

การรับ – ส่งสัญญาณเซนเซอร์ผ่านเส้นใยแสง

Sensor Signal Transmission And Reception VIA Optical Fiber Cable



โดย
นายประวิทย์ บุญเอก
นายสุรพงษ์ สุทธิธนานุสรณ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

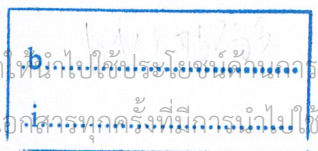
เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 50120

วัน,เดือน,ปี 21 เม.ย. 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้



การรับ – ส่งสัญญาณเซนเซอร์ผ่านเส้นใยแสง

Sensor Signal Transmission And Reception VIA Optical Fiber Cable



นายประวิทย์ บุญเอก 43015021

นายสุรพงษ์ สุทธิธนาบุตรณ์ 43015046

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. อภินันท์ มัลลยานนท์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การรับ – ส่งสัญญาณเซนเซอร์ผ่านเส้นใยแสง

Sensor Signal Transmission And Reception VIA Optical Fiber Cable

ผู้จัดทำ

1. นายประวิทย์ บุญเอก 43015021

2. นายสุรพงษ์ ลุทธิธนานุสรณ์ 43015046


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ. อภินันท์ มัลลยานนท์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรับ – ส่งสัญญาณเซนเซอร์ผ่านเส้นใยแสง

Sensor Signal Transmission And Reception VIA Optical Fiber Cable

โดย นายประวิทย์ บุญเอก 43015021

นายสุรพงษ์ สุทธิธนานุสรณ์ 43015046

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. อภินันท์ มั่นยานนท์

บทคัดย่อ

การสื่อสารผ่านเส้นใยแสงเข้ามามีบทบาทในการสื่อสารปัจจุบันมากขึ้น และการศึกษาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ ก็ยังมีอยู่อย่างต่อเนื่อง สำหรับในโครงการนี้ ได้นำเส้นใยแสงมาใช้ในการส่งสัญญาณเซนเซอร์ต่าง ๆ เช่น ความชื้น อุณหภูมิ และความดัน ไปยังปลายทาง จึงได้สร้างชุดรับ-ส่งขึ้น สัญญาณที่ได้จากตัวเซนเซอร์จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณแสง และส่งไปตามเส้นใยแสง ทางด้านรับจะเปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า และแสดงค่าที่วัดได้ที่ภาคแสดงผล

Abstract

The optical fiber communication is widely used, especially for control system. This project present, a construction of transmitter and receiver for sending the sensor signal via optical fiber cable. The principle is to convert the analog signal to optical signal and send through optic fiber. The receiving side will convert optical signal to digital signal and display on Display panel.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 สายรับ-ส่งเส้นใยแสง	5
2.2 ข้อดีของการสื่อสารเส้นใยแสงคืออะไร	6
2.3 อุปกรณ์การเชื่อมโยงการส่งผ่านเส้นใยแสง	7
2.4 ระบบเส้นใยแสง	10
2.5 แสง และ อุปกรณ์ทางแสง	11
2.5.1 คุณสมบัติและคุณลักษณะทางแสง	11
2.5.2 การเปล่งแสง และการดูดกลืนแสงของการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็ก	11
2.5.3 รังสีที่มองเห็นได้	15
2.5.4 รังสีอุลตราไวโอเล็ต	16
2.5.5 สีรุ้ง	16
2.5.6 แหล่งกำเนิดแสง	17
2.6 เส้นใยแสง	25
2.6.1 เส้นใยแสงคืออะไร	25
2.6.2 ลักษณะการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง	25
2.6.3 โหมดการเดินทางของแสง (PROPAGATION MODE)	26
2.6.4 ชนิดของเส้นใยแสง	28
2.6.5 โครงสร้างของเส้นใยแสง	30
2.6.6 คุณสมบัติต่างๆของเส้นใยแสง	32
2.6.7 ระบบการสื่อสารเส้นใยแสง	36
2.7 การสูญเสียสัญญาณในเส้นใยแสง	37
2.8 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ	38
2.9 อุปกรณ์ตรวจวัดความดัน	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการออกแบบวงจร	58
3.1 ชุด มัลติเพล็กซ์	61
3.2 ชุด ดีมัลติเพล็กซ์	64
3.3 ชุด วัตคูณหมุมิ	64
3.4 ชุด วัตควมดัน	72
3.5 ชุด วัตควมซึ้น	74
บทที่ 4 ผลการทดลอง	76
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	85
เอกสารอ้างอิง	86



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 รูปแบบพื้นฐานการสื่อสารเส้นใยแสง	4
รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างของเส้นใยแสง	6
รูปที่ 2.3 อุปกรณ์หลักการเชื่อมโยงเส้นใยแสง	8
รูปที่ 2.4 การลดทอนของเส้นใยแสงขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น	9
รูปที่ 2.5 อะตอมของฮีเลียม	12
รูปที่ 2.6 อะตอมของคาร์บอน	13
รูปที่ 2.7 การกระจายของแสงอาทิตย์ที่ผ่านปริซึม	15
รูปที่ 2.8 การสังเคราะห์แสงโดยการหมุนแผ่นกลม	16
รูปที่ 2.9 การกระจายแสงจากหยดน้ำที่ทำให้เกิดผลของสีรุ้ง	17
รูปที่ 2.10 แสดงโลนัวี่คี่ร์ของแหล่งกำเนิดแสง	18
รูปที่ 2.11 โครงสร้างภายในของ LED	19
รูปที่ 2.12 โครงสร้างเลเซอร์ไดโอด	20
รูปที่ 2.13 โฟโตดีเท็กเตอร์	22
รูปที่ 2.14 วงจรไดรเวอร์ LED แบบอนาล็อก	23
รูปที่ 2.15 วงจรทำงานของโฟโตไดโอด	24
รูปที่ 2.16 วงจรโฟโตดีเท็กเตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์	24
รูปที่ 2.17 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยแสง	26
รูปที่ 2.18 แสดงเส้นใยแสงกลมและแบบระนาบแบน	26
รูปที่ 2.19 แสดง PROPAGATION MODE ภายในเส้นใยแสง	27
รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงใน CORE ของเส้นใยแสงแต่ละชนิด	29
รูปที่ 2.21 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงใน GI FIBER	30
รูปที่ 2.22 แสดง PARAMETER ทางโครงสร้างของ MULTI MODE OPTIC FIBER	31
รูปที่ 2.23 แสดงแผนผังคุณสมบัติต่าง ๆ ของพารามิเตอร์ทางโครงสร้างของเส้นใยแสง	31
รูปที่ 2.24 แสดงเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของ MODE FIELD	32
รูปที่ 2.25 แสดงสาเหตุต่าง ๆ ของการสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแสง	35
รูปที่ 2.26 แสดงตัวอย่างของระบบของการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง	36
รูปที่ 2.27 กราฟแสดงค่าระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิ	40
รูปที่ 2.28 แสดงโครงสร้างและการติดตั้งใช้งาน RTD	42
รูปที่ 2.29 การต่อวงจร RTD แบบ 3 สายร่วมกับวงจรบริดจ์	43
รูปที่ 2.30 แสดงตัวอย่างเทอร์มิสเตอร์ในรูปแบบต่าง ๆ	44
รูปที่ 2.31 ตัวอย่างเทอร์โมคัปเปิลในรูปแบบต่าง ๆ	46
รูปที่ 2.32 การสร้างเทอร์โมคัปเปิลขึ้นมาอีกสองเส้น	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่ 2.33 การต่อเทอร์โมคัปเปิลที่จุดต่ออ้างอิงที่ทราบอุณหภูมิ	47
รูปที่ 2.34 การกำจัดเทอร์โมคัปเปิลตัวที่สองโดยการขยายกล่องแยกอุณหภูมิ	48
รูปที่ 2.35 การวัดอุณหภูมิโดยใช้สารกึ่งตัวนำ	49
รูปที่ 2.36 โครงสร้างภายนอกอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ	49
รูปที่ 2.37 ตัวอย่างของเซนเซอร์ AD590	50
รูปที่ 2.38 แสดงความสัมพันธ์ของย่านวัดความดัน	53
รูปที่ 2.39 ไดอะแฟรม	54
รูปที่ 2.40 อุปกรณ์ตรวจวัดความดันแบบ เบลโลว์	55
รูปที่ 2.41 โครงสร้างชนิดอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน	56
รูปที่ 3.1 บล็อกแสดงการทำงาน โดยรวม	58
รูปที่ 3.2 แสดง BASIC MULTIPLEX	59
รูปที่ 3.3 แสดงโครงสร้างของไอซี MC 14051 MULTIPLEXER	59
รูปที่ 3.4 FOUR SWITCH IC WITH GATE AND CONTROL INPUT	60
รูปที่ 3.5 แสดงชุด MULTIPLEX TRANSMITTER	61
รูปที่ 3.6 แสดงชุด DEMULTIPLEX RECIVE	64
รูปที่ 3.7 ลักษณะรูปร่าง และการต่อขาของ LM 335	65
รูปที่ 3.8 วงจรพื้นฐานในการใช้งานของ LM 335	66
รูปที่ 3.9 การปรับค่าความถูกต้องโดยใช้ความต้านทานเพียงตัวเดียว	67
รูปที่ 3.10 เวลาการตอบสนองของ LM 335 ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในอากาศ	68
รูปที่ 3.11 วงจรที่สามารถทำงานกับแหล่งจ่ายไฟได้ในย่านกว้าง	68
รูปที่ 3.12 วงจรนี้จะบันทึกอุณหภูมิค่าสุทธระหว่างไอซีทั้ง 3	69
รูปที่ 3.13 วงจรนี้จะบันทึกอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิของไอซีทั้ง 3	69
รูปที่ 3.14 แสดงวงจรตรวจจับอุณหภูมิ	71
รูปที่ 3.15 แสดงวงจรชุดแสดงผล	71
รูปที่ 3.16 แสดงวงจรวัดความดันที่ใช้งาน	74
รูปที่ 3.17 แสดงวงจรตรวจจับความชื้น	75
รูปที่ 4.1 รูปสัญญาณที่จุด TP 1	76
รูปที่ 4.2 รูปสัญญาณที่จุด TP 2	76
รูปที่ 4.3 รูปสัญญาณที่จุด TP 3	77
รูปที่ 4.4 รูปสัญญาณที่จุด TP 5	77
รูปที่ 4.5 รูปเปรียบเทียบสัญญาณขณะก่อน-หลังผ่านเส้นใยแสง	78
รูปที่ 4.6 รูปสัญญาณ CLOCK	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่ 4.7 รูปสัญลักษณ์เอาต์พุต CHANNEL 1	79
รูปที่ 4.8 รูปสัญลักษณ์เอาต์พุต CHANNEL 2	79
รูปที่ 4.9 รูปสัญลักษณ์เอาต์พุต CHANNEL 3	80
รูปที่ 4.10 แสดงชุดมัลติเพล็กซ์ และเซนเซอร์	80
รูปที่ 4.11 แสดงชุดดีมัลติเพล็กซ์	81



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบจุดอ้างอิงของอุณหภูมิมาตรฐานต่าง ๆ	39
ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของ RTD ที่นำมาจากโลหะประเภทต่าง ๆ	42
ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิที่นิยมใช้กัน โดยส่วนใหญ่	50
ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของไดอะแฟรม	54
ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเบลโลว์	55
ตารางที่ 2.6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของความดันของวัสดุชนิดต่าง ๆ	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

การสื่อสารข้อมูลผ่านเส้นใยแสงนั้น ได้มีการศึกษาและนำมาใช้เป็นเวลาหลาย 10 ปีแล้ว และในปัจจุบันการสื่อสารผ่านเส้นใยแสงก็ได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในระบบการสื่อสารทั่วโลก ที่เด่นชัดที่สุดก็คือ การวางสายโทรศัพท์ข้ามทวีปได้มหาสมุทร ซึ่งเหตุผลที่เส้นใยแสงถูกนำมาศึกษาและประยุกต์ใช้แทนสายเคเบิลชนิดอื่นๆ เนื่องมาจากความได้เปรียบหลายประการดังนี้

1. การสูญเสียของแสงต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับสายเคเบิลชนิดอื่น ๆ
2. แถบความถี่กว้าง
3. ขนาดเล็กและน้ำหนักเบา
4. ไม่มีการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า
5. อายุการใช้งานนาน
6. ปลอดภัยทางธรรมชาติ จำพวกทองแดง
7. ปราศจากการเกิดครอสทอล์ก
8. มีความปลอดภัยมากกว่าสายเคเบิลโลหะ เนื่องจากไม่มีกระแสไฟฟ้าภายในสายส่ง

การส่งสัญญาณต่าง ๆ ผ่านเส้นใยแสง มีการส่งสัญญาณ 2 รูปแบบ คือ สัญญาณ ANALOG และสัญญาณ DIGITAL

สำหรับการสื่อสารเส้นใยแสงนั้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานหลาย ๆ ด้านด้วยกัน โดยปัจจุบันก็ได้นำมาประยุกต์ใช้ในงานควบคุม และส่งข้อมูลการตรวจวัด (SENSOR) ได้ เช่น ที่สนามบินจะมีเครื่องบินขึ้น-ลงเป็นประจำ นักบินประจำเครื่องและหอบังคับการบิน ต้องมีการรายงานหรือทราบสถานะอากาศ เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความสว่าง ความเร็วลม และความชื้น เป็นต้น

ในโครงการนี้ เป็นการประยุกต์การนำเส้นใยแสงมาใช้ในการส่งผ่านข้อมูลการตรวจวัด โดยสัญญาณจากตัวเซนเซอร์ จะถูกการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (TIME DIVISION MULTIPLEXING) ก่อนส่งผ่านเส้นใยแสง ซึ่งจะประกอบไปด้วย 3 ช่องสัญญาณ มัลติเพล็กซ์ร่วมกัน และสัญญาณจะถูกส่งไปตามเส้นใยแสง และทางด้านรับจะถูกดีมัลติเพล็กซ์นำสัญญาณเซนเซอร์กลับคืนมา และแสดงค่าที่วัดได้ที่ภาคแสดงผล (DISPLAY)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ทุกคนคงจะเคยใช้การส่งข่าวในรูปแบบของไฟฟ้า โดยผ่านทางโทรศัพท์ ดาวเทียม คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟและอื่น ๆ อย่างไม่รู้ว่ามีระบบการสื่อสารชนิดใหม่รวมทั้งคลื่นแสงที่ได้รับการพัฒนาจากห้องปฏิบัติการ และได้มีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง แต่การสื่อสารทางแสงคืออะไร

การพยายามตอบคำถามสำหรับบุคคลที่ยังไม่เคยมีความรู้เกี่ยวกับเรื่องนี้มาก่อนจะต้องกระทำดังต่อไปนี้ในรอบหลายปีที่ผ่านมา การพัฒนาการสื่อสารทางไฟฟ้า ได้ดำเนินรุดหน้าไปอย่างรวดเร็ว ปัจจุบันเป็นสิ่งธรรมดาที่พบเห็นกันได้ทั่วไป เช่น การแข่งขันกีฬาโอลิมปิกที่ทำการถ่ายทอดทางโทรทัศน์ โดยการส่งผ่านดาวเทียม นั่น คือมันจะปรากฏภาพทันทีแม้ว่าเหตุการณ์นั้นจะได้จัดขึ้นที่หนึ่งของโลกก็ตาม

ในอนาคตชีวิตประจำวันจะขึ้นอยู่กับโทรทัศน์มากขึ้น เช่น บริการทางการแพทย์ และข่าวสารการศึกษา โทรสาร สำหรับการส่งจดหมายและหนังสือพิมพ์ ผลที่ได้รับคือ การประหยัดเวลา และทรัพยากรธรรมชาติเป็นอันมากถึงแม้ว่าการส่งข่าว โทรศัพท์ และภาพ อาจจะถูกหาได้ง่าย เพื่อที่จะให้มีบริการในสิ่งเหล่านี้ การส่งจะต้องมีประสิทธิภาพหลายร้อยเท่าของระบบที่มีอยู่

ในปัจจุบันสำหรับการส่งข่าวสารที่มีจำนวนมาก ๆ มันเป็นผลสืบเนื่องมาจากหลักการสื่อสารอย่างง่าย ๆ คือ คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นคลื่นพาหะนั้นจำเป็นต้องใช้ความถี่สูงมาก การพัฒนาซึ่งเป็นเป้าหมายของวิศวกรการสื่อสารและนักวิจัย

ในปี พ.ศ. 2503 ได้มีการประดิษฐ์เลเซอร์ (แหล่งกำเนิดแสง) ที่สามารถให้กำเนิดแสงธรรมชาติขึ้น (เช่นมีสีเดียว) แหล่งกำเนิดแสงจะมีความถี่สูงกว่าหลายเท่าของแหล่งกำเนิดความถี่ สูงกว่าหลายเท่าของแหล่งกำเนิดความถี่ไมโครเวฟ (ความถี่ 10^{10} Hz) ที่มีอยู่เดิมตั้งแต่ได้มีการปรากฏตัวของเลเซอร์ ได้มีความพยายามอยู่หลายครั้ง ที่จะใช้เลเซอร์สำหรับการสื่อสาร เพราะว่ามันมีข้อดีอยู่หลายประการ ถ้านำมาใช้เป็นคลื่นพาหะของระบบการสื่อสารได้

ในอนาคตชีวิตประจำวันของครอบครัวจะขึ้นอยู่กับโทรทัศน์มากขึ้น เช่น บริการทางการแพทย์ และข่าว เริ่มแรกการทำงานของระบบการสื่อสารที่ความถี่แสง ถึงแม้ว่าจะเพิ่มประสิทธิภาพการส่งข่าวสารได้มากถึง 100,000 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มีใช้อยู่ อย่างไรก็ตามก่อนที่จะนำมาใช้งานในทางปฏิบัติยังมีปัญหาอีกหลายอย่าง ที่จะต้องนำไปแก้ไข เช่น เลเซอร์ต้องมีประสิทธิภาพ และขนาดต้องเล็กซึ่งสามารถรักษาคุณภาพให้อยู่ในระดับสูงตลอดไปต้องมีการควบคุมทางเอาต์พุต อุปกรณ์มอดูเลชัน และดีมอดูเลชันที่ความเร็วสูงยังไม่ได้ผลตามที่ต้องการทั้งหมดนี้มีความสำคัญมากที่สุด สิ่งที่ต้องการสำหรับสายรับส่งชนิดใหม่ คือ ต้องมีการสูญเสียต่ำ และที่ยืดหยุ่นได้ ประหยัด และมีแบนด์วิดท์กว้าง ปรากฏว่าในตอนแรกนั้นปัญหาเหล่านี้เอาชนะได้ยากมาก

ประมาณปี พ.ศ. 2509 ได้มีการพิจารณาถึงความเหมาะสมที่จะนำเส้นใยแก้วนำแสงมาใช้เป็นสายรับ-ส่ง อย่างจริงจัง แต่ในเวลานั้นการสูญเสียยังสูงอยู่จึงยังไม่ได้นำมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี พ.ศ. 2513 ได้พบวิธีการที่จะลดการสูญเสียลงได้เป็นจำนวนมาก และการทำงานของ เลเซอร์ สารกึ่งตัวนำสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากอายุการใช้งานของเลเซอร์ สามารถเพิ่มได้มากขึ้น และสามารถผลิตเส้นใยแสงให้มีการสูญเสียต่ำได้ ทำให้การสื่อสารด้วยเส้นใย แสงได้รับการยอมรับ ในทางปฏิบัติเรายังเพิ่งเริ่มต้นในยุคของการสื่อสารทางแสง แต่ขณะนี้มีความเป็นไปได้อย่างมากว่าหน่อเล็ก ๆ นี้ จะเติบโตเป็นต้นไม้ใหญ่ในอนาคตอันใกล้นี้ อีกประการหนึ่งความถี่ของ แสงอุลตราไวโอเลต และรังสีเอ็กซ์-เรย์ สูงกว่าออปติคอล-เรย์ (OPTICAL RAY) และมีความเหมือนกัน คือการรวมตัวของโปรตอน ทำให้พลังงานเพิ่มขึ้น ผลที่ตามมาคือ ควอนตัม-นอยซ์ (QUANTUM - NOISE) สูงมาก และการเชื่อมติดกับสายรับ-ส่ง และรีเฟลคเตอร์ทำได้ยาก

ระบบการสื่อสารทางแสงส่วนใหญ่ จะใช้เส้นใยแสง และใช้สารกึ่งตัวนำเป็นแหล่งกำเนิดแสง มาก ในหลักการแล้วความถี่เหล่านี้ไม่เหมาะที่จะใช้ส่งข้อมูล ฉะนั้นคลื่นแสงที่มองเห็นได้อาจเป็น ประเภทสุดท้ายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่จะนำมาใช้กับระบบคมนาคมได้

ในรูปแบบการสื่อสารทางแสงนั้น ในขั้นแรกสัญญาณ (คลื่นเสียง) ที่ผู้ใช้ต้องการจะส่งถูก เปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าในเครื่องส่ง ซึ่งมันจะถูกมอดูเลตกับความเข้มของแสงที่แหล่งกำเนิดแสง ซึ่ง อาจจะเป็นเลเซอร์ หรือ ไดโอดเปล่งแสง (วิธีการนี้เรียกว่า “มอดูเลชัน”)

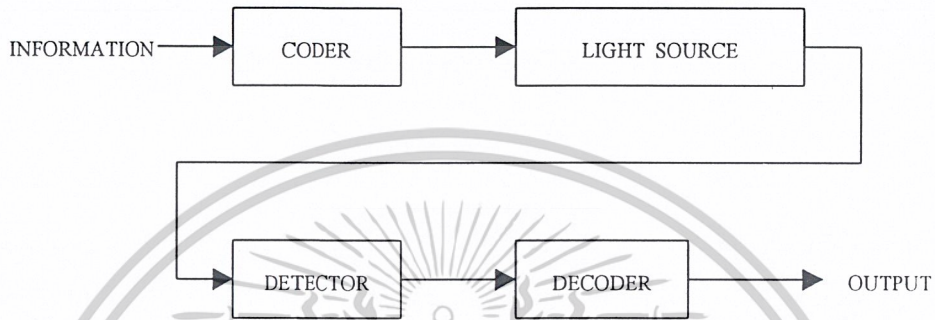
สัญญาณแสงถูกส่งผ่านเข้าไปในเส้นใยแสง และถูกตรวจรับที่ปลายทางด้านรับด้วยโฟโตดีเท็คเตอร์ ซึ่งสัญญาณแสงจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม (เรียกว่า “ดีมอดูเลชัน”) สุดท้าย สัญญาณไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณเดิมที่ผู้ใช้สามารถเข้าใจได้ เช่น เสียงคำพูดหลายศตวรรษที่ มนุษย์รู้จักการใช้การสื่อสารด้วยแสง เช่น คบเพลิง สัญญาณไฟ และโดยการสะท้อนแสงด้วยกระจก จนกระทั่งปัจจุบันสัญญาณแสงก็ยังคงมีใช้อยู่ เช่น การสื่อสารระหว่างเรือ โดยใช้สัญญาณแสงแทนรหัสมอส การพัฒนาอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ทำงานเป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยอาศัยข้อมูลการวิจัยในยุโรป และอเมริกา เป้าหมายของการพัฒนาของหลอดคายประจุ และหลอดไฟฟ้ายิ่ง หรือปรากฏการณ์ของแสงที่เปล่งออกมา จากแท่งเรืองแสง โดยเฉพาะการเปล่งแสงที่ได้ โดยการ ใช้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจุดเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำในผลึกเชิงเดี่ยวของสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน หรือ เยอรมันเนียม การเปล่งแสงอ่อนมาก แต่ใน สารประกอบผลึกกึ่งตัวนำ เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) การเปล่งแสงสูงกว่ามาก เพราะฉะนั้นจึง ได้มีการพัฒนาวิธีการผลิตสารกึ่งตัวนำที่เหมาะสมที่จะจัดให้เป็นแหล่งกำเนิดแสง

ในอดีตแนวความคิดของการส่งสัญญาณแสงในสมัยกรีกโบราณ ซึ่งเทคโนโลยีของการผลิตเส้น ใยแสงได้เริ่มขึ้น ได้สังเกตเห็นว่า แสงสามารถผ่านแท่งแก้วได้ และได้กระทำเป็นครั้งแรกที่ประเทศ เยอรมันนี ในปี พ.ศ. 2473

ในปี พ.ศ. 2501 ประเทศอังกฤษได้เสนอแนะรูปร่างของเส้นใยแสง ซึ่งประกอบด้วยส่วนในสุด เป็นแก้วแล้วหุ้มด้วยส่วนประกอบของแก้วที่คล้ายกัน ในตอนต้นปี พ.ศ. 2503 ที่ประเทศญี่ปุ่นได้ผลิต เส้นใยแก้วขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์ของการส่งภาพ แต่การส่งจะมีการสูญเสียของแสงสูงมาก เพราะว่ ความเข้มของแสงที่ส่งผ่านเส้นใยที่มีความยาวไม่ถึง 1 เมตร ได้ลดลงเป็นจำนวนมาก เพราะฉะนั้นการส่ง สัญญาณแสงผ่านเส้นใยแสงก็ถูกทิ้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณปี พ.ศ. 2503 ประเทศสหรัฐอเมริกาได้กระทำการทดลองที่เกี่ยวกับสายส่งประเภทต่างๆ โดยการใช้รูปแบบของท่อนำสัญญาณแสง (OPTICAL WAVEGUIDE) ที่ต่างกัน และประกอบด้วยเลนส์ที่รวมแสงเข้ามาหากันตรงจุดที่แสงอ่อนลงเป็นช่วงๆ เรียงกันไปตามลำดับรูปแบบหนึ่งของระบบนำแสง ประกอบด้วยเลนส์ 10 ชุด แต่จตุรวมแสงยาว 50 เมตร และระยะห่างเป็นช่วงๆ ละ 100 เมตร ภายในท่อขยายให้ยาวได้ถึง 1 กิโลเมตร แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในตอนแรกก็คือ หลอดซินออน



รูปที่ 2.1 รูปแบบพื้นฐานการสื่อสารเส้นใยแสง

ในปี พ.ศ. 2503 เป็นช่วงเวลาเดียวกันที่สหรัฐ ได้ทำการวิจัยอย่างคร่ำเคร่ง ผลที่ได้รับเป็นความสำเร็จครั้งแรก คือการทำงานของ โซลิด-สเตทลูมิเนสเซอร์ ฮีเลียม/นีออนก๊าซเลเซอร์ ในปี พ.ศ. 2504 และสารกึ่งตัวนำเลเซอร์แกเลียมอาร์เซไนด์ ในปี พ.ศ. 2505 โดยทั่วไปเข้าใจว่าสิ่งที่ปรากฏขึ้นของสิ่งใหม่ ๆ เหล่านี้ และแหล่งกำเนิดแสงที่มีความยาวคลื่นสีเดียว ถือว่าเป็นนิมิตที่ดีของการสื่อสารทางแสงที่จะให้ระบบของการสื่อสารที่มีคุณภาพสูง หลังจากที่ได้มีการวิจัยกันอย่างต่อเนื่องคุณสมบัติที่เป็นไปได้ของแหล่งกำเนิดแสงเพ็-พีรอน (FABRY PEROT RESONATOR) ซึ่งคลื่นแสงถูกจำกัดอยู่ระหว่างกระจก 2 แผ่น ผลที่ได้รับคือ หลักฐานทางทฤษฎีได้เป็นที่ยอมรับกันในหลักการของการส่งลำแสงที่คงที่จากแหล่งกำเนิดเลเซอร์ฝ่าอวกาศ

ในปี พ.ศ. 2507-2508 ได้มีการเสนอให้ใช้ก๊าซเลนส์เป็นตัวนำแสง และในเวลาเดียวกันก็ได้มีการนำมาทดสอบอุปกรณ์นี้ คือ ก๊าซเลนส์ ที่มีการสูญเสียต่ำเนื่องจากดัชนีหักเหของแสงลดลงจากแกนกลางของเส้นใยแสง ดังนั้นลำแสงของแสงจะถูกจำกัดให้อยู่ใกล้กับแกนกลางในเวลาเดียวกัน หลักการทางคณิตศาสตร์ ของการเดินของแสงที่เคลื่อนที่ไปเรียกว่า เลนส์ไลค์-เมเดียม (LENSLIKE -MEDIUM) ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป เนื่องจากเป็นระบบที่ต้องการเพาเวอร์เป็นจำนวนมากที่จะทำให้เกิด REFRACTE-INDEX PROFILE ในปริมาณของก๊าซจำนวนมากและเหตุผลอย่างอื่น อีก ความคิดที่จะใช้ก๊าซเลนส์ มาเป็นทางเดินของแสง ก็หยุดชะงักลง ถึงแม้จะได้รับประโยชน์หลายอย่าง รวมทั้งความเชื่อว่าแสงถูกจำกัดให้อยู่ใกล้กับแกนกลาง ข้อคิดเห็นที่ว่าดัชนีที่แปรกระจายในรูปของพาราโบลิกในเส้นใยแสงจะชะดเชยกลุ่มความเร็วของโหมดที่เคลื่อนที่ในชั้นต่าง ๆ และวิธีที่ใช้คำนวณเกี่ยวกับทางเดินของแสง

อีกประการหนึ่งในปี พ.ศ. 2509 ได้มีการประยุกต์ใช้เลเซอร์กับการสื่อสารทางแสงทำให้เกิด

เอกสารตีพิมพ์ในอเมริกาและญี่ปุ่น และทราบว่ามีการทดลองขั้นต้นที่ความถี่สูงมากนั้นได้ดำเนินการไปแล้วกว่าครึ่งปีที่ผ่านมา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกี่ยวกับความคิดที่จะนำเส้นใยแสงนำแสงมาเป็นสายรับ-ส่ง ได้เริ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่งทั้งในประเทศญี่ปุ่น และอังกฤษ และความพยายามที่จะลดการสูญเสียจากการส่งให้ต่ำลง และการวิจัยเกี่ยวกับเบนด์วิดธ์ ก็ ได้เริ่มขึ้น

ประมาณปี พ.ศ. 2513 ผลจากการวิจัยทั้งสองอย่าง มีความสำคัญของการส่งอย่างมากต่อการสื่อสาร ทางแสงอย่างต่อเนื่องของเลเซอร์ที่อุณหภูมิห้องในอเมริกา ต่อไปก็คือ การปรับปรุงเรื่องอายุการใช้งาน ทั้งในอเมริกา และญี่ปุ่น อีกอย่างก็คือการลดลงอย่างมากของการสูญเสียจากการส่งที่อังกฤษ ได้ทำให้ ะหว่าง 150 เดซิเบล ต่อ กิโลเมตร ได้ลดลงเหลือประมาณ 20 เดซิเบล ต่อ กิโลเมตร ทั้งในอเมริกา และ ญี่ปุ่น เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการพัฒนาเกี่ยวกับอุปกรณ์ทางแสง และสายรับ-ส่งเส้นใยแสงเป็นหลัก ปัจจุบันนี้ ในทางปฏิบัติพิสูจน์ให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะนำการสื่อสารทางแสงมาใช้กัน อย่างกว้างขวางขึ้น สายรับ-ส่งเส้นใยแสงได้มีการปรับปรุงกันอย่างรวดเร็ว บางส่วนได้นำวิธีการผลิต สารกึ่งตัวนำมาใช้แทน ซึ่งได้มีการพัฒนาอย่างดีแล้ว ซึ่งให้ทั้งการสูญเสียต่ำ และมีเบนด์วิดธ์ กว้าง กว่าสายรับ-ส่ง อย่างอื่น

ได้มีข้อเสนอแนะที่แตกต่างกันหลายประการที่ใช้กับการส่ง สำหรับการสื่อสารทางแสง เพราะ บางวิธีอาจจะใช้บางโอกาสในอนาคตซึ่งเราจะได้ศึกษากันอย่างย่อๆ โดยจะเปรียบเทียบวิธีเหล่านั้นกับ เส้นใยแสง เริ่มต้นด้วยการเดินทางของลำแสงจากหลอดไฟสว่างผ่านไปในอากาศ การนำทางของแสงจาก เลเซอร์ไดโอดไปตามเส้นใยแสง

2.1 สายรับ-ส่งเส้นใยแสง

โครงสร้างของสายรับ-ส่งเส้นใยแสง ประกอบด้วยส่วนตรงกลางที่เรียกว่า คอร์ (CORE) มี ดัชนีการหักเหของแสง n_1 วัสดุที่หุ้มรอบๆ เรียกว่า แคลดดิง (CLADDING) มีดัชนีการหักเหของ สอง n_2 ต่ำกว่า n_1 ดังนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกจำกัดอยู่ในส่วนของคอร์และถูกส่งต่อโดยหลักการ สะท้อนกลับตรงเขตแดนระหว่างคอร์กับแคลดดิง ที่อยู่ภายในทั้งหมดเส้นใยแสงเป็นรูปแบบของไดอิ เล็กทริกเวฟไกด์ (DIELECTRIC WAVEGUIDE) ซึ่งเป็นชนิดซิลิก้ากลาส ปกติจะใช้เป็นส่วนประกอบ ของฉนวนไฟฟ้า ในบางกรณีอาจใช้สารพลาสติก หรือของเหลวก็แผ่นฟิล์มบางๆ ซึ่งมีความหนาเพียง 2 - 3 มิลลิเมตร วัสดุอื่นที่สามารถนำมาใช้ได้ เช่น แก้ว พลาสติก วัสดุที่มีองค์ประกอบอย่างเดียวกัน หรือสารกึ่งตัวนำเส้นผ่าศูนย์กลางของคอร์ ของเส้นใยแสง ปกติจะอยู่ในย่านปกติจะอยู่ในย่าน 2 - 3 ไมโครเมตร ถึง 20 - 30 ไมโครเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางรอบนอกของแคลดดิงอยู่ระหว่าง 100 - 200 ไมโครเมตร อย่างไรก็ตาม เส้นใยแสงที่ยังไม่ได้หุ้มมีความเปราะมาก และเป็นเหตุเริ่มต้นให้เกิดปฏิกิริยา ทางเคมีจากความชื้น ดังนั้นเส้นใยแสงจึงถูกกำหนดให้มีการหุ้มครั้งแรกเสียชั้นหนึ่งก่อนด้วยพลาสติก ต่อ ไปหุ้มด้วยไนลอนอีกชั้นหนึ่ง ยิ่งกว่านั้นยังจัดเป็นกลุ่มเข้าด้วยกันในรูปเคเบิลเส้นใยแสงซึ่งทำให้เคเบิลมี เส้นเป็นร้อยเส้นได้

ปัจจุบันซิลิก้ากลาส เป็นส่วนประกอบที่ทำให้การสูญเสียต่ำมาก โดยการทำให้ซิลิก้ากลาสมี ความบริสุทธิ์มากขึ้นทำให้สามารถผลิตเส้นใยแสง ที่มีความลดทอนประมาณ 0.2 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวคลื่น 1.55 ไมโครเมตร ได้ ประกอบมีแบนด์วิดท์กว้าง และการสูญเสียต่ำจึงเชื่อได้ว่าเส้นใยแสงจะเป็นสายรับ-สายส่งที่เหมาะสมที่สุด

ในตอนต่อไปนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดที่เกี่ยวกับความยาวคลื่น 0.85 ไมโครเมตร ที่ให้การสูญเสียต่ำ ซึ่งเป็นข้อกำหนดอย่างหนึ่งที่ว่า “ออปติคัล-ไฟเบอร์-วินโดว์” (OPTICAL FIBER WINDOWS) บังเอิญสารกึ่งตัวนำเลเซอร์ที่ประกอบด้วย แกลเลียม อะลูมิเนียม อาร์เซไนด์ (GaAlAs) และซิลิกอน (Si) โฟโวลต์เทคเตอร์ความไวสูงที่ความยาวคลื่นนี้ ในทางตรงกันข้ามเส้นใยแสงมีความสูญเสียต่ำมากจะอยู่ย่านความยาวคลื่น 1.0-1.6 ไมโครเมตร การวิจัยเกี่ยวกับเลเซอร์และตัวรับแสงความไวสูงที่กำลังทำกัน ในปัจจุบันและอนาคต ถือเป็นกุญแจสำคัญที่ต้องพัฒนาต่อไปในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง



รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างของเส้นใยแสง

2.2 ข้อดีของการสื่อสารเส้นใยแสงคืออะไร

ในการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแสงมีข้อดีเหนือกว่าระบบออปติคัล - เวฟไกด์อื่น ๆ ทั้งหมดและมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. มีการสูญเสียต่ำตลอดย่านความยาวคลื่นที่ใช้งาน (น้อยกว่า 1 เดซิเบล ต่อ กิโลเมตร)
2. มีแบนด์วิดท์กว้าง 1-10 GHz สำหรับมัลติ-โมด (MULTI MODE) และซิงเกิ้ล-โมด (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. ส่วนประกอบของแก้วที่ใช้เป็นวัสดุทางธรรมชาติมีเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะความเข้มข้นของซิลิกามีสูงมาก
9. มีความต้านทานต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเส้นใยแสงมีข้อดีเหล่านี้จึงมีความพยายามที่จะปรับปรุงคุณสมบัติที่ได้กล่าวไปแล้วอย่างต่อเนื่องต่อไป โดยเฉพาะการวิจัยที่จะดำเนินการตามทิศทางต่อไปนี้

1. อะไรคือลักษณะรูปร่างที่ดีที่สุดของดัชนีหักเหของแสง นำเอาปัจจัยทั้งหมดมาพิจารณา
2. อะไรคือการกระทำที่ทำให้การสูญเสียต่ำที่สุด
3. ความยาวคลื่นเท่าไรที่เหมาะสมที่สุดของใช้ทำงาน
4. อะไรที่เป็นส่วนสำคัญที่กำหนดแบนด์วิธ
5. สาเหตุใดที่ทำให้คุณลักษณะของการเดินทางเปลี่ยนไปได้แมชชีนนิคอลล - เอฟเฟ็คซ์ (MACHINECAL - EFFECT) เช่น การโค้งงอนั้นหรือ
6. อายุการใช้งานจะเป็นสาเหตุให้คุณลักษณะเปลี่ยนไปหรือไม่
7. ปัญหาทางเทคนิคของการวางและการต่อเคเบิลสามารถแก้ไขปรับปรุงได้หรือไม่
8. ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ลดลง โดยการผลิตเป็นจำนวนมากได้หรือไม่

2.3 อุปกรณ์การเชื่อมโยงการส่งผ่านเส้นใยแสง

ในการเชื่อมโยงการส่งผ่านเส้นใยแสงส่วนสำคัญต่าง ๆ คือเครื่องส่งที่ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง และร่วมกับวงจรกระตุ้น (DRIVER CIRCUIT) เคเบิลเส้นใยแสง และเครื่องรับที่ประกอบด้วยโฟโตดีเท็คเตอร์ร่วมกับวงจรขยายสัญญาณ และวงจรที่ทำหน้าที่ให้ได้สัญญาณกลับคืนมาสู่สภาพเดิม

เคเบิลใยแสงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากอย่างหนึ่ง ในการเชื่อมต่อเส้นใยแสง นอกจากจะได้มีการป้องกันเส้นใยแสง ระหว่างการติดตั้ง และการให้บริการภายในเคเบิลอาจจะบรรจุสายทองแดงสำหรับพาเวอร์ที่จะจ่ายให้กับส่วนวงจรทวนสัญญาณ ซึ่งต้องการสำหรับการขยายสัญญาณและการสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่เป็นช่วง ๆ เมื่อต้องการขยายระยะทางให้ไกลออกไปอีก เคเบิลโดยทั่วไปแล้วประกอบด้วยเส้นใยแสงรูปทรงกระบอกที่มีขนาดเท่าเส้นผมเป็นจำนวนมาก แต่ละเส้นไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนของการสื่อสาร

การติดตั้งเคเบิลใยแสงสามารถติดตั้งได้ทั้งในอากาศ ในท่อร้อยสายใต้ทะเลหรือฝังดินโดยตรง ทำนองเดียวกันกับเคเบิลทองแดงความยาวของเคเบิลแต่ละเส้นจะมีความยาวตั้งแต่หลายร้อยเมตร จนถึงหลายกิโลเมตร สำหรับการใช้งานทางไกลขึ้นอยู่กับติดตั้ง หรือข้อจำกัดของการผลิตความยาวจริง ๆ ของเคเบิลในช่วงหนึ่ง ๆ กำหนดจากการพิจารณาในการใช้งาน เช่น ขนาดของสลิง และน้ำหนักของเคเบิล ถ้าการวางเคเบิลผ่านท่อร้อยสาย มักจะใช้เคเบิลที่มีความยาวสั้นกว่าส่วนเคเบิลที่มีความยาวจริงมาก ๆ มักจะใช้แขวนในอากาศหรือฝังดินโดยตรง ถ้าจะให้ได้ความยาวที่จะใช้งานกับทางไกลจริง ๆ ต้องนำเคเบิลแต่ละช่วงความยาวมาต่อเข้าด้วยกันถึงจะได้ความยาวที่สมบูรณ์ตามต้องการ

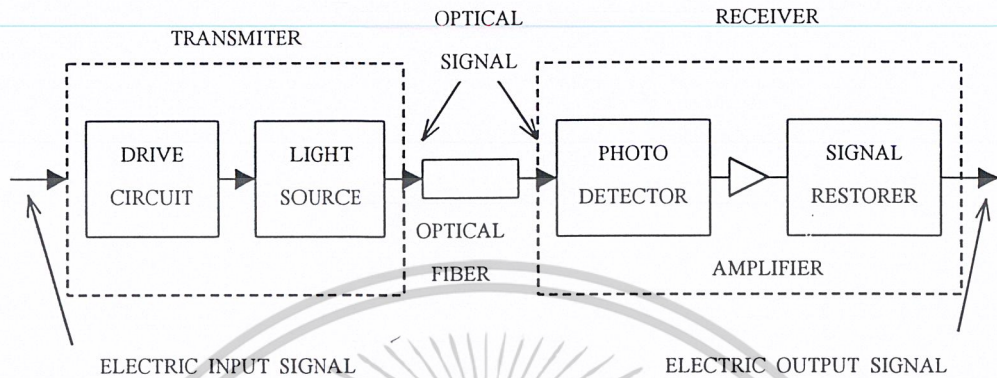
คุณสมบัติอันดับแรกของเส้นใยแสง คือ การลดทอน ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น เทคโนโลยีในตอนต้น ๆ นั้นใช้ความยาวคลื่นแบบ 800 - 900 นาโนเมตรอย่างเดียวนั้น เนื่องจากในแถบความยาวคลื่นนี้ เส้นใยแสงที่ผลิตได้ในเวลานั้น แสดงค่าการลดทอนต่ำสุด และแหล่งกำเนิดแสง และโฟโตดีเท็คเตอร์ที่ทำงานในย่านความยาวคลื่นนี้จัดหาได้ง่าย โดยการลดความเข้มข้นประจุของไฮดรอกซิล (HYDROSIL IONS) และประจุของโลหะ (METALIC IONS) ที่เจือปนอยู่ในส่วนประกอบของเส้นใยแก้ว ทำให้ผู้

ผลิตสามารถผลิตเส้นใยที่มีการสูญเสียต่ำมากในย่านความยาวคลื่น 1100 - 1600 นาโนเมตร ได้ ปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความกว้างของแบนด์วิธ (SPECTRUM BANDWIDTH) จะอ้างถึงในย่านลอง - เวฟเล็งธ์ (LONG - WAVELENGTH) ลักษณะสำคัญเพิ่มขึ้นหลังจากได้พัฒนาที่ความยาว 1300 นาโนเมตร แล้ว เนื่องจากในย่านนี้เส้นใยซิลิกาบริสุทธิ์มีความเพี้ยนต่ำมาก

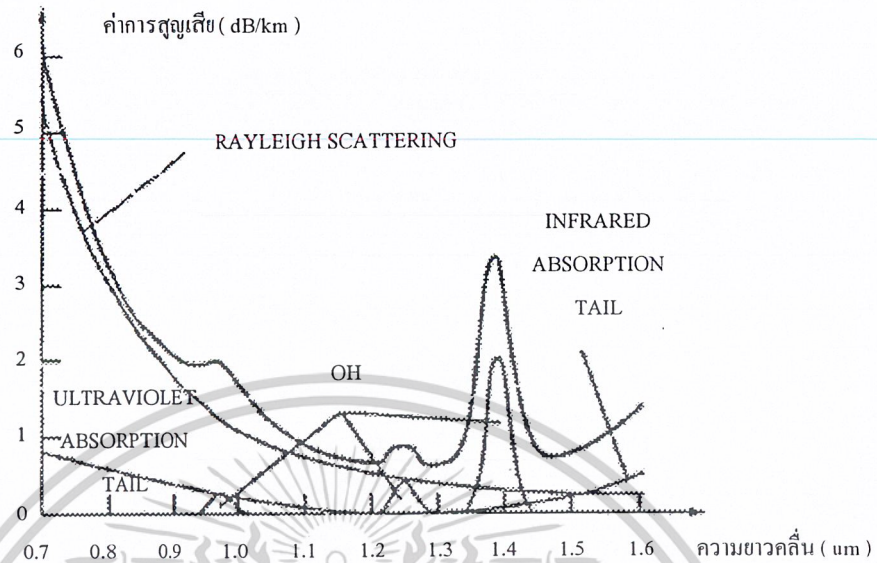


รูปที่ 2.3 อุปกรณ์หลักการเชื่อมโยงเส้นใยแสง

ได้มีการเริ่มต้นวิจัยส่วนประกอบของเส้นใยชนิดใหม่ ๆ สำหรับใช้ในย่านความคลื่น 3-5 ไมโครเมตร เริ่มต้นจากจุดสำคัญที่น่าสนใจเกี่ยวกับโลหะฮาไลด์ ที่มีผลึกมากกว่าหลายผลึก เช่น ซิงค์คลอไรด์ (SnCl) ซอลเคลียมโบรไมด์ (TiBr) และ ซอลเคลียมโบรไมโอไอ (KPS) การพยากรณ์เป็นเพียงสมมุติฐาน คาดว่าเส้นใยเหล่านี้มีการลดทอนน้อยกว่า 0.01 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ความสำเร็จจากการผลิตเส้นใยที่มีการสูญเสียต่ำเหล่านี้ จะก่อให้เกิดผลต่อการสื่อสารทางไกลอย่างมาก เมื่อเคเบิลได้ติดตั้งไปแล้วแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นส่วนสำคัญที่จะใช้ส่งถ่ายพลังงานของแสงเข้าไปในเส้นใยจะต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับคอร์ของเส้นใยแสง

สารกึ่งตัวนำไดโอดเปลียนแสง และ เลเซอร์ไดโอดเหมาะสมที่จะใช้เป็นแหล่งกำเนิดเครื่องส่งเพื่อจุดประสงค์นี้ เนื่องจากเอาต์พุตของแสงสามารถมอดูเลทโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าโบัสที่แปรค่าได้อย่างรวดเร็ว สัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนให้กับเครื่องส่งอาจเป็นอนาล็อก หรือ ดิจิตอลอย่างหนึ่งอย่างใดก็ได้ ที่เครื่องส่งจะมีวงจรเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเหล่านี้ให้เป็นสัญญาณแสง จากการแปรค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแหล่งกำเนิดแสง แหล่งกำเนิดแสงเป็นสแควร์-ลอร์-ดีไวซ์ (SQUARE LAW DEVICE) ซึ่งหมายความว่า การแปรผันเป็นเส้นตรง (LINEAR) ในวงจรขับกระแสจะมีผลตรงกันกับการเปลี่ยนแปลงเป็นเส้นตรงในวงจรออปติคอลเอาต์พุต เพาเวอร์ ในย่านความถี่ยาวคลื่น 800-900 นาโนเมตร โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดแสงเป็นโลหะผสมของ GaAlAs ที่ความยาวคลื่นที่ยาวกว่า (1100-1600 นาโนเมตร) ส่วนประกอบที่สำคัญของแหล่งกำเนิดแสงเป็นโลหะผสมของอินเดียม-แกลเลียม-อาเซไนซ์-ฟอสฟอรัส (InGaAsP) หลังจากสัญญาณถูกส่งเข้าไปในเส้นใยแก้วแล้ว การลดทอน และ ความเพี้ยนจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางไปตามลำดับ เนื่องจากการกระจายการดูดซึม และ โครงสร้างที่ทำให้แสงกระจาย ในทางเดินของแสงทางด้านรับการลดทอน และความเพี้ยนของ ออปติคอลเพาเวอร์เอาต์พุตจะถูกตรวจจับโดยโฟโตรีซีทีเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การลดทอนของเส้นใยแสงขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น

ในการทำงานเดียวกันกับแหล่งกำเนิดแสงโฟโตดีเทคเตอร์ก็เป็นสแควว-ลิว-ดีไวซ์ด้วยเหมือนกัน เนื่องจกมันเปลี่ยนพลังงานที่ได้รับเป็นกระแสไฟฟ้าทางเอาต์พุต (PHOTO-CURRENT) สารกึ่งตัวนำ PIN และ APD โฟโตดีเทคเตอร์ทั้งสองตัวนี้ส่วนใหญ่ใช้ในการเชื่อมโยงการสื่อสารทางแสงอุปกรณ์ทั้งสองชนิดนี้ให้ประสิทธิภาพ และการตอบสนองต่อความเร็วสูงมาก สำหรับการใช้งานปกติ APD โฟโตดีเทคเตอร์จะใช้กับสัญญาณแสงที่รับได้ที่มีเพาเวอร์ระดับต่ำเนื่องจากมีความไวสูง และโครงสร้างภายในมีการขยาย ซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำตัวของมัน ซิลิคอน โฟโตดีเทคเตอร์ใช้ในย่านความยาวคลื่น 800-900 นาโนเมตร ออปติคคอลลีเทคเตอร์ชนิดต่าง ๆ สามารถหามาใช้กับความยาวคลื่นที่ยาวกว่าได้ ส่วนประกอบที่ถูกเลือกใช้ในตอนแรกในย่านความยาวคลื่น 1100-1600 นาโนเมตร ก็คือ โลหะผสมอินเดียม-แกลเลียม-อาเซนไนซ์ (InGaAs)

