



การสื่อสารข้อมูลดิจิทัลผ่านเส้นใยนำแสง

DIGITAL DATA COMMUNICATION BY FIBER OPTIC



วัน เดือน ปี..... 19 ม.ค. ๒๕๓๙  
เลขทะเบียน..... ๐๓๔๙๘๔  
เลขเรียกหนังสือ..... T ๕๙๒๘๔ ๗๓

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ลิขสิทธิ์จะอยู่กับเจ้าของ และต้องแจ้งลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีใดๆได้

การสื่อสารข้อมูลดิจิทัลผ่านเส้นใยแสง  
DIGITAL DATA COMMUNICATION BY FIBER OPTIC

โดย

นายพนม อิศรทะ รหัสประจำตัว 35103018

นายวัลยา ศรีสุข รหัสประจำตัว 35103024

อาจารย์ที่ปรึกษา

พศ. อภินันท์ มัญยานนท์

ปริญญาบัตรสำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2537

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

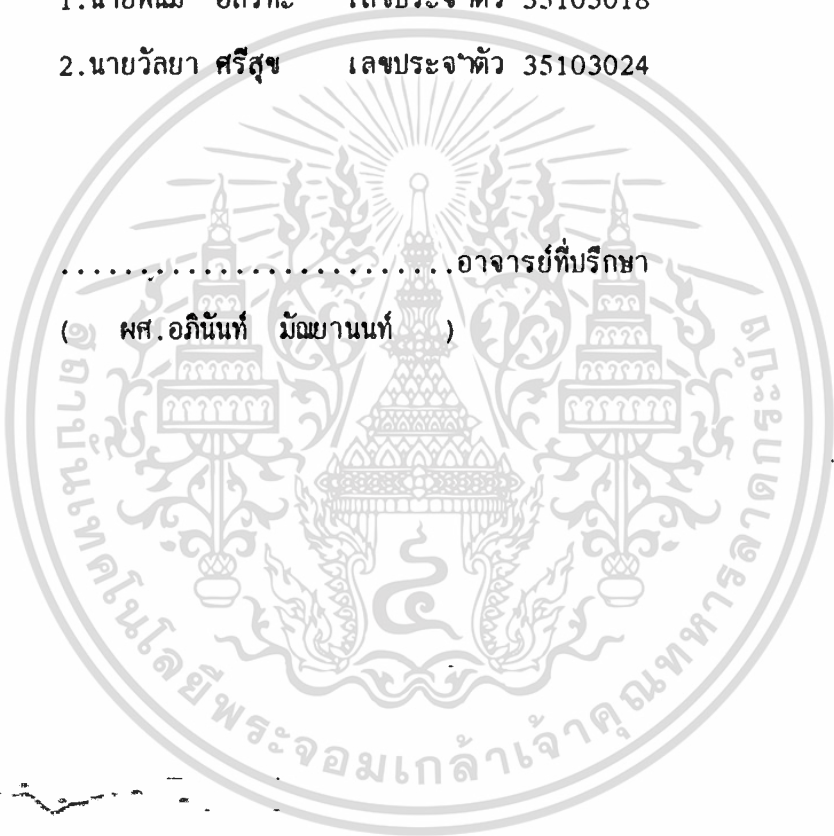
เรื่อง การสื่อสารข้อมูลดิจิทัลผ่านเส้นใยแสง

ผู้จัดทำ

1. นายพนม อิศรทะ เลขประจำตัว 35103018

2. นายวัลยา ศรีสุข เลขประจำตัว 35103024

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ผศ.อภิรักษ์ มัธยมานนท์ )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การสื่อสารข้อมูลดิจิทัลผ่านเส้นใยแสง

พนม อิศรทะ รหัสประจำตัว 35103018

วัลยา ศรีสุข รหัสประจำตัว 35103024

ผศ.อภิรักษ์ มัชฌายานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษา

#### บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้ทำการศึกษาถึงหลักการพื้นฐานของการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง ซึ่งอธิบายถึงส่วนประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญ เช่น เส้นใยแสง แหล่งกำเนิดแสง ตลอดจนคุณลักษณะพิเศษของมันที่ดีกว่าระบบสื่อสารด้วยเคเบิล และได้ทำการทดลองส่งสัญญาณดิจิทัลผ่านเส้นใยแสง โดยสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณพีซีเอ็ม ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณอินพุตอนาล็อก 4 ช่องสัญญาณ แล้วนำมามัลติเพล็กซ์แบบช่วงเวลา วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล วงจรชิงโครไนซ์สัญญาณ แล้วส่งผ่านเส้นใยแสงอินฟราเรด ส่วนทางด้านรับประกอบด้วย วงจร Clock Recovery ด้วยวิธี Phase Lock Loop วงจรแยกสัญญาณและแปลงสัญญาณกลับ ซึ่งจะแปลงจากสัญญาณแสงที่กลับมาเป็นสัญญาณอนาล็อกของแต่ละช่องสัญญาณตามเดิม

สำหรับโครงงานนี้เมื่อแล้วเสร็จสมบูรณ์จะสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการส่งสัญญาณในรูปแบบต่าง ๆ เช่น สัญญาณไฟฟ้าจากร่างกายของมนุษย์ เป็นต้น

## DIGITAL DATA COMMUNICATION BY FIBER OPTIC

PHANOM ITSARATA 35103018

WANLAYA SRISUK 35103024

ABSTRACT

This project is to study the principle of optical fiber communication system. We describe its main parameter such as the optical fiber waveguides, optical sources and optical detector. We also discuss about the special characteristics of the fiber optic communication system that may be better than the metallic cable communication system. Otherwise, we made the experiments about the digital transmission system by optical fiber. In this experiments, the digital signal is PCM which the system is composed of transmitter which include input analog signal 4 channel, TDM multiplexing circuit convert the analog signal to be the digital signal, and synchronization circuit; then transmit signal by Infrared light through the optical fiber. The receiver is include clock recovery circuit by PLL, then will convert the digital signal to be the analog signal once again.

The complete project will leads to many application: for example, for monitoring bio-electrical signal in medical unit.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	i
Abstract.....	ii
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 พีซีเอ็มและความรู้เกี่ยวกับเส้นใยแสง.....	2
บทที่ 3 การออกแบบระบบวงจร.....	51
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	73
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป.....	74
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	



# บทที่ 1

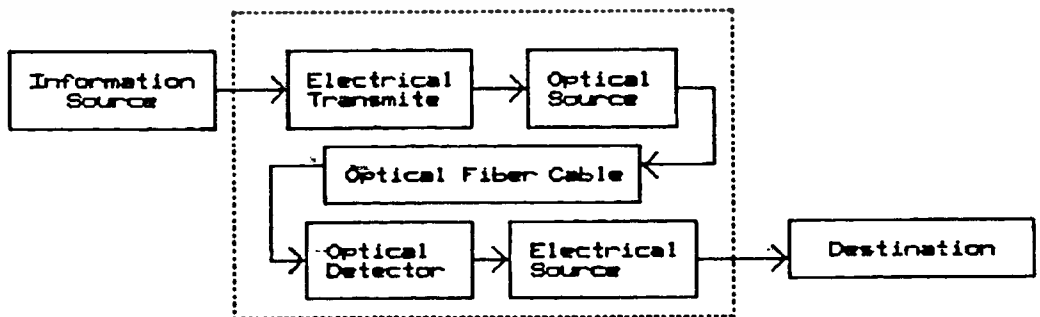
## บทนำ

### หลักการสื่อสารด้วยไฟเบอร์ออปติก

(Principle of Fiber Optic Communication)

การส่งสัญญาณผ่านไฟเบอร์ออปติกไม่ว่าจะเป็นการส่งสัญญาณเสียง , สัญญาณภาพหรือข้อมูลทางคอมพิวเตอร์เราจะมี การส่งสัญญาณอยู่ 2 แบบ คือ การส่งสัญญาณแบบดิจิทัลและการส่งสัญญาณแบบอนาลอกซึ่งจะ เป็นการส่งแบบไหนก็แล้วแต่การใช้งาน แต่ส่วนใหญ่จะส่งแบบดิจิทัลเพราะคุณภาพของสัญญาณที่ได้จะดีกว่าระบบอนาลอก วงจรภาคส่งจะทำหน้าที่จัดรูปสัญญาณให้เหมาะสมซึ่งเป็นการเข้ารหัสและมอดูเลต โดยลักษณะ ข้อมูลที่ผ่านการมอดูเลตควรจะถูกจัดให้อยู่ในรูปดิจิทัล จากนั้นสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ในรูปดิจิทัลจะถูกส่งไปในวงจรแหล่งกำเนิดแสงที่มีวงจรขับสัญญาณรวมอยู่ด้วยเพื่อทำการแปลงสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสงส่งไปยังสถานีรับ โดยมีเส้นใยนำแสงทำหน้าที่เป็นตัวนำสัญญาณ

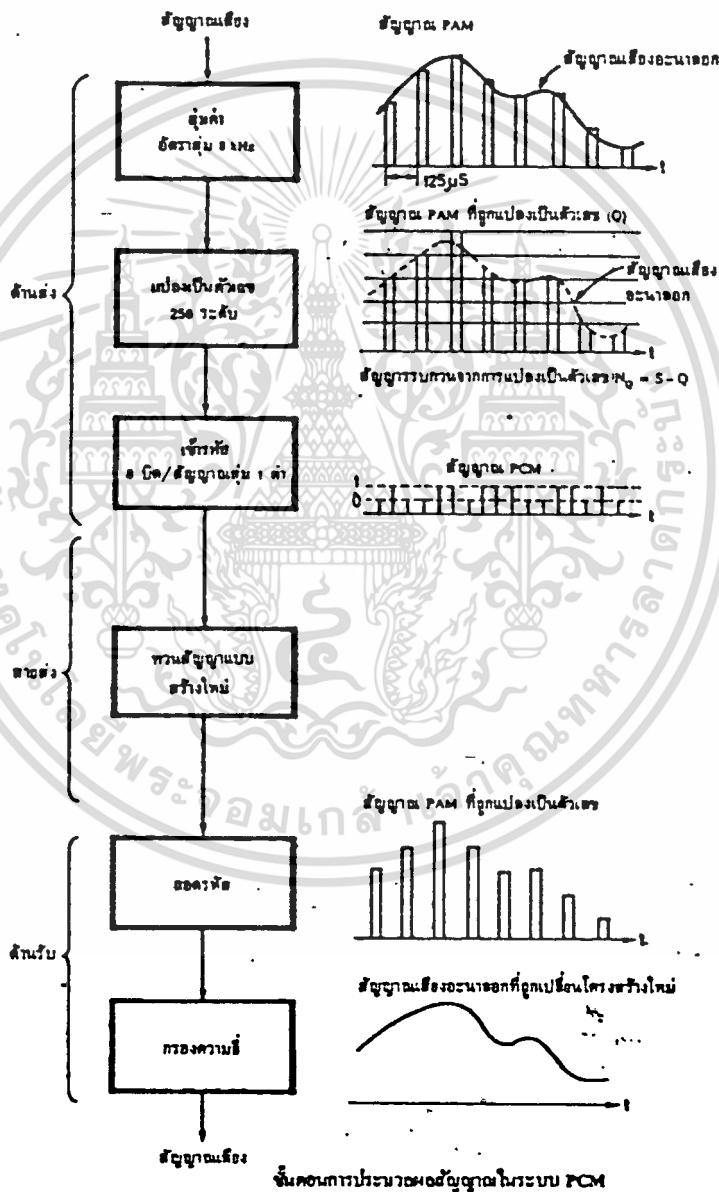
ที่สถานีรับจะมีตัวคอยรับแสงคอย เปลี่ยนสัญญาณแสงที่รับให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า แล้วส่งไปยังวงจรภาครับเพื่อถอดรหัสและดีมอดูเลต ทำให้ได้สัญญาณที่มีลักษณะ เดียวกับสัญญาณเดิมเป็นข้อมูลขาออกเพื่อที่จะนำไปใช้งานต่อไป ในการส่งสัญญาณไปไกลๆ นั้นจะต้องมีสถานีทวนสัญญาณ (Repeater) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณและจัดรูปสัญญาณที่เกิดการผิดเพี้ยนในระหว่างการเดินทางด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### หลักการเบื้องต้นของ PCM

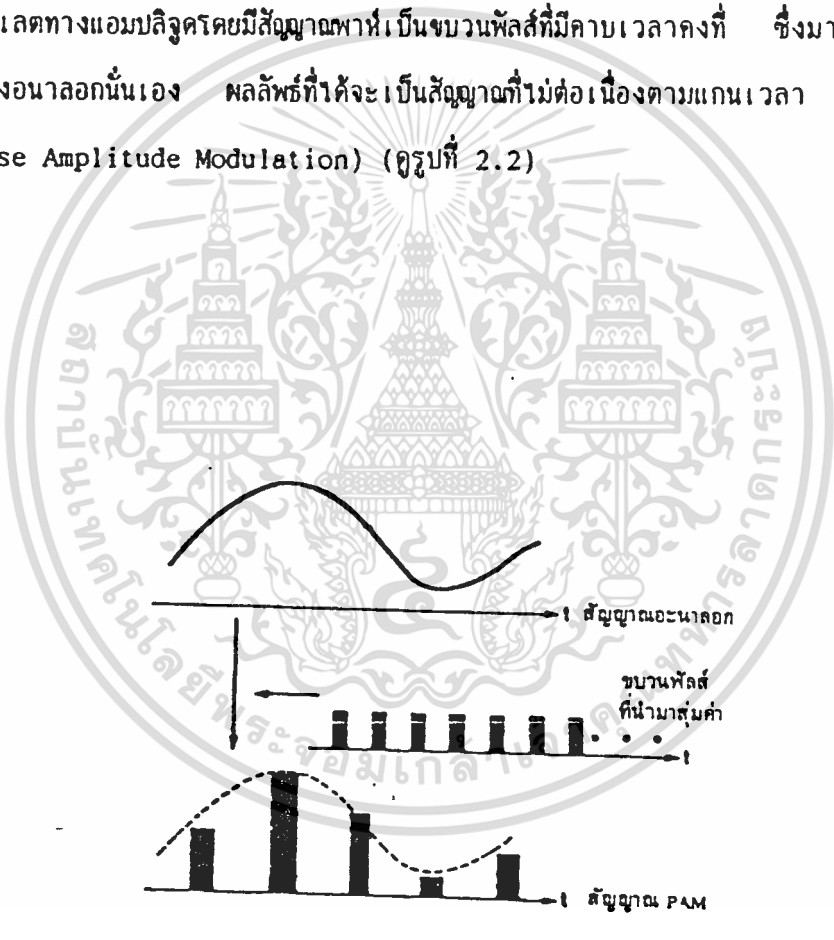


รูปที่ 2.1 การแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D Conversion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกที่พิมพ์และเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนในการแปลงสัญญาณเสียงอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล PCM และการแปลงกลับกัน สัญญาณเสียงอนาล็อกจะถูกทำการสุ่มค่า (sampling) แปลงเป็นตัวเลข (quantizing) และเข้ารหัส (coding) ซึ่งทั้งสามขั้นตอนรวมกันเรียกว่าการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D conversion)

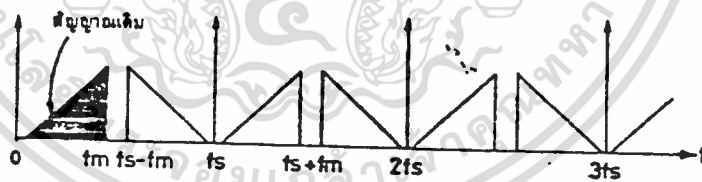
ปกติแล้วสัญญาณเสียงอนาล็อกจะต่อเนื่องกันตลอดตามแกนเวลา การสุ่มค่าก็คือขบวนการนำค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอนาล็อกมาในช่วงเวลาซึ่งห่างกันคงที่มาเรียงต่อกันวิธีนี้เปรียบเสมือนกับการมอดูเลตทางแอมพลิจูดโดยมีสัญญาณพาห้เป็นขบวนพัลส์ที่มีคาบเวลาคงที่ ซึ่งมอดูเลตกับสัญญาณเสียงอนาล็อกนั่นเอง ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นสัญญาณที่ต่อเนื่องตามแกนเวลา ซึ่งเรียกว่า PAM (Pulse Amplitude Modulation) (ดูรูปที่ 2.2)



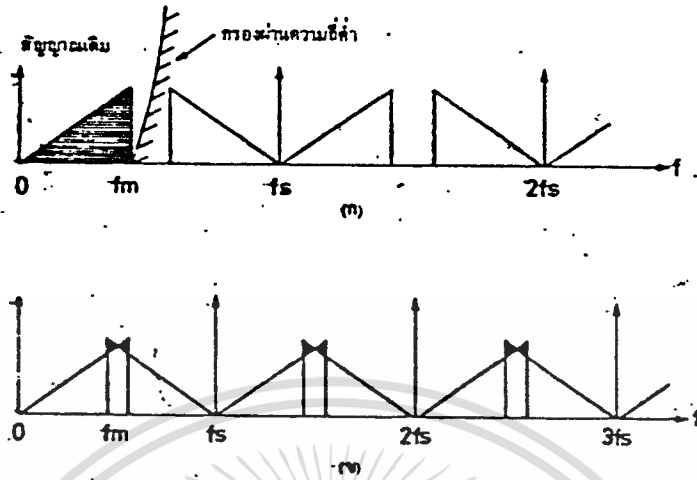
รูปที่ 2.2 สัญญาณอนาล็อกมอดูเลตกับสัญญาณพัลส์จะได้สัญญาณ PCM

องค์ประกอบสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการสุ่มค่าสัญญาณก็คือ การใช้ความถี่ของพัลส์เท่าไรจึงจะเหมาะสม สิ่งนี้ได้ผ่านการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์และตั้งเป็นทฤษฎีเรียกว่า ทฤษฎีการสุ่มค่า (sampling theorem) ซึ่งกล่าวว่า สัญญาณที่มีแอมพลิจูดเป็นฟังก์ชันของเวลา ถูกทำการสุ่มค่าทุก  $T$  ช่วงเวลาห่างที่คงที่ เมื่อทำการสุ่มค่าด้วยความถี่อย่างต่ำเป็น  $2$  เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณนั้นแล้วก็จะสามารถเก็บข่าวสารหรือเนื้อหาของสัญญาณต้นแบบไว้ได้ทั้งหมด

ในรูปที่ 1.3 แสดงให้เห็นแถบความถี่ (frequency spectrum) ของสัญญาณ PAM ซึ่งได้ผ่านขั้นตอนการสุ่มค่าแล้วโดยมีความถี่สูงสุดของสัญญาณอนาล็อก ( $f_m$ ) และความถี่ของการสุ่มค่า ( $f_s$ ) เมื่อนำขบวนสัญญาณพัลส์มาวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ด้วยอนุกรมฟูเรียร์ (fourier series) พบว่าประกอบด้วยฮาร์โมนิกของสัญญาณไซน์ (sine) ที่มีความถี่เป็นทวีคูณของความถี่ขบวนพัลส์รวมกันอยู่ ( $0, f_s, 2f_s, 3f_s, \dots$ )

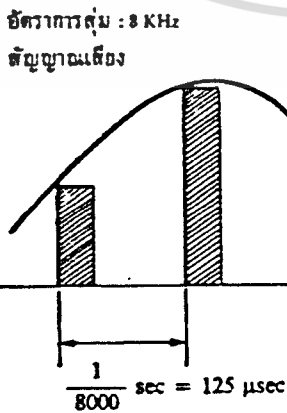


รูปที่ 2.3 แถบความถี่ของสัญญาณ PAM ซึ่งผ่านการสุ่มค่าแล้ว



รูปที่ 2.4 ผลของความถี่สัญญาณสุ่มค่าและสัญญาณอนาล็อกต่อสัญญาณ PAM

จากรูป 2.4 ก จะเห็นว่าถ้าความถี่  $f_s$  มีค่ามากกว่า 2 เท่าของค่าความถี่  $f_m$  ความถี่แถบข้าง (side band) จะไม่ซ้อนทับกัน ซึ่งกรณีนี้ สามารถนำสัญญาณอนาล็อกกลับคืนมาได้โดยการผ่านวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำ (low pass filter) ในทางตรงข้าม (ดูรูป 2.4 ข ประกอบ) ถ้าความถี่  $f_s$  มีค่าน้อยกว่าสองเท่าของความถี่  $f_m$  ความถี่แถบข้าง (side band) จะซ้อนทับกันซึ่งไม่มีวิธีการใด ๆ ที่จะนำสัญญาณใดออกกลับคืนมาได้



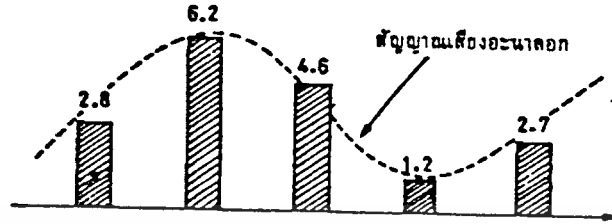
CCITT (International Telephone & Telegraph Consultative Committee) แนะนำให้ใช้ความถี่ของการสุ่มค่า 8 กิโลเฮิรตซ์สำหรับสัญญาณเสียงซึ่งโดยปกติแล้วแถบความถี่สัญญาณเสียงที่ใช้ในระบบโทรศัพท์มีค่าจำกัดระหว่าง 0.3 ถึง 3.4 กิโลเฮิรตซ์ ดังนั้นค่าความถี่ fs ตามทฤษฎีควรจะเป็น 2 เท่าของ 3.4 กิโลเฮิรตซ์ หรือเท่ากับ 6.8 กิโลเฮิรตซ์ อย่างไรก็ตามทางปฏิบัติจะใช้ค่าความถี่เท่ากับ 8 กิโลเฮิรตซ์ ด้วยเหตุผลทางด้านเทคนิคในการสร้างวงจรกรองสัญญาณจะได้ง่ายขึ้น ช่วงเวลาที่ใช้ในการสุ่มค่าแต่ละครั้งเท่ากับ  $1/8,000$  วินาทีหรือ 125 ไมโครวินาที (ดูรูปที่ 2.5)

ในขั้นตอนต่อมาสัญญาณ PAM นั้นจะถูกส่งไปผ่านการแปลงเป็นตัวเลขโดยแบ่งขนาดของแอมพลิจูดออกเป็นช่วง ๆ (ดูในรูปที่ 1.6) ค่าของแต่ละช่วงที่ถูกแบ่งเรียกว่าระดับค่าตัวเลข (quantizing level) และระยะระหว่างช่วงที่ถูกแบ่งเรียกว่าช่วงของตัวเลข (quantizing interval) ขนาดของแต่ละสัญญาณสุ่มในสัญญาณ PAM จะถูกแทนด้วยระดับค่าตัวเลข (quantizing level) ที่ใกล้เคียงกับขนาดของมัน ตัวอย่างเช่น สัญญาณที่ถูกสุ่มที่เวลา  $t_1$  มีขนาด 2.8 จะถูกแทนด้วยระดับ 3.0 หรือที่เวลาสัญญาณ  $t_2$  สัญญาณสุ่มมีขนาด 6.2 จะถูกแทนด้วยระดับ 6.0 (ดูรูปที่ 2.6) ซึ่งเป็นการทาระดับของสัญญาณให้มีช่วงห่างที่แน่นอน เพื่อให้สามารถนำไปแปลงเป็นรหัสฐานสองที่สอดคล้องกับแต่ละระดับ

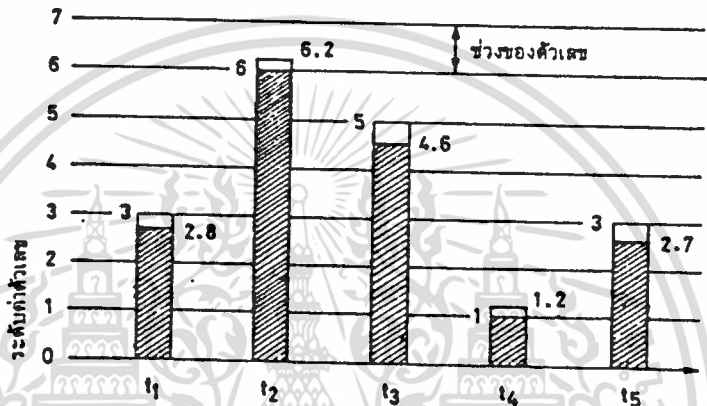
สัญญาณ PAM ที่ถูกแปลงเป็นตัวเลขแล้วจะเป็นเพียงค่าประมาณของสัญญาณอนาล็อก ดังนั้นจึงทำให้เกิดมีค่าผิดพลาดระหว่างสัญญาณทั้งสองทาง ขนาดของแอมพลิจูด ค่าผิดพลาดนั้นเรียกว่าสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลข (quantizing noise) หรือการผิดเพี้ยนจากการแปลงเป็นตัวเลข (quantizing distortion) (ดูรูปที่ 7) ขนาดของสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขจะกระจายสม่ำเสมอในระหว่างช่วงของตัวเลขและไม่ขึ้นกับแอมพลิจูดของสัญญาณอนาล็อก

นั่นคือระดับกำลังงานของสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขนั้นค่อนข้างจะคงที่และเป็นอิสระจากระดับกำลังงานของสัญญาณอนาล็อก จะเห็นได้ว่าสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขนี้เป็นสิ่งที่ไม่สามารถเลี่ยงได้ แต่สามารถทำให้ลดลงเพื่อรักษาระดับคุณภาพของเสียง (เช่นความชัดเจน)

สัญญาณ PAM

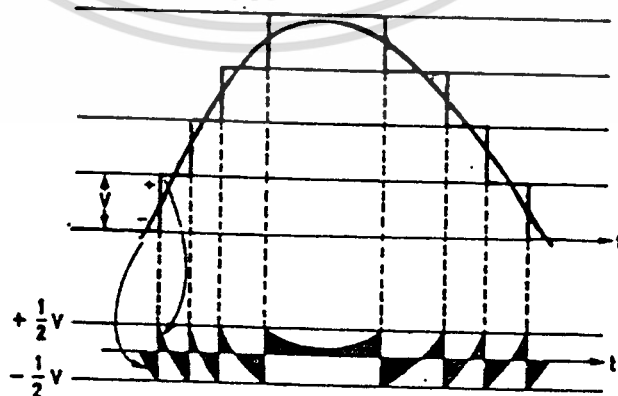


การแปลงเป็นตัวเลข



รูปที่ 2.6 การแปลงสัญญาณ PAM ให้เป็นตัวเลข

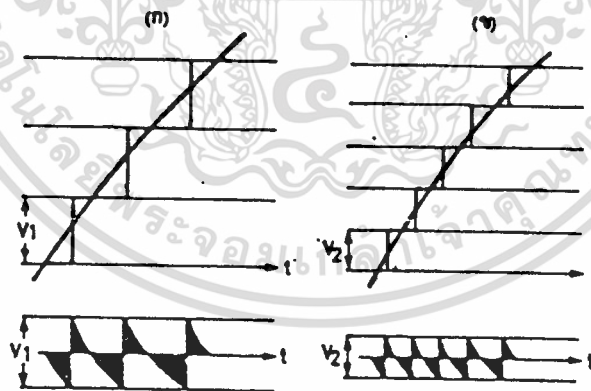
สัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลข (ความผิดเพี้ยนจากการแปลงเป็นตัวเลข)



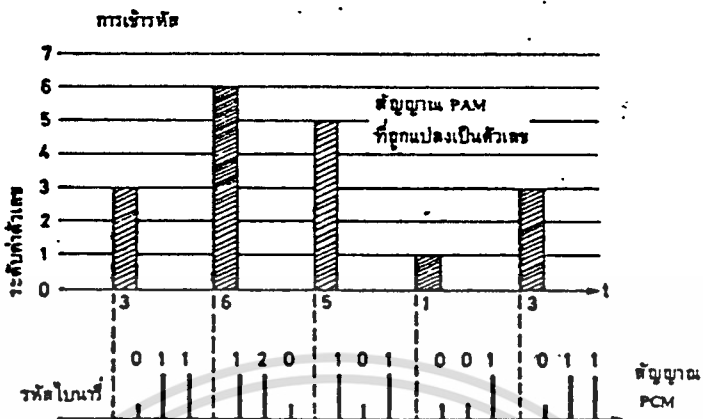
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.7 สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการแปลงตัวเลขไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยเหตุผลที่ว่าออมพลิจูดของสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขไม่มีทางเกินกว่าช่วงของตัวเลข ดังนั้นสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขในรูปที่ 2.8ก จึงน้อยกว่าในรูปที่ 2.8ข หากเรากำหนดค่าให้ช่วงของตัวเลขมีช่วงเล็กพอเพียงแล้ว สัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขก็จะสามารถลดลงสู่ระดับที่เหมาะสมได้

หลังจากผ่านการแปลงเป็นตัวเลขแล้ว สัญญาณ PAM ที่ได้จะนำไปเข้ารหัสโดยเปลี่ยนเป็นรหัสฐานสอง จากรูปที่ 2.9 แต่ละค่าที่ผ่านการแปลงเป็นตัวเลขแล้วจะถูกแปลงเป็นเลขฐาน 2, 3 บิต สัญญาณที่ได้นี้เรียกว่า สัญญาณ PCM (Pulse Code Modulation) ระดับค่าตัวเลขจะถูกกำหนดโดยจำนวนบิตของเลขฐาน 2 ของแต่ละค่า เช่น ถ้าใช้  $n$  บิตในการเข้ารหัสต่อหนึ่งค่า จะได้จำนวนค่าตัวเลขเท่ากับ  $2^n$  ระดับ ซึ่งทาง CCITT แนะนำให้ใช้การเข้ารหัส 8 บิต ต่อหนึ่งค่า หรือให้มีระดับของค่าตัวเลขเท่ากับ  $2^8=256$  ระดับ



