



ระบบตรวจจับสภาวะอากาศ  
METEOROLOGICAL INFORMATION SENSORS



โดย  
นาย ประจบ ชุคคง  
นาย พิเชษฐ ศรีกำพล  
นาย ภูชิษฐ์ อุนชน

วัน เดือน ปี..... 15 ส.ค. 2540  
เลขทะเบียน..... 037232  
เลขเรียกหนังสือ..... 138325 1/2947

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ประจำปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจจับสภาวะอากาศ  
METEOROLOGICAL INFORMATION SENSORS



ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2538

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบตรวจจับสภาวะอากาศ

METEOROLOGICAL INFORMATION SENSORS

ผู้จัดทำ

1. นาย ประจวบ ชูคง 36013020
2. นาย พิเชษฐ ศรีกำพล 36013023
3. นาย ภูษิษฐ์ อนุชน 36013027

อาจารย์ที่ปรึกษา

( ผศ. อภินันท์ มัชฌิมานนท์ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ระบบตรวจจับสภาวะอากาศ

### METEOROLOGICAL INFORMATION SENSORS

โดย ประจวบ ชูคง  
พิเชษฐ ศรีกำพล  
ภูษิษฐ์ อนุชน

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. อภินันท์ มั่นยานนท์

#### บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาและประยุกต์หลักการพื้นฐานของการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง ด้วยการนำระบบตรวจจับสภาวะอากาศมาประยุกต์ใช้กับเส้นใยแสงผ่านระบบมัลติเพล็กซ์ซึ่งมีการผสมสัญญาณและแยกสัญญาณ โดยส่งสัญญาณแบบอนาลอกผ่านเส้นใยแสงด้วยแสงอินฟราเรด ทำให้เข้าใจระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งในปัจจุบันระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงเป็นที่นิยมและมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางโดยทั่วไป.

#### ABSTRACT

This paper, We commence and application about the principle of optical fiber Communication system . We apply meteorological information sensors system with optical fiber modulation by multiplex system and demodulation by demultiplex system. We experimented to the analog transmission system by infrared light . In this object , We will increasingly complement in the optical fiber communication system in the present day,optical fiber is the most popular and to be applied in the worldwide.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1. บทนำ	1
บทที่ 2. ทฤษฎีและหลักการ	3
รูปแบบการสื่อสารเส้นใยแสง	3
การสื่อสารเส้นใยแสง	7
- สายรับส่งเส้นใยแสง	7
- ข้อดีของการสื่อสารเส้นใยแสง	9
- อุปกรณ์การเชื่อมโยงการต่อผ่านเส้นใยแสง	10
- ระบบเส้นใยแสง	13
แสงและอุปกรณ์ทางแสง	14
- คุณสมบัติและคุณลักษณะทางแสง	14
- การเปล่งแสงและการดูดกลืนแสงของการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็ก	15
- รังสีที่มองเห็นได้	19
- สีรุ้ง	21
- รังสีอุลตราไวโอเลต	21
- แหล่งกำเนิดแสง	22
- อุปกรณ์รับสัญญาณแสง	26
- วงจรไดรเวอร์	28
เส้นใยแสง	31
- เส้นใยแสงคืออะไร	31
- ลักษณะการเดินทางของเส้นใยแสง	31
- ชนิดของเส้นใยแสง	38
- โครงสร้างของเส้นใยแสง	40
- คุณสมบัติต่างๆ ของเส้นใยแสง	42
- ระบบการสื่อสารเส้นใยแสง	53
- การสูญเสียสัญญาณในเส้นใยแสง	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3. ทฤษฎีการออกแบบวงจร	56
ชุดมัลติเพล็กซ์	57
อุณหภูมิและมาตรการวัดอุณหภูมิ	65
ความดัน	77
ชุดตรวจจับแก๊ส	83
บทที่ 4 ผลการทดลอง	85
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและวิจารณ์	95
กิตติกรรมประกาศ	96
เอกสารอ้างอิง	97



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	รูปแบบการสื่อสารเส้นใยแสง	5
รูปที่ 2.2	แสดงลักษณะเส้นใยแสง	7
รูปที่ 2.3	แสดงตัวอย่างเส้นใยแสง	8
รูปที่ 2.4	อุปกรณ์หลักการเชื่อมโยงเส้นใยแสง	11
รูปที่ 2.5	การลดทอนของเส้นใยแสงที่ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น	12
รูปที่ 2.6	อะตอมของฮีเลียม	16
รูปที่ 2.7	อะตอมของคาร์บอน	17
รูปที่ 2.8	การกระจายแสงอาทิตย์ผ่านปริซึม	19
รูปที่ 2.9	การสังเคราะห์แสงผ่านแผ่นวงกลม	20
รูปที่ 2.10	การกระจายแสงจากหยดน้ำที่ทำให้เกิดผลของสีรุ้ง	21
รูปที่ 2.11	แสดงโลนวิคตซ์ของแหล่งกำเนิดแสง	23
รูปที่ 2.12	โครงสร้างภายในของ LED	24
รูปที่ 2.13	เลเซอร์ไดโอด	25
รูปที่ 2.14	โฟโตนิกไดโอด	27
รูปที่ 2.15	วงจรรีเลย์เวอริ LED แบบอนาล็อก	29
รูปที่ 2.16	วงจรรทำงานของโฟโตนิกไดโอด	30
รูปที่ 2.17	วงจรรีเลย์เวอริที่ใช้ทรานซิสเตอร์	30
รูปที่ 2.18	แสดงมุมรับแสงของเส้นใยแสง	32
รูปที่ 2.19	แสดงเส้นใยแสงแบบกลมและแบบระนาบแบน	33
รูปที่ 2.20	แสดงการสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของตัวกลาง	34
รูปที่ 2.21	แสดงมุมสะท้อนกลับของแสงที่ทำให้เกิดคลื่นอยู่กับที่ในทิศทางรัศมี	35
รูปที่ 2.22	แสดง propagation mode ภายในเส้นใยแสง	37
รูปที่ 2.23	แสดงลักษณะการเดินทางของแสงใน core ของเส้นใยแสงแต่ละชนิด	39
รูปที่ 2.24	แสดงลักษณะการเดินทางของแสงใน GI fiber	40
รูปที่ 2.25	แสดง parameter ทางโครงสร้างของ Multi Mode optic fiber	42
รูปที่ 2.26	แสดงแผนผังคุณสมบัติต่างๆ ของ parameter ทางโครงสร้างของเส้นใยแสง	43
รูปที่ 2.27	แสดงเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของ Mode Field	44

รูปที่ 2.28 แสดงสาเหตุต่างๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสีย	44
รูปที่ 2.29 แสดงคุณสมบัติการสูญเสียแสงจากการดูดแสงของเส้นใยแสงที่ทำด้วยแก้ว	46
รูปที่ 2.30 แสดงสาเหตุของการสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแสง	49
รูปที่ 2.31 แสดงการเกิด Dispersion ของเส้นใยแสง	51
รูปที่ 2.32 แสดงตัวอย่างของระบบการสื่อสารเส้นใยแสง	54
รูปที่ 3.1 บล็อกแสดงการทำงานโดยรวม	56
รูปที่ 3.2 แสดง Basic Multiplex	57
รูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้างของไอซี MC 14051 Multiplexer	58
รูปที่ 3.4 Four Switch Ic With Gate and Control Input	59
รูปที่ 3.5 แสดงชุด Multiplex Transmission	62
รูปที่ 3.6 แสดงชุด Demultiplexing receiver	63
รูปที่ 3.7 ลักษณะรูปร่างการต่อขาของ LM 335	66
รูปที่ 3.8 วงจรพื้นฐานการใช้งานของ LM 335	68
รูปที่ 3.9 การปรับค่าความถูกต้องโดยการใช้ความต้านทานเพียงตัวเดียว	68
รูปที่ 3.10 เวลาการตอบสนองของ LM 335 ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอากาศ	69
รูปที่ 3.11 วงจรที่สามารถทำงานกับแหล่งจ่ายไฟได้ย่านกว้าง	70
รูปที่ 3.12 วงจรนี้จะบันทึกค่าต่ำสุดระหว่างไอซี 3 ตัว	70
รูปที่ 3.13 วงจรนี้จะบันทึกค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของไอซีทั้ง 3 ตัว	71
รูปที่ 3.14 ก) วงจรเทอร์โมมิเตอร์แบบเซลเซียสซึ่งเข้าพุทไม่ต้องลงกราวด์ส่วนใน 3.14 ข) เข้าพุทที่ได้ต่อเข้าพุทลงกราวด์	71
รูปที่ 3.15 ก) วงจรเทอร์โมมิเตอร์แบบฟาเรนไฮต์ซึ่งเข้าพุทที่ได้จะอ้างอิงกับกราวด์ส่วนในรูปที่ 3.15 ข) เข้าพุทที่ได้จะลอยตัวและใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว	72
รูปที่ 3.16 เป็นวงจรตรวจจับความแตกต่างของอุณหภูมิ 2 ตำแหน่ง	73
รูปที่ 3.17 วงจรเทอร์โมมิเตอร์แบบเซลเซียสที่ใช้เทอร์โมมิเตอร์	74
รูปที่ 3.18 แสดงวงจรตรวจจับอุณหภูมิ	75
รูปที่ 3.19 แสดงวงจรชุดแสดงผล	76
รูปที่ 3.20 แสดงความสัมพันธ์ของการวัดความดัน	80
รูปที่ 3.21 ตารางแสดงค่าความดัน ณ ที่ระดับความสูงต่างๆ	81

รูปที่ 3.22 แสดงวงจรใช้งาน	82
รูปที่ 3.23 แสดงวงจรตรวจจับแก๊สรั่ว	83
รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณที่ทำการป้อนทดสอบการมัลติเพล็กซ์	85
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณไบนารีเคาเตอร์ที่ใช้รับอนาล็อกสวิตช์ของไอซี 14051	86
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณ clock	87
รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณขณะที่ทำการมัลติเพล็กซ์ที่ละช่อง	88
รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณก่อน(บน)และหลัง(ล่าง)ส่งผ่านเส้นใยแสง	88
รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณเฟสล็อกดูรูป	89
รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณที่ทำการดีมัลติเพล็กซ์กลับคืนมา	90
รูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณด้านหน้าของแผ่นวงจรชุดแสดงผลและดีมัลติเพล็กซ์	92
รูปที่ 4.9 แสดงด้านหลังของชุด display	93
รูปที่ 4.10 แผ่นวงจรทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง	93
รูปที่ 4.11 แสดงวงจรชุดตรวจจับ	94
รูปที่ 4.12 แสดงชุดแสดงผลขณะทำการตรวจจับ	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1.

### บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ ในเมืองใหญ่ๆ นั้นจะมีอาคารสูงๆ ถูกสร้างขึ้นอย่างมากมาย อาคารเหล่านี้ส่วนใหญ่แล้วแต่ต่างก็ใช้เครื่องปรับอากาศกันเป็นส่วนใหญ่เพื่อที่จะทำการปรับอากาศภายในตัวอาคารและภายในอาคารอาจจะเป็นที่อยู่อาศัยหรือสำนักงาน มีเครื่องปรับอากาศเท่านั้นที่รักษาสภาพอากาศต่างๆ ภายในอาคารทำให้ไม่ทราบความเป็นไปของบรรยากาศภายนอกอาคาร เป็นที่แน่นอนว่าบรรยากาศในตัวอาคารจะถูกจำกัดตัดขาดจากโลกภายนอก

จะเป็นการดีไม่น้อย ที่ถ้าผู้อยู่อาศัยในอาคารเหล่านั้น จะได้ทราบถึงสภาวะความเป็นไป ของสภาพอากาศภายนอกเหล่านั้นว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรสภาพอากาศภายนอกอาคารที่กล่าวถึงนี้อาจเป็นอุณหภูมิ ความดัน แสงสว่าง หรืออื่นๆ ข้อมูลเหล่านี้อาจจะถูกนำเสนอ อยู่ในตัวอาคารเพื่อที่จะเป็นตัวช่วยบอกว่า ความเป็นไปของสภาวะสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างไรบ้าง

ด้วยเหตุผลนี้เองทำให้เกิดโครงการนี้ขึ้นมาโดยมีชื่อ "ระบบตรวจจับสภาวะอากาศ" หรือ "METEOROLOGICAL INFORMATION SENSORS" หลักการของโครงการนี้ก็คือภายนอกอาคารจะมีระบบตรวจจับสภาวะอากาศตามข้อมูลที่ต้องการจะทราบ เช่น อุณหภูมิ ความสว่าง ความดัน โดยที่ระบบตรวจจับความเปลี่ยนแปลงชุดต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้วตรวจจับและติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายนอกอาคาร แล้วนำข้อมูลที่ได้ส่งเข้าสู่ระบบแสดงผลภายในอาคารด้วยเส้นใยแสง ( Fiber Optic ) จากนั้นข้อมูลที่ได้ก็จะถูกแสดงให้ผู้ที่อยู่ในอาคารได้ทราบด้วยวิธีที่เหมาะสมต่อไป

ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงนี้เป็นระบบที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่าระบบที่ทำการสื่อสารด้วยเคเบิลที่เป็นโลหะหลายประการที่ดีกว่า คือ แบนดวิดกว้าง การลดทอนของสัญญาณต่ำ มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และไม่มีการเหนี่ยวนำต่อสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า ด้วยคุณสมบัติที่เด่นกว่าดังที่กล่าวมานี้ทำให้ได้รับความนิยมสูงในโครงการนี้ จึงเลือกนำมาเป็นสายนำสัญญาณเข้าสู่ระบบ การแสดงผลที่อยู่ภายในอาคารทำให้สัญญาณที่ได้ค่อนข้างจะดี ในโครงการนี้ได้เลือกให้มีชุดที่ทำหน้าที่ จับสภาวะอากาศดังที่กล่าวมาแล้ว โดยจะทำการส่งสัญญาณเข้าสู่การแสดงผลด้วยระบบมัลติเพล็กซ์ ซึ่งข้อมูลจะผ่านการมัลติเพล็กซ์ก่อนก่อนที่จะทำการส่งผ่านเส้นใยแสง ซึ่งจะประกอบไปด้วย 4 ช่องสัญญาณมัลติเพล็กซ์ และ 1 ช่องสัญญาณชิงโครโนสรวมเข้าไปด้วย แล้วจึงทำการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกที่เป็นไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสง โดยใช้ LED ทำการคับปลิ่งสัญญาณเข้าไปในเส้นใยแสง เมื่อสัญญาณแสงถูกส่งผ่านมาถึงทางด้านรับ ก็จะถูกแปลงกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าโดย PIN PD แล้วทำการขยายสัญญาณแสงให้มีความแรงขึ้นเพื่อที่จะทำการส่งไปดีมัลติเพล็กซ์ต่อไป

จากนั้นเมื่อทำการตีพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์ส่งกลับมาแล้วก็จะส่งไปยังภาคแสดงผลและเพื่อให้  
สัญญาบัตรแต่ละช่อง มีความถูกต้องแม่นยำกับทางด้านส่งจึงต้องแยกสัญญาบัตรจริงใครในสิ่งที่ส่งมาด้วย  
มาใช้ในการควบคุมการผลิตความถี่ของวงจรเฟสล็อกรูป เพื่อให้ช่องสัญญาบัตรทางด้านรับตรงกับทาง  
ด้านส่ง เมื่อได้สัญญาบัตรที่ถูกต้องแล้วก็นำมาแสดงผลตามแต่ละ รูปแบบ เพื่อแสดงให้ผู้ที่อยู่อาศัยใน  
อาคารได้รับทราบตามความเหมาะสมต่อไป.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

ทุกคนคงจะเคยใช้การส่งข่าวในรูปแบบของ 'ไฟฟ้า' โดยผ่านทางโทรศัพท์ ดาวเทียม คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟและอื่นๆอย่างไรก็ดียังมีระบบการสื่อสารชนิดใหม่รวมทั้งคลื่นแสงที่ได้รับการพัฒนาจากห้องปฏิบัติการ และได้ มีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง แต่การสื่อสารทางแสงคืออะไร

การพยายามตอบคำถามสำหรับบุคคลที่ยังไม่เคยมีความรู้เกี่ยวกับเรื่องนี้มาก่อนจะต้องกระทำดังต่อไปนี้ในรอบหลายปีที่ผ่านมา การพัฒนาการสื่อสารทางไฟฟ้าได้ดำเนินรุดหน้าไปอย่างรวดเร็ว ปัจจุบันเป็นสิ่งธรรมดาที่พบเห็นกันได้ทั่วไป เช่น การแข่งขันกีฬาโอลิมปิกที่ทำการถ่ายทอดทางโทรทัศน์ โดยการส่งผ่านดาวเทียมนั่นคือมันจะปรากฏภาพทันทีแม้ว่าเหตุการณ์นั้นจะได้จัดขึ้นที่อีกซีกหนึ่งของโลกก็ตาม

ในอนาคตชีวิตประจำวันของครอบครัวจะขึ้นอยู่กับโทรทัศน์มากขึ้น เช่น บริการทางการแพทย์ และข่าวสารการศึกษา โทรสารสำหรับการส่งจดหมายและหนังสือพิมพ์ ผลที่ได้รับคือ การประหยัดเวลา และทรัพยากรธรรมชาติเป็นอันมากถึงแม้ว่าการส่งข่าวและโทรศัพท์ ภาพ อาจจะสามารถหาได้ง่ายเพื่อที่จะให้มีบริการในสิ่งเหล่านี้ การส่งจะต้องมีประสิทธิภาพหลายร้อยเท่าของระบบที่มีอยู่

ในปัจจุบันสำหรับการส่งข่าวสารที่มีจำนวนมากๆมันเป็นผลสืบเนื่องมาจากหลักการสื่อสารอย่างง่ายก็คือ คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นคลื่นพาหะนั้นจำเป็นต้องใช้ความถี่สูงมาก การพัฒนาซึ่งเป็นเป้าหมายของวิศวกรรมสื่อสารและนักวิจัย

ในปี พ.ศ.2503 ได้มีการประดิษฐ์เลเซอร์ (แหล่งกำเนิดแสง) ที่สามารถให้กำเนิดแสงธรรมชาติขึ้น (เช่นมีสีเดียว) แหล่งกำเนิดแสงจะมีความถี่สูงกว่า หลาย เท่าของแหล่งกำเนิดความถี่ไมโครเวฟ (ความถี่  $10^{10}$  Hz) ที่มีอยู่เดิมตั้งแต่ได้มีการปรากฏตัวของเลเซอร์ได้มีความพยายามอยู่หลายครั้งที่จะใช้เลเซอร์สำหรับการสื่อสารเพราะว่ามันมีข้อดีอยู่หลายประการ ถ้านำมันมาใช้เป็นคลื่นพาหะของระบบการสื่อสารได้

ในอนาคตชีวิตประจำวันของครอบครัวจะขึ้นอยู่กับโทรทัศน์มากขึ้น เช่น บริการทางการแพทย์ และข่าว เริ่มแรกการทำงานของระบบการสื่อสารที่ความถี่แสง ถึงแม้ว่าจะเพิ่มประสิทธิภาพการส่งข่าวสารได้มากถึง 100,000 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มีใช้อยู่ อย่างไรก็ตามก่อนที่จะนำมาใช้งานในทางปฏิบัติยังมีปัญหาอีกหลายอย่างที่จะต้องนำไปแก้ไข เช่น เลเซอร์ต้องมีประสิทธิภาพและขนาดต้องเล็กซึ่งสามารถรักษาคุณภาพให้อยู่ในระดับสูงตลอดไปต้องมีการควบคุมทางเอาท์พุทอุปกรณ์โมดูลेशन และดีมอดูลेशनที่ความเร็วสูงยังไม่ได้ผลตามที่ต้องการทั้งหมดนี้มีความสำคัญมากที่สุด สิ่งที่ต้องการสำหรับ

สายรับส่งชนิดใหม่ คือ ต้องมีการสูญเสียต่ำ และที่ยืดหยุ่นได้ ประหยัด และมีแบนด์วิดท์กว้าง ปรากฏว่า ในตอนแรกนั้นปัญหาเหล่านี้เอาชนะได้ยากมาก

ประมาณปี พ.ศ.2509 ได้มีการพิจารณาถึงความเหมาะสมที่จะนำเส้นใยแก้วนำแสงมาใช้เป็น สายรับ-ส่งอย่างจริงจังแต่ในเวลานั้นการสูญเสียยังสูงอยู่จึงยังไม่ได้นำมาใช้

ในปี พ.ศ.2513 ได้พบวิธีการที่จะลดการสูญเสียลงได้เป็นจำนวนมากและการทำงานของเลเซอร์ สารกึ่งตัวนำสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากอายุการใช้งานของเลเซอร์สามารถ เพิ่มได้มากขึ้น และสามารถผลิตเส้นใยแสงให้มีการสูญเสียต่ำได้ ทำให้การสื่อสารด้วยเส้นใยแสงได้รับการยอมรับในทางปฏิบัติเรายังเพิ่งเริ่มต้นในยุคของการสื่อสารทางแสงแต่ขณะนี้มีความเป็นไปได้อย่างมากว่าหน่อเล็กๆ นี้จะเติบโตเป็นต้นไม้ขนาดใหญ่ในอนาคตอันใกล้นี้ อีกประการหนึ่งความถี่ของแสงจุด ตราไวโอเลตและรังสีเอ็กซ์-เรย์ สูงกว่าออปติคัล-เรย์(Optical Ray)และมีความเหมือนกันคือการรวมตัวของ โพรตรอน ทำให้พลังงานเพิ่มขึ้นผลที่ตามมาก็คือ ควอนตัม-นอยส์(Quantum-Noise)สูงมาก และการเชื่อมติดกับสายรับ-ส่งและรีเฟลคเตอร์ทำได้ยาก

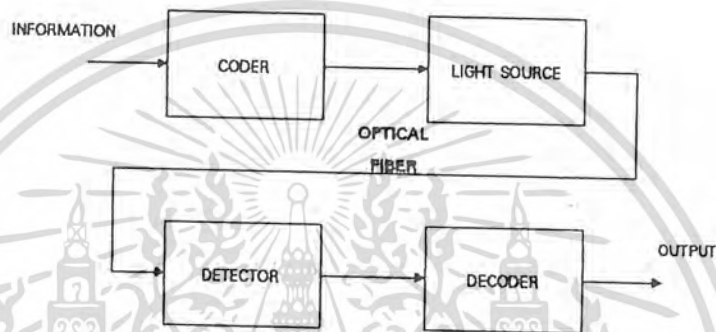
ระบบการสื่อสารทางแสงส่วนใหญ่จะใช้เส้นใยแสงและใช้สารกึ่งตัวนำเป็นแหล่งกำเนิดแสงมาก ในหลักการแล้วความถี่เหล่านี้ไม่เหมาะที่จะใช้ส่งข้อมูลเพราะฉะนั้นคลื่นแสงที่มองเห็นได้อาจเป็น ประเภทสุดท้ายของคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้าที่จะ นำมาใช้กับระบบโทรคมนาคมได้

ในรูปแบบการสื่อสารทางแสงนั้นในชั้นแรกสัญญาณ(คลื่นเสียง)ที่ผู้ใช้ต้องการจะส่งถูกเปลี่ยน เป็นสัญญาณไฟฟ้าในเครื่องส่ง ซึ่งมันจะถูกมอดูเลทกับความเข้มของแสงที่แหล่งกำเนิดแสง ซึ่งอาจจะ เป็นเลเซอร์หรือไดโอดเปล่งแสง(วิธีการนี้เรียกว่า"มอดูเลชัน")

สัญญาณแสงถูกส่งผ่านเข้าไปในเส้นใยแสงและถูกตรวจรับที่ปลายทางด้วยตัวรับด้วยโฟโตนิกเทค นิคส์ ซึ่งสัญญาณแสงจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม(เรียกว่า"ดีมอดูเลชัน")สุดท้าย สัญญาณไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณเดิมที่ผู้ใช้สามารถเข้าใจได้ เช่นเสียงคำพูดหลายศตวรรษ มาแล้วที่มนุษย์รู้จักการใช้การสื่อสารด้วยแสงเช่น คบเพลิง สัญญาณไฟและโดยการสะท้อนแสงด้วย กระจกจนกระทั่งปัจจุบันสัญญาณแสงก็ยังคงมีใช้อยู่ เช่น การสื่อสารระหว่างเรือ โดยใช้สัญญาณแสง ด้วยรหัสมอส การพัฒนาอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ให้ทำงานเป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยอาศัยข้อมูลการวิจัยในยุโรป และอเมริกาเป้าหมายของการพัฒนาของหลอดคายประจุ และหลอดไฟฟ้า หรือปรากฏการณ์ของแสง ที่เปล่งออกมาจากแท่งเรืองแสง โดยเฉพาะการเปล่งแสงที่ได้โดยการให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจุดเชื่อมต่อ ของสารกึ่งตัวนำในผลึกเชิงเดี่ยวของสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน หรือ เยอรมันเนียมการเปล่งแสงอ่อน

มากแต่ในสารประกอบผลึกกึ่งตัวนำ เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์(GaAs)การเปล่งแสงสูงกว่มาก เพราะฉะนั้นจึงได้มีการพัฒนาวิธีการผลิตสารกึ่งตัวนำให้เหมาะสมที่จะจัดให้เป็นแหล่งกำเนิดแสง

ในอดีตแนวความคิดของการส่งสัญญาณแสงในสมัยกรีกโบราณ ซึ่งเทคโนโลยีของการผลิตเส้นใยแสงได้เริ่มขึ้น ได้สังเกตเห็นว่าแสงสามารถผ่านแท่งแก้วได้ ในทำนองเดียวกันในประเทศอังกฤษซึ่งมีความรู้เกี่ยวกับแสงรุ่งเรืองมาก ในศตวรรษที่ 19 ได้สังเกตแสงที่ส่งผ่านท่อน้ำที่มีแคบมากการทดลองเรื่องการส่งแสงผ่านเส้นใยแก้วได้กระทำเป็นครั้งแรกที่ประเทศเยอรมันนี้ ในปี พ.ศ.2473



รูปที่ 2.1 รูปแบบพื้นฐานการสื่อสารเส้นใยแสง

ในปี พ.ศ.2501 ประเทศอังกฤษได้เสนอแนะรูปร่างของเส้นใยแสงซึ่งประกอบด้วยส่วนในสุดเป็นแก้วแล้วหุ้มด้วยส่วนประกอบของแก้วที่คล้ายกัน ในตอนต้นปี พ.ศ. 2503 ที่ประเทศญี่ปุ่นได้ผลิตเส้นใยแก้วขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ของการส่งภาพโดยเส้นใยแสง (Optical Pictures) แต่การส่งมีการสูญเสียของแสงสูงมาก เพราะความเข้มข้นของแสงที่ส่งผ่านเส้นใยที่มีความยาวไม่ถึง 1 เมตรได้ลดลงเป็นจำนวนมาก เพราะฉะนั้นการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแสงก็ถูกทิ้งไว้

ประมาณปี พ.ศ.2503ประเทศสหรัฐอเมริกาได้กระทำการทดลองที่เกี่ยวกับสายส่งประเภทต่างๆ โดยการใช้รูปแบบของท่อนำสัญญาณแสง (Optical Waveguide) ที่ต่างกันและประกอบด้วยเลนส์ที่รวมแสงเข้ามาหากันตรงจุดที่แสงอ่อนลงเป็นช่วงๆเรียงกันไปตามลำดับรูปแบบหนึ่งของระบบนำแสงประกอบด้วยเลนส์ 10 ชุดแต่จุดรวมแสงยาว 50 เมตรและระยะห่างเป็นช่วงๆละ 100 เมตร ภายในท่อขยายให้ยาวได้ถึง 1 กิโลเมตรแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในตอนแรกก็คือ หลอดซินออน

ในปีพ.ศ.2503เป็นช่วงเวลาเดียวกันที่สหรัฐได้ทำการวิจัยอย่างคร่ำครว่ง ผลที่ได้รับเป็นความสำเร็จครั้งแรก คือการทำงานของ โอลิค-สเตทวูบีเลเซอร์ ฮีเลียม/นีออนก๊าซเลเซอร์ในปี พ.ศ.2504และสารกึ่งตัวนำเลเซอร์แกลเลียมอาร์เซไนด์ ในปีพ.ศ.2505โดยทั่วไปเข้าใจว่าสิ่งที่ปรากฏขึ้นของสิ่งใหม่ๆเหล่านี้ และแหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นเดียว ถือว่าเป็นนิมิตที่ดีของการสื่อสารทางแสงที่จะให้ระบบของ

การสื่อสารที่มีคุณภาพสูงหลังจากที่ได้มีการวิจัยกันอย่างต่อเนื่องคุณสมบัติที่เป็นไปได้ของแหล่งกำเนิดแสงเพ็บริอท (Fabry perot Resonator) ซึ่งคลื่นแสงถูกจำกัดอยู่ระหว่างกระจก 2 แผ่นผลที่รับคือหลักฐานทางทฤษฎีได้เป็นที่ยอมรับกันในหลักการของการส่งลำแสงที่คงที่จากแหล่งกำเนิดเลเซอร์ผ่านอวกาศ

ในปี พ.ศ. 2507-2508 ได้มีการเสนอให้ใช้ก๊าซเลนส์เป็นตัวนำแสงและในเวลาเดียวกันก็ได้มีการนำมาทดสอบอุปกรณ์นี้ คือก๊าซเลนส์ ที่มีการสูญเสียต่ำเนื่องจากดัชนีหักเหของแสงลงจากแกนกลางของเส้นใยแสงดังนั้นลำแสงของแสงจะถูกจำกัดให้อยู่ใกล้กับแกนกลางในเวลาเดียวกันหลักการทางคณิตศาสตร์ของการเดินของแสงที่เคลื่อนที่ไปเรียกว่า เลนส์ไลค์-มีเดีย (Lenslike-Medium) ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป เนื่องจากเป็นระบบที่ต้องการเพาเวอร์เป็นจำนวนมากที่จะทำให้เกิด refractive-index profile ในปริมาณของก๊าซจำนวนมากและเหตุผลอย่างอื่น ๆ อีก ความคิดที่จะใช้ก๊าซเลนส์มาเป็นทางเดินของแสงก็หยุดชะงักลง ถึงแม้จะได้รับผลประโยชน์หลายอย่าง รวมทั้งความเชื่อว่าแสงถูกจำกัดให้อยู่ใกล้กับแกนกลางข้อคิดเห็นที่ว่าดัชนีที่แปรกระจายในรูปของพาราโบลิกในเส้นใยแสงจะชดเชยกลุ่มความเร็วของโหมดที่เคลื่อนที่ในชั้นต่างๆ และวิธีที่จะใช้คำนวณเกี่ยวกับทางเดินของแสง

อีกประการหนึ่งในปีพ.ศ.2509 ได้มีการประยุกต์ใช้เลเซอร์กับการสื่อสารทางแสงทำให้เกิดความสนใจทั้งในอเมริกาและญี่ปุ่น และทราบว่ากรรมอดุลเลชันที่สูงมากนั้นมีความเป็นไปได้ เช่นเดียวกับความคิดที่จะนำเส้นใยแสงนำแสงมาเป็นสายรับส่งได้เริ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่งทั้งในประเทศญี่ปุ่นและประเทศอังกฤษและความพยายามที่จะลดการสูญเสียจากการส่งให้ต่ำลงและการวิจัยเกี่ยวกับแบนด์วิดธ์ ก็ได้เริ่มขึ้น

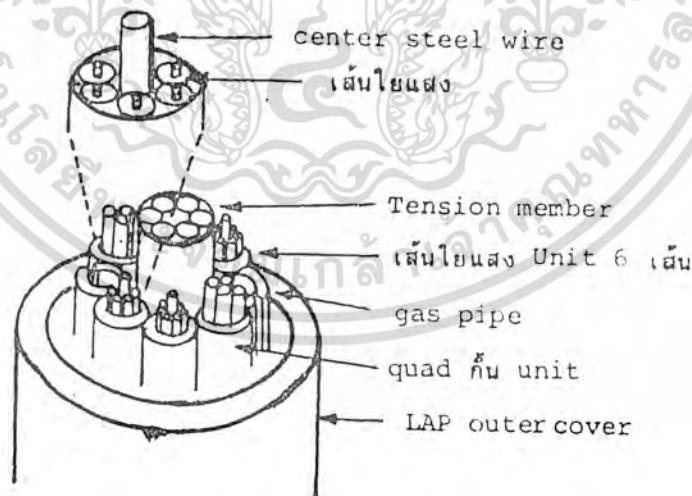
ประมาณปี พ.ศ.2513 ผลจากการวิจัยทั้งสองอย่างมีความสำคัญอย่างมากต่อการสื่อสารทางแสงอย่างต่อเนื่องของเลเซอร์ที่อุณหภูมิห้องในอเมริกา ต่อไปก็คือการปรับปรุงเรื่องอายุการใช้งานทั้งในอเมริกาและญี่ปุ่นอีกอย่างก็คือการลดลงอย่างมากของการสูญเสียจากการส่งที่อังกฤษได้ทำไว้ระหว่าง 150 เดซิเบลต่อกิโลเมตรได้ลดลงเหลือประมาณ 20 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ทั้งในอเมริกาและญี่ปุ่น เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการพัฒนาเกี่ยวกับอุปกรณ์ทางแสงและสายรับ-ส่งเส้นใยแสงเป็นหลักปัจจุบันนี้ในทางปฏิบัติได้พิสูจน์ให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะนำการสื่อสารทางแสงมาใช้กันอย่างกว้างขวางขึ้นสายรับ-ส่งเส้นใยแสงได้มีการปรับปรุงกันอย่างรวดเร็ว บางส่วนได้นำวิธีการผลิตสารกึ่งตัวนำมาใช้ ซึ่งได้มีการพัฒนาอย่างดีแล้วซึ่งให้ทั้งการสูญเสียต่ำและมีแบนด์วิดธ์กว้างกว่าสายรับ-ส่งอย่างอื่น

ได้มีข้อเสนอแนะที่แตกต่างกันหลายประการที่ใช้กับการส่งสำหรับการสื่อสารทางแสงเพราะบางวิธีอาจจะใช้บางโอกาสในอนาคตซึ่งเราจะได้ศึกษากันอย่างย่อๆ โดยจะเปรียบเทียบกับวิธีเหล่านั้นกับเส้นใย

แสงเริ่มต้นด้วยการเดินทางของลำแสงจากหลอดไฟแสงสว่างผ่านไปในอากาศการนำทางของแสงจากเลเซอร์ไดโอดไปตามเส้นใยแสง

## 2.1 สายรับ-ส่งเส้นใยแสง

โครงสร้างของสายรับ-ส่งเส้นใยแสง ประกอบด้วยส่วนตรงกลางที่เรียกว่า "คอร์(Core)" มีดัชนีการหักเหของแสง  $n_1$  วัสดุที่หุ้มรอบๆ เรียกว่า "แคลดดิ้ง"(Cladding) มีดัชนีการหักเหของแสง  $n_2$  ต่ำกว่า  $n_1$  ดังนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกจำกัดอยู่ในส่วนของคอร์และถูกส่งต่อโดยหลักการสะท้อนกลับตรงเขตแดนระหว่างคอร์กับแคลดดิ้ง ที่อยู่ภายในทั้งหมดเส้นใยแสงเป็นรูปแบบของไดอิเล็กทริกเวฟไกด์ (Dielectric Waveguide) ซึ่งเป็นชนิดซิลิกาแก้วและมัดติคอมโคเนนซ์กลาสปกติใช้เป็นส่วนประกอบของจนวนไฟฟ้าในบางกรณีอาจใช้สารพลาสติก หรือของเหลวก็ผ่านฟิล์มบางๆ ซึ่งมีความหนาเพียง 2 - 3 มิลลิเมตร วัสดุอื่นที่สามารถนำมาใช้ได้ เช่น แก้ว พลาสติก วัสดุที่มีองค์ประกอบอย่างเดียวกันหรือสารกึ่งตัวนำเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์ ของเส้นใยแสง ปกติจะอยู่ในย่าน 2 - 3 ไมโครเมตร ถึง 20 - 30 ไมโครเมตรและเส้นผ่าศูนย์กลางรอบนอกของแคลดดิ้งอยู่ระหว่าง 100 - 200 ไมโครเมตร อย่างไรก็ตามเส้นใยแสงที่ยังไม่ได้หุ้มมีความเปราะมาก และเป็นเหตุเริ่มต้นให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีจากความชื้นดังนั้นเส้นใยแสงจึงถูกกำหนดให้มีการหุ้มครั้งแรกเสียชั้นหนึ่งก่อนด้วยพลาสติกต่อไป หุ้มด้วยไนลอนอีกชั้นหนึ่งยิ่งกว่านั้นยังจัดเป็นกลุ่มเข้าด้วยกันในรูปเคเบิลเส้นใยแสงซึ่งทำให้เคเบิลมีเส้นใยแสงเป็นร้อยเส้นได้

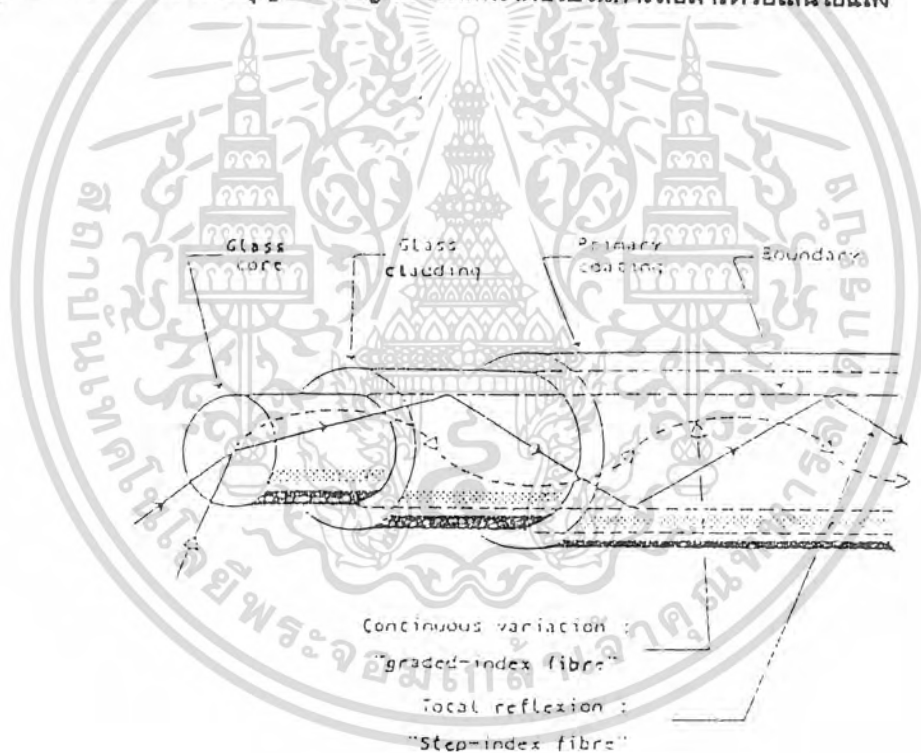


รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันซิลิกากระจกเป็นส่วนประกอบที่ทำให้การสูญเสียต่ำมาก โดยการทำให้ซิลิกากระจกมีความบริสุทธิ์มากขึ้นทำให้สามารถผลิตเส้นใยแสง ที่มีการลดทอนประมาณ 0.2 เดซิเบลต่อกิโลเมตรที่ความยาวคลื่น 1.55 ไมโครเมตรได้ ประกอบมีแบนด์วิธกว้างและการสูญเสียต่ำจึงเชื่อได้ว่าเส้นใยแสงจะเป็นสายรับ-สายส่งที่เหมาะสมที่สุด

ในตอนต่อไปนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับความยาวคลื่น 0.85 ไมโครเมตร ที่ให้การสูญเสียต่ำ ซึ่งเป็นข้อกำหนดอย่างหนึ่งที่เรียกว่า "ออปติคัลไฟเบอร์วินโดว์ (Optical Fiber Windows) บังเอิญสารกึ่งตัวนำเลเซอร์ที่ประกอบด้วย แกลเลียม อะลูมิเนียม อาร์เซไนด์ (GaAlAs) และซิลิกอน (Si) ไฟฟ้าดีเทคเตอร์ความไวสูงที่ความยาวคลื่นนี้ในทางตรงกันข้ามเส้นใยมีความสูญเสียต่ำมากจะอยู่ย่านความยาวคลื่น 1.0 - 1.6 ไมโครเมตร การวิจัยเกี่ยวกับเลเซอร์และตัวรับแสงความไวสูงที่กำลังทำกันในปัจจุบันและอนาคตถือเป็นกุญแจสำคัญที่ต้องพัฒนาต่อไปในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง



รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างของเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ข้อดีของการสื่อสารเส้นใยแสงคืออะไร

ในการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแสงมีข้อดีเหนือกว่าระบบออปติคอล-เวฟไกด์อื่นๆ ทั้งหมด และมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. มีการสูญเสียต่ำตลอดย่านความยาวคลื่นที่ใช้งาน (น้อยกว่า 1 เดซิเบลต่อกิโลเมตร)
  2. มีแบนด์วิธกว้าง (1 - 10 GHz สำหรับมัลติ-โหมด (Multi Mode) และซิงเกิล-โหมด (Single Mode) ตลอดความยาว 1 กิโลเมตรตามลำดับ)
  3. มีความยืดหยุ่น
  4. ขนาดเล็ก (เส้นใยแก้วมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 100 ไมโครเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางทั้งหมดซึ่งรวมทั้งที่หุ้มพลาสติก ประมาณ 1-2 มิลลิเมตร)
  5. น้ำหนักเบา
  6. ไม่มีสิ่งรบกวนจากแม่เหล็กไฟฟ้า
  7. Crosstalk ต่ำและมีมาตรการการป้องกันสูง
  8. ส่วนประกอบของแก้วที่ใช้เป็นวัสดุทางธรรมชาติมีเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะความเข้มข้นของซิลิกา มีสูงมาก
  9. มีความต้านทานต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิมาก
- เนื่องจากเส้นใยแสงมีข้อดีเหล่านี้จึงมีความพยายามที่จะปรับปรุงคุณสมบัติที่ได้กล่าวไปแล้วอย่างต่อเนื่องต่อไป โดยเฉพาะการวิจัยที่จะดำเนินการตามทิศทางต่อไปนี้
1. อะไรคือลักษณะรูปร่างที่ดีที่สุดของดัชนีหักเหของแสงนำเอาปัจจัยทั้งหมดมาพิจารณา
  2. อะไรคือการกระทำที่ได้การสูญเสียต่ำที่สุด
  3. ความยาวคลื่นเท่าไรที่เหมาะสมที่สุดของใช้ทำงาน
  4. อะไรที่เป็นส่วนสำคัญที่กำหนดแบนด์วิธ
  5. สาเหตุใดที่ทำให้คุณลักษณะของการเดินทางเปลี่ยนไปโดยแมชชีนนิคอล-เอฟเฟ็ค (Mechanical effect) เช่น การโค้งงอนั้นหรือ
  6. อายุการใช้งานจะเป็นสาเหตุให้คุณลักษณะเปลี่ยนไปหรือ
  7. ปัญหาทางเทคนิคของการวางและการต่อเคเบิลสามารถแก้ไขปรับปรุงได้หรือไม่
  8. ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ลดลงโดยการผลิตเป็นจำนวนมากได้หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

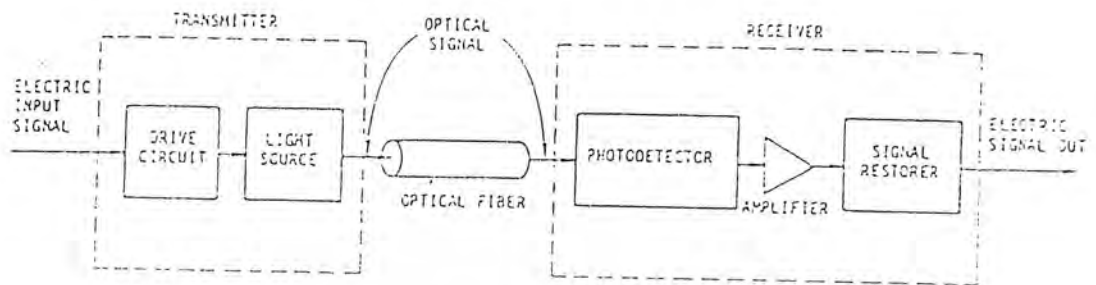
### 2.3 อุปกรณ์การเชื่อมโยงการส่งผ่านเส้นใยแสง

ในการเชื่อมโยงการส่งผ่านเส้นใยแสงส่วนสำคัญต่างๆ คือเครื่องส่งที่ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสงและร่วมกับวงจรกระตุ้น(Driver Circuit)เคเบิลเส้นใยแสง และเครื่องรับที่ประกอบด้วยโฟโอดีทีเทคเตอร์ร่วมกับวงจรขยายสัญญาณและวงจรที่ทำหน้าที่ให้ได้สัญญาณกลับคืนมา สู่อุปกรณ์

เคเบิลใยแสงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากอย่างหนึ่ง ในการเชื่อมต่อเส้นใยแสงนอกจากจะได้มีการป้องกันเส้นใยแสง ระหว่างการติดตั้งและการให้บริการภายในเคเบิลอาจจะบรรจุสายทองแดงสำหรับเพาเวอร์ที่จะจ่ายให้กับส่วนทวนสัญญาณ ซึ่งต้องการสำหรับการขยายสัญญาณและการสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่เป็นช่วงๆ เมื่อต้องการขยายระยะทางให้ไกลออกไปอีก เคเบิลโดยทั่วไปแล้วประกอบด้วยเส้นใยแสงรูปทรงกระบอกที่มีขนาดเท่าเส้นผมเป็นจำนวนมาก แต่ละเส้นไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนของการสื่อสาร

การติดตั้งเคเบิลใยแสงสามารถติดตั้งได้ทั้งในอากาศในท่อร้อยสายใต้ทะเลหรือฝังดินโดยตรง ทำนองเดียวกันกับเคเบิลทองแดงความยาวของเคเบิลแต่ละเส้นจะมีความยาวตั้งแต่หลายร้อยเมตรจนถึงหลายกิโลเมตรสำหรับการใช้งานทางไกลขึ้นอยู่กับวิธีการติดตั้งและหรือข้อจำกัดของการผลิตความยาวจริงๆ ของเคเบิลในช่วงหนึ่งๆ กำหนดจากการพิจารณาในการใช้งาน เช่น ขนาดของสลิงและน้ำหนักของเคเบิล ถ้าการวางเคเบิลผ่านท่อร้อยสาย มักจะใช้เคเบิลที่มีความยาวสั้นกว่าส่วนเคเบิลที่มีความยาวจริงมากๆ มักจะใช้แขวนในอากาศหรือฝังดินโดยตรง ถ้าจะให้มีความยาวที่จะใช้งานกับทางไกลจริงๆ ต้องนำเคเบิลแต่ละช่วงความยาวมาต่อเข้าด้วยกันถึงจะได้ความยาวที่สมบูรณ์ตามต้องการ

คุณสมบัติอันดับแรกๆของเส้นใยแสงคือการลดทอน ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น เทคโนโลยีในตอนต้นๆนั้นใช้ความยาวคลื่นแถบ 800 - 900 นาโนเมตรอย่างเดียวนั้น เนื่องจากในแถบความยาวคลื่นนี้เส้นใยแสงที่ผลิตได้ในเวลานั้นแสดงค่าการลดทอนต่ำสุดและแหล่งกำเนิดแสงและโฟโอดีทีเทคเตอร์ที่ทำงานในย่านความยาวคลื่นนี้จัดหาได้ง่าย โดยการลดความเข้มข้นประจุของไฮดรอกซิล (Hydroxyl ions) และประจุของโลหะ (Metalic ions)ที่เจือปนอยู่ในส่วนประกอบของเส้นใยแก้ว ทำให้ผู้ผลิตสามารถผลิตเส้นใยที่มีการสูญเสียต่ำมากในย่านความยาวคลื่น 1100 - 1600 นาโนเมตรได้ปกติความกว้างของแบนด์วิดท์ (Spectrum bandwidth) จะอ้างถึงในย่านลอง-เวฟเล็งธ์ (long-wavelength)ลักษณะสำคัญเพิ่มขึ้นหลังจากได้พัฒนาที่ความยาว 1300 นาโนเมตรแล้วเนื่องจากในย่านนี้เส้นใยซิลิกาบริสุทธิ์มีความเพี้ยนต่ำมาก

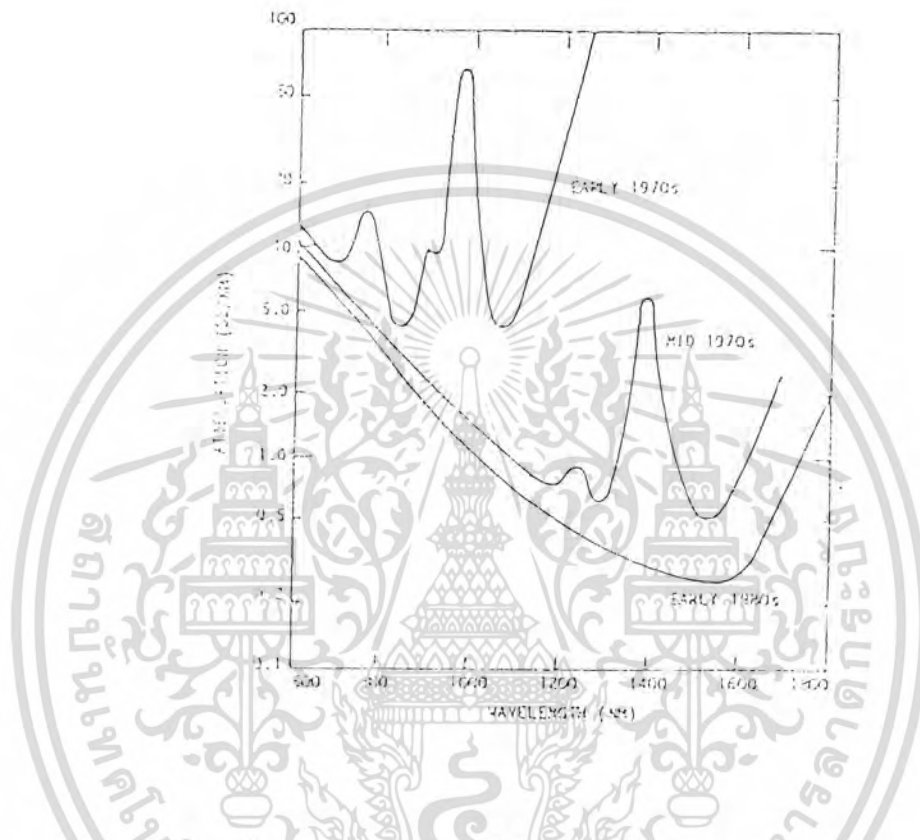


รูปที่ 2.4 อุปกรณ์หลักการเชื่อมโยงเส้นใยแสง

ได้มีการเริ่มต้นวิจัยส่วนประกอบของเส้นใยชนิดใหม่ๆ สำหรับใช้ในย่านความยาวคลื่น 3-5 ไมโครเมตร เริ่มต้นจากจุดสำคัญที่น่าสนใจเกี่ยวกับโลหะซัลไฟด์ ที่มีผลึกมากกว่าหลายผลึก เช่น ซิงค์คลอไรด์ ( $\text{SnCl}_2$ ) ธอแลียมโบรไมด์ (TBr) และธอแลียมโบรไมด์ไอโอไดด์ ( $\text{KPS}_2$ ) การพยากรณ์เป็นเพียงสมมุติฐานคาดว่าเส้นใยเหล่านี้มีการลดทอนน้อยกว่า 0.01 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ความสำเร็จจากการผลิตเส้นใยที่มีการสูญเสียต่ำเหล่านี้จะก่อให้เกิดผลต่อการสื่อสารทางไกลอย่างมาก เมื่อเคเบิลได้ติดตั้งไปแล้ว แหล่งกำเนิดแสงที่เป็นส่วนสำคัญที่จะใช้ส่งด้วยพลังงานของแสงเข้าไปในเส้นใยจะต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับคอร์ของเส้นใยแสง

สารกึ่งตัวนำไดโอดเปลียนแสง(LED)และเลเซอร์ไดโอดเหมาะสมที่จะใช้เป็นแหล่งกำเนิดเครื่องส่งเพื่อจุดประสงค์นี้ เนื่องจากเอาท์พุทของแสงสามารถมอดูเลตโดยตรงกับกระแสไฟไบอัสที่แปรค่าได้อย่างรวดเร็ว สัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเครื่องส่งอาจเป็นอนาล็อกหรือดิจิทัลอย่างหนึ่งอย่างใดก็ได้ที่เครื่องส่งจะมีวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเหล่านี้ให้เป็นสัญญาณแสงจากการแปรค่ากระแสไฟที่ไหลผ่านแหล่งกำเนิดแสงแหล่งกำเนิดแสงเป็นสแควร์-ลอร์-ดีไวซ์ (Square law Device) ซึ่งหมายความว่า การแปรผันเป็นเส้นตรง (Linear) ในวงจรรับกระแสจะมีผลตรงกันกับการเปลี่ยนแปลงเป็นเส้นตรงในวงจรออปติคอล เอาท์พุท เพาเวอร์ ในย่านความถี่ยาวคลื่น 800-900 นาโนเมตร โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดแสงเป็นโลหะผสมของ GaAlAs ที่ความยาวคลื่นที่ยาวกว่า (1100-1600 นาโนเมตร) ส่วนประกอบที่สำคัญของแหล่งกำเนิดแสงเป็นโลหะผสมของอินเดียม-แกลเลียม-อาเซนไนด์-ฟอสฟอไรต์ (InGaAsp) หลังจากสัญญาณถูกส่งเข้าไปในเส้นใยแล้วการลดทอนและความเพี้ยนจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางไปตามลำดับเนื่องจากการ กระจาย

การดูดซึม และโครงสร้างที่ทำให้แสงกระจาย ในทางเดินของแสงทางด้านรับการลดทอนและความเพี้ยนของ ออพติคอลลเพาเวอร์เอ๊าท์พุทจะถูกตรวจจับโดยโฟโต้ดีเทคเตอร์



รูปที่ 2.5 การลดทอนของเส้นใยแสงขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น

ในการทำงานเดียวกันกับแหล่งกำเนิดแสงโฟโต้ดีเทคเตอร์ก็เป็นสควอว์-ดีไวซ์ด้วยเหมือนกันเนื่องจากมันเปลี่ยนพลังงานที่ได้รับเป็นกระแสไฟฟ้าทางเอ๊าท์พุท (Photo-Current) สารกึ่งตัวนำ PIN และ APD โฟโต้ดีเทคเตอร์ทั้งสองตัวนี้ส่วนใหญ่ใช้ในการเชื่อมโยงการสื่อสารทางแสงอุปกรณ์ทั้งสองชนิดนี้ให้ประสิทธิภาพและการตอบสนองต่อความเร็วสูงมาก สำหรับการใช้งานปกติ APD โฟโต้ดีเทคเตอร์จะใช้กับสัญญาณแสงที่รับได้ที่มีเพาเวอร์ระดับต่ำเนื่องจากมีความไวสูงและโครงสร้างภายในมีการขยาย ซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำตัวของมัน ซิลิคอนโฟโต้ดีเทคเตอร์ใช้ในย่านความยาวคลื่น 800-900 นาโนเมตร ออพติคอลลดีเทคเตอร์ชนิดต่างๆ สามารถนำมาใช้กับความยาวคลื่นที่ยาวกว่าได้ ส่วนประกอบที่ถูกเลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตอนแรกในย่านความยาวคลื่น 1100-1600 นาโนเมตรก็คือโลหะผสมอินเดียม-แกลเลียมอาเซไนต์ (InGaAs)