การออกแบบเครื่องรับมีความยุ่งยากมากกว่าของเครื่องส่ง เนื่องจกมันต้องการขยายสัญญาณ และมีการสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่จากสัญญาณที่ได้รับจากโฟโตดีเทคเตอร์ที่มีระดับสัญญาณต่ำที่มีอยู่เป็นประจำ คุณภาพของเครื่องรับที่ต้องการเป็นอันดับแรกก็คือ ค่าออปติคคอลลีเพาเวอร์ (OPTICAL POWER) ต่ำสุดที่จำเป็นต้องใช้ ในการคงค่า เออเรอร์พรอบเบบิลิตี (ERROR PROBABILITY) สำหรับระบบดิจิทัล (DIGITAL) หรือ S/N สำหรับระบบอนาล็อกให้ได้ตามกำหนด สำหรับแต่ละคาตา-เรท (DATA RATE) ที่ต้องการเราจะเห็นได้ว่าความสามารถของเครื่องรับที่จะบรรลุผลในระดับที่ต้องการนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของโฟโตดีเทคเตอร์ สิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบ และคุณสมบัติของภาควิทยุในเครื่องรับ

เมื่อสัญญาณแสงเดินทางไปในทางเส้นใยแสงในระยะทางพอสมควรสัญญาณจะถูกลดทอนเกิดความเพี้ยนจนถึงองศา (DEGREE OF DISTORTION เป็น %) ที่จะต้องทวนสัญญาณในสายรับ-ส่ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อที่จะทำการขยายสัญญาณสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่สถานีทวนสัญญาณแสงประกอบด้วยเครื่องรับ และเครื่องส่ง ติดตั้งแบบหลังชนกัน ภาคเครื่องรับตรวรับสัญญาณแสง และ เปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าซึ่งต้องทำการขยายสัญญาณสร้างขึ้นมาใหม่ และส่งสัญญาณไฟฟ้าให้กับภาคเครื่องส่ง ภาคเครื่องส่งเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้ากลับเป็นสัญญาณแสงใหม่ แสงเข้าไปในเส้นใยแสงเงื่อนใจที่จะเป็นตัวกำหนดรายละเอียดว่าเมื่อไร จึงจะต้องการสถานีทวนสัญญาณแสงในระบบเชื่อมโยงทางแสงจะได้กล่าวพร้อมกันกับระบบเวฟเล็ท-ดิวิชั่น-มัลติเพล็กซ์ (WAVE LENGTH DIVISION MULTIPLEXING) และระบบการจัดการเรื่องไลน์โคดดิ้ง (LINE CODING)

2.4 ระบบเส้นใยแสง

แรกเริ่มการนำเทคโนโลยีของเส้นใยแสงมาใช้ มีจุดประสงค์เพื่อการเชื่อมโยงระบบโทรคมนาคมแบบดิจิทัลระหว่างจุดต่อจุดการเชื่อมโยงที่กำเนิดขึ้นครั้งแรก ส่วนใหญ่ได้ออกแบบสำหรับขนาดบิตตาง 2-50 Mb/s อุปกรณ์ไฟฟ้า-แสงที่ใช้ในระบบเหล่านี้ทำงานในย่านความยาวคลื่น 810-890 นาโนเมตร ซึ่งการสูญเสียจากการส่งผ่านเคเบิลใยแสงมีค่าที่กำหนดให้ 4-6 เดซิเบลต่อกิโลเมตร หลังจากการวาง และต่อเคเบิลเข้าด้วยกันแล้ว ทำให้ได้ระยะทางระหว่างเทอร์มินอล 5-10 กิโลเมตร โดยไม่ต้องมีสถานีทวนสัญญาณซึ่งทำให้ไม่ต้องใช้บ่อพักสำหรับสถานีทวนสัญญาณในพื้นที่ที่มีชุมชนหนาแน่น และทำให้ลดสถานีทวนสัญญาณในโครงข่ายโทรคมนาคมในนครหลวงให้ไกลออกไปได้อีกในยุคที่สองของระบบทำงานที่ความยาวคลื่น 1.3 ไมโครเมตร ซึ่งการสูญเสียจากการส่งผ่านเคเบิลใยแสง ประมาณ 0.5 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ซึ่งสามารถขยายการส่งสัญญาณให้ไกลออกไปได้อีก โดยไม่ต้องใช้สถานีทวนสัญญาณ

นอกจากการใช้งานด้านโทรคมนาคมแล้ว ก็ได้มีการติดตั้งเชื่อมโยงเส้นใยแสงในโรงไฟฟ้ากำลังการเชื่อมโยงเหล่านี้ ใช้ในการส่งข่าวสารสำหรับการป้องกันการอำนวยความสะดวก และการควบคุมซึ่งมีความสำคัญที่สุดในโรงไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ และประกอบด้วยเครื่องมือทันสมัยข่าวสารดังกล่าวนี้ จะถูกส่งโดยระบบการสื่อสารไมโครเวฟธรรมดาพร้อมกับสายส่งกำลังต่าง ๆ และกับระบบการสื่อสารอย่างไรก็ตามในเมืองใหญ่ ๆ สิ่งรบกวนที่เกิดจากการวางโครงข่ายสายไฟฟ้าแรงสูงขนาด 275 กิโลโวลต์ ระบบการสื่อสารด้วยไมโครเวฟที่มีคุณภาพสูง ไม่สามารถที่จะดำเนินการด้วยความมั่นใจได้ อาคารสูง ๆ ก็เป็นอุปสรรคสำคัญสำหรับการส่งสัญญาณไมโครเวฟด้วย เส้นใยแสงมีภูมิคุ้มกันต่อการเหนี่ยวนำสิ่งรบกวนทำให้การส่งข้อมูลที่มีความจุสูง ๆ ได้ด้วยเหตุนี้จึงเป็นอีกระบบหนึ่งของการสื่อสารที่ดีมาก

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี เส้นใยแสงขยายเข้าไปในวงจรรวมสายผู้เช่านี้ เป็นส่วนหนึ่งของโครงข่ายโทรคมนาคมที่เชื่อมต่อกับเครื่องปลายทางของผู้เช่า ที่ตั้งอยู่ใกล้กับชุมสาย สี่กกลางการนำส่งที่ใช้กันมานานในโครงข่ายนี้ คือ สายคู่ไขว้ทองแดง สายคู่ไขว้ทองแดงเหล่านี้ได้มีการปรับปรุงเป็นอย่างดี อายุการใช้งานนาน และ การลงทุนสำหรับการใช้งานอย่างคุ้มค่าเป็นเวลานานหลายสิบปี เพื่อใช้ส่งสัญญาณเสียงคำพูด อย่างไรก็ตามยังไม่เพียงพอสำหรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นสำหรับการให้บริการหลายอย่างที่กว้างขึ้นอยู่กับที่อยู่อาศัย หรือ สำนักงาน เช่น การชำระเงิน หรือ การศึกษาทางโทรทัศน์ ห้องสมุด และการค้นหาข่าวสารการประมวลผลทางวิดีโอ อิเล็กทรอนิกส์เมด การธนาคาร และ การซื้อของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี่คือสิ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างมากที่จะนำไปสู่การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเส้นใยแสงกับวงจรผู้เช่า จาก ชุมสายท้องถิ่นกับที่อยู่อาศัย หรือ สำนักงาน ในทางตรงข้ามกับสายคู่ไขว้ทองแดง เส้นใยแสงจะให้การลดทอนต่ำ ส่งข้อมูลได้จำนวนมาก มีภูมิคุ้มกันต่อฟ้าผ่า และ การรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่มี การรบกวนระหว่างเส้นใยแสง โดยการนำลักษณะเด่น ๆ เหล่านี้มาใช้เส้นใยแสงสำหรับวงจรผู้เช่าจะต้อง ออกแบบไว้ล่วงหน้าทั้งปัจจุบัน และ อนาคต สำหรับความต้องการการบริการหลาย ๆ อย่างที่เพิ่มมากขึ้น

2.5 แสง และ อุปกรณ์ทางแสง

2.5.1 คุณสมบัติและคุณลักษณะทางแสง

ประวัติของแสง

หลายศตวรรษมาแล้วที่มนุษย์ให้ความสนใจปรากฏการณ์ของแสง และได้พยายามศึกษาธรรมชาติของแสงในงานด้าน โทรมนาคมการ ปรากฏตัวของเส้นใยแสงทำให้สามารถส่งข่าวสาร (INFORMATION) โดยใช้แสงได้

ในสมัยโบราณได้พบพานหลักฐานถึงความสนใจของประชาชนที่เกี่ยวกับแสงได้ในถ้ำต่าง ๆ นักปราชญ์ชาวกรีกมีความสนใจในเรื่องของแสงด้วยเหมือนกัน และ EUCLID ได้สังเกตว่าแสงเดินทางเป็นเส้นตรง อย่างไรก็ตามความจริงแล้วนักวิทยาศาสตร์เพิ่งเริ่มศึกษาเกี่ยวกับแสงในศตวรรษที่ 17 นี้เอง

DESCARTES ได้ยืนยันเกี่ยวกับแสงไว้อย่างชัดเจนว่าเป็นสสารที่กระจกระบายซึ่งมากระทบกับ กระจก และ ยังได้อธิบายถึงวิธีการสะท้อนกลับ และ การหักเหของแสงอีกด้วย

NEWTON ได้แสดงถึงลักษณะของแสงเมื่อแสงอาทิตย์ผ่านแท่งปริซึมทำให้เกิดสีรุ้ง HUYGENS ได้กำหนดทฤษฎีของคลื่น

ปลายศตวรรษที่ 19 MAXWELL ได้อธิบายเรื่องของแสงในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และ MICHELSON ได้พิสูจน์ว่าความเร็วของแสงคงที่

แนวความคิดเหล่านี้เป็นรากฐานของทฤษฎีสัมพัทธภาพของ EINSTEIN และ PLANCK ได้แสดงให้เห็นว่าแสงประกอบด้วยอนุภาคของพลังงาน ซึ่งขัดกับทฤษฎีของคลื่น ในปี 2467 LUIO DE BROGLIE ได้อธิบายลักษณะสองประการของแสง คือ เป็นคลื่น และอนุภาค

2.5.2 การเปล่งแสง และการดูดกลืนแสงของการแผ่รังสีของคลื่นแม่เหล็ก

อะตอม

ในปี พ.ศ.2452 RUTHERFORD ได้ใช้ความเข้าใจในเรื่องโครงสร้างของอะตอมเป็นแนวทาง ทดลอง และ ข้อเสนอแนะไม่ต้องพิสูจน์ของ BOHR และ SOMMERERFORD ว่าวัตถุที่ล้อมรอบตัวเรา เช่น ของแข็ง ของเหลว และ ก๊าซอยู่ในรูปของอะตอมที่เชื่อมโยงเข้าด้วยกันในวิถีทางต่าง ๆ กัน

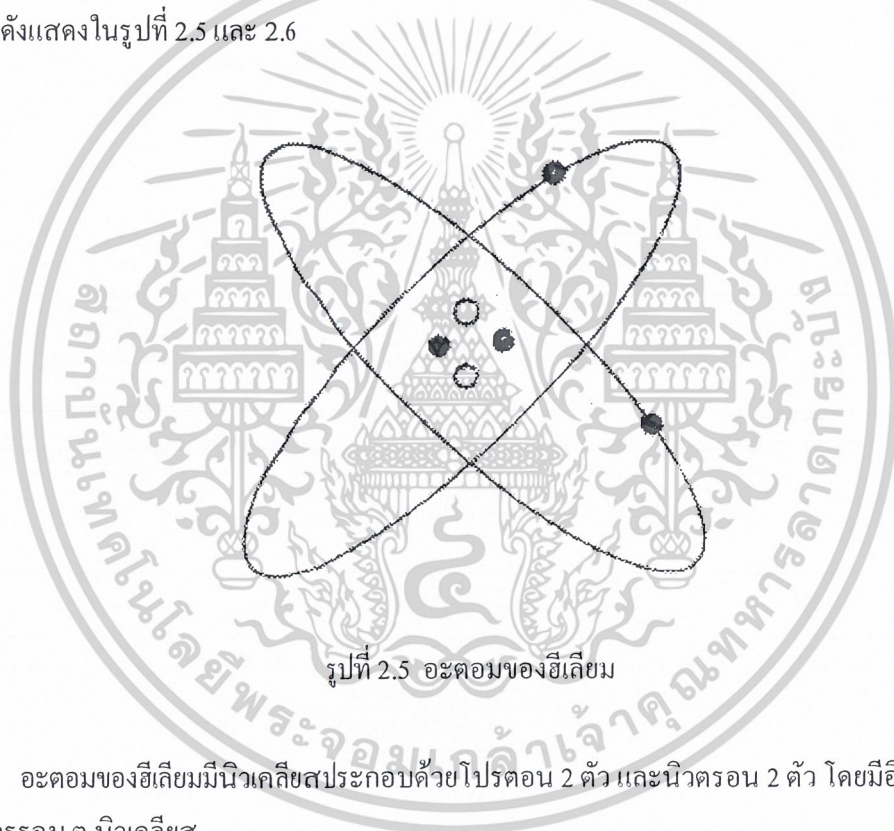
ที่จุดศูนย์กลางของอะตอม คือ นิวเคลียส ประกอบด้วยอนุภาคของสสารที่เรียกว่า นิวคลีออนส์ (NUCLEONS) มี 2 ชนิด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) โปรตอนซึ่งเป็นประจุบวก จำนวนของโปรตอนของธาตุแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน เช่น นิวเคลียสของอะตอมไฮโดรเจนประกอบด้วยโปรตอน 1 ตัว อะตอมของยูเรเนียมโปรตอน 92 ตัว และ อะตอมของฮีเลียมมีโปรตอน 105 ตัว
- 2) นิวตรอน ซึ่งเป็นกลางทางไฟฟ้า (ไม่มีประจุ)

อิเล็กตรอน

อิเล็กตรอนซึ่งเป็นประจุลบโคจรรอบ ๆ นิวเคลียส เพื่อความเหมาะสมพูดได้ว่าการโคจรของอิเล็กตรอนแต่ละตัวได้กำหนดวงไว้อย่างแน่นอน อิเล็กตรอนกระจายอยู่ในชั้นต่างๆ (เรียกว่าเชลล์) รอบ ๆ นิวเคลียส เชลล์ที่อยู่ใกล้นิวเคลียส (เชลล์ K) ประกอบด้วยอิเล็กตรอน 2 ตัว เชลล์ต่อไป คือ L ประกอบด้วยอิเล็กตรอน 4 ตัวต่อไปเป็นเชลล์ M ประกอบด้วยอิเล็กตรอน 18 ตัว และ เชลล์ N ประกอบด้วยอิเล็กตรอน 32 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และ 2.6

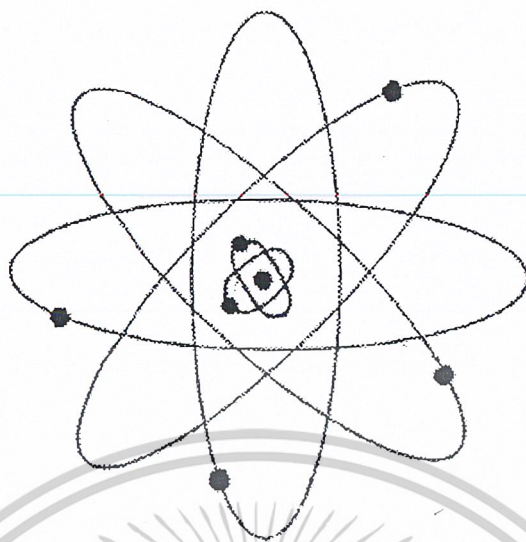


รูปที่ 2.5 อะตอมของฮีเลียม

อะตอมของฮีเลียมมีนิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอน 2 ตัว และนิวตรอน 2 ตัว โดยมีอิเล็กตรอน 2 ตัว โคจรรอบ ๆ นิวเคลียส

อะตอมของคาร์บอน มีนิวเคลียสประกอบด้วยโปรตอน 6 ตัว และ นิวตรอน 6 ตัว โดยมีอิเล็กตรอน 6 ตัว โคจรรอบ ๆ นิวเคลียส (มีอิเล็กตรอน 2 ตัว ในเชลล์ K และ มีอิเล็กตรอน 4 ตัว อยู่ในเชลล์ L) แรงดึงดูดของอิเล็กตรอนควบคุมโดยกฎของควอนตัม-แมชชีน (QUANTUM MECHANICS) ความจริงวงโคจรจะเปลี่ยนไปในแต่ละครั้งในเวลาเคลื่อนที่ และไม่ทราบทางเดินที่แน่นอนของอิเล็กตรอนจากเหตุผลอันนี้ เราพูดถึงกลุ่มของอิเล็กตรอนที่ขึ้น ๆ ลง ๆ ที่เกิดขึ้นเป็นประจำมาแทนแนวความคิดของ “การโคจร” สำหรับการโคจร และกล่าวถึงอะตอมในเทอมของความเป็นไปได้ของการค้นพบอิเล็กตรอนอยู่ในแถบนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 อะตอมของคาร์บอน

ไอออน

โดยทั่วไปแล้ว อะตอมเป็นกลางทางไฟฟ้า เนื่องจากมันประกอบด้วย โปรตอน และอิเล็กตรอน อย่างเป็นจำนวนเท่า ๆ กัน อย่างไรก็ตามภายใต้ภาวะบางอย่างอาจจะมีอิเล็กตรอนตัวหนึ่ง หรือมากกว่าหลุดออกไปจากวงโคจรของมัน และทำให้อิเล็กตรอนเป็นประจุบวก ซึ่งในทางกลับกันถ้าอิเล็กตรอนที่โคจรรอบ ๆ นิวเคลียสมากเกินไป อะตอมกลายเป็นประจุลบ

โปรตอน

ในบางครั้งนิวเคลียสไม่คงที่ โปรตอนอาจเปลี่ยนกับเป็นนิวตรอนในขบวนการอย่างนี้ อิเล็กตรอนบวก (หรือ POSITRON) ถูกปล่อยออกมา ซึ่งจะพบได้ทันทีว่าอิเล็กตรอนสูญหายไปหนึ่งตัว ที่หลุดออกจากโฮลล์ (HOLE) สำหรับอนุภาค 2 ตัวของพลังงานซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วของแสง ขบวนการนี้รู้จักกันในชื่อของ ภาวะการทำเน่าล้าง (ANNIHILATION) ของอิเล็กตรอน และโปรตอน และนำไปสู่การผลิตแม่เหล็กไฟฟ้ารังสีแกมมา

ในปี พ.ศ. 2443 PLANCK ได้สังเกตว่าการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างสสารกับการแผ่รังสีของคลื่นแสงเป็นลักษณะไม่ต่อเนื่อง และตั้งเป็นทฤษฎี ควอนตัม อนุภาคของพลังงานนี้ ได้ชื่อว่าเอ็นเนอร์จี้ควอนตา (ENERGY QUANTA) คือ โปรตอนนั่นเอง

ในการทดลองของ PLANCK พลังงาน E ที่ปล่อยออกมาเท่ากับผลคูณ $E = mc$ ซึ่งคือ มวลของอิเล็กตรอนที่สูญหายไป 2 ตัวในแต่ละครั้งพลังงาน E นี้เป็นสัดส่วนกับความถี่ของการแผ่กระจายที่ปล่อยออกมาด้วยเหมือนกัน

$E = h \nu$ ซึ่ง h คือ ค่าคงที่รู้จักกันในนามของค่าคงที่ของ PLANCK ผลคูณของ h คือ ค่าพลังงานของโปรตอนอนุพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และรังสีที่เกิดขึ้นก็มีอำนาจทะลุทะลวงมากขึ้นด้วย ตารางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงให้เห็นว่า รังสีอัลตราไวโอเล็ตผ่านผิวหนังของเราได้ รังสีเอ็กซ์ผ่านร่างกายของเราได้ตลอดรังสีแกมมาผ่านกำแพงคอนกรีตได้ และรังสีคอสมิกผ่านตะกั่วที่มีความหนา 1 เมตรได้

สังเกตว่าแสงที่มองเห็นได้ คือ โพรตรอนประกอบด้วยพลังงานมากพอที่จะเคลื่อนอิเล็กตรอน หรือ จะพูดว่าเป็นกระแสไฟฟ้าก็ได้

รังสีอินฟราเรด

การค้นพบ

ต้นศตวรรษที่ 19 HERSCHEL นักดาราศาสตร์ชาวอังกฤษได้ค้นพบว่าการแผ่กระจายของรังสีอินฟราเรด ในขณะที่เขาพยายามที่จะสังเกตแสงอาทิตย์ผ่านกล้องจุลทรรศน์โดยใช้แผ่นกรองแสงสีดำเขาประหลาดใจที่รู้สึกว่าได้สัมผัสกับความร้อน เขาใช้เทอร์โมมิเตอร์ตรวจสอบโซลาร์สเปกตรัม (SOLAR SPECTRUM) ทั้งหมดและสังเกตพบว่าการแผ่กระจายของรังสีบางอย่างที่มองไม่เห็นด้วยนัยน์ตามีกำลังให้ความร้อนผิดปกติ เขาได้เขียนรายงานถึง ROYAL SOCIETY ในกรุงลอนดอน “SOLAR RADIATION IS AT LEAST PARTICALLY , IF I MAY USE THE EXPRESSION , INVISIBLE LIGHT” ครั้งแรกรังสีนี้เรียกรวมกันว่า “รังสีอินฟราเรด” แหล่งกำเนิดนี้ สสารที่อยู่ในลักษณะที่สั้นตลอดเวลา และที่อยู่รอบตัวเราแผ่กระจายรังสีอินฟราเรด แหล่งกำเนิดที่รู้จักกันดี และเห็นได้ง่ายที่สุด คือ แสงอาทิตย์ หลอดไฟโอรเซยของปรอทหรือจากราตุซีเซียม หลอดไส้แสงสว่าง (คาร์บอนหรือทังสแตน) เป็นต้น

สสารที่อยู่ในลักษณะที่สั้นตลอดเวลาและที่อยู่รอบตัวเราแผ่กระจายรังสีอินฟราเรด แหล่งกำเนิดที่รู้จักกันดี

ส่วนใหญ่โลหะจะปล่อยรังสีในแถบอินฟราเรด โดยเฉพาะกรณีของคาร์บอน ไดออกไซด์เลเซอร์ (+10 ไมโครเมตร) ที่ใช้ในศัลยกรรมทางการแพทย์

ตัวรับรังสีอินฟราเรด บางอย่างที่มีความไวมากสามารถตรวจพบแสงอินฟราเรดที่อยู่ไกลออกไปถึง 100 กิโลเมตรได้ ในชั้นบรรยากาศ

การส่งผ่านชั้นบรรยากาศ

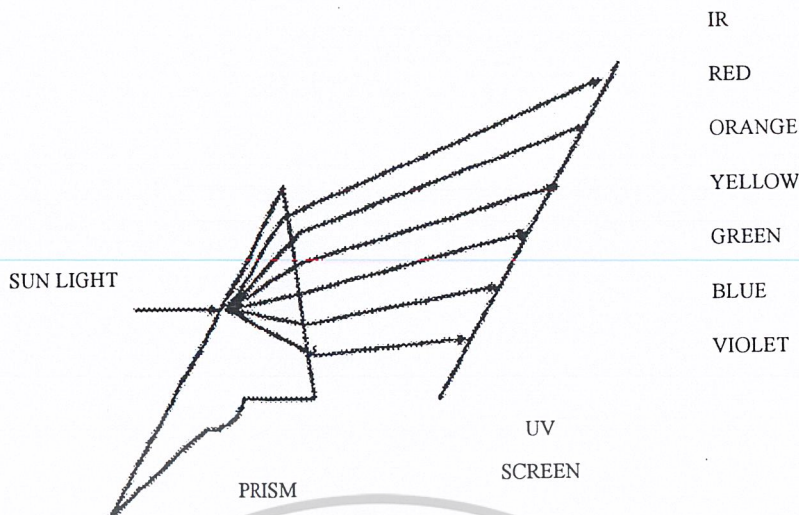
เนื่องจากรังสีอินฟราเรดมีความยาวคลื่นยาวกว่าแสงที่ตามองเห็นได้จึงมีการหักเหน้อยกว่าฉะนั้นอุปสรรคต่างๆ เช่น เมฆหมอกจึงมีผลน้อยกว่า จากเหตุนี้จึงได้มีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในการถ่ายภาพทางอากาศ

ระหว่างสงครามโลกครั้งที่สอง เยอรมันได้ใช้เทคโนโลยีโดเลนส์ซึ่งมีความยาวของจตุรวมแสง 30 เมตรเพื่อถ่ายภาพหน้าผาโดเวอร์ (DOVER) และสายอากาศรับ-ส่งของอังกฤษจากชายฝั่งทะเลของฝรั่งเศสด้วยแสงอินฟราเรด แม้จะมีหมอกจากทะเลซึ่งอาจทำให้มองไม่เห็น

อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าโมเลกุลของไนโตรเจน และออกซิเจนในอากาศ ยอมให้แสงอินฟราเรดผ่านได้ตลอด แต่จะนำมาใช้กับก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ หรือน้ำไม่ได้ ซึ่งก๊าซที่กล่าวถึงไปแล้มนั้น จะ

เกือกดูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การกระจายของแสงอาทิตย์ที่ผ่านปริซึม

2.5.3 รังสีที่มองเห็นได้

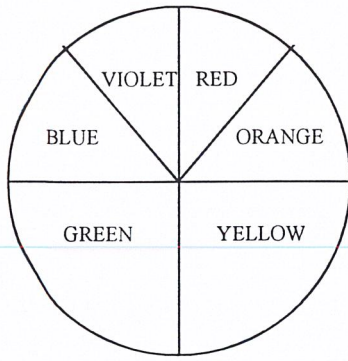
การทดลองของนิวตัน

การทดลองครั้งแรกของนิวตัน ประกอบด้วย การให้ลำแสงของแสงอาทิตย์ผ่านปริซึม หลังจากที่ได้มีการหักเหของแสงในปริซึมแล้วลำแสงพุ่งตรงไปยังจอสีขาว และจะปรากฏเป็นแถบสีรุ้ง

จากการวิเคราะห์แสงอาทิตย์ โดยวิธีนี้เห็นได้ว่า มันประกอบด้วยรังสีต่าง ๆ เป็นจำนวนมากมาย โดยแต่ละรังสี จะมีความยาวคลื่น และสีของมันเอง การแผ่รังสีแต่ละรังสีเรียกว่า “โมนโครเมติกเรดิเอชัน” (MONOCROMATIC RADIATION) แถบของการแผ่รังสีซึ่งนัยน์ตาของเราจับได้ เริ่มจากปลายสีแดงสุด (ความยาวคลื่น 0.75 ไมโครเมตร) ที่ปลายแต่ละด้านของแถบแสงที่มองเห็นได้คือ แสงอินฟราเรด และแสงอุลตราไวโอเล็ต ซึ่งเป็นแสงที่มองไม่เห็น

แสงสีแดง	หมายถึง ความยาวคลื่นสีแดง	0.65 ไมโครเมตร
แสงสีส้ม	หมายถึง ความยาวคลื่นสีส้ม	0.60 ไมโครเมตร
แสงสีเหลือง	หมายถึง ความยาวคลื่นสีเหลือง	0.58 ไมโครเมตร
แสงสีเขียว	หมายถึง ความยาวคลื่นสีเขียว	0.53 ไมโครเมตร
แสงสีน้ำเงิน	หมายถึง ความยาวคลื่นสีน้ำเงิน	0.47 ไมโครเมตร
แสงสีม่วง	หมายถึง ความยาวคลื่นสีม่วง	0.41 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การสังเคราะห์แสงโดยการหมุนแผ่นกลม

การนำเอาสีครามเข้ามารวมในแถบสีนี้ เป็นความผิดพลาดอย่างหนึ่ง สีครามเป็นสีที่ได้จากการสังเคราะห์ โดยการผสมสีน้ำเงินกับสีเทาเข้าด้วยกัน ภายหลังจากการวิเคราะห์แสงอาทิตย์เข้าไปยังองค์ประกอบของมัน ที่แผ่กระจายออกไป นิวตันได้พยายามอ้างเหตุผลสรุปโดยตรง จากสมมุติฐานและกฎเกณฑ์ที่มีอยู่จากแสงอาทิตย์ เขาได้ทำสีลงบนแผ่นกระดาษแข็งกลมด้วยแถบสีดังในรูปที่ 2.9 เมื่อหมุนแผ่นกระดาษกลมด้วยความเร็ว นิวตัน ได้สังเกต จากผลที่ได้รับคือ มีสีเพิ่มขึ้นมาจากภาพลวงตาของแสงที่เห็นปรากฏว่าแผ่นกระดาษกลมนั้นเป็นสีขาว เขาได้ประสบความสำเร็จในการสังเคราะห์แสงสีขาว

2.5.4 รังสีอุลตราไวโอเล็ต

การค้นพบ

หลังจากที่ค้นพบรังสีอินฟราเรดไม่นาน RITTER ได้สังเกตว่าผลึกของซิลเวอร์คลอไรด์ที่ถูกแสงอุลตราไวโอเล็ตในโซลาร์-สเปกตรัม จะกลายเป็นเงินคั่นรูป รังสีนี้ได้ชื่อว่ารังสี “ชิมิคอล” (CHEMICAL) เนื่องจากผลของการแผ่รังสีของมัน เส้นแบ่งเขตระหว่างแสงที่มองเห็นได้กับรังสีอุลตราไวโอเล็ต ขึ้นอยู่กับนักสังเกตการณ์แต่ละคน จะอยู่ที่ตำแหน่งของความยาวคลื่นประมาณ 0.4 ไมโครเมตร หรือ 4000 อามสตรอง

แหล่งกำเนิด

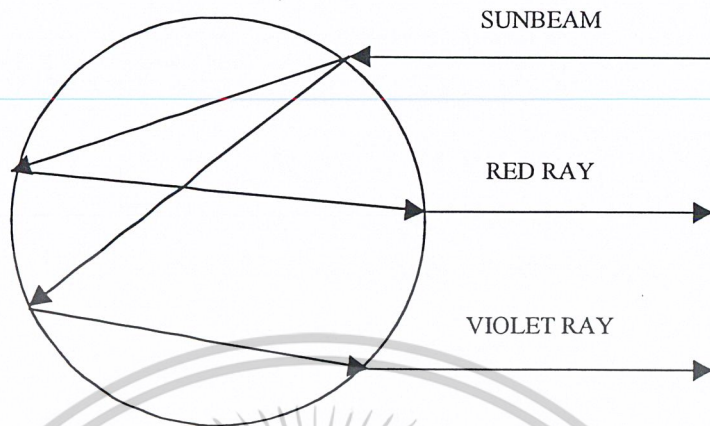
หลอดไฟฟ้าให้แสงอุลตราไวโอเล็ตน้อยมากในจำพวกแหล่งกำเนิดที่รู้จักกันดีที่สุด คือหลอดไฟอาร์ค ซึ่งเปล่งแสงเมื่อไฟฟ้าคลาปประจุกร้อมแท่งคาร์บอน หรือแท่งโลหะอิเล็กโตรด ทั้งสองคายประจุเรืองแสง เช่น หลอดปรอท ไอระเหยที่มีความดันต่ำ หลอดไฮโดรเจน และหลอดนีออน แหล่งกำเนิดที่สำคัญที่สุดของแสงอุลตราไวโอเล็ตคือ ดวงอาทิตย์นั่นเอง

2.5.5 สีรุ้ง

นิวตันเป็นนักวิทยาศาสตร์คนแรก ที่พบความหมายของสีรุ้งเมื่อดวงอาทิตย์ฉายแสงหลังฝนตก หยดน้ำในชั้นบรรยากาศแสดงตัวปริซึมรังสี ที่เกิดจากการหักเหจากหยดน้ำแต่ละหยดที่มุมต่าง ๆ กัน และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตการณ์ สามารถเห็นรังสีได้เพียงรังสีเดียวที่ตรงกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ หยดน้ำ และนัยน์ตาเท่านั้น



รูปที่ 2.9 การกระจายแสงจากหยดน้ำที่ทำให้เกิดผลของสีรุ้ง

2.5.6 แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงของระบบสื่อสารไฟเบอร์ออปติกมีความสำคัญต่อระบบการสื่อสารนี้เป็นอย่างมากถ้าคุณสมบัติไม่ถึงขั้นแล้วระบบสื่อสารนี้ก็จะมีคุณภาพลงไปด้วย

อุปกรณ์ที่เป็นหัวใจสำคัญซึ่งทำให้ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแก้วนำแสง หรือไฟเบอร์ออปติกแตกต่างจากระบบสื่อสารทั่วไปคือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณแสงที่เข้ามาข้อมูลไปตามเส้นใยแสง อุปกรณ์เหล่านี้ทำหน้าที่คล้ายกับตัวแปลงสัญญาณกลับไปกลับมาระหว่างไฟฟ้ากับสัญญาณแสง ซึ่งจะกล่าวดังต่อไปนี้

แหล่งกำเนิดแสง

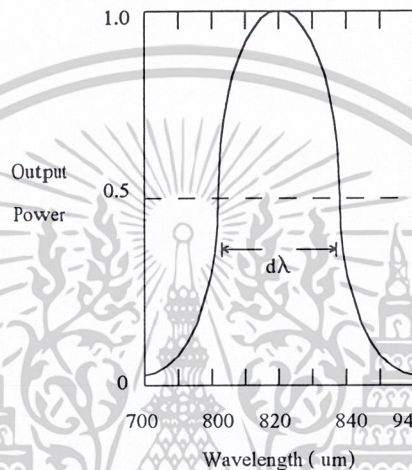
แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในระบบสื่อสารด้วยไฟเบอร์ออปติก จำเป็นต้องมีคุณสมบัติดังนี้คือ

1. สามารถให้แสงที่มีพลังงาน หรือความเข้มแสงมากพอที่จะส่งสัญญาณหรือเดินทางไปตามตลอดระยะทางของการสื่อสารได้
2. โครงสร้างของแหล่งกำเนิดแสง ต้องสามารถส่งพลังงานแสงส่วนใหญ่ หรือทั้งหมดเข้าไปในไฟเบอร์ออปติก ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็กได้ นั่นคือมุมของการเกิดแสงจากแหล่งกำเนิดต้องเป็นมุมแคบและมีทิศทางที่แน่นอนในกรณีที่แสงจากแหล่งกำเนิดมีลักษณะกระจายเป็นมุมกว้างสามารถใช้อุปกรณ์แค่ปลิงแสง เช่น เลนส์นูนเข้ามาช่วยเพื่อรวมแสงส่วนใหญ่พุ่งเข้าสู่ไฟเบอร์ออปติกได้
3. ความยาวคลื่นของแสงที่ได้ต้องมีความเหมาะสมกับไฟเบอร์ออปติกมากที่สุดมีค่าประมาณ 1.55 ไมครอน รองลงมาอาจได้แก่ 1.3 ไมครอน และ 0.82 ไมครอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ไลน์วิดธ์ (LINE WIDTH) ของแสงที่ได้ จะต้องมิต้าน้อย ๆ เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลได้ในปริมาณมาก ๆ ได้
5. ช่วงเวลาตอบสนองของแหล่งกำเนิด หรือช่วงเวลาที่แหล่งกำเนิดได้รับสัญญาณไฟฟ้าแล้วสร้างสัญญาณแสงออกมาต้องมีค่าสั้นมาก ๆ อันจะมีผลทำให้ได้วงจรไครเวอร์ที่สามารถส่งข้อมูลปริมาณมาก ๆ ได้ดี
6. พลังงานแสงต้องมีค่าคงที่ต่อเนื่องตลอดเวลา และไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ อันเนื่องมาจากผลของอุณหภูมิ และสภาพแวดล้อม



รูปที่ 2.10 แสดงไลน์วิดธ์ของแหล่งกำเนิดแสง

โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้จะขึ้นอยู่กับระบบ เช่น ในระบบที่มีระยะทางสื่อสารไม่ไกลนัก หรือระบบที่ใช้ในการศึกษา อาจใช้ LED เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณได้ ส่วนในระบบที่ต้องการประสิทธิภาพสูง ๆ จะใช้แสงเลเซอร์เป็นตัวนำข้อมูล ซึ่งอาจอยู่ในลักษณะของเลเซอร์ไดโอด (LD) หรือเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ชนิดต่าง ๆ ก็ได้ ในที่นี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์กำเนิดแสงที่เป็น LED และเลเซอร์ไดโอดเท่านั้น

แหล่งกำเนิดแสง

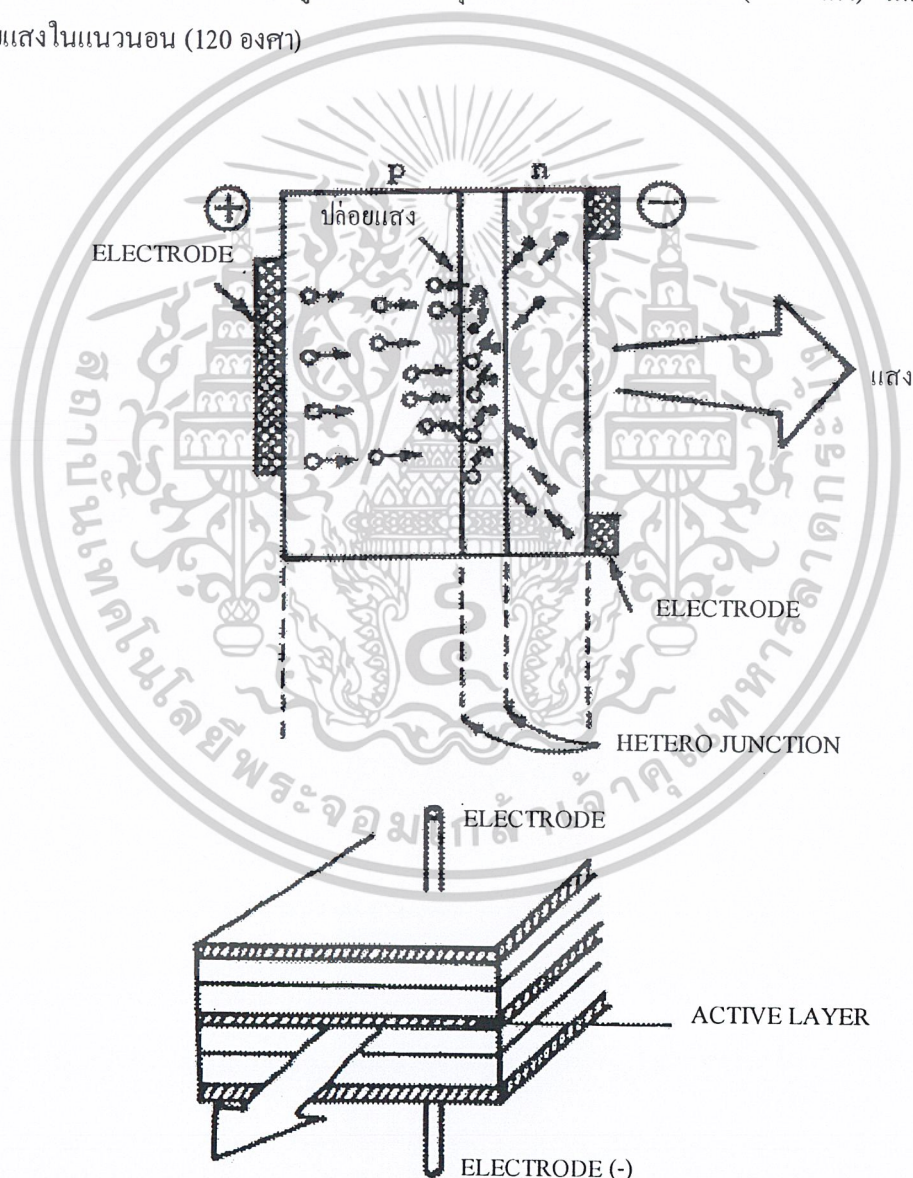
LIGHT EMITTING DIODE

LED (LIGHT EMITTING DIODE) หรือก็คือ ไดโอดที่ถูกออกแบบโครงสร้างให้สามารถแปลงพลังงานแสงออกมาได้เมื่อมีการไบแอสที่ถูกต้อง ลักษณะโครงสร้างของ LED แบบพื้นฐานที่ใช้ในระบบไฟเบอร์ออปติก แสดงดังรูปที่ 2.11 ซึ่งประกอบไปด้วยสารชนิดแกลเลียมอาร์เซไนด์หรือ GaAs (LED ทั่วไปจะใช้สารพวกเจอร์เมเนียมหรือซิลิกอน) ถูกได้เป็นชนิด P (มีโฮลหรือประจุบวกมากกว่า) และชนิด N (มีอิเล็กตรอนอิสระมากกว่า) วางต่อกัน หลักการทำงานก็เหมือนไดโอดหรือ LED ธรรมดาทั่วไป เมื่อมีการไบแอสถูกทางด้วยค่าที่เหมาะสม จะเกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไปยังโฮลในระหว่างช่วงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไวส์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอยต่อของสาร P-N (ที่เรียกว่าบริเวณดีพลีชันหรือเขตปลอดพาหะ) และมีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของชั้นอิเล็กตรอน เกิดการคลายพลังงานออกมาภายนอกในรูปแบบของแสง

บางครั้งสารที่ใช้ทำ LED อาจเป็นประเภทแกเลียมอาร์เซไนด์ฟอสเฟอ (GaAsP) แกเลียมฟอสเฟอ (GaP) อะลูมิเนียมแกเลียมอาร์เซไนด์ (AlGaAs) หรืออินเดียมแกเลียมอาร์เซไนด์ฟอสเฟอ (InGaAsP) ก็ได้ เพื่อเปลี่ยนแปลงขนาดความยาวคลื่นแสงที่ได้

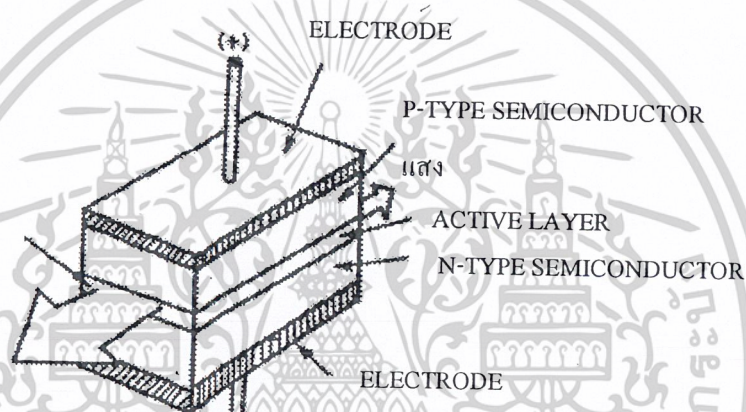
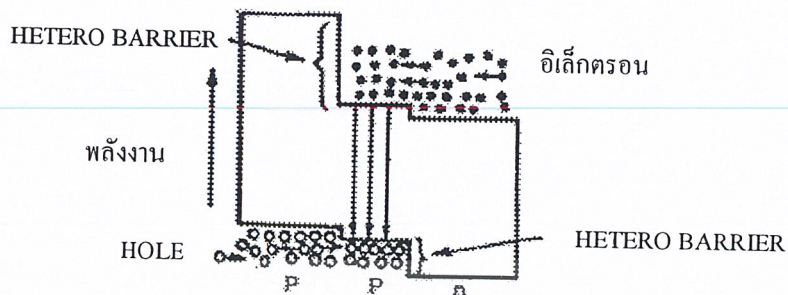
แสงที่เปล่งออกมาจาก LED ในช่วงรอยต่อ จะมีลักษณะกระจายระยไม่มีแนวทางเดียวกันนัก และมักทำมุมค่อนข้างกว้างทำให้แสงที่ได้มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำการแก้ไขทำได้ โดยปรับปรุงโครงสร้างของสารให้แสงมีการรวมตัวออกมาทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งลักษณะของแสงที่เปล่งออกมามากจะมีพื้นที่ภาคตัดขวางเป็นรูปวงรี โดยมีมุมกระจายแสงในแนวตั้ง (30 องศา) เล็กกว่า มุมกระจายแสงในแนวนอน (120 องศา)



รูปที่ 2.11 โครงสร้างภายในของ LED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลเซอร์ไดโอด (LD)



รูปที่ 2.12 โครงสร้างเลเซอร์ไดโอด

เลเซอร์ไดโอดเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทเดียวกับไดโอด แต่ถูกออกแบบให้สามารถเปล่งแสงเลเซอร์ออกมาได้ลักษณะของแสงเลเซอร์เป็นแสงที่เป็นระเบียบมีทิศทางการพุ่งของแสงไปในทางเดียวกันและมีเฟสตรงกันทำให้มีความเข้มแสงสูงมากลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของเลเซอร์ไดโอด แสดงดังรูปที่ 2.12 ซึ่งประกอบด้วยสารแบบเดียวกับที่ใช้ทำ LED ดังกล่าวมาแล้วตอนต้นแต่ที่ปลายทั้งสองด้านถูกเคลือบด้วยสารที่ทำหน้าที่เสมือนกระจกเงา

เมื่อมีการไบแอสที่เหมาะสมทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโฟตอนในระหว่างเขตปลอดพาหะ เมื่อโฟตอนเคลื่อนที่ไปกระทบโฟตอนตัวอื่นจะมีการถ่ายเทพลังงานทำให้เกิดมีโปรตรอนตัวใหม่เพิ่มขึ้นมากมาย และสะท้อนกลับไปกลับมาบริเวณรอยต่ออันเนื่องมาจากกระจกเงาที่ปลายทั้งสอง พฤติกรรมเช่นนี้ทำให้เกิดการสะสมพลังงานภายในมากขึ้นอย่างเป็นระเบียบเมื่อพลังงานมีค่ามากพอจะพุ่งทะลุกระจกเงาด้านหนึ่งออกมาเป็นแสงเลเซอร์หลักการทำงานที่กล่าวมานี้เป็นเพียงแนวทางการเกิดแสงเลเซอร์อย่างคร่าว ๆ เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไบแอสเลเซอร์ไดโอดให้ทำงานจนเปล่งแสงเลเซอร์ออกมาได้ขึ้นอยู่กับค่าของกระแสที่ป้อนให้กับตัวมัน โดยจะต้องมีค่าสูงกว่าค่ากระแสเทอร์ชโฮลต์เลเซอร์ไดโอดยังคงทำงานอยู่ แต่แสงที่เปล่งออกมาจะมีลักษณะสะเปะสะปะคล้ายกับการเปล่งแสงของ LED ธรรมดาในอดีตกระแสเทอร์ชโฮลต์ของเลเซอร์ไดโอดมีค่าสูงมาก ทำให้การใช้งานเลเซอร์ไดโอดถูกจำกัดในวงแคบ เพราะต้องออกแบบวงจรที่ค่อนข้างยุ่งยาก แต่ในปัจจุบันเลเซอร์ไดโอดถูกออกแบบให้ใช้กระแสเทอร์ชโฮลต์เพียงไม่กี่มิลลิแอมป์ ทำให้สามารถสร้างวงจรจับหรือ ไครเวอร์ขึ้นได้ง่าย

อุปกรณ์รับสัญญาณแสง

อุปกรณ์รับสัญญาณแสงหรือโฟโตดีเทกเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นข้อมูลทางไฟฟ้าคุณสมบัติที่สำคัญของโฟโตดีเทกเตอร์ในระบบสื่อสาร ได้แก่

1. ต้องมีความไวในการรับแสงได้ดีเฉพาะในช่วงที่ต้องการเนื่องจากการส่งสัญญาณแสงจะใช้ความยาวคลื่นแสงในช่วงคลื่นเฉพาะ ดังนั้นหากแสงอื่นที่มีความยาวคลื่นไม่เกี่ยวข้องกันมาตกกระทบพร้อมกันย่อมทำให้ข้อมูลมีการผิดพลาดได้
2. เวลาในการตอบสนองสัญญาณต้องสั้นมากกล่าวคือเมื่อมีแสงตกกระทบโฟโตดีเทกเตอร์ต้องเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยเวลาที่สั้นที่สุด เพื่อที่ว่าข้อมูลจำนวนมากใช้รับส่งด้วยความเร็วสูงได้
3. ในระบบสื่อสารแบบอนาล็อกต้องใช้โฟโตดีเทกเตอร์ชนิดลิเนียร์เพื่อลดการผิดเพี้ยนของสัญญาณลงให้น้อยที่สุด
4. สัญญาณรบกวนภายใน อันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมต้องมีค่าน้อยที่สุด

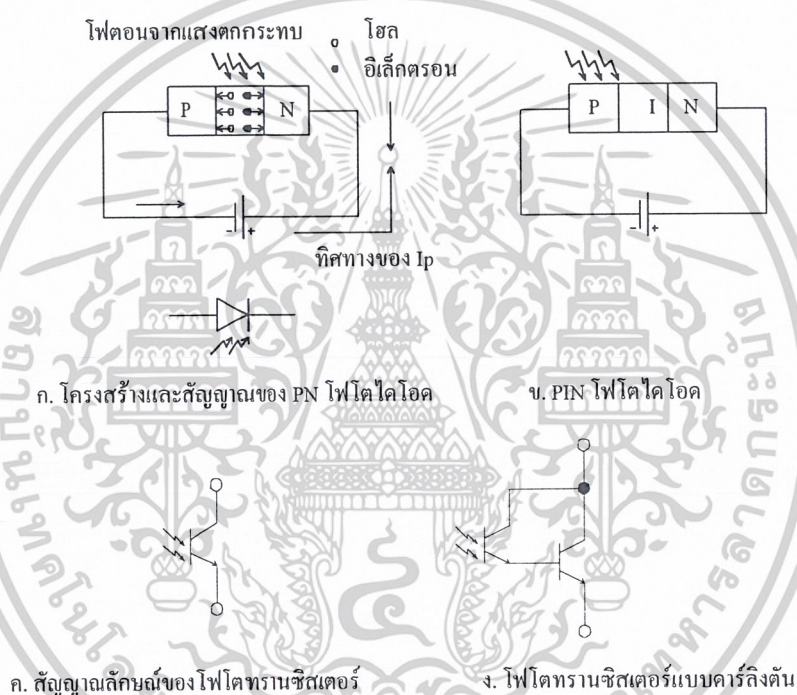
โฟโตดีเทกเตอร์ที่ใช้งานในท้องตลาดมีหลายชนิดเริ่มจาก “โฟโตไดโอด” ธรรมดา ดังแสดงในรูปที่ 2.13 มีหลักการทำงานตรงข้ามกับไดโอดเปล่งแสงหรือ LED กล่าวคือ เมื่อไดโอดได้รับพลังงานแสงจากภายนอก จะทำให้เกิดโฟตอนขึ้นในบริเวณปอดพาหะหรือรอยต่อ P-N เกิดเป็นกระแสรั่วไหล หรือกระแสมืด (DARK CURRENT) ไหลในช่วงนี้หากมีการไบแอสกลับให้แก่ไดโอดบริเวณปอดพาหะจะขยายกว้างขึ้นเป็นผลให้มีกระแสไหลมากขึ้นทิศทางการไบแอสกลับให้แก่ไดโอดบริเวณปอดพาหะจะขยายกว้างขึ้นเป็นผลให้มีกระแสไหลมากขึ้นทิศทางการไหลของกระแสเนื่องจากแสงนี้มีทิศทางเดียวกับการไบแอสกลับ คือ จะไหลจากขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟเข้าสู่ขั้วแคโทดของไดโอด