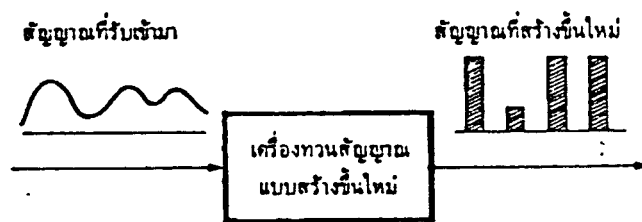
รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงตัวเลขกับสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลข



รูปที่ 2.9 การนำสัญญาณ PAM มาเข้ารหัส

จากทฤษฎีสายส่งสัญญาณทำให้เราทราบว่าหากทำการส่งสัญญาณ PCM ไปตามสายส่งสัญญาณจะเกิดการบิดเบี้ยวของสัญญาณได้ เนื่องจากสัญญาณรบกวน, การแทรกสอด (interference) ระหว่างทางและการตอบสนองทางความถี่ (frequency response) ของสายส่งซึ่งมีการรบกวนมากสำหรับสัญญาณความถี่สูงและลดทอนน้อยสำหรับสัญญาณความถี่ต่ำ เนื่องจากค่าของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุที่กระจายอยู่ในสายส่ง จะประพฤติตัวเป็นวงจรกรองผ่านสัญญาณความถี่ต่ำ ทำให้สัญญาณ PCM บิดเบี้ยวรูปทรงไปแต่ปัญหานี้ได้ถูกแก้ไขโดยการสร้างสัญญาณ PCM ขึ้นใหม่ที่ด้านรับทราบาคที่เครื่องรับยังสามารถตัดสินใจได้อย่างถูกต้องว่าสัญญาณเฟ้นที่ได้รับนั้นเป็นปิดค่า 0 หรือค่า 1

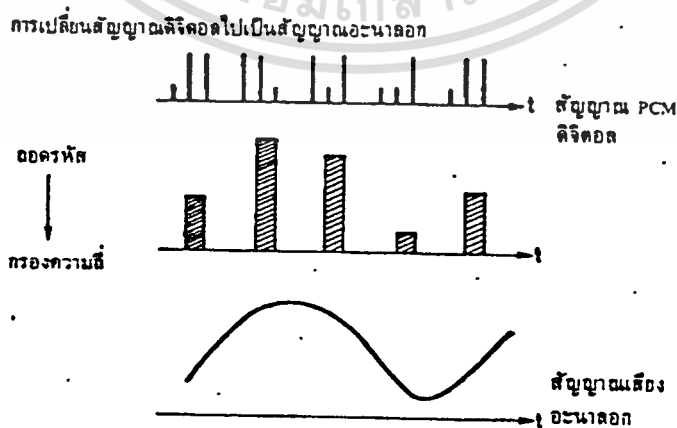
หากต้องการส่งสัญญาณ PCM ไปในระยะทางไกล ๆ โดยไม่ใช้แอมพลิฟายเออร์ก็จะต้องมีอุปกรณ์ทวนสัญญาณเรียกว่า เครื่องทวนสัญญาณแบบสร้างขึ้นมาใหม่ (regenerative repeater) ซึ่งจะสร้างสัญญาณ PCM ที่บิดเบี้ยวไปขึ้นมาใหม่และทำการส่งต่อไปยังเครื่องรับหรืออุปกรณ์ทวนสัญญาณอีกตัวหนึ่ง (ดังในรูปที่ 2.10) จะเห็นได้ว่าเราสามารถที่จะกำจัดผลของสัญญาณรบกวน, การแทรกสอดและการบิดเบี้ยวรูปทรงเนื่องจากผลตอบสนองทางความถี่ของสายส่งลงได้ ดังนั้น การส่งสัญญาณระบบดิจิทัลจะไม่มีผลกระทบของสัญญาณรบกวนและสัญญาณแทรกสอด ดังเช่นที่พบเห็นในการส่งสัญญาณระบบอนาลอก ซึ่งเป็นข้อดีที่เห็นได้ชัดของระบบดิจิทัลที่เหนือระบบอนาลอก

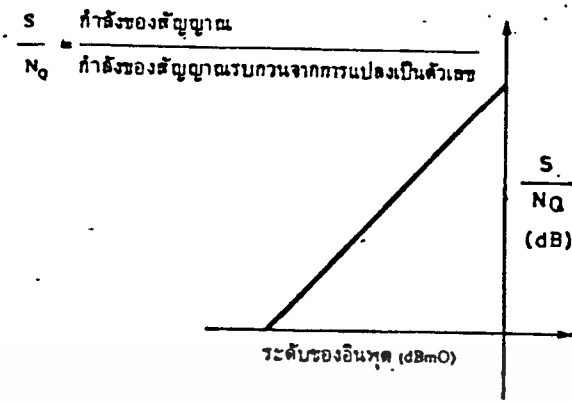


รูปที่ 2.10 ระบบทวนสัญญาณแบบสร้างขึ้นมาใหม่

ด้านรับเมื่อเครื่องรับได้สัญญาณดิจิทัล PCM ก็จะถูกแปลงกลับเป็นสัญญาณอนาล็อก (ดูในรูปที่ 2.11) โดยผ่านขั้นตอนการถอดรหัส และการกรองสัญญาณซึ่งเรียกขั้นตอนทั้งสองรวมกันว่าการเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลไปเป็นสัญญาณอนาล็อก (D/A conversion)

การถอดรหัสนั้นก็ตรงข้ามกับการเข้ารหัส(ดูในรูปที่ 2.11) โดยเริ่มต้นจากรหัสฐานสองที่มาจากเครื่องรับสัญญาณ PCM จะถูกนำมาคำนวณและสร้างเป็นระดับค่าตัวเลข และสัญญาณสุ่มค่าจะถูกสร้างขึ้นใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับระดับที่คำนวณได้จากข้อมูลฐาน 2 ที่ได้รับนี้ สัญญาณ PCM ที่ถูกแปลงเป็นตัวเลขแล้วค่าส่งก็จะถูกสร้างขึ้นใหม่ที่ด้านรับ ซึ่งสัญญาณที่ได้ก็ยังคงมีสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขเช่นเดียวกับทางด้านส่ง สัญญาณ PCM ที่สร้างขึ้นใหม่ที่ด้านรับก็จะถูกส่งผ่านไปยังวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำก็จะได้สัญญาณเสียงอนาล็อกต่อเนื่องตามแกนเวลา



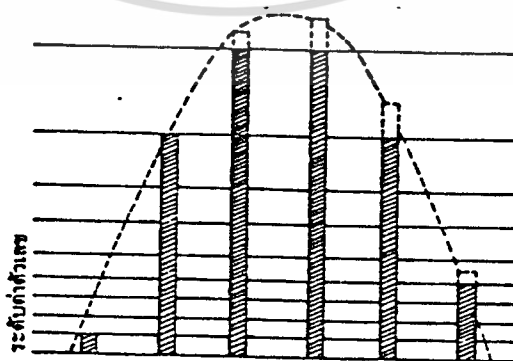


รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสัญญาณอินพุตและสัญญาณเสียงต่อสัญญาณรบกวน

การอัดและการขยาย (Comanding and Expanding)

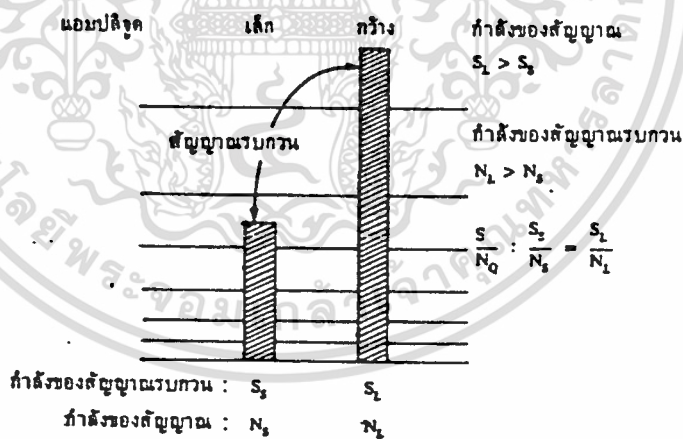
ในการสื่อสารระบบ PCM สิ่งที่เราไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้คือ สัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลข เพื่อลดผลที่เกิดขึ้นนี้จึงแก้ปัญหาโดยใช้ขบวนการอัดและขยายสัญญาณ (ไม่ใช่ว่าการขยายสัญญาณแบบลิเนียร์เหมือนวงจรเครื่องเสียง) จากที่เคยกล่าวแล้วว่าระดับของสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขค่อนข้างจะคงที่และไม่ขึ้นกับระดับกำลังงานของสัญญาณเสียง ดังนั้นอัตราส่วนของสัญญาณเสียงต่อสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลข ( $S/N_Q$ ) จะดีเมื่อระดับความแรงสัญญาณเสียงสูงและจะเลวเมื่อระดับเสียงต่ำ (ดูรูปที่ 2.12)

การแปลงเป็นตัวเลขแบบไม่สม่ำเสมอ

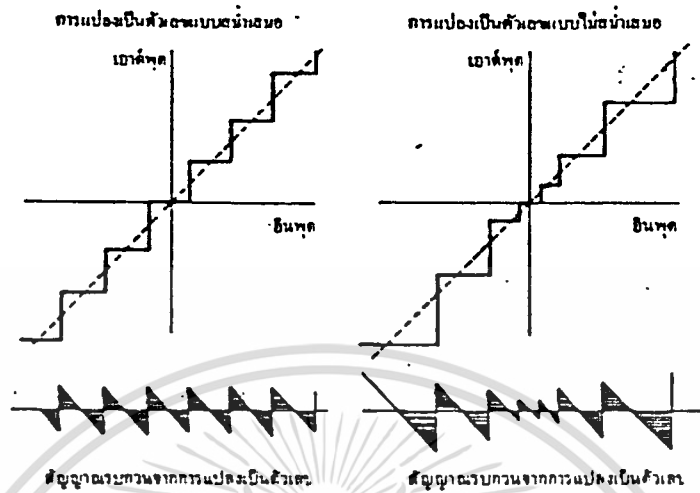


ในทางปฏิบัติหากต้องการให้คุณภาพเสียงดีแล้วค่า  $S/N_0$  ควรจะมีค่าคงที่ในทุก ๆ ระดับความแรงของสัญญาณและไม่ควรแก้ปัญหาด้วยการใช้จำนวนบิตมากเกินไป ด้วยจุดประสงค์นี้มีการลดจำนวนช่วงของตัวเลขลงที่แอมพลิจูดสัญญาณต่ำ ๆ และขยายช่วงของตัวเลขขึ้นที่แอมพลิจูดสัญญาณสูง ๆ การแปลงเป็นตัวเลขแบบนี้จึงมีช่วงของตัวเลขไม่เท่ากันแตกต่างกันไปตามระดับแอมพลิจูดของสัญญาณซึ่งเรียกว่า *การแปลงเป็นตัวเลขแบบไม่สม่ำเสมอ (non-uniform quantizing)* (ดูรูปที่ 2.13) ด้วยเหตุผลดังนี้

การกระจายของแอมพลิจูดของสัญญาณเสียงนั้นไม่สม่ำเสมอ (มีการแกว่งขึ้นลงตลอดเวลา) แอมพลิจูดต่ำ ๆ มีโอกาสเกิดมากกว่าแอมพลิจูดสูง ๆ ดังนั้นค่า  $S/N_0$  สามารถที่จะสังเคราะห์ขึ้นได้ดีกว่าถ้าสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขที่มีโอกาสเกิดมากกว่าและถูกทำให้เพิ่มขึ้นสำหรับค่าแอมพลิจูดที่มีโอกาสเกิดน้อยกว่า (ดูรูปที่ 2.14)



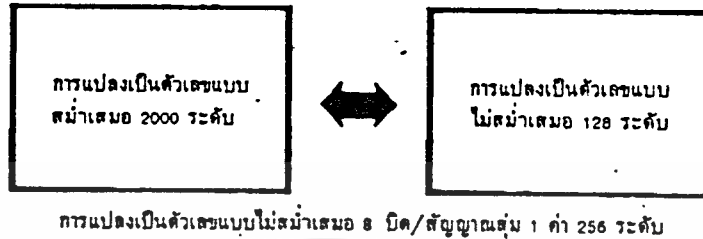
รูปที่ 2.14 อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่แอมพลิจูดต่างกัน



รูปที่ 2.15 เปรียบเทียบผลของสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลข

ในรูปที่ 2.15 เป็นการเปรียบเทียบให้เห็นสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขที่เกิดขึ้นจากการแปลงเป็นตัวเลขแบบสม่ำเสมอ และการแปลงเป็นตัวเลขแบบไม่สม่ำเสมอ จะเห็นได้ว่าการแปลงเป็นตัวเลขแบบไม่สม่ำเสมอสามารถที่จะลดสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขได้ที่ค่าแอมพลิจูดสัญญาณต่ำ ๆ

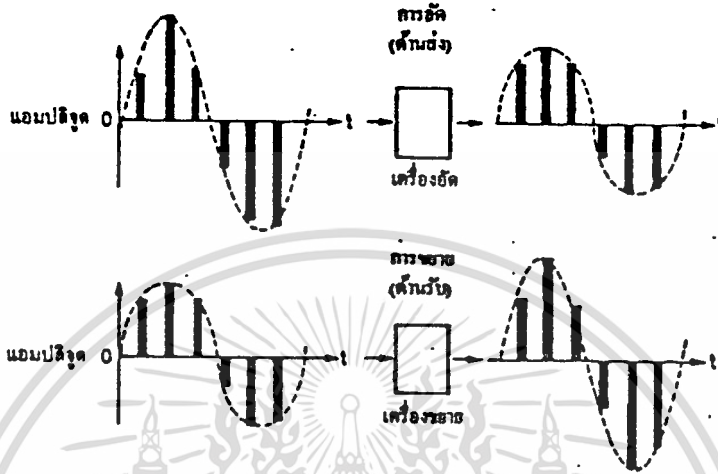
ในกรณีของการแปลงเป็นตัวเลขแบบสม่ำเสมอ จะต้องใช้จำนวนระดับค่าตัวเลขประมาณ 2,000 ระดับ เพื่อที่จะรักษาคุณภาพเสียงพูดให้อยู่ในเกณฑ์ดี แม้ที่ระดับสัญญาณแอมพลิจูดต่ำก็ตาม ซึ่งจะต้องใช้จำนวนบิตต่อสัญญาณถึง 11 บิต ซึ่งการใช้จำนวนบิตมากเช่นนี้ต้องใช้อุปกรณ์ที่เสถียรเร็วสูงมากซึ่งทำให้ระบบมีราคาแพง ในขณะที่การแปลงเป็นตัวเลขแบบไม่สม่ำเสมอต้องการเพียง 128 ระดับค่าตัวเลขและ 7 แอมป์ต่อสัญญาณสุ่ม 1 ค่าเท่านั้นก็เพียงพอที่จะทำให้ได้ค่า  $S/N_Q$  ระดับเดียวกับการแปลงเป็นตัวเลขแบบสม่ำเสมอที่ระดับสัญญาณแอมพลิจูดต่ำ อย่างไรก็ตามก็ CCITT แนะนำการใช้งานการแปลงเป็นตัวเลขแบบไม่สม่ำเสมอด้วยรหัส 8 บิตต่อสัญญาณสุ่ม 1 ค่า และ 256 ระดับค่าตัวเลขเพื่อให้อันนี้ว่าจะได้คุณภาพเสียงที่ดีพอ (ดูรูปที่ 2.16)



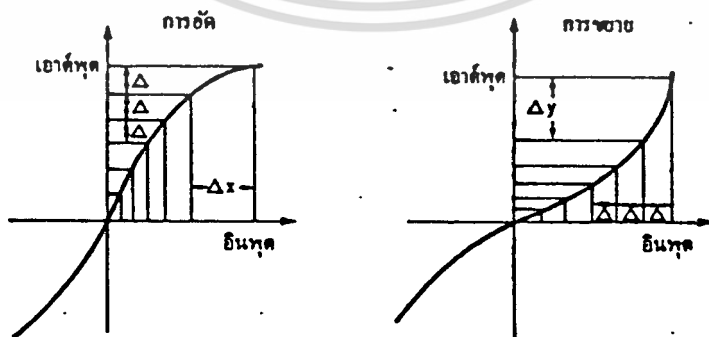
**รูปที่ 2.16 ระดับค่าตัวเลขของการแปลงเป็นตัวเลขแบบสม่ำเสมอ และการเปลี่ยนแปลงแบบไม่สม่ำเสมอ**

การแปลงเป็นตัวเลขแบบสม่ำเสมอสร้างขึ้น โดยใช้หลักการจัดการกับสัญญาณที่ด้านส่งและด้านรับซึ่งเรียกว่า *การอัดและการขยาย* ตามลำดับ รูปที่ 2.17 แสดงให้เห็นหลักการนี้ ทางด้านส่งสัญญาณที่มีแอมพลิจูดสูงจะถูกอัด (compressed) โดยตัวอัด (compressor) แล้วนำไปแปลงเป็นตัวเลขแบบไม่สม่ำเสมอ ขบวนการนี้ทำให้เกิดผลลัพธ์แบบเดียวกับการแปรเปลี่ยนช่วงของตัวเลขโดยขึ้นกับขนาดของแอมพลิจูด ทางด้านรับสัญญาณ PAM จะถูกสร้างขึ้นมาใหม่ โดยการส่งสัญญาณไปยังเครื่องขยาย (expander) ซึ่งมีคุณสมบัติตรงข้ามกับเครื่องอัด(ดูในรูปที่ 2.18)

สัญญาณเสียงนี้มีช่วงการแกว่งขึ้น-ลงของสัญญาณกว้าง (wide dynamic range) ซึ่งการที่จะได้คุณภาพเสียงที่ดีนั้น สัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลข ต้องมีอัตราส่วนคงที่เมื่อเทียบกับแอมพลิจูดของสัญญาณ ตลอดช่วงความกว้างของการแกว่งขึ้นลงของแอมพลิจูดของสัญญาณ เพื่อที่จะบรรลุสิ่งนี้จึงแก้โดยการใส่คุณสมบัติของฟังก์ชันลอการิทึม (Logarithmic) ในการอัดและขยายสัญญาณ ซึ่งมีผลให้สัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขที่ระดับแอมพลิจูดสัญญาณต่ำ ๆ สามารถลดลงอย่างน่าพอใจ และเราสามารถที่จะรักษาค่า  $S/N_Q$  ไว้ให้คงที่ตลอดย่านกว้างการแกว่งขึ้น-ลงของแอมพลิจูดของสัญญาณ

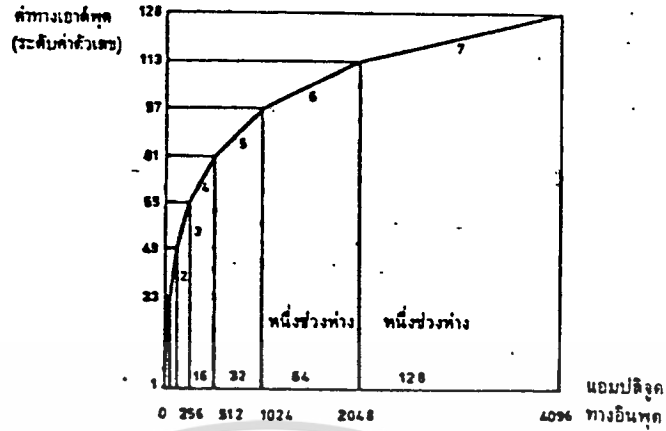


รูปที่ 2.17 การแปลงตัวเลขแบบไม่สม่ำเสมอโดยใช้หลักการอัดและการขยาย

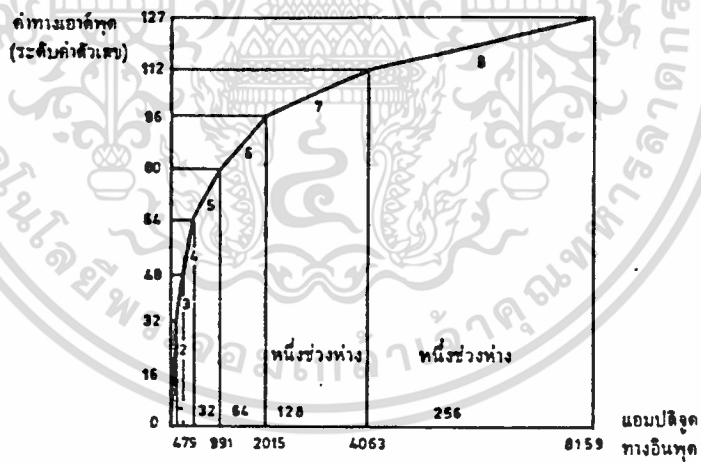


รูปที่ 2.18 คุณลักษณะของการอัดและการขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



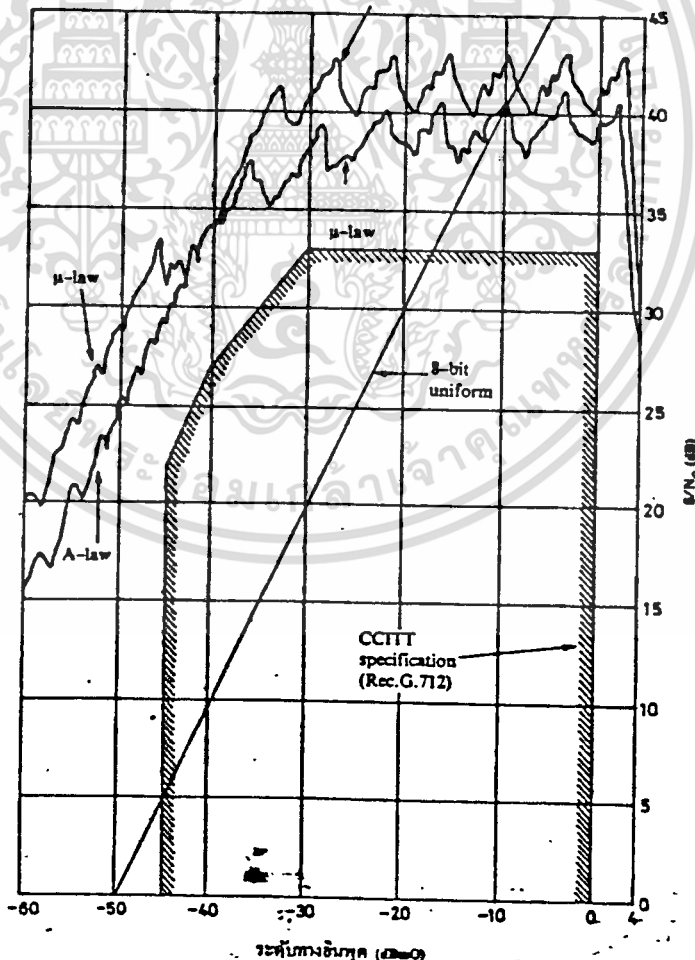
รูปที่ 2.19 การอัดและการขยายแบบ A-law



รูปที่ 2.20 การอัดและการขยายแบบ u-law

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CCITT แนะนำให้ใช้คุณสมบัติของลอการิทึม ในการอัดและขยายสัญญาณ 2 แบบดังนี้ แบบแรกเรียกกันว่า A-law นิยมใช้กันในแถบยุโรป ส่วนอีกแบบเรียกว่า  $\mu$ -law นิยมใช้กันในแถบอเมริกาเหนือและญี่ปุ่น ในรูปที่ 2.19 และรูปที่ 2.20 แสดงให้เห็นคุณสมบัติการอัดและการขยายของ A-law และ  $\mu$ -law ตามลำดับ เส้นโค้งทั้งสองแสดงให้เห็นลักษณะการอัดสำหรับแอมพลิจูดของสัญญาณเชิงบวก (ซึ่งลบเป็นลักษณะคล้ายกันแต่ไม่ได้แสดงรูปไว้) CCITT แนะนำว่า การอัดและการขยายแบบลอการิทึมถูกนำมาใช้ในทางปฏิบัติโดยการแบ่งแรงออกเป็นช่วง ๆ แต่ละช่วงประมาณด้วยกราฟเส้นตรง โค้งของ A-law และ  $\mu$ -law นั้นถูกประมาณด้วยกราฟเส้นตรง 13 ช่วงและ 15 ช่วงตามลำดับซึ่งทั้ง A-law และ  $\mu$ -law ใช้ระดับค่าตัวเลข 256 ระดับและเข้ารหัสแต่ละสัญญาณสุ่ม 1 คำ ด้วย 8 บิต



คุณสมบัติของเส้นใยแสง

เส้นใยแสงคืออะไร

เส้นใยแสงคือ เส้นใยขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำแสง โครงสร้างของเส้นใยแสงประกอบด้วยส่วนที่แสงเดินทางผ่านเรียกว่าคอร์ (CORE) และส่วนที่หุ้มคอร์อยู่เรียกว่า แคลด์ (CLAD) ทั้งคอร์ และแคลด์เป็นไดอิเล็กทริก (DIELECTRIC) วัสดุ 2 ชนิด ไดอิเล็กทริก หมายถึงสารที่ไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า เช่น แก้ว พลาสติกโดยการทำหาค่าดัชนีการหักเหของ แคลด์มีค่าน้อยกว่าค่าดัชนีการหักเหของคอร์เล็กน้อยประมาณ 0.2 ~ 3 % และอาศัยปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสงสามารถทำให้อสงที่ป้อนเข้าไปในคอร์เดินทางไปได้ นอกจากนั้นเนื่องจากกล่าวกันว่าเส้นใยแสงมีขนาดเล็กมากขนาดเท่าเส้นผมนั่น หมายถึง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกของแคลด์ซึ่งมีขนาดประมาณ 0.1 มม. ส่วนคอร์ที่แสงเดินทางผ่านนั้นมีขนาดเล็กลงไปอีก คือประมาณหลายไมครเมตรถึงหลายสิบบไมครเมตร ซึ่งมีค่าหลายเท่าถึงหลายสิบเท่าของความยาวคลื่นของแสงที่ใช้งาน ค่าต่าง ๆ เหล่านี้เป็นค่าที่กำหนดขึ้นจากคุณสมบัติการส่ง และคุณสมบัติทางเมคคานิกส์ที่ต้องการ เส้นใยแสงนอกจากมีคุณสมบัติการส่งดีเยี่ยมแล้ว ยังมีลักษณะเด่นอย่างอื่นอีก เช่นขนาดเล็กลงไปอีกด้วย

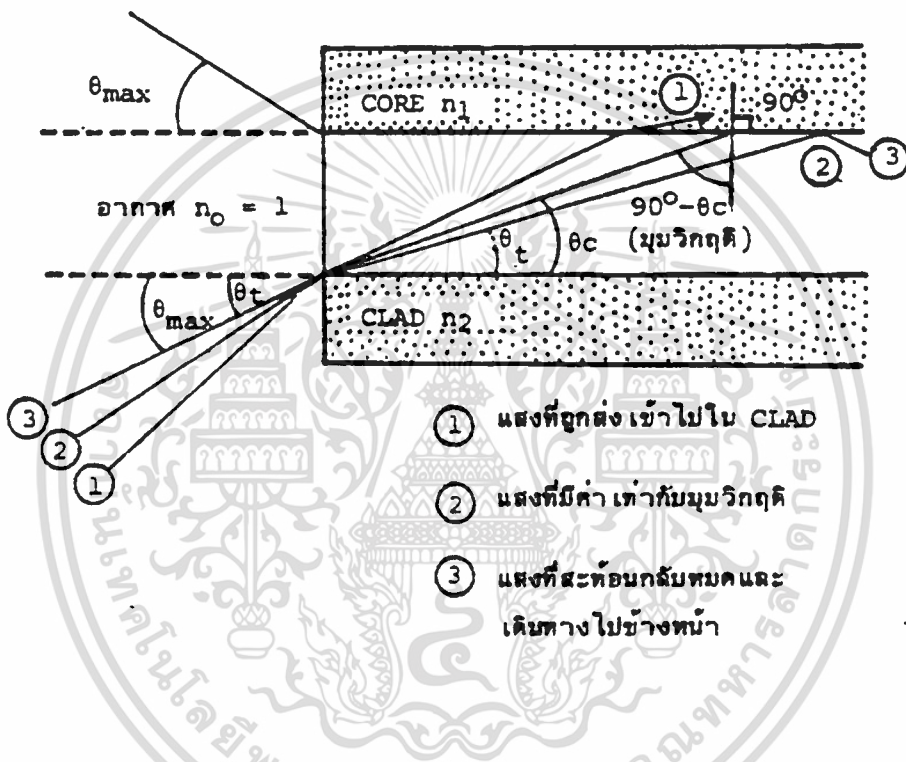
ลักษณะการ เดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง

ปัญหาอันดับแรกที่ต้องคำนึงถึงก็คือ ทำอย่างไรจึงจะสามารถป้อนแสงเข้าไปในคอร์ที่มีขนาดเล็กมากของเส้นใยแสงได้ และเมื่อป้อนแสงเข้าไปแล้วแสงนั้นจะเดินทางอย่างไรในคอร์ซึ่งเราจะทำการศึกษาถึงปัญหาพื้นฐานเหล่านี้

การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง

เนื่องจากว่าแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้นจะกระจายกว้างออกเนื่องจากปรากฏการณ์การเบี่ยงเบนของแสงตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการที่จะป้อนแสงเข้าไปในคอร์ ที่มีขนาดเล็กเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเส้นใยแสง จากรูป จะเห็นว่าที่จุดบัพแสงของเส้นใยแสงนั้นจะเป็นจุดต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงต่างกัน 3 ชนิด



รูป 2.22 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยแสง

ตัวกลางทั้ง 3 ชนิดนี้คืออากาศคอร์ของเส้นใยแสงและแคล์คิของเส้นใยแสงถ้าให้ค่าดัชนีการหักเหของแสงของตัวกลางทั้ง 3 ชนิดเป็น  $n_0$  ( $n_0 = 1$ ),  $n_1$  และ  $n_2$  ตามลำดับ จะเกิดการหักเห, การสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของอากาศกับคอร์ และคอร์กับแคล์คิ ดังนั้นให้มุมรับแสงของเส้นใยแสงที่มีค่ามากที่สุดเป็น  $\theta_{max}$  จากรูป 2.22 จะเห็นว่อย่างเช่น แสง 2 นั้น มุมรับแสงตรงรอยต่อของคอร์กับแคล์คินั้นมีค่าเป็นมุมวิกฤติ (CRITICAL ANGLE) ตรงรอยต่อของอากาศกับ คอร์ และของคอร์ กับแคล์คิ นั้นจากกฎของสเนลล์ (SNELL) จะได้ว่า

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

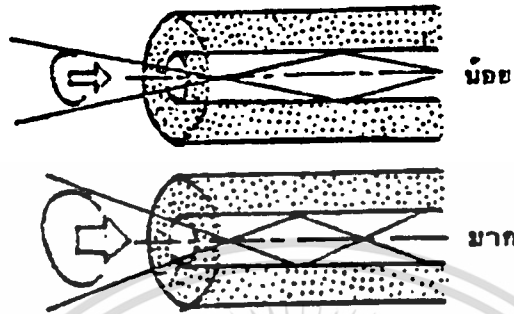
ดังนั้นกรณีที่มีมุมรับแสง  $\theta_{\max}$  มีค่าสูงสุดได้นั้น  $n_1 = n_2$  จากสมการ (1) และ (2) จะได้ว่า

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

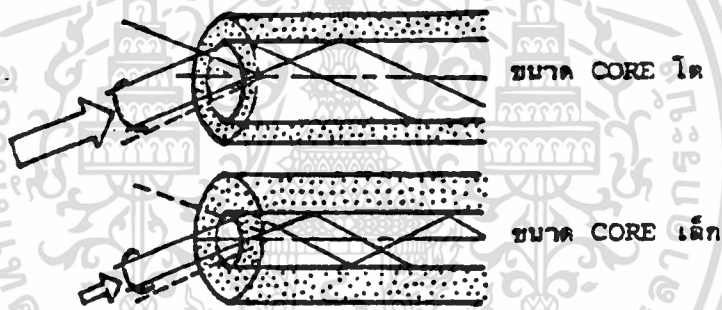
$$\text{ในที่นี้} \quad \Delta = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1}$$

เรียกว่า อัตราส่วนของผลต่างของดัชนีการหักเหของแสง สำหรับ  $\sin \theta_{\max}$  นี้ตามศัพท์เทคนิคของวิชาแสงเรียกว่าอะเพอร์เจอร์เชิงตัวเลข (NUMERICAL APERTURE เขียนย่อว่า "NA") หมายถึงขนาดของการเปิดรับให้แสงผ่าน และใช้เป็นตัวแสดงเงื่อนไขการป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง นอกจากนั้นยังถือเป็นตัวประกอบพื้นฐานอันหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสง ระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสงด้วย ยกตัวอย่างเช่น สมมุติว่าเส้นใยแสงมี  $n_1 = 1.475$  และ  $n_2 = 1.46$  (ค่าอัตราส่วนผลต่างของดัชนีการหักเหของแสง = 1%) ใยกรณีนี้มีค่า  $NA = 0.21$  รูป 3.23 แสดงความหมายของ NA และขนาดของคอร์ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสง

จากรูปจะเห็นว่าถ้าหากขนาดของคอร์และ NA มีค่าคงที่แล้วจะกำหนดปริมาณของแสงที่ป้อนเข้าไปในคอร์ได้ทันที เส้นใยแสงที่มีคอร์ขนาดใหญ่และมีค่า NA มากจะมีประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสงระหว่างต้นกำเนิดแสงกับเส้นใยแสงสูงมาก



(a) กรณีขนาด CORE ใดเท่ากันแต่ค่า NA ต่างกัน



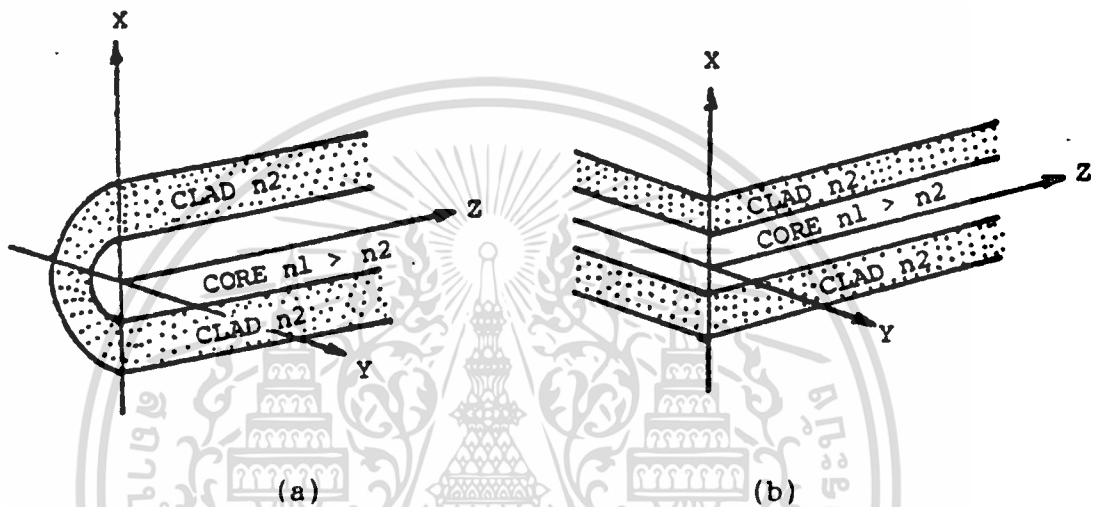
รูป 2.23 แสดงผลของ NA และขนาดของคอร์ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเชื่อมต่อแสง

### โหมดการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง (Propagation Mode)

แสงที่ป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงด้วยค่าของมุมรับแสงที่อยู่ในช่วงของมุมรับแสงสูงสุดนั้น แสงจะเดินทางในเส้นใยแสงด้วยลักษณะที่เกิดการสะท้อนกลับไปตามตรงรอยต่อของคอร์กับคลอโรด โดยที่สะท้อนกลับขึ้นมาและเคลื่อนที่ไปข้างหน้าพร้อมกันด้วย แต่ทว่าจากอินเตอร์เฟอเรนซ์ของแสงภายในคอร์นั้นมุมสะท้อนกลับที่รอยต่อจะเกิดขึ้นได้ จำเป็นต้องมีเงื่อนไขที่เหมาะสมเกี่ยวกับเงื่อนไขที่

เอกสารนี้เหมาะสมนี้จะได้กล่าวในหัวข้อต่อไปนี้ และเพื่อเป็นการช่วยให้เข้าใจได้ง่ายจะใช้เส้นใยแสงที่มีไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่างเป็นแผ่นแบนดังแสดงในรูป 2.23(b) แทนลักษณะเส้นใยแสงที่มีรูปร่างกลมดังรูป 2.23 (a) และอีกอย่างหนึ่งเพื่อทำการอธิบายเกี่ยวกับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของแสงภายใน จะพิจารณาเฉพาะสนามไฟฟ้าเท่านั้น



(a) ท่อนำคลื่นแบบกลม ( $n_1, n_2$  เป็นดัชนีการหักเห)  
(b) ท่อนำคลื่นแบบแผ่นแบน ( $n_1, n_2$  เป็นดัชนีการหักเห)

รูป 2.24 แสดงเส้นใยแสงแบบกลมและแบบระนาบแบน

(1) อินเตอร์เฟอเรนซ์ของแสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับ

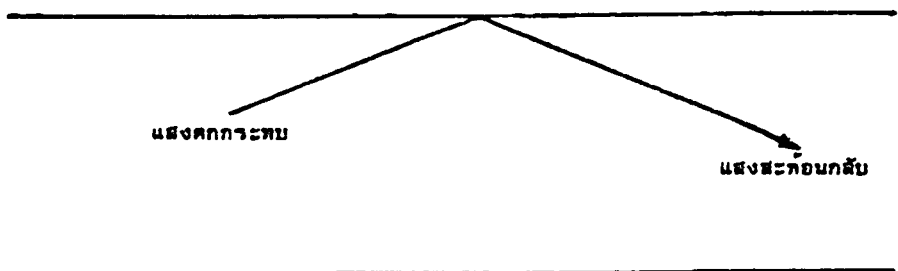
แสงที่สะท้อนกลับตรงรอยต่อของตัวกลางแสดงด้วยเส้นแสงดังรูป 2.24(a) และเส้นแสงนี้เป็นเสมือนตัวแทนของทิศทางเดินของแสงที่สนามไฟฟ้าของมันมีการเปลี่ยนแปลงตามจุดต่าง ๆ ในคอร์ของเส้นใยแสง รูป 2.24(b) แสดงการพิจารณาถึงระนาบที่มีเฟสเหมือนกันของสนามไฟฟ้าซึ่งระนาบที่มีเฟสเหมือนกันของแสงตกกระทบและของแสงสะท้อนกลับจะซ้อนกัน (เป็นไปตามปรากฏการณ์ของการเกิดคลื่นอยู่กับที่) ดังนั้นแสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับเกิดการอินเตอร์เฟอเรนซ์กันที่จุดต่าง ๆ ในคอร์

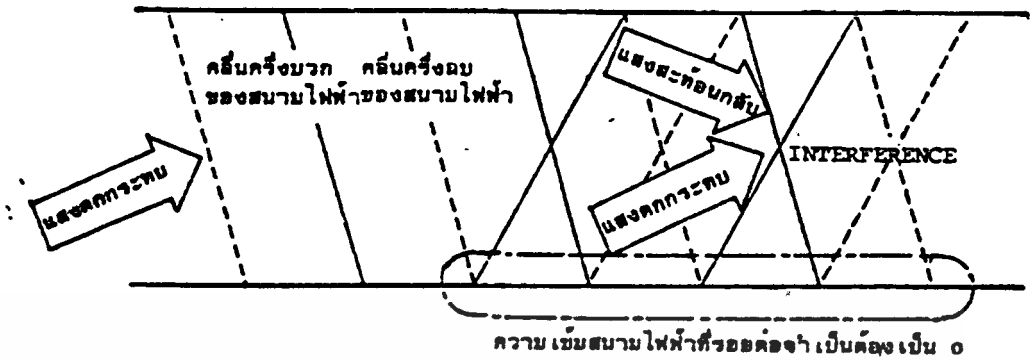
## (2) เงื่อนไขที่รอยต่อของตัวกลาง

แสงที่สะท้อนกลับหมดที่รอยต่อของตัวกลาง พร้อมทั้งเดินทางไปด้วยนั้นสนามไฟฟ้าของแสงจำเป็นต้องอยู่ภายในคอร์ด้วย ดังนั้นที่รอยต่อของตัวกลาง ความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากการอินเตอร์เฟอเรนซ์ของแสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับจะต้องเป็น 0 ด้วย แต่เนื่องจากเส้นใยแสงที่ผลิตขึ้นมา นั้น  $n_1 = n_2$  ดังนั้นจะมีสนามไฟฟ้าจำนวนหนึ่งปรากฏที่แคลิกด้วยเหมือนกันแต่สำหรับในที่นี้เพื่อให้การอธิบายง่ายขึ้นจึงสมมติว่าสนามไฟฟ้าที่แคลิกเป็น 0

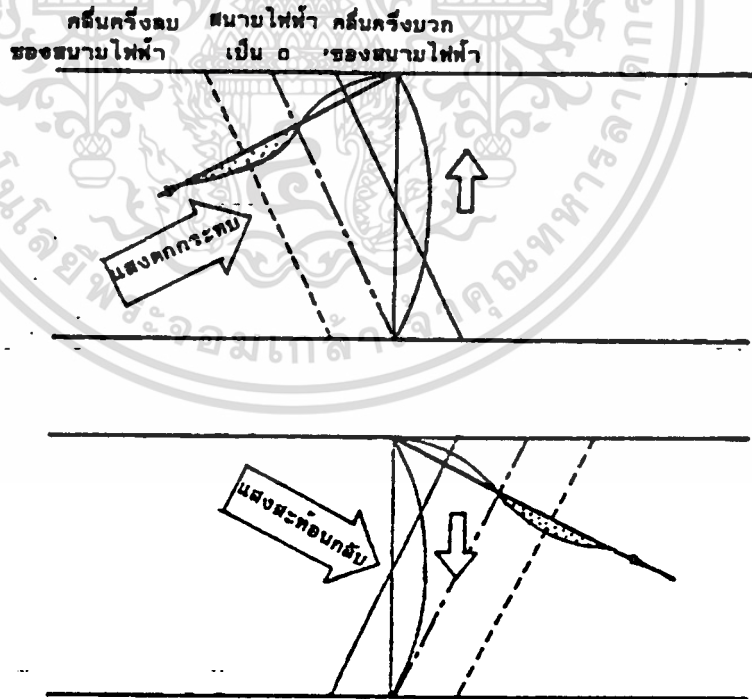
## (3) คลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี

เพื่อให้เงื่อนไขที่รอยต่อของตัวกลางที่กล่าวแล้วใน (2) เป็นจริงาค้นจำเป็นต้องมีคลื่นอยู่กับที่ (ซึ่งเกิดจากอินเตอร์เฟอเรนซ์ของแสงตกกระทบกับแสงสะท้อนกลับ) ในทิศทางของรัศมีรูป 2.25 (c) เป็นรูปที่แสดงการเปลี่ยนแปลงทางเฟสของความเข้มของสนามไฟฟ้า ตามการเดินทางของแสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับ ซึ่งมองในทิศทางรัศมี และจะเห็นว่ามีการซ้อนกันของคลื่นที่มีทิศทางสวนกัน ปรากฏการณ์นี้เหมือนกับปรากฏการณ์ที่เกิดคลื่นอยู่กับที่ในเชือกที่ตรึงปลายทั้งสองเอาไว้ ดังนั้นในระหว่างที่แสงเดินทางเป็นระยะทางเป็นจำนวนเท่าของเลขเต็มหน่วย ของครึ่งความยาวคลื่น ดังแสดงในรูป 2.25 (a) และ (c) นั้นจะเกิดคลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี ในกรณีที่แสงมีมุมสะท้อนกลับมีค่าเป็นจำนวนเท่าของเลขเต็มหน่วยของมุม  $180^\circ$  ของความเข้มสนามไฟฟ้าตามทิศทางของรัศมี ส่วนรูป 2.25 (b) นั้นเป็นกรณีตรงกันข้ามกล่าวคือ แสงที่มีมุมสะท้อนกลับมีค่า  $0^\circ < \theta < 180^\circ$  จะไม่เกิดคลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี ตามที่กล่าวมาแล้วนี้สามารถสรุปได้ว่ามุมสะท้อนกลับของแสงที่เดินทางไปด้วยภายในเส้นใยแสงนั้น มีค่าจำกัดเป็นพิเศษเฉพาะบางค่าเท่านั้น





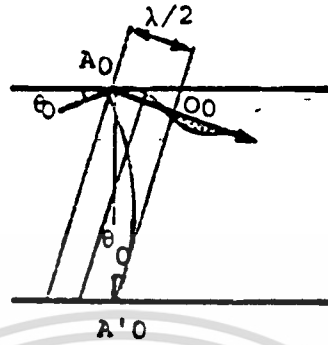
(b) ระบายที่แสงตกกระทบกับแสงสะท้อนกลับมีเฟสเหมือนกัน



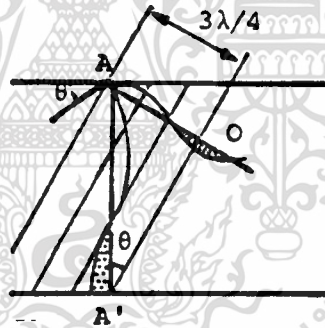
(c) แสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับเมื่อมองจากแนวเส้นผ่าศูนย์กลาง

รูป 2.25 แสดงการสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของตัวกลาง

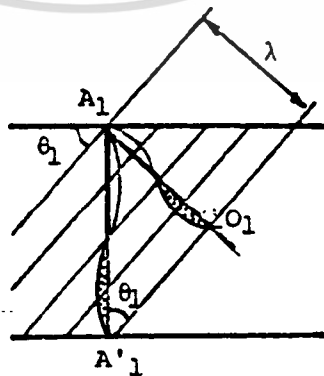
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) เมื่อแสงที่มีมุมสะท้อนกลับ  $O_0$  เคลื่อนที่ไป  $\lambda/2$  เฟสของความเข้มสนามไฟฟ้าระหว่าง  $A_0-A_0'$  จะเปลี่ยนไป  $180^\circ$



(b) ไม่มีคลื่นจริงในแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง

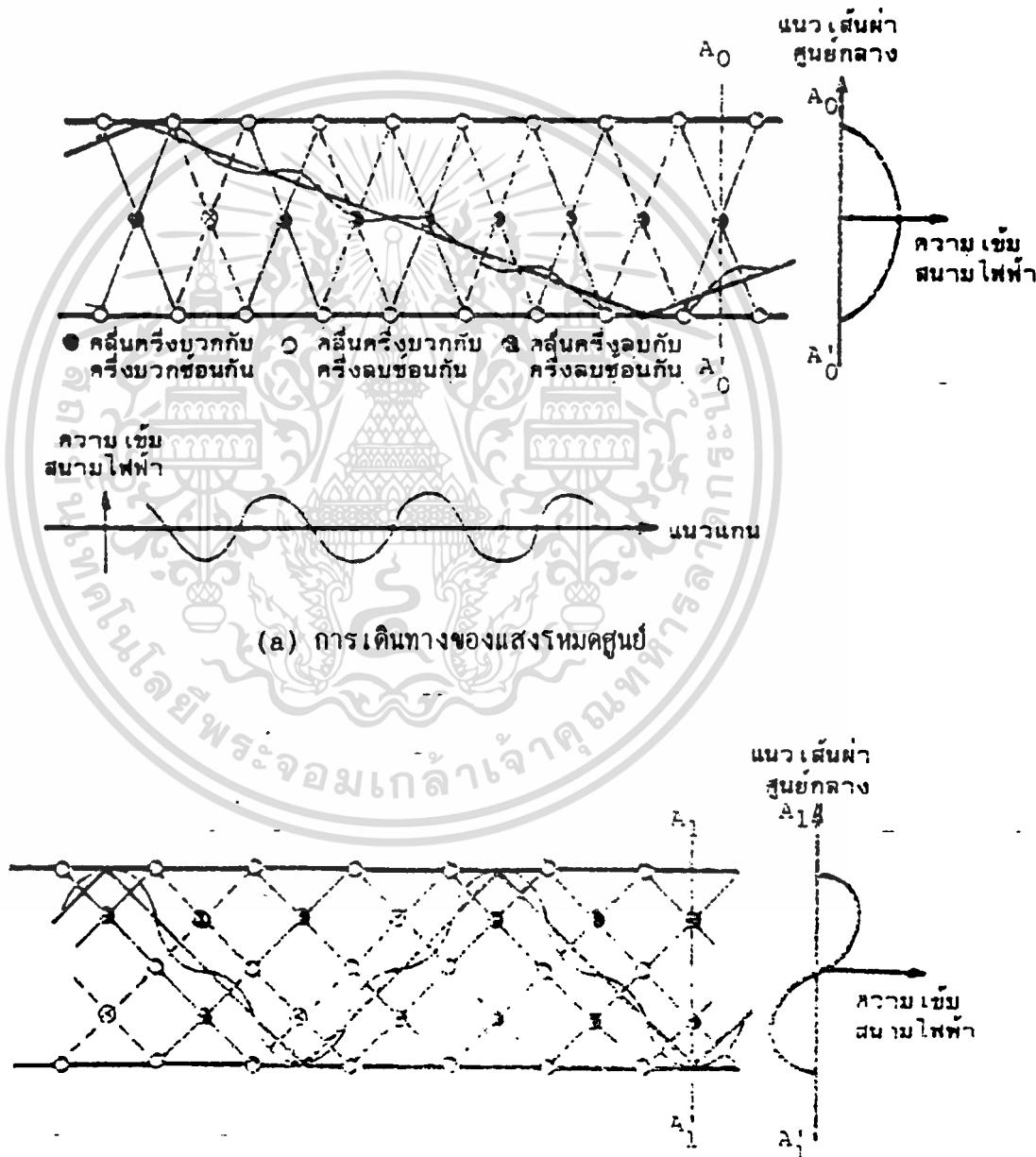


(c) เฟสของความเข้มสนามไฟฟ้าในแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... รูป 2.26 แสดงมุมสะท้อนกลับของแสงที่ทำให้เกิดคลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) โหมดการเดินทางของแสง

รูป 2.27 แสดงลักษณะของความเข้มของสนามไฟฟ้าภายในคอร์ของเส้นใยแสง ที่เกิดขึ้นจากการอินเตอร์เฟอรัเรนซ์ของแสงตกกระทบและแสงสะท้อนที่มีค่ามุมสะท้อนกลับเป็นพิเศษเฉพาะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
รูป 2.27 แสดงการเดินทางของแสงโหมดภายในเส้นใยแสง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างทั้งสองของรูป 2.27 จะเห็นได้ว่า เป็นการแสดงอินเตอร์เฟอเรนซ์ของแสงที่มีมุมสะท้อนกลับเป็นพิเศษเฉพาะซึ่งทำให้เกิดความเข้มของสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง  $180^\circ, 360^\circ$  ในทิศทางของรัศมี ลักษณะการเดินทางของแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าเป็นพิเศษเฉพาะภายนอกของเส้นใยแสงนี้เรียกว่า โหมดการเดินทางของแสง จำนวนโหมดของแสงภายในเส้นใยแสง มีค่าจำกัดตามเงื่อนไขของการสะท้อนกลับหมด และนิยมตั้งชื่อโหมดตามลำดับจากการเดินทางของแสงโหมด ที่มีค่ามุมสะท้อนกลับน้อยไปหามากคือ โหมด 0, โหมด 1, โหมด 2, ..... โหมด  $(N - 1)$

โหมดที่สูงที่สุดของการเดินทางของแสงโหมด คือ  $(N - 1)$  นั้นเป็นการเดินทางของแสงที่มีมุมสะท้อนกลับใกล้เคียงกับมุมวิกฤติ ดังนั้นถ้าหากทำให้การเดินทางโหมด  $N$  มีค่ามุมสะท้อนกลับเท่ากับมุมวิกฤติ  $\theta_C$

จากรูป 2.26 จะได้ว่า  $N$  เป็นเลขเต็มหน่วยสูงสุดที่ทำให้

$$2a \sin \theta_C \geq N/2 \quad (\text{โดยที่ } N = 0, 1, \dots, N-1) \quad \text{----(4)}$$

ในที่นี้  $2a$  เป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์ ของเส้นใยแสงและจากหัวข้อ 2.2 จะได้ว่า

$$\sin \theta_C = \sin \theta_{\max}/n_1 = \frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_1^2} \quad \text{----(5)}$$

แต่เนื่องจาก  $\lambda = \lambda_0/n_1$

ดังนั้น  $N \leq 4a/\lambda\sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad \text{----(6)}$

ตัวอย่าง เช่น เมื่อ  $n_1 = 1.475, n_2 = 1.46, 2a = 50$  ไมครอมตร และความยาวคลื่นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แสงที่ใช้มีค่า  $= 1.3$  ไมครอมตร จากสมการ (6) เราจะหาจำนวนโหมดการเดินทางได้  $= 16$  ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยแสงที่มีจำนวนโหมดการเดินทางจำนวนมากอย่างนี้ เรียกว่ามัลติโหมด ( MULTI MODE OPTIC FIBER )

อนึ่ง ถ้าให้  $n_1=1.463, n_2 = 1.46, 2a = 10$  ไมครอมตร และความยาวคลื่นแสงที่ใช้มีค่า  $= 1.3$  ไมครอมตร จะได้  $N = 1$  ในกรณีที่  $N = 1$  นั้นหมายความว่า มีเพียง การเดินทางของแสงโหมด 0 เท่านั้นที่เดินทางไปได้ในเส้นใยแสงและเส้นใยแสงที่มี การเดินทางของแสงโหมดเพียงอันเดียวเดินทางไปได้นั้นเรียกว่าโหมดเดียว ( SINGLE MODE )

จากสมการ (6) จะเห็นว่าจำนวน การเดินทางของแสงโหมด (N) ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น ดังนั้น ที่ค่าความยาวคลื่นค่าหนึ่ง N จะเป็นโหมดเดียว และที่ค่าความยาวคลื่นอื่นซึ่งมีค่าน้อยกว่าความยาวคลื่นนี้แล้ว N จะไม่เป็นโหมดเดียวค่าความยาวคลื่นต่ำสุดที่ทำให้ N เป็นโหมดเดียวนี้ เรียกว่า "CUT-OFF WAVE LENGTH" ใช้สัญลักษณ์  $\lambda_c$  และจากสมการ (6) สามารถเขียนได้ว่า

$$\lambda_c = 4a \cdot \frac{n_1^2 - n_2^2}{2} \quad \text{-----}(7)$$

เท่าที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดตั้งแต่ต้น เป็นเรื่องเกี่ยวกับเส้นใยแสงที่สมมุติว่าเป็นแผ่นแบน แต่เส้นใยแสงที่ใช้งานจริงนั้นเป็นเส้นกลม ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนแปลงสมการ (7) ใหม่ดังนี้

$$\lambda_c = 2 / 2.405 \cdot a \cdot \frac{n_1^2 - n_2^2}{2} \quad \text{-----}(8)$$

สำหรับ  $\lambda_c$  นั้นถือเป็นองค์ประกอบสำคัญอันหนึ่งในการแสดงคุณสมบัติของเส้นใยแสงที่เป็นโหมดเดียว ยกตัวอย่างเช่นเมื่อเส้นใยแสงมี  $n_1=1.463, n_2=1.46, 2a = 10$  ไมครอมตรจะได้  $\lambda_c=1.22$  ไมครอมตรซึ่งหมายถึงว่าความยาวคลื่นอื่นที่มีค่าต่ำกว่า 1.22 ไมครอมตรแล้วการเดินทางของแสงโหมด จะไม่เป็นโหมดเดียว

### ชนิดของเส้นใยแสง

วิธีการแบ่งชนิดของเส้นใยแสงมีหลายวิธี กล่าวคือแบ่งตามชนิดของสารที่ใช้แบ่งตามจำนวน

เอกสารนี้เป็นการเดินทางของแสงโหมดการแบ่งตามลักษณะของดัชนีการหักเหของคอร์รี่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) การแบ่งชนิดของเส้นใยแสงตามชนิดของโคอีเล็กทริกที่ใช้สามารถแบ่ง ออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

- (1) โคอีเล็กทริกที่เป็นซิลิกา
- (2) โคอีเล็กทริกที่เป็นแก้วหลายชนิดปนกัน
- (3) โคอีเล็กทริก ที่เป็นพลาสติก

อนึ่ง สำหรับเคเบิลเส้นใยแสงที่ใช้ในข่ายการสื่อสารโทรคมนาคม นิยมใช้แบบซิลิกาเพราะมีข้อดีคือการสูญเสียต่ำและคุณสมบัติการส่งคงที่ใหม่เปลี่ยนแปลง

(2) การแบ่งชนิดของเส้นใยแสงตามจำนวนโหมดของการเดินทางของแสง

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ โหมดเดี่ยว และอีกชนิดหนึ่งคือ มัลติโหมด

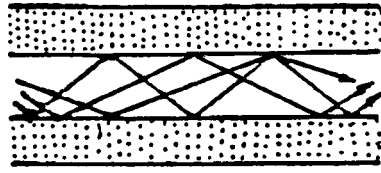
(3) การแบ่งชนิดของเส้นใยแสงตามลักษณะของดัชนีการหักเห

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเห คือ

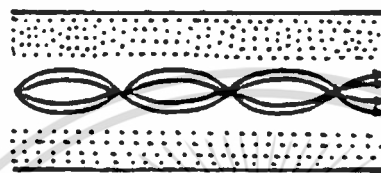
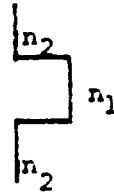
- (1) เส้นใยแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่างคอร์กับแคลด์เป็นลักษณะขั้นบันได (STEP INDEX)
- (2) เส้นใยแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่างคอร์กับแคลด์ค่อย ๆ ลดลงทีละน้อย (GRADED INDEX)

ลักษณะการเดินทางของแสงภายในคอร์ ของเส้นใยแสงแต่ละชนิดแสดงดังรูป 2.28

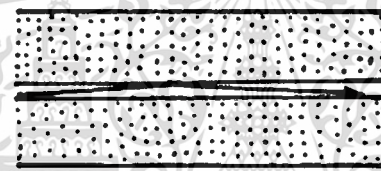
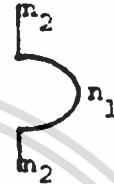
ลักษณะการ เปลี่ยนแปลง  
ของดัชนีการหักเห