การออกแบบเครื่องรับมีความยุ่งยากมากกว่าของเครื่องส่ง เนื่องจากมันต้องมีการขยายสัญญาณและมีการสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่จากสัญญาณที่ได้รับจากโฟโตดีเทคเตอร์ที่มีระดับสัญญาณต่ำที่มีอยู่เป็นประจำ คุณภาพของเครื่องรับที่ต้องการเป็นอันดับแรกก็คือ ค่าออปติคคอลลเพาเวอร์(Optical Power) ต่ำสุดที่จำเป็นต้องใช้ ในการคงค่า เออเรอร์พรอพเบบิลิตี (Error Probability) สำหรับระบบดิจิตอล(Digital) หรือ S/N สำหรับระบบอนาลอกให้ได้ตามกำหนด สำหรับแต่ละดาต้า-เรท (Data Rate) ที่ต้องการ เราจะเห็นได้ว่าความสามารถของเครื่องรับที่จะบรรลุผลในระดับที่ต้องการนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของโฟโตดีเทคเตอร์ สิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบ และคุณสมบัติของภาครขยายในเครื่องรับ

เมื่อสัญญาณแสงเดินทางไปในเส้นใยแสงในระยะทางพอสมควรสัญญาณจะถูกลดทอนเกิดความเสียหายถึงองศา(Degree Of Distrotion เป็น %)ที่จะต้องการทวนสัญญาณในสายรับ-ส่ง เพื่อที่จะทำการขยายสัญญาณสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่สถานีทวนสัญญาณแสงประกอบด้วยเครื่องรับและเครื่องส่ง ติดตั้งแบบหลังชนกัน ภาครเครื่องรับตรวจรับสัญญาณแสงและเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าซึ่งต้องทำการขยายสัญญาณสร้างขึ้นมาใหม่ และส่งสัญญาณไฟฟ้าให้กับภาครเครื่องส่งภาครเครื่องส่งเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้ากลับเป็นสัญญาณแสงใหม่แสงเข้าไปในเส้นใยแสงเงื่อนไขที่จะเป็นตัวกำหนดรายละเอียดว่าเมื่อไร จึงจะต้องการสถานีทวนสัญญาณแสงในระบบเชื่อมโยงทางแสงจะได้กล่าวพร้อมกันกับระบบเวฟเล็งธ์ - ดิวีชัน - มัลติเพล็กซ์ (Wave Length Division- Multiplexing) และระบบการจัดการเรื่องไลน์โคดดิ้ง (Line Coding)

#### 2.4 ระบบเส้นใยแสง

แรกเริ่มการนำเทคโนโลยีของเส้นใยแสงมาใช้ มีจุดประสงค์เพื่อการเชื่อมโยงระบบโทรคมนาคมแบบดิจิตอลระหว่างจุดต่อจุดการเชื่อมโยงที่กำเนิดขึ้นครั้งแรก ส่วนใหญ่ได้ออกแบบสำหรับขนาดบิตจาก 2-50 Mb/s อุปกรณ์ไฟฟ้า-แสงที่ใช้ในระบบเหล่านี้ทำงานในย่านความยาวคลื่น 810-890 นาโนเมตร ซึ่งการสูญเสียจากการส่งผ่านเคเบิลใยแสงมีค่าที่กำหนดให้ 4-6 เดซิเบลต่อกิโลเมตร หลังจากการวางและต่อเคเบิลเข้าด้วยกันแล้ว ทำให้ได้ระยะทางระหว่างเทอร์มินอล 5-10 กิโลเมตร โดยไม่ต้องมีสถานีทวนสัญญาณซึ่งทำให้ไม่ต้องใช้บ่อพักสำหรับสถานีทวนสัญญาณในพื้นที่ที่มีชุมชนหนาแน่นและทำให้ลดสถานีทวนสัญญาณในโครงข่ายโทรคมนาคมในนครหลวงให้ไกลออกไปได้อีกในยุคที่สองของระบบ

ทำงานที่ความยาวคลื่น 1.3 ไมโครเมตรซึ่งการสูญเสียจากการส่งผ่านเคเบิลใยแสง ประมาณ 0.5 เดซิเบล ต่อกิโลเมตรซึ่งสามารถขยายการส่งสัญญาณให้ไกลออกไปได้อีก โดยไม่ต้องใช้สถานีทวนสัญญาณ

นอกจากการใช้งานด้านโทรคมนาคมแล้ว ก็ได้มีการติดตั้งเชื่อมโยงใยแสงในโรงไฟฟ้ากำลัง การเชื่อมโยงเหล่านี้ ใช้ในการส่งข่าวสารสำหรับการป้องกันกรรณภัย และการควบคุมซึ่งมีความสำคัญที่สุดในโรงไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่และประกอบด้วยเครื่องมือทันสมัยข่าวสารดังกล่าวนี้จะถูกส่งโดยระบบการสื่อสารไมโครเวฟธรรมดาพร้อมกับสายส่งกำลังต่างๆ และกับระบบการสื่อสารอย่างไรก็ตามในเมืองใหญ่ๆ สิ่งรบกวนที่เกิดจากการวางโครงข่ายสายไฟฟ้าแรงสูงขนาด 276 กิโลโวลต์ ระบบการสื่อสารด้วยไมโครเวฟที่มีคุณภาพสูง ไม่สามารถที่จะดำเนินการด้วยความมั่นใจได้ อาคารสูงๆ ก็เป็นอุปสรรคสำคัญสำหรับการส่งสัญญาณไมโครเวฟด้วยใยแสงมีภูมิคุ้มกันต่อการเหนี่ยวนำสิ่งรบกวนทำให้มีการส่งข้อมูลที่มีความจุสูงๆ ได้ด้วยเหตุนี้จึงเป็นอีกระบบหนึ่งของการสื่อสารที่ดีมาก

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีใยแสงขยายเข้าไปในวงจรชุมสายผู้เช่านี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงข่ายโทรคมนาคมที่เชื่อมต่อกับเครื่องปลายทางของผู้เช่าที่ตั้งอยู่ใกล้กับชุมสายกลางสื่อสารนำส่งที่ใช้กันมานานในโครงข่ายนี้คือ สายคู่ใช้ทองแดง สายโซลิดทองแดงเหล่านี้ได้มีการปรับปรุงเป็นอย่างดี อายุการใช้งาน และการลงทุนสำหรับการใช้งานอย่างคุ้มค่าเป็นเวลานานหลายสิบปีเพื่อใช้ส่งสัญญาณเสียง คำพูด อย่างไรก็ตามยังไม่เพียงพอสำหรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นสำหรับการให้บริการหลายอย่างที่กว้างขึ้นอยู่กับที่อยู่อาศัยหรือสำนักงานเช่น การชำระเงิน หรือการศึกษาทางโทรทัศน์ ห้องสมุด และการค้นหาข่าวสารการประมวลผลทางวิดีโอ อิเล็กทรอนิกส์เมด การธนาคาร และการซื้อของ

นี่คือสิ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างมากที่จะนำไปสู่การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีใยแสงกับวงจรผู้เช่าจาก ชุมสายท้องถิ่นกับที่อยู่อาศัยหรือสำนักงาน ในทางตรงข้ามกับสายคู่โซลิดทองแดง ใยแสงจะให้การลดทอนต่ำ ส่งข้อมูลได้จำนวนมาก มีภูมิคุ้มกันต่อฟ้าผ่าและการรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่มี การรบกวนระหว่างเส้นใย โดยการนำลักษณะเด่นๆ เหล่านี้มาใช้ใยแสงสำหรับวงจรผู้เช่าจะต้องออกแบบไว้ล่วงหน้าทั้งปัจจุบันและอนาคต สำหรับความต้องการการบริการหลายๆ อย่างที่เพิ่มมากขึ้น

## 2.5 แสงและอุปกรณ์ทางแสง

### 2.5.1 คุณสมบัติและคุณลักษณะทางแสง

#### ประวัติของแสง

หลายศตวรรษมาแล้วที่มนุษย์ให้ความสนใจปรากฏการณ์ของแสง และได้พยายามศึกษาธรรมชาติของแสงในงานด้านโทรคมนาคมการปรากฏตัวของเส้นใยแสงทำให้สามารถส่งข่าวสาร (Information) โดยใช้แสงได้

ในสมัยโบราณได้พบพยานหลักฐานถึงความสนใจของประชาชนที่เกี่ยวกับแสงได้ในถ้ำต่างๆ นักปราชญ์ชาวกรีกมีความสนใจในเรื่องของแสงด้วยเหมือนกันและ EUCLID ได้สังเกตว่าแสงเดินทางเป็นเส้นตรง อย่างไรก็ตามความจริงแล้วนักวิทยาศาสตร์เพิ่งเริ่มศึกษาเกี่ยวกับแสงในศตวรรษที่ 17 นี้เอง

DESCARTES ได้ยืนยันเกี่ยวกับแสงไว้อย่างชัดเจนว่าเป็นสสารที่กระจุกกระจายซึ่งมากระทบกับนัยตา และยังได้อธิบายถึงวิธีการสะท้อนกลับและการหักเหของแสงอีกด้วย

NEWTON ได้แสดงถึงลักษณะของแสงเมื่อแสงอาทิตย์ผ่านแท่งปริซึมทำให้เกิดสีรุ้ง  
HUYGENS ได้กำหนดทฤษฎีของคลื่น

ปลายศตวรรษที่ 19 MAXWELL ได้อธิบายเรื่องของแสงในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและ MICHELSON ได้พิสูจน์ว่าความเร็วของแสงคงที่

แนวความคิดเหล่านี้เป็นรากฐานของทฤษฎีสัมพัทธภาพของ Einstein และ Planck ได้แสดงให้เห็นว่าแสงประกอบด้วยอนุภาคของพลังงาน ซึ่งขัดกับทฤษฎีของคลื่น ในปี 2467 Louie de Broglie ได้อธิบายลักษณะสองประการของแสงคือเป็นคลื่นและอนุภาค

### 2.5.2 การเปล่งแสงและการดูดกลืนแสงของการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็กอะตอม

ในปี พ.ศ. 2452 Rutherford ได้ให้ความสนใจในเรื่องโครงสร้างของอะตอมเป็นแนวทางทดลองและข้อสมมุติอันไม่ต้องพิสูจน์ของ BOHR และ SOMMERERFORD ว่าวัตถุที่ล้อมรอบตัวเรา เช่น ของแข็งของเหลว และ ก๊าซอยู่ในรูปของอะตอมที่เชื่อมโยงเข้าด้วยกันในวิถีทางต่างๆ กัน

#### นิวคลีออนส์ (NUCLEONS)

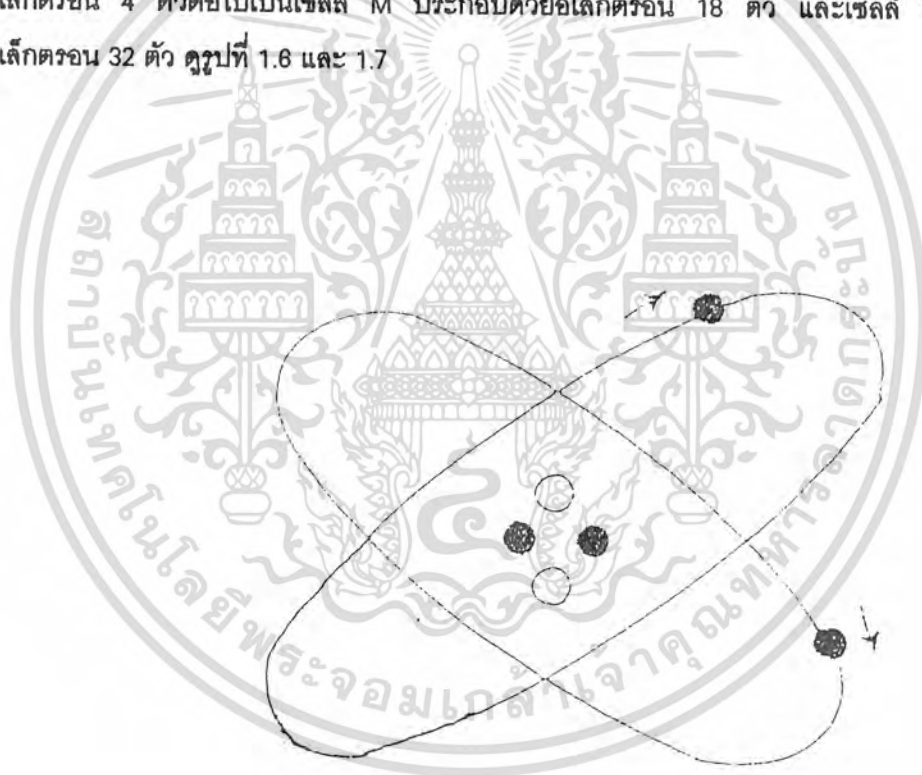
ที่จุดศูนย์กลางของอะตอม คือ นิวเคลียส ประกอบด้วยอนุภาคของสสารที่เรียกว่า นิวคลีออนส์ (Nucleons) มี 2 ชนิดคือ

1) โปรตอนซึ่งเป็นประจุบวก จำนวนของโปรตอนของธาตุแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน (เช่น)นิวเคลียสของอะตอมไฮโดรเจนประกอบประกอบด้วยโปรตอน 1 ตัว, อะตอมของยูเรเนียมมีโปรตอน 92 ตัว , และอะตอมของซีเลียมมีโปรตอน 105 ตัว)

2) นิวตรอน ซึ่งเป็นกลางทางไฟฟ้า (ไม่มีประจุ)

#### อิเล็กตรอน

อิเล็กตรอนซึ่งเป็นประจุลบโคจรรอบๆ นิวเคลียส เพื่อความเหมาะสมพูดได้ว่ากาจรของอิเล็กตรอนแต่ละตัวได้กำหนดวงไว้อย่างแน่นอน อิเล็กตรอนกระจายอยู่ในชั้นต่างๆ (เรียกว่าเชลล์) รอบ ๆ นิวเคลียส เชลล์ที่อยู่ใกล้นิวเคลียส (เชลล์ K) ประกอบด้วยอิเล็กตรอน 2 ตัว เชลล์ต่อไปคือ L ประกอบด้วยอิเล็กตรอน 4 ตัวต่อไปเป็นเชลล์ M ประกอบด้วยอิเล็กตรอน 18 ตัว และเชลล์ N ประกอบด้วยอิเล็กตรอน 32 ตัว ดูรูปที่ 1.6 และ 1.7



รูปที่ 2.6 อะตอมของซีเลียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะตอมของฮีเลียมมีนิวเคลียสประกอบด้วยโปรตรอน 2 ตัว และนิวตรอน 2 ตัว โดยมีอิเล็กตรอน 2 ตัว โคจรรอบๆ นิวเคลียส

อะตอมของคาร์บอน มีนิวเคลียสประกอบด้วยโปรตรอน 6 ตัว และนิวตรอน 6 ตัว โดยมีอิเล็กตรอน 6 ตัว โคจรรอบๆ นิวเคลียส (มีอิเล็กตรอน 2 ตัว ในเชลล์ K และมีอิเล็กตรอน 4 ตัว อยู่ในเชลล์ L) แรงดึงดูดของอิเล็กตรอนควบคุมโดยกฎของควอนตัม-แมชชีน(Quantum mechanics) ความจริงวงโคจรจะเปลี่ยนไปในแต่ละครั้งในเวลาเคลื่อนที่ และไม่ทราบทางเดินที่แน่นอนของอิเล็กตรอนจากเหตุผลอันนี้ เราพูดถึงกลุ่มของอิเล็กตรอนที่ขึ้นๆ ลงๆ ที่เกิดขึ้นเป็นประจำมาแทนแนวความคิดของ 'การโคจร' สำหรับการโคจรและกล่าวถึงอะตอมในเทอมของความเป็นไปได้ของการค้นพบอิเล็กตรอนอยู่ในแถบนั้น



รูปที่ 2.7 อะตอมของคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ไอออน

โดยทั่วไปแล้ว อะตอมเป็นกลางทางไฟฟ้า เนื่องจากมันประกอบด้วย โปรตอน และอิเล็กตรอน ครอบครองเป็นจำนวนเท่าๆ กัน อย่างไรก็ตามภายใต้ภาวะบางอย่างอาจจะมีอิเล็กตรอนตัวหนึ่งหรือมากกว่า หลุดออกไปจากวงโคจรของมัน และทำให้อิเล็กตรอนเป็นประจุบวก ในทางกลับกันถ้าอิเล็กตรอนที่โคจรรอบๆ นิวเคลียสมากเกินไป อะตอมกลายเป็นประจุลบ

### โปรตอน

ในบางครั้งนิวเคลียสไม่คงที่ โปรตอนอาจเปลี่ยนกลับเป็นนิวตรอนในขบวนการอย่างนี้ อิเล็กตรอนบวก ( หรือ Positron) ถูกปล่อยออกมา ซึ่งจะพบได้ทันทีว่าอิเล็กตรอนสูญหายไปหนึ่งตัว ที่ หลุดออกจากโฮลส์ (holes) สำหรับอนุภาค 2 ตัวของพลังงานซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วของแสง ขบวนการนี้รู้จักกันในชื่อของ ภาวะการทำลายล้าง (Annihilation) ของอิเล็กตรอนและโปรตรอน และนำไปสู่การผลิตแม่เหล็กไฟฟ้ารังสีแกมมา

ในปี 2443 PLANCK ได้สังเกตว่าการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างสสารกับการแผ่รังสีของคลื่น แสงเป็นลักษณะไม่ต่อเนื่อง และตั้งเป็นทฤษฎี ควอนตัม อนุภาคของพลังงานนี้ได้ชื่อว่าเอ็นเนอร์ยีควอน ตา (Energy quanta) และคือ โปรตรอนนั่นเอง

ในการทดลองของ PLANCK พลังงาน  $E$  ที่ปล่อยออกมาเท่ากับผลคูณ  $E=mc^2$  ซึ่งคือ มวลของ อิเล็กตรอนที่สูญหายไป 2 ตัวในแต่ละครั้งพลังงาน  $E$  นี้เป็นส่วนหนึ่งของความถี่ของการแผ่กระจายที่ปล่อย ออกมาด้วยเหมือนกัน

$E=h\nu$  ซึ่ง  $h$  คือค่าคงที่รู้จักกันในนามของค่าคงที่ของ PLANCK ผลคูณ  $h$  คือค่าพลังงานของ โปรตอนอนุมาณได้ว่าความถี่ที่แผ่กระจายยิ่งสูงมากพลังงานที่เกิดขึ้นในรูปของโปรตอนก็มีมากขึ้น และ รังสีที่เกิดขึ้นก็มีอำนาจทะลุทะลวงมากขึ้นด้วย ตารางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงให้เห็นว่าทำไมรังสีอุลตรา ไวโอเลตถึงผ่านผิวหนังของเราได้ รังสีเอ็กซ์ผ่านร่างกายของเราได้ตลอดรังสีแกมมาผ่านกำแพงคอนกรีต ได้ และรังสีคอสมิคผ่านตะกั่วที่มีความหนา 1 เมตรได้

สังเกตว่าแสงที่มองเห็นได้คือโปรตอนประกอบด้วยพลังงานมากพอที่จะเคลื่อนอิเล็กตรอนหรือ จะพูดว่าเป็นกระแสไฟฟ้าก็ได้



### รังสีอินฟราเรด

#### การค้นพบ

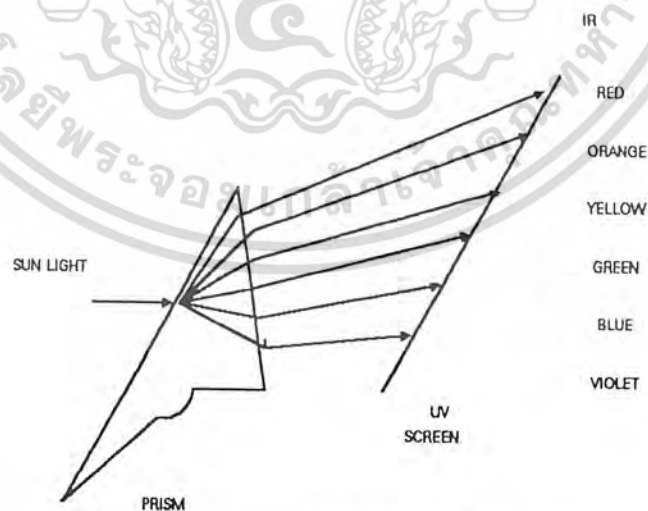
ต้นศตวรรษที่ 19 HERSCHEL นักดาราศาสตร์ชาวอังกฤษได้ค้นพบว่าการแผ่กระจายของรังสีอินฟราเรดในขณะที่เขาพยายามที่จะสังเกตแสงอาทิตย์ผ่านกล้องจุลทรรศน์โดยใช้แผ่นกรองแสงสีดำเขาประหลาดใจที่รู้สึกว่าได้สัมผัสกับความร้อนเขาใช้เทอร์โมมิเตอร์ตรวจสอบโซลาร์สเปกตรัม(Solar spectrum)ทั้งหมดและสังเกตพบว่าการแผ่กระจายของรังสีบางอย่างที่มองไม่เห็นด้วยนัยน์ตามีกำลังความร้อนผิดปกติ เขาได้เขียนรายงานถึง Royal Society ในกรุงลอนดอน "Solar radiation is at least partially, is not principally, if I may use the expression, invisible light" ครั้งแรกรังสีนี้เรียกรวมกันว่า "รังสีอินฟราเรด" แห่งกำเนิด

สสารที่อยู่ในลักษณะที่สั้นตลอดเวลาและที่อยู่รอบตัวเราแผ่กระจายรังสีอินฟราเรด แห่งกำเนิดที่รู้จักกันดีและเห็นได้ง่ายที่สุดคือแสงอาทิตย์ หลอดไฟ ทีวี และของปรอทหลอดไฟ ทีวี และของจากธาตุซีเซียมหลอดไส้แสงสว่าง (คาร์บอนหรือตั้งสเตน) เป็นต้น

ส่วนใหญ่เลเซอร์จะปล่อยรังสีในแถบอินฟราเรด โดยเฉพาะกรณีของคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ (+10 ไมโครเมตร) ที่ใช้ในศัลยกรรมทางการแพทย์

ตัวรับรังสีอินฟราเรด บางอย่างที่มีความไวมากสามารถตรวจพบแสงอินฟราเรดที่อยู่ไกลออกไปถึง 100 กิโลเมตรได้ การส่งผ่านชั้นบรรยากาศ

การส่งผ่านชั้นบรรยากาศ



รูปที่ 2.8 การกระจายของแสงอาทิตย์ที่ผ่านปริซึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากรังสีอินฟราเรดมีความยาวคลื่นยาวกว่าแสงที่ตามองเห็นได้จึงมีการหักเหน้อยกว่าฉะนั้นอุปสรรคต่างๆเช่น เมฆหมอกจึงมีผลน้อยกว่า จากเหตุนี้จึงได้มีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในการถ่ายภาพทางอากาศ

ระหว่างสงครามโลกครั้งที่สอง เยอรมันได้ใช้เทคโนโลยีได้เลนส์ซึ่งมีความยาวของจุดรวมแสง 30 เมตรเพื่อถ่ายภาพหน้าผาที่โดเวอร์(Dover)และสายอากาศรับส่งของอังกฤษจากชายฝั่งทะเลของประเทศด้วยแสงอินฟราเรดแม้จะมีหมอกจากทะเลซึ่งอาจทำให้มองไม่เห็น

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าโมเลกุลของไนโตรเจนและออกซิเจนในอากาศ ยอมให้แสงอินฟราเรดผ่านได้ตลอด แต่จะนำมาใช้กับก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ หรือไอน้ำไม่ได้ซึ่งก๊าซที่กล่าวถึงนั้นจะเลือกดูดกลืนแสงเฉพาะบางความยาวคลื่นเท่านั้น

### 2.5.3 รังสีที่มองเห็นได้

การทดลองของนิวตัน



รูปที่ 2.9 การสังเคราะห์แสงโดยการหมุนแผ่นกลม

การทดลองครั้งแรกของนิวตัน ประกอบด้วยการให้ลำแสงของแสงอาทิตย์ผ่านปริซึม หลังจากที่ได้มีการหักเหของแสงในปริซึมแล้วลำแสงพุ่งตรงไปยังจอสีขาวและจะปรากฏเป็นแถบสีรุ้ง

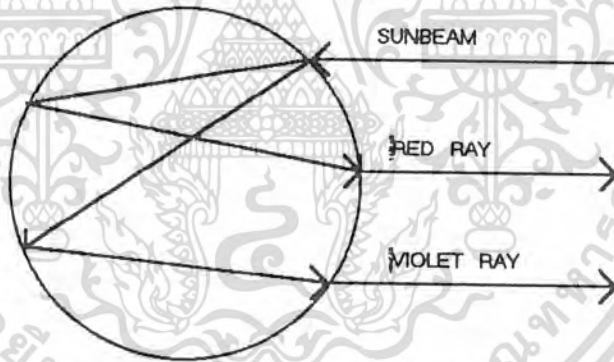
จากการวิเคราะห์แสงอาทิตย์โดยวิธีนี้เห็นได้ว่ามันประกอบด้วยรังสีต่างๆเป็นจำนวนมากมาย โดยแต่ละรังสีจะมีความยาวคลื่นและสีของมันเอง การแผ่รังสีแต่ละรังสีเรียกว่า "โมโนโครเมติกเรดิเอชัน" (monochromatic radiation) แถบของการแผ่รังสีซึ่งนัยตาของเราจับได้เริ่มจากปลายสีแดงสุด(ความยาวคลื่น 0.75 ไมโครเมตร) ที่ปลายแต่ละด้านของแถบแสงที่มองเห็นได้คือแสง อินฟราเรดและแสงอุลตราไวโอเล็ต ซึ่งเป็นแสงที่มองไม่เห็น

แสงสีแดง หมายถึงความยาวคลื่นสีแดง 0.65 ไมโครเมตร

แสงสีส้ม	หมายถึงความยาวคลื่นสีส้ม	0.60 ไมโครเมตร
แสงสีเหลือง	หมายถึงความยาวคลื่นสีเหลือง	0.58 ไมโครเมตร
แสงสีเขียว	หมายถึงความยาวคลื่นสีเขียว	0.53 ไมโครเมตร
แสงสีน้ำเงิน	หมายถึงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน	0.47 ไมโครเมตร
แสงสีม่วง	หมายถึงความยาวคลื่นสีม่วง	0.41 ไมโครเมตร

การนำเอาสีความเข้มมารวมในแถบสีนี้ เป็นความผิดพลาดอย่างหนึ่งสีความเป็นสีที่ได้จากการสังเคราะห์ โดยการผสมสีน้ำเงินกับสีเทาเข้าด้วยกัน ภายหลังจากการวิเคราะห์แสงอาทิตย์เข้าไปยังองค์ประกอบของมันที่แผ่กระจายออกไปนิวตันได้พยายามอ้างเหตุผลสรุปโดยตรงจากสมมุติฐานและกฎเกณฑ์ที่มีอยู่จากแสงอาทิตย์ เขาได้ทำสีลงบนแผ่นกระดาษแข็งกลมด้วยแถบสีดังในรูปที่ 2.9 เมื่อหมุนแผ่นกระดาษกลมด้วยความเร็ว นิวตันได้สังเกต จากผลที่ได้รับคือ มีสีเพิ่มขึ้นมาจากภาพดวงตาของแสงที่เห็นปรากฏว่าแผ่นกระดาษกลมนั้นเป็นสีขาว เขาได้ประสบความสำเร็จในการสังเคราะห์แสงสีขาว

#### 2.5.4 สีรุ้ง



รูปที่ 2.10 การกระจายแสงจากหยดน้ำที่ทำให้เกิดผลของสีรุ้ง

นิวตันเป็นนักวิทยาศาสตร์คนแรก ที่พบความหมายของสีรุ้งเมื่อดวงอาทิตย์ฉายแสงหลังฝนตก หยดน้ำในชั้นบรรยากาศแสดงตัวเป็นปริซึมรังสี ที่เกิดจากการหักเหจากหยดน้ำแต่ละหยดที่มุมต่างๆ กัน และนักสังเกตการณ์สามารถเห็นรังสีได้เพียงรังสีเดียวที่ตรงกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ หยดน้ำ และนัยตาเท่านั้น

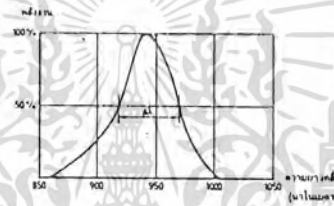


และมีทิศทางที่แน่นอนในกรณีที่แสงจากแหล่งกำเนิดมีลักษณะกระจายเป็นมุมกว้างสามารถใช้อุปกรณ์ค้ำปลิงแสง เช่น เลนส์นูนเข้ามาช่วยเพื่อรวมแสงส่วนใหญ่พุ่งเข้าสู่ไฟเบอร์ออปติกได้

3. ความยาวคลื่นของแสงที่ได้ต้องมีความเหมาะสมกับไฟเบอร์ออปติกมากที่สุดมีค่าประมาณ 1.55 ไมครอน รองลงมาอาจได้แก่ 1.3 ไมครอน และ 0.82 ไมครอน

4. ไลน์วิดธ์ (line width) ของแสงที่ได้จะต้องมีค่าน้อยๆ เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลปริมาณมากๆ ได้

5. ช่วงเวลาตอบสนองของแหล่งกำเนิด หรือช่วงเวลาแหล่งกำเนิดได้รับสัญญาณไฟฟ้าแล้วสร้างสัญญาณแสงออกมาต้องมีค่าสั้นมากๆ อันจะมีผลทำให้ได้วงจรถ่ายทอดที่สามารถส่งข้อมูลปริมาณมากๆ ได้ดี



รูปที่ 2.11 แสดงไลน์วิดธ์ของแหล่งกำเนิดแสง

6. พลังงานแสงต้องมีค่าคงที่ต่อเนื่องตลอดเวลา และไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ อันเนื่องมาจากผลของอุณหภูมิ และสภาพแวดล้อม

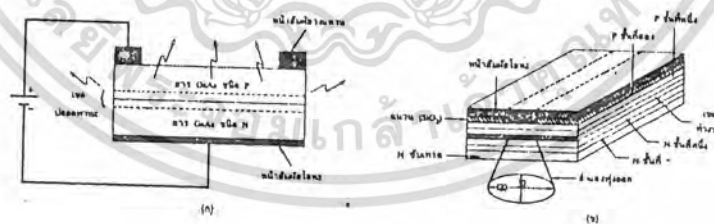
โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้จะขึ้นอยู่กับระบบ เช่น ในระบบที่มีระยะทางสื่อสารไม่ไกลนัก หรือระบบที่ใช้ในการศึกษา อาจใช้ LED เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณได้ ส่วนในระบบที่ต้องการประสิทธิภาพสูงๆ จะใช้แสงเลเซอร์เป็นตัวนำข้อมูล ซึ่งอาจอยู่ในลักษณะของเลเซอร์ไดโอด(LED)หรือเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ชนิดต่างๆ ก็ได้ ในที่นี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์กำเนิดแสงที่เป็น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

### แหล่งกำเนิดแสง

LED (Light Emitting Diode) หรือก็คือ ไดโอดที่ถูกออกแบบโครงสร้างให้สามารถแปลงพลังงานแสงออกมาได้เมื่อมีการไบแอสที่ถูกต้อง ลักษณะโครงสร้างของ LED แบบพื้นฐานที่ใช้ในระบบไฟเบอร์ออปติก แสดงดังรูปที่ 2.12 (ก) ซึ่งประกอบไปด้วยสารชนิดกึ่งตัวนำ GaAs (LED ทั่วไปจะใช้สารพวกเจอร์เมเนียมหรือซิลิกอน) ถูกโด๊ปเป็นชนิด P (มีโฮลหรือประจุบวกมากกว่า) และชนิด N (มีอิเล็กตรอนอิสระมากกว่า) วางต่อกัน หลักการทำงานก็เหมือนไดโอดหรือ LED ธรรมดาทั่วไป เมื่อมีการไบแอสถูกทางด้วยค่าที่เหมาะสม จะเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไปยังโฮลในระหว่างช่วงรอยต่อของสาร P-N (ที่เรียกว่าบริเวณดีพลีชันหรือเขตปลอดพาหะ) และมีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของชั้นอิเล็กตรอน เกิดการคายพลังงานออกมาภายนอกในรูปแบบของแสง

บางครั้งสารที่ใช้ทำ LED อาจเป็นประเภทกึ่งตัวนำ GaAsP, GaP, อะลูมิเนียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ (AlGaAs) หรืออินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ (InGaAsP) ก็ได้ เพื่อเปลี่ยนแปลงขนาดความยาวคลื่นแสงที่ได้

แสงที่เปล่งออกมาจาก LED ในช่วงรอยต่อ จะมีลักษณะกระจายไม่มีแนวทางเดียวกันนัก และมักทำมุมค่อนข้างกว้างทำให้แสงที่ได้มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำการแก้ไขทำได้ปรับปรุงโครงสร้างของสารให้แสงมีการรวมตัวออกมาทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (ข) ซึ่งลักษณะของแสงที่เปล่งออกมามักจะมีพื้นที่ภาคตัดขวางเป็นรูปวงรี โดยมีมุมกระจายแสงในแนวตั้ง (30 องศา) เล็กกว่า มุมกระจายแสงในแนวนอน (120 องศา)

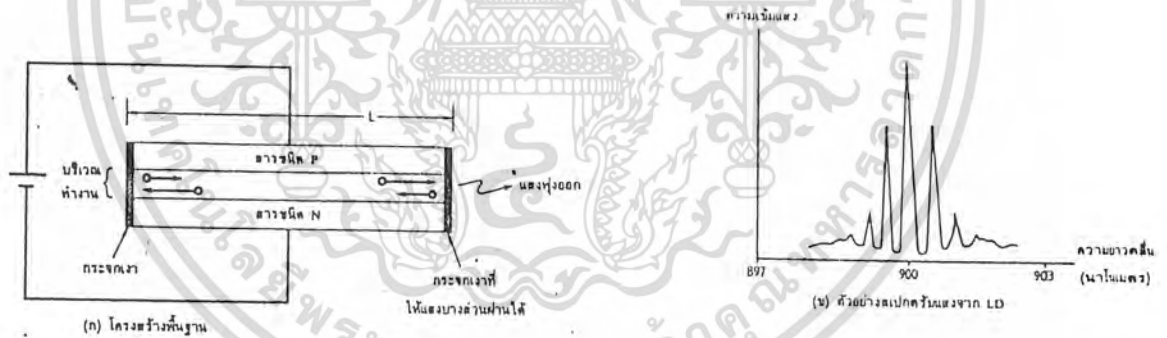


รูปที่ 2.12 โครงสร้างภายในของ LED

เลเซอร์ไดโอด(LED)

เลเซอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทเดียวกับไดโอดแต่ถูกออกแบบให้สามารถเปล่งแสงเลเซอร์ออกมาได้ลักษณะของแสงเลเซอร์เป็นแสงที่เป็นระเบียบมีทิศทางการพุ่งของแสงไปในทางเดียวกันและมีเฟสตรงกันทำให้มีความเข้มแสงสูงมากลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของเลเซอร์ไดโอด ดังรูปที่ 2.13 ซึ่งประกอบด้วยสารแบบเดียวกับที่ใช้ทำ LED ดังกล่าวมาแล้วตอนต้นแต่ที่ปลายทั้งสองด้าน ถูกเคลือบด้วยสารที่ทำหน้าที่เสมือนกระจกเงา

เมื่อมีการไบแอสที่เหมาะสมทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโฟตอนในระหว่างเขตปลอดพาหะเมื่อโฟตอนเคลื่อนที่ไปกระทบโฟตอนตัวอื่นจะมีการถ่ายเทพลังงานทำให้เกิดมีโฟตอนตัวใหม่เพิ่มขึ้นมากมาย และสะท้อนกลับไปกลับมาบริเวณรอยต่ออันเนื่องมาจากกระจกเงาที่ปลายทั้งสอง พฤติกรรมเช่นนี้ทำให้เกิดการสะสมพลังงานภายในมากขึ้นอย่างเป็นระเบียบเมื่อพลังงานมีค่ามากพอจะพุ่งทะลุกระจกเงาด้านหนึ่งออกมาเป็นแสงเลเซอร์



รูปที่ 2.13 เลเซอร์ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการงานที่กล่าวมานี้เป็นเพียงแนวทางการเกิดแสงเลเซอร์อย่างคร่าวๆเท่านั้น

การไบแอสเลเซอร์ไดโอดให้ทำงานจนเปล่งแสงเลเซอร์ออกมาได้ขึ้นอยู่กับค่าของกระแสที่ป้อนให้กับตัวมัน โดยจะต้องมีค่าสูงกว่าค่ากระแสเทรชโฮลด์เลเซอร์ไดโอดยังคงทำงานอยู่ แต่แสงที่เปล่งออกมาจะมีลักษณะสะเปะสะปะคล้ายกับการเปล่งแสงของ LED ธรรมดาในอดีตกระแสเทรชโฮลด์ของเลเซอร์ไดโอดมีค่าสูงมากทำให้การใช้งานเลเซอร์ไดโอดถูกจำกัดในวงแคบเพราะต้องออกแบบวงจรที่ค่อนข้างยุ่งยากแต่ในปัจจุบันเลเซอร์ไดโอดถูกออกแบบให้ใช้กระแสเทรชโฮลด์เพียงไม่กี่มิลลิแอมป์ทำให้สามารถสร้างวงจรขับหรือไดเวอร์ขึ้นได้ง่ายแต่ก็ยังน่าเสียดายที่เมืองไทยยังไม่มีใครกล้าส่งเลเซอร์ไดโอดเข้ามาจำหน่าย มิฉะนั้นนักอิเล็กทรอนิกส์บ้านเราคงมีอะไรให้เล่นได้อีกมากมายทีเดียว

### อุปกรณ์รับสัญญาณแสง

อุปกรณ์รับสัญญาณแสงหรือโฟโตดีเทกเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นข้อมูลทางไฟฟ้าคุณสมบัติที่สำคัญของโฟโตดีเทกเตอร์ในระบบสื่อสารได้แก่

1. ต้องมีความไวในการรับแสงได้ดีเฉพาะในช่วงที่ต้องการเนื่องจากการส่งสัญญาณแสงจะใช้ความยาวคลื่นแสงในช่วงคลื่นเฉพาะดังนั้นหากแสงอื่นที่มีความยาวคลื่นไม่เกี่ยวข้องกันมาตกกระทบพร้อมกันย่อมทำให้ข้อมูลมีการผิดพลาดได้
2. เวลาในการตอบสนองสัญญาณต้องสั้นมากกล่าวคือเมื่อมีแสงตกกระทบโฟโตดีเทกเตอร์ต้องเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยเวลาที่สั้นที่สุดเพื่อที่ว่าข้อมูลจำนวนมากใช้รับส่งด้วยความเร็วสูงได้
3. ในระบบสื่อสารแบบอะนาล็อกต้องใช้โฟโตดีเทกเตอร์ชนิดลิเนียร์เพื่อลดการผิดเพี้ยนของสัญญาณลงให้น้อยที่สุด
4. สัญญาณรบกวนภายใน อันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมต้องมีค่าน้อยที่สุด

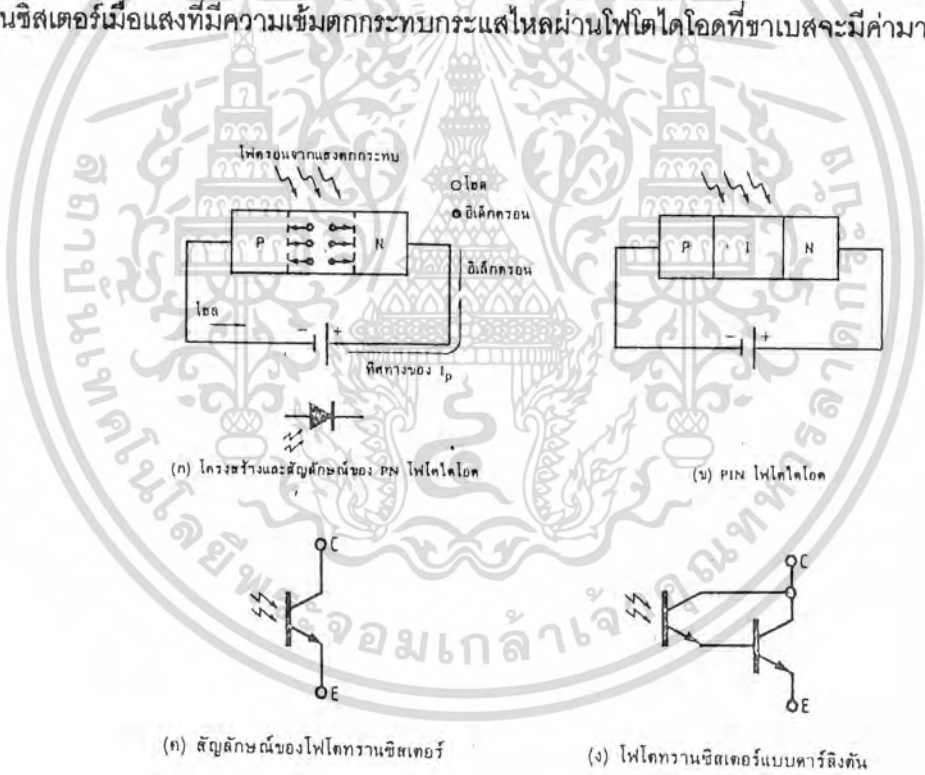
โฟโตดีเทกเตอร์ที่ใช้ในงานห้องทดลองมีหลายชนิดเริ่มจากโฟโตไดโอดธรรมดา ดังแสดงในรูปที่ 2.14 มีหลักการงานตรงข้ามกับไดโอดเปล่งแสงหรือ LED กล่าวคือเมื่อไดโอดได้รับพลังงานแสงจากภายนอก จะทำให้เกิดโฟตอนขึ้นในบริเวณปอดพาหะหรือรอยต่อ P-N เกิดเป็นกระแสรั่วไหลหรือกระแสมืด (dark current) ไหลในช่วงนี้หากมีการไบแอสกลับให้แก่ไดโอดบริเวณปอดพาหะจะขยายกว้างขึ้นเป็นผลให้มีกระแสไหลมากขึ้นทิศทางการไหลของกระแสเนื่องจากแสงนี้มีทิศทางเดียวกับการไบแอสกลับคือ จะไหลจากขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟเข้าสู่ขั้วแคโทดของไดโอด

การเพิ่มบริเวณปอดพาหะให้กว้างขึ้นนอกจากทำได้โดยการเพิ่มค่าแรงดันไบอัสกลับของโฟโตไดโอดแล้วอาจทำได้โดยตรงกับโครงสร้างภายในของมันโดยแทรกสารแบบอินทรีนซิก(II)ไว้ระหว่างรอยต่อ

P-N ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าเป็นโฟโตไดโอดชนิด PIN ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งช่วยให้ได้กระแสไหลมากขึ้นกว่าโฟโตไดโอดแบบธรรมดาเมื่อมีแสงตกกระทบ จากผลโครงสร้างแบบ PIN ทำให้โฟโตไดโอดชนิดนี้มีโหมดการทำงานได้สองแบบคือ 'โหมดโฟโตวอลตาจิก' ซึ่งจะผลิตกระแสเมื่อแสงตกกระทบโดยไม่ต้องมีการไบแอสเลย และ 'โหมดโฟโตคอนดักทีฟ' เป็นการทำงานเมื่อมีการไบแอสกลับให้กับตัวมัน

โฟโตไดโอดแบบอะวาลานซ์ (APD) อาศัยหลักการทำงานเช่นเดียวกับอะวาลานซ์ไดโอด ทำให้มีกระแสไหลมากขึ้นกว่าโฟโตไดโอดธรรมดาหลายเท่าแต่ก็มีข้อเสียตรงที่มีความไวต่ออุณหภูมิสูง และเกิดสัญญาณรบกวนมากการใช้งานโฟโตไดโอดแบบอะวาลานซ์จำเป็นต้องใช้แรงดันไบแอสกลับค่อนข้างสูง (ประมาณ 40-400 โวลต์) แต่ก็เป็ผลดีเพราะทำให้เวลาตอบสนองสัญญาณสั้นมาก

โฟโตทรานซิสเตอร์นับเป็นโฟโตดีเท็กเตอร์อีกชนิดหนึ่งที่พวกเราคุ้นเคยกันดีหลักการทำงานของมันจะขึ้นกับขนาดความเข้มแสงที่ตกกระทบเปรียบเสมือนกับต่อโฟโตไดโอดเข้ากับขาเบสของทรานซิสเตอร์เมื่อแสงที่มีความเข้มตกกระทบกระแสไหลผ่านโฟโตไดโอดที่ขาเบสจะมีความมากทำให้กระแส



รูปที่ 2.14 โฟโตดีเท็กเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ขาคอลเล็กเตอร์ (lc) มีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย ในรูปที่ 2.14 เป็นโฟโตทรานซิสเตอร์แบบธรรมดา ส่วนรูป 2.14 เป็นโฟโตทรานซิสเตอร์แบบคาร์ลิงตันที่สามารถจ่ายกระแส (lc) ได้มากกว่าแบบธรรมดาเมื่อมีแสงตกกระทบเท่ากัน

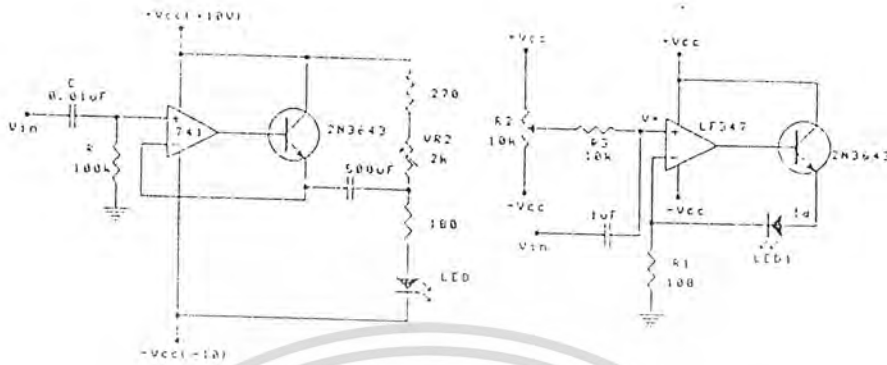
ข้อดีของโฟโตทรานซิสเตอร์คือสามารถดีเทกต์สัญญาณที่มีขนาดความน้อยๆ ได้ดี แต่มีช่วงเวลาตอบสนองสัญญาณค่อนข้างช้าคือ มีช่วงเวลาขาขึ้น (rise time, tr) ประมาณ 10 ไมโครวินาที ซึ่งไม่เหมาะกับระบบข้อมูลขนาดใหญ่ในการใช้งานกับระบบที่มีข้อมูลจำนวนมากหรือแบนด์วิดธ์สูงๆ (100 เมกะเฮิรตซ์ขึ้นไป) จะใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ชนิด PIN-FET ที่มีโครงสร้างเป็นวงจรรวมเสมือนมี PIN โฟโตไดโอดเป็นตัวดีเทกต์สัญญาณและมีวงจรรวมทรานซิสเตอร์แบบ FET เป็นตัวขยายสัญญาณอยู่ในตัวตั้งเดียวกันจากหลักการนี้ทำให้ได้โฟโอดีเทกเตอร์ที่มีความไวในการรับสัญญาณสูง และมีค่าสัญญาณรบกวนต่ำ

### วงจรวอร์

วงจรวอร์หรือวงจรรับสัญญาณเป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยให้แหล่งกำเนิดแสงที่เป็น LED หรือ เลเซอร์ไดโอด ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลักษณะวงจรวอร์สำหรับ LED ค่อนข้างแตกต่างจาก วงจรของเลเซอร์ไดโอด ทั้งนี้เนื่องจาก LED มีคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นในการเปล่งแสงตามค่ากระแสไบแอสโดยตรงทำให้เหมาะสำหรับระบบสื่อสารที่ใช้ข้อมูลแบบอะนาล็อก ในขณะที่ พลังงานแสงที่เปล่งออกมาจากเลเซอร์ไดโอด มักมีการเปลี่ยนแปลงสูงมากอย่างรวดเร็ว ทั้งๆ ที่กระแสไบแอสที่มากกว่ากระแสเทรชโฮลด์ (lth) มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จึงนิยมใช้เลเซอร์ไดโอดกับวงจรรับสัญญาณที่มีข้อมูลเป็นแบบดิจิทัล

### วงจรวอร์สำหรับ LED

วงจรวอร์ LED สำหรับสัญญาณอะนาล็อก แสดงดังรูปที่ 2.15 โดยในรูปที่ 2.15 เป็นตัวอย่างวงจรวอร์ที่ถูกรออกแบบให้มีค่ากระแสไบแอส LED อยู่ระหว่าง 7.5 - 40 มิลลิแอมป์ ขึ้นกับค่าของตัวต้านทาน VR, ขนาดของสัญญาณอินพุตควรมีค่าอยู่ระหว่าง +2 โวลต์ซึ่งจะถูกแปลงเป็นกระแสไหลผ่าน LED ที่มีค่าระหว่าง +หรือ -10 มิลลิแอมป์



รูปที่ 2.15 วงจรไดรเวอร์ LED แบบอะนาล็อก

วงจรในรูปที่ 2.15 ใช้กระแสขับ LED เป็นสัญญาณป้อนกลับในวงจร ทำให้มีวงจรมีเสถียรภาพมากขึ้น ตัวต้านทานปรับค่าได้ VR<sub>2</sub> ใช้กำหนดขนาดของกระแสไบอัสให้กับวงจร

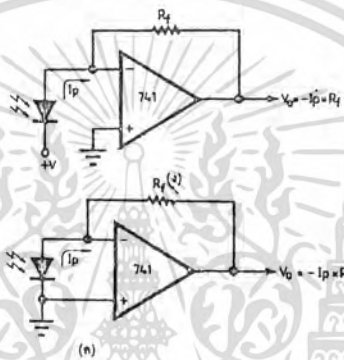
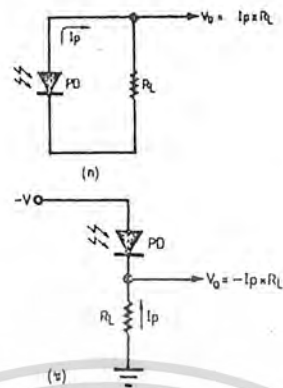
**วงจรถีเท็กเตอร์**

ในตอนต้นได้กล่าวถึงโหมดการทำงานของโฟโตไดโอดไปบ้างแล้วลักษณะวงจรทำงานในแบบของโหมดโฟโตวอลตาจิก แสดงดังรูปที่ 2.16 โดยการต่อโฟโตไดโอดคอนนักรวมกับตัวต้านทานโหลด R<sub>L</sub> เมื่อมีแสงตกกระทบบจะเกิดกระแสไหล ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมโหลด R<sub>L</sub> มีค่าเท่ากับ I<sub>p</sub>\*R<sub>L</sub> เมื่อ I<sub>p</sub> คือ กระแสที่ไหลในวงจรรวมซึ่งมักมีค่าไม่มาก หากต้องการให้กระแส I<sub>p</sub> มีค่ามากขึ้น ต้องเพิ่มแรงดันไบอัสให้กับโฟโตไดโอด ดังรูปที่ 2.18 เพื่อให้เกิดการทำงานในโหมดโฟโตคอนดักทีฟ

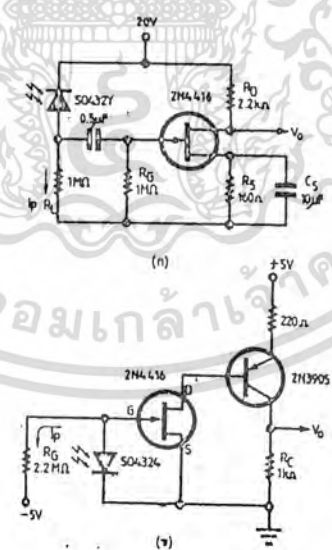
ในทางปฏิบัติมักจะใช้วงจรที่ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมโฟโตไดโอดมีค่าคงที่ตลอดเวลาเพื่อช่วยให้สามารถสร้างกระแส I<sub>p</sub> ได้อย่างมีเสถียรภาพ ดังเช่นวงจรในรูปที่ 2.16 และรูปที่ 2.16 ที่ทำงานในโหมดต่างกัน แต่ค่าของค่านี้อาจจะ V<sub>out</sub> ที่ต้องการมีค่าเป็นไปตามสมการเดียวกันคือ V<sub>out</sub> = I<sub>p</sub> \* R<sub>f</sub> วงจรในรูปที่ 2.16 ที่มีโหมดการทำงานแบบโฟโตคอนดักทีฟ จะทำงานได้เร็วกว่าวงจรในรูปที่ 2.16 ซึ่งเป็นชนิดโหมดโฟโตวอลตาจิก ค่าของกระแส I<sub>p</sub> เป็นผลอันเนื่องมาจากผลของแสงตกกระทบบ และคำนวณได้จาก

$$I_p = R * Pin$$

เมื่อ R เป็นค่าของกระแสต่อพลังงาน ( แอมป์/ วัตต์) กำหนดด้วยสเปกของมัน



รูปที่ 2.16 วงจรทำงานของโฟโตไดโอด



รูปที่ 2.17 วงจรโฟโตดีเทกเตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ Pin เป็นพลังงานแสงหรือขนาดความเข้มไฟได้ไดโอด ขณะมีการไบอัสกลับรวมเข้าไปกับ  $I_p$  ด้วย จึงจะได้ค่าจริงออกมา

วงจรในรูปที่ 2.17 เป็นวงจรไฟไดโอดที่ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นส่วนขยายสัญญาณชั้นต้น โดยที่วงจรในรูปที่ 2.17(ก) เหมาะสำหรับการใช้งานในระบบบอระนาลอกและวงจรในรูปที่ 2.1(ข) นั้นใช้กับระบบดิจิทัล