การเพิ่มบริเวณปอดพาหะให้กว้างขึ้นนอกจากทำได้โดยการเพิ่มค่าแรงดันไบแอสกลับของโฟโตไดโอดแล้วอาจทำได้โดยตรงกับโครงสร้างภายในของมันโดยแทรกสารแบบอินทรินซิน ไว้ระหว่างรอยต่อ P-N ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าเป็น โฟโตไดโอดชนิด PIN ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ซึ่งช่วยให้ได้กระแสไหลมากขึ้นกว่าโฟโตไดโอดแบบธรรมดาเมื่อมีแสงตกกระทบ จากผลโครงสร้างแบบ PIN ทำให้โฟโตไดโอดชนิดนี้มีโหมดการทำงานได้สองแบบ คือ “โหมดโฟโตวอลตาอิก” ซึ่งจะผลิตกระแสเมื่อแสงตกกระทบโดยไม่ต้องมีการไบแอสเลย และ “โหมดโฟโตคอนดักทิฟ” เป็นการทำงานเมื่อมีการไบแอสกลับให้กับตัวมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟโตไดโอดแบบอะวาลานซ์ (APD) อาศัยหลักการทำงานเช่นเดียวกับอะวาลานซ์ไดโอด ทำให้มีกระแสไหลมากกว่าโฟโตไดโอดธรรมดาหลายเท่า แต่ก็มีข้อเสียตรงที่มีความไวต่ออุณหภูมิสูง และเกิดสัญญาณรบกวนมากการใช้งานโฟโตไดโอดแบบอะวาลานซ์จำเป็นต้องใช้แรงดันไบแอสกลับค่อนข้างสูง (ประมาณ 40-400 โวลต์) แต่ก็เป็นผลดีเพราะทำให้เวลาตอบสนองสัญญาณสั้นมาก

โฟโตทรานซิสเตอร์นับเป็นโฟโตดีเท็กเตอร์อีกชนิดหนึ่งที่พวกเราคุ้นเคยกันดี หลักการทำงานของมัน จะขึ้นกับขนาดความเข้มแสงที่ตกกระทบ เปรียบเสมือนกับต่อโฟโตไดโอดเข้ากับขาเบสของทรานซิสเตอร์ เมื่อแสงที่มีความเข้มตกกระทบกระแสไหลผ่านโฟโตไดโอดที่ขาเบสจะมีค่ามากทำให้กระแสที่ขาคอลเล็กเตอร์ มีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย ในรูปที่ 2.13 เป็น โฟโตทรานซิสเตอร์แบบธรรมดา



รูปที่ 2.13 โฟโตดีเท็กเตอร์

ข้อดีของโฟโตทรานซิสเตอร์ คือ สามารถดีเท็กสัญญาณที่มีขนาดเล็กน้อย ๆ ได้ดี แต่มีช่วงเวลาตอบสนองสัญญาณค่อนข้างช้าคือ มีช่วงเวลาที่ขึ้น (RISE TIME) ประมาณ 10 ไมโครวินาที ซึ่งไม่เหมาะกับระบบข้อมูลขนาดใหญ่ในการใช้งานกับระบบที่มีข้อมูลจำนวนมากหรือแบนด์วิดท์สูง ๆ (100 เมกะเฮิรตซ์ ขึ้นไป) จะใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ชนิด PIN-FET ที่มีโครงสร้างเป็นวงจรรวมเสมือนมี PIN โฟโตไดโอดเป็นตัวดีเท็กสัญญาณ และมีวงจรถานซิสเตอร์แบบ FET เป็นตัวขยายสัญญาณอยู่ในตัวถึงเดียวกันจากหลักการนี้ ทำให้ได้โฟโตดีเท็กเตอร์ที่มีความไวในการรับสัญญาณสูง และมีค่าสัญญาณรบกวนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรโครเวอร์

วงจรโครเวอร์หรือวงจรขับสัญญาณเป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยให้แหล่งกำเนิดแสงที่เป็น LED หรือ เลเซอร์ไดโอด ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลักษณะวงจร โครเวอร์สำหรับ LED ค่อนข้างแตกต่างจากวงจรของเลเซอร์ไดโอด ทั้งนี้เนื่องจาก LED มีคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นในการเปล่งแสงตามค่ากระแสไบแอสโดยตรง ทำให้เหมาะสำหรับระบบสื่อสารที่ใช้ข้อมูลแบบอนาล็อก ในขณะที่พลังงานแสงที่เปล่งออกมาจากเลเซอร์ไดโอด มักมีการเปลี่ยนแปลงสูงมากอย่างรวดเร็ว ทั้ง ๆ ที่กระแสไบแอสที่มากกว่ากระแสเทรชโฮลด์มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจึงนิยมใช้เลเซอร์ไดโอดกับวงจรขับสัญญาณที่มีข้อมูลเป็นแบบดิจิทัล

วงจรสำหรับ LED

ในรูปที่ 2.14 เป็นวงจรโครเวอร์ LED สำหรับสัญญาณอนาล็อก

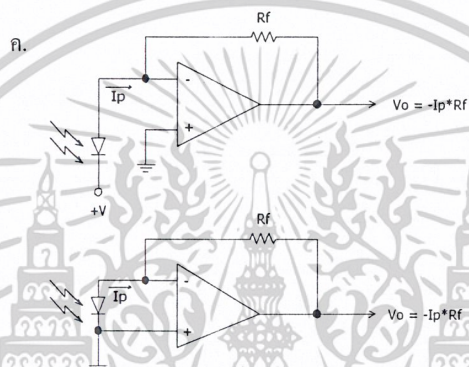
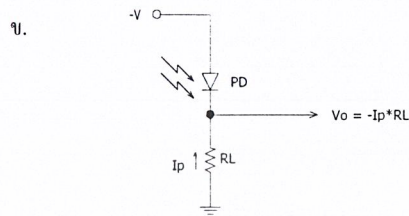
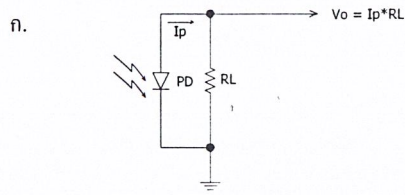


รูปที่ 2.14 วงจร โครเวอร์ LED แบบอนาล็อก

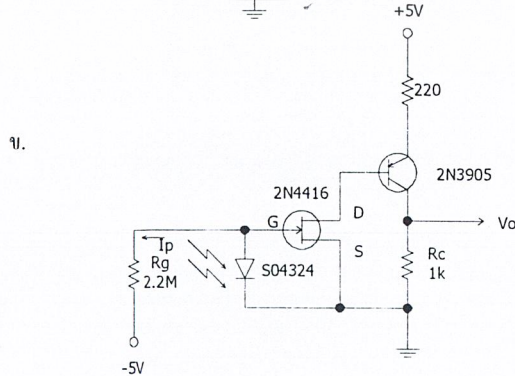
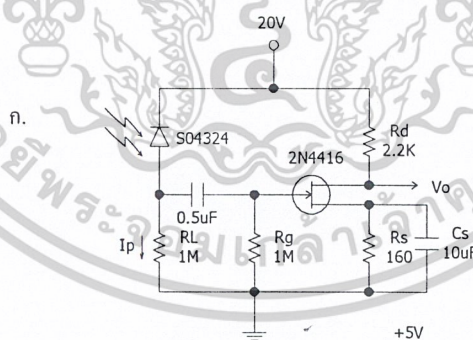
วงจรซีเท็กเตอร์

ในตอนต้น ได้กล่าวถึงโหมดการทำงานของโฟโตไดโอดไปบ้างแล้วลักษณะวงจรทำงานในแบบของโหมดโฟโตวอลตาจิก แสดงดังรูปที่ 2.15 โดยการต่อโฟโตไดโอดอนุกรมกับตัวต้านทานโหลด R_L เมื่อมีแสงตกกระทบบจะเกิดกระแสไหล ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมโหลด R_L มีค่าเท่ากับ $I_p * R_L$ เมื่อ I_p คือ กระแสที่ไหลในวงจรอนุกรมซึ่งมักมีค่าไม่มาก หากต้องการให้กระแส I_p มีค่ามากขึ้น ต้องเพิ่มแรงดันไบอัสให้กับโฟโตไดโอด ดังรูปที่ 2.15 เพื่อให้เกิดการทำงานในโหมดโฟโตคอนดักทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 วงจรทำงานของโฟโตไดโอด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.16 ซึ่งวงจรโฟโตดีเทกเตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์หันไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติมักจะใช้วงจรที่ทำให้ค่าแรงดันตกคร่อมโฟโตไดโอดมีค่าคงที่ตลอดเวลา เพื่อช่วยให้สามารถสร้างกระแส I_p ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังเช่นวงจรในรูปที่ 2.15 และรูปที่ 2.15 ที่ทำงานในโหมดต่างกัน แต่ค่าของดันเอาต์พุต V_{out} ที่ต้องการมีค่าเป็นไปตามสมการเดียวกัน คือ $V_{out} = I_p * R_f$ วงจรในรูปที่ 2.15 ที่มีโหมดการทำงานแบบโฟโตคอนดักทีฟ จะทำงานได้เร็วกว่าวงจรในรูปที่ 2.15 ซึ่งเป็นชนิดโหมดโฟโตวอลตาจิก และค่าของกระแส I_p เป็นผลอันเนื่องมาจากผลของแสงตกกระทบบ และคำนวณได้จาก $I_p = R * P_{in}$ เมื่อ R เป็นค่าของกระแสต่อพลังงาน (แอมป์/วัตต์) กำหนดด้วยสเปกของมัน และ P_{in} เป็นพลังงานแสงหรือขนาดความเข้มโฟโตไดโอด ขณะมีการไบแอสกลับรวมเข้าไปกับ I_p ด้วย จึงจะได้ค่าจริงออกมา

วงจรในรูปที่ 2.16 เป็นวงจรโฟโตไดโอดที่ใช้ทรานซิสเตอร์เป็นส่วนขยายสัญญาณขั้นต้น โดยที่วงจรในรูปที่ 2.16 (ก) เหมาะสำหรับการใช้งานในระบบอนาล็อกและวงจรในรูปที่ 2.16 (ข) นั้นใช้กับระบบดิจิทัล

2.6 เส้นใยแสง

2.6.1 เส้นใยแสงคืออะไร

เส้นใยแสง คือ 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 นอกจากนี้เนื่องจากกล่าวกันว่าเส้นใยแสงมีขนาดเล็กมากขนาดเท่าเส้นผม นั่น หมายถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกของ CLAD ซึ่งมีขนาดประมาณ 0.1 มม. ส่วน CORE ที่แสงเดินทางผ่านนั้นมีขนาดเล็กลงไปอีก คือ ประมาณหลาย ไมโครเมตร ถึง หลายสิบลไมโครเมตร ซึ่งมีค่าหลายสิบลเท่าของความยาวคลื่นของแสงที่ใช้ งานต่าง ๆ เหล่านี้ เป็นค่าที่กำหนดขึ้นจากคุณสมบัติการส่งและคุณสมบัติทางเมคานิกส์ที่ต้องการ เส้นใยแสงนอกจากมีคุณสมบัติการส่งดีเยี่ยมแล้ว ยังมีลักษณะเด่นกว่าอย่างอื่นอีก เช่น ขนาดเล็ก น้ำหนักเบาอีกด้วย

2.6.2 ลักษณะการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง

ปัญหาอันดับแรกที่ต้องคำนึงถึง คือ ทำอย่างไรจึงจะสามารถป้อนแสงเข้าไปใน CORE ที่มีขนาดเล็กมากของเส้นใยแสงได้ และเมื่อป้อนแสงเข้าไปแล้วแสงนั้นจะเดินทางอย่างไรใน CORE ซึ่งเราจะทำการศึกษาต่อไป

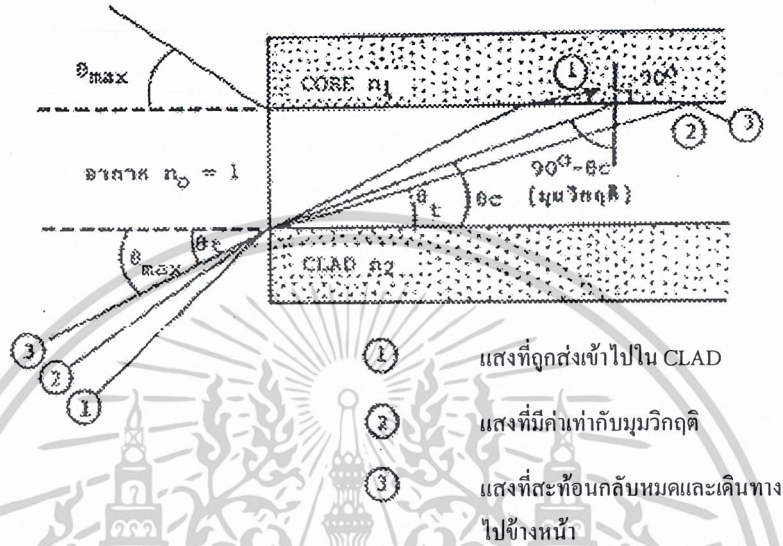
2.6.2.1 การป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสง

เนื่องจากว่าแสงที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงนั้น จะกระจายออกเนื่องจากปรากฏการณ์การเบี่ยงเบนของแสงตามที่ได้กล่าวมาแล้วในกรณีที่แสงเข้าไปใน CORE ที่มีขนาดเล็กมากนั้นต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์อื่นใด การคัดลอกหรือการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตของเจ้าของลิขสิทธิ์ถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

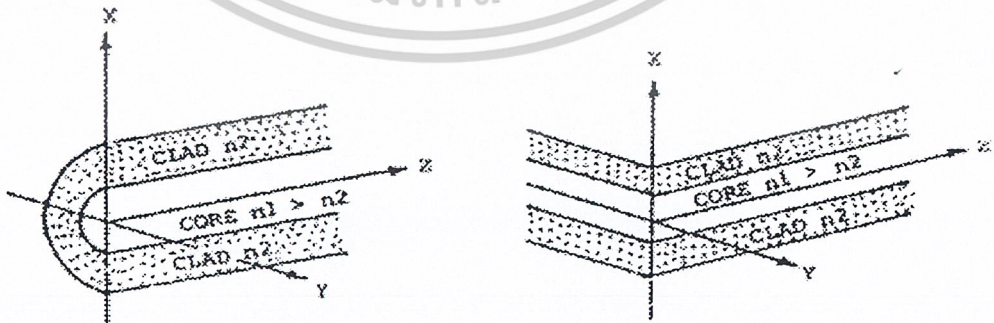
ใช้เลนส์ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป แต่ทว่าแสงที่รวมนั้นไม่ใช่ว่าจะถูกป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงได้ทั้งหมด แสงที่มีมุมตกกระทบที่เหมาะสมเท่านั้นจึงจะสามารถเข้าไปในเส้นใยแสงได้ในรูปข้างล่างแสดงมุมรับแสงของเส้นใยแสงซึ่งจะเห็นได้ว่าที่จุดป้อนแสงของเส้นใยแสงนั้น จะเป็นจุดต่อของตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหของแสงต่างกัน 3 ชนิด



รูปที่ 2.17 แสดงมุมรับแสงของเส้นใยแสง

ตัวกลางทั้ง 3 ชนิดนี้ คือ 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 โหมดการเดินทางของแสงภายในเส้นใยแสง (PROPAGATION MODE)



(a) ท่อนำคลื่นแบบกลม (n_1, n_2 เป็นดัชนีหักเห)

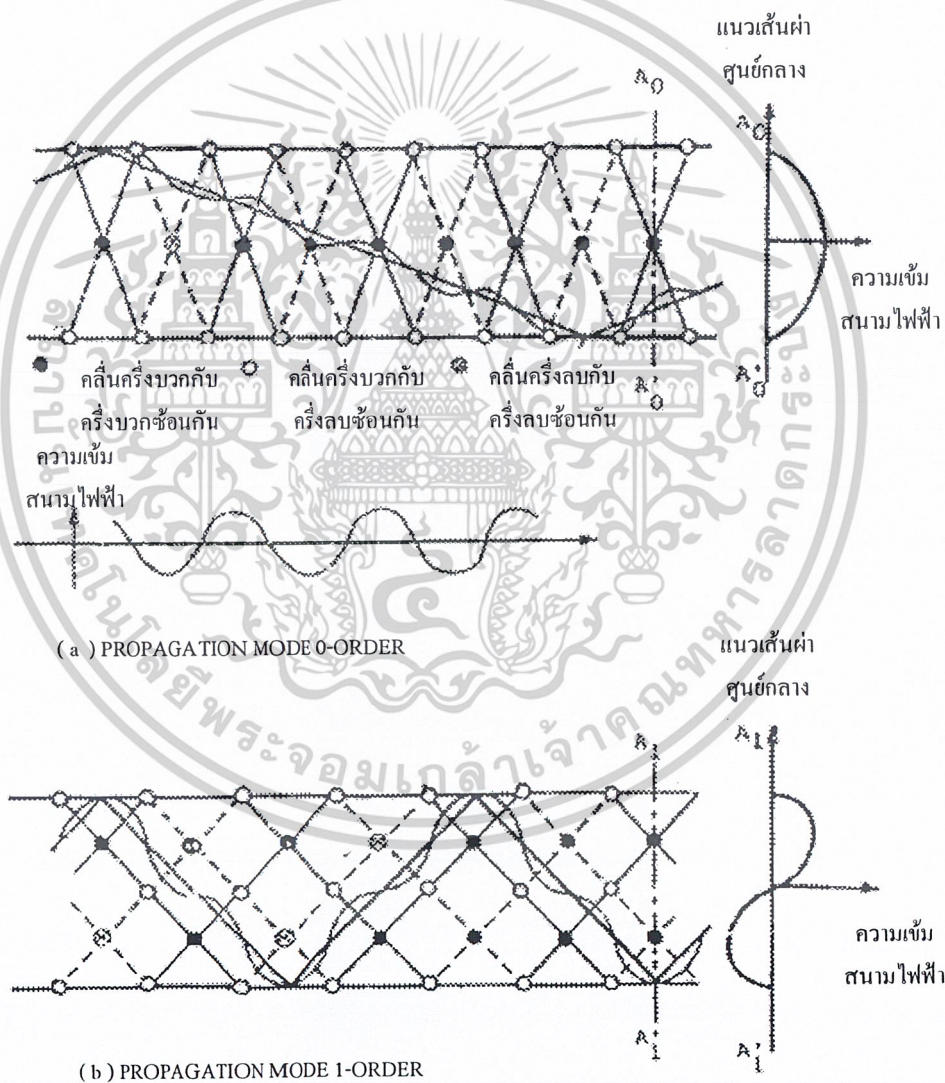
(b) ท่อนำคลื่นแบบแผ่นแบน (n_1, n_2 เป็นดัชนีหักเห)

รูปที่ 2.18 แสดงเส้นใยแสงกลมและแบบระนาบแบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงที่ป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงด้วยค่าของมุมรับแสงที่อยู่ในช่วงของมุมรับแสงสูงสุดนั้นแสงจะเดินทางในเส้นใยแสงด้วยลักษณะที่เกิดการสะท้อนกลับไปมาตรงรอยต่อของ CORE กับ CLAD โดยที่สะท้อนกลับไปมา และเคลื่อนที่ไปข้างหน้าพร้อมกันด้วย แต่ทว่าจาก INTERFERENCE แสงภายใน CORE นั้นมุมสะท้อนกลับที่รอยต่อจะเกิดขึ้นได้จำเป็นต้องมีเงื่อนไขที่เหมาะสมนี้จะได้กล่าวในหัวข้อต่อไปนี้ และเพื่อเป็นการช่วยให้เข้าใจได้ง่าย จะใช้เส้นใยแสงที่มีรูปร่างเป็นแผ่นแบนดังแสดงในรูป 2.18 (b) แทนลักษณะเส้นใยแสงที่มีรูปร่างกลมดังรูป 2.18 (a) และอีกอย่างหนึ่งเพื่อทำให้การอธิบายเกี่ยวกับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของแสงง่ายขึ้นจะพิจารณาเฉพาะสนามไฟฟ้าเท่านั้น

2.6.3 โหมดการเดินทางของแสง (PROPAGATION MODE)



รูปที่ 2.19 แสดง PROPAGATION MODE ภายในเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะของความเข้มของสนามไฟฟ้าภายใน CORE ของเส้นใยแสงที่เกิดขึ้นจากการ INTERFERENCE ของแสงสะท้อนที่มีค่ามุมสะท้อนกลับพิเศษเฉพาะ MODE ที่มีค่ามุมสะท้อนกลับน้อยไปหามากคือ MODE 0, MODE 1, MODE 2, ..., MODE (N-1) จากตัวอย่างทั้งสองรูปของรูปที่ 2.19 จะเห็นได้ว่าเป็นการแสดง INTERFERENCE ของแสงที่มีมุมสะท้อนกลับเป็นพิเศษเฉพาะซึ่งทำให้ความเข้มของสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง 180 องศา 360 องศาในทิศทางของรัศมีลักษณะการเดินทางของแสง ที่มีการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าเป็นพิเศษเฉพาะภายใน CORE ของเส้นใยแสงนี้เรียกว่า “PROPAGATION MODE” ของแสงจำนวน PROPAGATION MODE ของแสงภายในเส้นใยแสงมีค่าจำกัด ตามเงื่อนไขของการสะท้อนกลับหมดและนิยามตั้งชื่อ MODE ตามลำดับจาก PROPAGATION

2.6.4 ชนิดของเส้นใยแสง

วิธีการแบ่งชนิดของเส้นใยแสงมีหลายวิธี คือ แบ่งตามชนิดของสาร DIELECTRIC ที่ใช้แบ่งตามจำนวน PROPAGATION MODE แบ่งตามดัชนีการหักเหของ CORE

1. การแบ่งชนิดของเส้นใยแสงตามชนิดของ DIELECTRIC ที่ใช้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

- (1) SILICA GLASS FIBER ซึ่งใช้ DIELECTRIC ที่เป็นแก้วหลายชนิดปนกัน
- (2) MULTI COMPONENT GLASS OPTIC FIBER ซึ่งใช้ DIELECTRIC ที่เป็นแก้วหลายชนิดปนกัน
- (3) PLASTIC OPTIC FIBER ซึ่งใช้ DIELECTRIC ที่เป็นพลาสติก

สำหรับ (1) นั้นนอกจากจะใช้ SILICA (SiO_2) ที่เป็นสารบริสุทธิ์เสียส่วนใหญ่แล้วยังใช้สารอื่นเติมลงไปเพื่อทำให้ค่าดัชนี การหักเหเปลี่ยนแปลงตามต้องการสารอื่นที่เติมลงไปเรียกว่า “DOPANT” ได้แก่ GERMANIUM (Ge), BORON (B), FLUORINE (F) เป็นต้น

สำหรับ (2) นั้นส่วนมากมักจะใช้ SODA CALCIUM แก้ว, แก้วที่มี BORON และ SILICON ผสมอื่น ๆ เป็นสารหลักส่วน DOPANT ได้แก่ โซเดียม (Na) แคลเซียม (Ca)

สำหรับ (3) นั้นใช้สารพวก SILICON RESIN, ACRYL RESIN (เช่น POLY METACRYL METHYL ACID : PMMA)

อนึ่งสำหรับเคเบิลเส้นใยแสงที่ใช้ในข่ายการสื่อสารโทรคมนาคม (TELECOMMUNICATION NETWORK) นั้นนิยมใช้ SILICA GLASS FIBER เพราะมีข้อดีคือ การสูญเสีย (LOSS) ต่ำ และคุณสมบัติการส่ง (TRANSMISSION CHARACTERISTIC) คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

แต่สำหรับงานที่ต้องการคุณสมบัติการส่งด้อยลงมา ใช้งานง่าย และใช้กับการสื่อสารระยะทางไกลเช่น ใช้กับการเดินสายภายในรถยนต์ (WIRE HARNESS) ในกรณีนี้นิยมใช้เส้นใยแสงที่เป็น PLASTIC OPTIC FIBER

2. การแบ่งชนิดของเส้นใยแสงตามจำนวน PROPAGATION MODE

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ SINGLE MODE OPTIC FIBER ใช้ชื่อย่อว่า “SM

FIBER” และอีกชนิดหนึ่งคือ MULTI MODE OPTIC FIBER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

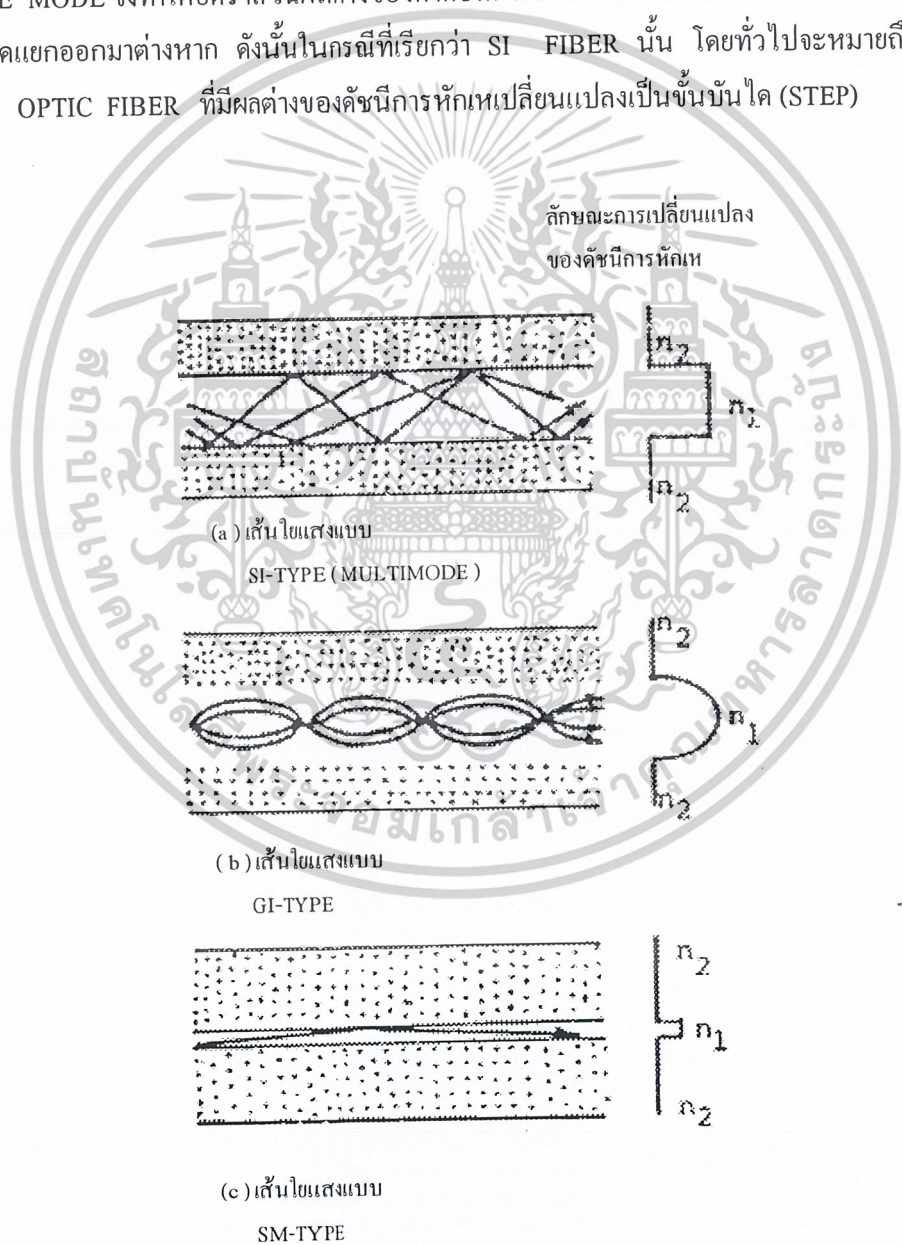
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การแบ่งชนิดของเส้นใยแสงตามลักษณะของดัชนีการหักเห

(1) STEP INDEX OPTIC FIBER (SI-FIBER) เป็นเส้นใยแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่าง CORE กับ CLAD เป็นลักษณะขั้นบันได (STEP) จึงเรียกว่า STEP INDEX OPTIC FIBER

(2) GRADED INDEX OPTIC FIBER (GI-FIBER) เป็นเส้นใยแสงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหระหว่าง CORE กับ CLAD ค่อย ๆ ลดลงทีละน้อยต่างกับ (SI) จึงเรียกว่า GRADED INDEX OPTIC FIBER

SM FIBER นั้นจัดอยู่ในพวกของ SI FIBER เหมือนกันแต่ทำว่าเนื่องจากจุดประสงค์ต้องการให้เป็น SINGLE MODE จึงทำให้อัตราส่วนผลต่างของค่าดัชนีการหักเหของ CORE กับ CLAD มีค่าน้อยมาก จึงแบ่งชนิดแยกออกมาต่างหาก ดังนั้นในกรณีนี้เรียกว่า SI FIBER นั้น โดยทั่วไปจะหมายถึง MULTI MODE OPTIC FIBER ที่มีผลต่างของดัชนีการหักเหเปลี่ยนแปลงเป็นขั้นบันได (STEP)



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เอาต์เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการเดินทางของแสงภายในของเส้นใยแสงแต่ละชนิดแสดงดังรูปที่ 2.20 GI FIBER เป็นเส้นใยแสงที่จัดทำเป็นพิเศษเพื่อการส่ง MULTI MODE รูปที่ 2.21 แสดงถึง PROPAGATION MODE ของ GI FIBER

จากรูปที่ 2.21 จะเห็นว่า ค่าดัชนีการหักเหของ GI FIBER นี้จะค่อย ๆ ลดลงทีละน้อยในแนวรัศมีของเส้นใยแสง ดังนั้นลำแสงที่มี MODE ต่ำ และเดินทางในระยะทางสั้นนั้น จะสะท้อนกลับก่อนที่จะเดินทางไปถึงรอยต่อของ CORE และ CLAD ซึ่งกล่าวได้ว่าส่วนใหญ่จะผ่านส่วนที่มีดัชนีการหักเหสูงของ CORE ส่วนลำแสงที่มี MODE สูงและเดินทางในระยะทางไกลนั้น ส่วนใหญ่จะผ่านส่วนที่มีดัชนีการหักเหต่ำของ CORE อนึ่งความเร็วในการเดินทางของแสงนั้น จะเป็นสัดส่วนกลับกับค่าดัชนีการหักเห ดังนั้น สำหรับ PROPAGATION MODE (1) และ (2) นั้น โดยการเลือกลักษณะการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเห (เรียกว่า PROFILE) ให้เหมาะสมแล้ว เราจะทำให้เวลาที่ใช้ในการเดินทางในระยะทางอันหนึ่งของ PROPAGATION MODE (1) และ (2) มีค่าเท่ากันได้ด้วยจุดประสงค์อันนี้ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ผลต่างของเวลาการเดินทางระหว่าง PROPAGATION MODE ต่าง ๆ มีค่าน้อยที่สุด จะต้องมีการเป็นลักษณะพาราโบลา (PARABOLA) ดังนั้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหของ GI FIBER จึงต้องทำให้มีรูปร่าง ดังแสดงในรูปที่ 2.21



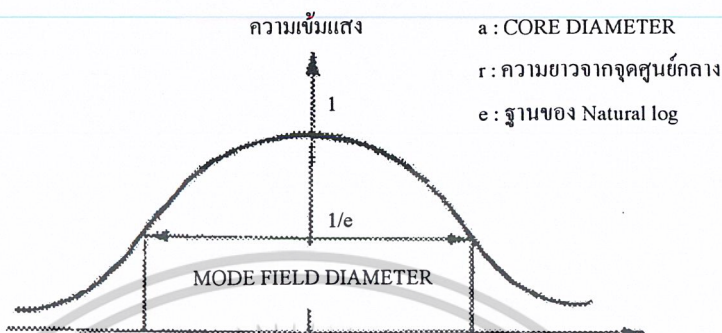
รูปที่ 2.21 แสดงลักษณะการเดินทางของแสงใน GI FIBER

2.6.5 โครงสร้างของเส้นใยแสง

องค์ประกอบพื้นฐานที่กำหนดโครงสร้างของเส้นใยแสง คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ CORE เส้นผ่าศูนย์กลางนอก (เส้นผ่าศูนย์กลางของ CLAD) NUMERICAL APERTURE (NA) และอื่น ๆ องค์ประกอบเหล่านี้ เรียกว่าเป็น PARAMETER ทางโครงสร้างของเส้นใยแสง PARAMETER ทางโครงสร้างเหล่านี้ นอกจากมีผลต่อการสูญเสีย TRANSMISSION BAND WIDTH ความแข็งแรงทางเมคานิค และคุณสมบัติอื่น ๆ ของเส้นใยแสงแล้ว ยังเป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับการเชื่อมต่อของเส้นใยแสงกับเส้นใยแสง หรือการต่อของเส้นใยแสงกับอุปกรณ์แสง (OPTIC DEVICE) อีกด้วย นอกจากนี้ยังมี PARAMETER ประกอบทางโครงสร้างเพิ่มเติมอีก ได้แก่ เปอร์เซนต์การคลาดเคลื่อนของศูนย์กลาง (ECCENTRICITY) อัตราความเพี้ยนของวงกลม (NON CURCULAR RAYE) สำหรับ PARAMETER ประกอบนี้จะไม่มีความสำคัญต่อการส่ง (TRANSMISSION CHARACTERISTIC) แต่ทำงาน

เอกสารนี้เป็นของสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาและทบวงมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการกำหนดค่าต่าง ๆ ของ PARAMETER ทางโครงสร้างทั้ง 4 เหล่านี้ จำเป็นต้องคำนึงถึงผล PARAMETER ทางโครงสร้างแต่ละอันที่มีต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใยแสงการสร้างได้ง่าย และความประหยัด ดังแสดงในแผนผังของรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.24 แสดงเส้นผ่าศูนย์กลางของ MODE FIELD

สำหรับโครงสร้างของ SINGLE MODE OPTIC FIBER จะกำหนดจาก PARAMETER 3 อัน คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ MODE FIELD เส้นผ่าศูนย์กลางนอก และ CUT OFF WAVE LENGTH ซึ่งต่างกับกรณีของ MULTI MODE OPTIC FIBER ที่กล่าวมาแล้ว สาเหตุที่ใช้เส้นผ่าศูนย์กลางของ MODE FIELD เป็น PARAMETER ทางโครงสร้างของ SINGLE MODE OPTIC FIBER แทนการใช้เส้นผ่าศูนย์กลางของ CORE นั้นก็คือว่า เส้นผ่าศูนย์กลางของ MODE FIELD มีค่ามากกว่าแสดงในรูปที่ 2.24

กล่าวคือ เป็นค่าเส้นผ่าศูนย์กลางตรงจุดที่ความเข้มของแสงลดลง เป็น e (ในที่นี้มีค่า 2.71828) ของค่าสูงสุด (คือค่าตรงจุดศูนย์กลางของ CORE) และค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของ CORE ของ SINGLE MODE OPTIC FIBER มีค่าน้อยกว่านั้นอัตราส่วนของผลต่างของค่าดัชนีการหักเหก็มีค่าน้อยด้วย ทำให้เป็นการยากที่จะบ่งบอกส่วนที่เป็นรอยต่อของ CORE กับ CLAD ได้ชัดเจนด้วยเหตุนี้ เพื่อความสะดวกจึงใช้ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของ MODE FIELD แทนค่ามาตรฐานของ PARAMETER ทางโครงสร้างของเส้นใยแสงที่ CCITT (INTERNATIONAL TELEGRAPH AND TELEPHONE CONSULTATIVE COMMITTEE) แนะนำ

2.6.6 คุณสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใยแสง

การสูญเสียแสงในเส้นใยแสง

ในระบบการสื่อสารเส้นใยแสง มีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 อัน ที่จะกำหนดความเร็วในการส่ง (TRANSMISSION SPEED) และระยะห่างของการถ่ายทอสัญญาณ (REPEATER SPAN) องค์ประกอบเหล่านี้ คือ การสูญเสียแสง กับ BAND WIDTH ของการส่ง (TRANSMISSION BAND WIDTH) การสูญเสียแสง (OPTICAL LOSS) เป็นตัวบอกให้ทราบว่ากำลังของแสงที่เดินทางไปในเส้นใยแสงนั้นจะลดลง

ไปจากเดิมเท่าไร ซึ่งการสูญเสียแสงนี้ยังมีค่าน้อยเท่าไร จะทำให้สามารถส่งสัญญาณแสงได้ไกลมากยิ่งขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นการสูญเสียแสงแบ่งออกตามความแตกต่างของโครงสร้างที่เกิดขึ้นได้เป็นการสูญเสียที่มีอยู่ในตัวของเส้นใยแสงเอง และการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมา เมื่อตอนนำเส้นใยแสงไปใช้ในระบบการสื่อสารสาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียแสง

การสูญเสียที่มีอยู่ในตัวของเส้นใยแสงเองนั้น เกิดจากสาเหตุต่าง ๆ ได้แก่ การดูดแสง (ABSORPTION LOSS) การกระจัดกระจายแสงแบบเรย์ลี (RAYLEIGH SCATTERING LOSS) การกระจัดกระจายแสง เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้าง (UNUNIFORMITY LOSS) ส่วนการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมานั้น เกิดจากสาเหตุต่าง ๆ ได้แก่ การงอโค้งของเส้นใยแสง (BENDING LOSS) การงอโค้ง MICROBENDING (MICROBENDING LOSS) การต่อเส้นใยแสง (CONNECTION LOSS) ได้แก่ การสูญเสียจากการสะท้อนกลับของแสงจากการที่แสงกระจัดกระจายแสง การเชื่อมแสงระหว่างอุปกรณ์ต้นกำเนิดแสง หรืออุปกรณ์รับแสงกับเส้นใยแสง (COUPLING LOSS) ต่อไปนี้ จะอธิบายถึงรายละเอียดของสาเหตุต่าง ๆ ของการเกิดการสูญเสียแสง

การสูญเสียแสง

(1) การสูญเสียแสงที่เกิดจากการดูดแสง (ABSORPTION LOSS)

การสูญเสียแสงที่เกิดจากการดูดแสงนี้ เป็นลักษณะทำนองเดียวกับมันแสงสีดำ ซึ่งกล่าวได้คือ สารที่ใช้ผลิตเส้นใยแสงนั้น จะเป็นตัวดูดแสงที่เดินทางในเส้นใยแสง แล้วเปลี่ยนเป็นการสูญเสียทางความร้อน โดยทั่วไปแล้ว จะมีการดูดแสงอันเนื่องมาจากแก้วเอง (สารที่ใช้ผลิตเส้นใยแสง) และเนื่องมาจากสารอื่นที่เจือปนอยู่ในแก้ว (IMPURITY)

(2) การสูญเสียแสงที่เกิดจากการกระจัดกระจายแบบเรย์ลี (RAYLEIGH SCATTERING LOSS)

การสูญเสียแบบนี้เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น เมื่อแสงไปกระทบวัตถุที่มีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่นแล้วทำให้แสงนั้นแตกกระจัดกระจายออกไปในทิศทางต่าง ๆ ตัวอย่างของปรากฏการณ์เช่นนี้ คือ การที่เรามองเห็นท้องฟ้าเป็นสีน้ำเงิน และมองเห็นท้องฟ้าเป็นสีแดงตอนตะวันตกดินนั้น เกิดจากการแตกกระจัดกระจายของแสง ผู้ที่ทำการอธิบายปรากฏการณ์การแตกกระจัดกระจายของแสงนี้ คือ นักฟิสิกส์ ชื่อ RAYLEIGH ดังนั้นจึงใช้ของเขาเรียกปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า “RAYLEIGH SCATTERING”

(3) การสูญเสียจากการกระจัดกระจายแสงอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในเส้นใยแสง (UNUNIFORMITY LOSS)

สำหรับเส้นใยแสงที่สร้างขึ้นจริง ๆ นั้น จากสาเหตุต่าง ๆ ในการสร้างทำให้ไม่สามารถได้เส้นใยแสงที่มีลักษณะกลม 100 % นอกจากนั้น CORE และ CLAD ที่ประกอบกันเป็นเส้นใยแสงก็ไม่สามารถทำให้ได้ลักษณะรูปทรงกระบอกที่สม่ำเสมออย่างสมบูรณ์ ตลอดความยาวของเส้นใยแสงได้ กล่าวคือ ตรงรอยต่อของ CORE กับ CLAD นั้นจะไม่สม่ำเสมอตลอด กล่าวคือ จะมีลักษณะคล้ายถนนขรุขระ เมื่อมีรอยต่อไม่เรียบสม่ำเสมอเช่นนี้ จะทำให้เกิดการกระจัดกระจายของแสง ทำให้แสงบางส่วนไม่สามารถเดินทางไปใน CORE ได้ จะกระจายออกไปข้างนอก ดังนั้นรอยต่อที่ไม่เรียบสม่ำเสมอ จะทำให้แสงที่เดินทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการสะท้อนกลับอย่างสะเปะสะปะ ทำให้การสูญเสียแสงเพิ่มขึ้น การสูญเสียแสงเช่นนี้เรียกว่า การสูญเสียแสงจากกระจัดกระจายแสงอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างในเส้นใยแสง

(4) การสูญเสียแสงจากการกระจายแสงอันเนื่องมาจากการงอโค้งของเส้นใยแสง (BENDING LOSS)

เป็นการสูญเสียที่เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยแสงถูกทำให้งอโค้งไป สำหรับการงอโค้งเส้นใยแสง แสงที่มีมุมงอโค้งมากกว่ามุมวิกฤตแล้ว แสงนั้นจะกระจายออกไปนอก CORE ทำให้เกิดการสูญเสียขึ้น ดังนั้นในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง ซึ่งจะได้กล่าวถึงทีหลัง จะต้องระวังอย่าให้เกิดมีการงอโค้งเส้นใยแสงเป็นส่วนโค้งที่มีรัศมีเกินกว่ารัศมีที่ขอมให้งอโค้งได้ เช่น ไม่เกิน 40 ม.ม. เป็นต้น

(5) การสูญเสียที่เกิดจากการงอโค้งแบบ MICRO BENDING

เป็นการสูญเสียที่เกิดจากการที่มีแรงกดที่ไม่สม่ำเสมอกระทำต่อด้านข้างของเส้นใยแสงทำให้แกนของเส้นใยแสงบิดงอไปเล็กน้อย เป็นเหตุให้การสูญเสียเพิ่มขึ้นการสูญเสียนี้เรียกว่า “MICRO BENDING LOSS” ด้วยเหตุนี้ในการออกแบบโครงสร้างเส้นใยแสงจะต้องการป้องกันแรงกดจากทางด้านข้าง เช่น ทำชั้น (LAYER) ป้องกันการกระแทกหุ้มเส้นใยแสง

(6) การสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแสง (CONNECTION LOSS)

การต่อเส้นใยแสงนั้นคล้ายกับการต่อของน้ำประปาหรือท่อแก๊ส กล่าวคือต้องต่อเข้ากันอย่างดี ไม่ให้น้ำประปาหรือแก๊สที่อยู่ในท่อรั่วออกไปข้างนอก กรณีที่ทำการต่อเส้นใยแสง 2 เส้นเข้าด้วยกันนั้น อันดับแรกจำเป็นต้องทำการปรับ CORE ทั้งสองที่แสงเดินทางผ่านให้ตรงกันพอดี ถ้าหากว่า CORE ทั้งสองต่อกันไม่สนิทอย่างสมบูรณ์นั้น แสงที่ออกจาก CORE ด้านหนึ่งบางส่วนของมันจะไม่เข้าไปใน CORE อีกด้านหนึ่งแต่จะกระจายออกไปข้างนอกทำให้เกิดการสูญเสีย สาเหตุการเกิดการสูญเสียอย่างนี้ กล่าวคือ มีทั้งการคลาดเคลื่อนของแกนของ CORE และอื่น ๆ แต่สำหรับค่าการสูญเสียนี้ส่วนใหญ่จะมาจากคลาดเคลื่อนของแกนของ CORE หนึ่งตรงส่วนที่ทำการต่อนั้น กรณีมีช่องว่าง (GAP) เพียงเล็กน้อย จะทำให้เกิดการสูญเสียจากการสะท้อนกลับ ถ้าหากช่องว่างโตมากขึ้นกว่านี้ จะเกิดการสะท้อนกลับที่เรียกว่า “FRESNEL REFLECTION”

(7) การสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยแสงกับอุปกรณ์กำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสง (COUPLING LOSS)

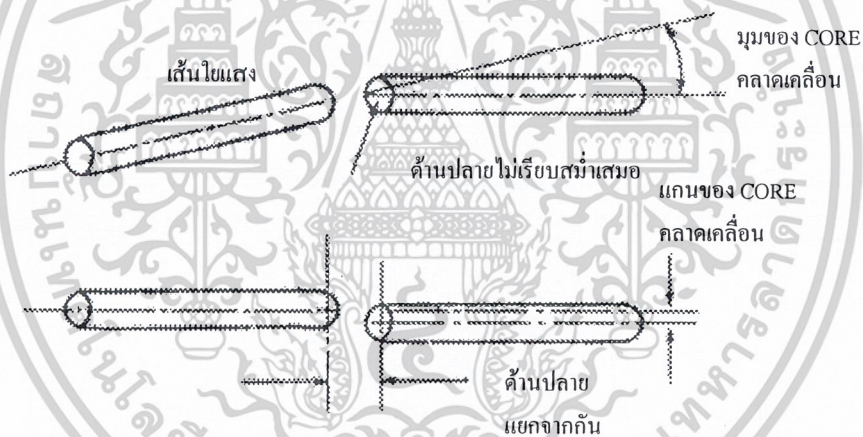
แสงที่ปล่อยออกจากอุปกรณ์ต้นกำเนิดแสงนั้น มีเงื่อนไขในการที่จะป้อนแสงเข้าไปในเส้นใยแสงดังที่กล่าวมาแล้ว นั่นคือ NA (NUMERICAL APERTURE) กรณีที่ใช้อุปกรณ์ต้นกำเนิดแสง ได้แก่ LASER DIODE (LD) หรือ LIGHT EMITTING DIODE (LED) จะมีความแตกต่างกันทางด้านความกว้างของลำแสงที่ปล่อยออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป แม้จะใช้เลนส์รวมแสงแล้วก็ตาม LD จะมีการสูญเสียของการเชื่อมต่อแสงน้อยกว่า นอกจากนั้น โครงสร้างของเส้นใยแสงที่จะถูกป้อนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าไปนั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ CORE ของเส้นใยแสงแบบ SM และ GI จะมีค่าต่างกันทำให้ขนาดของการสูญเสียของการเชื่อมต่อแสงมีค่าต่างกันไปด้วย

เกี่ยวกับการสูญเสียของการเชื่อมต่อแสงระหว่างเส้นใยแสงกับอุปกรณ์รับแสงนั้น เส้นใยแสงที่มี NA มาก นั่นคือ แสงที่ออกจากเส้นใยแสงแบบ GI จะมีลำแสงกว้างกว่าลำแสงที่ออกจากเส้นใยแสงแบบ SM ทำให้การสูญเสียแสงมีมากกว่า

นอกจากนั้นกรณีที่มีค่าผลต่างของดัชนีการหักเหของ CORE กับ CLAD มีค่าน้อยนั้น ปรากฏการณ์การสะท้อนกลับหมดของแสงที่รอยต่อของ CORE กับ CLAD จะไม่เท่าเหมือนกับที่เกิดในกระจกเงาล่าง คือ ส่วนหนึ่งของแสงจะทะลุเข้าไปใน CLAD ก่อนแล้วจึงสะท้อนกลับหมด และขนาดการทะลุเข้าไปนี้จะแตกต่างกันตามความยาวคลื่น (ความยาวคลื่นยิ่งมีมากเท่าไรขนาดการทะลุเข้าไปใน CLAD จะมากขึ้นเท่านั้น และจะทำให้เส้นทางการเดินทางยาวมากขึ้น) การขยายกว้างออกของระยะทางการเดินทางของแสงนี้เรียกว่า “STRUCTURE DISPERSION” ในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงนั้น การเกิด MATERIAL DISPERSION และ STRUCTURE DISPERSION รวมเรียกว่า “WAVE LENGTH DISPERSION”



รูปที่ 2.25 แสดงสาเหตุต่าง ๆ ของการสูญเสียที่เกิดจากการต่อเส้นใยแสง

ความสัมพันธ์ระหว่าง MODE DISPERSION , MATERIAL DISPERSION และ STRUCTURE DISPERSION จะเป็นดังนี้คือ MODE DISPERSION >> MATERIAL DISPERSION > STRUCTURE DISPERSION ดังนั้นสำหรับ MULTI MODE OPTIC FIBER ส่วนใหญ่ MODE DISPERSION จะเป็นตัวกำหนด BAND WIDTH ของการส่ง WAVE LENGTH DISPERSION นั้นมีผลต่อ BAND WIDTH ใน SINGLE MODE OPTIC FIBER ด้วยเหตุนี้ใน SINGLE MODE OPTIC FIBER จะเลือกใช้ความยาวคลื่นที่ทำให้ STRUCTURE DISPERSION ไปหักล้างกับ MATERIAL DISPERSION ให้มากที่สุดที่จะทำได้ (ความยาวคลื่นนี้เรียกว่า ZERO DISPERSION WAVE LENGTH และวิธีการต่าง ๆ ในการออกแบบโครงสร้าง ของเส้นใยแสงเพื่อให้มี WAVE LENGTH DISPERSION น้อยที่สุด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(8) ขนาดความกว้าง BAND WIDTH ของการส่ง

