยาวคลื่นไม่เกี่ยวข้องกันมาตกกระทบพร้อมกันย่อมทำให้ข้อมูลมีการผิดพลาดได้
2. เวลาในการตอบสนองสัญญาณต้องสั้นมาก กล่าวคือเมื่อมีแสงตกกระทบโฟโตดีเทกเตอร์จะต้องเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยเวลาที่สั้นที่สุด เพื่อที่จะสามารถรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงได้
3. ในระบบสื่อสารแบบอะนาล็อกต้องใช้โฟโตดีเทกเตอร์ชนิดลิเนียร์ เพื่อลดการผิดเพี้ยนของสัญญาณลงให้น้อยที่สุด
4. สัญญาณรบกวนภายในอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมต้องมีค่าน้อยที่สุด

โฟโตดีเทกเตอร์ที่ใช้ในงานห้องทดลองมีหลายชนิดเริ่มจาก “โฟโตไดโอด” ธรรมดา ดังแสดงในรูปที่ 2.21 (ก) มีหลักการการทำงานตรงข้ามกับไดโอดเปล่งแสงหรือ LED กล่าวคือ เมื่อไดโอดได้รับพลังงานแสงจากภายนอก จะทำให้เกิดโฟตอนขึ้นในบริเวณรอยต่อ P-N เกิดเป็นกระแสรั่วไหลหรือกระแสมืด (Dark current) ไหล ในช่วงนี้หากมีการไบแอสกลับให้แก่ไดโอดบริเวณรอยต่อพาหะจะขยายกว้างขึ้น เป็นผลให้มีกระแสไหลมากขึ้น ทิศทางการไหลของกระแสเนื่องจากแสงนี้มีทิศทางเดียวกับการไบแอสกลับคือ จะไหลจากขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟเข้าสู่ขั้วแคโทดของไดโอด



รูปที่ 2.21 แสดงโฟโตดีเทกเตอร์ (ก) แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของโฟโตไดโอด

(ข) PIN โฟโตไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มบริเวณปลอดพาหะให้กว้างขึ้นนอกจากทำได้โดยการเพิ่มค่าแรงดันไบแอสกลับของโพลีไดโอดแล้ว อาจทำได้โดยตรงกับโครงสร้างภายในของมัน โดยแทรกสารแบบอินทรินซิกไว้ระหว่างรอยต่อ P-N ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าเป็นโพลีไดโอดชนิด PIN ดังแสดงในรูปที่ 2.21 (ข) ซึ่งช่วยให้ได้กระแสไหลมากกว่าการทำงานได้สองแบบคือ “โหมคโพลีไดโอดคาบิก” ซึ่งจะผลิตกระแสเมื่อแสงตกกระทบโดยไม่ต้องมีการไบแอสเลย และ “โหมคโพลีไดโอดคอดักทีฟ” เป็นการทำงานเมื่อมีการไบแอสกลับให้กับตัวมัน

โพลีไดโอดแบบอะวาลานซ์ (APD) อาศัยหลักการการทำงานเช่นเดียวกับอะวาลานซ์ไดโอด ทำให้มีกระแสไหลมากกว่าโพลีไดโอดธรรมดาหลายเท่า แต่ก็มีความไวต่ออุณหภูมิสูง และเกิดสัญญาณรบกวนมาก การใช้งานโพลีไดโอดแบบอะวาลานซ์จำเป็นต้องใช้แรงดันไบแอสกลับค่อนข้างสูง (ประมาณ 40-400 โวลต์) แต่ก็เป็นผลดีเพราะทำให้เวลาตอบสนองสัญญาณสั้นมาก

โพลีทรานซิสเตอร์ก็นับเป็นโพลีไดโอดอีกชนิดหนึ่ง หลักการทำงานของมันจะขึ้นกับขนาดความเข้มแสงที่ตกกระทบ เปรียบเสมือนกับการต่อโพลีไดโอดเข้ากับขาเบสของทรานซิสเตอร์ เมื่อแสงที่มีความเข้มสูงตกกระทบกระแสไหลผ่านโพลีไดโอดที่ขาเบสจะมีค่ามาก ทำให้กระแสไหลที่ขาคอลเล็กเตอร์ (I_c) ได้มากกว่าแบบธรรมดาเมื่อมีแสงตกกระทบเท่ากัน

ข้อดีของโพลีทรานซิสเตอร์คือสามารถดีเทกต์สัญญาณที่มีขนาดความเข้มแสงน้อยๆ ได้ดี แต่มีช่วงเวลาตอบสนองสัญญาณค่อนข้างช้าคือ มีช่วงเวลาดำเนิน (rise time, t_r) ประมาณ 10 ไมโครวินาที ซึ่งไม่เหมาะกับระบบข้อมูลขนาดใหญ่ในการใช้งานกับระบบที่มีข้อมูลจำนวนมากหรือแบนด์วิดท์สูงๆ (100 เมกะเฮิร์ตซ์ ขึ้นไป) จะใช้โพลีทรานซิสเตอร์ชนิด PINFET ที่มีโครงสร้างเป็นวงจรรวมเสมือนมี PIN โพลีไดโอดเป็นตัวดีเทกต์สัญญาณและมีวงจรรานซิสเตอร์แบบ FET เป็นตัวขยายสัญญาณอยู่ในตัวถึงเดียวกันจากหลักการนี้ทำให้ได้โพลีไดโอดที่มีความไวในการรับสัญญาณสูง และมีค่าสัญญาณรบกวนต่ำ

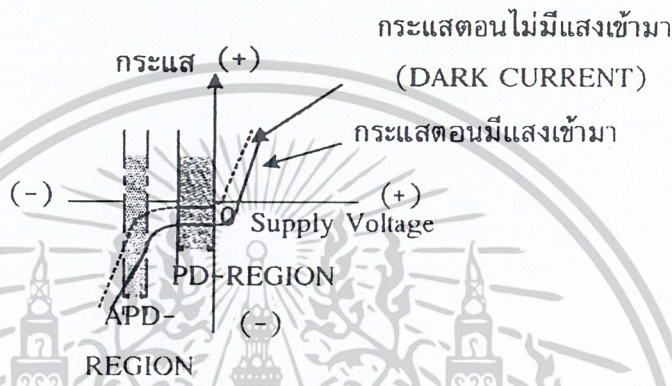
คุณสมบัติและประสิทธิภาพของอุปกรณ์รับแสง จะประเมินจากคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ควอนตัม-เอฟฟิซิเ็นซี (Quantum Efficiency) แสดงว่าแสงที่รับมาถูกเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าได้มากน้อยเท่าใดและความไวการรับแสง (ระดับรับแสงต่ำสุดสำหรับการส่งที่มีคุณภาพ) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบและระยะเวลาถ่ายเทของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง สัญญาณรบกวน ที่เกิดขึ้นและความเร็วของการตอบสนองการทำงานสำหรับประสิทธิภาพควอนตัม (Quantum) กำหนดจากสารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสงแต่สำหรับความไวในการรับแสงนั้น จะเกี่ยวข้องกับขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้

เนื่องจาก อวาเลนซ์โพลีไดโอด ได้ใช้ปรากฏการณ์การขยาย อวาเลนซ์ดังนั้นจึงมีความไวสูงประมาณ 10 ~ 20 เดซิเบล (dB) (10 ~ 00เท่า) เมื่อเทียบกับโพลีไดโอดสัญญาณรบกวนที่จะเกิดขึ้นภายในอุปกรณ์รับแสงมีสิ่งๆที่เรียกว่า ช็อต-นอยส์ (Shot Noise) ซึ่งเป็นสัญญาณรบกวนเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของโพลีไดโอดเร็นท์ (Photo Current) ที่เกิดขึ้นจากการกระตุ้นของอิเล็กตรอนรอนอย่างไม่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าหากทำให้แรงดันไฟฟ้าในทิศทางกลับที่ป้อนให้มีค่าสูง และทำให้อัตราการขยายกระแสเพิ่มมากขึ้นสัญญาณออกจะเพิ่มมากขึ้นด้วยแต่ค่า Shot Noise ก็เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสงทั่วไป ดังรูปที่ 2.22 จากรูปจะช่วยให้เข้าใจความแตกต่างของบริเวณการทำงานของอวาเลนส์โฟโตไดโอดและโฟโตไดโอดได้คี่และในรูปที่ 2.22 นี้ได้แสดงการไหลของกระแสที่เรียกว่า Dark Current ที่เกิดในสภาพที่มีแรงดันไฟฟ้าในทิศทางที่ป้อนกลับให้แต่ไม่มีแสงเข้ามาด้วย



รูปที่ 2.22 แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และโฟโตเคอร์เร้นท์ (Photo Current)

กระแส Dark Current นี้มีลักษณะพิเศษคือ มันจะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการเพิ่มขึ้นของสัญญาณ Shot Noise เป็นสิ่งที่เกิดจากค่า Dark Current และอื่นๆ ที่เป็นแหล่งต้นกำเนิดในกรณีของโฟโตไดโอด

ในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงนั้น นอกจากจะต้องคำนึงถึงค่าของ Shot Noise นี้แล้ว ยังมีค่าเทอร์มอลนอยส์ (Thermal Noise) ที่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้า ซึ่งไม่เกี่ยวกับสัญญาณที่เข้ามา ดังนั้นในการออกแบบระบบสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสงจำเป็นต้องเลือกค่า M ที่เหมาะสมที่ทำให้ผลรวมของเทอร์มอลนอยส์กับ Shot Noise มีค่าต่ำมาก เมื่อเทียบกับระดับของสัญญาณความเร็วการตอบสนองต่อความถี่ ซึ่งเป็นสิ่งที่กำหนดจากเวลาที่มีสัญญาณแสงเข้ามาจนกระทั่งเกิดปรากฏการณ์ดูดแสง แต่ในปัจจุบันเนื่องจากทั้ง โฟโตไดโอดและอวาเลนส์โฟโตไดโอด สามารถตอบสนองความเร็วได้ถึงหลาย GHz จึงไม่ค่อยจะมีปัญหาในการใช้งานการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ ของโฟโตไดโอด กับอวาเลนส์โฟโตไดโอด แสดงดังตาราง 2.3

อุปกรณ์ที่รับแสง	โฟโตนิกไดโอด	อวาเลนซ์โฟโตนิกไดโอด
หัวข้อ		
QUANTUM EFFICIENCY	$\approx 80\%$	$\approx 80\%$
ความไวการรับแสง (1)	(-15) -20 dBm 0	(-30) -40 dBm 0
ความเร็วการตอบสนองความถี่	\approx หลาย GHz	\approx หลาย GHz
อัตราขยาย	1	≈ 500
ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทำงาน	0 -20 V	30 -200 V

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

2.10 วงจรไดรเวอร์

วงจรไดรเวอร์หรือวงจรขับสัญญาณเป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยให้แหล่งกำเนิดแสงที่เป็น LED หรือ เลเซอร์ไดโอด ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลักษณะวงจร ไดรเวอร์สำหรับ LED ก่อนข้างแตกต่างจากวงจรของเลเซอร์ไดโอด ทั้งนี้เนื่องจาก LED มีคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นในการเปล่งแสงตามค่ากระแสไบแอสโดยตรงทำให้เหมาะสำหรับระบบสื่อสารที่ใช้ข้อมูลแบบอะนาล็อก ในขณะที่พลังงานที่เปล่งออกมาจากเลเซอร์ไดโอดมักมีการเปลี่ยนแปลงสูงอย่างรวดเร็ว ทั้งๆ ที่กระแสไบแอสที่มากกว่ากระแสเรซโซลต์ (I_n) มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จึงนิยมใช้เลเซอร์ไดโอดกับวงจรขับสัญญาณที่มีข้อมูลเป็นแบบดิจิทัล

วงจร LED

ถึงแม้ว่า LED จะเหมาะสำหรับการส่งสัญญาณแบบอะนาล็อก แต่ในระบบสื่อสารระยะไกล้อาจสามารถใช้ส่งข้อมูลที่เป็นดิจิทัลได้ ดังเช่น วงจรในรูปที่ 2.23 ซึ่งเป็นวงจรใช้งานแบบง่าย ซึ่งวงจรในรูปที่ 2.23 (ก) ใช้สำหรับส่งข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 ทางดิจิทัล โดยค่าของกระแสที่ไหลผ่าน LED (I_F) ถูกกำหนดโดยกระแส (คอลเลคเตอร์) (I_C) ทรานซิสเตอร์ (Q_1) และคำนวณได้ด้วย

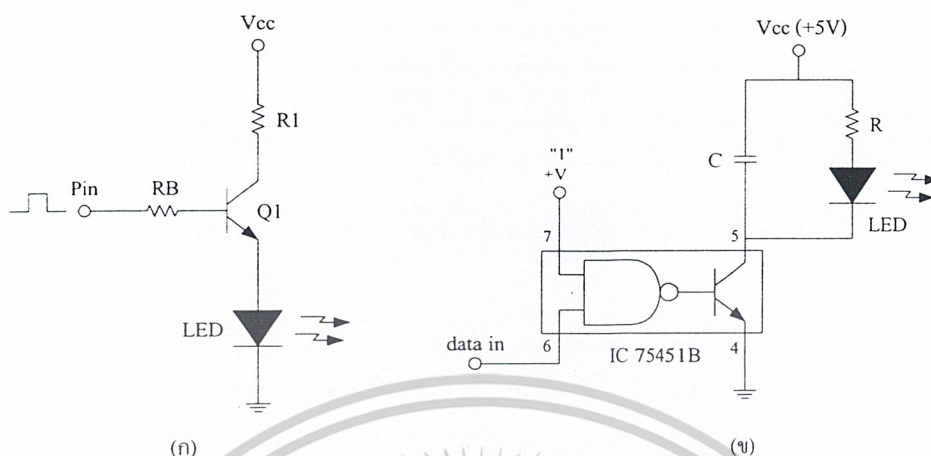
$$I_F = I_C = (V_{CC} - V_F)/R_1$$

เมื่อ V_F เป็นแรงดันตกคร่อม LED ขณะไบแอสตรง มีค่าตามสเปคที่กำหนด กระแสเบส I_B เป็นตัวควบคุมกระแส I_C อีกที่หนึ่งของกระแส $I_B = I_C / \beta$ เมื่อ β คือ ค่าล้นขยายของทรานซิสเตอร์ และ I_B คำนวณได้จาก

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

เมื่อ $V_{I(max)}$ คือ ค่าแรงดันสูงสุดของสัญญาณเข้า หรือก็คือระดับแรงดันขณะข้อมูลทางดิจิทัลเป็น "1" เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

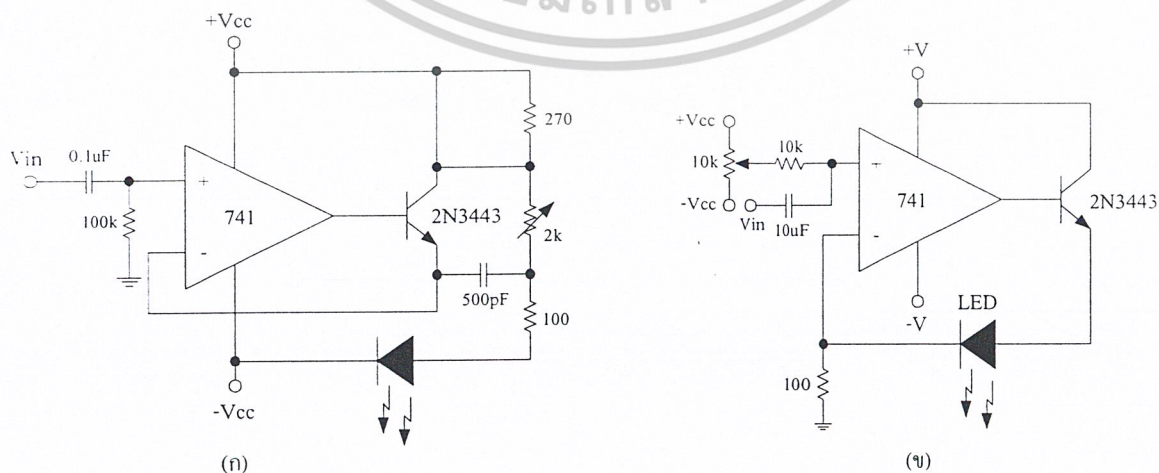


รูปที่ 2.23 แสดงวงจรไดรเวอร์ LED แบบดิจิทัล

วงจรในรูปที่ 2.23 (ข) เป็นอีกลักษณะหนึ่งของการส่งข้อมูลทางดิจิทัล ที่มีเสถียรภาพมากกว่าวงจรในรูปที่ 2.23 (ก) โดยใช้ไอซีเบอร์ 75451 หรือ 75450 เพียงบางส่วน ที่ขาหนึ่งของแอนด์เกตถูกกำหนดให้มีสถานะทางลอจิกเป็น “1” (+5V) ขาที่เหลือใช้สำหรับส่งข้อมูล โดยขณะข้อมูลเป็น “1” LED จะไม่ทำงาน และเมื่อข้อมูลเป็น “0” LED จะส่งสัญญาณแสงออกมา ส่วนตัวเก็บประจุ (C) ใช้สำหรับลดผลของการเกิดแรงดันกระชาก ซึ่งปกติจะใช้ค่าประมาณ 1μF และค่าของตัวต้านทาน R_1 สามารถคำนวณได้จากกระแสไบแอสตรง I_F ของ LED ที่กำหนดตามสเปคของมัน โดยใช้สูตรในการคำนวณคือ

$$R_1 = (V_{cc} - V_F) / I_F$$

วงจรไดรเวอร์ LED สำหรับสัญญาณอะนาลอก แสดงดังรูปที่ 2.23 โดยในรูปที่ 2.24 (ก) เป็นตัวอย่างวงจรที่ถูกออกแบบให้มีค่ากระแสไบแอส LED อยู่ระหว่าง 7.5 – 40 mA ขึ้นอยู่กับค่าของตัวต้านทาน VR_1 ขนาดของสัญญาณอินพุตควรมีค่าอยู่ระหว่าง +2 V ซึ่งจะถูกลบเป็นกระแสไหลผ่าน LED ที่มีค่าระหว่าง ± 10 mA



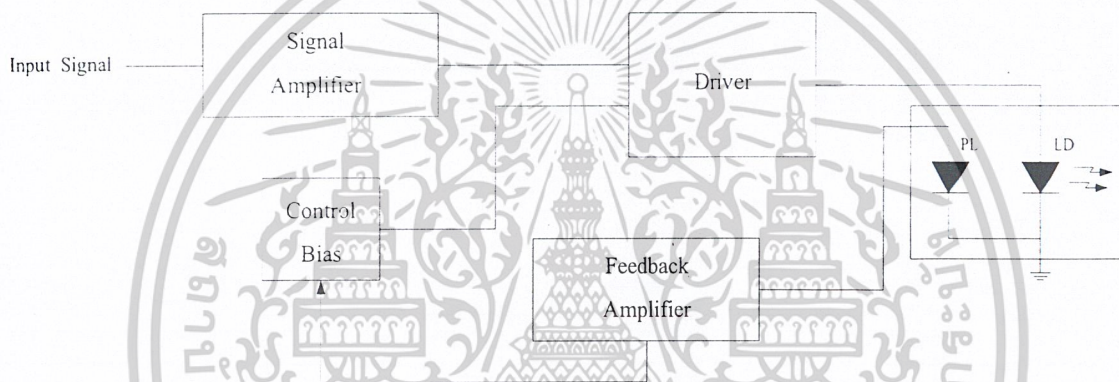
รูปที่ 2.24 แสดงวงจรไดรเวอร์ LED แบบอะนาลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรในรูปที่ 2.24 (ข) ใช้กระแส LED เป็นสัญญาณป้อนกลับในวงจร ทำให้วงจรมีเสถียรภาพมากขึ้น ตัวต้านทานปรับค่าได้ 10k ใช้กำหนดขนาดของกระแสไบแอสให้กับวงจร

วงจรเลเซอร์ไดโอด

การใช้งานเลเซอร์ไดโอดในระบบสื่อสาร ก่อนข้างจะยุ่งยากในการออกแบบวงจร เพราะวงจรต้องมีประสิทธิภาพและความเที่ยงตรงสูง บล็อกไดอะแกรมของวงจรใช้งานเลเซอร์ไดโอดแสดงดังในรูปที่ 2.25 ซึ่งมีหลักการไม่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับวงจร LED เพียงแต่เพิ่มส่วนป้อนกลับหรือฟีดแบ็คสัญญาณเพื่อทำหน้าที่ควบคุมวงจร ไดรเวอร์ให้เกิดความเที่ยงตรงแน่นอน



รูปที่ 2.25 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรเลเซอร์ไดโอด

สัญญาณป้อนกลับอาจได้จากการใช้โฟโตดีเทคเตอร์ ที่มีประกอบอยู่ในตัวถังเดียวกันกับเลเซอร์ไดโอดในระบบสื่อสาร เป็นตัวดีเทคสัญญาณแสงที่ส่งออกมาที่มีค่าน้อย วงจรไดรเวอร์จะช่วยเพิ่มกระแสไบแอสเลเซอร์ไดโอด ทำให้ระดับพลังงานแสงของระบบที่ส่งออกไปมีความเที่ยงตรงและแน่นอน

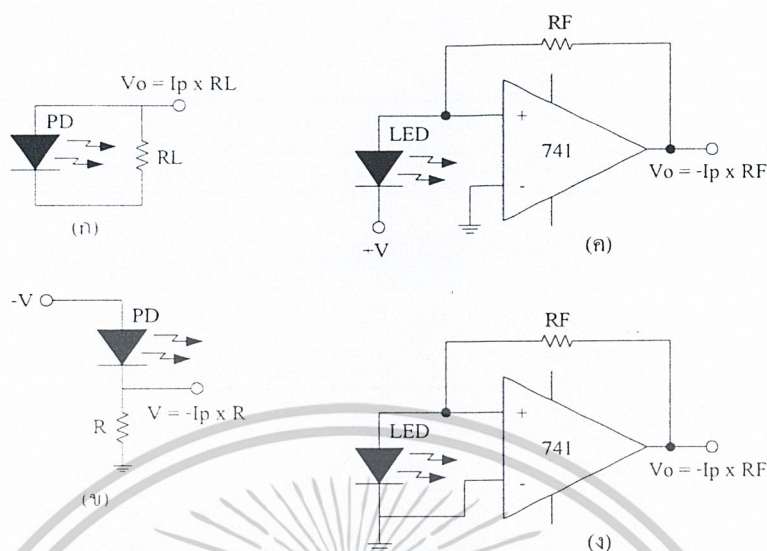
2.11 วงจรดีเทคเตอร์

จากที่ได้กล่าวถึงโหมดการทำงานของโฟโตไดโอดไปบ้างแล้ว ลักษณะวงจรทำงานในแบบของโหมดโฟโตวอลตาอิก แสดงดังรูปที่ 2.26 (ก) โดยการต่อโฟโตไดโอดอนุกรมกับตัวต้านทานโหลด R_L เมื่อมีแสงตกกระทบจะเกิดกระแสไหล ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมโหนด R_L มีค่าเท่ากับ $I_p \times R_L$ เมื่อ I_p คือกระแสที่ไหลในวงจรอนุกรมซึ่งมักมีค่าไม่มาก หากต้องการให้กระแส I_p มีค่ามากขึ้น ต้องเพิ่มแรงดันไบแอสให้กับโฟโตไดโอด ดังรูปที่ 2.26 (ข) เพื่อให้เกิดการทำงานในโหมดโฟโตคอนดักทีฟ

ในทางปฏิบัติมักจะใช้วงจรที่ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมโฟโตไดโอดมีค่าคงที่ตลอดเวลา เพื่อช่วยให้สามารถสร้างกระแส I_p ได้อย่าง มีเสถียรภาพ ดังเช่นวงจรในรูปที่ 2.26 (ค) และรูปที่ 2.26 (ง) ที่ทำงานในโหมดข้างกัน แหล่งของแรงดันเอาต์พุต V_{out} ที่ต้องการมีค่าเป็นไปตามสมการเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

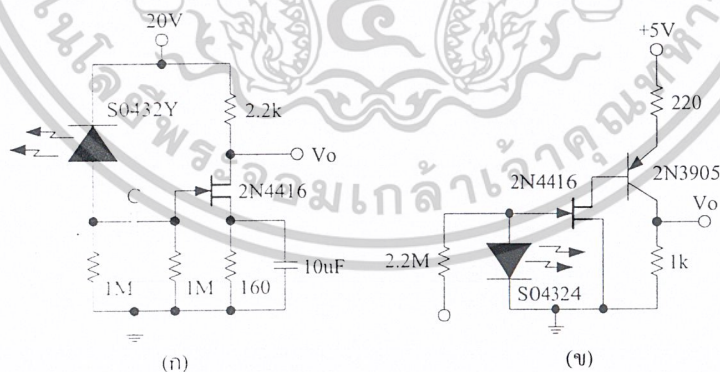


รูปที่ 2.26 วงจรทำงานของโฟโตไดโอด

วงจรในรูปที่ 2.26 (ง) ที่มีโหมดการทำงานแบบโฟโตคอนดักทีฟ จะทำงานได้เร็วกว่าวงจรในรูปที่ 2.26 (ค) ซึ่งเป็นชนิดโมโนโพลโวลตาอิก ค่ากระแส I_p เป็นผลอันเนื่องมาจากผลของแสงตกกระทบบและคำนวณได้จาก

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

เมื่อ R เป็นค่าของกระแสต่อพลังงาน (แอมป์/วัตต์) กำหนดด้วยสเปกของมัน และ P_{IN} เป็นพลังงานแสงหรือขนาดความเข้มแสงที่ตกกระทบบโฟโตไดโอด



รูปที่ 2.27 วงจรโฟโตดีเทคเตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์

ในการออกแบบวงจรต้องคำนึงถึงค่าของกระแสมืดที่เกิดจากตัวโฟโตไดโอด ขณะมีการไบแอสกลับรวมเข้าไปกับ I_p ด้วยจึงจะได้ค่าจริงออกมา วงจรในรูปที่ 2.27 เป็นวงจรโฟโตไดโอดที่ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นส่วนขยายสัญญาณขั้นต้น โดยที่วงจรในรูปที่ 2.27 (ก) เหมาะสมสำหรับการใช้งานในระบบอะนาล็อกและวงจรในรูปที่ 2.27 (ข) นั้นใช้กับระบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารพลังงานวิสาห์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 Frequency Modulation (FM)

ในขบวนการมอดูเลท ใช้คลื่นรูปไซน์ ที่มีความถี่สูงเป็นพาหะ แล้วเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางอย่างของพาหะด้วยสัญญาณข่าวสาร โดยทั่วไปสัญญาณข่าวสารได้แก่ สัญญาณออดิโอ (เสียงพูด) สัญญาณภาพหรือข่าวสารอื่นๆ การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคลื่นพาหะนั้นเรียกว่า การมอดูเลท คลื่นรูปไซน์ที่เราใช้เป็นพาหะนั้น สามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์แทนได้ดังนี้

$$e = A \sin(\omega t + \phi)$$

ในที่นี้ e คือแรงดัน (หรือกระแส) ของคลื่นพาหะใด ๆ
 A คือ แอมพลิจูด (หรือขนาด) สูงสุดของคลื่นพาหะ
 ω คือความถี่เชิงมุม = $2\pi f$
 t คือเวลา (วินาที)
 ϕ คือเฟส หรือมุมทางไฟฟ้า
 f คือความถี่ (เฮิรตซ์)

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่า คุณสมบัติประจำตัวของคลื่น (รูปไซน์) ที่สำคัญจะมีอยู่ 3 ประการ ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงหรือมอดูเลทได้ คือแอมพลิจูด (A) ความถี่เชิงมุม (ω) หรือความถี่ (f) และเฟส (ϕ)

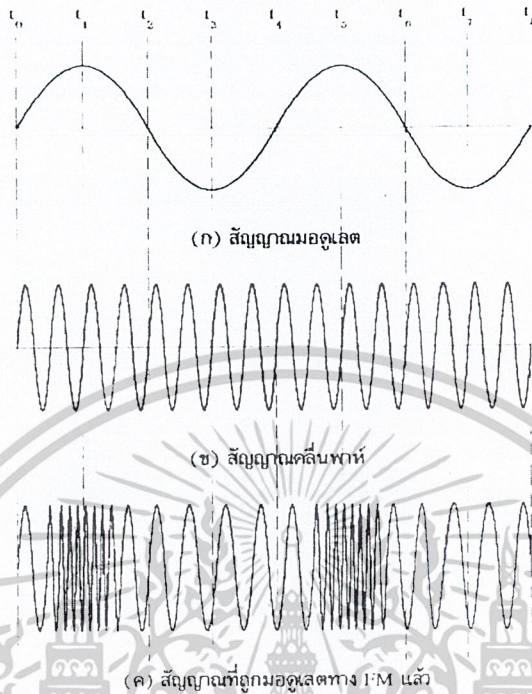
การมอดูเลทให้กับคลื่นพาหะแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. มอดูเลททางแอมพลิจูด (Amplitude Modulation เรียกชื่อย่อว่า AM)
2. มอดูเลททางความถี่ (Frequency Modulation เรียกชื่อย่อว่า FM)
3. มอดูเลททางเฟส (Phase Modulation เรียกชื่อย่อว่า PM หรือ ϕM)

ในทางปฏิบัติสัญญาณ FM กับสัญญาณ PM จะคล้ายคลึงกันมาก บางทีเรียกรวมๆ ทั้ง FM และ PM ว่าการมอดูเลทเชิงมุม (angle modulation) กล่าวโดยสรุป การมอดูเลทแบ่งออกเป็นจริงๆ 2 แบบใหญ่ๆ คือ AM กับ FM (หรือ PM)

รูปคลื่นของสัญญาณ FM เกิดจากสัญญาณมอดูเลท ดังรูป 2.28 (ก) เช่นสัญญาณเสียงซึ่งเป็นข่าวสารเข้ามามอดูเลทกับสัญญาณพาหะดังรูป 2.28 (ข) สัญญาณพาหะหลังจากการมอดูเลทแล้วในรูปที่ 2.28 (ค) เป็นสัญญาณ FM ที่เวลา t_0 สัญญาณ FM อยู่ที่ความถี่กลาง เมื่อสัญญาณที่เข้ามามอดูเลทมีค่าทางบวกสูงสุด ความถี่ของคลื่นพาหะจะเพิ่มขึ้นสูงสุด นั่นคือสัญญาณมอดูเลทถึงจุดยอดสุด (สัญญาณมอดูเลทมีขนาดสูงสุดนั่นเอง) ที่เวลา t_1 ที่เวลา t_2 สัญญาณมอดูเลทลดลงเป็นศูนย์ ความถี่ของคลื่นพาหะก็จะลดลงมาที่ความถี่กลางดั้งเดิมหลังจากเวลาสัญญาณมอดูเลทมีค่าตกลงต่ำกว่าศูนย์กลายเป็นลบ คลื่นพาหะจะมีความถี่ลดลงต่ำกว่าความถี่กลางและเมื่อเวลาสัญญาณมอดูเลทกลับเป็นศูนย์อีกครั้งหนึ่ง ความถี่ของคลื่นพาหะก็จะกลับมาถึงความถี่กลางดั้งเดิมเช่นกัน ในช่วงเวลา t_4 ถึง t_5 ก็จะซ้ำแบบเดิมเรื่อยๆ ไป สรุปแล้วความถี่ของคลื่นพาหะจะเปลี่ยนแปลงไปตามแอมพลิจูดของสัญญาณมอดูเลทและความถี่คลื่นพาหะยังคงอยู่ที่ความถี่กลาง

เมื่อสัญญาณมอดูเลทเป็นศูนย์
 เอกสภานี้จัดทำขึ้นเพื่อให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 แสดงการมอดูเลตทางความถี่

ช่วงความถี่ที่คลื่นพาห้เบี่ยงเบนไปจากความถี่กลางเรียกว่า ความถี่เบี่ยงเบน (frequency deviation) หรือดีวีเอชเอ็น ตัวอย่างเช่น คลื่นพาห้มีความถี่ 100 เมกะเฮิร์ตซ์ ลดลงต่ำสุดเป็น 99.9 เมกะเฮิร์ตซ์ และเพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 100.1 เมกะเฮิร์ตซ์ สลับไปมาเช่นนี้ หมายความว่าช่วงความถี่เบี่ยงเบนเท่ากับ ± 0.1 เมกะเฮิร์ตซ์ หรือ ± 100 kHz

อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณ ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลต ตัวอย่างเช่น ถ้าสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตเป็น โทน (สัญญาณเสียง) ความถี่ 1000 เฮิร์ตซ์ อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณ FM จะเท่ากับ 1000 ครั้งต่อวินาที ถ้าสัญญาณที่เข้ามอดูเลตเพิ่มความถี่เป็น 10 kHz โดยคงค่าแอมพลิจูดเท่าเดิม ช่วงความถี่เบี่ยงเบนก็ยังเท่าเดิม คือเท่ากับ ± 100 kHz แต่อัตราการเบี่ยงเบนจะเพิ่มเป็น 10,000 ครั้งต่อวินาที นั่นคือ ความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลตเป็นตัวกำหนดอัตราการเบี่ยงเบนความถี่

สำหรับแอมพลิจูดของสัญญาณมอดูเลตจะเป็นตัวกำหนดช่วงความถี่เบี่ยงเบน ตัวอย่างเช่น สัญญาณ โทนที่มีแอมพลิจูดสูงจะทำให้ความถี่เบี่ยงเบนไป ± 100 kHz สัญญาณ โทนที่มี แอมพลิจูดน้อยลง จะทำให้ความถี่เบี่ยงเบนไป ± 50 kHz

กล่าวโดยสรุป สัญญาณ FM มีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

1. มีแอมพลิจูดคงที่ตลอด แต่ความถี่เปลี่ยนตามสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต
2. อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของพาหะมีค่าเท่ากับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต
3. ช่วงความถี่เบี่ยงเบน เป็นสัดส่วนกับแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต

ดัชนีการมอดูเลต

ในระบบ AM ปริมาณการมอดูเลต นิยมวัดเป็นเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต ซึ่งดูได้จากการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดหรือกรอบคลื่น AM ทั้งด้านต่ำสุดและสูงสุด แต่ในระบบ FM วัดเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต โดยดูจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ซึ่งนิยมเรียกชื่อใหม่ว่า ดัชนีการมอดูเลต

$$m = \frac{fd}{fm}$$

ในที่นี้ fd คือช่วงความถี่เบี่ยงเบน (เฮิรตซ์)

fm คือความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต (เฮิรตซ์)

ค่าตัวเลขของดัชนีการมอดูเลตจะมีค่าสูง (แตกต่างจากเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตซึ่งเมื่อคิดเป็นอัตราส่วนจะได้อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ตัวอย่างเช่น ในระบบวิทยุกระจายเสียง FM กำหนดให้ความถี่เบี่ยงเบนของระบบสูงสุดไว้เท่ากับ 75 kHz สมมติว่าใช้สัญญาณเสียง 1 kHz มอดูเลตให้เกิดความถี่เบี่ยงเบนเต็มที่ ค่าดัชนีการมอดูเลตจะเป็น

ค่าดัชนีการมอดูเลตในระบบ FM ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณเสียงที่เข้ามา มอดูเลตในทางปฏิบัตินิยมวัดเป็นอัตราส่วนการเบี่ยงเบน (deviation ratio) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความถี่เบี่ยงเบน (ของระบบ) สูงสุด ($fd \text{ max}$) ต่อความถี่สูงสุดของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต $fm \text{ max}$ ในระบบกระจายเสียง FM ค่าอัตราส่วนการเบี่ยงเบน (Δ) จะเท่ากับ

$$\begin{aligned} \Delta &= \frac{fd \text{ max}}{fm \text{ max}} \\ &= \frac{75\text{kHz}}{15\text{kHz}} \end{aligned}$$

ระบบ AM เมื่อเพิ่มแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตเพื่อให้เปอร์เซ็นต์ของการมอดูเลตสูงขึ้นไปมากเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด (กรอบคลื่น) ของพาหะจะเปลี่ยนแปลงมากขึ้นแต่ในระบบ FM เมื่อเพิ่มแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตสูงขึ้น การเบี่ยงเบนความถี่ของพาหะจะเบี่ยงเบนได้มากขึ้นในระบบวิทยุกระจายเสียง FM กำหนดให้ความถี่เบี่ยงเบนของระบบเต็มที่ไม่เกิน 75 kHz ถ้ามอดูเลตทำให้ความถี่ของพาหะเบี่ยงเบนไปเท่ากับ 75 kHz แสดงว่า มอดูเลตเต็มที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การมอดูเลต} = \frac{fd}{fd \text{ max}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้ f_d คือความถี่เบี่ยงเบน เนื่องจากสัญญาณที่เข้ามอดูเลท

$f_{d \max}$ คือความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดของระบบ

แบนด์วิดท์ของสัญญาณ FM

ในระบบ FM จำนวนไซด์แบนด์และแอมพลิจูดของไซด์แบนด์ขึ้นอยู่กับค่าดัชนีการมอดูเลท โดยความถี่ของไซด์แบนด์มีค่าสัมพันธ์กับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลท กล่าวคือไซด์แบนด์คู่แรกมีความถี่เท่ากับ $f_c \pm f_m$ ไซด์แบนด์คู่ที่สองมีความถี่เท่ากับ $f_c \pm 2f_m$ ฯลฯ ฉะนั้นแบนด์วิดท์ของคลื่น FM ต้องครอบคลุมจำนวนไซด์แบนด์ที่สำคัญทุกตัว นั่นคือ แบนด์วิดท์ขึ้นอยู่กับดัชนีการมอดูเลทและความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลท แต่ดัชนีการมอดูเลทเท่ากับ f_d/f_m ดังนั้นถ้าทราบความถี่เบี่ยงเบนและความถี่ของสัญญาณมอดูเลทเราก็สามารถคำนวณหาแบนด์วิดท์ได้

ตัวอย่าง ความถี่ของสัญญาณเสียงที่เข้ามอดูเลทเท่ากับ 3 kHz ความถี่เบี่ยงเบนเท่ากับ 18kHz จำนวนค่าดัชนีการมอดูเลทได้ดังนี้

$$m = \frac{f_d}{f_m} = \frac{18\text{kHz}}{3\text{kHz}} = 6$$

นำ $m = 6$ ไปหาไซด์แบนด์สำคัญ เมื่อดัชนีการมอดูเลทเท่ากับ 6 จำนวนไซด์แบนด์จะมีอยู่ 9 คู่ จำนวนหาแบนด์วิดท์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} BW &= f_m \times \text{จำนวนไซด์แบนด์} \times 2 \\ &= 3\text{kHz} \times 9 \times 2 \\ &= 54\text{kHz} \end{aligned}$$