## 2.6 เส้นใยแสง

### 2.6.1 เส้นใยแสงคืออะไร

เส้นใยแสงคือ เส้นใยขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นตัวนำแสง โครงสร้างของเส้นใยแสงประกอบด้วยส่วนที่แสงเดินทางผ่านเรียกว่า "CORE" และส่วนที่หุ้มอยู่เรียกว่า "CLAD" ทั้ง CORE และ CLAD เป็น DIELECTRIC ใส 2 ชนิด (DIELECTRIC หมายถึงสารที่ไม่นำไฟฟ้า) โดยการทำให้ค่าดัชนีการหักเหของ CLAD มีค่าน้อยกว่าค่าดัชนีการหักเหของ CORE เล็กน้อยประมาณ 0.2 - 3 % และอาศัยปรากฏการณ์สะท้อนกลับหมดของแสง สามารถทำให้แสงที่ป้อนเข้าไปใน CORE เดินทางไปได้ นอกจากนั้นเนื่องจากกล่าวกันว่าเส้นใยแสงมีขนาดเล็กมากขนาดเท่าเส้นผมนั่นหมายถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกของ CLAD ซึ่งมีขนาดประมาณ 0.1 มม. ส่วน CORE ที่แสงเดินทางผ่านนั้นมีขนาดเล็กลงไปอีกคือประมาณหลาย ไมโครเมตร ถึง หลายสิบลไมโครเมตร ( $1 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{mm}$ ) ซึ่งมีค่าหลายสิบลเท่าของความยาวคลื่นของแสงที่ใช้งานค่าต่างๆ เหล่านี้เป็นค่าที่กำหนดขึ้นจากคุณสมบัติการส่งและคุณสมบัติทางเมคานิกส์ที่ต้องการ เส้นใยแสงนอกจากมีคุณสมบัติการส่งดีเยี่ยมแล้วยังมีลักษณะเด่นอย่างอื่นอีก เช่น ขนาดเล็ก น้ำหนักเบาอีกด้วย

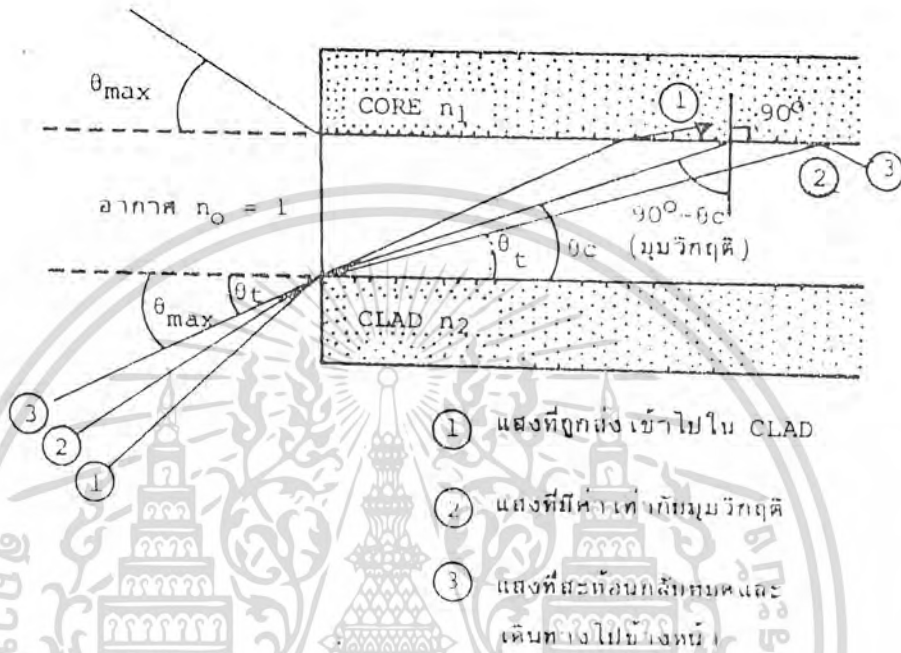
### 2.6.2 ลักษณะการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง

ปัญหาอันดับแรกที่ต้องคำนึงถึงคือ ทำอย่างไรจึงจะสามารถป้อนแสงเข้าไปใน CORE ที่มีขนาดเล็กมากของเส้นใยแสงได้ และเมื่อป้อนแสงเข้าไปแล้วแสงนั้นจะเดินทางอย่างไรใน CORE ซึ่งเราจะทำการศึกษาต่อไป

#### 2.6.2.1 การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง

เนื่องจากว่าแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้น จะกระจายกว้างออกเนื่องจากปรากฏการณ์การเบี่ยงเบนของแสงตามที่ได้กล่าวมาแล้วในการที่จะป้อนแสงเข้าไปใน CORE ที่มีขนาดเล็กมากนั้นต้องใช้เลนส์ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป แต่ทว่าแสงที่รวมนั้นไม่ใช่ว่าจะถูกป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงได้ทั้งหมด

แสงที่มีมุมตกกระทบที่เหมาะสมเท่านั้นจึงจะสามารถเข้าไปในเส้นใยแสงได้ในรูปข้างล่างแสดงมุมรับแสงของเส้นใยแสงซึ่งจะเห็นได้ว่าที่จุดป้อนแสงของเส้นใยแสงนั้นจะเป็นจุดต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงต่างกัน 3 ชนิด



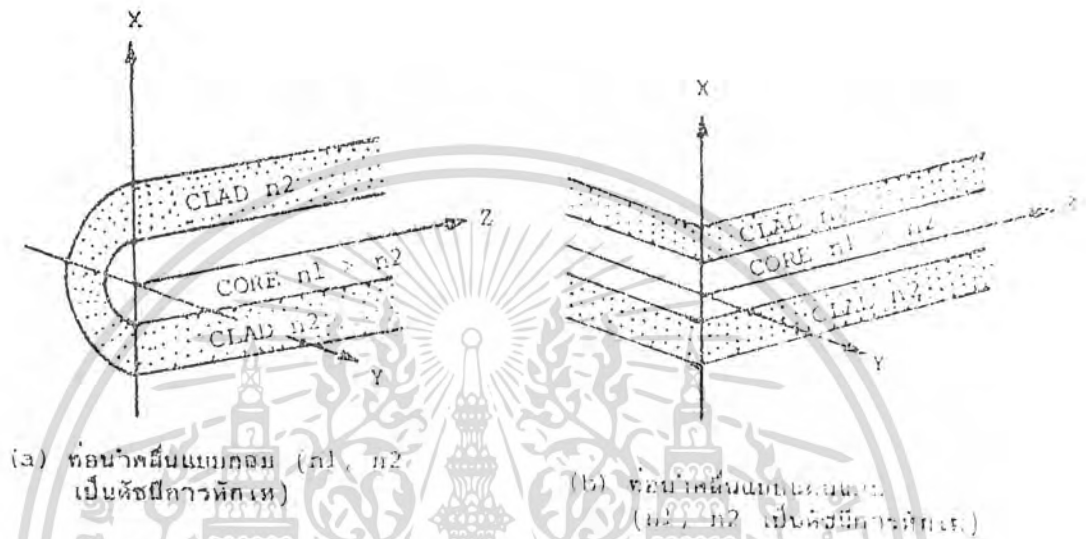
รูปที่ 2.18 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยแสง

ตัวกลางทั้ง 3 ชนิดนี้คือ อากาศ CORE ของเส้นใยแสงและ CLAD ของเส้นใยแสงถ้าให้ค่าดัชนีแสงของตัวกลางทั้ง 3 ชนิดเป็น  $n_0(n_0=1), n_1$  และ  $n_2$  ตามลำดับจะเกิดการหักเห การสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของอากาศกับ CORE และ CORE กับ CLAD

2.6.2.2 MODE การเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง(Propagation Mode)

แสงที่ป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงด้วยค่าของมุมรับแสงที่อยู่ในช่วงของมุมรับแสงสูงสุดนั้นแสงจะเดินทางในเส้นใยแสงด้วยลักษณะที่เกิดการสะท้อนกลับไปมาตรงรอยต่อของ CORE กับ CLAD โดยที่สะท้อนกลับไปมาและเคลื่อนที่ไปข้างหน้าพร้อมกันด้วย แต่ทว่าจาก INTERFERENCE แสงภายใน CORE นั้นมุมสะท้อนกลับที่รอยต่อจะเกิดขึ้นได้จำเป็นต้องมีเงื่อนไขที่เหมาะสมนี้จะได้กล่าวในหัวข้อต่อไปนี้ และเพื่อเป็นการช่วยให้เข้าใจได้ง่ายจะใช้เส้นใยแสงที่มีรูปร่างเป็นแผ่นแบนดังแสดงในรูป 2.19(b) แทน

ลักษณะเส้นใยแสงที่มีรูปร่างกลมดังรูป 2.19(a) และอีกอย่างหนึ่งเพื่อให้การอธิบายเกี่ยวกับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของแสงง่ายขึ้นจะพิจารณาเฉพาะสนามไฟฟ้าเท่านั้น



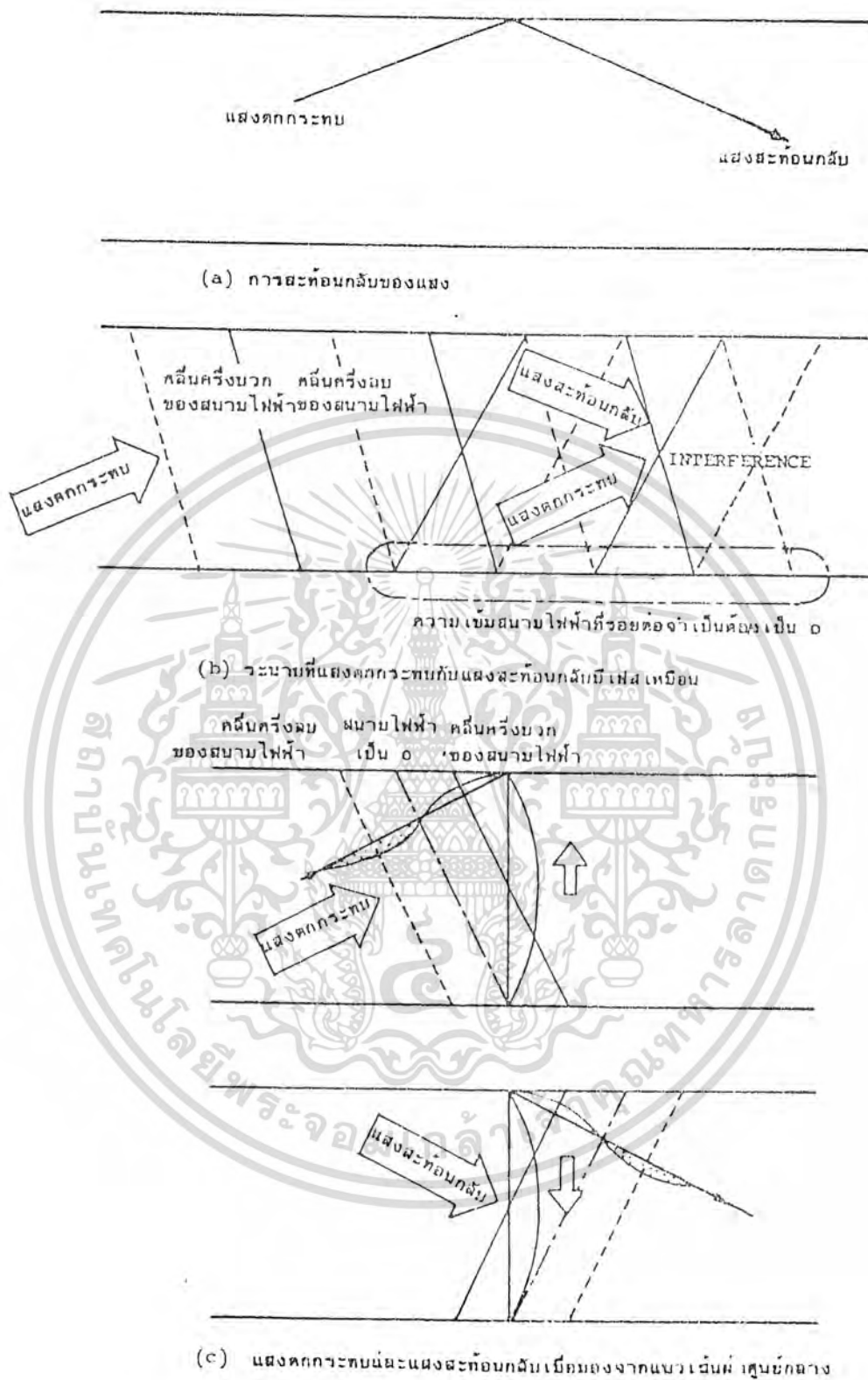
รูปที่ 2.19 แสดงเส้นใยแสงกลมและแบบระนาบแบน

(1) INTERFERENCE ของแสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับ

แสงที่สะท้อนกลับตรงรอยต่อของตัวกลางแสดงด้วยลำแสงดังรูปที่ 2.20(a) และลำแสงนี้เป็นเสมือนตัวแทนของทิศทางเดินของแสงที่สนามไฟฟ้าของมัน มีการเปลี่ยนแปลงตามจุดต่างๆใน CORE ของเส้นใยแสงรูปที่ 2.20 (b) แสดงการพิจารณาถึงระนาบที่มีเฟสเหมือนกันของสนามไฟฟ้า ซึ่งระนาบที่มีเฟสเหมือนกันของแสงตกกระทบและของแสงสะท้อนกลับจะซ้อนกัน (เป็นไปตามปรากฏการณ์ของการเกิดคลื่นอยู่กับที่ดังนั้นแสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับจะเกิดการ INTERFERENCE กันที่จุดต่างๆใน CORE)

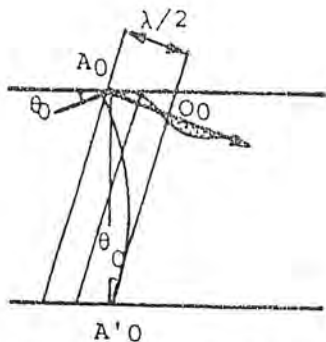
(2) เงื่อนไขที่รอยต่อของตัวกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

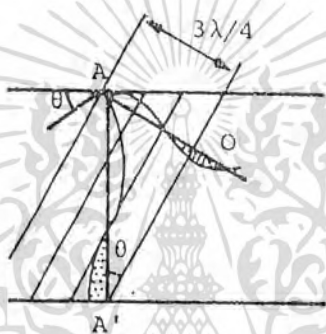


รูปที่ 2.20 แสดงการสะท้อนกลับของแสงที่รอยต่อของตัวกลาง

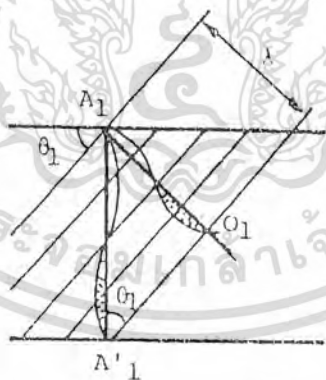
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) เมื่อแสงที่มีมุมสะท้อนกลับ  $\theta_0$  เคลื่อนที่ไป  $\lambda/2$  เฟสของความเข้มสนามไฟฟ้าระหว่าง  $A_0 + A'_0$  จะเปลี่ยนไป  $180^\circ$



(b) ไม่มีคลื่นอยู่จริงในแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง



(c) เฟสของความเข้มสนามไฟฟ้าในแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง เปลี่ยนแปลง  $180^\circ$

รูปที่ 2.22 แสดงมุมสะท้อนกลับของแสงที่ทำให้เกิดคลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงที่สะท้อนกลับหมดที่รอยต่อของตัวกลางพร้อมทั้งเดินทางไปด้วยนั้น สนามไฟฟ้าของแสงจำเป็นต้องอยู่ภายใน CORE ด้วย ดังนั้นที่รอยต่อของตัวกลาง,ความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากการ INTERFERENCE ของแสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับจะต้องเป็น 0 ด้วย

แต่เนื่องจากเส้นใยแสงที่ผลิตขึ้นมา นั้น ดังนั้นจะมีสนามไฟฟ้าจำนวนหนึ่งปรากฏที่ CLAD ด้วย เหมือนกันแต่สำหรับในที่นี้ เพื่อให้การอธิบายง่ายขึ้นจึงสมมติว่าสนามไฟฟ้าที่ CLAD เป็น 0

### (3) คลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมี

เพื่อให้เงื่อนไขของรอยต่อที่ตัวกลางที่กล่าวแล้วใน (2) เป็นจริงได้นั้นจำเป็นต้องมีคลื่นอยู่กับที่ (ซึ่งเกิดจาก INTERFERENCE ของแสงตกกระทบกับแสงสะท้อนกลับ)ในทิศทางของรัศมีรูป 2.20(c)เป็นรูปที่แสดงการเปลี่ยนแปลงทางเฟสของความเข้มของสนามไฟฟ้า ตามการเดินทางของแสงตกกระทบและแสงสะท้อนกลับ ซึ่งมองในทิศทางรัศมีจะเห็นว่าการซ้อนกันของคลื่นที่มีทิศทางสวนกันปรากฏการณ์นี้เหมือนกันกับปรากฏการณ์ที่เกิดคลื่นอยู่กับที่ในเชือกที่ตรึงปลายทั้งสองเอาไว้ ดังนั้นในระหว่างที่แสงเดินทางเป็นระยะทางเป็นจำนวนเท่าของเลขจำนวนเต็มหน่วยของครึ่งความยาวคลื่นดังในรูปที่ 2.21 (a) และ (c) นั้นจะเกิดคลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมีในกรณีที่มีมุมสะท้อนกลับมีค่าเป็นจำนวนเท่าของเลขเต็มหน่วยของมุม 180 องศา ของความเข้มสนามไฟฟ้าตามทิศทางของรัศมีส่วนรูป 2.21 (b) นั้นเป็นกรณีตรงกันข้ามกล่าวคือ แสงที่มีมุมสะท้อนกลับค่า น้อยกว่าศูนย์ จะไม่เกิดคลื่นอยู่กับที่ในทิศทางของรัศมีตามที่กล่าวมาแล้วนี้สามารถสรุปได้ว่ามุมสะท้อนกลับของแสงที่เดินทางกลับของแสงที่เดินทางไปได้ภายในเส้นใยแสงนั้นมีค่าจำกัดเป็นพิเศษเฉพาะบางค่าเท่านั้น

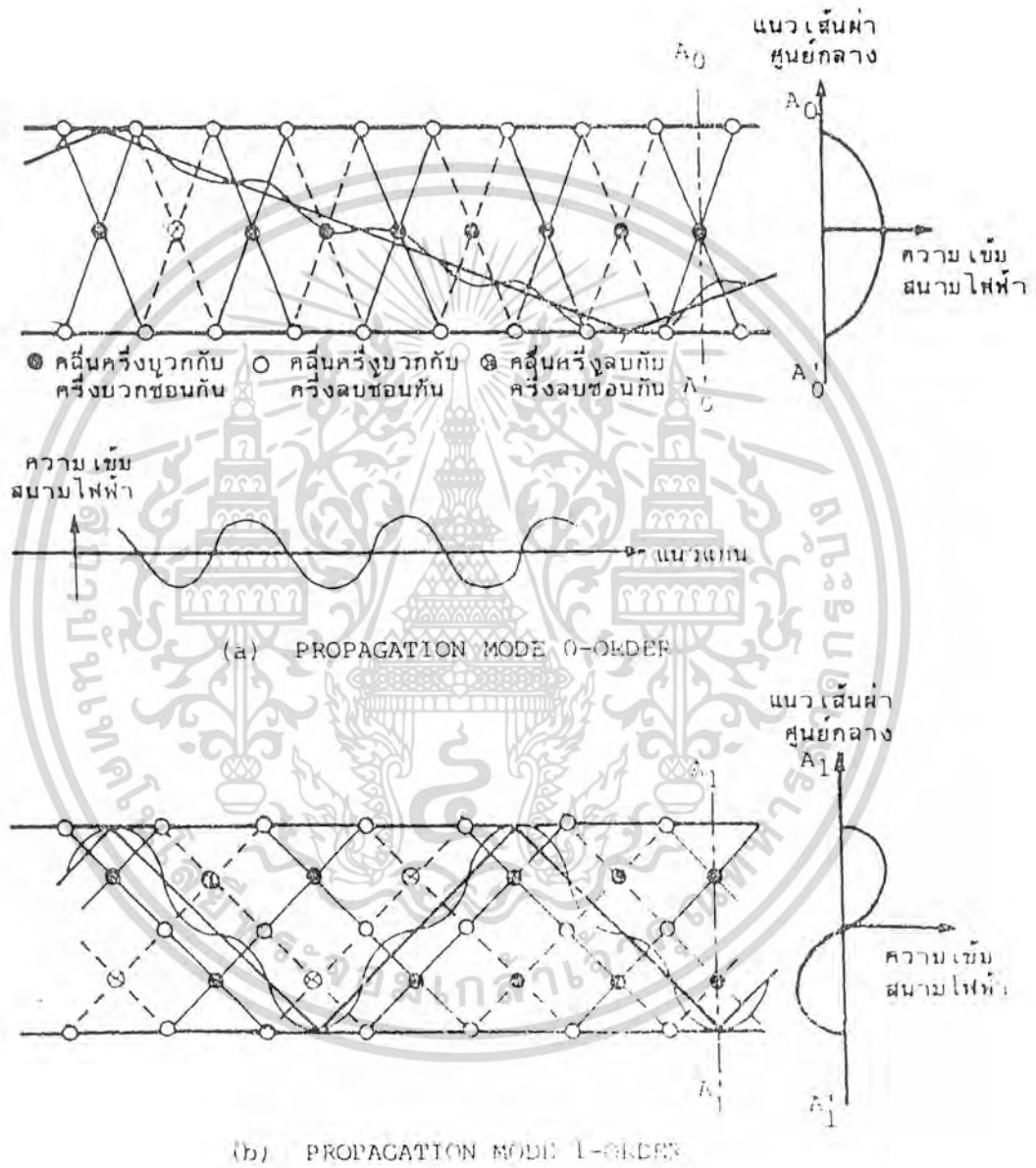
### (4) โหมดการเดินทางของแสง (PROPAGATION MODE)

รูป 2.22 แสดงลักษณะของความเข้มของสนามไฟฟ้าภายใน CORE ของเส้นใยแสงที่เกิดขึ้นจากการ INTERFERENCE ของแสงสะท้อนที่มีค่ามุมสะท้อนกลับพิเศษเฉพาะ

MODE ที่มีค่ามุมสะท้อนกลับน้อยไปหามากคือ MODE 0 MODE 1 MODE ,....,MODE (N-1)

จากตัวอย่างทั้งสองรูปของรูปที่ 2.22 จะเห็นได้ว่าเป็นการแสดง INTERFERENCE ของแสงที่มีมุมสะท้อนกลับเป็นพิเศษเฉพาะซึ่งทำให้ความเข้มของสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง 180 องศา 360 องศาในทิศทางของรัศมีลักษณะการเดินทางของแสง ที่มีการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าเป็นพิเศษเฉพาะภายใน CORE ของเส้นใยแสงนี้เรียกว่า "PROPAGATION MODE" ของแสงจำนวน PROPAGATION MODE ของ

แสงภายในเส้นใยแสงมีค่าจำกัด ตามเงื่อนไขของการสะท้อนกลับหมดและนิยมตั้งชื่อ MODE ตามลำดับ จาก PROPAGATION



รูปที่ 2.22 แสดง PROPAGATION MODE ภายในเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.3 ชนิดของเส้นใยแสง

วิธีการแบ่งชนิดของเส้นใยแสงมีหลายวิธี คือแบ่งตามชนิดของสาร DIELECTRIC ที่ใช้แบ่งตามจำนวน PROPAGATION MODE แบ่ง ตามดัชนีการหักเหของ CORE

(1)การแบ่งชนิดของเส้นใยแสงตามชนิดของ DIELECTRIC ที่ใช้สามารถแบ่งออกได้เป็น3ชนิดคือ

- (1)Silica glass optic fiber ซึ่งใช้ DIELECTRIC ที่เป็น Silica glass
- (2)Multi component glass optic fiber ซึ่งใช้ DIELECTRIC ที่เป็นแก้วหลายชนิดปนกัน
- (3)Plastic optic fiber ซึ่งใช้ DIELECTRIC ที่เป็นพลาสติก

สำหรับ(1)นั้นนอกจากจะใช้ Silica( $\text{SiO}_2$ ) ที่บริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่แล้วยังใช้สารอื่นเติมลงไปเพื่อทำ ให้ค่าดัชนี การหักเหเปลี่ยนแปลงตามต้องการสารอื่นที่เติมลงไปนี้เรียกว่า"DOPANT"ได้แก่ GERMANIUM (Ge) Boron(B) Fluorine(F) เป็นต้น

สำหรับ(2) นั้นส่วนมากจะใช้ Soda calcium แก้ว,แก้วที่มี Boron และ Silicon ผสมอื่นๆ เป็นสารหลัก ส่วน DOPANT ได้แก่ โซเดียม(Na) แคลเซียม(Ca)

สำหรับ(3)นั้นใช้สารพวก Silicon Resin,Acryl Resin (เช่น Polymetacryl Methyl Acid :PMMA)

อนึ่งสำหรับเคเบิลเส้นใยแสงที่ใช้ในข่ายการสื่อสารโทรคมนาคม (Telecommunication Network) นั้นนิยมใช้ Silica glass optic fiber เพราะมีข้อดีคือ การสูญเสีย (Loss) ต่ำและคุณสมบัติการส่ง (Transmission Characteristic)คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

แต่สำหรับงานที่ต้องการคุณสมบัติการส่งด้อยลงมา ใช้งานง่ายและใช้กับการสื่อสารระยะทาง ใกล้ใช้กับการเดินสายภายในรถยนต์ (WIRE HARNESS) อื่นๆ ในกรณีนี้นิยมใช้เส้นใยแสงที่เป็น Plastic optic fiber

(2) การแบ่งชนิดของเส้นใยแสงตามจำนวน PROPAGATION MODE

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ Single Mode optic fiber ใช้ชื่อย่อว่า"SM fiber" และอีกชนิด หนึ่งคือ Muti Mode optic fiber

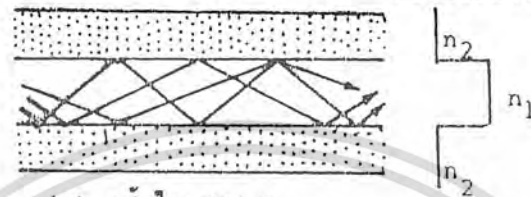
(3) การแบ่งชนิดของเส้นใยแสงตามลักษณะของดัชนีการหักเห

(1 )Step Index optic fiber(SI-fiber) เป็นเส้นใยแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเห ระหว่าง CORE กับ CLAD เป็นลักษณะขั้นบันได (STEP) จึงเรียกว่า Step Index optic fiber

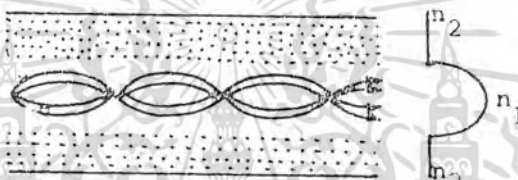
(2) Graded Index optic fiber (GI-fiber)เป็นเส้นใยแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเห ระหว่าง CORE กับ CLAD ค่อยๆ ลดลงทีละน้อยต่างกับ(1)จึงเรียกว่า Graded Index optic fiber

SM fiber นั้นจัดอยู่ในพวกของ SI fiber เหมือนกันแต่ที่ว่าเนื่องจากจุดประสงค์ต้องการให้เป็น Single Mode จึงทำให้อัตราส่วนผลต่างของค่าดัชนีการหักเหของ CORE กับ CLAD มีค่าน้อยมาก จึงแบ่งชนิดแยกออกมาต่างหากดังนั้นในกรณีนี้ที่เรียกว่า SI fiber นั้นโดยทั่วไปจะหมายถึง Multi Mode optic fiber ที่มีผลต่างของดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงเป็นขั้นบันได (Step)

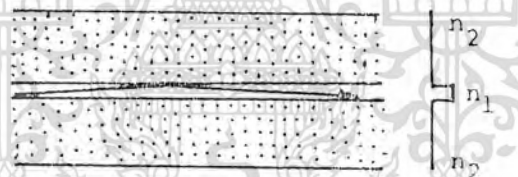
ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเห



(a) เส้นใยแสงแบบ SI-TYPE (MULTIMODE)



(b) เส้นใยแสงแบบ GI-TYPE



(c) เส้นใยแสงแบบ SM-TYPE

รูปที่ 2.23 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงใน CORE ของเส้นใยแสงแต่ละชนิด

ลักษณะการเดินทางของแสงภายในของเส้นใยแสงแต่ละชนิดแสดงดังรูปที่ 2.23 GI fiber เป็นเส้นใยแสงที่จัดทำเป็นพิเศษเพื่อการส่ง Multi Mode รูปที่ 2.26 แสดงถึง Propagation Mode ของ GI fiber

จากรูป 2.26 จะเห็นว่า ค่าดัชนีการหักเหของ GI fiber นี้จะค่อย ๆ ลดลงทีละน้อยในแนว รัศมีของเส้นใยแสง ดังนั้นลำแสง(1) ที่มี Mode ต่ำและเดินทางในระยะทางสั้นนั้นจะสะท้อนกลับก่อนที่จะเดินทางไปถึงรอยต่อของ CORE และ CLAD ซึ่งกล่าวได้ว่าส่วนใหญ่จะผ่านส่วนที่มีดัชนีการหักเหสูงของ CORE ส่วนลำแสงที่มี Mode สูงและเดินทางในระยะทางไกลนั้น ส่วนใหญ่จะผ่านส่วนที่มีดัชนีการหักเหต่ำของ CORE หนึ่งความเร็วในการเดินทางของแสงนั้นจะเป็นสัดส่วนกลับกับค่าดัชนีการหักเห ดังนั้น

สำหรับ propagation Mode (1) และ (2) นั้นโดยการเลือกลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเห (เรียกว่าPROFILE) ให้เหมาะสมแล้วเราจะทำให้เวลาที่ใช้ในการเดินทางในระยะทางอันหนึ่งของ propagation mode (1) และ (2) มีค่าเท่ากันได้ด้วยจุดประสงค์อันนี้ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ผลต่างของเวลาการเดินทางระหว่าง Propagation mode ต่าง ๆ มีค่าน้อยที่สุดได้นั้นกล่าวกันว่าจะต้องมีรูปร่างเป็นลักษณะพาราโบลา (PARABOLA) ดังนั้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหของ GI fiber จึงต้องทำให้มีรูปร่างดังแสดงในรูป 2.24



รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงใน GI FIBER

#### 2.6.4 โครงสร้างของเส้นใยแสง

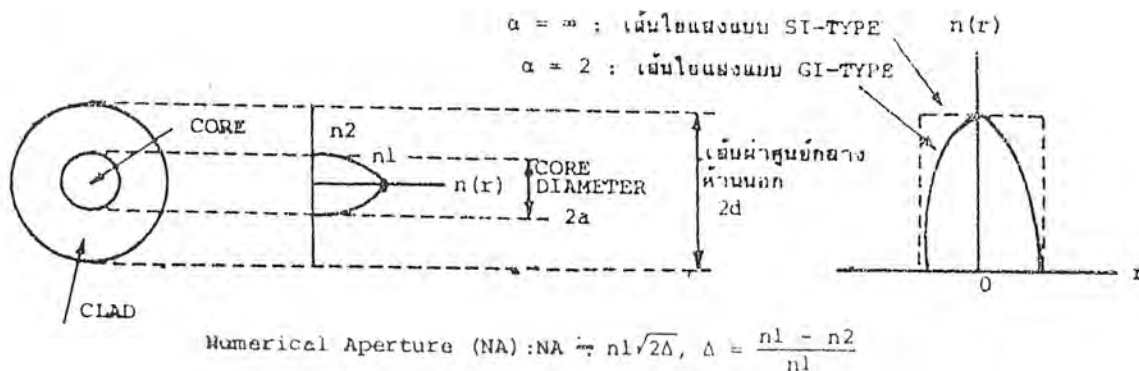
องค์ประกอบพื้นฐานที่กำหนดโครงสร้างของเส้นใยแสงคือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ CORE, เส้นผ่าศูนย์กลางนอก (เส้นผ่าศูนย์กลางของ CLAD), Numerical Aperture (NA) และอื่นๆ องค์ประกอบเหล่านี้เรียกว่าเป็น parameter ทางโครงสร้างของเส้นใยแสง parameter ทางโครงสร้างเหล่านี้นอกจากมีผลต่อการสูญเสีย transmission band width ความแข็งแรงทางเมคานิกและคุณสมบัติอื่น ๆ ของเส้นใยแสงแล้วยังเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับการเชื่อมต่อของเส้นใยแสงกับเส้นใยแสงหรือการต่อของเส้นใยแสงกับอุปกรณ์แสง (optic device) อีกด้วย นอกจากนี้ยังมี parameter ประกอบทางโครงสร้างเพิ่มเติมอีกได้แก่ เปอร์เซ็นต์การคลาดเคลื่อนของศูนย์กลาง (ECCENTRICITY) อัตราความเพี้ยนของวงกลม (NON CURCULAR RAYE) สำหรับ parameter ประกอบนี้จะไม่มีผลอะไรทางด้านคุณสมบัติการส่ง (TRANSMISSION

CHARACTERISTIC)แต่ทว่ามันจะมีผลอย่างมากต่อการสูญเสียของการต่อ (CONNECTION LOSS)ของเส้นใยแสง เช่น ตัวอย่างในการกำหนดโครงสร้างของเส้นใยแสงชนิด MULTI MODE OPTIC FIBER จะต้องอาศัย PARAMETER 4 อันคือเส้นผ่าศูนย์กลางของ CORE เส้นผ่าศูนย์กลางนอก Numerical Aperture(NA) และลักษณะของค่าดัชนีการหักเหดังแสดงในรูป 2.25

ในการกำหนดค่าต่างๆ ของ PARAMETER ทางโครงสร้างทั้ง 4 เหล่านี้จำเป็นต้องคำนึงถึงผล PARAMETER ทางโครงสร้างแต่ละอันที่มีต่อคุณสมบัติต่างๆ ของเส้นใยแสงการสร้างได้ง่ายและความประหยัดดังแสดงในแผนผังของรูปที่ 2.26

สำหรับโครงสร้างของ SINGLE MODE OPTIC FIBER จะกำหนดจาก PARAMETER 3 อันคือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ MODE FIELD เส้นผ่าศูนย์กลางนอก และ CUT OFF WAVE LENGHT ซึ่งต่างกับกรณีของ MULTI MODE OPTIC FIBER ที่กล่าวมาแล้้ง สาเหตุที่ใช้เส้นผ่าศูนย์กลางของ MODE FIELD เป็น PARAMETER ทางโครงสร้างของ SINGLE MODE OPTIC FIBER แทนการใช้เส้นผ่าศูนย์กลางของ CORE นั้นก็คือว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของ MODE FIELD มีค่ามากดังแสดงในรูปที่ 2.27

กล่าวคือเป็นค่าเส้นผ่าศูนย์กลางตรงจุดที่ความเข้มของแสงลดลงเป็น  $\frac{1}{e}$  (ในที่นี้มีค่า 2.71828) ของค่าสูงสุด (คือค่าตรงจุดศูนย์กลางของ CORE) และค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของ CORE ของ SINGLE MODE OPTIC FIBER มีค่าน้อยยิ่งกว่านั้นอัตราส่วนของผลต่างของค่าดัชนีการหักเหก็มีค่าน้อยด้วยทำให้เป็นการยากที่จะบ่งบอกส่วนที่เป็นรอยต่อของ CORE กับ CLAD ได้ชัดเจนด้วยเหตุนี้เพื่อความสะดวกจึงใช้ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของ MODE FIELD แทนค่ามาตรฐานของ PARAMETER ทางโครงสร้างของเส้นใยแสงที่ CCITT (INTERNATIONAL TELEGRAPH AND TELEPHONE CONSULATIVE COMMITTEE)แนะนำ



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

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

รูปที่ 2.25 แสดง PARAMETER ทางโครงสร้างของ MUTI MODE OPTIC FIBER

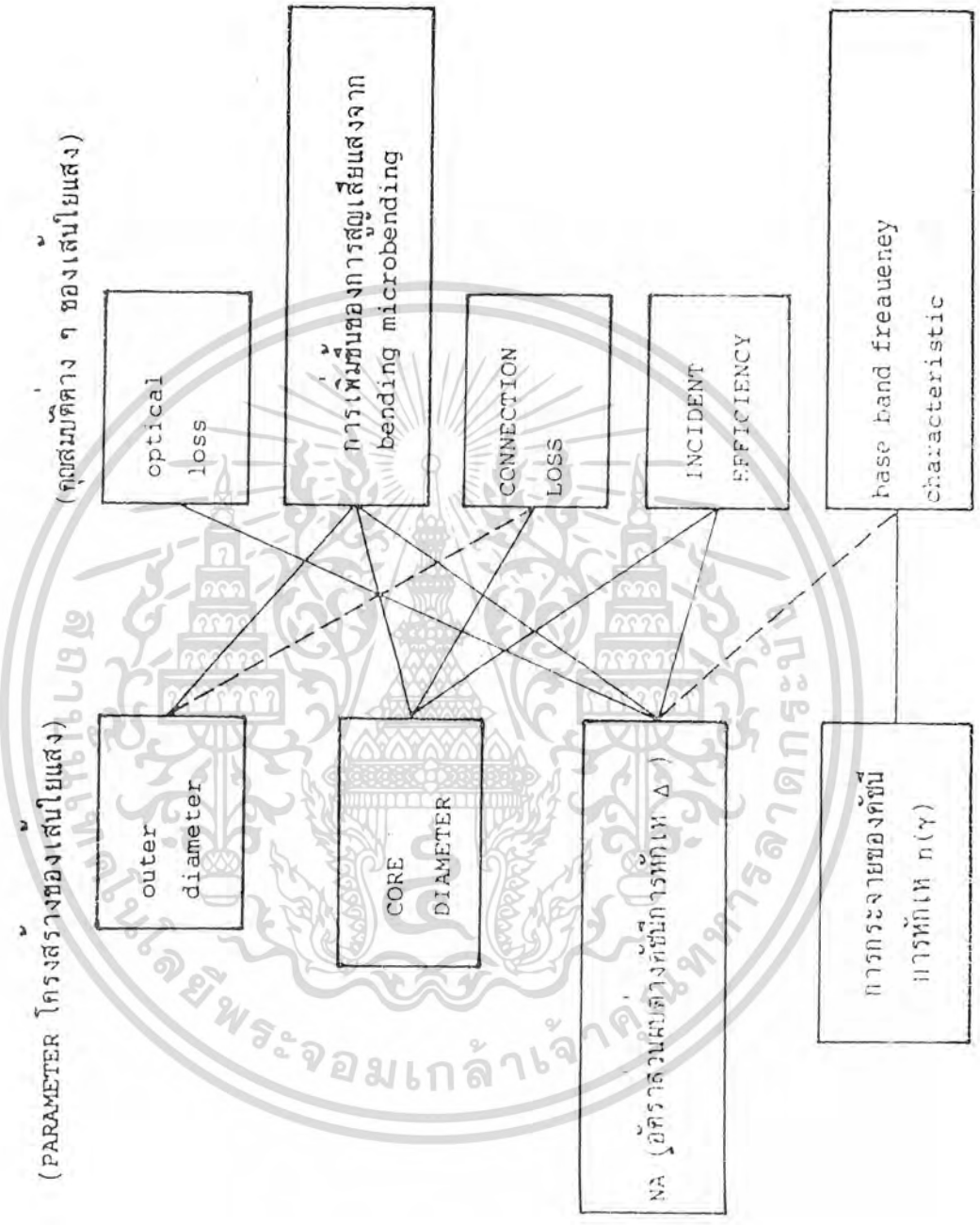
2.6.5 คุณสมบัติต่างๆ ของเส้นใยแสง

2.6.5.1 การสูญเสียแสงในเส้นใยแสง

ในระบบการสื่อสารเส้นใยแสง มีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 อันที่จะกำหนดความเร็วในการส่ง (TRANSMISSION SPEED) และระยะห่างของการถ่ายทอสัญญาณ (REPEATER SPAN) องค์ประกอบเหล่านี้คือการสูญเสียแสง กับ BAND WIDTH ของการส่ง (TRANSMISSION BAND WIDTH) การสูญเสียแสง (OPTICAL LOSS) เป็นตัวบอกให้ทราบว่ากำลังของแสงที่เดินทางไปในเส้นใยแสงนั้นจะลดลงไปจากเดิมเท่าไร ซึ่งการสูญเสียแสงนี้ยังมีค่าน้อยเท่าไรจะทำให้สามารถส่งสัญญาณแสงได้ไกลมากยิ่งขึ้น

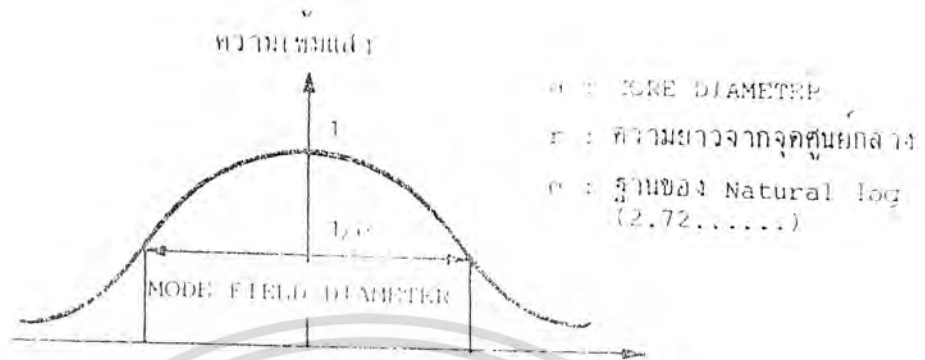
การสูญเสียแสงแบ่งออกตามความแตกต่างของโครงสร้างที่เกิดขึ้นได้เป็นการสูญเสียที่มีอยู่ในตัวของเส้นใยแสงเองและการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมาเมื่อตอนนำเส้นใยแสงไปใช้ในระบบการสื่อสารสาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสง แสดงดังรูปที่ 2.28

จากรูปที่ 2.28 จะเห็นว่า การสูญเสียที่มีอยู่ในตัวของเส้นใยแสงเองนั้นเกิดจากสาเหตุต่างๆ ได้แก่ การดูดแสง (Absorption Loss) การกระจัดกระจายแสงแบบเรย์ลี (Rayleigh Scattering Loss) การกระจัดกระจายแสงเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้าง (Ununiformity Loss) ส่วนการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมานั้นเกิดจากสาเหตุต่างๆ ได้แก่ การงอโค้งของเส้นใยแสง (Bending Loss) การงอโค้ง Microbending (Microbending Loss) แบบการต่อเส้นใยแสง (Connection Loss) ได้แก่ การสูญเสียจากการสะท้อนกลับของแสงจากการที่แสงกระจัดกระจายแสง) การเชื่อมต่อแสงระหว่างอุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงหรืออุปกรณ์รับแสงกับเส้นใยแสง (Coupling Loss) ต่อไปนี้จะอธิบายถึงรายละเอียดของสาเหตุต่างๆของการเกิด

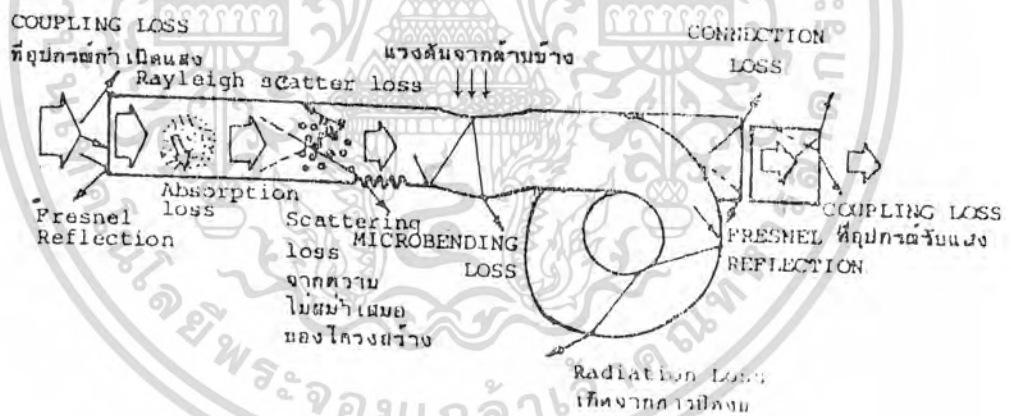


รูปที่ 2.26 แสดงแผนผังคุณสมบัติต่างๆ ของ PARAMETER ทางโครงสร้างของเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางของ MODE FIELD



รูปที่ 2.28 แสดงสาเหตุต่างๆ ที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การสูญเสียแสง

### (1) การสูญเสียแสงที่เกิดจากการดูดแสง (ABSORPTION LOSS)

การสูญเสียแสงที่เกิดจากการดูดแสงนี้ เป็นลักษณะทำนองเดียวกันกับม่านสีดำที่ดูดแสงได้ดี กล่าวคือสารที่ใช้ผลิตเส้นใยแสงเองนั้นจะเป็นตัวดูดแสงที่เดินทางในเส้นใยแสง แล้วเปลี่ยนเป็นการสูญเสียทางความร้อนโดยทั่วไป แล้วจะมีการดูดแสงอันเนื่องมาจากแก้วเอง (สารที่ใช้ผลิตเส้นใยแสง) และเนื่องมาจากสารอื่นที่เจือปนอยู่ในแก้ว (Impurity)

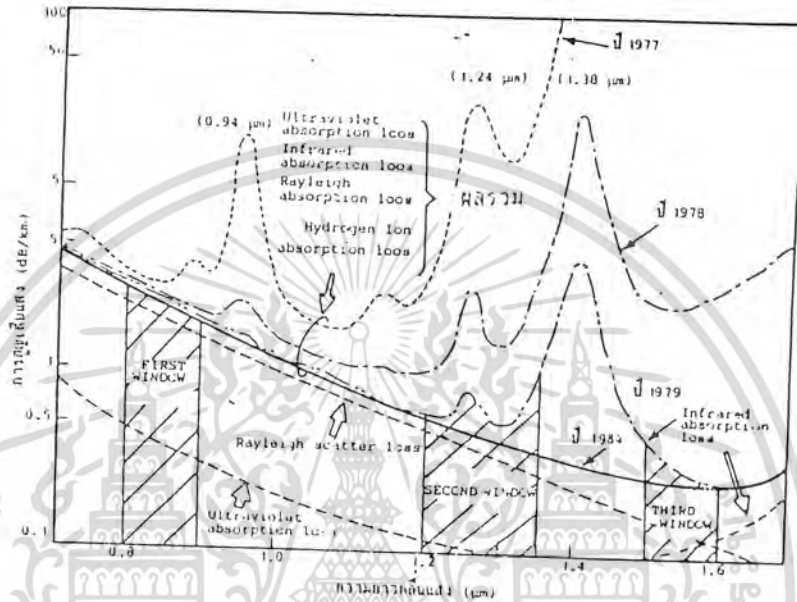
สำหรับการสูญเสียจากการดูดแสงของแก้วนั้นมันจะดูดแสง ULTRAVIOLET กับแสง INFRARED การดูดแสง ULTRAVIOLET นั้นจะดูดมากที่สุดที่ความยาวคลื่นใกล้กับ  $0.1 \mu\text{m}$  และการดูดแสง INFRARED จะดูดแสงมากที่สุดที่ความยาวคลื่นใกล้กับ  $10 \mu\text{m}$  ส่วนที่ความยาวคลื่นที่อื่นๆ นั้นการสูญเสียจากการดูดแสงจะลดลงอย่างมากดังแสดงในรูปที่ 2.29 จะเห็นว่าจากความยาวคลื่นประมาณ  $1.0 \mu\text{m}$  ไปจนถึงประมาณ  $1.6 \mu\text{m}$  การสูญเสียจะตกลงเป็นเหมือนหุบเขา (VALLEY)

การสูญเสียแสงจากการดูดแสงอันเนื่องมาจากสารแปลกปลอม (Impurity) ปนอยู่นั้นในตอนแรกที่พัฒนาเส้นใยแสงใหม่นั้นปรากฏว่าส่วนใหญ่เป็น ION ของโลหะต่างๆ เช่น ION ของเหล็ก ION ของทองแดงและอื่นๆ แต่ต่อมาเทคนิคในการทำให้การสูญเสียแสงต่ำลงได้พัฒนาไปมากสามารถกำจัด ION ของโลหะต่างๆ ออกไปได้ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็น Hydroxyl ION (OH) นั้นคือกล่าวได้ว่าประวัติศาสตร์ของการให้การสูญเสียแสง ที่มีอยู่ในเส้นใยแสงให้มีค่าน้อยนั้นเป็นการกำจัด Absorption Loss อันเนื่องมาจาก ION ของโลหะและ Hydroxyl ION เหล่านี้นั่นเองในรูปที่ 2.29 จะเห็นว่าแสดงการสูญเสียแสงที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆ ของแสงในเส้นใยแสงที่ทำด้วยแก้วตัวเลข ค.ศ. ที่ค่าสูญเสียสูงสุดต่างๆ นั้นบอกให้ทราบถึงประวัติศาสตร์ของการทำให้การสูญเสียแสงน้อยลง ค่าสูญเสียแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น  $0.94 \mu\text{m}$   $1.24 \mu\text{m}$  และ  $1.38 \mu\text{m}$  นั้นเป็นการสูญเสียที่เกิดจากการดูดของ Hydroxyl ION ที่กล่าวข้างบน และตรงส่วนที่เป็นหุบเขา (เรียกว่า WINDOW ของเส้นใยแสง) บริเวณใกล้ๆ กับความยาวคลื่น  $0.85 \mu\text{m}$   $1.3 \mu\text{m}$   $1.55 \mu\text{m}$  (เรียกว่า Window ที่ 1 ที่ 2 ที่ 3) นั้นมีการสูญเสียแสงต่ำซึ่งนำมาใช้ในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

### (2) การสูญเสียแสงที่เกิดจากการกระจัดกระจายแบบเรย์ลี (Rayleigh Scattering Loss)

การสูญเสียแบบนี้เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น เมื่อแสงไปกระทบกับวัตถุที่มีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่นแล้วทำให้แสงนั้นแตกกระจัดกระจายออกไปในทิศทางต่างๆ ตัวอย่างของปรากฏการณ์เช่นนี้คือการที่เรามองเห็นท้องฟ้าเป็นสีน้ำเงิน และมองเห็นท้องฟ้าเป็นสีแดงตอนตะวันตกดินนั้น เกิดจาก

การแตกกระจจัดกระจายของแสง ผู้ที่ทำการอธิบายปรากฏการณ์การรแตกกระจจัดกระจายของแสงนี้คือนักฟิสิกส์ชื่อ Rayleigh คังนั้นจึงใช้ของเขาเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า "Rayleigh Scattering"



รูปที่ 2.29 แสดงคุณสมบัติการสูญเสียแสงจากการดูดแสงของเส้นใยแสงที่ทำด้วยแก้ว

สำหรับการผลิตเส้นใยแสงนั้น ทำได้โดยการให้ความร้อนประมาณ 2000 องศาเซลเซียส แก่แท่งแก้วซึ่งเรียกว่า PREFORM ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจากหลาย มม. ไปถึงหลาย ซม. จากนั้นจึงทำการดึงแท่งแก้วให้เป็นเส้นใยแสงขนาดเล็ก และในตอนนี้ต้องทำให้เส้นใยแสงนั้นมีอุณหภูมิลดลงจาก 2000 องศาเป็นอุณหภูมิห้องประมาณ 20 องศาอย่างรวดเร็วโดยการทำเช่นนี้จะทำให้ความไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่นที่เกิดขึ้น ตอนให้ความร้อน 2000 องศาตกค้างอยู่อย่างนั้นในเส้นใยแสงและเป็นสาเหตุทำให้เกิด Rayleigh Scattering ขึ้นในเส้นใยแสง จัดเป็นสาเหตุการเกิดการสูญเสียแสง ที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในขั้นตอนการผลิต ถือเป็น การสูญเสียที่มีประจำอยู่ในตัวของเส้นใยแสงขนาดของ Rayleigh Scattering จะเป็นสัดส่วนกลับกับความยาวแสงยกกำลัง 4 ด้วยเหตุนี้จะเห็นว่าในรูปที่ 2.31 ความยาวของคลื่นแสงที่

เดิน ทางยังมีค่ามาก Rayleigh Scattering จะมีค่าน้อยลง เช่น ความยาวคลื่นเป็น  $1 \mu\text{m}$  ค่า Rayleigh Loss จะมีค่าประมาณ  $1 \text{ dB/Km}$  และเมื่อความยาวคลื่นเป็น  $1.6 \mu\text{m}$  ค่า Rayleigh Loss จะมีค่าประมาณ  $0.1 \mu\text{m}$

นอกจากนั้นขนาดของ Rayleigh Scatter ยังเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิในตอนที่ทำกรดิ่ง PREFORM ให้เป็นเส้นใยแสง ถ้าหากสามารถทำให้อุณหภูมิต่ำได้ Rayleigh Scattering Loss จะน้อยลง เช่นอุณหภูมิความร้อนที่ใช้ในการดิ่ง glass fiber ที่มีสาร Fluoride ปนอยู่มีค่าประมาณ 700 องศา C ทำให้ Rayleigh Scattering Loss มีค่าเป็น  $1/3$  glass fiber ธรรมดา ยิ่งกว่านั้นสำหรับ glass fiber ที่มีสาร Fluoride ปนอยู่ยังทำให้การสูญเสียแสงที่เกิดจากการดูดแสง INFRARED เลื่อนต่ำออกไปในย่านที่มีความยาวคลื่นมากขึ้น

ดังแสดง WINDOW ที่ 3 ของรูปที่ 2.29 จากข้อดีอื่นนี้รวมกับ Rayleigh Scattering Loss ที่มีค่าต่ำดังกล่าวข้างต้นทำให้สามารถได้เส้นใยแสงที่มีการสูญเสียที่ต่ำมากคือประมาณ  $10\text{-}3 \text{ dB/Km}$  ( $=0.001 \text{ dB/Km}$ )

(3) การสูญเสียจากการกระจัดกระจายแสงอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในเส้นใยแสง (Ununiformity Loss)

สำหรับเส้นใยแสงที่สร้างขึ้นมาจริงๆ นั้นจากสาเหตุต่างๆ ในการสร้างทำให้ไม่สามารถได้เส้นใยแสงที่มีลักษณะกลม  $100\%$  นอกจากนั้น CORE และ CLAD ที่ประกบกันเป็นเส้นใยแสงก็ไม่สามารถทำให้ได้ลักษณะรูปทรงกระบอกที่สม่ำเสมออย่างสมบูรณ์ ตลอดความยาวของเส้นใยแสงได้ กล่าวคือตรงรอยต่อของ CORE กับ CLAD นั้นจะไม่สม่ำเสมอตลอด กล่าวคือจะมีลักษณะคล้ายถนนขรุขระ เมื่อมีรอยต่อไม่เรียบสม่ำเสมอเช่นนี้จะทำให้เกิดการกระจัดกระจายของแสงดังแสดงในรูปที่ 2.28 ทำให้แสงบางส่วนไม่สามารถเดินทางไปใน CORE ได้จะกระจายออกไปข้างนอกดังนั้นรอยต่อที่ไม่เรียบสม่ำเสมอจะทำให้แสงที่เดินทางเกิดการสะท้อนกลับอย่างสะเปะสะปะทำให้การสูญเสียแสงเพิ่มขึ้น การสูญเสียแสงเช่นนี้เรียกว่าการสูญเสียแสงจากการกระจัดกระจายแสงอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในเส้นใยแสง

(4) การสูญเสียแสงจากการกระจายแสงอันเนื่องมาจากการงอโค้งของเส้นใยแสง (BENDING LOSS)