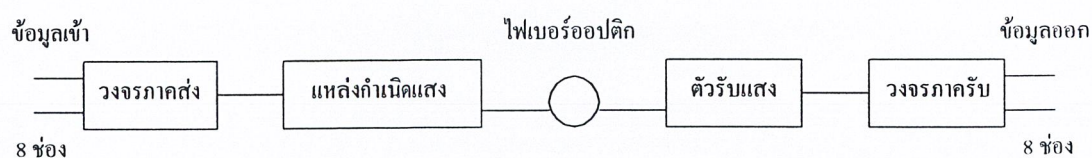
ปัจจุบัน TRANSMISSION BAND WIDTH ที่ใช้ในการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงนั้น เป็นตัวบอกให้ทราบว่า จะสามารถส่งสัญญาณแสงที่ผสมกับสัญญาณข่าวสารด้วยความถี่สูงมากแค่ไหนปกติจะแสดงขนาดความกว้างตรงจุดที่คุณสมบัติความถี่ BASE BAND (BASE BAND FREQUENCY CHARACTERISTIC) ของเส้นใยแสงตกลงมา 6 dB

สมมุติว่าเราทำการป้อน อิมพัลส์ ซึ่งเป็น WAVE FORM ที่สมบูรณ์แบบกล่าวคือ ตรงมาตรฐานของ WAVE FORM ไม่ขยายกว้างออก เมื่ออิมพัลส์นี้เดินทางไปในเส้นใยแสงได้ระยะทางค่าหนึ่งแล้ว ตรงจุดปลายทางของเส้นใยแสงนั้น อิมพัลส์ที่เดินทางมาจะขยายกว้างออก เนื่องจากคุณสมบัติ DISPERSION ของแสงตามที่ได้กล่าวมาแล้ว แม้ว่าในระหว่างทางที่แสงเดินทางมาจะไม่มี RADIATION MODE (แสงกระจายออกจาก CORE) เลยก็ตาม แต่ทว่าการที่อิมพัลส์ขยายกว้างออกไปนั้น จะต้องทำให้ขนาดของอิมพัลส์ลดลงอย่างแน่นอน จากการตรวจดูอิมพัลส์ WAVE FORM ตรงจุดปลายทางของเส้นใยแสง (เรียกว่า อิมพัลส์ RESPONSE WAVE FORM) นี้ สามารถใช้เป็นขั้นตอนของการประเมินค่าคุณสมบัติการขยายกว้างออก (DISPERSION) ของเส้นใยแสงได้ โปรดสังเกตว่า การใช้หลักการเช่นนี้ ในย่านของความถี่จึงเรียกว่า “BASE BAND FREQUENCY CHARACTERISTIC”

คำว่า “BASE BAND FREQUENCY CHARACTERISTIC” นั้นหมายถึง คุณสมบัตินี้ของอัตราส่วนของขนาดสัญญาณไฟฟ้าซึ่งเป็น SINE WAVE ที่นำมาผสมทางด้านอินพุตกับสัญญาณไฟฟ้าที่แยกออกมาจากการผสม (DEMODULATION) ทางด้านเอาต์พุต จะทำให้ได้ว่า เมื่อความถี่ที่นำมาผสมทางด้านอินพุต ลดลง นอกจากนั้นยังขึ้นกับระยะทางด้วยขนาดความกว้างของ BANDWIDTH ที่ 6 dB นั้น เรียกว่า เป็นช่วงความถี่ที่ขนาดของสัญญาณไฟฟ้าที่แยกออกมาจากการผสมภายหลังจากแสงเดินทางได้ 1 km แล้วปรากฏว่าขนาดของมันลดลงเป็น $\frac{1}{2}$ (ปริมาณการสูญเสียกำลังของแสงเป็น 3 dB) เมื่อเทียบกับขนาดของสัญญาณไฟฟ้าที่นำมาผสมทางด้านอินพุต และใช้หน่วยเป็น MHz/km

2.6.7 ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

ระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง มีโครงสร้างคล้ายกับระบบการสื่อสารด้วยสายเคเบิล เพียงแต่ใช้ตัวกลางนำข้อมูลที่แตกต่างกันกล่าวคือ เมื่อต้องการส่งข้อมูลที่อยู่ในรูปของสัญญาณเสียง สัญญาณภาพหรือข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ วงจรภาพส่ง จะทำหน้าที่จัดรูปสัญญาณให้เหมาะสมด้วยวิธีการเข้ารหัส



รูปที่ 2.26 แสดงตัวอย่างของระบบของการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมอดูเลต โดยลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่มักจะจัดให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล เพราะเป็นผลลัพธ์ที่ดีกว่า จากนั้นวงจรในส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิดแสงหรือไดโอดเปล่งแสงจะแปลงสัญญาณทางไฟฟ้าที่ได้ให้เป็นสัญญาณแสงไปยังสถานีรับ โดยมีเส้นใยแสงเป็นท่อนำสัญญาณที่สถานีรับจะมีโฟโตทรานซิสเตอร์คอยเปลี่ยนสัญญาณแสงที่ได้ให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า แล้วส่งไปยังวงจรภาครับเพื่อถอดรหัสและดีมอดูเลตสัญญาณ ทำให้ได้สัญญาณที่มีลักษณะเดียวกับสัญญาณเดิมเป็นข้อมูลขาออกที่นำไปใช้งานต่อไป

ในช่วงระหว่างสถานีส่งสัญญาณและสถานีรับสัญญาณที่เชื่อมด้วยเส้นใยแสง จะต้องมีสถานีทวนสัญญาณ (REPEATER) ทำหน้าที่ขยายและจัดรูปสัญญาณที่เกิดการผิดเพี้ยนไปในระหว่างการเดินทางในการใช้งานจริงระยะห่างระหว่างสถานีทวนสัญญาณมีค่าประมาณ 10 กิโลเมตร ขึ้นไป โดยจะขึ้นกับขนาดหรือปริมาณของข้อมูลที่ใช้รับส่งสำหรับระบบที่มีประสิทธิภาพสามารถรับส่งสัญญาณข้อมูลที่มีขนาด Gb/s (สองพันล้านบิตในหนึ่งวินาที) ไปเป็นระยะทาง 2,200 กิโลเมตร โดยมีสถานีทวนสัญญาณเพียง 25 สถานี ในทุก ๆ ระยะ 80 กิโลเมตร

2.7 การสูญเสียสัญญาณในเส้นใยแสง

เมื่อมีการป้อนข้อมูลที่เป็นสัญญาณแสงให้กับเส้นใยแสง ในช่วงระยะทางหนึ่งสัญญาณอาจสูญหายหรือผิดเพี้ยนไปบ้าง เช่นเดียวกับการส่งข้อมูลด้วยสายเคเบิลลักษณะการสูญเสียในไฟเบอร์ออปติก แบ่งออกได้ดังนี้

2.7.1 การสูญเสียเนื่องจากวัสดุตัวกลาง

เป็นผลมาจากการดูดซับพลังงานภายในเนื้อสารที่ใช้ทำเส้นใยแสง ในขณะที่แสงเดินทาง และชนกับโมเลกุลของมันหากการดูดซับพลังงานในเนื้อสารมีมาก จะก่อให้เกิดการสูญเสียสัญญาณขึ้นด้วย ทั้งนี้ขึ้นกับโครงสร้างทางโมเลกุล และความบริสุทธิ์ของเนื้อสารที่ใช้ทำเส้นใยแสง

2.7.2 การสูญเสียจากการกระจายแสง

เมื่อแสงเดินทางในไฟเบอร์ออปติกจะเกิดการกระจายของแสงอันเนื่องมาจากการชนกับโมเลกุลของเนื้อสารทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณไป โดยอัตราการสูญเสียขึ้นอยู่กับโครงสร้างที่ไม่สมบูรณ์ของเนื้อสาร อีกทั้งขึ้นกับความยาวคลื่นของแสงที่เดินทางในเส้นใยแสงด้วย

2.7.3 การสูญเสียจากท่อนำสัญญาณ

เป็นการสูญเสียอันเนื่องมาจากการจัดวางของสายเส้นใยแสงที่ทำหน้าที่เป็นท่อนำสัญญาณในลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรงทำให้มุมของการตกกระทบของแสงที่ผ่นระหว่าง CORE กับ CLADเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นสัญญาณอาจสูญหายในระหว่างการสื่อสารชนิดโหมคร่วมจึงเกิดการผิดเพี้ยนได้ง่าย โดยมีขนาดความกว้างของสัญญาณมากขึ้นกว่าเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคิดค่ากำลังการสูญเสีย (L) บนเส้นใยแสง มักกระทำในเทอมของเดซิเบล (dB) โดยการคำนวณจากสูตร

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

เมื่อ P_o ค่าพลังงานเอาต์พุต

P_i ค่าพลังงานอินพุตที่ป้อนให้กับเส้นใยแสง

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

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

ค่าผลรับที่ได้มีค่าลบหมายความว่า ค่าที่คำนวณได้เป็นค่าการสูญเสียนั่นเอง ค่ากำลังการสูญเสียต่ำสุดของเส้นใยแสง ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันขึ้นอยู่กับค่าความยาวคลื่นของแสงที่ใช้สัญญาณข้อมูล (ผลจากการกระเจิงของแสง) กล่าวคือ

ที่ความยาวคลื่นแสง 1.55 μm ค่ากำลังการสูญเสียต่ำสุด 0.2 dB/km

ที่ความยาวคลื่นแสง 1.3 μm ค่ากำลังการสูญเสียต่ำสุด 0.4 dB/km

ที่ความยาวคลื่นแสง 0.85 μm ค่ากำลังการสูญเสียต่ำสุด 0.2 dB/km

2.8 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ

กระบวนการต่าง ๆ ทางอุตสาหกรรม โดยทั่วไปแล้วมักจะมีเงื่อนไขหรือสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและความร้อนอย่างใกล้ชิดเสมอ ตัวอย่าง เช่น ถ้าแผ่นเหล็กเย็นจนเกินไปก็จะทำให้การปรับแต่งขึ้นรูปทำได้ยาก หรือถ้ากระบวนการทางเคมีอยู่ในสภาพที่ร้อนมากจนเกินไปก็อาจจะทำให้ระเบิดขึ้นได้ เป็นต้น ดังนั้นจึงพอจะกล่าวได้ว่าการตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากสิ่งหนึ่งของตัวแปรในกระบวนการทางอุตสาหกรรม

ความร้อนและอุณหภูมิ (HEAT AND TEMPERATURE) เรามักใช้คำทั้งสองร่วมกันเสมอ ๆ จนอาจทำให้เข้าใจว่าสองคำนี้มีความหมายเหมือนกัน ถึงแม้ตามความเป็นจริงมันจะมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกันอย่างใกล้ชิดก็ตาม แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าเราจะใช้คำทั้งสองนี้ทดแทนกันได้ อุณหภูมิเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัตถุที่เกี่ยวข้องกับพลังงานจลน์เฉลี่ยของอะตอมและโมเลกุลของวัตถุ เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลเกิดการสั่นไหวเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น พลังงานจลน์ของมันก็จะมากขึ้นด้วย วัตถุนั้นก็จะร้อนขึ้น และมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วยผลของความร้อนประการหนึ่งที่เราเห็นได้ชัดก็คือ เมื่อความร้อนเคลื่อนที่เข้าสู่วัตถุ

ใดก็ตามจะทำให้อุณหภูมิของวัตถุนั้นสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยวัดอุณหภูมิที่นิยมใช้กันก็คือ ฟาห์เรนไฮต์ ซึ่งถูกคิดค้นโดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ GABRIEL DANIEL FAHRENHEIT มีจุดเยือกแข็งของน้ำอยู่ที่ 32°F และจุดเดือดของน้ำที่ 212°F เซลเซียส ถูกคิดค้นโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดนชื่อ ANDRE CELSIUS มีจุดเยือกแข็งของน้ำที่ 0°C และจุดเดือดที่ 100°C ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยวัดอุณหภูมิแบบฟาห์เรนไฮต์ และแบบเซลเซียส สามารถแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$9T(C) = 5 [T(F) - 32]$$

อุณหภูมิสัมบูรณ์ (ABSOLUTE TEMPERATURE) ถูกคิดค้นโดยนักฟิสิกส์ชาวสก็อตชื่อ WILLIAM THOMSON , LOAD KELVIN โดยขนาดองศาที่ศูนย์สัมบูรณ์ (ABSOLUTE ZERO) เป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่เป็นไปได้ ณ อุณหภูมินี้ทุก ๆ โมเลกุลของสารจะหยุดนิ่งหมด ศูนย์สัมบูรณ์จะมีค่าเท่ากับ -273.15°C

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบจุดอ้างอิงของอุณหภูมิต่าง ๆ

จุดเปรียบเทียบ	อุณหภูมิ		
	°K	°F	°C
จุดศูนย์สัมบูรณ์	0	-459.6	-273.15
จุดเยือกแข็งของน้ำ	273.15	32	0
จุดเดือดของน้ำ	373.15	212	100

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมินั้นมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน โดยอุปกรณ์แต่ละชนิดจะอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเฉพาะของสาร คือ จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงที่วัดได้เมื่ออุณหภูมิที่วัดได้เปลี่ยนไป และการเปลี่ยนแปลงที่วัดได้จะต้องคงที่แน่นอน และสามารถพิสูจน์ได้ ซึ่งหลักการที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิโดยทั่วไปนั้น สามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

1. อาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกล เช่น เทอร์โมมิเตอร์ แดบโลหะคู่ (BIMETALLIC ELEMENT)
2. อาศัยการเปลี่ยนแปลงความดันก๊าซหรือไอ เช่น เทอร์โมมิเตอร์แบบความดัน
3. อาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้า เช่น เทอร์โมคัปเปิล อาร์ทีดี เทอร์โมมิสเตอร์
4. อาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางแสงและการแผ่รังสี เช่น ไพโรมิเตอร์ในรูปแบบต่าง ๆ
5. อาศัยหลักการโดยวิธีการทางเคมี เช่น ใช้วิธีการเปลี่ยนสีของอุปกรณ์ตรวจจับ

จากหลักการในการตรวจวัดอุณหภูมิในหลาย ๆ วิธีดังกล่าว การตรวจวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงทางคุณสมบัติทางไฟฟ้า จะถูกนิยมนำมาใช้มากที่สุด เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์

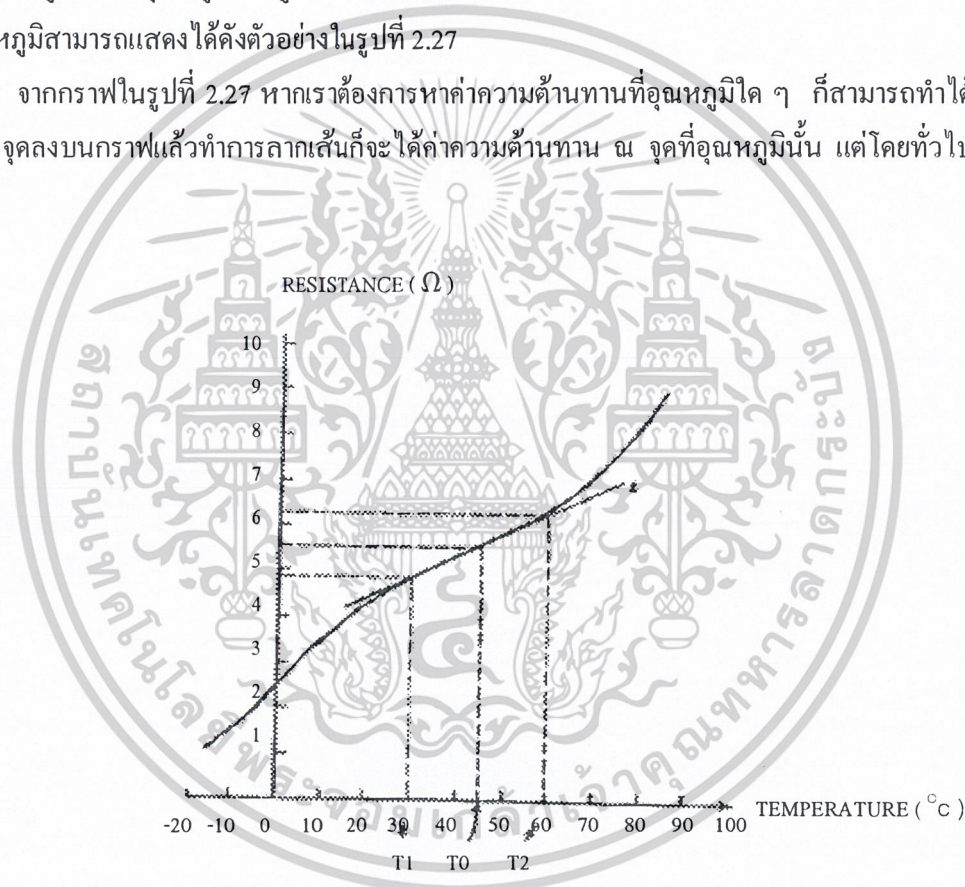
เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาที่บริษัทฯ ใช้งานเพื่อการค้าเท่านั้น เมื่อผู้ใดได้ข้อมูลนี้ไปโดยไม่มีการชำระค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล่านี้สามารถนำไปต่อร่วมกับวงจรไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์เพื่อการแสดงผลในเชิงตัวเลข หรือเพื่อควบคุมระบบกระบวนการตามที่ต้องการ ดังนั้นในที่นี้จึงกล่าวถึงเพียงกลุ่มของอุปกรณ์ที่อาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นสำคัญ

2.8.1 อาร์ทีดี (RTD)

RTD เป็นคำย่อที่มาจาก RESISTANCE TEMPERATURE DETECTOR หรือความหมายในภาษาไทย ก็คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้า หากถามว่าแล้วค่าความต้านทานดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอย่างไร คำตอบก็คือ ค่าความต้านทานจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิมียิ่งสูงขึ้น หรืออาจจะกล่าวได้ว่า ค่าความต้านทานจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิสามารถแสดงได้ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.27

จากกราฟในรูปที่ 2.27 หากเราต้องการหาค่าความต้านทานที่อุณหภูมิใด ๆ ก็สามารถทำได้โดยกำหนดจุดลงบนกราฟแล้วทำการลากเส้นก็จะได้อ่านค่าความต้านทาน ณ จุดที่อุณหภูมินั้น แต่โดยทั่วไป



รูปที่ 2.27 กราฟแสดงค่าระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิ

แล้วเขาจะนิยมใช้วิธีคำนวณกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากหากย่านในการวัดอุณหภูมิมีช่วงกว้างมาก ๆ จะไม่มีกราฟที่ให้หาความสัมพันธ์ดังกล่าว หรือหากถ้ามีก็จะขาดซึ่งความละเอียดมากการที่ใช้ในการหาค่าความต้านทานแสดงได้ดังนี้

$$R(T) = R(T_0) [1 + \alpha_0 \Delta T]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{โดยที่ } R(T) &= \text{ความต้านทานที่อุณหภูมิ } T \text{ ใด ๆ} \\ R(T_0) &= \text{ความต้านทานที่อุณหภูมิ } T_0 \text{ หรืออุณหภูมิอ้างอิง} \\ \Delta T &= T - T_0 \\ \alpha_0 &= \text{สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิที่ } T_0 \end{aligned}$$

ค่าของ α_0 สามารถหาค่าได้จากค่าของความต้านทานและอุณหภูมิ

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= 1/R(T_0) \times (\text{SLOPE ที่ } T_0) \\ &= 1/R(T_0) \times [(R_2 - R_1)/(T_2 - T_1)] \end{aligned}$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} R_1 &= \text{ค่าความต้านทาน } T_1 \\ R_2 &= \text{ค่าความต้านทาน } T_2 \end{aligned}$$

ค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทาน (α) จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของโลหะที่ใช้ทำ RTD เช่น พลาตินัม $0.0039 \Omega/\Omega^\circ\text{C}$ จากย่านอุณหภูมิ 0°C ถึง 100°C นิกเกิล $0.0067 \Omega/\Omega^\circ\text{C}$ ทองแดง $0.0038 \Omega/\Omega^\circ\text{C}$ และในทางปฏิบัติค่าของ α ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละช่วงจะแปรผันไม่เป็นเส้นตรงในห้องปฏิบัติการมาตรฐานที่ต้องการค่าที่แน่นอนสามารถกระทำได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$R(T) = R(T_0) [1 + \alpha_1 \Delta T + \alpha_2 (\Delta T)^2]$$

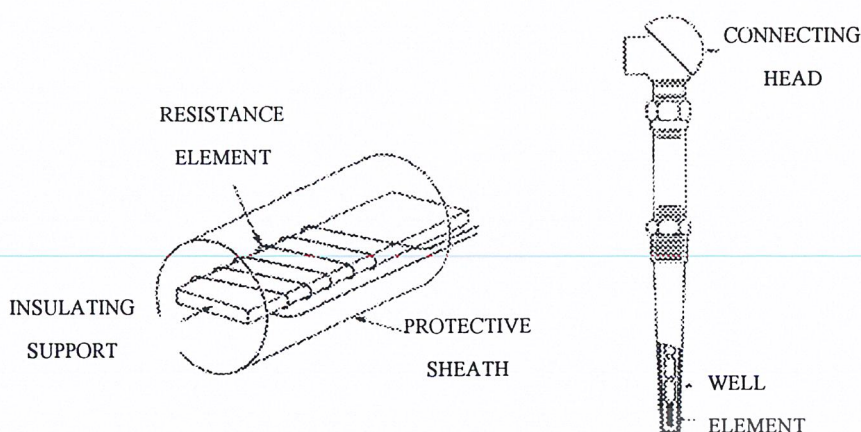
ค่า α_1 และ α_2 เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง ซึ่งในทางปฏิบัติ และในการนำไปใช้งานค่านี้ทางบริษัทผู้ผลิต RTD เป็นผู้กำหนดมาให้

2.8.1.1 โครงสร้างของ RTD

RTD ทำด้วยลวดโลหะที่มีความยาวค่าหนึ่ง ซึ่งทำให้เกิดค่าความต้านทานที่ต้องการ ณ อุณหภูมิ 0°C ลวดโลหะนั้นจะพันอยู่บนแกนที่เป็นฉนวนไฟฟ้าและมีคุณสมบัติทนต่อความร้อน แกนที่ใช้ส่วนมากจะทำมาจากสารประเภทเซรามิกหรือแก้ว สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษในกระบวนการผลิต RTD ก็คือ ขณะใช้งานขดลวดนี้ต้องทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ รวมทั้งความสั่นสะเทือนได้ ทั้งนี้ก็เนื่องจากเมื่อขดลวดได้รับความร้อนจะขยายตัว และเมื่อเย็นลงจะหดตัว พร้อมทั้งนี้แกนที่ใช้พันขดลวดเขาจะทำกัน ในขณะที่ขดลวดก็ต้องมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวที่สัมพันธ์กับการขยายตัวของขดลวด การพันขดลวดเขาจะทำกันในขณะที่ขดลวดร้อนจนอ่อนตัว หลังจากนั้นต้องผ่านกรรมวิธีการอบร้อนคลายความเครียด (STRAIN) ที่มีอยู่ในขดลวดด้วยอุณหภูมิอย่างน้อย 500°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง RTD โดยทั่วไปจะถูกบรรจุอยู่ในฝักโลหะ (SHEATH) ฉนวนที่ใช้ก็จะเป็นพวกแมกนีเซียมออกไซด์ หรืออลูมิเนียมออกไซด์ ช่วงที่มีผลต่อการวัดโดยตรงจะอยู่ตรงส่วนปลายซึ่งอาจมีความยาว 0.5 ถึง 2.5 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 แสดงโครงสร้างและการติดตั้งใช้งาน RTD

RTD โดยทั่วไปแล้วจะทำมาจากโลหะที่มีความต้านทานสูง ตัวอย่างเช่น พลาตินัม ทองแดง นิกเกิล สำหรับทั้งสแตนเลสใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิที่ต้องการย่านวัดสูง ๆ แต่เนื่องจากมันเปราะและแตกหักง่ายจึงทำให้ไม่ค่อยนิยมนำมาใช้ งาน ส่วนโลหะที่นิยมนำมาใช้ทำ RTD และให้ผลในการตอบสนองค่อนข้างเป็นเส้นตรงก็คือ พลาตินัม

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของ RTD ที่นำมาจากโลหะประเภทต่าง ๆ

ชนิดของโลหะ	กระเปาะที่บรรจุ (case)	ย่านอุณหภูมิ °C	ความต้านทาน Ω	ค่าสัมประสิทธิ์โดยประมาณ $\alpha_{\Omega/\Omega/^{\circ}\text{C}}$
พลาตินัม (ห้องทดลอง)	แก้ว	- 190 ถึง 540	25 ที่ 0°C	0.0039
พลาตินัม (อุตสาหกรรม)	แตนเลส	- 200 ถึง 125	25 ที่ 0°C	0.00039
	เหล็ก	- 18 ถึง 540	25 ที่ 0°C	
พลาตินัม (แบบแผ่นฟิล์ม)	เซรามิก	- 50 ถึง 600	1000 ที่ 0°C	0.00039
โรเดียม – เหล็ก	อลูมินา และแก้ว	- 272 ถึง 200	27 ที่ 0°C	0.00037
ทองแดง	ทองเหลือง	- 75 ถึง 120	10 ที่ 25°C	0.00038
นิกเกิล	ทองเหลือง	0 ถึง 120	100 ที่ 20°C	0.00067

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1.2 การใช้งาน RTD

ในการที่จะนำ RTD ไปใช้งานนั้น จำเป็นที่จะต้องต่อร่วมกับแหล่งจ่ายไฟ ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้มีกระแสจำนวนหนึ่งสร้างความร้อนขึ้นในตัว RTD ซึ่งมีค่าเท่ากับ I^2R จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจำกัดค่ากระแสจำนวนนี้ไม่ให้มีค่าสูงเกินไป โดยปกติ RTD แบบ พลาตินัมจะเกิดค่าผิดพลาดขึ้น $1/2^{\circ}\text{C}$ ต่อค่ากระแสเพียง 1 mA ในบรรยากาศปกติที่ไม่มีการถ่ายเท แต่ในสภาวะการใช้งานที่ต้องจุ่มลงไปลงในของเหลว ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจะกระจายออกสู่ของเหลวทำให้ค่าผิดพลาดนี้ต่ำลง ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วในการไหล ความหนาแน่นของตัวกลาง แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอันเนื่องมาจากความร้อนนี้สามารถแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

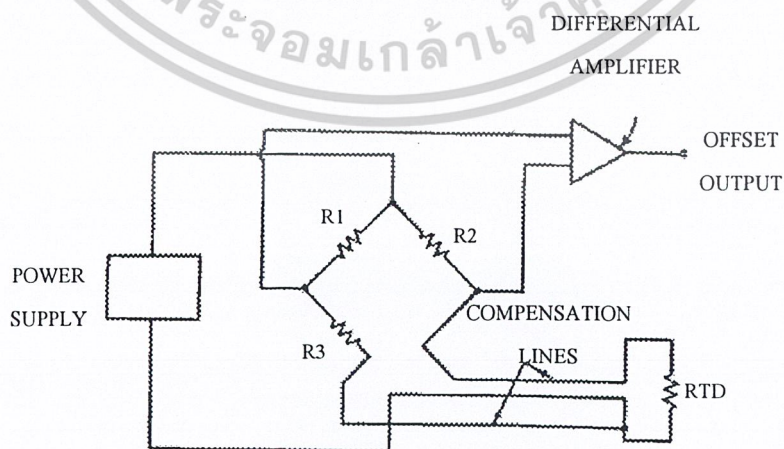
$$\Delta T = P/P_D$$

โดยที่ ΔT = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากความร้อนในตัว RTD ($^{\circ}\text{C}$)

P = กำลังความร้อนใน RTD จากวงจร (W)

P_D = กำลังความร้อนสูญเสียคงที่ของ RTD (W)

ค่ากำลังความร้อนสูญเสียคงที่ (DISSIPATION CONSTANT) เป็นข้อมูลเฉพาะของ RTD แต่ละ ชนิด ซึ่งตัวเลขนี้จะสัมพันธ์กับกำลังที่ทำให้อุณหภูมิของ RTD เพิ่มขึ้น 1 องศา ตัวอย่างเช่น $25 \text{ mW}/^{\circ}\text{C}$ หมายถึง กำลังของความร้อนซึ่งเนื่องมาจาก I^2R เป็นกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นใน RTD เท่ากับ 25 mW โดยมีความร้อนเป็น 1°C ซึ่งค่ากำลังความร้อนคงที่นี้ได้มาจากการกำหนดให้ RTD อยู่ภายใต้สองเงื่อนไข ก็คือ อยู่ในที่อากาศถ่ายเทได้สะดวกและอ่างน้ำมันที่มีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา ทั้งนี้เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่อยู่ตลอดเวลานั่นเอง



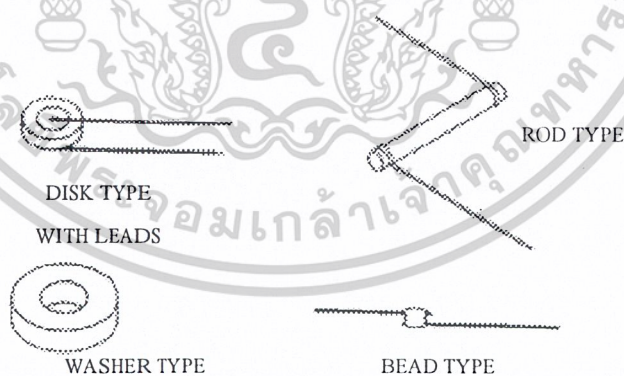
รูปที่ 2.29 การต่อวงจร RTD แบบ 3 สายร่วมกับวงจรบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรต่อใช้งานพื้นฐานของ RTD ก็คือวงจรบริดจ์ RTD จะติดตั้งอยู่ในจุดที่ต้องการตรวจจับอุณหภูมิตัวต้านทานที่เหลืออีก 3 ตัว ที่ใช้จะต้องเป็นแบบที่มีความถูกต้องเที่ยงตรงสูง การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเมื่ออุณหภูมิบรรยากาศเปลี่ยนต้องต่ำมาก ๆ และในการใช้งาน RTD ร่วมกับวงจรบริดจ์นี้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาสายที่ต่อระหว่าง RTD กับวงจรบริดจ์มากเป็นพิเศษ กล่าวคือหากสายที่ใช้ต่อก่อนข้างยาวจะทำให้มีผลต่ออุณหภูมิ และค่าความต้านทานที่จะเกิดขึ้นเพื่อชดเชยค่าความผิดพลาด ซึ่งมากที่สุด ทั้งนี้สายตัวนำทั้งสาม จะต้องมีขนาดและความยาวเท่ากัน รวมทั้งอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิเดียวกับตลอด ซึ่งการต่อวงจร RTD แบบ 3 สายร่วมกับวงจรบริดจ์นี้สามารถแสดงในรูปที่ 2.29

2.8.2 เทอร์มิสเตอร์ (THERMISTOR)

เทอร์มิสเตอร์ ก็เป็นอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเช่นเดียวกับ RTD แต่เทอร์มิสเตอร์ทำมาจากคาร์บอนและสารกึ่งตัวนำ เช่น ออกไซด์ของโลหะ นิกเกิล โคบอลต์ แมงกานีส เหล็ก ทองแดง เซอมาเนียม แมกนีเซียมและไททานเนียม ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะนิยมใช้ออกไซด์ของแมงกานีสกับทองแดง และออกไซด์ของนิกเกิลกับทองแดง สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์จะมีค่าที่สูง ตัวอย่างเช่น เทอร์มิสเตอร์บางตัวอาจเปลี่ยนค่าความต้านทาน 156 โอห์ม เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปเพียง 1 องศาเซลเซียส เท่านั้น แต่ข้อสำคัญที่ทำให้เทอร์มิสเตอร์แตกต่างจาก RTD ก็คือ การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานจะกลับกันกับ RTD หรือกล่าวง่าย ๆ ก็คือ ค่าความต้านทานจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งทั้งนี้ก็เนื่องมาจากคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำนั่นเอง



รูปที่ 2.30 แสดงตัวอย่างเทอร์มิสเตอร์ในรูปแบบต่าง ๆ

การที่เทอร์มิสเตอร์มีสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสูงนี้เอง ทำให้ย่านการวัดอุณหภูมิแคบโดยทั่วไปจะใช้นิยมนานที่ต่ำกว่า 100 องศา แต่ก็ยังมีบางแบบเหมือนกันที่สามารถวัดได้ถึง 450 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามในย่านที่อุณหภูมิต่ำ ๆ เทอร์มิสเตอร์สามารถใช้งานได้ดี แต่ต้องระวังเรื่องความชื้นสัมพัทธ์ในการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์ให้ดี เนื่องจากมีความไวต่อความชื้นสูงเกินไป ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมพัทธ์ดังกล่าวไม่ได้เป็นเส้นตรงนัก จึงจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้งานเอาเฉพาะในบางช่วงที่มีความสัมพันธ์ค่อนข้างเป็นเส้นตรง ค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์โดยทั่วไปสามารถแสดงได้ด้วยสมการแบบต่อไปนี้

$$R(T) = R_0 \exp [\beta (1/T - 1/T_0)]$$

โดยที่ $R(T)$ = ความต้านทานที่อุณหภูมิ T ใด ๆ

R_0 = ความต้านทานที่อุณหภูมิอ้างอิง T_0

β = สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน

ค่า β นี้จะขึ้นอยู่กับชนิดหรือเกรดซึ่งเป็นข้อมูลเฉพาะของเทอร์มิสเตอร์แต่ละแบบ

เมื่อนำเทอร์มิสเตอร์มาใช้ร่วมกับวงจรไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมที่ตัวมันจะเพิ่มขึ้นตามกระแสไหลผ่านที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อถึงจุด ๆ หนึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมนี้จะลดลงในขณะที่กระแสก็ยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

สาเหตุอันนี้ก็เนื่องมาจากคุณสมบัติของเทอร์มิสเตอร์ที่มีความต้านทานเป็นลบนั่นเอง ถ้าแรงดันไฟฟ้า ที่ป้อนให้กับเทอร์มิสเตอร์มีค่าน้อยก็จะมีค่าน้อยตามไปด้วย ดังนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระแสก็ยังจะมีจำนวนไม่เพียงพอที่จะทำให้อุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์มีค่าสูงตามอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมในขณะนั้น ภายใต้อุณหภูมิกี้จะแสดงเป็นสัดส่วนกับแรงดันไฟฟ้าตามกฎของโอห์ม

เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้เทอร์มิสเตอร์มีค่าสูงขึ้น กระแสก็จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย จึงทำให้เกิดความร้อนส่งผลให้อุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์สูงเกินกว่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมในขณะนั้น และค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์จะลดลง ซึ่งผลอันนี้จะทำให้กระแสไหลมากขึ้น และความต้านทานก็ยังลดลงไปเรื่อย ๆ กระแสก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งค่าสูญเสีย (DISSIPATION) ของเทอร์มิสเตอร์เท่ากับพลังงานหรือกำลังที่ป้อนให้ภายใต้สภาพแวดล้อมอุณหภูมิที่คงที่ ค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์จะเป็นฟังก์ชันกับพลังงานที่สิ้นเปลืองไปภายในตัวมันเอง และหมายถึงว่าจะต้องมีพลังงานอย่างเพียงพอที่จะทำให้อุณหภูมิของมันสูงกว่าอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม

เนื่องจากสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าการต้านทานของเทอร์มิสเตอร์มีค่าสูง การใช้เทอร์มิสเตอร์ต่อกับวงจรบริดจ์เหมือน RTD นั้น ทำให้เราสามารถอ่านค่าได้ละเอียดมากในช่วงอุณหภูมิแคบ ๆ โดยสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแม้เพียง 0.0005 องศาเซลเซียส เท่านั้น ดังนั้นวงจรการวัดโดยทั่วไปจึงหันมาใช้วงจรแบ่งแรงดัน (VOLTAGE DIVIDER) และสายที่ใช้ต่อจากเทอร์มิสเตอร์มายังวงจรก็ไม่มีส่วนสร้างความผิดพลาดในการวัดเหมือนกับ RTD จากการทดลองใช้สายทองแดงขนาดเบอร์ 18 ยาว 400 ฟุต ณ.อุณหภูมิบรรยากาศ 25 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดค่าความผิดพลาดเพียง 0.05 องศาเซลเซียสเท่านั้น

นอกจากการใช้เทอร์มิสเตอร์เป็นตัววัดอุณหภูมิโดยตรงแล้ว เรายังสามารถนำมาใช้เป็นตัวชดเชย

การทำงานของวงจรถอดรหัสต่าง ๆ ให้ทำงานถูกต้องอยู่ตลอดเวลาแม้ว่าอุณหภูมิของบรรยากาศจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักเรียนไปใช้ประโยชน์ในการค้า

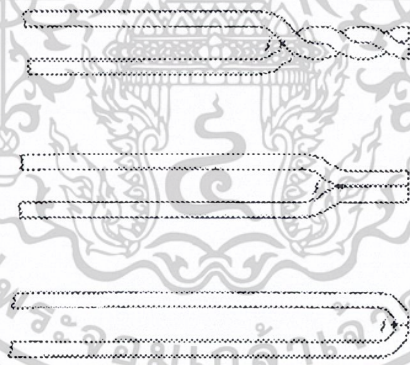
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม นอกจากนั้นในวงจรอ้างอิงสำหรับเทอร์โมคัปเปิล ก็ยังมีการนำเอาเทอร์มิสเตอร์มาใช้วัดอุณหภูมิอ้างอิงอีกด้วย

2.8.3 เทอร์โมคัปเปิล (THERMOCOUPLE)

หนึ่งในหลาย ๆ วิธีของการวัดอุณหภูมิในงานด้านวิทยาศาสตร์ และงานด้านอุตสาหกรรมก็คือการใช้ผลของเทอร์โมคัปเปิล เทอร์โมคัปเปิลจัดได้ว่าเป็นทรานสดิวเซอร์ที่สามารถสร้างหรือผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ด้วยตัวของมันเอง (ACTIVE TRANSDUCER) ดังนั้นจึงสามารถใช้ได้โดยตรงกับเครื่องมือวัดหรือบันทึกอุณหภูมิ รวมทั้งเครื่องควบคุมต่าง ๆ เทอร์โมคัปเปิลจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปเทอร์โมคัปเปิลประกอบด้วยเส้นลวดโลหะต่างชนิดกันสองเส้น ต่อเข้าด้วยกันที่ปลายข้างหนึ่งส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะถูกนำไปต่อใช้งาน ปลายของเส้นลวดที่ต่อเข้าด้วยกันนี้เรียกว่า HOT JUNCTION ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งเรียกว่า COLD JUNCTION ซึ่งเป็นปลายด้านที่ต่อไปใช้งานเมื่อจุดต่อ HOT JUNCTION ได้รับความร้อนและมีอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่สามารถวัดค่าได้ที่จุด COLD JUNCTION

โลหะที่ใช้ประกอบกันเป็นเทอร์โมคัปเปิลนั้นส่วนมากจะได้แก่ เหล็ก-คอนสแตนแตน โครเมิล-อลูเมล พลาตินัม /โรเดียม-พลาตินัม และ ทองแดง-คอนสแตนแตน โดยชื่อของโลหะตัวแรกจะเป็นขั้วบวกทางไฟฟ้า ส่วนโลหะชนิดหลังจะเป็นขั้วลบ



รูปที่ 2.31 ตัวอย่างเทอร์โมคัปเปิลในรูปแบบต่าง ๆ

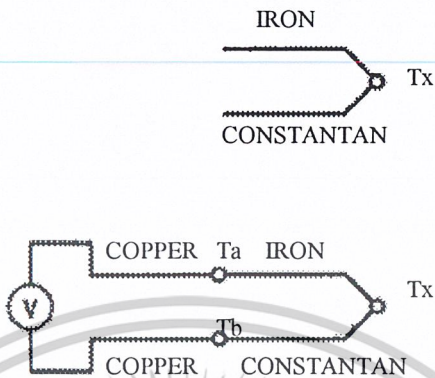
การใช้งานเทอร์โมคัปเปิล

RTD และเทอร์มิสเตอร์ จะวัดอุณหภูมิสัมบูรณ์แต่เทอร์โมคัปเปิลจะวัดเพียงอุณหภูมิสัมพัทธ์เท่านั้น การวัดอุณหภูมิสัมพัทธ์ ก็คือ การวัดอุณหภูมิใด ๆ แล้วต้องมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอ้างอิงหรืออุณหภูมิที่ทราบค่า ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล ที่อาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิสองจุด

หากเราใช้เทอร์โมคัปเปิล J ซึ่งประกอบด้วยเส้นลวดเส้นหนึ่งที่ทำมาจากเหล็ก (IRON) และอีกเส้นหนึ่ง ทำมาจาก คอนสแตนแตน (CONSTANTAN) เมื่อเราต่อเทอร์โมคัปเปิลชุดดังกล่าวนี้เข้ากับโวลต์

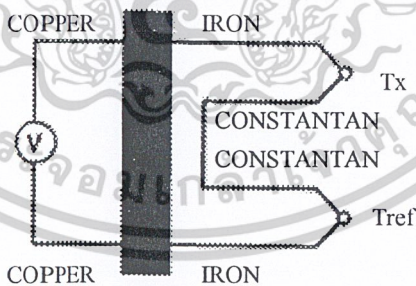
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เอกสารฉบับนี้เห็นว่ามีค่าไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิเตอร์หรืออุปกรณ์ควบคุมสิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อเราต่อสายทองแดง ก็คือ เป็นการสร้างเทอร์โมคัปเปิลขึ้นมาอีกสองเส้น ดังแสดงในรูปที่ 2.32 ซึ่งแต่ละเส้นย่อมมีผลกับแรงดันของวงจร เท่ากับว่าตอนนี้มีเทอร์โมคัปเปิลอยู่สามเส้นพร้อมอุณหภูมิที่ไม่รู้ค่าอีกสามจุด



รูปที่ 2.32 การสร้างเทอร์โมคัปเปิลขึ้นมาอีกสองเส้น

วิธีการดั้งเดิมในการแก้ปัญหาก็คือ การเพิ่มเทอร์โมคัปเปิลที่ตรงกันข้ามและจุดต่ออ้างอิงที่ทราบอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 2.33 ในตัวอย่างนี้เทอร์โมคัปเปิลที่ตรงกันข้ามคือจุดต่อ ทองแดง-เหล็ก (COPPER-IRON) อีกอันหนึ่งเพื่อให้คู่กับจุดต่อ ทองแดง-เหล็ก ที่เกิดขึ้นเมื่อต่อลวดทองแดงเข้ากับลวดเหล็กของเทอร์โมคัปเปิล ที่แท้จริงแล้วจุดต่อทั้งสองนี้จะลบล้างซึ่งกันและกันอย่างมีประสิทธิภาพ ถ้ามันถูกแยกให้อยู่ในกล่องที่แยกอยู่ต่างหาก (ISOTHERMAL BLOCK) โดยมีอุณหภูมิคงที่

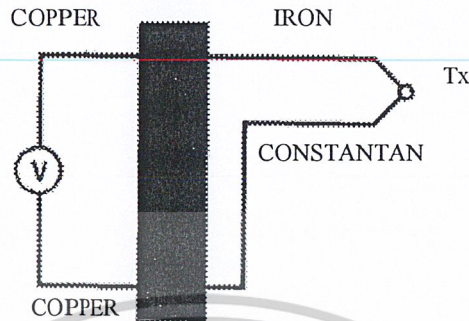


รูปที่ 2.33 การต่อเทอร์โมคัปเปิลที่จุดต่ออ้างอิงที่ทราบอุณหภูมิ

เพราะฉะนั้นในขณะนี้จะมีจุดต่อเพียงสองจุด จุดต่อแรกมาจากเทอร์โมคัปเปิล (Tx) และจุดต่ออ้างอิง (Tref) เป็นจุดที่ถูกสร้างขึ้นมา และหากเราทราบค่าอุณหภูมิที่จุดอ้างอิงนี้ก็สามารถที่จะคำนวณหาค่าอุณหภูมิ (Tx) ที่จุดวัดได้

เนื่องจากจุดอ้างอิงอุณหภูมิที่ใช้งาน ได้มีน้อยมากและมักจะมีราคาแพง จุดเยือกแข็งและจุดเดือด เอกสารขั้วนำที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และ 100 องศาเซลเซียส ดูจะเป็นเพียงทางออกที่ง่ายที่สุดที่ธรรมชาติราคาไม่แพงเกินไป ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หยิบขึ้นมาให้ วิธีการทั่วไปที่ใช้ในการกำหนดอุณหภูมิ Tref หรืออุณหภูมิอ้างอิง ก็คือ การวางจุดต่อในอ่างน้ำแข็ง วิธีการใช้อ่างน้ำแข็งแข็งจะให้ผลการวัดที่เที่ยงตรงก็จริงแต่ก็ไม่ใช่วิธีที่สะดวกที่สุด



รูปที่ 2.34 การกำจัดเทอร์โมคัปเปิลตัวที่สองโดยการขยายกล่องแยกอุณหภูมิ

เพื่อให้กระบวนการทุกอย่างง่ายขึ้น คือ ตัดอ่างน้ำแข็งออกไป แล้ววัดอุณหภูมิอ้างอิงด้วยอุปกรณ์วัดอุณหภูมิสัมบูรณ์ เช่น RTD หรือเทอร์มิสเตอร์ และชดเชยผลการวัดด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ ความจำเป็นในการบังคับให้อุณหภูมิอ้างอิงเป็นศูนย์ทั้งหมดไป ขั้นตอนถัดไปก็คือ การกำจัดเทอร์โมคัปเปิลตัวที่สอง (ในรูปที่ 2.33) โดยการขยายกล่องแยกอุณหภูมิ (ISOTHERMAL BLOCK) ให้รวมอุณหภูมิอ้างอิงเข้าไปด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.34 ทำให้สามารถตั้งอุณหภูมิของกล่องเป็นอุณหภูมิอ้างอิง Tref จึงเป็นเพียงเรื่องของการวัดอุณหภูมิของกล่องแยกอุณหภูมิด้วย RTD หรืออุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์อื่นๆ เท่านั้น

Tref หรืออุณหภูมิอ้างอิงเป็นหนึ่งในสองปริมาณที่ต้องใช้เพื่อคำนวณค่า Tx ส่วนอีกค่าหนึ่งที่ต้องทราบคือ แรงดัน (E) ซึ่งสามารถวัดได้ด้วยโวลต์มิเตอร์ จากสมการ $E = c(Tx - Tref) + k(Tx^2 - Tref^2)$ เมื่อ c และ k คือค่าคงที่ของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิด (หรืออาจใช้ตารางมาตรฐานของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละชนิดก็ได้) แต่ถึงอย่างไรก็ตามค่า c และ k รวมทั้งแรงดันเอาต์พุตที่ได้มักจะเป็นตัวเลขน้อย ๆ ทำให้เป็นการยากที่จะวัดค่าสัมบูรณ์และการเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ได้อย่างถูกต้อง

เนื่องจากเทอร์โมคัปเปิล จะผลิตแรงดัน ไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วน โดยตรงกับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่าง HOT JUNCTION และ COLD JUNCTION ดังนั้นจึงต้องระมัดระวังในการเลือกขนาดของวัตถุและหลอดป้องกันหรือฝักโลหะ (SHEATH) อย่างถูกต้อง การส่งถ่ายความร้อนอาจจะเข้าไปที่ HOT JUNCTION ใหญ่เกินไป หรือฝักโลหะที่มีขนาดไม่ถูกต้องจะทำให้ผลการตอบสนองทางไฟฟ้าเข้าไปด้วย HOT JUNCTION จึงควรมีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และหลอดป้องกันหรือฝักโลหะก็ควรมีการลดทอนและช่วงการหน่วงน้อยที่สุดด้วย

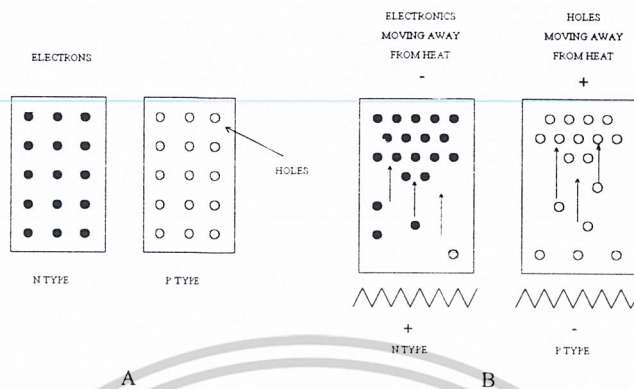
2.8.4 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

เมื่อไม่นานมานี้สารกึ่งตัวนำได้ถูกนำมาใช้ในงานวัดอุณหภูมิกันมากขึ้น โดยสารกึ่งตัวนำที่นิยม

นำมาใช้ก็คือ สารกึ่งตัวนำชนิด P และ N ดังแสดงในรูปที่ 2.35 (A) สารกึ่งตัวนำชนิด N จะมีช่องว่างานเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งวงเวรีสารที่รับการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตให้เนาเปเชประเษชนดานการค้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

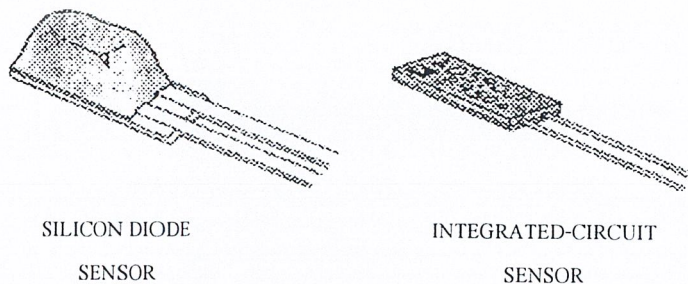
ของอิเล็กตรอนอิสระอยู่ สำหรับสารกึ่งตัวนำชนิด P นั้นจะขาดซึ่งอิเล็กตรอนในที่นี้หมายถึงการมี โฮล (HOLE) อยู่นั่นเอง



