



ปีการศึกษา 2532

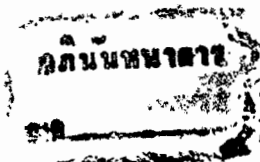
เครื่องตรวจสอบเส้นใยนำแสง

โดย

นาย ประสงค์	ชจรวรรัตนเดช	28.1141
นาย พิชิต	สีเหนมพิจิตร	28.1158
นาย ไพโรจน์	เต็มสินธุ์สุวรรณ	28.1167
นาย ภาคพันธุ์	องค์ชัยวัฒน์	28.1173

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. แดเนียล บวีน



ปริญญาโท ปีการศึกษา 2531

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องตรวจสอบเส้นใยนำแสง (OPTIC FIBRE TEST)

ผู้จัดทำ

1. นายประสงค์ ชจรัตนเดช 28.1141
2. นายพิชิต สีเหมภูมิจิตร 28.1158
3. นายไพโรจน์ เต็มสินธุ์สุวรรณ 28.1167
4. นายภาคคุณันท์ องค์ชัยวัฒน์ 28.1173

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ดร.แดเนียล บริน )

## เครื่องตรวจสอบเส้นใยนำแสง

ประสงค์ ชวรัตน์เดช

พินิต สีเหมภูมิจิตร

ไพโรจน์ เต็มสินธุ์สุวรรณ

ภาณุพันธ์ องค์ชัยวัฒน์

ดร.แดเนี่ยล บริน อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2531

### บทคัดย่อ

ปฏิญานินพนธ์ฉบับนี้เรียบเรียงขึ้นมาจากผลงานที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติของเส้นใยนำแสง (optic fibre) โดยอาศัยหลักการของเครื่องตรวจสอบการสะท้อนของแสง (Optical Time Domain Reflectometer) นั่นคือใช้วิธีการตรวจจับสัญญาณแสงที่สะท้อนกลับมาจากเส้นใยนำแสงเมื่อมีการส่งสัญญาณทดสอบ (probe signal) เข้าไป แล้วนำมาวิเคราะห์เทียบกับแกนของเวลา จะทำให้ทราบถึงลักษณะต่าง ๆ ของเส้นใยนำแสงตามลักษณะการสะท้อนของสัญญาณ ณ จุดนั้น ๆ โดยจุดที่เกิดความบกพร่องเช่น มีรอยแตก จะเกิดการสะท้อนกลับอย่างมาก ดังนั้นจะตรวจพบความเสียหายของเส้นใยนำแสงได้ นอกจากนี้ยังอาจประยุกต์ใช้งานได้อีกหลายอย่าง ซึ่งจะได้กล่าวไว้ในเนื้อหาของปฏิญานินพนธ์

เนื่องจาก เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นนี้สร้างขึ้นโดยต้องการความประหยัดและต้องการขีดความสามารถพอสมควร จึงต้องมีการประยุกต์และออกแบบส่วนต่าง ๆ เช่น การใช้อินฟราเรดแอลอีดี (Infrared LED) เป็นตัวกำเนิดแสงแทนเลเซอร์ไดโอด (LASER Diode) สำหรับส่วนประกอบอื่น ๆ คือส่วนของวงจรขับ (driver) ส่วนของวงจรภาครับ (receiver) และส่วนของตัวคัปปลิงแสง (coupler) ได้มีการทดลองใช้เทคนิคแบบต่าง ๆ จนได้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

124  
3/3  
127

128  
22  
150

OPTIC FIBRE TEST

PRASONG KAJONRATTANADETH  
PICHIT SRIHAPOOMPIJIT  
PAIROJ TERMSINSUWAN  
PARNUPHAN ONGCHAIWATANA  
DR. DANIEL BREEN ADVISOR  
ACADEMIC YEAR 1988

ABSTRACT

THIS THESIS IS WRITTEN FROM PROJECT DEVELOPED IN ORDER TO USE AS THE OPTIC FIBRE TEST INSTRUMENT USING OPTICAL TIME DOMAIN REFLECTROMETER PRINCIPLE. BY LAUNCHING A NARROW SQUARE PULSE PROBE SIGNAL INTO FIBRE UNDER TEST AND DETECTING, ANALYSING AND DISPLAYING BACKSCATTERED AND BACKREFLECTED WITH RESPECT TO TIME. ONE CAN KNOW FIBRE PERFORMANCE ACCORDING TO THE RETURN SIGNAL CHARACTERISTICS. IN ADDITION TO DETERMINING DEFECTIVE POINTS OF FIBRE (FOR INSTANCE; CRACKS, SPLICES) BY THE FACT THAT THE RESPONSE WILL EXTREMELY REFLECT, OTHER APPLICATIONS ARE DESCRIBED LATER IN THIS THESIS.

WITH REGARD TO BOTH ECONOMY AND BEST CAPABILITIES DESTINATIONS, THE INSTRUMENT HAVE TO BE APPLY SOME INNOVATIONS IN MANY PARTS. STARTING FROM SUBSTITUTION OF INFRARED LED INSTEAD OF EXPENSIVE LASER DIODE, USING SOME NEW TECHNIQUES IN DRIVER, RECEIVER AND OPTICAL COUPLER PARTS.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้าที่
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
บทที่ 3 หลักการคำนวณและการสร้าง L	11
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	39
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และวิจารณ์	47
ภาคผนวก	50
กิตติกรรมประกาศ	59
เอกสารอ้างอิง	60

## บทที่ 1

### บทนำ

ในปัจจุบันนี้ เทคโนโลยีต่าง ๆ ก้าวหน้าขึ้นไปมาก เวลาเป็นสิ่งที่มีความสำคัญสำหรับมนุษย์ ดังนั้นการทำงานต่าง ๆ จึงต้องการความเร็วสูง จึงได้มีการคิดค้นเส้นใยนำแสง (optic fibre) ขึ้นมาใช้แทนลวดทองแดงที่ใช้มานานแล้ว โดยมีข้อได้เปรียบลวดทองแดงหลายประการ อันได้แก่ ความเร็วในการส่งสัญญาณสูงกว่ามาก เพราะส่งด้วยแสง ความจุข้อมูลที่ใส่ส่งมากกว่า ลวดทองแดงในขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่า ๆ กันมาก มีสัญญาณรบกวนอันเกิดจากการเหนี่ยวนำ สนามแม่เหล็กต่ำกว่าลวดทองแดงมาก ปลอดภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร หรือ ไฟฟ้าชอร์ต มีการสูญเสียในสายต่ำกว่าลวดทองแดงทำให้สามารถเชื่อมโยงไปได้ไกล มีขนาดเล็ก ฯลฯ

ซึ่งจากข้อดีที่ได้กล่าวมาแล้วจึงได้มีการใช้งานเส้นใยนำแสงกันมากขึ้น เพื่อทดแทนลวดทองแดง และแน่นอนในการใช้งานก็ย่อมมีการเสียหายเกิดขึ้นกับเส้นใยนำแสงอันได้แก่ การแตกหักของเส้นใยนำแสง เพราะว่าเส้นใยนำแสงทำมาจากแก้วจึงมีความเปราะแตกหักได้ง่าย หรือเกิดจากการงอเส้นใยนำแสงมากเกินไป ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นนี้ อาจนำไปสู่ความเสียหายอันใหญ่หลวงได้ การที่จะตรวจสอบว่าเส้นใยนำแสงนั้นเสียหายหรือไม่จึงจำเป็นต้องมี ซึ่งวิธีการที่จะใช้ในการตรวจสอบเส้นใยนำแสงนี้ เราไม่อาจตรวจสอบได้ง่าย ๆ เหมือนตรวจสอบลวดทองแดง เราจึงต้องใช้เครื่องมือในการตรวจสอบแบบที่ใช้หลักการของการวัดการสะท้อนกลับของแสง

เครื่องมือวัดการสะท้อนกลับของแสง (Optical Time Domain Reflectometer) หรือเขียนย่อ ๆ ว่า o.t.d.r. เป็นเครื่องมือวัดพื้นฐานที่ใช้ในการตรวจสอบคุณลักษณะของเส้นใยนำแสง โดยใช้หลักการตอบสนองการกระเจิงกลับของแสง (backscattering impulse response) กล่าวคือ ตรวจสอบหาสัญญาณที่สะท้อนกลับมาเนื่องจากการส่งสัญญาณพัลส์แสงสี เหลี่ยมแคบ ๆ (probe signal) เข้าไปในเส้นใยนำแสง เพื่อที่จะนำสัญญาณสะท้อนกลับ (response) ที่ได้มาวิเคราะห์หาจุดบกพร่องต่าง ๆ ของเส้นใยนำแสง

สำหรับในบทที่ 2 จะขอกล่าวถึงหลักการเบื้องต้นของเครื่องมือวัดการสะท้อนกลับของแสงแบบทั่วไป (conventional o.t.d.r.) ว่ามีลักษณะเช่นไร ซึ่งเราจะนำหลักการของเครื่องวัดดังกล่าวมาใช้ในการตรวจสอบเส้นใยนำแสง (Optic fibre test) ที่ทดลองสร้างขึ้นโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ขยายผลลดอุณหภูมิความแรงบางตัวเช่น ตัวคัปปลิงสัญญาณแสง (3dB optical coupler)  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเปลี่ยนจากการใช้เลเซอร์ไดโอด (laser diode) มาเป็นอินฟราเรดแอลอีดี (infrared LED) เป็นต้น และถึงแม้จะเปลี่ยนแปลงบางส่วนไปก็พยายามทำให้ใช้งานได้พอควร ในบทที่ 3 เราจะกล่าวถึงหลักการสร้าง และการคำนวณเกี่ยวกับรายละเอียดส่วนต่าง ๆ ของเครื่องมือนี้ เช่น วงจรของส่วนกำเนิดสัญญาณ วงจรส่วนควบคุมการส่งสัญญาณทดสอบและควบคุมการประมวลผลทางด้านรับ การจัดการคัปปลิงสัญญาณแสงโดยใช้เลนส์ (LENS) ส่วนในบทที่ 4 จะเป็นการทดลองและผลการทดลอง และในบทสุดท้ายจะเป็นการสรุปผลการทดลองรวมทั้งบทวิจารณ์ ซึ่งในแต่ละบทจะได้กล่าวโดยละเอียดต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

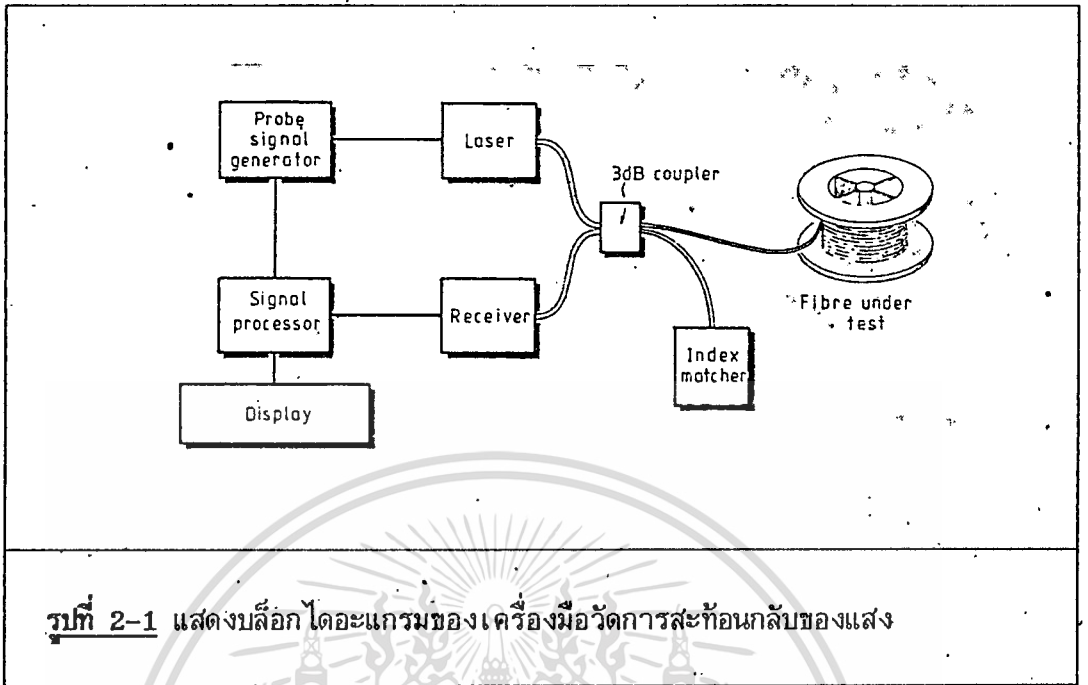
#### 2.1 หลักการทั่วไป

เครื่องวัดการสะท้อนกลับของแสง เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดคุณลักษณะของเส้นใยนำแสงขึ้นพื้นฐาน (characterization of optic fibre) โดยการส่งสัญญาณทดสอบ (probe signal) ไปยังเส้นใยนำแสงที่ต้องการทดสอบ และวัดเวลาการกลับมาของสัญญาณที่สะท้อนและกระเจิงกลับมา (backscattered and backreflected) ผลคือเราสามารถหาขนาดและที่ตั้งของทั้งจุดเสีย (faults) และจุดสะท้อน (reflections) ได้

ถึงแม้ว่าปัจจุบันเครื่องมือนี้จะทำได้ยากขึ้นเนื่องจากการใช้เส้นใยนำแสง กับสัญญาณที่มีความยาวคลื่นยาวขึ้นเพราะมีการสูญเสียในสาย (loss) ต่ำกว่า อีกทั้งเส้นใยนำแสงในปัจจุบันมีคุณภาพดี และการใช้เส้นใยนำแสงแบบซิงเกิล โหมด (single mode fibre) ซึ่งเป็นที่นิยมยิ่ง ทำให้ประสิทธิภาพของการวัดปลิงระหว่างสัญญาณทดสอบกับเส้นใยนำแสง ยิ่งน้อยลง ทำให้เครื่องมือนี้ยังต้องการไดนามิกเรนจ์ (dynamic range) กว้างขึ้น

แต่อย่างไรก็ดี หลักการทั่วไปของเครื่องมือนี้ ก็ยังเปลี่ยนไปน้อยมาก ดังในรูปที่ 2-1 ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้ ตัวกำเนิดสัญญาณทดสอบ (probe signal generator) จะส่งสัญญาณทดสอบเป็นพัลส์เดี่ยวสีเหลือง ส่งไปยังเลเซอร์ไดโอด (laser diode) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวส่งเอาท์พุทจากเลเซอร์ไดโอด จะถูกวัดปลิงเข้าไปในเส้นใยนำแสง โดยใช้ตัววัดปลิงสัญญาณแสง ซึ่งมีหน้าที่แยกสัญญาณกระเจิงกลับ กับสัญญาณที่ส่งไปออกจากกัน ซึ่งที่ปลายของตัววัดปลิงสัญญาณแสง เอาท์พุทที่ไม่ได้ใช้ต้องถูกต่อด้วยวิธีที่เรียกว่ารีแฟลกทีฟอินเด็กซ์แมทชิ่ง (refractive index matching) เพื่อกันสัญญาณทดสอบสะท้อนกลับเข้าสู่ตัวรับโดยตรงจากเอาท์พุทนี้

สัญญาณที่กลับมาจากเส้นใยนำแสง จะถูกวัดปลิงเข้าไปในตัวรับผ่านทางตัววัดปลิงสัญญาณแสง แล้วจะนำสัญญาณที่ได้รับกลับมาเข้าสู่ภาครับ เพื่อทำการขยายแล้วจึงส่งสัญญาณไปประมวลผล (ปกติจะเป็นการเฉลี่ยค่าก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นการแสดงผล (display))

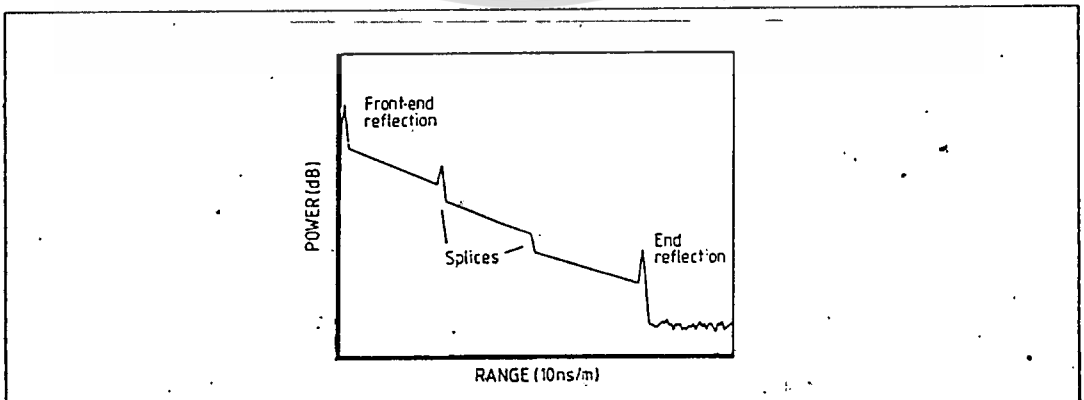


รูปที่ 2-1 แสดงบล็อก ไดอะแกรมของเครื่องมือวัดการสะท้อนกลับของแสง

## 2.2 การตอบสนองการกระเจิงกลับ (BACKSCATTERING IMPULSE RESPONSE)

จุดประสงค์สำคัญของเครื่องมือวัดการสะท้อนกลับของแสง คือการกำหนดผลตอบสนองของคลื่นที่กระเจิงกลับจากเส้นใยนำแสง ที่ต้องการทดสอบซึ่งเราจะนิยามว่ามันคือผลตอบสนองของเส้นใยนำแสง ต่อสัญญาณทดสอบที่เป็นพัลส์แสงขนาดแคบ ๆ ที่ถูกตรวจจับ (detect) โดยวงจรรวบรวม (receiver) ที่พอร์ท (port) เดียวกับที่สัญญาณทดสอบถูกส่งเข้าไป แต่สัญญาณทดสอบจริง ๆ มีช่วงเวลาไม่เท่ากับศูนย์ตามทฤษฎี ผลตอบสนองที่ได้จึงเป็นดังรูปที่ 2-2 แทนของกำลัง (power) จะถูกวาด (plot) ในสเกล (scale) ของล็อก (log) (dB) และถึงแม้ว่าข้อมูลจะเป็นฟังก์ชันของเวลาแต่เราเปลี่ยนมันได้ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยน (conversion factor) ซึ่งมีค่าประมาณ  $10\text{us/km}$

เส้นใยนำแสงตามอุดมคติที่ปราศจากจุดแตก (breaks), รอยต่อ (splices), หรือจุดสะท้อนกลับ (reflections) จะมีการตอบสนองเป็นเส้นตรง (ในหน่วย dB) (ซึ่งหมายถึงเป็นการลดลงในแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล เนื่องจากการสูญเสียในการส่งสัญญาณ (propagation loss)) ผลตอบสนองที่วัดได้ปกติจะแสดง คุณลักษณะ 2 ชนิด ชนิดแรกคือสไปร์ทชนิดบวก (positive spikes) เนื่องจากการสะท้อน และอีกชนิดคือ สัญญาณที่ลดลงอย่างเอ็กซ์โปเนนเชียล เนื่องจากการกระเจิงแสงกลับแบบเรย์ไลต์ (rayleigh backscattering) ซึ่งในทั้งสองกรณี เส้นโค้งแสดงการกระเจิงแสงกลับ (backscattering curve) เหล่านี้จะแสดงคุณสมบัติความไม่ต่อเนื่อง (discontinuities) ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งทางบวกหรือลบ ขึ้นกับสาเหตุทางกายภาพของแต่ละคุณลักษณะ



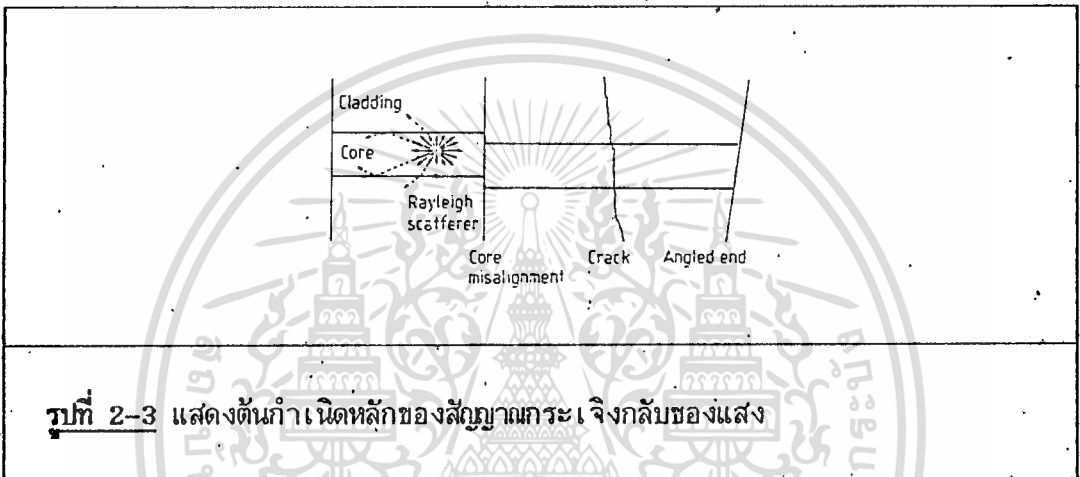
รูปที่ 2-2 แสดงตัวอย่างเส้นกราฟของผลตอบสนองการกระเจิงกลับของเส้นใยนำแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 ต้นกำเนิดทางกายภาพของการกระเจิงกลับของแสง (PHYSICAL ORIGIN OF THE BACKSCATTERING IMPULSE RESPONSE)