เป็นการสูญเสียที่เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยแสงถูกทำให้งอโค้งไป สำหรับการงอโค้งเส้นใยแสงดังแสดงในรูปที่ 2.28 แสงที่มีมุมงอโค้งมากกว่ามุมวิกฤติแล้ว แสงนั้นจะกระจายออกไปนอก CORE ทำให้เกิดการสูญเสียขึ้น ดังนั้นในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงซึ่งจะได้กล่าวถึงทีหลัง จะต้อง

ระวางอย่าให้เกิดมีการงอเส้นใยแสงเป็นส่วนโค้งที่มีรัศมีเกินกว่ารัศมีที่ยอมให้งอโค้งได้ เช่นไม่เกิน 40 มม. เป็นต้น

(5) การสูญเสียที่เกิดจากการงอโค้งแบบ MICRO BENDING

เป็นการสูญเสียที่เกิดจากการที่มีแรงกดที่ไม่สม่ำเสมอมากกระทำต่อด้านข้างของเส้นใยแสงทำให้แกนของเส้นใยแสงบิดงอไปเล็กน้อย(ประมาณ  $2.3 \mu\text{m}$ ) เป็นเหตุให้การสูญเสียเพิ่มขึ้นการสูญเสียนี้เรียกว่า "MICRO BENDING LOSS" ด้วยเหตุนี้ในการออกแบบโครงสร้างเส้นใยแสงจะต้องการป้องกันแรงกดจากทางด้านข้าง เช่นทำชั้น(LAYER)ป้องกันการกระแทกหุ้มเส้นใยแสง

(6) การสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแสง (CONNECTION LOSS)

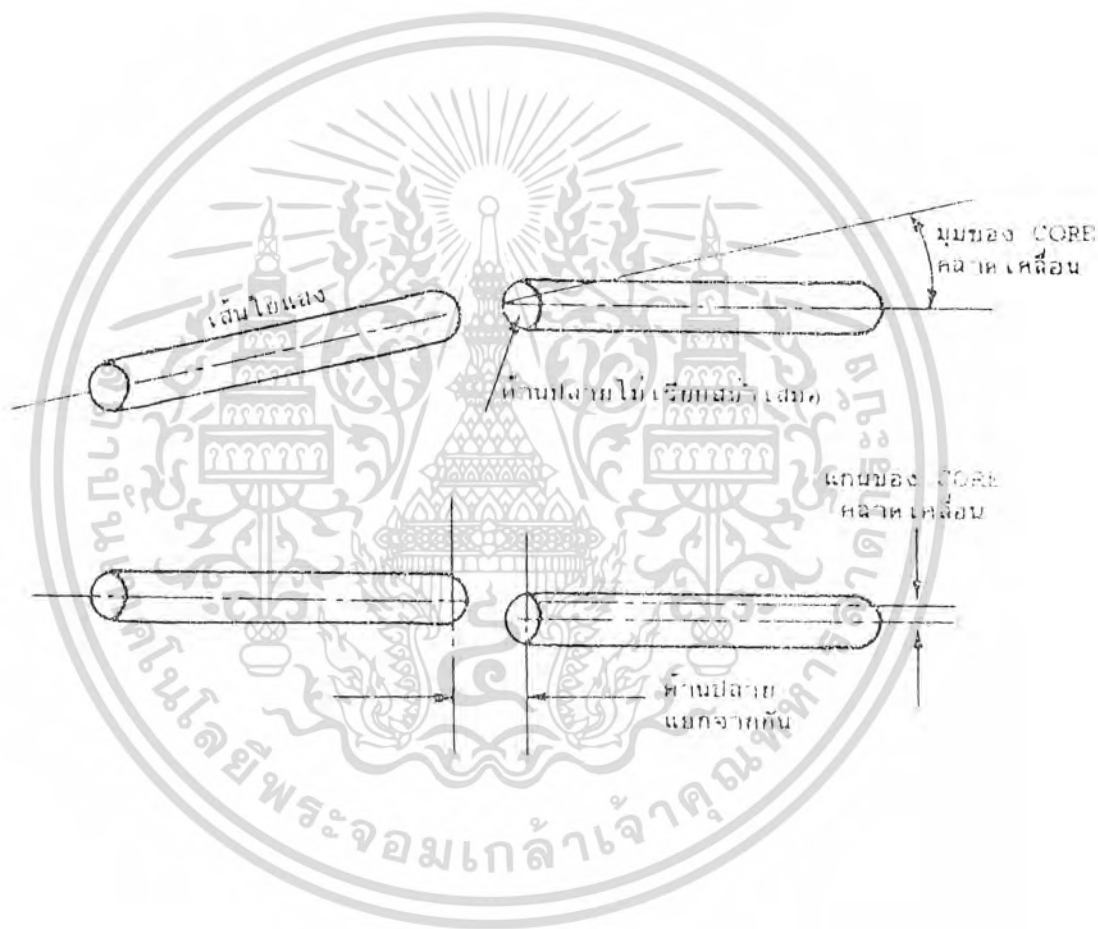
การต่อเส้นใยแสงนั้นคล้ายกับการต่อท่อของน้ำประปาหรือท่อแก๊ส กล่าวคือต้องต่อเข้ากันพอดี มิฉะนั้นน้ำประปาหรือแก๊สที่อยู่ข้างในท่อจะออกไปข้างนอก กรณีที่ทำการต่อเส้นใยแสง 2 เส้นเข้าด้วยกันนั้นอันดับแรกจำเป็นต้องทำการปรับ CORE ทั้งสองที่แสงเดินทางผ่านให้ตรงกันพอดี ถ้าหากว่า CORE ทั้งสองต่อกันไม่สนิทอย่างสมบูรณ์นั้น แสงที่ออกจาก CORE ด้านหนึ่งบางส่วนของมันจะไม่เข้าไปใน CORE อีกด้านหนึ่งแต่จะกระจายออกไปข้างนอกทำให้เกิดการสูญเสีย สาเหตุการเกิดการสูญเสียอย่างนี้แสดงในรูปที่ 2.30 กล่าวคือมีทั้งการคลาดเคลื่อนของแกนของ CORE และอื่นๆ แต่สำหรับค่าการสูญเสียนั้นส่วนใหญ่จะมาจากการคลาดเคลื่อนของแกนของ CORE อนึ่งตรงส่วนที่ทำการต่อกัน กรณีมีช่องว่าง (GAP) เพียงเล็กน้อยจะทำให้เกิดการสูญเสียจากการสะท้อนกลับ ถ้าหากช่องว่างโตมากขึ้นกว่านั้นจะเกิดการสะท้อนกลับที่เรียกว่า "FRESNEL REFLECTION"

7. การสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยแสงกับอุปกรณ์กำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสง (COUPLING LOSS)

แสงที่ปล่อยออกจากอุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงนั้น มีเงื่อนไขในการที่จะป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง ดังที่กล่าวมาแล้วนั้นคือ NA (Numerical Aperture) กรณีที่ใช้อุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงได้แก่ Laser Diode (LD) หรือ Light Emitting Diode (LED) จะมีความแตกต่างกันทางด้านความกว้างของลำแสงที่ปล่อยออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งจะได้กล่าวต่อไปแม้จะใช้เลนส์รวมแสงแล้วก็ตาม LD จะมีการสูญเสียของการเชื่อมต่อแสงน้อยกว่า นอกจากนั้นโครงสร้างของเส้นใยแสงที่จะถูกป้อนแสงเข้าไปนั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง

ของ CORE ของเส้นใยแสงแบบ SM และ GI จะมีค่าต่างกันทำให้ขนาดของการสูญเสียของการเชื่อมต่อแสงมีค่าต่างกันไปด้วย

เกี่ยวกับการสูญเสียของการเชื่อมต่อแสงระหว่างเส้นใยแสงกับอุปกรณ์รับแสงนั้น เส้นใยแสงที่มี NA มากนั้นคือแสงที่ออกจากเส้นใยแสงแบบ GI จะมีลำแสงกว้างกว่าลำแสงที่ออกจากเส้นใยแสงแบบ SM ทำให้การสูญเสียแสงมีมากกว่า



รูปที่ 2.30 แสดงสาเหตุต่างๆ ของการสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.5.2 การขยายกว้างออก(Dispersion)และTransmission Band Width ของเส้นใยแสง

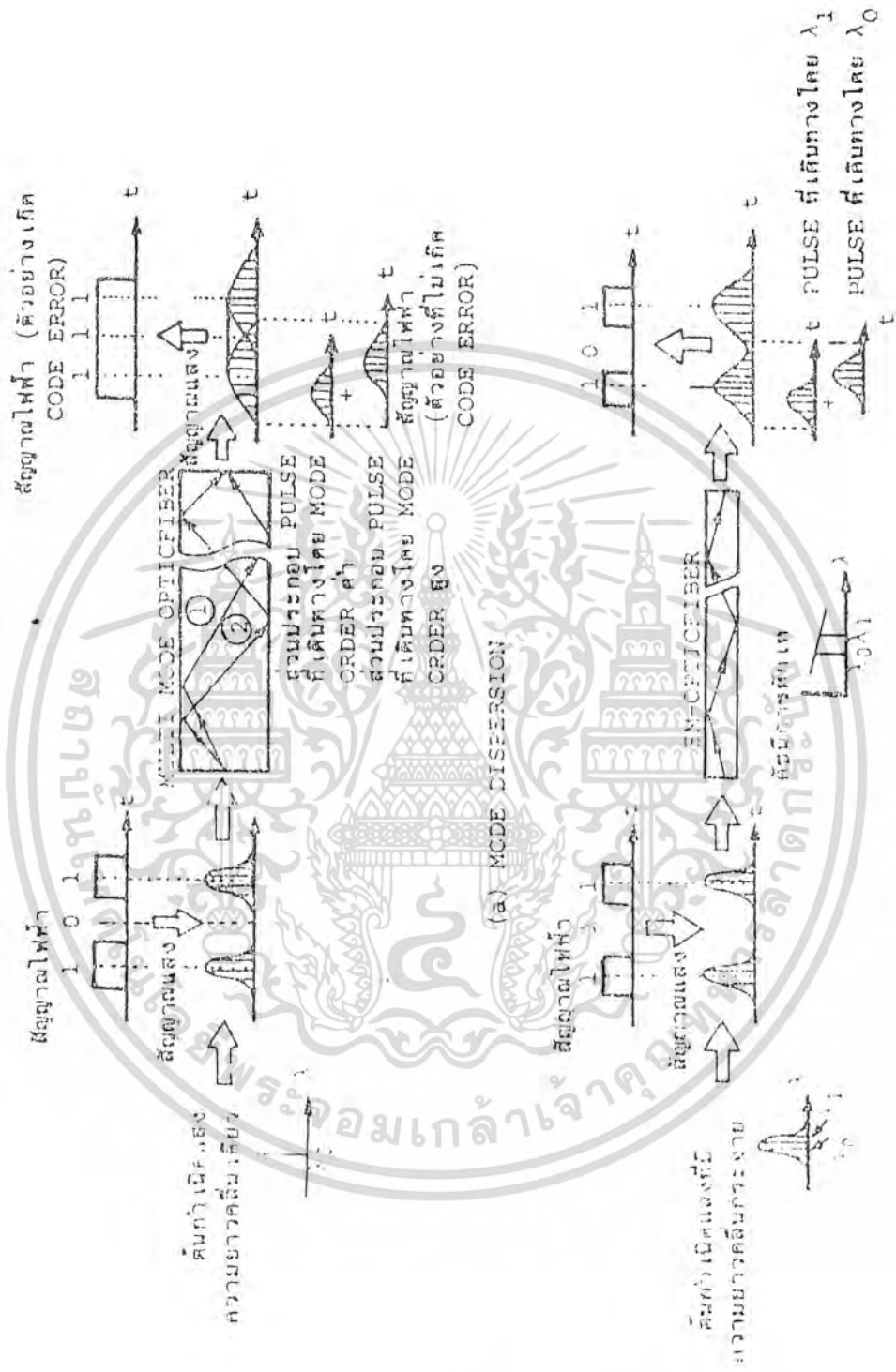
#### (1) การขยายกว้างออกของ MODE (MODE DISPERSION)

สำหรับ MULTI MODE OPTIC FIBER นั้น ความเร็วในการเดินทางของแต่ละ MODE ภายในเส้นใยแสงจะต่างกัน ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.31 (a) เมื่อป้อน พัลส์ ที่ถูกผสมแบบ พัลส์ Modulation เข้าไปในเส้นใยแสงแบบ Multi Mode optic Fiber พัลส์ ของแสงที่ออกมาจากปลายอีกด้านหนึ่งของเส้นใยแสง เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ พัลส์ ของแสงทางด้านที่ป้อนเข้าไปจะเห็นว่า ขยายออกกว้างมาก การที่เป็นอย่างนี้นั้นแม้ว่าความยาวคลื่นของต้นกำเนิดแสงที่ป้อนเข้าไปนั้นจะแบ่งออกเป็น MODE ต่างๆที่มีความเร็วในการเดินทางต่างกันดังนั้นในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงจึงเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า "MODE DISPERSION ทำให้ไม่สามารถทำให้ระยะห่างระหว่าง พัลส์ เล็กลงมากๆ ได้

ดังนั้นจะเห็นได้ MULTI MODE OPTIC FIBER นั้นส่วนใหญ่ MODE DISPERSION จะเป็นตัวกำหนด BAND WIDTH แม้ว่าพยายามทำให้ MODE DISPERSION นี้น้อยลงโดยการทำให้ค่าดัชนีการหักเหของ CORE เป็นลักษณะ PARABOLA ซึ่งเรียกว่า GRADED INDEX OPTIC FIBER แล้วก็ตาม แต่เนื่องจากมีขีดจำกัดในความแน่นอนของรูปร่างของค่าดัชนีการหักเห ด้วยเหตุนี้ในระบบการส่งข่าวสารจำนวนมากที่ต้องการคุณสมบัติ BAND WIDTH กว้างนั้นจะใช้ SINGLE MODE OPTIC FIBER ที่ไม่มี MODE DISPERSION โดยการทำให้มี MODE เดียว

#### (2) การขยายกว้างออกของความยาวคลื่น(WAVE LENGTH DISPERSION)

ในตัวกลางที่มีเนื้อเดียวกันแต่ถ้าหากความยาวคลื่นต่างกันแล้วค่าดัชนีการหักเหจะต่างกันเป็นให้ความเร็วในการเดินทางต่างกันตามค่าความยาวคลื่น ปรากฏการณ์ที่เห็นได้เกี่ยวกับค่าดัชนีการหักเหที่ขึ้นอยู่กับความยาวของแสงคือการกระจายแสงออกเป็นสีต่างๆ ของ PRISM การเกิดรุ้งกินน้ำที่มีสี 7 สีเกิดขึ้นในตอนหลังจากฝนตกเป็นต้น แสงที่ใช้ในการสื่อสารใยแสงนั้น ความจริงแล้วไม่ใช่แสงที่มีความยาวคลื่นอันเดียวเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.31 (b)กล่าวคือจะมีความยาวคลื่นอื่นอยู่ด้วยแต่น้อยมาก ทำให้เกิดการขยายกว้างออกของความยาวคลื่น ด้วยเหตุนี้ก็จะเกิดความแตกต่างของความเร็วในการเดินทางตามความยาวคลื่นที่ต่างกันความยาวคลื่นมากขึ้นเท่าใดค่าดัชนีการหักเหจะน้อยลงเท่านั้น และจะเป็นผลให้ความเร็วในการเดินทางเพิ่มขึ้น) การขยายกว้างออกของความยาวคลื่นนี้เป็นสาเหตุให้ BAND WIDTH ถูกจำกัดค่าความกว้างเช่นเดียวกันกับกรณีของ MODE DISPERSION ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้อ (1) และสาเหตุนี้เรียกว่า "MATERIAL DISPERSION



รูปที่ 2.31 แสดงการเกิด DISPERSION ของเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้นกรณีที่ว่าผลต่างของดัชนีการหักเหของ CORE กับ CLAD มีค่าน้อยนั้นปรากฏการณ์การสะท้อนกลับหมดของแสงที่รอยต่อของ CORE กับ CLAD จะไม่เท่าเหมือนกับที่เกิดในกระจกเงากลาง คือส่วนหนึ่งของแสงจะทะลุเข้าไปใน CLAD ก่อนแล้วจึงสะท้อนกลับหมดและขนาดการทะลุเข้าไปนี้จะแตกต่างกันตามความยาวคลื่นเป็นผลให้ระยะทางการเดินทางของแสงนี้ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น (ความยาวคลื่นยิ่งมีมากเท่าไรขนาดการทะลุเข้าไปใน CLAD จะมากขึ้นเท่านั้น และจะทำให้เส้นทางการเดินทางยาวมากขึ้น) การขยายกว้างออกของระยะทางการเดินทางของแสงนี้เรียกว่า "STRUCTURE DISPERSION" ในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงนั้นการเกิด MATERIAL DISPERSION และ STRUCTURE DISPERSION รวมเรียกว่า "WAVE LENGTH DISPERSION"

ความสัมพันธ์ระหว่าง MODE DISPERSION , MATERIAL DISPERSION , STRUCTURE DISPERSION จะเป็นดังนี้คือ  $MODE DISPERSION \gg MATERIAL DISPERSION > STRUCTURE DISPERSION$  ดังนั้นสำหรับ MULTI MODE OPTIC FIBER ส่วนใหญ่ MODE DISPERSION จะเป็นตัวกำหนด BAND WIDTH ของการส่ง WAVE LENGTH DISPERSION นั้นมีผลต่อ BAND WIDTH ของการส่งน้อยมากแต่จะเป็นสาเหตุสำคัญในการกำหนด BAND WIDTH ใน SINGLE MODE OPTIC FIBER ด้วยเหตุนี้ใน SINGLE MODE OPTIC FIBER จะเลือกใช้ความยาวคลื่นที่ทำให้ STRUCTURE DISPERSION ไปหักล้างกับ MATERIAL DISPERSION ให้มากที่สุดที่จะทำได้ (ความยาวคลื่นนี้เรียกว่า "ZERO DISPERSION WAVE LENGTH" และวิธีการต่างๆในการออกแบบโครงสร้างของเส้นใยแสงเพื่อให้มี WAVE LENGTH DISPERSION น้อยที่สุด

### (3) ขนาดความกว้าง BAND WIDTH ของการส่ง (TRANSMISSION BAND WIDTH)

ปัจจุบัน TRANSMISSION BAND WIDTH ที่ใช้ในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงนั้น เป็นตัวบอกให้ทราบว่าจะสามารถส่งสัญญาณแสงที่ผสมกับสัญญาณข่าวสารด้วยความถี่สูงมากแค่ไหนปกติจะแสดงขนาดความกว้างตรงจุดที่คุณสมบัติความถี่ base band (Base Band Frequency Characteristic ) ของเส้นใยแสงตกลงมา 6 dB

สมมุติว่าเราทำการป้อน อิมพัลส์ ซึ่งเป็น WAVE FORM ที่สมบูรณ์แบบกล่าวคือ ตรงฐานของ WAVE FORM ไม่ขยายกว้างออก เมื่อ อิมพัลส์ นี้เดินทางไปในเส้นใยแสงได้ระยะทางค่าหนึ่ง ตรงจุดปลายทางของเส้นใยแสงนั้น อิมพัลส์ ที่เดินทางมาจะขยายกว้างออก เนื่องจากคุณสมบัติ dispersion ของแสงตามที่ได้กล่าวมาแล้ว แม้ว่าในระหว่างทางที่แสงเดินทางมาจะไม่มี RADIATION MODE (แสงกระจายออกจาก CORE) เลยก็ตาม แต่ทว่าเวลาที่ อิมพัลส์ ขยายกว้างออกไปนั้นจะต้องทำให้ขนาดของ

อิมพัลส์ ลดลงอย่างแน่นอน จากการตรวจดู อิมพัลส์ WAVE FORM ตรงจุดปลายทางของเส้นใยแสง (เรียกว่าอิมพัลส์ RESPONSE WAVE FORM) นี้สามารถใช้เป็นขั้นตอนของการประเมินค่าคุณสมบัติการขยายกว้างออก(DISPERSION)ของเส้นใยแสงได้ โปรดสังเกตว่าการใช้หลักการ เช่นนี้ในย่านของความถี่จึงเรียกว่า"BASE BAND FREQUENCY CHARACTERISTIC"

คำว่า "BASE BAND FREQUENCY CHARACTERISTIC" นั้นหมายถึง คุณสมบัติความถี่ของอัตราส่วนของขนาดสัญญาณไฟฟ้าซึ่งเป็นsine wave ที่นำมาผสมทางด้าน อินพุท กับสัญญาณไฟฟ้าที่แยกออกมาจากการผสม (DEMODULATION) ทางด้าน เอาท์พุท ในสายส่งที่เป็นเส้นใยแสงดังแสดงในรูปที่ 2.28 (a)สำหรับเส้นใยแสงที่เป็น MULTI MODE เนื่องจากผลของ MODE DISPERSION ดังที่ได้กล่าวมาแล้วจะทำให้ได้ว่า เมื่อความถี่ที่นำมาผสมทางด้าน อินพุท สูงขึ้น ขนาดของสัญญาณที่แยกออกมาจากการผสมทางด้าน เอาท์พุท ลดลง ดังแสดงด้วยกราฟในรูปที่ 2.35 (b)นอกจากนั้นยังขึ้นกับระยะทางด้วย ขนาดความกว้างของ band width ที่ 6 dB นั้น เรียกว่าเป็นช่วงความถี่ที่ขนาดของสัญญาณไฟฟ้าที่แยกออกมาจากการผสม ภายหลังจากแสงเดินทางได้ 1 Km แล้วปรากฏว่าขนาดของมันลดลงเป็น 1/2 (ปริมาณการสูญเสียกำลังของแสงเป็น 3 dB)เมื่อเทียบกับขนาดของสัญญาณไฟฟ้าที่นำมาผสมทางด้าน อินพุท และใช้หน่วยเป็น MHz/Km

#### 2.6.6 ระบบการสื่อสารเส้นใยแสง

ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง มีโครงสร้างคล้ายกับระบบการสื่อสารด้วยสายเคเบิลเพียงแต่ใช้ตัวกลางนำข้อมูลที่แตกต่างกันกล่าวคือเมื่อต้องการส่งข้อมูลที่อาจอยู่ในรูปของสัญญาณเสียง สัญญาณภาพ หรือข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ วงจรภาคส่งจะทำหน้าที่จัดรูปสัญญาณให้เหมาะสมด้วยวิธีการเข้ารหัสและมอดูเลตโดยลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่มักจัดให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล เพราะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า จากนั้นวงจรในส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงหรือไดโอดเปล่งแสงจะแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้ให้เป็นสัญญาณแสงส่งไปยังสถานีรับ โดยมีเส้นใยแสงเป็นท่อนำสัญญาณที่สถานีรับจะมีโฟโตนิกส์เตอร์คอยเปลี่ยนสัญญาณแสงที่รับได้ให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า แล้วส่งไปยังวงจรภาครับเพื่อถอดรหัสและดีมอดูเลตสัญญาณ ทำให้ได้สัญญาณที่มีลักษณะเดียวกับสัญญาณเดิมเป็นข้อมูลขาดออกที่นำไปใช้งานต่อไปดังแสดงในรูปที่ 2.32

ในช่วงระหว่างสถานีส่งสัญญาณและสถานีรับสัญญาณที่เชื่อมด้วยเส้นใยแสง จะต้องมีสถานีทวนสัญญาณ(Repeater) ทำหน้าที่ขยายและจัดรูปสัญญาณที่เกิดการผิดเพี้ยนไปในระหว่างการเดินทาง ในการใช้งานจริงระยะห่างระหว่างสถานีทวนสัญญาณมีค่าประมาณ 10 กิโลเมตร ขึ้นไปโดยจะขึ้นกับ

ขนาดหรือปริมาณของข้อมูลที่ใช้รับส่งสำหรับระบบที่มีประสิทธิภาพสามารถรับส่งสัญญาณข้อมูลที่มีขนาด 2 Gb/s (สองพันล้านบิตในหนึ่งวินาที) ไปเป็นระยะทาง 2200 กิโลเมตร โดยมีสถานีทวนสัญญาณเพียง 25 สถานี ในทุกๆ ระยะ 80 กิโลเมตร



รูปที่ 2.32 แสดงตัวอย่างของระบบของการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

## 2.7 การสูญเสียสัญญาณในเส้นใยแสง

เมื่อมีการป้อนข้อมูลที่เป็นสัญญาณแสงให้กับเส้นใยแสง ในช่วงระยะทางหนึ่งสัญญาณอาจหยุดที่ได้ยอมมีการสูญเสีย หรือผิดเพี้ยนไปบ้าง เช่นเดียวกับการส่งข้อมูลด้วยสายเคเบิลลักษณะการสูญเสียในไฟเบอร์ออปติก แบ่งออกได้ดังนี้

### 2.7.1 การสูญเสียเนื่องจากวัสดุตัวกลาง

เป็นผลมาจากการดูดซับพลังงานภายในเนื้อสารที่ใช้ทำเส้นใยแสง ในขณะที่แสงเดินทางและชนกับโมเลกุลของมันหากการดูดซับพลังงานในเนื้อสารมีมาก จะก่อให้เกิดการสูญเสียสัญญาณขึ้นด้วยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางโมเลกุลและความบริสุทธิ์ของเนื้อสารที่ใช้ทำเส้นใยแสง

### 2.7.2 การสูญเสียจากการกระจายแสง

เมื่อแสงเดินทางในไฟเบอร์ออปติกจะเกิดการกระจายของแสงอันเนื่องมาจากการชนกับโมเลกุลของเนื้อสารทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณไป โดยอัตราการสูญเสียขึ้นอยู่กับโครงสร้างที่ไม่สมบูรณ์ของเนื้อสาร อีกทั้งขึ้นกับความยาวคลื่นของแสงที่เดินทางในเส้นใยแสงด้วย

### 2.7.3 การสูญเสียจากท่อนำสัญญาณ

เป็นการสูญเสียอันเนื่องมาจากการจัดวางของสายเส้นใยแสงที่ทำหน้าที่เป็นท่อนำสัญญาณ ในลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรงทำให้มุมของการตกกระทบของแสงที่ผนังระหว่าง CORE กับ CLADเปลี่ยนแปลง

ไป ดังนั้นสัญญาณเอาต์พุตในรับการสื่อสารชนิดใหม่ควรจะมีเกิดการผิดเพี้ยนได้ง่าย โดยมีขนาดความกว้างของสัญญาณมากขึ้นกว่าเดิม

การคิดค่ากำลังการสูญเสีย ( $L$ ) ในเส้นใยแสง มักกระทำในเทอมของเดซิเบล (dB) โดยการคำนวณจากสูตร

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

เมื่อ  $P_o$  ค่าพลังงานเอาต์พุต

$P_i$  ค่าพลังงานอินพุตที่ป้อนให้กับเส้นใยแสง

สมมติเราต้องการคำนวณหาลำดับการสูญเสียจากเส้นใยแสงที่มีขนาดความยาว 100 เมตร เมื่อป้อนสัญญาณแสงที่มีพลังงาน  $P_i = 10 \text{ uW}$  เข้าไปในสาย และวัดสัญญาณขาออก  $P_o = 9 \text{ uW}$  จะได้ค่ากำลังการสูญเสียคำนวณจากสูตรได้

$$L_{(dB)} = -0.458/0.1 = -4.58 \text{ dB/km}$$

ค่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าลบหมายความว่า ค่าที่คำนวณได้เป็นค่าการสูญเสียนั่นเอง ค่ากำลังการสูญเสียต่ำสุดของเส้นใยแสง ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันขึ้นอยู่กับค่าความยาวคลื่นของแสงที่ใช้นำสัญญาณข้อมูล (ผลจากการกระเจิงของแสง) กล่าวคือ

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

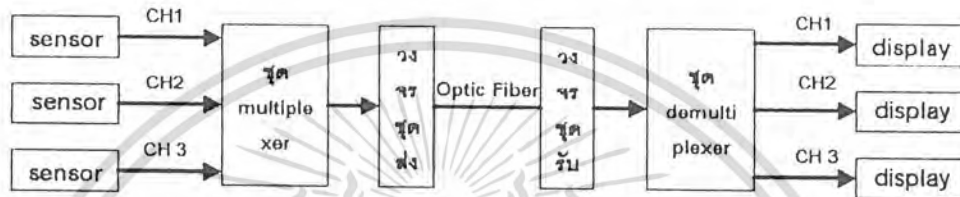
ที่ความยาวคลื่นแสง 1.3  $\mu\text{m}$  ค่ากำลังการสูญเสียต่ำสุด 0.4 dB/km

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

### บทที่ 3

#### ทฤษฎีและหลักการออกแบบวงจร

ในโครงการชุดนี้เป็นการนำเอาชุดตรวจจับสภาวะต่างๆที่จะใช้ในการทดลองทำการส่งผ่านสัญญาณที่แต่ละชุดสามารถตรวจจับได้ส่งไปทำการมัลติเพล็กซ์สัญญาณก่อนที่จะทำการส่งผ่านเส้นใยแสงไปเมื่อถึงทางด้านรับจะทำการ ดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณกลับคืนมาแล้วจึงนำสัญญาณต่างๆ ส่งไปแสดงผลยังส่วนแสดงผลซึ่งโครงสร้างของโครงการและรายละเอียดมีดังต่อไปนี้



Block Diagram

รูปที่ 3.1 บล็อกแสดงการทำงานโดยรวม

ซึ่งส่วนประกอบในส่วนต่างๆ ประกอบไปด้วย

1. ชุด มัลติเพล็กซ์
2. ชุด ดีมัลติเพล็กซ์
3. ชุด เซนเซอร์
  - ชุดวัดอุณหภูมิ
  - ชุดวัดความดัน
  - ชุดวัดแก๊สรั่ว

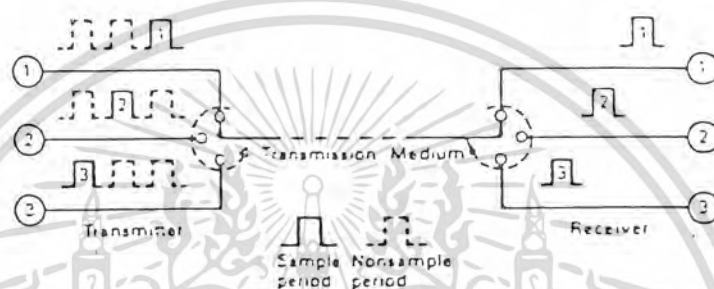
#### 4. ชุดแสดงผล

- ชุดวัดอุณหภูมิ
- ชุดวัดความดัน
- ชุดวัดแก๊สรั่ว

ซึ่งรายละเอียดของแต่ละชุดจะได้อธิบายดังต่อไปนี้

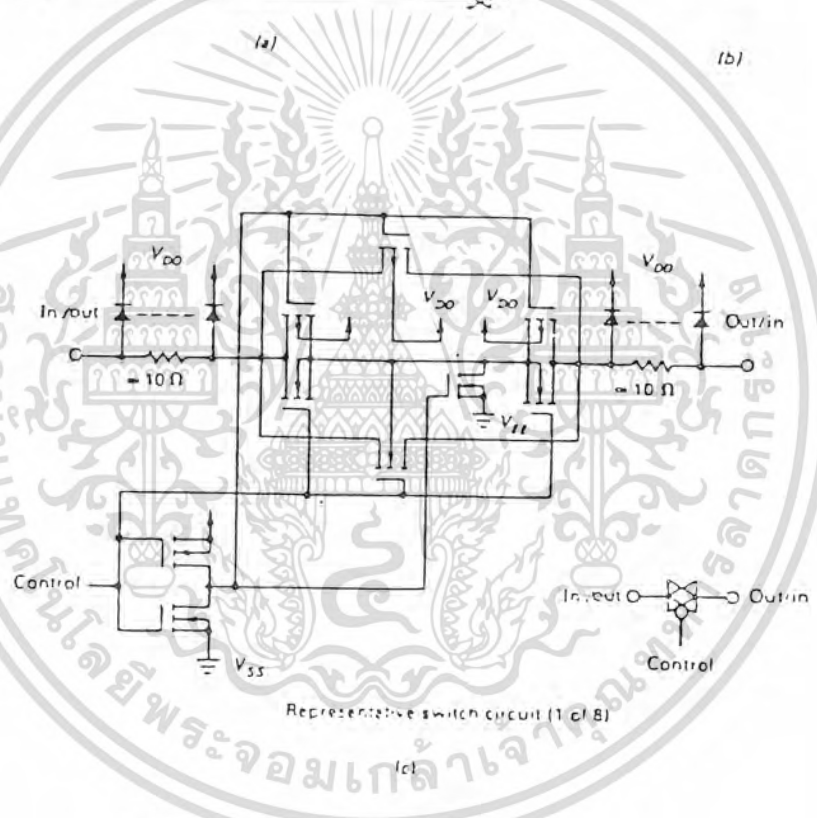
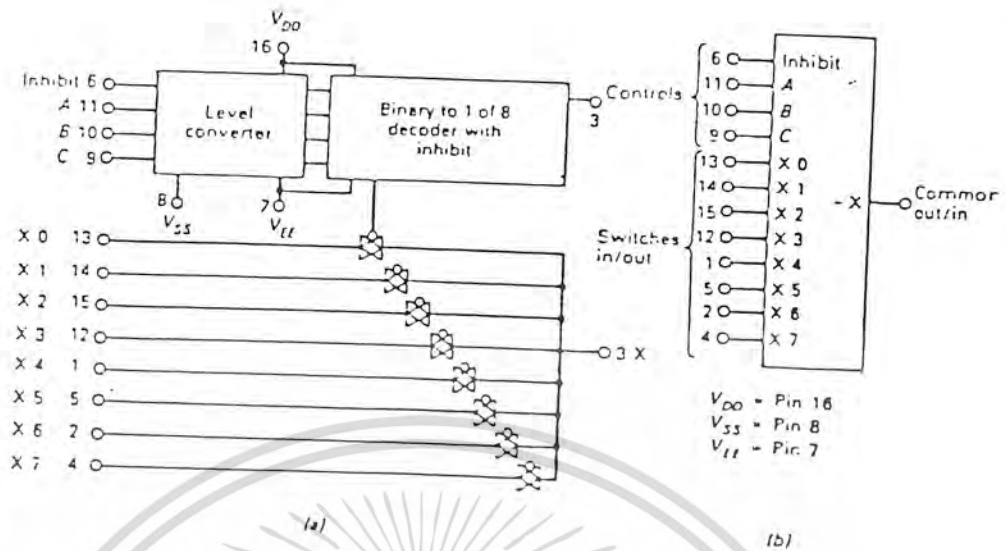
### ชุดมัลติเพล็กซ์

ระบบ Time Division Multiplex เป็นพื้นฐานและเป็นวิธีการที่นิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่ละสัญญาณที่จะส่งจะต้องถูกต่อเข้ากับสื่อกกลางในเวลาอันรวดเร็วโดยตัวต่อ motor driven commulater ซึ่งในปัจจุบันนี้การมัลติเพล็กซ์ถูกกระทำโดย Intigrated Circuit(IC) แทนรูปที่ 1. แสดงถึงหลักการเบื้องต้นของระบบ สวิตซ์ซิง(Switching) ซึ่งการ สวิตซ์ซิง นี้สามารถทำได้โดยการใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน หรือ ไอซี (แน่นอนว่าในขณะนี้เราใช้วงจร ไอซี)



รูปที่ 3.2 แสดง BASIC MULTIPLEX

สัญญาณจากแต่ละวงจรหรือจากแต่ละแหล่งขั้วแรงจะต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณ พัลส์ sample ในระหว่างช่วงเวลา แคมป์เบล สัญญาณจะถูกส่งผ่านออกไป ซึ่งสัญญาณเหล่านี้อาจเป็นได้ ทั้ง DC,AM,AC,FM,PWM,PCM หรือสัญญาณแบบอื่นๆ ความเร็วของการ แคมป์เบล ไม่ได้ถูกกำหนดเอาไว้แน่นอนตายตัวแต่มันจะเป็นตัวกำหนด Band pass ของระบบและจะมีผลกระทบมากถ้าหากอัตราการแคมป์เบล มีค่าน้อยกว่าสองเท่าของความถี่ที่เราจะทำการส่งออกไป สำหรับสัญญาณเสียงในระบบ โทรศัพท์อัตราการ แคมป์เบล ปกติจะใช้ 8000 Hz หรือสูงกว่านี้ Bandwidth ปกติของสายโทรศัพท์ที่ใช้ส่งสัญญาณเสียงจะอยู่ที่ 300 ถึง 3400 Hz และกำหนดช่วงห่างของสัญญาณแต่ละช่อง 600 Hz ที่อัตรา 8000 Hz ในแต่ละเฟรมของเสียง(24 slots) จะใช้เวลาสุ่ม 125 microseconds แต่ละ slots กินเวลา 5.2 microseconds



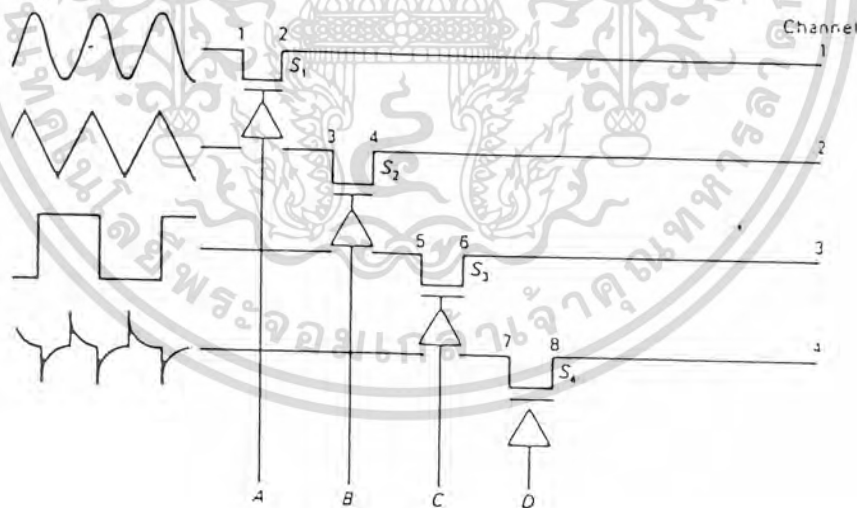
รูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้างของไอซี MC 14051 MULTIPLEXER

ซึ่งก็คือแต่ละช่องสัญญาณนั่นเอง slots ที่ใช้เวลาน้อยกว่า 5.2 microseconds สามารถให้ส่งสัญญาณ Audio ในจำนวนช่องสัญญาณที่มากขึ้นและ Bandwidth ก็จะถูกขยายให้มากขึ้นตามไปด้วยในการทดลองนี้อัตราการ แคมป์ลิง จะใช้ประมาณ 800 kHz, Bandwidth ของระบบมากกว่า 1 MHz ซึ่งถ้า Bandwidth แคบ จะทำให้การส่งสัญญาณผิดพลาดได้ที่ทางด้านส่ง และ ทางด้านรับจะต้องมีการ ชิงโคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซชัน กัน เมื่อสัญญาณข้อมูลถูกต่อเข้ากับ แชนแนล ที่ 1. ทางด้านรับก็จะต้องอยู่ใน แชนแนล ที่ 1. ด้วยซึ่งในระบบ Time Division Multiplex จะต้องมีการ Synchronizate ที่ดีด้วย ปกติแล้ว Marker พัลส์ ที่ จะถูกส่งไปจะต้องแตกต่างไปจากข้อมูลอื่นๆในระหว่างการส่งข้อมูลปกติ เช่น อาจจะมีระดับที่สูงกว่า หรือมีความกว้างซึ่งในเรื่องของสัญญาณที่ใช้ไม่สำคัญนักเพียงแต่ขอให้สามารถรับได้ทางด้านรับ สามารถที่จะตรวจสอบได้ง่าย Time slots ในแต่ละช่องสัญญาณจะรวมกันเป็น 1 เฟรมสัญญาณ Synchronized พัลส์จะถูกส่งไปยังเครื่องรับที่จุดเริ่มต้นหรือจุดสุดท้ายของเฟรมในการทดลองนี้ตัว marker พัลส์ จะมีขนาดที่สูงกว่า แชนแนล พัลส์ ด้วยเหตุนี้ทางด้านรับก็สามารถรู้หรือตรวจสอบได้ และ ใช้เป็นตัวลอค ใน Local Oscillator ทางเครื่องรับซึ่งซิงโครไนเซชัน พัลส์ นี้จะอยู่ที่ตำแหน่ง time slot ที่ 5.

ในการทดลองนี้เราใช้ไอซี อนุาล็อกสวิตซ์ซึ่ง หรือจะเรียกว่า Commutational Switches ตั้วสวิตซ์ ไอซี นี้จะถูกจัดเรียงเป็นแบบ 4,8,หรือ 16 ที่ อินพุท และ เอาพุทของ ไอซี สามารถที่จะแยกต่างหาก หรือจัดรวมเข้าเป็นกลุ่มก็ได้บางซิทจะมีทางเข้าหลายทางและออกทางเดียว หรือมีทางเข้าทางเดียวแต่ ทางออกหลายทางรูปที่ 3.3a แสดงตัว ไอซี ที่มี 8 อินพุท และ 1 เอาพุทรูปที่ 3.3c(รายละเอียดของรูป ที่ 3.3b) แสดงการต่อวงจรซึ่งใช้ CMOS technology รูปที่ 3.3b แสดงถึงวิธีการจัดเรียง gates ต่างๆในการ ต่อเพื่อควบคุม อินพุท (A,B,C)



รูปที่ 3.4 FOUR SWITCH IC WITH GATE AND CONTROL INPUT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สวิทช์แต่ละตัวก็คือ เฟท และ ไอซี บางตัวจะรวม เกท ที่สามารถถูกทริกให้ทำงานได้ โดยlogic พัลส์ รูปที่ 3.4 แสดง IC ที่มี 4 สวิทช์ และการแปลงโลจิกกลับสัญญาณที่แตกต่างกัน 4 สัญญาณถูกสร้างขึ้นจาก Function Generator ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกาทรทดลอง เมื่อ อินพุต a ถูกทริก เกทของสวิทช์ S จะเป็นบวก และค่าความต้านทานระหว่างเทอร์มินอล 1 และ 2 จะตกลงมาจากค่าความต้านทานสูงที่  $10^3$  โอห์ม เมื่อเปิดสวิทช์ สัญญาณจะผ่านจากเทอร์มินัล 1 ไปยัง 2 สัญญาณจะถูกส่งผ่านไประหว่างช่วง พัลส์ period เกิดขึ้นที่เกทแต่ละเกทในมัลติเพลกซ์ ถูกกระตุ้นโดย ripple counter และมีช่วงเวลาขึ้นอยู่กับ Oscillator ดังนั้น เวลาที่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมจะเพิ่มผ่านไปในแต่ละเกท A, B, C และ D อัตราการสุ่มจะถูกสร้างขึ้นมาจาก Clock Frequency ใน Oscillator ซึ่งการทำงานของระบบมัลติเพลกซ์สามารถอธิบายได้จากวงจรทดลองดังตัวอย่าง ในการทดลองนี้ ตัว MC14051 analog multiplexer(ไอซี1) ถูกใช้เพื่อ แคมป์ลิงสัญญาณอนาล็อกที่ อินพุต ไปยังตัวส่งและ IRED driver, ไอซี 14051 เป็นแบบชั่วคราว 8 ตำแหน่งอิเล็กทรอนิกส์สวิทช์ ในการทดลอง สวิทช์ที่ไม่ถูกใช้ จะถูกต่อลง ground รูปที่ 3.3a แสดงตำแหน่งขาต่างๆ ของชิพตัวมัลติเพลกซ์มี 8 อินพุต อยู่ที่ขา 13,14,15,12,1,5,2, และ 4 ส่วน เอาท์พุทของ ชิพคือขา 3 อัตราการ แคมป์ลิงสำหรับแต่ละช่องสัญญาณจะถูกสร้างโดยผ่านทาง คอนโทรล อินพุต A, B และ C ตัวชิพนี้สามารถใช้สวิทช์ตามความถี่สูงถึง 65 MHz เมื่อช่องสัญญาณ(หรือเกทสวิทช์) 'ON' มันจะมีค่าความต้านทานต่ำกว่า 60 โอห์ม

รูป 3.5 แสดงถึงวงจรทดลองของตัวส่งมัลติเพลกซ์ ตัวชิพไอซี 1ที่มี 8 อินพุต ซึ่งจะใช้เพียง 5 อินพุตจะเห็นว่าขา 1 ในรูปวงจรจะต่อกับ  $R_{20}$  ไปยัง  $V_{CC}$  การต่อนี้จะให้ไฟ +5 V. บน แชนแนล 5.เมื่อ ดิจิตอลแคมป์ลิงหมุนมาที่เกทนี้ ไฟ 5 โวลต์ ที่มีความชันมากจะถูกสร้างขึ้นที่ เอาท์พุทและ พัลส์ บวกนี้ จะใช้สำหรับการ ซิงโครไนซ์กับเครื่องรับซึ่งจะอธิบายต่อไปในส่วนของวงจรเครื่องรับอินพุตทั้ง 4 ของตัวส่งจะเป็นช่องสัญญาณ 1 ถึง 4 และมันสามารถรับแหล่งจ่ายไฟที่เป็นได้ทั้งสัญญาณ อนาล็อก หรือ ดิจิตอล ที่มีขนาด 5 V .สัญญาณออกที่ขา 3 จะถูกส่งไปยัง Light driver สัญญาณ Light-Modulated จะประกอบด้วยสัญญาณจากทุกๆ ช่อง

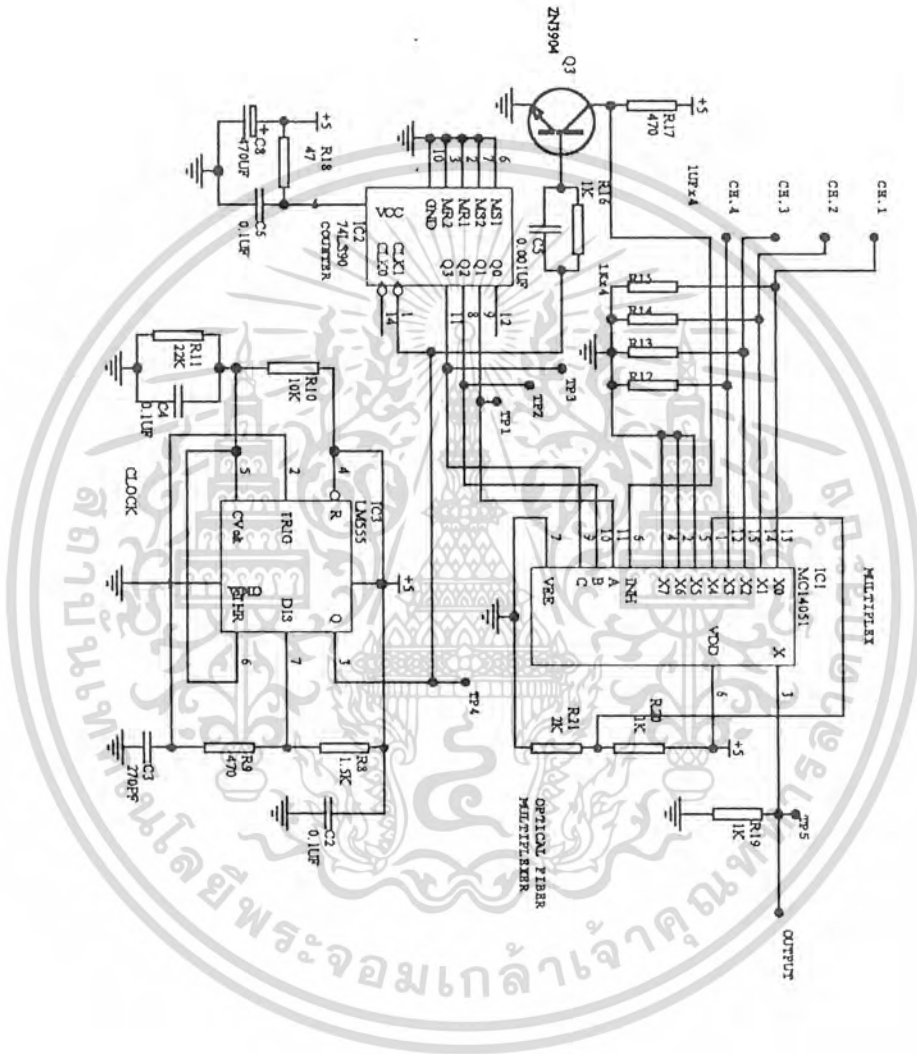
ไอซี 2คือ 7490 เป็น ไบนารีเคาร์เตอร์ ไอซีตัวนี้จะผลิตสัญญาณ ดิจิตอลแคมป์ลิงพัลส์ไปควบคุมอินพุทของ ไอซี1 และตัว ไอซี2 นี้ยังเป็นตัว โลจิกไดรเวอร์ที่ควบคุมอินพุท (A, B, C) ของ ไอซี 14051 ตัว ไบนารีเคาร์เตอร์จะถูกต่อให้นับถึงเพียงแค่ 5 ซึ่งเป็นการควบคุมการปิด เปิดของสวิทช์ทั้ง 4 ตัวตามลำดับเมื่อเริ่มนับ 6 ตัว ไอซี 2 จะกลับมาเริ่มต้นนับ 1ใหม่ อัตราแคมป์ลิง ของ ไอซี 2ถูกควบคุมด้วยคล็อก จาก ไอซี3 (ใช้ LM 555 timer) ความถี่ของ คล็อกนี้ประมาณ 160 kHz ซึ่งค่าความถี่นี้ไม่ได้

แน่นอนตายตัว แต่ก็ตั้งที่กล่าวมาก่อนแล้วว่า มันมีผลต่อการกำหนด แบนวิดท์ของสัญญาณที่สามารถส่งไปในอนาล็อกสวิตช์ต่อไปนี้เป็นสรุปการทำงานของด้านตัวส่ง

คล็อก (ไอซี3) กำหนดให้เป็นความถี่การทำงานเบื้องต้น เพื่อใช้สำหรับควบคุมให้เกิดการนับ 5 ที่ ไอซี2 และตัวนับ (counter) นี้จะถูกต่อออกไปเพื่อควบคุมการทำงานของ อนาล็อกมัลติเพล็กซ์(ไอซี1) อีกที ซึ่งตัวมัลติเพล็กซ์เชอร์นี้ สามารถให้ได้ 8 อินพุท และ ให้สัญญาณออกเพียงทางเดียว

ที่ อินพุทของอนาล็อกสวิตช์แต่ละตัวจะถูก แชนเนล ด้วยเวลาสั้นๆ และเอาท์พุทแชนเนล นี้จะถูกส่งผ่านไปที่ IRED driver ดังนั้น สัญญาณจากช่องสัญญาณต่างๆ ก็จะถูกส่งผ่าน อนาล็อกมัลติเพล็กซ์เชอร์ โดย ออสซิลเลเตอร์ ทำงานที่ความถี่ 160 kHz ใช้ควบคุมลอจิกอินพุทของชิพมัลติเพล็กซ์ทางอ้อม ทราานซิสเตอร์ Q1 จะให้ 100-400 nanoseconds inhibiting พัลส์ ที่ปลายหรือตอนจบของช่วงเวลาของ เกทแต่ละตัวซึ่ง Blank period นี้จะเป็นตัวป้องกันการเกิดการรบกวนข้ามช่องสัญญาณ

ตัวมัลติเพล็กซ์ที่อยู่ในด้านส่งจะรับสัญญาณ ไบนารีพัลส์ และเปลี่ยนพัลส์เหล่านี้ให้ เป็นการนับแบบเลขฐานสิบ เพื่อควบคุมช่องสัญญาณ 1 ถึง 8 ดังที่เคยกล่าวมาแล้วว่า ช่องสัญญาณที่ 5 จะถูกเลือกใช้สำหรับการ ชิงโครไนซ์ของระบบ และมันจะมีการนับถึงแค่ 5 เมื่อ เริ่มนับ 6 จะย้อนกลับมาเป็น เริ่มนับ 1 ใหม่ในขณะที่การสร้าง ทริกเกอร์ริงพัลส์ เพื่อรักษาการ ชิงโครไนซ์ของด้านรับกับด้านส่ง



รูปที่3.5แสดงชุด MULTIPLEX TRANSMITTER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ความถี่ใน ทราานมิสเตอร์คล็อก (ไอซี3) ถูกกำหนดโดย R 1.5 กิโลโฮมห์และ 470 โอห์ม และ c 270 pF เมื่อด้านส่งทำการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ อินพุตต่างๆ สัญญาณ คอมโพสิตหรือส่วนประกอบของสัญญาณต่างๆจะส่งเกตุได้ที่ เอาท์พุท (TP5) สัญญาณ คอมโพสิต นี้จะรวมถึงซิงโครไนซ์พัลส์ และสัญญาณอินพุตทั้ง 4 ซึ่งสัญญาณ คอมโพสิต จะถูกส่งไปเปลี่ยนเป็นแสง โดย IRED ของชุดเครื่องส่ง และจะถูก คัปปลิ่งเข้าไปในเส้นใยนำแสงต่อไปยังชุดเครื่องรับ

ที่ด้านตัวรับสัญญาณ เอาท์พุท ที่ออกมาจากเส้นใยแสงจะถูกดีโมดูเลท ส่งมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งไปยัง ตีมัลติเพล็กซ์เซอร์ เพื่อเลือกเอาสัญญาณชนิดต่างๆที่ส่งมาจากทางเครื่องส่ง ดังวงจรที่แสดงในรูป 3.6 ซึ่งหน้าที่ของมันก็ตรงกันข้ามกับเครื่องส่งคือ ที่เครื่องส่งจะรับสัญญาณจากหลายช่องสัญญาณ แล้วรวมเข้ามาเป็นส่วนประกอบของสัญญาณเดียว ทางด้านรับก็จะได้รับสัญญาณเข้ามา แล้วทำการแยกมันออกมาตามช่องสัญญาณที่ต้องการ ทางเครื่องรับจะประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ ดังนี้

- 1.ตัว ออฟติกคอลล เซนเซอร์ และ แอมพลิไฟเออร์ สำหรับการแปลงสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า
2. ตีมัลติเพล็กซ์เซอร์ (ไอซี1)
3. โลจิกซีควเอน (ไอซี 4)
4. เฟสล็อกคัลคูลคอมแพร์เรเตอร์ และ ฟิวเตอร์ (ไอซี4)
5. วีซีโอ (Voltage-Controlles Oscillator) สำหรับ ทราานมิสเตอร์ซิงโครไนซ์ (ส่วนของ ไอซี2)
6. Q, อิมิตเตอร์ฟลอปโลเวอร์ (เพาเวอร์ ไดรเวอร์) สำหรับ ไอซี2

สัญญาณแสงจะถูกรับได้โดย โฟโตไดโอด และจะทำงานขยายสัญญาณนี้ขึ้นมาอีกโดยวงจรขยายแบบพาน เพื่อส่งไปยัง ตีมัลติเพล็กซ์เซอร์