ในทางปฏิบัตินิยมคำนวณแบนด์วิดท์แบบประมาณจาก $f_{d \max}$ และ $f_{m \max}$ ดังนี้

$$BW = 2(m-1) f_{m \max}$$

หรือ

$$BW = 2(f_{d \max} + f_{m \max})$$

เมื่อ $m = \frac{f_{d \max}}{f_{m \max}}$ จำนวนได้ว่า

$$\begin{aligned} BW &= 2 \times (6+1) \times 3 \\ &= 42\text{kHz} \end{aligned}$$

หรือ

$$\begin{aligned} BW &= 2 \times (18+3) \\ &= 42\text{kHz} \end{aligned}$$

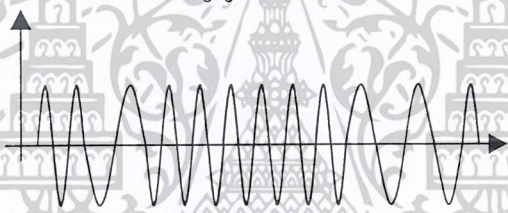
เสมือนกับว่าพิจารณาใช้จำนวนไซด์แบนด์เพียง 7 คู่ เมื่อเทียบกับการคำนวณในตอนต้น เอกสารเป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยูได้เห็นใบแจ้งประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 Frequency Shift Keying (FSK)

การส่งสัญญาณดิจิทัล โดยคลื่นวิทยุไมโครเวฟจำเป็นต้องเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลไปเป็นสัญญาณในย่านความถี่วิทยุ ซึ่งเทคนิคในการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการ Frequency Shift Keying เท่านั้น โดยสัญญาณดิจิทัลจะถูกมอดูเลตด้วยความถี่ จะได้ลักษณะของสัญญาณแสดงดังรูปที่ 2.29 ซึ่งตามหลักการของ FSK สัญญาณดิจิทัลที่เป็นลอจิก “1” จะถูกทำให้เป็นสัญญาณพาหะที่มีความถี่เท่ากับ ω_{c1} และสัญญาณดิจิทัลที่เป็นลอจิก “0” จะถูกทำให้เป็นสัญญาณพาหะที่มีความถี่เท่ากับ ω_{c0} โดยมีการกำหนดให้ความถี่ $\omega_{c1} > \omega_{c0}$



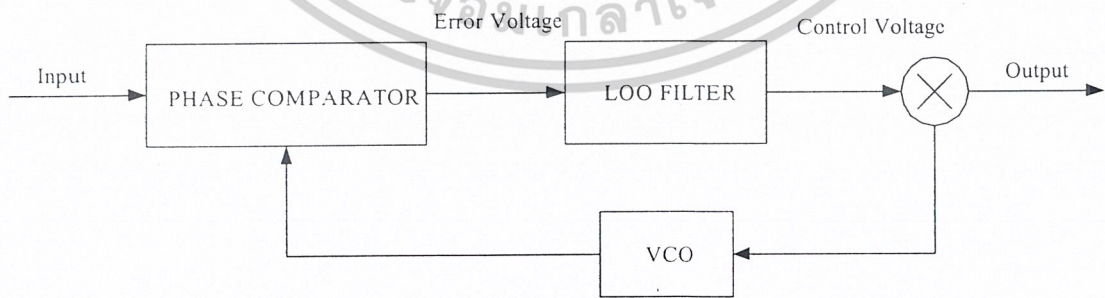
(ก) สัญญาณดิจิทัล



(ข) สัญญาณ FSK

รูปที่ 2.29 แสดงสัญญาณดิจิทัลที่มอดูเลตเป็นสัญญาณ FSK

2.14 เฟสล็อกคูลูป



รูปที่ 2.30 แสดงแผนผังของเฟสล็อกคูลูป

เฟสล็อกคูลูปเป็นระบบป้อนกลับที่บังคับให้วงจรออสซิลเลเตอร์มีความถี่หรือเฟสเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่หรือเฟสของสัญญาณอ้างอิงภายนอก เฟสล็อกคูลูปประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ ภาควเทียบเฟส เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานาน นี้อธิบายให้เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือเฟสคอมพารเตอร์ (PHASE COMPARATOR) ภาคลูปฟิลเตอร์ (LOOP FILTER) และภาค VCO (Voltage Control Oscillator) รูปที่ 2.30 ในที่นี้สมมุติว่าต่อเอาที่พุทจากวงจร VCO

สมมุติว่ามีสัญญาณความถี่อ้างอิงภายนอกเป็นสัญญาณเข้ามาที่อินพุท ภาคเทียบเฟสทำหน้าที่เปรียบเทียบเฟสระหว่างสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณจาก VCO เอาท์พุทที่ได้จากภาคเฟสดีเทกเตอร์จะเป็นแรงดันที่มีแอมพลิจูดเป็นสัดส่วนกับผลต่างในเฟสของสัญญาณทั้งสองที่ทำการเปรียบเทียบแรงดันผลต่างนี้ป้อนให้วงจรลูปฟิลเตอร์ซึ่งเป็นฟิลเตอร์ชนิดกรองความถี่ต่ำผ่านซึ่งกรองเอาแต่เฉพาะความถี่ต่างๆ ที่ต้องการเพื่อส่งไปควบคุมการออสซิลเลตของ VCO ต่อไป เมื่อลูปอยู่ในสภาวะล็อก (lock) ความถี่ของ VCO จะเท่ากับความถี่ของสัญญาณอินพุทพอดี อาจจะมีเฟสแตกต่างกันไปแต่ค่าเฟสที่แตกต่างกันนั้นจะมีค่าคงที่ ในกรณีที่มีเฟสไม่ตรงกันภาคเฟสดีเทกเตอร์จะจ่ายแรงดันคัลลาดเคลื่อนสภาวะล็อก เอาท์พุทของ VCO จึงมีแอมพลิจูดคงที่เสมอ แต่ความถี่จะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของสัญญาณอินพุท

สามารถนำเฟสล็อกลูปไปใช้สังเคราะห์ (หรือผลิต) ความถี่ที่มีความเที่ยงตรงและเสถียรภาพเทียบเท่ากับสัญญาณอ้างอิงได้วงจรนี้เรียกว่า วงจรสังเคราะห์ความถี่จะช่วยให้สามารถสังเคราะห์สัญญาณเอาท์พุท (จาก VCO) ให้มีความถี่ตามต้องการได้หลายความถี่ โดยมีความเที่ยงตรงและเสถียรภาพสูงเทียบคริสตอลออสซิลเลเตอร์

นอกจากนี้เฟสล็อกลูปยังมีประโยชน์อื่นอีก คือใช้ในการคิมอดสัญญาณ FM (หรือ PM) เนื่องจากเอาท์พุทของเฟสดีเทกเตอร์มีค่าสัมพันธ์กับการเปลี่ยนเฟสของคลื่นพาห้

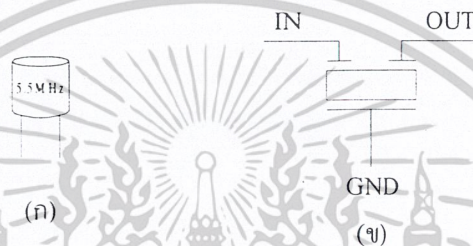
ผลต่างระหว่างสัญญาณ $\frac{F_0}{N}$ กับ F_R ซึ่งจะกรองเฉพาะความถี่ต่ำเท่านั้น จะบังคับการออสซิลเลตของวงจร VCO ให้ทำการปรับแก้ความถี่หรือเฟสให้ตรงกับความถี่ของสัญญาณทั้งสอง ในสภาวะล็อก ความถี่ของ VCO เมื่อผ่านวงจรหาร N จะเท่ากับความถี่อ้างอิงนั่นคือ

$$\frac{F_0}{N} = F_R$$

เฟสล็อกลูปสามารถผลิตความถี่ได้เฉพาะในช่วงความถี่วงจร VCO และวงจรหาร N สามารถทำงานได้เท่านั้น และตัวเลขในการหาร (คือ N) ย่อมเป็นเลขจำนวนเต็มเสมอ

2.15 เซรามิกฟิลเตอร์

เซรามิกฟิลเตอร์ หรือคริสตอลฟิลเตอร์ เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่ฟิลเตอร์อีกชนิดหนึ่งที่น่ามาใช้ในการกรองผ่านความถี่ซึ่งจะถูกกำหนดด้วยการตอบสนองความถี่ของตัวเซรามิก คุณสมบัติของตัวเซรามิกจะคล้ายกับคุณสมบัติของตัวคริสตอล คือจะให้การตอบสนองความถี่หรือเรโซแนนซ์เพียงความถี่เดียว ถ้าความถี่ที่ป้อนเข้ามาตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของตัวเซรามิก ตัวเซรามิกจะยอมให้ความถี่นั้นๆ ผ่านตัวมันออกไปได้ แต่ถ้าความถี่ที่ป้อนเข้ามาไม่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ ความถี่นั้นก็ไม่สามารถผ่านตัวเซรามิกไปได้



รูปที่ 2.31 (ก) แสดงรูปร่างของเซรามิกฟิลเตอร์ (ข) แสดงสัญลักษณ์ของเซรามิกฟิลเตอร์

การทำงานของเซรามิกฟิลเตอร์ จะทำงานเหมือนกับวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน คือจะเป็นตัวกำหนดความถี่ผ่านตัวมัน ซึ่งจะเป็นความถี่เดียวกับความถี่ของตัวเซรามิกฟิลเตอร์ การตอบสนองนั้นขึ้นอยู่กับการผลิตผลึกแร่ให้ตอบสนองความถี่เท่าใด ดังนั้นความถี่ต่างๆ ที่ถูกป้อนเข้ามาจะสามารถผ่านตัวเซรามิกฟิลเตอร์ได้เพียงความถี่เดียว ส่วนความถี่อื่นๆ ที่ไม่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์จะถูกกำจัดทิ้งไป

2.16 การสื่อสารแบบอนุกรม

ในที่นี้จะกล่าวถึงการเชื่อมต่ออุปกรณ์สองตัวโดยตรง สายสัญญาณและหัวต่อที่ต้องใช้และมาตรฐานทั่วไปที่ใช้กับการเชื่อมต่อสาย

2.13.1 มาตรฐาน RS-232-C

เพื่อที่จะทำให้อุปกรณ์จากผู้ผลิตต่างกันทำงานร่วมกันได้ มาตรฐานหลายชนิดจึงได้รับการออกแบบขึ้น มาตรฐานที่ใช้กันกว้างขวางที่สุดคือ RS-232-C ถูกประกาศในปี 1969 โดย Electronic Industries Association มาตรฐาน RS-232-C ที่ร่างขึ้นในตอนเริ่มแรกสำหรับกำหนดการเชื่อมต่อระหว่างเทอร์มินัล (Terminal) และโมเด็มระบุคุณลักษณะทางไฟฟ้าของวงจรระหว่างอุปกรณ์สองตัวและกำหนดชื่อและหมายเลขแก่สายที่จำเป็นสำหรับการเชื่อมต่อวงจร ซึ่งวงจรตามมาตรฐาน RS-232-C (AA, AB เป็นต้น)

เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ส่งข้อมูลบนสายเส้นเดียวกัน อุปกรณ์จึงถูกแบ่งออกเป็นสองชนิด อุปกรณ์จึงถูกแบ่งออกเป็นสองชนิด อุปกรณ์อย่างเช่นเทอร์มินอล ซึ่งใช้สายเส้นที่ 2 สำหรับเอาต์พุตเรียก

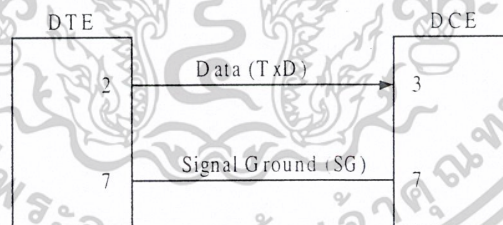
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่า DTE (Data Terminal Equipment) และอุปกรณ์อย่างเช่น โมเด็มซึ่งสายเส้นที่ 2 สำหรับอินพุทเรียกว่า DCE (Data Communication Equipment)

อุปกรณ์ DTE และ DCE ตามมาตรฐาน RS-232-C อุปกรณ์ DTE ควรใช้หัวต่อตัวผู้ และอุปกรณ์ DCE ควรใช้หัวต่อตัวเมีย อย่างไรก็ตามผู้ผลิตไม่ได้ปฏิบัติตามกฎนี้เสมอ คังนั้นจึงไม่อาจแยกแยะอุปกรณ์ DTE และ DCE โดยการมองเห็นได้เสมอไป เมื่อทราบว่าอุปกรณ์หนึ่งเป็น DTE และอีกตัวหนึ่งเป็น DTE ในทางทฤษฎีแล้วสามารถเชื่อมต่อได้อย่างง่ายดาย โดยการเชื่อมต่อสายที่มีหมายเลขตรงกัน เช่น เส้นที่ 2 กับ 2, 3 กับ 3 เป็นต้น เรียกว่า การเชื่อมต่อแบบตรงไปตรงมาแต่มีผู้ผลิตบางรายที่ไม่ได้ทำตามมาตรฐาน และทำให้เกิดปัญหาหลายอย่างปัญหาเหล่านี้จะได้รับการกล่าวถึงในภายหลัง เช่นเดียวกับวิธีการกับสแกน การณ์ที่อุปกรณ์ทั้งสองเป็น DTE หรือ DCE เหมือนกัน ในตอนนี้ให้ถือว่าอุปกรณ์หนึ่งเป็น DTE และอีกตัวหนึ่งเป็น DCE และแต่ละฝ่ายส่งสัญญาณที่อีกฝ่ายต้องการบนสายที่ตรงกัน

1. การสื่อสารทางเดียว

วงจรหลักที่ถูกใช้สำหรับการสื่อสารมีอยู่สามวงจร คือสายเส้นที่ 2 สำหรับข้อมูลจาก DTE ไปยัง DCE สายเส้นที่ 3 สำหรับข้อมูลจาก DCE ไปยัง DTE และสายเส้นที่ 7 สำหรับซิกแนลกราวด์ (Signal Ground) ซึ่งเป็นจุดอ้างอิงร่วมสำหรับขั้วและแรงดันไฟฟ้าของสายอื่น ในกรณีที่ยากที่สุดซึ่งมีเพียงอุปกรณ์หนึ่งส่งและอีกตัวรับใช้สายเพียงสองเส้นก็เพียงพอคือสายเส้นที่ 2 หรือ 3 และสายเส้นที่ 7 ดังแสดงในรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 แสดงการสื่อสารทางเดียว

ฮาร์ดแวร์แฮนด์เช็กกิ้ง ในหลายๆ กรณีอุปกรณ์ฝ่ายส่งจำเป็นต้องรู้ว่าอุปกรณ์ฝ่ายรับพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่ ตัวอย่างเช่น การส่งข้อมูลไปที่เครื่องพิมพ์ ความเร็วของการสื่อสารอาจเร็วกว่าความเร็วของเครื่องพิมพ์ เครื่องพิมพ์ต้องระงับการส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์จนกว่ามันพร้อมที่จะรับข้อมูล ในทำนองเดียวกันกับการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่งไปอีกเครื่องหนึ่ง และคอมพิวเตอร์ตัวที่สองไม่สามารถประมวลผลข้อมูลได้เร็วเท่ากับอัตราที่ข้อมูลเข้ามา

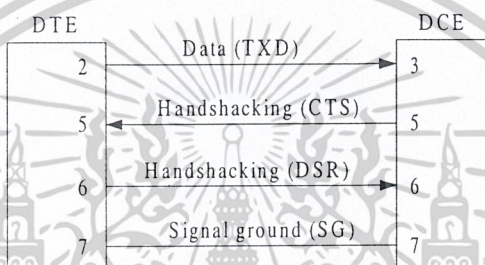
ทั้งสองกรณี ต้องมีข่าวสารถูกส่งกลับจากอุปกรณ์ฝ่ายรับไปยังอุปกรณ์ฝ่ายส่ง เพื่อแจ้งว่ามันพร้อมหรือไม่ ข่าวสารนี้เรียกว่า โฟลว์คอนโทรล (Flow Control) หรือแฮนด์เช็กกิ้ง (Hand Chaking)

แฮนด์เช็กกิ้งมีสองแบบคือ ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ทั้งคู่เกี่ยวข้องกับสัญญาณที่ส่งกลับมาจากอุปกรณ์ฝ่าย
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ญาติเห็นใบใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับไปยังอุปกรณ์ฝ่ายส่ง ในฮาร์ดแวร์แฮนด์เช็คกึ่งอุปกรณ์ฝ่ายรับไปยังอุปกรณ์ฝ่ายส่ง ในฮาร์ดแวร์แฮนด์เช็คกึ่งอุปกรณ์ฝ่ายรับส่งแรงดันไฟฟ้าบวกไปตามวงจรแฮนด์เช็คกึ่งเมื่อมันพร้อมที่จะรับข้อมูล เมื่อคอมพิวเตอร์ฝ่ายส่งได้รับแรงดันไฟฟ้าลบ มันจะรู้ว่าต้องหยุดส่งข้อมูลในซอฟต์แวร์แฮนด์เช็คกึ่งสัญญาณแฮนด์เช็คกึ่งเป็นอีกขระพิเศษที่ถูกส่งไปตามวงจรข้อมูลแทนวงจรแฮนด์เช็คกึ่ง

การใช้ฮาร์ดแวร์แฮนด์เช็คกึ่งอย่างน้อยต้องมีการเชื่อมต่อเพิ่มเติมหนึ่งเส้นเพื่อนำสัญญาณทำให้จำนวนของสายทั้งหมดเป็นสามเส้นคือ สายข้อมูลซิกแนลกราวนด์ และแฮนด์เช็คกึ่ง

1.1 การสื่อสารทางเดียว จาก DTE ไป DCE

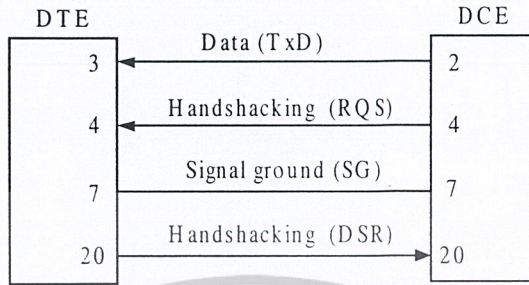


รูปที่ 2.33 การสื่อสารทางเดียวพร้อมด้วยแฮนด์เช็คกึ่งจาก DTE ไปยัง DCE

เมื่ออุปกรณ์ DTE ส่งข้อมูลไปที่อุปกรณ์ DCE ข้อมูลถูกส่งไปตามสายเส้นที่ 2 และใช้สายเส้นที่ 7 ซิกแนลกราวนด์ ตามปกติอุปกรณ์ DCE ควบคุมการส่งแฮนด์เช็คกึ่งจากอุปกรณ์ DTE บนสายเส้นที่ 6 ชื่อว่า DSR (Data Set Ready) ถ้าเครื่องพิมพ์เป็น DCE และคอมพิวเตอร์เป็น DTE สายเส้นที่ 6 บนคอมพิวเตอร์ควรถูกเชื่อมต่อเข้ากับสายเส้นที่ 6 บนเครื่องพิมพ์ และเครื่องพิมพ์จะรักษาแรงดันไฟฟ้าบวกบนสายเส้นที่ 6 ตรวจจับที่มันสามารถรับข้อมูล มันจะลดแรงดันไฟฟ้าบนสายเส้นที่ 6 ให้เป็นสถานะลบบ่อยครั้งที่วงจรแฮนด์เช็คกึ่งชุดที่สอง คือ สายเส้นที่ 5 ถูกใช้โดยอุปกรณ์ DCE เพื่อควบคุมการส่งจากอุปกรณ์ DTE วงจรนี้มีชื่อว่า CTS (Clear To Send) เมื่อสายแฮนด์เช็คกึ่งทั้งสองเส้นถูกใช้โดยอุปกรณ์ DTE ต้องได้รับการออกแบบให้ส่งข้อมูลก็ต่อเมื่อสายทั้งสองเป็น ไฮ (High) หรือแรงดันไฟฟ้าบวก บางครั้งสายนั้นอาจมีความหมายต่างไป เช่นเส้นหนึ่งอาจบอกอุปกรณ์ฝ่ายส่งให้หยุดการพิมพ์จนกระทั่งข้อมูลถูกพิมพ์ไปได้จำนวนหนึ่ง และเส้นที่เหลืออาจจะแจ้งว่ากระดาษของเครื่องพิมพ์หมดอย่างไรก็ตามความหมายเหล่านี้ไม่ได้มีมาตรฐาน เนื่องจากคอมพิวเตอร์หลายชนิดถูกโปรแกรมไม่ให้ส่งข้อมูลถ้าสายแฮนด์เช็คกึ่งทั้งสองไม่เป็นไฮ แม้แต่กับเครื่องพิมพ์ที่ไม่ได้กำหนดความหมายพิเศษกับสายชุดที่สองอย่างน้อยก็ควรรักษาแรงดันไฟฟ้าบวกไว้ อย่างไรก็ตามบางครั้งสัญญาณชุดที่สองต้องถูกสร้างหลอกขึ้นมาโดยการต่อมันเข้ากับชุดแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 การสื่อสารทางเดียว จาก DCE ไปยัง DTE

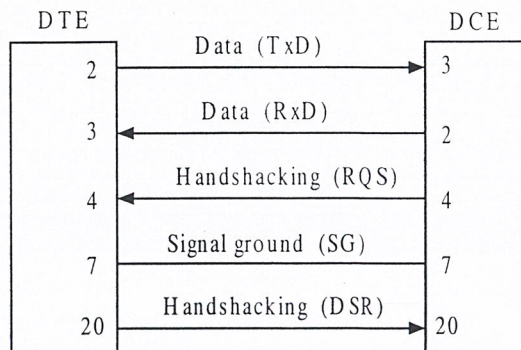


รูปที่ 2.34 การสื่อสารทางเดียวพร้อมด้วยแฮนด์เช็กกิงจาก DCE ไปยัง DTE

เมื่อให้อุปกรณ์ DCE จะสื่อสารกับอุปกรณ์ DTE สายเส้นที่ 3 ต้องถูกใช้สำหรับการส่งผ่านข้อมูล และถ้าต้องการแฮนด์เช็กกิง จะใช้สายเส้นที่ 20 เพื่อส่งแฮนด์เช็กกิงจากอุปกรณ์ DTE ไปยังอุปกรณ์ DCE สายเส้นที่ 20 มีชื่อว่า DTR (Data Terminal Ready) สายแฮนด์เช็กกิงชุดที่สองคือสายเส้นที่ 4 เรียกว่า Request To Send (RQS หรือ RTS) ไม่ได้ถูกนำมาใช้เสมอไป)

2. การสื่อสารสองทาง

ในหลายกรณีที่ข้อมูลถูกส่งผ่านในสองทิศทาง โดยเฉพาะเมื่อคอมพิวเตอร์สองตัวสื่อสารกัน รวมทั้งในกรณีที่ใช้ซอฟต์แวร์แฮนด์เช็กกิงด้วยเช่นกันจำนวนสายที่น้อยที่สุดที่จำเป็นในการสื่อสารสองทางคือ สามเส้น ได้แก่ สายข้อมูลในแต่ละทิศทางและซิกแนลกราวนด์ การเพิ่มสายแฮนด์เช็กกิงในแต่ละทิศทาง ทำให้จำนวนสายรวมเป็นห้าเส้น ดังแสดงในรูปที่ 2.35 เมื่อสายแฮนด์เช็กกิงชุดที่สองถูกนำมาใช้เพิ่มเติมลงในแต่ละทิศทาง สายทั้งหมดที่ใช้คือเจ็ดเส้น บางครั้งอาจมีการเพิ่มสายอีกสองเส้น เพื่อให้โมเด็มสามารถให้ข้อมูลมากขึ้นแก่คอมพิวเตอร์หรือเทอร์มินัล ได้แก่ CD (Carrier Detect) ถูกเชื่อมต่อเข้ากับขา 8 เพื่อแจ้งการคงอยู่ของสัญญาณพาหะ และ RI (Ring Indicator) ถูกเชื่อมต่อกับขา 22 เพื่อแสดงว่าโมเด็มกำลังถูกเรียกโดยอุปกรณ์ระยะไกล ซึ่งก็คือการตรวจสอบสัญญาณกริ่งของโทรศัพท์นั่นเอง จำนวนวงจรทั้งหมดจะกลายเป็นเก้าตามรูปที่ 2.31



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.35 การสื่อสารสองทางพร้อมด้วยวงจรแฮนด์เช็กกิงหลัก
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.2 มาตรฐาน RS-449, 442-A และ 423-A

มาตรฐานที่ใหม่กว่า RS-232-C มาตรฐานหนึ่งคือ RS-449 ซึ่งใช้จัดการกับปัญหาเดียวกัน แต่ยอมรับความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลสูงกว่าและลดการเกิดครอสทอล์ค (Crosstalk) RS-449 กำหนดให้ใช้หัวต่อแบบ 37 ขา และในกรณีที่ไม่เพียงพออาจเพิ่มหัวต่อ 9 ขา อีกตัวหนึ่ง RS-449 ครอบคลุมข้อกำหนดทางกลและคำอธิบายวงจร แต่ไม่ได้รวมคุณลักษณะทางไฟฟ้า มันถูกมุ่งหวังให้ใช้ในการเชื่อมกับ RS-422-A และ RS-423-A ซึ่งอธิบายคุณลักษณะทางไฟฟ้าของวงจรแบบสมดุล (Balance Circuit) และแบบไม่สมดุล (Unbalance Circuit) ตามลำดับ วงจรแบบสมดุลถูกใช้ในการส่งข้อมูลความเร็วสูงกว่า หรือในที่ซึ่งมีปัญหาในการส่งข้อมูลใช้สายสองเส้น สภาวะ MARK และ SPACE ถูกส่งโดยการเปลี่ยนขั้วของสัญญาณในสายทั้งสอง ซึ่งอ้างอิงซึ่งกันและกันแทนการใช้สายเส้นเดียวที่เปลี่ยนขั้วโดยอ้างอิงของซิกแนลกราวนด์ที่ใช้ร่วมกัน

2.17 RS-232C แบบใช้ DB 9

Connector DB 9	Connector DB 25	ชื่อของสายสัญญาณ	ชนิดของสายสัญญาณ
1	8	Data Carrier Detect	input
2	3	Received Data	input
3	2	Transmitted Data	output
4	20	Data Terminal Ready	output
5	7	Signal Ground	-
6	6	Data Set Ready	input
7	4	Request to Send	output
8	5	Clear to send	input
9	22	Ring Indicator	input

ตารางที่ 2.4 แสดงการจัดขาของ Connector พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232

คำจำกัดความนิยามหน้าที่การทำงานของแต่ละขา

ขา 1 Data Carrier Detect (DCD) ขานี้จะ active เมื่อมีการส่งสัญญาณพาห้จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล เช่น โมเด็ม สำหรับการใช้นั้นปกติแล้วขานี้จะไม่ได้ใช้งานมากนัก

ขา 2 Received Data (RxD) ทำหน้าที่รับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์ โดยนำเอาข้อมูลที่รับได้ไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา 3 Transmitted Data (TxD) ทำหน้าที่ส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์ส่งออกไป

ขา 4 Data Terminal Ready (DTR) เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าการติดต่อด้วย โดยขา DTR นี้จะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทาง และขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางจะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของคอมพิวเตอร์ ถ้าใช้การเชื่อมต่อเป็นแบบนัลโมเด็ม ซึ่งใช้สายในการเชื่อมต่อเพียง 3 เส้น จะต้องต่อขา DTR และ DSR ของตัวมันเองเข้าด้วยกันและต้องต่อกับขา DCD ด้วยในกรณีที่ใช้โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจจับสัญญาณพาห์

ขา 5 Signal Ground (SG) เป็นจุดอ้างอิงแรงดันระหว่างจุดสัญญาณ ในกระบวนการ interface

ขา 6 Data Set Ready (DSR) ขานี้จะใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับรับข้อมูลจากภายนอกซึ่งถูกส่งมาจากขา DTR

ขา 7 Request to Send (RTS) เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอไปยังอุปกรณ์ปลายทางเพื่อทำการส่งข้อมูล สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย ในนัลโมเด็ม จะต้องเชื่อมต่อกับขา RTS และขา CTS ของตัวมันเองเข้าด้วยกันเพื่อที่จะให้สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ตลอดเวลา

ขา 8 Clear to send (CTS) ขานี้จะคอยรับสัญญาณจาก RTS เมื่อได้รับก็จะตรวจสอบความพร้อมว่าอุปกรณ์พร้อมที่จะรับข้อมูลได้หรือไม่ ขานี้จึงแสดงถึงการอนุญาตให้ส่งข้อมูลได้หรือไม่ได้

ขา 9 Ring Indicator (RI) ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสารโดยทั่วไปสายนี้จะไม่ค่อยได้นำมาใช้งานมากนัก

สัญญาณทางไฟฟ้าของมาตรฐาน RS-232 กำหนดคุณลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อมต่ออนุกรมโดยตรง มีเพียง 2 ลักษณะคือ space แสดงถึง binary "0" หรือแรงดันบวก และ mark แสดง binary "1" หรือแรงดันลบ

บนสายข้อมูลเส้นที่ 2 และ 3 แรงดันไฟฟ้าบวกแสดงถึงค่าลอจิก "0" และแรงดันไฟฟ้าลบแสดงถึงลอจิก "1" บนสายแฮนด์เช็ทกึ่ง (เช่น DTR และ DSR) แรงดันไฟฟ้าบวกแสดงว่าส่งข้อมูลได้ ส่วนแรงดันไฟฟ้าเป็นลบแสดงถึงหยุดส่งข้อมูล

แรงดันไฟฟ้าบวกอยู่ระหว่าง +5V ถึง +15V สำหรับเอาต์พุต และระหว่าง +3V ถึง +15V สำหรับอินพุต และแรงดันไฟฟ้าลบจะอยู่ระหว่าง -5V ถึง -15V สำหรับเอาต์พุต และระหว่าง -3V ถึง -15V จะเห็นว่าแรงดันด้านเอาต์พุตกับแรงดันด้านอินพุตจะแตกต่างกัน ซึ่งความแตกต่างนี้มีไว้เพื่อกรณีที่แรงดันไฟฟ้าสูญหายเนื่องจากความยาวของสายสัญญาณ

จะสังเกตได้ว่า ถ้าให้สายสัญญาณยาวเกินไป ระดับแรงดันไฟฟ้าจะตกลงเกินขอบเขตที่ยอมรับได้ นอกจากนี้ประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีผลกับคุณภาพของสัญญาณ โดยทำให้การเปลี่ยนสถานะจากแรงดันไฟฟ้าบวกเป็นแรงดันไฟฟ้าลบไม่ชัดเจน RS-232 ไม่ได้มุ่งหวังให้นำไปใช้งานในระยะไกล และโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั่วไป 50 ฟุต จะเป็นระยะทางที่ไกลที่สุดในการใช้สายสัญญาณปกติที่อัตราการส่งข้อมูลปกติ ถ้าอุปกรณ์อยู่ห่างกันมากอาจจำเป็นต้องใช้โมเด็ม หรือวิธีการอื่นๆ

การประยุกต์ใช้งาน RS-232 จะมีเทคนิคบางอย่างที่ช่วยในการแก้ปัญหาที่อาจพบขณะเชื่อมต่ออุปกรณ์ โดยวิธีนัลโมเด็ม ในรูปแบบการนัลโมเด็มจะใช้ในกรณีที่ต้องการเชื่อมต่ออุปกรณ์สองตัวที่เป็น DTE หรือ DCE ทั้งคู่ แต่ในบางกรณีที่อาจไม่ทราบว่าอุปกรณ์ที่กำลังเชื่อมต่อเป็น DTE หรือ DCE เนื่องจากมีความเป็นไปได้เสมอที่อุปกรณ์ทั้งสองอาจจะเหมือนกัน จึงควรลองใช้นัลโมเด็มถ้าไม่สามารถส่งข้อมูลด้วยการต่อกติได้

DB 9	ขา		ขา	DB 9
3	TX		RX	2
2	RX		TX	3
7	CTS		RTS	8
8	RTS		CTS	7
5	GND		GND	5
6	DSR		DSR	6
1	DCD		DCD	1
4	DTR		DTR	4

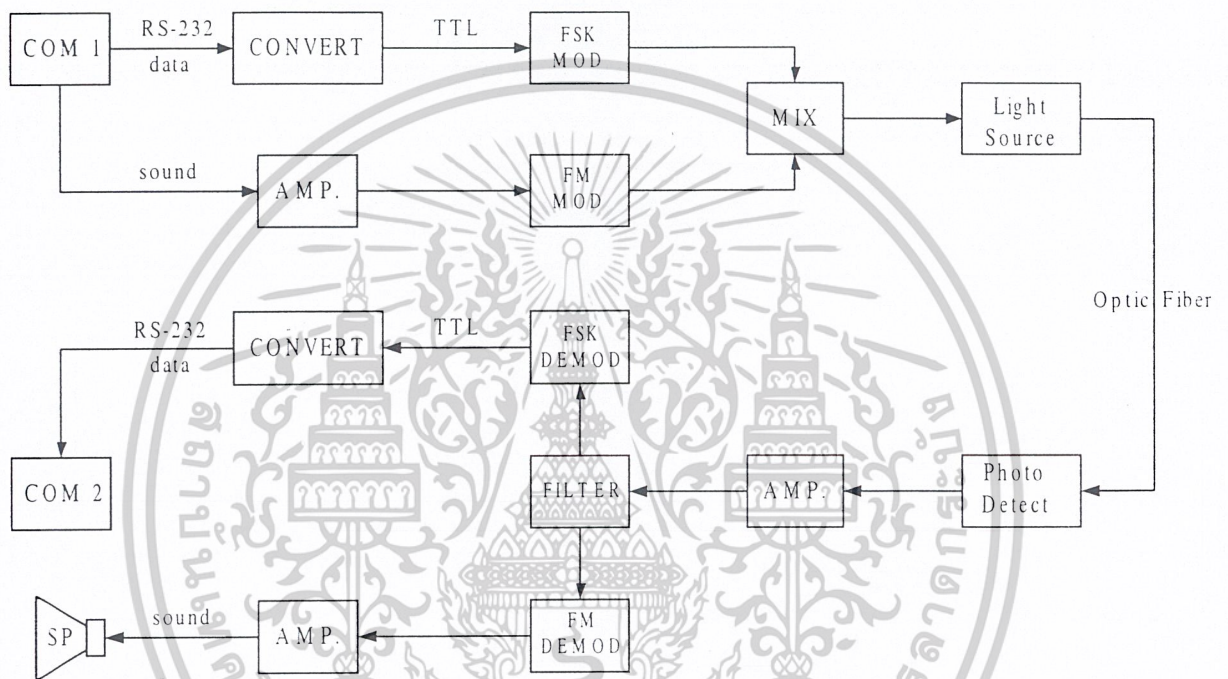
รูปที่ 2.36 แสดงวิธีการต่อนัลโมเด็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

โครงการนี้เป็นกรนำเสนอการรับส่งข้อมูลที่ได้จากคอมพิวเตอร์และสัญญาณเสียงผ่านเส้นใยแก้วนำแสง โดยประกอบวงจรต่างๆ ตามบล็อกไดอะแกรมดังแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสงสำหรับเครือข่ายคอมพิวเตอร์

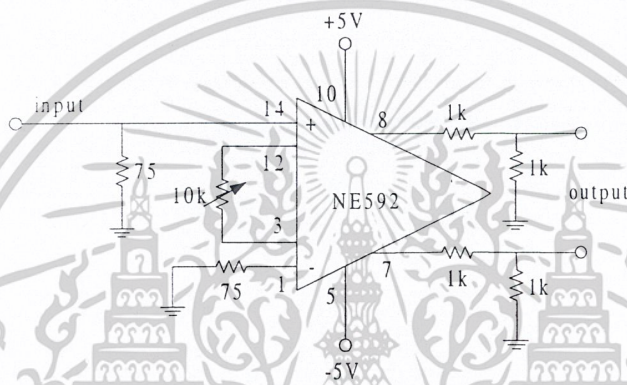
วงจรที่นำมาใช้งานในโครงการนี้ได้แก่

- 3.1 วงจรขยายความแตกต่างของสัญญาณเสียง
- 3.2 วงจรในการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน RS 232
- 3.3 วงจรมอดูเลท
- 3.4 วงจรขับแสง
- 3.5 วงจรรับแสง
- 3.6 วงจรขยายสัญญาณ
- 3.7 วงจรกรองความถี่
- 3.7 วงจรดีมอดูเลท
- 3.9 วงจรขยายสัญญาณเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 วงจรขยายความแตกต่างของสัญญาณเสียง

ในโครงงานนี้ใช้ IC#NE592 ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายความแตกต่างของสัญญาณเสียง ซึ่งคุณสมบัติตาม data sheet คือ มีความสามารถในการขยายสัญญาณสูงคือขยายสัญญาณได้ถึง 400 เท่า โดยแสดงการต่อใช้งานดังรูปที่ 3.2 ซึ่งสัญญาณอินพุทของเสียงมีความถี่ 20Hz-20kHz จะต่อกับขา 14 สัญญาณเอาต์พุทจะออกที่ขา 7 กับขา 8 โดยจะมีขนาดของสัญญาณที่เท่ากันแต่จะมีเฟสที่ตรงกันข้ามกัน การปรับอัตราขยายสามารถทำได้ด้วยตัวต้านทานปรับค่าที่ต่ออยู่ระหว่างขา 3 กับขา 12

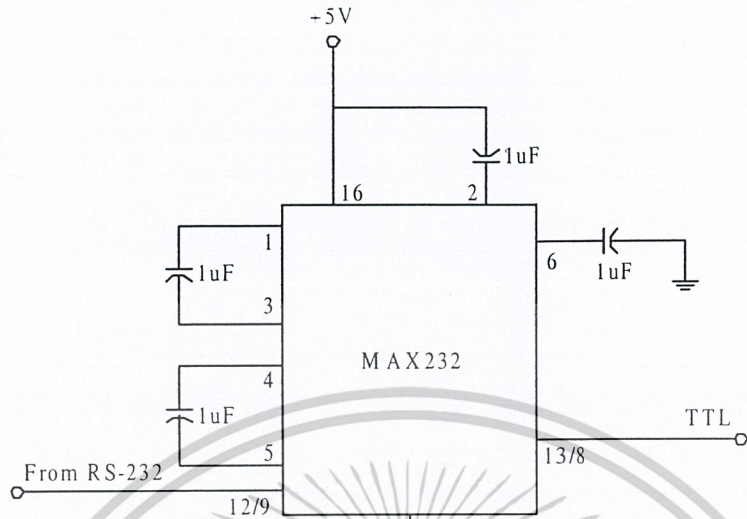


รูปที่ 3.2 แสดงการต่อวงจรขยายสัญญาณเสียง

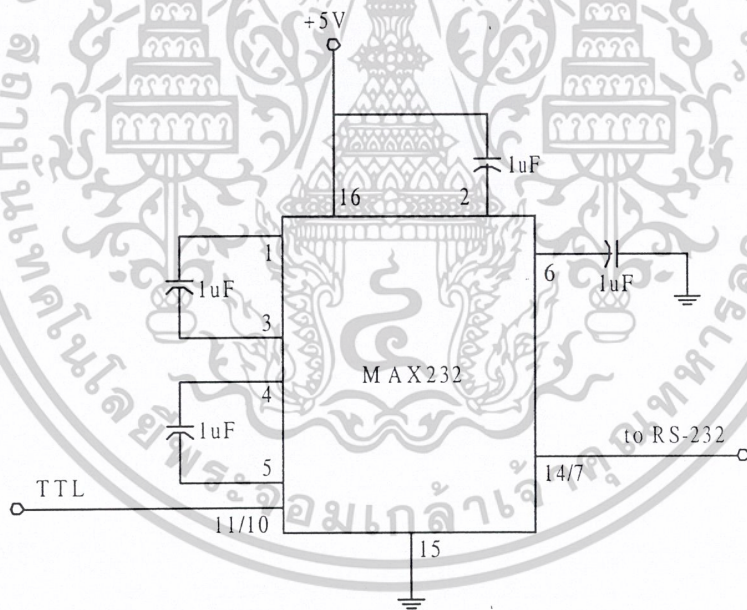
3.2 วงจรในการติดต่อคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม RS 232