รูปที่ 2.35 การวัดอุณหภูมิโดยใช้สารกึ่งตัวนำ

เมื่อให้ความร้อนกับสารกึ่งตัวนำชนิด N อิเล็กตรอนจะเกิดการปั่นป่วนและเคลื่อนที่ไปรวมกันอยู่ทางด้านบนที่ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้นที่ปลายด้านนี้จะมีอิเล็กตรอนรวมตัวกันอยู่มากกว่าทางด้านที่มีอุณหภูมินั้นคือ จะกลายเป็นขั้วลบเมื่อเทียบกับปลายด้านร้อน สำหรับสารกึ่งตัวนำชนิด P นั้น เมื่อได้รับความร้อน โฮล จะเคลื่อนที่ไปรวมตัวกันอยู่ทางด้านบนหรือด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเช่นเดียวกับสารกึ่งตัวนำชนิด N เนื่องจากโฮล นั้นแสดงถึงการขาดอิเล็กตรอน จึงเกิดเป็นขั้วบวกที่ปลายข้างที่ไม่ได้รับความร้อน ในรูปที่ 2.35 (B) แสดงให้เห็นว่าสารกึ่งตัวนำชนิด N จะกลายเป็นขั้วลบที่ปลายด้านที่อุณหภูมิต่ำกว่า และเป็นขั้วบวกที่ปลายด้านที่ได้รับความร้อน เช่นเดียวกับสารกึ่งตัวนำชนิด P ขั้วบวกจะอยู่ที่ด้านอุณหภูมิต่ำกว่า ส่วนขั้วลบจะอยู่ที่ปลายด้านที่ได้รับความร้อน และหากเรานำเอาสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดมาต่อเข้าด้วยกันแล้วก็จะทำให้เกิดการไหล ของอิเล็กตรอนขึ้น เมื่อสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดได้รับความร้อน

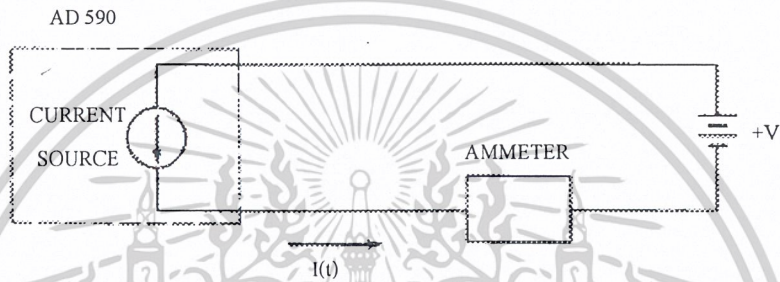
อุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำดังกล่าว โดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของ ไดโอดเซนเซอร์ และเซนเซอร์ที่อยู่ในรูปของตัว IC ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวนี้ส่วนมากจะใช้วัดอุณหภูมิอยู่ในช่วง - 50 °C ถึง 150 °C และโครงสร้างภายนอกจะมีขนาดเล็ก แสดงได้ดังรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.36 โครงสร้างภายนอกอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์วัดอุณหภูมิซึ่งอยู่ในรูปของ IC จะใช้ซิลิคอนทรานซิสเตอร์ (SILICON TRANSISTOR) เป็นตัวสร้างกระแสทางด้านเอาต์พุต ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ แหล่งจ่ายแรงดันที่มีค่าอยู่ในช่วง 4 ถึง 30 โวลต์จะถูกจ่ายให้กับเซนเซอร์และกระแสที่ไหลที่ไหลในวงจรสามารถสังเกตได้จากแอมป์มิเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.37 ตัวอย่างหนึ่งของเซนเซอร์แบบนี้คือ AD590 เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้กระแสในหน่วยไมโครแอมป์ต่ออุณหภูมิสัมบูรณ์ในหน่วยของศาเคลวิน เช่น 293 μA ที่อุณหภูมิ 298 $^{\circ}\text{K}$ หรือ 25 $^{\circ}\text{C}$ เนื่องจากอุปกรณ์เป็นแหล่งจ่ายกระแสที่แปรผันไปตามอุณหภูมิ ดังนั้นจึงมีความไวต่อสัญญาณรบกวนภายนอกรวมทั้งค่าผิดพลาดที่เกิดจากจุดต่อสาย ในการประยุกต์ใช้งานเซนเซอร์แบบนี้จึงต้องมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการชดเชยอุณหภูมิด้วย



รูปที่ 2.37 ตัวอย่างของเซนเซอร์ AD590

2.8.5 การเลือกอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิที่นิยมใช้กันโดยส่วนใหญ่

ข้อเปรียบเทียบ	อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ			
	เทอร์โมคัปเปิล	RTD	เทอร์มิสเตอร์	ตัววัด IC
ข้อดี	-ไม่ต้องการแหล่งจ่ายพลังงาน -ทนทาน -มีราคาถูก -มีช่วงอุณหภูมิกว้าง	-คงที่ที่สุด -เที่ยงตรงที่สุด -เป็นเชิงเส้นมากกว่าเทอร์โมคัปเปิล	-ให้เอาต์พุตสูง -เร็ว -เป็นการวัดแบบ 2 สาย	-เป็นเชิงเส้นที่สุด -ให้เอาต์พุตสูงสุด -มีราคาถูก
ข้อเสีย	-ไม่เป็นเชิงเส้น -ให้แรงดันต่ำ -ต้องการค่าอ้างอิง -มีความคงที่น้อยที่สุด -มีความไวต่ำที่สุด	-มีราคาแพง -ช้า -ต้องใช้แหล่งจ่ายจากภายนอก -ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงน้อย -กำเนิดความร้อนขึ้นมาก	-ไม่เป็นเชิงเส้น -ช่วงอุณหภูมิจำกัด -ขอบบาง -ต้องใช้แหล่งจ่ายจากภายนอก -กำเนิดความร้อนขึ้นมาก	-มีข้อจำกัดน้อยกว่า 250 $^{\circ}\text{C}$ -ต้องใช้แหล่งจ่ายจากภายนอก -กำเนิดความร้อนขึ้นมาก -มีข้อจำกัดทางโครงสร้างและการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่มีอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิตัวไหนที่ดีที่สุดสำหรับการวัดในทุกๆ สถานการณ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรู้ถึงคุณสมบัติในการใช้งานของอุปกรณ์แต่ละชนิดดังกล่าวมาในข้างต้น ตารางที่ 2.3 แสดงถึงองค์ประกอบที่ใช้ในการพิจารณา เช่น ประสิทธิภาพ การใช้งาน ความสะดวก รวมทั้งราคา เป็นต้น

2.9 อุปกรณ์ตรวจวัดความดัน

เครื่องจักรกลที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรมปัจจุบันนี้ อาศัยการทำงานจากพลังงานในรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งส่วนใหญ่แล้วเรามักจะคุ้นเคยกับเครื่องจักรกลที่ทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้า แต่จริงๆ แล้ว ยังมีเครื่องจักรกลอีกจำนวนมากที่อาศัยพลังงานจากของไหล (FLUID) เช่น ระบบนิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์ เวบสเตอร์ (WEBSTER) ได้ให้คำจำกัดความของคำว่า ของไหล ไว้ว่า คือ สสารชนิดหนึ่งซึ่งจะเปลี่ยนรูปร่างไปตามภาชนะ ที่บรรจุมันอยู่ เช่น ก๊าซหรือของเหลว ก๊าซนั้นอาจขยายตัวเพื่อให้เต็มพื้นที่ของภาชนะที่บรรจุอยู่ หรือถูกกดดันลง ไปก็ได้ สำหรับของเหลวนั้น โมเลกุลจะยึดติดกันแน่นหนา กว่าก๊าซ และจะไม่ขยายตัวหรือหดตัว เครื่องจักรนิวแมติกส์จะทำงานโดยอาศัยความดันก๊าซหรือลม ส่วนเครื่องจักรไฮดรอลิกส์ นั้นทำงานโดยอาศัยความดันของเหลวจากปั๊ม

2.9.1 ความดันและรูปแบบของความดัน

แรงที่ของไหลกระทำต่อผิวของภาชนะที่กระจายไปทั่วพื้นผิวทั้งหมด ในแนวตั้งฉากกับผิวของภาชนะบรรจุนั้น ถ้าเรากำหนดให้ F คือแรงที่กระทำ A คือพื้นที่ที่แรงกระทำ P คือความดันที่เกิดขึ้น ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ว่า

$$P = F/A$$

2.9.1.1 หน่วยวัดความดัน

แรงที่กระทำ 1 N (NEWTON) ลงบนพื้นที่ 1 m² จะได้ความดันเท่ากับ 1 Pa (PASCAL) ผู้ที่กำหนดหน่วยความดันนี้ขึ้นมา ก็คือ BLAISE PASCAL และต่อมาได้มีผู้คิดค้นหน่วยวัดความดันขึ้นมาอีกหลายหน่วยด้วยกัน ซึ่งในที่นี้จะแสดงความสัมพันธ์ ของหน่วยวัดความดันแต่ละหน่วยเข้าด้วยกันดังต่อไปนี้

1 N/m ²	=	1 Pa
10 ⁵ Pa	=	1 bar
0.068947 bar	=	1 psi (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
0.981 bar	=	1 kgf/cm ²
1.01325 bar	=	1 atm (ความดันบรรยากาศ)

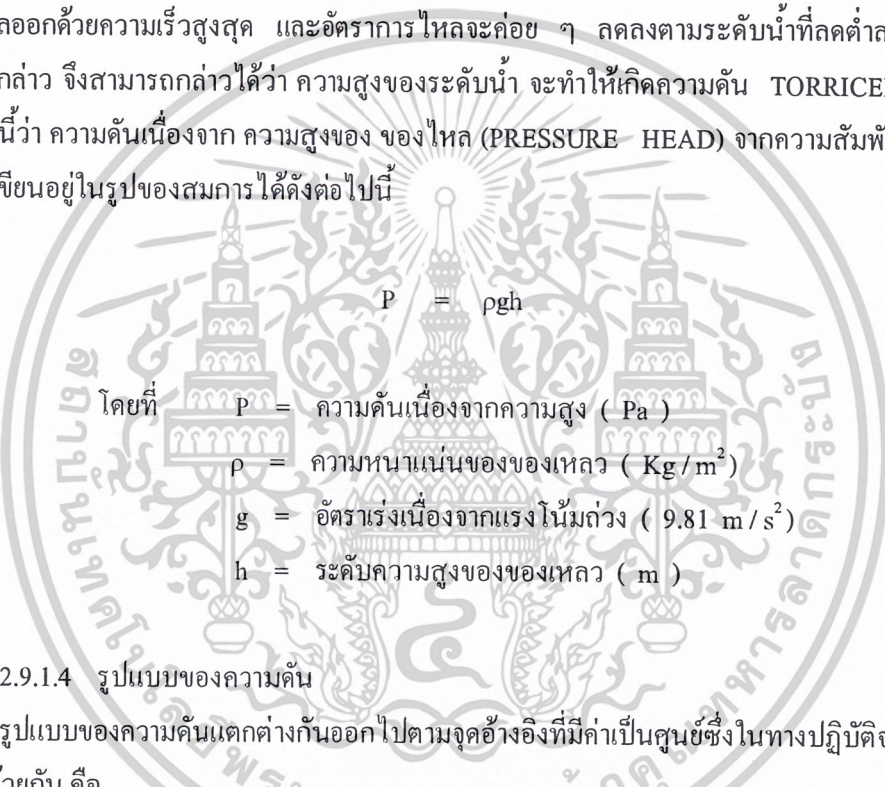
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1.2 กฎของปาสกาล (PASCAL 'S LAW)

กฎของปาสกาลจะใช้เกี่ยวกับความดันของของไหลที่หยุดนิ่งและอยู่ในที่ปิดล้อมโดยมีใจความสำคัญ คือ เมื่อไม่คำนึงถึงแรงโน้มถ่วงหรือน้ำหนักของของไหล ความดันในของไหลที่หยุดนิ่งจะมีค่าเท่ากันทุก ๆ จุด ถ้าเพิ่มความดันที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของของไหลแล้ว ความดันนี้จะถูกส่งผ่านไปยังทุก ๆ ส่วนของของไหลได้เท่าเทียมกันหมด

2.9.1.3 ความดันสถิต (STATIC PRESSURE)

ความดันสถิต หมายถึง ความดันที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักและความสูงของของไหล ในสมัยเดียวกันกับ ปาสกาล มีนักวิทยาศาสตร์ ชื่อ ทอริเซลลิ (TORRICELLI) พบว่าถ้าเจาะรูที่ก้นถังที่มีน้ำเต็ม น้ำจะไหลออกด้วยความเร็วสูงสุด และอัตราการไหลจะค่อย ๆ ลดลงตามระดับน้ำที่ลดต่ำลง จากเหตุการณ์ดังกล่าว จึงสามารถกล่าวได้ว่า ความสูงของระดับน้ำ จะทำให้เกิดความดัน TORRICELLI เรียกความดันนี้ว่า ความดันเนื่องจาก ความสูงของ ของไหล (PRESSURE HEAD) จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ดังต่อไปนี้



$$P = \rho gh$$

- โดยที่ P = ความดันเนื่องจากความสูง (Pa)
- ρ = ความหนาแน่นของของเหลว (Kg/m³)
- g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (9.81 m/s²)
- h = ระดับความสูงของของเหลว (m)

2.9.1.4 รูปแบบของความดัน

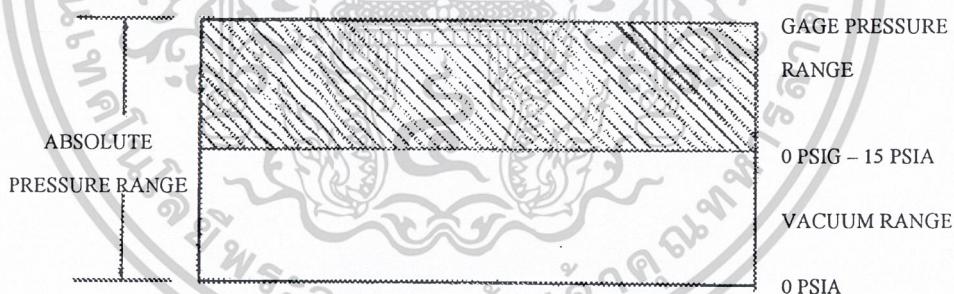
รูปแบบของความดันแตกต่างกันออกไปตามจุดอ้างอิงที่มีค่าเป็นศูนย์ซึ่งในทางปฏิบัติจะมีอยู่ 4 รูปแบบด้วยกัน คือ

1. ค่าความดันสัมบูรณ์ (ABSOLUTE PRESSURE) ค่าความดันสัมบูรณ์มีจุดศูนย์อยู่ที่จุดสุญญากาศ (ABSOLUTE VACUUM) ค่าที่กำหนดเป็นความดันสัมบูรณ์จะมีตัวย่อต่อท้ายเป็น abs หรือ a เช่น bar_{abs} หรือ psia
2. ค่าความดันเกจ (GAUGE PRESSURE) ค่าความดันเกจจะอ้างอิงค่าศูนย์ที่ความดันบรรยากาศ โดยค่าที่บอกจะเป็นค่าที่สูงกว่าความดันบรรยากาศขึ้นไป ซึ่งค่าความดันบรรยากาศนี้จะถือระดับน้ำทะเลเฉลี่ย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.01325 bar_{abs} ถ้าวัด ณ จุดใด ๆ บนพื้นโลก จะมีค่าแตกต่างกันประมาณ 5 % ในทางปฏิบัติจะถือโดยประมาณว่าเท่ากัน งานส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมจะบอกเป็นความดันเกจแทบทั้งสิ้น ค่าที่กำหนดเป็นความดันเกจนี้ จะมีตัวย่อต่อท้ายเป็น g หรือ G เช่น bar_g หรือ psig ถ้าเปรียบเทียบค่าความดันสัมบูรณ์กับ

ความดันเกจแล้ว ความดันสัมบูรณ์ จะมีค่ามากกว่า 1.01325 bar หรือ 14.503774 psi ซึ่งค่าที่มากกว่านี้ก็คือ ค่าความดันบรรยากาศ (ATMOSPHERIC PRESSURE ; atm) นั่นเอง

$$P_{abs} = P_g + P_{atm}$$

3. ความดันดิฟเฟอเรนเชียล (DIFFERENTIAL PRESSURE) เป็นการบอกค่าความแตกต่างระหว่างความดันสองจุด ซึ่งความดันแตกต่างกันี้จะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อความดันทั้งสองจุดที่วัดมีค่ากัน ค่าที่กำหนดเป็นความดันแตกต่างจะมีตัวย่อต่อท้ายเป็น d หรือ D เช่น bar_d หรือ psid และในบางครั้งอาจเขียนย่อเป็น ΔP ก็ได้เช่นเดียวกัน
4. สูญญากาศ (VACUUM) สูญญากาศจะอ้างอิงจุดศูนย์ที่ความดันบรรยากาศ และจะมีค่ามากขึ้นเมื่อความดันลดลง โดยจะมีค่าสูงสุดที่จุดศูนย์ของความดันสัมบูรณ์ สูญญากาศนี้บางครั้ง จะเรียกว่า ความดันลบ (NEGATIVE PRESSURE) นิยมกำหนดหน่วยวัดเป็นค่าความสูงของของเหลว เช่น mmHg , inHg , mmH₂O และจะมีตัวย่อต่อท้ายด้วย vac เช่น m นอกจากนี้ อาจแสดงเป็นค่าติดลบก็ได้ เช่น - 0.125 bar หรือ - 5 psi ในช่วงที่เป็นสูญญากาศสูง ๆ หน่วยที่จะใช้ จะเรียกเป็น ทอร์รี่ (TORR) ซึ่ง 1 TORR หมายถึง 1 mmHg จุดศูนย์อยู่ที่จุดความดันสัมบูรณ์ หน่วยนี้ตั้งขึ้นเพื่อเป็นเกียรติแก่ ทอริเซลลี (TORRICELLI) นักวิทยาศาสตร์ที่เป็นผู้ค้นพบว่า 1 ความดันบรรยากาศมีค่าเท่ากับ 760 mmHg



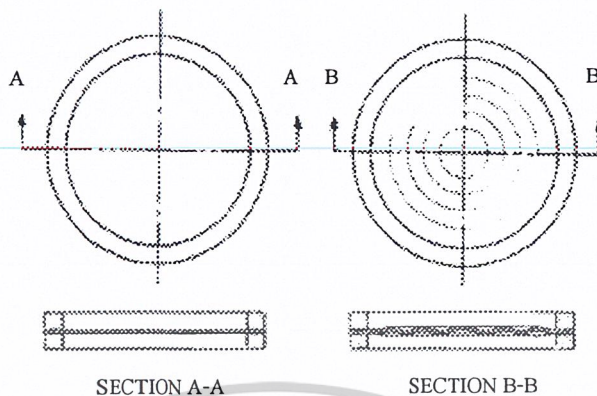
รูปที่ 2.38 แสดงความสัมพันธ์ของย่านวัดความดัน

2.9.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดความดัน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดความดันมีอยู่หลายประเภทด้วยกัน ซึ่งในแต่ละประเภทก็มีลักษณะการใช้งานรวมทั้งข้อดี ข้อเสียแตกต่างกันออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2.1 ไคอะเฟรม (DIAPHRAGM)



รูปที่ 2.39 ไคอะเฟรม

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของ ไคอะเฟรม

ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> - สามารถออกแบบให้วัดความดันเกจ ความดันสัมบูรณ์ ความดันแตกต่าง รวมทั้งสูญญากาศได้ - เหมาะสำหรับสารประเภทกัดกร่อน มีความหนืดสูง ทั้งนี้เนื่องจากสามารถเลือกวัสดุที่ใช้ทำ ไคอะเฟรมได้หลายชนิด - ความเป็นเชิงเส้น (LINEARITY) ก่อนข้างดี 	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้วัดความดันในย่านที่มีค่าค่อนข้างต่ำ - ให้ผลตอบสนอง (ความไว) ต่อการเปลี่ยนแปลงความดัน (DYNAMIC PRESSURE) ไม่ดี เนื่องจาก ไคอะเฟรมมีลักษณะคล้ายกับอุปกรณ์หน่วง (DAMPENER) - ความถี่ธรรมชาติ (NATURAL FREQUENCY) ของไคอะเฟรมจะต้องสูงกว่าความถี่ของความดันในระบบ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากป้องกันการเกิดรีโซแนนซ์ อันทำให้ไคอะเฟรมเกิดการเสียหาย

ไคอะเฟรมอาจเป็นแผ่นโลหะ หรือสารสังเคราะห์ ที่มีลักษณะกลมบ้าง โดยอาจเป็นแผ่นเรียบ (FLAT TYPE) หรือเป็นลอน (CORRUGATE TYPE) ก็ได้ หากถามว่า แล้วทั้งสองแบบนี้ มีข้อแตกต่างกันอย่างไร คำตอบก็คือ ไคอะเฟรมแบบแผ่นเรียบ จะพบมากในทรานสดิวเซอร์ ชนิดที่เปลี่ยนความ

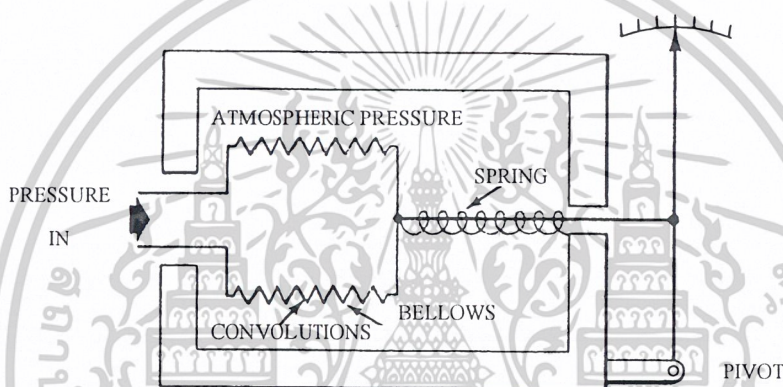
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คั้นเป็นสัญญาณไฟฟ้า (ELECTRICAL PRESSURE TRANSDUCER) โดยเฉพาะแบบคาปาซิทีฟ และ ไดอะแฟรมแบบแผ่นเรียบนี้ จะให้ระยะการเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น สำหรับไดอะแฟรมแบบลอน ส่วนใหญ่จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่าแผ่นเรียบ ความเป็นเชิงเส้น และการทนต่อค่าความดันเกินพิกัด ก็สามารถทำได้ดีกว่า

2.9.3 เบลโลว์ (BELLOW)

เบลโลว์ เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดความดันที่มีลักษณะการทำงานคล้ายกันกับแบบบูร์ดอง คือ เปลี่ยนความดันมาเป็นการเคลื่อนที่ โดยมีโครงสร้างของตัววัดเป็นรูปทรงกระบอกบาง กลวง ปลายข้างหนึ่งปิดผนึกมีลักษณะเป็นลูกฟูกเพื่อให้สามารถยืดหดตัวได้เมื่อได้รับความดัน ดังแสดงด้วยรูปที่ 2.40



รูปที่ 2.40 อุปกรณ์ตรวจวัดความดันแบบ เบลโลว์

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเบลโลว์

ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> - ใช้วัดความดันต่ำ ๆ หรือวัดสุญญากาศได้ดี - ให้การเคลื่อนที่และแรงขับเคลื่อนตัวสูง - สามารถใช้ร่วมกับทรานสดิวเซอร์หรือทำเป็นอุปกรณ์ควบคุมนิวมติกส์ได้ดี - อายุการใช้งาน จะมากกว่าตัววัดแบบอื่น ๆ หากใช้งานที่ถูกต้องและเหมาะสม 	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้วัดความดันค่าสูง ๆ ไม่ได้ - ในช่วงเริ่มต้นของสเกลหรือย่านวัดจะให้ผลไม่เป็นเชิงเส้น - เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน คุณสมบัติของเบลโลว์และสปริงจะเปลี่ยนตามไปด้วย จึงจำเป็นต้องมีการชดเชย (COMPENSATE)

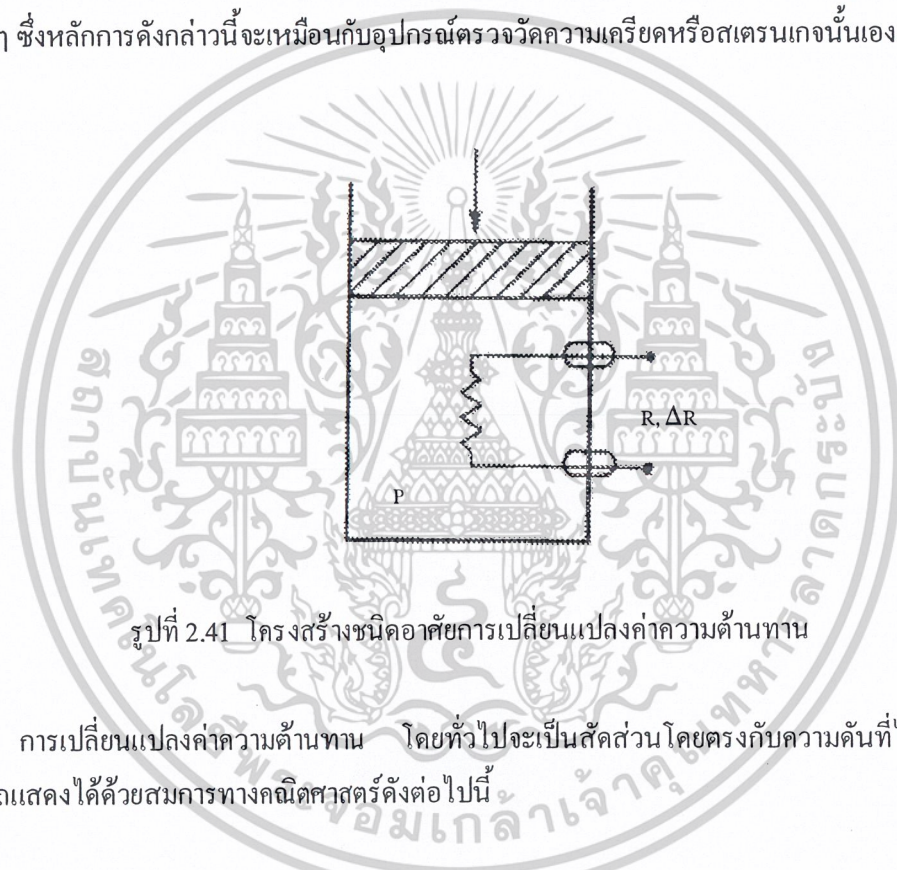
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.40 เมื่อป้อนความดันเข้าทางด้านซ้ายมือความดันจะทำให้เบลโลว์เกิดการยืดตัวออกคั้นให้เข็มเคลื่อนที่ซึ่งบอกค่าที่สเกลตามขนาดของความดัน เบลโลว์เป็นตัววัดที่ดีมากสำหรับความดันค่าต่ำ ๆ หรือสูญญากาศ โดยปกติย่านการใช้งานจะอยู่ในช่วงประมาณ 0 ถึง 1.5 bar หรือ 0 ถึง 45 psi

เนื่องจากคุณสมบัติของเบลโลว์มีขนาดเล็ก ให้การเคลื่อนที่และส่งแรงขับให้กับอุปกรณ์อ่านค่าหรือควบคุมที่ความดันต่ำ ๆ ได้ดีกว่าตัววัดแบบอื่น ๆ จึงเหมาะที่จะใช้งานร่วมกับทรานสดิวเซอร์ชนิดอื่น

2.9.4 ชนิดอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน (RESISTIVE PRESSURE TRANSDUCER)

ถ้าเส้นลวดตัวนำที่ถูกต้องได้รับความดันจากภายในทุก ๆ ทิศทางแสดงดังในรูปที่ 2.41 จะทำให้ค่าความต้านทานทางไฟฟ้าเกิดเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมโดยอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของตัวนำนั้น ๆ ซึ่งหลักการดังกล่าวนี้จะเหมือนกับอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดหรือสเตรนเกจนั่นเอง



รูปที่ 2.41 โครงสร้างชนิดอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน

การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน โดยทั่วไปจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความดันที่ได้รับ ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

$$R = R_0 (1 + b\Delta P)$$

- โดยที่
- R = ค่าความต้านทานที่ความดันเปลี่ยนแปลงไป
 - R_0 = ค่าความต้านทานที่ความดันบรรยากาศหรือในสภาพปกติ
 - b = สัมประสิทธิ์ของความดัน
 - ΔP = ความดันที่เปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 เป็นการแสดงค่าสัมประสิทธิ์ของความดัน (PRESSURE COEFFICIENT ; b) ของวัสดุชนิดต่าง ๆ รวมทั้งค่าเบี่ยงเบนสูงสุดจากเชิงเส้น

วัสดุ	สัมประสิทธิ์ของความดัน (b) cm ² / 1 kg	ค่าเบี่ยงเบนจากเชิงเส้น
- อลูมิเนียม	- 4.0 x 10 ⁻⁶	- 0.001
- แคลเนียม	- 9.1 x 10 ⁻⁶	- 0.006
- ทองแดง	- 1.8 x 10 ⁻⁶	- 0.0004
- เหล็ก	- 2.3 x 10 ⁻⁶	- 0.0005
- พรอท (เหลว)	- 22.4 x 10 ⁻⁶	
- พรอท (แข็ง)	- 23.6 x 10 ⁻⁶	
- เงิน	- 3.3 x 10 ⁻⁶	- 0.001

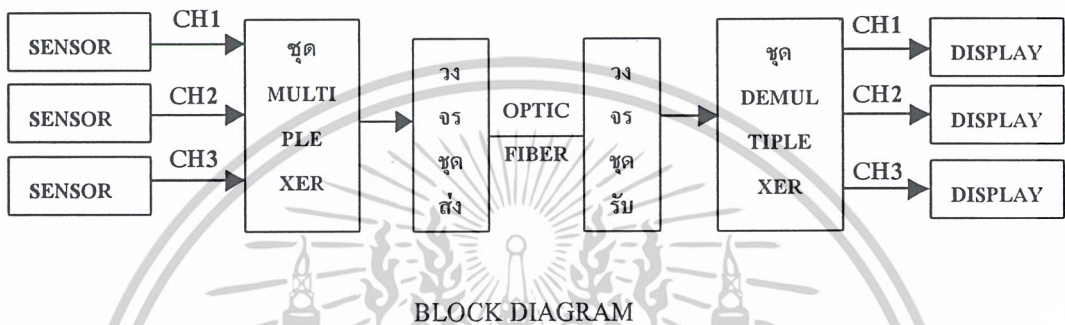
อุปกรณ์ตรวจวัดความดันชนิดนี้จะต้องใช้ในที่มีอุณหภูมิคงที่ ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าความดันทานจะมีผลต่ออุณหภูมิ โดยทั่วไปจะใช้วัดความดันได้ตั้งแต่ 0 ถึง 10⁴ kg / cm² การเบี่ยงเบนหรือคลาดเคลื่อนของค่าความดันทานจะขึ้นอยู่กับการเบี่ยงเบนค่าของความดันโดยปราศจากการหน่วงของเวลา หรือค่าฮิสเทอรีซิส (HYSTERESIS) แต่อย่างไรก็ตามหากความดันถูกส่งผ่านโดยของเหลวเวลาในการตอบสนองอาจจะช้าลง สาเหตุก็เนื่องมาจากความหนืดที่เพิ่มสูงขึ้นตามความดันที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการออกแบบวงจร

ในโครงงานชุดนี้เป็นการนำเอาชุดตรวจจับสภาวะต่าง ๆ ที่จะใช้ในการทดลองทำการส่งผ่านสัญญาณที่แต่ละชุดสามารถตรวจจับได้ส่งไปทำการมัลติเพล็กซ์สัญญาณก่อนที่จะทำการส่งผ่านเส้นใยแสงไปเมื่อถึงทางด้านรับจะทำการ ดีมัลติเพล็กซ์สัญญาณกลับคืนมา แล้วจึงนำสัญญาณต่าง ๆ ส่งไปแสดงผลยังส่วนแสดงผลซึ่งโครงสร้างของโครงงาน และรายละเอียดมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 บล็อกแสดงการทำงานโดยรวม

ซึ่งส่วนประกอบในส่วนต่างๆ ประกอบไปด้วย

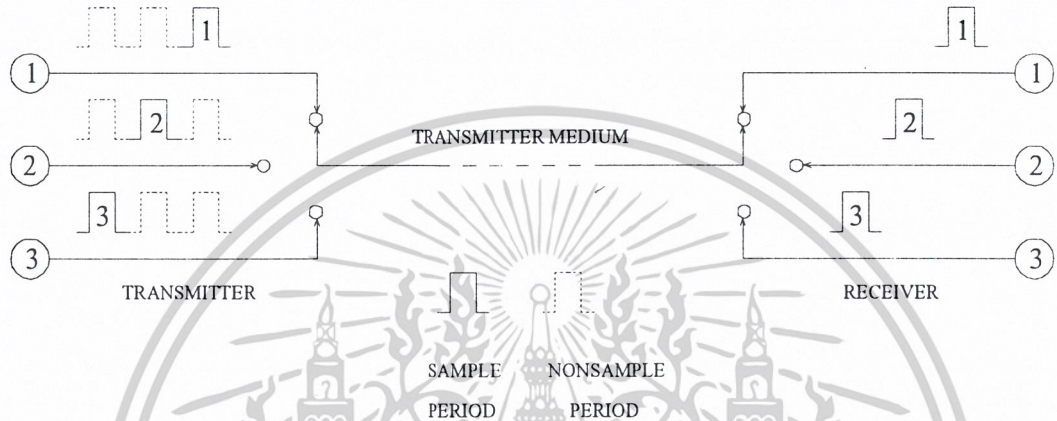
- ชุด มัลติเพล็กซ์
- ชุด ดีมัลติเพล็กซ์
- ชุด เซนเซอร์
 - ชุดวัดอุณหภูมิ
 - ชุดวัดความดัน
 - ชุดวัดความชื้น
- ชุดแสดงผล
 - ชุดวัดอุณหภูมิ
 - ชุดวัดความดัน
 - ชุดวัดความชื้น

ซึ่งรายละเอียดของแต่ละชุดจะได้อธิบายดังต่อไปนี้

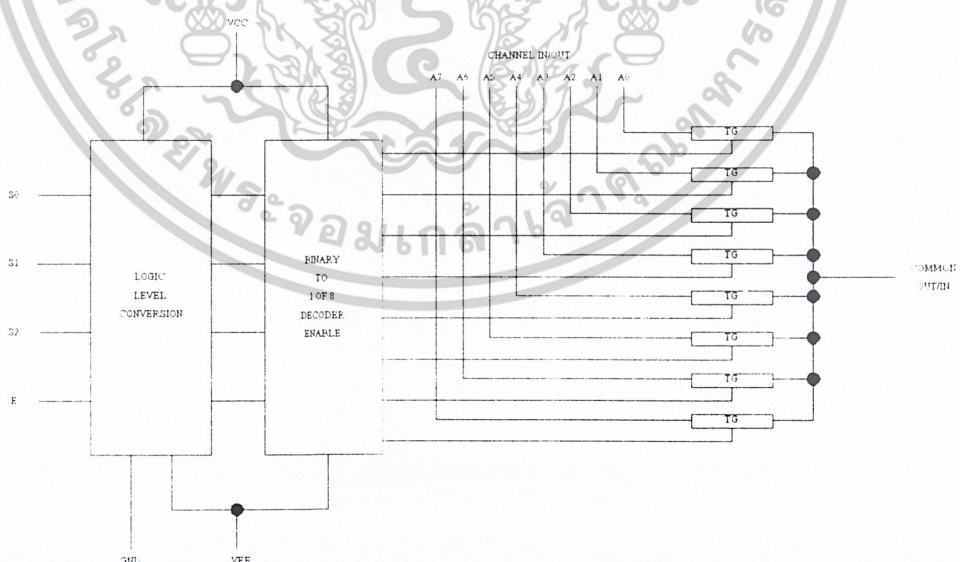
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ชุด มัลติเพล็กซ์

ระบบ TIME DIVISION MULTIPLEX เป็นพื้นฐาน และเป็นวิธีการที่นิยมนำมาใช้กันแต่ละ สัญญาณที่จะส่งจะต้องถูกต่อเข้ากับสื่อกลางในเวลาอันรวดเร็วโดยตัวต่อ MOTOR DRIVEN COMMULATOR ซึ่งในปัจจุบันนี้ การมัลติเพล็กซ์ถูกกระทำโดย INTIGRATED CIRCUIT (IC) แทนรูปที่ 3.2 แสดงถึงหลักการเบื้องต้นของระบบ สวิตซ์ซึ่ง นี้สามารถทำได้โดยการใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน หรือ ไอซี (แน่นอนว่าในขณะนี้เราใช้วงจร ไอซี)



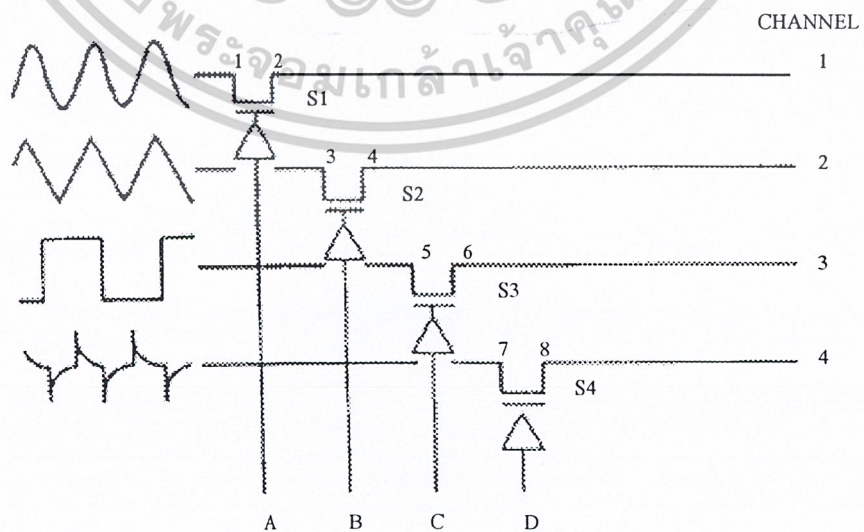
รูปที่ 3.2 แสดง BASIC MULTIPLEX



รูปที่ 3.3 แสดง โครงสร้างของ ไอซี MC 14051 MULTIPLEXER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณจากแต่ละวงจรหรือจากแต่ละแหล่งชั้นแรกจะต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณพัลส์ SAMPLE ในระหว่างช่วงสัญญาณแฉมเปิด สัญญาณจะถูกส่งผ่านออกไป ซึ่งสัญญาณเหล่านี้อาจเป็นได้ทั้ง DC, AM, AC, FM, PWM, PCM หรือสัญญาณแบบอื่นๆ ความเร็วของการแฉมปลิง ไม่ได้ถูกกำหนดเอาไว้แน่นอนตายตัวแต่มันจะเป็นตัวกำหนด BAND PASS ของระบบและจะมีผลกระทบมากถ้าหากอัตราการแฉมปลิง มีค่าน้อยกว่าสองเท่าของความถี่ที่เราส่งออกไป สำหรับสัญญาณเสียงในระบบโทรศัพท์ที่อัตราการแฉมปลิงปกติจะใช้ 8,000 Hz หรือสูงกว่านี้ BANDWIDTH ปกติของสายโทรศัพท์ที่ใช้ส่งสัญญาณเสียงจะอยู่ที่ 300 ถึง 3,400 Hz และกำหนดช่วงห่างของสัญญาณแต่ละช่วง 600Hz ที่อัตรา 8,000Hz ในแต่ละเฟรมของเสียง (24 SLOTS) จะใช้เวลาสุ่ม 125 ไมโครวินาที แต่ละ SLOT กินเวลา 5.2 ไมโครวินาที ซึ่งก็คือแต่ละช่องสัญญาณนั่นเอง TIME SLOTS ที่ใช้เวลาน้อยกว่า 5.2 ไมโครวินาทีสามารถใช้ส่งสัญญาณAUDIO ในจำนวนช่องสัญญาณที่มากขึ้นและ BANDWIDTH ก็จะถูกขยายให้มากขึ้นตามไปด้วยในการทดลองนี้อัตราการ แฉมปลิง จะใช้ประมาณ 20 KHz, BANDWIDTH ของระบบมากกว่า 1 MHz ซึ่งถ้า BANDWIDTH แคบ จะทำให้การส่งสัญญาณผิดพลาดได้ทั้งทางด้านส่ง และทางด้านรับจะต้องมีการ ซิงโครไนเซชัน กัน เมื่อสัญญาณข้อมูลถูกต้องเข้ากับ CH 1 ทางด้านรับก็ต้องอยู่ใน CH 1 ด้วยซึ่งในระบบ TIME DIVISION MULTIPLEXจะต้องมีการ SYNCHRONIZED ที่ดีด้วยปกติแล้ว MARKER พัลส์ ที่จะถูกส่งไป จะต้องแตกต่างไปจากข้อมูลอื่นๆ ในระหว่างการส่งข้อมูลปกติ เช่น อาจจะมีระดับที่สูงกว่าหรือมีความกว้างซึ่งในเรื่องของสัญญาณที่ใช้ที่นี่ไม่สำคัญนักเพียงแต่ขอให้ทางด้านรับสามารถที่จะตรวจสอบได้ง่าย TIME SLOTS ในแต่ละช่องสัญญาณจะรวมกันเป็น 1 เฟรมสัญญาณ SYNCHRONIZED พัลส์จะถูกส่งไปยังเครื่องรับที่จุดเริ่มต้นหรือจุดสุดท้ายของเฟรมในการทดลองนี้ตัว MARKER พัลส์ จะมีขนาดที่สูงกว่า แชลแนลพัลส์ ด้วยเหตุนี้ทางด้านรับก็สามารถรู้หรือตรวจสอบได้ และใช้เป็นตัวล็อก ใน LOCAL OSCILLATOR ทางเครื่องรับซึ่ง ซิงโครไนเซชันพัลส์ นี้จะอยู่ในตำแหน่ง TIME SLOT ที่ 5

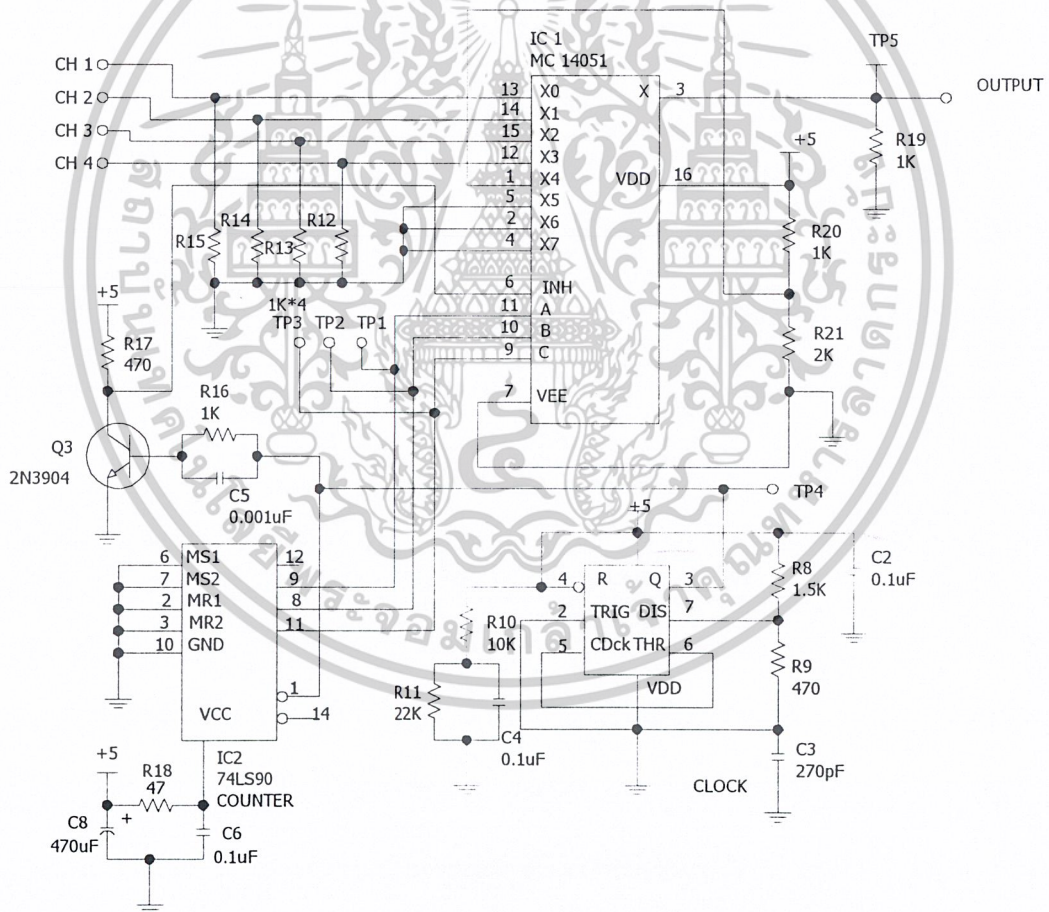


รูปที่ 3.4 FOUR SWITCH IC WITH GATE AND CONTROL INPUT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองนี้เราใช้ไอซี อนุโลกสวิตซ์ซึ่ง หรือจะเรียกว่า COMMUTATIONAL SWITCHES สวิตซ์ไอซีนี้จะถูกจัดเรียงเป็นแบบ 4 , 8, หรือ 16 ที่ อินพุต และ เอาต์พุต ของไอซีสามารถที่จะแยกต่างหากหรือจัดเรียงเข้าเป็นกลุ่มก็ได้ ซิปบางตัวจะมีทางเข้าหลายทางและออกทางเดียว หรือมีทางเข้าทางเดียวแต่ออกหลายทาง รูปที่ 3.3 แสดงตัว ไอซีที่มี 4 อินพุต และ 1 เอาต์พุต สวิตซ์แต่ละตัวก็คือ เฟท และ ไอซี บางตัวจะรวม เกท ที่สามารถถูกทริกให้สามารถทำงานได้ โดย LOGIC ฟัลส์ รูปที่ 3.4 แสดง IC ที่มี 4 สวิตซ์ และการแปลง LOGIC กลับสัญญาณที่แตกต่างกัน 4 สัญญาณถูกสร้างขึ้นจาก FUNCTION GENERATOR ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการทดลอง เมื่อ อินพุต A ถูกทริก เกทของสวิตซ์ S จะเป็นบวก และค่าความต้านทานระหว่างเทอร์มินอล 1 และ 2 จะตกลงมาจากค่าความต้านทานสูงที่ 10^{13} โอห์ม เมื่อปิดสวิตซ์สัญญาณจะผ่านจากเทอร์มินอล 1 ไปยัง 2 สัญญาณจะถูกส่งผ่านไปยังช่วงพัลส์ PERIOD เกิดขึ้นที่เกท



รูปที่ 3.5 แสดงชุด MULTIPLEX TRANSMITTER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละเกทในมัลติเพล็กซ์ถูกกระตุ้นโดย RIPPLE COUNTER และมีช่วงเวลาที่ขึ้นอยู่กับ OSCILLATOR ดังนั้นเวลาที่รูปคลื่นสี่เหลี่ยมจะเฟรมผ่านไปในแต่ละเกท A, B, C และ D อัตราการสุมจะถูกสร้างขึ้นมาจาก CLOCK FREQUENCY ใน OSCILLATOR ซึ่งในการทำงานของระบบมัลติเพล็กซ์สามารถอธิบายได้จากวงจรทดลองดังตัวอย่าง ในการทดลองนี้ตัว MC14051 ANALOG MULTIPLEXER IC 1 ถูกใช้เพื่อเชื่อมต่อสัญญาณอนาล็อกที่อินพุตไปยัง IRED DRIVER , IC 14051 เป็นแบบจั่วเดียว 8 ตำแหน่งอิเล็กทรอนิกส์สวิทช์ ในการทดลองสวิทช์ที่ไม่ถูกใช้ จะถูกต่อลง GROUND รูปที่ 3.3 a แสดงตำแหน่งขาต่างๆ ของชิปมัลติเพล็กซ์ อินพุตอยู่ที่ขา 13,14,15,12,1,5,2,และ4 ส่วนเอาต์พุตของชิปคือขา 3 อัตราการเชื่อมต่อสำหรับแต่ละช่องสัญญาณจะถูกสร้างโดยผ่านทางคอนโทรล อินพุต A,B, และ C ตัวชิปนี้สามารถใช้สวิทช์ตามความถี่สูงถึง 65 MHz เมื่อช่องสัญญาณหรือเกทสวิทช์ ON มันจะมีค่าความต้านทานต่ำกว่า 60 โอห์ม

รูปที่ 3.5 แสดงถึงวงจรทดลองของตัวส่งมัลติเพล็กซ์ ตัวชิป ไอซี 1 ที่มี 8 อินพุต ซึ่งจะใช้เพียง 5 อินพุตจะเห็นว่าขา 1 ในรูปวงจรถูกต่อกับ R_{20} ไปยัง V_{cc} การคั่นนี้จะให้ไฟ 5 V บน แชลแนล 5 เมื่อลิจิตอลเชื่อมต่อเข้ามาที่เกทนี้ ไฟ 5 V ที่มีความชันมากจะถูกสร้างขึ้นที่เอาต์พุต และพัลส์บวกนี้ จะใช้สำหรับการ ซิงโครไนซ์กับเครื่องรับซึ่งจะอธิบายต่อไป ในส่วนของวงจรเครื่องรับ อินพุตทั้ง 4 ของตัวส่งจะเป็นช่องสัญญาณ 1 ถึง 4 และมันสามารถรับแหล่งจ่ายไฟที่เป็นได้ทั้งสัญญาณอนาล็อกหรือ ดิจิตอล ที่มีขนาด 5 V สัญญาณออกที่ขา 3 จะถูกส่งไปยัง LIGHT DRIVER สัญญาณ LIGHT-MODULATED จะประกอบด้วยสัญญาณจากทุกๆ ช่อง