ในการแปลความหมายของผลตอบสนอง ซึ่งได้ถูกวัดมาให้ถูกต้อง จะต้องมีความเข้าใจ และรู้จักลักษณะทางกายภาพซึ่งเกี่ยวข้องกับสิ่งที่จะพิจารณา ลักษณะบางอย่างดังกล่าวได้แสดงไว้ ดังรูปที่ 2-3 ซึ่งประกอบด้วยปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้อง 2 อย่าง คือ การสะท้อนแบบเฟร็ชเนล (Fresnel reflection) และ การกระจายแสงแบบเรย์ไลท์ (Rayleigh scattering)



2.3.1 การสะท้อนแบบเฟร็ชเนล เนื่องจากเครื่องวัดการสะท้อนกลับของแสง ใช้วัดความไม่ต่อเนื่อง (discontinuities) และความไม่เข้ากัน (mismatches) ของดัชนีหักเห ซึ่งผลของความไม่เข้ากันดังกล่าวทำให้เกิด การสะท้อนแบบเฟร็ชเนล ซึ่งมีขนาดดังสมการ

$$P_{\text{refl}} / P_{\text{inc}} = ((n_2 - n_1) / (n_2 + n_1))^2$$

$P_{\text{refl}}$  และ  $P_{\text{inc}}$  คือพลังงานสะท้อนกลับและพลังงานที่ใส่เข้าไปตามลำดับ  $n_1$  และ  $n_2$  คือค่าดัชนีของการหักเหที่รอยต่อ (discontinuity)

ปรากฏการณ์นี้มักเกิดที่ข้อต่อ รอยต่อทางกล และบริเวณปลายที่ไม่เข้ากัน ของสายเส้นใยนำแสง ถ้าการต่อเชื่อมเกิดระหว่างอากาศกับเส้นใยนำแสง ซึ่งมักจะเกิดบริเวณรอยต่อซึ่งมีช่องอากาศอยู่ หรือบริเวณที่แตกอย่างสมบูรณ์การสะท้อนดังกล่าวจะเกิดขึ้นประมาณ 3.4% (-14.7dB) ของพลังงานที่ใส่เข้าไป แต่ในทางปฏิบัติการสะท้อนจะน้อยกว่านี้มาก เนื่องจากความสกปรกของเส้นใยนำแสง หรือของรอยแตกบริเวณแกน (core) และถึงแม้จะสะอาด ปลายที่แบนของสายก็จะสะท้อนเพียงเล็กน้อยถ้ามันทำมุมกับแนวของแสง ทำให้แสงสะท้อนหรือกระเจิง

ในมุมซึ่งใหญ่เกินไปที่จะสามารถเข้าไปในแกน และกลับ ไปทางอื่นพุดได้ เช่นในเส้นใยนำแสงแบบไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

โหมตเดี่ยว (single mode optic fibre) ที่แตกเป็นมุม  $6^\circ$  พลังงานสะท้อนที่สามารถกลับมา ยังอินพุตได้คือ 69dB ต่ำกว่าพลังงานที่ใส่เข้าไป ในทำนองดังกล่าวเราสามารถสร้างเงื่อนไขที่จะใช้เพิ่มการสะท้อนแบบเฟรียเซลล์ขึ้นได้ เช่น กำหนดระยะของช่องอากาศระหว่างข้อต่อให้ถูกต้องเหมาะสมจะทำให้การสะท้อนเพิ่มขึ้น หรือขัดปลายเส้นใยนำแสงให้เงาจะทำให้ดัชนีหักเหเพิ่มขึ้น (บางครั้งมากกว่า 50%) ภายในชั้นบาง ๆ ใกล้กับผิวของมันซึ่งเป็นผลให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของดัชนีหักเหภายในตัวเส้นใยนำแสงเอง ซึ่งให้ผลในการสะท้อนดีกว่า

ความสามารถของเครื่องวัด ในการวัดขนาดของการสะท้อนกลับแบบเฟรียเซลล์จะเพิ่มความสำคัญขึ้นเรื่อย ๆ ในอนาคต เพราะในการส่งลำแสงแคบ ๆ จำนวนมากไปด้วยกันเช่น โดยวิธีมัลติเพล็กซ์ความยาวคลื่น (wavelength multiplexed) จะเกิดความไม่เสถียรที่แหล่งกำเนิดแสงถ้ามีการสะท้อนกลับมาก ๆ จึงต้องทราบค่าของการสะท้อนกลับแบบนี้ซึ่งก็โดยใช้เครื่องวัดชนิดนี้นั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามส่วนใหญ่แล้วขนาดของการสะท้อนกลับแบบเฟรียเซลล์ ในการตอบสนองการกระเจิงแสง มีความสำคัญน้อยมากหรือไม่มีเลยเนื่องจากค่าสูงสุด (peak) ของการสะท้อนที่จะใช้วัดที่เกิดขึ้นบริเวณจุดต่อหรือรอยต่อมักไม่ได้เกิดจากตัวเส้นใยนำแสงเอง ต้องพิจารณาคคุณภาพของข้อต่อด้วย ทางที่ดีที่สุดในการวัด คือดูจากความชัน (slope) และระดับการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนอง ซึ่งเกิดจากการกระจายแสงแบบเรย์ไลท์

2.3.2 การกระจายแสงแบบเรย์ไลท์ เนื่องจากเครื่องวัดชนิดดังกล่าวนี้ ใช้ในการวัดระดับสัญญาณซึ่งมีระดับต่ำของแสงที่กระเจิงกลับซึ่งแปรผันตามขนาดสัญญาณทดสอบที่เดินทางไปตามเส้นใยนำแสง โดยหลักการแล้วจะต้องมีความสูญเสียในการส่งสัญญาณในสาย โดยสังเกตได้จากความชันของแสงกระเจิงกลับ แต่จริง ๆ แล้วการแปลความหมายนั้นจะต้องดูว่าการเปลี่ยนแปลงนั้นขึ้นอยู่กับอะไรอีกบ้าง เช่น ความยาวของเส้นใยนำแสงนั้นไม่ทำให้เกิดการกระเจิงแบบเดียวกันตลอดสาย

การกระจายแสงแบบเรย์ไลท์นี้ เป็นการสูญเสียที่สำคัญทางกลในเส้นใยนำแสงแบบโหมตเดี่ยว เกิดจากความแตกต่างเล็ก ๆ น้อย ๆ ของดัชนีหักเหของสาย โดยจะทำให้แสงที่เข้ามาแตกออกเป็น 2 ทาง ในเส้นใยนำแสงแบบโหมตเดี่ยวมีเพียงส่วนน้อยของแสงที่สะท้อนกลับมา (ประมาณ  $10^{-3}$ ) เท่านั้นที่ทามุมพอเหมาะและสามารถกลับมาถึงอินพุตได้ ดังนั้นปัญหาใหญ่ของเครื่องวัดชนิดนี้คือสัญญาณกระเจิงกลับจะอ่อนมาก และเนื่องจากการกระจายแสงแบบเรย์ไลท์แปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยและการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ผันกลับกับกำลังสี่ของความยาวคลื่น จึงมีการออกแบบให้ใช้ความยาวคลื่นที่ยาว เช่นที่ความยาว  
ไม่ว่างกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่น 1.3um (เกิดการแยกออกของแสง (dispersion) ต่ำที่สุด) หรือที่ 1.55um (ความสูญเสียต่ำสุด) ซึ่งที่ความยาวคลื่นเหล่านี้สัญญาณที่วัดได้จึงมีระดับต่ำมาก (ขนาดเล็กกว่าการสะท้อนกลับแบบเฟร็ชเนล ประมาณ 2000 เท่า) ไม่เพียงเท่านั้น เครื่องวัดยังจะต้องจัดการเปลี่ยนแปลงน้อย ๆ ในสัญญาณระดับต่ำเหล่านี้ได้ด้วย ตัวอย่างเช่น รอยต่อของส่วนต่าง ๆ ในระบบการส่งข้อมูลผ่านทางเส้นใยนำแสง (fibre transmission) มักจะมีความสูญเสียในการสอดแทรก (insertion loss) ประมาณ 0.1dB ถ้าหากเกิดการสูญเสียทั้งหมดมากกว่านี้ก็แสดงว่ารอยต่อเกิดความเสียหาย ซึ่งถ้าใช้เครื่องวัดนี้วัดจะสังเกตได้จากการที่สัญญาณที่วัดได้ตกลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่น บริเวณรอยต่อของเส้นใยนำแสงไม่ตรงแนว ซึ่งความเหลื่อมล้ำกันของแกน (core offset) เพียง 1um ก็สามารถทำให้เกิดการสูญเสียได้อย่างมาก หรืออาจเป็นเพราะการที่สายงอมากจนเกินไปทำมุมแหลมเกินกว่าที่กำหนด จึงทำให้มีแสงบางส่วนทะลุเข้าไปในส่วนสารหุ้มแกน (Cladding) แล้วสูญเสียไปเหล่านี้เป็นสาเหตุเนื่องจากความไม่ต่อเนื่องกัน ซึ่งเครื่องวัดเครื่องนี้สามารถวัดได้ ในกรณีที่เกิดความเสียหายอย่างฉับพลัน เช่น เส้นใยนำแสงแตก หัก สัญญาณการตอบสนองการกระเจิงแสง จะถูกลดทอน (drop) หายไปในระดับของสัญญาณรบกวน (noise) ทันที

ในกรณีที่เส้นใยนำแสงถูกนำมาต่อกับสายเส้นที่มีความสูญเสียสูงกว่า สัญญาณที่วัดได้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแล้วตกลงอย่างรวดเร็วมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสัญญาณที่วัดได้ไม่ได้แสดงให้เห็นว่าอะไรเกิดขึ้นกับสัญญาณที่ส่งเข้าไปอย่างถูกต้องแน่นอนเสมอไป อย่างไรก็ตามถ้ามีหลักการในการแปลความหมายที่เหมาะสมแล้ว สัญญาณที่วัดได้จากเครื่องมือวัดนี้ ก็จะสามารถแสดงภาพของเงื่อนไขการส่งสัญญาณ (propagation condition) ตลอดทั้งสายเส้นใยนำแสงได้อย่างถูกต้องแม่นยำและสามารถนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง



## 2.4 การประยุกต์ใช้งาน (APPLICATION)

สัญญาณสะท้อนกลับของเส้นใยนำแสงแต่ละเส้นที่วัดได้โดยเครื่องวัดนี้ สามารถนำมาใช้ได้หลายรูปแบบ เช่น

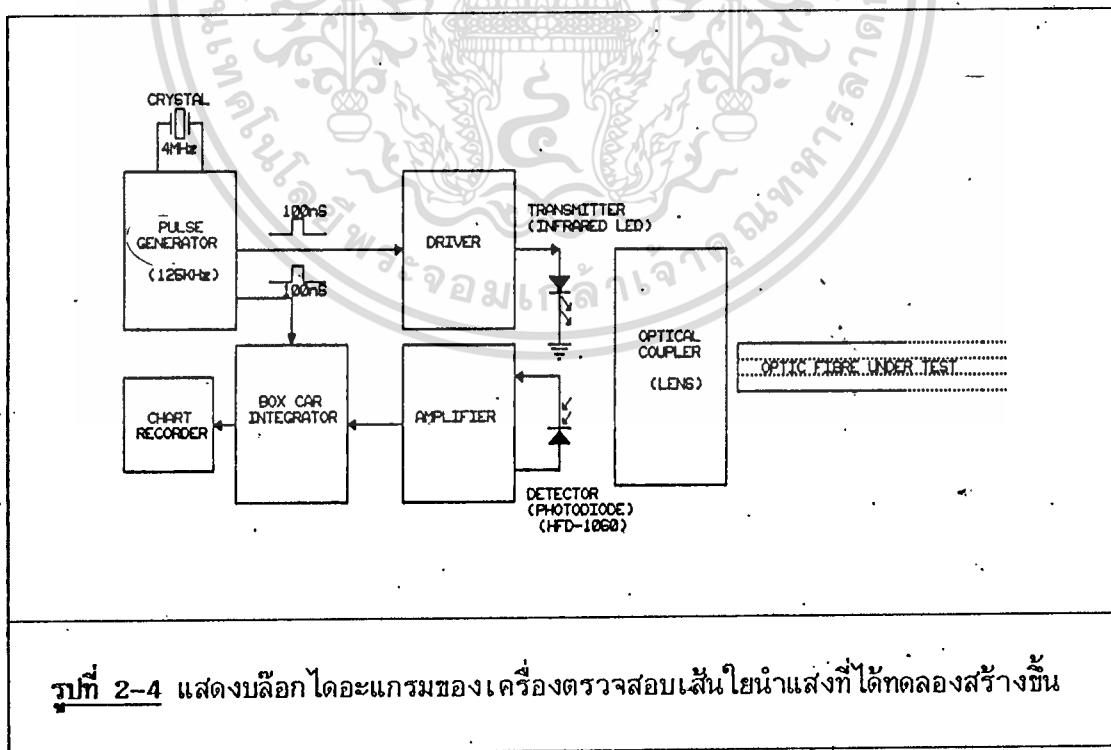
- หาคความยาวของเส้นใยนำแสง
- วิเคราะห์คุณลักษณะของเส้นใยนำแสง
- สร้างรอยต่อที่แข็งแรงตลอดการติดตั้ง
- บำรุงรักษารอยต่อและข้อต่อต่าง ๆ
- ตรวจจับและหาจุดที่เกิดความเสียหาย
- รักษาความปลอดภัย : ตรวจจับและหาจุดที่มีการลอกต่อสาย
- ทดสอบอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ
- ทดสอบโครงข่าย (network)
- ตรวจรับสัญญาณแสง ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของ 023229 การนำไปใช้

## 2.5 หลักการทั่วไปของเครื่องตรวจสอบเส้นใยนำแสง

เครื่องตรวจสอบเส้นใยนำแสงที่ได้ทดลองสร้างขึ้นนี้ พัฒนารุ่นมาจากหลักการของเครื่องตรวจจับการสะท้อนของแสงมีหลักการทำงานแบบคร่าว ๆ ดังบล็อกไดอะแกรมรูป 2-4

การทำงานของเครื่อง เริ่มจากส่วนวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ ซึ่งใช้คริสตัลขนาด 4MHz กับวงจรหารความถี่สร้างพัลส์ขนาด 100ns ด้วยความถี่ 125kHz เป็นอินพุทของวงจรขับกระแสให้แอลอีดีในวงจรภาคส่ง ให้แอลอีดีส่งสัญญาณแสงออกเป็นพัลส์แคบ ๆ ขนาด 100ns ซึ่งจะผ่านอุปกรณ์คัปปลิงแสงคือเลนส์ เข้าสู่สายเส้นใยนำแสง จากนั้นสัญญาณแสงที่สะท้อนกลับออกมาจากสายเส้นใยนำแสงจะถูกส่งผ่านเลนส์อีกอันหนึ่ง เพื่อคัปปลิงแสงให้เข้าสู่อุปกรณ์ตัวรับแสงซึ่งใช้โฟโตไดโอด (photodiode) ซึ่งจะเปลี่ยนสัญญาณแสงที่รับได้เป็นสัญญาณไฟฟ้า และสัญญาณไฟฟ้านี้จะถูกขยายขนาดโดยวงจรขยาย แล้วส่งต่อไปยังวงจรอินทิเกรเตอร์แบบบ็อกซ์คาร์ (BOX CAR INTEGRATOR) ซึ่งใช้พัลส์ 100ns จากวงจรส่วนแรกเป็นสัญญาณทริกเกอร์ เพื่อเพิ่มอัตราส่วนของระดับสัญญาณที่ใช้งานต่อระดับสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio) แล้วนำไปบันทึกด้วยเครื่องชาร์ตรีคอร์ดเดอร์ (chart recorder)



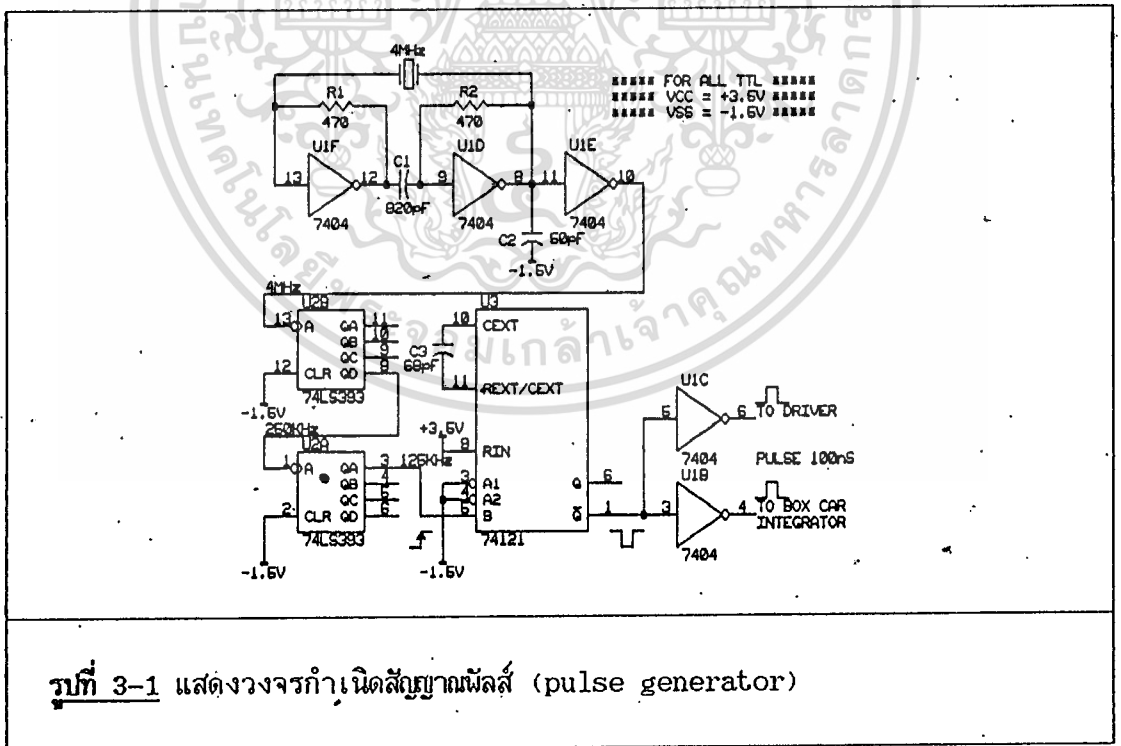
### บทที่ 3

#### หลักการคำนวณและการสร้าง

ในบทนี้จะได้มีการกล่าวถึงวงจรและตัวคัปปลิ่งที่ใช้งานจริง รวมทั้งการคำนวณค่าอุปกรณ์ และระยะทางต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ โดยจะอธิบายเป็นส่วน ๆ ดังที่ได้แบ่งไว้เป็นบล็อก ๆ ในบทที่ 2 มาแล้วครึ่งหนึ่ง

#### 3.1 วงจรสร้างพัลส์ (pulse generator)

วงจรส่วนนี้เป็นวงจรส่วนแรกของเครื่องตรวจสอบเส้นใยนำแสง วงจรนี้ทำหน้าที่กำเนิดพัลส์ที่ใช้ในการทดสอบให้แก่วงจรภาคส่ง (driver) เพื่อขับแอลอีดี และเป็นฐานเวลาให้กับวงจรอินทิเกรเตอร์แบบบ็อกซ์คาร์ (box car integrator) วงจรกำเนิดพัลส์นี้มีวงจรสมบูร์ก ดังรูปที่ 3-1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าใช้ไฟเลี้ยงวงจรเป็น +3.5V กับ -1.5V ด้วยเหตุผลเพื่อความสะดวกในการต่อเชื่อมกับวงจรภาคส่ง



รูปที่ 3-1 แสดงวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ (pulse generator)