(a) เส้นใยแสงแบบ  
SI-TYPE (MULTIMODE)



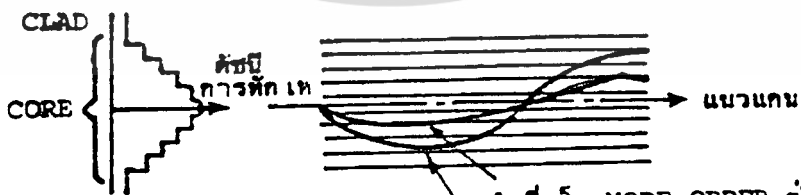
(b) เส้นใยแสงแบบ  
GI-TYPE



(c) เส้นใยแสงแบบ  
SM-TYPE



รูป 2.28 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงในคอร์ของเส้นใยแสงแต่ละชนิด



- 1 ที่ เป็น MODE ORDER ต่ำ จะสะท้อนกลับหมดตรงใกล้ ๆ ศูนย์กลางของ CORE
- 2 ที่ เป็น MODE ORDER สูง จะสะท้อนกลับหมดที่บริเวณห่างจาก ศูนย์กลางของ CORE

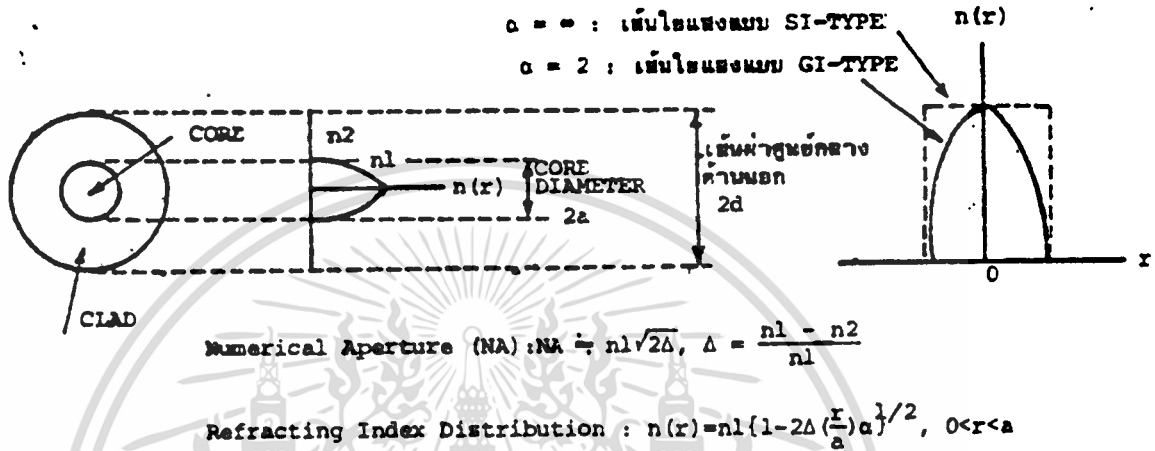
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ว่าลิขสิทธิ์และสงวนไว้ว่าลิขสิทธิ์ในการค้า  
รูป 2.29 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงในเส้นใยแสงแบบดัชนีลาด  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 2.29 จะเห็นว่า ค่าดัชนีการหักเหของเส้นใยแสงแบบดัชนีลาดนี้จะค่อยๆลดลงทีละน้อยตามแนวรัศมีของเส้นใยแสง ดังนั้นแสง (1) ที่มีโรหมด ตามและเดินทางในระยะทางสั้นนั้นจะสะท้อนกลับก่อนที่จะเดินทางไปถึงรอยต่อของคอร์และแคสสิต ซึ่งกล่าวได้ว่าส่วนใหญ่จะผ่านส่วนที่มีดัชนีการหักเหสูงของคอร์ ส่วนแสงที่มีโรหมดสูงและเดินทางในระยะทางไกลนั้น ส่วนใหญ่จะผ่านส่วนที่มีดัชนีการหักเหต่ำของคอร์ อนึ่งความเร็วในการเดินทางของแสงนั้นจะเป็นสัดส่วนกลับกับค่าดัชนีการหักเห ดังนั้นสำหรับ การเดินทาง โรหมด (1) และ (2) นั้นโดยการเลือกลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหที่เหมาะสมแล้วเราจะทำให้เวลาที่ใช้ในการเดินทางในระยะทางอันหนึ่งของ การเดินทาง โรหมด (1) และ (2) มีค่าเท่ากันได้ด้วยจุดประสงค์อันนี้ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหที่เหมาะสมที่สุด เพื่อทำให้ผลต่างของเวลาการเดินทางระหว่างโรหมดต่าง ๆ มีค่าน้อยที่สุดได้นั้น กล่าวกันว่าจะต้องมีรูปร่างเป็นลักษณะพาราโบลา (PARABOLA) ดังนั้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหของเส้นใยแสงแบบดัชนีลาด จึงต้องทำให้มีรูปร่างดัง แสดงในรูป 2.29

#### โครงสร้างของเส้นใยแสง

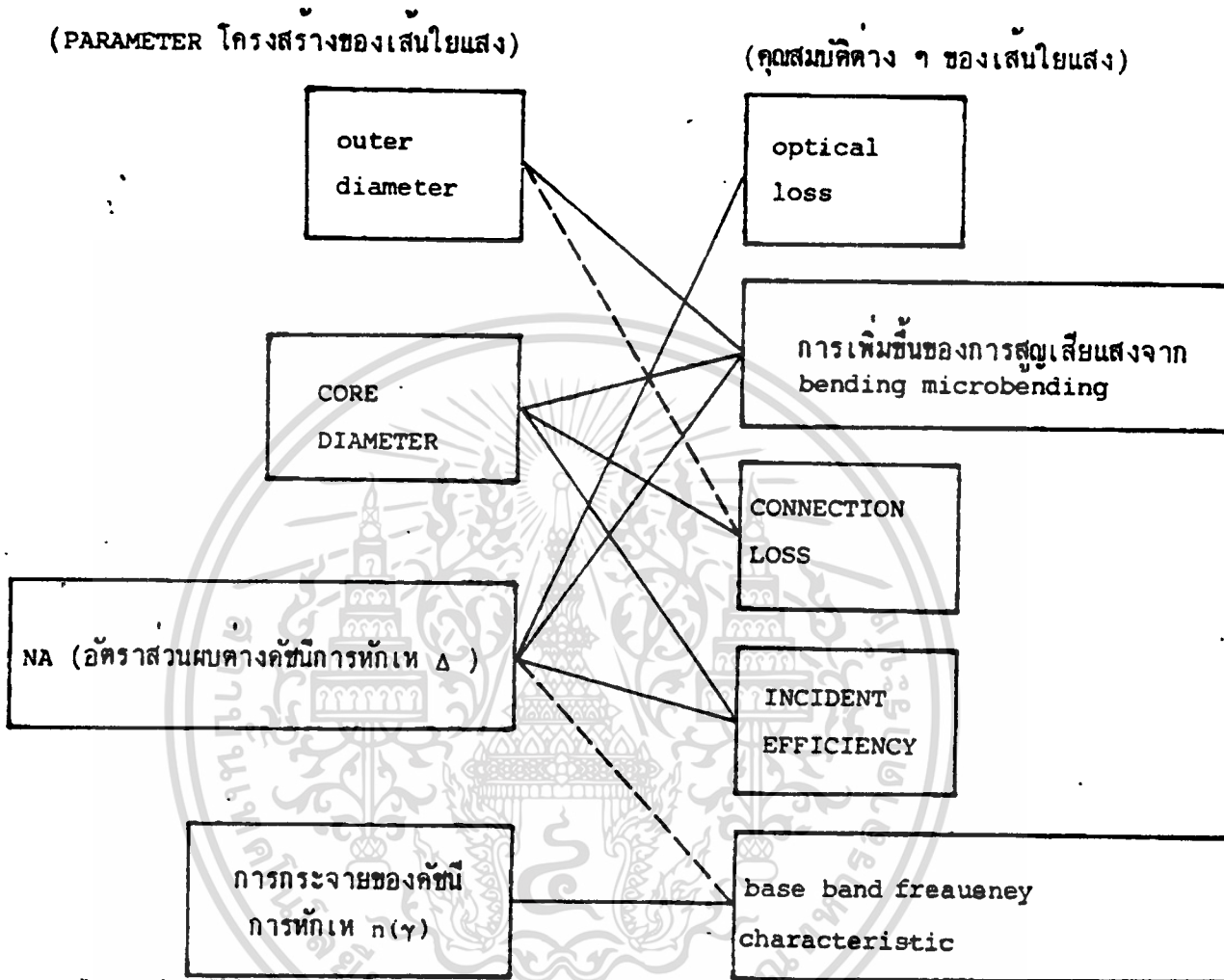
องค์ประกอบพื้นฐานที่กำหนดโครงสร้างของเส้นใยแสงคือเส้นผ่าศูนย์กลางของ คอร์, เส้นผ่าศูนย์กลางนอก (เส้นผ่าศูนย์กลางของแคสสิต), อะเปอร์เจอร์เชิงตัวเลข และอื่น ๆ องค์ประกอบเหล่านี้เรียกว่าเป็นพารามิเตอร์ทางโครงสร้างของเส้นใยแสงพารามิเตอร์ทางโครงสร้างเหล่านี้ นอกจากมีผลต่อการสูญเสียเนื่องจากแบนวิทท์ของการส่ง, ความแข็งแรงทางเมคานิกและคุณสมบัติอื่น ๆ ของเส้นใยแสงแล้ว ยังเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับการเชื่อมต่อของเส้นใยแสงกับเส้นใยแสง หรือการต่อของเส้นใยแสงกับอุปกรณ์แสงอีกด้วย นอกจากนี้ยังมีพารามิเตอร์ประกอบทางโครงสร้างเพิ่มเติมอีกได้แก่เบอร์เชินต์การคลาดเคลื่อนของศูนย์กลาง, อัตราความเพี้ยนของวงกลม สำหรับพารามิเตอร์ประกอบนี้จะไม่มีผลอะไรทางด้านคุณสมบัติการส่ง แต่ว่ามันจะมีผลอย่างมากต่อการสูญเสียของการต่อของเส้นใยแสง

ตัวอย่างเช่น ในการกำหนดโครงสร้างของเส้นใยแสงชนิดมีลิตโรหมดโรหมดจะต้องอาศัยพารามิเตอร์ 4 อันคือ เส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์ เส้นผ่าศูนย์กลางนอก, อะเปอร์เจอร์เชิงตัวเลข และ



รูป 2.30 แสดงพารามิเตอร์ทางโครงสร้างของมัลติโหมด

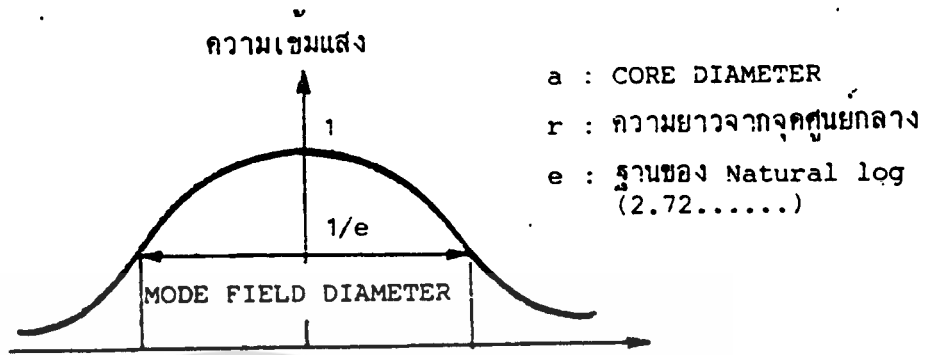
งานการกำหนดค่าต่างๆของพารามิเตอร์ทางโครงสร้างทั้ง 4 เหล่านี้จำเป็นต้องคำนึงถึงผลพารามิเตอร์ทางโครงสร้างแต่ละอันที่มีต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใยแสง การสร้างได้ง่ายและความประหยัด ดังแสดงในแผนผังของรูป 2.31



รูป 2.31 แสดงแผนผังคุณสมบัติต่าง ๆ ของ พารามิเตอร์  
ทางโครงสร้างของเส้นใยแสง

สำหรับโครงสร้างของเส้นใยแสงทั้งหมดจะกำหนดจาก พารามิเตอร์ 3 อัน คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ รัศมีฟิลด์, เส้นผ่าศูนย์กลางนอก-และ ความยาวคลื่นสูงสุด ซึ่งต่างกับกรณีของมัดติ-รัศมีที่กล่าวมาแล้วสาเหตุที่ใช้เส้นผ่าศูนย์กลางของรัศมีฟิลด์เป็นพารามิเตอร์ทางโครงสร้างของรัศมีเดี่ยวแทนการใช้เส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์นั้น ก็คือว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของรัศมีฟิลด์มีค่ามาก

เอกสารนี้เป็นดังแสดงในรูป 2.32 รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.32 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของโหมดฟิลด์

กล่าวคือเป็นค่าเส้นผ่านศูนย์กลางตรงจุดที่ความเข้มของแสงลดลงเป็น  $1/e$  ( $e$  ในที่นี้มีค่า 2.71828) ของค่าสูงสุด (คือค่าตรงจุดศูนย์กลางของ คอรั) และค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของคอรัของเส้นใยแสงโหมดเดี่ยวมีค่าน้อยยิ่งกว่านั้น อัตราส่วนของผลต่างของค่าดัชนีการหักเหก็มีค่าน้อยด้วย ทำให้เป็นการยากที่จะบ่งบอกส่วนที่เป็นรอยต่อของคอรักับแคลด์ได้ชัดเจน

คุณสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใยแสง

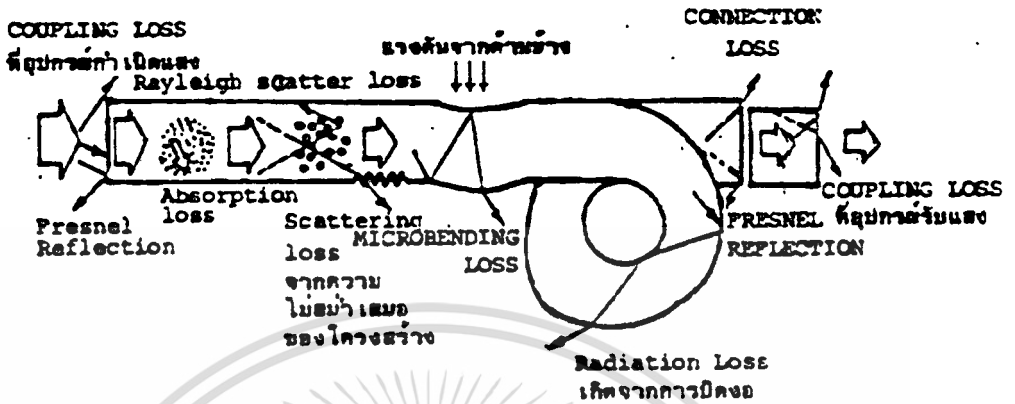
การสูญเสียแสงในเส้นใยแสง

ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงมีองค์ประกอบสำคัญ 2 อันที่จะกำหนดความเร็วในการส่งและระยะห่างของการถ่ายทอคสัญญาณองค์ประกอบเหล่านั้น คือ การสูญเสียแสงกับแบนวิทซ์ของการส่งการสูญเสียแสงเป็นตัวบอกาให้ทราบว่า กำลังของแสงที่เดินทางไปในเส้นใยแสงนั้นจะลดลงไปจากเดิมเท่าไร ซึ่งการสูญเสียแสงนี้ยังมีค่าน้อยเท่าไรจะทำให้สามารถส่งสัญญาณแสงได้ไกลมากยิ่งขึ้น

การสูญเสียแสงแบ่งออกตามความแตกต่างของโครงสร้างที่เกิดขึ้นได้ เป็นการสูญเสียที่มีอยู่ในตัวของเส้นใยแสงเอง และการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมาเมื่อตอนนำเส้นใยแสงไปใช้ในระบบการสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.33 แสดงสาเหตุต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสง

จากรูป 2.33 จะเห็นว่าการสูญเสียที่มีอยู่ในตัวของเส้นใยแสงเองนั้น เกิดจากสาเหตุต่าง ๆ ได้แก่ การดูดกลืน, การกระจัดกระจายแสงแบบเรย์ลี การกระจัดกระจายแสงเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้าง ส่วนการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมานั้นเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ ได้แก่ การงอโค้งของเส้นใยแสง, การงอโค้งแบบไมโครเบนดิง (Microbending Loss) การต่อเส้นใยแสงได้แก่การสูญเสียจากการสะท้อนกลับของแสง, จากการที่แสงกระจายแสง), การเชื่อมต่อ แสงระหว่างอุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงหรืออุปกรณ์รับแสงกับเส้นใยแสง ต่อไปนี้จะอธิบายถึงรายละเอียดของสาเหตุต่าง ๆ ของการเกิดการสูญเสียแสง

(1) การสูญเสียแสงที่เกิดจากการดูดกลืน (ABSORPTION LOSS)

การสูญเสียแสงที่เกิดจากการดูดกลืนนี้ เป็นลักษณะทางองเดียวกันกับม่านสีดำที่ดูดแสงได้ดี กล่าวคือ สารที่ใช่ผลิตเส้นใยแสงเองนั้นจะเป็นตัวดูดแสงที่เดินทางในเส้นใยแสง แล้วเปลี่ยนเป็นการสูญเสียทางความร้อนยกทั่วไป แล้วจะมีการดูดกลืนอันเนื่องมาจากแก้วเอง (สารที่ใช่

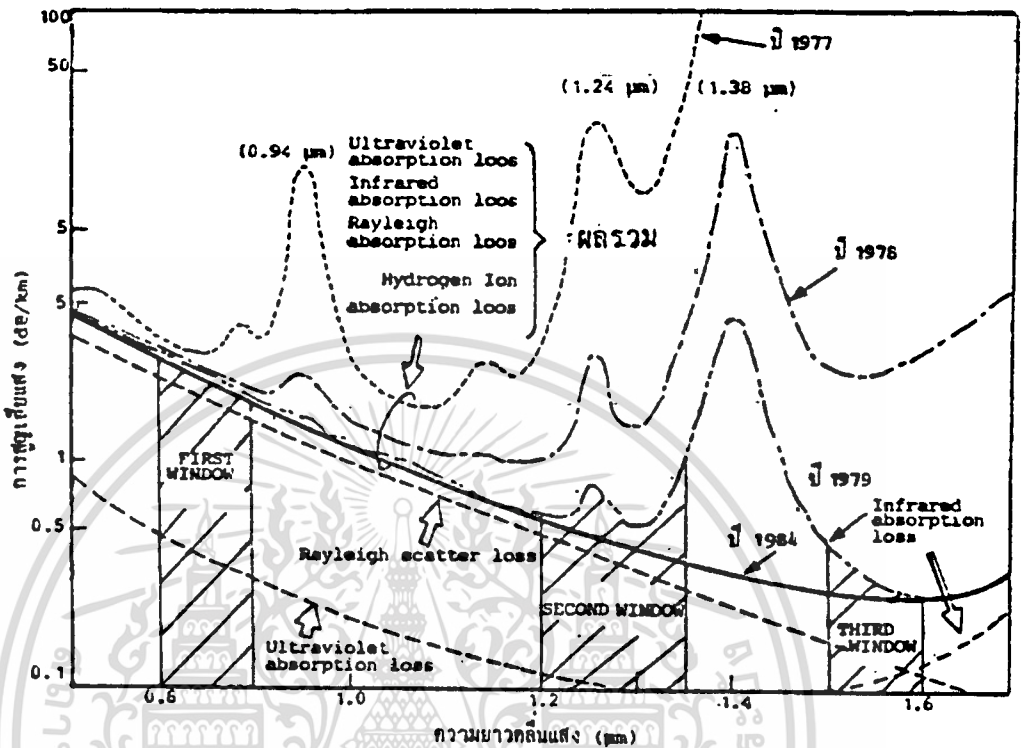
เอกสารนี้เป็นผลิตเส้นใยแสง) และเนื่องมาจากสารอื่นที่เจือปนอยู่ในแก้วสำหรับการสูญเสียจากการดูดกลืนของไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก้วนํ้ามันจะดูดแสงอัลตราไวรอลีท์กับแสงอินฟราเร็ดการดูดแสงอัลตราไวรอลีท์นั้นจะดูดมากที่สุด ที่ความยาวคลื่นใกล้กับ 0.1 ไมครอมเมตร ส่วนที่ความยาวคลื่นอื่น ๆ นั้นการสูญเสียจากการดูดแสง จะลดลงอย่างมาก ดังแสดงในรูป 2.33 จะเห็นว่าจากความยาวคลื่นประมาณ 1.0 ไมครอมเมตร ไปจนถึงประมาณ 1.6 ไมครอมเมตร การสูญเสียจะตกลงเป็นเสมือนหุบเขา

การสูญเสียจากการดูดแสงอันเนื่องมาจากสารแปลกปลอมบนอยู่นั้น ในตอนแรกทีพัฒนาเส้นใย แสงใหม่ ๆ นั้นปรากฏว่าส่วนใหญ่เป็นไอออนของโลหะต่างๆ เช่น ไอออนของเหล็ก , ไอออนของทอง แดงและอื่นๆ แต่ต่อมาเทคนิคในการทำให้การสูญเสียแสงต่ำลงได้พัฒนาไปมากสามารถกำจัดไอออน ของโลหะต่างๆ ออกไปได้ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็น ไฮดรอกซิลไอออน (Hydroxyl ION) นั่นคือ กล่าวได้ว่าประวัติศาสตร์ของการทำให้การสูญเสียแสงที่มีอยู่ในเส้นใยแสงอาทิตย์มีค่าน้อยนั้น เป็นการ กำจัดการดูดแสงอันเนื่องมาจากไอออนของโลหะและไฮดรอกซิล ไอออนเหล่านี้มีค่าในรูป 2.34 จะ เห็นว่าแสดงการสูญเสียแสงที่ความยาวคลื่นค่าต่าง ๆ ของแสงในเส้นใยแสงที่ทําด้วยแก้ว ตัวเลข ค.ศ. ที่ค่าสูญเสียสูงสุดต่างๆ นั้นบอกให้ทราบถึงประวัติศาสตร์ของการทำให้การสูญเสียแสงน้อยลง ค่าสูญเสียแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 0.94 ไมครอมเมตร, 1.24 ไมครอมเมตร และ 1.38 ไมครอมเมตรนั้น เป็นการสูญเสียที่เกิดจากการดูดของไฮดรอกซิล ไอออนที่กล่าวข้างบน และตรงส่วนที่ เป็นหุบเขาริเวณใกล้ ๆ กับความยาวคลื่น 0.85, 1.3 และ 1.55 ไมครอมเมตรเรียกว่าวินโดว ที่ 1, ที่ 2, ที่ 3 นั้นมีการสูญเสียแสงต่ำซึ่งนำมาใช้ในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

(2) การสูญเสียแสงที่เกิดจากการกระจัดกระจายแสงแบบเรลลี่  
(Rayleigh Scattering Loss)

การสูญเสียแบบนี้ เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น เมื่อแสงไปกระทบกับวัตถุที่มีขนาดใกล้เคียงกับ ความยาวคลื่น แล้วทำให้แสงนั้นแตกกระจัดกระจายออกไปในทิศทางต่างๆ ตัวอย่างของปรากฏ การณ์เช่นนี้แสดงดังรูป 2.35 คือการที่เรามองเห็นท้องฟ้าเป็นสีนํ้าเงินและมองเห็นท้องฟ้าเป็นสี แดงตอนตะวันจะตกดินนั้น เกิดจากการแตกกระจัดกระจายของแสง



รูป 2.34 แสดงคุณสมบัติการสูญเสียแสงจากการดูดแสงของเส้นใยแสงที่ทำด้วยแก้ว

สำหรับการผลิตเส้นใยแสงนั้น ทำได้โดยการให้ความร้อนประมาณ 2,000°C แก่แท่งแก้วซึ่งเรียกว่า เฟอร์พอร์ม (PREFORM) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจากหลายมิลลิเมตรไปจนถึงหลายสิบ มิลลิเมตร จากนั้นจึงทำการดึงแท่งแก้วให้เป็นเส้นใยแสงขนาดเล็ก และในตอนที่ต้องทำให้เส้น ใยแสงนั้นมีอุณหภูมิลดลงจาก 2,000°C เป็นอุณหภูมิต่ำประมาณ 20°C (หรือนั่นคือ ความไม่สม่ำเสมอของค่าดัชนีการหักเห) ตกค้างอยู่อย่างนั้นนานเส้นใยแสง และเป็นสาเหตุทำให้เกิดการสูญเสียแบบเรลลีขึ้นในเส้นใยแสงจัดเป็นสาเหตุการเกิดการสูญเสียแสงที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในขั้นตอนการ ผลิตถือเป็นการสูญเสียแสงที่มีประจําอยู่ในตัวของเส้นใยแสง ขนาดของการสูญเสียแบบเรลลีจะเป็น สัดส่วนกลับกับความยาวแสงยกกำลัง 4 ด้วยเหตุนี้จะเห็นว่าในรูป 2.34 ความยาวของคลื่นแสงที่ เดินทางยังมีค่ามากการสูญเสียแบบเรลลีจะมีค่าน้อยลง ยกตัวอย่าง เช่น เมื่อความยาวคลื่นเป็น

1 ไมโครเมตร ค่าการสูญเสียเรลลีจะมีค่าประมาณ 1 dB/Km และเมื่อความยาวคลื่นเป็น 1.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไมโครเมตร ค่าการสูญเสียเรลลีจะมีค่าประมาณ 0.1 dB/Km ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.35 แสดงการแตกกระจายของแสงในบรรยากาศ

นอกจากนั้น ขนาดของการสูญเสียแบบเรลลีย์ยังเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิในตอนที่ทำภารกิจเพอร์ฟอร์มาให้เป็นเส้นใยแสง ถ้าหากสามารถทำให้อุณหภูมิต่ำได้การสูญเสียจะน้อยลง

(3) การสูญเสียจากการกระจัดกระจายแสงอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในเส้นใยแสง (Ununiformity Loss)

สำหรับเส้นใยแสงที่สร้างขึ้นมาจริง ๆ นั้น จากสาเหตุต่าง ๆ ในการสร้างทำให้ไม่สามารถได้เส้นใยแสงที่มีลักษณะกลม 100% นอกจากนั้นคอร์ และแคลด ที่ประกบกันเป็นเส้นใยแสงก็ไม่สามารถทำให้ได้ลักษณะรูปทรงกระบอกที่สม่ำเสมอกันอย่างสมบูรณ์ ตลอดความยาวของเส้นใยแสงได้ กล่าวคือตรงรอยต่อของคอร์ กับแคลด นั้นจะไม่สม่ำเสมอตลอด กล่าวคือจะมีลักษณะคล้าย

ถนนขรุขระ เมื่อมีรอยต่อไม่เรียบสม่ำเสมอเช่นนี้จะทำให้เกิดการกระจัดกระจายของแสงดังแสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ในรูป 2.33 ทำให้แสงบางส่วนไม่สามารถเดินทางไปใน คอร์ ได้จะกระจายออกไปข้างนอก ดัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นรอยต่อที่ไม่เรียบสม่ำเสมอ จะทำให้แสงที่เดินทางเกิดการสะท้อนกลับอย่างสะเปะสะปะทำให้การสูญเสียแสงเช่นนี้เรียกว่า การสูญเสียจากการกระจายแสงอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในเส้นใยแสง

(4) การสูญเสียจากการกระจายแสงอันเนื่องมาจากการงอโค้งของเส้นใยแสง

(BENDING LOSS)

เป็นการสูญเสียที่เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยแสงถูกทำให้งอโค้งไป สำหรับการงอโค้งเส้นใยแสงดังแสดงในรูป 2.33 แสงที่มีมุมงอโค้งมากกว่ามุมวิกฤติแล้ว แสงนั้นจะกระจายออกไปนอกคอร์ ทำให้เกิดการสูญเสียขึ้น ดังนั้นในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง ซึ่งจะได้กล่าวถึงในภายหลังนั้น จะต้องระมัดระวัง อย่าให้เกิดมีการงอเส้นใยแสงเป็นส่วนโค้งที่มีรัศมีเกินกว่ารัศมีที่ยอมให้งอโค้งได้ เช่น ไม่เกิน 40 ม.ม. เป็นต้น

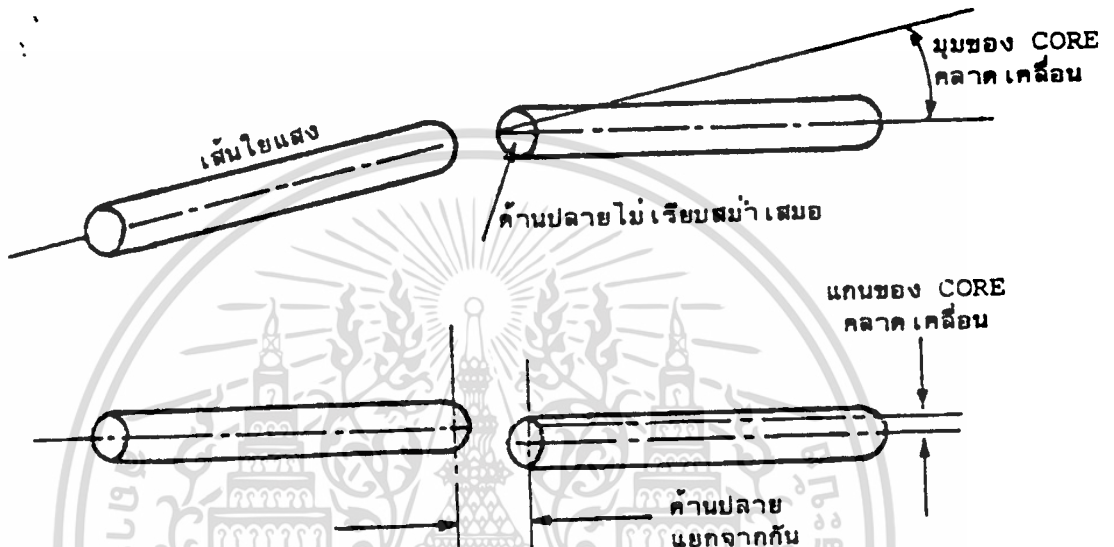
(5) การสูญเสียที่เกิดจากการงอโค้งแบบไมโครเบนดิง ( MICRO BENDING )