ไอซี 2 คือ 7490 เป็น ไบนารีเคาน์เตอร์ จะผลิตสัญญาณ ดิจิตอลเชื่อมต่อพัลส์ไปควบคุมอินพุตของ ไอซี 14501 ตัว ไบนารีเคาน์เตอร์จะถูกต่อให้นับถึงเพียงแค่ 5 ซึ่งเป็นการควบคุมการปิด เปิดของสวิทช์ทั้ง 4 ตัวตามลำดับเมื่อเริ่มนับ 6 ตัว ไอซี 2 จะกลับมาเริ่มต้นนับ 1 ใหม่ อัตราการเชื่อมต่อของ ไอซี 2 ถูกควบคุมด้วย CLOCK จาก ไอซี 3 (LM 555 TIMER) ความถี่ของ CLOCK นี้ประมาณ 20 KHz ซึ่งค่าความถี่นี้ไม่ได้แน่นอนตายตัว แต่มันมีผลต่อการกำหนด แบนวิดท์ของสัญญาณที่สามารถส่งไปในอนาล็อกสวิทช์ ต่อไปนี้เป็นสรุปการทำงานของด้านตัวส่ง

CLOCK ไอซี 3 กำหนดให้เป็นความถี่การทำงานเบื้องต้น เพื่อใช้สำหรับควบคุมให้เกิดการนับ 5 ที่ ไอซี 2 และตัวนับ (COUNTER) นี้จะถูกต่อออกไปเพื่อควบคุมการทำงานของอนาล็อกมัลติเพล็กซ์เซอร์ (ไอซี 1) อีกที

ที่อินพุตของอนาล็อกสวิทช์แต่ละตัวจะถูก เชื่อมปลั๊กด้วยเวลาสั้นๆ และเอาต์พุตเชื่อมต่อจะส่งผ่านไปที่ IRED DRIVER ดังนั้นสัญญาณจากช่องสัญญาณต่างๆ ก็จะถูกส่งผ่านทางอนาล็อกมัลติเพล็กซ์เซอร์ โดยออสซิลเลเตอร์ทำงานที่ความถี่ 20 KHz ใช้ควบคุม LOGIC INPUT ของชิปมัลติเพล็กซ์ทาง อ้อม ทรานซิสเตอร์ Q1 จะให้ 100-400 NANOSECONDS INHIBITING พัลส์ที่ปลายหรือตอนจบของช่วงเวลาของเกทแต่ละตัวซึ่ง BLANK PERIOD นี้จะเป็นตัวป้องกันการเกิดการรบกวนข้ามช่องของสัญญาณ

ตัวมัลติเพล็กซ์ที่อยู่ในด้านส่งจะรับสัญญาณ ไบนารี พัลส์ และเปลี่ยนพัลส์เหล่านี้ให้ เป็นการนับแบบเลขฐาน 10 เพื่อควบคุมช่องสัญญาณ 1 ถึง 5 ที่เคยกล่าวมาแล้วว่า ช่องสัญญาณที่ 5 จะถูกเลือกใช้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการ ชิงโครไนซ์ของระบบ และจะมีการนับถึงแค่ 5 จากนั้นจะกลับมานับ 1 ใหม่ เพื่อรักษาการ ชิงโครไนซ์ของด้านรับกับด้านส่ง ความถี่ใน ไอซี 3 ถูกกำหนดโดย $R\ 1.5\ K\Omega$ และ $470\ K\Omega$ และ $C\ 270\ pF$ เมื่อด้านส่งทำการมัลติเพิล็กซ์สัญญาณ สัญญาณคอมโพสิตหรือส่วนประกอบของสัญญาณต่างๆ จะสังเกตุได้ที่ เอาต์พุต (TP 5) สัญญาณคอมโพสิตนี้จะรวมถึงชิงโครไนซ์พัลส์ และสัญญาณอินพุตทั้ง 4 ซึ่งสัญญาณคอตโพสิต จะถูกส่งไปเปลี่ยนเป็นแสงโดย IRED ของชุดเครื่องส่ง และจะถูกคัปปลิ่งเข้าไปในเสียบใยแก้วนำแสงต่อไปยังชุดเครื่องรับ

3.2 ชุด คีมัลติเพิล็กซ์

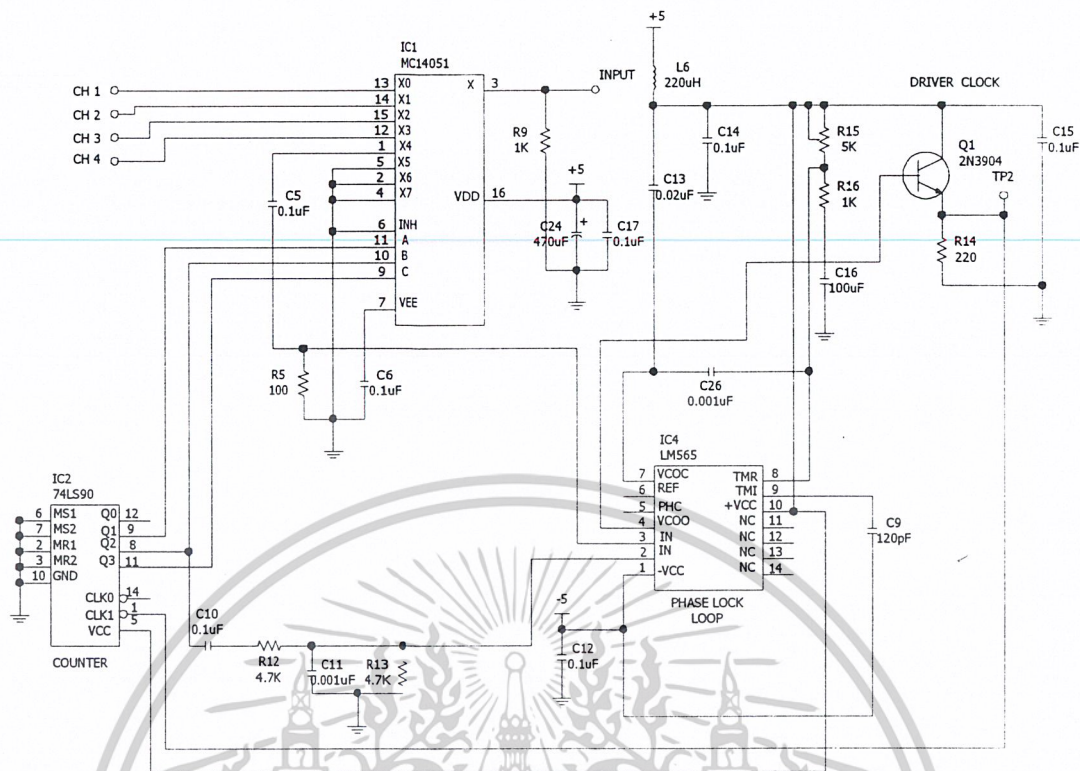
ที่ด้านตัวรับสัญญาณ เอาต์พุต ที่ออกมาจากเส้นใยแก้วนำแสงจะถูกดีโมดูเลท ส่งมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งไปยัง คีมัลติเพิล็กซ์เซอร์ เพื่อเลือกเอาสัญญาณชนิดต่างๆ ที่ส่งมาจากทางเครื่องส่ง ดังวงจรในรูปที่ 3.6 ซึ่งหน้าที่ของมันตรงข้ามกับเครื่องส่งคือ ที่เครื่องส่งจะรับสัญญาณจากหลายช่องสัญญาณ แล้วรวมเข้ามาเป็นส่วนประกอบของสัญญาณเดียว ทางด้านรับก็จะรับสัญญาณเข้ามาแล้วทำการแยกมันออกมาตามช่องสัญญาณที่ต้องการ ทางเครื่องรับจะประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญดังนี้

1. ตัวออปติคัล เซนเซอร์ และแอมพลิไฟเออร์ สำหรับการแปลงสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า
2. คีมัลติเพิล็กซ์เซอร์
3. เฟสล็อกคัลคูลแพร์เรเตอร์ และฟิลเตอร์
4. วีซีโอ (VOLTAGE CONTROLS OSCILLATOR)
5. Q1 อิมิตเตอร์ฟลอโตเวอร์ (เพาเวอร์ ไครเวอร์)

สัญญาณแสงจะถูกรับได้โดย โฟโตไดโอด และจะทำการขยายสัญญาณนี้ขึ้นมาอีกโดยวงจรขยายแล้วส่งไปยังคีมัลติเพิล็กซ์เซอร์

ทางด้านรับ โลจิกคอนโทรล ของมัลติเพิล็กซ์จะถูกขับโดยตัว IC 74LS90 และการต่อแบบหารด้วย 5 จะถูกใช้เพื่อควบคุมตัวมัลติเพิล็กซ์เซอร์ เอาต์พุต ของ CH 5 และเอาต์พุต B ของ IC MC14051 จะป้อนให้กับอินพุตของเฟสล็อกคัลคูล ของ IC LM 565 เพื่อเปรียบเทียบกัน และค่า ERROR VOLTAGE จะถูกส่งเข้าไปในส่วน VCO เพื่อนำกลับมาควบคุมตัว DRIVER CHIP จากจุดเริ่มต้นการนับ 6 สัญญาณชิงโครไนซ์พัลส์จาก IC MC14051 จะถูกรับโดย PLL และถูกเปรียบเทียบกับ เอาต์พุตของขา 11 ของ IC 74LS90 ค่า ERROR VOLTAGE จะได้รับการแก้ไข และค่า ERROR VOLTAGE นี้เองที่นำไปใช้ในการควบคุม วีซีโอของ IC LM 565 ของเครื่องรับ เมื่อระบบมีการชิงโครไนซ์ ที่ถูกต้อง หรือลอคอินสัญญาณโพซิทีฟล็อกอินพัลส์ เครื่องส่งอันที่อยู่ใน CH 5 ซึ่งใช้สำหรับการชิงโครไนซ์ ที่เครื่องรับเอาต์พุตของ CH1 จะรีเฟล็กซ์สัญญาณตัวเดิมที่ป้อนเข้า CH1 ของเครื่องส่งกลับมาและเป็นลักษณะเดียวกันนี้ใน CH2 , CH3 และ CH4 ตัวปรับ CLOCK R15 $22\ K\Omega$ ในเครื่องรับใช้สำหรับเลื่อนความถี่ ออสซิลเลเตอร์ เพื่อให้เกิดการลอคความถี่ของ PLL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงชุด DEMULTIPLEXING RECEIVE

สิ่งที่ได้อธิบายมาแล้วว่า จะมีเพียง 5 ช่องสัญญาณเท่านั้นที่ถูกใช้ประโยชน์ภายในชิป อย่างไรก็ตาม การนับลง หรือกระบวนการนับลง หรือกระบวนการหารสามารถใช้เปลี่ยนแปลงการควบคุมการเลือกสัญญาณได้ และเนื่องจากกระบวนการหารถูกนำมาเกี่ยวข้องกับ ค่าความถี่ดั้งเดิมของ CLOCK จะถูกเพิ่มค่าขึ้นซึ่งทำให้สามารถที่จะทำการ มัลติเพล็กซ์จำนวนช่องสัญญาณ ได้มากขึ้น

3.3 ชุด วัดอุณหภูมิ

หน่วยวัดและมาตราวัดอุณหภูมิ (TEMPERATURE UNIT AND TEMPERATURE SCALES) อุณหภูมิเป็นหน่วยมูลฐานที่สำคัญ และใช้มากที่สุดค่าหนึ่งในอุตสาหกรรมหน่วยของอุณหภูมิที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายหน่วยด้วยกันที่สำคัญคือ เซลเซียส (CELCIUS) เคลวิน (KELVIN) และฟาเรนไฮต์ (FAHRENHEIT) เซลเซียส เป็นหน่วยวัดอุณหภูมิที่ตั้งชื่อตามนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน ANDER CELCIUS (1707 – 1744) โดยเซลเซียสพบว่า ณ ความดันบรรยากาศน้ำบริสุทธิ์จะมีจุดที่อุณหภูมิอยู่ 2 จุด คือจุดเยือกแข็งของน้ำและจุดน้ำเดือด เขาจึงได้กำหนดจุด 0 องศาเป็นจุดเยือกแข็ง และที่ 100 องศาเป็นจุดน้ำเดือด

ฟาเรนไฮต์ เป็นหน่วยวัดอุณหภูมิที่ตั้งชื่อตามนักวิทยาศาสตร์ชาวดัชต์ DANIEL GRABRIEL FAHRENHEIT โดยฟาเรนไฮต์ได้พยายามหาจุดที่ต่ำสุดของอุณหภูมิโดยการทดลองของสารต่างๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลายๆ อย่างและพบว่า จุดเยือกแข็งของแอมโมเนียคลอไรด์เป็นจุดต่ำสุดของอุณหภูมิเท่าที่เขาคงได้ จึงกำหนดจุดนี้เป็นจุด 0 องศา ส่วนจุดบนของสเกลนั้นเขาพบว่าอุณหภูมิของสเกลเป็น 100 องศาเพราะต้องการให้ค่าเป็นสัดส่วนทวีคูณของ 12 ตามหน่วยอื่นๆ ที่นิยมในสมัยนี้

ทั้งหน่วยเซลเซียส และฟาเรนไฮต์ ก็เป็นมาตรฐานวัดอุณหภูมิที่ได้จาก การทดลองหาสภาวะคงที่ทางอุณหภูมิของสาร ณ จุดต่าง ๆ ที่อยู่ในย่านบรรยากาศ ของพื้นโลกและสเกลให้เป็นไปตามความสะดวกเหมาะสม มิได้มีหลักการตายตัวอะไร ต่อมานักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ลอร์ดเคลวินเป็นผู้ค้นคิดหน่วยของอุณหภูมิทางวิทยาศาสตร์ขึ้นปี 1851 เรียกว่า มาตรฐาน เคลวิน โดยกำหนดจุดอุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์ขึ้น ณ จุดที่เป็น IDEAL นี้อิเล็กตรอนในอะตอมของสารต่างๆ จะหยุดโคจรรอบนิวเคลียส โดยไม่มีพลังงานความร้อนหลงเหลืออยู่ในสารนั้น ๆ อีกต่อไปในทางปฏิบัติไม่สามารถทำให้เย็นจัดถึงจุดนี้ได้

มาตราเซลเซียสระบบหน่วยสากล (THE INTERNATIONAL D' UNITES) ซึ่งเรียกย่อว่า SI ได้กำหนดหน่วยสากลของอุณหภูมิเทอร์โมไดนามิก เป็นมาตรฐานเคลวินและเป็นหน่วยอุณหภูมิทั่วไปเป็นเซลเซียส

เปรียบเทียบจุดมาตราอ้างอิง (REFERENE) ของมาตราต่างๆ

จุดศูนย์สัมบูรณ์	= -273.15 C	= -459.67 F	= OK
จุดเยือกแข็งของน้ำ	= 0 C	= 32 F	= 273.15 K
จุดเดือดของน้ำ	= 100 C	= 212 F	= 373.15 K

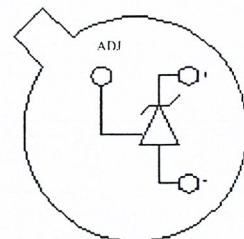
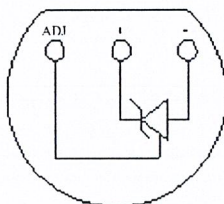
สูตรการเปลี่ยนมาตราเซลเซียสและฟาเรนไฮต์เป็นมาตราเคลวิน

$$K = C + 273.15$$

$$K = 5 (F - 32) / 9 + 273.15$$

ก. TO-92
PLASTIC PACKAGE

ข. TO-46
METAL CAN PACKAGE



รูปที่ 3.7 ลักษณะรูปร่าง และการต่อขาของ LM.335

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันการวัดอุณหภูมิมีอยู่หลายแบบด้วยกัน เช่นการใช้เทอร์โมมิเตอร์ปรอทแต่ก็มีข้อเสียตรงที่ว่าอ่านอุณหภูมียากและใช้ในการวัดที่ระยะห่างไปไม่ได้หรือเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้หลักการขยายของโลหะต่างชนิดกันโดยขดอยู่ในลักษณะก้นหอย ซึ่งสามารถใช้ได้สะดวกแต่มีข้อเสียคือ ขาดความเที่ยงตรงส่วนเทอร์โมมิเตอร์อิเล็กทรอนิกส์นั้น จะแสดงค่าอุณหภูมิออกมาเป็นตัวเลข

LM 335 เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่ออกแบบมาในการสำหรับการตรวจจับอุณหภูมิ ซึ่งใช้อยู่ในย่านอุณหภูมิตั้งแต่ 0 ถึง 100 องศา โดยออกแบบมาอยู่ในตัวถังพลาสติกสีดำ ซึ่งมีลักษณะการต่อขา ดังรูปที่ 3.7 ก และในลักษณะตัวถังโลหะแบบ TO-46 ดังในรูปที่ 3.7 ข

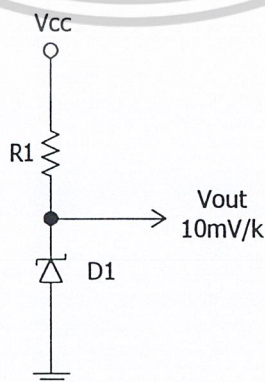
โดยทั่วไปแล้ว LM 335 มีหลักการทำงานคล้ายกับ ZENER DIODE ดังแสดงในรูปที่ 3.8 โดยแรงดันพังทลายซึ่งหมายถึง VOLTAGE OUTPUT จากวงจรจะแปรค่าโดยตรงตามค่าอุณหภูมิสัมพัทธ์ โดยมีค่าเท่ากับ 10 mV ต่อค่าที่เพิ่มขึ้น 1 องศา จะทำให้ค่าของแรงดันเปลี่ยนไป 10 mV / K ในย่านอุณหภูมิที่ออกแบบมาให้ใช้งาน

ค่าของความต้านทาน R1 ในรูปที่ 3.8 จะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ตัวนี้ แต่เนื่องจากค่าไดนามิกอิมพีแดนซ์ที่กระแส 1 mA จะมีค่าประมาณ 0.6 Ω อุปกรณ์ตัวนี้จึงสามารถทำงานได้ในย่านกระแสตั้งแต่ 400 μA ถึง 5 mA มีข้อที่น่าสังเกตคือค่ากระแส FORWARD หรือ กระแส REVERSE สูงสุด ซึ่งไหลผ่านอุปกรณ์ตัวนี้อย่างปลอดภัย ซึ่งค่าสูงสุดช่วงหนึ่งควรไม่เกิน 10 mA ถ้ากระแสที่ไหลผ่านมากกว่านี้จะทำให้ตัว IC เสียหายได้

ที่อุณหภูมิที่ 25 องศาและที่กระแส REVERSE 1 mA แรงดันเอาต์พุตจากวงจรในรูปที่ 3.8 โดยมีข้อกำหนดทางแรงดันต่ำสุดและสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.98 V และ 3.04 V ตามลำดับค่าของ R1 ที่ใช้สามารถคำนวณได้จากกระแสที่ไหลผ่าน IC ตัวนี้เท่ากับ 1 mA โดยใช้สมการ

$$R1 = (V - V_{out}) / 0.001$$

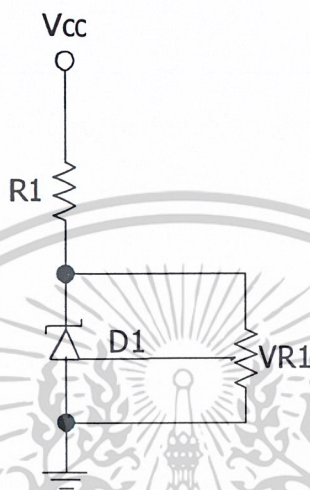
โดยที่ V คือ แรงดันไฟเลี้ยงวงจร และ V OUT คือแรงดันเอาต์พุตของ IC นี้ซึ่ง R1 นี้จะมีค่าประมาณ (V - 3) K



รูปที่ 3.8 วงจรพื้นฐานในการใช้งานของ LM 335

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ที่สำคัญของ LM 335 นี้ก็คือจะให้เอาต์พุตที่เป็นเชิงเส้นซึ่งไม่เหมือนกับเอาต์พุตที่ได้จากการตรวจจับอุณหภูมิ ส่วนใหญ่ ซึ่งเอาต์พุตจะไม่เป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิ ซึ่งที่จริงแล้วถ้าเรานำเอาแรงดันเอาต์พุตมาเขียนเป็นกราฟ ระหว่างค่าแรงดันกับเอาต์พุตอุณหภูมิตลอดย่านการทำงานของ IC ตัวนี้เมื่อลากเส้นกราฟไปตัดแกนอุณหภูมิที่ศูนย์องศาสัมบูรณ์ค่าแรงดันที่อ่านได้จากกราฟจะเป็นศูนย์โวลต์



รูปที่ 3.9 การปรับค่าความถูกต้องโดยใช้ความต้านทานเพียงตัวเดียว

แม้ว่าเอาต์พุตของ LM 335 จากวงจรในรูปที่ 3.8 จะอยู่ในข้อจำกัดที่กำหนดมา เราก็ควรจะมีการต่อขาสำหรับปรับแต่งความถูกต้อง โดยการต่อตัวต้านทานเพียงตัวเดียวคร่อม LM 335 ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ในการใช้งานให้ปรับค่า VR1 ให้เท่ากับ 2.982 V. เมื่ออุณหภูมิอยู่ที่ 25 องศา เพื่อที่จะให้เกิดความเที่ยงตรงเพิ่มขึ้น ตลอดย่านที่ใช้งาน

การปรับความถูกต้องของอุณหภูมิเพียงครั้งเดียวจะให้ความถูกต้องตลอดย่านอุณหภูมิที่ใช้งานได้ เนื่องจากเอาต์พุตจะแปรผันเป็นสัดส่วน โดยตรงกับอุณหภูมิ ดังนั้นการปรับค่าความลาดชัน ที่อุณหภูมิหนึ่งให้ถูกต้องจะทำให้เกิดความถูกต้องตลอดย่านอุณหภูมิซึ่งค่าความถูกต้องจะทำให้มากกว่าพวกอุปกรณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น ดังเช่น เทอร์โมคัปเปิล เป็นต้น

ไม่ว่าระบบตรวจจับอุณหภูมิใด ๆ ก็ตามความร้อนใด ๆ ที่เกิดขึ้นจากกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ที่ตรวจจับ จะมีผลต่อค่าอุณหภูมิของตัวมันเสมอ

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

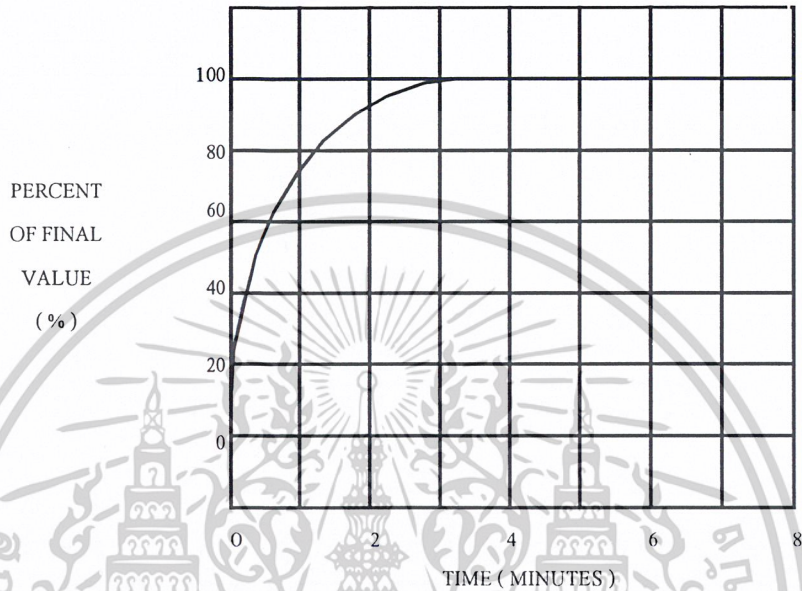
ถ้าตัวตรวจจับถูกใช้ในสถานที่ซึ่งค่าความต้านทานทางอุณหภูมิต่อสิ่งแวดล้อมนั้นมีค่าความผิดพลาดจากความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวเองสามารถที่จะปรับให้ถูกต้องได้ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์นั้นทำงานด้วยกระแสแสงที่ โดยไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิความร้อนเกิดขึ้นกับอุปกรณ์จะแปรผันโดยตรงกับแรงดันซีเนอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาทั้งหมด เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำ

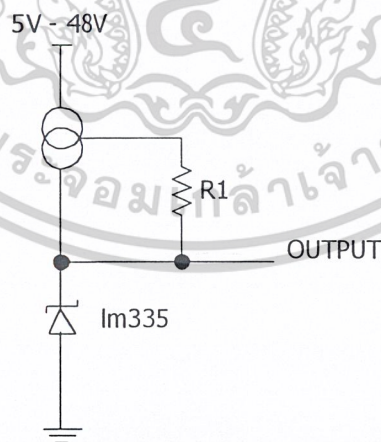
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอุณหภูมิสัมบูรณ์ ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากความร้อนในตัวเอง จะแปรผันโดยตรงกับค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์และค่าความเป็นเชิงเส้นของสเกลอุณหภูมิที่รักษาไว้

THERMAL RESPONSE
IN STILL AIR



รูปที่ 3.10 เวลาการตอบสนองของ LM 335 ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในอากาศ



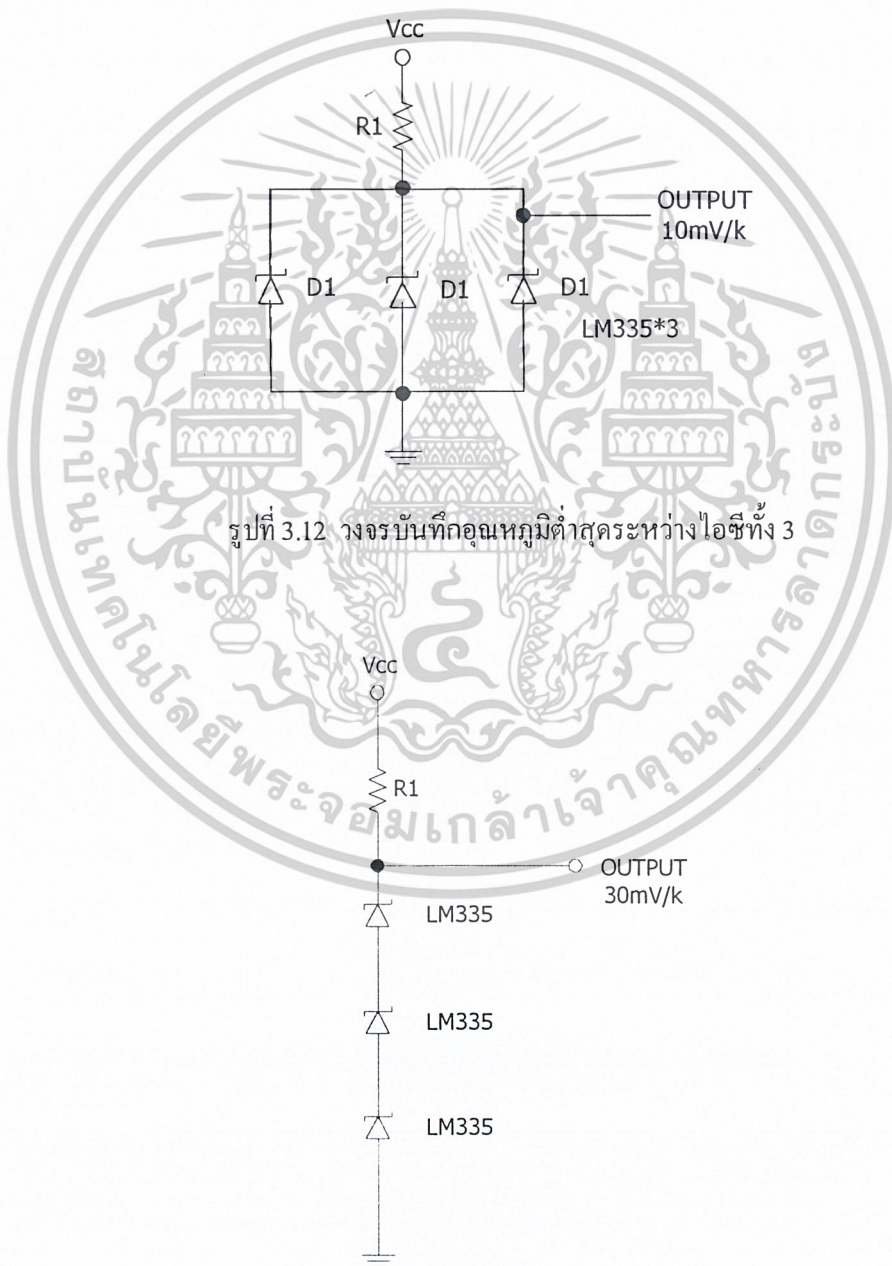
รูปที่ 3.11 วงจรที่สามารถทำงานกับแหล่งจ่ายไฟได้ในย่านกว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติเฉพาะตัว

ในวงจรทั่วไปของ LM 335 ซึ่งไม่ได้รับค่าความถูกต้องไว้ให้ทำงานที่กระแส 1 mA ค่าความผิดพลาดเนื่องจากอุณหภูมิจะเท่ากับ 2 องศา ที่อุณหภูมิ 25 องศา หรือ 4 องศา ตลอดช่วงการทำงาน เมื่อได้มีการปรับค่าความถูกต้องไว้ ค่าความผิดพลาดที่อุณหภูมิจำกัดไว้เป็น 2 องศา ความไม่เป็นเชิงเส้นที่ค่ากระแส 1 mA จะเท่ากับ 0.3 องศาตลอดช่วงที่ใช้งาน ซึ่งในอากาศอุปกรณ์ตัวนี้ต้องใช้เวลาประมาณ 3 นาทีที่จะมีค่าอุณหภูมิสุดท้ายหลังจากที่อุณหภูมิได้เปลี่ยนไป

วงจรที่ใช้งาน



รูปที่ 3.12 วงจรบันทึกอุณหภูมิค่าสุทธระหว่างไอซีทั้ง 3

รูปที่ 3.13 วงจรบันทึกอุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิของไอซีทั้ง 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรในรูปที่ 3.8 และ 3.9 เหมาะที่จะใช้เมื่อแหล่งจ่ายไปที่มีค่าค่อนข้างคงที่ถ้าคิดว่าแรงดันไฟเลี้ยงวงจรจะเปลี่ยนแปลงในย่านกว้างควรใช้ LM 335 ซึ่งเป็นตัวจ่ายกระแสคงที่ร่วมกับตัวต้านทานภายนอกดังรูปที่ 3.13 เพื่อกำหนดค่ากระแสของ LM 335 ให้ค่าประมาณ 1 mA สำหรับทุก ๆ ค่าของไฟเลี้ยงวงจร

ถ้านำเอา LM 335 หลาย ๆ ตัวมาต่อขนานกันดังรูปที่ 3.12 ค่าเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ตัวที่มีอุณหภูมิต่ำสุด ซึ่งจะแสดงถึงค่าอุณหภูมิที่ต่ำสุดระหว่าง 3 ตำแหน่งได้ และเช่นเดียวกันเมื่อต่อ LM 335 อนุกรมกันดังรูปที่ 3.13

ในกรณีนี้ค่าเอาต์พุตจะแทนค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของ ไอซี ทั้งสามตัวนั้นแต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยสัมประสิทธิ์เท่ากับจำนวนของ ไอซีที่ใช้เป็นเทอร์โมมิเตอร์

เทอร์โมคัปเปิล ใช้งานกันมากในการวัดอุณหภูมิในย่านกว้างกว่าที่ไอซี LM 335 จะทำได้ ส่วนหนึ่งก็มาจากมันมีราคาถูกและใช้งานได้ง่ายกว่าแม้ว่าเทอร์โมคัปเปิลจะใช้วัดอุณหภูมิในย่านที่สูงถึง 1,000 องศา โดยใช้หลักการของรอยต่อระหว่างโลหะ 2 ชนิดที่ต่างกัน แต่ก็ต้องมีรอยต่ออ้างอิงที่เย็นเป็นตัวเปรียบเทียบกับส่วนใหญ่แล้วจะใช้อ่างน้ำแข็ง ยกเว้นเมื่อใช้วัดแบบความแตกต่างเท่านั้น

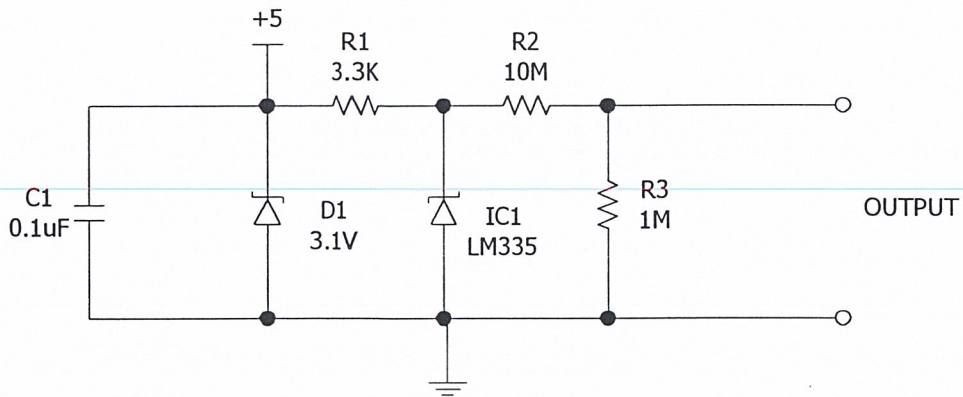
แทนที่จะใช้อ่างน้ำแข็งเราจะใช้เทคนิคที่รู้จักกันในนามของ “การชดเชยของรอยต่อที่เย็น” แรงดันที่ชดเชยจะรวมเข้ากับเอาต์พุตจากเทอร์โมคัปเปิล ดังนั้นความต่างศักย์ของรอยต่ออ้างอิงจะดูเหมือนอยู่ที่ 0 องศา แม้ว่าจริง ๆ แล้วมันจะอยู่ที่อุณหภูมิอื่น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของบรรยากาศจึงไม่มีผลต่อแรงดันเอาต์พุต

การใช้ LM 335 เป็นตัวตรวจจับอุณหภูมินั้นเหมาะสมสำหรับใช้เป็นวงจรชดเชยรอยต่อที่เย็นเนื่องจากความเป็นเชิงเส้นของคุณสมบัติระหว่างแรงดันและอุณหภูมินอกจากนี้แรงดันของ LM 335 ยังลดลงเป็นศูนย์องศาสัมบูรณ์สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิของวงจรชดเชยสามารถที่จะปรับให้เท่ากับอุณหภูมิห้องได้

ชุดตรวจจับอุณหภูมิ

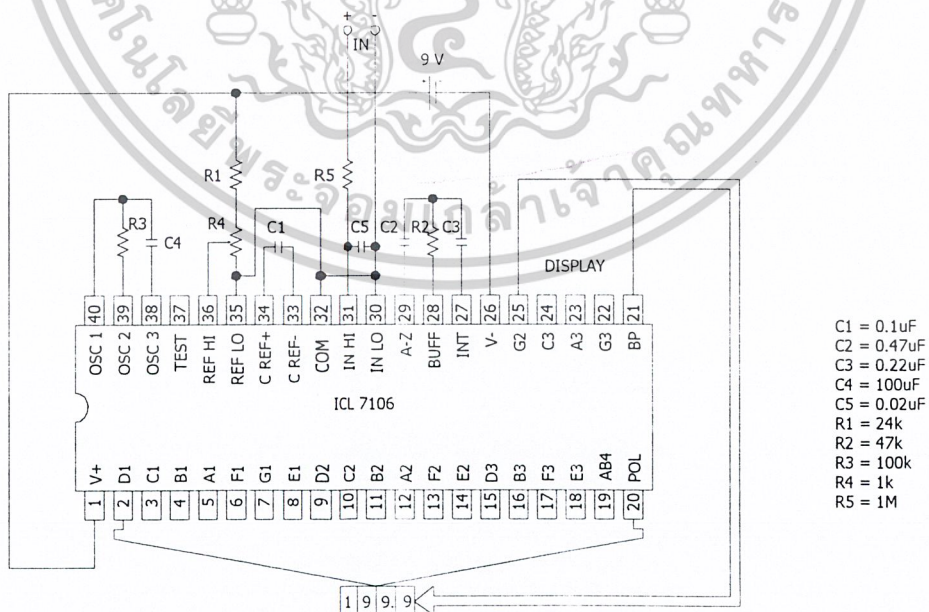
อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ เราใช้ไอซีที่ออกแบบเป็นอุปกรณ์โดยเฉพาะที่ทำหน้าที่ในด้านนี้โดยตรงคือไอซี เบอร์ LM 335Z คุณสมบัติของไอซีตัวนี้สามารถทำงานในที่ที่มีอุณหภูมิลดลงในช่วง -40 ถึง 100 องศาเซลเซียส จากวงจรนั้นจะเห็นได้ว่าจะมีซีเนอร์ไดโอด D_1 จำกัดค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมให้กับ R_1 และ ไอซี LM 335 ซึ่ง R_1 กับ ไอซี 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 อีกทีหนึ่งด้วยดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อม R_3 ก็คือระดับแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากส่วนที่ตกคร่อมไอซีแล้วนำไปเป็นข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิส่งไปที่ทำหน้าที่แสดงผลในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงวงจรตรวจจ็อบอุณหภูมิ

ในส่วนของภาคแสดงผลของชุดตรวจจ็อบอุณหภูมินี้ จะเป็นส่วนของสัญญาณที่ได้รับมาจาก วงจรชุดดีมัลติพลีคัซ สัญญาณนี้จะถูกส่งไปให้กับส่วนแสดงผลซึ่งเป็นไอซีเบอร์ 7106 ซึ่งเป็นไอซี ที่มีขาจำนวน 40 ขา แสดงผลแบบ LCD ขนาด 3 หลักครึ่ง ซึ่งไอซีตัวนี้จะเป็น ไอซีที่นิยมใช้กันเป็นอย่างมาก ในอุปกรณ์เครื่องวัดต่าง ๆ เช่น โวลท์มิเตอร์ แอมป์มิเตอร์หรืออื่น ๆ ซึ่งเบอร์ที่คู่กันและเป็น ที่นิยมใช้กันมากคือเบอร์ 7107 โดยจะแสดงผลบน LED หลักการทำงานก็คล้ายกันมาก ซึ่งเป็นที่นิยมกันมาก การใช้งานก็ง่ายเพียงแต่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ประกอบเพียงไม่กี่ตัวก็สามารถทำงานได้แล้ว ไอซีนี้ก็จะทำงานโดยการแสดงผลตามสัญญาณการเปลี่ยนแปลงของระดับโวลท์ตรงทางอินพุต



- C1 = 0.1µF
- C2 = 0.47µF
- C3 = 0.22µF
- C4 = 100µF
- C5 = 0.02µF
- R1 = 24k
- R2 = 47k
- R3 = 100k
- R4 = 1k
- R5 = 1M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ **รูปที่ 3.15** แสดงวงจรชุดแต่งผล สัญญาณที่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปของชุดแสดงผลสัญญาณอินพุตจะถูกส่งเข้ามาสู่ขาที่ 31 ของไอซี 7106 ค่าแรงดันอินพุตนั้นจะเท่ากับ 2 เท่าของแรงดันไฟอ้างอิง ที่ทำการป้อนให้แก่ไอซีที่ขา 36 และ 35 สำหรับระดับแรงดันสูงสุดในช่วงนี้จะมีค่า 200 mV หรือ 199.9mV เพราะถ้าเกินจากนี้แล้วไอซีจะแสดงผลเป็น 1 ทันที เพราะเกินค่าแรงดันอ้างอิง เพราะฉะนั้นแรงดันอินพุตของวงจรต้องไม่เกิน 199.9 mV

เป็นที่แน่นอนว่าวงจรนี้จะทำงานได้ต้องมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่อรวมเพื่อทำงานส่วนของวงจรสัญญาณนาฬิกาที่ให้แก่ไอซี 7106 นี้ คือความถี่ 45 กิโลเฮิร์ต คำนวณได้จากสูตร $f = 0.45/RC$ โดยจะเป็นลักษณะของวงจรอาร์ชีออสซิลเลเตอร์ เพื่อให้ความถี่ 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 7106 จะได้ความถี่ที่ 45 กิโลเฮิร์ต (ซึ่งจะมีผลต่อการอ่านค่าสัญญาณอินพุตด้วยคือจะทำการอ่านสัญญาณอินพุต 3 ครั้งต่อวินาที) ค่าคาปาซิเตอร์ 0.1 ไมโครฟารัด ที่ต่อระหว่างขา 33 และขา 34 ของไอซี 7106 นี้จะเป็นเรฟเฟอเรนซ์คาปาซิเตอร์ (C_{ref}) ส่วนความต้านทานที่ต่ออยู่ที่ขา 28 นั้น เป็นอินทิเกรตริซีสเตอร์ (R_{int}) คือ ค่า 47 กิโลโห์ม ซึ่งถูกกำหนดให้เหมาะสมกับย่านวัด 199.9 mV ส่วนคาปาซิเตอร์ C_2 ค่า 0.047 ไมโครฟารัด ซึ่งเป็นออโต้ซีโรคาปาซิเตอร์ (AUTO ZERO CAPACITOR) ทำหน้าที่ให้ไอซีแสดงผลเป็นศูนย์ในขณะที่ไม่มีสัญญาณอินพุตและค่าคาปาซิเตอร์ C_3 ค่า 0.22 ไมโครฟารัด เป็นอินทิเกรตติ้งคาปาซิเตอร์ (C_{int}) ทำหน้าที่กำหนดค่าให้เหมาะสมกับย่านวัด 199.9 mV

ทางด้านแหล่งจ่ายไฟทำหน้าที่จ่ายให้กับวงจรเราใช้ขนาด 9 โวลท์ ในที่นี้จะใช้ไอซีเรกกูเลเตอร์เบอร์ 7809 มาต่อเป็นวงจรจ่ายไฟให้กับวงจร

ขาที่ 36 และ 35 ซึ่งเป็นแรงดันอ้างอิงเราจะทำการป้อนแรงดันขนาด 100 mV โดยใช้ตัวความต้านทานปรับค่าได้ปรับให้ได้ค่า 100 mV

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

ส่วนขาที่เหลือจะทำหน้าที่ส่งไปไปยังหลอดแสดงผลแบบ LCD

3.4 ชุด ตรวจวัดความดัน

ความกดดัน คือ แรงที่กระทำต่อพื้นผิว ความกดดันจะวัดในรูปของแรงต่อ 1 หน่วยพื้นที่ โดยการออกแรงกดบนพื้นที่ที่กำหนด

ความดันสัมบูรณ์ เป็นการวัดความดันที่มีความสัมพันธ์กับความดันที่ ความดันเป็น 0

ความแตกต่างของความดัน เป็นการวัดความแตกต่างของความดันระหว่างจุด 2 จุด ที่จะทำการวัด มันจะวัดความสัมพันธ์เปรียบเทียบกับความดันที่อ้างอิง

ความดันมาตรฐาน เป็นความดันปกติของบรรยากาศ

เราไม่สามารถมองเห็นอากาศ แต่มันมีน้ำหนัก เรากล่าวว่ามวลมีมากกว่าน้ำหนักเพราะอากาศ

สามารถขยายตัวได้เมื่ออากาศร้อนจะมีน้ำหนักมากกว่าอากาศเย็นอากาศที่ห่อหุ้มโลกมีประมาณ 5,000 เอกซารันเป็นเอกซารันที่ส่งวันเวสสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติเห็นไปเซประยะขนด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ล้านล้านตัน เราไม่สามารถรับรู้ความรู้สึกถึงน้ำหนักของอากาศเพราะในร่างกายของเรา ก็มีอากาศเหมือนกัน

ความดันบรรยากาศถูกวัดโดย บาโรมิเตอร์

ที่ระดับน้ำทะเลความสูงของปรอทสถานะของเหลวมีค่าประมาณ 736 ถึง 775 มิลลิเมตรปรอท BAROMETRIC PRESSURE เกี่ยวข้องกับบรรยากาศทั่ว ๆ ไป ความดันนี้สามารถวัดเป็นค่าสัมบูรณ์อ้างอิงกับสูญญากาศสัมบูรณ์หรืออาจอ้างอิงกับค่าบนสเกลต่าง ๆ ของระดับน้ำทะเลที่มีผลต่อระดับแรงดันหรือความดันบรรยากาศที่ความสูงต่างๆ โดยปราศจากข้อมูล อย่างไรก็ตาม ความดันที่ความสูงใด ๆ สามารถคำนวณได้ที่ความสูงแตกต่างกันด้วยสมการคณิตศาสตร์ ความดันบรรยากาศจะแสดงผลการเพิ่มและลดแบบเอ็กโปเนนเชียล แปรผันตามความสูงทำให้เราสามารถที่จะสร้าง บาโรมิเตอร์ได้ โดยการปรับแต่งเทียบกับความดันบรรยากาศที่ทราบในขณะนั้นอ้างอิงกับความดันที่สูงเท่าไร

โดยทั่วไปมาตรฐานของความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลสมมติให้เป็น 29.92 in-Hg ทำให้เครื่องบาโรมิเตอร์มาตรฐานวัดความดันบรรยากาศที่ความสูงหนึ่ง ๆ แสดงค่าเฉลี่ยตามเงื่อนไขสภาพอากาศขณะนั้นโดย บาโรมิเตอร์ที่เที่ยงตรงจะวัดความดันได้ประมาณ 15.0 in-Hg ที่ความสูง 15,000 ฟุต แต่จริง ๆ แล้วไม่ได้เป็นเช่นนั้นเสมอไปเพราะเงื่อนไขต่าง ๆ ตามสภาพอากาศที่ความสูงหนึ่ง ๆ จะเปลี่ยนแปลงไปอยู่เสมอทำให้ค่าที่วัดได้เปลี่ยนไป

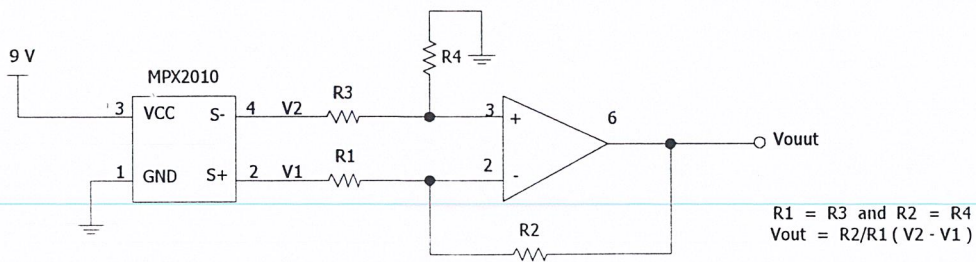
ความดันมักจะถูกวัดอยู่ในรูปของแรงต่อหน่วยพื้นที่ : ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) ซึ่งเป็นหน่วยการวัดของอังกฤษและที่ยังนิยมใช้กันอยู่ ในหน่วยเมตริกใช้กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm^2) เพื่อหลีกเลี่ยงการเอาไปปนกันระหว่าง ABSOLUTE , GAGE และการวัดความดันที่แตกต่างกัน จึงนิยมใช้ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ABSOLUTE (psia) , ปอนด์ต่อตารางนิ้ว GAGE (psig) หรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว DIFFERENTIAL (psid) ที่ระดับน้ำทะเล 0 psig = 14.7 (โดยประมาณ) ในระดับคงที่ของของเหลวมักจะใช้ความสัมพันธ์ของความดันที่ค่าในรูปของความสูงของน้ำหรือปรอท สูญญากาศมักจะถูกวัดในรูป มิลลิเมตรหรือไมครอนปรอทที่ 0 องศาเซลเซียส (mmHg,uHg) 1 mmHg เป็นความดันที่บอกด้วยความสูงของปรอทที่ 1 มิลลิเมตรปรอท ที่ 0 องศาและเป็นที่ยอมรับมาตรฐาน

ในหน่วยของ SI หน่วยของการวัดความดันเป็นนิวตันต่อตารางเมตร ($= 1.45 \times 10^{-4}$ psi) ดังในตารางที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ของการวัดความดัน

ในการวัดและแสดงผลที่ถูกต้องด้วยเครื่องบาโรมิเตอร์สำหรับอุปกรณ์ตรวจรับความเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศจะแสดงผลเป็นระดับแรงดันแปรผันโดยตรงเป็นมิลลิโวลต์ ระดับที่เป็นมิลลิโวลต์นี้จะต้องนำไปผ่านวงจรขยายและจัดระดับแรงดันส่งไปแสดงในหน่วย นิ้ว - ปรอท (in - Hg)

การออกแบบเราออกแบบให้ทำงานที่ย่านความสูง 0 - 15,000 ฟุต โดยระบบจะแสดงผลแบบตัวเลขจากย่าน 30.5 in-Hg ถึง 15.0 in-Hg ออกมาทางชุดแสดงผลซึ่งก็คือการแสดงผลจากระดับน้ำทะเลถึงระดับความสูง 15,000 ฟุต ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจาก 30.5 in-Hg ถึง 15.0 in-Hg การทำงานของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงวงจรวัดความดันที่ใช้งาน

สำหรับตัวตรวจจับความดันในการออกแบบเราใช้ชนิดที่มีการชดเชยอุณหภูมิเพื่อลดผลการผิดพลาดเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนไปโดยใช้อุปกรณ์ของโมโตโรล่า เบอร์ MPX2010AP สำหรับอุปกรณ์ในตระกูล MPX2010AP นี้ทำงานที่ระดับย่านการวัดที่ 0 Kpa ไปถึง 10 Kpa โดยมันจะสร้างแรงดันออกมาแปรผันกับความดันที่เปลี่ยนไป โดยมีระดับแรงดันสูงสุดที่ 25 mV และต่ำสุดที่ 0 mV ที่แหล่งจ่าย 10 V แต่เราเปลี่ยนมาใช้ที่ระดับ 9 โวลท์ จึงต้องทำการคำนวณใหม่

$$\text{ระดับสูงสุดที่แหล่งจ่าย 9 โวลท์} = (9/10) * 40\text{mV} = 0.036 \text{ V}$$

เพราะฉะนั้นอุปกรณ์ตรวจจับความดันจะแสดงระดับสูงสุด 36 mV และที่ระดับต่ำสุดที่ 15 in-Hg ประมาณ 16.2 mV ทำให้ย่านการทำงานสูงสุดถึงต่ำสุดของแรงดันเป็น 36 mV และ 16.2 mV ตามลำดับ