การทำงานของวงจรกำเนิดพัลส์จะเป็นดังนี้

จากรูป อินเวอร์เตอร์ (inverter) เบอร์ 7404 อันได้แก่ U1E, U1F, U1D ร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใด  
กับคริสตอล 4MHz, R1, R2, C1 และ C2 ทำหน้าที่เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ ให้กำเนิดสัญญาณ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ 4MHz ออกมาแล้วถูกนำไปป้อนเข้าวงจรนับแบบไบนารี (binary counter) อันได้แก่ U2A และ U2B ซึ่งเป็นไอซีเบอร์ 74LS393 เพื่อทำการนับหารให้เหลือความถี่ 125KHz โดยจะมีคาบเวลาประมาณ 8 $\mu$ s แล้วนำไปทริกวงจรโมโนสเตเบิล (monostable) เบอร์ 74121 เพื่อสร้างพัลส์ขนาด 100ns และเป็นพัลส์ลบ เพื่อนำไปกลับเฟสด้วย U1B และ U1C และให้เอาท์พุทออกมาเป็น 2 จุด เพื่อส่งไปยังวงจรภาคส่งและวงจรอินทรีเกเตอร์แบบบ็อกซ์คาร์

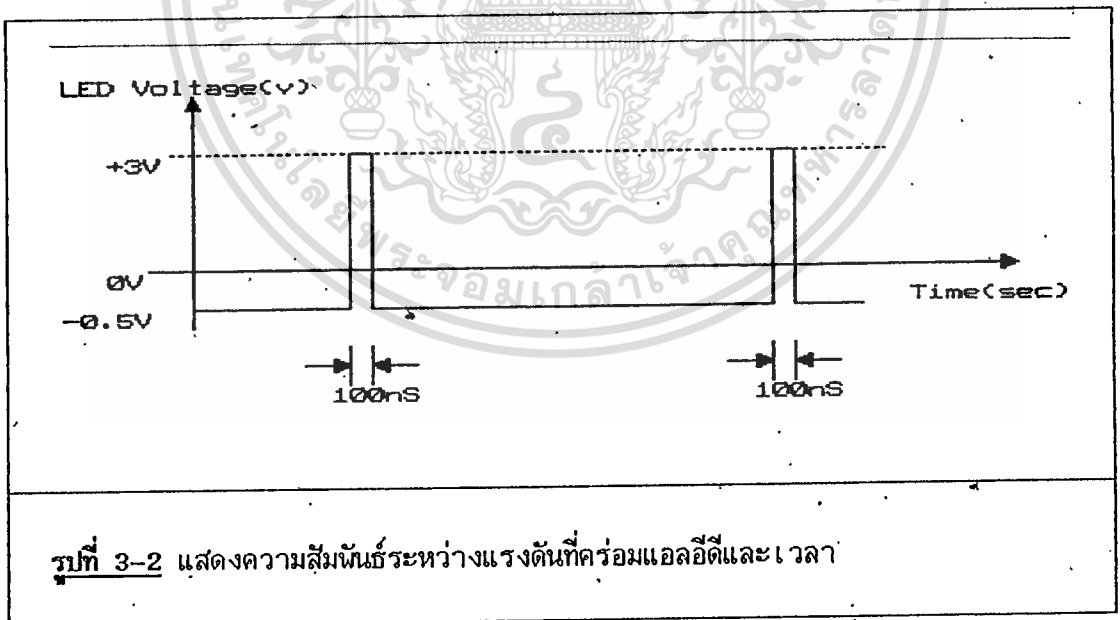
สำหรับเหตุผลที่ต้องใช้เอาท์พุทแยกกันเป็น 2 จุดก็เพราะการที่จะดึงสัญญาณออกมาจากเอาท์พุทจุดเดียวกันจะเป็นการโหลดโอซีมากเกินไป ทำให้แรงดันเอาท์พุทตกลงไม่ได้ค่าที่ต้องการ ซึ่งเป็นปัญหาแก่วงจรภาคส่งในการขับแอลอีดี ซึ่งจำเป็นต้องใช้แรงดันมาก และอีกเหตุผลหนึ่งก็คือ เพื่อป้องกันการรบกวนกันของสัญญาณจากทั้งสองจุด

สำหรับค่าคอนเดนเซอร์ที่ใช้กับไอซี 74121 (C3) นั้นสามารถดูได้จากกราฟในสเปคของไอซีเบอร์ดังกล่าว ซึ่งจากค่าที่ใช้นี้จะได้ความกว้างของพัลส์ประมาณ 100ns ซึ่งเป็นขนาดที่ค่อนข้างเหมาะสมกับการใช้เป็นสัญญาณทดสอบ

### 3.2 วงจรขับแอลอีดี (LED driver circuit)

วงจรส่วนนี้ เป็นวงจรที่มีหน้าที่ขับอินฟราเรดแอลอีดี เพื่อส่งเป็นสัญญาณทดสอบที่เป็นพัลส์สี่เหลี่ยมขนาดความกว้างประมาณ 100ns โดยรับสัญญาณพัลส์มาจากวงจรสร้างพัลส์ แล้วนำไปขยายแรงดันเพื่อขับให้ตัวแอลอีดีทำงานส่งพัลส์แสง โดยทำการขยายแรงดันเพื่อให้จ่ายกระแสได้ประมาณ 200mA เพื่อให้ได้สัญญาณแสงขนาดความเข้มเพียงพอที่จะทำให้แสงที่สะท้อนกลับมาจะมีภาพที่จะตรวจจับจุดเสีย หรือจุดต่อต่าง ๆ ได้

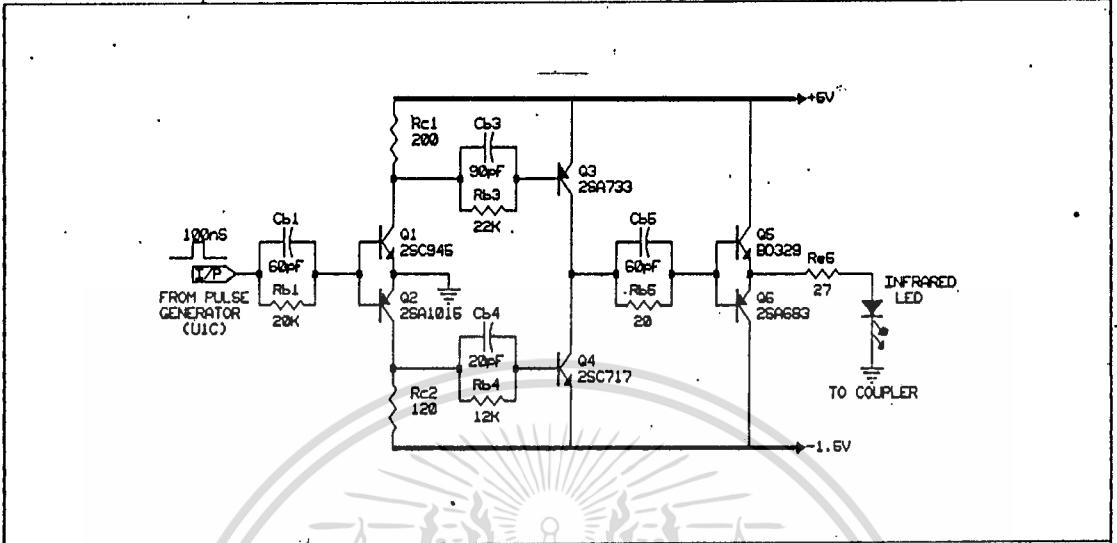
เนื่องจากวงจรที่เราใช้เป็นตัวสร้างพัลส์เป็นไอซี ทีทีแอลที่สามารถจ่ายกระแสได้เพียง 400uA ในขณะที่ลอจิกสูง และดึงกระแสได้ประมาณ 8mA ตอนเป็นลอจิกต่ำ แต่เราต้องการขับกระแสมากถึง 200mA ดังนั้นจึงใช้วงจรขยายหลาย ๆ ภาคมาต่อเข้าด้วยกัน เพื่อให้มันสามารถจ่ายกระแสได้ถึงค่าที่ต้องการ และเนื่องจากต้องการพัลส์ที่มีความเร็วสูงมากและมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมที่ตื้นจึงใช้ไฟเลี้ยงเป็นแบบคู่ (ไฟบวกใช้ +5V ไฟลบใช้ -1.5V) ซึ่งจะช่วยให้ตัวแอลอีดีทำงานได้เร็วยิ่งขึ้น สำหรับตัวแอลอีดีขณะทำงานจะถูกไบอัส (bias) ด้วยแรงดันประมาณ +3V ซึ่งจะได้โวลเตจตกคร่อมตัวแอลอีดีดังรูปที่ 3-2



เราเลือกใช้วงจรพชูล (Push-Pull) ต่อกัน 3ชุด ดังรูปที่ 3-3 ซึ่งแสดงถึงวงจรสมบูร์นของวงจรภาคส่งที่ใช้งานจริงด้วย

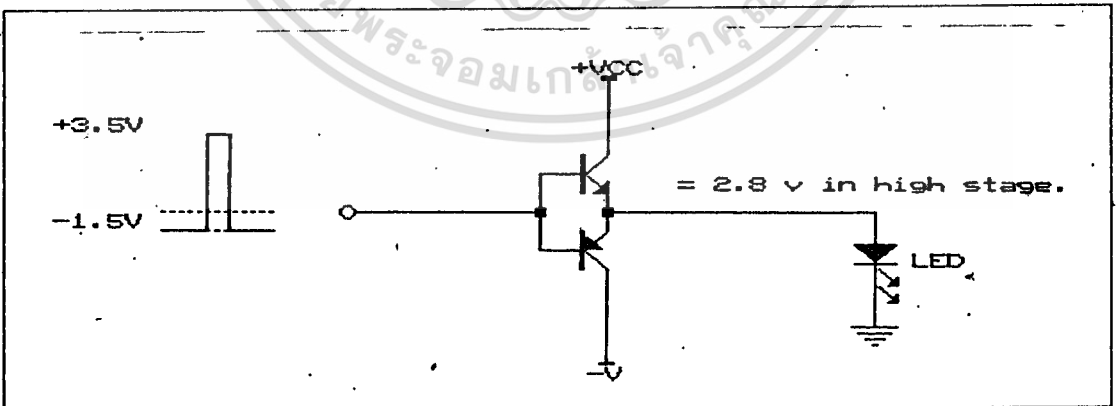
ก่อนอื่น เราจะเห็นว่าไฟเลี้ยงของวงจรสร้างพัลส์เป็น +3.5V ถึง -1.5V (ซึ่งรวมถึงส่วนที่จะส่งสัญญาณพัลส์มายังภาคส่งนี้ด้วย) แทนที่จะเป็น +5.0V ถึง 0V เหมือนไอซีทีทีแอลทั่วไป ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากต้องการให้มีไฟลตครครอมแอลอีดีในช่วงที่ไม่มีสัญญาณส่งออก เพื่อให้แอลอีดีทำงานได้



รูปที่ 3-3 แสดงวงจรที่สมบูรณ์ของภาคส่งที่ใช้วงจรขยายแบบพหุผลมาต่อกัน 3ชุด

เร็วขึ้น ทำให้สัญญาณที่จะมาเข้าภาคส่งถูกจำกัดขนาดโวลเตจตอนเป็นลอจิกสูง ประมาณ +3.5V ซึ่งไม่พอที่จะไปขับแอลอีดีโดยใช้ วงจรคอมพลีเม้นตารีอิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์ (complementary emitter follower) เพียงชุดเดียวได้เพราะโวลเตจที่เหลือตกคร่อมตัวแอลอีดีจะไม่ถึง 3V (ประมาณ  $3.5 - 0.7 = 2.8V$  ในรูปที่ 3-4) อีกทั้งลำพังกระแสจากที่ที่แอลไม่พอที่จะขับทรานซิส



รูปที่ 3-4 จะแสดงให้เห็นว่าเราไม่สามารถใช้สัญญาณเอาท์พุทจากที่ที่แอลมาขับวงจรคอมพลีเม้นตารีอิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์เพียงชุดเดียวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับครูใช้ เพราะเป็นการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
 .เตอร์ให้ได้กระแสถึง 200mA ได้ ดังนั้น ในวงจรชุดแรก เราจึงได้ใช้วงจรพหุผลมาทำหน้าที่ขยาย  
 ไม่ว่าการณ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณให้สูงขึ้นโดยเราจะนำโวลเตจออกทางชาคอลลเลคเตอร์ของ Q1, Q2 แทนที่จะเป็นชาอิมิตเตอร์ เพราะโวลเตจที่ได้จะมากกว่าที่ชาเบสของ Q1, Q2 แต่สัญญาณที่ได้จะกลับเฟสไป  $180^\circ$  ซึ่งจะนำไปใช้ขับทรานซิสเตอร์ Q5, Q6 ไม่ได้ (สัญญาณที่จะใช้ต้องมีเฟสเหมือนสัญญาณที่เบสของ Q1, Q2 นั่นคือช่วงที่เป็นบวกจะขับให้แอลอีดีทำงานเพื่อเป็นตัวส่ง) เราจึงนำสัญญาณที่ได้จาก Q1, Q2 มากลับเฟสอีกทีโดยใช้ทรานซิสเตอร์ Q3, Q4 และดึงสัญญาณออกทางชาคอลลเลคเตอร์ที่ต่อกันอยู่ ทำให้เราได้สัญญาณที่มีเฟสเหมือนสัญญาณที่ชาเบส ของ Q1, Q2 และมีขนาดสูงขึ้นซึ่งทำให้สามารถจ่ายกระแสได้เพียงพอที่จะขับทรานซิสเตอร์ Q5, Q6 ได้

ทรานซิสเตอร์ Q5, Q6 ต่อกันแบบคอมพลีเมนตารี ทำงานแบบพ่วง โดยตัวจ่ายกระแสให้แอลอีดีทางซีกบวกคือ Q5 (ออกแบบให้จ่ายกระแสได้ถึง 1A) ส่วนตัวที่ให้รีเวิร์สไบอัสแก่แอลอีดีเพื่อให้ทำงานได้เร็วขึ้น ได้แก่ทรานซิสเตอร์ Q6 ในส่วนนี้เราเลือกใช้ทรานซิสเตอร์ที่ทนกระแสได้สูงและทำงานได้เร็วพอ ด้วย

ส่วนคาปาซิเตอร์ Cb1, Cb3, Cb4, Cb5 เป็นคาปาซิเตอร์ที่ใช้เพิ่มความเร็วในการสวิตช์ให้วงจร (speed-up capacitor) โดยใส่ไว้ที่ชาเบสเพื่อให้ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวสามารถทำงานได้เร็วขึ้น

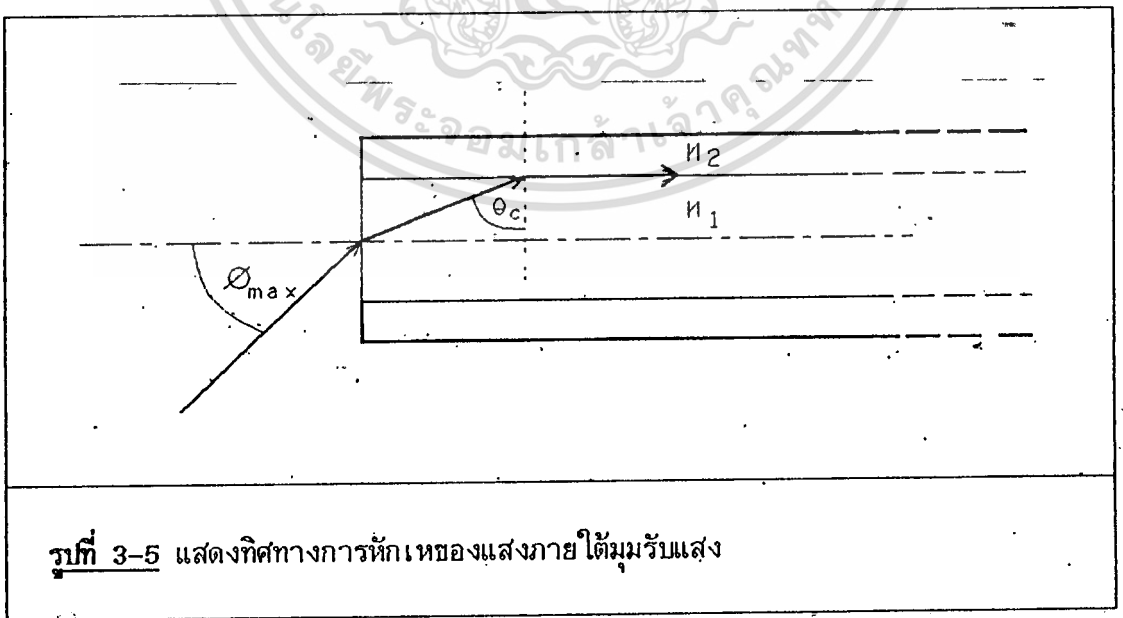
สำหรับตัวแอลอีดีจะมีการจำกัดกระแสโดยใช้ Re5 ช่วยจำกัดกระแสที่ผ่านแอลอีดีให้ได้ประมาณ 200mA ซึ่งเป็นค่ากระแสสูงสุดที่ตัวแอลอีดีเบอร์ที่ใช้ยังสามารถจ่ายได้

### 3.3 การคัปปลิงแสงผ่านเลนส์ (coupler)

แสงที่เปล่งจากแอลอีดีจะกระจายออกเป็นวงกว้าง แต่แกนของเส้นใยนำแสงมีขนาดเล็กมาก ดังนั้นในการต่อแอลอีดีเข้ากับเส้นใยนำแสงโดยตรง อัตราการคัปปลิงแสงเข้าในสายจึงค่อนข้างต่ำ เพราะจะมีแสงเพียงบางส่วนเท่านั้นที่สามารถเข้าสู่แกนของเส้นใยนำแสงได้ ดังนั้นการใช้เลนส์ช่วยบีบแสงให้เป็นลำเล็กลงจึงให้ผลดีกว่า ในการส่งผ่านแสงเข้าสู่เส้นใยนำแสง และในการวัดสัญญาณสะท้อนกลับ ก็สามารถใช้นเลนส์บีบสัญญาณแสงที่ออกมาจากปลายเส้นใยนำแสง ให้มีความเข้มสูงขึ้นจนสามารถรับสัญญาณที่กลับออกมานั้นได้ โดยอุปกรณ์ตัวรับ

ในการที่จะติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคัปปลิงแสงอันประกอบด้วย อุปกรณ์ภาคส่ง, อุปกรณ์ภาครับ, เลนส์และเส้นใยนำแสงจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบเหล่านี้คือ

3.3.1 มุมรับแสง (Angle of acceptance) หมายถึงมุมที่กว้างที่สุดที่ลำแสงจะสามารถเข้าสู่เส้นใยนำแสงได้ เนื่องจากการที่แสงจะสามารถเดินทางไปตามสายเส้นใยนำแสงได้ต้องอาศัยการสะท้อนไปตามผนังของแกนเส้นใยนำแสง และการสะท้อนจะเกิดขึ้นเมื่อมุมตกกระทบของแสงมีค่าไม่น้อยกว่าค่าของมุมวิกฤต (Critical angle) ซึ่งเป็นมุมตกกระทบที่ทำให้เกิดมุมสะท้อนขนาด  $90^\circ$  พอดี รังสีของแสงที่เข้าสู่ปลายของเส้นใยนำแสงจะเกิดการหักเหดังรูปที่ 3-5 ซึ่งแสดงกรณีเป็นมุมรับแสงที่มากที่สุดที่แสงจะยังคัปปลิงเข้าไปได้



ดังนั้นถ้ารังสีของแสงที่พุ่งมายังปลายของเส้นใยนำแสง ทำมุมตกกระทบกว้างกว่าค่าของมุมรับแสง รังสีนั้นก็ จะไม่สามารถเดินทางไปตามสายเส้นใยนำแสงได้ ซึ่งค่าของมุมวิกฤตและมุมรับแสงจะไม่แปรผันใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นกับค่าดัชนีหักเหของสารที่ใช้ทำเลนส์นำแสงนั้น ๆ