มาตรฐานการสื่อสารข้อมูลของพอร์ตอนุกรม ได้ระบุช่วงระดับแรงดันสำหรับการทำงานของพอร์ตอนุกรมไว้ว่า ที่ลอจิก “0” จะมีระดับสัญญาณ +3V ถึง +15V ส่วนลอจิก “1” จะมีระดับสัญญาณ -3V ถึง -15V ด้วยระดับสัญญาณเหล่านี้ทำให้ไม่สามารถที่จะนำเอาขาเอาต์พุทใดๆ ต่อเข้ากับลอจิกเกตเพื่อใช้งานได้โดยตรง จะต้องผ่านวงจรเพื่อเปลี่ยนระดับแรงดันเสียก่อน โดยปกติจะใช้ไอซีจำพวก RS 232 ที่นิยมมากที่สุดคือ MAX232 หรือ ICL232 โครงงานนี้เลือกใช้ IC#MAX232 ในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อการส่ง-รับข้อมูล โดยวงจรนี้จะทำหน้าที่แปลงระดับสัญญาณที่ออกจากคอมพิวเตอร์ให้เป็นระดับสัญญาณ TTL โดยลอจิก “0” เดิมจะมีระดับสัญญาณ +3V ถึง +15V จะถูกแปลงเป็น 0V ส่วนส่วนลอจิก “1” เดิมจะมีระดับสัญญาณ -3V ถึง -15V จะถูกแปลงเป็น +5V ทั้งนี้ก็เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ระดับแรงดัน TTL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงการต่อ IC#MAX232 เพื่อแปลงระดับสัญญาณจากคอมพิวเตอรืเป็นระดับสัญญาณ TTL



รูปที่ 3.4 แสดงการต่อ IC#MAX232 เพื่อแปลงระดับสัญญาณ TTL เป็นระดับสัญญาณคอมพิวเตอรื

3.3 วงจรมอดูเลต

ในโครงงานนี้มี 2 ชนิดคือ

- 1) FM MODULATOR
- 2) FSK MODULATOR

1) FM MODULATOR ในโครงงานนี้ใช้ IC#NE564 ทำหน้าที่เป็นวงจรมอดูเลตทางความถี่ (FM) ซึ่งทำงานแบบฟอสล็อกคูล โดยภายในตัวไอซีจะประกอบไปด้วยส่วนของวงจร VCO (Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Controlled Oscillator), LIMITER และ PHASE COMPARATOR (สามารถดูได้จาก data sheet) กล่าวคือ จะอาศัยวงจร VCO มาทำการมอดูเลทแบบ FM ซึ่งสามารถสร้างความถี่สัญญาณพาห้ได้สูงถึง 50 MHz ในขณะที่ยังไม่มีการป้อนสัญญาณเบสแบนด์ใดๆ วงจรเปรียบเทียบเฟสจะยังคงไม่มีการเปรียบเทียบใดๆ เฟส ล็อกจะทำงานอย่างอิสระ และในส่วนของ VCO จะทำหน้าที่ผลิตความถี่ฟรีรันนิ่งออกมาซึ่งความถี่ที่ ใด้นี้สามารถกำหนดได้จากค่าตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่ระหว่างขาที่ 12 กับขาที่ 13 ของตัวไอซี ในโครงการนี้ ใด้กำหนดคสัญญาณพาห้ไว้สำหรับการมอดูเลทแบบ FM คือ 5.5 MHz โดยสามารถวัดได้ที่ขา 9 ของไอซี ซึ่งเป็นขาเอาต์พุทของวงจรด้วย และที่ขา 2 ของไอซีจะเป็นตัวปรับกระแสไบแอสให้กับวงจร สำหรับการ ต่อใช้งานแสดงดังรูปที่ 3.5 ส่วนค่าและอุปกรณ์ที่ต่อร่วมกับตัวไอซีสามารถดูได้จาก data sheet

การคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่ระหว่างขาที่ 12 กับขาที่ 13 ของ IC # NE564 เพื่อกำหนด ความถี่ฟรีรันนิ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

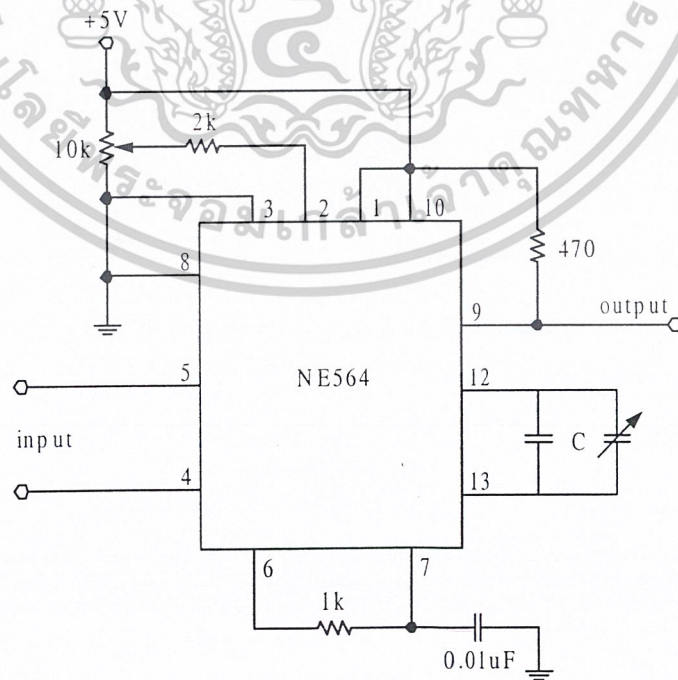
$$C_o = \frac{1}{2200 \cdot f_c}$$

โดย f_c คือค่าความถี่ที่ต้องการ

ดังนั้นที่ความถี่ 5.5 MHz จะใด้

$$C_o = \frac{1}{2200 \times 5.5 \times 10^6}$$

$$C_o \approx 82.64 \text{ pF}$$



รูปที่ 3.5 แสดงการต่อวงจร FM MODULATOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) FSK MODULATOR ในโครงงานนี้ใช้ IC # NE564 ทำหน้าที่เป็นวงจรมอดูเลท FSK ซึ่งการทำงานก็เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับวงจรมอดูเลททางความถี่ แต่การต่อใช้งานแตกต่างกัน ในส่วนของ FSK กำหนดหนดให้มีสัญญาณพหุมีค่า 10.7 MHz สำหรับการต่อใช้งานแสดงดังรูปที่ 3.6

การคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่ระหว่างขาที่ 12 กับขาที่ 13 ของ IC # NE564 เพื่อกำหนดความถี่ฟรีรันนิ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

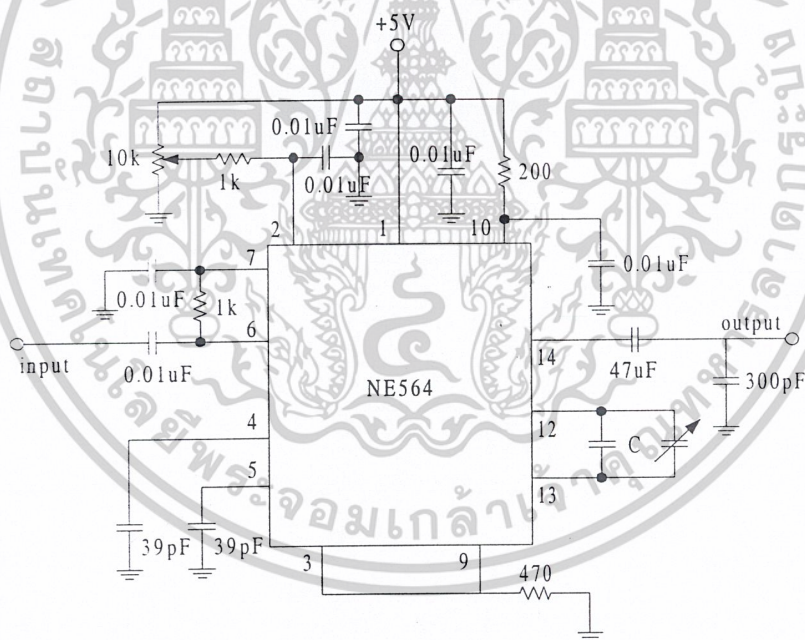
$$C_o = \frac{1}{2200 f_c}$$

โดย f_c คือค่าความถี่ที่ต้องการ

ดังนั้นที่ความถี่ 10.7 MHz จะได้

$$C_o = \frac{1}{2200 \times 10.7 \times 10^6}$$

$$C_o \approx 42.48 \text{ pF}$$



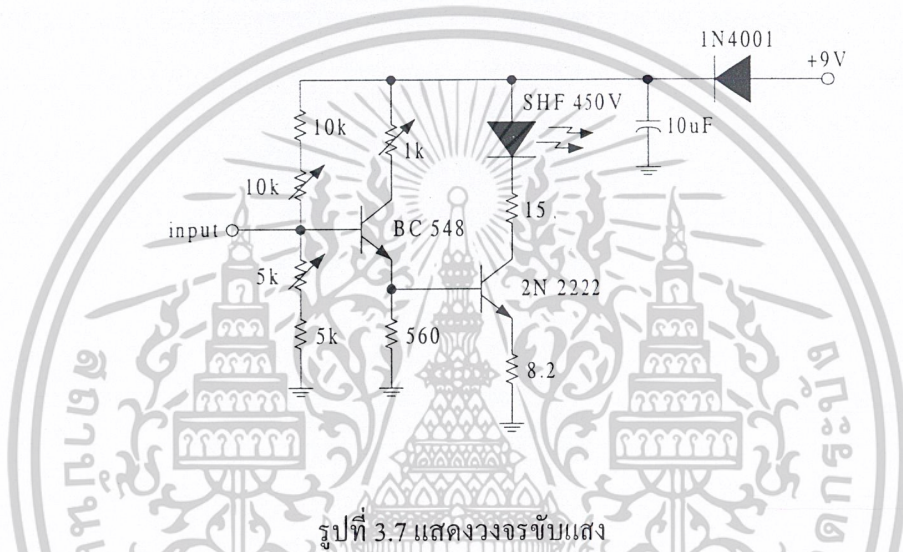
รูปที่ 3.6 แสดงการต่อวงจร FSK MODULATOR

ซึ่งค่าตัวเก็บประจุที่มีขายตามท้องตลาดไม่มีตามที่คำนวณ ได้จึงใช้ตัวเก็บประจุที่ปรับค่าได้มาต่อขนานกับค่าเก็บประจุที่มีขายตามท้องตลาดเพื่อปรับค่าให้ได้ความถี่ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรขับแสง

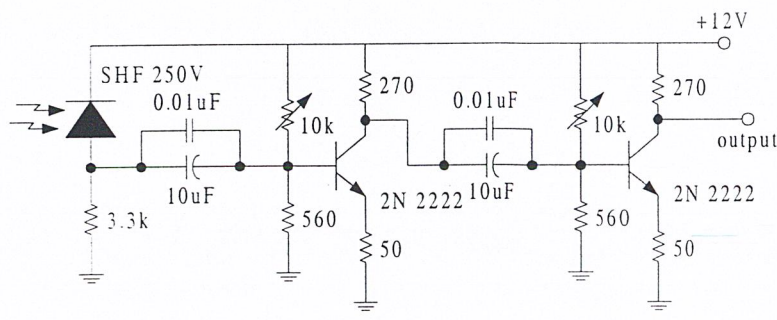
ในโครงงานนี้เลือกใช้ SFH 450V ของ SIEMENS ซึ่งเป็น LED ในการขับแสง โดยมีคุณสมบัติคือ กระแส 10 mA - 130 mA, Spectral bandwidth 55 nm, Peak wavelength 950 nm และใช้กับเส้นใยแก้วนำแสงชนิด Multimode แสดงการต่อใช้งานดังรูปที่ 3.7 โดยความต้านทานปรับค่า 10k ใช้สำหรับปรับกระแสที่ใช้ไบแอสให้กับตัว LED ส่วนความต้านทานปรับค่า 10k และ 5k ใช้สำหรับปรับให้วงจรมีทำงานเป็นแบบวงจรขยาย Class A เพื่อให้มีความผิดเพี้ยนของสัญญาณน้อยที่สุด



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรขับแสง

3.5 วงจรรับแสง

ในโครงงานนี้เลือกใช้ SFH 250V ของ SIEMENS ในการรับแสง โดยมีคุณสมบัติคือ Reverse Voltage 30 V, Power Dissipation 100 mW, Maximum photosensitivity wavelength 850 nm แสดงการต่อใช้งานดังรูปที่ 3.8 โดยความต้านทานปรับค่า 10k ทั้งสองตัวใช้ในการปรับลักษณะของสัญญาณที่รับได้ รวมถึงอัตราการขยายเพื่อให้สัญญาณมีขนาดที่ใหญ่มากขึ้น เพราะว่าสัญญาณที่ได้จากตัวรับแสงจะมีขนาดที่เล็กมาก

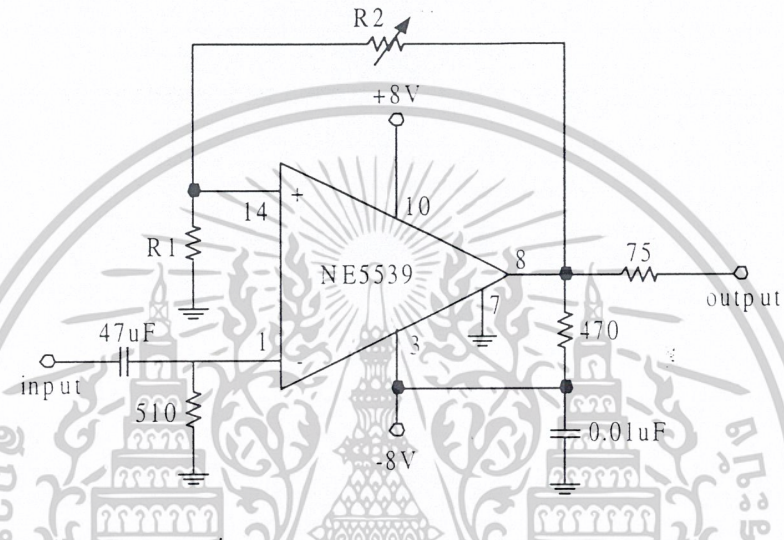


รูปที่ 3.8 แสดงวงจรรับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วงจรขยายสัญญาณ

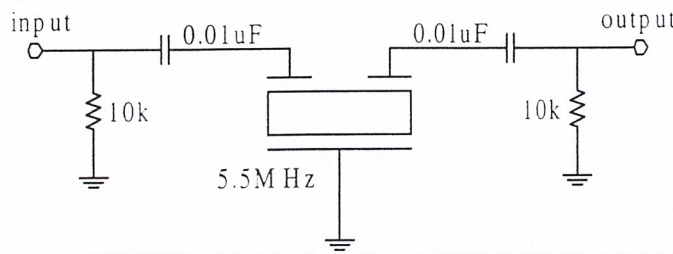
สัญญาณที่ได้มาจากภาครับแสงนั้นยังขนาดของสัญญาณที่น้อย จึงต้องทำการขยายก่อนที่จะไปผ่านการกรองความถี่ โดยในโครงงานนี้เลือกใช้ IC # NE5539 ซึ่งมีแบนด์วิดท์ที่กว้างประมาณ 350 MHz นำมาต่อแบบ Non-Inverting ซึ่งอัตราขยายกำหนดโดยค่าความต้านทาน R_1 กับ R_2 โดยให้ความความต้านทาน R_2 สามารถปรับค่าอัตราขยายได้



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรขยายสัญญาณ

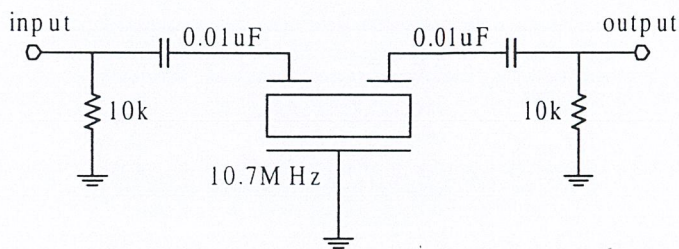
3.7 วงจรกรองความถี่

ในโครงงานนี้เลือกใช้เซรามิกฟิลเตอร์มาทำเป็นวงจรกรองความถี่ โดยเลือกตัวเซรามิกฟิลเตอร์ค่า 5.5 MHz สำหรับกรองความถี่สัญญาณ FM ซึ่งเป็นสัญญาณที่มอดูเลทเสียง และเลือกตัวเซรามิกฟิลเตอร์ค่า 10.7 MHz สำหรับกรองความถี่สัญญาณ FSK ซึ่งเป็นสัญญาณที่มอดูเลทข้อมูล โดยหลักการทำงานของเซรามิกฟิลเตอร์ จะทำงานเหมือนกับวงจรเรโซแนนซ์แบบขนาน คือจะเป็นตัวกำหนดความถี่ผ่านตัวมัน ซึ่งจะเป็นเพียงความถี่เดียวกันกับความถี่ที่ตัวเซรามิกฟิลเตอร์ การตอบสนองนั้นขึ้นอยู่กับการผลิตผลึกแร่ให้ตอบสนองความถี่เท่าใด ดังนั้นความถี่ต่างๆ ที่ถูกป้อนเข้ามาจะผ่านตัวเซรามิกฟิลเตอร์ได้เพียงความถี่เดียว ส่วนความถี่อื่นๆ ที่ไม่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์จะถูกกำจัดทิ้งไป



รูปที่ 3.10 แสดงวงจรกรองความถี่สัญญาณ FM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงวงจรกรองความถี่สัญญาณ FSK

3.8 วงจรดีมอดูเลท

ในโครงงานนี้มี 2 ชนิดคือ

- 1) FM DEMODULATOR
- 2) FSK DEMODULATOR

ในโครงงานนี้เลือกใช้ IC # NE564 เป็นตัวดีมอดูเลททั้งสองแบบเพราะใช้หลักการเหมือนกันแต่มีการต่อใช้งานที่แตกต่างกันนิดหน่อย การทำงานภายในของไอซีมีลักษณะเป็นเฟสล็อกกลูป สัญญาณที่ถูกมอดูเลทจะถูกส่งเข้าไปในส่วนของ Phase Comparator ทำการเปรียบเทียบเฟสและความถี่ของสัญญาณที่เข้ามา โดยความถี่ที่ถูกนำมาเปรียบเทียบได้จากส่วนของ VCO ซึ่งความถี่นี้สามารถกำหนดได้จากค่าตัวเก็บประจุที่ต่อระหว่างขา 12 กับขา 13 ของ ไอซี ส่วนตัวเก็บประจุที่ต่อกับขา 4 และขา 5 จะทำงานเป็นลูปฟิลเตอร์กรองความถี่สูง แรงดันที่แตกต่างจะถูกส่งไปควบคุม VCO ให้เปลี่ยนแปลงความถี่จากค่าความถี่กลางให้เท่ากับความถี่อินพุตที่เข้ามา โดยค่าตัวเก็บประจุที่ต่อระหว่างขา 12 และขา 13 ของไอซีสามารถคำนวณหาได้จากสูตร

$$C_o = \frac{1}{2200 f_c}$$

ดังนั้นที่ความถี่ 5.5 MHz จะได้

$$C_o = \frac{1}{2200 \times 5.5 \times 10^6}$$

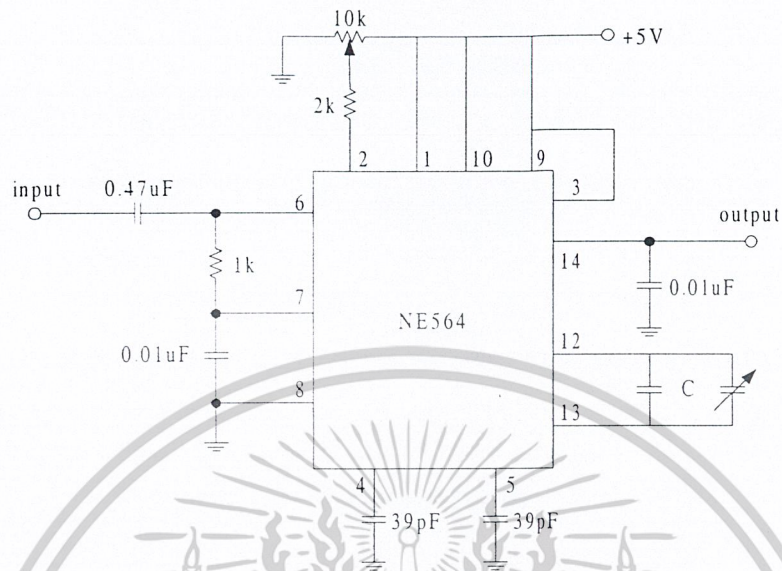
$$C_o \approx 82.64 pF$$

ดังนั้นที่ความถี่ 10.7 MHz จะได้

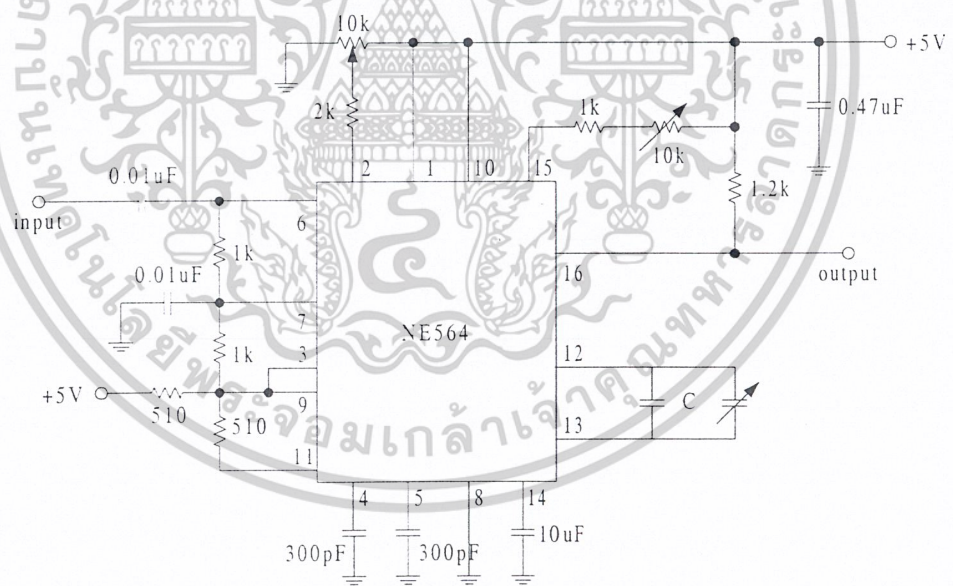
$$C_o = \frac{1}{2200 \times 10.7 \times 10^6}$$

$$C_o \approx 42.48 pF$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12. แสดงวงจร FM DEMODULATOR

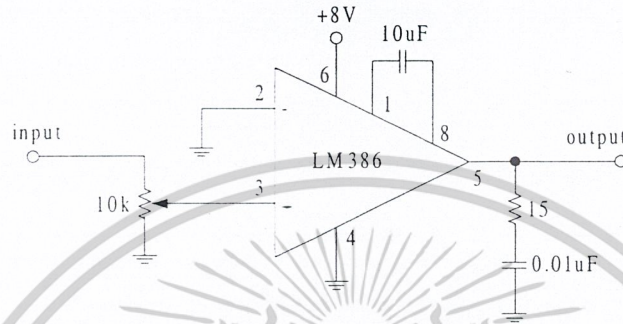


รูปที่ 3.13 แสดงวงจร FSK DEMODULATOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

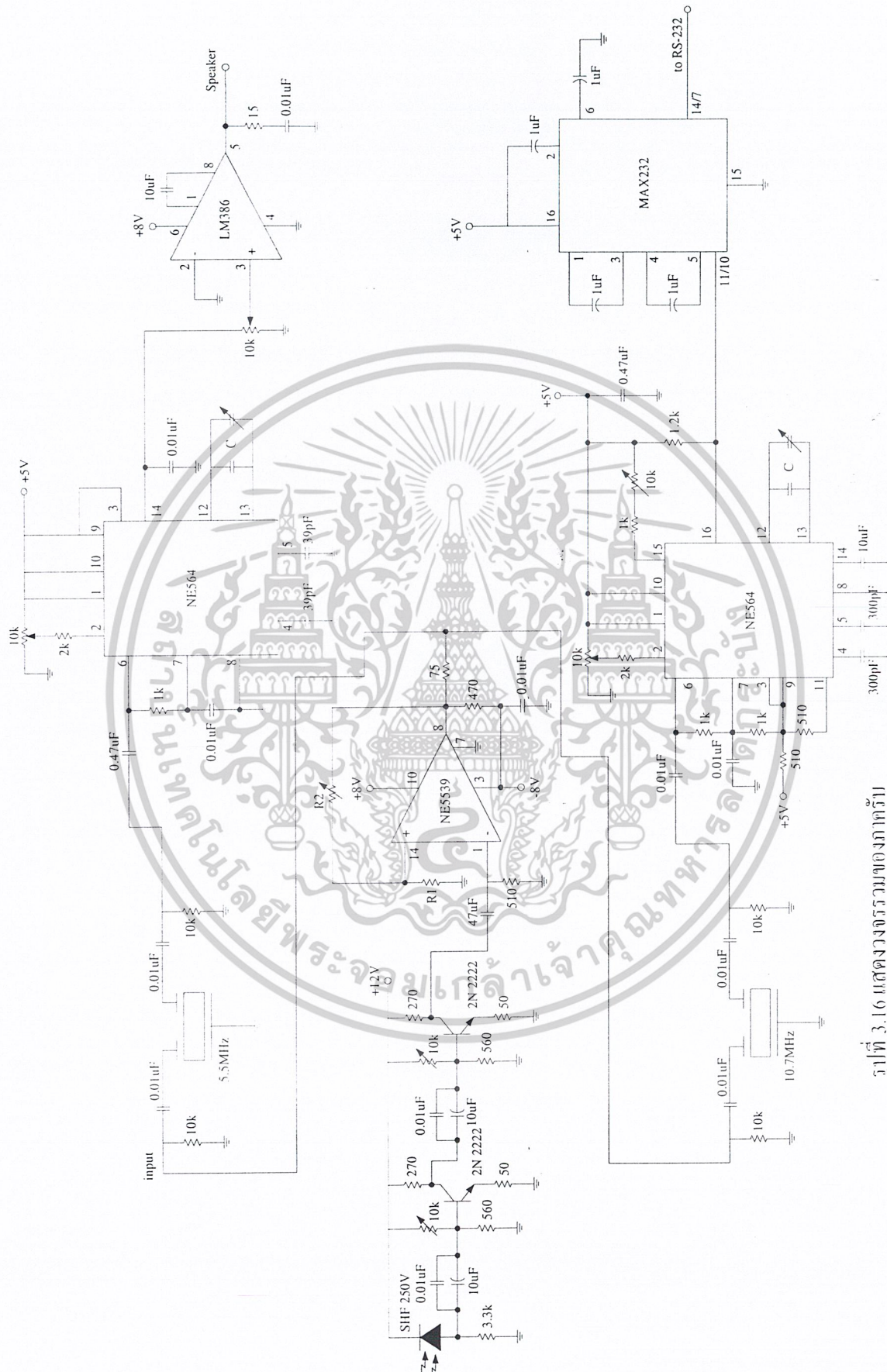
3.9 วงจรขยายสัญญาณเสียง

ในโครงการนี้เลือกใช้ IC # LM386 มาต่อเป็นวงจรขยายสัญญาณเสียง โดยอัตราขยายสามารถกำหนดได้จากค่าตัวเก็บประจุที่ต่อระหว่างขา 1 กับขา 8



รูปที่ 3.14 แสดงวงจรขยายสัญญาณเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงวงจรรวมของภาครีซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

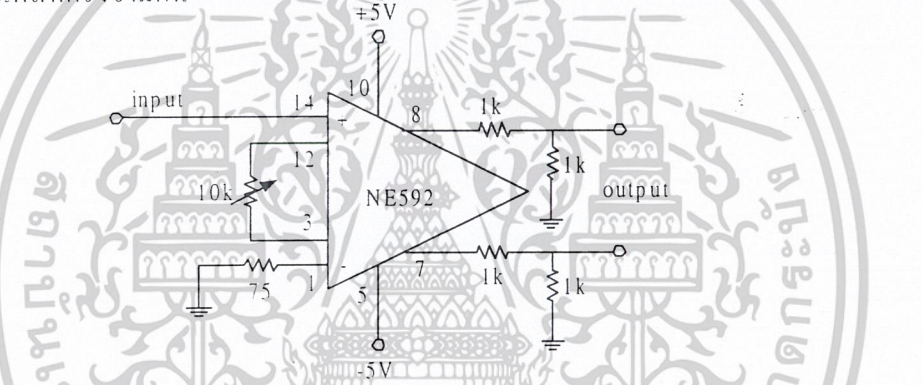
บทที่ 4

การทดลองและผลหารทดลอง

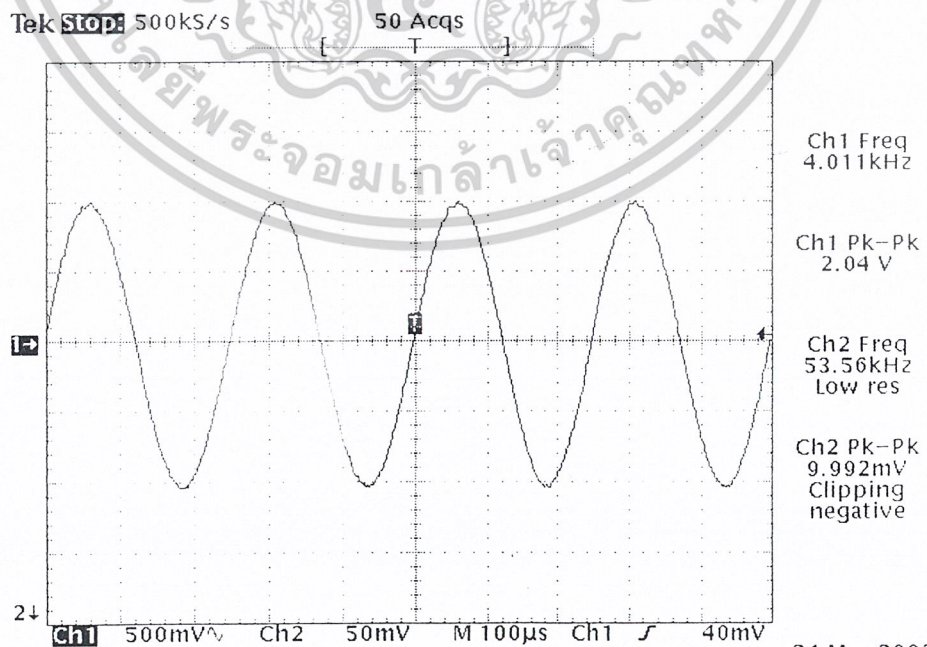
ในการทดลองได้ทำการทดลองเพื่อเก็บผลการทำงานของแต่ละวงจรก่อน เพื่อจะได้ทราบการทำงานของแต่ละส่วนก่อนที่จะนำมารวมกันเป็นภาคส่ง และภาครับ และทำการทดสอบระบบต่อไป

4.1 วงจรขยายความแตกต่างของสัญญาณเสียง

ทำการต่อวงจรตามรูปที่ 4.1 และทำการป้อน input เป็นสัญญาณ sine wave 4 kHz เพื่อทดสอบแล้ววัดสัญญาณ output 2 จุด ซึ่งสัญญาณ output แต่ละจุดจะต้องมีความถี่และแอมพลิจูดของสัญญาณที่เท่ากันแต่จะมีเฟสที่ตรงข้ามกัน

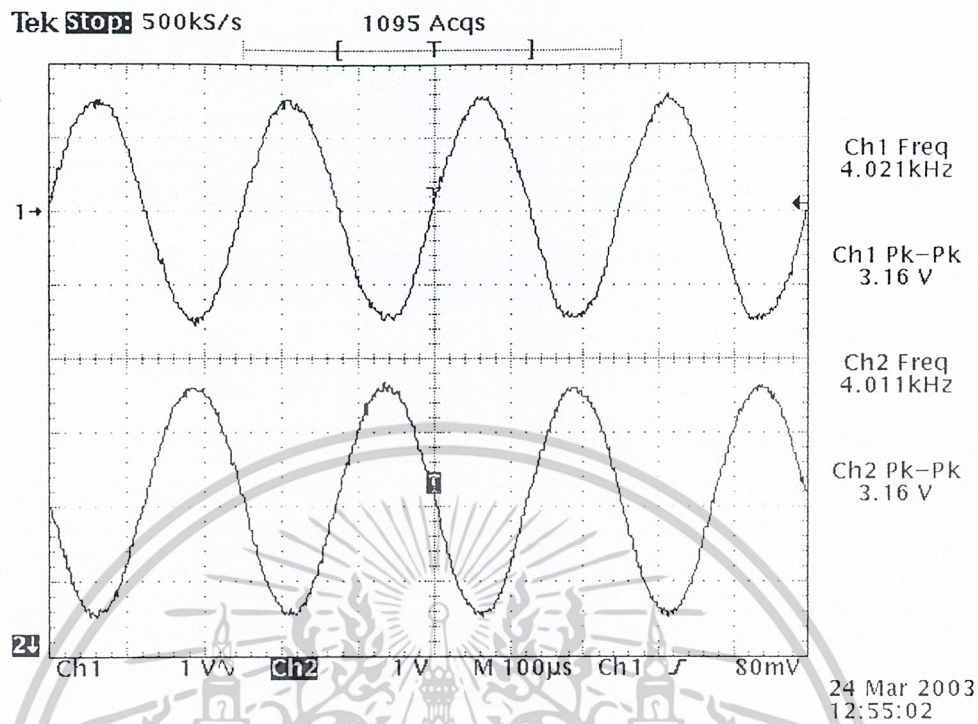


รูปที่ 4.1 แสดงวงจรขยายความแตกต่างของสัญญาณเสียง



24 Mar 2003
12:49:49

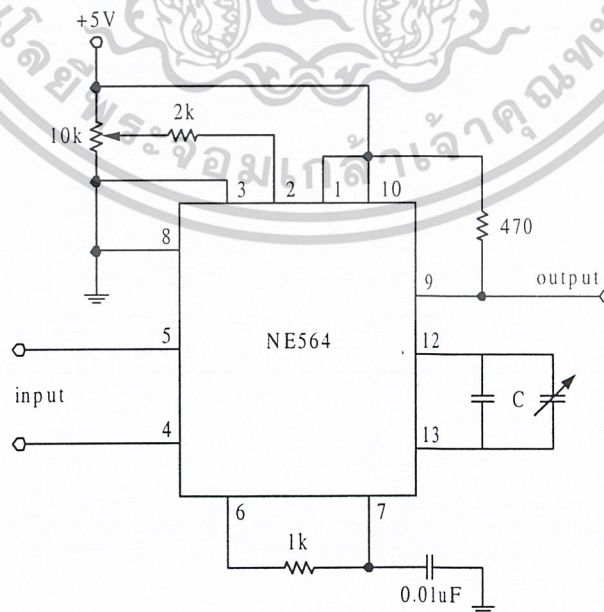
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยผู้จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มีข้อสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณ output ของวงจรขยายความแตกต่างของสัญญาณเสียงเมื่อป้อน sine wave 4 kHz

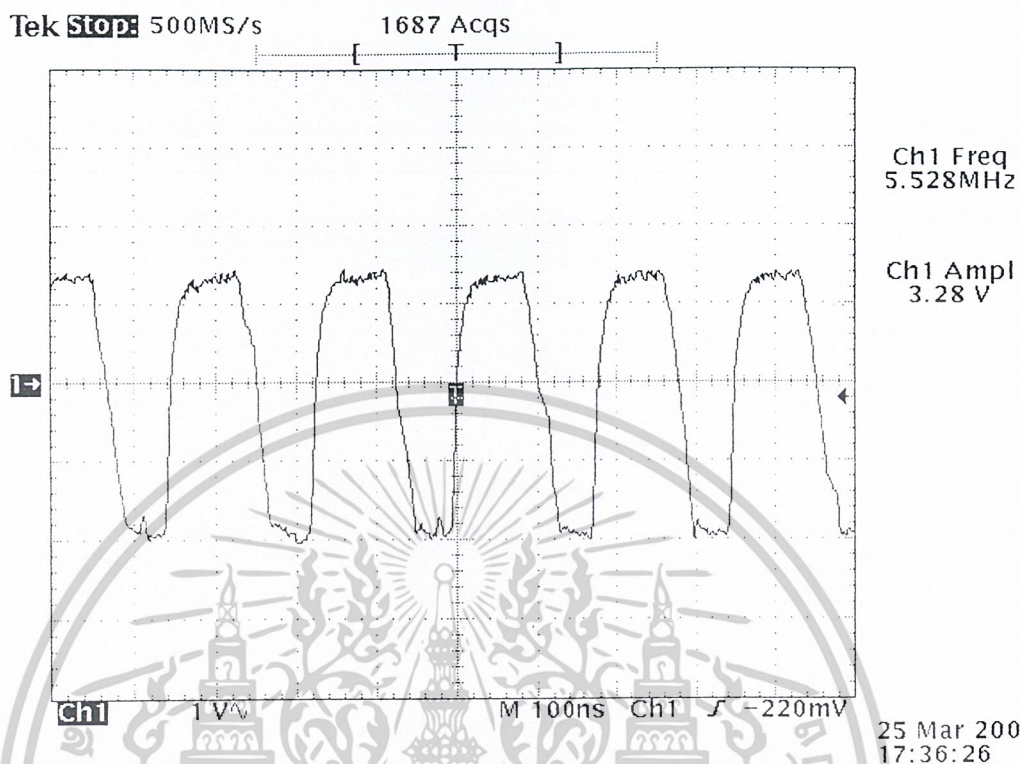
4.2 วงจร FM MODULATOR

ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 4.4 แล้วปรับค่า C ที่ขา 12 กับ 13 เพื่อให้ได้ความถี่กลาง แล้วปรับค่าความต้านทาน 10k เพื่อปรับแต่งรูปคลื่น จากนั้นเอาสัญญาณ output ของวงจรขยายความแตกต่างของสัญญาณเสียงจากวงจรตามรูปที่ 4.1 มาป้อนเป็น input ให้กับวงจร FM MODULATOR แล้ววัดสัญญาณ output