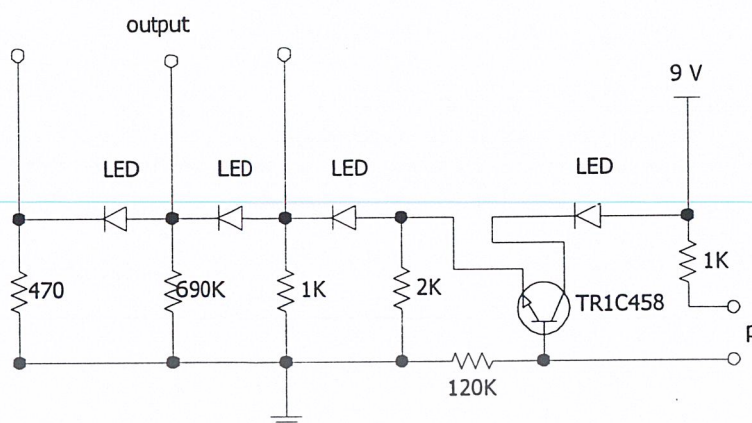
ผลของสัญญาณที่ได้จะมีขนาดเล็กซึ่งเราจะทำการขยายระดับแรงดันจาก 0.5 - 4.5 V โดยจะออกแบบให้เกณฑ์การขยายและย่านของแรงดัน และนำค่าอัตราขยายมาคำนวณหาค่าความต้านทานต่อไป

อุปกรณ์ตรวจจับความดัน MPX2010 AP ถูกจ่ายไฟเลี้ยงให้ที่ 9 V ที่ ขา 3 ส่วนขา 2 และขา 4 จะเป็นสัญญาณเอาต์พุตของ MPX 2010AP ขา 2 จะถูกต่อกับไอซี 1 ซึ่งเป็นออปแอมป์ที่ต่อบวกรวมขยายไม่กลับสัปดาห์และขา 4 ต่อกับไอซี 2 ที่ต่อเนื่องแบบไม่กลับสัปดาห์มีความต้านทาน R_1 และ R_3 เป็นความต้านทานป้อนกลับและความต้านทาน R_2 และ R_4 เป็นความต้านทานป้อนกลับส่วน R_2 เป็นความต้านทานปรับออฟเซตเพื่อปรับแรงดันให้ได้ 0.5 V ให้ได้มาตรฐานตามที่ค่าสูงสุดของบาร์มิเตอร์ 30.5 in-Hg และที่ทางค่านขาที่ 6 ของไอซี 2 จะมีค่าแรงดันเพิ่มขึ้นเมื่อแรงดันลดลงแต่จะลดลงเมื่อความดันเพิ่มส่วนทางค่านเอาต์พุตของวงจรนี้จะมีซีเนอร์ไดโอดค่า 5.1 V เพื่อรักษาระดับแรงดันไม่ให้เกิน 5.1 V ทางค่านสัญญาณออก

3.5 ชุด วัดความชื้น

ในชุดตรวจจับความชื้นนี้มีคุณสมบัติในการตรวจจับความชื้นในอากาศ ซึ่งมีความไวในการตรวจจับสูง ใช้แหล่งจ่ายไฟ 9V ซึ่งวงจรที่ใช้งานมีลักษณะดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แสดงวงจรตรวจจับความชื้น

การทำงานของวงจร

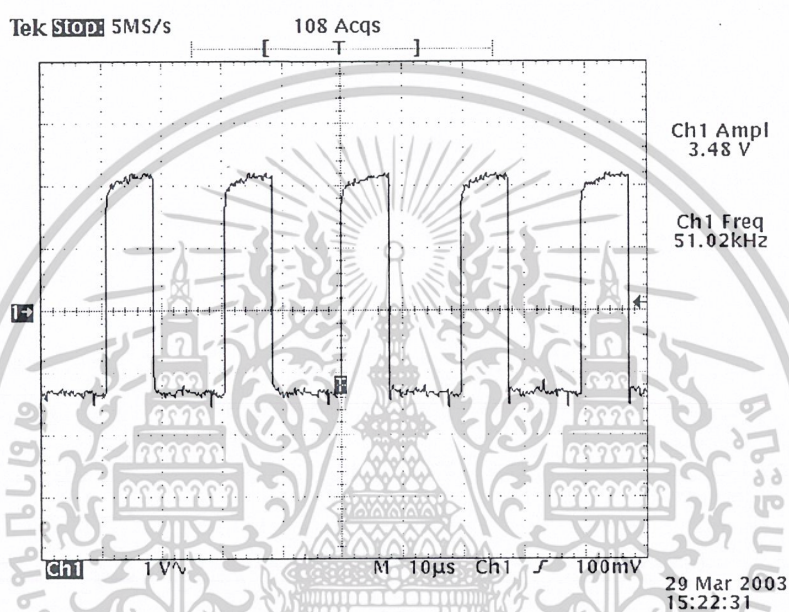
ที่จุด P จะเป็นการตรวจวัด ถ้าที่จุดนี้เรานำไปวัดความชื้นกระแสไฟจะไหลผ่านความต้านทาน 1 KΩ ผ่านตัวตรวจจับความชื้นเข้าขาเบสของทรานซิสเตอร์ จึงทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้โดยที่ขาอีมีเตอร์จะต่อผ่าน LED เพื่อเป็นตัวแสดงผล ถ้าที่จุด P มีความชื้นมาก จะทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสได้มาก แต่ถ้าที่จุด P มีความชื้นน้อย ทรานซิสเตอร์ก็นำกระแสได้น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

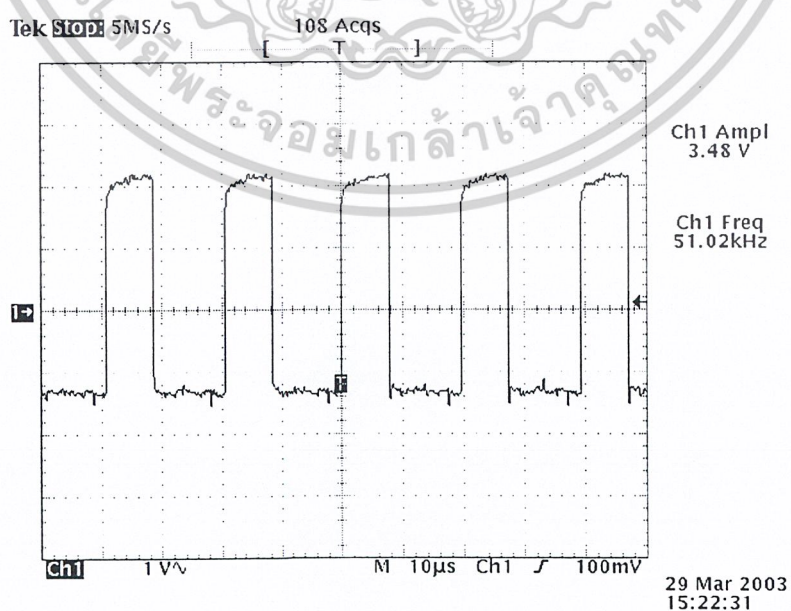
บทที่ 4

ผลการทดลอง

เมื่อทำการประกอบชุดรับส่งเรียบร้อยแล้ว ทำการป้อนสัญญาณอินพุตที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟ กระแสตรง โดย CHANNEL 1 จ่ายไฟ 1.36 โวลต์ CHANNEL 2 จ่ายไฟ 2.43 โวลต์ และ CHANNEL 3 จ่ายไฟ 0.94 โวลต์ และทำการวัดสัญญาณที่จุด TP 1, TP 2 และ TP 3 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำหน้าที่เป็น ลอจิก ไครเวอร์ขับไอซีอนาล็อกสวิทช์

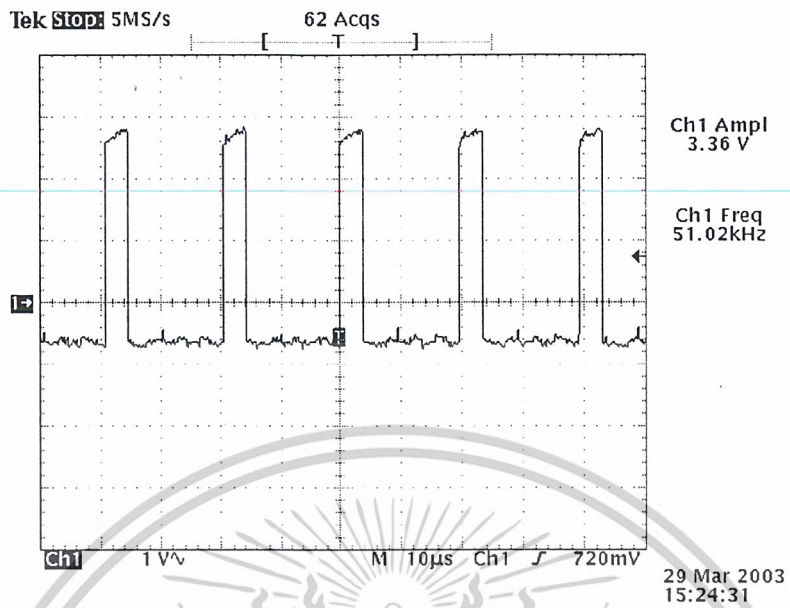


รูปที่ 4.1 รูปสัญญาณที่จุด TP 1



รูปที่ 4.2 รูปสัญญาณที่จุด TP 2

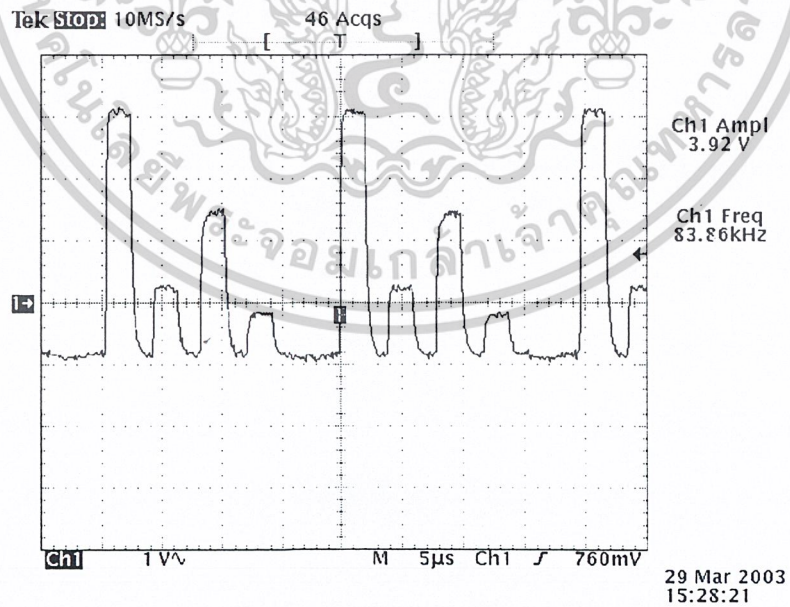
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 รูปสัญญาณที่จุด TP 3

หมด

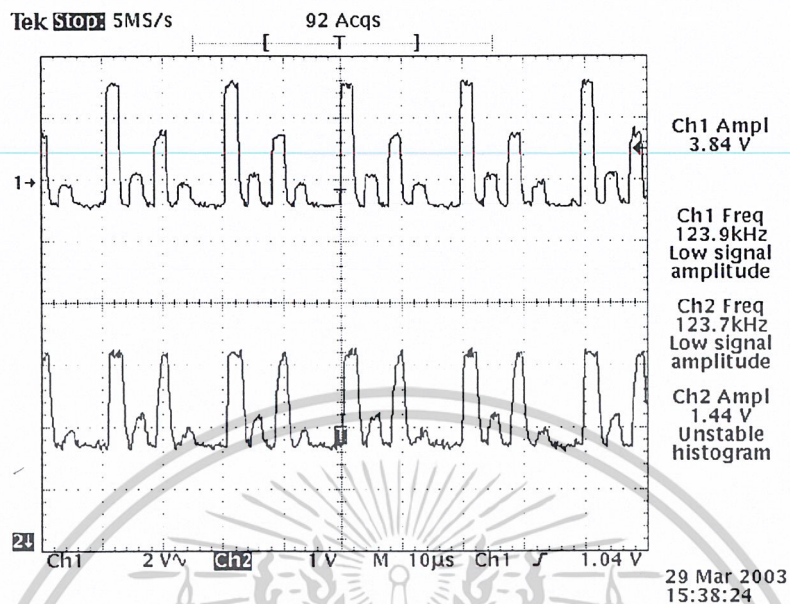
ทำการวัดที่จุด TP 5 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ทำการมัลติเพล็กซ์ ขณะที่ทำการมัลติเพล็กซ์สัญญาณทั้ง



รูปที่ 4.4 รูปสัญญาณที่จุด TP 5

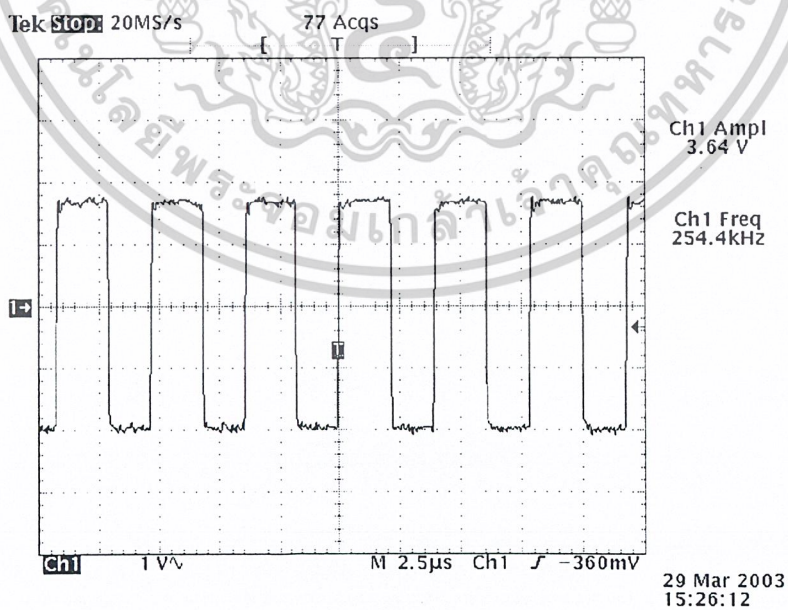
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวัดสัญญาณขณะก่อนและหลังผ่านเส้นใยแสง



รูปที่ 4.5 รูปเปรียบเทียบสัญญาณขณะก่อน-หลังผ่านเส้นใยแสง

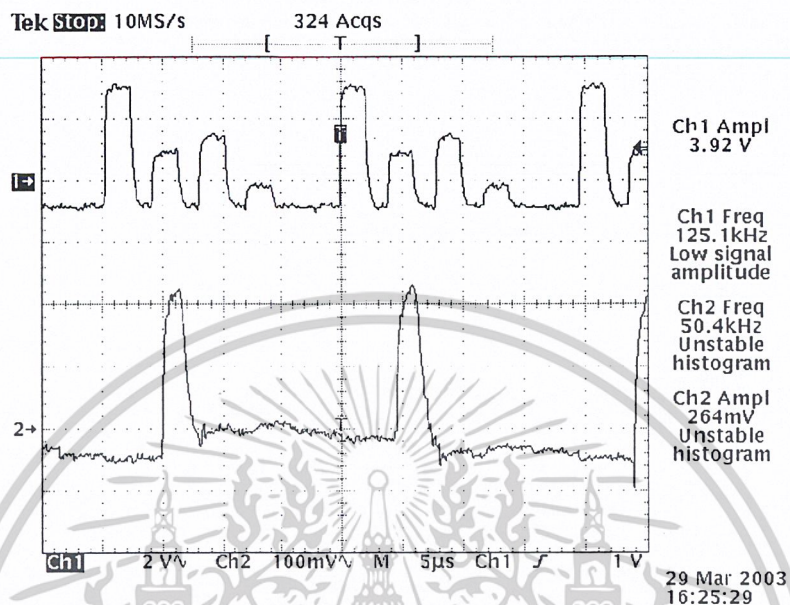
ทำการวัดสัญญาณ CLOCK ที่จุดมัลติพลิกซ์



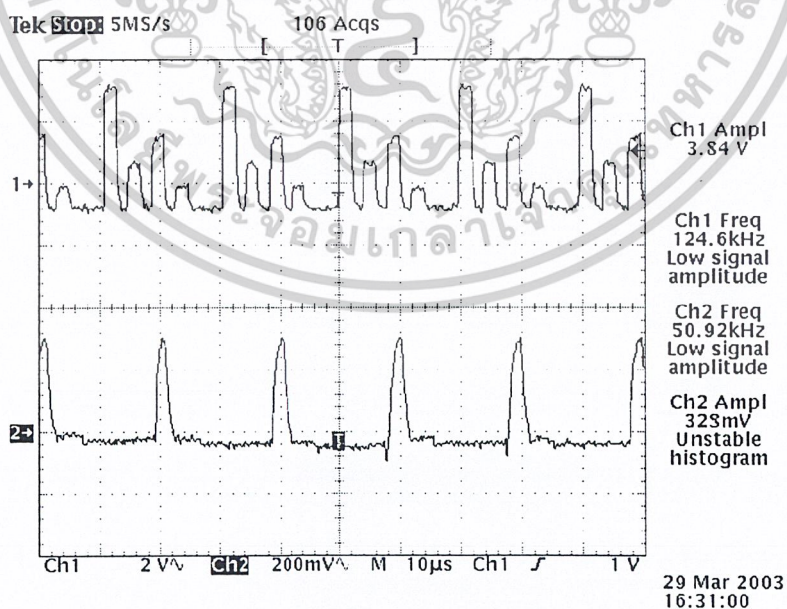
รูปที่ 4.6 รูปสัญญาณ CLOCK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ผ่านการตีมัลติเพล็กซ์กลับคืนมา แต่ละช่องสัญญาณ

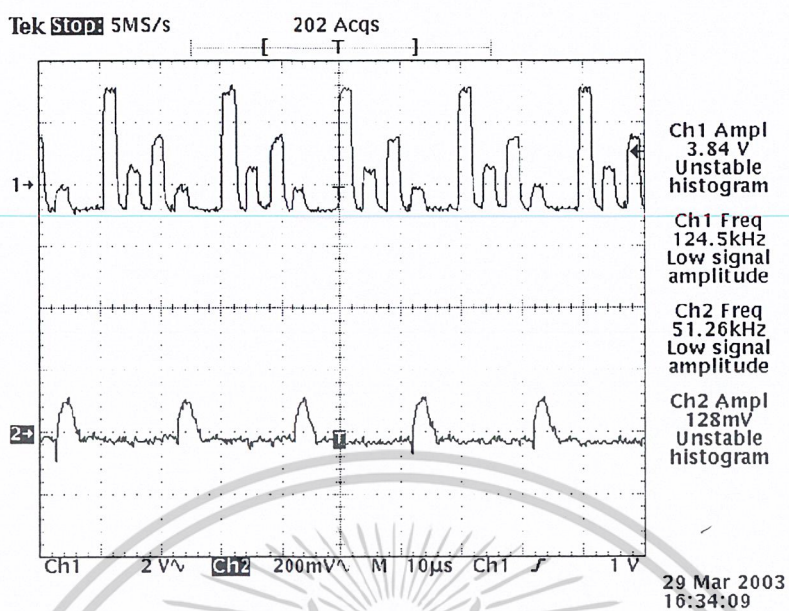


รูปที่ 4.7 รูปสัญญาณเอาต์พุต CHANNEL 1

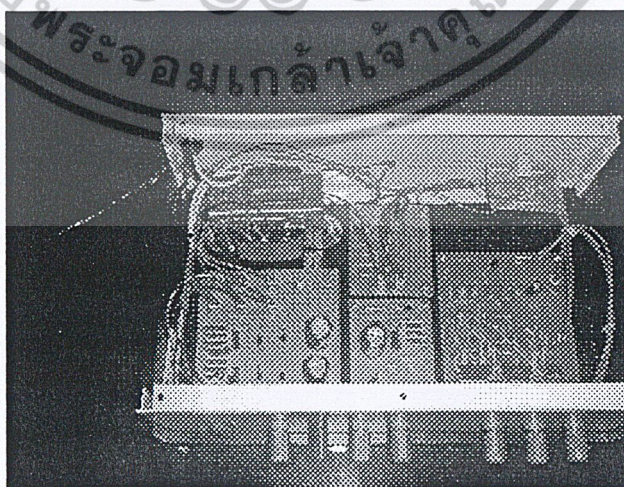
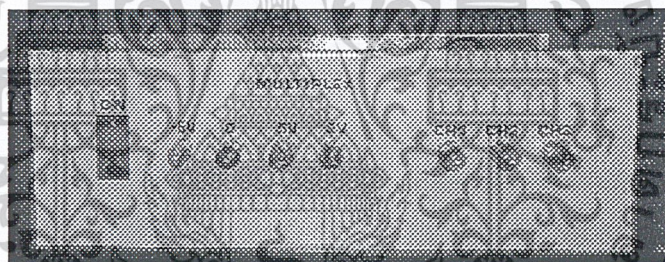


รูปที่ 4.8 รูปสัญญาณเอาต์พุต CHANNEL 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

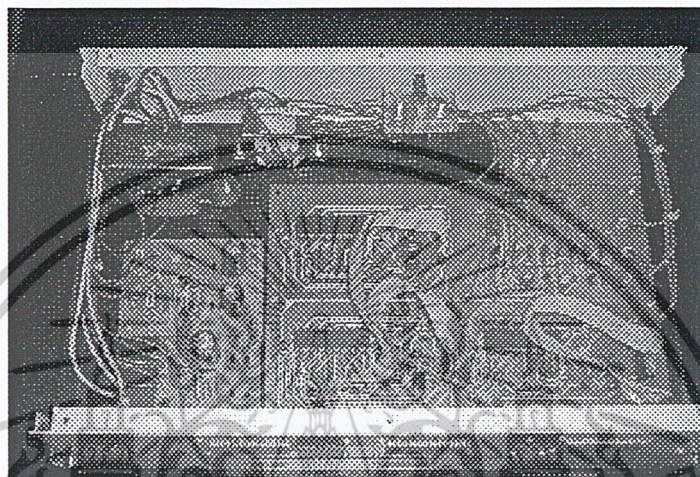
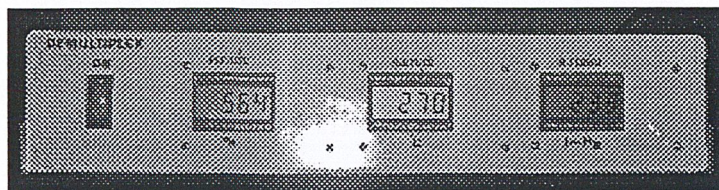


รูปที่ 4.9 รูปสัญญาณเอาต์พุต CHANNEL 3



รูปที่ 4.10 แสดงชุดมัลติเพล็กซ์ และเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงชุดคีมลัดดีเพิล็กซ์

ในโครงงาน เมื่อสัญญาณผ่านมาทางด้านรับ จากนั้นผ่านการคีมลัดดีเพิล็กซ์ แยกสัญญาณออกมาแล้วส่งไปแสดงผล ซึ่งรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

ผลการทดลองจะมี 2 ส่วน คือ ชุดตรวจจับ และชุดแสดงผลการเปลี่ยนแปลงทางด้านเครื่องรับ โดยเป็นชุดแสดงผลแบบไอซีสำเร็จรูป ที่ใช้ไอซีเบอร์ 7106 ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในการทำงานของวงจรในตอนต้น โดยจุดสำคัญของชุดแสดงผลนั้น ก่อนอื่นแรงดันอ้างอิงต้องปรับแต่งให้ได้ 100 mV. เมื่อปรับเทียบกับกราวด์ โดยใช้คิฉจิตดอมิเตอร์วัด และปรับความต้านทานให้จำกัดแรงดัน ที่ให้แก่ ไอซี 7106

ชุด วัดความชื้น

ผลที่ได้จากการทดลอง เมื่อมีความชื้นมาสัมผัสกับชุดตรวจจับความชื้น ทำให้กระแสไฟสามารถผ่านขาเบสของทรานซิสเตอร์ TR IC458 นำกระแสได้ โดยที่กระแสจะแปรผันตามค่าความชื้น และมีแรงดันเอาต์พุตออกที่ขาอีมิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ที่ตกรวมความต้านทาน R 1K โอห์ม

ชุด วัดอุณหภูมิ

ผลที่ได้จากการทดลอง ค่าของอุณหภูมิจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ โดยค่าแรงดันจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นมิลลิโวลต์ ซึ่งจะมีค่า 10 มิลลิโวลต์ ต่อ 1 องศา และที่ 0 องศา ค่าแรงดันที่ตกรวม ไอซี

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 2.73 โวลต์ การทดสอบนั้น เราไม่สามารถที่จะทำการควบคุมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ละองศาได้ จึงใช้วิธีการสุ่มทดลอง โดยการนำเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลสำเร็จรูปมาใช้ในการทดลอง โดยการนำเอาตัวตรวจจับอุณหภูมิของชุดสำเร็จรูปมาวางใกล้กับตัวตรวจจับอุณหภูมิที่สร้างขึ้น เพื่อให้ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในจุดที่ต้องการ ให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด สุ่มทำการปรับเครื่องปรับอากาศเรื่อย ๆ จนชุดอุณหภูมิชุดสำเร็จแสดงผลอุณหภูมิที่ประมาณ 25 องศา ที่ต้องทำการปรับ 25 องศา เพราะคุณสมบัติของ LM 335 องศาจะมีการผิดพลาดน้อยที่สุด และทำการปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศ หรือเปลี่ยนสถานที่ใหม่ ทำให้อุณหภูมิที่ได้เปลี่ยนแปลงไป สังเกตว่า อุณหภูมิทั้งสอง แสดงผลแตกต่างกันแค่ไหน โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ ตอนที่ต่อกับชุดแสดงผล และตอนที่ทำการส่งผ่านชุดรับ-ส่ง ซึ่งผลที่ได้ คือ การเชื่อมต่อชุดตรวจจับเข้ากับชุดแสดงผลโดยตรง จะให้ค่าที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

ชุด วัดความดัน

สำหรับวงจรที่ใช้งานในชุดนี้ ใช้แหล่งจ่ายไฟ 9 โวลต์ ให้กับ MPX 2010 จะสร้างแรงดันออกมาที่ขา 2 และขา 4 ในหน่วยมิลลิโวลต์ ซึ่งมีค่าต่ำมาก แต่ก็คือสัญญาณที่แปรผันโดยตรงตามความดันบรรยากาศ เมื่อผ่านวงจรออปแอมป์เพื่อขยายสัญญาณ ซึ่งสัญญาณในระดับต่ำที่ออกมาจาก MPX 2010 ไม่ได้ออกมาเที่ยงตรง แต่เป็นค่าใดค่าหนึ่ง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงในช่วงหนึ่งที่ยอมรับได้ อาจเกิดจากเหตุหลายประการ เมื่อทำการส่งผ่านชุดรับ-ส่งให้อยู่ในระดับที่ต่ำ เพื่อให้เหมาะสมกับอินพุตของไอซี 7106 แต่สัญญาณทางชุดรับที่ผ่านการตีมัลติเพล็กซ์ออกมาเป็นสัญญาณของชุดวัดความดันนั้น เกิดปัญหาอีก คือ สัญญาณรบกวน ซึ่งมีผลต่อการแสดงผล ทำให้ค่าที่ได้ไม่ค่อยจะเที่ยงตรงมากนัก แต่เนื่องจากค่าความดันในบรรยากาศทั่วไป มีการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นกับความสูงเป็นส่วนใหญ่ โดยความสูงเปลี่ยนความดันก็เปลี่ยน ซึ่งชุดวัดความดันนี้ได้ทำการปรับแต่งไว้ที่ระดับความสูงค่า ๆ หนึ่งเท่านั้น แต่หากจะให้มีการเปลี่ยนค่าของแรงดันทางด้านอินพุตมาก ๆ ก็ต้องทำการเพิ่มความกดดันให้มากหรือเพิ่มความสูงที่มาก ๆ ตามไปด้วย

การทดลองสำหรับชุดวัดความดันนี้ ได้ทำการปรับแต่งค่าตามทฤษฎีที่ความสูงโดยทั่วไป โดยทั่วไปความสูงหนึ่ง ๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงความดันอยู่บ้าง แต่จะมีปริมาณน้อยมาก และจะต้องทำการวัดเป็นเวลานาน ๆ จึงจะทำการสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น เป็นเดือน ๆ แต่สำหรับเครื่องมือชุดนี้ ไม่สามารถที่จะทำการวัดการเปลี่ยนแปลงที่ละเอียดขนาดนั้นได้ จะทำการวัดได้ก็เฉพาะค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงความสูงมาก ๆ หรือกรณีที่เปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศมาก ๆ เท่านั้น

ในโครงการ เมื่อสัญญาณผ่านมาทางด้านรับ จากนั้นผ่านการตีมัลติเพล็กซ์ แยกสัญญาณออกมาแล้วส่งไปแสดงผล ซึ่งรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

ผลการทดลองจะมี 2 ส่วน คือ ชุดตรวจจับ และชุดแสดงผลการเปลี่ยนแปลงทางด้านเครื่องรับ

โดยเป็นชุดแสดงผลแบบไอซีสำเร็จรูป ที่ใช้ไอซีเบอร์ 7106 ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในการทำงานของวงจรในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับทำวิจัยเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนต้น โดยจุดสำคัญของชุดแสดงผลนั้น ก่อนอื่นแรงดันอ้างอิงต้องปรับแต่งให้ได้ 100 mV. เมื่อปรับเทียบกับกราวด์ โดยใช้ดิจิตอลมิเตอร์วัด และปรับความต้านทานให้จำกัดแรงดัน ที่ให้แก่ ไอซี 7106

ชุด วัดความชื้น

ผลที่ได้จากการทดลอง เมื่อมีความชื้นมาสัมผัสกับชุดตรวจจับความชื้น ทำให้กระแสไฟสามารถผ่านขาเบสของทรานซิสเตอร์ TR 1C458 นำกระแสได้ โดยที่กระแสจะแปรผันตามค่าความชื้น และมีแรงดันเอาต์พุตออกที่ขาอีมิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ที่คกร่อมความต้านทาน R 1K โอห์ม

ชุด วัดอุณหภูมิ

ผลที่ได้จากการทดลอง ค่าของอุณหภูมิจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ โดยค่าแรงดันจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นมิลลิโวลต์ ซึ่งจะมีค่า 10 มิลลิโวลต์ ต่อ 1 องศา และที่ 0 องศา ค่าแรงดันที่คกร่อม ไอซี ประมาณ 2.73 โวลต์ การทดสอบนั้น เราไม่สามารถที่จะทำการควบคุมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ละองศาได้ จึงใช้วิธีการสุ่มทดลอง โดยการนำเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลสำเร็จรูปมาใช้ในการทดลอง โดยการนำเอาตัวตรวจจับอุณหภูมิของชุดสำเร็จรูปมาวางใกล้กับตัวตรวจจับอุณหภูมิที่สร้างขึ้น เพื่อให้ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในจุดที่ต้องการ ให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด สุ่มทำการปรับเครื่องปรับอากาศเรื่อย ๆ จนชุดอุณหภูมิชุดสำเร็จแสดงผลอุณหภูมิที่ประมาณ 25 องศา ที่ต้องทำการปรับ 25 องศา เพราะคุณสมบัติของ LM 335 องศาจะมีการผิดพลาดน้อยที่สุด และทำการปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศ หรือเปลี่ยนสถานที่ใหม่ ทำให้อุณหภูมิที่ได้เปลี่ยนแปลงไป สังเกตว่า อุณหภูมิทั้งสอง แสดงผลแตกต่างกันเล็กน้อย โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ ตอนที่ต่อกับชุดแสดงผล และตอนที่ทำการส่งผ่านชุดรับ-ส่ง ซึ่งผลที่ได้ คือ การเชื่อมต่อชุดตรวจจับเข้ากับชุดแสดงผลโดยตรง จะให้ค่าที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

ชุด วัดความดัน

สำหรับวงจรที่ใช้งานในชุดนี้ ใช้แหล่งจ่ายไฟ 9 โวลต์ ให้กับ MPX 2010 จะสร้างแรงดันออกมามีค่า 2 และขา 4 ในหน่วยมิลลิโวลต์ ซึ่งมีค่าต่ำมาก แต่ก็คือสัญญาณที่แปรผันโดยตรงตามความดันบรรยากาศ เมื่อผ่านวงจรออปแอมป์เพื่อขยายสัญญาณ ซึ่งสัญญาณในระดับต่ำที่ออกมาจาก MPX 2010 ไม่ได้ออกมาเที่ยงตรง แต่เป็นค่าใดค่าหนึ่ง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงในช่วงหนึ่งที่ยอมรับได้ อาจเกิดจากเหตุหลายประการ เมื่อทำการส่งผ่านชุดรับ-ส่งให้อยู่ในระดับที่ต่ำ เพื่อให้เหมาะสมกับอินพุตของไอซี 7106 แต่สัญญาณทางชุดรับที่ผ่านการดีมัลติเพล็กซ์ออกมาเป็นสัญญาณของชุดวัดความดันนั้น เกิดปัญหาอีก คือ สัญญาณรบกวน ซึ่งมีผลต่อการแสดงผล ทำให้ค่าที่ได้ไม่ค่อยจะเที่ยงตรงมากนัก แต่เนื่องจากค่าความดันในบรรยากาศทั่วไป มีการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นกับความสูงเป็นส่วนใหญ่ โดยความสูงเปลี่ยนความดันก็เปลี่ยน ซึ่งชุดวัดความดันนี้ได้ทำการปรับแต่งไว้ที่ระดับความสูงค่า ๆ หนึ่งเท่านั้น แต่หากจะให้มีการเปลี่ยนค่าของแรงดันทางด้านอินพุตมาก ๆ ก็ต้องทำการเพิ่มความกดดันให้มากหรือเพิ่มความสูงที่มาก ๆ

ความไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองสำหรับชุดวัดความดันนี้ ได้ทำการปรับแต่งค่าตามทฤษฎีที่สูงโดยทั่วไป โดยทั่วไปความสูงหนึ่ง ๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงความดันอยู่บ้าง แต่จะมีปริมาณน้อยมาก และจะต้องทำการวัดเป็นเวลานาน ๆ จึงจะทำการสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ เช่นเป็นเดือน ๆ แต่สำหรับเครื่องมือชุดนี้ ไม่สามารถที่จะทำการวัดการเปลี่ยนแปลงที่ละเอียดขนาดนั้นได้ จะทำการวัดได้ก็เฉพาะค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงความสูงมาก ๆ หรือกรณีที่เปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศมาก ๆ เท่านั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าในการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแสงนั้น ถึงแม้ว่าคุณสมบัติของเส้นใยแสงในการทำหน้าที่เป็นสายส่ง จะมีข้อดีหลายประการ แต่ก็ไม่ได้หมายความว่า จะทำการส่งสัญญาณได้ดีเสมอไป โดยมันจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญหลาย ๆ อย่างด้วยกัน ในการทดลองนี้ จะมีปัญหาหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องการคลิปลิงสัญญาณผ่านเข้าไปในเส้นใยแสง เพราะในการทดลองไม่สามารถใช้ตัวรับ-ส่งที่มีคุณภาพสูง เนื่องจากข้อจำกัดบางประการ ทำให้จำเป็นต้องใช้แบบธรรมดา ทำให้คุณภาพที่ได้ด้อยลงไปมากที่เดียว เพราะการสูญเสียในเส้นใยแสงที่ใช้มีค่าประมาณ 2.3 dB/km ทำให้เอาต์พุตที่ได้มีความคาดเคลื่อนลงไปมาก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางด้านอินพุตมีค่าเป็นมิลลิวัตต์ ส่วนชุดที่ทำหน้าที่ตรวจจับต่าง ๆ ทำงานได้ แต่ค่าที่ได้จะมีค่าไม่ค่อยเที่ยงตรงมากนัก เนื่องจากองค์ประกอบหลายประการ เช่น ชุดวัดความดันบรรยากาศยังมีการเปลี่ยนแปลงค่าในแต่ละครั้งสูงมาก จึงทำให้เกิดความยากลำบากในการที่จะทำการทดสอบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงจริงหรือไม่ ส่วนชุดอื่น ๆ มีปัญหาที่คล้ายคลึงกัน

ถึงแม้ทางด้านส่งจะทำการปรับระดับให้มีการเปลี่ยนแปลง มีย่านการตรวจจับที่กว้างขึ้น แต่ก็ไม่สามารถทำได้มากนัก อีกทั้งอุปกรณ์ชุดรับ-ส่งของชุดตรวจจับ แต่ละชุดมีคุณภาพไม่ค่อยดีนัก และเมื่อเปรียบเทียบกับ การส่งผ่านเส้นใยแสงนั้น กรณีที่ชุดตรวจจับต่อกับชุดแสดงผลโดยตรง จะมีการเปลี่ยนแปลงที่ดีกว่า เพราะสัญญาณที่ได้จะถูกส่งเข้าไปแสดงผลโดยตรง จะมีการเปลี่ยนแปลงที่ดีกว่า เพราะสัญญาณที่ได้จะถูกส่งเข้าไปแสดงผลโดยตรง ซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ หรือไม่มีการสูญเสียเกิดขึ้นที่สัญญาณ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Robert J. Hoss, “ Fiber Optic Communication Design Handbook ” Prentice Hall, 1994
- [2] Harold B. Killen, “ Fiber Optic Communication ” Prentice Hall, 1996
- [3] Joseph C. Palais, “ Fiber Optic Communication ” Prentice Hall, 1994
- [4] ผศ. อภินันท์ มั่นขานนท์, “ การสื่อสารเส้นใยแสง ” คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2538
- [5] National Semiconductor, “ Linear Applications Handbook ”, 1994
- [6] ยืน ภู่วรรณ, “ ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 3 ” บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 2528



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Plastic Fiber Optic Transmitter Diode Plastic Connector Housing

SFH 450
SFH 450V

Features

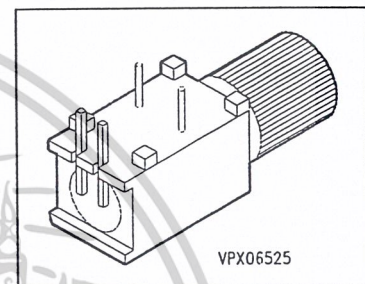
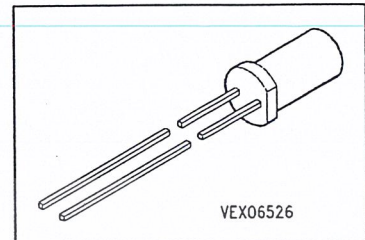
- 2.2 mm aperture holds standard 1000 micron plastic fiber
- No fiber stripping required
- Good linearity
- Molded microlens for efficient coupling

Plastic Connector Housing

- Mounting screw attached to the connector
- Interference-free transmission from light-tight housing
- Transmitter and receiver can be flexibly positioned
- No cross talk
- Auto insertable and wave solderable
- Supplied in tubes

Applications

- Household electronics
- Power electronics
- Optical networks
- Medical instruments
- Automotive electronics
- Light barriers



Type	Ordering Code
SFH 450	Q62702-P1034
SFH 450V	Q62702-P265

Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Values	Unit
Operating temperature range	T_{OP}	- 55 ... +100	°C
Storage temperature range	T_{STG}	- 55 ... +100	°C
Junction temperature	T_J	100	°C
Soldering temperature (2 mm from case bottom, $t \leq 5$ s)	T_S	260	°C
Reverse voltage	V_R	5	V

Maximum Ratings (cont'd)

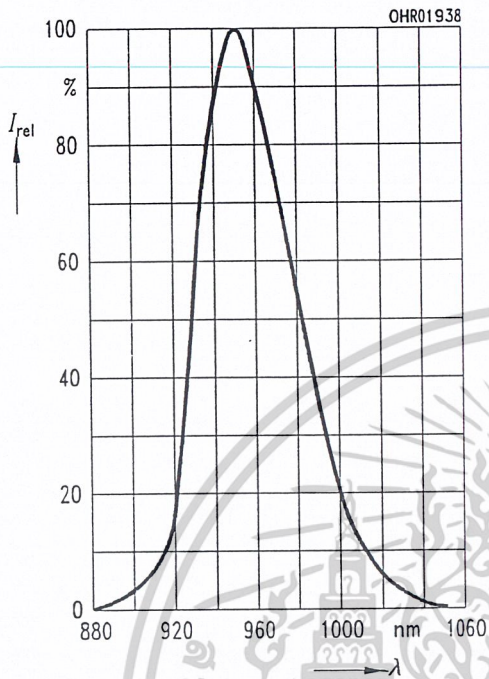
Parameter	Symbol	Values	Unit
Forward current	I_F	130	mA
Surge current $t \leq 10 \mu\text{s}, D = 0$	I_{FSM}	3.5	A
Power dissipation	P_{TOT}	200	mW
Thermal resistance, junction/air	R_{thJA}	375	K/W

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

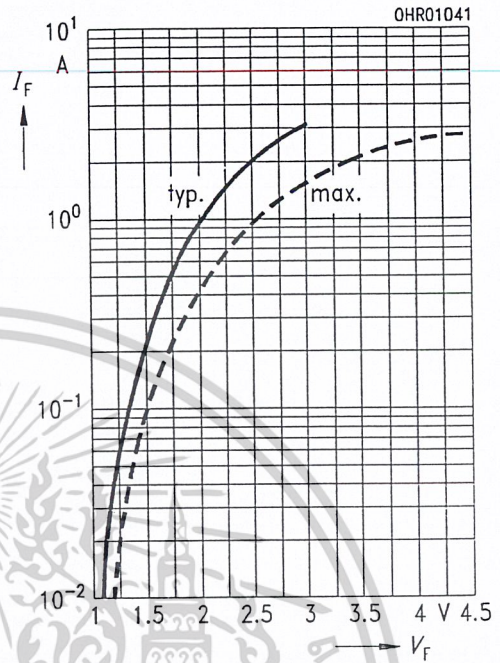
Parameter	Symbol	Values	Unit
Peak wavelength	λ_{Peak}	950	nm
Spectral bandwidth	$\Delta\lambda$	55	nm
Switching times ($R_L = 50 \Omega, I_F = 10 \text{ mA}$) 10 % ... 90 % 90 % ... 10 %	t_R t_F	1 1	μs μs
Capacitance ($f = 1 \text{ MHz}, V_R = 0 \text{ V}$)	C_O	40	pF
Forward voltage ($I_F = 10 \text{ mA}$)	V_F	1.3 (≤ 1.5)	V
Output power coupled into plastic fiber ($I_F = 10 \text{ mA}$) see Note 1	Φ_{IN}	40 ... 200	μW
Temperature coefficient Φ_{IN}	TC_Φ	-0.5	%/K
Temperature coefficient V_F	TC_V	-1.5	mV/K
Temperature coefficient λ_{Peak}	TC_λ	0.3	nm/K

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

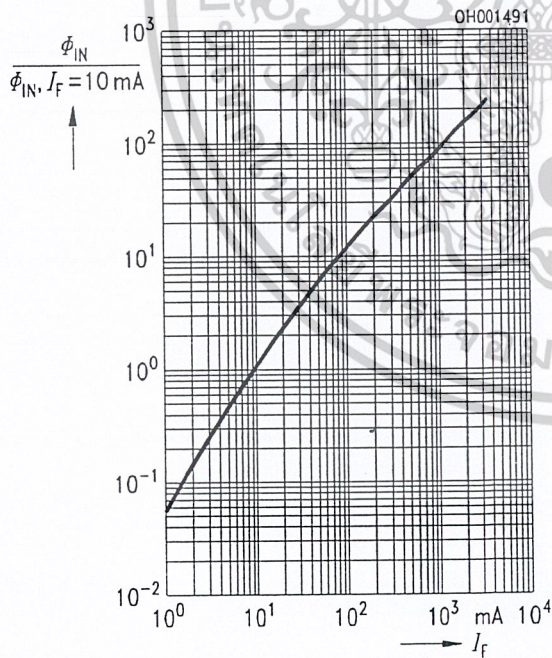
Relative spectral emission $I_{rel} = f(\lambda)$



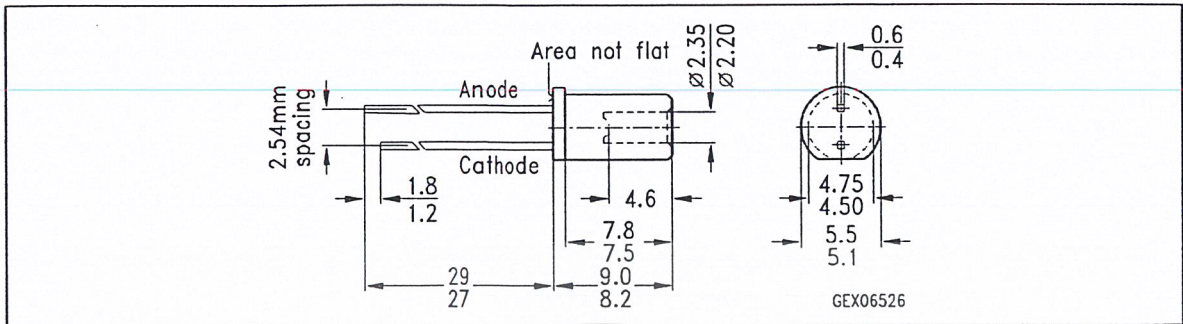
Forward current $I_F = f(V_F)$
single pulse, duration = 20 μ s



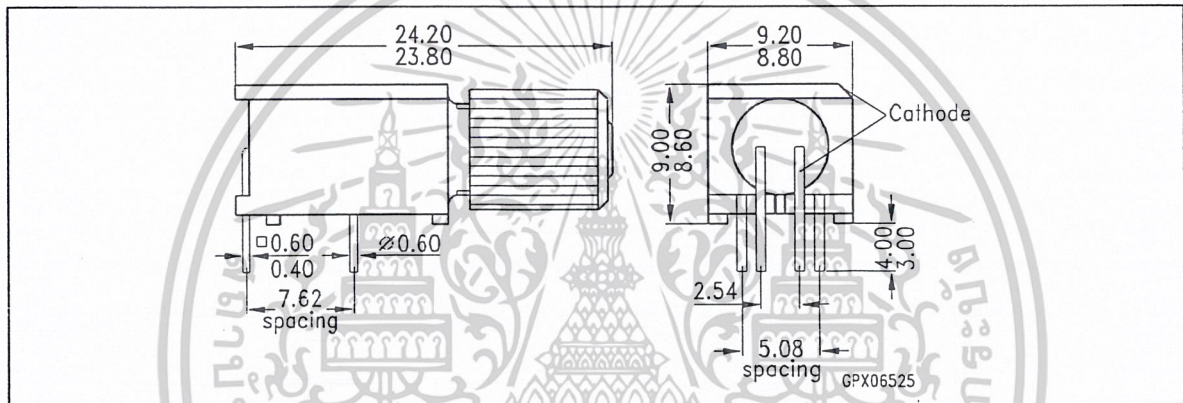
Relative output power $\Phi_{IN}/\Phi_{IN}(10 \text{ mA}) = f(I_F)$



Package Outlines (dimensions in mm, unless otherwise specified)



SFH 450



SFH 450V

10 kPa On-Chip Temperature Compensated & Calibrated Silicon Pressure Sensors

The MPX2010/MPXV2010G series silicon piezoresistive pressure sensors provide a very accurate and linear voltage output — directly proportional to the applied pressure. These sensors house a single monolithic silicon die with the strain gauge and thin-film resistor network integrated on each chip. The sensor is laser trimmed for precise span, offset calibration and temperature compensation.

Features

- Temperature Compensated over 0°C to +85°C
- Ratiometric to Supply Voltage
- Differential and Gauge Options

Application Examples

- Respiratory Diagnostics
- Air Movement Control
- Controllers
- Pressure Switching

Figure 1 shows a block diagram of the internal circuitry on the stand-alone pressure sensor chip.

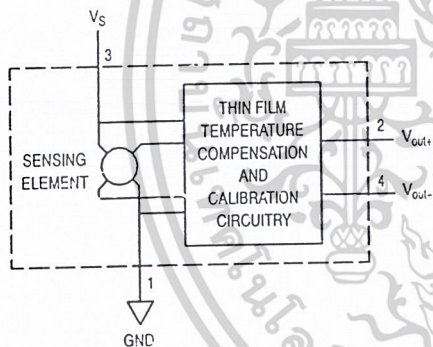


Figure 1. Temperature Compensated and Calibrated Pressure Sensor Schematic

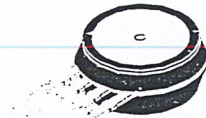
VOLTAGE OUTPUT versus APPLIED DIFFERENTIAL PRESSURE

The output voltage of the differential or gauge sensor increases with increasing pressure applied to the pressure side (P1) relative to the vacuum side (P2). Similarly, output voltage increases as increasing vacuum is applied to the vacuum side (P2) relative to the pressure side (P1).

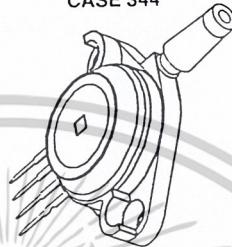
Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

REV 9

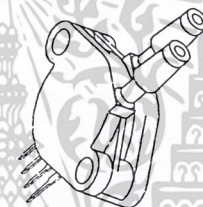
UNIBODY PACKAGE



MPX2010D
CASE 344



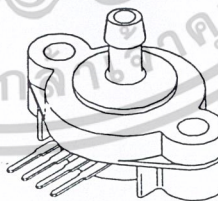
MPX2010GP
CASE 344B



MPX2010DP
CASE 344C



MPX2010GS
CASE 344E



MPX2010GSX
CASE 344F

PIN NUMBER			
1	Gnd	3	V _S
2	+V _{out}	4	-V _{out}

NOTE: Pin 1 is noted by the notch in the lead.

MPX2010 MPXV2010G SERIES

Motorola Preferred Device

**COMPENSATED
PRESSURE SENSOR**
0 to 10 kPa (0 to 1.45 psi)
FULL SCALE SPAN: 25 mV

SMALL OUTLINE PACKAGE SURFACE MOUNT



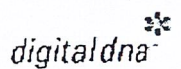
MPXV2010GP
CASE 1369



MPXV2010DP
CASE 1351

PIN NUMBER			
1	Gnd	5	N/C
2	+V _{out}	6	N/C
3	V _S	7	N/C
4	-V _{out}	8	N/C

NOTE: Pin 1 is noted by the notch in the lead.