จากรูปที่ 3-5

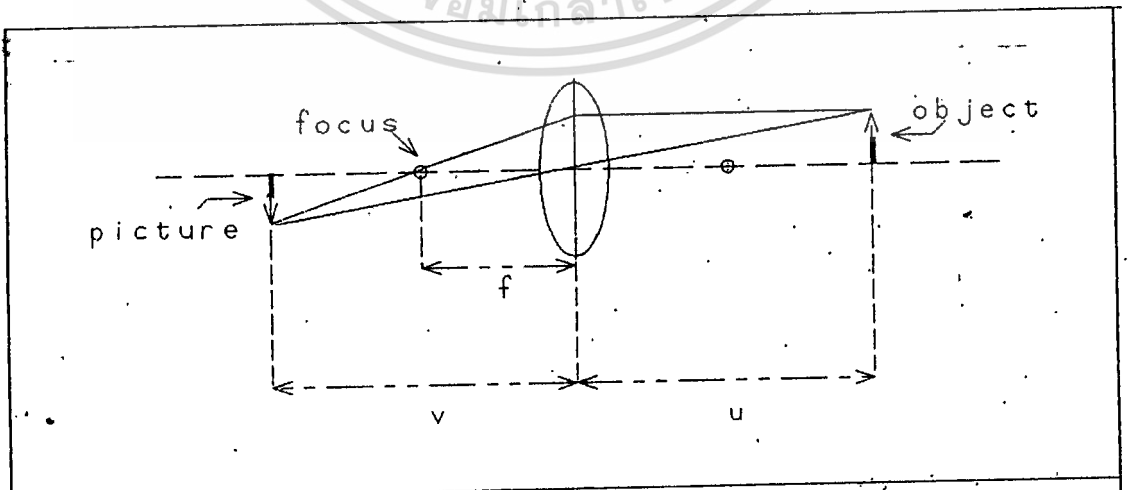
- $n_1$  คือดัชนีหักเหของแกนเลนส์นำแสง
- $n_2$  คือดัชนีหักเหของเปลือกเลนส์นำแสง
- $\phi_c$  คือมุมวิกฤต ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $\sin^{-1}(n_2/n_1)$
- $\phi_{max}$  คือมุมรับแสง ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $\sin^{-1}(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$

จากการคำนวณหาค่ามุมรับแสงของสายเลนส์นำแสงที่ใช้ทดลองได้ค่าประมาณ 12°

3.3.2 ระยะโฟกัส, ระยะวัตถุ และระยะภาพ เลนส์แต่ละตัวจะมีค่าระยะโฟกัสอยู่ค่าหนึ่ง ในที่นี้ใช้เลนส์นูน ซึ่งมีนิยามต่าง ๆ ดังนี้

- จุดโฟกัส หมายถึง จุดที่รังสีขนานพุ่งมารวมกัน
- ระยะโฟกัส หมายถึง ระยะจากจุดโฟกัสถึงจุดกึ่งกลางเลนส์
- ระยะวัตถุ หมายถึง ระยะห่างจากวัตถุถึงจุดกึ่งกลางเลนส์
- ระยะภาพ หมายถึง ระยะห่างจากจุดกึ่งกลางเลนส์ถึงจุดที่เกิดภาพ

ในการคัปปลิงแสงด้านภาคส่งนั้น จะถือว่าปลายของเลนส์นำแสงเป็นฉากรับภาพ ส่วนจุดกำเนิดแสงในแอลอีดีเป็นวัตถุ ซึ่งจะต้องตั้งอยู่ภายนอกระยะโฟกัสจึงจะใช้งานได้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติของเลนส์ ทางด้านภาครับก็จะถือว่าอุปกรณ์ตัวรับเป็นฉากรับภาพและปลายของเลนส์นำแสงเป็นแหล่งกำเนิดหรือวัตถุซึ่งก็ต้องจัดวางในลักษณะเดียวกัน



รูปที่ 3-6 แสดงระยะโฟกัส, ระยะวัตถุ และระยะภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3-6

- f คือ ระยะ โฟกัส
- u คือ ระยะวัตถุ
- v คือ ระยะภาพ

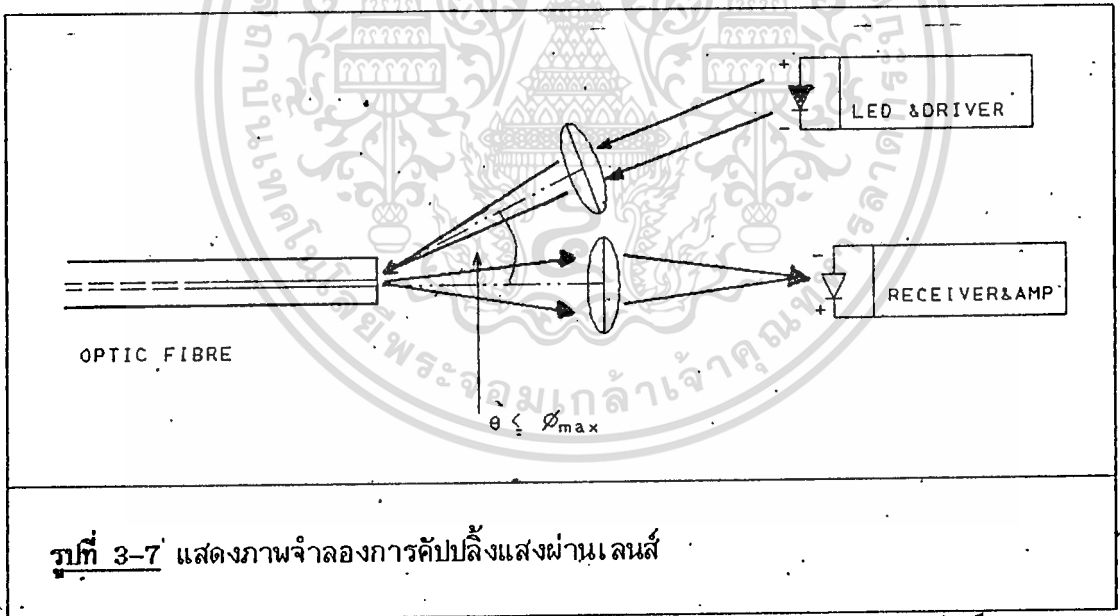
ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$1/f = 1/u + 1/v$$

สำหรับเลนส์ที่ใช้ในการทดลองทั้งสองภาคเป็นเลนส์ขนาดเดียวกันที่มีระยะ โฟกัสประมาณ

3cm.

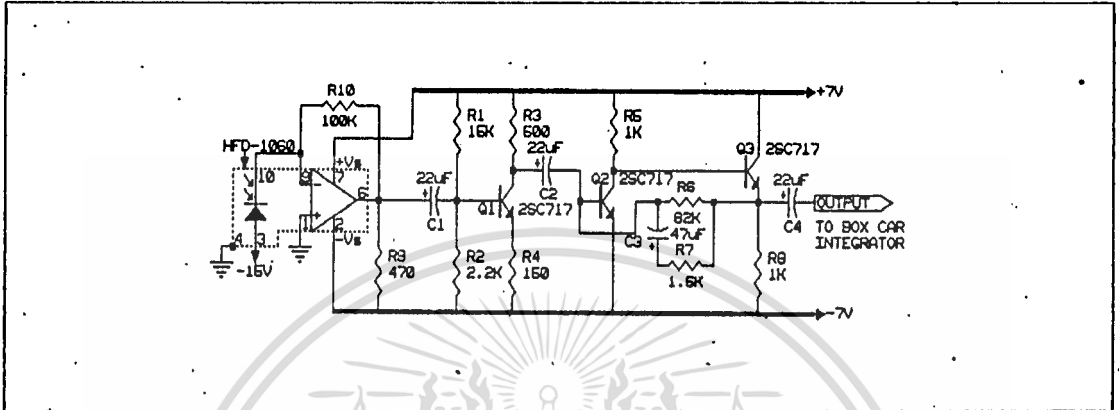
จากการทดลองติดตั้งอุปกรณ์โดยคำนึงถึงองค์ประกอบที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น จะเห็นว่าการวางเลนส์จะต้องวางให้เฉียงจากเส้นโยนนำแสง ซึ่งสามารถแสดงลักษณะการวางเลนส์อย่างคร่าว ๆ ดังรูป 3-7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีครานำไปใช้

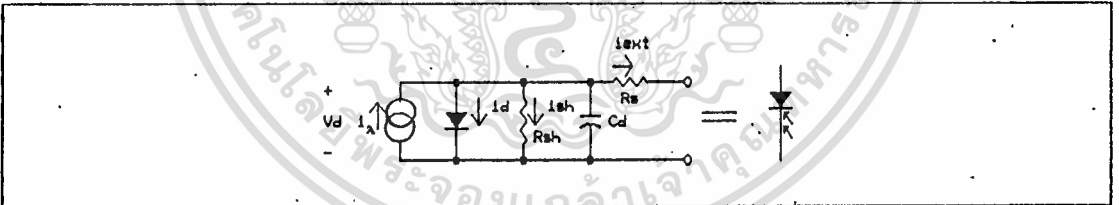
### 3.4 วงจรภาครับ (receiver)

วงจรภาครับที่จะแบ่งได้เป็นสองส่วนคือ วงจรเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า และ วงจรขยายสัญญาณไฟฟ้า โดยมีวงจรสมบรูณ์ดังรูปที่ 3-8



รูปที่ 3-8 แสดงวงจรภาครับอย่างสมบรูณ์ที่ใช้ในงานจริง

การเปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า จะใช้โฟโตไดโอด (photo diode) วงจรเสมือนของโฟโตไดโอดเป็นดังรูป 3-9



รูปที่ 3-9 แสดงวงจรเสมือนของโฟโตไดโอด

ถ้า A เป็นพื้นที่รับแสงของโฟโตไดโอด

จะได้ว่า กำลังงานที่ไดโอดได้รับ =  $I_o A$

เมื่อ  $I_o$  คือ กำลังงาน/พื้นที่ที่แสงตกกระทบ ของตัวโฟโตไดโอด

ถ้า  $\eta$  คือ ประสิทธิภาพของโฟโตไดโอด

จะได้ว่า จำนวนโฟตอนที่ได้ =  $(I_o A) / h\nu$

และ จำนวนอิเล็กตรอนเป็น  $(\eta I_o A) / h\nu$

เมื่อ  $h$  เป็น ค่าคงที่ของพลังค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ  $\nu$  คือ ความถี่ของแสงที่ตกกระทบ

$$\therefore i_\lambda = (nI_0 A_p) / h\nu \quad \text{--- (1)}$$

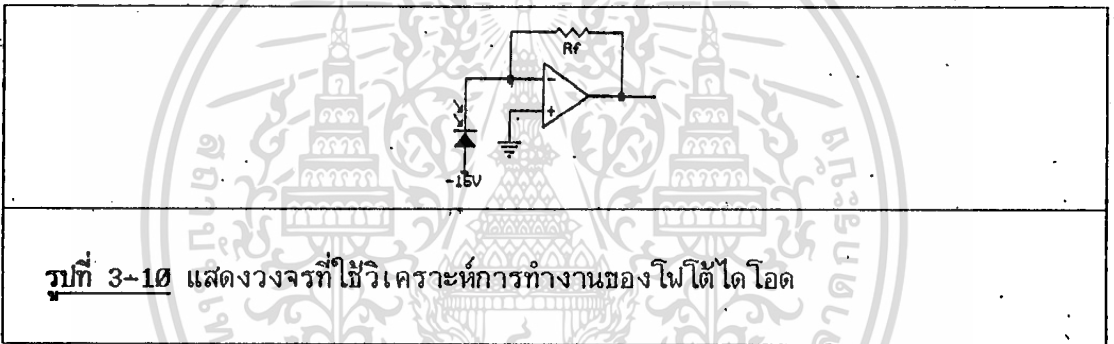
จากรูปที่ 3-9  $i_\lambda = i_d + i_{sh} + i_c + i_{ext}$

โดยทั่วไปถ้าเป็นโฟโอดีไดโอดที่ทำงานได้เร็ว  $C_d$  จะมีค่าน้อย และโฟโอดีไดโอดโดยทั่วไปค่า  $R_{sh}$  จะสูงมาก

$$\therefore i_c \text{ และ } i_{sh} \approx 0$$

จากสมการของไดโอด  $i_d = i_0 * (e^{qV_d/kT} - 1)$  --- (2)

สมการ (1) และ (2) สามารถใช้วิเคราะห์การทำงานของโฟโอดีไดโอดได้ วงจรที่ใช้จะเป็นลักษณะดังรูป 3-10



รูปที่ 3-10 แสดงวงจรที่ใช้วิเคราะห์การทำงานของโฟโอดีไดโอด

จากรูป 3-10 จะเห็นว่า ออปแอมป์มีการป้อนกลับแบบลบ (negative feedback) ทำให้โวลเตจที่ นอนอินเวอร์ตติ้งอินพุท เท่ากับ อินเวอร์ตติ้งอินพุท ดังนั้น โวลเตจคร่อมโฟโอดีไดโอดจะคงที่เสมอ

จากสมการ (2) จะได้ว่า  $i_d$  มีค่าใกล้เคียงกับ  $i_0$  ซึ่งมีค่าคงที่และมีค่าน้อยมาก

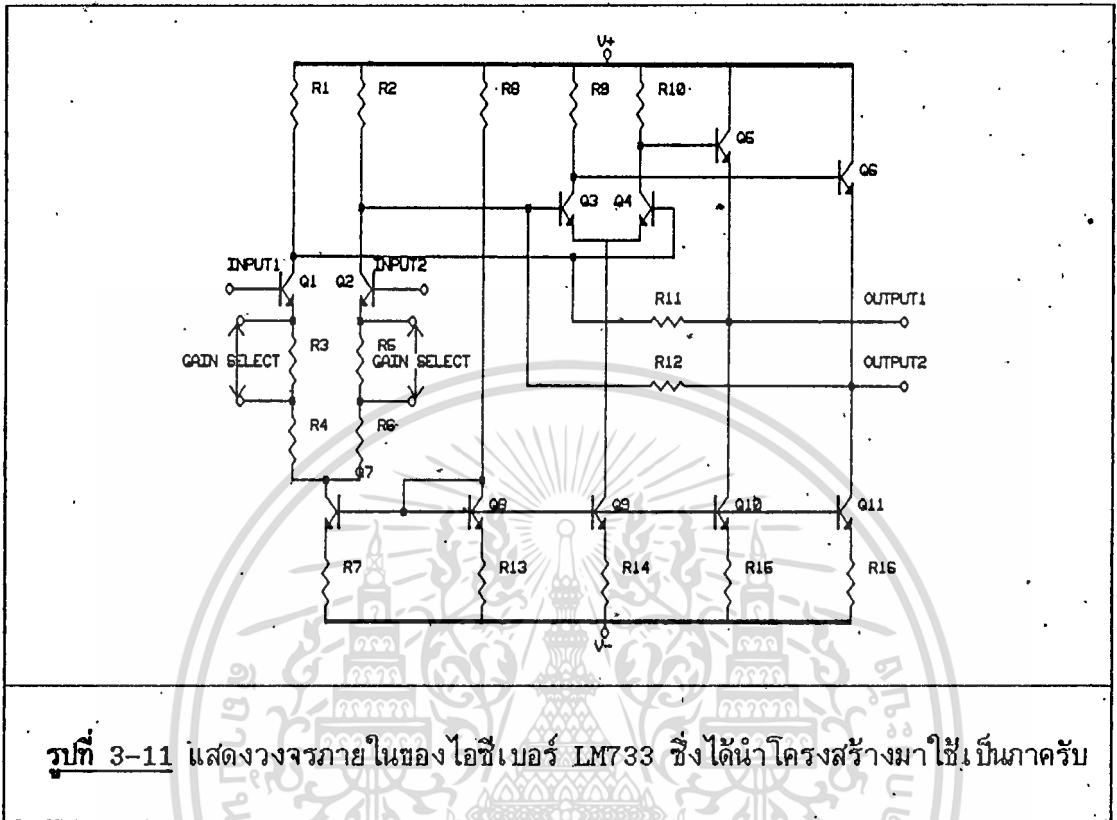
$$\therefore i_{ext} = i_\lambda = (nI_0 A_p) / h\nu$$

และจะได้เอาท์พุทโวลเตจของวงจรนี้เป็น

$$i_{ext} * R_f = (nI_0 A_p) / h\nu * R_f$$

จะเห็นว่าเอาท์พุทโวลเตจแปรผันตรงกับความเข้มแสง ( $I_0$ ) ที่ตกกระทบโฟโอดีไดโอด ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่จำเป็น เพราะเราต้องการวิเคราะห์การสะท้อนกลับของแสงตามจุดต่าง ๆ ในเนื้อแก้วของเส้นใยนำแสง เนื่องจากการสะท้อนกลับในเส้นใยนำแสงมีน้อยมาก สัญญาณที่รับได้ในวงจรข้างต้นจึงมีขนาดต่ำมาก ต้องนำไปขยายต่อ (วงจรส่วนแรกนั้น โฟโอดีไดโอดและออปแอมป์จะอยู่ในไอซีเบอร์ HFD1060) ส่วนวงจรขยายสัญญาณจะใช้ โครงสร้างของไอซีเบอร์ LM733

ดังรูป 3-11



รูปที่ 3-11 แสดงวงจรภายในของ ไอซี เบอร์ LM733 ซึ่งได้นำโครงสร้างมาใช้เป็นภาครับ

LM733 มีคุณสมบัติที่ดีคือ อัตราขยายสูง (เลือกได้ 10, 100, 400 เท่า) แบนด์วิดท์กว้าง (40 MHz ขึ้นไป) แต่มีข้อเสียคือมีสัญญาณรบกวนมากเกินไปไม่สามารถใช้ได้ จึงต้องมีการแก้ไขใหม่คือ

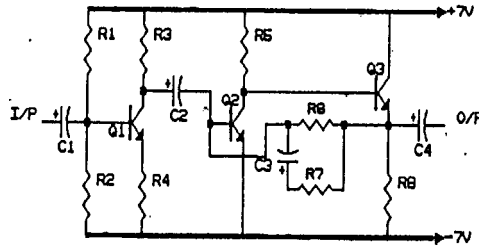
1 การขยายสัญญาณในวงจรนี้เป็นแบบซิงเกิลเอนด์ (SINGLE END) โดยโครงสร้างของ LM733 ออกแบบให้ขยายแบบดิฟเฟอเรนเชียล (DIFFERENTIAL) ซึ่งต้องใช้ทรานซิสเตอร์เพิ่มขึ้นอีกเท่าตัวทำให้สัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น จึงแก้ไขใหม่เป็นแบบซิงเกิลเอนด์

2 ใช้ตัวต้านทานในการไบอัสทรานซิสเตอร์แทนแหล่งจ่ายกระแสคงที่ (CURRENT SOURCE) เพื่อลดจำนวนทรานซิสเตอร์และสัญญาณรบกวน โดยยอมเสียเรื่องความเสถียรในการต่อเชื่อมกับวงจรอื่น โดยวงจรที่ออกแบบใหม่จะเป็นดังรูป 3-12 ซึ่งอยู่ในหน้าถัดไป

จะเห็นว่า Q1, Q2, Q3 จะเหลือชุดเดียวและ Q7 ใน LM733 ซึ่งเป็นตัวไบอัส Q1 จะถูกแทนด้วย R1, R2 ทำนองเดียวกัน Q9, Q10, Q11 ใน LM733 จะถูกแทนด้วย R6, R8

จากการทดลองพบว่าสัญญาณรบกวนได้ลดลงจากเดิมมาก โดย Q1, Q2, Q3 จะใช้ 2SC717

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ซึ่งมีความถี่ใช้งาน ( $f_c$ ) สูง (1.1GHz) และได้ทำการไบอัสให้กระแสคอลเลคเตอร์ = 7mA ไม่ควรแก้ไขทางอื่น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-12 แสดงภาพของวงจรที่ได้ออกแบบใหม่โดยใช้วงจรของ LM733 เป็นแบบอย่าง

ซึ่งเป็นจุดที่มีค่าเบต้า ( $\beta$ ) สูงสุดทำให้ได้ความถี่ใช้งานสูงสุดด้วย ไฟเลี้ยงวงจรใช้ไฟ +7V และ -7V เพื่อให้ใช้ได้กับส่วนแรก (HFD1060) และเพื่อให้ได้เอาต์พุตโวลเตจมีช่วงกว้างได้กว้างที่สุด โวลเตจที่อิมิตเตอร์ของ Q3 และคอลเลคเตอร์ของ Q2 จะต้องมีค่าประมาณ 1/2 ของไฟเลี้ยงนั่นคือ 7 โวลต์ ดังนั้นค่า R5 และ R8 ควรจะเป็น  $7V/7mA = 1k\ ohm$