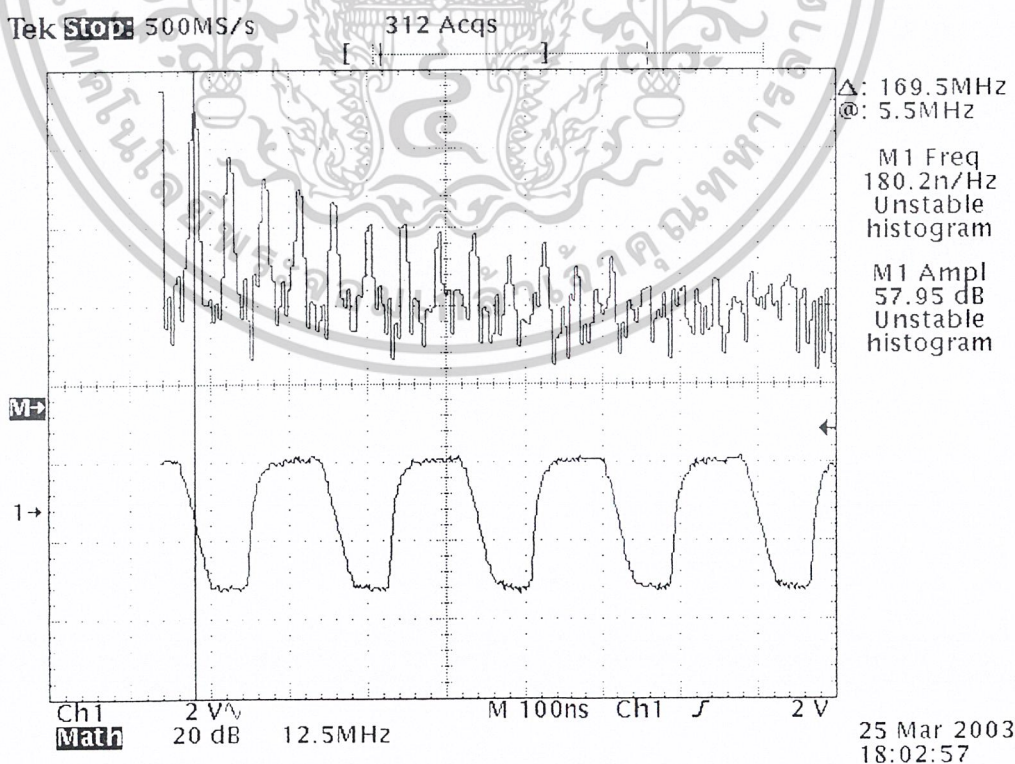


รูปที่ 4.4 แสดงวงจร FM MODULATOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณความถี่กลาง 5.5 MHz ของวงจร FM MODULATOR



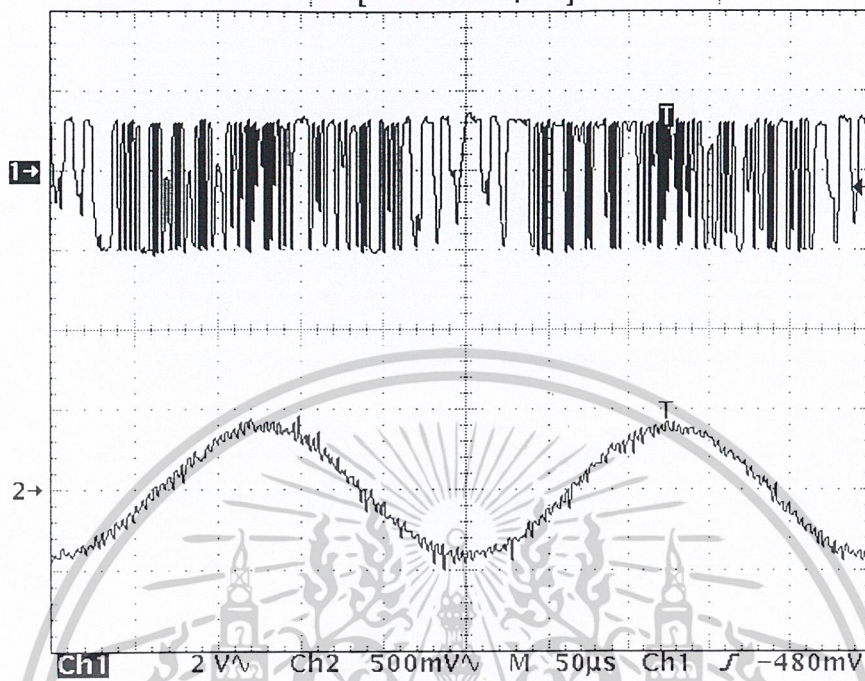
รูปที่ 4.6 แสดงสเปกตรัมสัญญาณความถี่กลาง 5.5 MHz ของวงจร FM MODULATOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tek Stop: 1MS/s

93 Acqs



Ch1 Freq
483.6kHz
Low res

Ch1 Ampl
3.2 V

Ch2 Freq
4.01kHz
Low signal
amplitude

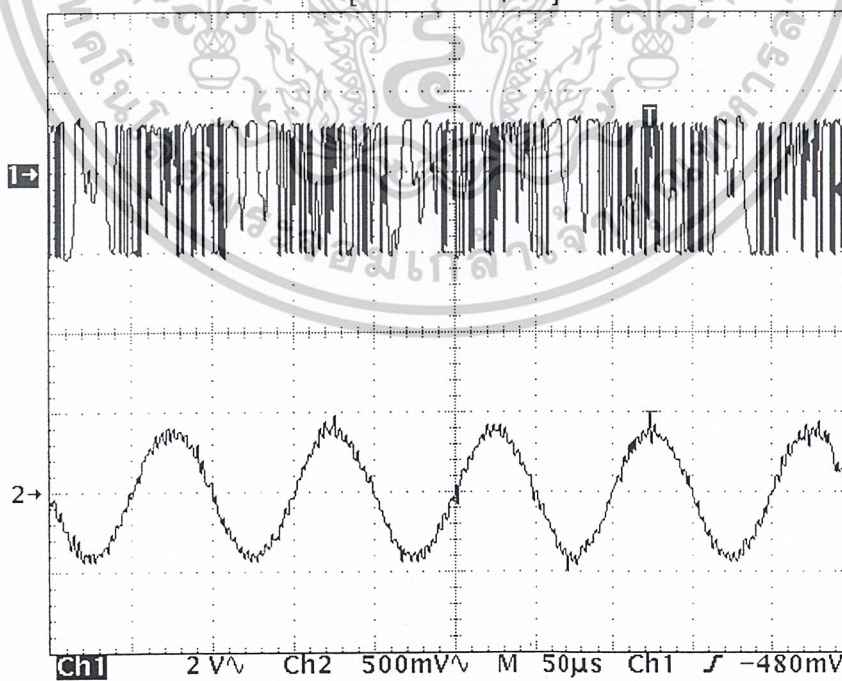
Ch2 Ampl
740mV

2 Apr 2003
12:28:17

รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณ FM เมื่อป้อน sine wave 4 kHz

Tek Stop: 1MS/s

38 Acqs



Ch1 Freq
434.9kHz
Low res

Ch1 Ampl
3.2 V

Ch2 Freq
10.07kHz
Low signal
amplitude

Ch2 Ampl
720mV

2 Apr 2003
12:30:00

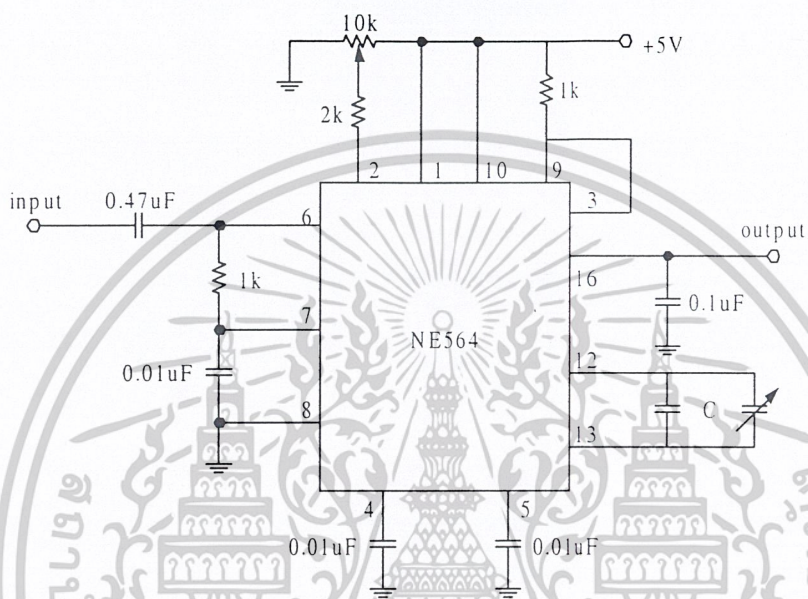
รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณ FM เมื่อป้อน sine wave 10 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วงจร FM DEMODULATOR

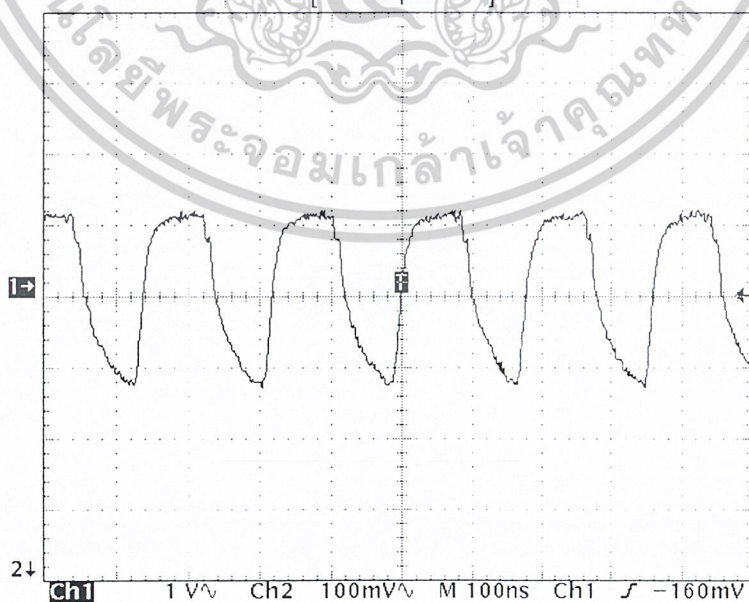
ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 4.10 แล้วปรับค่า C ที่ขา 12 กับ 13 เพื่อให้ได้ความถี่กลาง แล้วปรับค่าความต้านทาน 10k เพื่อปรับแต่งรูปคลื่น จากนั้นเอาสัญญาณ output ของวงจรวจร FM MODULATOR จากวงจรตามรูปที่ 4.4 มาป้อนเป็น input ให้กับวงจรวจร FM DEMODULATOR แล้ววัดสัญญาณ output



รูปที่ 4.10 แสดงวงจรวจร FM DEMODULATOR

Tek Stop: 500MS/s

32 Acqs



Ch1 Freq
5.51MHz

Ch1 Ampl
2.32 V

Ch2 Freq
∞ Hz
No ref
crossing

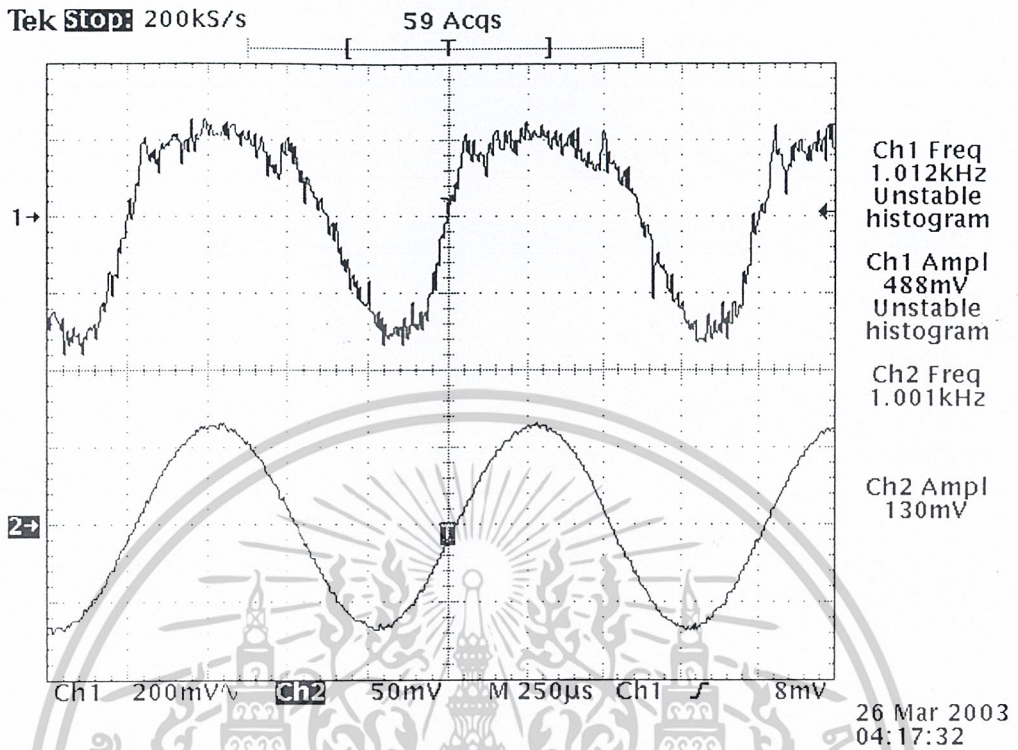
Ch2 Ampl
0 V

2 Apr 2003
12:36:11

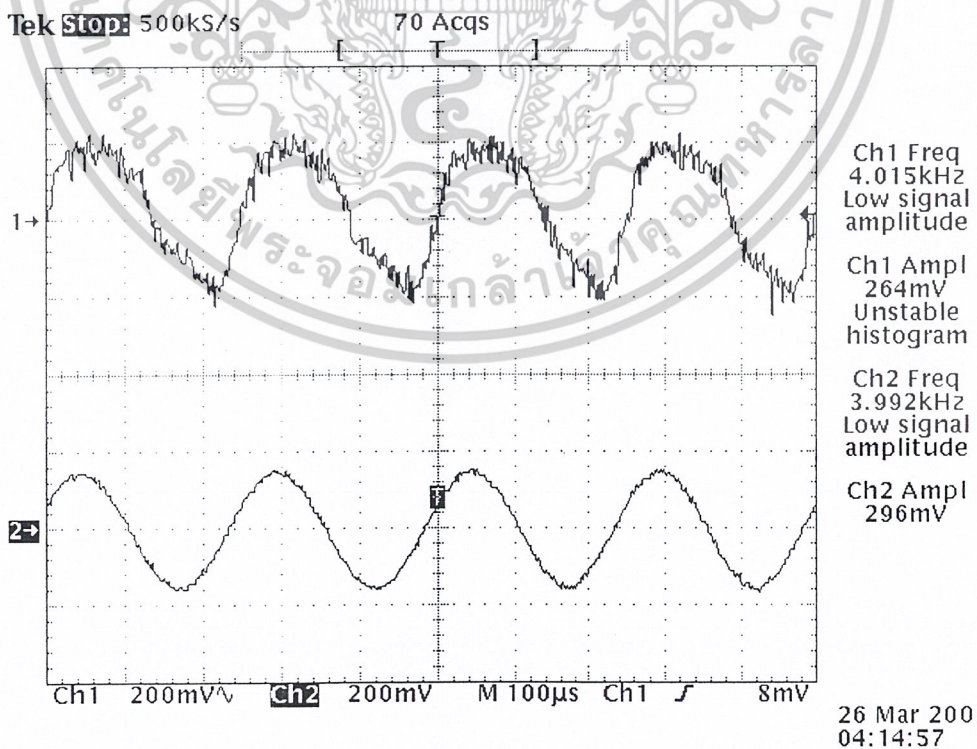
รูปที่ 4.11 แสดงสเปกตรัมสัญญาณความถี่กลาง 5.5 MHz ของวงจรวจร FM MODULATOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



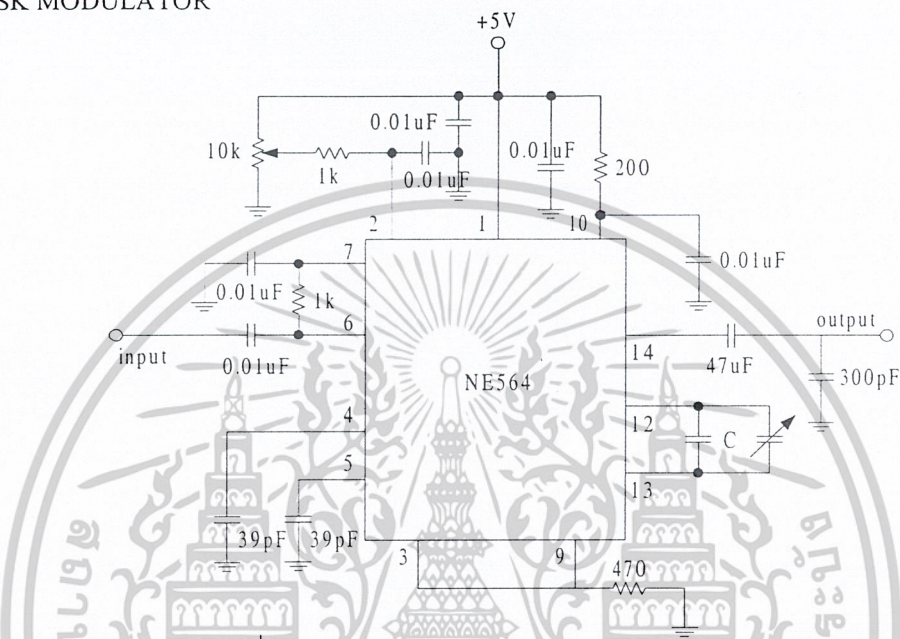
รูปที่ 4.12 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจร FM DEMODULATOR (ch1) เปรียบเทียบกับสัญญาณ sine wave 1 kHz (ch2) ที่ป้อนให้กับวงจร ขยายความแตกต่างของสัญญาณเสียง



รูปที่ 4.13 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจร FM DEMODULATOR (ch1) เปรียบเทียบกับสัญญาณ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับองค์กรที่ขอใช้เอกสารนี้จากศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อใช้ในการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
sine wave 4 kHz (ch2) ที่ป้อนให้กับวงจร ขยายความแตกต่างของสัญญาณเสียง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 วงจร FSK MODULATOR

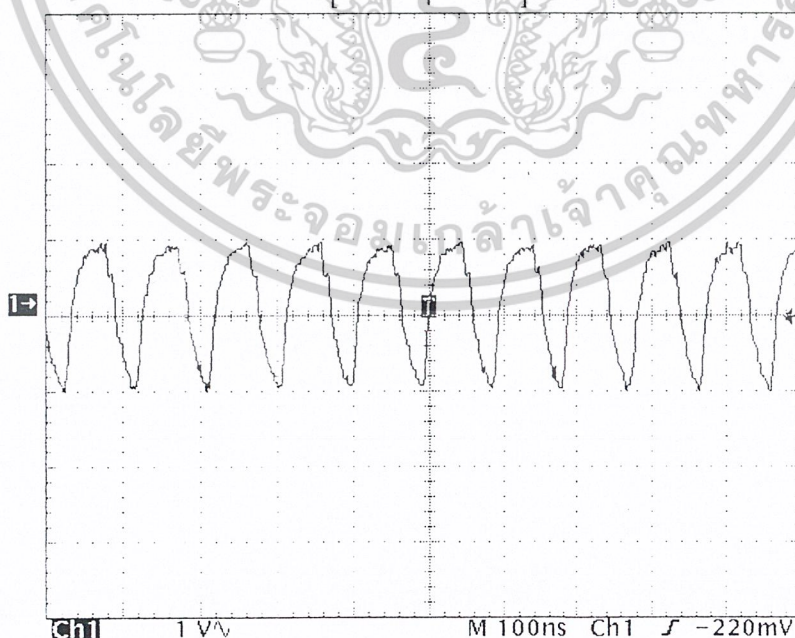
ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 4.14 แล้วปรับค่า C ที่ขา 12 กับ 13 เพื่อให้ได้ความถี่กลาง แล้วปรับค่าความต้านทาน 10k เพื่อปรับแต่งรูปคลื่น จากนั้นเอาสัญญาณจาก function generator มาป้อนเป็น input ให้กับวงจร FSK MODULATOR



รูปที่ 4.14 แสดงวงจร FSK MODULATOR

Tek Stop: 500MS/s

80 Acqs



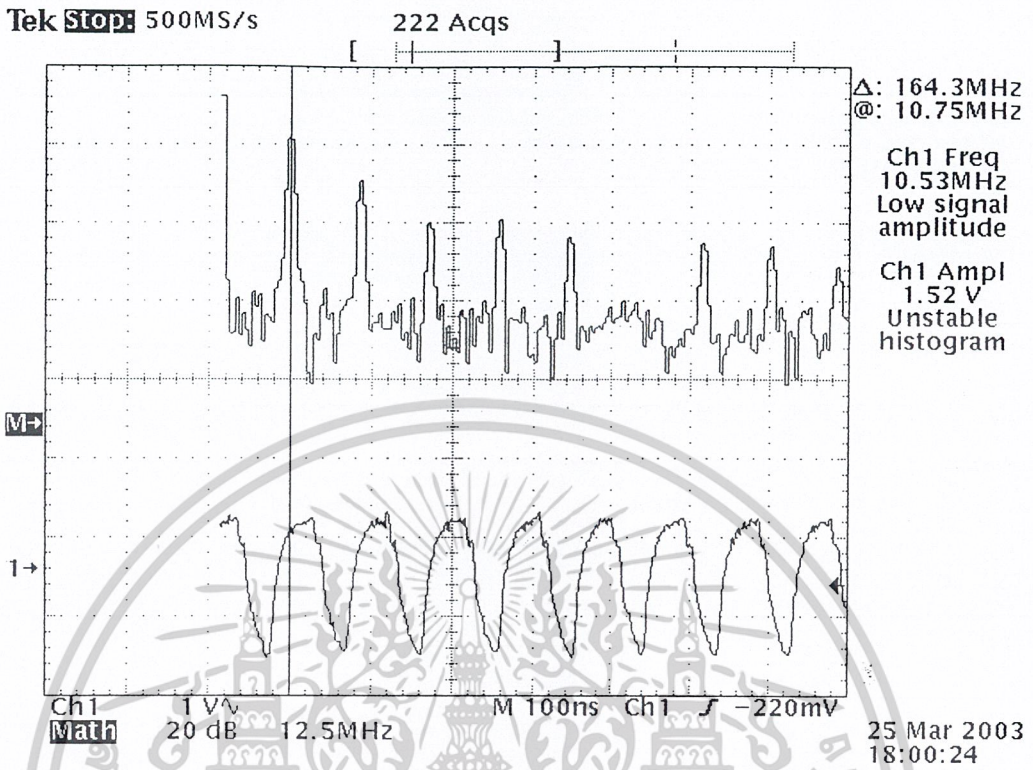
Ch1 Freq
10.78MHz
Low signal
amplitude

Ch1 Ampl
1.8 V
Unstable
histogram

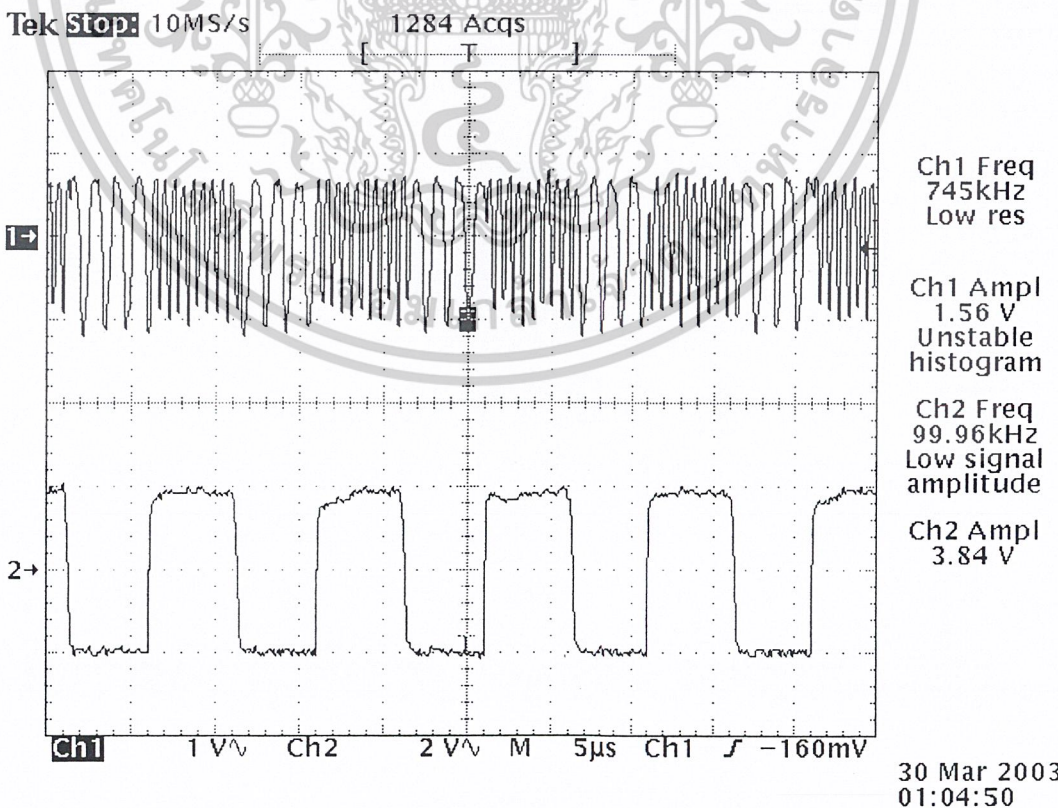
25 Mar 2003
17:48:57

รูปที่ 4.15 แสดงสัญญาณความถี่กลาง 10.7 MHz ของวงจร FSK MODULATOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

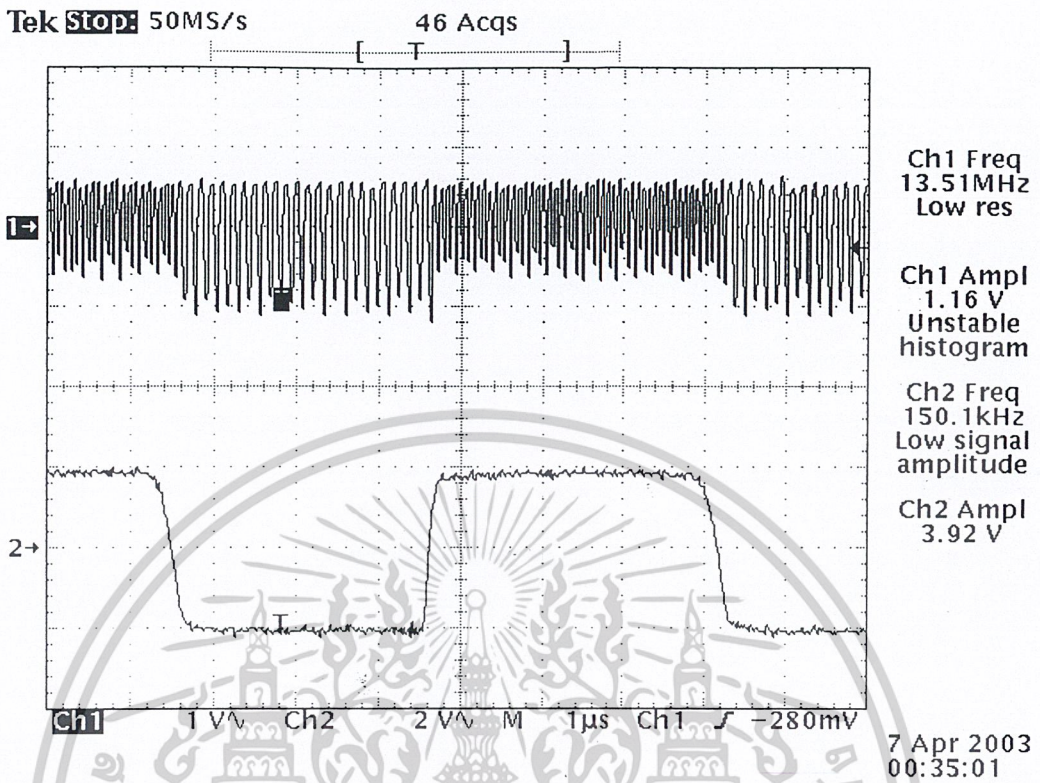


รูปที่ 4.16 แสดงสเปกตรัมสัญญาณความถี่กลาง 10.7 MHz ของวงจร FSK MODULATOR

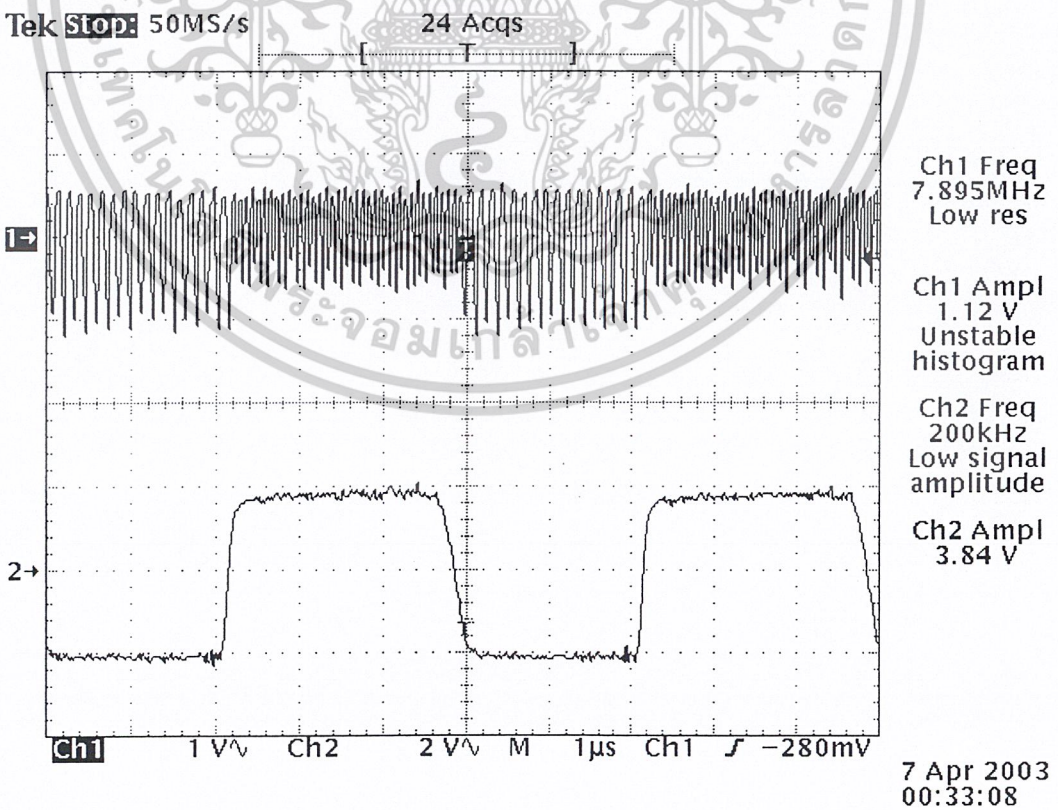


เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



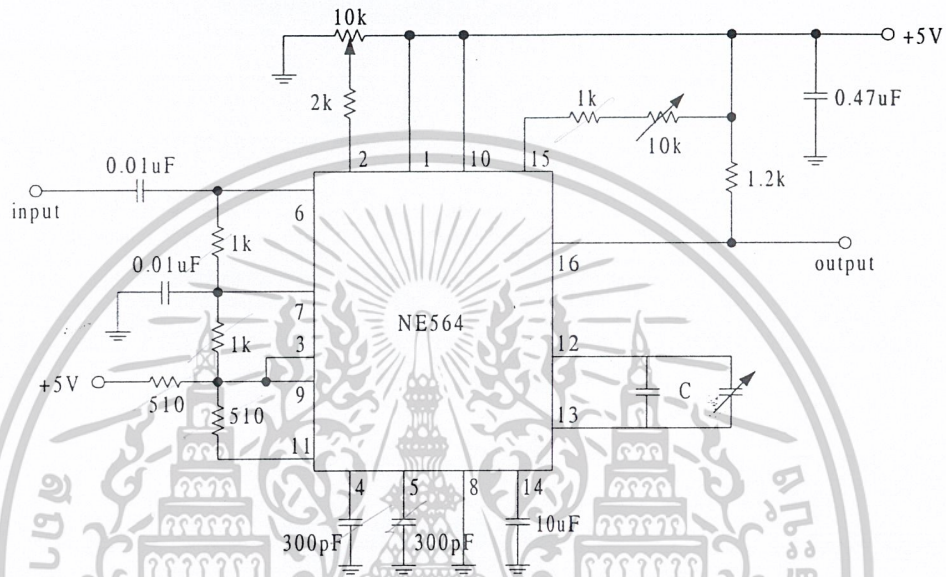
รูปที่ 4.18 แสดงสัญญาณ FSK เมื่อป้อนสัญญาณ square wave 150 kHz เป็นสัญญาณ input



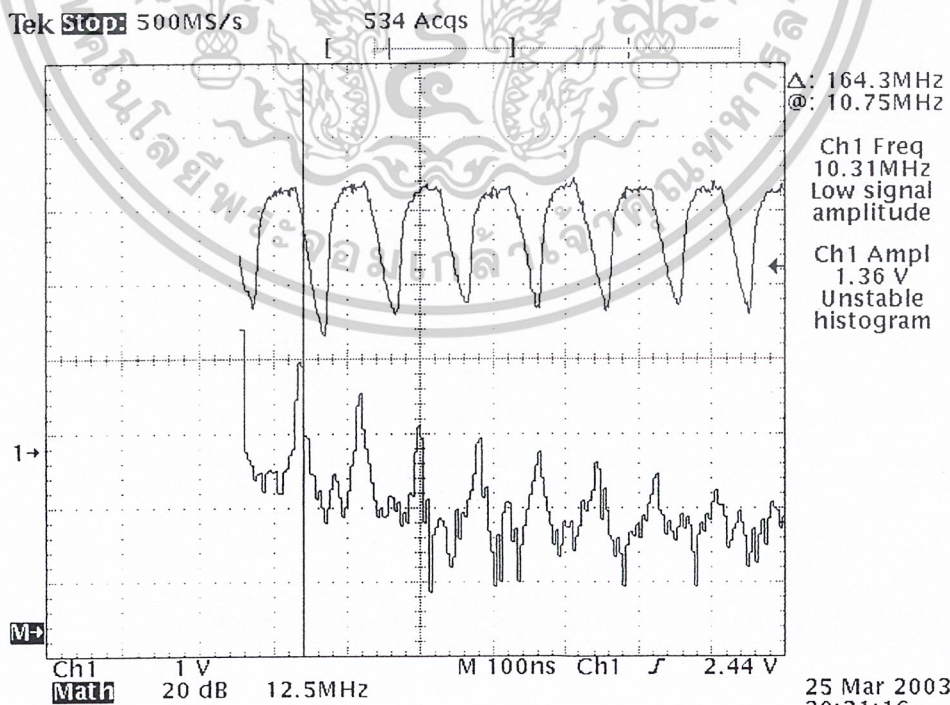
เอกสารนี้เป็รูปที่ 4.19 แสดงสัญญาณ FSK เมื่อป้อนสัญญาณ square wave 200 kHz เป็นสัญญาณ input น้ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 วงจร FSK DEMODULATOR

ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 4.20 แล้วปรับค่า C ที่ขา 12 กับ 13 เพื่อให้ได้ความถี่กลาง แล้วปรับค่าความต้านทาน 10k เพื่อปรับแต่งรูปคลื่น จากนั้นเอาสัญญาณ output ของวงจร FSK MODULATOR มาป้อนเป็น input ให้กับวงจร FSK DEMODULATOR



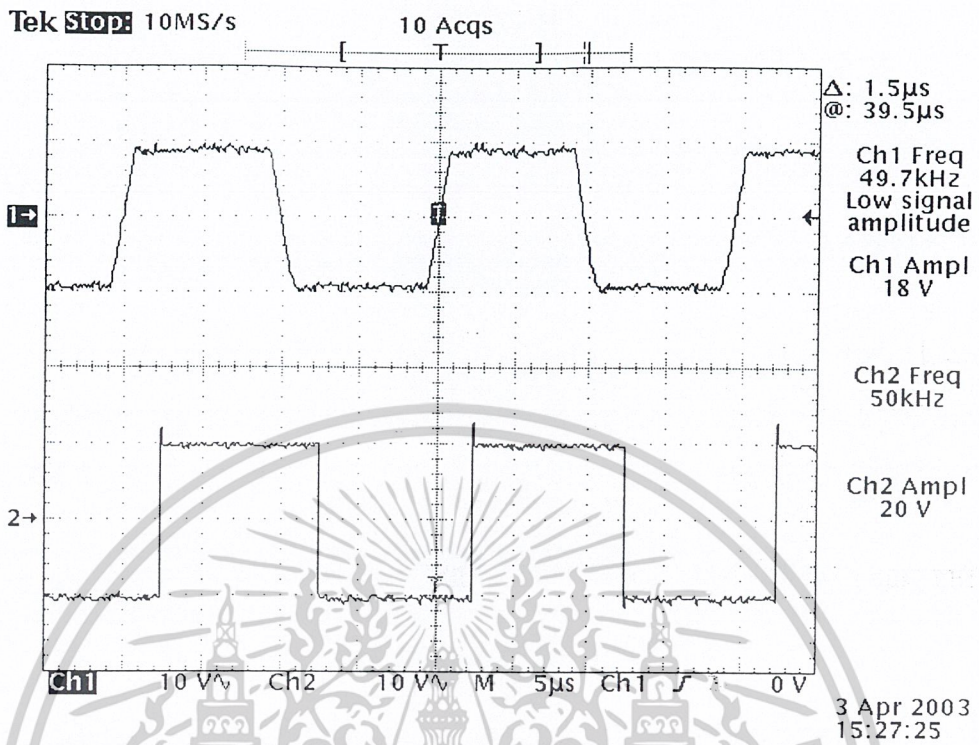
รูปที่ 4.20 แสดงวงจร FSK DEMODULATOR



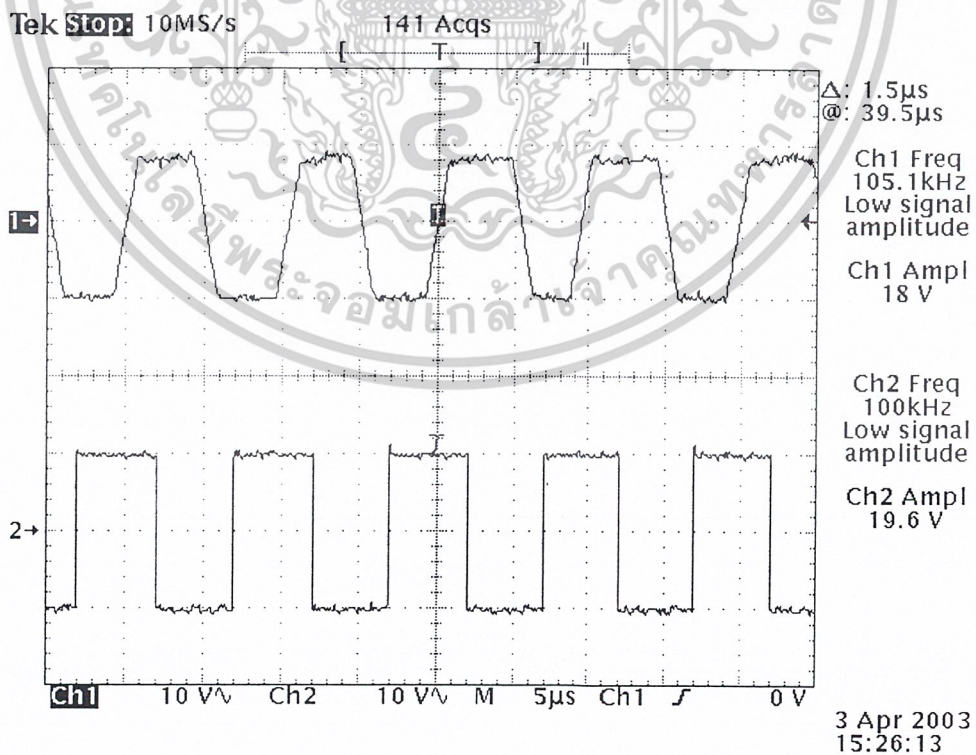
รูปที่ 4.21 แสดงสเปกตรัมสัญญาณความถี่กลาง 10.7 MHz ของวงจร FSK DEMODULATOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