เป็นการสูญเสียที่เกิดจากการที่มีแรงกดที่ไม่สม่ำเสมอมากระทำต่อด้านข้างของเส้นใยแสงทำให้อกของเส้นใยแสงบิดงอไปเล็กน้อย (ประมาณ 2,3 ไมโครเมตร) เป็นเหตุให้การสูญเสียเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้ในการออกแบบโครงสร้างเส้นใยแสงจะต้องทำการป้องกันแรงกดจากทางด้านข้าง เช่น ทาชั้น (LAYER) ป้องกันการกระแทกหุ้มเส้นใยแสง เป็นต้น

(6) การสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแสง ( CONNECTION LOSS )

การต่อเส้นใยแสงนั้นคล้ายกับการต่อท่อของน้ำประปาหรือท่อแก๊สกล่าวคือต้องต่อเข้ากันอย่างดีมาที่น้ำประปาหรือแก๊สที่อยู่ข้างในท่อรั่วออกไปข้างนอก กรณีที่ทำการต่อเส้นใยแสง 2 เส้นเข้าด้วยกันนั้นอันดับแรกจำเป็นต้องทำการปรับคอร์ ทั้งสองที่แสงเดินทางผ่านให้ตรงกันพอดี ถ้าหากว่าคอร์ ทั้งสองต่อกันไม่สนิทอย่างสมบูรณ์นั้น แสงที่ออกจากคอร์ ด้านหนึ่งบางส่วนของมันจะไม่เข้าไป

อย่างนี้แสดงในรูป 2.36 กล่าวคือมีทั้งการคลาดเคลื่อนของแกนของคอร์ และอื่นๆ แต่สำหรับค่าการสูญเสียในส่วนใหญ่มักจะมาจากการคลาดเคลื่อนของแกนของคอร์



รูป 3.36 แสดงสาเหตุต่าง ๆ ของการสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแสง

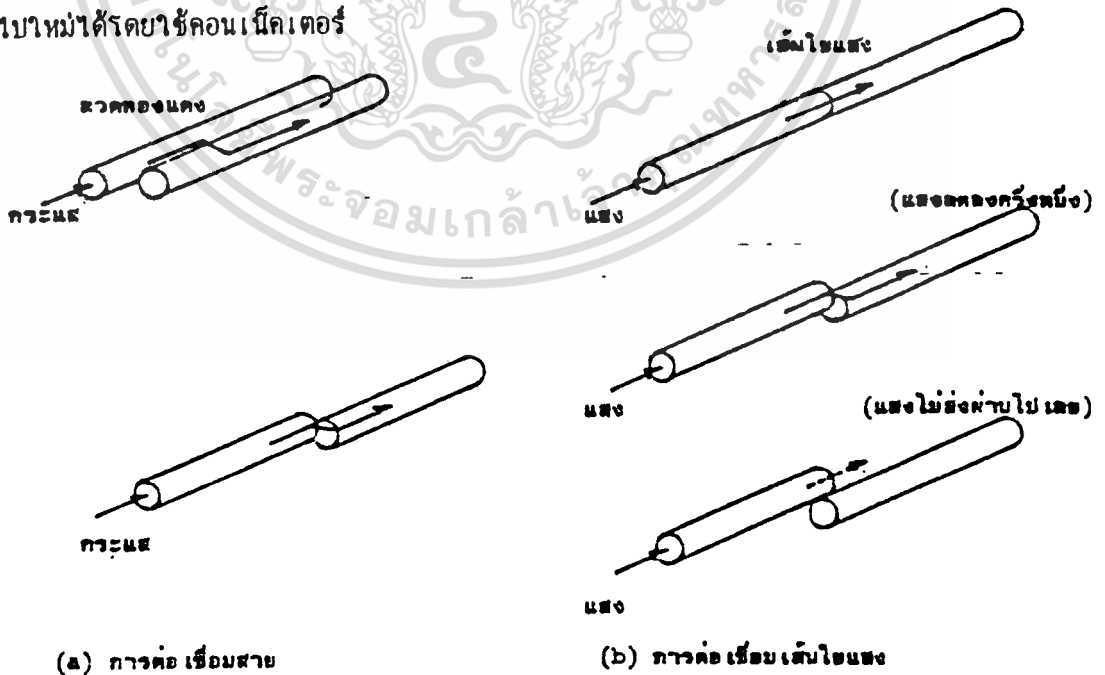
(7) การสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยแสงกับอุปกรณ์กำเนิดแสง และอุปกรณ์รับแสง (COUPLING LOSS)

แสงที่ปล่อยออกจากอุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงนั้น มีเงื่อนไขงานการที่จะป้อนแสงเข้าภายในเส้นใยแสงตั้งที่ใดก็ตามแล้วในเรื่องการป้อนแสงเข้าภายในเส้นใยแสงจะมีการสูญเสียของการเชื่อมต่อแสงน้อยกว่า นอกจากนั้นโครงสร้างของเส้นใยแสงที่จะถูกป้อนแสงเข้าภายใน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์ของเส้นใยแสงที่มีค่าต่างกันทำให้ขนาดของการสูญเสียของการเชื่อมต่อแสงมีค่าต่างกันไปด้วย

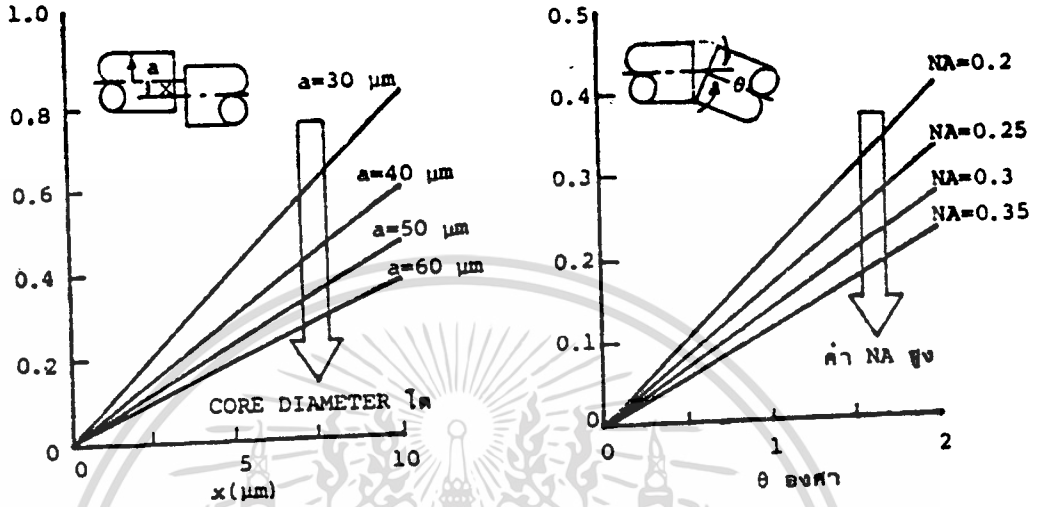
### วิธีการต่อเชื่อมเส้นใยแสง

การต่อเชื่อมเส้นใยแสง มีหลักการต่อเชื่อมแตกต่างกับกรณีของสายไฟลหะ ดังแสดงการเปรียบเทียบในรูป 2.37 จากรูป 2.37 (a) เป็นการต่อเชื่อมสายไฟลหะจะเห็นว่า จะทำการต่อเชื่อมอย่างไรก็ได้ และวิธีการต่อเชื่อมนั้นทำได้ง่ายไม่มีปัญหาอะไรเป็นพิเศษ แต่สำหรับกรณีของเส้นใยแสงนั้น ดังแสดงในรูป 2.37(b) จะเห็นว่าผิวด้านหน้าของคอร์ของเส้นใยแสงที่จะทำการต่อเชื่อมกันนั้น ถ้าหากไม่ตรงกันพอดีแล้วจะทำการต่อเชื่อมไม่ได้ผลดีดังนั้นการทำให้คอร์ของเส้นใยแสงที่มีขนาดเล็กเกือบเท่าเส้นผมนั้นคือมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 10 ไมครอนสามารถปรับให้ตรงกันได้พอดีสะดวก รวดเร็วและทำการต่อเชื่อมกันได้อย่างมั่นคงไม่เปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพสิ่งแวดล้อมนั้นถือว่าเป็นหัวข้อพื้นฐานทางเทคนิคที่สำคัญอันหนึ่ง

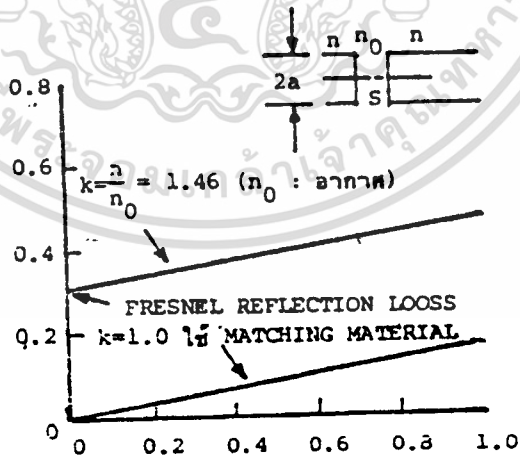
สำหรับการสูญเสียจากการต่อเชื่อมเส้นใยแสงอันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของคอร์ของเส้นใยแสง ความคลาดเคลื่อนของมุมของคอร์, ระยะห่างของด้านหน้าของคอร์แสดงดัง (a), (b) , (c) ของรูป 2.38 เกี่ยวกับวิธีการเชื่อมต่อเส้นใยแสงแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีคือวิธีการต่อเชื่อมถาวรโดยการต่อเชื่อมด้วยไฟฟ้าเป็นต้น และวิธีการต่อเชื่อมชั่วคราวที่สามารถถอดออกได้ต่อเข้าไปใหม่ได้รัศยาคอนเน็คเตอร์



รูป 2.37 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการต่อเชื่อมสายไฟลหะกับการต่อเชื่อมเส้นใยแสง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) แกนของคอร์ คลาดเคลื่อน (b) มุมของคอร์ คลาดเคลื่อน



(c) ด้านปลายแยกห่างกัน

รูป 2.38 แสดงการสูญเสียจากการต่อเชื่อมเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่วารสารวิชาการเท่านั้น ไปเผยแพร่ให้ทั่วไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนต่าง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

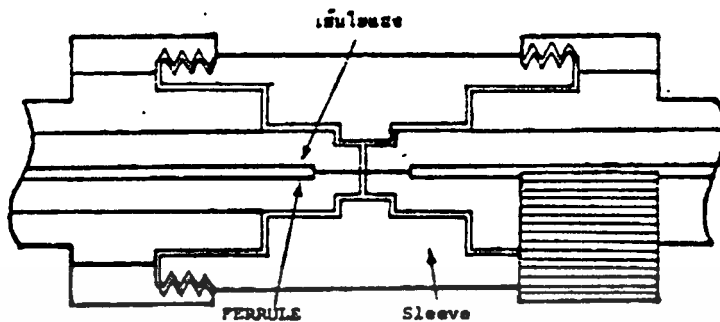
## การต่อเชื่อมถาวรด้วยการอาร์ค (SPLICING)

วิธีการต่อเชื่อมถาวรด้วยการอาร์คเป็นการต่อเชื่อมโดยการทำให้ผิวด้านหน้าของเส้นใยแสงหลอมตัวแล้วเชื่อมต่อกัน ส่วนใหญ่จะใช้กับการเชื่อมต่อตรงส่วนที่ทำการต่อเชื่อมใหม่ได้โดยไม่ต้องพิถีพิถันมากนัก การทำให้ผิวด้านหน้าของเส้นใยแสงหลอมตัวนั้น มีหลายวิธี คือการใช้อุปกรณ์อาร์ค ใช้แสงเลเซอร์, การใช้เปลวไฟแต่เมื่อพิจารณาถึงความสะดวกในการเชื่อมต่อความเชื่อถือได้ และความประหยัดแล้ว โดยทั่วไปนิยมใช้การต่อเชื่อมด้วยไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า อาร์คหรือไฟฟ้าอาร์ค

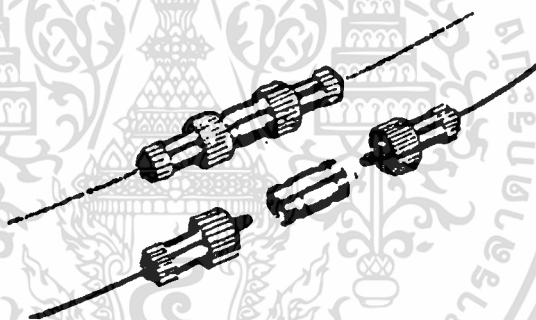
## การต่อเชื่อมด้วย คอนเน็คเตอร์

การต่อเชื่อมด้วยคอนเน็คเตอร์จะใช้กับส่วนที่มีการต่อเข้าและถอดออกบ่อย ๆ การต่อเชื่อมด้วยคอนเน็คเตอร์ก็เช่นเดียวกันกับกรณีของการต่อเชื่อมด้วยไฟฟ้าอาร์ค กล่าวคือด้านปลายทั้งสองด้านของคอร์ของเส้นใยแสงจะต้องตรงกันพอดีโดยทั่วไปนิยมใช้คอนเน็คเตอร์แบบเฟอร์รูล (FERULE) โครงสร้างหลักของคอนเน็คเตอร์แบบเฟอร์รูลแสดงดังรูป 2.39(a) เฟอร์รูลส่วนที่ทำการศูนย์กลางของคอร์ ของเส้นใยแสงตรงพอดีกับศูนย์กลางของคอนเน็คเตอร์ และตัวที่ทำการหน้าที่เป็นบล็อกหน้าให้เฟอร์รูลกับเฟอร์รูลสามารถปรับต่อกันได้อย่างถูกต้องแน่นอนนั้นเรียกว่าคอนเน็คเตอร์แบบเฟอร์รูล ในการประกอบคอนเน็คเตอร์ นั้นจะต้องสอดเส้นใยแสงเข้าไปในเฟอร์รูลแล้วยึดให้แน่น จากนั้นจึงทำการขัดผิวหน้าด้านปลายของเฟอร์รูลให้เรียบ เหตุผลของการขัดผิวหน้าด้านปลายของเฟอร์รูลก็เพื่อลดการสูญเสียอันเนื่องมาจากผิวหน้าของเส้นใยแสงนั่นเอง

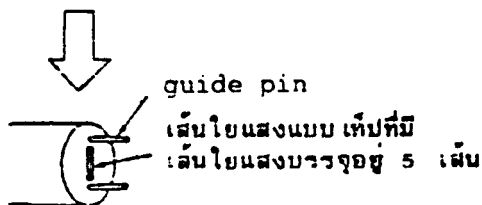
สำหรับรูป 2.39(b) แสดงตัวอย่างคอนเน็คเตอร์สำหรับเส้นใยแสง 1 เส้น ที่เอ็นทีทีใช้งาน อยู่ส่วนรูป 2.39(c) นั้นแสดงตัวอย่างของ คอนเน็คเตอร์ สำหรับเส้นใยแสง 5 เส้น โดยที่ทำการเส้นใยแสงจำนวน 5 เส้นรวมเข้าด้วยกัน สามารถต่อเข้าด้วยกันพร้อม ๆ กันได้ซึ่งก็เป็นคอนเน็คเตอร์ ที่เอ็นทีทีใช้งานอยู่เช่นกัน



(a) แสดงรูปตัดขวางของ คอนเน็คเตอร์ แบบ เฟอรัล



(b) คอนเน็คเตอร์ แบบใช้กับเส้นใยแสงเส้นเดียว

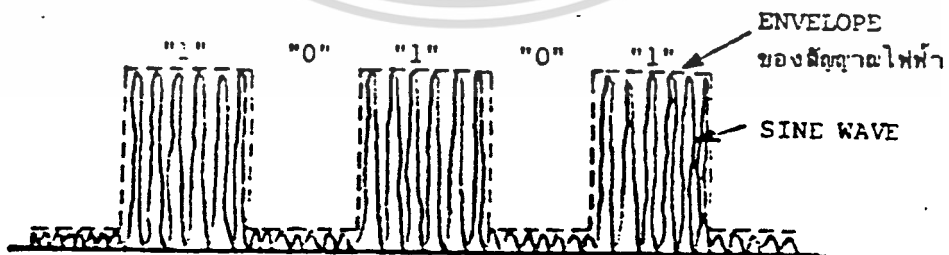


(c) คอนเน็คเตอร์ แบบใช้กับเส้นใยแสง 5 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูป 2.39 แสดงการต่อเชื่อมด้วย คอนเน็คเตอร์ ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติต่าง ๆ ของอุปกรณ์ปล่อยแสง

คุณสมบัติต่าง ๆ ที่ต้องการจากอุปกรณ์ปล่อยแสงได้แก่ คุณสมบัติการผสมของแสงไฟฟ้าความกว้างของสเปกตรัม (SPECTRUM) ของแสง, ความเร็วในการตอบสนองต่อความถี่ เป็นต้น จากที่ได้อธิบายมาแล้วว่าในปัจจุบันแสงที่ได้จากอุปกรณ์ปล่อยแสงจะมีความยาวแสงจำนวนหนึ่งบนอยู่ ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้แสงเป็นคลื่นพาสำหรับการมอดูเลททางความถี่, การมอดูเลททางเฟสของสัญญาณไฟฟ้าได้เหมือนอย่างที่ใช้ในการส่งมัลติเพล็กซ์ โดยทั่วไปใช้การผสมที่เรียกว่าการมอดูเลททางความเข้มของแสง ยกตัวอย่างเช่นในการส่งสัญญาณดิจิทัลสัญญาณที่ได้จะเป็นดังแสดงในรูป 2.40 กล่าวคือแสงจะเกิดการกระพริบสว่างดับตามสัญญาณไฟฟ้าที่เป็น "1" "0" ตามความเป็นจริงแล้วความยาวคลื่นของสัญญาณแสงจะมีค่าสั้นกว่าความยาวคลื่นของสัญญาณไฟฟ้ามก ดังนั้นในขณะที่สัญญาณเป็น "1" สัญญาณไฟฟ้าจะมีแสงที่มีความยาวคลื่นหลายค่าอยู่ข้างใน ดังแสดงในรูป 2.40



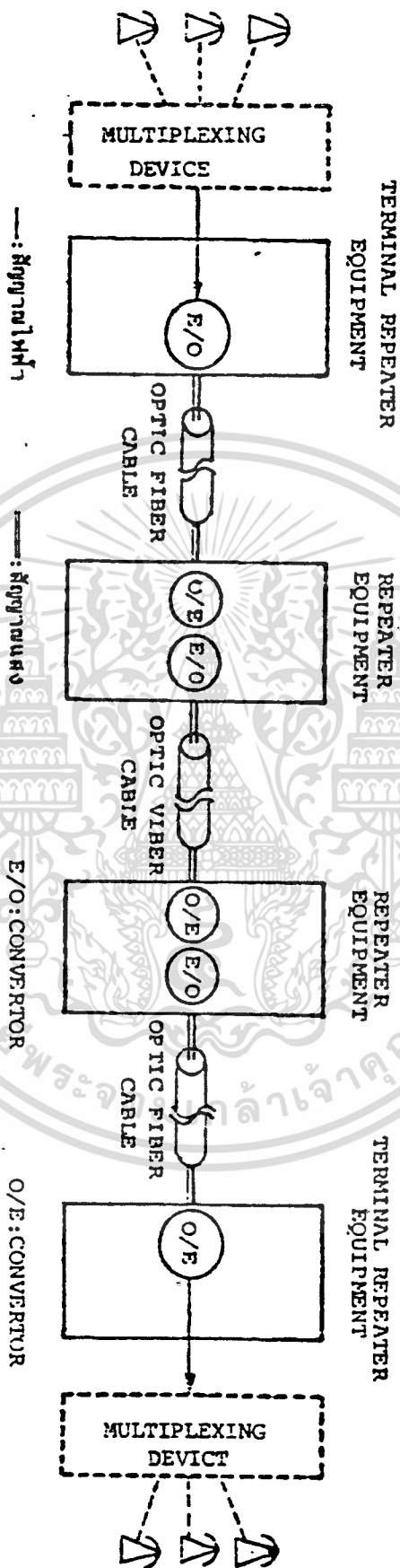
## ส่วนประกอบของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงนั้น ต่างกับระบบการสื่อสารโทรศัพย์ โดยที่มันใช้เคเบิลเส้นใยแสงเป็นตัวกลางในการส่งและที่ปลายทั้งสองด้านจะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้าตัวอย่างของส่วนประกอบของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงแสดงดังรูป 2.41 สัญญาณไฟฟ้าจากการมัลติเพล็กซ์จะมาถึงยังเทอร์มินอลรีพีทเตอร์ที่มีหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้าให้เป็นแสง

ที่อุปกรณ์ทวนสัญญาณปลายทางนั้น อันดับแรกจะทำการเปลี่ยนสัญญาณโทรศัพย์ที่เข้ามา (นั่นคือเป็นสัญญาณที่ทาห์"1"ของสัญญาณดิจิทัลเป็นพัลส์บวก และพัลส์ลบสลับกัน ซึ่งนิยามไว้กันทั่วว่าโดยที่ถือว่าเป็นโรคระหว่างอุปกรณ์) ว่าเป็นสัญญาณยูนิโพลาร์ ซึ่งทำให้สามารถจัดการภายในอุปกรณ์ได้ง่ายโดยส่วนเปลี่ยนโทรศัพย์เป็นยูนิโพลาร์ (นั่นคือ"1"ของสัญญาณดิจิทัลเป็นโรคที่ตรงกันกับพัลส์ที่มีขั้วเดียว : ยูนิโพลาร์) ดังแสดงในรูป 2.42(a) อันดับต่อไปสัญญาณยูนิโพลาร์นี้จะส่งไปยังส่วนจัดทวารคสสำหรับการส่ง ที่ส่วนนี้จะเพิ่มโรคที่มีขั้วสารเพื่อตรวจดูว่าการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ทวนสัญญาณปลายทางเป็นปกติหรือไม่ นอกจากนั้นยังทำการเปลี่ยนนาฬิกาหรือรูปโรคของการส่งสัญญาณที่เหมาะสมกับตัวกลางที่นำส่ง จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งไปยังส่วนเปลี่ยนไฟฟ้าให้เป็นแสงกลายเป็นกระแสรับของ ใยลดี และเปลี่ยนเป็นสัญญาณแสงจากนั้นจึงป้อนนาฬิกาเส้นใยแสง และเนื่องจากเข้าที่ทุกของใยลดี จะเปลี่ยนแปลงตามค่ากระแสของวงจรรับ เพื่อให้ได้แสงออกมาคงที่จะใช้การควบคุมการป้อนกลับเพื่อทำการรักษาระดับแสงที่ออกมาคงที่ใหม่เปลี่ยนแปลงสัญญาณแสงที่เดินทางมาบนเส้นใยแสงจะไปยังอุปกรณ์ทวนสัญญาณดังแสดงในรูป 2.43 ที่อุปกรณ์ทวนสัญญาณนี้อันดับแรกจะทำการเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า แต่เนื่องจากโดยทั่วไปสัญญาณแสงที่เข้ามาจะมีกำลังต่ำนอกจากนั้นรูปร่างคลื่นก็เกิดการเพี้ยนด้วย ทำให้สัญญาณไฟฟ้าที่เปลี่ยนออกมาจะมีลักษณะการเพี้ยน เช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องนำสัญญาณไฟฟ้านี้ไปผ่านอิกควอลไรเซอร์ ทำให้สัญญาณหายเพี้ยนและมีกำลังสูง อนึ่งเพื่อเป็นการทำให้ระดับของสัญญาณไฟฟ้าที่ออกจากอิกควอลไรเซอร์มีระดับคงที่นั้น จะมีการควบคุมการขยายอย่างอัตโนมัติ หลังจากนั้นทำการผลิตสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นพัลส์ขึ้นมาใหม่ เหมือนตอนที่ส่งมา จากนั้นจึงส่งไปที่ส่วนเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสง ที่ส่วนนี้สัญญาณไฟฟ้าที่เป็นพัลส์"1"หรือ"0"จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณแสงอีกครั้งหนึ่งแล้วส่งไปเข้าเส้นใยแสงเช่นเดียวกันกับส่วนส่งสัญญาณ

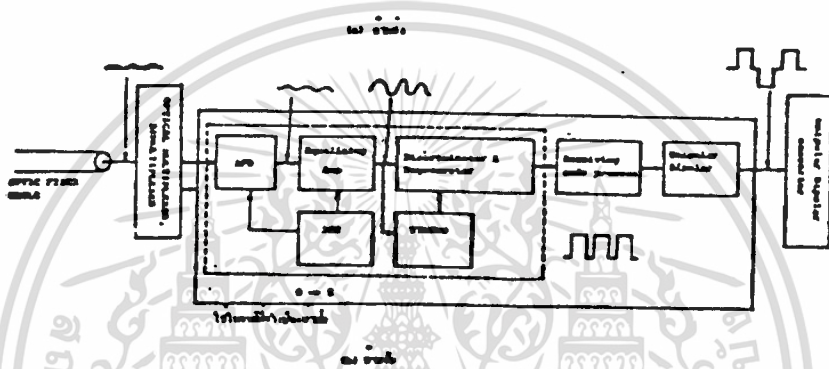
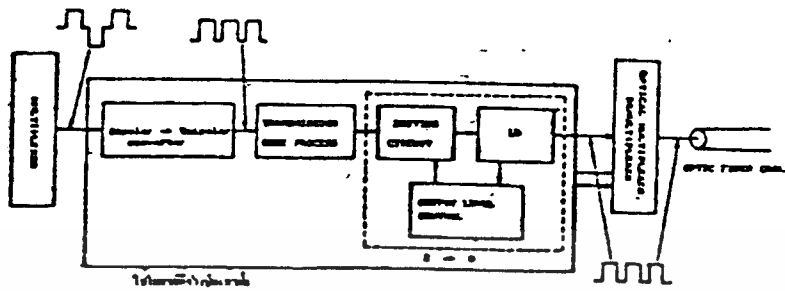
### อุปกรณ์ทวนสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

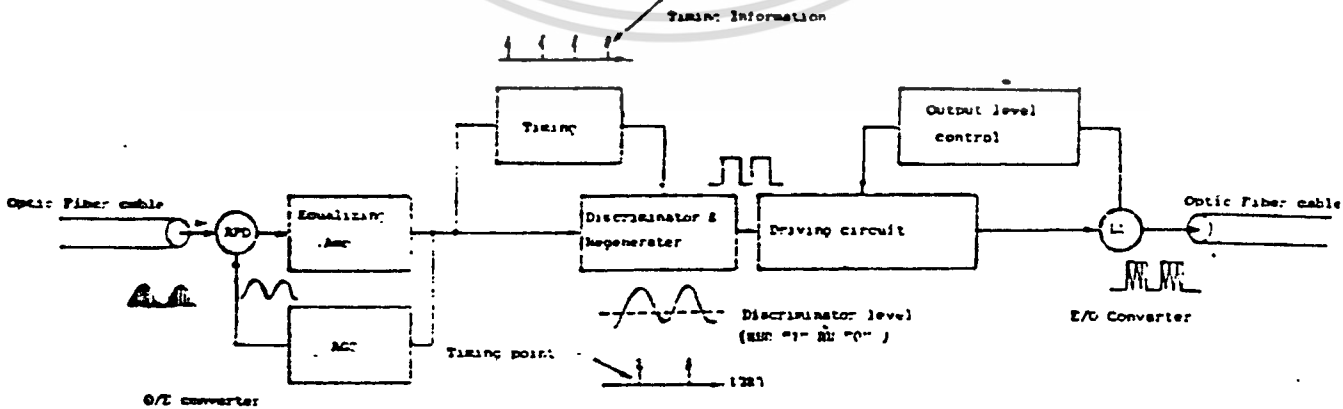


รูป 2.41 แสดงตัวอย่างของส่วนประกอบของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.42 แสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์ทวนสัญญาณปลายทาง