ที่อิมิตเตอร์ของ Q3 มีโวลเตจประมาณ 0V กระแสคอลเลคเตอร์ของ Q2 เท่ากับ 7mA โวลเตจที่อิมิตเตอร์เท่ากับ -7V และเบต้าเท่ากับ 100

$$R6 = (0 - (-7) - 0.6) * 100 / 7$$

$$= 91k\ ohm \quad (\text{ใช้ค่า } 82k\ ohm)$$

ที่อิมิตเตอร์ของ Q1 ควรมีโวลเตจประมาณ 6V (โวลเตจตกคร่อม R4 ประมาณ 1V) เพื่อให้การไบอัส Q1 มีเสถียรภาพดีดังนั้นจะใช้

$$R4 = 1V/7mA = 143\ ohm$$

จากการทดลองปรากฏว่า สัญญาณที่ป้อนให้มีขนาดตั้งแต่ 0.3V จนถึงไม่กี่มิลลิโวลต์ สัญญาณขนาด 0.3V มาจากการสะท้อนที่ปลายเส้นใยนำแสง ถ้าออกแบบวงจรขยายไม่ดีพอจะทำให้เกิดการอ้อมตัว เมื่อทรานซิสเตอร์อ้อมตัวจะต้องใช้เวลาในการระบายประจุออกไปจากเบส ทำให้สัญญาณที่ได้จากวงจรขยายผิดเพี้ยนไป จากทฤษฎีของทรานซิสเตอร์ ถ้าไม่ต้องการให้มีความผิดเพี้ยนมากจะต้องให้  $V_{be}$  น้อยกว่า  $V_T$  (ประมาณ 26mV)

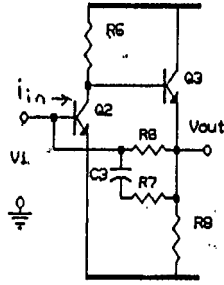
จะขอพิจารณาส่วน Q2 กับ Q3 ก่อนดังรูปที่ 3-13 ซึ่งอยู่หน้าถัดไป

$$v_1 = i_{in} * Z_{in} \quad (\text{ของวงจรขยาย})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$Z_{in} = r_{be} / (1 + \beta * R5/R7) \quad (\text{เมื่อ } R7 \ll R6)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-13 แสดงวงจรส่วนของ Q2, Q3 ที่จะใช้พิจารณา

$$= r_{be} / (\beta * (R5/R7))$$

$$= (R7/R5) * (r_{be} / \beta)$$

$$i_{in} = v_{in}(Q1) / R4$$

$$\therefore v_1 = (v_{in}(Q1) / R4) * (R1/R5) * (r_{be} / \beta)$$

แต่  $R7/R4 =$  อัตราขยายของวงจร  $= Av$

$$\therefore v_1 = (v_{in}(Q1) * r_{be} * Av) / (R5 * \beta) \leq 26mV$$

$$v_{in}(Q1) \leq (26mV * R5 * \beta) / (r_{be} * Av)$$

จะเห็นว่าความสามารถในการรับสัญญาณเข้าของส่วนหลัง (Q2, Q3) จะแปรผกผันกับอัตราขยายรวมของวงจร จากการใช้เลนส์ในการดับเพลิงแสงทำให้สัญญาณที่สะท้อนกลับจากเส้นใยนำแสงมีระดับสูงขึ้นมาก ดังนั้นวงจรขยายจึงต้องการอัตราขยายเพียงประมาณ 10 เท่า

$$\therefore v_{in}(Q1) \leq 26mV * 1000 * 100 / ((2 * 100 * 26) / 7) \leq 0.35V$$

ส่วนความสามารถของ Q1 ในการรับสัญญาณเข้าสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

จากรูปที่ 3-14

$$V_{be(Q1)} = v_{in} * r_{be} / (r_{be} + \beta R4)$$

$$= v_{in} * 742.9 / (742.9 + \beta R4)$$

$$= v_{in} * 742.9 / (\beta * R4) \text{ ซึ่งต้องน้อยกว่า } 26mV$$

$$v_{in} \leq (26mV * 100 * R4) / 742.9$$

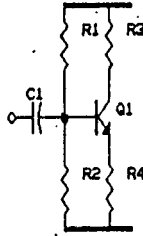
เนื่องจากวงจร Q2, Q3 รับสัญญาณเข้าได้ 0.35V Q1 ก็ควรจะรับได้ 0.35V ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$R4 \geq (742.9 * .55) / (26mV * 100)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 100 \text{ ohm}$$



**รูปที่ 3-14** แสดงวงจรส่วนของ Q1 ที่จะใช้คำนวณหาค่าอุปกรณ์

ในกรณีที่คิดถึงเสถียรภาพของการไบอัส ได้วิเคราะห์แล้วว่า R4 ควรจะมีค่าประมาณ 143ohm ในที่นี้จึงเลือกใช้ R4 = 150ohm และต้องการอัตราขยาย 10 เท่า

เพราะฉะนั้น

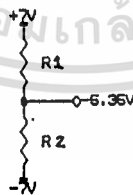
$$R7/R4 = 10$$

ดังนั้นเลือกใช้ R7 = 1.5k ohm จะเห็นว่า R7 << R6 ถูกต้องตามที่ได้สมมติไว้ และเมื่อเลือก R4 = 150ohm แล้วจะได้ว่า โวลเตจที่ขาอีมีตเตอร์ของ Q1 เป็น

$$(7\text{mA} * 150\text{ohm}) - 7 = -5.95\text{V}$$

ดังนั้น R1 และ R2 จะต้องแบ่งแรงดันให้เป็น

$$-5.95 + 0.6 = -5.35\text{V} \text{ ดังรูปที่ 3-15}$$



**รูปที่ 3-15** แสดงแรงดันที่จุดต่อของ R1, R2 เพื่อประกอบการคำนวณ

$$\text{กระแสเบสของ } Q1 = 7\text{mA}/100$$

$$= 70\mu\text{A}$$

ดังนั้นเลือกให้กระแสผ่าน R1 และ R2 เป็น 700uA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$\text{จะได้ว่า } R2 = (-5.35 - (-1))/700\mu\text{A}$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 2.357k \text{ ohm} \quad (\text{ใช้ค่า } 2.2k \text{ ohm})$$

โวลเตจคร่อม  $R1 = 7 - (5.35)$  และมีกระแส  $700\mu A + 70\mu A$  ไหลผ่าน

$$\text{ดังนั้น} \quad R1 = (7 - (-5.35)) / 770\mu A$$

$$= 16k \text{ ohm} \quad \text{ใช้ค่า } 15k \text{ ohm}$$

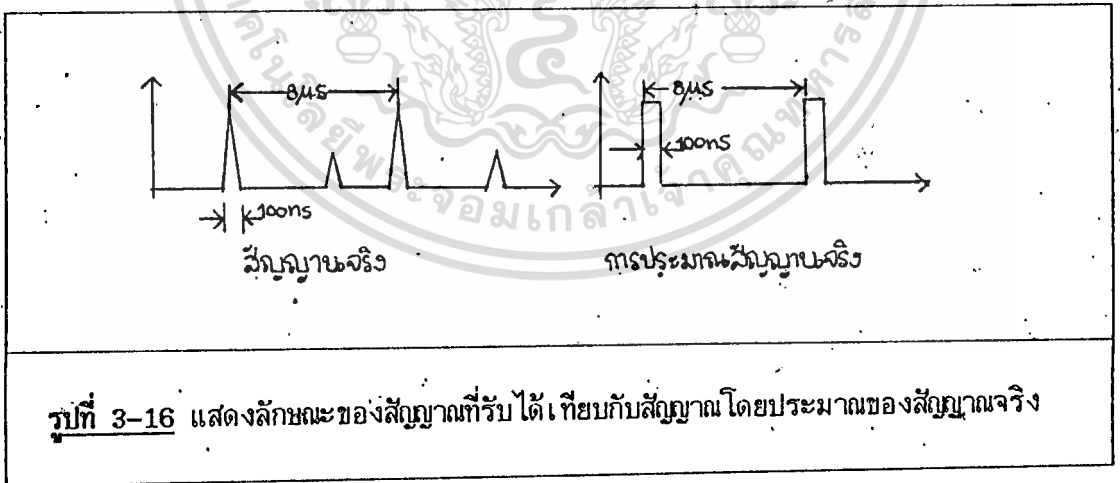
ส่วนค่าของ  $R3$  จะไม่ค่อยตายตัวนักเพราะว่า  $Q1$  ต่อกับ  $Q2, Q3$  ซึ่งเป็นวงจรถูกานส์ อิมพีแดนส์มีอินพุทอิมพีแดนส์ต่ำมาก ทำให้คอลเลคเตอร์โวลเตจของ  $Q1$  ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก จึงเลือกให้  $V_{CE}$  ของ  $Q1$  มีค่าพอสมควรเพื่อลดค่า  $C_{bc}$  ในวงจรนี้ใช้  $R3 = 500\text{ohm}$  ทำให้คอลเลคเตอร์โวลเตจของ  $Q1$  เป็น

$$7\text{mA} * 500\text{ohm} = 3.5\text{V}$$

และจะได้ว่า

$$\begin{aligned} V_{CB} \text{ ของ } Q3 &= 3.5 - (-5.35) \\ &= 8.85\text{V} \end{aligned}$$

สิ่งพอที่จะทำให้  $C_{bc}$  ของ  $Q1$  มีค่าต่ำ ส่วนค่าของ  $C1, C2, C3, C4$  ต้องเลือกให้ความถี่คutoff ลงไปต่ำเพียงพอ ซึ่งสามารถพิจารณาได้โดยการประมาณสัญญาณเข้าวงจรดังรูปที่ 3-16



ถ้าต้องการให้สัญญาณออกมีทิลท์ (tilt) น้อยกว่า 10% จะต้องให้ความถี่คutoff ต่ำกว่า  $1 / (8\mu s * 2)$  อยู่ 31 เท่า นั่นคือ

$$\text{ความถี่คutoff โดยรวม} = (1/31) * (1 / (8\mu s * 2))$$

$$= 2\text{KHz}$$

$$f_{c1} = 1/(2\pi * 22\mu f * (R1//R2//R4))$$

$$= 1/(2\pi * 22\mu f * 1.9k \text{ ohm})$$

$$= 3.77\text{Hz}$$

$$f_{c2} = 1/(2\pi * 22\mu f * R3)$$

$$= 1/(2\pi * 22\mu f * 500\text{ohm})$$

$$= 14.5\text{Hz}$$

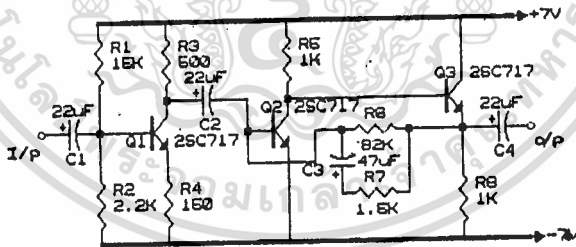
$$f_{c3} = 1/(2\pi * 22\mu f * R7)$$

$$= 1/(2\pi * 22\mu f * 115k\text{ohm})$$

$$\approx 4.8\text{Hz}$$

$$f_{c4} = 1/(2\pi * 22\mu f * Z_{inb})$$

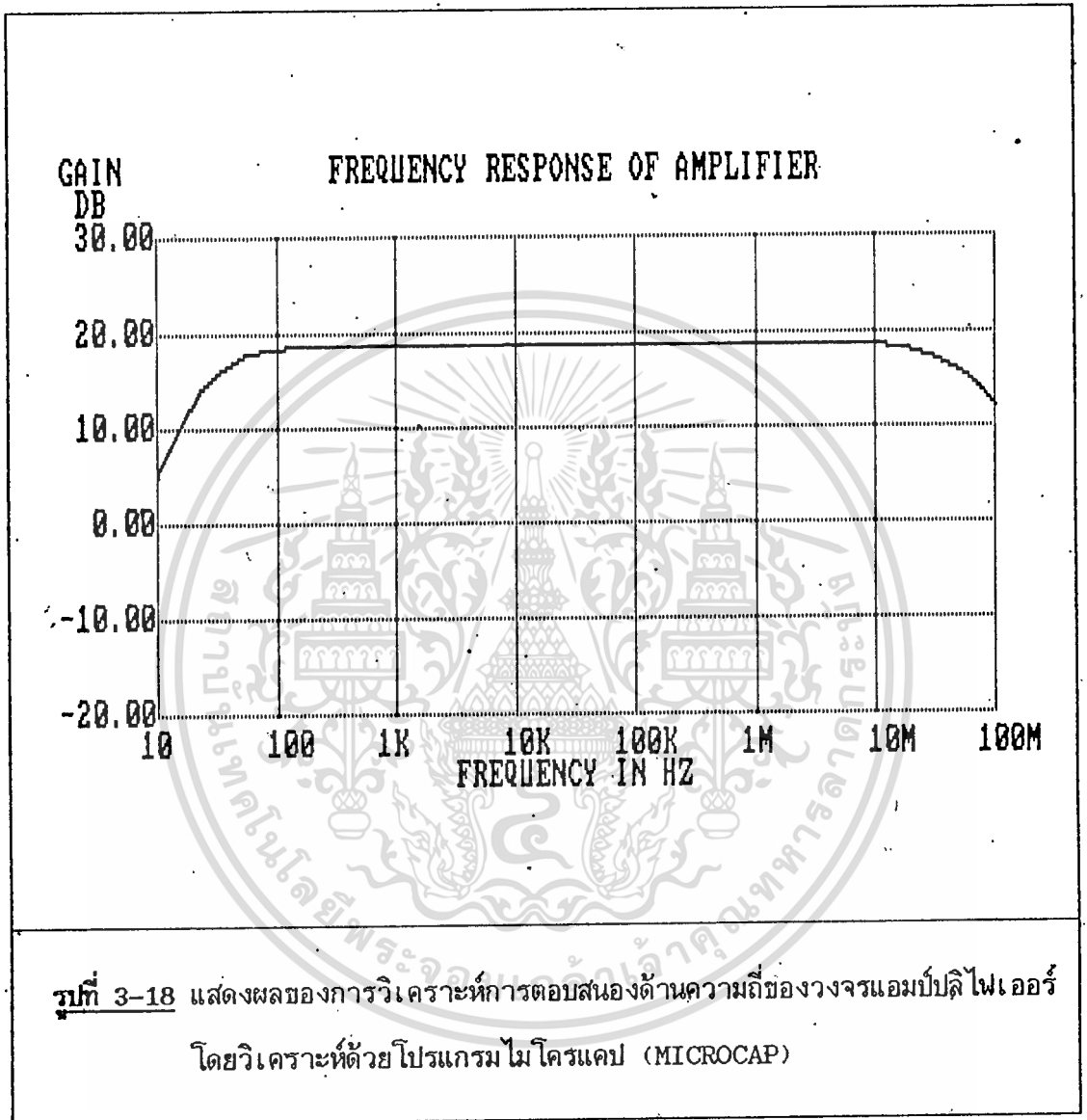
Z<sub>inb</sub> หรืออินพุทอิมพีแดนซ์ของวงจรบ็อกซ์คาร์อินทรีเกรเตอร์ ซึ่งมีค่าหลาย kohm. ดังนั้น f<sub>c4</sub> จะมีค่าไม่กี่ Hz จะเห็นว่าวงจรมีการตอบสนองความถี่ต่ำที่ดีพอ โดยวงจรสมบูรณ์จะเป็นดังรูปที่ 3-17



รูปที่ 3-17 แสดงวงจรสมบูรณ์ของวงจรแอมพลิไฟเออร์โดย ไม่รวมส่วนของไฟโต้ไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

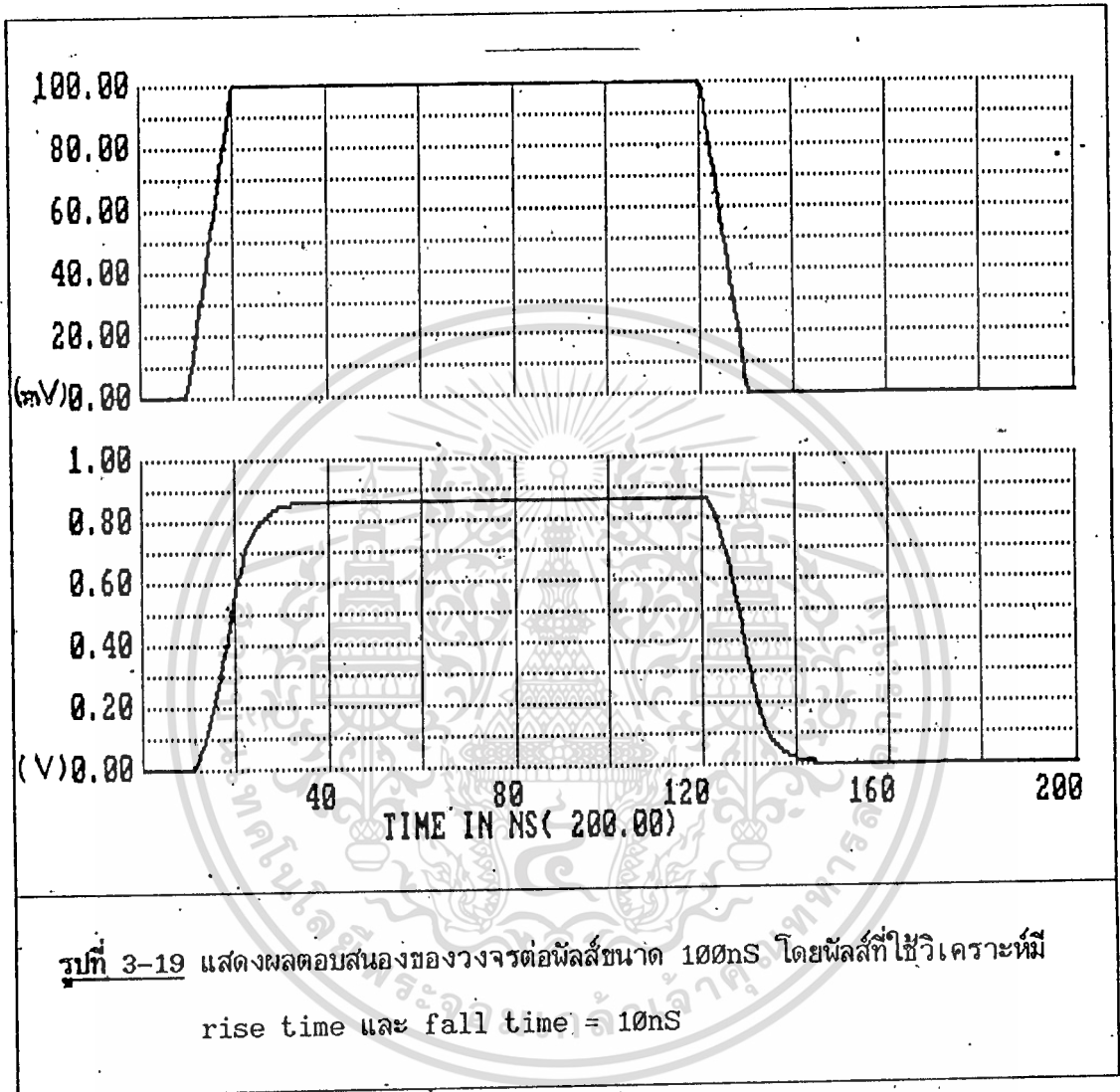
การตอบสนองทางความถี่ ได้ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ผลตอบสนองความถี่ของวงจร  
ผลการวิเคราะห์ของคอมพิวเตอร์เป็นดังรูปที่ 3-18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากสัญญาณที่เข้าไม่ใช่รูปชานัน แต่เป็นพัลส์กว้าง 100ns จึงได้ใช้คอมพิวเตอร์

ช่วยวิเคราะห์ผลตอบสนองต่อพัลส์ได้ดังรูปที่ 3-19



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 วงจรบ็อกซ์คาร์อินทิเกรเตอร์ (BOXCAR-INTEGRATOR)