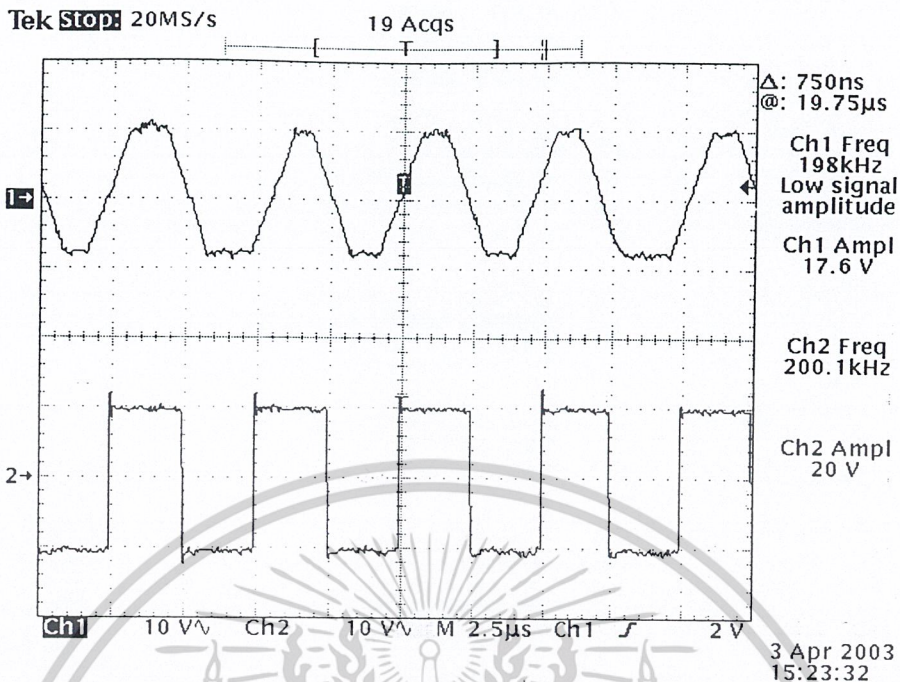
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจร FSK DEMODULATOR (ch1) เมื่อป้อน square wave 50 kHz เป็น input ให้กับวงจร FSK MODULATOR (ch2)



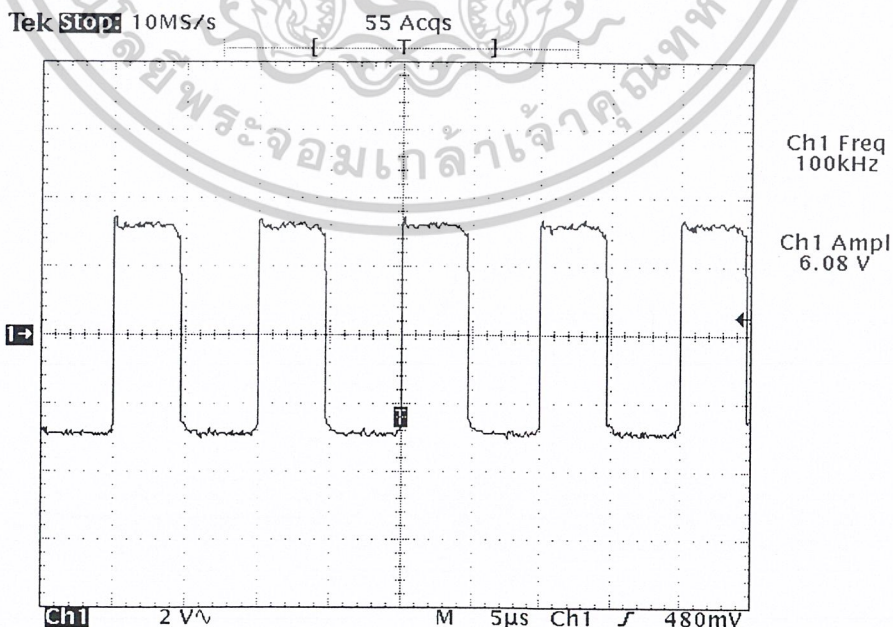
รูปที่ 4.23 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจร FSK DEMODULATOR (ch1) เมื่อป้อน square wave 100 kHz เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



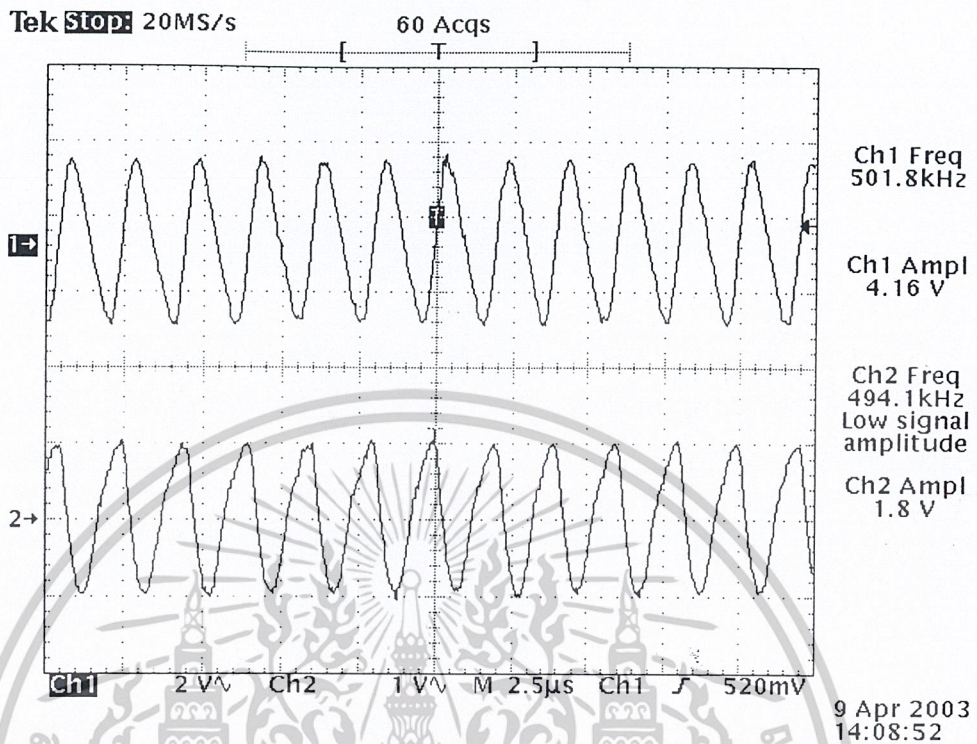
รูปที่ 4.24 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจร FSK DEMODULATOR (ch1) เมื่อป้อน square wave 200 kHz เป็น input ให้กับวงจร FSK MODULATOR (ch2)

4.6 วงจรขับแสง – วงจรรับแสง

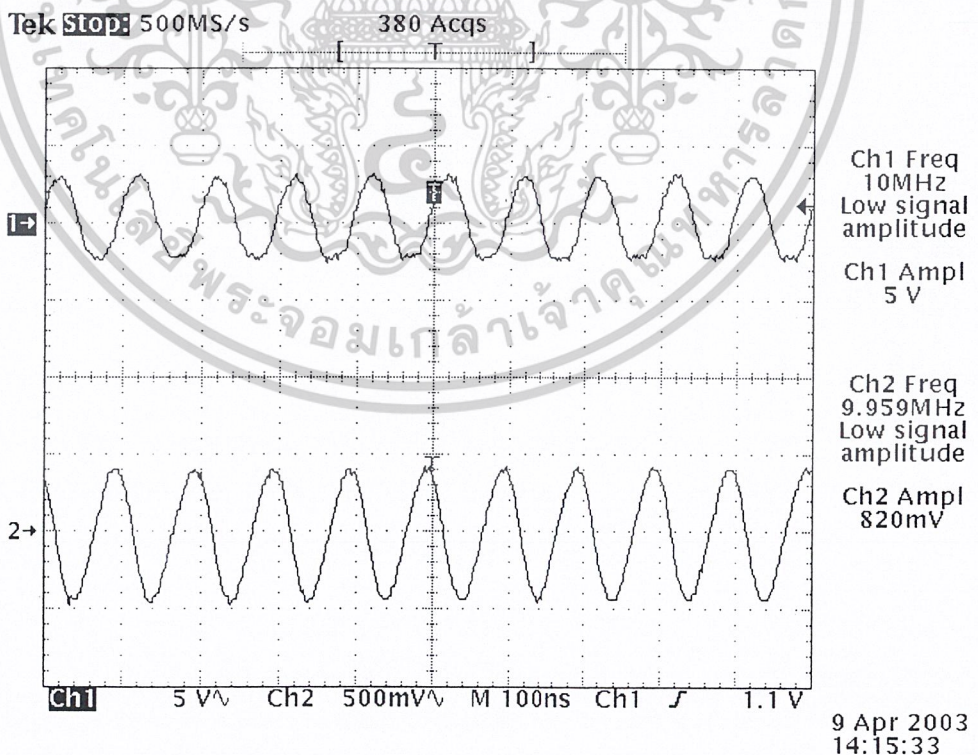
ทำการทดสอบภาคขับแสง ภาครับแสงและภาคขยายสัญญาณตั้งวงจรตามรูปที่ 3.7 รูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9 ตามลำดับ ให้ output ของภาครับแสงเป็น input ของภาคขยายสัญญาณ และเชื่อมต่อภาคส่งแสงและภาครับแสงด้วยเส้นใยแก้วนำแสง จากนั้นป้อนสัญญาณให้กับภาคขับแสงเพื่อทำการทดสอบ โดยวัด output จากภาคขยายสัญญาณ



รูปที่ 4.25 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรขยายสัญญาณ เมื่อป้อน square wave 100 kHz ให้กับวงจรขับแสง ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรรับแสงและผ่านวงจรขยายสัญญาณ (ch1) เปรียบเทียบกับสัญญาณที่ป้อนให้กับวงจรขับแสง (ch2) ซึ่งเป็นสัญญาณ sine wave 500 kHz

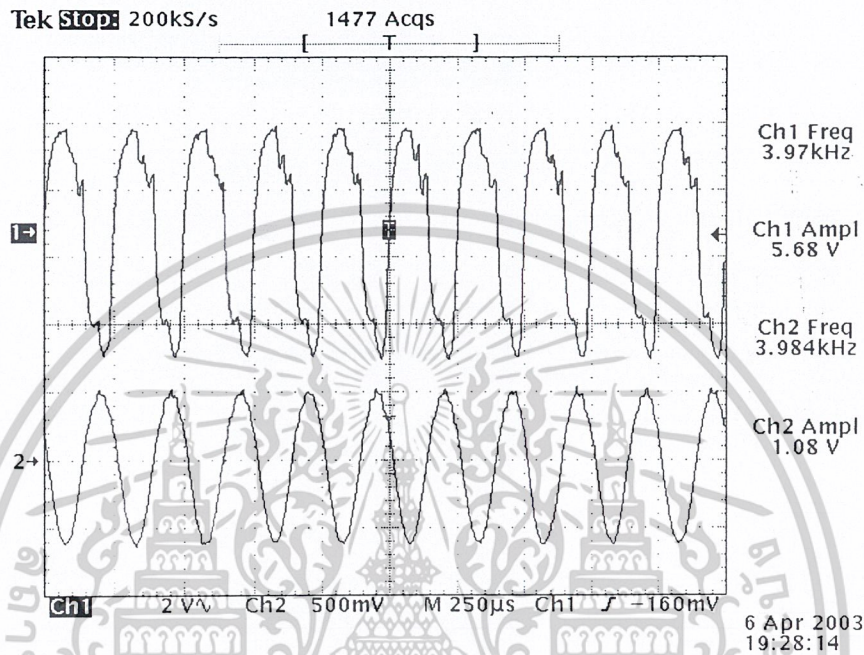


รูปที่ 4.27 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรรับแสงและผ่านวงจรขยายสัญญาณ (ch1)

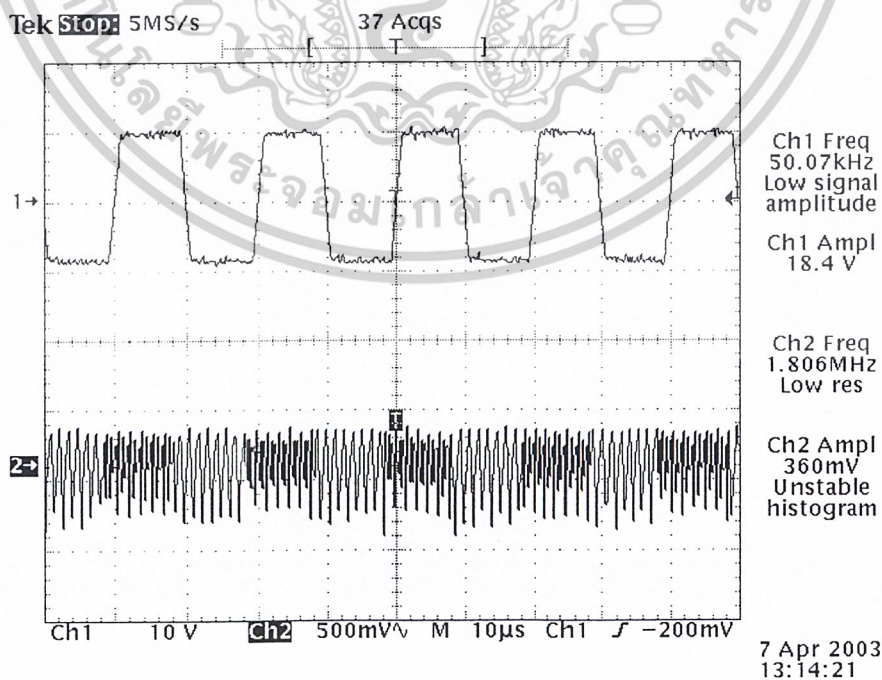
เปรียบเทียบกับสัญญาณที่ป้อนให้กับวงจรขับแสง (ch2) ซึ่งเป็นสัญญาณ sine wave 10 MHz เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

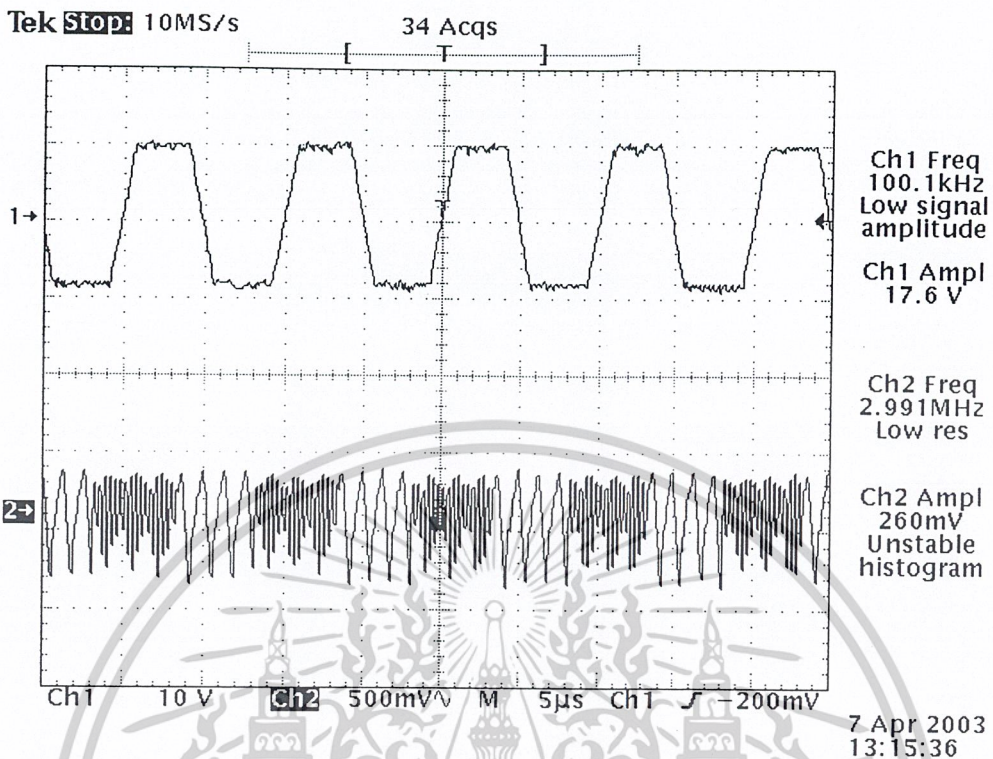
เมื่อทำการทดลองเพื่อตรวจสอบการทำงานของแต่ละภาคเสร็จแล้วก็ทำการต่อเป็นวงจรรวมภาคส่งและวงจรรวมภาครับดังแสดงดังรูปที่ 3.15 และรูปที่ 3.16 ตามลำดับ แล้วทำการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงแล้วทำการทดสอบได้ผลดังต่อไปนี้



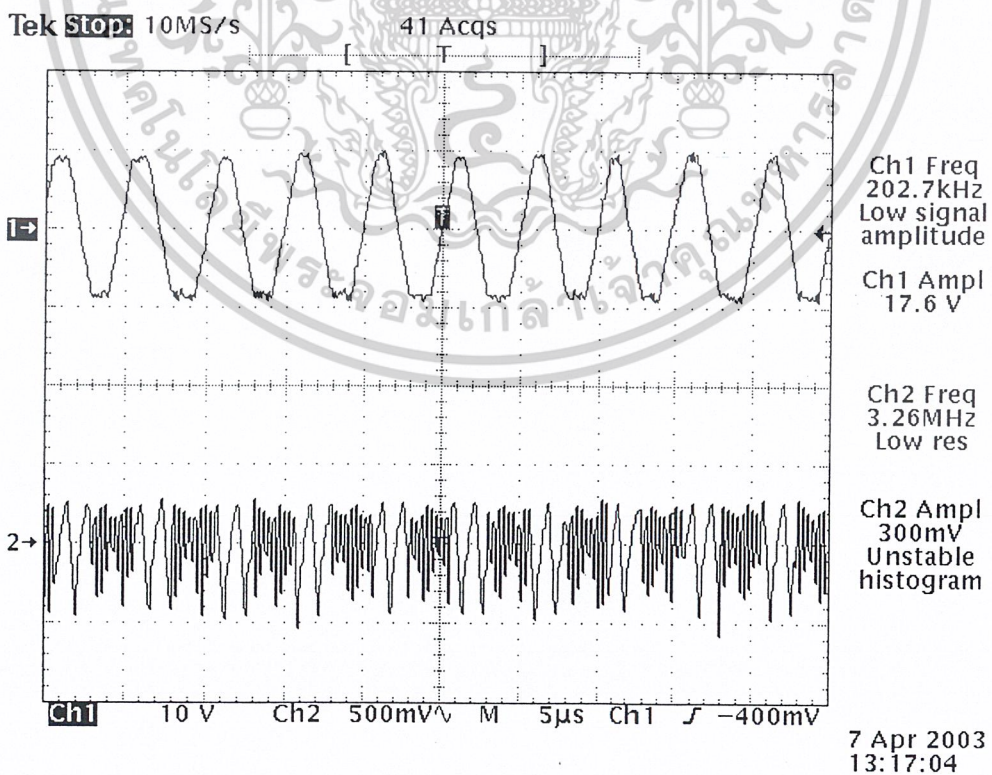
รูปที่ 4.28 แสดงสัญญาณที่วัดจากวงจรขยายสัญญาณเสียงทางด้านรับ (ch1) ที่ได้จากการป้อนสัญญาณ sine wave 4 kHz เป็น input (ch2) ให้กับวงจรขยายความแตกต่างทางด้านส่งซึ่งส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสง



รูปที่ 4.29 แสดงสัญญาณที่วัดจาก MAX 232 ทางด้านรับ (ch1) ที่ได้จากการป้อนสัญญาณ square wave 50 kHz เป็น input ให้ MAX 232 ทางด้านส่งซึ่งส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงเทียบกับ FSK ทางด้านส่ง (ch2) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 แสดงสัญญาณที่วัดจาก MAX 232 ทางด้านรับ (ch1) ที่ได้จากการป้อนสัญญาณ square wave 100 kHz เป็น input ให้ MAX 232 ทางด้านส่งซึ่งส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงเทียบกับ FSK ทางด้านส่ง (ch2)



รูปที่ 4.31 แสดงสัญญาณที่วัดจาก MAX 232 ทางด้านรับ (ch1) ที่ได้จากการป้อนสัญญาณ square wave 200 kHz เป็น input ให้ MAX 232 ทางด้านส่งซึ่งส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงเทียบกับ FSK ทางด้านส่ง (ch2) ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาวิธีการมอดูเลทในแบบ FM และ FSK รวมถึงการดีมอดูเลททั้งสองแบบ รวมถึงหลักการต่างๆ ในการใช้เส้นใยแก้วนำแสงเป็นตัวกลางในการรับ-ส่งข้อมูล และสร้างเครื่องส่ง-รับข้อมูลและสัญญาณเสียง โดยนำข้อมูลจากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์มาทำการมอดูเลทในแบบ FSK โดยใช้ความถี่กลาง 10.7 MHz และสัญญาณเสียงมาทำการมอดูเลทแบบ FM โดยใช้สัญญาณความถี่พาห์ 5.5 MHz

ทางด้านภาคส่ง

สัญญาณข้อมูลจากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ถูกนำมาแปลงเป็นระดับแรงดัน TTL โดยใช้ไอซี MAX232 ส่วนสัญญาณเสียงก็ถูกนำมาขยายความแตกต่างโดยใช้ไอซี NE592 ในการมอดูเลททั้งสองแบบนี้ได้ใช้ไอซีเบอร์ NE564 เมื่อทำการทดลองพบปัญหาคือการปรับจูนความถี่กลางเป็นไปอย่างยากลำบากเพราะเมื่อค่าเก็บประจุเปลี่ยนไปนิดเดียวทำให้ค่าความถี่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วจึงต้องความพยายามเป็นอย่างมากในการปรับจูนความถี่แต่ละครั้ง อีกทั้งเมื่อได้ความถี่ตามต้องการแล้ว รูปของสัญญาณที่ได้ยังมีความผิดเพี้ยนไปจากอุดมคติมาก แม้จะมีการปรับค่าความต้านทานซึ่งมีไว้สำหรับปรับแต่งรูปสัญญาณ โดยตรงแล้วก็ตาม กล่าวคือตามหลักการแล้วสัญญาณความถี่กลางนี้จากต้องเป็นสัญญาณชายน้เท่านั้น แต่สัญญาณที่ได้จากการทดลองกลับไม่เป็นเช่นนั้น สัญญาณที่ได้มีความผิดเพี้ยนไปพอสมควร เป็นผลให้สัญญาณจากการมอดูเลทสัญญาณนั้นมีลักษณะไม่เป็น FSK หรือ FM ที่ชัดเจนตามอุดมคติที่เคยได้ศึกษามา แต่ก็อยู่ในขั้นที่ยอมรับได้

ทางด้านภาครับ

สัญญาณที่ได้จากส่วนของภาครับแสงนั้นมีระดับของสัญญาณที่ต่ำไม่สามารถที่จะนำไปทำการดีมอดูเลทได้ จึงต้องนำมาขยายเสียงก่อนโดยใช้ไอซี NE5539 ซึ่งแบนด์วิทที่กว้าง จากนั้นจึงนำสัญญาณไปผ่านวงจรกรองความถี่ ซึ่งในส่วนนี้ได้ใช้เซรามิกฟิลเตอร์ทำหน้าที่ในการกรองความถี่ผ่านโดยอาศัยคุณสมบัติของตัวเซรามิกฟิลเตอร์ คือจะยอมให้ความถี่ที่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของตัวมันเท่านั้นที่จะผ่านไปได้ ส่วนความถี่อื่นที่ไม่เรโซแนนซ์มันจะไม่ยอมให้ผ่านไปได้ จากนั้นนำสัญญาณที่ได้จากการส่วนของภาครองความถี่ไปทำการดีมอดูเลทโดยใช้ไอซี NE564 ซึ่งเป็นเบอร์เดียวกันกับทางด้านมอดูเลทโดยอาศัยหลักการของเฟสล็อกกลูปในการดีมอดูเลท แม้จะเกิดปัญหาจากการปรับจูนความถี่กลางเช่นเดียวกับทางด้านมอดูเลท แต่สัญญาณที่ได้จากการดีมอดูเลทนั้นก็จัดอยู่ในขั้นที่น่าพอใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการทดลองแต่ละภาคเรียบร้อยแล้วก็นำมาประกอบเป็นภาคส่งและภาครับแล้วทำการทดลองโดยทำการเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์จากนั้นทำการส่งข้อมูลและสัญญาณเสียงรวมกันไป ปรากฏว่าเมื่อไปถึงทางด้านรับสัญญาณทั้งสองมีการรบกวนกันเป็นอย่างมาก ไม่สามารถที่จะฟิลเตอร์และคิมอดูเลทเป็นข้อมูลที่ต้องการได้ ส่วนทางด้านสัญญาณเสียงนั้นสามารถที่จะรับฟังได้แต่มีการรบกวนมากเช่นกัน จึงทำการแยกส่งทั้งสองสัญญาณ ปรากฏว่าการรบกวนลดน้อยลง แต่สัญญาณข้อมูลนั้นไม่สามารถคิมอดูเลทได้สัญญาณที่ต้องการอันเนื่องจากเฟสล็อคหลุดไม่สามารถล็อคความถี่ที่ต้องการได้ จึงไปทดสอบโดยใช้ Function Generator ป้อน square wave โดยกำหนดให้มีแอมพลิจูดค่าที่สูงเพื่อให้ MAX 232 สามารถทำงานได้ ปรากฏว่าสามารถที่จะคิมอดูเลทสัญญาณ ได้ดีที่ความถี่ไม่เกิน 200kHz แต่จะมีความผิดเพี้ยนของสัญญาณมากขึ้นถ้าหากป้อนความถี่เพิ่มขึ้น คือสัญญาณที่ได้จะค่อยๆ มีลักษณะเป็นสัญญาณสามเหลี่ยม ส่วนทางด้านสัญญาณเสียงนั้นสามารถที่จะรับฟังได้ชัดเจนขึ้นมากกว่าตอนที่ส่งทั้งสัญญาณข้อมูลและสัญญาณเสียงรวมกันไป

ปัญหาที่พบในการทำปริญญานิพนธ์นี้ ในตอนเริ่มแรกนั้นได้ทำแผ่นวงจรรวมกันกล่าวคือ ทางด้านภาคส่ง 1 แผ่น และทางด้านภาครับ 1 แผ่น เมื่อนำไปทดสอบปรากฏว่ามีการรบกวนกันอย่างมาก ทั้งที่เกิดจากวงจรแต่ละภาค และความถี่ที่เป็นฮาร์โมนิกที่สองของความถี่พาห้ 5.5MHz ไปรบกวน 10.7MHz จึงทำการแก้ไขโดยทำแต่ละวงจรแยกอิสระจากกันก็สามารถช่วยลดการรบกวนกันได้พอสมควร

ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาต่อไป

1. ควรเลือกใช้ความถี่ที่มีความถี่ฮาร์โมนิกไม่ไปรบกวนกัน
2. ควรแยกแผ่นวงจรของแต่ละส่วนๆ ออกจากกันเพื่อลดการรบกวนกัน
3. อุปกรณ์แสงที่ใช้ราคาไม่สูงมากแม้จะต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศและมีคุณสมบัติที่ดีพอสมควร
4. การคิมอดูเลทสัญญาณ โดยใช้หลักการของเฟสล็อคหลุดนั้นทำได้ยาก ทำให้มีความผิดเพี้ยนของ

ข้อมูลได้ง่าย

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณบิดามารดาผู้ซึ่งคอยให้ความสนับสนุนในทุกๆ ด้าน ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ศศ.ดร. สุทธิชัย นพนาถิพงษ์ ที่ให้โอกาสในการทำปริญญานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาความช่วยเหลือต่างๆ ตลอดจนอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ที่จำเป็นในการดำเนินงาน ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาโทรคมนาคมทุกท่านที่ให้การอบรมสั่งสอนและคำแนะนำด้านต่างๆ

นอกจากนี้คณะผู้จัดทำขอขอบคุณรุ่นพี่ที่ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ยิ่ง ตลอดจนเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ตลอดมา



คณะผู้จัดทำ
นายภัทรดนัย โดหะสุวรรณ
นายเมธี กษะเสน
นายสมพร ศรีเทพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ศ.ดร. วิวัฒน์ กิรานนท์ วิศวกรรมสื่อสาร พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์ อักษรสยามการพิมพ์ 2542
2. ผศ. อภินันท์ มัณยานนท์ การสื่อสารเส้นใยแสง พิมพ์ครั้งที่ 7 สำนักพิมพ์ อักษรสยามการพิมพ์ 2537
3. ผศ.ดร. อธิคม ฤกษ์บุตร เส้นใยแก้วและการประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น พิมพ์ครั้งที่ 1 2543
4. จิรศักดิ์ เหลืองอุไร กัมภีร์การใช้งาน การสื่อสารอนุกรมบน PC สำนักพิมพ์ บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) 2538



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Video amplifier

NE592

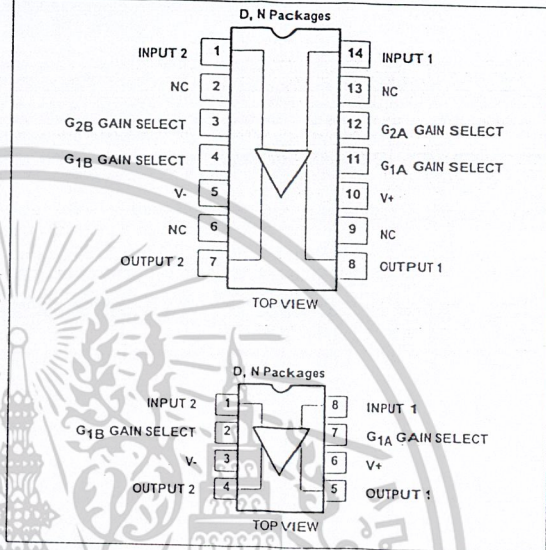
DESCRIPTION

The NE592 is a monolithic, two-stage, differential output, wideband video amplifier. It offers fixed gains of 100 and 400 without external components and adjustable gains from 400 to 0 with one external resistor. The input stage has been designed so that with the addition of a few external reactive elements between the gain select terminals, the circuit can function as a high-pass, low-pass, or band-pass filter. This feature makes the circuit ideal for use as a video or pulse amplifier in communications, magnetic memories, display, video recorder systems, and floppy disk head amplifiers. Now available in an 8-pin version with fixed gain of 400 without external components and adjustable gain from 400 to 0 with one external resistor.

FEATURES

- 120MHz unity gain bandwidth
- Adjustable gains from 0 to 400
- Adjustable pass band
- No frequency compensation required
- Wave shaping with minimal external components
- MIL-STD processing available

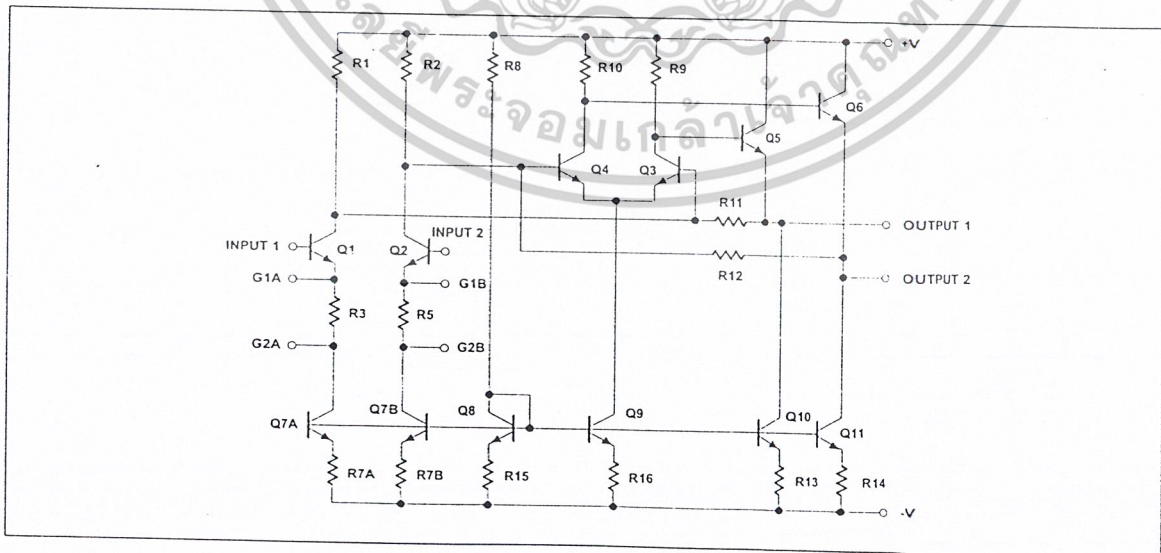
PIN CONFIGURATIONS



APPLICATIONS

- Floppy disk head amplifier
- Video amplifier
- Pulse amplifier in communications
- Magnetic memory
- Video recorder systems

BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Video amplifier

NE592

ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 to +70°C	NE592N14	0405B
14-Pin Small Outline (SO) package	0 to +70°C	NE592D14	0175D
8-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 to +70°C	NE592N8	0404B
8-Pin Small Outline (SO) package	0 to +70°C	NE592D8	0174C

NOTES:

N8, N14, D8 and D14 package parts also available in "High" gain version by adding "H" before package designation, i.e., NE592HDB

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

$T_A = +25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNIT
V_{CC}	Supply voltage	± 8	V
V_{IN}	Differential input voltage	± 5	V
V_{CM}	Common-mode input voltage	± 6	V
I_{OUT}	Output current	± 10	mA
T_A	Operating ambient temperature range	0 to +70	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage temperature range	-65 to +150	$^\circ\text{C}$
$P_{D\text{ MAX}}$	Maximum power dissipation, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (still air):		
	D-14 package	0.98	W
	D-8 package	0.79	W
	N-14 package	1.44	W
	N-8 package	1.17	W

NOTES:

- Derate above 25°C at the following rates:
 D-14 package at $7.8\text{mW}/^\circ\text{C}$
 D-8 package at $6.3\text{mW}/^\circ\text{C}$
 N-14 package at $11.5\text{mW}/^\circ\text{C}$
 N-8 package at $9.3\text{mW}/^\circ\text{C}$

April 15, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Video amplifier

NE592

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$T_A=+25^\circ\text{C}$, $V_{SS}=\pm 6\text{V}$, $V_{CM}=0$, unless otherwise specified. Recommended operating supply voltages $V_S=\pm 6.0\text{V}$. All specifications apply to both standard and high gain parts unless noted differently.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	NE592			UNIT
			Min	Typ	Max	
A _{VOL}	Differential voltage gain, standard part Gain 1 ¹ Gain 2 ^{2,4}	R _L =2k Ω , V _{OUT} =3V _{p.p}	250	400	600	V/V
			80	100	120	V/V
R _{IN}	Input resistance Gain 1 ¹ Gain 2 ^{2,4}			4.0		k Ω
				10	30	k Ω
C _{IN}	Input capacitance ²	Gain 2 ⁴		2.0		pF
I _{OS}	Input offset current			0.4	5.0	μA
I _{BIAS}	Input bias current			9.0	30	μA
V _{NOISE}	Input noise voltage	BW 1kHz to 10MHz		12		μV_{RMS}
V _{IN}	Input voltage range		± 1.0			V
CMRR	Common-mode rejection ratio Gain 2 ⁴ Gain 2 ⁴	V _{CM} $\pm 1\text{V}$, f<100kHz	60	86		dB
		V _{CM} $\pm 1\text{V}$, f=5MHz		60		dB
PSRR	Supply voltage rejection ratio Gain 2 ⁴	$\Delta V_S=\pm 0.5\text{V}$	50	70		dB
V _{OS}	Output offset voltage Gain 1 Gain 2 ⁴ Gain 3 ³	R _L = ∞			1.5	V
		R _L = ∞			1.5	V
		R _L = ∞		0.35	0.75	V
V _{CM}	Output common-mode voltage	R _L = ∞	2.4	2.9	3.4	V
V _{OUT}	Output voltage swing differential	R _L =2k Ω	3.0	4.0		V
R _{OUT}	Output resistance			20		Ω
I _{CC}	Power supply current	R _L = ∞		18	24	mA

NOTES:

- Gain select Pins G_{1A} and G_{1B} connected together.
- Gain select Pins G_{2A} and G_{2B} connected together.
- All gain select pins open.
- Applies to 14-pin version only.