MPX2010 MPXV2010G SERIES

MAXIMUM RATINGS(NOTE)

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Pressure (P1 > P2)	P_{max}	75	kPa
Storage Temperature	T_{stg}	-40 to +125	°C
Operating Temperature	T_A	-40 to +125	°C

NOTE: Exposure beyond the specified limits may cause permanent damage or degradation to the device.

OPERATING CHARACTERISTICS ($V_S = 10$ Vdc, $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted, $P1 > P2$)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Pressure Range ⁽¹⁾	POP	0	—	10	kPa
Supply Voltage ⁽²⁾	V_S	—	10	16	Vdc
Supply Current	I_o	—	6.0	—	mAdc
Full Scale Span ⁽³⁾	V_{FSS}	24	25	26	mV
Offset ⁽⁴⁾	V_{off}	-1.0	—	1.0	mV
Sensitivity	$\Delta V/\Delta P$	—	2.5	—	mV/kPa
Linearity ⁽⁵⁾	—	-1.0	—	1.0	% V_{FSS}
Pressure Hysteresis ⁽⁵⁾ (0 to 10 kPa)	—	—	± 0.1	—	% V_{FSS}
Temperature Hysteresis ⁽⁵⁾ (-40°C to +125°C)	—	—	± 0.5	—	% V_{FSS}
Temperature Effect on Full Scale Span ⁽⁵⁾	TCV_{FSS}	-1.0	—	1.0	% V_{FSS}
Temperature Effect on Offset ⁽⁵⁾	TCV_{off}	-1.0	—	1.0	mV
Input Impedance	Z_{in}	1000	—	2550	Ω
Output Impedance	Z_{out}	1400	—	3000	Ω
Response Time ⁽⁶⁾ (10% to 90%)	t_R	—	1.0	—	ms
Warm-Up	—	—	20	—	ms
Offset Stability ⁽⁷⁾	—	—	± 0.5	—	% V_{FSS}

NOTES:

- 1.0 kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi.
- Device is ratiometric within this specified excitation range. Operating the device above the specified excitation range may induce additional error due to device self-heating.
- Full Scale Span (V_{FSS}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
- Offset (V_{off}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
- Accuracy (error budget) consists of the following:
 - Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure, using end point method, over the specified pressure range.
 - Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.
 - Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from the minimum or maximum rated pressure, at 25°C.
 - TcSpan: Output deviation at full rated pressure over the temperature range of 0 to 85°C, relative to 25°C.
 - TcOffset: Output deviation with minimum rated pressure applied, over the temperature range of 0 to 35°C, relative to 25°C.
- Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.
- Offset stability is the product's output deviation when subjected to 1000 hours of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ON-CHIP TEMPERATURE COMPENSATION and CALIBRATION

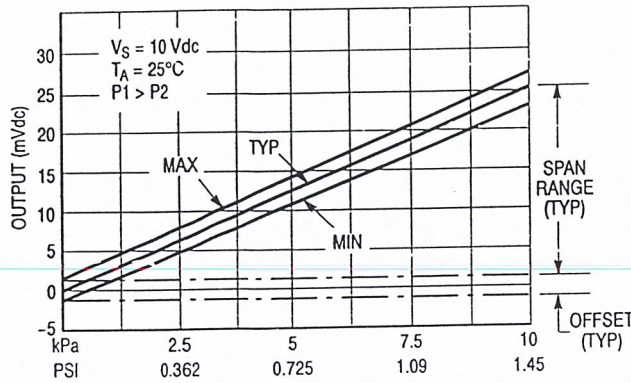


Figure 2. Output versus Pressure Differential

Figure 2 shows the output characteristics of the MPX2010/MPXV2010G 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.

This performance over temperature is achieved by having both the shear stress strain gauge and the thin-film resistor circuitry on the same silicon diaphragm. Each chip is dynamically laser trimmed for precise span and offset calibration and temperature compensation.

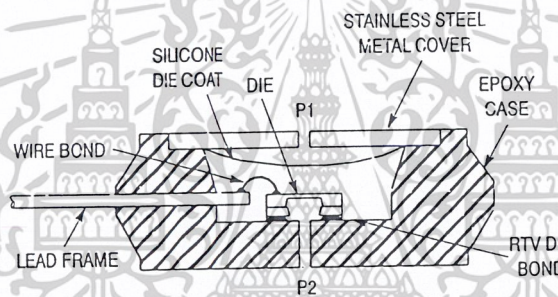


Figure 3. Unibody Package — Cross-Sectional Diagram (not to scale)

Figure 3 illustrates the differential/gauge die in the basic chip carrier (Case 344). A silicone gel isolates the die surface and wire bonds from the environment, while allowing the pressure signal to be transmitted to the silicon diaphragm.

The MPX2010/MPXV2010G series pressure sensor oper-

ating 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 reliability. Contact the factory for information regarding media compatibility in your application.

MPX2010 MPXV2010G 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 5) 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.

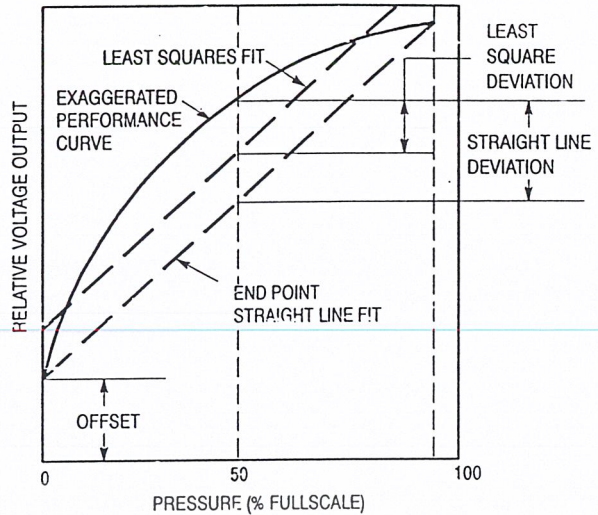


Figure 4. Linearity Specification Comparison

PRESSURE (P1)/VACUUM (P2) SIDE IDENTIFICATION TABLE

Motorola designates the two sides of the pressure sensor as the Pressure (P1) side and the Vacuum (P2) side. The Pressure (P1) side is the side containing silicone gel which isolates the die from the environment. The Motorola MPX

pressure sensor is designed to operate with positive differential pressure applied, $P1 > P2$.

The Pressure (P1) side may be identified by using the table below:

Part Number	Case Type	Pressure (P1) Side Identifier
MPX2010D	344	Stainless Steel Cap
MPX2010DP	344C	Side with Part Marking
MPX2010GP	344B	Side with Port Attached
MPX2010GS	344E	Side with Port Attached
MPX2010GSX	344F	Side with Port Attached
MPXV2010GP	1369	Side with Port Attached
MPXV2010DP	1351	Side with Part Marking

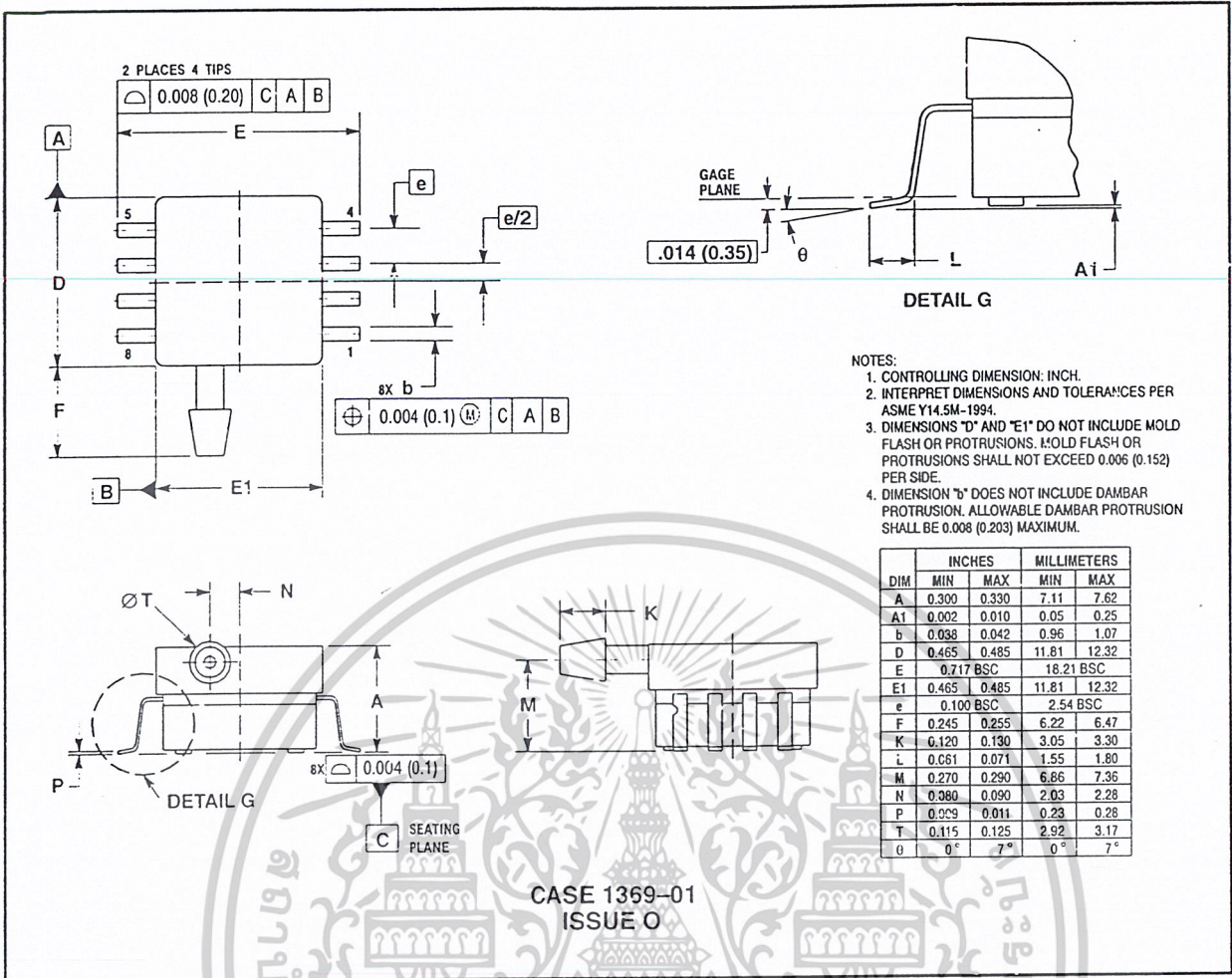
ORDERING INFORMATION — UNIBODY PACKAGE (MPX2010 SERIES)

Device Type	Options	Case Type	MPX Series	
			Order Number	Device Marking
Basic Element	Differential	344	MPX2010D	MPX2010D
Ported Elements	Differential, Dual Port	344C	MPX2010DP	MPX2010DP
	Gauge	344B	MPX2010GP	MPX2010GP
	Gauge, Axial	344E	MPX2010GS	MPX2010D
	Gauge, Axial PC Mount	344F	MPX2010GSX	MPX2010D

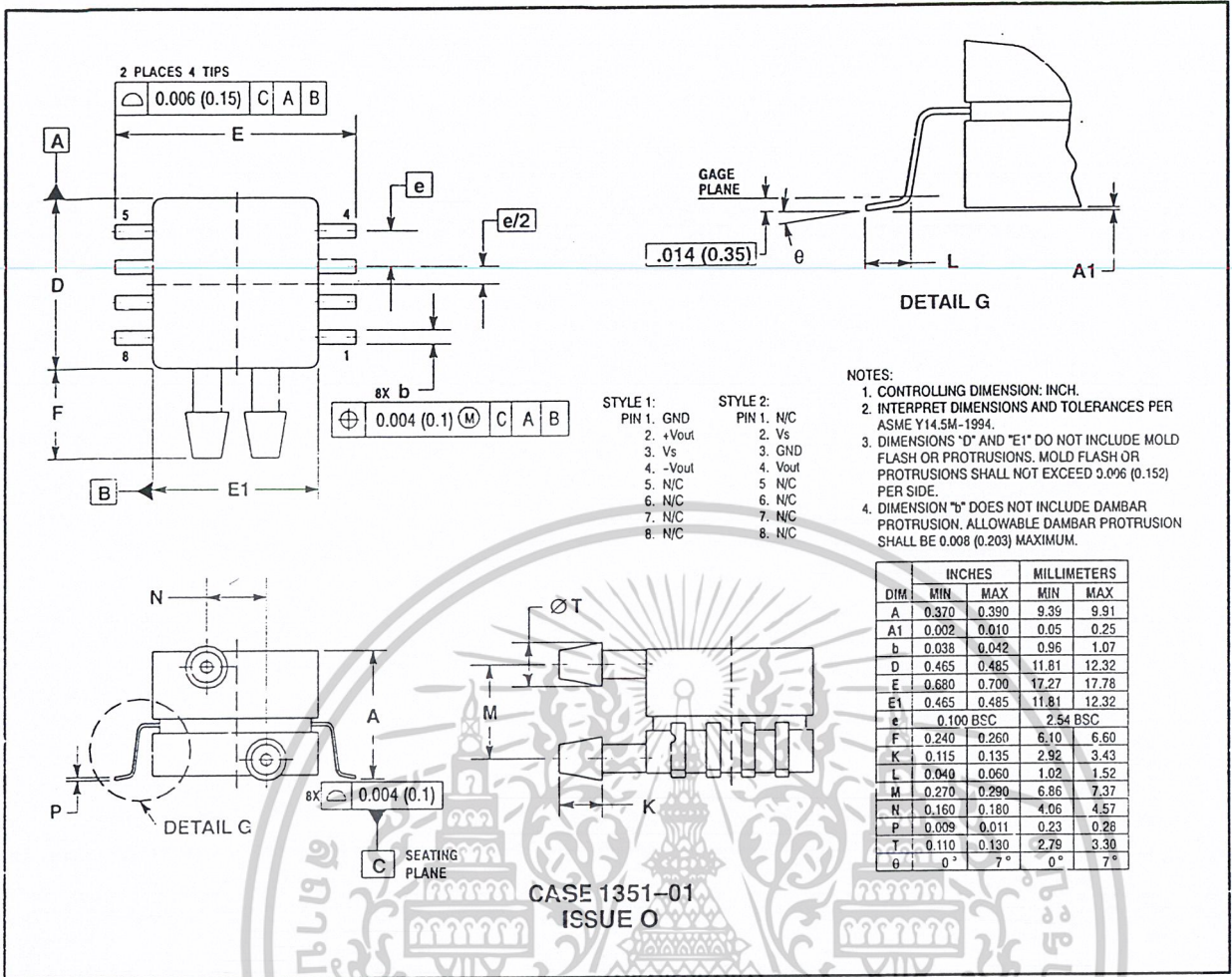
ORDERING INFORMATION — SMALL OUTLINE PACKAGE (MPXV2010G SERIES)

Device Type	Options	Case No.	MPX Series Order No.	Packing Options	Marking
Ported Elements	Gauge, Side Port, SMT	1369	MPXV2010GP	Trays	MPXV2010G
	Differential, Dual Port, SMT	1351	MPXV2010DP	Trays	MPXV2010G

SMALL OUTLINE PACKAGE DIMENSIONS

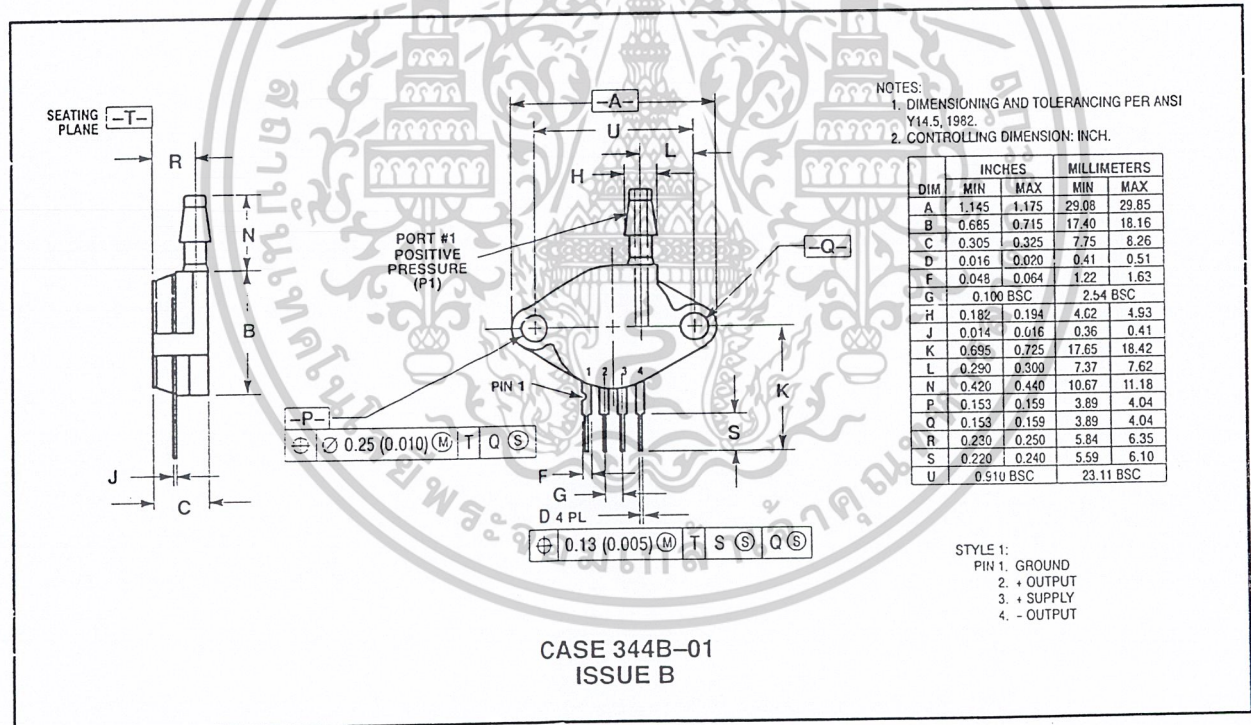
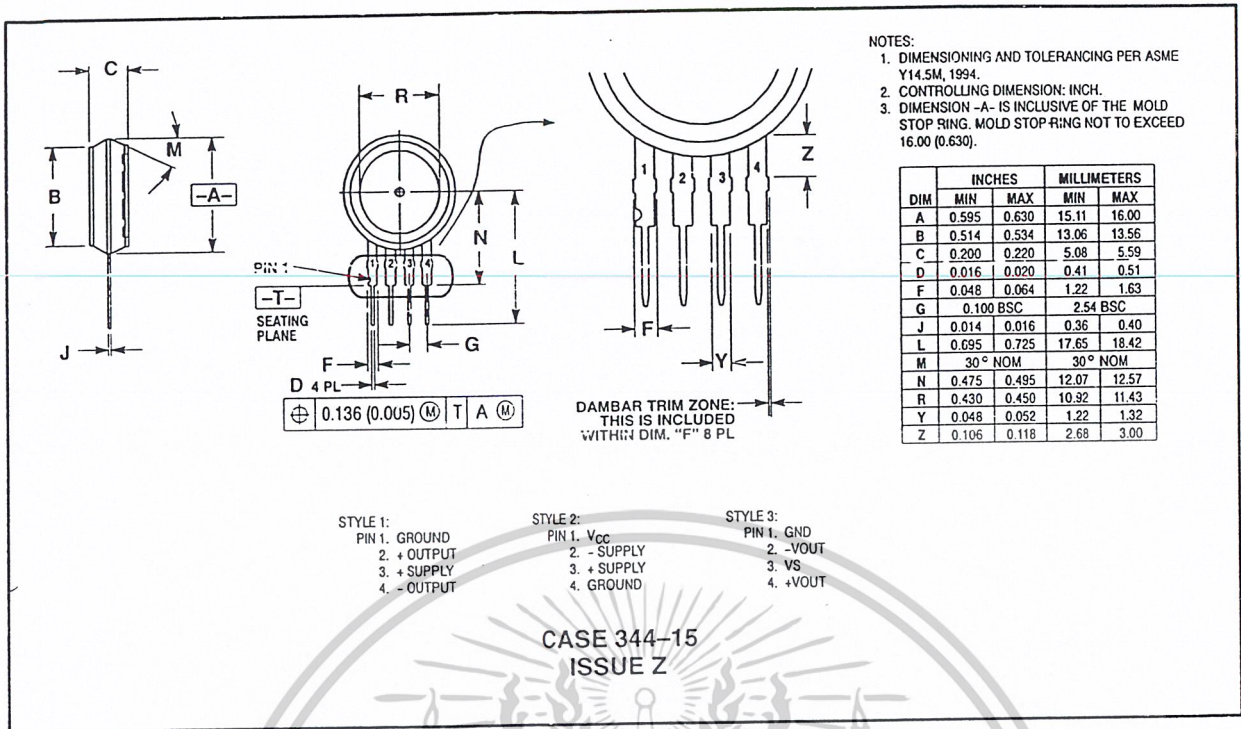


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UNIBODY PACKAGE DIMENSIONS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3¹/₂ Digit, LCD/LED Display, A/D Converters

The Intersil ICL7106 and ICL7107 are high performance, low power, 3¹/₂ 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.

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 15µV_{p-p}
- On Chip Clock and Reference
- Low Power Dissipation - Typically Less Than 10mW
- No Additional Active Circuits Required
- Enhanced Display Stability

Ordering Information

PART NO.	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
ICL7106CPL	0 to 70	40 Ld PDIP	E40.6
ICL7106CM44	0 to 70	44 Ld MQFP	Q44.10x10
ICL7107CPL	0 to 70	40 Ld PDIP	E40.6
ICL7107RCPL	0 to 70	40 Ld PDIP (Note)	E40.6
ICL7107SCPL	0 to 70	40 Ld PDIP (Note)	E40.6
ICL7107CM44	C to 70	44 Ld MQFP	Q44.10x10

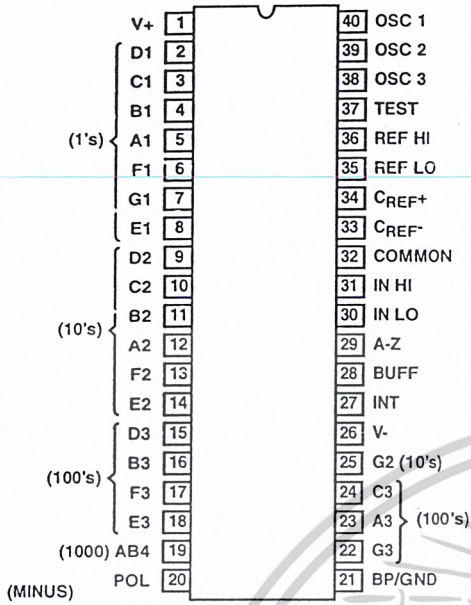
NOTE: "R" indicates device with reversed leads for mounting to PC board underside. "S" indicates enhanced stability.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

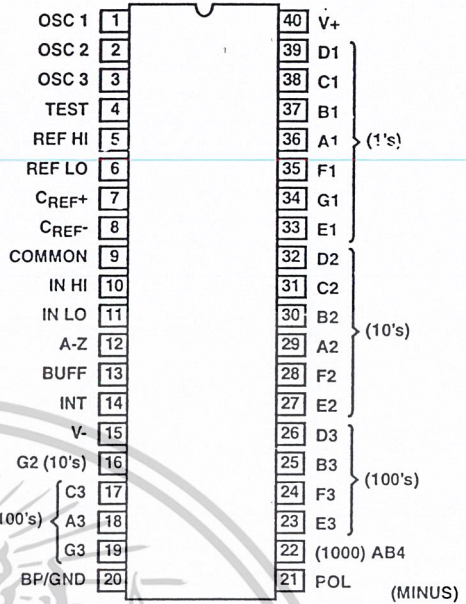
ICL7106, ICL7107, ICL7107S

Pinouts

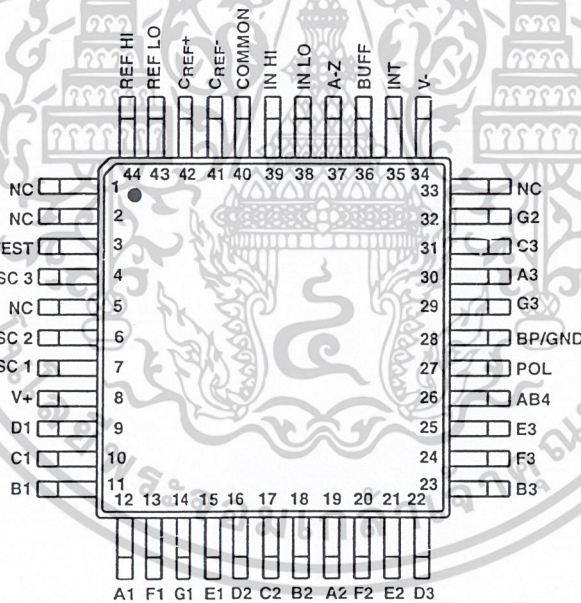
ICL7106, ICL7107 (PDIP)
TOP VIEW



ICL7107R (PDIP)
TOP VIEW



ICL7106, ICL7107 (MQFP)
TOP VIEW



ICL7106, ICL7107, ICL7107S

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage	
ICL7106, V+ to V-	15V
ICL7107, V+ to GND6V
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 (Typical, Note 2)	θ_{JA} (°C/W)
PDIP Package	50
MQFP Package	75
Maximum Junction Temperature	150°C
Maximum Storage Temperature Range	-65°C to 150°C
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s)	300°C
(MQFP - Lead Tips Only)	

Operating Conditions

Temperature Range

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.

NOTES:

- Input voltages may exceed the supply voltages provided the input current is limited to $\pm 100\mu\text{A}$.
- θ_{JA} is measured with the component mounted on a low effective thermal conductivity test board in free air. See Tech Brief TB379 for details.

Electrical Specifications (Note 3)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
SYSTEM PERFORMANCE					
Zero Input Reading	$V_{IN} = 0.0\text{V}$, Full Scale = 200mV	-000.0	± 000.0	+000.0	Digital Reading
Stability (Last Digit) (ICL7106S, ICL7107S Only)	Fixed Input Voltage (Note 6)	-000.0	± 000.0	+000.0	Digital Reading
Ratiometric Reading	$V_{IN} = V_{REF}$, $V_{REF} = 100\text{mV}$.999	999/1000	1000	Digital Reading
Rollover Error	$-V_{IN} = +V_{IN} \cong 200\text{mV}$ 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	$V_{CM} = 1\text{V}$, $V_{IN} = 0\text{V}$, Full Scale = 200mV (Note 5)	-	50	-	$\mu\text{V/V}$
Noise	$V_{IN} = 0\text{V}$, Full Scale = 200mV (Peak-To-Peak Value Not Exceeded 95% of Time)	-	15	-	μV
Leakage Current Input	$V_{IN} = 0$ (Note 5)	-	1	10	pA
Zero Reading Drift	$V_{IN} = 0$, 0°C To 70°C (Note 5)	-	0.2	1	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Scale Factor Temperature Coefficient	$V_{IN} = 199\text{mV}$, 0°C To 70°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)	-	1.0	1.8	mA
End Power Supply Character V- Supply Current	ICL7107 Only	-	0.6	1.3	mA
COMMON Pin Analog Common Voltage	25k Ω Between Common and Positive Supply (With Respect to + Supply)	2.4	3.0	3.2	V
Temperature Coefficient of Analog Common	25k Ω Between Common and Positive Supply (With Respect to + Supply)	-	80	-	ppm/°C
DISPLAY DRIVER ICL7106 ONLY					
Peak-To-Peak Segment Drive Voltage	V+ = to V- = 9V (Note 4)	4	5.5	6	V
Peak-To-Peak Backplane Drive Voltage					

Design Information Summary Sheet

• **OSCILLATOR FREQUENCY**

$f_{OSC} = 0.45/RC$
 $C_{OSC} > 50pF; R_{OSC} > 50k\Omega$
 $f_{OSC} (Typ) = 48kHz$

• **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_{60Hz} or $t_{INT}/t_{50Hz} = \text{Integer}$

• **OPTIMUM INTEGRATION CURRENT**

$I_{INT} = 4\mu A$

• **FULL SCALE ANALOG INPUT VOLTAGE**

$V_{INFS} (Typ) = 200mV$ or $2V$

• **INTEGRATE RESISTOR**

$R_{INT} = \frac{V_{INFS}}{I_{INT}}$

• **INTEGRATE CAPACITOR**

$C_{INT} = \frac{(t_{INT})(I_{INT})}{V_{INT}}$

• **INTEGRATOR OUTPUT VOLTAGE SWING**

$V_{INT} = \frac{(t_{INT})(I_{INT})}{C_{INT}}$

• **V_{INT} MAXIMUM SWING:**

$(V- + 0.5V) < V_{INT} < (V+ - 0.5V), V_{INT} (Typ) = 2V$

• **DISPLAY COUNT**

$COUNT = 1000 \times \frac{V_{IN}}{V_{REF}}$

• **CONVERSION CYCLE**

$t_{CYC} = t_{CLOCK} \times 4000$
 $t_{CYC} = t_{OSC} \times 16,000$
 when $f_{OSC} = 48kHz; t_{CYC} = 333\mu s$

• **COMMON MODE INPUT VOLTAGE**

$(V- + 1V) < V_{IN} < (V+ - 0.5V)$

• **AUTO-ZERO CAPACITOR**

$0.01\mu F < C_{AZ} < 1\mu F$

• **REFERENCE CAPACITOR**

$0.1\mu F < C_{REF} < 1\mu F$

• **V_{COM}**

Biased between V_i and V₋.

• **V_{COM} ≅ V₊ - 2.8V**

Regulation lost when V₊ to V₋ ≅ 6.8V
 If V_{COM} is externally pulled down to (V₊ to V₋)/2, the V_{COM} circuit will turn off.

• **ICL7106 POWER SUPPLY: SINGLE 9V**

V₊ - V₋ = 9V
 Digital supply is generated internally
 V_{GND} ≅ V₊ - 4.5V

• **ICL7106 DISPLAY: LCD**

Type: Direct drive with digital logic supply amplitude.

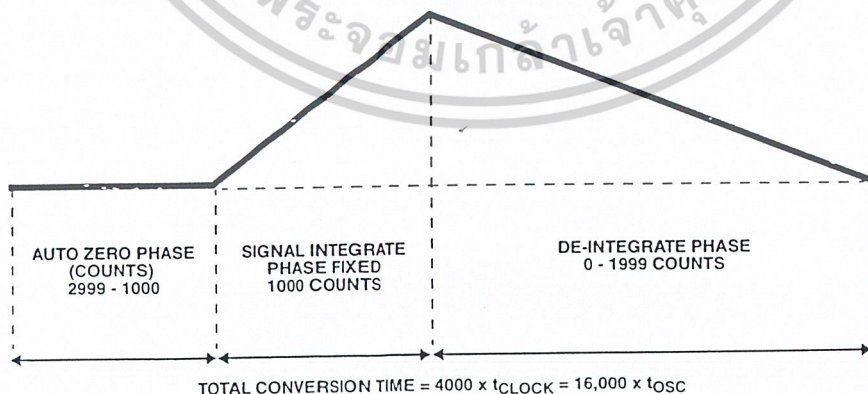
• **ICL7107 POWER SUPPLY: DUAL ±5.0V**

V₊ = +5V to GND
 V₋ = -5V 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)



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 1V 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.

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.)

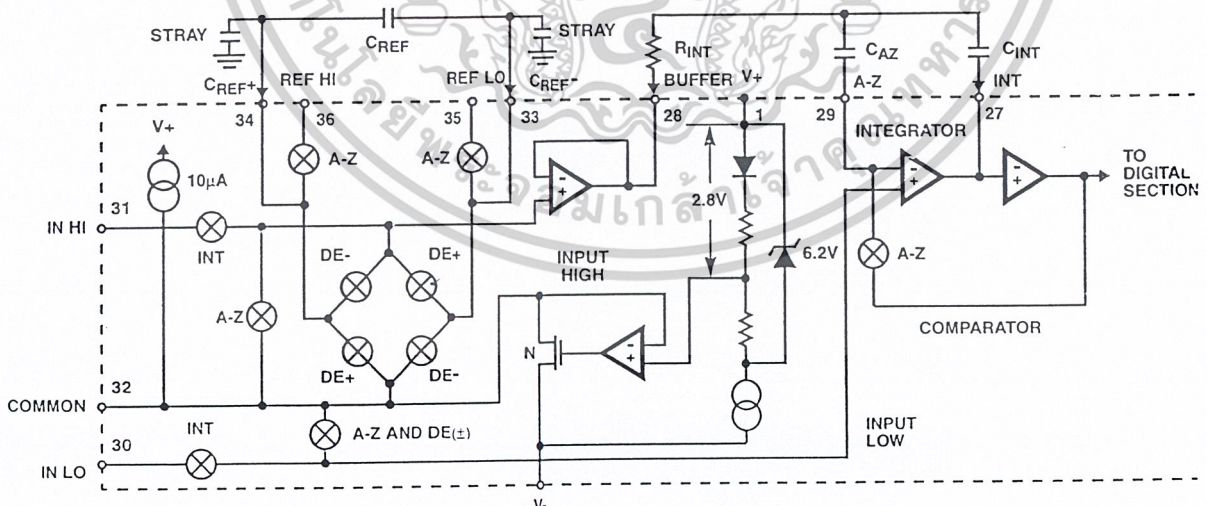


FIGURE 3. ANALOG SECTION OF ICL7106 AND ICL7107

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/ $^{\circ}\text{C}$.

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 μV to 80 $\mu\text{V}_{\text{P-P}}$. 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 μA of source current, so COMMON may easily be tied to a more negative voltage thus overriding the internal reference.

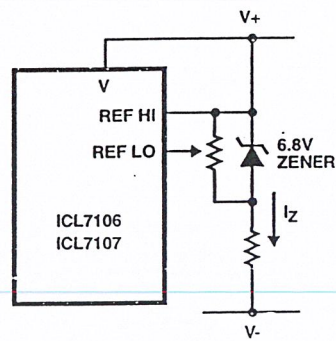


FIGURE 4A.

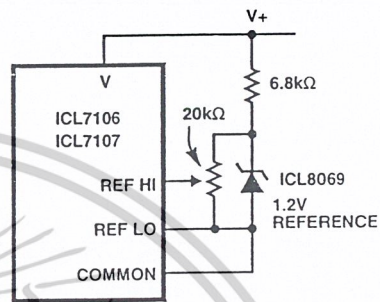


FIGURE 4B.

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 Ω 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.

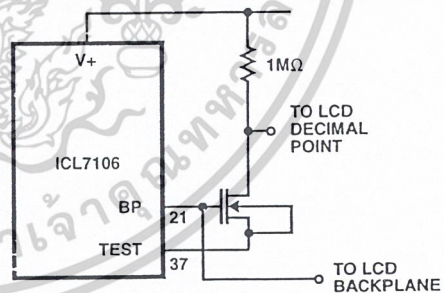


FIGURE 5. SIMPLE INVERTER FOR FIXED DECIMAL POINT

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.

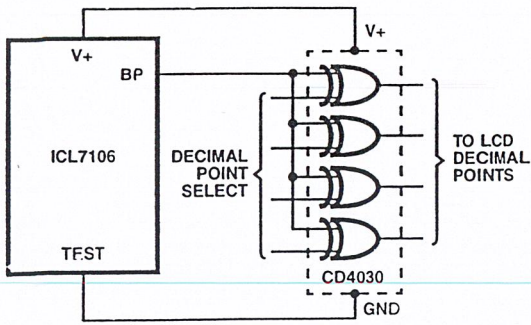


FIGURE 6. EXCLUSIVE 'OR' GATE FOR DECIMAL POINT DRIVE

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/sec., 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 15mA.

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.

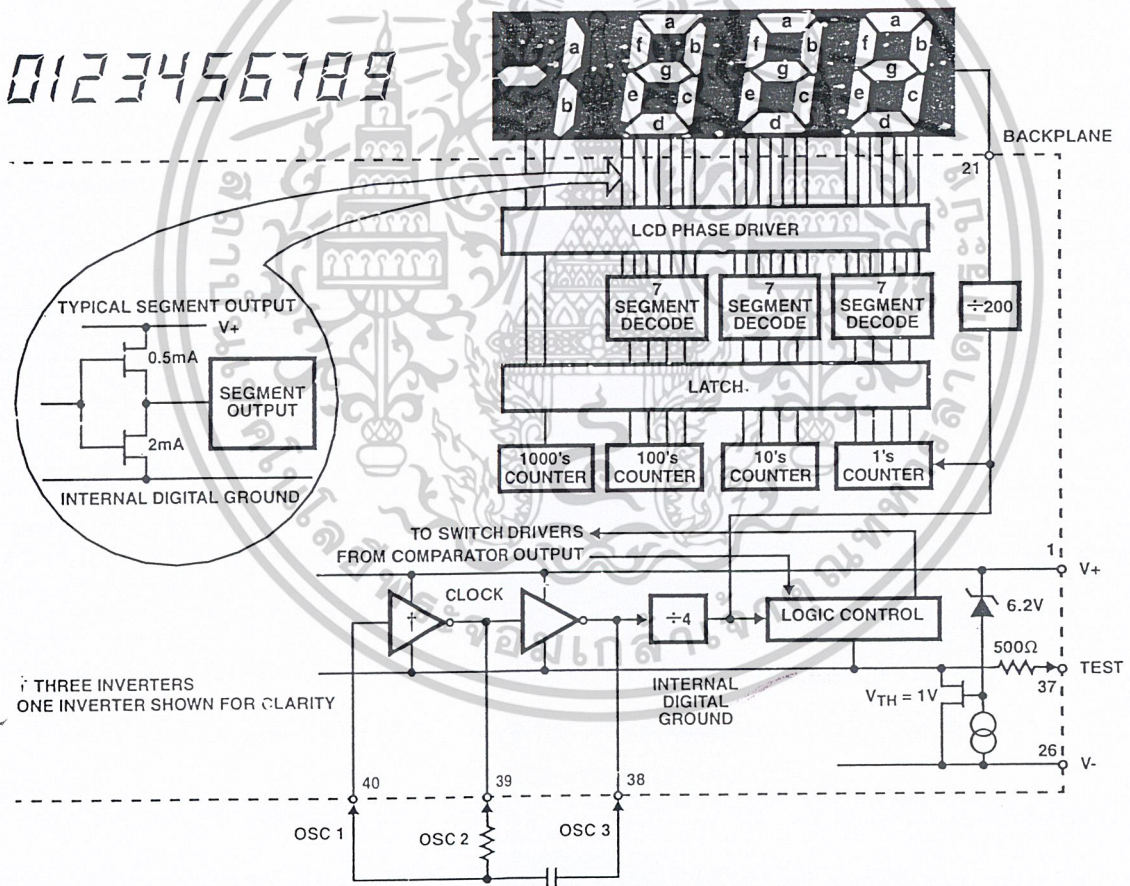


FIGURE 7. ICL7106 DIGITAL SECTION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CD4046BC Micropower Phase-Locked Loop

General Description

The CD4046BC micropower phase-locked loop (PLL) consists of a low power, linear, voltage-controlled oscillator (VCO), a source follower, a zener diode, and two phase comparators. The two phase comparators have a common signal input and a common comparator input. The signal input can be directly coupled for a large voltage signal, or capacitively coupled to the self-biasing amplifier at the signal input for a small voltage signal.

Phase comparator I, an exclusive OR gate, provides a digital error signal (phase comp. I Out) and maintains 90° phase shifts at the VCO center frequency. Between signal input and comparator input (both at 50% duty cycle), it may lock onto the signal input frequencies that are close to harmonics of the VCO center frequency.

Phase comparator II is an edge-controlled digital memory network. It provides a digital error signal (phase comp. II Out) and lock-in signal (phase pulses) to indicate a locked condition and maintains a 0° phase shift between signal input and comparator input.

The linear voltage-controlled oscillator (VCO) produces an output signal (VCO Out) whose frequency is determined by the voltage at the VCO_{IN} input, and the capacitor and resistors connected to pin C1_A, C1_B, R1 and R2.

The source follower output of the VCO_{IN} (demodulator Out) is used with an external resistor of 10 kΩ or more.

The INHIBIT input, when high, disables the VCO and source follower to minimize standby power consumption. The zener diode is provided for power supply regulation, if necessary.

Features

- Wide supply voltage range: 3.0V to 18V
- Low dynamic power consumption: 70 μW (typ.) at f_o = 10 kHz, V_{DD} = 5V
- VCO frequency: 1.3 MHz (typ.) at V_{DD} = 10V
- Low frequency drift: 0.06%/°C at V_{DD} = 10V with temperature
- High VCO linearity: 1% (typ.)

Applications

- FM demodulator and modulator
- Frequency synthesis and multiplication
- Frequency discrimination
- Data synchronization and conditioning
- Voltage-to-frequency conversion
- Tone decoding
- FSK modulation
- Motor speed control

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
CD4046BCM	M16A	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
CD4046BCN	N16E	16-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Absolute Maximum Ratings(Note 1)

(Note 2)

DC Supply Voltage (V_{DD})	-0.5 to +18 V_{DC}
Input Voltage (V_{IN})	-0.5 to V_{DD} +0.5 V_{DC}
Storage Temperature Range (T_S)	-65°C to +150°C
Power Dissipation (P_D)	
Dual-In-Line	700 mW
Small Outline	500 mW
Lead Temperature (T_L)	
(Soldering, 10 seconds)	260°C

Recommended Operating Conditions (Note 2)

DC Supply Voltage (V_{DD})	3 to 15 V_{DC}
Input Voltage (V_{IN})	0 to V_{DD} V_{DC}
Operating Temperature Range (T_A)	-55°C to +125°C

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. They are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

Note 2: $V_{SS} = 0V$ unless otherwise specified.

DC Electrical Characteristics (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	-55°C		+25°C			+125°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
I_{DD}	Quiescent Device Current	Pin 5 = V_{DD} , Pin 14 = V_{DD} , Pin 3, 9 = V_{SS} $V_{DD} = 5V$		5	0.005	5		150	μA	
		$V_{DD} = 10V$		10	0.01	10		300		
		$V_{DD} = 15V$		20	0.015	20		600		
		Pin 5 = V_{DD} , Pin 14 = Open, Pin 3, 9 = V_{SS} $V_{DD} = 5V$		45	5	35		185	μA	
		$V_{DD} = 10V$		450	20	350		650		
		$V_{DD} = 15V$		1200	50	900		1500		
V_{OL}	LOW Level Output Voltage	$V_{DD} = 5V$		0.05	0	0.05		0.05	V	
		$V_{DD} = 10V$		0.05	0	0.05		0.05		
		$V_{DD} = 15V$		0.05	0	0.05		0.05		
V_{OH}	HIGH Level Output Voltage	$V_{DD} = 5V$	4.95		4.95	5		4.95	V	
		$V_{DD} = 10V$	9.95		9.95	10		9.95		
		$V_{DD} = 15V$	14.95		14.95	15		14.95		
V_{IL}	LOW Level Input Voltage Comparator and Signal In	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$ or $4.5V$		1.5	2.25	1.5		1.5	V	
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1V$ or $9V$		3.0	4.5	3.0		3.0		
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$ or $13.5V$		4.0	6.25	4.0		4.0		
V_{IH}	HIGH Level Input Voltage Comparator and Signal In	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$ or $4.5V$	3.5		3.5	2.75		3.5	V	
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1V$ or $9V$	7.0		7.0	5.5		7.0		
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$ or $13.5V$	11.0		11.0	8.25		11.0		
I_{OL}	LOW Level Output Current (Note 4)	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.4V$	0.64		0.51	0.88		0.36	mA	
		$V_{DD} = 10V, V_O = 0.5V$	1.6		1.3	2.25		0.9		
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$	4.2		3.4	8.8		2.4		
I_{OH}	HIGH Level Output Current (Note 4)	$V_{DD} = 5V, V_O = 4.6V$	-0.64		-0.51	-0.88		-0.36	mA	
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9.5V$	-1.6		-1.3	-2.25		-0.9		
		$V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$	-4.2		-3.4	-8.8		-2.4		
I_{IN}	Input Current	All Inputs Except Signal Input							μA	
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 0V$		-0.1	-10^{-5}	-0.1		-1.0		
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.1	10^{-5}	0.1		1.0		
C_{IN}	Input Capacitance	Any Input (Note 3)						7.5	pF	
P_T	Total Power Dissipation	$f_c = 10$ kHz, $R_1 = 1$ M Ω , $R_2 = \infty$, $V_{COIN} = V_{CC}/2$ $V_{DD} = 5V$				0.07			mW	
		$V_{DD} = 10V$				0.6				
		$V_{DD} = 15V$				2.4				

Note 3: Capacitance is guaranteed by periodic testing.

Note 4: I_{OH} and I_{OL} are tested one output at a time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Electrical Characteristics (Note 5)

 $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_L = 50\text{ pF}$

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
VCO SECTION						
I_{DD}	Operating Current	$f_o = 10\text{ kHz}$, $R1 = 1\text{ M}\Omega$, $R2 = \infty$, $V_{COIN} = V_{CC}/2$ $V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		20 90 200		μA
f_{MAX}	Maximum Operating Frequency	$C1 = 50\text{ pF}$, $R1 = 10\text{ k}\Omega$, $R2 = \infty$, $V_{COIN} = V_{DD}$ $V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$	0.4 0.6 1.0	0.8 1.2 1.6		MHz
	Linearity	$V_{COIN} = 2.5\text{V} \pm 0.3\text{V}$, $R1 \geq 10\text{ k}\Omega$, $V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{COIN} = 5\text{V} \pm 2.5\text{V}$, $R1 \geq 400\text{ k}\Omega$, $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{COIN} = 7.5\text{V} \pm 5\text{V}$, $R1 \geq 1\text{ M}\Omega$, $V_{DD} = 15\text{V}$		1 1 1		%
	Temperature-Frequency Stability No Frequency Offset, $f_{MIN} = 0$	$\%/\text{C} < 5c1/f \cdot V_{DD}$ $R2 = \infty$ $V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		0.12–0.24 0.04–0.08 0.015–0.03		$\%/\text{C}$
	Frequency Offset, $f_{MIN} \neq 0$	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		0.05–0.12 0.05–0.1 0.03–0.06		$\%/\text{C}$
V_{COIN}	Input Resistance	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		10^6 10^6 10^6		$\text{M}\Omega$
VCO	Output Duty Cycle	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		50 50 50		%
t_{THL}	VCO Output Transition Time	$V_{DD} = 5\text{V}$		90	200	ns
t_{THL}		$V_{DD} = 10\text{V}$		50	100	ns
t_{THL}		$V_{DD} = 15\text{V}$		45	80	ns
PHASE COMPARATORS SECTION						
R_{IN}	Input Resistance	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$	1 0.2 c.1	3 0.7 0.3		$\text{M}\Omega$
	Comparator Input	$V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		10^6 10^6 10^6		
	AC-Coupled Signal Input Voltage Sensitivity	$C_{SERIES} = 1000\text{ pF}$ $f = 50\text{ kHz}$ $V_{DD} = 5\text{V}$ $V_{DD} = 10\text{V}$ $V_{DD} = 15\text{V}$		200 400 700	400 800 1400	mV
DEMODULATOR OUTPUT						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Electrical Characteristics (Continued)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
VCO _{IN} - V _{DEM}	Offset Voltage	RS ≥ 10 kΩ, V _{DD} = 5V		1.50	2.2	V
		RS ≥ 10 kΩ, V _{DD} = 10V		1.50	2.2	
		RS ≥ 50 kΩ, V _{DD} = 15V		1.50	2.2	
	Linearity	RS ≥ 50 kΩ				%
		VCO _{IN} = 2.5V ± 0.3V, V _{DD} = 5V		0.1		
		VCO _{IN} = 5V ± 2.5V, V _{DD} = 10V		0.6		
		VCO _{IN} = 7.5V ± 5V, V _{DD} = 15V		0.5		
ZENER DIODE						
V _Z	Zener Diode Voltage	I _Z = 50 μA	6.3	7.0	7.7	V
R _Z	Zener Dynamic Resistance	I _Z = 1 mA		100		Ω

Note 5: AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

Phase Comparator State Diagrams

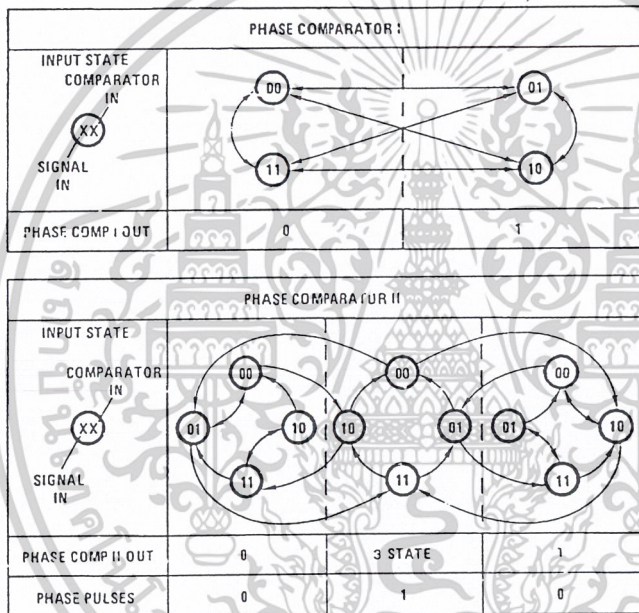


FIGURE 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Waveforms

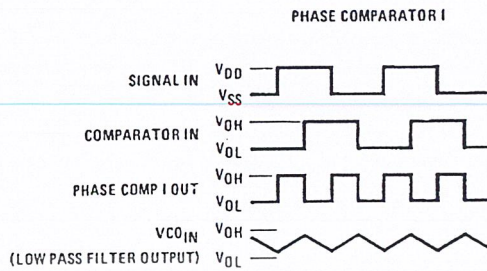


FIGURE 3. Typical Waveform Employing Phase Comparator I in Locked Condition

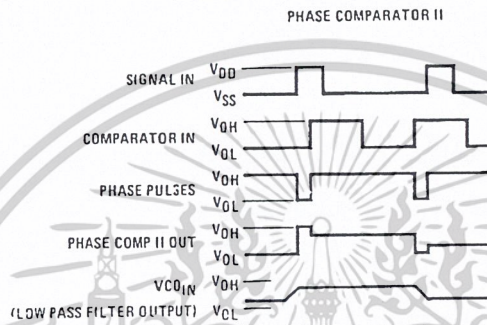


FIGURE 4. Typical Waveform Employing Phase Comparator II in Locked Condition



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้