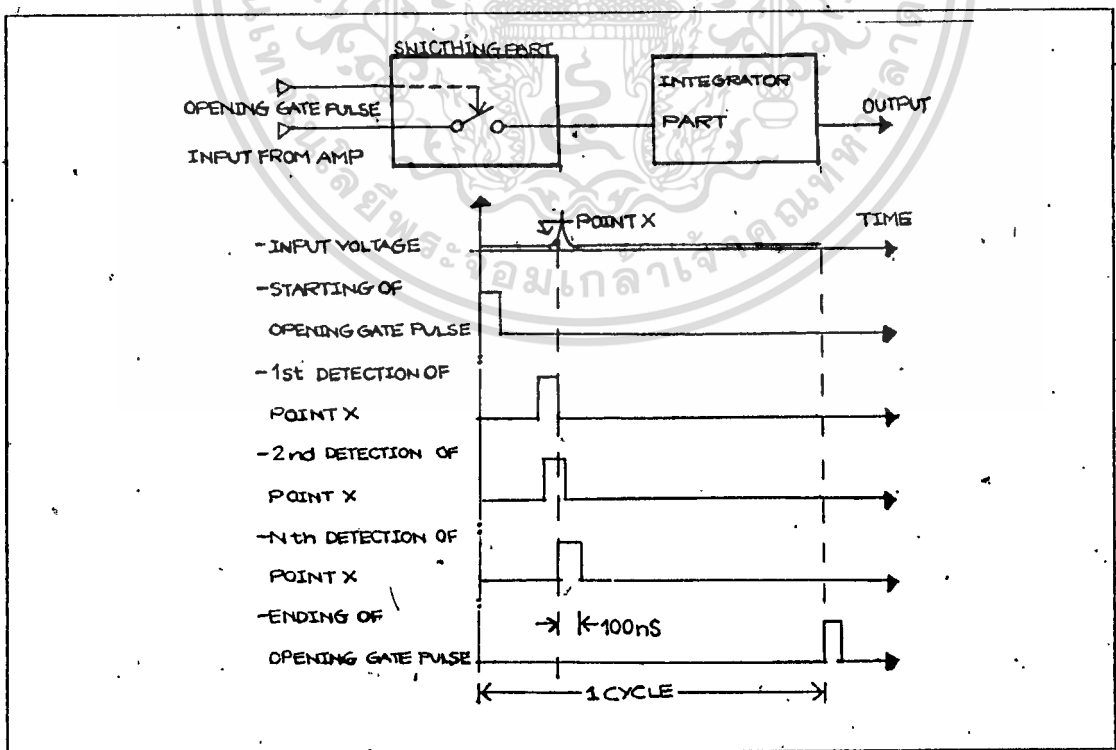
หลังจาก เรา ได้นำสัญญาณสะท้อนกลับที่ได้จากตัวรับมาเข้าวงจรขยายแล้ว จะพบว่าปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งในการรับสัญญาณที่สะท้อนกลับจากเส้นใยนำแสงคือ การที่สัญญาณสะท้อนกลับที่รับได้ มีขนาดต่ำมากอีกทั้งมีสัญญาณรบกวนเป็นจำนวนมาก จึงมีผลทำให้ข้อมูลที่ได้อาจมีความผิดพลาดหรือไม่ชัดเจนเกิดขึ้น ดังนั้น เราจึงแก้ปัญหานี้โดยใช้วงจรที่เรียกว่า "บ็อกซ์คาร์อินทิเกรเตอร์" ซึ่งมีหน้าที่ในการตรวจจับสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากจุดต่าง ๆ ซ้ำ ๆ กันหลายหน แล้วจึงนำสัญญาณเหล่านี้มาเข้าวงจรรวมสัญญาณซึ่งจะช่วยทำให้สัญญาณที่ได้มีคุณภาพดีขึ้นดังจะได้อธิบายต่อไป

#### 3.5.1 หลักการเบื้องต้นของ "บ็อกซ์คาร์อินทิเกรเตอร์"

การที่วงจรบ็อกซ์คาร์อินทิเกรเตอร์สามารถปรับปรุงคุณภาพสัญญาณที่รับได้นั้น เราสามารถอธิบายได้จากการที่วงจรทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณที่จุดต่าง ๆ เป็นจำนวนซ้ำกัน  $n$  ครั้งจึงมีผลทำให้

ขนาดสัญญาณที่ต้องการ =  $n * S$  เมื่อ  $S$  คือขนาดสัญญาณสะท้อนกลับจากวงจรภาครับ

ส่วนขนาดสัญญาณรบกวน =  $\sqrt{n} * S$  เมื่อ  $N$  คือขนาดสัญญาณรบกวนจากวงจรภาครับ



รูปที่ 3-20 แสดงหลักการในการตรวจจับสัญญาณที่ช่วยลดขนาดสัญญาณรบกวนลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

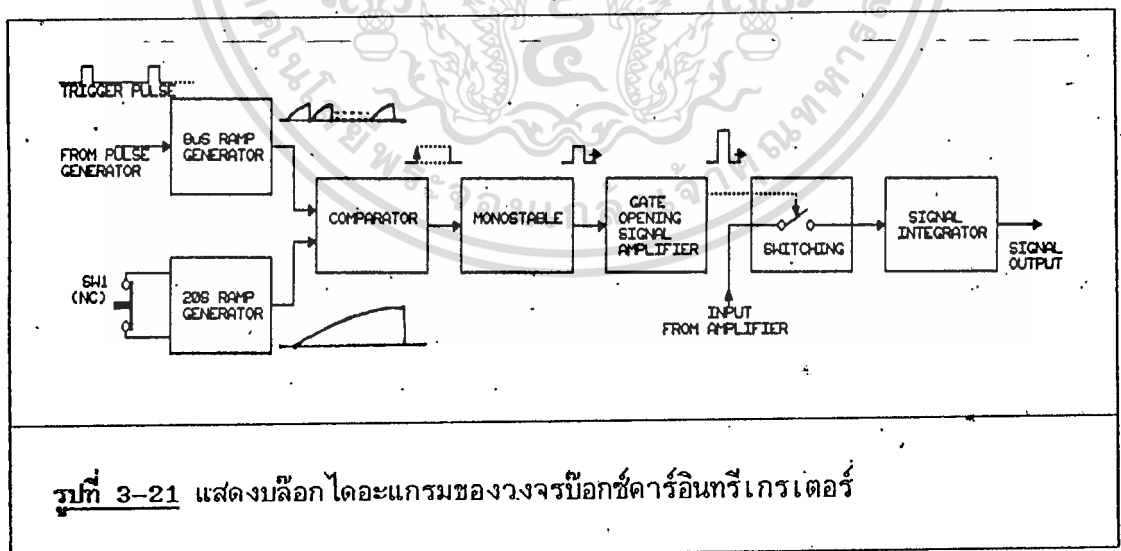
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก สัญญาณที่เราต้องการหรือสัญญาณที่กลับจากเส้นใยนำแสง จะปรากฏเสมอในทุก ๆ รอบของการตรวจจับสัญญาณ ส่วนสัญญาณรบกวนจะปรากฏในลักษณะแบบ สุ่มคือมาบ้าง ไม่มาบ้างในแต่ละรอบ (RANDOM) ซึ่งจะมีผลทำให้เมื่อตรวจจับสัญญาณซ้ำ ๆ กัน  $n$  รอบจะทำให้สัญญาณที่ได้มีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SIGNAL TO NOISE RATIO) เพิ่มขึ้น  $\sqrt{n}$  เท่า ซึ่งหมายความว่ายิ่งเราตั้งจำนวนรอบการตรวจจับให้สูงมากขึ้นเท่าใด เราจะได้ สัญญาณเอาท์พุทที่มีคุณภาพดีขึ้นเท่านั้น ถ้าจะอธิบายทางกายภาพจะแสดงได้ดังรูปที่ 3-20

วงจรนี้มีหลักการการทำงานเสมือนเป็นสวิตช์ ปิด-เปิด สัญญาณที่ป้อนเข้าทางอินพุทตาม ช่วงเวลาต่าง ๆ โดยที่จุดหนึ่ง ๆ ของสัญญาณจะได้รับการตรวจจับเป็นจำนวนซ้ำ ๆ กันหลายรอบ ทั้งนี้เนื่องจากพัลส์ที่ใช้เปิดสวิตช์มีลักษณะเหลี่ยมทับกัน (ในแกนเวลา) ในแต่ละรอบของการเปิด สวิตช์ จากนั้นจึงนำเอาเอาท์พุทที่ได้ไปเข้าวงจรอินทิเกรเตอร์เพื่อรวมสัญญาณจากการตรวจจับ ทั้ง  $n$  ครั้ง, จะทำให้สัญญาณที่ออกจากตัวบ็อกซ์คาร์อินทิเกรเตอร์มีคุณภาพดีขึ้น.

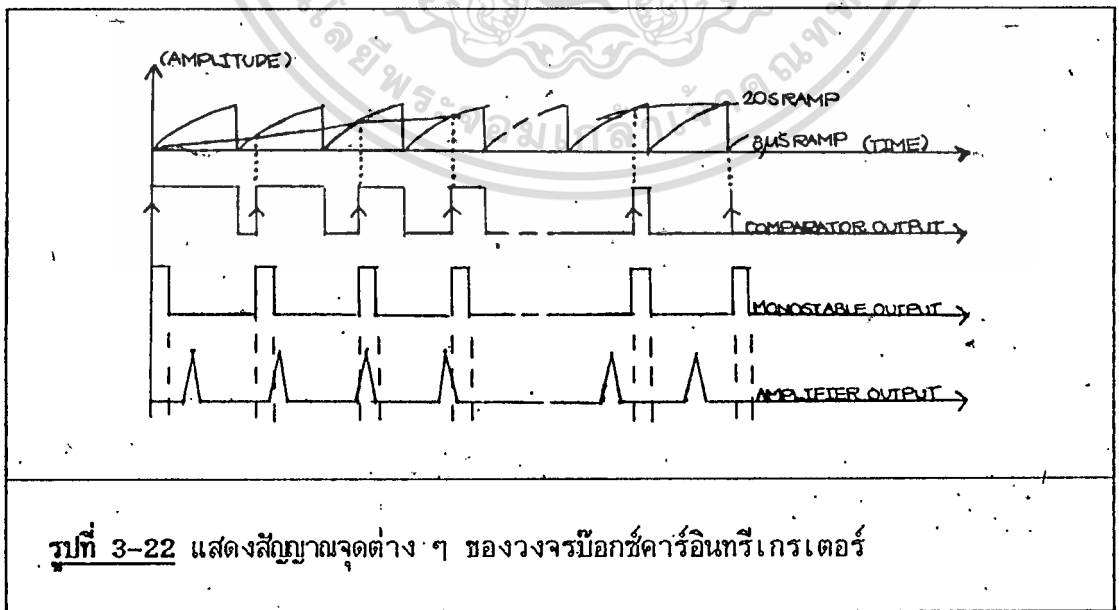
### 3.5.2 บล็อก ไดอะแกรมของวงจรบ็อกซ์คาร์อินทิเกรเตอร์

จากหลักการเบื้องต้นดังกล่าว เราสามารถนำมาสร้างเป็นวงจรได้ โดยมีบล็อก ไดอะแกรมดังรูปที่ 3-21 ซึ่งเราจะใช้เฟลทเบอร์ 2N4861A เป็นสวิตช์คอยปิด-เปิดสัญญาณที่รับได้



จากวงจรขยายของภาครับ โดยมีพัลส์ที่ควบคุมการปิด-เปิดป้อนเข้ายังขาเกตของเฟลท ซึ่งพัลส์นี้ จะถูกสร้างจากการนำสัญญาณเรมป์ (RAMP SIGNAL) ที่มีคาบเวลาต่างกัน 2 ตัว (8 $\mu$ S, 20s) มาเปรียบเทียบกันโดยสัญญาณที่มีคาบเวลา 8 $\mu$ S จะถูกสร้างอยู่ตลอดเวลา โดยมีพัลส์จากภาคขับ แอลอีดีตัวส่งมาคอยทริกตลอด ส่วนสัญญาณที่มีคาบเวลา 20s จะถูกสร้างก็ต่อเมื่อเราเปิดสวิตช์ ไม่วากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้เด็ดปลั๊กเนือหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SW1 จากนั้น เราจะนำสัญญาณแรมป์ทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน โดยส่วนเปรียบเทียบสัญญาณ (COMPARATOR) ซึ่งเอาท์พุทของส่วนเปรียบเทียบนี้จะเป็น "1" ก็ต่อเมื่อสัญญาณแรมป์ 8uS มีขนาดสูงกว่าสัญญาณแรมป์ 20S ซึ่งในช่วงแรกหลังจากการเปิดสวิตช์ SW1 เอาท์พุทที่ได้จะมีช่วงเป็น "1" มากที่สุด เนื่องจากขณะนั้นสัญญาณแรมป์ 20S ยังมีขนาดต่ำอยู่ ต่อมาเมื่อเวลามากขึ้น สัญญาณแรมป์ 20S จะมีขนาดสูงขึ้น ๆ เอาท์พุทของตัวเปรียบเทียบจะมีช่วงเป็น "1" ลดลงไปเรื่อย ๆ จนเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 20S เอาท์พุทที่ได้ก็จะเป็น "0" ตลอด ซึ่งเราจะเห็นได้ว่าจุดที่เอาท์พุทของตัวเปรียบเทียบเปลี่ยนจาก "1" เป็น "0" จะเป็นจุดเดียวกันในทุกช่วงสัญญาณของแรมป์ 8uS (คือจุดที่เริ่มต้นรอบของแรมป์ 8uS ใหม่) ส่วนจุดที่เอาท์พุทของส่วนเปรียบเทียบเปลี่ยนจาก "0" เป็น "1" จะเปลี่ยนแปลงไป คือจะใช้เวลามากขึ้นทุก ๆ รอบของสัญญาณแรมป์ 8uS ที่ผ่านไปจนหายไป ณ เวลาประมาณ 20S ซึ่งจุดขอบขาขึ้นนี้ก็คือจุดตัดระหว่างแรมป์ทั้ง 2 ตัวนั่นเอง แล้วเราจึงค่อยนำสัญญาณขอบขาขึ้นนี้มาเข้าส่วนของวงจรมอนอสเตเบิล เพื่อทำการสร้างพัลส์แคบ ๆ (ประมาณ 100ns) ขึ้นที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณจากส่วนเปรียบเทียบแล้ว เราจะได้สัญญาณเปิดเกทของเฟทที่ค่อย ๆ ไล่จุดตรวจจับสัญญาณไปที่ละนิด ๆ ตามต้องการ จากนั้นเราจะนำสัญญาณเปิดเกทที่ได้ ไปผ่านวงจรมอนอสเตเบิล เพื่อให้สัญญาณเปิดเกทมีขนาดสูงพอที่จะนำไปใช้งานได้ ซึ่งสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3-22



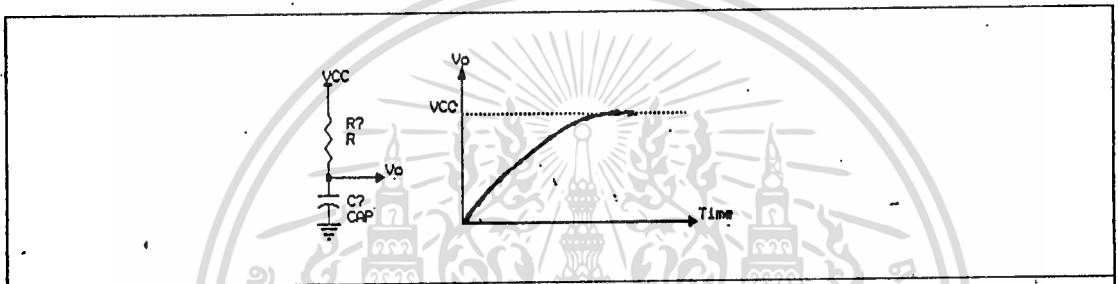
ในส่วนสุดท้าย เราจะนำสัญญาณเปิดเกทที่ได้ผ่านวงจรมอนอสเตเบิลแล้วไปทำการควบคุม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เฟทที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ ปิด-เปิด สัญญาณสะท้อนกลับจากวงจรมอนอสเตเบิล แล้วจึงนำสัญญาณวากรัมใด ๆ หนึ่ง ออกทิ้งห้ามมิเด็ดขาด และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ญาณที่จุดต่าง ๆ เหล่านั้นไปเข้าวงจรรวมสัญญาณ เพื่อปรับปรุงคุณภาพสัญญาณให้ดีขึ้นนั่นเอง ซึ่งรายละเอียดการสร้างวงจรในแต่ละส่วนจะได้ถูกอธิบายต่อไปภายหลัง

### 3.5.3 การคำนวณและการสร้างวงจรส่วนต่าง ๆ

#### 3.5.3.1 วงจรส่วนสร้างแรมป์และส่วนเปรียบเทียบสัญญาณ (RAMP GENERATOR & COMPARATOR)

เราจะสร้างสัญญาณแรมป์จากวงจร R-C ธรรมดาตามรูปที่ 3-23 ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตโวลเตจ ( $V_o$ ) กับเวลา ( $t$ ) เป็น



รูปที่ 3-23 แสดงวงจรกำเนิดสัญญาณแรมป์ที่ใช้

$$V_o = V_{cc} * (1 - e^{-t/R * C}) \quad \text{-----[1]}$$

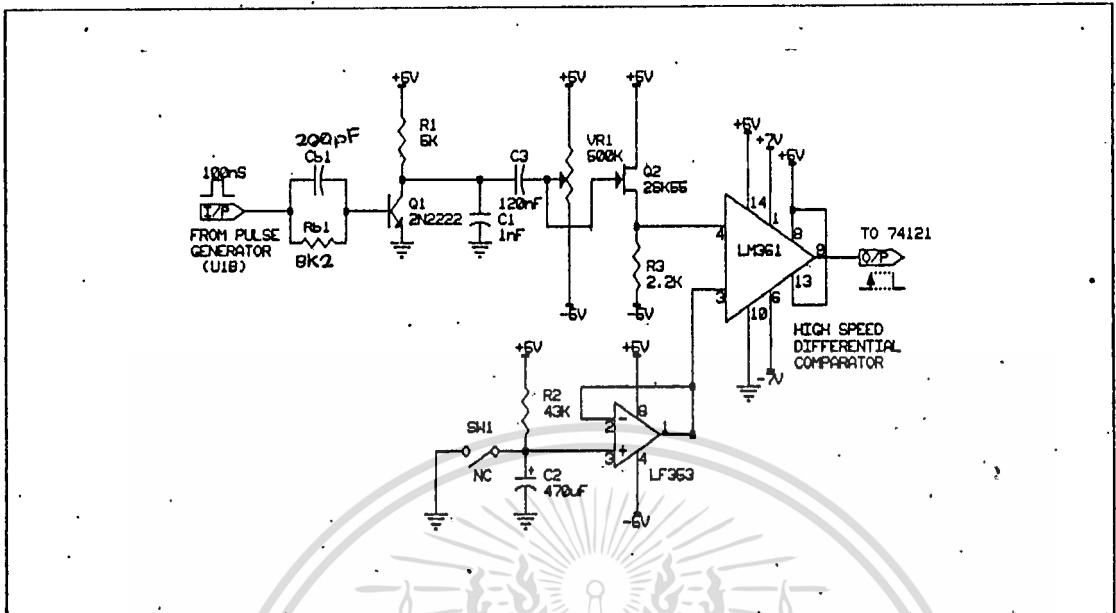
ซึ่งวงจรกำเนิดสัญญาณแรมป์ทั้ง 2 ตัวรวมถึงส่วนเปรียบเทียบสัญญาณได้แสดงไว้ในรูปที่ 3-24 จากวงจรนี้ ส่วนกำเนิดสัญญาณแรมป์คาบเวลาสั้นจะมาจากวงจรส่วนของ  $R_1$  กับ  $C_1$  โดยมี  $Q_1$  เป็นตัวช่วยสวิตช์ให้  $C_1$  คายประจุเป็นช่วง ๆ ทุก  $8\mu S$  ตามคาบเวลาของสัญญาณทรigger ที่นำมาจากสัญญาณก่อนเข้าภาคขับแอลอีดีตัวส่ง (เหตุที่ต้องดึงมาเพื่อให้สัญญาณที่จะนำไปเปิดเกทเฟทซิงโครไนซ์กับสัญญาณที่รับได้จากวงจรขยายของภาครับ) ซึ่งเราจะออกแบบให้ขนาดของสัญญาณแรมป์ที่มีคาบเวลา  $8\mu S$  เป็น 80% ของ  $V_{cc}$  หรือ 4 โวลต์ เพราะเราจะใช้สัญญาณแรมป์คาบเวลายาวเพียงช่วงที่มันชาร์จถึง 4 โวลต์เท่านั้น เพื่อป้องกันปัญหาการรั่วของตัวเก็บประจุ  $C_2$  เมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ ซึ่งอาจทำให้วงจรทำงานผิดพลาดได้

ส่วนการหาค่า  $R_1$  ,  $C_1$  ทำได้โดยอาศัยสมการที่ [1] โดยจะหาค่า  $R_1 * C_1$

เมื่อต้องการ  $V_o$  เป็น 4 โวลต์ในขณะที่เวลาผ่านไป  $8\mu S$  ซึ่งจะได้

$$4 = 5 * (1 - e^{-8\mu S / R_1 * C_1})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 $R_1 * C_1 = 8\mu S / \ln 5 = 5 * 10^{-7}$   
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 3-24** แสดงวงจรกำเนิดสัญญาณแรมป์ (ส่วนบน:สร้างสัญญาณคาบเวลา 8uS)  
 (ส่วนล่าง:สร้างสัญญาณคาบเวลา 20nS) และส่วนคอมพาราเรเตอร์