April 15, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Video amplifier

NE592

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

DC Electrical Characteristics $V_{SS}=\pm 6V$, $V_{CM}=0$, $0^{\circ}C \leq T_A \leq 70^{\circ}C$, unless otherwise specified. Recommended operating supply voltages $V_S=\pm 6.0V$. All specifications apply to both standard and high gain parts unless noted differently.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	NE592			UNIT
			Min	Typ	Max	
A_{VOL}	Differential voltage gain, standard part Gain 1 ¹ Gain 2 ^{2,4}	$R_L=2k\Omega$, $V_{OUT}=3V_{P-P}$	250		600	V/V
			80		120	V/V
R_{IN}	Input resistance Gain 2 ^{2,4}		8.0			k Ω
I_{OS}	Input offset current				6.0	μA
I_{BIAS}	Input bias current				40	μA
V_{IN}	Input voltage range		± 1.0			V
CMRR	Common-mode rejection ratio Gain 2 ⁴	$V_{CM}=\pm 1V$, $f < 100kHz$	50			dB
PSRR	Supply voltage rejection ratio Gain 2 ⁴	$\Delta V_S = \pm 0.5V$	50			dB
V_{OS}	Output offset voltage Gain 1 Gain 2 ⁴ Gain 3 ³	$R_L = \infty$			1.5	V
					1.5	
					1.0	
V_{OUT}	Output voltage swing differential	$R_L=2k\Omega$	2.8			V
I_{CC}	Power supply current	$R_L = \infty$			27	mA

NOTES:

- Gain select Pins G_{1A} and G_{1B} connected together.
- Gain select Pins G_{2A} and G_{2B} connected together.
- All gain select pins open.
- Applies to 14-pin versions only.

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$T_A = +25^{\circ}C$, $V_{SS} = \pm 6V$, $V_{CM} = 0$, unless otherwise specified. Recommended operating supply voltages $V_S = \pm 6.0V$. All specifications apply to both standard and high gain parts unless noted differently.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	NE/SA592			UNIT
			Min	Typ	Max	
BW	Bandwidth Gain 1 ¹ Gain 2 ^{2,4}			40 90		MHz MHz
t_R	Rise time Gain 1 ¹ Gain 2 ^{2,4}	$V_{OUT}=1V_{P-P}$		10.5 4.5	12	ns ns
t_{PD}	Propagation delay Gain 1 ¹ Gain 2 ^{2,4}	$V_{OUT}=1V_{P-P}$		7.5 6.0	10	ns ns

NOTES:

- Gain select Pins G_{1A} and G_{1B} connected together.
- Gain select Pins G_{2A} and G_{2B} connected together.
- All gain select pins open.
- Applies to 14-pin versions only.

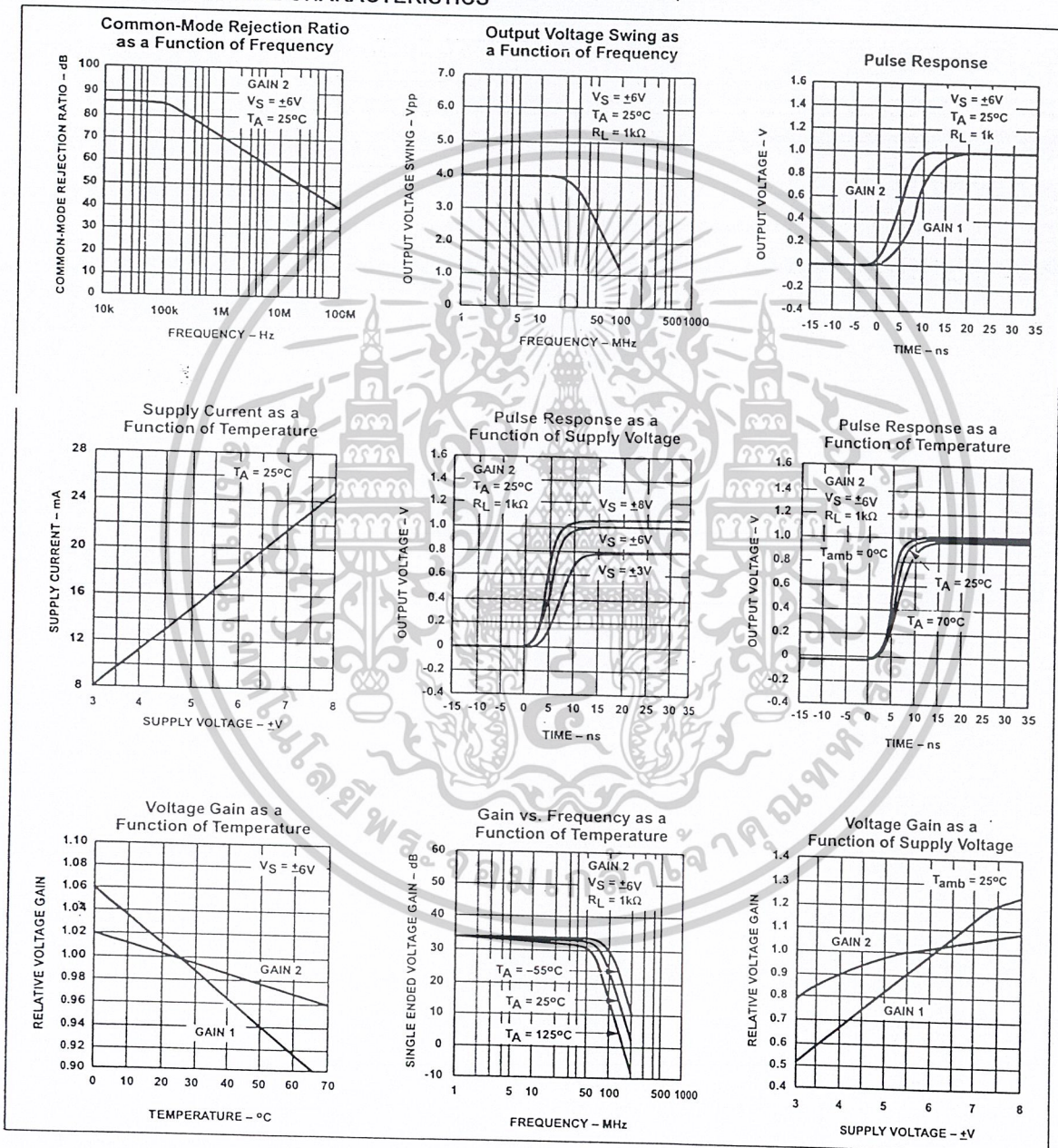
April 15, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Video amplifier

NE592

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS



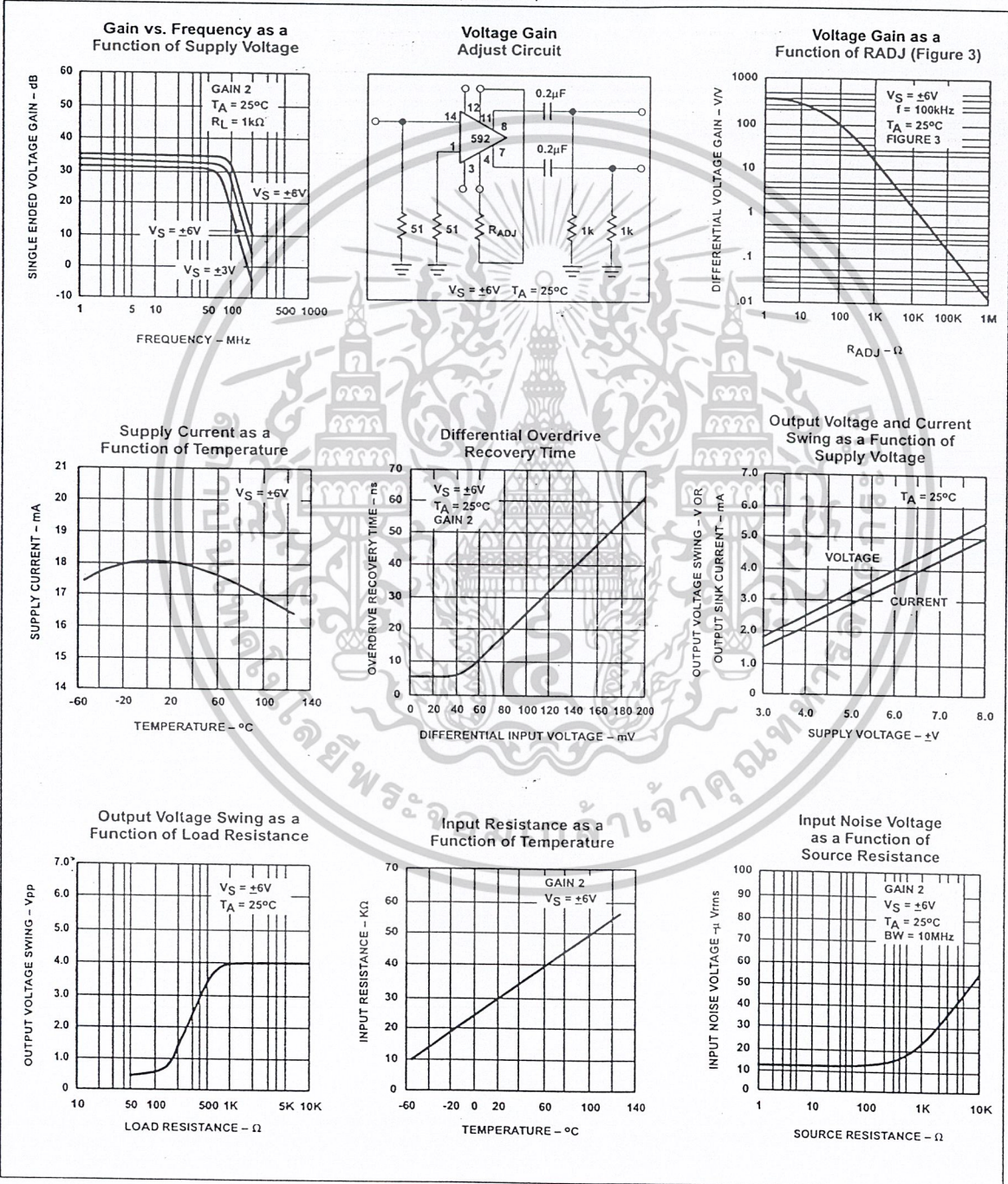
April 15, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Video amplifier

NE592

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Continued)

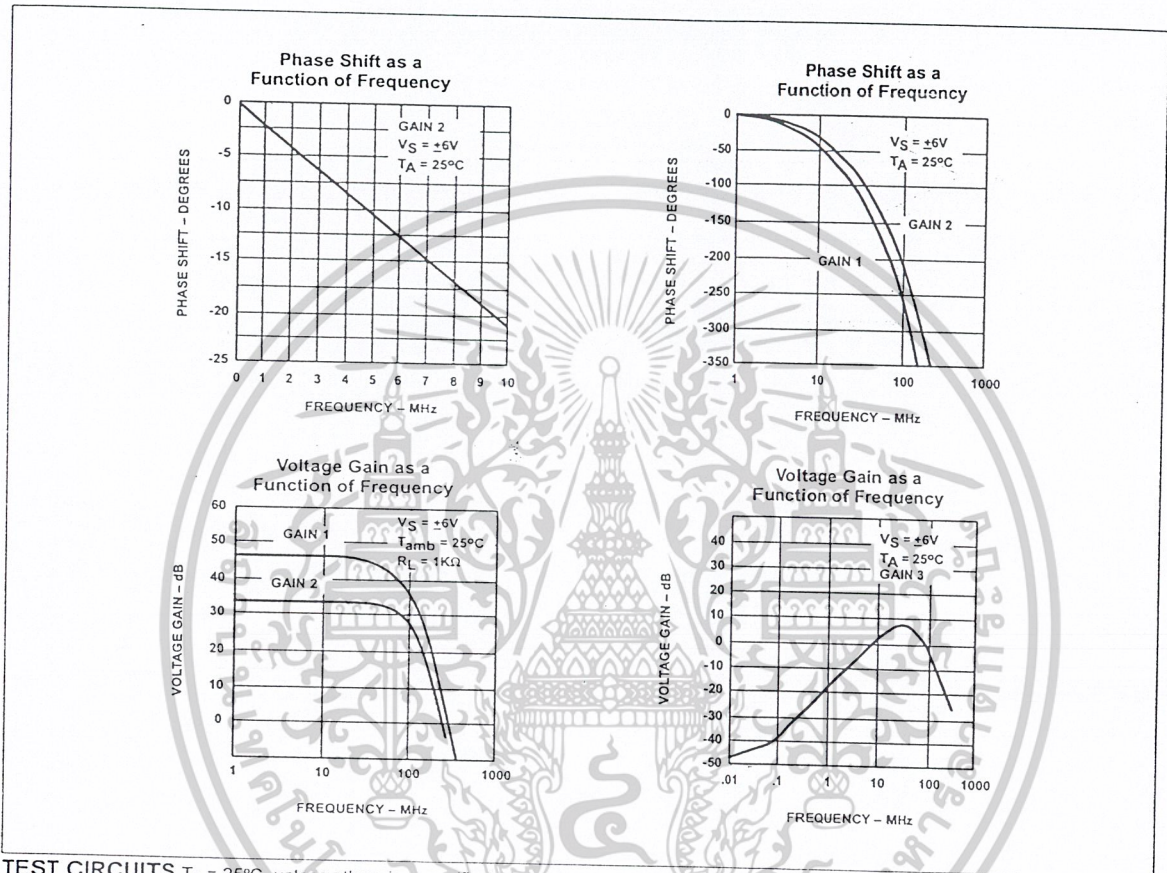


April 15, 1992

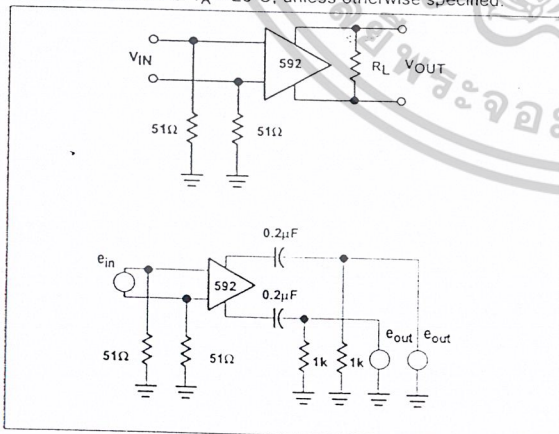
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Video amplifier

NE592



TEST CIRCUITS $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified.



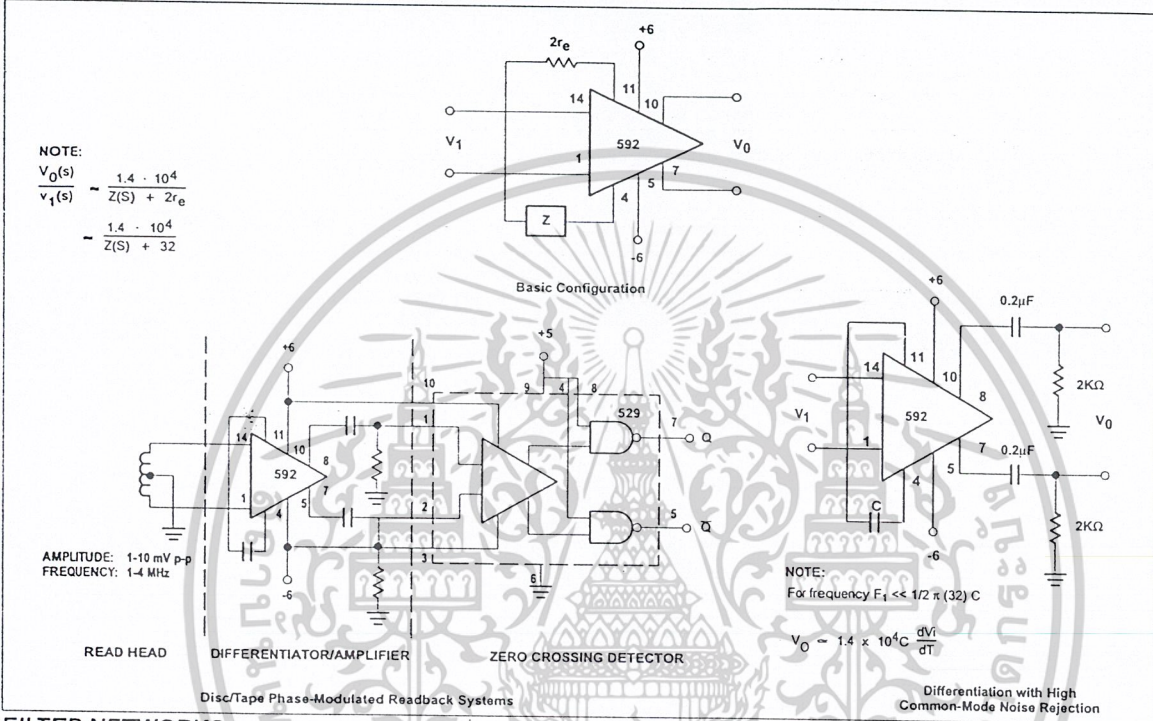
April 15, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Video amplifier

NE592

TYPICAL APPLICATIONS



FILTER NETWORKS

Z NETWORK	FILTER TYPE	$V_0(s)$ TRANSFER $V_1(s)$ FUNCTION
	LOW PASS	$\frac{1.4 \times 10^4}{L} \left[\frac{1}{s + R/L} \right]$
	HIGH PASS	$\frac{1.4 \times 10^4}{R} \left[\frac{s}{s + 1/RC} \right]$
	BAND PASS	$\frac{1.4 \times 10^4}{L} \left[\frac{s}{s^2 + R/Ls + 1/LC} \right]$
	BAND REJECT	$\frac{1.4 \times 10^4}{R} \left[\frac{s^2 + 1/LC}{s^2 + 1/LC + s/RC} \right]$

NOTES:
 In the networks above, the R value used is assumed to include $2r_e$, or approximately 32Ω .
 $S = j\omega$
 $\omega = 2\pi f$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Phase-locked loop

NE/SE564

DESCRIPTION

The NE/SE564 is a versatile, high guaranteed frequency phase-locked loop designed for operation up to 50MHz. As shown in the Block Diagram, the NE/SE564 consists of a VCO, limiter, phase comparator, and post detection processor.

FEATURES

- Operation with single 5V supply
- TTL-compatible inputs and outputs
- Guaranteed operation to 50MHz
- External loop gain control
- Reduced carrier feedthrough
- No elaborate filtering needed in FSK applications
- Can be used as a modulator
- Variable loop gain (externally controlled)

APPLICATIONS

- High speed modems
- FSK receivers and transmitters
- Frequency Synthesizers

PIN CONFIGURATIONS

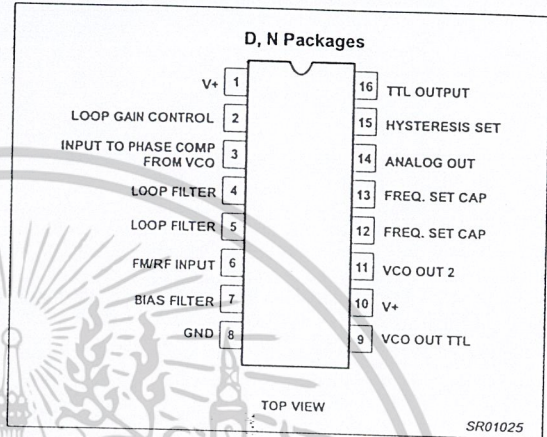


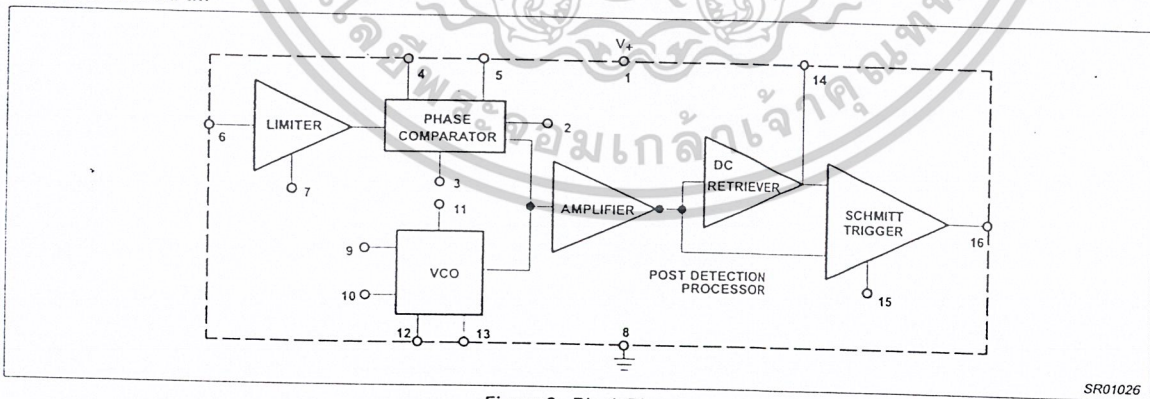
Figure 1. Pin Configuration

- Signal generators
- Various satcom/TV systems
- pin configuration

ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
16-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	0 to +70°C	NE564D	SOT109-1
16-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 to +70°C	NE564N	SOT38-4
16-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-55 to +125°C	SE564N	SOT38-4

BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Phase-locked loop

NE/SE564

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNITS
V+	Supply voltage Pin 1 Pin 10	14 6	V V
I _{OUT}	Sink Max (Pin 9) and sourcing (Pin 11)	11	mA
I _{BIAS}	Bias current adjust pin (sinking)	1	mA
P _D	Power dissipation	600	mW
T _A	Operating ambient temperature NE SE	0 to +70	°C
T _{STG}	Storage temperature range	-55 to +125	°C
		-65 to +150	°C

NOTE:
Operation above 5V will require heatsinking of the case.

DC AND AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

V_{CC} = 5V; T_A = 0 to 25°C; f_O = 5MHz, I₂ = 400µA; unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS SE564			LIMITS NE564			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
			Maximum VCO frequency	C ₁ = 0 (stray)	50	65		45	
Lock range	Input ≥ 200mV _{RMS} T _A = 25°C T _A = 125°C T _A = -55°C T _A = 0°C T _A = 70°C	40 20 50	70 30 80		40	70 70 40		% of f _O	
Capture range	Input ≥ 200mV _{RMS} , R ₂ = 27Ω	20	30		20	30		% of f _O	
VCO frequency drift with temperature	f _O = 5MHz, T _A = -55°C to +125°C T _A = 0 to +70°C = 0 to +70°C f _O = 5MHz, T _A = -55°C to +125°C T _A = 0 to +70°C		500 300	1500 800		600 500		PPM/°C	
VCO free-running frequency	C ₁ = 91pF R _C = 100Ω "Internal"	4	5	6	3.5	5	6.5	MHz	
VCO frequency change with supply voltage	V _{CC} = 4.5V to 5.5V		3	8		3	8	% of f _O	
Demodulated output voltage	Modulation frequency: 1kHz f _O = 5MHz, input deviation: 2%T = 25°C 1%T = 25°C 1%T = 0°C 1%T = -55°C 1%T = 70°C 1%T = 125°C	16 6 6 12	28 14 10 16		16 8	28 14 13 15		mV _{RMS} mV _{RMS} mV _{RMS} mV _{RMS} mV _{RMS}	
Distortion	Deviation: 1% to 8%		1			1		%	
S/N	Signal-to-noise ratio	Std. condition, 1% to 10% dev.		40			40		dB
	AM rejection	Std. condition, 30% AM		35			35		dB
	Demodulated output at operating voltage	Modulation frequency: 1kHz f _O = 5MHz, input deviation: 1% V _{CC} = 4.5V V _{CC} = 5.5V	7 8	12 14		7 8	12 14		mV _{RMS} mV _{RMS}
I _{CC}	Supply current	V _{CC} = 5V I ₁ , I ₁₀		45	60		45	60	mA
	Output "1" output leakage current "0" output voltage	V _{OUT} = 5V, Pins 16, 9 I _{OUT} = 2mA, Pins 16, 9 I _{OUT} = 6mA, Pins 16, 9		1 0.3 0.4	20 0.6 0.8		1 0.3 0.4	20 0.6 0.8	µA V V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Phase-locked loop

NE/SE564

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

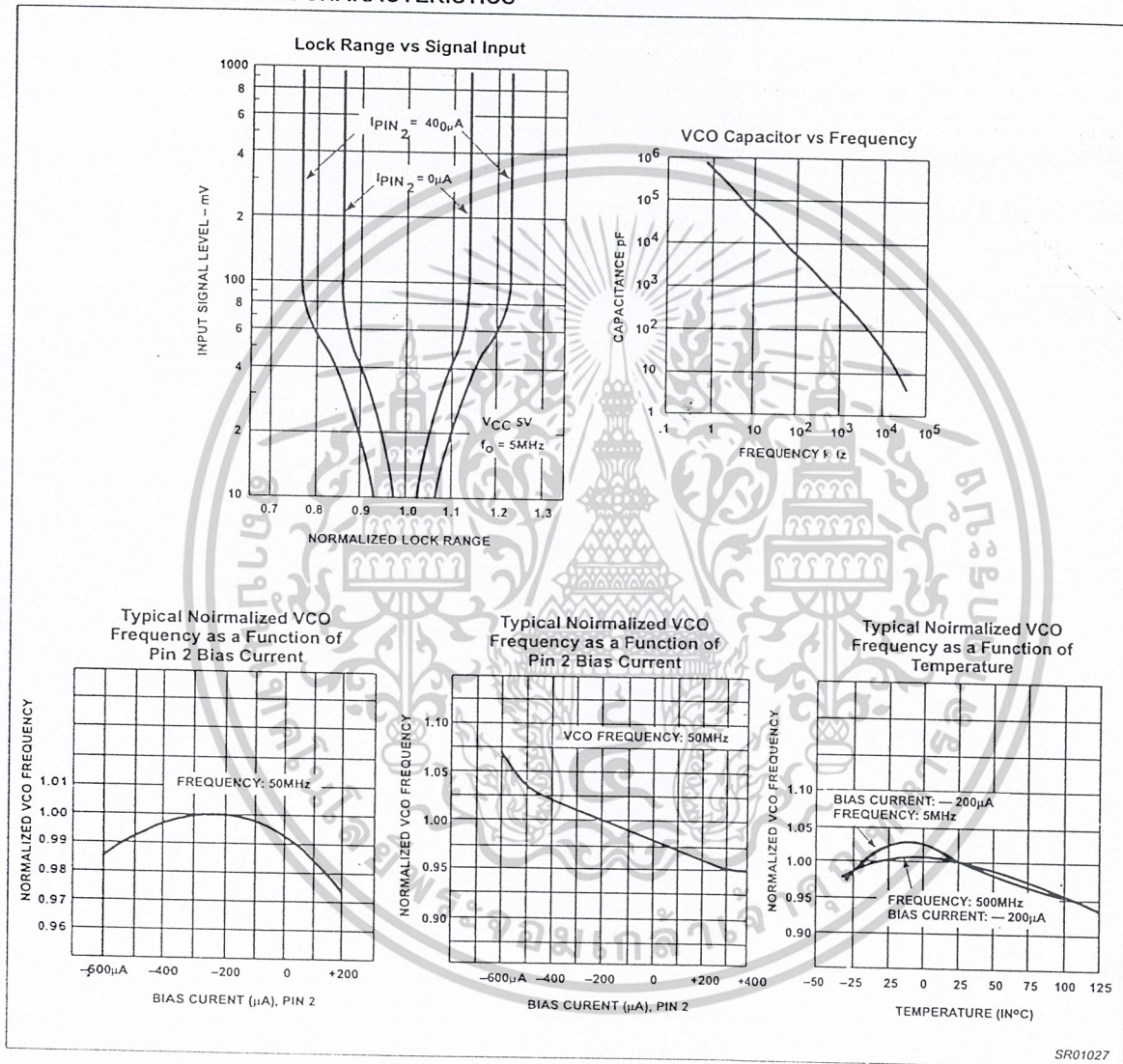


Figure 3. Typical Performance Characteristics

Phase-locked loop

NE/SE564

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Continued)

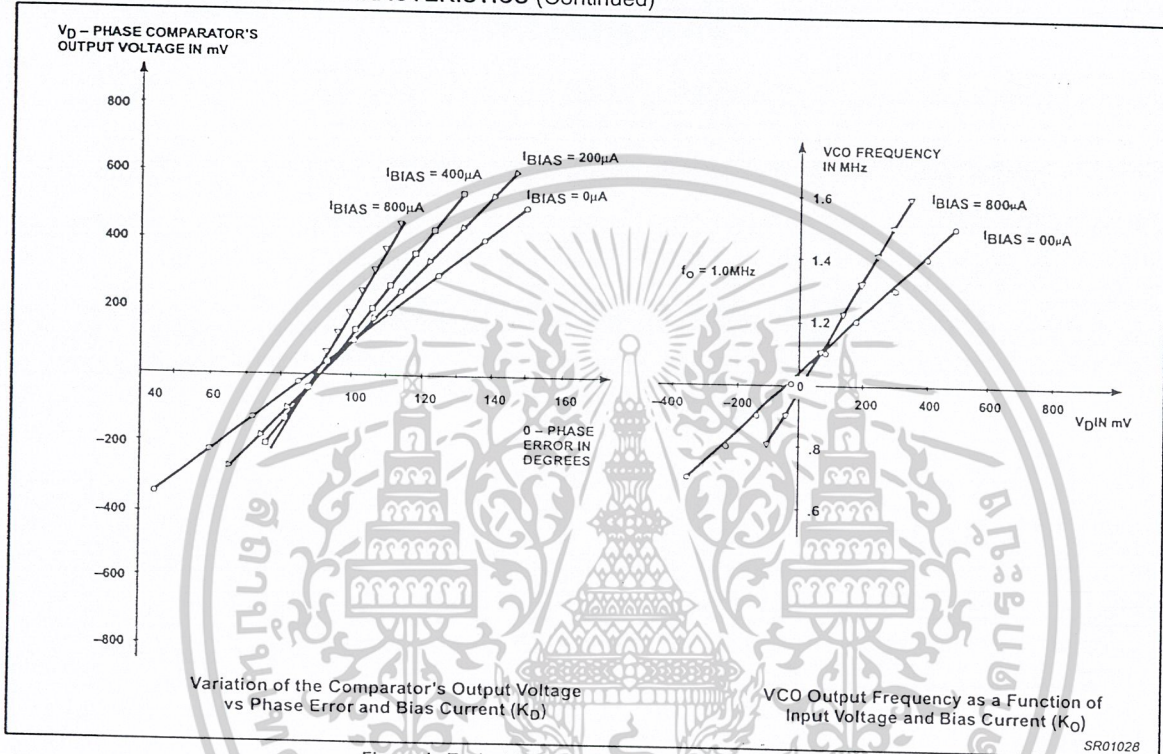
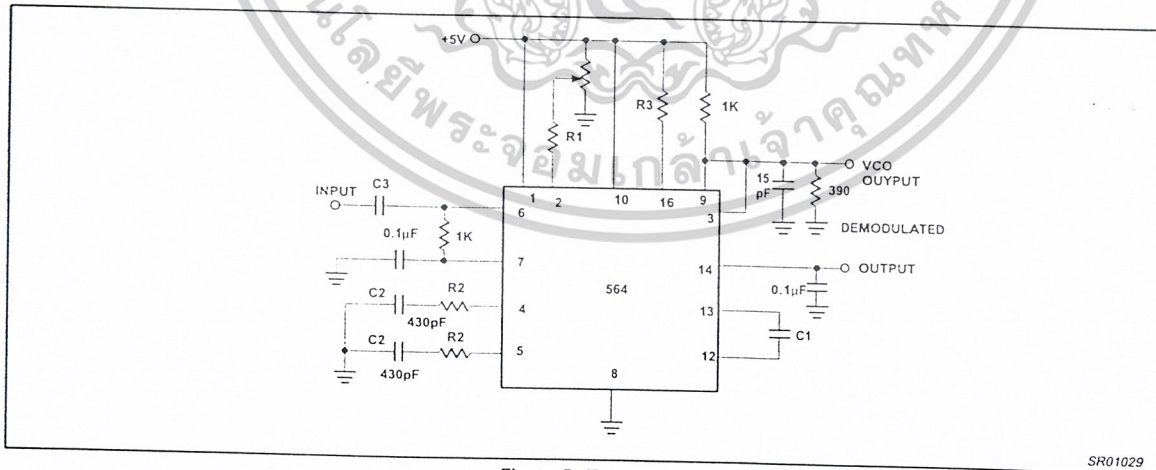


Figure 4. Typical Performance Characteristics (cont.)

TEST CIRCUIT



1994 Aug 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Phase-locked loop

NE/SE564

FUNCTIONAL DESCRIPTION

(Figure 6)

The NE564 is a monolithic phase-locked loop with a post detection processor. The use of Schottky clamped transistors and optimized device geometries extends the frequency of operation to greater than 50MHz.

In addition to the classical PLL applications, the NE564 can be used as a modulator with a controllable frequency deviation.

The output of the PLL can be written as shown in the following equation:

$$V_O = \frac{(f_{IN} - f_O)}{K_{VCO}} \quad (1)$$

K_{VCO} = conversion gain of the VCO

f_{IN} = frequency of the input signal

f_O = free-running frequency of the VCO

The process of recovering FSK signals involves the conversion of the PLL output into logic compatible signals. For high data rates, a considerable amount of carrier will be present at the output of the PLL due to the wideband nature of the loop filter. To avoid the use of complicated filters, a comparator with hysteresis or Schmitt trigger is required. With the conversion gain of the VCO fixed, the output voltage as given by Equation 1 varies according to the frequency deviation of f_{IN} from f_O . Since this differs from system to system, it is necessary that the hysteresis of the Schmitt trigger be capable of being changed, so that it can be optimized for a particular system. This is accomplished in the 564 by varying the voltage at Pin 15 which results in a change of the hysteresis of the Schmitt trigger.

For FSK signals, an important factor to be considered is the drift in the free-running frequency of the VCO itself. If this changes due to temperature, according to Equation 1 it will lead to a change in the DC levels of the PLL output, and consequently to errors in the digital output signal. This is especially true for narrowband signals where the deviation in f_{IN} itself may be less than the change in f_O due to temperature. This effect can be eliminated if the DC or average value of the signal is retrieved and used as the reference to the comparator. In this manner, variations in the DC levels of the PLL output do not affect the FSK output.

VCO Section

Due to its inherent high-frequency performance, an emitter-coupled oscillator is used in the VCO. In the circuit, shown in the equivalent schematic, transistors Q21 and Q23 with current sources Q25 - Q26 form the basic oscillator. The approximate free-running frequency of the oscillator is shown in the following equation:

$$f_O \cong \frac{1}{22 R_C (C_1 + C_S)} \quad (2)$$

$R_C = R_{19} = R_{20} = 100\Omega$ (INTERNAL)

C_1 = external frequency setting capacitor

C_S = stray capacitance

Variation of V_D (phase detector output voltage) changes the frequency of the oscillator. As indicated by Equation 2, the frequency of the oscillator has a negative temperature coefficient due to the monolithic resistor. To compensate for this, a current I_R with negative temperature coefficient is introduced to achieve a low frequency drift with temperature.

Phase Comparator Section

The phase detection processor consists of a doubled-balanced modulator with a limiter amplifier to improve AM rejection. Schottky-clamped vertical PNPs are used to obtain TTL level inputs. The loop gain can be varied by changing the current in Q₄ and Q₁₅ which effectively changes the gain of the differential amplifiers. This can be accomplished by introducing a current at Pin 2.

Post Detection Processor Section

The post detection processor consists of a unity gain transconductance amplifier and comparator. The amplifier can be used as a DC retriever for demodulation of FSK signals, and as a post detection filter for linear FM demodulation. The comparator has adjustable hysteresis so that phase jitter in the output signal can be eliminated.

As shown in the equivalent schematic, the DC retriever is formed by the transconductance amplifier Q₄₂ - Q₄₃ together with an external capacitor which is connected to the amplifier output (Pin 14). This forms an integrator whose output voltage is shown in the following equation:

$$V_O = \frac{g_M}{C_2} \int V_{IN} dt \quad (3)$$

g_M = transconductance of the amplifier

C_2 = capacitor at the output (Pin 14)

V_{IN} = signal voltage at amplifier input

With proper selection of C_2 , the integrator time constant can be varied so that the output voltage is the DC or average value of the input signal for use in FSK, or as a post detection filter in linear demodulation.

The comparator with hysteresis is made up of Q₄₉ - Q₅₀ with positive feedback being provided by Q₄₇ - Q₄₈. The hysteresis is varied by changing the current in Q₅₂ with a resulting variation in the loop gain of the comparator. This method of hysteresis control, which is a DC control, provides symmetric variation around the nominal value.

Design Formula

The free-running frequency of the VCO is shown by the following equation:

$$f_O \cong \frac{1}{22 R_C (C_1 + C_S)} \quad (4)$$

$R_C = 100\Omega$

C_1 = external cap in farads

C_S = stray capacitance

The loop filter diagram shown is explained by the following equation:

$$f_S = \frac{1}{1 + sRC_3} \quad (\text{First Order}) \quad (5)$$

$R = R_{12} = R_{13} = 1.3k\Omega$ (INTERNAL)*

By adding capacitors to Pins 4 and 5, a pole is added to the loop transfer at

$$\omega = \frac{1}{RC_3}$$

NOTE:

*Refer to Figure 6.