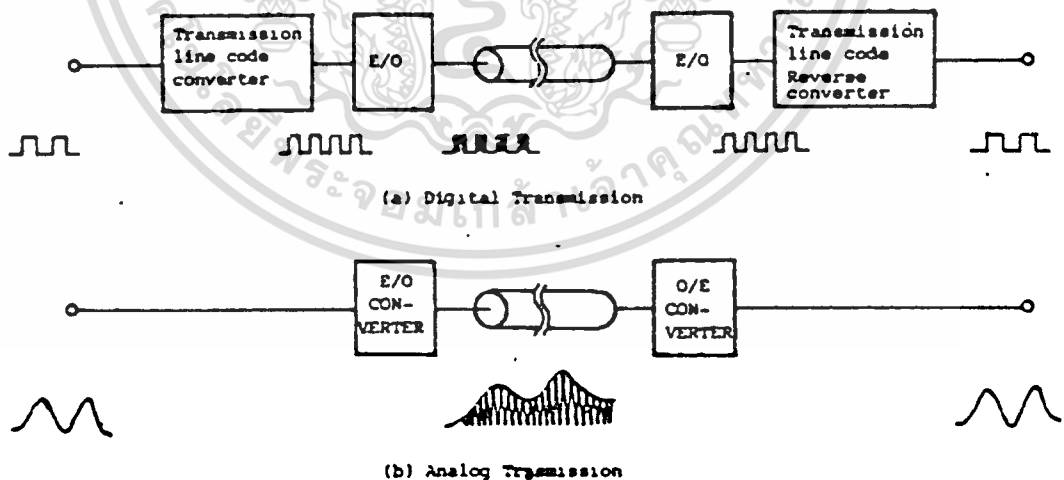
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูป 2.43 แสดงส่วนประกอบของอุปกรณ์ทวนสัญญาณ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณแสงที่ถูกอุปกรณ์ทวนสัญญาณ เปลี่ยนกลับให้มีรูปร่างเป็นพัลส์เหมือนเดิม และส่งผ่านเส้นใยแสงมานั้นจะมาถึงด้านรับของอุปกรณ์ทวนสัญญาณปลายทางจะถูกเปลี่ยนจากแสงเป็นไฟฟ้าถูกขยายด้วยแอมป์และถูกทำห้เป็นพัลส์ "1" หรือ "0" ด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟที่พหิตศรึมิเนเตอร์เช่นเดียวกันกับในอุปกรณ์ทวนสัญญาณทุกประการ ดังแสดงในรูป 2.42(b) หลังจากนั้นจะถูกเปลี่ยนกลับในทางตรงกันข้ามกับการเปลี่ยนเป็นโรคคของการส่งสัญญาณของด้านส่ง และทำห้เป็นยูนิรหัส่าต่อจากนั้นจึงเปลี่ยนจากยูนิรหัส่าเป็นสัญญาณโทรหัส่าทำห้ได้สัญญาณโทรหัส่าเหมือนกันกับสัญญาณอินพุทที่เข้ามาทางด้านส่งทุกประการ

การส่งสัญญาณแบบดิจิทัล และการส่งสัญญาณแบบอนาลอก

(Digital Transmission and Analog Transmission)

สำหรับระบบการส่งนี้มี 2 ชนิด คือ การส่งสัญญาณแบบดิจิทัลและการส่งสัญญาณแบบอนาลอก านกรณีของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงก็เช่นกันมีระบบการส่ง 2 ชนิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสัญญาณโทรหัส่าที่นำมาผสมกับแสงว่าจะ เป็นสัญญาณดิจิทัลหรือสัญญาณอนาลอก ดังแสดงในรูป 2.44

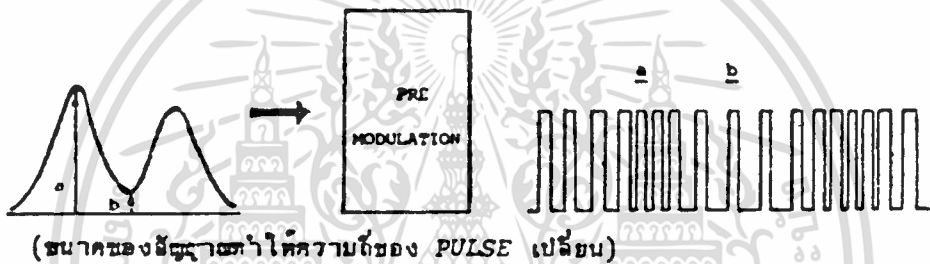


รูป 2.44 แสดงระบบการส่งสัญญาณแบบดิจิทัลและแบบอนาลอก

ในการส่งสัญญาณแบบดิจิทัลนั้น การส่งสัญญาณดิจิทัลอินพุทที่เข้ามาอย่างไรก็ส่งออกปอย่าง

นั้นส่วนใหญ่มจะมีน้อย โดยทั่วไปแล้วจะนำป เปลี่ยนเป็นโรคคที่เหมาะสมแก่การส่งเสียก่อน แล้วจึงส่ง  
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนสำหรับใช้เฉพาะในหอสมุดแห่งชาติเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษา  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกไป ในทางตรงกันข้าม การส่งสัญญาณแบบอนาล็อกก่อนที่จะทำการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าอนาล็อกให้เป็นสัญญาณแสง ส่วนมากมักจะทำการรีมอดูเลตก่อน ทั้งนี้เพราะว่าแสงเข้าที่หูของอุปกรณ์กำเนิดแสงนั้นไม่เป็นสัดส่วนกับระดับสัญญาณไฟฟ้าอินพุตเสมอไป ทำให้เกิดกรณีความยุ่งยากในการรักษาคุณสมบัติของการส่ง ตัวอย่างวิธีการของรีมอดูเลตแสดงดังรูป 2.45 เป็นการมอดูเลตทางความถี่ของพัลส์ โดยทำการเปลี่ยนขนาดของสัญญาณอนาล็อกอินพุต ให้เป็นการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของพัลส์ เป็นต้น



รูป 2.45 แสดงการทำการรีมอดูเลตทางความถี่

การเลือกระบบการส่งสัญญาณทั้ง 2 ชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความประหยัดและค่าอัตราความผิดพลาดของสัญญาณ (BIT ERROR RATE) การส่งสัญญาณแบบอนาล็อกนั้นส่วนใหญ่มักจะใช้กับการส่งสัญญาณภาพไปในข่ายสายของผู้ให้บริการ (CATV) แต่ในอนาคตระบบการส่งแบบดิจิทัลซึ่งมีคุณสมบัติดีกว่าหลายอย่างจะเข้ามามีบทบาทสำคัญในทุกด้านของการสื่อสาร

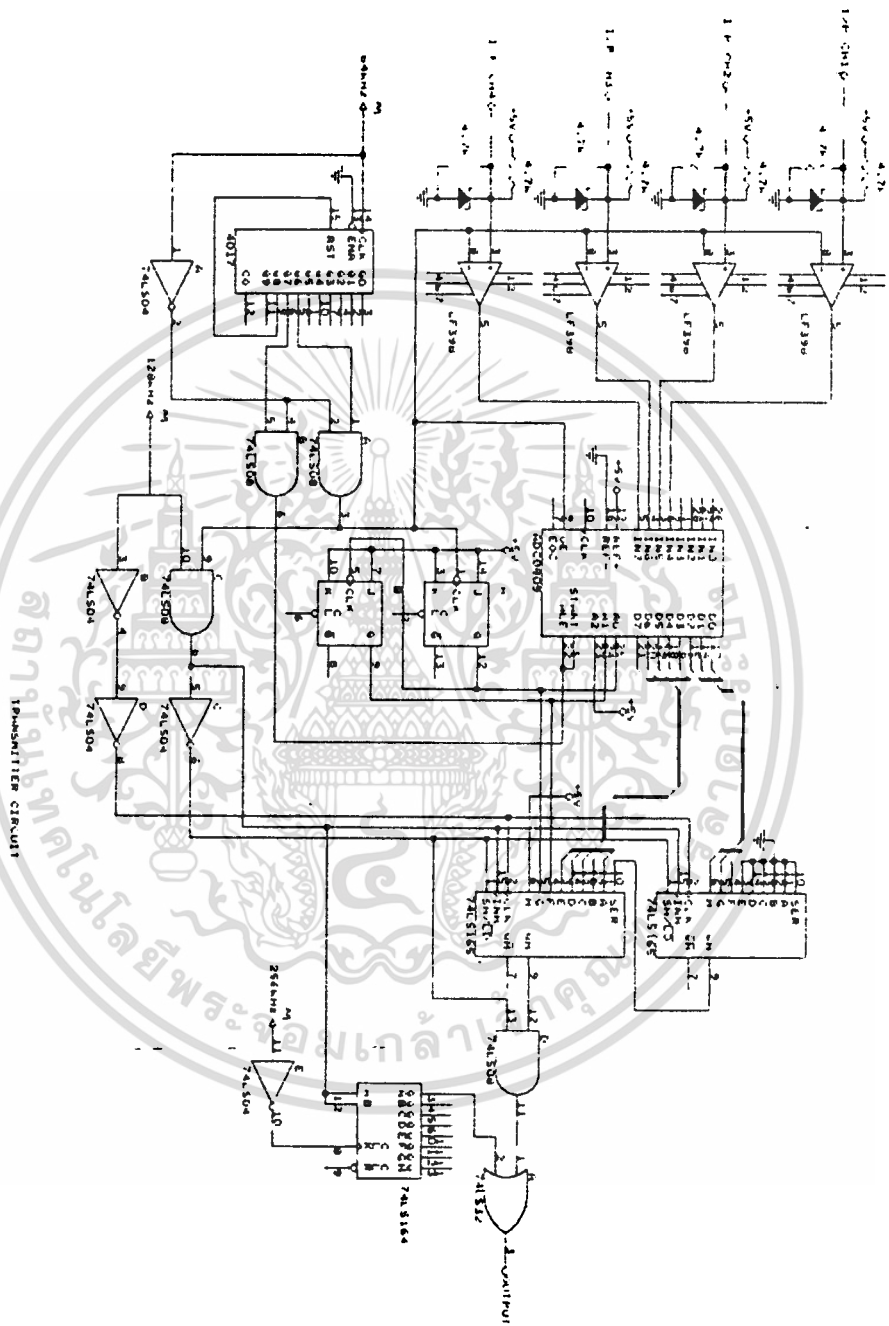
### บทที่ 3

#### การออกแบบระบบวงจร

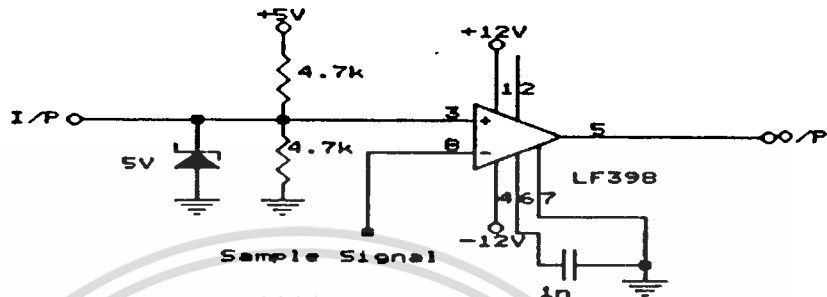
การออกแบบระบบการสื่อสารดิจิทัลผ่านเส้นใยนำแสงจะแบ่งออกเป็น ภาคส่งและภาครับ งานโครงการนี้ทำการส่งสัญญาณดิจิทัลมัลติเพล็กซ์ 4 Channel ซึ่งเป็นการใช้วิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามคาบเวลาหรือ TDM(Time Division Multiplex) ซึ่งเหมาะกับการส่งสัญญาณดิจิทัล สัญญาณแต่ละช่องจะผ่านกระบวนการตั้งแต่ผ่านตัวกรอง(Filter) การสุ่มตัวอย่าง (Sampling) จนถึงการเปลี่ยนจากสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล การเข้ารหัสด้วยรูปแบบที่กำหนดไว้แล้ว หลังจากนั้นก็ส่งผ่านตัวกลางไปยังเครื่องรับ ที่เครื่องรับจะทำการเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลสลับกลับมาเป็นสัญญาณอนาลอกเหมือนเดิม

ภาคส่ง

วงจรภาคส่งที่ได้ออกแบบไว้แสดงไว้ดังรูป 3.1 สัญญาณอินพุต จะมี 4 ช่อง สัญญาณถูกทำการ ซิฟต์ ให้มีวอลเตจ อยู่ในช่วง 0-5 โวลต์ แล้วจึงผ่านการ sampling & hold ด้วย LF 398 เข้าไปยัง A/D converter ADC 0809 ซึ่งมีมัลติเพล็กซ์ในตัว 8 ช่องแล้วจะผ่านกระบวนการจัดเรียงข้อมูลจากขนานเป็นอนุกรม โดยมี wordsynch(1 บิต), บิตแอดเดรส แสดงว่าข้อมูลจากช่องไหน(2 บิต)และ บิตข้อมูล(8 บิต) รวมทั้งหมด 11 บิต ต่อ 1 ช่องสัญญาณ



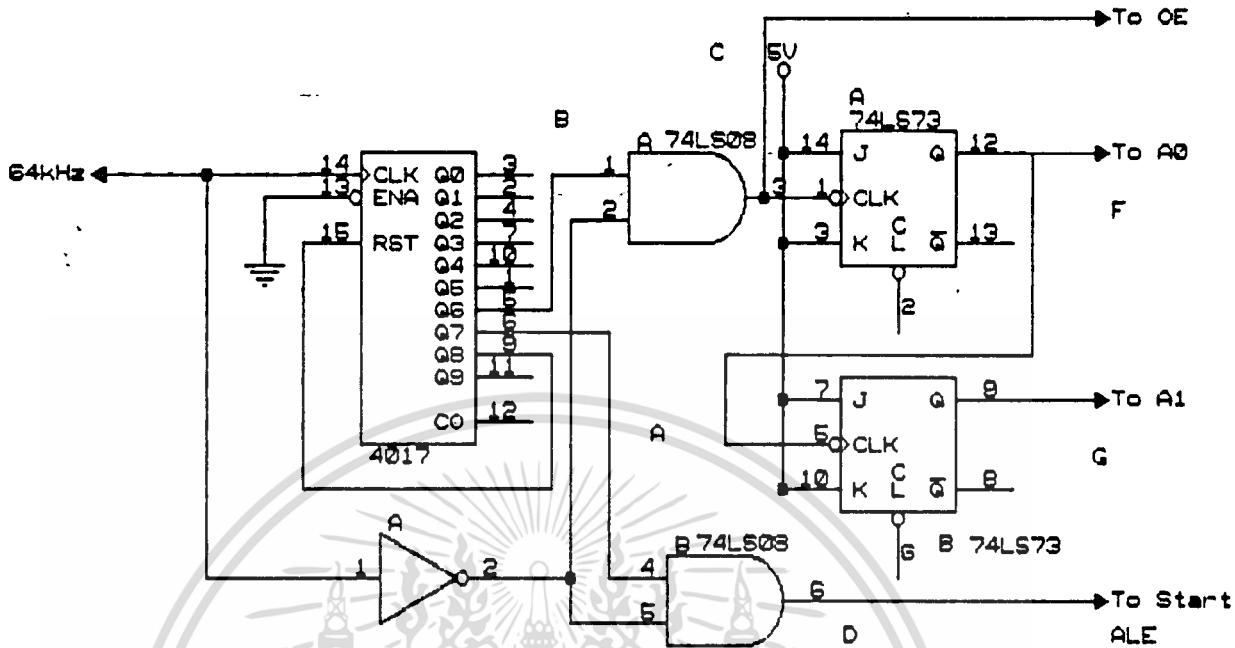
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



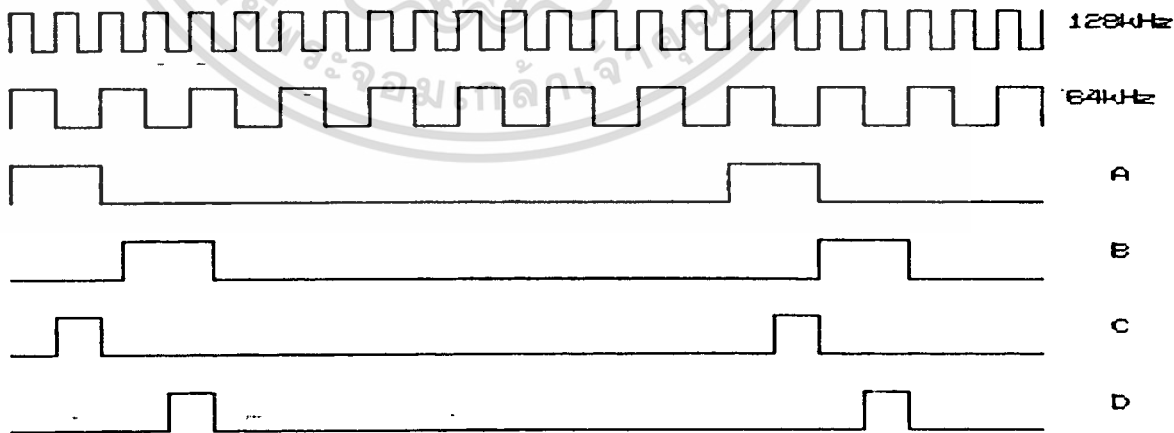
รูปที่ 3.2 วงจร sample and hold

จากรูปที่ 3.2 ซีเนอร์ไดโอด(zener diode)จะทำการตัดสัญญาณที่มีโวลเตจเกิน 5โวลท์ และ ต่ำกว่า 0 โวลท์ LF 398 ทำหน้าที่เป็นวงจร sample and hold output ที่ได้จะเป็น สัญญาณ PAM นำไปเข้าเป็น input ของ ADC 0809

วงจรสร้างสัญญาณ sample สำหรับ LF 398 ใช้สัญญาณเดียวกับสัญญาณ output enable โดยได้มาจาก IC 4017 Decade counter โดย clock input มีความถี่ 64 กิโลเฮิรตซ์ นำมาหาร 8 เหลือความถี่ออกมา 8 กิโลเฮิรตซ์ ใช้เป็นสัญญาณ sample 4 channel ดังนั้นอัตราการสุ่มของแต่ละช่องมีค่าเท่ากับ  $8 \text{ กิโลเฮิรตซ์} / 4 = 2 \text{ กิโลเฮิรตซ์}$



รูปที่ 3.3 วงจรกำหนด Address และ Sample Signal

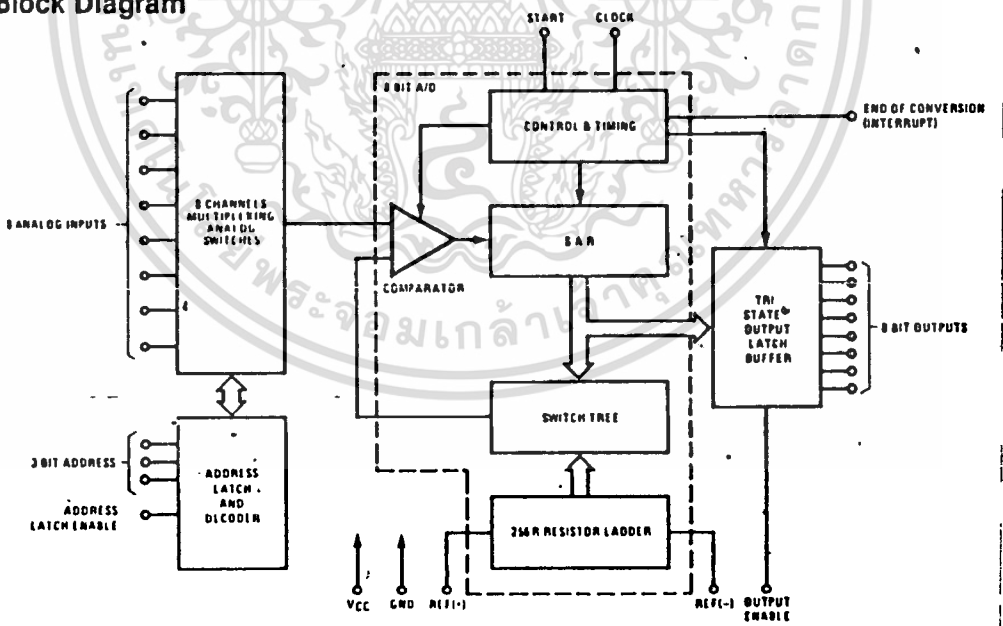


รูปที่ 3.4 Timing diagram ของ IC4017

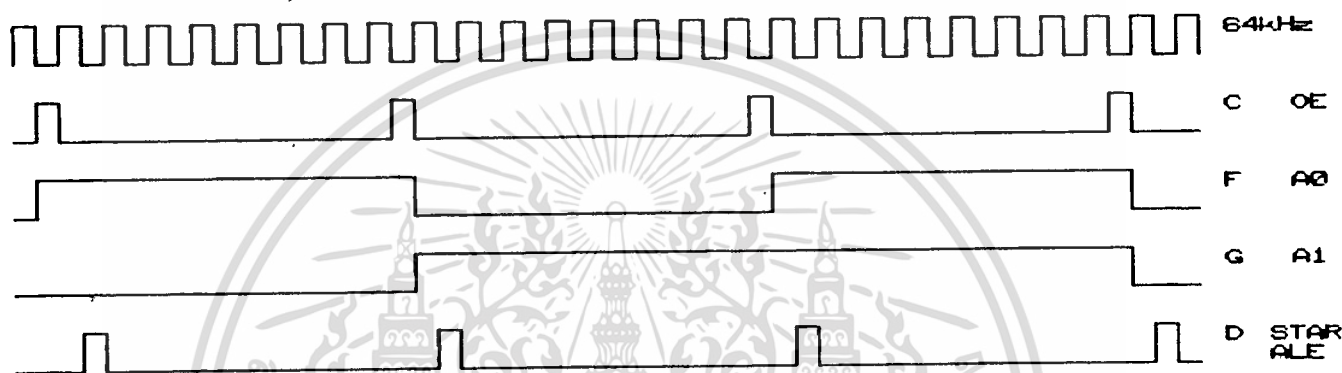
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการทำงานของ AD0809 นั้นจะมีขา Analog input อยู่ 8 ขา (IN0-IN7) โดยมี 3 BIT ADDRESS เป็นตัวควบคุมว่าจะให้ Analog input ช่องไหนเข้า

Block Diagram



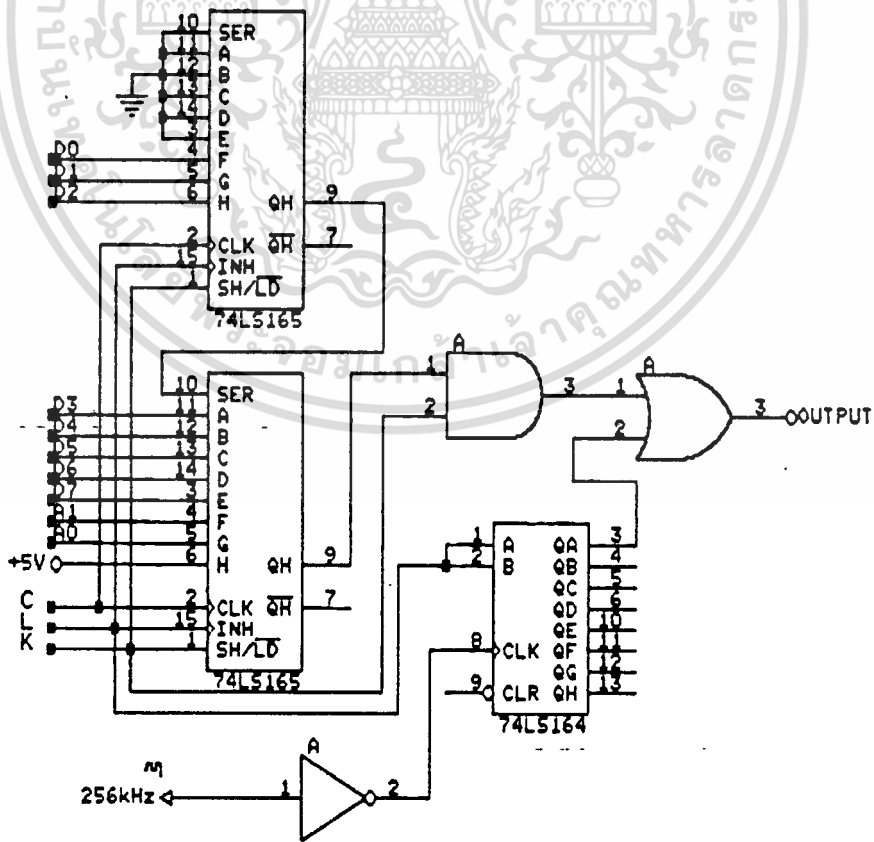
เนื่องจากจะใช้ input เพียง 4 channel ช่องจึงกำหนดให้ 3 bit address เป็น 100 101 110 และ 111 โดยจะได้อาจมาจากการนำสัญญาณที่จุด C (รูปที่ 3.3) เป็น ck ของ T-FF ได้เป็น bit ต่ำสุดของ Address เข้าที่ขา Address A และนำไปหารสอง แล้วต่อ เข้าที่ขา Address B ส่วน Address C นั้นต่อกับ Vcc ทีเดียว (ดูรูปที่ 3.6)

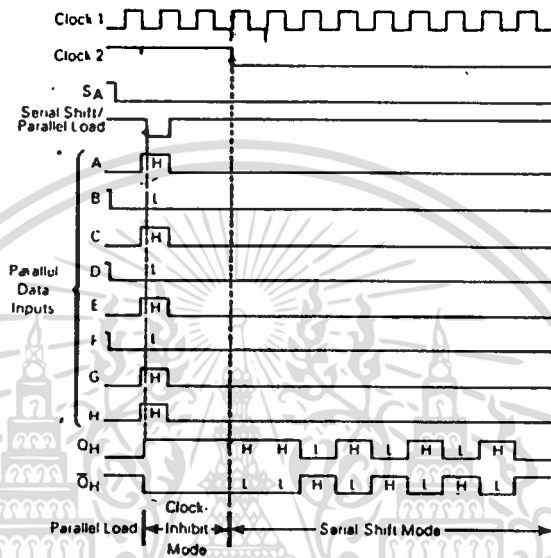


รูปที่ 3.6 Timing diagram กำหนด Channel

ส่วนสัญญาณ output enable (OE) ซึ่งเป็นตัวควบคุมให้ ADC ส่งข้อมูลออกมาและจะนำ ไปป้อนเข้าวงจรแปลงข้อมูลจากขนานเป็นอนุกรมต่อไป ก็ได้มาจากสัญญาณที่จุด C ส่วนสัญญาณ ที่ขา START และ Address Latch Enable (ALE) ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมให้ A/D เริ่มการ conversion โดยรับ Address ที่ขาขึ้นของสัญญาณ ALE จึงใช้สัญญาณที่จุด D มาใช้เป็น ตัวควบคุมสัญญาณ สำหรับ clock ของตัว ADC นั้นใช้ประมาณ 1.024 เมกกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งความถี่ ขนาดนี้ conversion time จะมีค่าประมาณ 80 uS/sampling ซึ่งน้อยกว่าคาบของการ แชนเปลิ่ง คือ 125 ไมโครวินาที

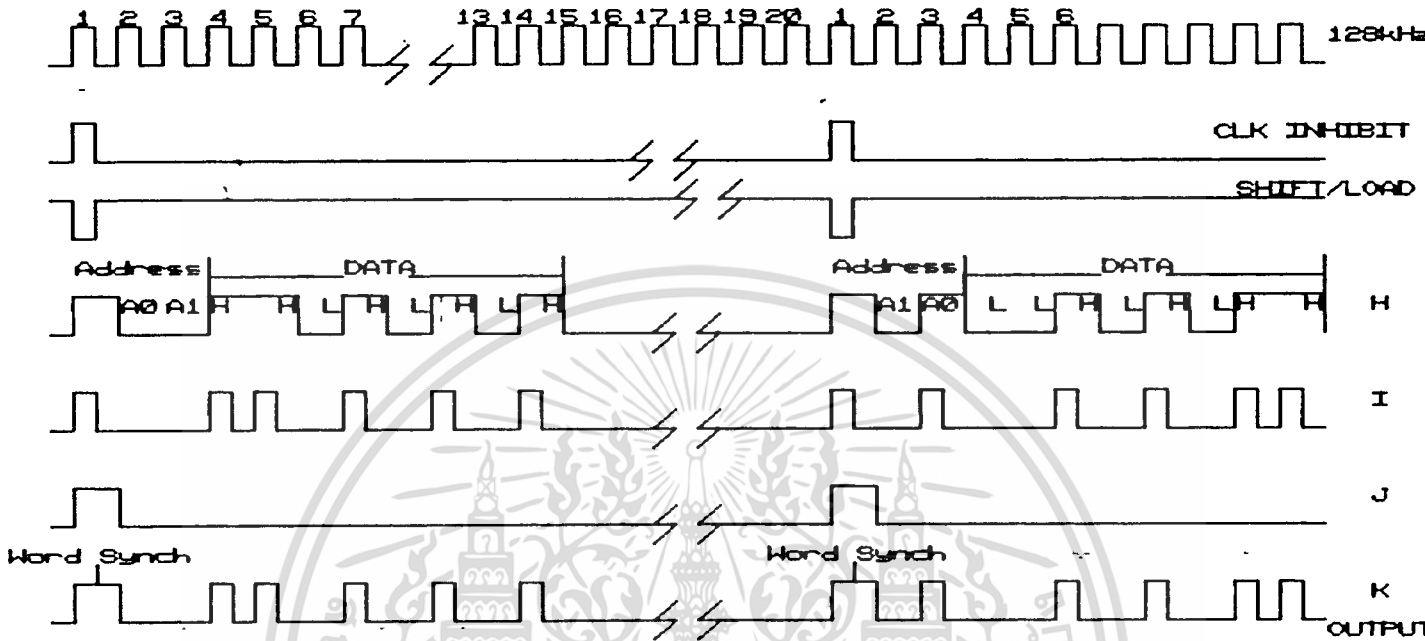
เมื่อข้อมูลแบบ Digital ของตัว ADC มาอยู่ที่ parallel output โดยสัญญาณ OE แล้ว Parallel Data ของ ADC0809 จะถูกเปลี่ยนไปเป็น Serial Data โดยใช้ IC74165 (8 bitPISO) Serial Data ที่จะถูกส่งออกไปนั้น จะถูกส่งออกไปทีละ word โดย 1 word แทนข้อมูล 1 ช่อง โดยจะมีอยู่ด้วยกัน 11 bit บิตแรกจะเป็น wordsync สองบิตถัดมาจะเป็น bit address ซึ่งจะเป็นตัวบอกว่าเป็นข้อมูลจากช่องไหน อีกแปดบิตหลังจะเป็นค่าของข้อมูล Analog bit rate ของ data ที่ออกจาก IC74165 จะเท่ากับ clock ที่ป้อนให้ซึ่งจะใช้ 128 กิโลเฮิร์ตซ์ จะมีช่วงเวลาที่จะต้องส่งให้เสร็จเท่ากับ  $1/8 \times 10^3 = 125$  ไมโครวินาที เรามีสองบิตแรก 11 บิต ความกว้างของแต่ละ bit =  $1/128$  กิโลเฮิร์ตซ์ = 7.8125 ไมโครวินาที เพราะฉะนั้น การส่ง 11 บิต จะใช้เวลาประมาณ 85.9375 ไมโครวินาที เท่านั้น เวลาที่เหลืออาจจะใช้เมื่อเพิ่ม บิตเรทของแอสเซอเรสเมื่อเพิ่มช่องการส่งหรือบิตของข้อมูลเพื่อเพิ่มความละเอียดของข้อมูล