ถ้ากำหนดให้  $C1 = 0.001\mu F$  จะได้  $R1 = 5KOhms$

ต่อจากนั้น อันที่จริงเราควรจะนำสัญญาณแรมป์ที่ได้ ( 4V, 8uS ) ไปต่อกับวงจรบัฟเฟอร์ (BUFFER) โดยใช้เพกเบออร์ 2SK55 ( Q2 ) ต่อแบบซอกส์ฟอลโลเวอร์ (SOURCE FOLLOWER) เหตุที่เราต้องใช้เพกแทนการใช้ออปแอมป์ธรรมดาทำบัฟเฟอร์ เนื่องจากขณะที่แรมป์ลาดลงนั้น สัญญาณมีความชันมาก ถ้าใช้ออปแอมป์จะพบปัญหาสัญญาณเกิดความผิดพลาดขึ้นเนื่องจากออปแอมป์ตามความเร็วสัญญาณไม่ทัน

เหตุที่เราไม่ป้อนสัญญาณที่ได้จาก C1 เข้าวงจรซอกส์ฟอลโลเวอร์โดยตรง เนื่องจากเราจะพบปัญหาที่ว่า สัญญาณแรมป์ตัวนี้ไม่ได้เริ่มที่ 0 โวลต์เหมือนกับแรมป์คาบเวลา 20S ดังจะได้อธิบายต่อไป จึงอาจเกิดความผิดพลาดในการทำงานของวงจรขึ้นได้ ดังนั้น เพื่อแก้ปัญหานี้ เราจึงทำการเลื่อนระดับสัญญาณแรมป์ 8uS. ให้ไปเริ่มที่ 0 โวลต์ โดยใช้ C3 120nF เป็นตัวกันสัญญาณไฟตรง จากนั้น เราทำการเลื่อนระดับสัญญาณเอซซีที่ได้ด้วยการปรับ R ปรับค่าได้ขนาด 500 กิโลโห์มจนได้แรมป์ที่เริ่มที่ 0 โวลต์แล้ว จึงค่อยป้อนสัญญาณนี้ให้วงจรบัฟเฟอร์ จากนั้นจึงป้อนสัญญาณที่ได้จากบัฟเฟอร์ เข้าไปยังขาของคอมพาราเรเตอร์ความเร็วสูง LM361 ( HIGH SPEED DIFFERENTIAL COMPARATOR. )

ส่วนสัญญาณแรมป์ที่มีคาบเวลายาวจะสร้างจาก R2 , C2 คล้ายกับส่วนแรก โดยมี SW1 เป็นสวิทช์ซึ่งคอยควบคุมการสร้างแรมป์ โดยถ้าต้องกวาร์ให้แรมป์นี้เกิดขึ้น เราก็ทำการเปิด (OPEN) สวิทช์ SW1 เสีย C2 ก็จะเริ่มถูกชาร์จ และโวลเตจคร่อมตัวเก็บประจุก็จะค่อย ๆ ใต้ ขึ้นไปเรื่อย ๆ เริ่มตั้งแต่ 0 โวลท์เป็นต้นไป เราจะหา R2\*C2 ได้ทำนองเดียวกับการหาค่า R1\*C1 โดยเรากำหนดช่วงเวลาที่สัญญาณนี้จะเพิ่มถึง 80% ของ Vcc หรือ 4 โวลท์ในเวลา 20 วินาทีตามที่ได้ออกแบบสัญญาณแรมป์ตัวแคบไว้ แต่พอต่อวงจรจริง ๆ จะพบปัญหาไหลด วงจรทำให้ขนาดสัญญาณแรมป์ตัวแคบลดเหลือเพียง 3.2 โวลท์เท่านั้น จึงต้องคิดค่า R2\*C2 จากการทำ C2 จะถูกชาร์จจนถึงขนาด 3.2 โวลท์ในเวลา 20S ซึ่งจะได้

$$5 = 3.2 * (1 - e^{-20S / R2 * C2})$$

$$R2 * C2 = 20$$

ถ้าให้ C2 = 470uF จะได้ R2 = 43kohms

แล้วเราจะนำสัญญาณแรมป์ตัวนี้ผ่านบัฟเฟอร์ (โดยในวงจรนี้เราสามารถใช้ออปแอมป์เบอร์ 741 มาต่อได้เนื่องจากออปแอมป์สามารถตามสัญญาณได้ทัน) เพื่อแก้ปัญหาการไหลดวงจร แล้วจึงนำสัญญาณไปเข้าที่ขาของคอมพาราเตอร์ LM361 เพื่อทำการเปรียบเทียบสัญญาณกันซึ่งการทำงานได้อธิบายไปแล้วในรูปที่ 3-21

### 3.5.3.2 ส่วนสร้างสัญญาณเปิดเกตและส่วนวงจรขยาย (MONOSTABLE & AMPLIFIER)

เมื่อเรานำสัญญาณแรมป์ทั้ง 2 ตัวมาทำการเปรียบเทียบกันโดยใช้ LM361 แล้วจุดที่น่าสนใจอีกจุดหนึ่งคือ การนิยามว่าเวลาที่ขอบขาขึ้นของเอาต์พุตคอมพาราเตอร์ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น (LINEAR) กับเวลา ซึ่งจะสามารถหาได้จากการหาจุดตัดของสัญญาณแรมป์ (เนื่องจากจุดขอบขาขึ้นนี้ก็คือจุดตัดระหว่างแรมป์ทั้ง 2 ตัว นั่นเอง) ซึ่งเป็นจุดที่

$$Vr1 = Vr2$$

เมื่อ Vr1 = ขนาดสัญญาณแรมป์ 8uS (โวลท์)

Vr2 = ขนาดสัญญาณแรมป์ 20S (โวลท์)

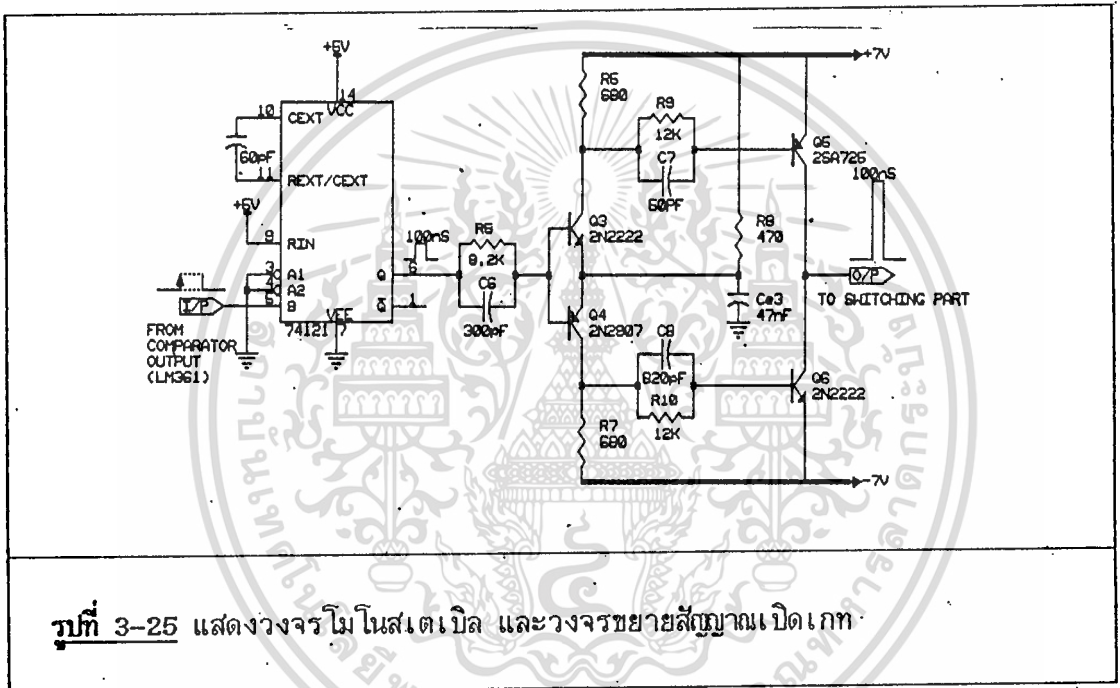
$$\text{นั่นคือ } Vcc * (1 - e^{-t1 / R1 * C1}) = Vcc * (1 - e^{-t2 / R2 * C2})$$

$$\text{จะได้ } t1 / R1 * C1 = t2 / R2 * C2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการต่าง ๆ ซึ่ง t2 จะเป็นช่วงเวลา 20S ที่สัญญาณเปิดเกตค่อย ๆ ไหลตรวจจับช่วงสัญญาณและไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนกลับจากวงจรภาครับจุดเวลาต่าง ๆ จากสมการจะเห็นว่า ณ จุดตัดของสัญญาณจุดต่าง ๆ อัตราส่วนเวลาของสัญญาณแรมป์ทั้ง 2 จะเท่ากับค่าคงที่ ซึ่งหมายความว่าเวลาสัญญาณที่ขอบขาขึ้นแต่ละครั้งจะค่อย ๆ เพิ่มคงที่กับเวลา ซึ่งเราสามารถตั้งความเร็ว-ช้าของการเคลื่อนไปของสัญญาณเปิดเกทได้จากการปรับค่า R1, C1, R2, C2 นั้นเอง

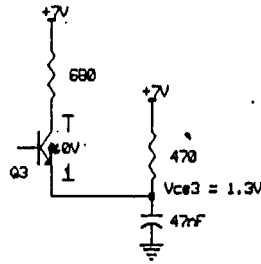
หลังจากนั้น เราจะนำสัญญาณขอบขาขึ้นจากคอมพาราเตอ์ซึ่งเพิ่มเป็นเชิงเส้นกับเวลาไปเข้าโมโนสเตเบิลเบอร์ 74121 ดังในรูปที่ 3-25 ซึ่งตั้งคาบเวลาของสัญญาณเอาท์พุทไว้



รูปที่ 3-25 แสดงวงจรโมโนสเตเบิล และวงจรขยายสัญญาณเปิดเกท

ประมาณ 100ns จะได้พัลส์ออกมาเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0 ถึง +5 โวลท์ (ไฟเลี้ยง 74121) ซึ่งยังไม่พอก็จะนำไปเปิดเกทเพทได้ จึงต้องนำสัญญาณนี้มาเข้าวงจรขยาย เพื่อทำการขยายสัญญาณให้สูงพอที่จะนำไปเปิดเกทได้ (ในที่นี้คือมีขนาดเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ +7 โวลท์ถึง -7 โวลท์) ซึ่งวงจรขยายนี้มีหลักการทำงานเหมือนวงจรภาคขับของตัวส่ง จึงไม่ขอนำมาอธิบายส่วนที่ซ้ำกันนี้ แต่มีส่วนที่ต่างกันก็คือ สัญญาณเปิดเกทจากโมโนสเตเบิลที่เป็นอินพุท เข้าวงจรขยายไม่มีช่วงลบ (0 ถึง +5 โวลท์) ดังนั้นที่ขาอิมิตเตอร์ (EMITTER) ของทรานซิสเตอร์ Q3 (2N2222) , Q4 (2N2907) ต้องมีไฟบวกค่าน้อย ๆ อยู่แทนการต่อลงกราวด์ในวงจรภาคขับแอลอีดีตัวส่ง (ในวงจรนี้มีค่าประมาณ +1.3 โวลท์) ซึ่งในตอนนี้จะเกิดปัญหาที่ว่าเราต้องสร้างไฟเลี้ยงขึ้นมาต่าง

หากอีกหนึ่งชุด เราจึงใช้ R8 กับ C3 ช่วยทำให้ Q3 , Q4 สลับกันทำงานได้โดยจากการทดลอง  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
เมื่อใช้ค่า  $C_3 = 0.047\mu F$ ,  $V_{ce3}$  จะเปลี่ยนไปน้อยมากดังรูปที่ 3-26  
ไม่ทราบแต่ได้ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงเลขเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-26 แสดงให้เห็นว่า  $V_{ce3}$  เปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก เมื่อ Q3 "ON"

ซึ่งเราจะหาค่า  $V_{ce3}$  ที่เปลี่ยนไม่ได้คร่าวๆ จาก  $V_c = I * t / C$

$$\text{โดย } I = (7V - 1.3V) / (680 / 470 \text{ Ohms}) = 5.7 / 278 \\ = 20 \text{ mA}$$

$V_{ce3} = 20 \text{ mA} * 100 \text{ nS} / 0.047 \text{ uF} = 0.043$  โวลต์ ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าปกติของ  $V_{ce3}$  (1.3 โวลต์)

ส่วนในช่วงที่สัญญาณอินพุตเป็นศูนย์หรือช่วงที่ Q4 ทำงาน เราจะออกแบบให้โวลต์เตจที่ขาอิมิตเตอร์ของ Q4 (หรือ  $V_{ce3}$  นั่นเอง) มีค่า +1.3 โวลต์ เมื่อไม่คิดกระแสที่ดิสชาร์จจาก  $C_{e3}$  ก่อนตามรูปที่ 3-27



รูปที่ 3-27 แสดงอุปกรณ์ที่มีผลขณะที่ Q4 ทำงาน

โวลต์เตจที่ขาอิมิตเตอร์ของ Q4 เทียบกับ -7 โวลต์ =  $680 * 14 / (680 + 470) =$

8.3 โวลต์ ถ้าคิด  $V_{e4}$  เทียบกับกราวด์ =  $8.3 - 7 = 1.3$  โวลต์ และถึงแม้มีกระแสจาก  $C_{e3}$

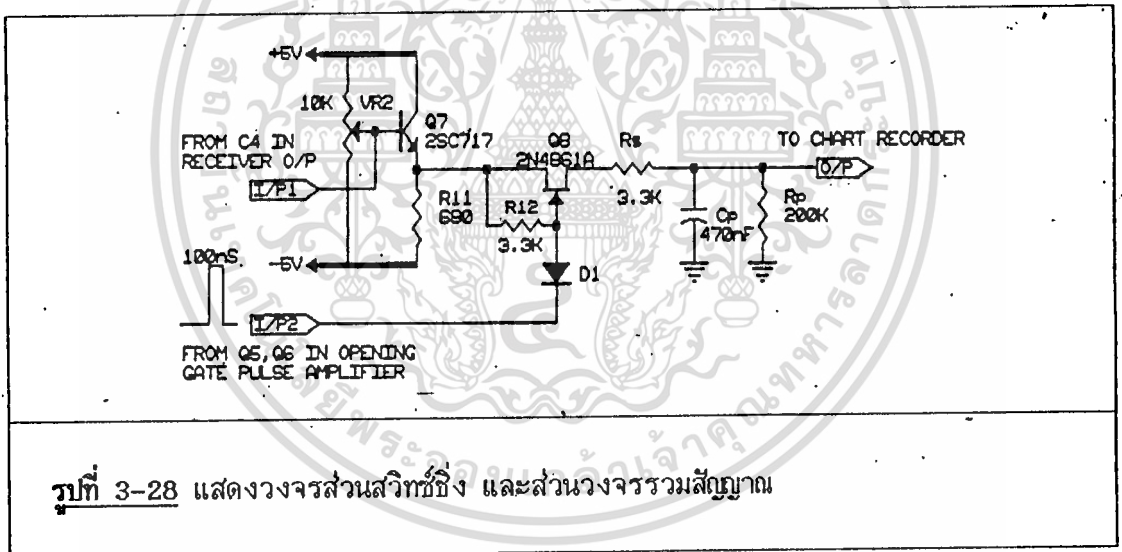
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ที่ดิสชาร์จออกมาในช่วงนี้ ก็มีผลทำให้โวลต์เตจที่จุดนี้ (ซึ่งตอนนั้นคือ  $V_{ce3}$ ) เพิ่มขึ้นมากกว่า 1.3  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โวลท์ ซึ่งยังคงทำให้ Q4 ทำงานได้

จากนั้น สัญญาณจากคอลเลคเตอร์ของ Q3 ,Q4 จะถูกนำมาขยายอีกทีโดยผ่านทางทรานซิสเตอร์ Q5 ,Q6 โดยมีตัวเก็บประจุ (SPEED UP CAPACITOR) ใส่ไว้ตามขาเบสของทรานซิสเตอร์ต่าง ๆ เพื่อเพิ่มความเร็วในการทำงาน ซึ่งท้ายสุดลักษณะสัญญาณที่ได้จากคอลเลคเตอร์ของ Q5 ,Q6 จะเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง +7 ถึง -7 โวลท์เพื่อเตรียมนำไปเปิดเกทของเฟท 2N4861 ต่อไป.

### 3.5.3.3 ส่วนวงจรสวิทช์ และวงจรรวมสัญญาณ (SWITCHING PART AND INTEGRATOR)

ส่วนนี้จะมีหน้าที่ในการสวิทช์สัญญาณอินพุทจากวงจรขยายภาครับในช่วงเวลาต่าง ๆ ดังได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น โดยเราอาศัยเฟทเบอร์ 2N4861A ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ดังรูปที่ 3-28



โดยมีสัญญาณเปิดเกทที่ผ่านวงจรขยาย Q3 ถึง Q6 แล้ว ป้อนเข้าทางเกทและมีไดโอด D1 เป็นตัวช่วยปิด-เปิดเฟท ซึ่งทำหน้าที่นำกระแสในช่วงที่สัญญาณเป็น -7 โวลท์และไม่นำกระแสขณะที่สัญญาณเป็น +7 โวลท์ ซึ่งในภาวะที่สัญญาณเป็น -7 โวลท์นี้ที่ขาเกทจะมีไฟลอบอยู่ ในภาวะนี้เฟทจึงเสมือนอยู่ในภาวะปิด (OFF) จึงทำให้สัญญาณอินพุทจากวงจรขยายภาครับไม่สามารถผ่านไป

ได้ โดยมีวงจรบัฟเฟอร์ ซึ่งประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ Q7 (2SC717) กับ R11 ต่อแบบคอมมอนคอลเลคเตอร์ และมี VR2 เป็นตัวเลื่อนระดับสัญญาณจาก C4 ของวงจรขยายภาครับ ต่อมาเมื่อสัญญาณที่เปิดเกทเป็น +7 โวลท์ไดโอดจะไม่นำกระแสทำให้เฟทอยู่ในภาวะเปิด (ON) ซึ่งขณะนี้เฟทสามารถนำสัญญาณจากขาเดรน (DRAIN) ไปยังขาซอส (SOURCE) ได้ จากนั้นเมื่อหมดช่วงบวกไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟลทก็จะปิด ไปจนกว่าพัลส์เปิดเกทที่เป็นบวกลูกใหม่จะมาถึงนั่นเอง

จากนั้น เราจะนำสัญญาณที่ได้ในช่วงสั้น ๆ นี้มาทำการรวมกันเพื่อให้อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนดีขึ้น โดยใช้วงจรมัลติเพลกซ์ซึ่งประกอบด้วย  $R_s$ ,  $R_p$ ,  $C_p$  โดยสัญญาณที่รับได้จะถูกนำมาชาร์จ  $C_p$  ในช่วงสั้น ๆ ไปเรื่อย ๆ ทีละนิด ๆ ซึ่งก็เท่ากับการรวมสัญญาณหลาย ๆ ทนนั่นเอง ซึ่งเราจะหาค่า  $R_s$ ,  $R_p$ ,  $C_p$  จากการคิดว่า  $R_s * C_p$  ควรจะมากกว่า  $8\mu S$  ซึ่งเป็นคาบเวลาของพัลส์ที่มาเปิดเกท เพื่อให้สัญญาณที่เข้ามาสามารถค่อย ๆ ชาร์จ  $C_p$  ได้โดยไม่เต็ม และ  $R_p * C_p$  ควรมีค่ามากกว่า  $8\mu S$  มากแต่ก็ต้องน้อยกว่า  $20S$  เพื่อไม่ให้ประจุที่มาชาร์จ  $C_p$  รั่วผ่านทาง  $R_p$  เร็วเกินกว่าจะรวมสัญญาณได้ทัน และก็ต้องไม่มากจนทำให้ประจุจาก  $C_p$  คายเข้าไปจนการรวมสัญญาณเกิดการผิดพลาดขึ้นได้ (เพราะสัญญาณจากจุดก่อน ๆ จะมาพบกับสัญญาณจุดที่สนใจด้วย) ซึ่งจากการทดลองเราใช้

$$R_s = 3.3K\Omega, \quad R_p = 200K\Omega$$

$$C_p = 0.47\mu F$$

$$\text{จะได้ } R_s * C_p = 3.3K * 0.47\mu = 1.5mS$$

$$R_p * C_p = 200K * 0.47\mu = 0.094S$$

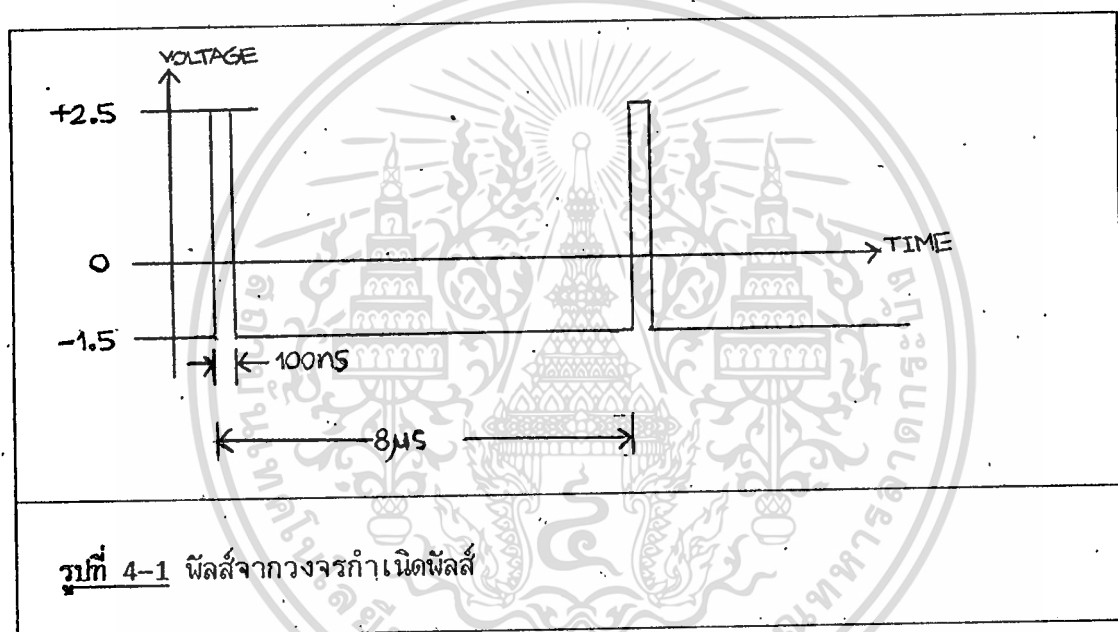
ซึ่งค่าต่าง ๆ ก็ยังอยู่ในช่วงที่เราต้องการ สัญญาณที่ได้จาก  $C_p$  จะเป็นสัญญาณที่มีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนดีขึ้นนั่นเอง.