Phase-locked loop

NE/SE564

EQUIVALENT SCHEMATIC

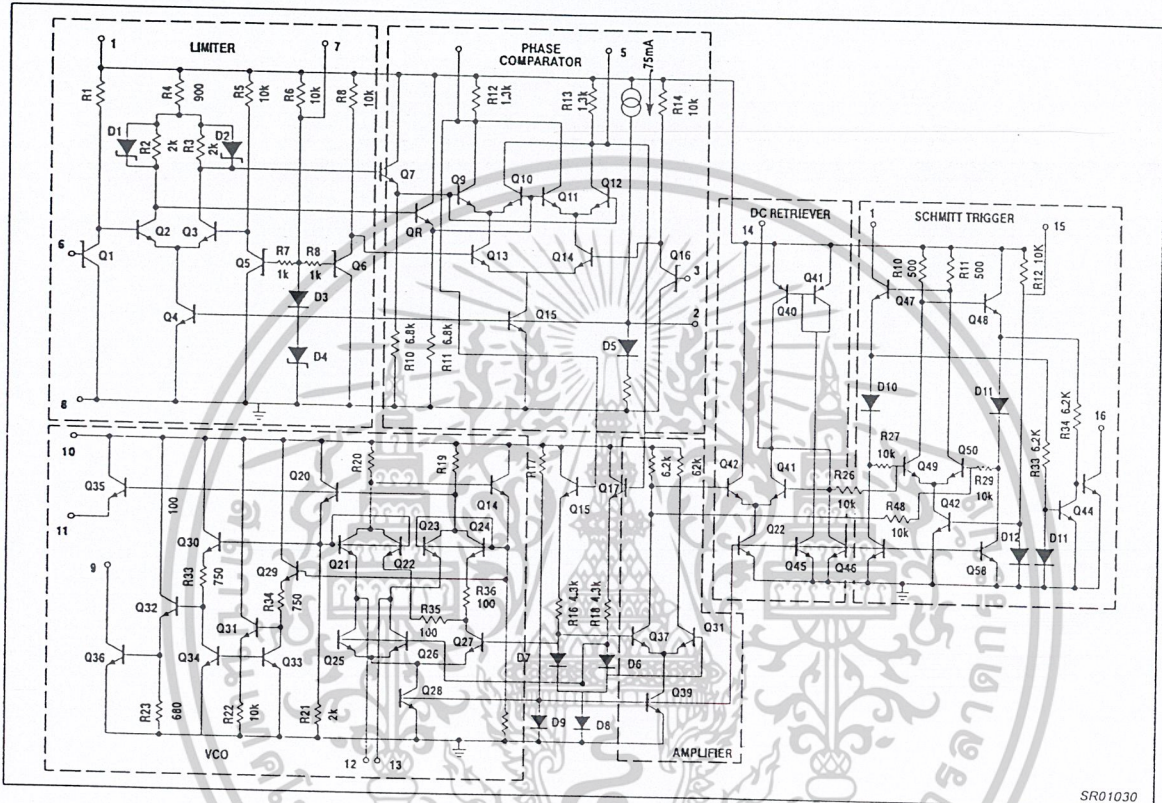


Figure 6. Equivalent Schematic

SR01030

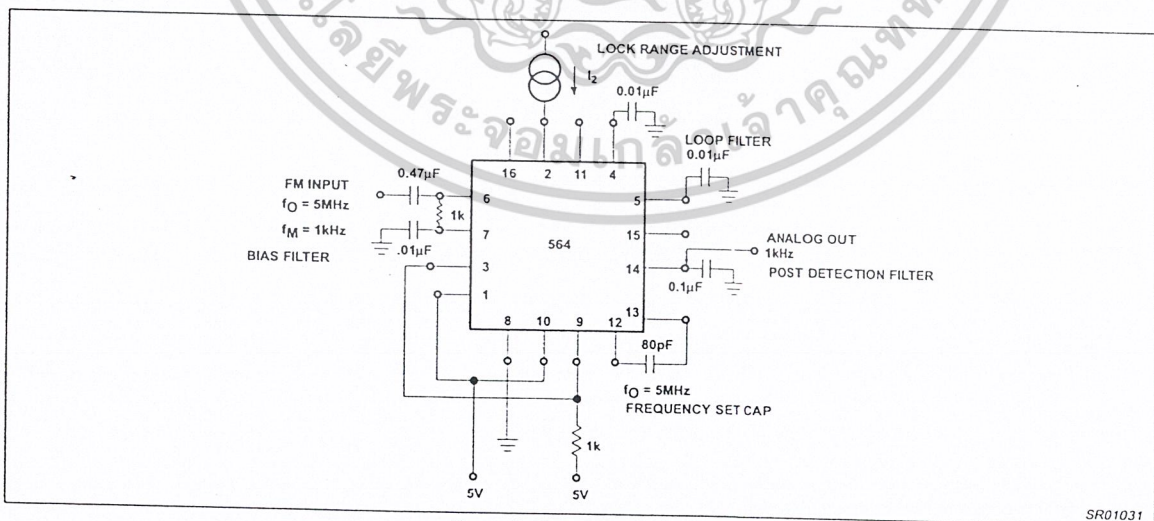


Figure 7. FM Demodulator at 5V

SR01031

1994 Aug 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Phase-locked loop

NE/SE564

APPLICATIONS

FM Demodulator

The NE564 can be used as an FM demodulator. The connections for operation at 5V and 12V are shown in Figures 7 and 8, respectively. The input signal is AC coupled with the output signal being extracted at Pin 14. Loop filtering is provided by the capacitors at Pins 4 and 5 with additional filtering being provided by the capacitor at Pin 14. Since the conversion gain of the VCO is not very high, to obtain sufficient demodulated output signal the frequency deviation in the input signal should be 1% or higher.

Modulation Techniques

The NE564 phase-locked loop can be modulated at either the loop filter ports (Pins 4 and 5) or the input port (Pin 6) as shown in Figure 9. The approximate modulation gain frequency can be determined from the frequency conversion gain curve shown in Figure 10. This curve will be appropriate for signals injected into Pins 4 and 5 as shown in Figure 9.

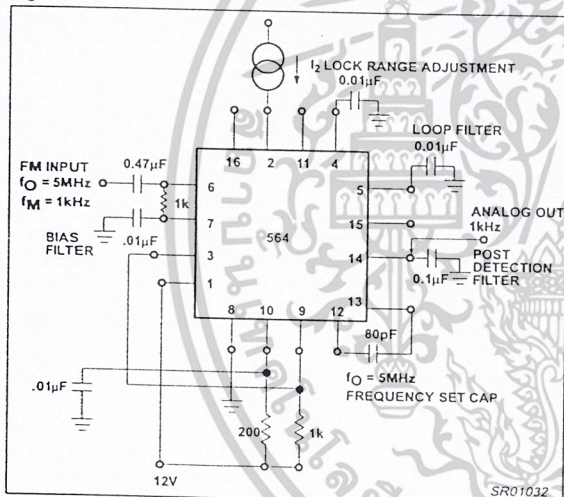


Figure 8. FM Demodulator at 12V

FSK Demodulation

The 564 PLL is particularly attractive for FSK demodulation since it contains an internal voltage comparator and VCO which have TTL compatible inputs and outputs, and it can operate from a single 5V power supply. Demodulated DC voltages associated with the mark and space frequencies are recovered with a single external capacitor in a DC retriever without utilizing extensive filtering networks. An internal comparator, acting as a Schmitt trigger with an adjustable hysteresis, shapes the demodulated voltages into compatible TTL output levels. The high-frequency design of the 564 enables it to demodulate FSK at high data rates in excess of 1.0M baud.

Figure 10 shows a high-frequency FSK decoder designed for input frequency deviations of $\pm 1.0\text{MHz}$ centered around a free-running frequency of 10.8MHz. The value of the limiting capacitance required was estimated from Figure 8 to be approximately 40pF. A trimmer capacitor was added to fine tune f_0 10.8MHz.

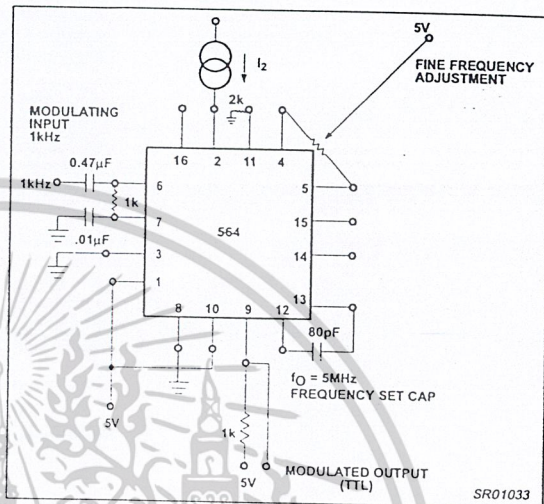


Figure 9. Modulator

The lock range graph indicates that the $\pm 1.0\text{MHz}$ frequency deviations will be within the lock range for input signal levels greater than approximately 50mV with zero Pin 2 bias current. (While strictly this figure is appropriate only for 50MHz, it can be used as a guide for lock range estimates at other f_0 frequencies).

The hysteresis was adjusted experimentally via the 10kΩ potentiometer and 2kΩ bias arrangement to give the waveshape shown in Figure 12 for 20k, 500k, 2M baud rates with square wave FSK modulation. Note the magnitude and phase relationships of the phase comparators' output voltages with respect to each other and to the FSK output. The high-frequency sum components of the input and VCO frequency also are viable as noise on the phase comparator's outputs.

OUTLINE OF SETUP PROCEDURE

1. Determine operating frequency of the VCO: $f_0 = N \times f_{IN}$ (feedback loop, then $f_0 = N \times f_{IN}$).

2. Calculate value of the VCO frequency set capacitor:

$$C_0 \cong \frac{1}{2200 f_0}$$

3. Set I_2 (current sinking into Pin 2) for $\cong 100\mu\text{A}$. After operation is obtained, this value may be adjusted for best dynamic behavior,

$$\text{and replace with fixed resistor value of } R_2 = \frac{V_{CC} - 1.3V}{I_{B_2}}$$

4. Check VCO output frequency with digital counter at Pin 9 of device (loop open, VCO to ϕ det.). Adjust C_0 trim or frequency adj. Pins 4 - 5 for exact center frequency, if needed.
5. Close loop and inject input signal to Pin 6. Monitor Pins 3 and 6 with two-channel scope. Lock should occur with $\Delta\phi_{3-6}$ equal to 90° (phase error).

Phase-locked loop

NE/SE564

- 6. If pulsed burst or ramp frequency is used for input signal, special loop filter design may be required in place of simple single capacitor filter on Pins 4 and 5. (See PLL application section)
- 7. The input signal to Pin 6 and the VCO feedback signal to Pin 3 must have a duty cycle of 50% for proper operation of the phase detector. Due to the nature of a balanced mixer if signals are not

50% in duty cycle, DC offsets will occur in the loop which tend to create an artificial or biased VCO.

- 8. For multiplier circuits where phase jitter is a problem, loop filter capacitors may be increased to a value of 10 - 50 μ F on Pins 4, 5. Also, careful supply decoupling may be necessary. This includes the counter chain V_{CC} lines.

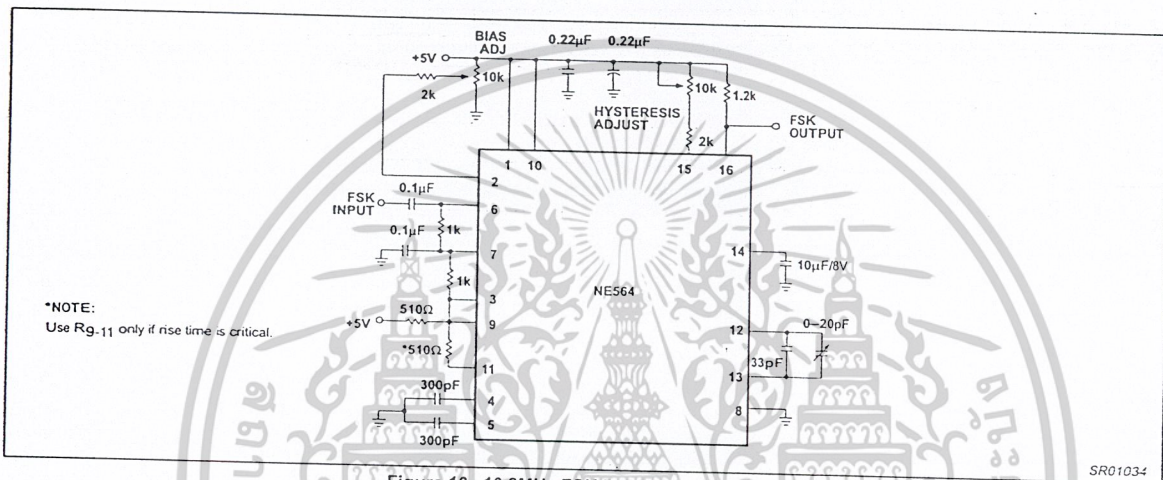


Figure 10. 10.8MHz FSK Decoder Using the 564

SR01034

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Phase-locked loop

NE/SE564

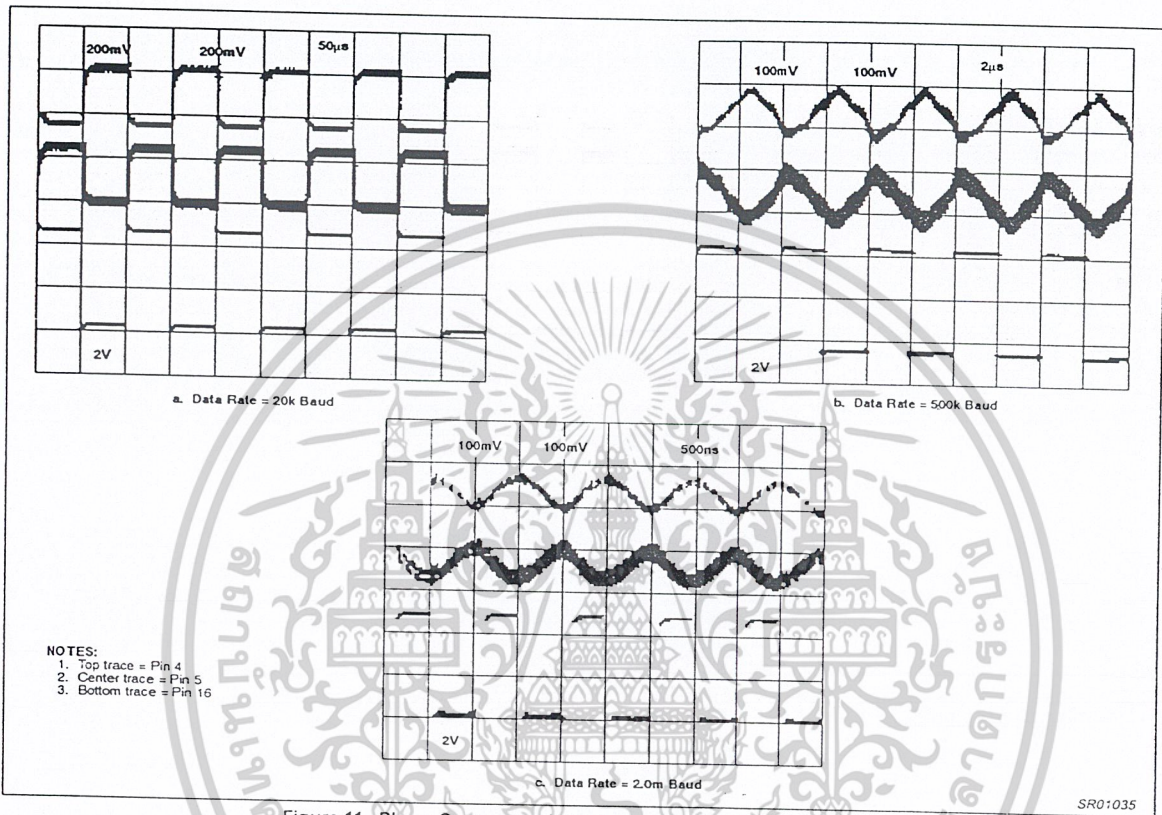


Figure 11. Phase Comparator (Pins 4 and 5) and FSK (Pin 16) Outputs

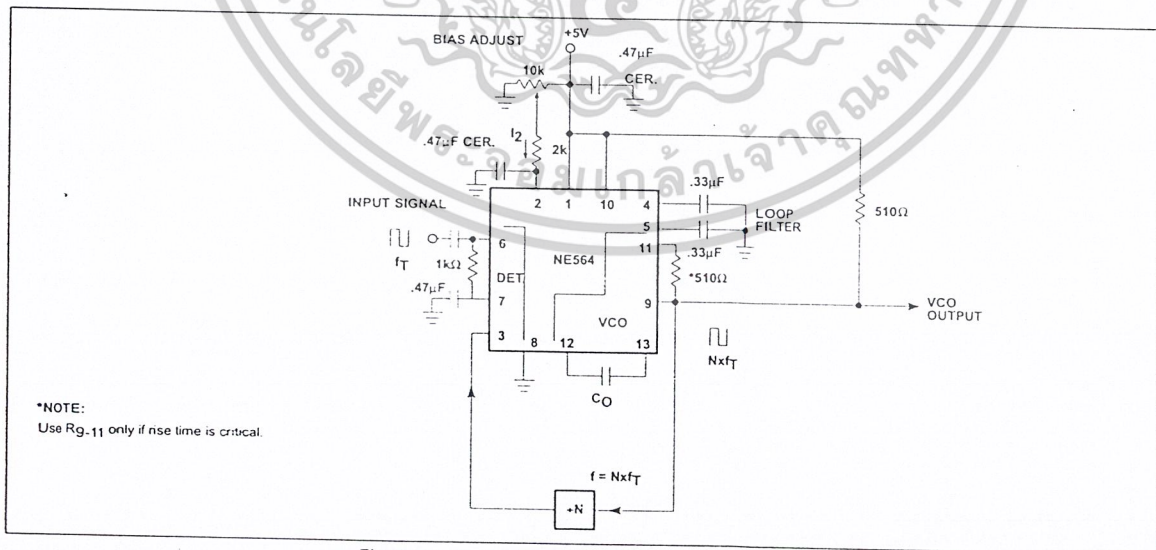


Figure 12. NE564 Phase-Locked Frequency Multiplier

1994 Aug 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High frequency operational amplifier

NE/SE5539

DESCRIPTION

The NE/SE5539 is a very wide bandwidth, high slew rate, monolithic operational amplifier for use in video amplifiers, RF amplifiers, and extremely high slew rate amplifiers.

Emitter-follower inputs provide a true differential input impedance device. Proper external compensation will allow design operation over a wide range of closed-loop gains, both inverting and non-inverting, to meet specific design requirements.

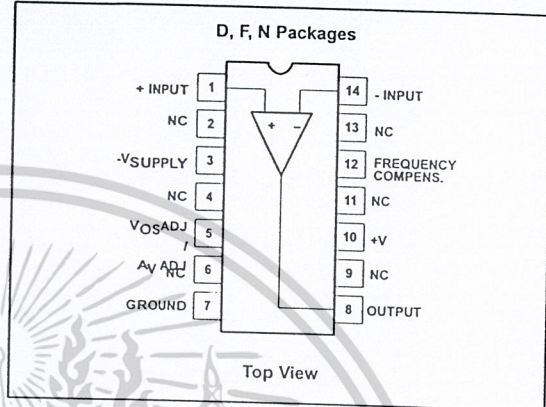
FEATURES

- Bandwidth
 - Unity gain - 350MHz
 - Full power - 48MHz
 - GBW - 1.2GHz at 17dB
- Slew rate: 600V/ μ s
- A_{VOL} : 52dB typical
- Low noise - 4nV/ \sqrt Hz typical
- MIL-STD processing available

APPLICATIONS

- High speed datacom
- Video monitors & TV

PIN CONFIGURATION



- Satellite communications
- Image processing
- RF instrumentation & oscillators
- Magnetic storage
- Military communications

ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 to +70°C	NE5539N	0405B
14-Pin Plastic Small Outline (SO) package	0 to +70°C	NE5539D	0175D
14-Pin Ceramic Dual In-Line Package	0 to +70°C	NE5539F	0581B
14-Pin Ceramic Dual In-Line Package	-55 to +125°C	SE5539F	0581B

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS¹

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNITS
V_{CC}	Supply voltage	± 12	V
P_{DMAX}	Maximum power dissipation, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (still-air) ²		
	F package	1.17	W
	N package	1.45	W
	D package	0.99	W
T_A	Operating temperature range		
	NE	0 to 70	°C
	SE	-55 to +125	°C
T_{STG}	Storage temperature range		
T_J	Max junction temperature	-65 to +150	°C
T_{SOLD}	Lead soldering temperature (10sec max)	150	°C
		+300	°C

NOTES:

1. Differential input voltage should not exceed 0.25V to prevent excessive input bias current and common-mode voltage 2.5V. These voltage limits may be exceeded if current is limited to less than 10mA.
2. Derate above 25°C, at the following rates:
 - F package at 9.3mW/°C
 - N package at 11.6mW/°C
 - D package at 7.9mW/°C

April 15, 1992

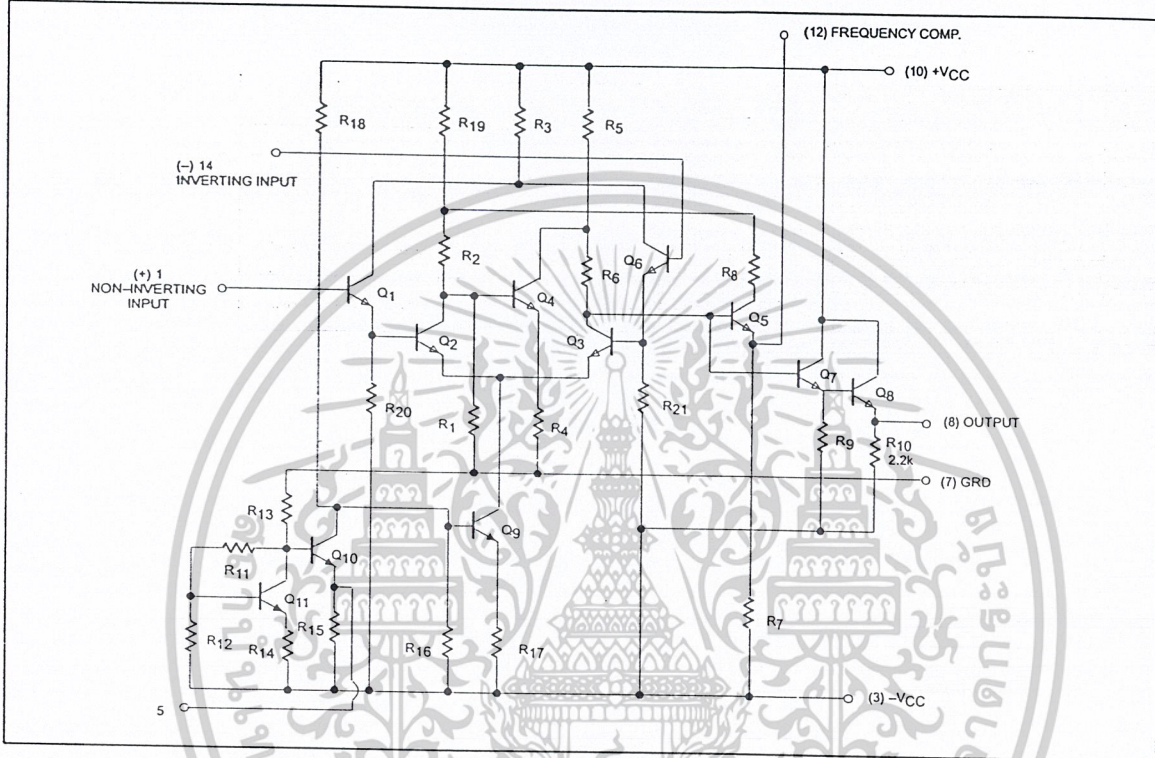
853-0814 06456

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High frequency operational amplifier

NE/SE5539

EQUIVALENT CIRCUIT



DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{CC} = \pm 8V$, $T_A = 25^\circ C$; unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	SE5539			NE5539			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{OS}	Input offset voltage	$V_O = 0V$, $R_S = 100\Omega$	Over temp	2	5				mV
			$T_A = 25^\circ C$	2	3	2.5	5		
			$\Delta V_{OS}/\Delta T$	5		5			
I_{OS}	Input offset current		Over temp	0.1	3				μA
			$T_A = 25^\circ C$	0.1	1		2		
			$\Delta I_{OS}/\Delta T$	0.5		0.5			
I_B	Input bias current		Over temp	6	25				μA
			$T_A = 25^\circ C$	5	13	5	20		
			$\Delta I_B/\Delta T$	10		10			
CMRR	Common mode rejection ratio	$F = 1kHz$, $R_S = 100\Omega$, $V_{CM} \pm 1.7V$	Over temp	70	80	70	80		dB
			$T_A = 25^\circ C$	70	80				
R_{IN}	Input impedance			100		100		k Ω	
R_{OUT}	Output impedance			10		10		Ω	

April 15, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High frequency operational amplifier

NE/SE5539

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Continued)

V_{CC} = ±8V, T_A = 25°C; unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	SE5539			NE5539			UNITS	
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
V _{OUT}	Output voltage swing	R _L = 150Ω to GND and 470Ω to -V _{CC}	+Swing			+2.3	+2.7		V	
			-Swing			-1.7	-2.2			
V _{OUT}	Output voltage swing	R _L = 25Ω to GND	+Swing	+2.3	+3.0				V	
		Over temp	-Swing	-1.5	-2.1					
		R _L = 25Ω to GND T _A = 25°C	+Swing	+2.5	+3.1					
			-Swing	-2.0	-2.7					
I _{CC+}	Positive supply current	V _O = 0, R _I = ∞, Over temp			14	18			mA	
		V _O = 0, R _I = ∞, T _A = 25°C			14	17		14		18
I _{CC-}	Negative supply current	V _O = 0, R _I = ∞, Over temp			11	15			mA	
		V _O = 0, R _I = ∞, T _A = 25°C			11	14		11		15
PSRR	Power supply rejection ratio	ΔV _{CC} = ±1V, Over temp			300	1000			μV/V	
		ΔV _{CC} = ±1V, T _A = 25°C						200		1000
A _{VOL}	Large signal voltage gain	V _O = +2.3V, -1.7V, R _L = 150Ω to GND, 470Ω to -V _{CC}					47	52	57	dB
A _{VOL}	Large signal voltage gain	V _O = +2.3V, -1.7V R _L = 2Ω to GND	Over temp							dB
			T _A = 25°C				47	52	57	
A _{VOL}	Large signal voltage gain	V _O = +2.5V, -2.0V R _L = 2Ω to GND	Over temp	46	60					dB
			T _A = 25°C	48	53	58				

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

V_{CC} = ±6V, T_A = 25°C; unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	SE5539			UNITS	
			MIN	TYP	MAX		
V _{OS}	Input offset voltage		Over temp	2	5	mV	
			T _A = 25°C	2	3		
I _{OS}	Input offset current		Over temp	0.1	3	μA	
			T _A = 25°C	0.1	1		
I _B	Input bias current		Over temp	5	20	μA	
			T _A = 25°C	4	10		
CMRR	Common-mode rejection ratio	V _{CM} = ±1.3V, R _S = 100Ω	70	85		dB	
I _{CC+}	Positive supply current		Over temp	11	14	mA	
			T _A = 25°C	11	13		
I _{CC-}	Negative supply current		Over temp	8	11	mA	
			T _A = 25°C	8	10		
PSRR	Power supply rejection ratio	ΔV _{CC} = ±1V	Over temp	300	1000	μV/V	
			T _A = 25°C				
V _{OUT}	Output voltage swing	R _L = 150Ω to GND and 390Ω to -V _{CC}	Over temp	+Swing	+1.4	+2.0	V
				-Swing	-1.1	-1.7	
			T _A = 25°C	+Swing	+1.5	+2.0	
				-Swing	-1.4	-1.8	

April 15, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High frequency operational amplifier

NE/SE5539

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

$V_{CC} = \pm 8V$, $R_L = 150\Omega$ to GND and 470Ω to $-V_{CC}$, unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	SE5539			NE5539			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
BW	Gain bandwidth product	$A_{CL} = 7$, $V_O = 0.1 V_{p,p}$		1200			1200		MHz
	Small signal bandwidth	$A_{CL} = 2$, $R_L = 150\Omega^1$		110			110		MHz
t_s	Settling time	$A_{CL} = 2$, $R_L = 150\Omega^1$		15			15		ns
SR	Slew rate	$A_{CL} = 2$, $R_L = 150\Omega^1$		600			600		V/ μ s
t_{PD}	Propagation delay	$A_{CL} = 2$, $R_L = 150\Omega^1$		7			7		ns
	Full power response	$A_{CL} = 2$, $R_L = 150\Omega^1$		48			48		MHz
	Full power response	$A_V = 7$, $R_L = 150\Omega^1$		20			20		MHz
	Input noise voltage	$R_S = 50\Omega$, 1MHz		4			4		nV/ \sqrt{Hz}
	Input noise current	1MHz		6			6		pA/ \sqrt{Hz}

NOTES:

- External compensation.

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

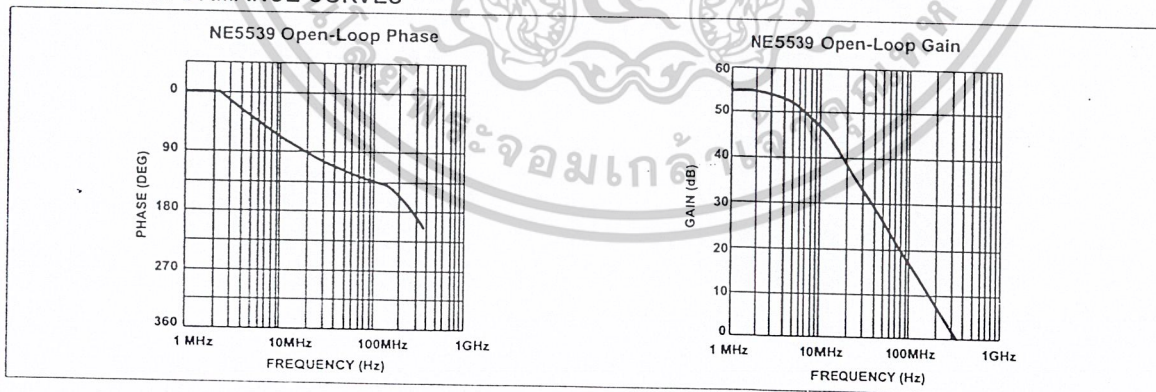
$V_{CC} = \pm 6V$, $R_L = 150\Omega$ to GND and 390Ω to $-V_{CC}$, unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	SE5539			UNITS
			MIN	TYP	MAX	
BW	Gain bandwidth product	$A_{CL} = 7$		700		MHz
	Small signal bandwidth	$A_{CL} = 2^1$		120		
t_s	Settling time	$A_{CL} = 2^1$		23		ns
SR	Slew rate	$A_{CL} = 2^1$		330		V/ μ s
t_{PD}	Propagation delay	$A_{CL} = 2^1$		4.5		ns
	Full power response	$A_{CL} = 2^1$		20		MHz

NOTES:

- External compensation.

TYPICAL PERFORMANCE CURVES



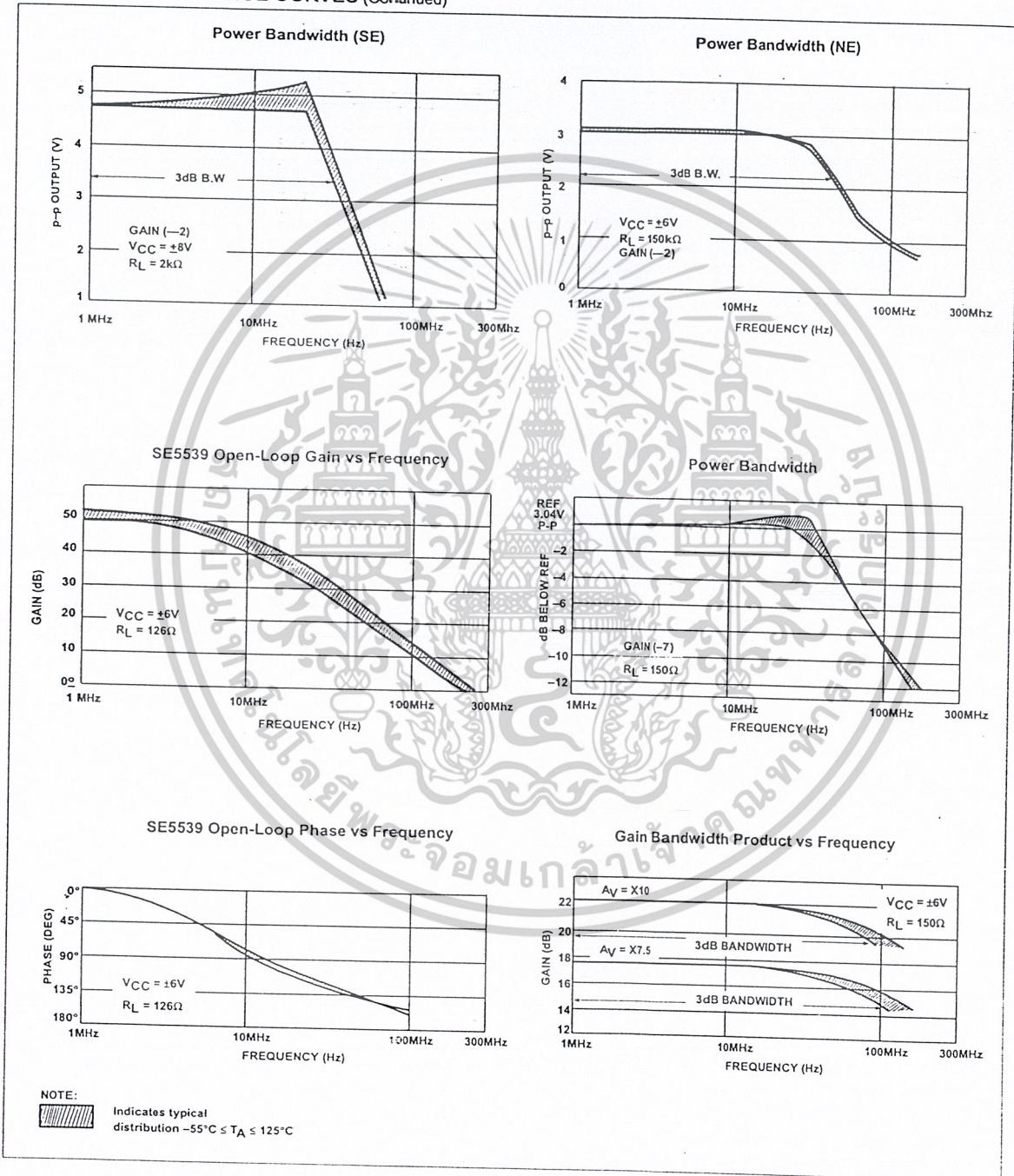
April 15, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High frequency operational amplifier

NE/SE5539

TYPICAL PERFORMANCE CURVES (Continued)



April 15, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High frequency operational amplifier

NE/SE5539

CIRCUIT LAYOUT CONSIDERATIONS

As may be expected for an ultra-high frequency, wide-gain bandwidth amplifier, the physical circuit is extremely critical.

Bread-boarding is not recommended. A double-sided copper-clad printed circuit board will result in more favorable system operation. An example utilizing a 28dB non-inverting amp is shown in Figure 1.

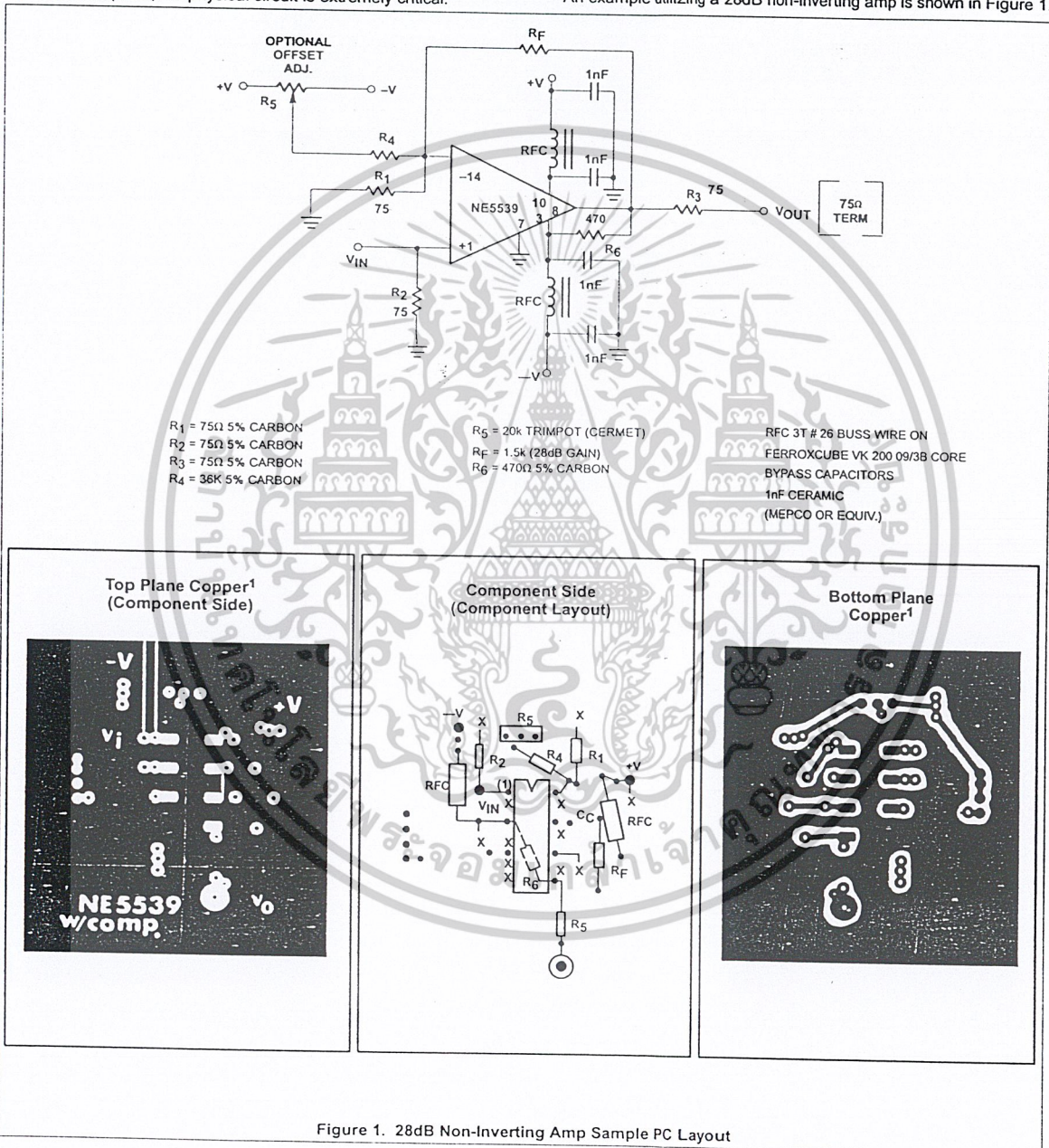


Figure 1. 28dB Non-Inverting Amp Sample PC Layout

April 15, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High frequency operational amplifier

NE/SE5539

NE5539 COLOR VIDEO AMPLIFIER

The NE5539 wideband operational amplifier is easily adapted for use as a color video amplifier. A typical circuit is shown in Figure 2 along with vector-scope photographs showing the amplifier differential gain and phase response to a standard five-step modulated staircase linearity signal (Figures 3, 4 and 5). As can be seen in Figure 4, the gain varies less than 0.5% from the bottom to

the top of the staircase. The maximum differential phase shown in Figure 5 is approximately +0.1°.

The amplifier circuit was optimized for a 75Ω input and output termination impedance with a gain of approximately 10 (20dB).