ทางด้านรับ โลจิกคอนโทรล ของมัลติเพล็กซ์(ที่ A, B, C) จะถูกขับ (driver) โดยตัว ไอซี 7490 ( $U_0$ ) และการต่อแบบหารด้วย 5 จะถูกใช้เพื่อควบคุมตัวมัลติเพล็กซ์เซอร์ เอาท์พุท ของ CH,5 และ เอาท์พุท B ของ ไอซี1จะป้อนให้กับอินพุทของ เฟสล็อกคัลคูล(Phase-Locked Loop ) (ขา 2 และขา8 ) ของ ไอซี 4พัลส์ ทั้ง 2 นี้จะทำงานที่ 160 kHz (ขึ้นอยู่กั Clook ในเครื่องส่ง)เพื่อเปรียบเทียบกัน และค่า error voltage จะถูกส่งเข้าไปในส่วน วีซีโอ ของ  $U_0$ เพื่อนำกลับมาควบคุมตัว divider chip ไอซี2 จากจุดเริ่มต้นการนับ 6 สัญญาณ ซิงโครไนซ์พัลส์จาก ไอซี1จะถูกรับโดย PLLและถูกเปรียบเทียบกับ เอาท์พุทของตัวนับ ไอซี2ค่า error voltage จะได้รับการแก้ไข และค่า error voltage นี้เองที่นำไปใช้ในการควบคุม วีซีโอ ไอซี4ของเครื่องรับเมื่อระบบมีการ ซิงโครไนซ์ ที่ถูกต้อง หรือ ล็อคอิน สัญญาณ โฟซีทีพีโกอิงพัลส์

เครื่องส่งอินที่อยู่ใน CH 5 ซึ่งใช้สำหรับการ ซิงโครไนซ์ ที่เครื่องรับ เอาร์ทพุท ของ CH,1 จะ รีเฟล็ก สัญญาณตัวเดิมที่ป้อนเข้า CH,1 ของเครื่องส่งกลับมาและเป็นลักษณะเดียวกันนี้ใน CH,2,3 และ4

ตัวปรับ คล็อก  $R_{15}$  10 กิโลโอมห์ ในเครื่องรับใช้สำหรับเลื่อนความถี่ ออสซิลเลเตอร์เพื่อให้เกิด การล็อกความถี่ของ PLL

ดังที่ได้อธิบายเอาไว้ก่อนหน้านี้แล้วว่า จะมีเพียง 5 ช่องสัญญาณเท่านั้นที่ถูกใช้ประโยชน์ภายในชิพ อย่างไรก็ตามการนับลง หรือกระบวนการนับลง หรือกระบวนการหารสามารถใช้เปลี่ยนแปลง การควบคุมการเลือกสัญญาณได้และเนื่องจากกระบวนการหารถูกนำมาเกี่ยวข้องกับค่าความถี่ดั้งเดิมของ คล็อกจะถูกเพิ่มค่าขึ้นซึ่งทำให้สามารถที่จะทำการ มัลติเพล็กซ์จำนวนช่องสัญญาณได้มากขึ้น

### อุณหภูมิและมาตราวัดอุณหภูมิ

หน่วยวัดและมาตราวัดอุณหภูมิ (Temperature Units and Temperature Scales ) อุณหภูมิเป็น หน่วยมูลฐานที่สำคัญ และ ใช้มากที่สุดค่าหนึ่งในอุตสาหกรรมหน่วยของอุณหภูมิที่ใช้ในปัจจุบันมีหลาย หน่วยด้วยกันสำคัญคือ เซลเซียส (Celcius ) เคลวิน (Kelvin ) ฟาเรนไฮต์ (Fahrenheit) เซลเซียส เป็น หน่วยวัดอุณหภูมิที่ตั้งชื่อตามนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน Anders Celcius (1707 -1744 ) โดยเซลเซียส พบว่า ณ ความดันบรรยากาศน้ำบริสุทธิ์จะมีจุดที่อุณหภูมิลอยอยู่ 2จุด คือจุดเยือกแข็งของน้ำและจุดน้ำ เดือด เขาจึงได้กำหนดจุด 0 องศาเป็นจุดเยือกแข็ง และที่ 100 องศาเป็นจุดน้ำเดือด

ฟาเรนไฮต์ เป็นหน่วยวัดอุณหภูมิที่ตั้งชื่อตามนักวิทยาศาสตร์ ชาวคัทท์ Daniel Gabriel Farenheit (1686 -176 )โดยฟาเรนไฮต์ได้พยายามหาจุดที่ต่ำสุดของอุณหภูมิโดยการทดลองของสารต่างๆ หลากๆ อย่างและพบว่า จุดเยือกแข็งของแอมโมเนียคลอไรด์เป็นจุดต่ำสุดของอุณหภูมิเท่าที่เขาทดลองได้ จึง กำหนดจุดนี้เป็นจุด 0 องศา ส่วนจุดบนของสเกลนั้นเขาพบว่าอุณหภูมิของสเกลเป็น 100 องศาเพราะ ต้องการให้ค่าเป็นสัดส่วนทวีคูณของ 12 ตามหน่วย อื่นๆ ที่นิยมใช้ในสมัยนี้ ทั้งหน่วยเซลเซียสและฟาเรนไฮต์ ก็เป็นมาตรฐานวัดอุณหภูมิที่ได้จาก การทดลองหาสภาวะคงที่ทาง อุณหภูมิของสาร ณ จุดต่าง ๆ ที่อยู่ในย่านบรรยากาศ ของพื้นโลกและสเกลให้เป็นไปตามความสะดวก เหมาะสม มิได้มีหลักการตายตัวอะไร ต่อมากีวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษลอร์ดเคลวินเป็นผู้ค้นคิดหน่วย ของอุณหภูมิทางวิทยาศาสตร์ขึ้นปี 1851 เรียกว่า มาตราเคลวิน โดยกำหนดจุดอุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์ (zero absolute temperature) ขึ้น ณ จุดที่เป็น ideal นี้อิเล็กตรอนใน อะตอมของ สารต่างๆ จะหยุดโคจร รอบนิวเคลียส โดยไม่มีพลังงานความร้อนหลงเหลือ อยู่ในสารนั้นๆ อีกต่อไปในทางปฏิบัติไม่สามารถทำ ให้เย็นจัดถึงจุดนี้ได้ (กำหนดได้จากการคำนวณ) และ แบ่งช่วงของ



LM 335 เป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาใช้ในงานวัดอุณหภูมิ โดยเฉพาะซึ่งใช้งานในย่านอุณหภูมิตั้งแต่ -25 ถึง 100 องศา โดย IC ตัวนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนจากรายละเอียดทางเทคนิคต่ำมาก

โดยทั่วไปแล้ว LM 335 มีหลักการทำงานคล้ายกับ ZENER DIODE ดังแสดงในรูปที่ 3.8 โดยแรงดันพ่วงหลายซึ่งหมายถึง VOLTAGE OUTPUT จากวงจรจะแปรค่าโดยตรงตามค่าอุณหภูมิสัมพัทธ์ โดยมีค่าเท่ากับ 10mV ต่อค่าที่เพิ่มขึ้น 1 องศา จะทำให้ค่าของแรงดันเปลี่ยนไป 10 mV/K ในย่านอุณหภูมิที่ออกแบบมาให้ใช้งาน

ค่าของความต้านทาน  $R_1$  ในรูปที่ 3.8 จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ตัวนี้ แต่เนื่องจากค่าไดนามิกอิมพีแดนซ์ที่กระแส 1 mA จะมีค่าประมาณ 0.6 โหห์ม อุปกรณ์ตัวนี้จึงสามารถทำงานได้ในย่านกระแสตั้งแต่ 400 ไมโครแอมป์ ถึง 5 มิลลิแอมป์ มีข้อที่น่าสังเกตคือค่ากระแสฟอร์เวิร์ดหรือกระแสรีเวอร์สสูงสุด ซึ่งไหลผ่านอุปกรณ์ตัวนี้อย่างปลอดภัย ซึ่งค่าสูงสุดช่วงหนึ่งควรไม่เกิน 10 mA ถ้ากระแสที่ไหลผ่านมากกว่านี้จะทำให้ตัว IC เสียหายได้

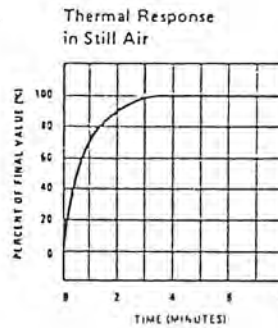
ที่อุณหภูมิที่ 25 องศา และที่กระแสรีเวอร์ส 1 mA แรงดันเอาต์พุตจากวงจรในรูปที่ 3.8 จะค่าความตามที่ออกแบบไว้เท่ากับ 2.98 V ซึ่งได้จาก  $((273+25)) \cdot 10^{-3}$  โดยมีข้อกำหนดทางแรงดันต่ำสุดและสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.98 V และ 3.04 V ตามลำดับค่าของ  $R_1$  ที่ใช้สามารถคำนวณได้จากกระแสที่ไหลผ่าน IC ตัวนี้เท่ากับ 1mA โดยใช้สมการ

$$R_1 = (V - V_{out}) / 0.001$$

โดยที่ V คือแรงดันไฟเลี้ยงวงจรและ  $V_{out}$  คือแรงดันเอาต์พุตของ IC นี้ซึ่ง  $R_1$  นี้จะมีค่าประมาณ  $(V - 3)K$

ประโยชน์ที่สำคัญของ LM 335 นี้ก็คือจะให้เอาต์พุตที่เป็นเชิงเส้นซึ่งไม่เหมือนกับเอาต์พุตที่ได้จากการตรวจจับอุณหภูมิ ส่วนใหญ่ซึ่งเอาต์พุตจะไม่เป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิ ซึ่งที่จริงแล้วถ้าเรานำเอาแรงดันเอาต์พุตมาเขียนเป็นกราฟ ระหว่างค่าแรงดันกับเอาต์พุตอุณหภูมิตลอดย่านการทำงานของ IC ตัวนี้เมื่อลากเส้นกราฟไปตัดแกนอุณหภูมิที่ศูนย์องศาสัมบูรณ์ค่าแรงดันที่อ่านได้จากกราฟจะเป็นศูนย์โวลท์





รูปที่ 3.10 เวลาการตอบสนองของ LM 335 ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในอากาศ

สำหรับ LM 335 นั้นควรจะให้ทำงานที่กระแสต่ำสุดซึ่งเพียงพอที่จะขับให้วงจรภายใน IC ทำงานได้ เมื่อคำนวณค่าของ  $R_1$  จะยอมให้กระแสไหลผ่านตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ต่อขนานกับ IC สำหรับที่กระแสเอาต์พุตใดๆ โดยกระแสประมาณ 400  $\mu\text{A}$  จะเป็นกระแสต่ำสุดที่ IC นี้ทำงานได้ปกติ

ถ้าตัวตรวจจับถูกใช้ในสถานที่ซึ่งค่าความต้านทานทางอุณหภูมิต่อสิ่งแวดล้อมนั้นมีค่าคงที่ค่าความผิดพลาดจากความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวเองสามารถที่จะปรับให้ถูกต้องได้ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์นั้นทำงานด้วยกระแสที่ โดยไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิความร้อนเกิดขึ้นกับอุปกรณ์จะแปรผันโดยตรงกับแรงดันซีเนอร์และอุณหภูมิสัมบูรณ์ ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากความร้อนในตัวเอง จะแปรผันโดยตรงกับค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์และค่าความเป็นเชิงเส้นของสเกลอุณหภูมิที่รักษาไว้คุณสมบัติเฉพาะตัว

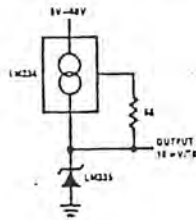
ในวงจรทั่วไปของ LM 335 ซึ่งไม่ได้รับค่าความถูกต้องไว้ ให้ทำงานที่กระแส 1 mA ค่าความผิดพลาดเนื่องจากอุณหภูมิจะเท่ากับ 2 องศา ที่อุณหภูมิ 25 องศา หรือ 4 องศา ตลอดย่านการทำงาน เมื่อได้มีการปรับค่าความถูกต้องไว้ ค่าความผิดพลาดที่อุณหภูมิจำกัดไว้เป็น 2 องศา ความไม่เป็นเชิงเส้นที่ค่ากระแส 1mA จะเท่ากับ 0.3 องศาตลอดย่านที่ใช้งาน

ในอากาศอุปกรณ์ตัวนี้ต้องใช้เวลาประมาณ 3 นาทีที่จะมีค่าอุณหภูมิสุดท้ายหลังจากที่อุณหภูมิได้เปลี่ยนไป

ในรูปที่ 3.10 ค่าคงที่ของเวลาจะมีค่าตามที่ออกแบบไว้เท่ากับ 80 วินาที ในน้ำมันที่ไหลวนให้เคลื่อนไปมา ค่าอุณหภูมิสุดท้ายจะถึงภายในเวลาประมาณ 3 วินาที อุปกรณ์จะคงที่อยู่ภายในช่วง 0.2 องศา ตลอด 1000 ชั่วโมง ถึงแม้ว่าที่อุณหภูมิ 125 องศาก็ตาม

ค่าไดนามิกคอมพิเอนซ์จะน้อยกว่า 1 โยห์ม ที่ความถี่สูงกว่า 1 kHz แต่จะมีค่าเพิ่มเป็น 20-30 โยห์ม ที่ความถี่ 100 kHz

Wide Operating Supply

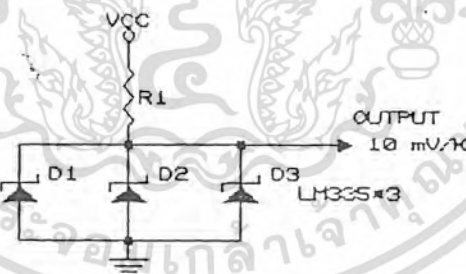


รูปที่ 3.11 วงจรที่สามารถทำงานกับแหล่งจ่ายไฟได้ในย่านกว้าง

## วงจรที่ใช้งาน

วงจรในรูปที่ 3.8 และ 3.9 เหมาะที่จะใช้เมื่อแหล่งจ่ายไฟที่มีค่าค่อนข้างคงที่ ถ้าคาดว่าแรงดันไฟเลี้ยงวงจรจะเปลี่ยนแปลงในย่านกว้างควรใช้ LM 334 ซึ่งเป็นตัวจ่ายกระแสคงที่ร่วมกับตัวต้านทานภายนอกดังในรูปที่ 3.13 เพื่อกำหนดค่ากระแสของ LM 335 ให้ค่าประมาณ 1 mA สำหรับทุกๆ ค่าของไฟเลี้ยงวงจร

ถ้านำเอา LM 335 หลายๆ ตัวมาต่อขนานกันดังรูปที่ 3.12 ค่าเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับการนับตัวที่มีอุณหภูมิต่ำสุด ซึ่งจะแสดงถึงค่าอุณหภูมิที่ต่ำสุดระหว่าง 3 ตำแหน่งได้ และเช่นเดียวกันเมื่อต่อ LM 335 อย่างอนุกรมกันดังรูปที่ 3.13

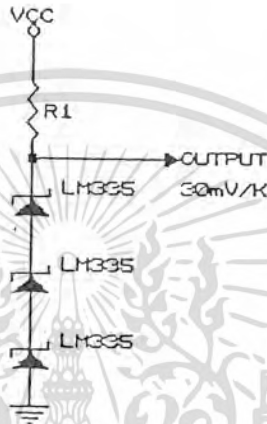


รูปที่ 3.12 วงจรนี้จะบันทึกอุณหภูมิต่ำสุดระหว่างไอซีทั้ง 3

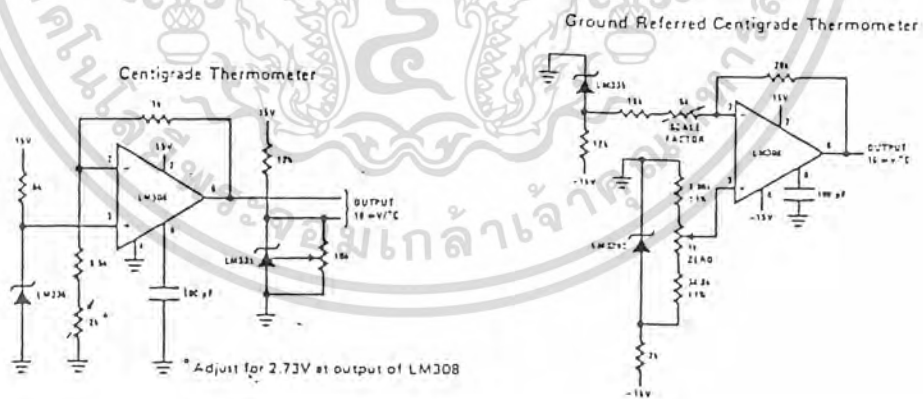
ในกรณีนี้ค่าเอาต์พุตจะแทนค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของ ไอซี ทั้งสามตัวนั้นแต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยสัมประสิทธิ์เท่ากับจำนวนของ ไอซีที่ใช้

ใช้เป็นเทอร์โมมิเตอร์

วงจรที่กล่าวมานั้นเป็นวงจรพื้นฐาน ซึ่งจะให้ค่าแรงดันเอาต์พุตที่แปรผันโดยตรงกับค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะป้อนเข้าสู่ DIGITALMETER เพื่อที่จะอ่านค่าอุณหภูมิออกมาเป็นองศาเซลเซียส วงจรออปแอมป์ที่เพิ่มขึ้นมาดังรูปที่ 3.14 จะเป็นตัวแก้ปัญหานี้ได้



รูปที่ 3.13 วงจรพื้นฐานที่อุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิของไอซีทั้ง 3



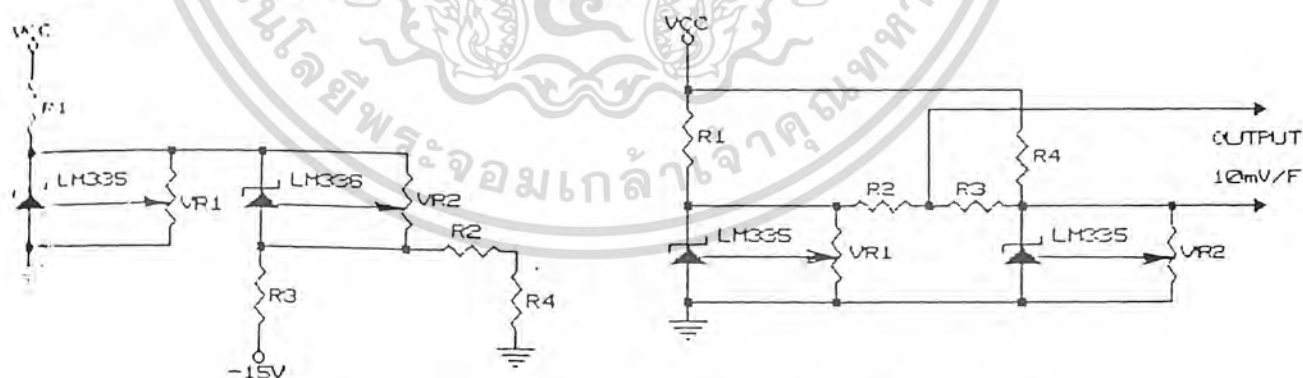
รูปที่ 3.14 (ก) วงจรเทอร์โมมิเตอร์แบบเซลเซียสซึ่งเอาต์พุตไม่ต่อลงกราวด์  
ส่วนใน 3.14 (ข) เอาต์พุตที่ได้จะอ้างอิงกับกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามวงจรในรูปที่ 3.14(ก) ไอซี LM 355 จะเป็นตัวกำหนดแรงดัน อ้างอิงขนาด 5 VOLT ที่ขา 3 ของออปแอมป์ LM 308 การป้อนกลับที่ขา 2 จะถูกปรับได้ด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ค่า 2 K เพื่อให้เอาต์พุตของวงจรขยายมีค่าเท่ากับ 2.73 VOLT แรงดันที่แตกต่างระหว่างเอาต์พุตของออปแอมป์จะแทนด้วยการลบค่า 273 องศาจากค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์เพื่อที่จะให้เอาต์พุตจาก LM335 แสดงค่าออกมาเป็นองศาเซลเซียสแทนเพื่อที่จะป้อนเข้าสู่ DIGITALMETER เพื่อแสดงผลออกมาเป็นองศาเซลเซียสต่อไป

วงจรในรูปที่ 3.14(ก) นั้นไม่มีขาใดเทียบเป็น GROUND ได้เลย ขาเอาต์พุตจะต่ออยู่ลอยๆ ถ้าเราเปลี่ยนวงจรให้ขั้วขั้วขึ้นดังในรูปที่ 3.14(ก) จะให้เอาต์พุตเท่ากับ 10 mV / องศา เทียบกับ GROUND โดยใช้ไอซี LM 329C เป็นตัวกำเนิดแรงดันอ้างอิงขนาด 6.9 V ในการกำหนดแรงดันที่ปรับค่าได้ที่ป้อนเข้าสู่ขาอินพุตอินเวอร์ตติงของออปแอมป์ต่อไป ส่วนเอาต์พุตของ LM 335 ก็จะไปป้อนเข้าสู่ขาอินเวอร์ตติงของออปแอมป์ต่อไป ตัวต้านทานปรับค่าได้ 5 K นี้มีไว้ปรับค่าสเกลแฟกเตอร์หรือค่าความลาดชันระหว่างอุณหภูมิ กับค่าแรงดันเอาต์พุตที่เกิดขึ้นเพื่อการปรับค่าให้ถูกต้อง

นอกจากนี้ LM 335 นี้ยังสามารถทำการต่อวัดค่าอุณหภูมิออกมาเป็นองศาฟาเรนไฮต์ได้อีก โดยการต่อวงจรตามรูปที่ 3.15(ก) LM 336 เป็นตัวกำเนิดแรงดันอ้างอิงขนาด 5 VOLT โดยจะต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ 10 K ขนานกับ LM 336 ทำการปรับค่า VR<sub>2</sub> นี้ให้ได้แรงดันที่ตกคร่อม LM 336 เท่ากับ 2.554 V ส่วนตัวต้านทาน VR<sub>1</sub> นั้นปรับให้เอาต์พุตที่ตกคร่อม LM 335 นั้นเป็น 2.992 V เมื่อ LM 335 อยู่ที่อุณหภูมิ 77 F วงจรนี้จะให้ค่าเอาต์พุตออกมา 1 mV/F วงจรในรูปที่ 3.15(ก) เอาต์พุตที่ได้จะเทียบ GROUND แต่ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟถึง 2 จุด ส่วนวงจรในรูปที่ 3.15(ข) นั้นก็คล้ายกับวงจรในรูปที่ 3.15(ก) เพียงแต่วงจรนี้เอาต์พุตที่ได้จะไม่เทียบกับ GROUND และใช้แหล่งจ่ายไฟเพียงจุดเดียวทำการปรับค่าความต้านทานทั้งสองตัวก็เช่นเดียวกับวงจรในรูปที่ 3.15(ก)



รูปที่ 3.15 (ก). วงจรเทอร์โมมิเตอร์แบบฟาเรนไฮต์ ซึ่งเอาต์พุตที่ได้จะอ้างอิงกับกราวด์ ส่วนในรูปที่ 3.15(ข). เอาต์พุตที่ได้จะลอยและใช้แหล่งจ่ายไฟจุดเดียว

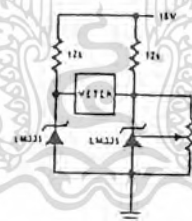
### ตรวจจับความแตกต่างของอุณหภูมิ

ไอซี LM 335 สองตัววางในตำแหน่งที่ต่างกันแล้วใช้วงจรในรูปที่ 3.16 ก็สามารถวัดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตำแหน่งทั้ง 2 นี้ได้ และ ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ 20 K ในการปรับแต่งให้เข็มของมิเตอร์อยู่ในตำแหน่งศูนย์กลางของหน้าปัดพอดีเมื่อ ไอซี ทั้ง 2 ตัวอยู่ในตำแหน่งที่อุณหภูมิเท่ากัน

ในรูปที่ 3.17 ใช้ฮอปแอนมปีในการเปรียบเทียบแรงดันของเอาต์พุตของไอซี ทั้งสองตัว ซึ่งต่อกันเหมือนกับในรูปที่ 3.17 แต่ฮอปแอนมปีถูกจัดให้มีการป้อนกลับทางลบเพื่อให้มีอัตราขยายเท่ากับ 10 ดังนั้นเอาต์พุตของฮอปแอนมปีจะให้ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียสกับแรงดัน 100 mV/องศา ตรวจจับการไหลของอากาศ

โดยใช้หลักการของความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวเองมาตรวจจับการไหลของอากาศ โดยที่กระแสจำนวนมากจะไหลผ่าน LM 335 ตัวบน ทำให้ฮอปกรณด์ตัวนี้อุ่นขึ้น ถ้ามีอากาศไหลผ่านไอซีตัวนี้อย่างรวดเร็ว ไอซีตัวนี้จะเย็นลงทำให้แรงดันเอาต์พุตลดลง เนื่องจากแรงดันนี้ป้อนเข้าสู่ขาอินเวิร์ทติงของ LM301A จึงทำให้เอาต์พุตของฮอปแอนมปีนี้มีค่าสูง เมื่อมีอากาศไหลผ่านอย่างรวดเร็วส่วน LM 335 ตัวล่างจะใช้เป็นตัวกำหนดแรงดันเปรียบเทียบโดยรับอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมโดยรอบและปรับอุณหภูมิที่เริ่มต้นการทำงาน

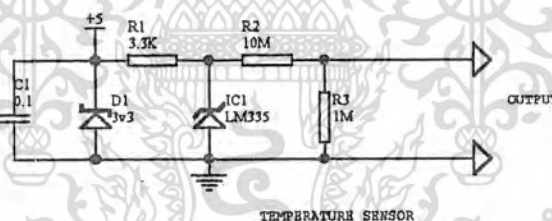
Differential Temperature Sensor



รูปที่ 3.16 เป็นวงจรตรวจจับความแตกต่างของอุณหภูมิ 2 ตำแหน่ง



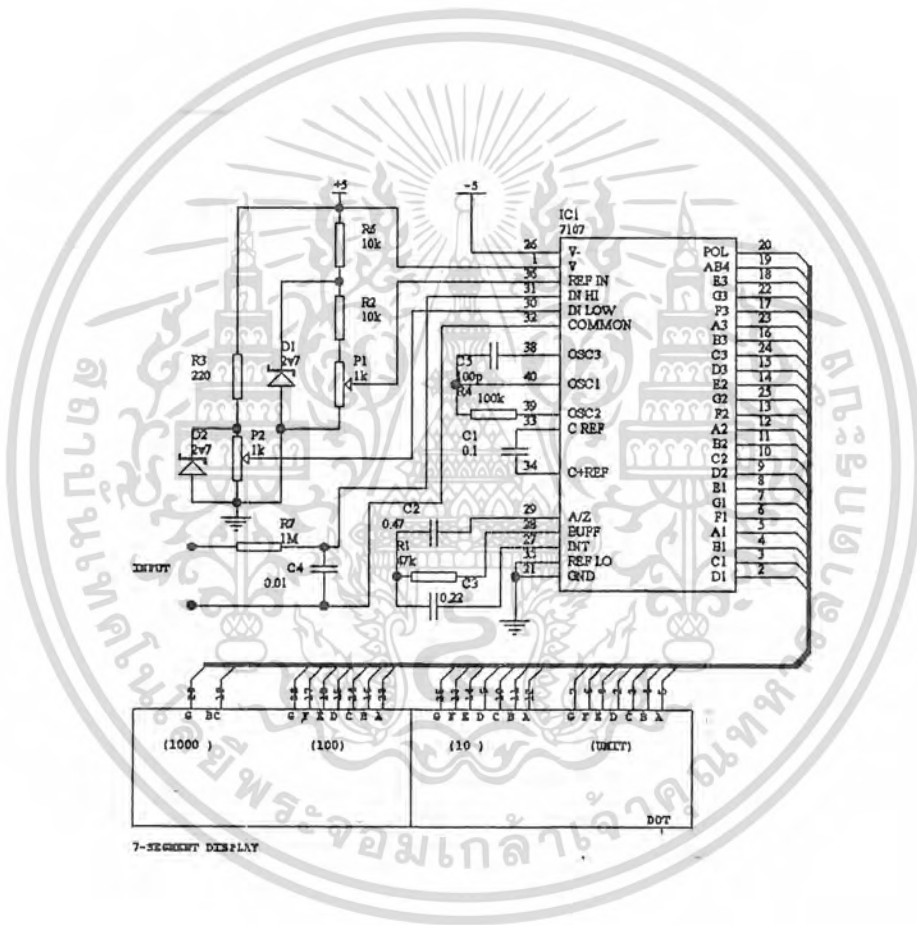
อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมินั้น เราใช้ไอซีที่ออกแบบเป็นอุปกรณ์โดยเฉพาะที่ทำหน้าที่ในด้านนี้โดยตรงคือไอซี เบอร์ LM 335Z คุณสมบัติของไอซีตัวนี้สามารถทำงานในที่ที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง -40 ถึง 100 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป 1 องศาเซลเซียส แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวไอซีก็จะเปลี่ยนแปลงตามไป 10 มิลลิโวลต์ และที่อุณหภูมิศูนย์องศาเซลเซียสนั้นจะมีแรงดันตกคร่อมไอซีตัวนี้อยู่ที่ระดับ 2.73 โวลต์ จาก วงจรนั้นจะเห็นได้ว่าจะมีซีเนอร์ไดโอด  $D_1$  จำกัดค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมให้กับ  $R_1$  และ ไอซี1 ซึ่ง ไอซี1 คือ LM 335 ซึ่ง  $R_1$  กับ ไอซี1 จะต่อกันแบบโวลต์เดจิติไวเซอร์ ทำหน้าที่แบ่งแรงดันจากค่าที่ตกคร่อม ซีเนอร์ไดโอด  $D_1$  อยู่ และไอซี LM 335 จะมีการเปลี่ยนแปลงไป 10 มิลลิโวลต์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงไป 1 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิศูนย์องศาเซลเซียส แรงดันที่ตกคร่อมไอซี LM 335 นั้นจะมีค่า 2.73 โวลต์ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปค่าแรงดันที่ตกคร่อมก็จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปด้วยส่วน  $R_2$  และ  $R_3$  จะทำหน้าที่เป็นวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไอซี LM 335 อีกทีหนึ่ง ด้วยดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อม  $R_3$  ก็คือระดับแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากส่วนที่ตกคร่อมไอซีแล้วนำไปเป็นข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิส่งไปถึงส่วนที่ทำหน้าที่แสดงผลในที่สุด



รูปที่ 3.18 แสดงวงจรตรวจจับอุณหภูมิ

ในส่วนของภาคแสดงผลของชุดตรวจจับอุณหภูมินี้ จะเป็นส่วนของสัญญาณที่ได้รับมาจาก วงจรชุดตีมัลติเพล็กซ์ สัญญาณนี้จะถูกส่งไปให้กับส่วนแสดงผลซึ่งเป็นไอซีเบอร์ 7107 ซึ่งเป็นไอซี ที่มีขาจำนวน 40 ขา แสดงผลแบบ LED 7'S SEGMENT ขนาด 3 หลักครึ่ง ซึ่งไอซีตัวนี้เป็นไอซีที่นิยมใช้กัน

เป็นอย่างมาก ในอุปกรณ์เครื่องวัดต่างๆ เช่น โวลท์มิเตอร์ แอมป์มิเตอร์หรืออื่นๆ ซึ่งเบอร์ที่คู่กันและเป็นที่ยอมรับกันมากคือเบอร์ 7106 โดยจะแสดงผลบน LCD หลักการทำงานก็คล้ายกันมาก ซึ่งเป็นที่นิยมกันมาก การใช้งานก็ง่ายเพียงแต่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ประกอบเพียงไม่กี่ตัวก็สามารถทำงานได้แล้ว ซึ่งจะมีระดับโวลท์เตจอ้างอิงให้กับตัวไอซีและมีสัญญาณอินพุตที่ได้ระดับโวลท์เตจตามที่วงจรกำหนดเข้ามา ไอซีนี้ก็จะทำงานโดยการแสดงผลให้ตามสัญญาณการเปลี่ยนแปลงของระดับโวลท์เตจทางอินพุต ในรูปแบบของตัวเลขแบบ 7 ส่วน ขนาด 3 หลักครึ่งได้



รูปที่ 3.19 แสดงวงจรชุดแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปของชุดแสดงผลสัญญาณอินพุตจะถูกส่งเข้ามาสู่ขาที่ 31 ของไอซี 7107 ค่าแรงดันอินพุตสูงสุดนั้นจะเท่ากับ 2 เท่าของแรงดันไฟอ้างอิง ( $V_{ref}$ ) ที่ทำการป้อนให้แก่ไอซีที่ขา 36 และ 35 สำหรับระดับแรงดันสูงสุดในวงจรนี้จะมีค่า 200 mV หรือ 199.9mV เพราะถ้าเกินจากนี้แล้วไอซีจะแสดงผลเป็น 1 แทนที่ เพราะเกินค่าแรงดันอ้างอิง เพราะฉะนั้นแรงดันอินพุตของวงจรต้องไม่เกิน 199.9 mV

เป็นที่แน่นอนว่าวงจรนี้จะทำงานได้ต้องมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มาต่อรวมเพื่อทำงานส่วนของวงจรสัญญาณนาฬิกาที่ให้แก่ไอซี 7107 นี้ คือความถี่ 45 กิโลเฮิร์ต คำนวณได้จากสูตร  $f = 0.45 / RC$  โดยจะเป็นลักษณะของวงจรอาร์ชีออสซิลเลเตอร์ เพื่อให้ได้ความถี่ 45 กิโลเฮิร์ต เราได้คำนวณหาค่าคาปาซิเตอร์โดยกำหนดค่าความต้านทานเท่ากับ 100 กิโลโห์ม จะได้ค่าของคาปาซิเตอร์เท่ากับ 100 pF ก็คือความต้านทาน  $R_4$  และ  $C_6$  ที่ต่อเข้ากับขาที่ 40,39,38 ซึ่งจะเป็น  $OSC_1$ ,  $OSC_2$ , และ  $OSC_3$  ของไอซี 7107 จะได้ความถี่ที่ 45 กิโลเฮิร์ต(ซึ่งจะมีผลต่อการอ่านค่าสัญญาณอินพุตด้วยคือจะทำการอ่านสัญญาณอินพุต 3 ครั้งต่อวินาที) ค่าคาปาซิเตอร์ 0.1 ไมโครฟารัด ที่ต่อระหว่างขา 33 และขา 34 ของไอซี 7107 นี้จะเป็นเรเฟเฟอเรนซ์คาปาซิเตอร์ ( $C_{ref}$ ) ส่วนความต้านทานที่ต่ออยู่ที่ขา 28 นั้นเป็นอินทิเกรตริชิตเตอร์ ( $R_{int}$ ) คือค่า 47กิโลโห์มซึ่งถูกกำหนดให้เหมาะสมกับย่านวัด 199.9 mV ส่วนคาปาซิเตอร์  $C_2$  ค่า 0.047 ไมโครฟารัด ซึ่งเป็นออโต้ซีโรคาปาซิเตอร์ (Auto zero capacitor) ทำหน้าที่ให้ไอซีแสดงผลเป็นศูนย์ในขณะที่ไม่มีสัญญาณอินพุตและค่าคาปาซิเตอร์  $C_3$  ค่า 0.22 ไมโครฟารัด เป็นอินทิเกรตติงคาปาซิเตอร์ ( $C_{int}$ ) ทำหน้าที่กำหนดค่าให้เหมาะสมกับย่านวัด 199.9 mV

ทางด้านแหล่งจ่ายไฟที่ทำหน้าที่จ่ายให้กับวงจรเราจะใช้ขนาด 5โวลท์ ทั้งบวกและลบ ในที่นี้จะใช้ไอซีเรกกูเลเตอร์ 7805และ 7905 มาต่อเป็นวงจรจ่ายไฟให้กับวงจร

ที่ขา 36 และ 35 ซึ่งเป็นแรงดันอ้างอิงเราจะทำการป้อนแรงดันขนาด 100 mV โดยใช้ตัวความต้านทานปรับค่าได้ปรับให้ได้ค่า 100 mV

ส่วนของชุดรับสัญญาณอินพุตจะถูกป้อนสู่ขา 31 ซึ่งเป็น INHI และ COMMON ขา 32 ส่วนขาที่ 30 ซึ่งเป็น INLO นั้นจะถูกต่อกับความต้านทานและซีเนอร์ไดโอด โดยความต้านทานที่ต่อที่ขานี้จะเป็นการปรับค่าละเอียดของการวัดอีกทีหนึ่งเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องตามมาตรฐาน

ส่วนขาที่เหลือจะทำหน้าที่ส่งไฟไปขับหลอดแสดงผลแบบเลข 7 ส่วนดังที่กล่าวมาแล้ว

### ความดัน

ความกดดัน คือแรงที่กระทำต่อบนผิว ความกดดันจะวัดในรูปของแรงต่อ 1 หน่วยพื้นที่ โดยการออกแรงกดลงบนพื้นที่ที่กำหนด

ความดันสัมบูรณ์ เป็นการวัดความดันที่มีความสัมพันธ์กับความดันที่ ความดันเป็น 0 ความแตกต่างของความดัน เป็นการวัดความแตกต่างของความดันระหว่างจุด 2 จุดที่จะทำการวัด มันจะวัดความสัมพันธ์เปรียบเทียบกับความดันที่อ้างอิง

ความดันมาตรฐาน เป็นความดันปกติของบรรยากาศ

เราไม่สามารถมองเป็นอากาศ แต่มันมีน้ำหนัก เรากล่าวว่ามวลมีมากกว่าน้ำหนักเพราะอากาศสามารถขยายตัวได้เมื่ออากาศร้อนจะมีน้ำหนักมากกว่าอากาศเย็นอากาศที่ห่อหุ้มโลกมีประมาณ 5000 ล้านล้านตันเราไม่สามารถรับรู้ความรู้สึกถึงน้ำหนักของอากาศเพราะในร่างกายของเราก็มีอากาศเหมือนกัน

ความดันบรรยากาศถูกวัดโดย บาโรมิเตอร์

ที่ระดับน้ำทะเลความสูงของปรอทสถานะของเหลวมีค่าประมาณ 736 ถึง 775 มิลลิเมตรปรอท

Barometric pressure จะต้องเกี่ยวข้องกับบรรยากาศที่วัดความดันนี้สามารถวัดเป็นค่าสัมบูรณ์อ้างอิงกับสุญญากาศสัมบูรณ์หรืออ้างอิงกับค่าบนสเกลต่างๆของระดับน้ำทะเลที่มีผลต่อระดับแรงดันหรือความดันบรรยากาศที่ความสูงต่างๆจะมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพเงื่อนไขต่างๆตลอดเวลาเพราะฉะนั้นมันเป็นการยากที่จะวัดความดันบรรยากาศต่างๆโดยปราศจากข้อมูลอย่างใดก็ตาม ความดันที่ความสูงใดๆสามารถคำนวณได้ที่ความสูงแตกต่างกันด้วยสมการคณิตศาสตร์ ความดันบรรยากาศจะแสดงผลการเพิ่มและลดแบบเอ็กโปเนนเชียลแปรผันตามความสูงทำให้เราสามารถที่จะสร้าง บาโรมิเตอร์ได้โดยการปรับแต่งเทียบกับความดันบรรยากาศที่ทราบในขณะนั้นอ้างอิงกับความดันที่สูงเท่าไร

โดยทั่วไปมาตรฐานของความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลสมมติให้เป็น 29.92 in-Hg ทำให้เครื่องบาโรมิเตอร์มาตรฐานวัดความดันบรรยากาศที่ความสูงหนึ่งๆ แสดงค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขสภาพอากาศขณะนั้นโดย บาโรมิเตอร์ที่เที่ยงตรงจะวัดความดันได้ประมาณ 15.0 in-Hg ที่ความสูง 15000 ฟุต แต่จริงๆแล้วไม่ได้เป็นเช่นนั้นเสมอไปเพราะเงื่อนไขต่างๆตามสภาพอากาศที่ความสูงหนึ่งๆ จะเปลี่ยนแปลงไปอยู่เสมอทำให้ค่าที่วัดได้เปลี่ยนไป

หน่วยของการวัด

ความดันมักจะถูกวัดอยู่ในรูปของแรงต่อหน่วยพื้นที่ : ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) ซึ่งเป็นหน่วยการวัดของอังกฤษและที่ยังนิยมใช้กันอยู่ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) ในหน่วยเมตริก เพื่อหลีกเลี่ยงการเอาไปปนกันระหว่าง absolute,gage และการวัดความดันที่แตกต่างกัน จึงนิยมใช้ปอนด์ต่อตารางนิ้ว, absolute (psia) ปอนด์ต่อตารางนิ้ว,gage (psig) หรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว differential )(psid) ที่ระดับน้ำ

ทะเล, 0 psig = 14.7 psia (โดยประมาณ) ในระดับคงที่ของของเหลวมักจะใช้ความสัมพันธ์ของความดันที่ต่ำใน

รูปของความสูงของน้ำหรือปรอท สูญญากาศมักจะวัดในรูป มิลลิเมตรหรือไมครอนปรอทที่ 0 องศาเซลเซียส (mmHg,uHg) 1 mmHg เป็นความดันที่บอกด้วยความสูงของปรอทที่ 1 มิลลิเมตรปรอท ที่ 0 องศาและเป็นที่ยอมรับมาตรฐาน

บางครั้งหน่วยการวัดมักจะใช้ในการวัดที่ความดันสูงๆ เป็นบรรยากาศ 1 บรรยากาศวัดที่ระดับน้ำทะเล เป็นความดันที่ใช้โดย 760 mm ของความสูงของปรอทที่ 0 องศา ของความหนาแน่นที่  $13.595\text{gm/cm}^2$  ด้วยอัตราความเร็วของแสงโน้มถ่วง  $980.665\text{ cm/s}^2$

ในหน่วยของ SI หน่วยของการวัดความดันเป็นนิวตันต่อตารางเมตร ( $= 1.45 \times 10^4\text{ psi}$ ) ดังในรูปที่ 3.21 แสดงความสัมพันธ์ของการวัดความดัน

ในการวัดและแสดงผลที่ถูกต้องด้วยเครื่องบาโรมิเตอร์สำหรับอุปกรณ์ตรวจจับความเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศจะแสดงผลเป็นระดับแรงดันแปรผันโดยตรงเป็นมิลลิโวลต์ที่ระดับที่เป็นมิลลิโวลต์นี้จะต้องนำไปผ่านวงจรขยายและจัดระดับแรงดันส่งไปแสดงในหน่วย นิ้ว-ปรอท(in-Hg)

การออกแบบเราออกแบบให้ทำงานที่ย่านความสูง 0-15000 ฟุต โดยระบบจะแสดงผลแบบตัวเลขจากย่าน 30.5 in-Hg ถึง 15.0 in-Hg ออกมาทางชุดแสดงผลซึ่งก็คือการแสดงผลจากระดับน้ำทะเลถึงระดับความสูง 15000 ฟุตที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจาก 30.5 - 15.0 in-Hg การทำงานของวงจร

สำหรับตัวตรวจจับความดันในการออกแบบเราใช้ชนิดที่มีการชดเชยอุณหภูมิเพื่อลดผลการผิดพลาดเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนไปโดยใช้อุปกรณ์ของโมโตโรล่า เบอร์ MPX 2100A สำหรับอุปกรณ์ในตระกูล MPX 2100นี้ทำงานที่ระดับย่านการวัดที่ 10 Kpa(1.5 psi) ไปถึง 200Kpa(30psi) โดยมันจะสร้างแรงดันออกมาแปรผันกับความดันที่เปลี่ยนไป โดยมีระดับแรงดันสูงสุดที่ 40 mV และต่ำสุด 20.25 mV ที่แหล่งจ่าย 10 Vdc แต่เราเปลี่ยนมาใช้ที่ระดับ 8 โวลต์ จึงต้องทำการคำนวณใหม่

ALTITUDE (Feet)	PRESSURE			ALTITUDE (Feet)	PRESSURE		
	In. Hg.	Mm. Hg.	P. S. I.		In. Hg.	Mm. Hg.	P. S. I.
-1,000	31.02	787.9	15.25	32,500	7.91	201.0	3.89
- 500	30.47	773.8	14.94	33,000	7.73	196.4	3.80
0	29.921	760.0	14.70	33,500	7.55	191.8	3.71
500	29.38	746.4	14.43	34,000	7.38	187.4	3.63
1,000	28.86	732.9	14.18	34,500	7.20	183.0	3.54
1,500	28.33	719.7	13.90	35,000	7.04	178.7	3.46
2,000	27.82	706.6	13.67	35,332	6.93	175.9	3.40
2,500	27.31	693.8	13.41	35,500	6.87	174.5	3.375
3,000	26.81	681.1	13.19	36,000	6.71	170.4	3.296
3,500	26.32	668.6	12.92	36,500	6.55	166.4	3.22
4,000	25.84	656.3	12.70	37,000	6.39	162.4	3.14
4,500	25.36	644.2	12.45	37,500	6.24	158.6	3.067
5,000	24.89	632.3	12.23	38,000	6.10	154.9	2.994
5,500	24.43	620.6	12.00	38,500	5.95	151.2	2.925
6,000	23.98	609.0	11.77	39,000	5.81	147.6	2.852
6,500	23.53	597.6	11.56	39,500	5.68	144.1	2.798
7,000	23.09	586.4	11.34	40,000	5.54	140.7	2.72
7,500	22.65	575.3	11.12	40,500	5.41	137.4	2.66
8,000	22.22	564.4	10.90	41,000	5.28	134.2	2.595
8,500	21.80	553.7	10.70	41,500	5.16	131.0	2.535
9,000	21.38	543.2	10.50	42,000	5.04	127.9	2.47
9,500	20.98	532.8	10.30	42,500	4.92	124.9	2.415
10,000	20.58	522.6	10.10	43,000	4.80	122.0	2.36
10,500	20.18	512.5	9.91	43,500	4.69	119.1	2.304
11,000	19.79	502.6	9.73	44,000	4.58	116.3	2.25
11,500	19.40	492.8	9.53	44,500	4.47	113.5	2.195
12,000	19.03	483.3	9.35	45,000	4.36	110.8	2.14
12,500	18.65	473.8	9.15	45,500	4.26	108.2	2.094
13,000	18.29	464.5	8.97	46,000	4.16	105.7	2.042
13,500	17.93	455.4	8.81	46,500	4.06	103.2	1.997
14,000	17.57	446.4	8.63	47,000	3.97	100.7	1.948
14,500	17.22	437.5	8.46	47,500	3.873	98.38	1.90
15,000	16.88	428.8	8.28	48,000	3.781	96.05	1.858
15,500	16.54	420.2	8.13	48,500	3.693	93.79	1.813
16,000	16.21	411.8	7.96	49,000	3.605	91.57	1.772
16,500	15.89	403.5	7.81	49,500	3.52	89.41	1.729
17,000	15.56	395.3	7.64	50,000	3.436	87.30	1.689
17,500	15.25	387.3	7.49	51,000	3.276	83.22	1.610
18,000	14.94	379.4	7.34	52,000	3.124	79.34	1.533
18,500	14.63	371.7	7.19	53,000	2.978	75.64	1.463
19,000	14.33	364.0	7.04	54,000	2.839	72.12	1.395
19,500	14.04	356.5	6.90	55,000	2.707	68.76	1.33
20,000	13.75	349.1	6.75	56,000	2.581	65.55	1.269
20,500	13.46	341.9	6.61	57,000	2.460	62.49	1.208
21,000	13.18	334.7	6.48	58,000	2.346	59.58	1.152
21,500	12.90	327.7	6.34	59,000	2.236	56.80	1.098
22,000	12.63	320.8	6.21	60,000	2.132	54.15	1.048
22,500	12.36	314.1	6.08	61,000	2.033	51.63	1.000
23,000	12.10	307.4	5.94	62,000	1.938	49.22	0.952
23,500	11.84	300.9	5.82	63,000	1.847	46.92	0.906
24,000	11.59	294.4	5.70	64,000	1.761	44.73	0.865
24,500	11.34	288.1	5.58	65,000	1.679	42.65	0.825
25,000	11.10	281.9	5.45	66,000	1.601	40.66	0.786
25,500	10.86	275.8	5.33	67,000	1.526	38.76	0.748
26,000	10.62	269.8	5.22	68,000	1.455	36.95	0.714
26,500	10.39	263.9	5.11	69,000	1.387	35.23	0.681
27,000	10.16	258.1	4.99	70,000	1.322	33.59	0.649
27,500	9.94	252.5	4.88	71,000	1.261	32.02	0.619
28,000	9.72	246.9	4.78	72,000	1.202	30.53	0.590
28,500	9.50	241.4	4.67	73,000	1.146	29.10	0.562
29,000	9.29	236.0	4.56	74,000	1.093	27.75	0.536
29,500	9.08	230.7	4.46	75,000	1.041	26.45	0.512
30,000	8.88	225.6	4.36	76,000	0.993	25.22	0.488
30,500	8.68	220.5	4.27	77,000	0.946	24.04	0.465
31,000	8.48	215.5	4.17	78,000	0.902	22.92	0.443
31,500	8.29	210.6	4.07	79,000	0.860	21.85	0.423
32,000	8.10	205.8	3.98	80,000	0.820	20.83	0.403

รูปที่ 3.20 แสดงความสัมพันธ์ของการวัดความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

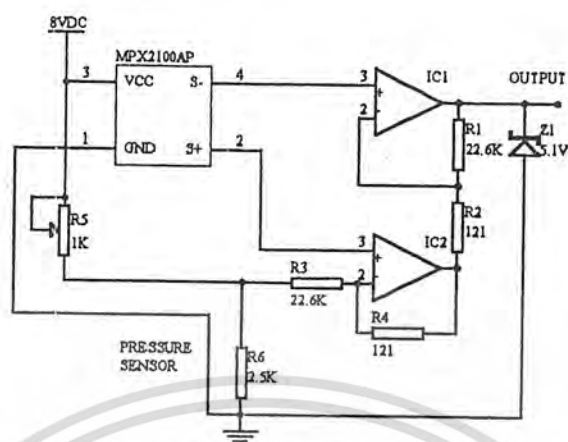
	psi	kg/cm <sup>2</sup>	in. H <sub>2</sub> O	cm H <sub>2</sub> O	in. Hg	mm Hg	dyne/cm <sup>2</sup>	Atm.	See Note
1 psi =	—	.0703	27.67	70.13	2.036	51.715	68,947	.0680	—
1 kg/cm <sup>2</sup> =	14.22	—	393.7	1,000	28.96	735.56	980,665	.9678	(1)
1 in. H <sub>2</sub> O =	.03613	.00254	—	2.540	.07355	1.868	2,491	.002438	(2)
1 cm H <sub>2</sub> O =	.0142	.001	.3937	—	.02896	.7356	980.64	.0009678	(2)
1 in. Hg =	.4912	.0345	13.59	34.53	—	25.40	33,864	.03342	(3)
1 mm Hg =	.01934	.001359	.5352	1.35	.03937	—	1333	.001316	(3) (4)
1 dyne/cm <sup>2</sup> =	$1.45 \times 10^{-5}$	$1.02 \times 10^{-6}$	$4.015 \times 10^{-4}$	$1.02 \times 10^{-3}$	$2.953 \times 10^{-3}$	$7.5 \times 10^{-4}$	—	$9.87 \times 10^{-7}$	(5)
1 atmosphere =	14.696	1.033	406.8	1,033	29.92	760	1,013,250	—	(6) (7)

## Notes:

- (1) 1 kg/m<sup>2</sup> = 10,000 kg/cm<sup>2</sup>  
 (2) in. H<sub>2</sub>O and cm H<sub>2</sub>O are referenced to a temperature of 4°C (39.2°F)  
 (3) in. Hg, mm Hg, and  $\mu$  Hg are referenced to a temperature of 0°C (32°F)  
 (4) 1 mm Hg = 1000  $\mu$  Hg  
 (5) 1 dyne/cm<sup>2</sup> = 1 microbar =  $1 \times 10^{-6}$  bar  
 (6) 1 bar = .987 Atmospheres  
 (7) Atmospheres are more precisely called normal atmospheres

รูปที่ 3.21 ตารางแสดงความดัน ณ ที่ความสูงค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 แสดงวงจรใช้งาน

ระดับสูงสุดที่แหล่งจ่าย 8 โวลต์ =  $(8/10) * 40 \text{ mV} = 0.32 \text{ V}$

เพราะฉะนั้นอุปกรณ์ตรวจจับความดันจะแสดงระดับสูงสุด 32 mV และที่ระดับต่ำสุดที่ 15 in-Hg ประมาณ 16.2 mV ทำให้ย่านการทำงานสูงสุดถึงต่ำสุดของแรงดันเป็น 32 mV 16.2 mV

ผลของสัญญาณที่ได้จะมีขนาดเล็กซึ่งเราจะทำการขยายระดับแรงดันจาก 0.5-4.5 Vdc โดยจะออกแบบให้เกิดการขยายและย่านของแรงดันเป็นดังนี้  
ขั้นแรกทำการคำนวณหาระดับแรงดันโดยให้เปลี่ยนแปลงไป 1 ชั้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความดันไป 0.1 in-Hg ได้ดังนี้

$$(30.5 - 15.0) \text{ in-Hg} * 10 \text{ (step/Hg)} = 155 \text{ step}$$

คำนวณหาอัตราขยายโดยให้ 1 ชั้นเท่ากับ 20 mV

$$\text{กำหนดให้ } 30.5 \text{ in-Hg} = 32.44 \text{ mV}$$

$$15.0 \text{ in-Hg} = 16.26 \text{ mV}$$

$$\text{ผลต่างเท่ากับ } 16.18 \text{ mV}$$

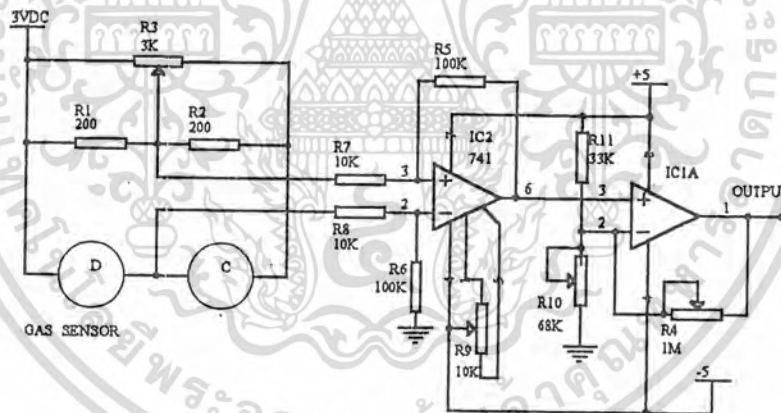
$$\text{คำนวณหาอัตราขยาย} = 3.04 / 0.01618 = 187 \text{ เท่า}$$

แล้วนำค่าอัตราขยายมาคำนวณหาค่าความต้านทานต่อไป

อุปกรณ์ตรวจจับความดัน MPX 2100AP ถูกจ่ายไฟเลี้ยงให้ที่ 8 Vdc ที่ขา 3 ส่วนขา 2 และขา 4 จะเป็นสัญญาณเอาพุทของ MPX 2100AP ขา 2 จะถูกต่อกับไอซี 1 ซึ่งเป็นออปแอมป์ที่ต่อแบบวงจรขยายไม่กลับศักดาและขา 4 ต่อกับไอซี 2 ที่ต่อแบบไม่กลับศักดาที่มีความต้านทาน  $R_1$  และ  $R_4$  เป็นความต้านทานป้อนกลับและความต้านทาน  $R_3$  และ  $R_2$  เป็นความต้านทานป้อนกลับส่วน  $R_6$  เป็นความต้านทานปรับออฟเซตเพื่อปรับแรงดันให้ได้ 0.5 V ให้ได้มาตรฐานตามที่ค่าสูงสุดของบาริมิเตอร์ 30.5 in-Hg และที่ทางด้านขาที่ 6 ของไอซี 2 จะมีค่าแรงดันเพิ่มขึ้นเมื่อแรงดันลดลงแต่จะลดลงเมื่อความดันเพิ่มขึ้นส่วนทางด้านเอาพุทของวงจรนี้จะมีซีเนอร์ไดโอดค่า 5.1V เพื่อรักษาระดับแรงดันไม่ให้เกิน 5.1 V ทางด้านสัญญาณออก