รูปที่ 3.8 แสดง Timing diagram ของ IC74165

เนื่องจากข้อมูลที่จะส่งมี 11 บิต แต่อินพุตแบบขนานของ 74165 มีแค่ 8 bit จึงใช้ 74165 สองตัว อนุกรมกัน บิตนัยสำคัญมากที่สุด (MSB) จะให้เป็น wordsynch ซึ่งเป็น high สองบิตถัดมาได้มาจากบิตแอดเดรส ของ ADC0809, parallel input ที่ไม่ได้ใช้ของ 74165 จะ load data เข้าด้วยสัญญาณ shift/load จากนั้นจึง ชิฟท์ออกไปด้วยความถี่ของ clock ของมันเอง หลังจากสัญญาณ clock inhibit เป็น (L)low (รูป 3.8 timing diagram)

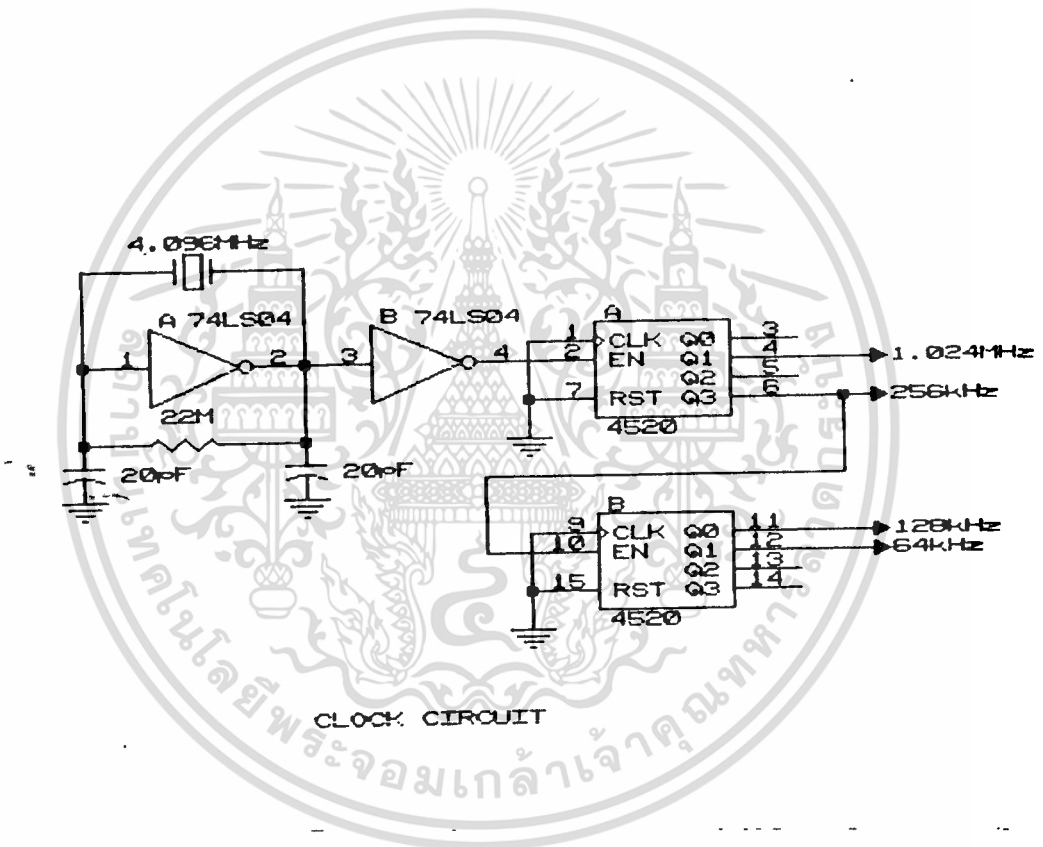


รูปที่ 3.9

สัญญาณที่ส่งออกไปตามสายนั้นจะต้องมีการเข้ารหัส เพื่อใช้ในการ ดีเทคสัญญาณขารับใน  
 ครงงานนี้ใช้แบบ Unipolar Return to Zero โดยการนำสัญญาณที่จุด H ไป AND กับ clock  
 128 กิโลเฮิรตซ์ ได้สัญญาณที่จุด I (รูป 3.9) ต่อไปเมื่อเราต้องการ word synch มีความกว้าง  
 1 บิต ทำได้โดยนำสัญญาณ clock inhibit ไป ซิฟท์ถอยไปอีก 1/2 บิต โดยผ่าน IC74164  
 จะได้เป็นสัญญาณออกที่จุด J เมื่อนำไป OR กับสัญญาณที่จุด I ก็จะได้เข้าที่พุด สุดท้ายตามที่ต้องการ

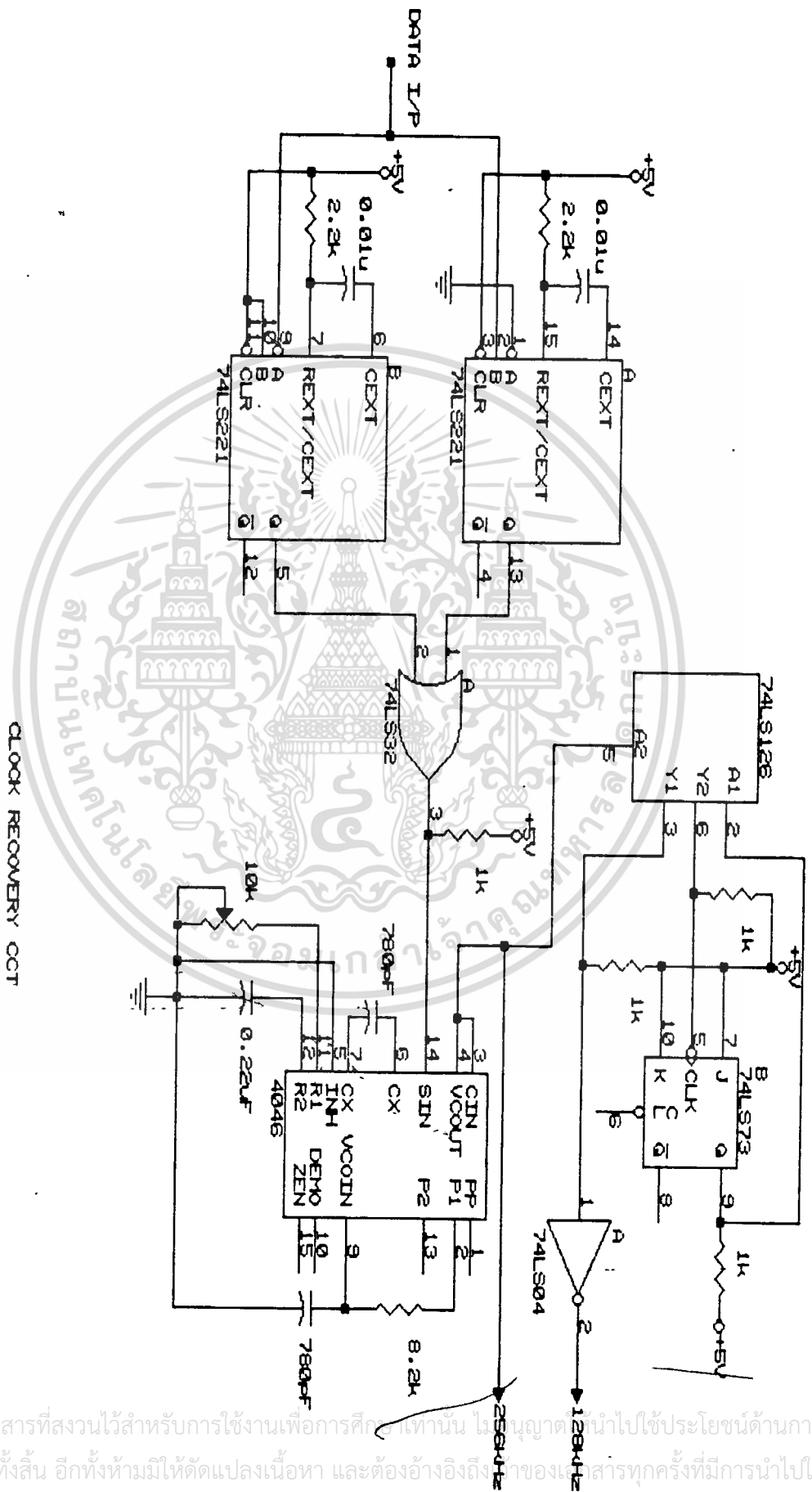
วงจรสร้างสัญญาณ clock

ในส่วนของวงจรสร้าง clock นั้นจะใช้ IC เบอร์ MC 14520 ซึ่งเป็น Dual Binary Counter ทำการหารความถี่จาก คริสตอล 4.096 เมกกะเฮิรตซ์ ให้เหลือความถี่ที่ต้องการ คือ 1.024 เมกกะเฮิรตซ์, 256 กิโลเฮิรตซ์, 128 กิโลเฮิรตซ์ และ 64 กิโลเฮิรตซ์



รูป 3.10 วงจรคล็อก (CLOCK)

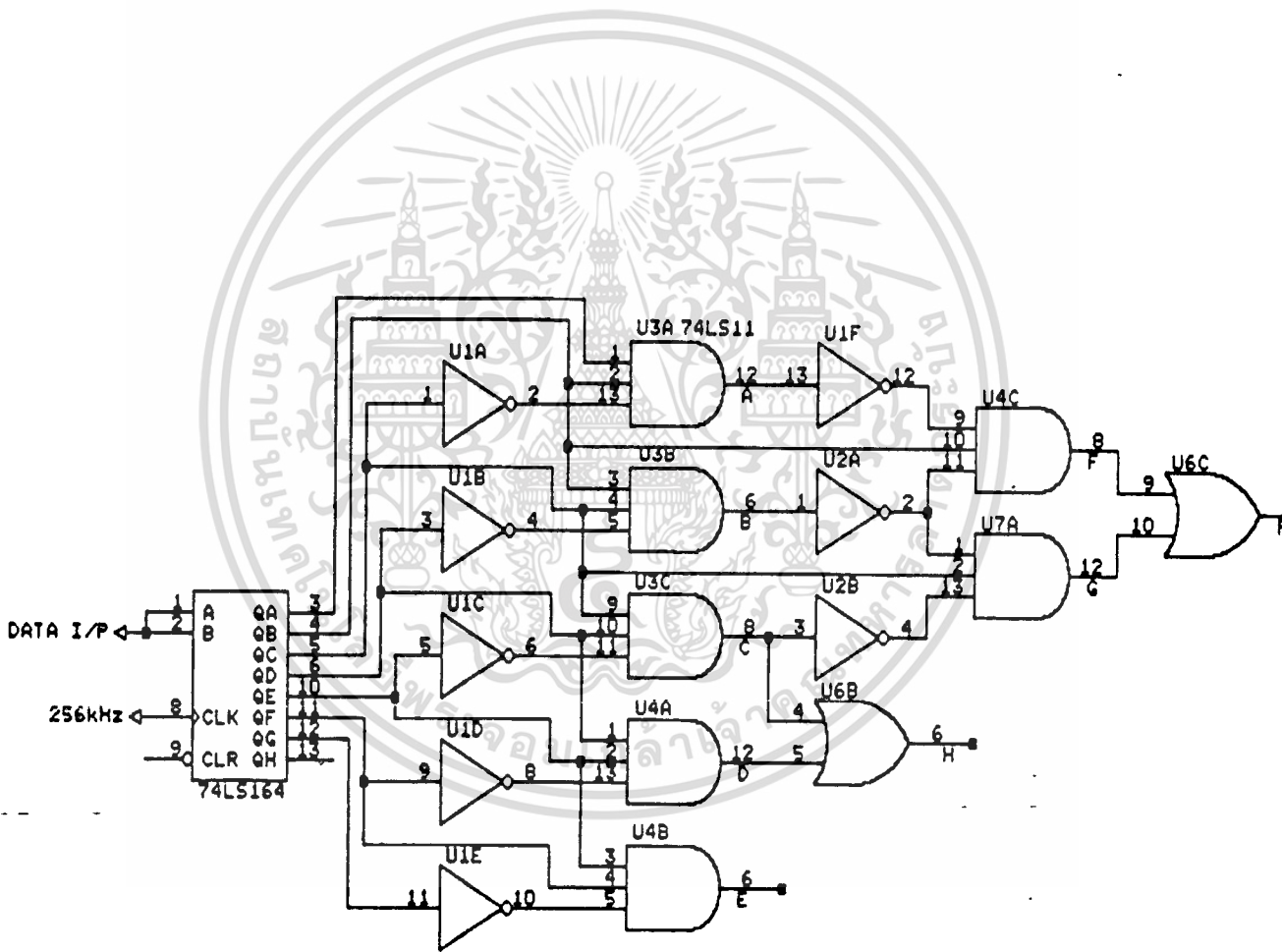




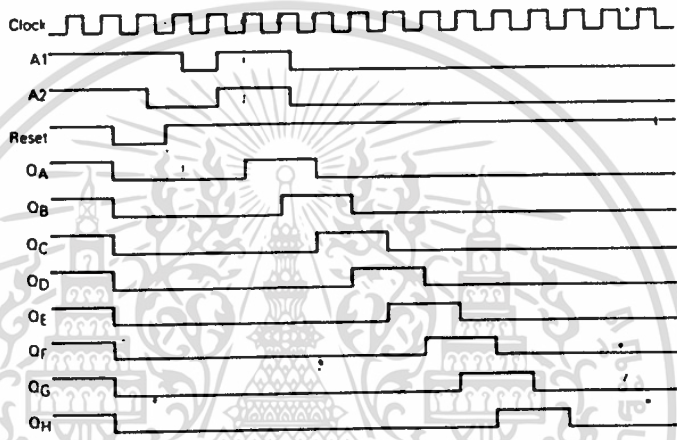
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรภาครับ

วงจรภาครับ จะใช้ clock frequency ซึ่งมีค่าเท่ากับของภาคส่ง โดยการสร้างสัญญาณ clock ขึ้นที่ภาครับด้วยวงจรสังเคราะห์ความถี่ PLL เพื่อให้ภาครับสามารถ ซิงโครไนซ์กันได้ วงจรภาครับ โดย IC74164 เป็นตัวทาทาที่ data ที่รับมามีคาบสัมพันธ์กับ clock ของเครื่องรับ



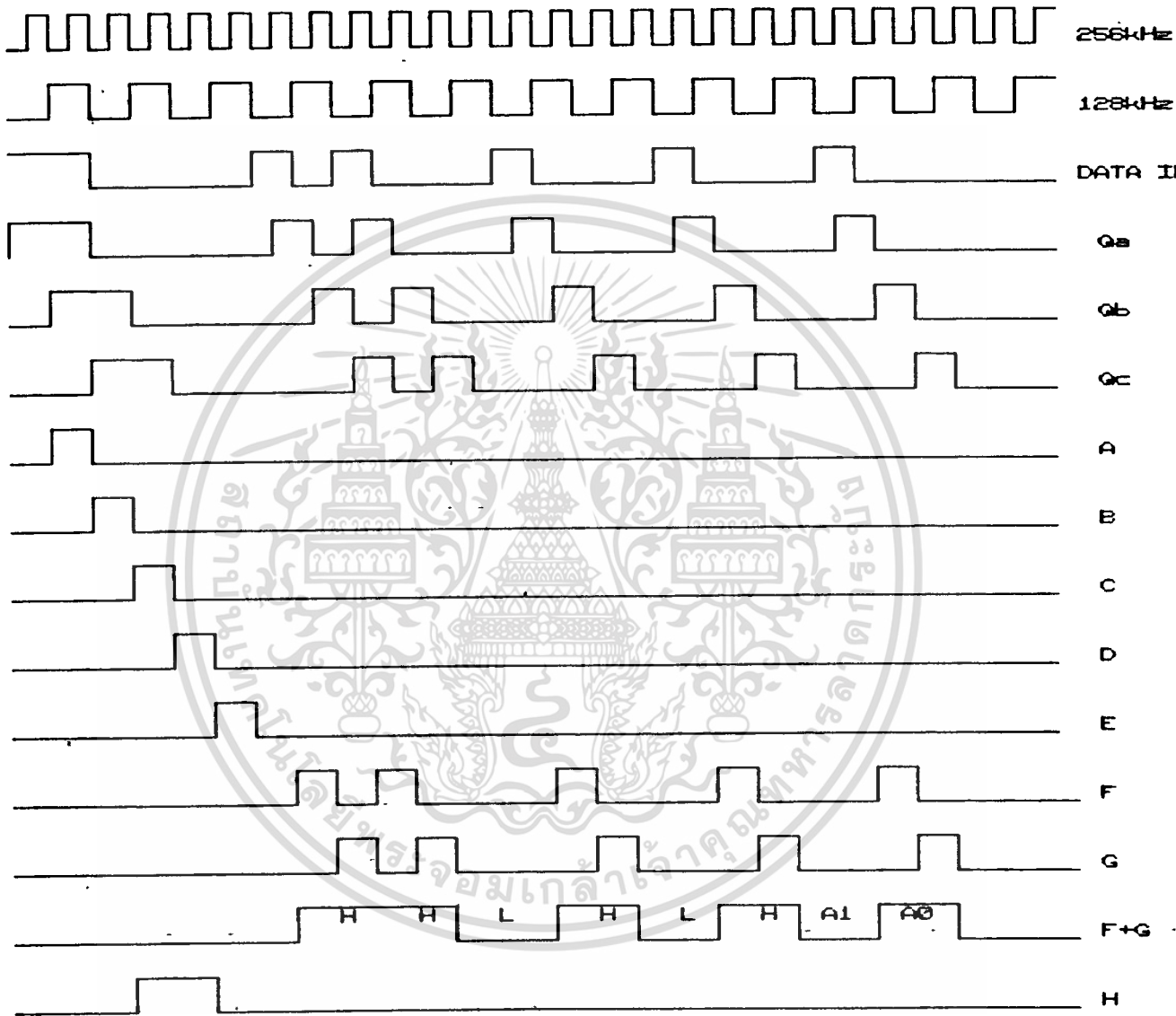
รูปที่ 3.13 เป็นวงจร Synchronization เมื่อ data เข้ามาที่ IC 75164 ซึ่งเป็น IC ที่รับ Serial input แล้วเปลี่ยนเป็น Parallel output(SIPO) โดยจะใช้ความถี่ clock เป็นสองเท่าของบิตเรทของข้อมูล ดังนั้นเข้าที่ทุกแต่ละขาจะติเลย์กันอยู่ 1/2 บิตเข้าที่ทุกที่ออกมาแต่ละขาจะสัมพันธ์กับclock เสมอจึงตัดปัญหาความไม่สัมพันธ์กันของ คาตาบิตกับclockได้



FUNCTION TABLE

Inputs			Outputs		
Reset	Clock	A1A2	OA	OB	... OH
L	X	X X	L	L	L
H	X	X X	no change		
H	↑	L X	L	OAn	OGn
H	↑	X L	L	OAn	OGn
H	↑	H H	H	OAn	OGn

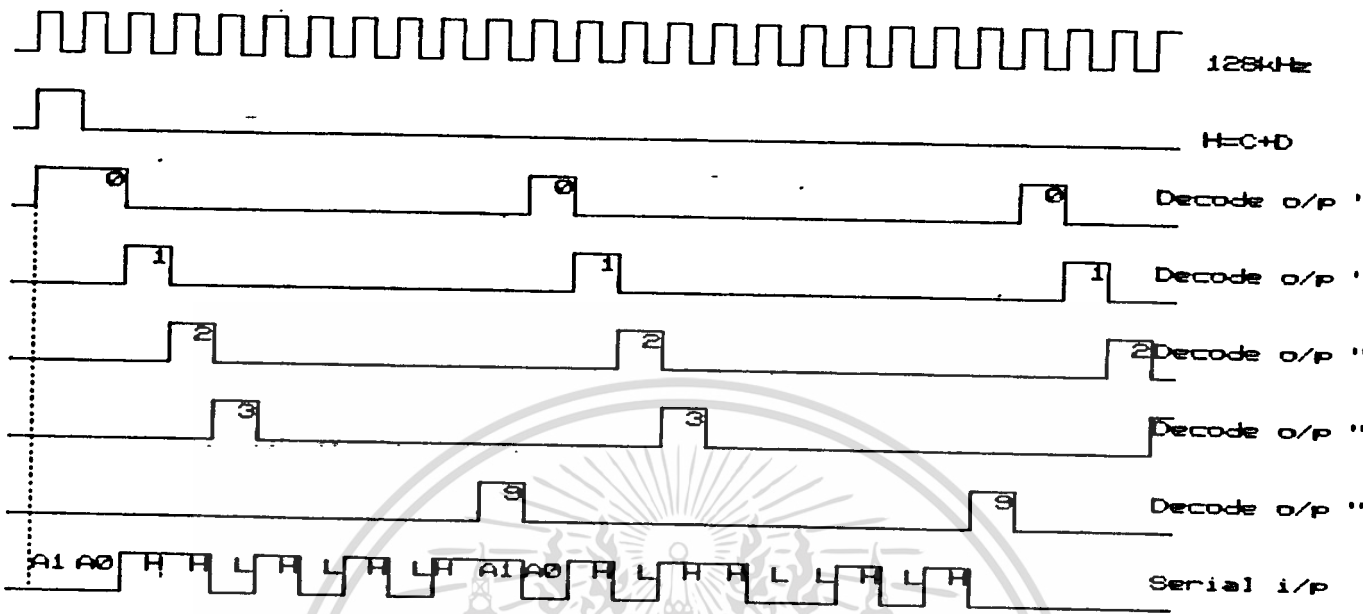
OAn - OGn = Data shifted from the previous stage on a rising edge at the clock input



รูปที่ 3.15 TIMING การ DETECT สัญญาณ

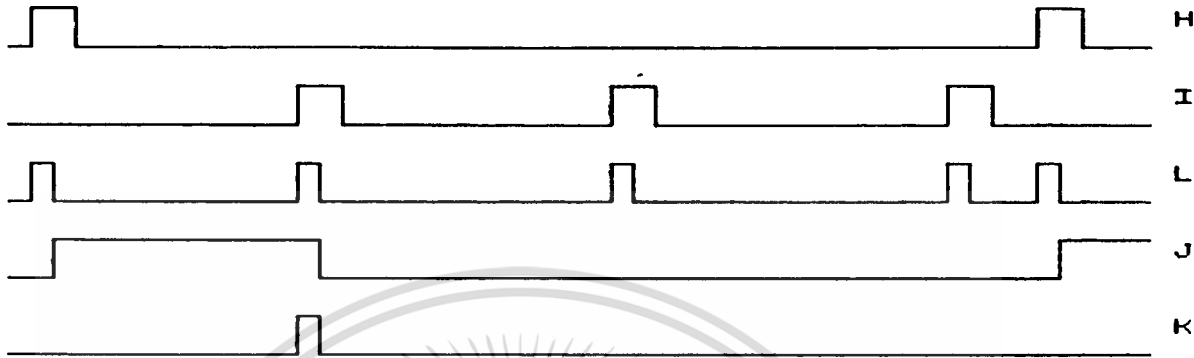
รูปที่ 3.15 แสดงสัญญาณที่ออกจากจุดต่างๆในรูป 3.15 แสดงการ แยก wordsyncbit, แอคเครสปีต และ คาค่าบิตออกมา แอคเครสปีต จะถูกแยกเพื่อป้อนเข้าเป็น Address ของตัว คีมัลติเพล็กซ์อีกครั้งหนึ่งโดยใช้ JK-FF ทำเป็น D-FF อินพุต เข้าได้จากสัญญาณ F+G ใช้สัญญาณ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับอ้างอิงช่วงเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยประการใด ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





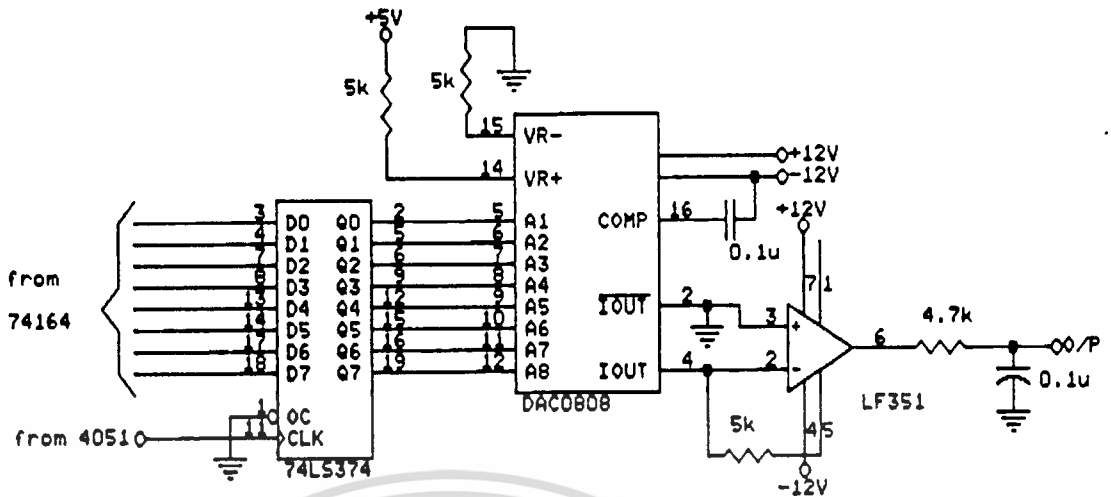
รูปที่ 3.17

ใช้สัญญาณที่จุด H เข้าขา รีเซตของ IC4017 เป็นตัวบอกให้เริ่มต้นนับ เนื่องจากสัญญาณที่จุด H ตรงกับ แอดเดรสปีด(A1) ห่างจากบิตนัยสำคัญต่ำสุดของข้อมูล 10 บิต จึงทำให้ IC4017 ท้าการนับสิบ แล้วจึงใช้สัญญาณนับสิบที่ออกจากขา 11 เนื่องจากในคาบหนึ่งของสัญญาณ H มี clock ที่ออกจาก IC4017 หลายลูกแต่เราต้องการเพียงลูกที่ตรงกับ LSB ของข้อมูลเท่านั้น ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้ JK-FF ใช้สัญญาณ H เข้าขา J สัญญาณ I จากขา decoded output "9" (ขา 11 ของ IC4017) เข้าขา K ส่วน clock ของ JK-FF ได้จากการนำสัญญาณ H รวมกับสัญญาณ I แล้วลดความกว้างของ clock ลงครึ่งหนึ่ง จะได้ เข้าที่พุทเป็นสัญญาณ J เมื่อนำไป AND กับ สัญญาณ I จะได้สัญญาณ K ดังรูป 3.18



รูป 3.18

เมื่อได้สัญญาณ K แล้วจะนำไป ตีมีลติเพล็กซ์ เพื่อจ่ายเป็น clock ของ IC74374 ควบคุมการโหลดข้อมูลให้แยกเป็น 4 ช่อง จากนั้น DAC0808 จะเปลี่ยนข้อมูลจาก Digital เป็น Analog output ของ DAC0808 จะอยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงของกระแส ดังนั้นจึงต้องทำการเปลี่ยนเป็นรูปแบบของวอลเตจจรดขย LF351 จึงจะได้เข้าพุท ที่เหมือนกับสัญญาณ PAM ในภาคส่ง เมื่อมาผ่านฟิลเตอร์ จึงจะได้สัญญาณอนาลอกเป็นเข้าพุทสุดท้ายที่มีลักษณะเหมือนกับสัญญาณอนาลอกของภาคส่ง