NOTE:

1. The input signal was 200mV and the output 2V. V_{CC} was ±8V.

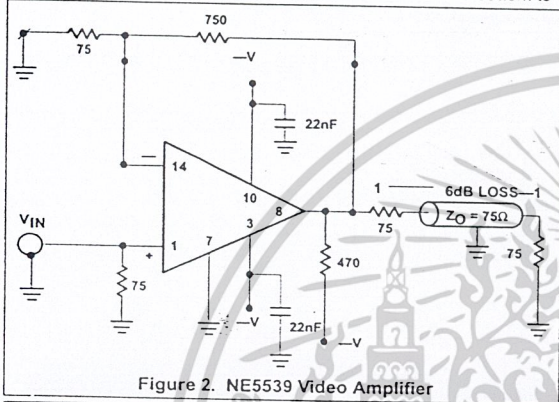


Figure 2. NE5539 Video Amplifier

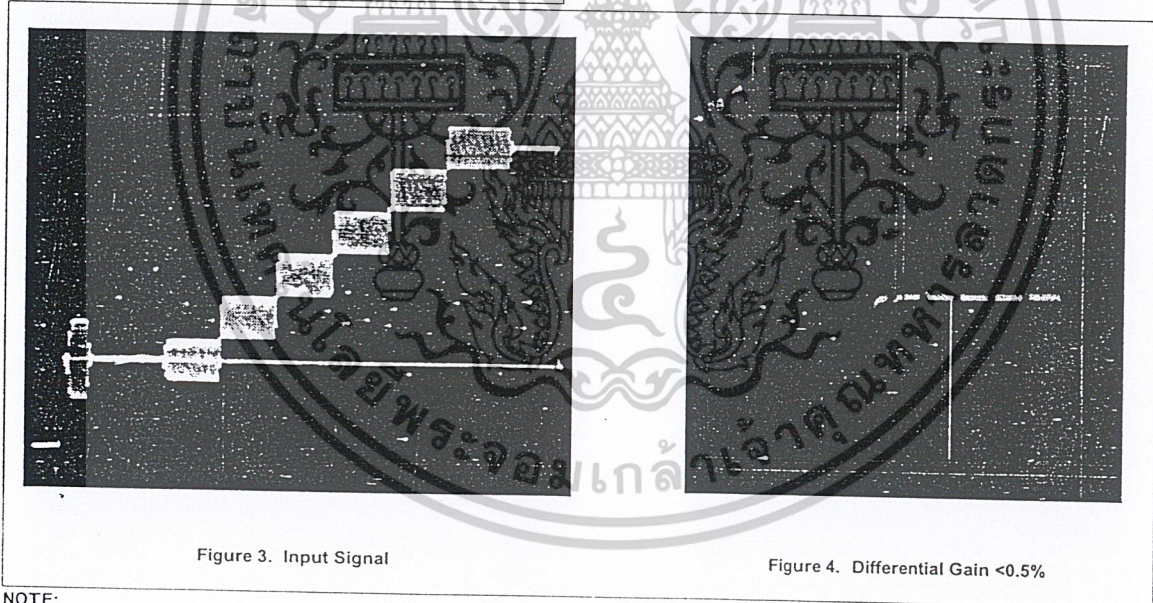


Figure 3. Input Signal

Figure 4. Differential Gain <0.5%

NOTE:

Instruments used for these measurements were Tektronix 146 NTSC test signal generator, 520A NTSC vectorscope, and 1480 waveform monitor.

April 15, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High frequency operational amplifier

NE/SE5539

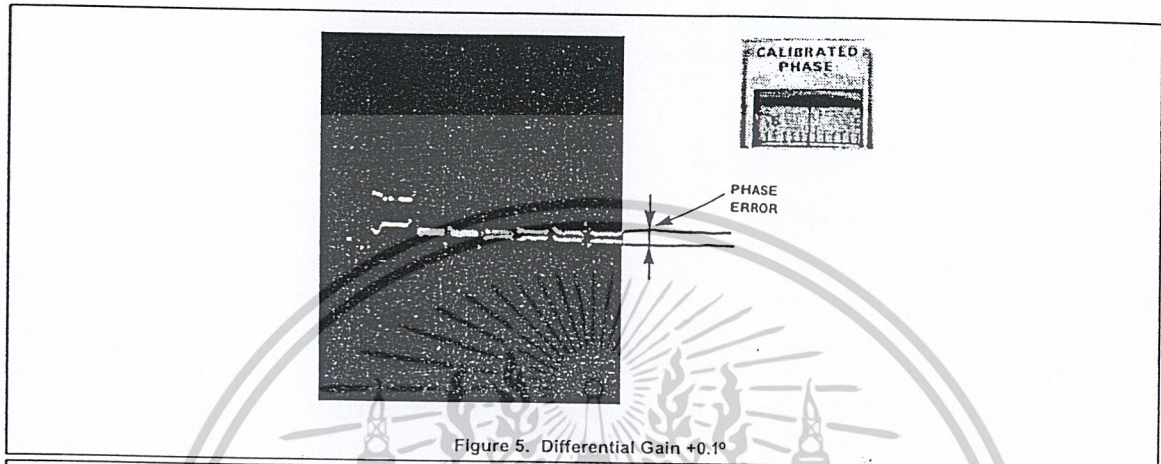


Figure 5. Differential Gain +0.1°

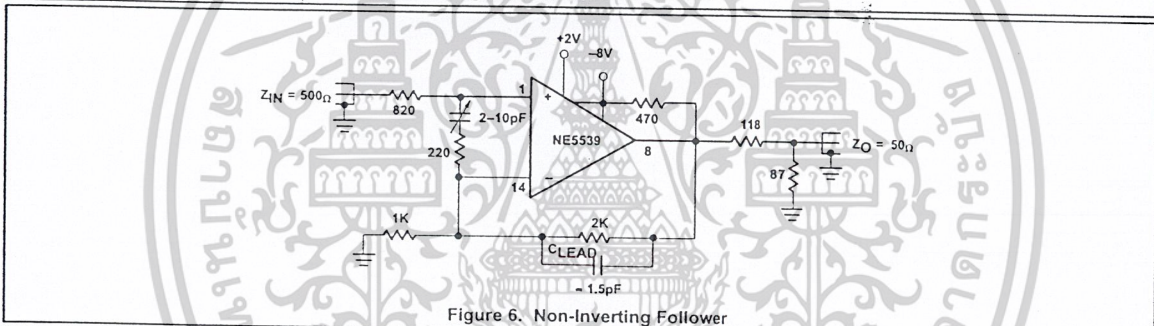


Figure 6. Non-Inverting Follower

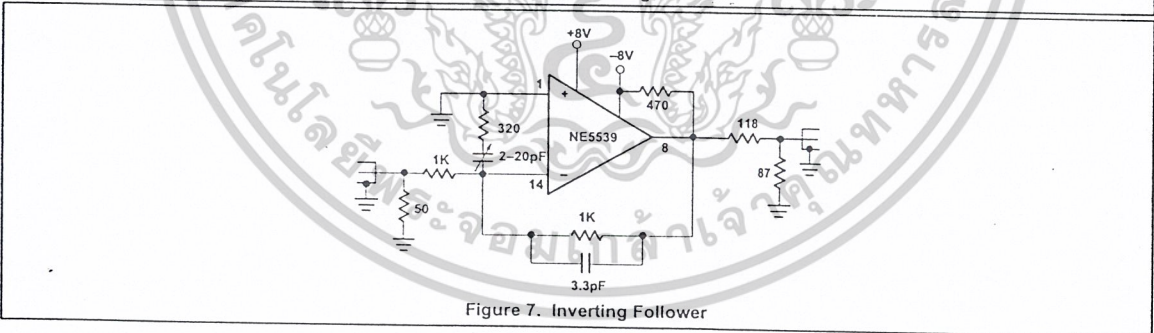


Figure 7. Inverting Follower

April 15, 1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Plastic Fiber Optic Transmitter Diode
Plastic Connector Housing**

**SFH450
SFH450V**

Features

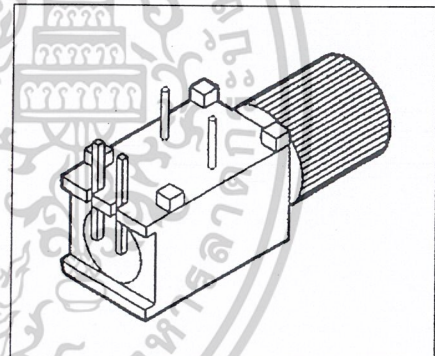
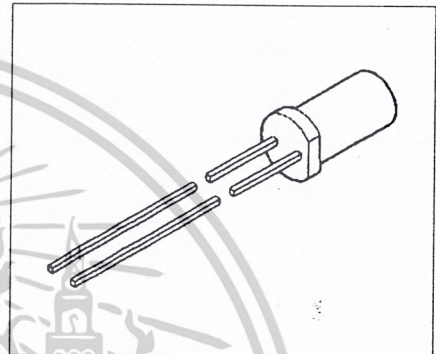
- 2.2 mm Aperture holds Standard 1000 Micron Plastic Fiber
- No Fiber Stripping Required
- Good Linearity (Forward current > 2 mA)
- Molded Microlens for Efficient Coupling

Plastic Connector Housing

- Mounting Screw Attached to the Connector
- Interference Free Transmission from light-Tight Housing
- Transmitter and Receiver can be flexibly positioned
- No Cross Talk
- Auto insertable and Wave solderable
- Supplied in Tubes

Applications

- Household Electronics
- Power Electronics
- Optical Networks
- Medical Instruments
- Automotive Electronics
- Light Barriers



Type	Ordering Code
SFH450	Q62702-P1034
SFH450V	Q62702-P0265

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Technical Data
Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Limit Values		Unit
		min.	max.	
Operating Temperature Range	T_{OP}	-40	+85	°C
Storage Temperature Range	T_{STG}	-55	+100	
Junction Temperature	T_J		100	
Soldering Temperature (2 mm from case bottom, $t \leq 5$ s)	T_S		260	
Reverse Voltage	V_R		5	V
Forward Current	I_F		130	mA
Surge Current ($t \leq 10 \mu\text{s}$, $D = 0$)	I_{FSM}		3.5	A
Power Dissipation	P_{TOT}		200	mW
Thermal Resistance, Junction/Air	R_{thJA}		375	K/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

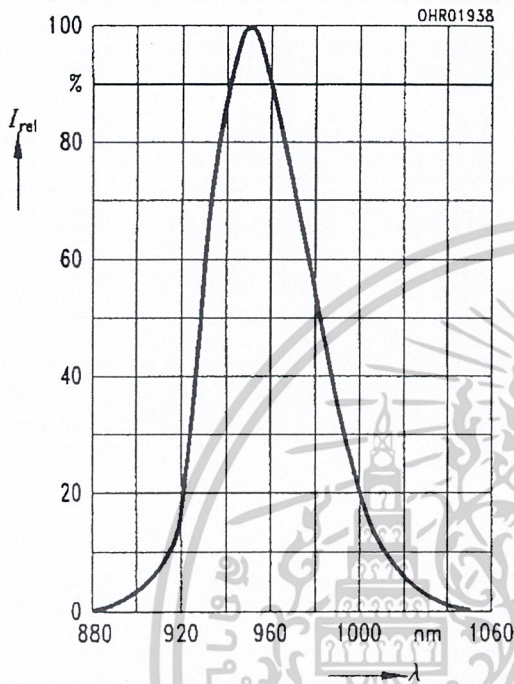
Characteristics ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Peak Wavelength	λ_{Peak}	950	nm
Spectral Bandwidth	$\Delta\lambda$	55	
Switching Times ($R_G = 50 \Omega$, $I_{F(\text{LOW})} = 0.1 \text{ mA}$, $I_{F(\text{HIGH})} = 50 \text{ mA}$)			
10% to 90%	t_R	1	μs
90% to 10%	t_F	1	
Capacitance ($f = 1 \text{ MHz}$, $V_R = 0 \text{ V}$)	C_O	40	pF
Forward Voltage ($I_F = 10 \text{ mA}$)	V_F	1.3 (≤ 1.5)	V
Output Power Coupled into Plastic Fiber ($I_F = 10 \text{ mA}$) ¹⁾	Φ_{IN}	90 (≥ 40)	μW
Temperature Coefficient Φ_{IN}	TC_Φ	-0.5	%/K
Temperature Coefficient V_F	TC_V	-1.5	mV/K
Temperature Coefficient λ_{Peak}	TC_λ	0.3	nm/K

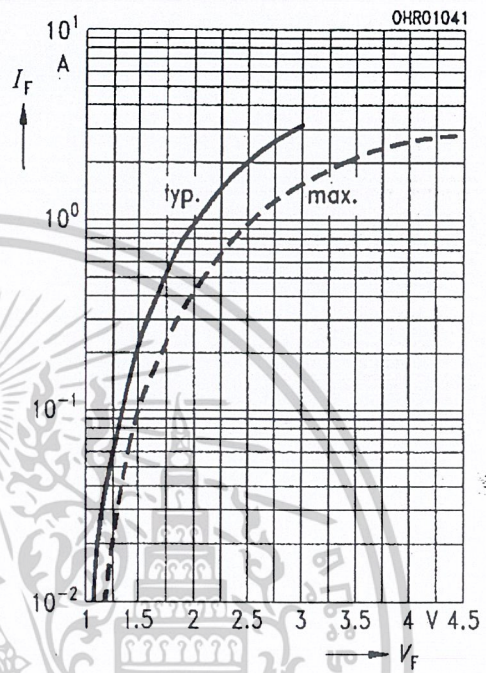
¹⁾ The output power coupled into plastic fiber is measured with a large area detector after a short fiber (about 30 cm). This value must not be used for calculating the power budget for a fiber optic system with a long fiber because the numerical aperture of plastic fibers is decreasing on the first meters. Therefore the fiber seems to have compared with the specified value a higher attenuation on the first meters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

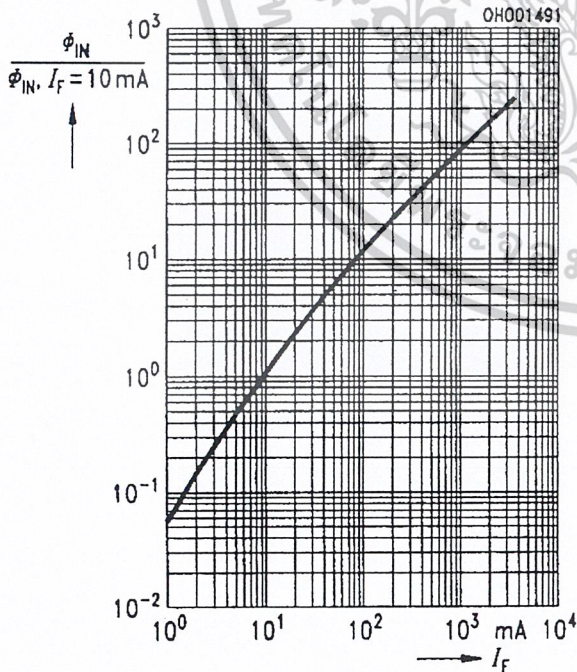
Relative spectral emission $I_{rel} = f(\lambda)$



Forward current $I_F = f(V_F)$
single pulse, duration = 20 μ s

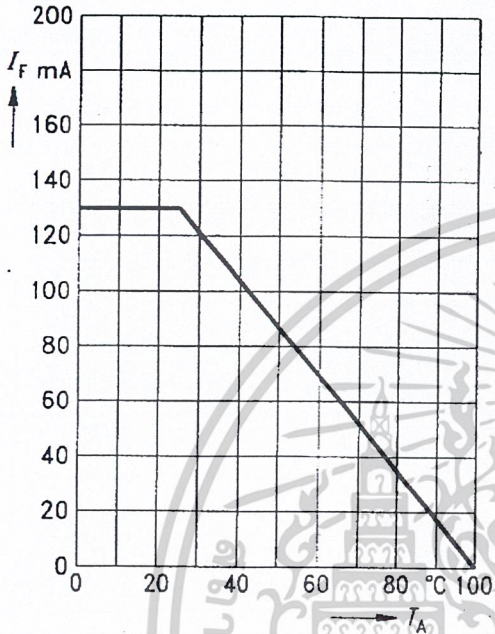


Relative output power $\Phi_{IN}/\Phi_{IN(10\text{ mA})} = f(I_F)$

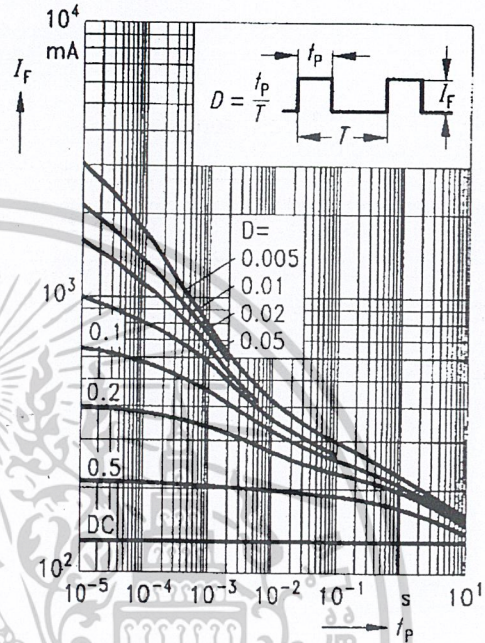


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum permissible forward current
 $I_F = f(T_A)$



Permissible pulse load $I_F = f(t_p)$,
duty cycle $D =$ parameter, $T_A = 25^\circ\text{C}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Outlines

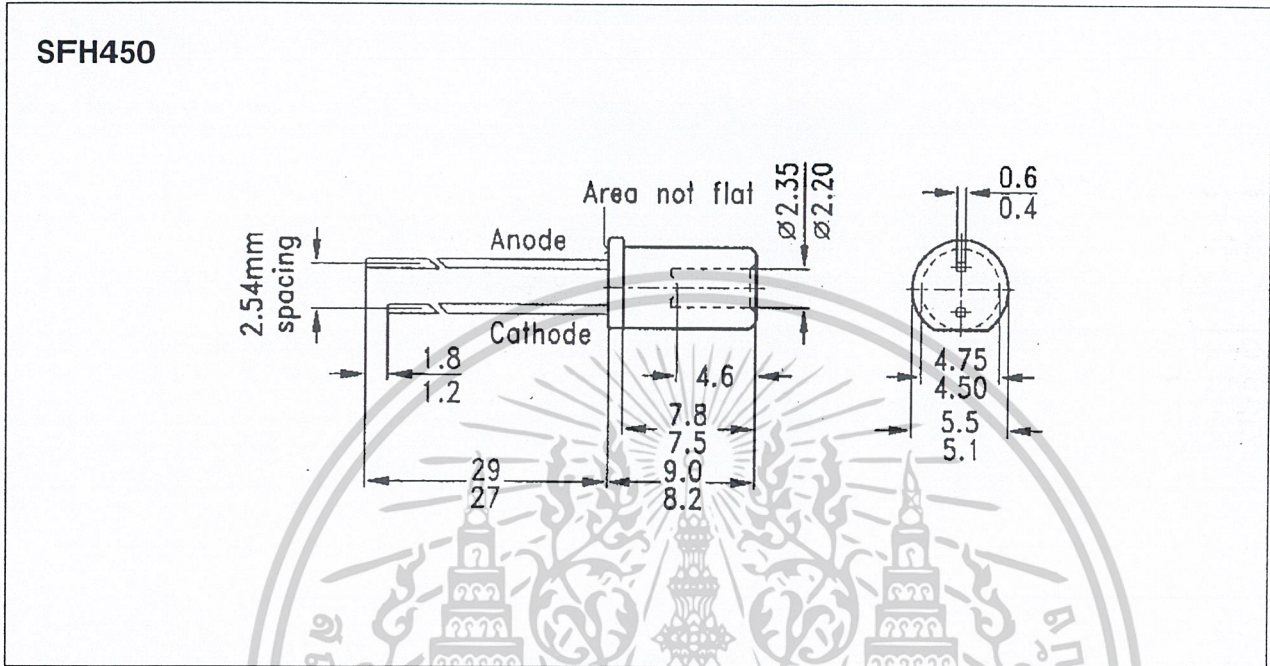


Figure 1

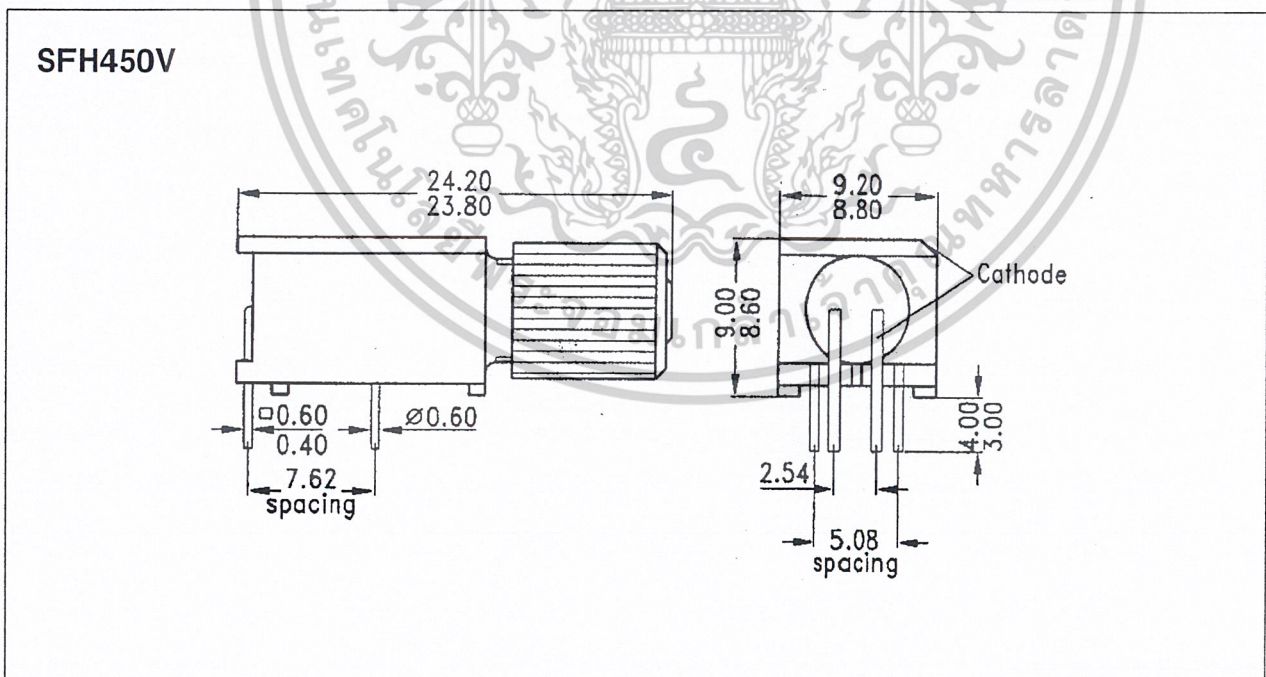


Figure 2

(dimensions in mm, unless otherwise specified)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SFH450
SFH450V

Revision History: 2002-03-14

DS0

Previous Version:

Page	Subjects (major changes since last revision)
	Document's layout has been changed: 2002-Aug.

For questions on technology, delivery and prices please contact the Infineon Technologies Offices in Germany or the Infineon Technologies Companies and Representatives worldwide: see our webpage at <http://www.infineon.com>.



Edition 2002-03-14

Published by Infineon Technologies AG,
St.-Martin-Strasse 53,
D-81541 München, Germany

© Infineon Technologies AG 2002.
All Rights Reserved.

Attention please!

The information herein is given to describe certain components and shall not be considered as warranted characteristics.

Terms of delivery and rights to technical change reserved.

We hereby disclaim any and all warranties, including but not limited to warranties of non-infringement, regarding circuits, descriptions and charts stated herein.

Infineon Technologies is an approved CECC manufacturer.

Information

For further information on technology, delivery terms and conditions and prices please contact your nearest Infineon Technologies Office in Germany or our Infineon Technologies Representatives worldwide.

Warnings

Due to technical requirements components may contain dangerous substances. For information on the types in question please contact your nearest Infineon Technologies Office.

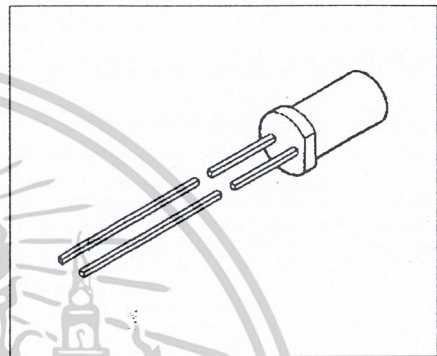
Infineon Technologies Components may only be used in life-support devices or systems with the express written approval of Infineon Technologies, if a failure of such components can reasonably be expected to cause the failure of that life-support device or system, or to affect the safety or effectiveness of that device or system. Life-support devices or systems are intended to be implanted in the human body, or to support and/or maintain and sustain and/or protect human life. If they fail, it is reasonable to assume that the health of the user or other persons may be endangered. ทรัพย์สินใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Plastic Fiber Optic Photodiode Detector
Plastic Connector Housing**

**SFH250
SFH250V**

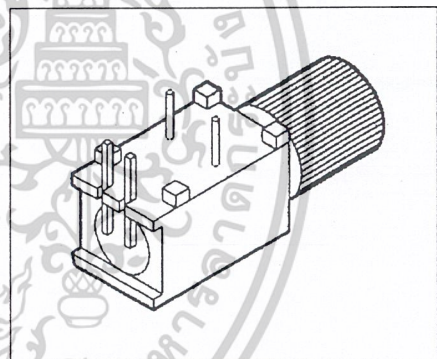
Features

- 2.2 mm Aperture holds Standard 1000 Micron Plastic Fiber
- No Fiber Stripping Required
- Fast Switching Time
- Good Linearity
- Sensitive in visible and near IR Range
- Molded Microlens for Efficient Coupling



Plastic Connector Housing

- Mounting Screw Attached to the Connector
- Interference Free Transmission from light-Tight Housing
- Transmitter and Receiver can be flexibly positioned
- No Cross Talk
- Auto insertable and Wave solderable
- Supplied in Tubes



Applications

- Household Electronics
- Power Electronics
- Optical Networks
- Medical Instruments
- Automotive Electronics
- Light Barriers

Type	Ordering Code
SFH250	Q62702-P1012
SFH250V	Q62702-P0263

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Technical Data
Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Limit Values		Unit
		min.	max.	
Operating Temperature Range	T_{OP}	-40	+85	°C
Storage Temperature Range	T_{STG}	-55	+100	
Junction Temperature	T_J		100	
Soldering Temperature (2 mm from case bottom, $t \leq 5$ s)	T_S		260	
Maximum Temperature Cycling Without Electrical Operation Temperature Range -55 to +100°C	n_{cycl}		200	
Reverse Voltage	V_R		30	V
Power Dissipation	P_{TOT}		100	mW
Thermal Resistance, Junction/Air	R_{thJA}		750	K/W

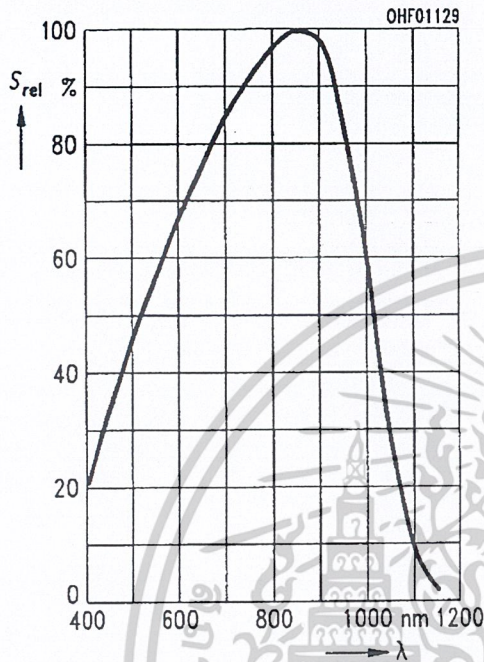
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characteristics ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

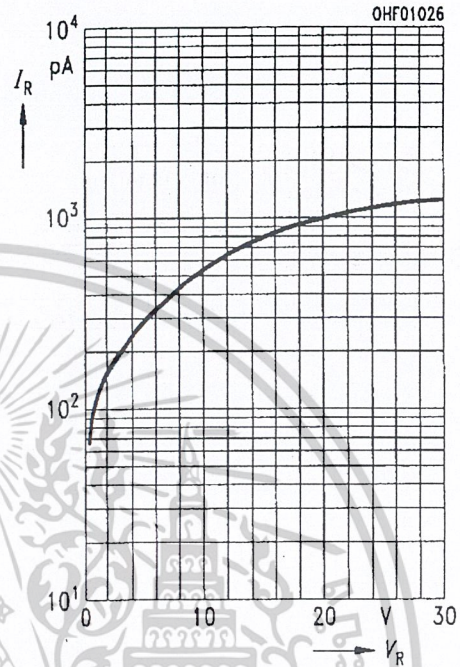
Parameter	Symbol	Limit Values			Unit
		min.	typ.	max.	
Maximum Photosensitivity Wavelength	λ_{Smax}		850		nm
Photosensitivity Spectral Range ($S = 10\% S_{max}$)	λ	400		1100	
Dark Current ($V_R = 20\text{ V}$)	I_R		1 (≤ 10)		nA
Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$, $V_R = 0\text{ V}$)	C_O		11		pF
Rise and Fall Times of Photo Current ($R_L = 50\ \Omega$, $V_R = 30\text{ V}$, $\lambda = 880\text{ nm}$)					
10% to 90%	t_R		0.01		μs
90% to 10%	t_F		0.01		
Photo Current ($\Phi_{IN} = 10\ \mu\text{W}$ coupled from the end of a plastic fiber, $V_R = 5\text{ V}$)					
$\lambda = 660\text{ nm}$	I_P		3 (≥ 1.6)		μA
$\lambda = 950\text{ nm}$			4 (≥ 2.5)		
Forward Voltage ($I_F = 50\text{ mA}$)			2.1 (≤ 2.8)		V
Temperature Coefficient I_P $\lambda = 560\text{ to }660\text{ nm}$	TC_I		-0.04		%/K
Temperature Coefficient I_P $\lambda = 830\text{ nm}$			0.04		
Temperature Coefficient I_P $\lambda = 950\text{ nm}$			0.2		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

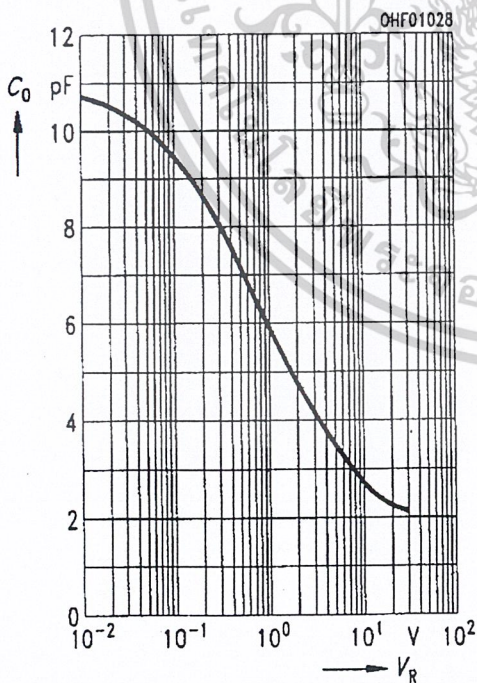
Relative spectral sensitivity $S_{rel} = f(\lambda)$



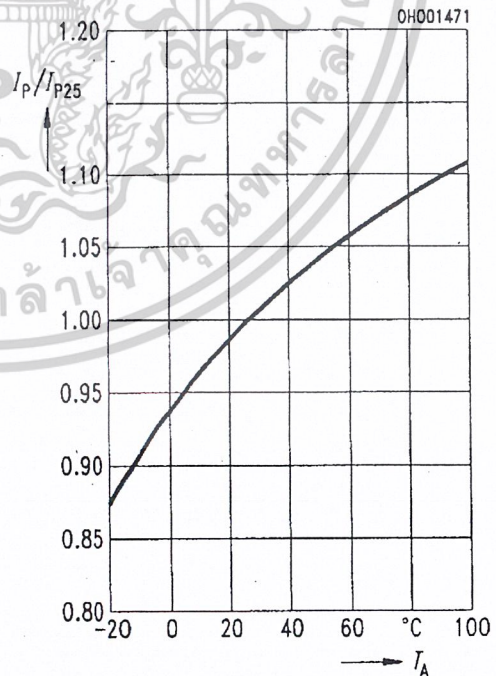
Dark current $I_R = f(V_R), T_A = 25^\circ\text{C}$



Capacitance $C_0 = f(V_R), f = 1\text{ MHz}, E_V = 0$



Photocurrent $I_P/I_{P25} = f(T_A), \lambda = 950\text{ nm}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Outlines

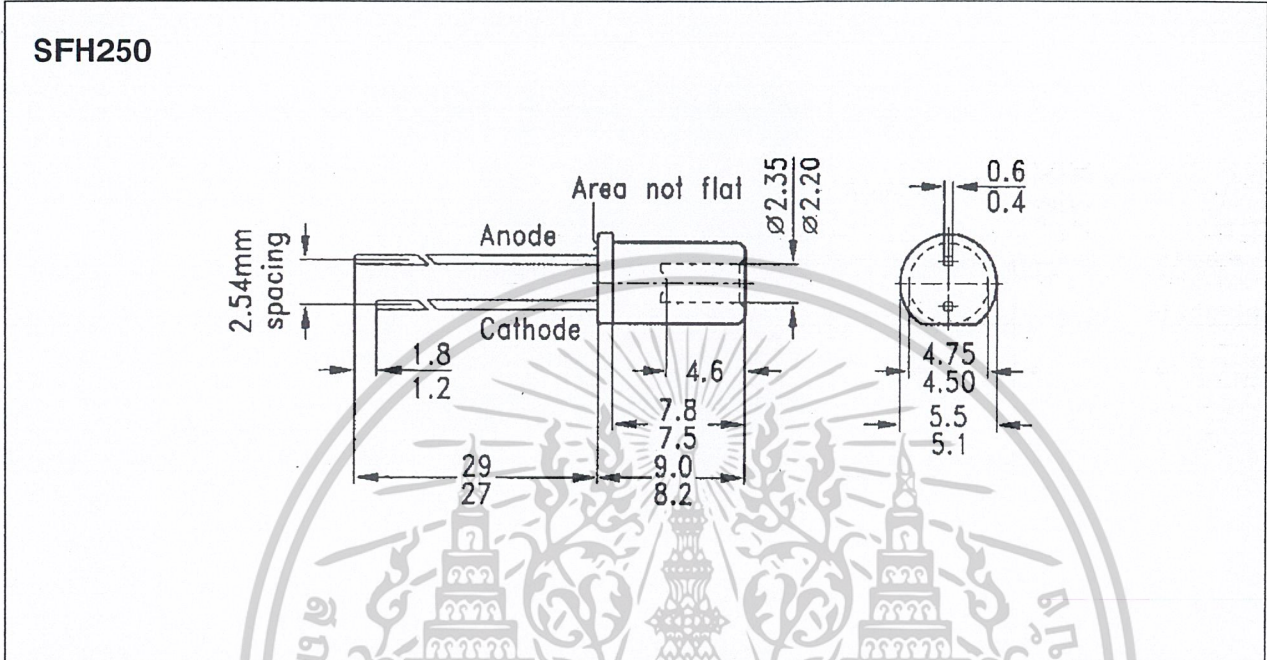


Figure 1

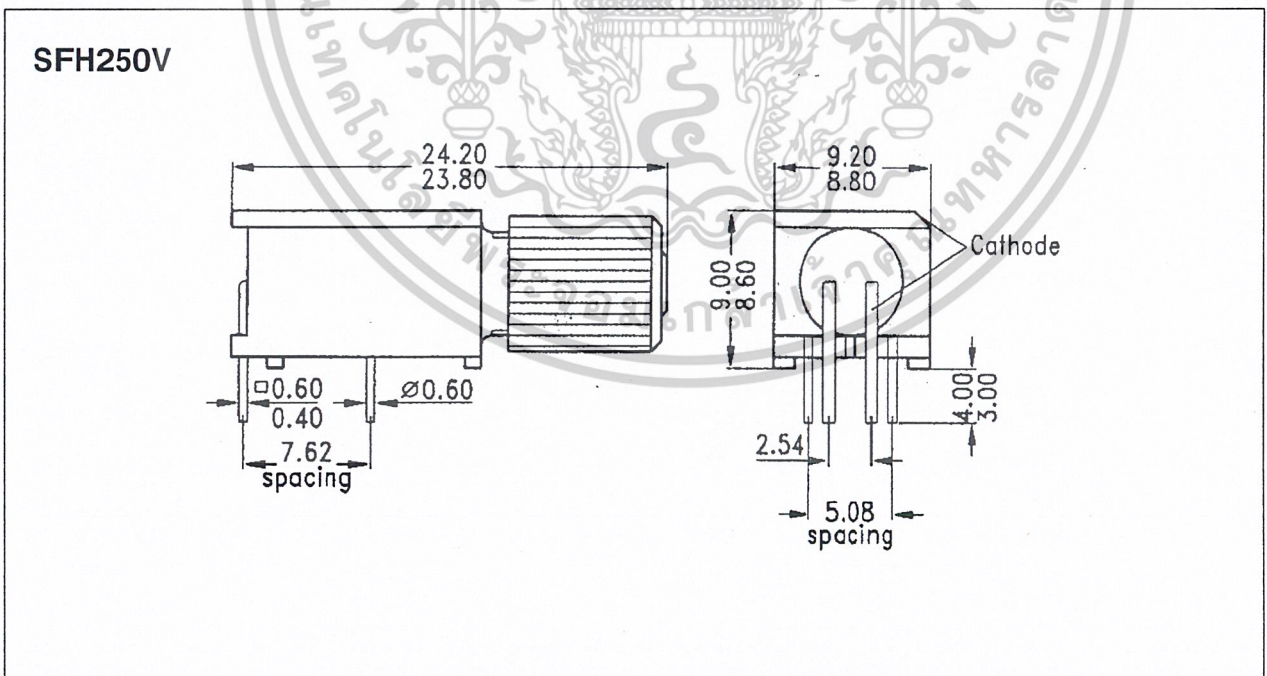


Figure 2

(dimensions in mm, unless otherwise specified)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SFH250
SFH250V

Revision History: 2002-03-14

DS0

Previous Version:

Page	Subjects (major changes since last revision)
	Document's layout has been changed: 2002-Aug.

For questions on technology, delivery and prices please contact the Infineon Technologies Offices in Germany or the Infineon Technologies Companies and Representatives worldwide: see our webpage at <http://www.infineon.com>.



Edition 2002-03-14

Published by Infineon Technologies AG,
St.-Martin-Strasse 53,
D-81541 München, Germany

© Infineon Technologies AG 2002.
All Rights Reserved.

Attention please!

The information herein is given to describe certain components and shall not be considered as warranted characteristics.

Terms of delivery and rights to technical change reserved.

We hereby disclaim any and all warranties, including but not limited to warranties of non-infringement, regarding circuits, descriptions and charts stated herein.

Infineon Technologies is an approved CECC manufacturer.

Information

For further information on technology, delivery terms and conditions and prices please contact your nearest Infineon Technologies Office in Germany or our Infineon Technologies Representatives worldwide.

Warnings

Due to technical requirements components may contain dangerous substances. For information on the types in question please contact your nearest Infineon Technologies Office.

Infineon Technologies Components may only be used in life-support devices or systems with the express written approval of Infineon Technologies, if a failure of such components can reasonably be expected to cause the failure of that life-support device or system, or to affect the safety or effectiveness of that device or system. Life-support devices or systems are intended to be implanted in the human body, or to support and/or maintain and sustain and/or protect human life. If they fail, it is reasonable to assume that the health of the user or other persons may be endangered.