### ชุดตรวจจับแก๊สรั่ว

ในชุดตรวจจับแก๊สรั่วนี้ใช้ตัวตรวจจับเบอร์ NAP-5A ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการตรวจจับแก๊สเชื้อเพลิงหรือแก๊สธรรมชาติได้หลายชนิดด้วยกัน เช่น มีเทน อีทานอล ไฮโดรเจน ซึ่งจะมีความไวในการตรวจจับสูง ส่วนกำลังงานที่ใช้ก็จะ ใช้กำลังงานต่ำประมาณ 3 Volt ซึ่งวงจรที่ใช้งานมีลักษณะดังรูป



รูปที่ 3.23 แสดงวงจรตรวจจับแก๊ส

### การทำงานของวงจร

โดยการทำงานได้นำมาใช้ร่วมกับวงจรบริจด์จิงรูปและมีความต้านทาน  $R_3$  เป็นความต้านทานปรับค่าได้ปรับแต่งจุดการทำงานของตัวตรวจจับก๊าซโดยที่จุด A และ B คือจุดที่เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านแรงดันเป็นค่าความต่างศักย์และค่าทั้งสองนี้จะถูกส่งเข้าไปสู่ออปแอมป์ดิฟเฟอเรนเชียลเอปลิฟายหรือไอซี 2 โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าแรงดันสองจุดถ้าเหมือนกันจะได้สัญญาณเอาพุทเป็นศูนย์ แต่หากต่างกันก็จะมีเอาพุทออกมาเป็นสัดส่วนกับความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นแล้วนำค่าที่ได้เข้าไอซี 1 ต่อไป

### การปรับแต่ง

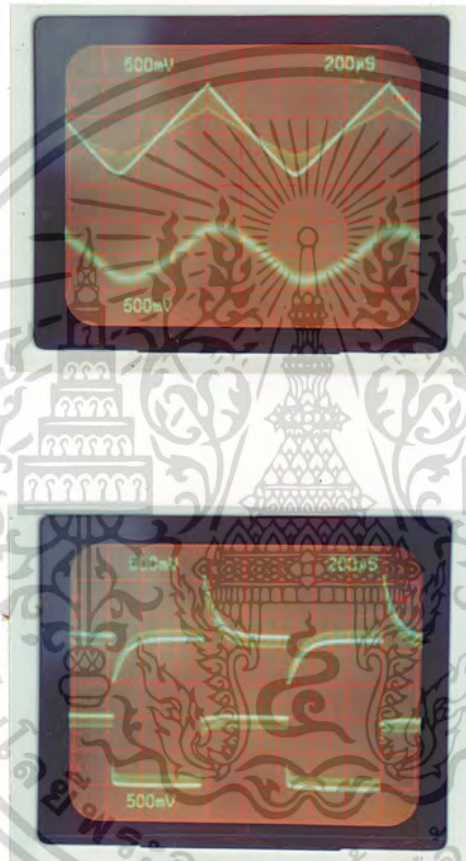
การปรับแต่งต้องกระทำในที่อากาศบริสุทธิ์เท่านั้นและก่อนทำการปรับแต่งควรจ่ายไฟให้แก่ตัวตรวจจับมากกว่า 1 ชั่วโมง นำเอาโวลท์มิเตอร์ต่อเข้าที่จุด A และ B ปรับ  $R_3$  ให้ได้ค่าแรงดันที่ออกที่จุด alarm 0 mV และความกว้างของย่าน 25 mV โดยจะปรับไว้ที่ค่า 25 mV



#### บทที่ 4

##### ผลการทดลอง

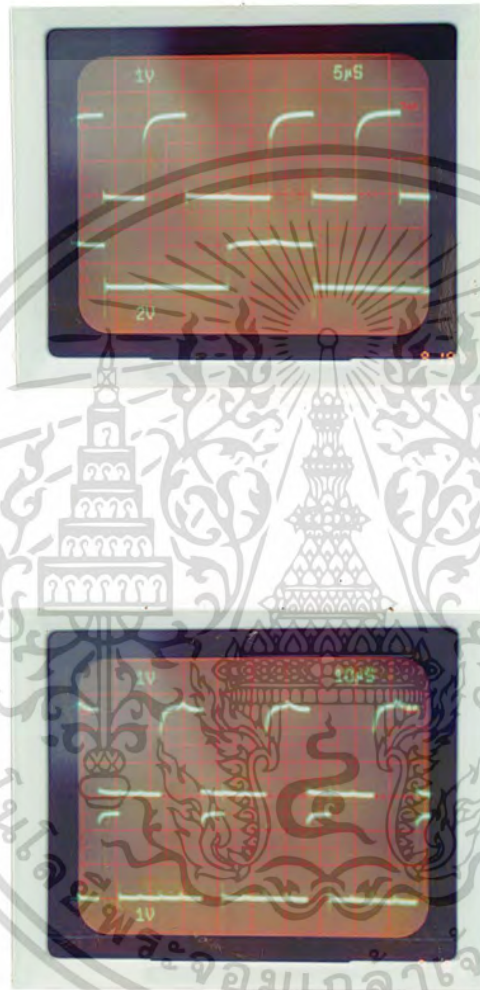
เมื่อทำการประกอบชุดรับส่งเรียบร้อยแล้วทำการทดลองป้อนสัญญาณอินพุทซึ่งได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณผ่านชุดมัลติเพล็กซ์จะใช้สัญญาณ ซายน์เวฟ สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม เรคแทงกูลาร์ดังรูป



รูปที่ 4.1 แสดงสัญญาณที่ทำการป้อนทดสอบการมัลติเพล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

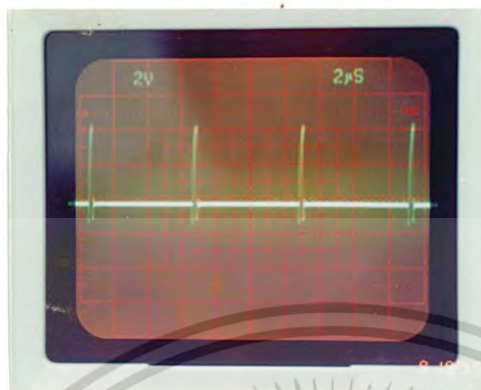
ทำการวัดสัญญาณที่จุด tp 1, 2, 3 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ออกจากโบนารีเคาเตอร์เพื่อทำหน้าที่เป็น  
 ไตรจิกไดรเวอร์ขับไอซีอนาล็อกสวิตช์



รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณโบนารีเคาเตอร์ที่ใช้ขับอนาล็อกสวิตช์ของไอซี 14051

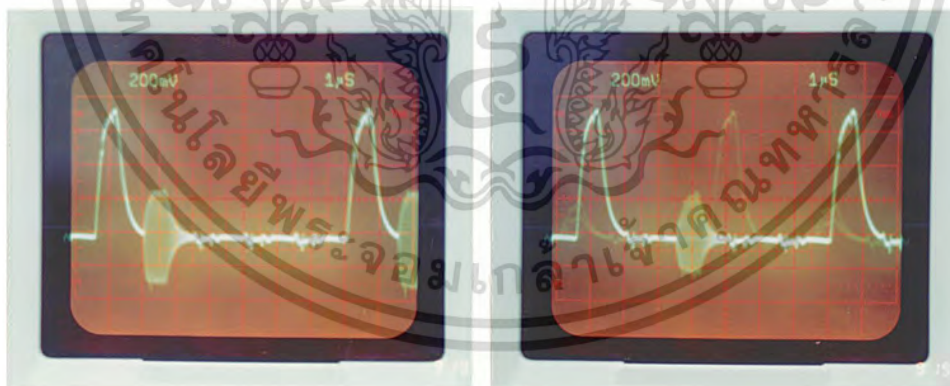
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวัดสัญญาณที่จุด tp 4 ซึ่งเป็นสัญญาณ clock ทำการบันทึกสัญญาณ



รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณ clock

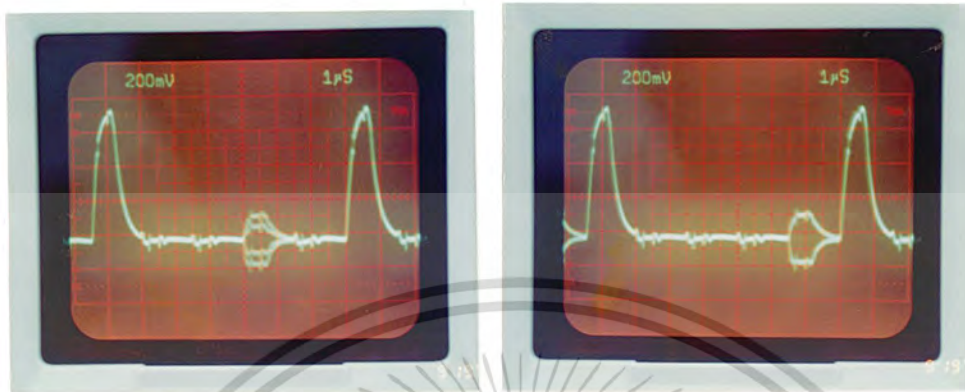
ทำการวัดสัญญาณที่จุด tp 5 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ทำการมัลติเพล็กซ์ขณะที่ทำการมัลติเพล็กซ์ที่  
ละช่องสัญญาณ



CH1

CH2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

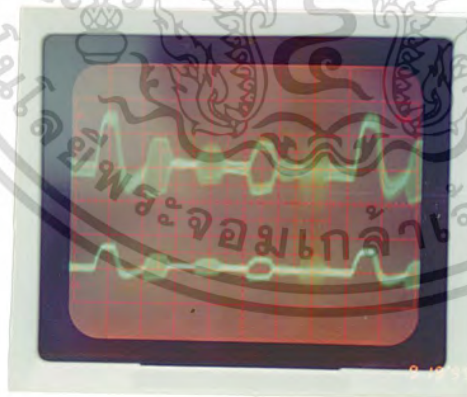


CH3

CH4

รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณขณะที่ทำการมัลติเพล็กซ์ที่ช่องสัญญาณ

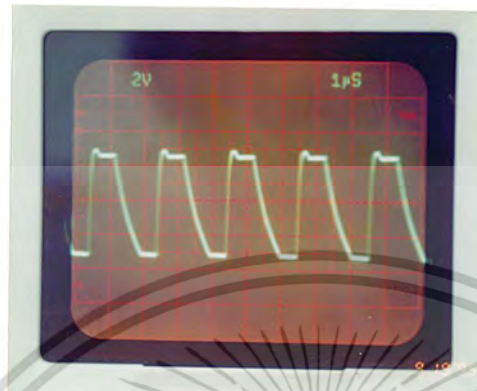
ทำการวัดสัญญาณขณะก่อนและหลังส่งผ่านเส้นใยแสง



รูปที่ 4.5 แสดงสัญญาณก่อน(บน) และ หลัง(ล่าง)ส่งผ่านเส้นใยแสง

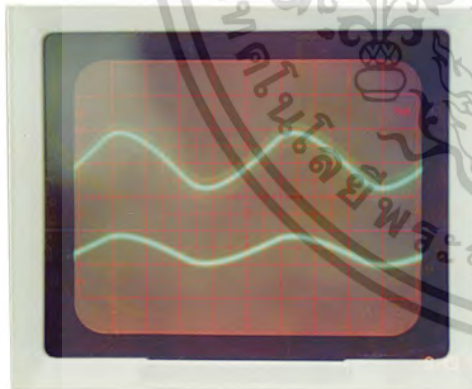
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวัดสัญญาณที่จุดที่มีลติเพิล็กซ์ตรงจุด tp 9 ซึ่งเป็นสัญญาณเฟสล็อกกลุ่

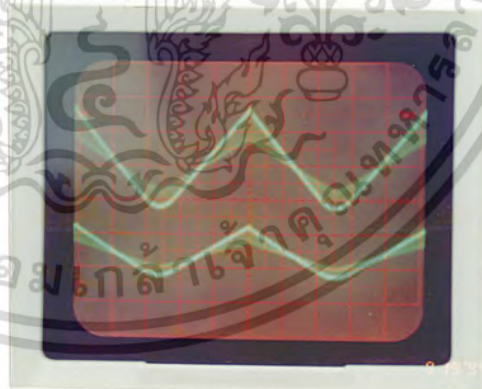


รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณเฟสล็อกกลุ่

ทำการวัดสัญญาณเข้าพุทที่ผ่านการตีลติเพิล็กซ์กลับคีนมาแต่ละช่องสัญญาณ(บนเป็นอินพุทล่างเป็นเข้าพุทเมื่อ volt/div = 500 mV, time/div = 200µs)

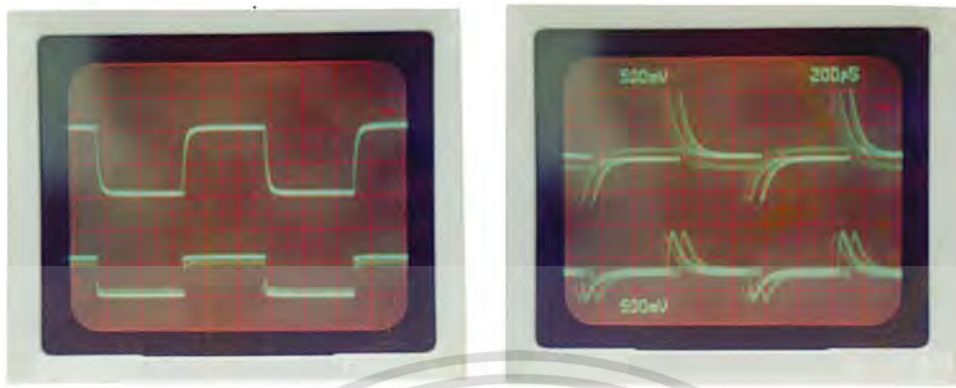


CH1



CH2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณที่ทำการดีมัลติเพล็กซ์กลับคืนมา

ในโครงการเมื่อสัญญาณผ่านมาจากด้านรับจากนั้นจะผ่านการดีมัลติเพล็กซ์แยกสัญญาณออกมาแล้วส่งไปแสดงผลซึ่งรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

ผลการทดลองจะเป็นสองส่วนคือชุดตรวจจับกับชุดแสดงผลการเปลี่ยนแปลงทางด้านเครื่องรับ โดยเป็นชุดแสดงผลแบบไอซีสำเร็จรูปที่ใช้ไอซีเบอร์ 7107 ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในการทำงานของวงจรในตอนต้นโดยหัวใจของชุดแสดงผลนั้นก่อนอื่นแรงดันที่อ้างอิงต้องปรับแต่งให้ได้ 100 mV เพื่อปรับเทียบ กับกราวนดิโดยใช้ดิจิตอลมิเตอร์วัดและปรับความต้านทานให้จำกัดแรงดันที่ให้แก่ไอซี 7107 ให้ได้ 100 mV แล้วทำการปรับแต่งความต้านทานปรับค่าได้ที่ขา 31 ของไอซีเพื่อปรับแต่งให้ไอซีแสดงผลได้โดยถูกต้อง

#### ชุดอุณหภูมิ

ผลที่ได้ เมื่อทำการทดลองค่าของอุณหภูมิจะมีการเปลี่ยนได้ก็โดยการที่ค่าแรงดันจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นมิลลิโวลต์ ซึ่งจะมีค่า 10 มิลลิโวลต์ต่อ 1 องศาและที่ 0 องศาค่าแรงดันที่ตกคร่อม ไอซีประมาณ 2.73 โวลต์ การทดสอบนั้นเราไม่สามารถที่จะทำการควบคุมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ละองศาได้จึงใช้วิธีการสุ่มทดลองโดยการนำเอาเครื่องที่วัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลสำเร็จรูปมาใช้ในการทดลองโดยการนำเอาตัวตรวจจับอุณหภูมิของชุดสำเร็จรูปมาวางใกล้กับตัวตรวจ

จับอุณหภูมิที่สร้างขึ้นเพื่อให้ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในจุดที่ต้องการให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด  
 สุ่มทำการปรับเครื่องปรับอากาศเรื่อยๆจนชุดวัดอุณหภูมิชุดสำเร็จแสดงผลอุณหภูมิที่ประมาณ 25 องศา  
 ที่ต้องทำการปรับที่ 25 องศาเพราะคุณสมบัติของ LM 335 องศาจะมีการผิดพลาดน้อยที่สุดต่อมาทำ  
 การปรับเครื่องตรวจจับอุณหภูมิที่สร้างขึ้นให้แสดงผลใกล้เคียงกับเครื่องที่สำเร็จรูปมากที่สุดแล้วทำการ  
 ปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศหรือเปลี่ยนสถานที่ใหม่ทำให้อุณหภูมิที่ได้เปลี่ยนแปลงไป สังเกตว่า  
 อุณหภูมิทั้งสองแสดงผลแตกต่างกันแค่นั้นโดยแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือตอนที่ต่อกับชุดแสดงผลเลย  
 และตอนที่ทำการส่งผ่านชุดรับส่งซึ่งผลที่ได้การเชื่อมต่อชุดตรวจจับเข้ากับชุดแสดงผลโดยตรงจะให้ค่าที่  
 ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

### ชุดความดัน

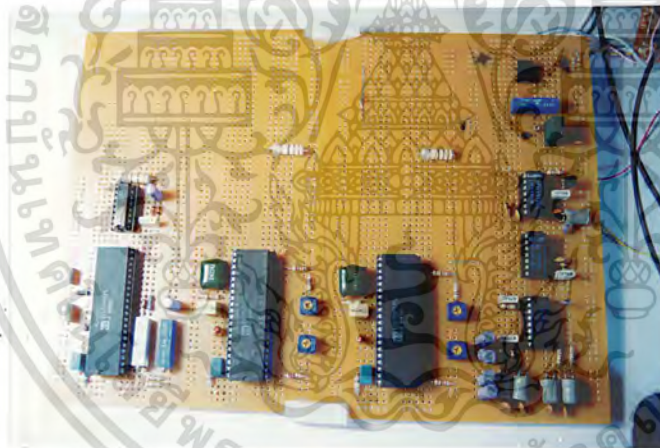
สำหรับวงจรที่ใช้งานในชุดนี้ใช้แหล่งจ่ายไฟ 8 V MPX2100 AP จะสร้างแรงดันออกมาที่ขาที่ 2  
 และ 4 ในหน่วยมิลลิโวลต์ซึ่งค่าจะน้อยมากแต่ก็คือสัญญาณที่แปรผันโดยตรงตามความดันบรรยากาศ  
 เมื่อผ่านวงจรออปแอมป์ทั้งสองชุดที่จัดระดับของการเปลี่ยนแปลงไว้ถึง 155 ระดับซึ่งสัญญาณในระดับ  
 ต่ำที่ออกมาจาก MPX 2100AP ไม่ได้ออกมาเที่ยงตรงเป็นค่าใดค่าหนึ่งแต่จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงใน  
 ช่วงหนึ่งที่พอยอมรับได้อาจเกิดจากหลายประการเมื่อทำการส่งผ่านชุดรับส่งให้อยู่ระดับที่ต่ำเพื่อให้  
 เหมาะสมกับอินพุทของไอซี 7107 แต่สัญญาณทางชุดรับที่ผ่านการตีมัลติเพล็กซ์ออกมาเป็นสัญญาณ  
 ของชุดความดันนั้นก็สร้างปัญหาอีกคือสัญญาณรบกวนซึ่งมีผลต่อการแสดงผลทำให้ค่าที่ได้ไม่ค่อยจะ  
 เที่ยงตรงมากนักแต่เนื่องจากค่าความดันในบรรยากาศทั่วไปมีการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นกับความสูงเป็นส่วน  
 ใหญ่ โดยความสูงเปลี่ยนความดันก็จะเปลี่ยนทางผู้จัดทำได้ทำการปรับแต่งไว้ที่ระดับความสูงค่าหนึ่ง  
 เท่านั้นแต่หากจะให้มีการเปลี่ยนค่าของแรงดันทางด้านอินพุทที่หลายๆก็ต้องทำการเพิ่มความกดดันให้  
 มากหรือเพิ่มความสูงที่หลายๆตามไปด้วย

การทดลองสำหรับชุดวัดความดันนี้เราได้ทำการปรับแต่งค่าตามทฤษฎีที่ความสูงโดยทั่วไปและ  
 การทดลองนั้นโดยทั่วไปที่ความสูงหนึ่งๆจะมีการเปลี่ยนแปลงความดันอยู่บ้างแต่จะมีปริมาณน้อยมาก  
 และจะต้องทำการวัดเป็นเวลานานๆจึงจะทำการสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลง เช่นเป็นเดือนๆแต่สำหรับ  
 เครื่องมือชุดนี้ไม่สามารถที่จะทำการเปลี่ยนแปลงที่ละเอียดขนาดนั้นได้จะทำการวัดได้ก็แต่ค่าที่มีการ  
 เปลี่ยนแปลงเมื่อความสูงเปลี่ยนเท่านั้นหรือกรณีเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศมากๆเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

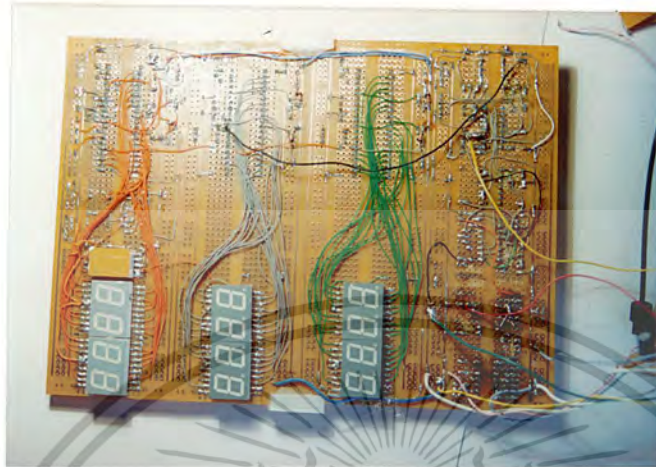
### ชุดตรวจจับก๊าซ

การทดลองการทำงานของวงจรชุดนี้ต้องทำการทดลองในพื้นที่ปิดที่เพียงพอจะทำให้เมื่อปล่อยก๊าซเข้าไปในห้องจะทำให้ตัวตรวจจับก๊าซเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านแรงดันทางเอาพุตได้ซึ่งการทดลองได้ข้างอิงทฤษฎีที่ให้มากับคู่มือของ NAP-5A โดยในขั้นแรกทำการปรับแต่งความต่างศักย์ที่จุด A และ B ให้ได้ศูนย์โวลท์และทำการสร้างห้องปิดครอบตัวตรวจจับก๊าซโดยใช้กระป๋องทรงกระบอกเป็นพลาสติกครอบเจาะรูด้านบนแล้วใช้ก๊าซไปจ่อตรงรูที่เจาะไว้ปล่อยก๊าซลงไปแล้วรอสักครู่หนึ่งแรงดันระหว่างวงจรเริ่มเปลี่ยนแปลงที่ละน้อยจนกระทั่งถึงจุดที่เราปรับความไวของการตรวจจับไว้ก็จะได้เอาพุตออกมาที่ไอซี 1 ซึ่งความไวของการตรวจจับสามารถปรับได้โดยการปรับแต่งความต้านทาน  $R_4$  เมื่อทำการส่งผ่านชุดรับส่งมาแสดงผลจะแสดงผลออกมาขับ 7'S segment เป็นอักษรคำว่า "Gas" ให้สว่างแสดงสถานะของก๊าซที่ตรวจจับได้ว่ามีก๊าซเกิดขึ้น ซึ่งวงจรแสดงผลโดยสัญญาณที่ออกจากชุดรับส่งก็ไม่ได้ต้องการความละเอียดเท่าไรเพราะสัญญาณที่จะขับชุดแสดงผลเพียงแต่เป็น "1" และ "0" เท่านั้นที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสขับชุดแสดงผล

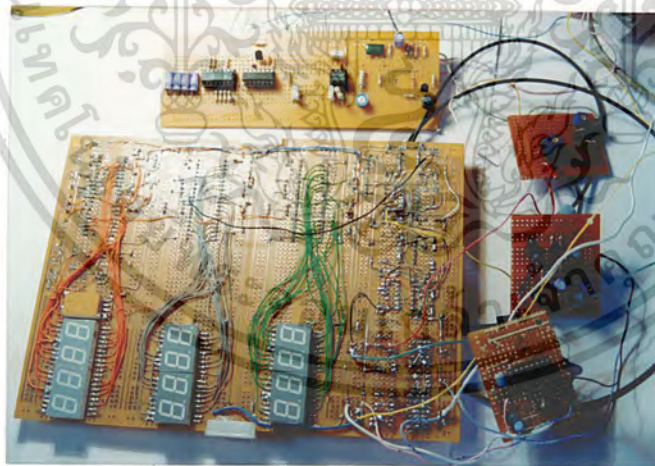


รูปที่ 4.8 แสดงด้านหน้าของแผ่นวงจรชุดแสดงผลและดีมีลติเพล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

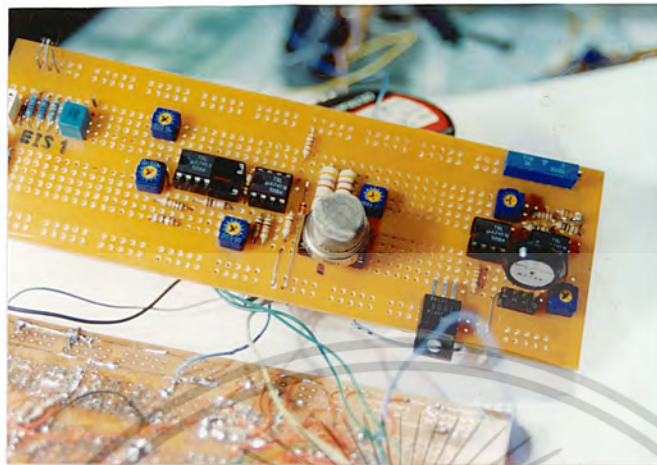


รูปที่ 4.9 แสดงด้านหลังของชุด display



รูปที่ 4.10 แผ่นวงจรทั้งหมดที่ใช้ทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงแผงวงจรชุดตรวจจับ



รูปที่ 4.12 แสดงชุดแสดงผลขณะที่ทำการตรวจจับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและวิจารณ์

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแสงนั้นถึงแม้ว่าคุณสมบัติของเส้นใยแสงในการทำหน้าที่เป็นสายส่งจะมีข้อดีมากมายแต่ก็ไม่ได้หมายความว่า จะทำการส่งสัญญาณได้ดีเสมอไป โดยมันจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญหลายอย่างด้วยกันในการทดลองนี้จะมีปัญหามากมายไม่ว่าจะเป็นเรื่องของ การคับปลิ่งสัญญาณผ่านเส้นใยแสงเข้าไปในเส้นใยแสงเพราะในการทดลองไม่สามารถใช้ตัวรับ-ส่งที่มีคุณภาพสูงไม่ได้เนื่องจากข้อจำกัดบางประการ ทำให้จำเป็นต้องใช้แบบธรรมดาทำให้คุณภาพที่ได้ด้อยลงไปมากทีเดียวเพราะการสูญเสียในเส้นใยแสงที่ใช้มีค่าประมาณ 2.3 dB/km ทำให้ค่าเข้าพุทที่ได้มีค่าคลาดเคลื่อนไปมากเนื่องจากการเป็นแปลงทางด้านอินพุทมีค่าเป็นมิลลิโวลต์ ส่วนชุดที่ทำหน้าที่ตรวจจับต่างๆทำงานได้แต่ค่าที่ได้จะค่ามีค่าไม่ค่อยจะเที่ยงตรงมากนักเนื่องจากองค์ประกอบหลายประการเช่นชุดวัดความดันบรรยากาศยามในการเปลี่ยนแปลงค่าในแต่ละครั้งมากจึงทำให้เกิดความยากลำบากในการที่จะทำการทดสอบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงจริงหรือไม่ ส่วนชุดอื่นๆก็มีปัญหาลักษณะที่คล้ายคลึงกัน

ถึงแม้ทางด้านส่งจะทำการปรับระดับให้มีการเปลี่ยนแปลงมีย่านกว้างมากขึ้นแต่ก็ไม่สามารถทำได้มากนักอีกทั้งอุปกรณ์ชุดรับส่งของชุดตรวจจับแต่ละชุดนั้นมีคุณภาพที่ไม่ค่อยดีนักและเมื่อเปรียบเทียบกับ การส่งผ่านเส้นใยแสงนั้นกรณีที่ชุดตรวจจับต่อกับชุดแสดงผลโดยตรงจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ดีกว่าเพราะสัญญาณที่ได้จะถูกส่งเข้าไปแสดงผลโดยตรงโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือมีการสูญเสียเกิดขึ้นของสัญญาณ

### กิติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลงไม่หากไม่ได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลต่อไปนี้และทางด้านผู้จัดทำต้องขอขอบคุณบุคคลต่อไปนี้ไว้ด้วย ผศ.อภิรักษ์ มั่นยานนท์ ที่กรุณาให้คำแนะนำต่างๆ คณาจารย์วิทยาลัยการอาชีพนวมินราชูทิศที่กรุณาให้ใช้เครื่องมือในการทดลอง ตลอดจนถึงเพื่อนที่คอยให้คำปรึกษาต่างๆ และที่ขาดเสียไม่ได้ก็คือ คุณพ่อคุณแม่ที่คอยให้กำลังใจและทุนทรัพย์ตลอดมาจึงต้องขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สุนัย แซ่ตั้ง "ดิจิทัลเทอร์โมมิเตอร์ บอกอุณหภูมิด้วยตัวเลข" เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ หน้า 1471-147 ฉบับที่ 76 มีนาคม 30
- [2] Linear Data Book "Precision temperature sensor" หน้า 9-25,9-32 National Semiconductor 1982
- [3] Handling Manual NAP-5A บริษัทแอนนาดีจิต กรุ๊ป จำกัด กรุงเทพฯ
- [4] อภินันท์ มัณยานนท์ "การสื่อสารเส้นใยแสง" คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

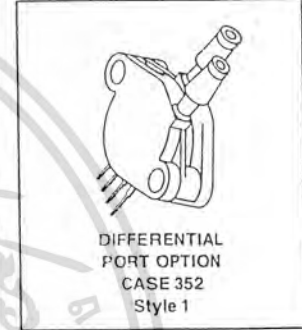


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 0 to 14.5 PSI On-Chip Temperature Compensated & Calibrated, Silicon Pressure Sensors

The MPX2100 and MPX2101 series device is a silicon piezoresistive pressure sensors providing a highly accurate and linear voltage output — directly proportional to the applied pressure. The sensor is a single, monolithic silicon diaphragm with the strain gauge and a thin-film resistor network integrated on-chip. The chip is laser trimmed for precise span and offset calibration and temperature compensation. This device was designed for use in applications such as pump/motor controllers, robotics, level indicators, medical diagnostics, pressure switching, barometers, altimeters, etc.

- Temperature Compensated Over 0°C to +85°C
- Unique Silicon Shear Stress Strain Gauge
- Full Scale Span Calibrated to 40 mV (typical)
- Easy to Use Chip Carrier Package Options
- Available in Absolute, Differential and Gauge Configurations
- Ratiometric to Supply Voltage



**MPX2100  
MPX2101  
SERIES**  
Motorola Preferred Devices

0-14.5 PSI  
X-ducer™  
SILICON  
PRESSURE SENSORS

Pin Number			
1	2	3	4
Ground	+V <sub>out</sub>	V <sub>S</sub>	-V <sub>out</sub>

### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Overpressure	P <sub>max</sub>	400	kPa
Burst Pressure	P <sub>burst</sub>	1000	kPa
Supply Voltage (Note 11)	V <sub>Smax</sub>	16	V <sub>dc</sub>
Storage Temperature	T <sub>stg</sub>	-50 to +150	°C
Operating Temperature	T <sub>A</sub>	-40 to +125	°C

### VOLTAGE OUTPUT versus APPLIED DIFFERENTIAL PRESSURE

The differential voltage of the X-ducer is directly proportional to the differential pressure applied.

The absolute basic elements and absolute ported elements have a built in reference vacuum. The output voltage will decrease as vacuum, relative to ambient, is drawn on the positive pressure side. Vacuum down to the reference can be measured with the indicated accuracy.

The output voltage of the differential element, differential ported and gauge ported sensors increases with increasing pressure applied to the positive pressure side relative to the vacuum side. Similarly, output voltage increases as increasing vacuum is applied to the vacuum side relative to the positive pressure side of the differential units.

The output voltage of the gauge vacuum ported sensor increases with increasing vacuum (decreasing pressure) applied to the vacuum side with the pressure side at ambient. Figure 1 shows the schematic diagram of the MPX2100 sensor circuit.

X-ducer is a trademark of Motorola Inc.

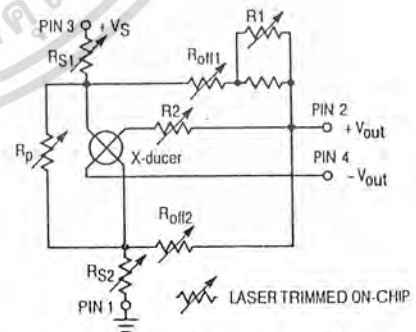


Figure 1. Temperature Compensated Pressure Sensor Schematic

RFV 4 1/94

## MPX2100 • MPX2101 SERIES

OPERATING CHARACTERISTICS ( $V_S = 10$  Vdc,  $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	
Pressure Range (1)	$P_{OP}$	0	—	100	kPa	
Supply Voltage(11)	$V_S$	—	10	16	Vdc	
Supply Current	$I_o$	—	6.0	—	mAdc	
Full Scale Span(2), Figure 5	$V_{FSS}$	MPX2100A, MPX2100D, MPX2101D	38.5	40	41.5	mV
MPX2101A		37.5	40	42.5		
Zero Pressure Offset, Figure 5	$V_{off}$	MPX2100D, MPX2101D	-1.0	—	1.0	mV
MPX2100A		-2.0	—	2.0		
MPX2101A		-3.0	—	3.0		
Sensitivity	$\Delta V/\Delta P$	—	0.4	—	mV/kPa	
Linearity(3) Figure 2	—	MPX2100A, MPX2100D	-0.25	—	0.25	%FSS
MPX2101A, MPX2101D		-0.5	—	0.5		
Pressure Hysteresis(4) (0 to 100 kPa)	—	-0.1	—	0.1	%FSS	
Temperature Hysteresis(5) (-40°C to +125°C)	—	—	±0.5	—	%FSS	
Temperature Effect on Full Scale Span(6) (0 to +85°C), Figure 6	$TCV_{FSS}$	-1.0	—	1.0	%FSS	
Temperature Effect on Offset(7) (0 to +85°C), Figure 6	$TCV_{off}$	-1.0	—	1.0	mV	
Input Impedance	$Z_{in}$	1000	—	2500	$\Omega$	
Output Impedance	$Z_{out}$	1400	—	3000	$\Omega$	
Response Time(8) (10% to 90%)	$t_R$	—	1.0	—	ms	
Temperature Error Band, Figure 6	—	0	—	85	$^\circ\text{C}$	
Stability(9)	—	—	±0.5	—	%FSS	

### MECHANICAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Weight (Basic Element Case 344)	—	—	2.0	—	Grams
Warm-Up	—	—	15	—	Sec
Cavity Volume	—	—	—	0.01	$\text{IN}^3$
Volumetric Displacement	—	—	—	0.001	$\text{IN}^3$
Common Mode Line Pressure	—	—	—	690	kPa

#### NOTES:

1. 1 kPa (kiloPascal) equals 0.145 PSI.
2. Measured at 10 Vdc excitation for 100 kPa pressure differential.  $V_{FSS}$  and FSS are like terms representing the algebraic difference between full scale output and zero pressure offset.
3. Maximum deviation from end-point straight line fit at 0 and 100 kPa.
4. Maximum output difference at any pressure point within  $P_{OP}$  for increasing and decreasing pressures.
5. Maximum output difference at any pressure point within  $P_{OP}$  for increasing and decreasing temperatures in the range -40°C to +125°C.
6. Slope end-point straight line fit to full scale span at 0°C and +85°C relative to +25°C.
7. Slope end-point straight line fit to zero pressure offset at 0°C and +85°C relative to +25°C.
8. For a 0 to 100 kPa pressure step change.
9. Stability is defined as the maximum difference in output at any pressure within  $P_{OP}$  and temperature within +10°C to +85°C after:
  - a. 1000 temperature cycles, -40°C to +125°C.
  - b. 1.5 million pressure cycles, 0 to 100 kPa.
10. Operating characteristics based on positive pressure differential relative to the vacuum side (gauge/differential) or sealed reference (absolute).
11. Recommended voltage supply: 10 V ± 0.2 V, regulated. Sensor output is ratiometric to the voltage supply. Supply voltages above +16 V may induce additional error due to device self-heating.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MPX2100 • MPX2101 SERIES

### LINEARITY

Linearity refers to how well a transducer's output follows the equation:  $V_{out} = V_{off} + \text{sensitivity} \times P$  over the operating pressure range. There are two basic methods for calculating nonlinearity: (1) end point straight line fit (see Figure 2) or (2) a least squares best line fit. While a least squares fit gives the "best case" linearity error (lower numerical value), the calculations required are burdensome.

Conversely, an end point fit will give the "worst case" error (often more desirable in error budget calculations) and the calculations are more straightforward for the user. Motorola's specified pressure sensor linearities are based on the end point straight line method measured at the midrange pressure.

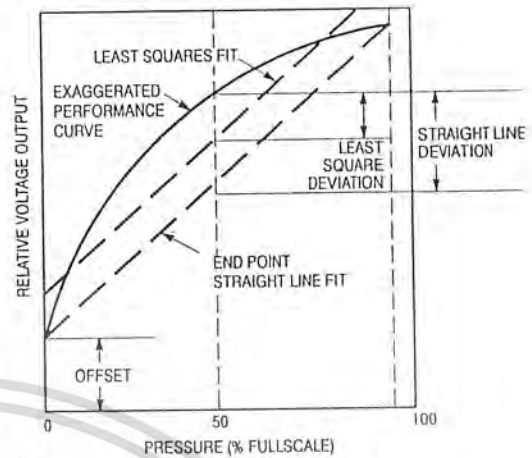
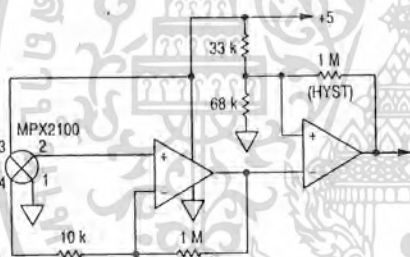


Figure 2. Linearity Specification Comparison

### EXAMPLE INTERFACE CIRCUITS

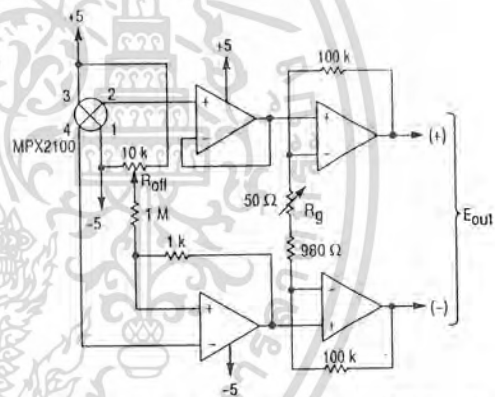
The MPX2100 series sensors with on-chip compensation can be used individually or in multiples in research, design, or development projects to optimize a design. The small size and

low cost of the compensated MPX2100 series sensors make these devices ideally suited for such applications.



Output switches low at 55% full-scale input; switches high at 45% input. 1 M Hysteresis resistor may be removed or value changed according to user requirements.

Figure 3. Single-ended Supply, TTL or CMOS Logic Compatible Comparator



DVM  $\mu P$  compatible input. Set SPAN with  $R_g$ , the OFFSET with  $R_{off}$ . Differential output is  $\pm 8$  Vdc with full-scale pressure applied.

Figure 4. Precision Pressure-to-Voltage Converter using Quad Op Amp

These are offered as basic suggestions only; actual component selection and values are determined by the final circuit requirements.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MPX2100 • MPX2101 SERIES

ON-CHIP TEMPERATURE COMPENSATION and CALIBRATION

Figure 5 shows the output characteristics of the MPX2100 series at 25°C. The output is directly proportional to the differential pressure and is essentially a straight line.

The effects of temperature on Full Scale Span and Offset are very small and are shown under Operating Characteristics and in Figure 6.

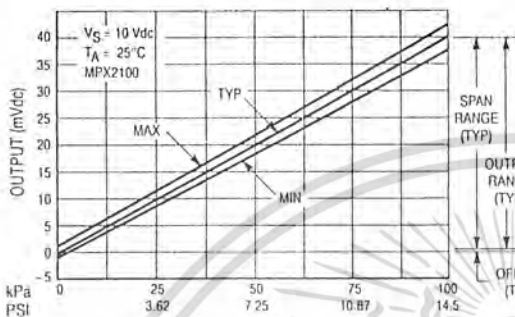


Figure 5. Output versus Pressure Differential

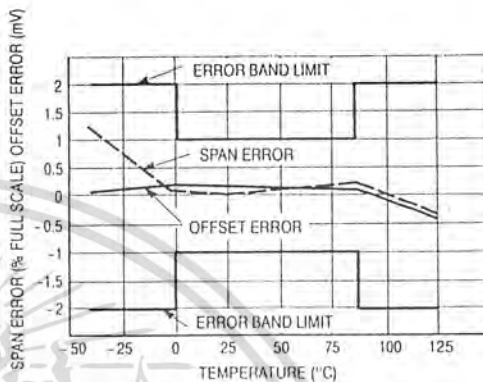


Figure 6. Temperature Error Band Limit and Typical Span and Offset Errors

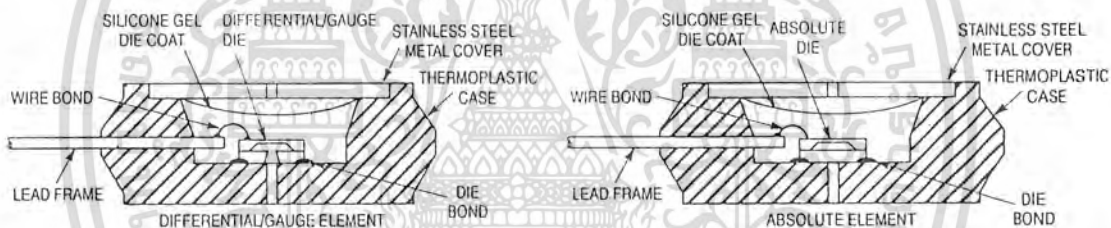


Figure 7. Cross-Sectional Diagrams (not to scale)

Figure 7 illustrates the absolute sensing configuration (right) and the differential or gauge configuration in the basic chip carrier (Case 344). A silicone gel isolates the die surface and wire bonds from harsh environments, while allowing the pressure signal to be transmitted to the silicon diaphragm.

The MPX2100 series pressure sensor operating characteristics and internal reliability and qualification tests

are based on use of dry air as the pressure media. Media other than dry air may have adverse effects on sensor performance and long term stability. Contact the factory for information regarding media compatibility in your application.

**NOTE:** Stainless steel cap is not installed on devices with a port attached on the pressure (gel) side.

MPX2100 • MPX2101 SERIES

PRESSURE/VACUUM SIDE IDENTIFICATION TABLE

Motorola designates the two sides of the pressure sensor as the Pressure (top) side and the Vacuum (back) side. The Pressure side is the side containing the silicone gel which protects the die. The Motorola MPX pressure sensor is designed to operate with positive differential pressure applied

(i.e., top side pressure is greater than or equal to back side pressure).

The Pressure side may be identified by using the table below:

Part Number				Case Type	Pressure Side Identifier
MPX2100A	MPX2100D	MPX2101A	MPX2101D	344	Stainless Steel Cap
MPX2100DP		MPX2101DP		352	Side with Part Marking
MPX2100AP	MPX2100GP	MPX2101AP	MPX2101GP	350-03	Side with Port Attached
MPX2100GVP		MPX2101GVP		350-04	Stainless Steel Cap
MPX2100AS	MPX2100GS	MPX2101AS	MPX2101GS	371-06	Side with Port Attached
MPX2100GVS		MPX2101GVS		371-05	Stainless Steel Cap
MPX2100ASX	MPX2100GSX	MPX2101ASX	MPX2101GSX	371C	Side with Port Attached
MPX2100GVSX		MPX2101GVSX		371D	Stainless Steel Cap

ORDERING INFORMATION:

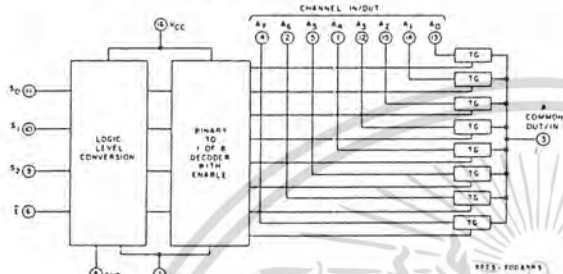
MPX2100 series pressure sensors are available in absolute, differential and gauge configurations. Devices are available in the basic element package or with pressure port fittings which provide printed circuit board mounting ease and barbed hose pressure connections.

Device Type	Options	Case Type	MPX Series	
			Order Number	Device Marking
Basic Element	Absolute, Differential	Case 344	MPX2100A MPX2100D MPX2101A MPX2101D	MPX2100A MPX2100D MPX2101A MPX2101D
Ported Elements	Differential	Case 352	MPX2100DP MPX2101DP	MPX2100DP MPX2101DP
	Absolute, Gauge	Case 350-03	MPX2100AP MPX2100GP MPX2101AP MPX2101GP	MPX2100AP MPX2100GP MPX2101AP MPX2101GP
	Gauge Vacuum	Case 350-04	MPX2100GVP MPX2101GVP	MPX2100GVP MPX2101GVP
	Absolute, Gauge Stove Pipe	Case 371-06	MPX2100AS MPX2100GS MPX2101AS MPX2101GS	MPX2100A MPX2100D MPX2101A MPX2101D
	Gauge Vacuum Stove Pipe	Case 371-05	MPX2100GVS MPX2101GVS	MPX2100D MPX2101D
	Absolute, Gauge Axial	Case 371C	MPX2100ASX MPX2100GSX MPX2101ASX MPX2101GSX	MPX2100A MPX2100D MPX2101A MPX2101D
	Gauge Vacuum Axial	Case 371D	MPX2100GVSX MPX2101GVSX	MPX2100D MPX2101D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**CMOS High-Speed CMOS Logic**

**FUNCTIONAL DIAGRAM**



CD54/74HC4051, HCT4051

**Analog Multiplexers/  
 Demultiplexers**

**Type Features:**

- Wide analog input voltage range:  $\pm 5.5 V_{min}$
- Low "on" resistance:  
 $70 \Omega$  typ ( $V_{CC} - V_{EE} = 4.5 V$ )  
 $40 \Omega$  typ ( $V_{CC} - V_{EE} = 9 V$ )
- Low crosstalk between switches
- Fast switching and propagation speeds
- "Break-before-make" switching:  
 $(6 ns \text{ typ @ } 4.5 V)$

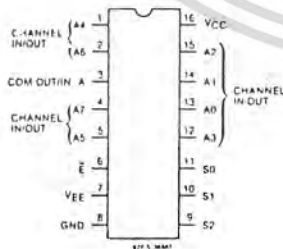
**Family Features:**

- Fanout (Over Temperature Range):  
 Standard Outputs - 10 LSTTL Loads  
 Bus Driver Outputs - 15 LSTTL Loads
- Wide Operating Temperature Range:  
 CD74HC/HCT/HCU:  $-40$  to  $+85^\circ C$
- Balanced Propagation and Transition Times
- Significant Power Reduction Compared to LSTTL Logic ICs
- Alternate Source is Philips/Signetics
- CD54HC/CD74HC Types:  
 2 to 6 V Operation  
 High Noise Immunity:  
 $N_{IL} = 20\%$ ,  $N_{IH} = 30\%$  of  $V_{CC}$  @  $V_{CC} = 5 V$
- CD54HCT/CD74HCT Types:  
 4.5 to 5.5 V Operation  
 Direct LSTTL Input Logic Compatibility  
 $V_{IL} = 0.8 V \text{ Max.}$ ,  $V_{IH} = 2 V \text{ Min.}$   
 CMOS Input Compatibility  
 $I_L \leq 1 \mu A$  @  $V_{OL}$ ,  $V_{OH}$

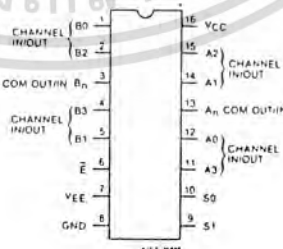
The RCA CD54/74HC/HCT4051, 4052, and 4053 are digitally controlled analog switches which utilize silicon-gate CMOS technology to achieve operating speeds similar to LSTTL with the low power consumption of standard CMOS integrated circuits.

These analog multiplexers/demultiplexers control analog voltages that may vary across the voltage supply range (i.e.  $V_{CC}$  to  $V_{EE}$ ). They are bidirectional switches thus allowing any analog input to be used as an output and visa-versa. The switches have low "on" resistance and low "off" leakages. In addition, all three devices have an enable control which when high will disable all switches to their "off" state.

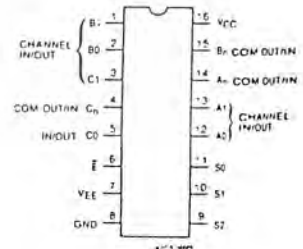
The CD54HC/HCT4051, 4052, and 4053 are supplied in 16-lead hermetic dual-in-line ceramic packages (F suffix). The CD74HC/HCT 4051, 4052, and 4053 are supplied in 16-lead plastic packages (E suffix). Both devices are also available in chip form (H suffix).



CD54/74HC/HCT4051  
 TERMINAL ASSIGNMENT



CD54/74HC/HCT4052  
 TERMINAL ASSIGNMENT



CD54/74HC/HCT4053  
 TERMINAL ASSIGNMENT

Trademark(s)®Registered  
 Marca(s) Registrada(s)  
 Printed in USA/1-85

Information furnished by RCA is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by RCA for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of RCA.

This document contains information on a new product specification and information contained herein are subject to change without notice.