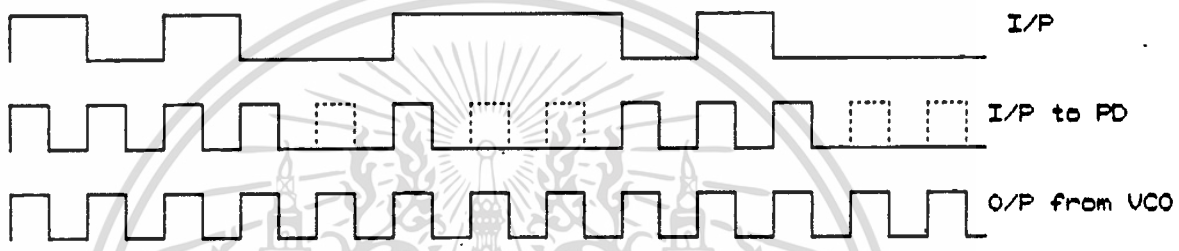
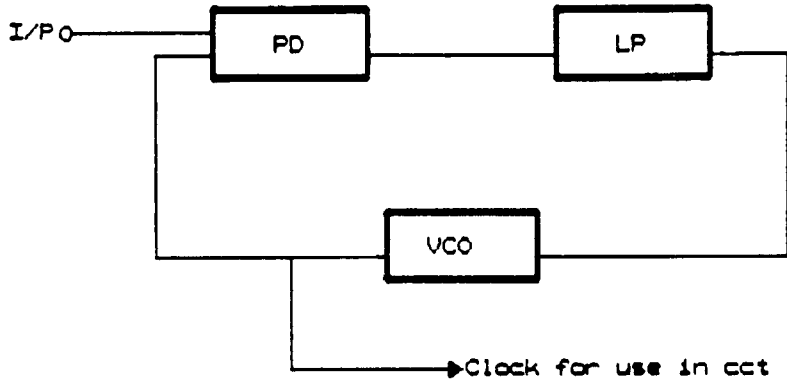


รูป 3.19

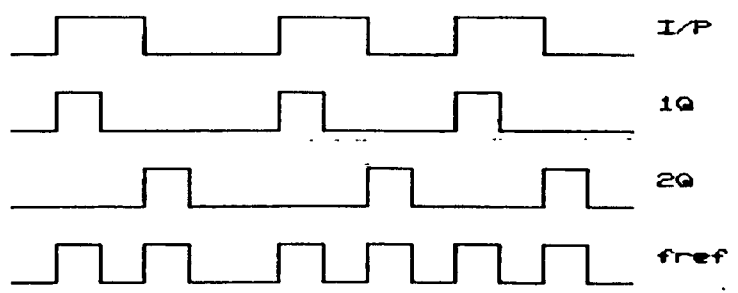
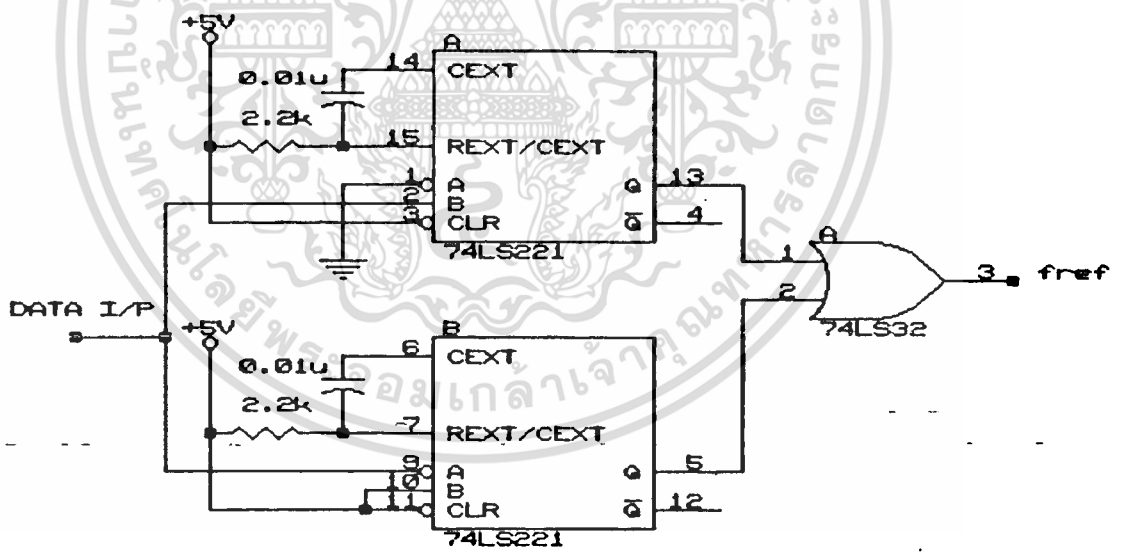
การทำงานของวงจร CLOCK RECOVERY

วงจรนี้เป็นวงจรที่ใช้สร้าง clock ขึ้นมาใหม่ เพื่อใช้ประโยชน์ในการแยกเอาสัญญาณอินพุตที่เข้ามา โดย phase locked loop เข้าช่วย

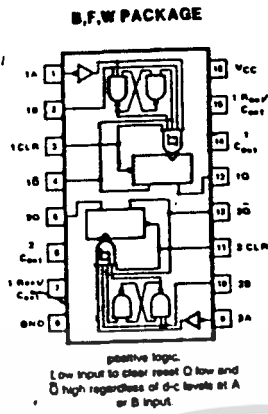
จากสัญญาณอินพุตที่เข้ามาคือข้อมูลที่ส่งมาจากเครื่องส่งใช้ประโยชน์และจะต้องมีความถี่เป็นสองเท่าของความถี่สูงสุดของข้อมูลที่ส่งมา เพื่อนำมาใช้ในการแยกข้อมูลได้จึงต้องนำข้อมูลไปผ่านวงจรโรมานสเตเบิลโดยเข้าข้างขึ้นและข้างลงของข้อมูลเป็นตัวกำหนดจุดที่เริ่มสร้างพัลส์ ำที่มีช่วงกว้างประมาณครึ่งหนึ่งแล้วนำมา OR กัน จะได้สัญญาณที่จะป้อนเข้าอินพุตของ phase detector ในโครงการงานใช้ IC โรมานสเตเบิลเบอร์ 74221 โดยเข้าข้างขึ้นและข้างลงของข้อมูลเป็นตัว trig



รูปที่ 3.20 BLOCK DIAGRAM PHASE LOCK LOOP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 3.21 MONOSTABLE CIRCUIT นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TRUTH TABLE  
(EACH MONOSTABLE)

INPUTS		OUTPUTS	
CLEAR	A	Q	Q̄
L	X	L	H
X	H	L	H
X	X	L	H
H	L	↘	↗
H	H	↘	↗

Also see description and switching characteristics  
 H - high level (steady state)  
 L - low level (steady state)  
 ↘ - transition from low to high level  
 ↗ - transition from high to low level  
 ↖ - one high level pulse  
 ↙ - one low level pulse  
 X - irrelevant

รูปที่ 3.22 โครงสร้างของ IC 74221

BLOCK DIAGRAM

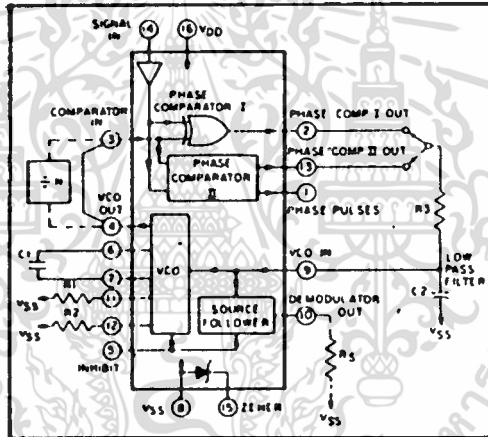
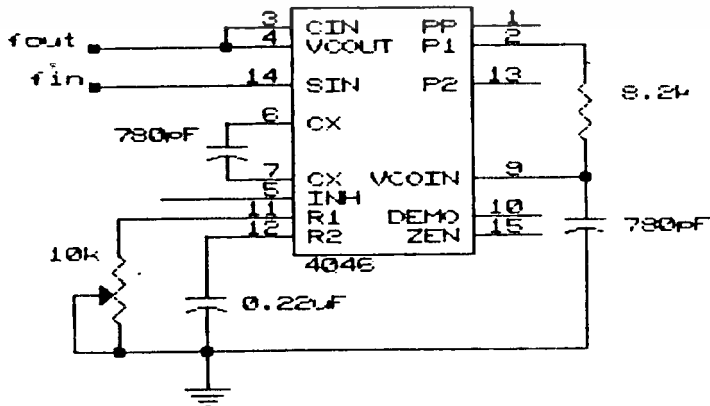


Fig. 1

รูปที่ 3.23 BLOCK DIAGRAM MC 4046



รูปที่ 3.24 วงจรที่ใช้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

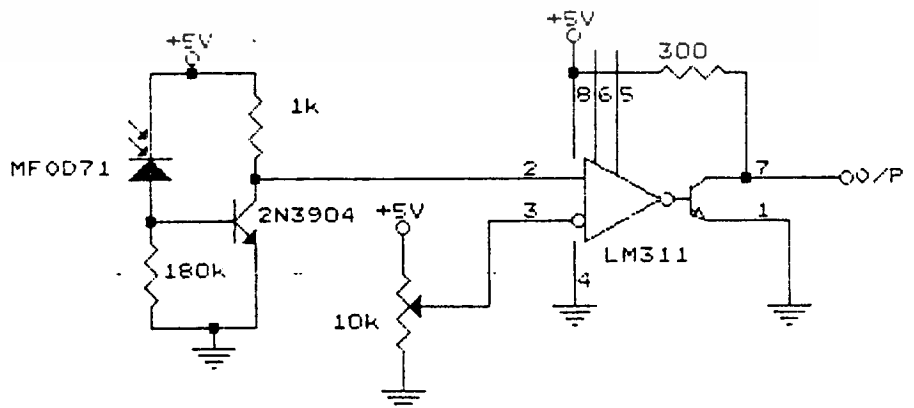
### วงจรขับแสง

จะใช้วงจรถرانซิสเตอร์ไครร์เบอร์ 2N3904 และ แอลอีดี เบอร์ MFOD 76 ซึ่งมีค่ากระแส  
แอสฟอร์เวอร์ส(IF) เท่ากับ 60 mA เข้าที่พุกที่ได้เป็นกระแสผ่านแอลอีดี ขับ แอลอีดี ให้ติดหรือ  
ดับ ซึ่งขึ้นอยู่กับสัญญาณอินพุตที่เข้ามา



### วงจรรับแสง

วงจรรับแสง เป็นวงจรซึ่งแมทซ์ กับวงจรขับแสงนั้น คือย่านความถี่รับแสงเดียวกัน โดยใช่  
ตัวแอลอีดีเบอร์ MFOD-71 ซึ่งเป็น ทรานซิสเตอร์ในการรับแสง



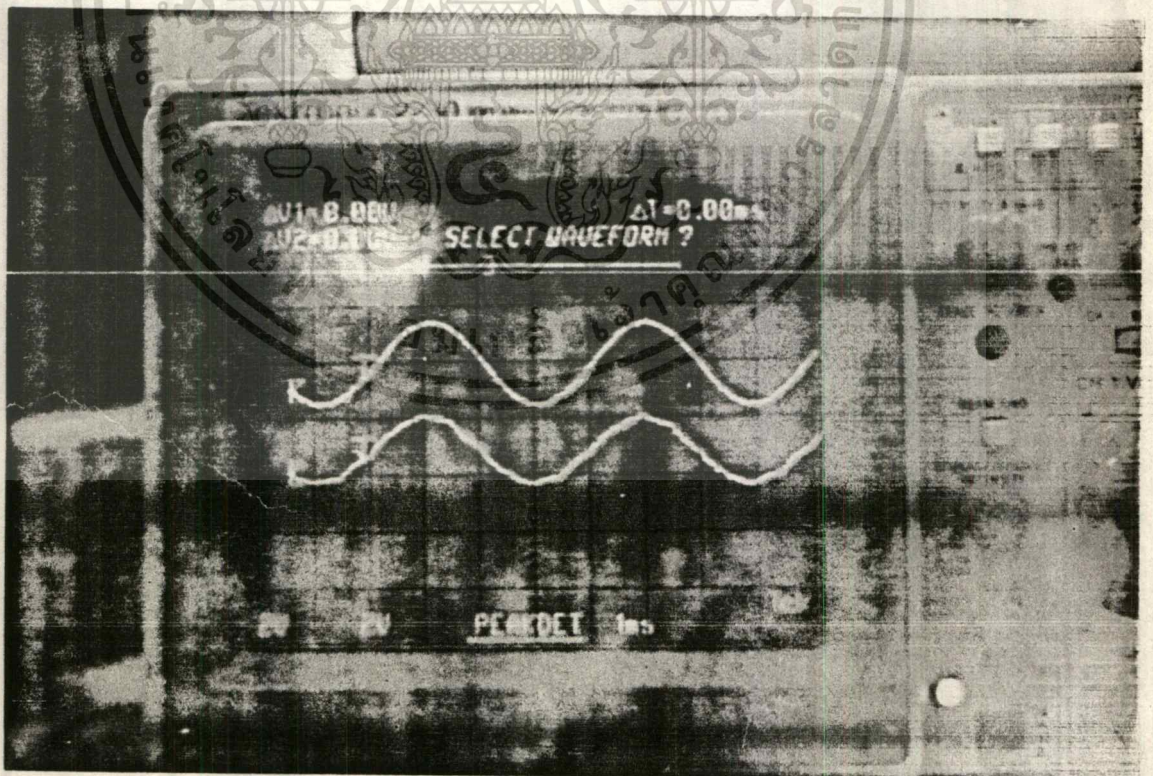
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.25 OPTICAL RECEIVER  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองและผลการทดลอง

ผลการทดลอง

จากการทดลองส่งสัญญาณ พีซีเอ็ม มัลติเพล็กซ์ 4 ช่องสัญญาณ ผ่านเส้นใยแสงได้ว่า

1. จากการทดลอง ซึ่งใช้สัญญาณขาอิน สามารถส่งสัญญาณมัลติเพล็กซ์ 4 ช่อง ผ่านสายเส้นใยแสง ที่เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างภาคส่งและภาครับได้ โดยสัญญาณไม่มีการรบกวนระหว่างช่องสัญญาณ
2. จากการทดลองส่งสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ พบว่าที่ความถี่ประมาณ 350 Hz สัญญาณที่ภาครับจะมีลักษณะคล้ายกับภาคส่ง แต่เมื่อทำการส่งความถี่สูงขึ้น สัญญาณที่ภาครับจะมีลักษณะเพี้ยนไป



## บทที่ 5

## บทวิจารณ์และบทสรุป

จากการทดลอง สามารถส่งสัญญาณที่มีความถี่ไม่สูงมากได้ ครอบคลุมที่ได้มีการเพี้ยนน้อย แต่เมื่อทำการส่งความถี่สูงขึ้น จะทำให้สัญญาณทางด้านรับเพี้ยนไปมาก ทั้งนี้เนื่องจาก บิตเรทที่ทำการส่งมีค่าน้อยเพราะฉะนั้นถ้าเราต้องการส่งความถี่สูงขึ้น เราจะต้องเพิ่ม บิตเรท ให้มากขึ้น

ในส่วนของความยาวของสายเส้นใยแสงที่ใช้ส่ง เนื่องจากสายเส้นใยแสงที่ใช้เป็นพลาสติก ซึ่งมีการสูญเสียมาก เพราะฉะนั้นถ้าสายยาวเกินไป สัญญาณแสงที่ภาครับรับได้ไม่สามารถแยกสัญญาณข่าวสารออกมาได้หรือไม่สามารถแยกเข้าที่พุดออกมาได้ จากการทดลองสามารถส่งสัญญาณกับสายเส้นใยแสง ได้ประมาณ 2 เมตร ซึ่งถ้าจะใช้ความยาวมากกว่านี้ อาจจะเพิ่มกำลังส่งของตัวส่งก็ได้



## ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Fiber Optics — FLCS Family Photo Detector Diode Output

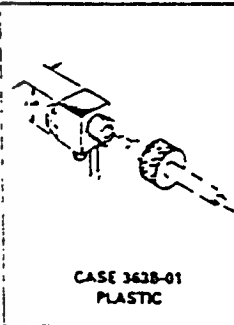
MFOD71

FLCS FAMILY  
FIBER OPTICS  
PHOTO DETECTOR  
DIODE OUTPUT

designed for low cost, short distance Fiber Optic Systems using 1000 micron core plastic fiber.

Typical applications include: high isolation interconnects, disposable medical electronics, consumer products, and microprocessor controlled systems such as coin operated machines, copy machines, electronic games, industrial clothes dryers, etc.

- Fast PIN Photodiode: Response Time < 5 ns
- Ideally Matched to MFOE7E Emitter for Plastic Fiber Systems
- Annular Passivated Structure for Stability and Reliability
- FLCS Package
  - Includes Connector
  - Simple Fiber Termination and Connection (Figure 4)
  - Easy Board Mounting
  - Molded Lens for Efficient Coupling
  - Mates with 1000 Micron Core Plastic Fiber (Esa S-4001)



5

### MAXIMUM RATINGS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	MFOD71 $V_R$	100	Volts
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	150 2	mW mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-42 to +100	°C

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Dark Current ( $V_R = 20\text{ V}, R_L = 1\text{ M}\Omega, T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 85^\circ\text{C}$ )	$I_D$	—	0.06 10	10 —	nA
Reverse Breakdown Voltage ( $I_R = 10\ \mu\text{A}$ )	$V_{BR1R}$	50	100	—	Volts
Forward Voltage ( $I_f = 50\text{ mA}$ )	$V_f$	—	—	1.1	Volts
Series Resistance ( $I_f = 50\text{ mA}$ )	$R_s$	—	8	—	Ohms
Total Capacitance ( $V_R = 20\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$ )	$C_T$	—	3	—	pF

### OPTICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )

Characteristic	Symbol	0.15	0.2	—	Unit
Responsivity ( $V_R = 5\text{ V}$ , Figure 2)	$R$	0.15	0.2	—	$\mu\text{A}/\mu\text{W}$
Response Time ( $V_R = 5\text{ V}, R_L = 50\ \Omega$ )	$t_{resp}$	—	5	—	ns

# MFO71

## TYPICAL COUPLED CHARACTERISTICS

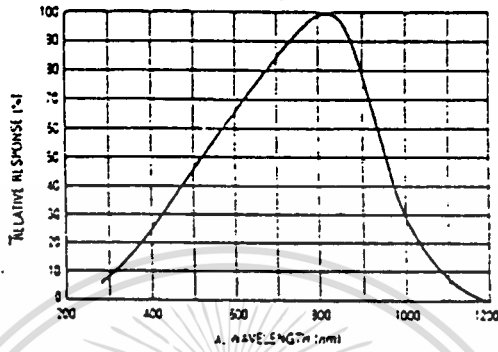


Figure 1. Relative Spectral Response

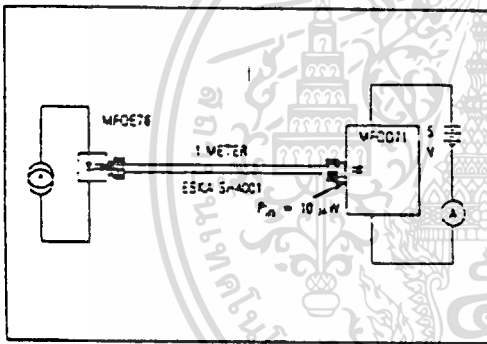


Figure 2. Responsivity Test Configuration

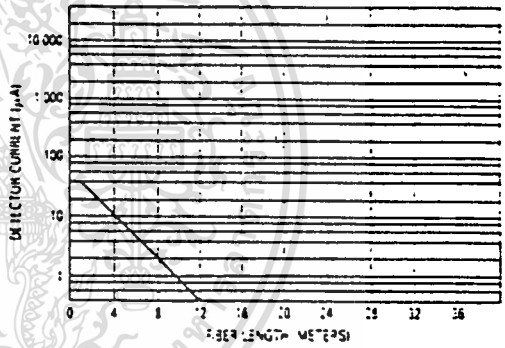


Figure 3. Detector Current versus Fiber Length

The system length achieved with a MFOE76 emitter and various detectors, using 1000 micron core plastic fiber (Eskas SH4001 or equivalent), depends on the LED forward

current ( $I_f$ ) and the responsivity of the detector chosen. Each detector will perform with the MFOE76 up to the distances shown below.

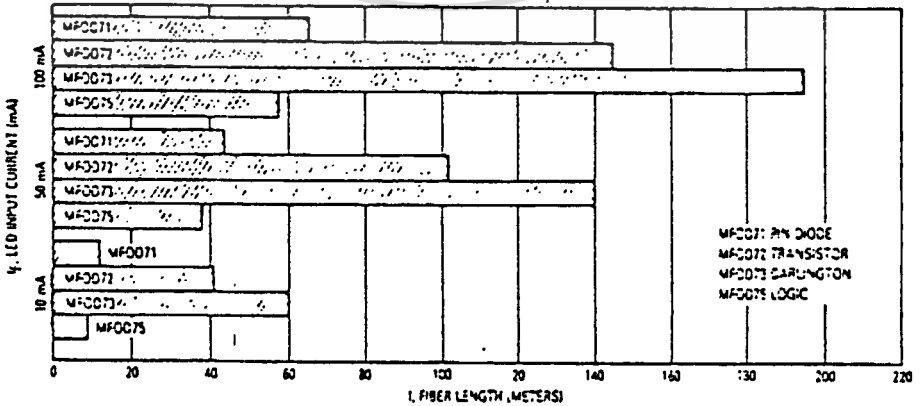


Figure 4. MFOE76 Working Distances

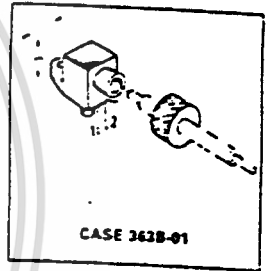
## Fiber Optics — FLCS Family Visible Red LED

This device is designed for low cost, medium frequency, fiber optic systems using 1000 micron core plastic fiber. It is compatible with Motorola's wide variety of detector functions from the MFOD70 series. The MFOE76 employs gallium aluminum technology, and comes pre-assembled into the convenient and popular FLCS connector.

- Low Cost
- Very Simple Fiber Termination and Connection. See Figure 9
- Convenient Printed Circuit Mounting
- Integral Molded Lens for Efficient Coupling
- Mates with 1000 Micron Core Plastic Fiber, such as Eska SM4001

**MFOE76**

**FLCS FAMILY  
 FIBER OPTICS  
 VISIBLE RED  
 LED  
 660 nm**



### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Reverse Voltage	$V_R$	5	Volts
Forward Current — Continuous	$I_F$	60	mA
Forward Current — Peak Pulse	$I_F$	1	A
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $35^\circ\text{C}$	$P_D$	132 2	mW mW/°C
Ambient Operating Temperature Range	$T_A$	-40 to +100	°C
Storage Temperature	$T_{stg}$	-40 to +100	°C
Lead Soldering Temperature (2)	—	260	°C

Notes: 1. Measured with device soldered into a typical printed circuit board.  
 2. 5 seconds max, 1/16 inch from case.

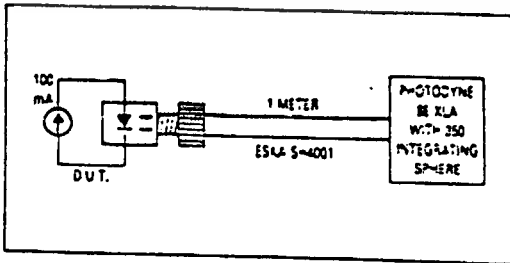


Figure 1. Power Launched Test Setup

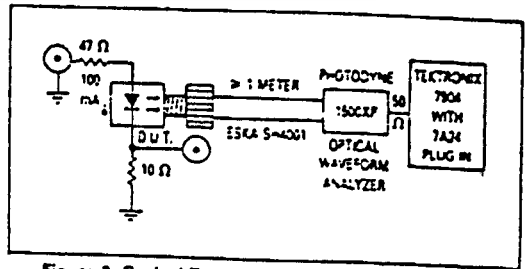


Figure 2. Optical Turn-On and Turn-Off Test Setup

# MFOE76

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Reverse Leakage Current ( $V_R = 3\text{ V}$ )	$I_R$	—	100	—	nA
Reverse Leakage Current ( $V_R = 5\text{ V}$ )	$I_R$	—	10	100	$\mu\text{A}$
Forward Voltage ( $I_f = 60\text{ mA}$ )	$V_f$	—	1.8	2.2	V
Temperature Coefficient of Forward Voltage	$\Delta V_f$	—	-2.2	—	mV/K
Capacitance ( $f = 1\text{ MHz}$ )	C	—	50	—	pF

## OPTICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Peak Wavelength ( $I_f = 60\text{ mA}$ )	$\lambda_p$	—	660	—	nm
Instantaneous Power Launched ( $I_f = 100\text{ mA}$ , Figure 1)	$P_L$	200	540	—	$\mu\text{W}$
Optical Turn-On Time (Figure 2)	$t_{on}$	—	200	—	ns
Optical Turn-Off Time (Figure 2)	$t_{off}$	—	150	—	ns
Half-Power Electrical Bandwidth (1)	BW <sub>e</sub>	—	6	—	MHz

(1)  $I_f = 100\text{ mA}$  p-p, 100% modulation.

### TYPICAL CHARACTERISTICS

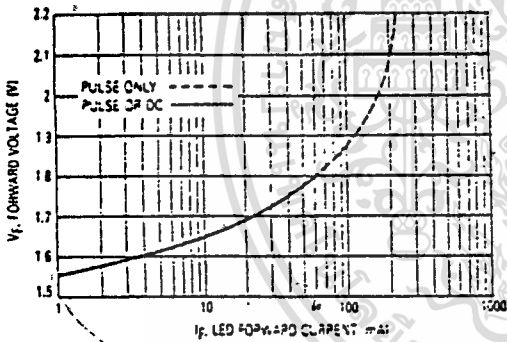


Figure 3. Forward Voltage versus Forward Current

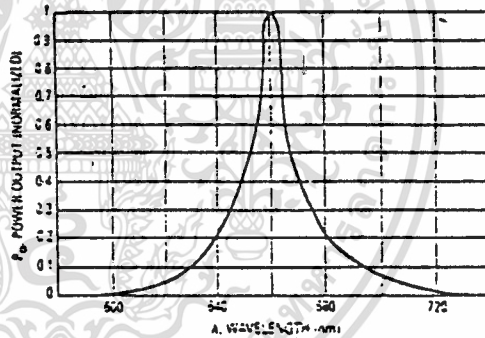


Figure 4. Relative Spectral Output

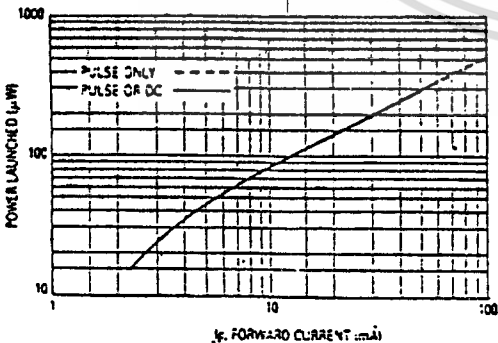


Figure 5. Power Launched versus LED Forward Current

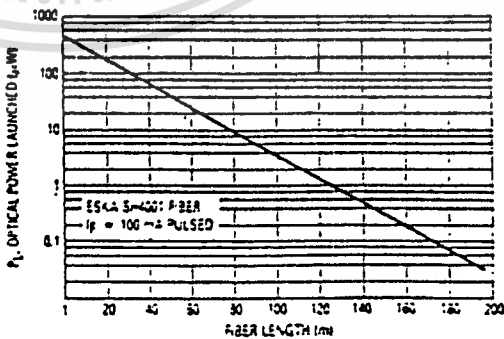


Figure 6. Power Launched versus Fiber Length

## ตอบคำถาม

แคปเชอร์เรนจ์ (CAPTURE RANGE) คือช่วงความถี่ที่ซึ่งเฟสล็อกสามารถติดตามการล็อกกับสัญญาณที่เข้ามา เรียกว่า ล็อกเรนจ์ (LOCK RANGE) ของระบบค่าของมันจะขึ้นอยู่กับแรงดันคลาดเคลื่อน โดยไม่ขึ้นอยู่กับขอบของฟิลเตอร์ ช่วงความถี่นี้จะมากกว่าช่วงความถี่ที่เฟสล็อกสามารถทำการล็อกอย่างแท้จริงกับสัญญาณอินพุท ช่วงแคปเชอร์เรนจ์นี้จะขึ้นอยู่กับขอบของฟิลเตอร์และโกลสลับเกน (CLOSE LOOP GAIN) ของระบบทั้งหมด โดยมีผลเกี่ยวข้องกับซีเลคตวิตีของวงจรเฟสล็อกและยังเพิ่มความปลอดภัยเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนทางด้านเข้าแบนด์วิดท์ที่มากจนได้เป็นอย่างดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ อภินันท์ มัชฌานนท์ ที่ท่านได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ ขอบคุณ  
พี่ๆ และเพื่อนๆ ที่ทำงาน ที่ช่วยเหลืออุปการณและเครื่องมือต่าง ๆ ให้คำแนะนำ ท้าให้บริษัณณพณ  
นี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

- ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.บริษัท. CMOS DATA BOOK 4000 SERIES คู่มือ ซีมอส. กรุงเทพมหานคร:เกษมการพิมพ์,2522.
- ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.บริษัท. TTL DATA BOOK คู่มือ ทีทีแอล. กรุงเทพฯ:เกษมการพิมพ์,2522.
- สุรพงษ์ สุรบถโสภณ. "การสื่อสารระบบ PCM" จากวารสาร เชมิคอนดัคเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์. ฉบับที่ 85 (เมษายน-พฤษภาคม 2531). กรุงเทพฯ:เอช.เอ็น.การพิมพ์,2531.
- อภิรักษ์ มัชฌานนท์. การสื่อสารเส้นใยแสง. ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ม.ป.ท.,ม.ป.ป.
- National Semiconductor Corporation. LINEAR DATABOOK. NATIONAL SEMICONDUCTOR. California.
- Technical Information Center. MOTOROLA HIGH-SPEED CMOS LOGIC DATA. Second Printing. Austin:Motorola Inc.,1983.