File Number 1676

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

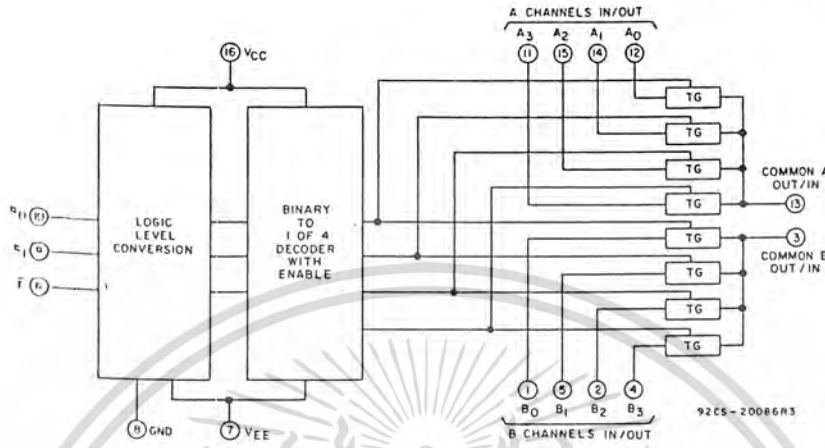


Fig. 1 — Functional diagram of HC/HCT4052

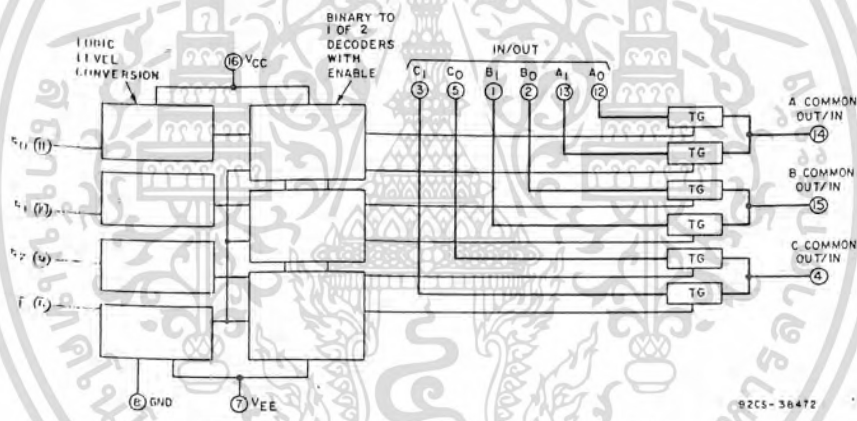


Fig. 2 — Functional diagram of HC/HCT4053

TRUTH TABLES

INPUT STATES				"ON" CHANNEL(S)
ENABLE	S2	S1	S0	
CD54/74HC/HCT4051				
0	0	0	0	A0
0	0	0	1	A1
0	0	1	0	A2
0	0	1	1	A3
0	1	0	0	A4
0	1	0	1	A5
0	1	1	0	A6
0	1	1	1	A7
1	X	X	X	NONE

CD54/74HC/HCT4052			
ENABLE	S1	S0	
0	0	0	A0, B0
0	0	1	A1, B1
0	1	0	A2, B2
0	1	1	A3, B3
1	X	X	NONE
CD54/74HC/HCT4053			
ENABLE	S0 or S1 or S2		
0	0		A0 or B0 or C0
0	1		A1 or B1 or C1
1	X		NONE

X = Don't care

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CD54/74HC4051, CD54/74HCT4051  
 CD54/74HC4052, CD54/74HCT4052  
 CD54/74HC4053, CD54/74HCT4053

File No. 1676

MAXIMUM RATINGS, Absolute-Maximum Values:

DC SUPPLY-VOLTAGE (V <sub>CC</sub> -V <sub>EE</sub> ):	.....	-0.5 to 11V
DC SUPPLY-VOLTAGE (V <sub>CC</sub> ):	.....	-0.5 to +7V
DC SUPPLY-VOLTAGE (V <sub>EE</sub> ):	.....	
(Voltages referenced to ground)	.....	+0.5 to -7V
CONTROL INPUT VOLTAGE (V <sub>m</sub> ):	.....	
SWITCH I/O VOLTAGE (V <sub>io</sub> ):	.....	
DC INPUT DIODE CURRENT, I <sub>IK</sub> (FOR V <sub>i</sub> < -0.5 V OR V <sub>i</sub> > +0.5V)	.....	±20mA
DC OUTPUT DIODE CURRENT, I <sub>OK</sub> (FOR V <sub>o</sub> < -0.5 V OR V <sub>o</sub> > +0.5V)	.....	±20mA
DC V <sub>CC</sub> OR GROUND CURRENT, PER PIN (I <sub>CC</sub> ):	.....	±50mA
POWER DISSIPATION PER PACKAGE (P <sub>o</sub> ):		
For T <sub>A</sub> = -40 to +60°C (PACKAGE TYPE E)	.....	500 mW
For T <sub>A</sub> = +60 to +85°C (PACKAGE TYPE E)	.....	Derate Linearly at 8 mW/°C to 300 mW
For T <sub>A</sub> = -55 to +100°C (PACKAGE TYPE F, H)	.....	500 mW
For T <sub>A</sub> = +100 to +125°C (PACKAGE TYPE F, H)	.....	Derate Linearly at 8 mW/°C to 300 mW
OPERATING-TEMPERATURE RANGE (T <sub>A</sub> ):		
PACKAGE TYPE F, H	.....	-55 to +125°C
PACKAGE TYPE E	.....	-40 to +85°C
STORAGE TEMPERATURE (T <sub>stg</sub> ):	.....	-65 to +150°C
LEAD TEMPERATURE (DURING SOLDERING):		
At distance 1/16 ± 1/32 in. (1.59 ± 0.79 mm) from case for 10 s max.	.....	+265°C
Unit inserted into a PC Board (min. thickness 1/16 in., 1.59 mm)	.....	
with solder contacting lead tips only	.....	+300°C

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS:

For maximum reliability, nominal operating conditions should be selected so that operation is always within the following ranges:

CHARACTERISTIC	LIMITS		UNITS
	MIN.	MAX.	
Supply-Voltage Range (For T <sub>A</sub> = Full Package-Temperature Range) V <sub>CC</sub> *			
CD54/74HC Types	2	6	V
CD54/74HCT Types	4.5	5.5	V
Supply-Voltage Range (For T <sub>A</sub> = Full Package-Temperature Range) V <sub>CC</sub> -V <sub>EE</sub> *			
CD54/74HC Types	0	10	V <sub>CC</sub>
CD54/74HCT Types			
DC Input or Output Voltage V <sub>i</sub> , V <sub>o</sub>	0	V <sub>CC</sub>	V
Operating Temperature T <sub>A</sub> :			
CD74 Types	-40	+85	°C
CD54 Types	-55	+125	°C
Input Rise and Fall Times t <sub>r</sub> , t <sub>f</sub>			
at 2 V	0	1000	ns
at 4.5 V	0	500	ns
at 6 V	0	400	ns
at 10 V	0	250	ns

\*Unless otherwise specified, all voltages are referenced to Ground.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

CHARACTERISTIC	CD74HC/CD54HC										CD74HCT/CD54HCT										UNITS						
	TEST CONDITIONS				74HC/54HC TYPE			74HC TYPE			54HC TYPE			TEST CONDITIONS			74HCT/54HCT TYPE			74HCT TYPE			54HCT TYPE				
	V <sub>I</sub> V	I <sub>O</sub> mA	V <sub>EE</sub> V	V <sub>CC</sub> V	+25°C			-40/ +85°C			-55/ +125°C			V <sub>I</sub> V	V <sub>EE</sub> V	V <sub>CC</sub> V	+25°C			-40/ +85°C			-55/ +125°C				
					Min	Typ	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max				Min	Typ	Max	Min		Max	Min	Max			
High-Level Input Voltage V <sub>IH</sub>				2	1.5	—	—	1.5	—	1.5	—	—			4.5			2	—	—	2	—	2	—		V	
				4.5	3.15	—	—	3.15	—	3.15	—	—			to												
				6	4.2	—	—	4.2	—	4.2	—	—			5.5												
Low-Level Input Voltage V <sub>IL</sub>				2	—	—	0.3	—	0.3	—	0.3	—			4.5					0.8	—	0.8	—	0.8	—		V
				4.5	—	—	0.9	—	0.9	—	0.9	—			to												
				6	—	—	1.2	—	1.2	—	1.2	—			5.5												
Maximum "On" Resistance R <sub>on</sub>	V <sub>CC</sub> or V <sub>EE</sub>	1	0	2	—	150	—	—	—	—	—	—	V <sub>CC</sub>														Ω
			0	4.5	—	70	160	—	200	—	240	—	V <sub>CC</sub>	0	4.5	—	70	160	—	200	—	240	—				
			0	6	—	60	140	—	175	—	210	—	V <sub>EE</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	V <sub>CC</sub> I <sub>O</sub> V <sub>EE</sub>	1	0	4.5	—	40	80	—	100	—	120	—	V <sub>EE</sub>	-4.5	4.5	—	40	80	—	100	—	120	—				Ω
			0	4.5	—	90	180	—	225	—	270	—	V <sub>CC</sub>	0	4.5	—	90	180	—	225	—	270	—				
			0	6	—	80	160	—	200	—	240	—	to	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
Maximum "On" resistance between any two channels ΔR <sub>on</sub>			0	2	—	50	—	—	—	—	—															Ω	
			0	4.5	—	10	—	—	—	—	—																
			-4.5	4.5	—	5	—	—	—	—	—																
Switch "Off" Leakage Current I <sub>z</sub>			6	—	—	±0.1	—	±1	—	±1	—			6	—	—	±0.1	—	±1	—	±1	—	±1	—		μA	
			10	—	—	±0.2	—	±2	—	±2	—			10	—	—	±0.2	—	±2	—	±2	—	±2	—			
Control Input Leakage Current I <sub>i</sub>	V <sub>CC</sub> or Gnd		6	—	—	±0.1	—	±1	—	±1	—			5.5	—	—	±0.1	—	±1	—	±1	—	±1	—		μA	
Quiescent Device Current I <sub>CC</sub>	V <sub>CC</sub> or Gnd	0	6	—	—	8	—	80	—	160	—			V <sub>CC</sub> or Gnd	5.5	—	—	8	—	80	—	160	—			μA	
Additional Quiescent Device Current per input pin: 1 unit load ΔI <sub>CC</sub> *														V <sub>CC</sub> -2.1	4.5 to 5.5	—	100	360	—	450	—	490	—			μA	

\*For dual-supply systems theoretical worst case (V<sub>I</sub> = 2.4 V, V<sub>CC</sub> = 5.5 V) specification is 1.4 mA.

<sup>†</sup>Any Voltage Between V<sub>CC</sub> & Gnd

HCT Input Loading Table

Type	Input	Unit Loads*
4051	All	0.5
4052	All	0.4
4053	All	0.5

\*Unit Load is ΔI<sub>CC</sub> limit specified in Static Characteristic Chart, e.g., 360 μA max. @ 25°C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CD54/74HC4051, CD54/74HCT4051  
 CD54/74HC4052, CD54/74HCT4052  
 CD54/74HC4053, CD54/74HCT4053

File No. 1676

SWITCHING CHARACTERISTICS ( $C_L = 50$  pF, Input  $t_{r}, t_f = 6$  ns,  $V_{EE} = 0$ )

CHARACTERISTIC	SYMBOL	$V_{CC}$	25°C				-40°C to +85°C				-55°C to +125°C				UNITS
			HC		HCT		74HC		74HCT		54HC		54HCT		
			Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
Propagation Delay, Switch In to Out	$t_{PLH}$	2	—	60	—	—	—	75	—	—	—	90	—	—	ns
	$t_{PHL}$	4.5	—	12	—	12	—	15	—	15	—	18	—	18	
		6	—	10	—	—	—	13	—	—	—	15	—	—	
Maximum Switch Turn "On" delay	$t_{PZL}$	2	—	250	—	—	—	315	—	—	—	375	—	—	ns
	$t_{PZH}$	4.5	—	50	—	50	—	63	—	63	—	75	—	75	
		6	—	43	—	—	—	54	—	—	—	64	—	—	
Maximum Switch Turn "Off" delay	$t_{PHZ}$	2	—	325	—	—	—	405	—	—	—	490	—	—	ns
	$t_{PLZ}$	4.5	—	65	—	65	—	81	—	81	—	98	—	98	
		6	—	55	—	—	—	69	—	—	—	83	—	—	
Input Capacitance	$C_i$		—	10	—	10	—	10	—	10	—	10	—	10	pF
3-State Output Capacitance	$C_o$		—	15	—	15	—	15	—	15	—	15	—	15	pF
Switch Input Capacitance				Typ.		Typ.									pF
4051 common	$C_i$			90		90									
4052 common				45		45									
4053 common				30		30									
Maximum Feedthrough Capacitance	$C_i$														pF
Minimum Switch Frequency Response	$F_{MAX}$	2													MHz
Cross-talk between any two switches (Freq. @ -50 dB)		4.5													MHz
		6													

#### OPERATING AND HANDLING CONSIDERATIONS

##### 1. Handling

All inputs and outputs of RCA CMOS/QMOS devices have a network for electrostatic protection during handling. Recommended handling practices for CMOS/QMOS devices are similar to those described in ICAN-6525. "Guide to Better Handling and Operation of CMOS Integrated Circuits."

##### 2. Operating

###### Operating Voltage

During operation near the maximum supply voltage limit, care should be taken to avoid or suppress power supply turn-on and turn-off transients, power supply ripple, or ground noise; any of these conditions must not cause  $V_{CC} - Gnd$  to exceed the absolute maximum rating.

###### Input Signals

To prevent damage to the input protection circuit, input signals should never be greater than  $V_{CC}$  nor less than Gnd. Input currents must not exceed 20 mA even when the power supply is off.

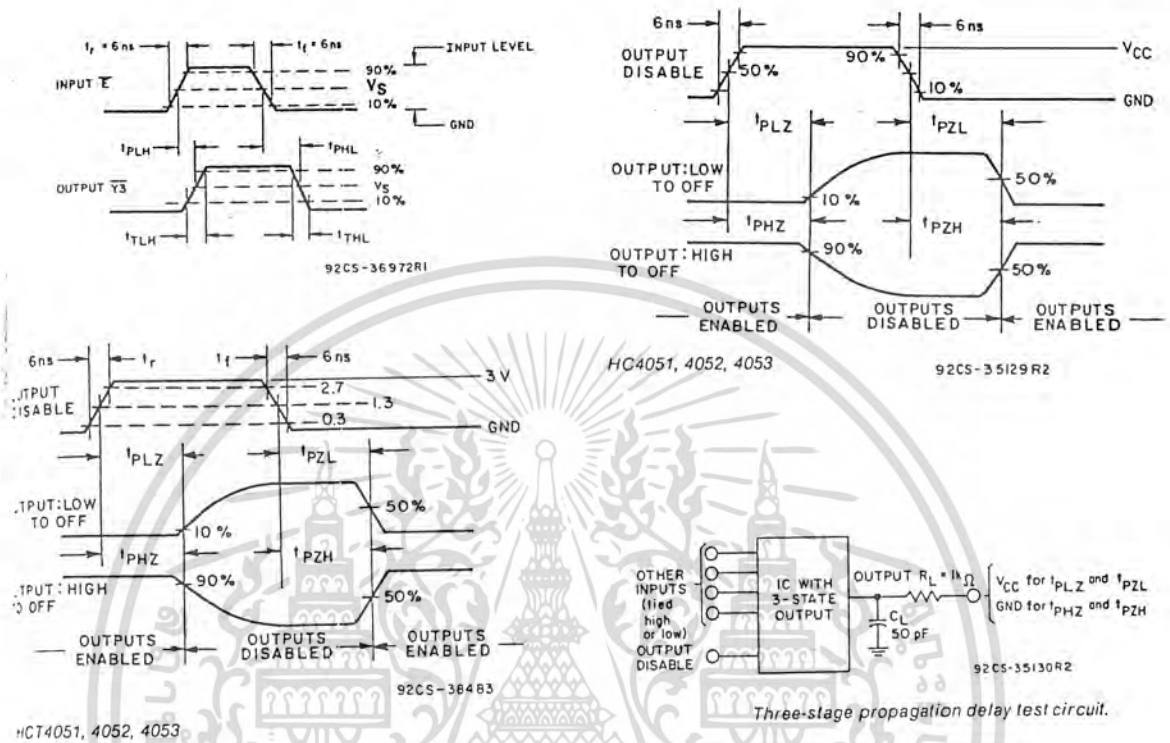
###### Unused Inputs

A connection must be provided at every input terminal. All unused input terminals must be connected to either  $V_{CC}$  or Gnd, whichever is appropriate.

###### Output Short Circuits

Shorting of outputs to  $V_{CC}$  or Gnd may damage CMOS/QMOS devices by exceeding the maximum device dissipation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



HCT4051, 4052, 4053

	54/74HC	54/74HCT
Input Level	$V_{CC}$	3V
Switching Voltage, $V_s$	50% $V_{CC}$	1.3 V

Fig. 3 — Transition times and propagation delay times.

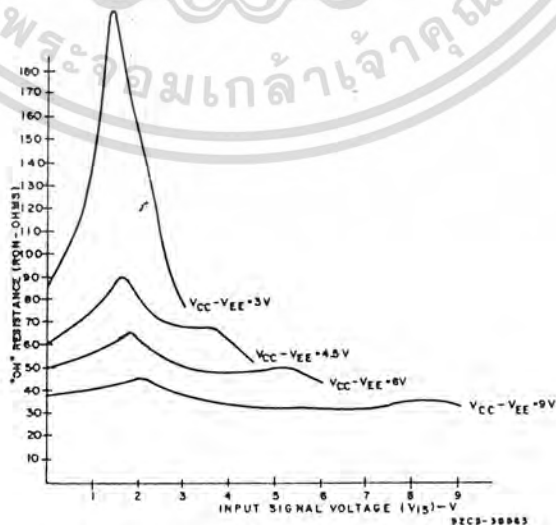


Fig. 4 — Typical ON resistance vs. input signal voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Features

- Guaranteed Zero Reading for 0V Input on All Scales
- True Polarity at Zero for Precise Null Detection
- 1pA Typical Input Current
- True Differential Input and Reference, Direct Display Drive
  - LCD ICL7106
  - LED ICL7107
- Low Noise - Less Than 15µVp-p
- On Chip Clock and Reference
- Low Power Dissipation - Typically Less Than 10mW
- No Additional Active Circuits Required
- New Small Outline Surface Mount Package Available

## Ordering Information

PART NUMBER	TEMPERATURE RANGE	PACKAGE
ICL7106CPL	0°C to +70°C	40 Lead Plastic DIP
ICL7106RCPL	0°C to +70°C	40 Lead Plastic DIP (Note 1)
ICL7106CM44	0°C to +70°C	44 Lead Metal Plastic Quad Flatpack
ICL7107CPL	0°C to +70°C	40 Lead Plastic DIP
ICL7107RCPL	0°C to +70°C	40 Lead Plastic DIP (Note 1)
ICL7107CM44	0°C to +70°C	44 Lead Metal Plastic Quad Flatpack

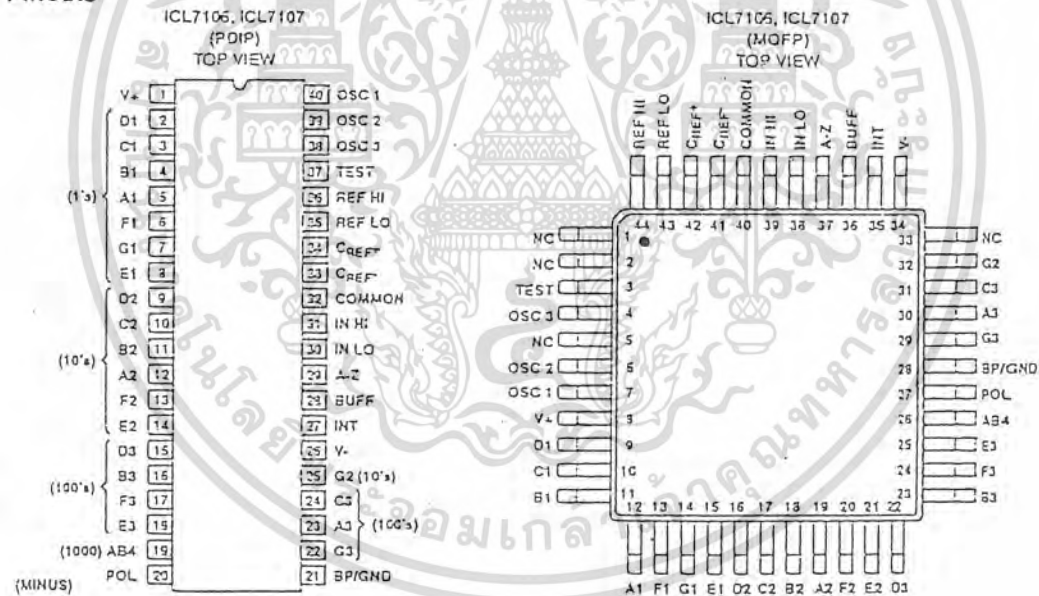
NOTE: 1. "R" indicates device with reversed leads.

## Description

The Harris ICL7106 and ICL7107 are high performance, low power 3 1/2 digit A/D converters. Included are seven segment decoders, display drivers, a reference, and a clock. The ICL7106 is designed to interface with a liquid crystal display (LCD) and includes a multiplexed backplane drive; the ICL7107 will directly drive an instrument size light emitting diode (LED) display.

The ICL7106 and ICL7107 bring together a combination of high accuracy, versatility, and true economy. It features auto-zero to less than 10µV, zero drift of less than 1µV/°C, input bias current of 10pA max., and rollover error of less than one count. True differential inputs and reference are useful in all systems, but give the designer an uncommon advantage when measuring load cells, strain gauges and other bridge type transducers. Finally, the true economy of single power supply operation (ICL7106), enables a high performance panel meter to be built with the addition of only 10 passive components and a display.

## Pinouts



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage	
ICL7106, V+ to V-	15V
ICL7107, V+ to GND	6V
ICL7107, V- to GND	9V
Analog Input Voltage (Either Input) (Note 1)	V+ to V-
Reference Input Voltage (Either Input)	V+ to V-
Clock Input	
ICL7106	TEST to V+
ICL7107	GND to V+

### Thermal Information

Thermal Resistance (MAX, See Note 1)	$\theta_{JA}$
40 Pin Plastic Package	50°C/W
44 Pin MQFP Package	80°C/W
Maximum Power Dissipation	
ICL7106	1.0W
ICL7107	1.2W
Operating Temperature Range	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering 10s Max)	+265°C
Junction Temperature	+150°C

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

### Electrical Specifications (Note 3)

PARAMETERS	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
<b>SYSTEM PERFORMANCE</b>					
Zero Input Reading	$V_{IN} = 0.0V$ , Full-Scale = 200mV	-000.0	±000.0	+000.0	Digital Reading
Ratiometric Reading	$V_{IN} = V_{REF}$ , $V_{REF} = 100mV$	999	999/ 1000	1000	Digital Reading
Rollover Error	$-V_{IN} = +V_{IN} \cong 200mV$ Difference in Reading for Equal Positive and Negative Inputs Near Full-Scale	-	±0.2	±1	Counts
Linearity	Full-Scale = 200mV or Full-Scale = 2V Maximum Deviation from Best Straight Line Fit (Note 5)	-	±0.2	±1	Counts
Common Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = 1V$ , $V_{IN} = 0V$ , Full-Scale = 200mV (Note 5)	-	50	-	$\mu V/V$
Noise	$V_{IN} = 0V$ , Full-Scale = 200mV (PK-PK Value Not Exceeded 95% of Time)	-	15	-	$\mu V$
Leakage Current Input	$V_{IN} = 0$ (Note 5)	-	1	10	$\mu A$
Zero Reading Drift	$V_{IN} = 0$ , $0^\circ < T_A < +70^\circ C$ (Note 5)	-	0.2	1	$\mu V/^\circ C$
Scale Factor Temperature Coefficient	$V_{IN} = 199mV$ , $0^\circ < T_A < +70^\circ C$ , (Ext. Ref. 0ppm/°C) (Note 5)	-	1	5	ppm/°C
End Power Supply Character V+ Supply Current	$V_{IN} = 0$ (Does Not Include LED Current for ICL7107)	-	0.8	1.8	mA
End Power Supply Character V- Supply Current	ICL7107 Only	-	0.6	1.8	mA
COMMON Pin Analog Common Voltage	25k $\Omega$ Between Common and Positive Supply (With Respect to + Supply)	2.4	2.8	3.2	V
Temperature Coefficient of Analog Common	25k $\Omega$ Between Common and Positive Supply (With Respect to + Supply)	-	80	-	ppm/°C
<b>DISPLAY DRIVER ICL7106 ONLY</b>					
PK-PK Segment Drive Voltage PK-PK Backplane Drive Voltage	$V_{+} = 9V$ , (Note 4)	4	5	6	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Specifications (Note 3) (Continued)

PARAMETERS	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
ICL7107 ONLY					
Segment Sinking Current (Except Pin 19 and 20)	$V_+ = 5V$ , Segment Voltage = 3V	5	8	-	mA
Pin 19 Only		10	16	-	mA
Pin 20 Only		4	7	-	mA

NOTES:

1. Input voltages may exceed the supply voltages provided the input current is limited to  $\pm 100\mu A$ .
2. Dissipation rating assumes device is mounted with all leads soldered to printed circuit board.
3. Unless otherwise noted, specifications apply to both the ICL7106 and ICL7107 at  $T_A = +25^\circ C$ .  $f_{CLOCK} = 48kHz$ . ICL7106 is tested in the circuit of Figure 1. ICL7107 is tested in the circuit of Figure 2.
4. Back plane drive is in phase with segment drive for 'off' segment, 180° out of phase for 'on' segment. Frequency is 20 times conversion rate. Average DC component is less than 50mV.
5. Not tested, guaranteed by design.

Typical Applications and Test Circuits

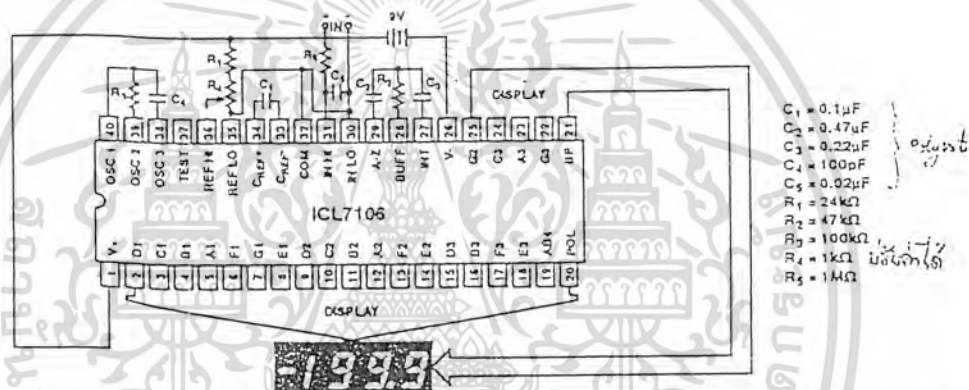


FIGURE 1. ICL7106 TEST CIRCUIT AND TYPICAL APPLICATION WITH LCD DISPLAY COMPONENTS SELECTED FOR 200mV FULL-SCALE

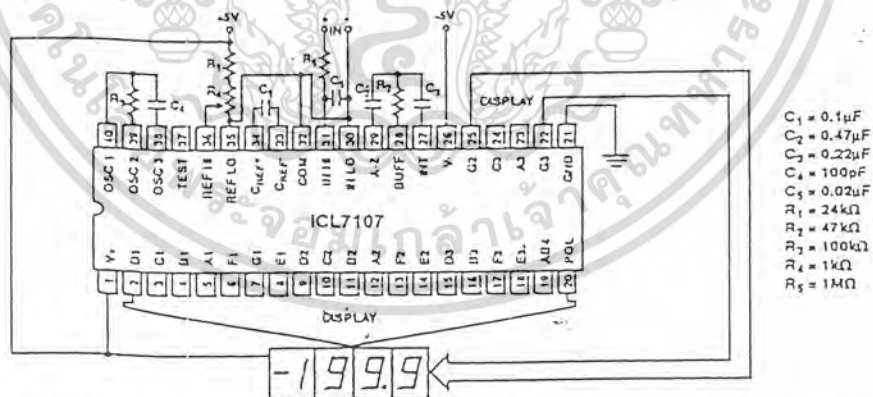


FIGURE 2. ICL7107 TEST CIRCUIT AND TYPICAL APPLICATION WITH LED DISPLAY COMPONENTS SELECTED FOR 200mV FULL-SCALE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Design Information Summary Sheet

- **OSCILLATOR FREQUENCY**  
 $f_{OSC} = 0.45/RC$   
 $C_{OSC} > 50pF$ ;  $R_{OSC} > 50K\Omega$   
 $f_{OSC} \text{ Typ.} = 48KHz$
- **OSCILLATOR PERIOD**  
 $t_{OSC} = RC/0.45$
- **INTEGRATION CLOCK FREQUENCY**  
 $f_{CLOCK} = f_{OSC}/4$
- **INTEGRATION PERIOD**  
 $t_{INT} = 1000 \times (4/f_{OSC})$
- **60/50Hz REJECTION CRITERION**  
 $t_{INT}/t_{50Hz}$  or  $t_{INT}/t_{60Hz} = \text{Integer}$
- **OPTIMUM INTEGRATION CURRENT**  
 $I_{INT} = 4.0\mu A$
- **FULL-SCALE ANALOG INPUT VOLTAGE**  
 $V_{INFS}$  Typically = 200mV or 2.0V
- **INTEGRATE RESISTOR**  

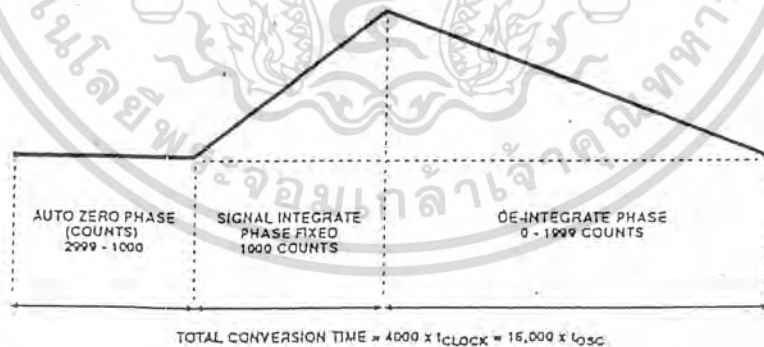
$$R_{INT} = \frac{V_{INFS}}{I_{INT}}$$
- **INTEGRATE CAPACITOR**  

$$C_{INT} = \frac{(I_{INT}) (t_{INT})}{V_{INT}}$$
- **INTEGRATOR OUTPUT VOLTAGE SWING**  

$$V_{INT} = \frac{(I_{INT}) (t_{INT})}{C_{INT}}$$
- **$V_{INT}$  MAXIMUM SWING:**  
 $(V^- + 0.5V) < V_{INT} < (V^+ - 0.5V)$ ,  $V_{INT}$  typically = 2.0V
- **DISPLAY COUNT**  

$$\text{COUNT} = 1000 \times \frac{V_{IN}}{V_{REF}}$$
- **CONVERSION CYCLE**  
 $t_{CYC} = t_{CLOCK} \times 4000$   
 $t_{CYC} = t_{OSC} \times 16,000$   
 when  $f_{OSC} = 48KHz$ ;  $t_{CYC} = 333ms$
- **COMMON MODE INPUT VOLTAGE**  
 $(V^- + 1.0V) < V_{IN} < (V^+ - 0.5V)$
- **AUTO-ZERO CAPACITOR**  
 $0.01\mu F < C_{AZ} < 1.0\mu F$
- **REFERENCE CAPACITOR**  
 $0.1\mu F < C_{REF} < 1.0\mu F$
- $V_{COM}$   
 Biased between  $V^+$  and  $V^-$ .
- $V_{COM} \equiv V^+ - 2.8V$   
 Regulation lost when  $V^+$  to  $V^- < \approx 6.8V$ .  
 If  $V_{COM}$  is externally pulled down to  $(V^+ + V^-)/2$ , the  $V_{COM}$  circuit will turn off.
- **ICL7106 POWER SUPPLY: SINGLE 9V**  
 $V^+ - V^- = 9V$   
 Digital supply is generated internally  
 $V_{GND} \equiv V^+ - 4.5V$
- **ICL7106 DISPLAY: LCD**  
 Type: Direct drive with digital logic supply amplitude.
- **ICL7107 POWER SUPPLY: DUAL  $\pm 5.0V$**   
 $V^+ = +5.0V$  to GND  
 $V^- = -5.0V$  to GND  
 Digital Logic and LED driver supply  $V^+$  to GND
- **ICL7107 DISPLAY: LED**  
 Type: Non-Multiplexed Common Anode

### Typical Integrator Amplifier Output Waveform (INT Pin)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Detailed Description

### Analog Section

Figure 3 shows the Analog Section for the ICL7106 and ICL7107. Each measurement cycle is divided into three phases. They are (1) auto-zero (A-Z), (2) signal integrate (INT) and (3) de-integrate (DE).

### Auto-Zero Phase

During auto-zero three things happen. First, input high and low are disconnected from the pins and internally shorted to analog COMMON. Second, the reference capacitor is charged to the reference voltage. Third, a feedback loop is closed around the system to charge the auto-zero capacitor  $C_{AZ}$  to compensate for offset voltages in the buffer amplifier, integrator, and comparator. Since the comparator is included in the loop, the A-Z accuracy is limited only by the noise of the system. In any case, the offset referred to the input is less than 10 $\mu$ V.

### Signal Integrate Phase

During signal integrate, the auto-zero loop is opened, the internal short is removed, and the internal input high and low are connected to the external pins. The converter then integrates the differential voltage between IN HI and IN LO for a fixed time. This differential voltage can be within a wide common mode range: up to 1V from either supply. If, on the other hand, the input signal has no return with respect to the converter power supply, IN LO can be tied to analog COMMON to establish the correct common mode voltage. At the end of this phase, the polarity of the integrated signal is determined.

### De-integrate Phase

The final phase is de-integrate, or reference integrate. Input low is internally connected to analog COMMON and input high is connected across the previously charged reference capacitor. Circuitry within the chip ensures that the capacitor will be connected with the correct polarity to cause the integrator output to return to zero. The time required for the output to return to zero is proportional to the input signal. Specifically the digital reading displayed is:

$$\text{DISPLAY COUNT} = 1000 \left( \frac{V_{IN}}{V_{REF}} \right)$$

### Differential Input

The input can accept differential voltages anywhere within the common mode range of the input amplifier, or specifically from 0.5V below the positive supply to 1.0V above the negative supply. In this range, the system has a CMRR of 86dB typical. However, care must be exercised to assure the integrator output does not saturate. A worst case condition would be a large positive common mode voltage with a near full-scale negative differential input voltage. The negative input signal drives the integrator positive when most of its swing has been used up by the positive common mode voltage. For these critical applications the integrator output swing can be reduced to less than the recommended 2V full-scale swing with little loss of accuracy. The integrator output can swing to within 0.3V of either supply without loss of linearity.

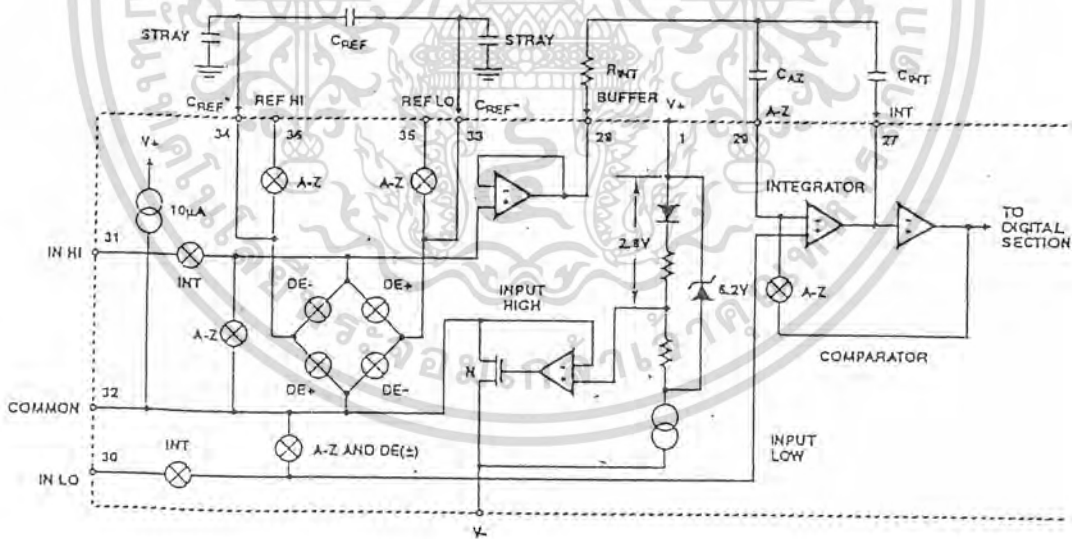


FIGURE 3. ANALOG SECTION OF ICL7106 AND ICL7107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Differential Reference

The reference voltage can be generated anywhere within the power supply voltage of the converter. The main source of common mode error is a roll-over voltage caused by the reference capacitor losing or gaining charge to stray capacity on its nodes. If there is a large common mode voltage, the reference capacitor can gain charge (increase voltage) when called up to de-integrate a positive signal but lose charge (decrease voltage) when called up to de-integrate a negative input signal. This difference in reference for positive or negative input voltage will give a roll-over error. However, by selecting the reference capacitor such that it is large enough in comparison to the stray capacitance, this error can be held to less than 0.5 count worst case. (See Component Value Selection.)

### Analog COMMON

This pin is included primarily to set the common mode voltage for battery operation (ICL7106) or for any system where the input signals are floating with respect to the power supply. The COMMON pin sets a voltage that is approximately 2.8V more negative than the positive supply. This is selected to give a minimum end-of-life battery voltage of about 6V. However, analog COMMON has some of the attributes of a reference voltage. When the total supply voltage is large enough to cause the zener to regulate (>7V), the COMMON voltage will have a low voltage coefficient (0.001%/V), low output impedance ( $\approx 15\Omega$ ), and a temperature coefficient typically less than 80ppm/°C.

The limitations of the on chip reference should also be recognized, however. With the ICL7107, the internal heating which results from the LED drivers can cause some degradation in performance. Due to their higher thermal resistance, plastic parts are poorer in this respect than ceramic. The combination of reference Temperature Coefficient (TC), internal chip dissipation, and package thermal resistance can increase noise near full-scale from 25 $\mu$ V to 80 $\mu$ Vp-p. Also the linearity in going from a high dissipation count such as 1000 (20 segments on) to a low dissipation count such as 1111 (8 segments on) can suffer by a count or more. Devices with a positive TC reference may require several counts to pull out of an over-range condition. This is because over-range is a low dissipation mode, with the three least significant digits blanked. Similarly, units with a negative TC may cycle between over-range and a non-over-range count as the die alternately heats and cools. All these problems are of course eliminated if an external reference is used.

The ICL7106, with its negligible dissipation, suffers from none of these problems. In either case, an external reference can easily be added, as shown in Figure 4.

Analog COMMON is also used as the input low return during auto-zero and de-integrate. If IN LO is different from analog COMMON, a common mode voltage exists in the system and is taken care of by the excellent CMRR of the converter. However, in some applications IN LO will be set at a fixed known voltage (power supply common for instance). In this application, analog COMMON should be tied to the same point, thus removing the common mode voltage from the

converter. The same holds true for the reference voltage. If reference can be conveniently tied to analog COMMON, it should be since this removes the common mode voltage from the reference system.

Within the IC, analog COMMON is tied to an N channel FET that can sink approximately 30mA of current to hold the voltage 2.8V below the positive supply (when a load is trying to pull the common line positive). However, there is only 10 $\mu$ A of source current, so COMMON may easily be tied to a more negative voltage thus overriding the internal reference.

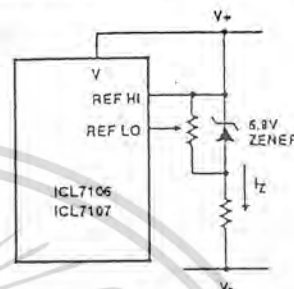


FIGURE 4A.

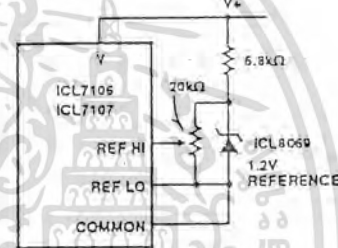


FIGURE 4B.

FIGURE 4. USING AN EXTERNAL REFERENCE

### TEST

The TEST pin serves two functions. On the ICL7106 it is coupled to the internally generated digital supply through a 500 $\Omega$  resistor. Thus it can be used as the negative supply for externally generated segment drivers such as decimal points or any other presentation the user may want to include on the LCD display. Figures 5 and 6 show such an application. No more than a 1mA load should be applied.

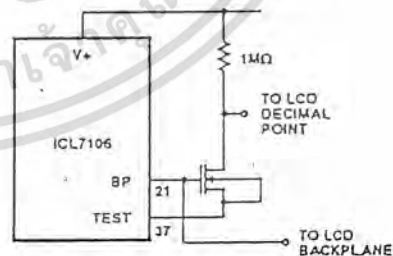


FIGURE 5. SIMPLE INVERTER FOR FIXED DECIMAL POINT

The second function is a "lamp test". When TEST is pulled high (to V+) all segments will be turned on and the display should read 1888. The TEST pin will sink about 15mA under these conditions.

**CAUTION:** In the lamp test mode, the segments have a constant DC voltage (no square-wave). This may burn the LCD display if maintained for extended periods.

### Digital Section

Figures 7 and 8 show the digital section for the ICL7106 and ICL7107, respectively. In the ICL7106, an internal digital ground is generated from a 6V Zener diode and a large P-channel source follower. This supply is made stiff to absorb the relative large capacitive currents when the back plane (BP) voltage is switched. The BP frequency is the clock frequency divided by 800. For three readings/second this is a 60Hz square wave with a nominal amplitude of 5V. The segments are driven at the same frequency and amplitude and are in phase with BP when OFF, but out of phase when ON. In all cases negligible DC voltage exists across the segments.

Figure 8 is the Digital Section of the ICL7107. It is identical to the ICL7106 except that the regulated supply and back plane drive have been eliminated and the segment drive has been increased from 2mA to 8mA, typical for instrument size common anode LED displays. Since the 1000 output (pin 19) must sink current from two LED segments, it has twice the drive capability or 16mA.

FIGURE 6. EXCLUSIVE 'OR' GATE FOR DECIMAL POINT DRIVE

In both devices, the polarity indication is "on" for negative analog inputs. If IN LO and IN HI are reversed, this indication can be reversed also, if desired.

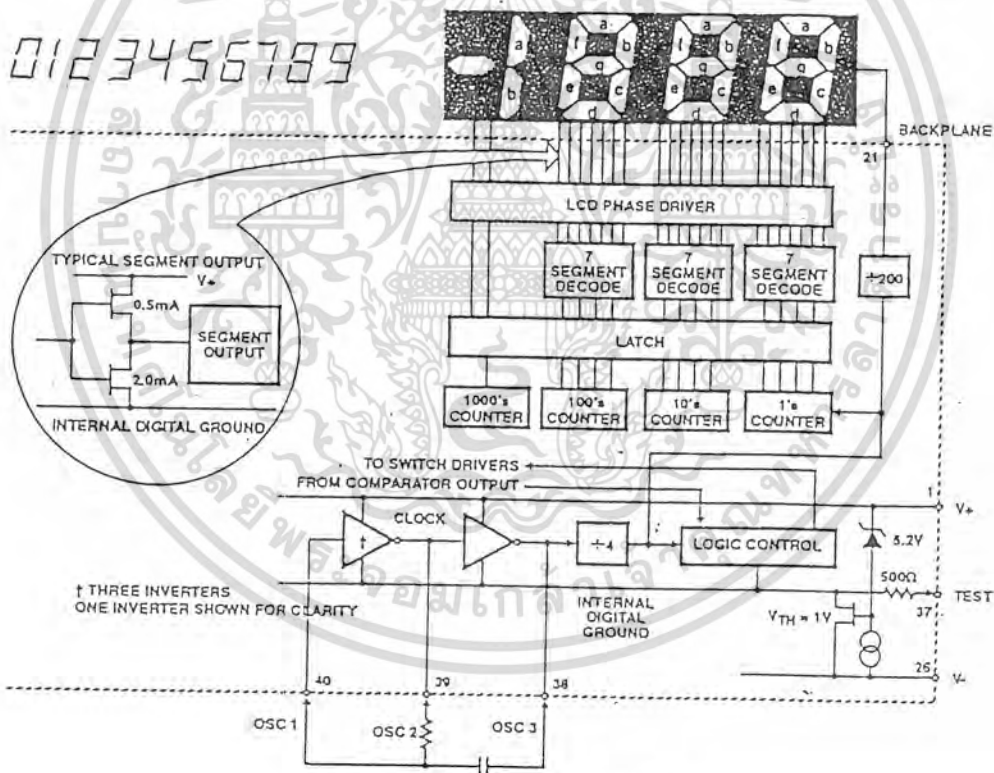
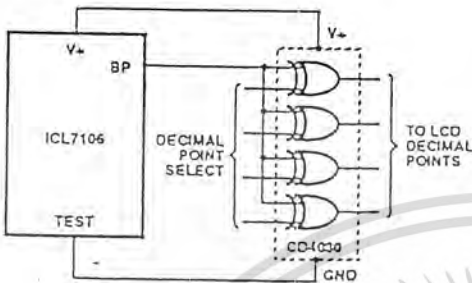


FIGURE 7. ICL7106 DIGITAL SECTION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

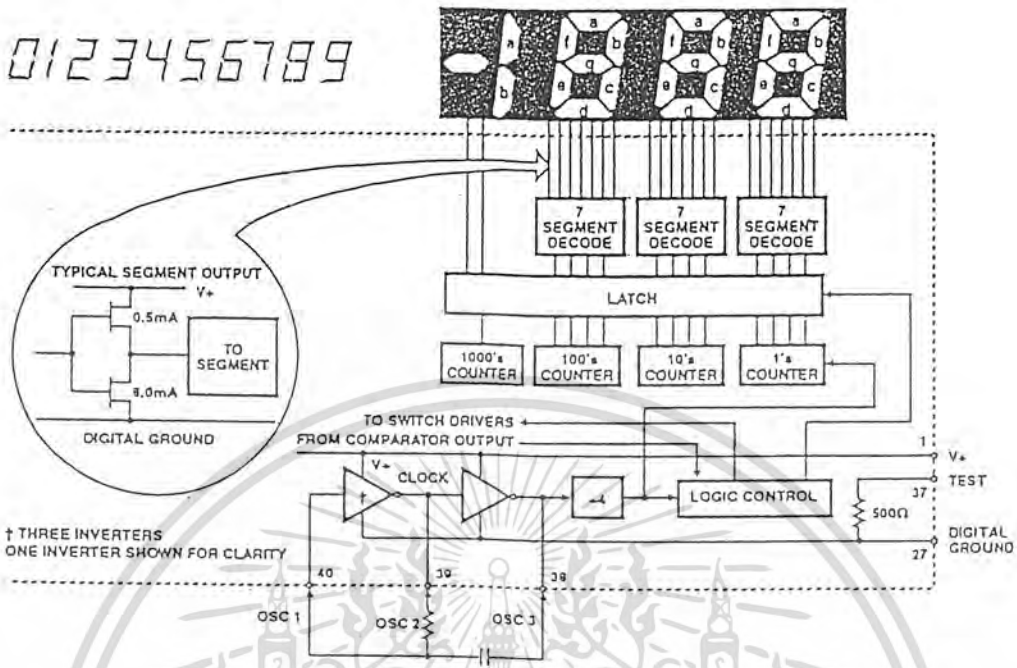


FIGURE 8. ICL7107 DIGITAL SECTION

### System Timing

Figure 9 shows the clocking arrangement used in the ICL7106 and ICL7107. Two basic clocking arrangements can be used:

1. An external oscillator connected to pin 40.
2. An R-C oscillator using all three pins.

The oscillator frequency is divided by four before it clocks the decade counters. It is then further divided to form the three convert-cycle phases. These are signal integrate (1000 counts), reference de-integrate (0 to 2000 counts) and auto-zero (1000 to 3000 counts). For signals less than full-scale, auto-zero gets the unused portion of reference de-integrate. This makes a complete measure cycle of 4,000 counts (16,000 clock pulses) independent of input voltage. For three readings/second, an oscillator frequency of 48kHz would be used.

To achieve maximum rejection of 60Hz pickup, the signal integrate cycle should be a multiple of 60Hz. Oscillator frequencies of 240kHz, 120kHz, 80kHz, 60kHz, 48kHz, 40kHz, 33 $\frac{1}{3}$ kHz, etc. should be selected. For 50Hz rejection, Oscillator frequencies of 200kHz, 100kHz, 66 $\frac{2}{3}$ kHz, 50kHz, 40kHz, etc. would be suitable. Note that 40kHz (2.5 readings/second) will reject both 50Hz and 60Hz (also 400Hz and 440Hz).

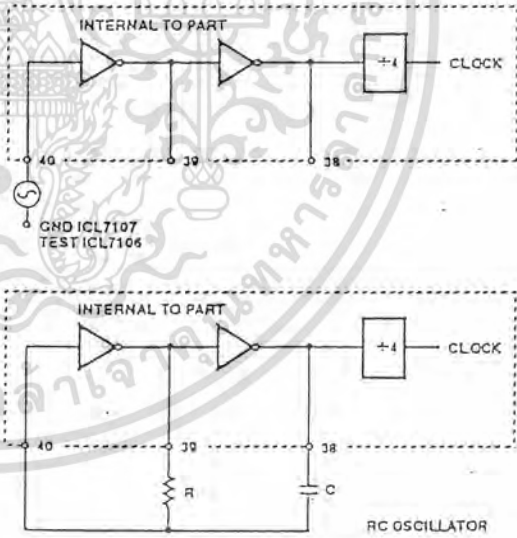


FIGURE 9. CLOCK CIRCUITS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Component Value Selection

### Integrating Resistor

Both the buffer amplifier and the integrator have a class A output stage with  $100\mu\text{A}$  of quiescent current. They can supply  $4\mu\text{A}$  of drive current with negligible nonlinearity. The integrating resistor should be large enough to remain in this very linear region over the input voltage range, but small enough that undue leakage requirements are not placed on the PC board. For 2V full-scale,  $470\text{k}\Omega$  is near optimum and similarly a  $47\text{k}\Omega$  for a 200mV scale.

### Integrating Capacitor

The integrating capacitor should be selected to give the maximum voltage swing that ensures tolerance buildup will not saturate the integrator swing (approximately 0.3V from either supply). In the ICL7106 or the ICL7107, when the analog COMMON is used as a reference, a nominal +2V full-scale integrator swing is fine. For the ICL7107 with +5V supplies and analog COMMON tied to supply ground, a  $\pm 3.5\text{V}$  to +4V swing is nominal. For three readings/second (48kHz clock) nominal values for  $C_{\text{INT}}$  are  $0.22\mu\text{F}$  and  $0.10\mu\text{F}$ , respectively. Of course, if different oscillator frequencies are used, these values should be changed in inverse proportion to maintain the same output swing.

An additional requirement of the integrating capacitor is that it must have a low dielectric absorption to prevent roll-over errors. While other types of capacitors are adequate for this application, polypropylene capacitors give undetectable errors at reasonable cost.

### Auto-Zero Capacitor

The size of the auto-zero capacitor has some influence on the noise of the system. For 200mV full-scale where noise is very important, a  $0.47\mu\text{F}$  capacitor is recommended. On the 2V scale, a  $0.047\mu\text{F}$  capacitor increases the speed of recovery from overload and is adequate for noise on this scale.

### Reference Capacitor

A  $0.1\mu\text{F}$  capacitor gives good results in most applications. However, where a large common mode voltage exists (i.e. the REF LO pin is not at analog COMMON) and a 200mV scale is used, a larger value is required to prevent roll-over error. Generally  $1.0\mu\text{F}$  will hold the roll-over error to 0.5 count in this instance.

### Oscillator Components

For all ranges of frequency a  $100\text{k}\Omega$  resistor is recommended and the capacitor is selected from the equation

$$f = \frac{0.45}{RC} \text{ For } 48\text{kHz Clock (3 Readings/second)},$$

$$C = 100\text{pF}$$

### Reference Voltage

The analog input required to generate full-scale output (2000 counts) is:  $V_{\text{IN}} = 2V_{\text{REF}}$ . Thus, for the 200mV and 2V scale,  $V_{\text{REF}}$  should equal 100mV and 1V, respectively. However, in many applications where the A/D is connected to a transducer, there will exist a scale factor other than unity between the input voltage and the digital reading. For instance, in a weighing system, the designer might like to have a full-scale reading when the voltage from the transducer is 0.662V. Instead of dividing the input down to 200mV, the designer should use the input voltage directly and select  $V_{\text{REF}} = 0.341\text{V}$ . Suitable values for integrating resistor and capacitor would be  $120\text{k}\Omega$  and  $0.22\mu\text{F}$ . This makes the system slightly quieter and also avoids a divider network on the input. The ICL7107 with  $\pm 5\text{V}$  supplies can accept input signals up to  $\pm 4\text{V}$ . Another advantage of this system occurs when a digital reading of zero is desired for  $V_{\text{IN}} = 0$ . Temperature and weighing systems with a variable zero are examples. This offset reading can be conveniently generated by connecting the voltage transducer between IN HI and COMMON and the variable (or fixed) offset voltage between COMMON and IN LO.

### ICL7107 Power Supplies

The ICL7107 is designed to work from  $\pm 5\text{V}$  supplies. However, if a negative supply is not available, it can be generated from the clock output with 2 diodes, 2 capacitors, and an inexpensive I.C. Figure 10 shows this application. See ICL7660 data sheet for an alternative.

In fact, in selected applications no negative supply is required. The conditions to use a single +5V supply are:

1. The input signal can be referenced to the center of the common mode range of the converter.
2. The signal is less than  $\pm 1.5\text{V}$ .
3. An external reference is used.

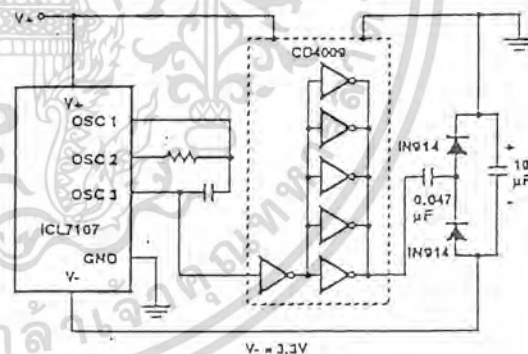


FIGURE 10. GENERATING NEGATIVE SUPPLY FROM +5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Fiber Optics — FLCS Family Photo Detector Diode Output

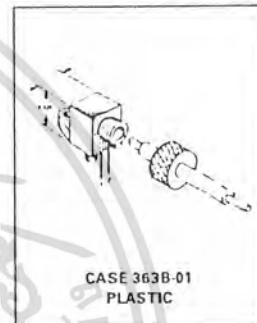
MFOD71

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 MFOE76 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 (Eska SH4001)



### 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	$T_J, T_{stg}$	-40 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 ( $I_R = 10\ \mu\text{A}$ )	$V_{(BR)R}$	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	Min	Typ	Max	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

# MFOD71

## TYPICAL COUPLED CHARACTERISTICS

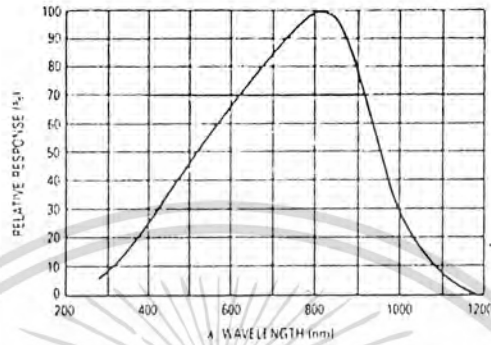


Figure 1. Relative Spectral Response

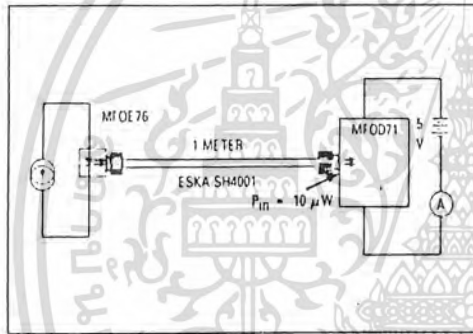


Figure 2. Responsivity Test Configuration

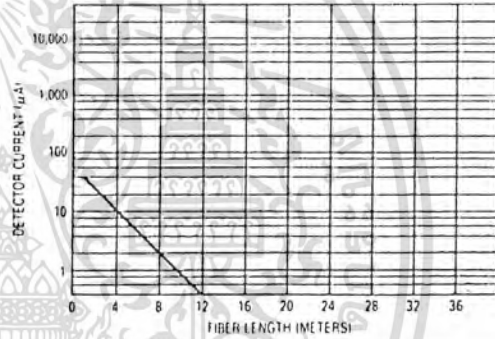


Figure 3. Detector Current versus Fiber Length

The system length achieved with a MFOE76 emitter and various detectors, using 1000 micron core plastic fiber (Eska 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.

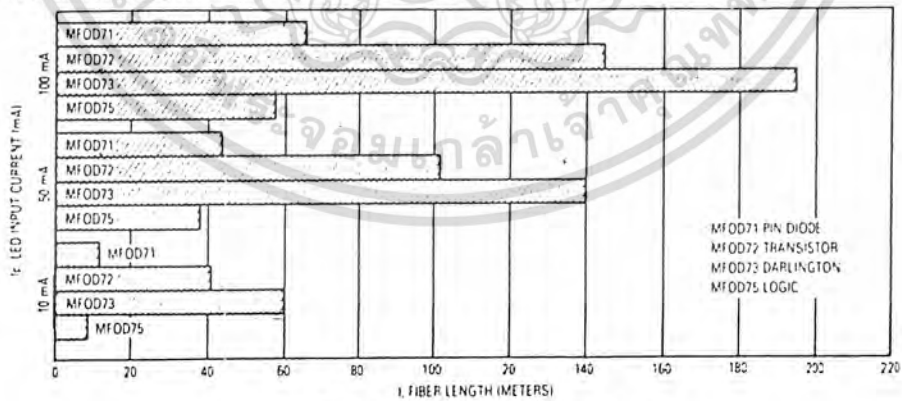


Figure 4. MFOE76 Working Distances

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MFOD71

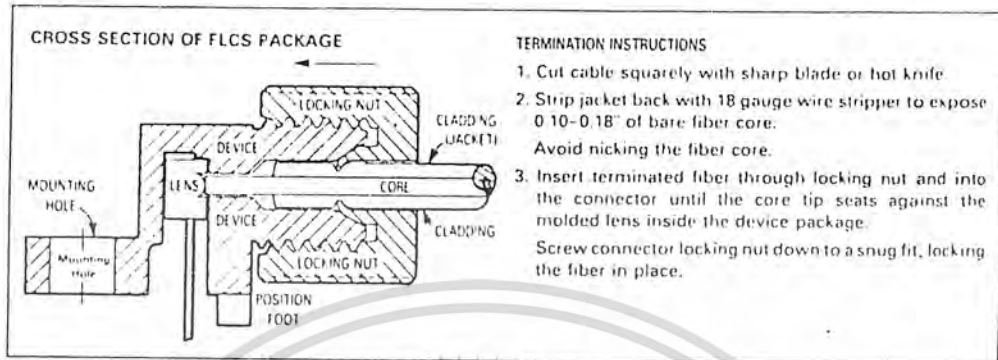


Figure 5. FO Cable Termination and Assembly

### INPUT SIGNAL CONDITIONING

The following circuits are suggested to provide the desired forward current through the emitter.

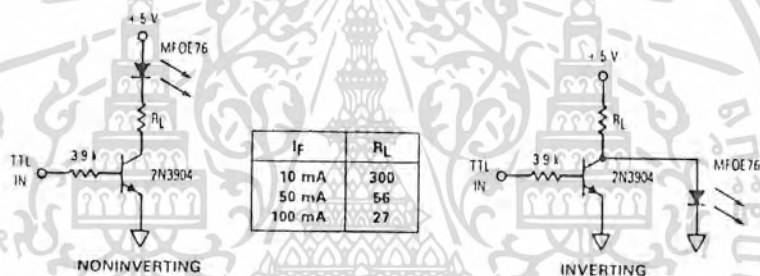


Figure 6. TTL Transmitters

### OUTPUT SIGNAL CONDITIONING

The following circuit is suggested to take the MFOD71 detector output and condition it to drive TTL with an acceptable bit error rate.

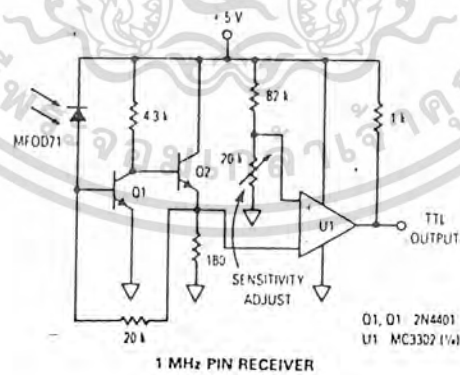
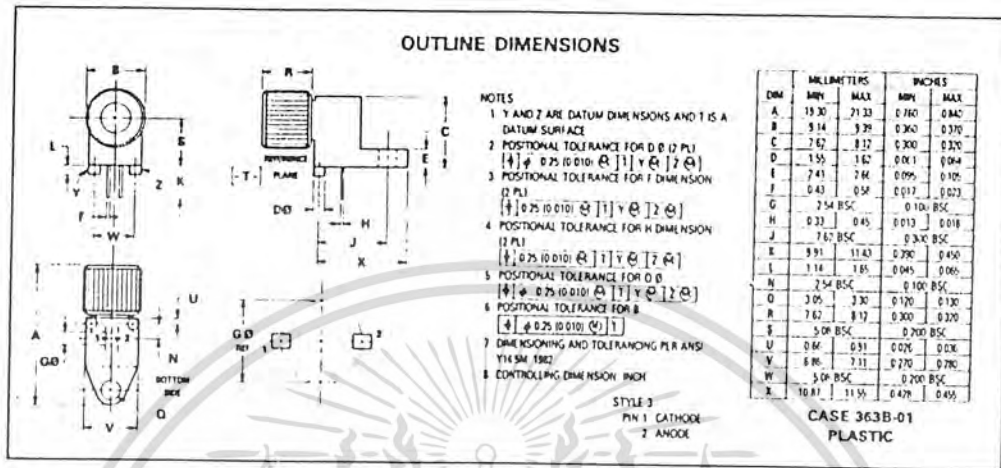


Figure 7. TTL Receiver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

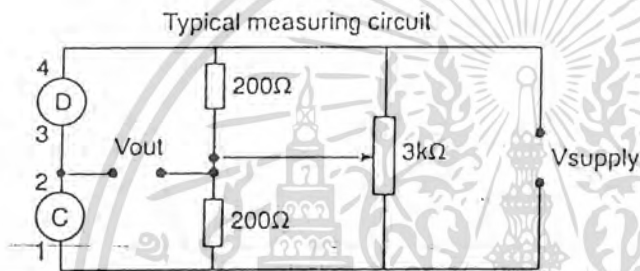
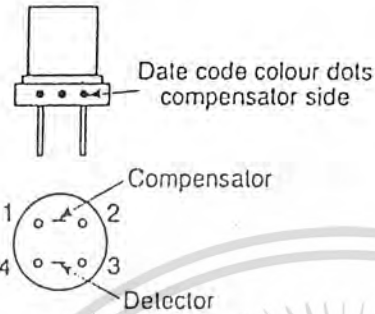
# MFOD71



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Combustible Gas Sensor

Sensor orientation and pin layout, viewed from underside



This hot wire pellistor type gas sensor is intended for detecting ISO-butane, methane, ethanol, hydrogen, natural and 'town' gases. It features a low power consumption (ideal for battery/portable operation) with a current drain of 150-180mA (typical) at 3.0V a.c. or d.c.

## technical specification

Supply voltage	3.0V a.c. or d.c.
Supply current	150-180mA
Typical response o/p (ISO-butane 0.2%)	30-35mV
Temperature range	-10°C to +50°C
Normal concentration range	0-0.5%
Equivalent to NAP-5A	

S.S.M. = 1

stock no.

286-614

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M728

286-614

HOT-WIRE TYPE GAS SENSOR  
NAP-5A (For All Combustible Gases)

HANDLINGS MANUAL

CONTENTS

1. General
2. Basic characteristics
  - Gas concentration characteristics
  - Supply voltage dependency
  - Initial stability
  - Temperature & humidity characteristics
3. Evaluation
  - Testing equipment
  - Adjustment of gas concentration
  - Measurement
4. Calibration of sensor bridge output
  - Calibration in air
  - Calibration in Gas
  - Calculation of theoretical alarm concentration
  - Handling of sensor
5. Drawings
6. Recommendable circuit

เป็นเอกสารลิขสิทธิ์  
สงวนลิขสิทธิ์โดย บริษัท ไทย อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด  
เลขที่ 286-614 286-614 286-614 286-614

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. General

Hot-wire type gas sensors NAP-5A is widely used for gas detectors for every fuel gases including city gas and natural gas, and this sensor is of low-power-consumption type derived from our standard model, NAP-7A.

Moreover NAP-5A has an excellent sensitivity, 1.5 times as sensitive as NAP-7A, it is qualified for detecting a lower gas concentration range.

For this reason this model is adopted into various measuring instruments rather than gas leakage detectors.

The followings are the characteristics and ratings of our NAP-5A.

### Ratings:

- 1) Applied voltage to sensor bridge ; D.C. ;  $3.00 \pm 0.30$  V  
A.C. ;  $3.00 \pm 0.30$  V  
(r.m.s. 50 - 60 Hz)
- 2) Current (when 3.00 V is applied) ; D.C. ; 150 ~ 180 mA  
A.C. ; 150 ~ 180 mA  
(r.m.s. 50 - 60 Hz)
- 3) Operational ambient temperature & humidity : Temperature ;  $-10^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$   
Humidity ; Less than 95% RH

Electric characteristics: Out put voltage in air  $V_a$  ;  $-40 \sim +40$  mV  
Gas sensitivity S ; 21 ~ 30 mV  
(Methane 3,000 ppm)

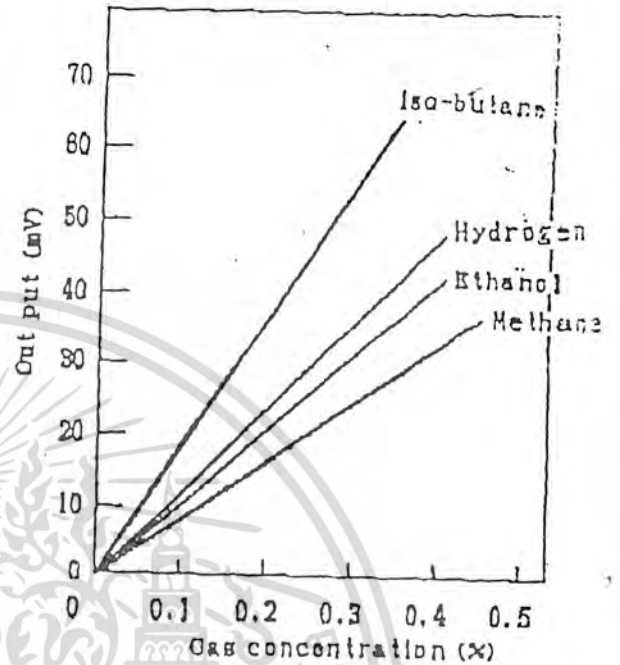
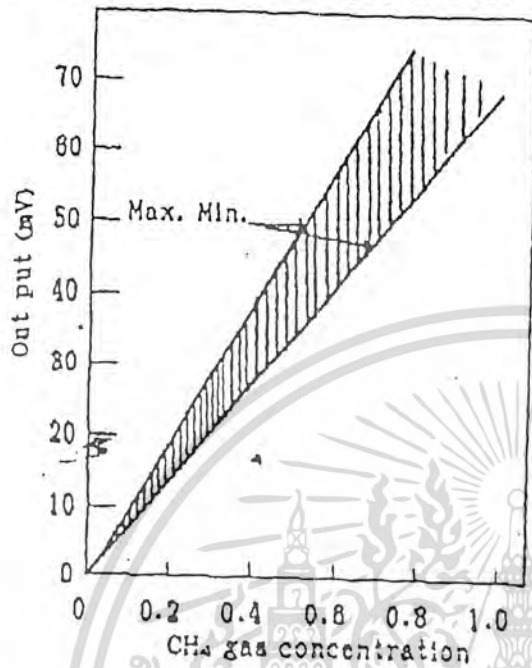
### Measuring range of gas concentration:

It is possible to measure 0 ~ H.E.L. for any gases, however when used for measuring instrument, NAP-5A shows a good linearity of its output and the most accurate result is expected in the following ranges.

Methane	; 0 ~ 1 %
iso-butane	; 0 ~ 0.5 %
Ethanol	; 0 ~ 0.5 %
Hydrogen	; 0 ~ 0.5 %

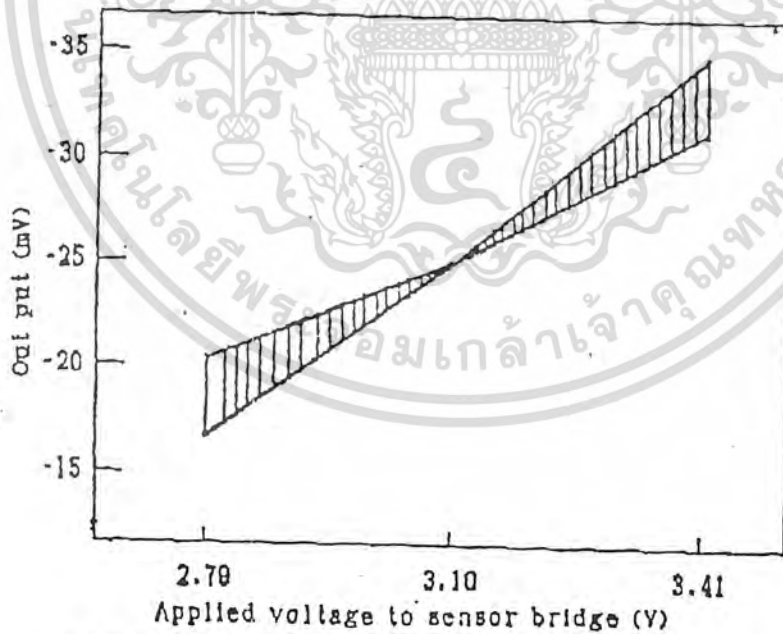
## 2. Basic characteristics

### (1) Gas concentration characteristics



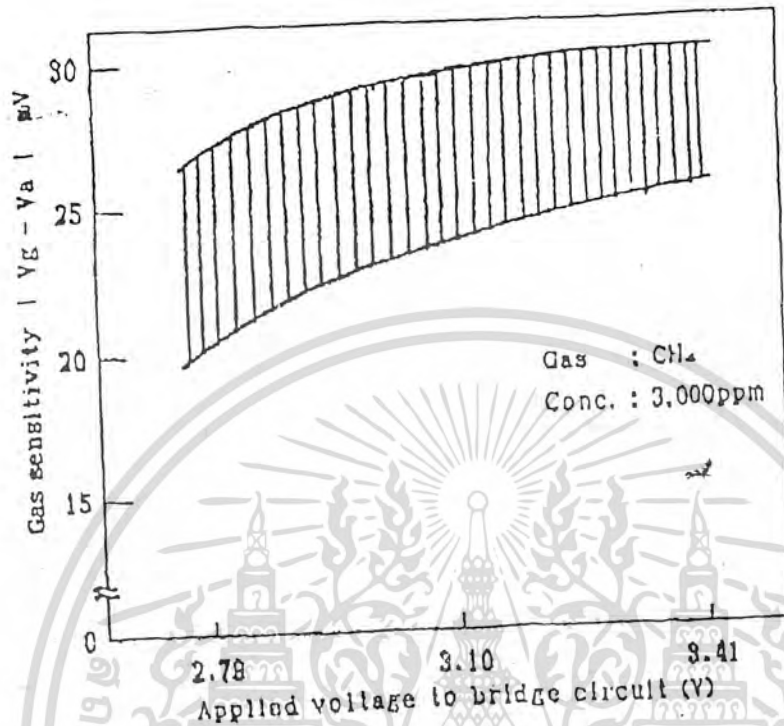
### (2) Supply voltage dependency (When assembled into a gas detector)

#### 1) Fluctuation of out put voltage in air (Va)



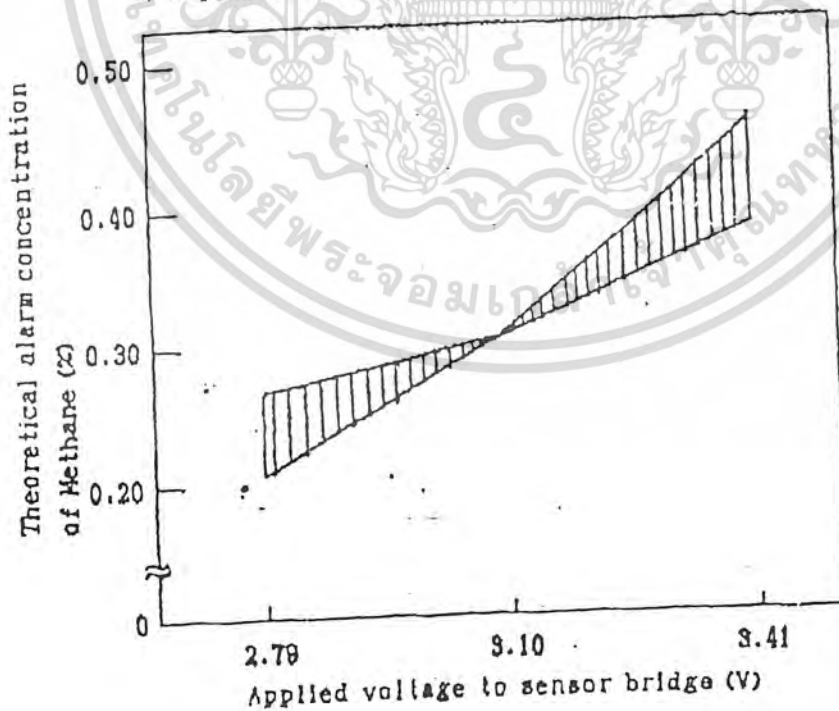
The rated voltage is supplied for more than 1 hour and  $V_a$  is set at -25 mV.

2) Supply voltage dependency of gas sensitivity (S)



Therefore the supply voltage dependency of the output in gas ( $V_g$ ) is a combination of the characteristics shown in the Graphs 1) and 2).

3) Supply voltage dependency of theoretical alarm concentration

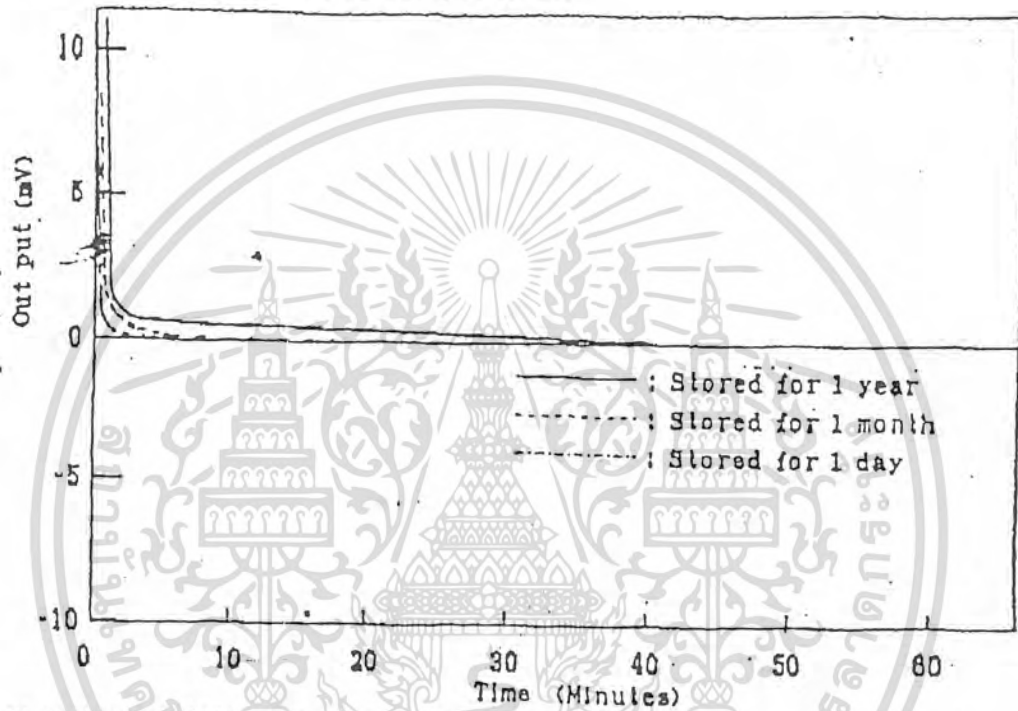


The theoretical alarm concentration and its supply voltage dependency can be calculated from 1) and 2) according to the formula shown in the 4-(3). The figure shown above is for the characteristics normalized at 3,000 ppm when 3.10 V is applied to the sensor bridge.

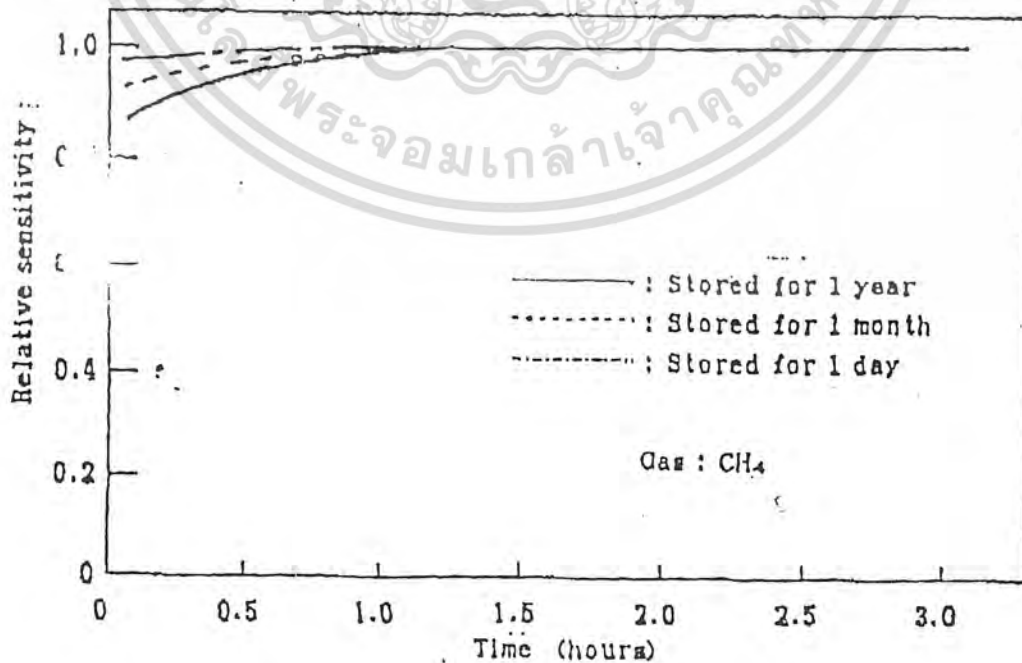
(3) Initial stability characteristics

The following graphs show the initial stabilization characteristics when the sensor is assembled in a bridge circuit after storage for 1 day, 1 month and 1 year, and 3.10 V is applied to the bridge circuit.

1) Initial stabilization of out put in air

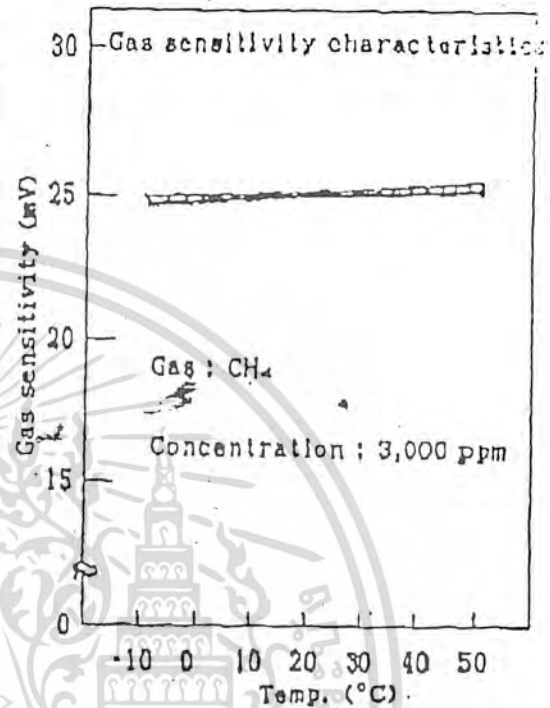
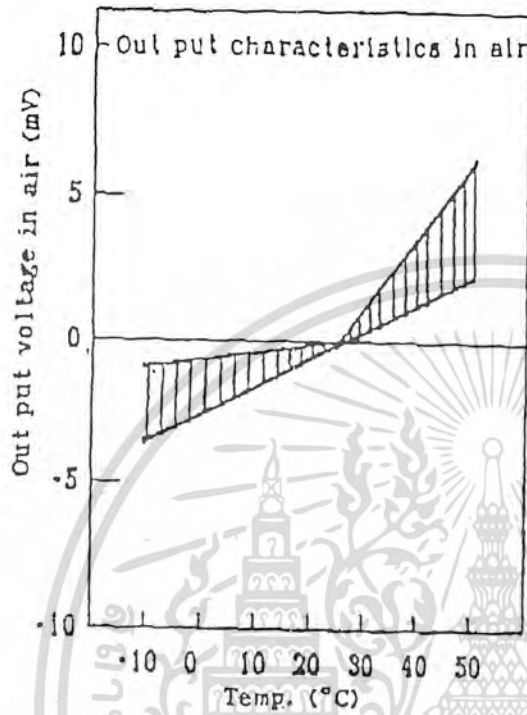


2) Initial stability of gas sensitivity

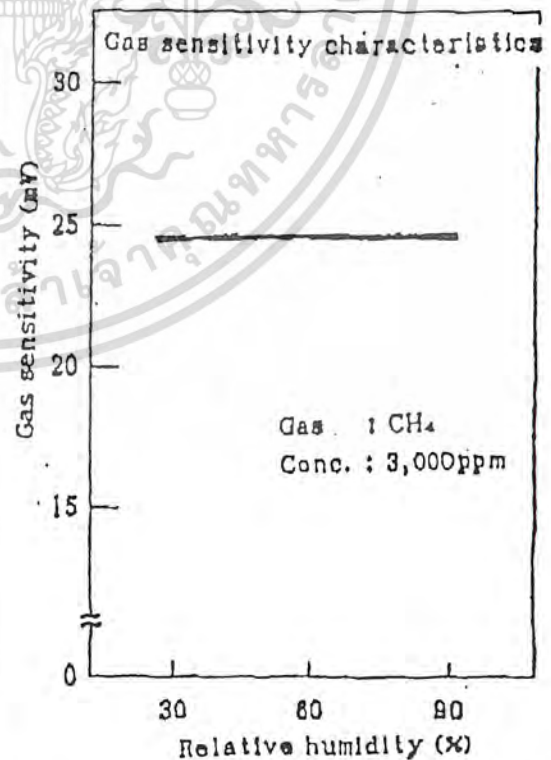
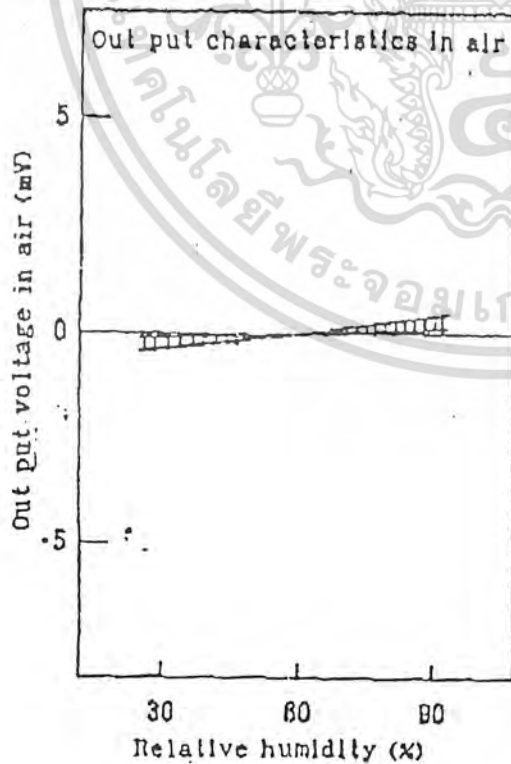


(4) Temperature & Humidity characteristics

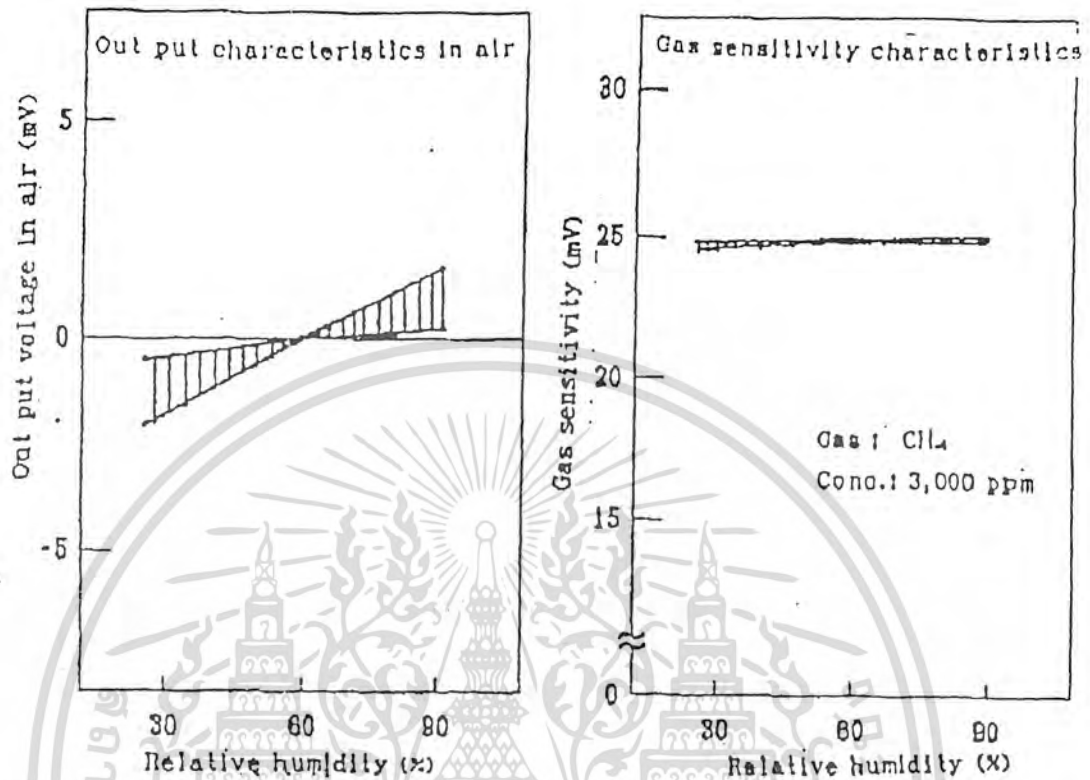
1) Temperature characteristics (Relative humidity; 80%)



2) Humidity characteristics (Temp. 25°C)



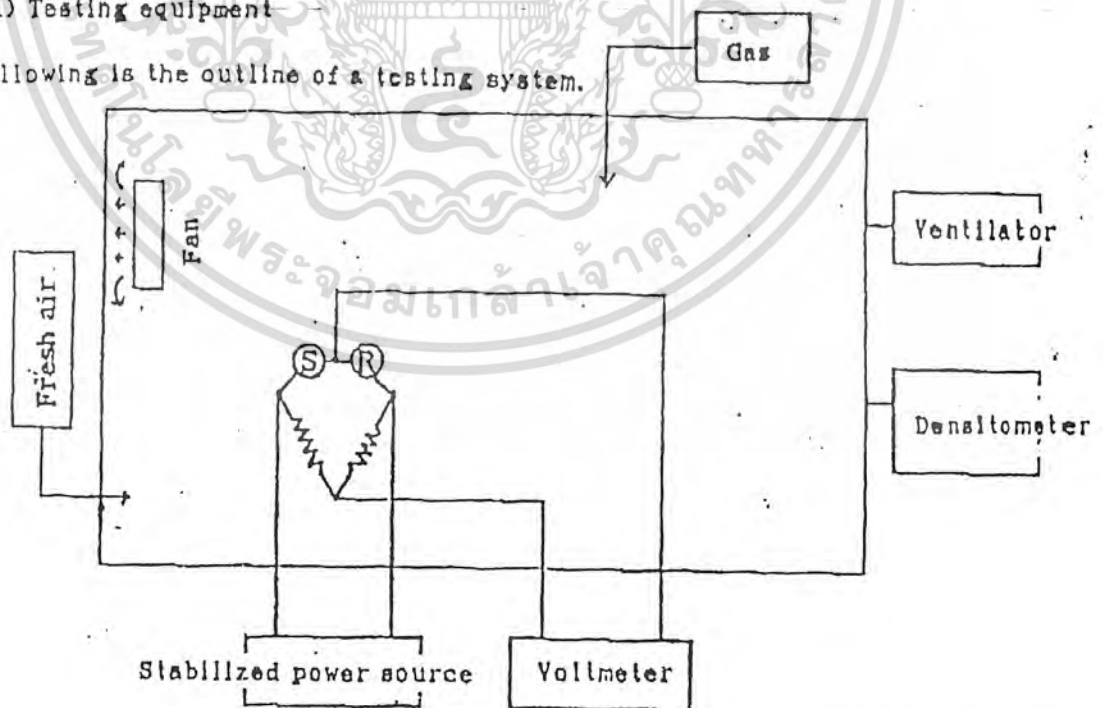
3) Humidity characteristics (Temp. 50°C)



3. Evaluation

(1) Testing equipment

The following is the outline of a testing system.



Remarks:

- 1) Test chamber; Metal or glass is desirable for the material of the chamber which should not generate or adsorb gases.  
The volume of the chamber should be bigger than 1 litre / sensor unit.
- 2) Air supply; The air to be supplied should be fresh air from outside.  
The air inside labs or plants should not be used since it may contain organic solvents or combustible gases.
- 3) Gas densitometer; An optical-interference or infra-red gas densitometer is recommended for measuring gas concentration.
- 4) Air agitation; The air inside the chamber should be agitated not to blow sensors directly. Air flow should be less than 0.5m / sec.
- 5) Power supply; Sensors can be operated by both of D.C. and A.C., but for the most accurate measurement, a usage of stabilized D.C. power source is recommended.
- 6) Voltmeter; A voltmeter with more than 100K ohm impedance is enough for measuring an out put voltage from a sensor bridge.
- 7) Ventilation; Before proceeding to a next test, the air inside the test chamber should be ventilated by a ventilator which has a capacity more than 10 times of the volume of the chamber per minute.
- 8) Placement of sensors in a test chamber; Sensors should be placed in a chamber in a same attitude (Normally horizontal direction).  
Changing an attitude makes a different thermal convection, and may cause an inaccurate measurement result.

(2) Adjustment of gas concentration

Gas concentration in a test chamber is usually adjusted by a volume method. For instance, 3,000 ppm iso-butane concentration is obtained based on the following calculation.

$$V \text{ (ml)} = V_1 \cdot 3000 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + T_R}{273 + T_C}$$

$V_1$  ; Inside volume of a chamber (ml)

$T_R$  ; Room temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_C$  ; Temperature inside a chamber ( $^{\circ}\text{C}$ )

(3) Measurement

1) Preparatory aging; Before measurement, sensors should be electrified with the rated voltage at least for more than 10 minutes. If the sensors are stored for a long period, an aging for more than 1 hour is recommended. The graphs under the heading "2-(3) Initial stability characteristics" show the relationship between a stored period and an aging time.

2) Measurement;

After a preparatory aging, an out put voltage in air ( $V_a$ ) is measured. A test gas is injected into a test chamber according to the calculation described above, and wait for an even diffusion of the gas in the chamber. (more than 1 min.)

An out put voltage in gas ( $V_g$ ) is measured.

A gas sensitivity is represented as  $S = V_g - V_a$ .

A thorough ventilation is made to replace the air inside the chamber with a fresh air.

4. Calibration of an out put voltage from a bridge circuit

(1) Calibration in air

Calibration must be done in a clean air condition.

Sensors are assembled in detectors and electrified with the rated voltage for more than 1 hour.

Continuing to electrify detectors, a voltmeter (Tester) is connected to the out put terminals "a" and "b". (See the figure 1 Bridge unit circuit).

Monitoring a bridge out put voltage, a valuable resistor is turned towards alarm-free direction from an alarm point (A threshold voltage value to start giving an alarm), and fix the volume at the voltage value where the designated span value of the sensor is added up to the alarm point.

\*\* Example; When an alarm point of a circuit is 0 mV and a span value of a sensor is 25 mV, a V/R is adjusted to set at 25 mV in alarm-free direction.

After confirming that the bridge out put does not fluctuate, V/R is fixed with a locking paint or other similar materials.

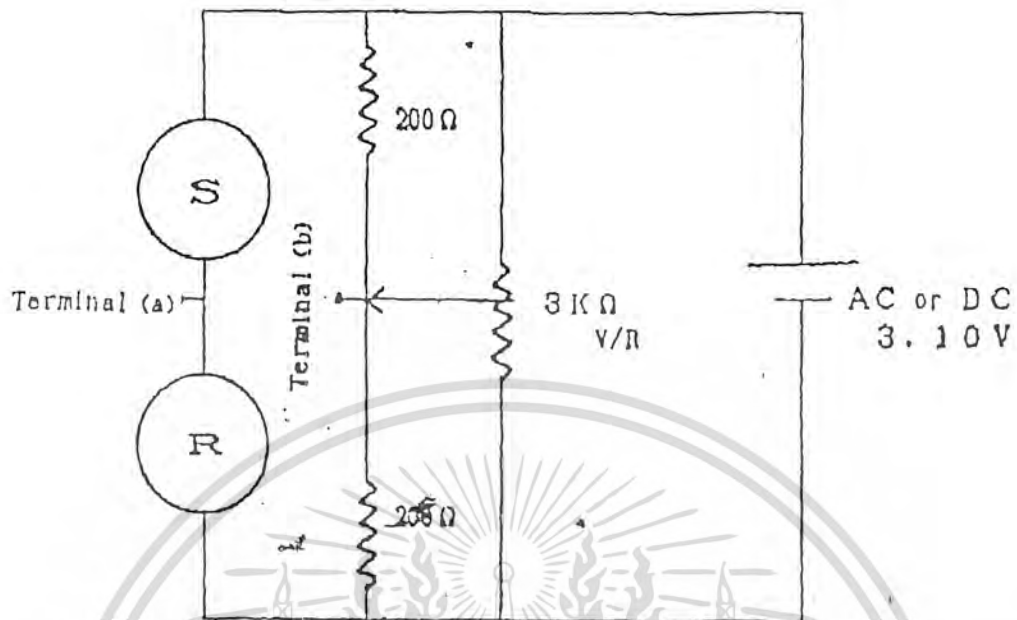


Figure 1. Recommendable circuit for a bridge unit

(2) Calibration in gas

- \* Calibration must be done in a clean air condition.
- \* Sensors are assembled in detectors and electrified with the rated voltage for more than 1 hour.
- \* An appropriate tool is set to be able to turn a volume of a V/R from the outside of the chamber.
- \* A calculated quantity of methane is injected into the chamber and wait for 3 minutes.
- \* The V/R is adjusted at an alarm point.
- \* Opening the door of the chamber, and the air inside is ventilated, then the V/R is fixed with a locking paint or other similar materials.

(3) Calculation of a theoretical alarm concentration

Out put voltage in air ;  $V_a$   
Out put voltage at alarm point ;  $V_o$   
Gas sensivity (Span) ;  $S$  (Methane 3,000 ppm)  
Theoretical alarm concentration;  $A_p$

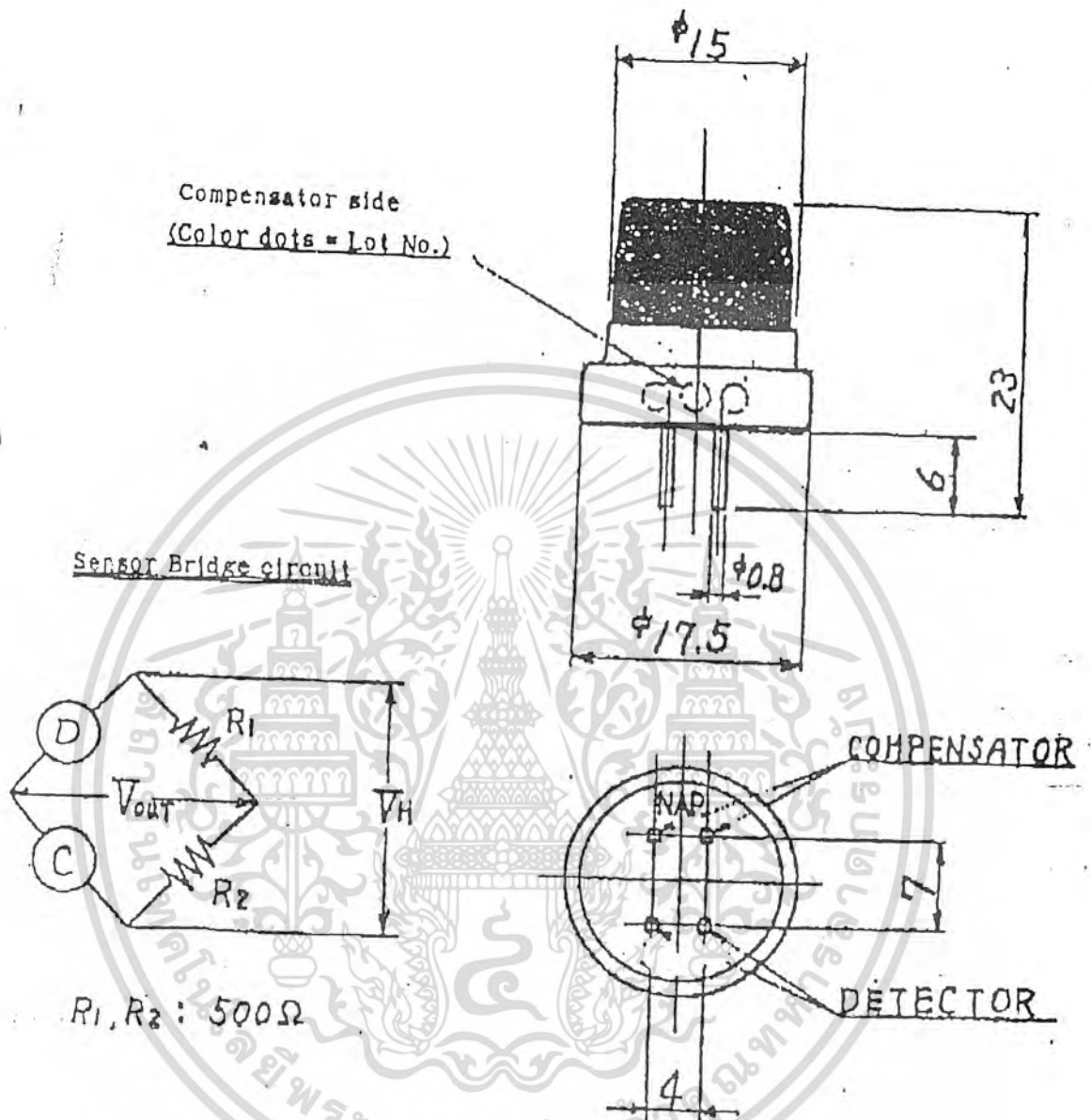
$$A_p \text{ (ppm)} = \frac{(V_a - V_o)}{S} \times 3,000$$

Example ;  $V_a = 25 \text{ mV}$   
 $V_o = 0 \text{ mV}$   
 $S = 24 \text{ mV}$

$$A_p \text{ (ppm)} = \frac{25 - 0}{24} \times 3,000 = 3,125 \text{ (ppm)}$$

(4) Other remarks

- \* Refrain from dropping or giving a strong shock to sensors.
- \* When NAP-5A is assembled in a circuit, please make sure the position of the sensor side and the compensator side. Please refer to the attached drawing for confirming the location of the pins.
- \* Refrain from using in an atmosphere that may contain poisoning gases or corrosive gases, such as silicone gas,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , trichloroethylene etc.
- \* Refrain from exposing to an unnecessarily high concentration gas, such as a gas directly from a cigarette lighter.
- \* Please do not soak sensors into water.
- \* Refrain from storing for a long time in a condition of a high temperature and humidity.
- \* Refrain from supplying a higher voltage than the rated voltage.



品名	ガスセンサー	品番	G01
部品名	NAP-5A 外觀図	図番	4-022
	材質	個数	2/1
検出	検出	検出	設計年月日 1984.4.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A  
Precision Temperature Sensors**

**General Description**

The LM135 series are precision, easily-calibrated, integrated circuit temperature sensors. Operating as a 2-terminal zener, the LM135 has a breakdown voltage directly proportional to absolute temperature at +10 mV/°K. With less than 1Ω dynamic impedance the device operates over a current range of 400 μA to 5 mA with virtually no change in performance. When calibrated at 25°C the LM135 has typically less than 1°C error over a 100°C temperature range. Unlike other sensors the LM135 has a linear output.

Applications for the LM135 include almost any type of temperature sensing over a -55°C to +150°C temperature range. The low impedance and linear output make interfacing to readout or control circuitry especially easy.

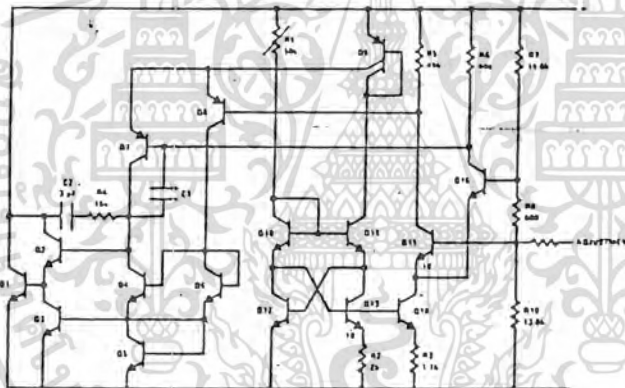
The LM135 operates over a -55°C to +150°C temperature range while the LM235 operates over a -40°C

to +125°C temperature range. The LM335 operates from -40°C to +100°C. The LM135/LM235/LM335 are available packaged in hermetic TO-46 transistor packages while the LM335 is also available in plastic TO-92 packages.

**Features**

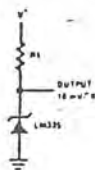
- Directly calibrated in °Kelvin
- 1°C initial accuracy available
- Operates from 400 μA to 5 mA
- Less than 1Ω dynamic impedance
- Easily calibrated
- Wide operating temperature range
- 200°C overrange
- Low cost

**Schematic Diagram**



**Typical Applications**

**Basic Temperature Sensor**

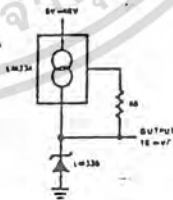


**Calibrated Sensor**



\* Calibrate for 2.982V at 25°C

**Wide Operating Supply**



## Absolute Maximum Ratings

Reverse Current	15 mA
Forward Current	10 mA
Storage Temperature	
TO-46 Package	-60°C to +180°C
TO-92 Package	-60°C to +150°C
Specified Operating Temperature Range	
Continuous	Intermittent (Note 2)
LM135, LM135A	-55°C to +150°C
LM235, LM235A	-40°C to +125°C
LM335, LM335A	-40°C to +100°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

## Temperature Accuracy LM135/LM235, LM135A/LM235A (Note 1)

PARAMETER	CONDITIONS	LM135A/LM235A			LM135/LM235			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}$ , $I_R = 1\text{ mA}$	2.97	2.98	2.99	2.95	2.98	3.01	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}$ , $I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	3	$^\circ\text{C}$
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} < T_C < T_{\text{MAX}}$ , $I_R = 1\text{ mA}$		1.3	2.7		2	5	$^\circ\text{C}$
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} < T_C < T_{\text{MAX}}$ , $I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1		0.5	1.5	$^\circ\text{C}$
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		$^\circ\text{C}$
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	0.5		0.3	1	$^\circ\text{C}$

## Temperature Accuracy LM335, LM335A (Note 1)

PARAMETER	CONDITIONS	LM335A			LM335			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}$ , $I_R = 1\text{ mA}$	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.02	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}$ , $I_R = 1\text{ mA}$		1	3		2	6	$^\circ\text{C}$
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} < T_C < T_{\text{MAX}}$ , $I_R = 1\text{ mA}$		2	5		4	9	$^\circ\text{C}$
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} < T_C < T_{\text{MAX}}$ , $I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	2	$^\circ\text{C}$
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		$^\circ\text{C}$
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1.5		0.3	1.5	$^\circ\text{C}$

## Electrical Characteristics (Note 1)

PARAMETER	CONDITIONS	LM135/LM235 LM135A/LM235A			LM335 LM335A			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Operating Output Voltage	$400\ \mu\text{A} < I_R < 5\text{ mA}$		2.5	10		3	14	mV
Change with Current	At Constant Temperature							
Dynamic Impedance	$I_R = 1\text{ mA}$		0.5			0.6		$\Omega$
Output Voltage Temperature Drift			+10			+10		$\text{mV}/^\circ\text{C}$
Time Constant	Still Air		80			80		sec
	100 ft/Min Air		10			10		sec
	Stirred Oil		1			1		sec
Time Stability	$T_C = 125^\circ\text{C}$		0.2			0.2		$^\circ\text{C}/\text{hr}$

Note 1: Accuracy measurements are made in a well-stirred oil bath. For other conditions, self heating must be considered.

Note 2: Continuous operation at these temperatures for 10,000 hours for H package and 5,000 hours for Z package may decrease life expectancy of the device.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Application Hints

### CALIBRATING THE LM135

Included on the LM135 chip is an easy method of calibrating the device for higher accuracies. A pot connected across the LM135 with the wiper tied to the adjustment terminal allows a 1-point calibration of the sensor that corrects for inaccuracy over the full temperature range.

This single point calibration works because the output of the LM135 is proportional to absolute temperature with the extrapolated output of sensor going to 0V output at 0°K (-273.15°C). Errors in output voltage versus temperature are only slope (or scale factor) so a slope calibration at one temperature corrects at all temperatures.

The output of the device (calibrated or uncalibrated) can be expressed as:

$$V_{OUTT} = V_{OUTT_0} \times \frac{T}{T_0}$$

where T is the unknown temperature and T<sub>0</sub> is a reference temperature, both expressed in degrees Kelvin. By calibrating the output to read correctly at one

temperature the output at all temperatures is correct. Nominally the output is calibrated at 10 mV/°K.

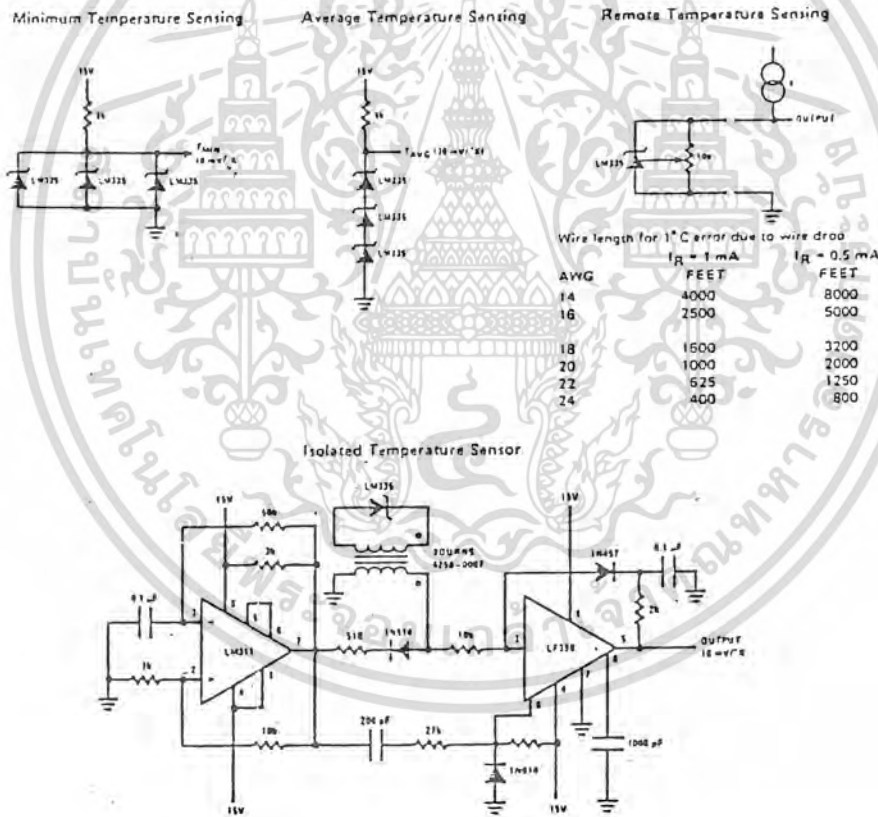
To insure good sensing accuracy several precautions must be taken. Like any temperature sensing device, self heating can reduce accuracy. The LM135 should be operated at the lowest current suitable for the application. Sufficient current, of course, must be available to drive both the sensor and the calibration pot at the maximum operating temperature.

If the sensor is used in an ambient where the thermal resistance is constant, self heating errors can be calibrated out. This is possible if the device is run with a temperature stable current. Heating will then be proportional to zener voltage and therefore temperature. This makes the self heating error proportional to absolute temperature the same as scale factor errors.

### WATERPROOFING SENSORS

Meltable inner core heat shrinkable tubing such as manufactured by Raychem can be used to make low-cost waterproof sensors. The LM135 is inserted into the tubing about 1/2" from the end and the tubing heated above the melting point of the core. The unfilled 1/2" end melts and provides a seal over the device.

### Typical Applications (Continued)



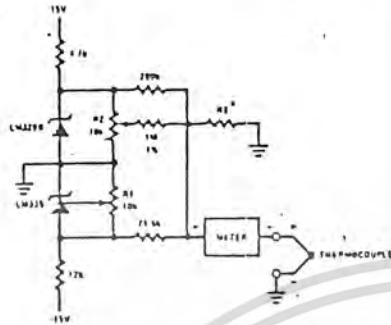
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Typical Applications (Continued)

### THERMOCOUPLE COLD JUNCTION COMPENSATION

#### Compensation for Grounded Thermocouple



Select R1 for proper thermocouple type

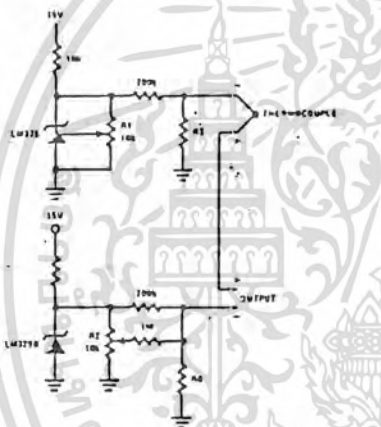
THERMO- COUPLE	R1	SEEBECK COEFFICIENT
J	377Ω	52.3 μV/°C
T	368Ω	42.8 μV/°C
K	293Ω	40.8 μV/°C
S	45.8Ω	6.4 μV/°C

Adjustments: Compensates for both sensor and resistor tolerances

1. Short LM329B
2. Adjust R1 for Seebeck Coefficient times ambient temperature (in degrees K) across R1
3. Short LM329B and adjust R2 for voltage across R2 corresponding to thermocouple type

J	14.32 mV	K	11.17 mV
T	11.79 mV	S	1.768 mV

#### Single Power Supply Cold Junction Compensation



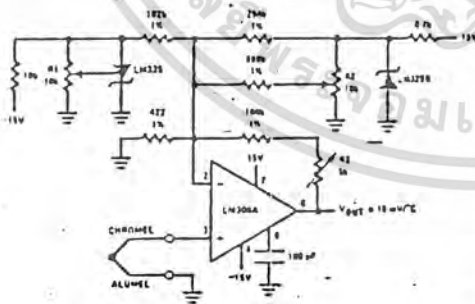
Select R3 and R4 for thermocouple type

THERMO- COUPLE	R3	R4	SEEBECK COEFFICIENT
J	1.05K	385Ω	52.3 μV/°C
T	856Ω	315Ω	42.8 μV/°C
K	816Ω	300Ω	40.8 μV/°C
S	128Ω	46.3Ω	6.4 μV/°C

- Adjustments:
1. Adjust R1 for the voltage across R1 equal to the Seebeck Coefficient times ambient temperature in degrees Kelvin
  2. Adjust R2 for voltage across R4 corresponding to thermocouple

J	14.32 mV	K	11.17 mV
T	11.79 mV	S	1.768 mV

#### Centigrade Calibrated Thermocouple Thermometer



Terminate thermocouple reference junction in close proximity to LM329B

- Adjustments:
1. Apply signal in place of thermocouple and adjust R3 for a gain of 245.7.
  2. Short non-inverting input of LM308A and output of LM329B to ground.
  3. Adjust R1 so that  $V_{OUT} = 2.982V @ 25^{\circ}C$ .
  4. Remove short across LM329B and adjust R2 so that  $V_{OUT} = 245 mV @ 25^{\circ}C$ .
  5. Remove short across thermocouple.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Definition of Terms

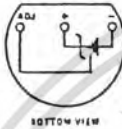
**Operating Output Voltage:** The voltage appearing across the positive and negative terminals of the device at specified conditions of operating temperature and current.

**Uncalibrated Temperature Error:** The error between the operating output voltage at  $10 \text{ mV}/^\circ\text{K}$  and case temperature at specified conditions of current and case temperature.

**Calibrated Temperature Error:** The error between operating output voltage and case temperature at  $10 \text{ mV}/^\circ\text{K}$  over a temperature range at a specified operating current with the  $25^\circ\text{C}$  error adjusted to zero.

## Connection Diagrams

TO-92  
Plastic Package



Order Number LM335Z  
or LM335AZ  
See NS Package Z03A

TO-18  
Metal Can Package\*



\* Case is connected to negative pin.  
Order Number LM135H,  
LM235H, LM335H, LM135AH,  
LM235AH or LM335AH  
See NS Package H03H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้