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

จากการทดลองต่อวงจรตามที่ได้อธิบายไปในบทก่อน ๆ จะได้ผลการทำงานของส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

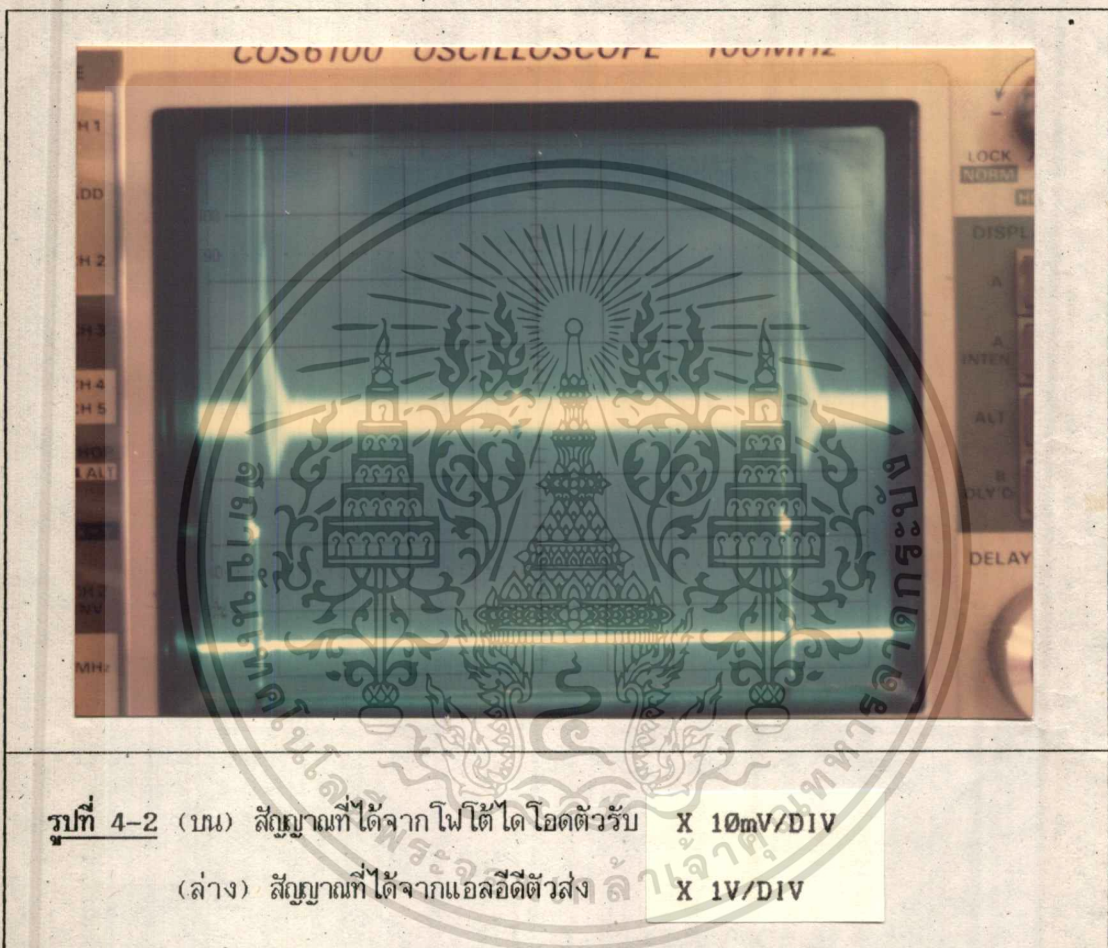
1. ในส่วนวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ จะให้กำเนิดพัลส์มีลักษณะดังรูปที่ 4-1 ซึ่งพัลส์ที่ได้มีขนาดอยู่ระหว่าง  $+2.5$  โวลท์ถึง  $-1.5$  โวลท์ คาบเวลาที่ได้ประมาณ  $8\mu\text{s}$  และมีช่วงที่เป็นบวกประมาณ  $100\text{ns}$



2. เมื่อเรานำสัญญาณที่ได้ในข้อ 1 ไปเข้าวงจรขยายภาคส่ง จากนั้นลองวัดโวลท์ตรงที่ตกคร่อมแอลอีดีตัวส่ง จะได้สัญญาณดังรูปที่ 4-2 (ล่าง) ซึ่งสัญญาณที่ได้จะเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง  $+2.5$  โวลท์ถึง  $-1$  โวลท์ ส่วนช่วงเวลาต่าง ๆ จะเหมือนสัญญาณในข้อ 1

3. จากนั้น เราลองส่งสัญญาณแสงจากแอลอีดีตัวส่งเข้าไปในเส้นใยนำแสง แล้วทำการปรับแต่งชุดเลนส์ให้ได้มุมที่ดีที่สุด เพื่อให้สัญญาณที่เข้าสายเส้นใยนำแสงและสัญญาณที่สะท้อนกลับมีขนาดสูงพร้อม ๆ กัน ต่อจากนั้น เราจะทำการวัดสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ดังนี้

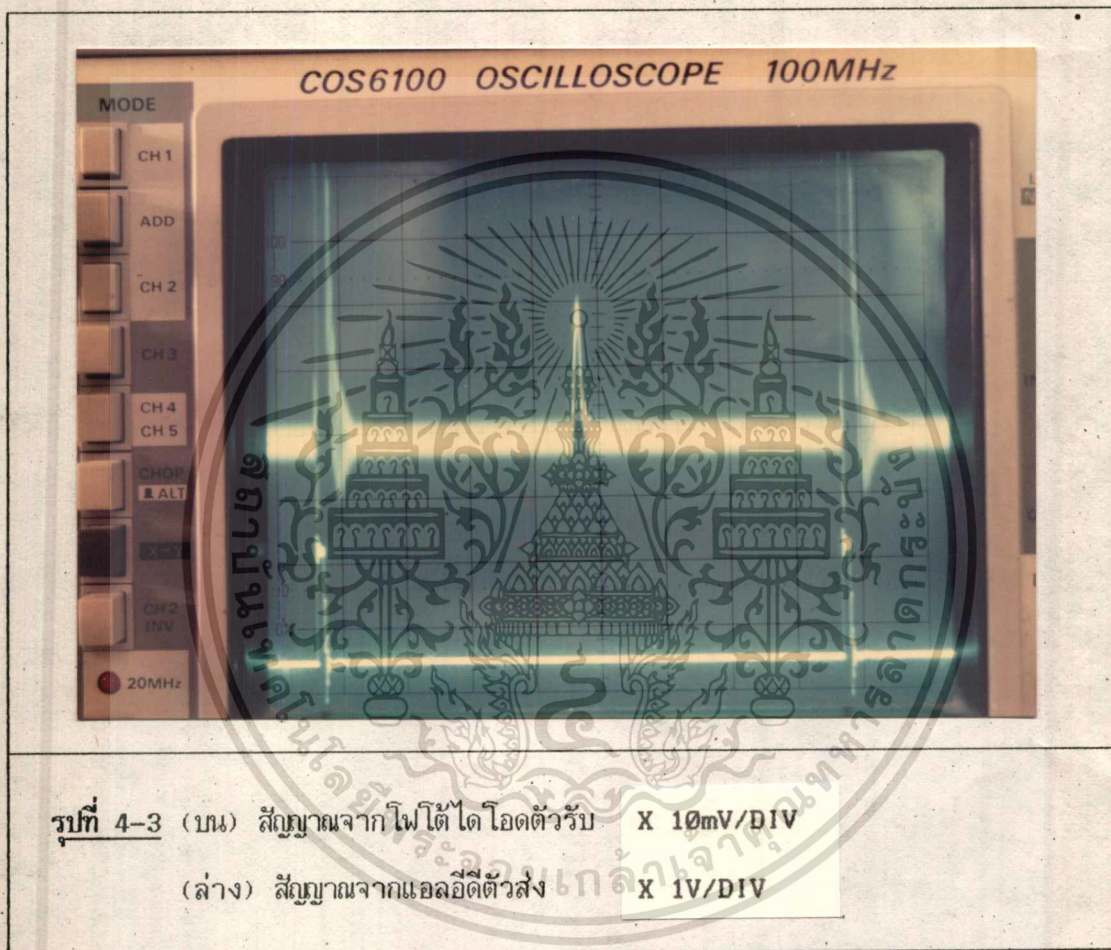
3.1 เราจะวัดสัญญาณที่สะท้อนกลับจากเส้นใยนำแสง โดยวัดที่เอาท์พุทของไดโอด  
 ตัวรับ เทียบกับโวลท์เตจที่ตกคร่อมแอลอีดีตัวส่ง เมื่อใช้สายเส้นใยนำแสงยาว 400 เมตรดังรูปที่  
 4-2



รูปที่ 4-2 (บน) สัญญาณที่ได้จากไฟไดโอดตัวรับ X 10mV/DIV  
 (ล่าง) สัญญาณที่ได้จากแอลอีดีตัวส่ง X 1V/DIV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

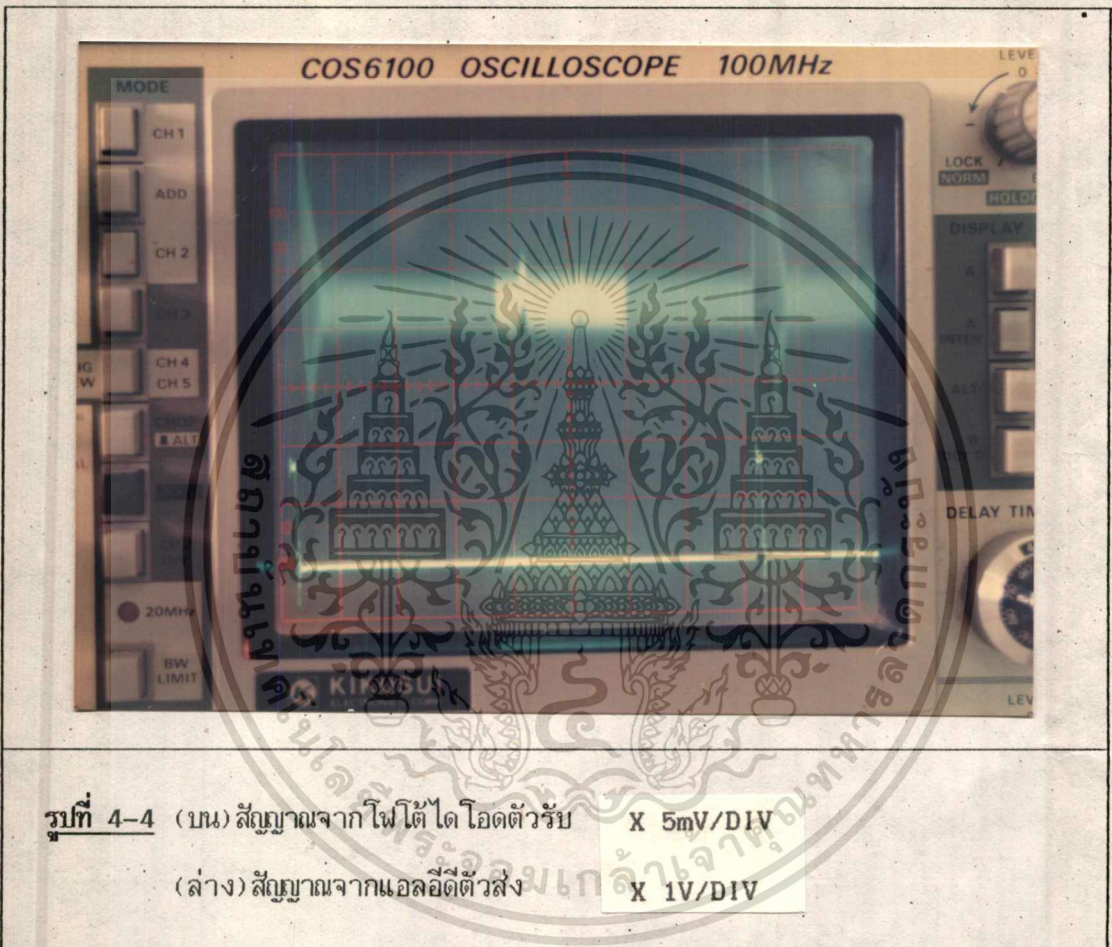
3.2 เราทำการวัดสัญญาณที่เดิมกับข้อ 3.1 เพียงแต่คราวนี้ เราใช้วัตถุที่เป็นฉนวน เช่น ฝิวโลหะมัน จ่อไว้ที่ปลายสายเส้นใยนำแสง เพื่อให้สัญญาณสะท้อนกลับมีขนาดสูงขึ้น ตามรูปที่ 4-3



รูปที่ 4-3 (บน) สัญญาณจากไฟโต้โตโอดตัวรับ X 10mV/DIV  
 (ล่าง) สัญญาณจากแอลอีดีตัวส่ง X 1V/DIV

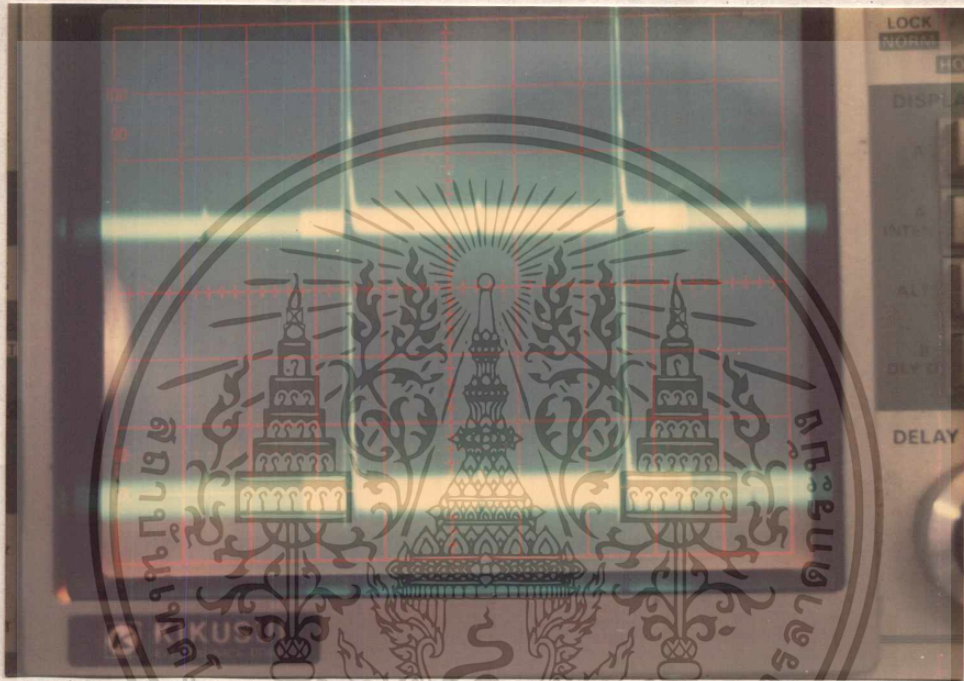
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 จากนั้น เราจะลองต่อสายเส้นใยนำแสงอีก 1 ม้วนซึ่งยาวประมาณ 100 เมตร เข้ากับเส้นใยนำแสงม้วนเดิม (400 เมตร) แล้วทำการวัดสัญญาณที่แอลอีดีตัวรับ เทียบกับ แอลอีดีตัวส่ง โดยนำปลายสายเส้นใยนำแสงซึ่งยาว 100 เมตรจ่อเข้ากับผิวโลหะมันดิ่งรูปที่ 4-4



จะเห็นได้ว่า สัญญาณสะท้อนกลับจากปลายเส้นใยนำแสงม้วนหลัง (100 เมตร) น้อยมากจนแทบมองไม่เห็น เนื่องจากเกิดการสูญเสียจำนวนมากที่ข้อต่อสายทั้ง 2 ม้วนนั่นเอง

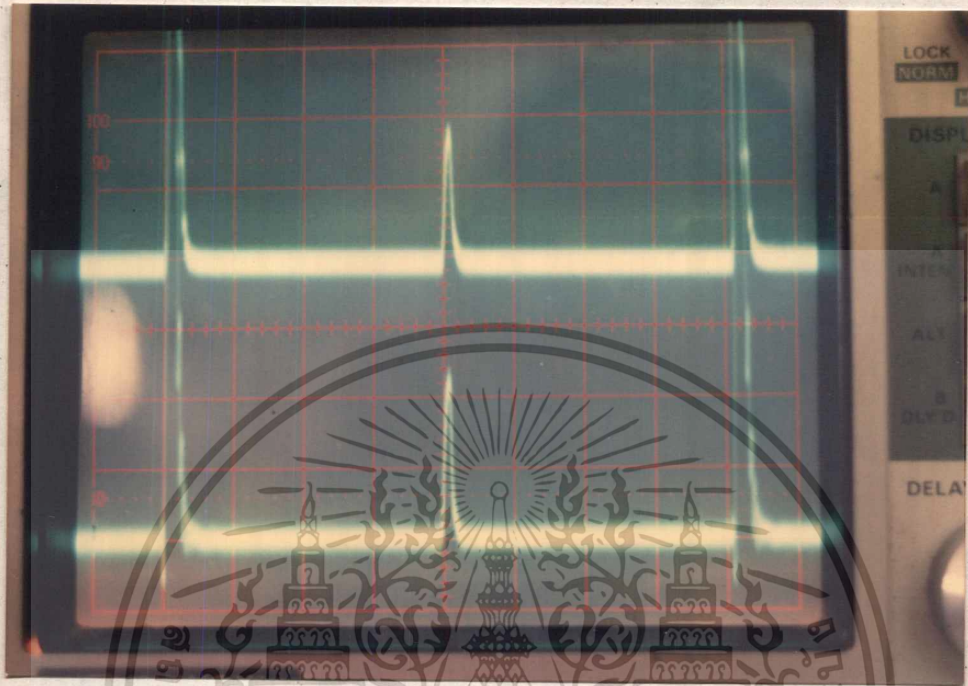
4. ขั้นต่อไป เราจะนำสัญญาณจากไดโอดตัวรับมาเข้าวงจรขยายสัญญาณภาครับ ซึ่งเราจะจับสัญญาณก่อนเข้าวงจรขยายเทียบกับหลังผ่านวงจรขยายแล้ว โดยเราแบ่งการทดลอง เป็นทั้งแบบปล่อยปลายสาย และแบบมีโลหะผิวมันมาจ่อ ดังรูปที่ 4-5 และ 4-6



รูปที่ 4-5 เมื่อปล่อยปลายสายข้างหนึ่งไว้

(บน) สัญญาณก่อนเข้าวงจรขยาย X 10mV/DIV

(ล่าง) สัญญาณหลังขยายแล้ว X .1V/DIV



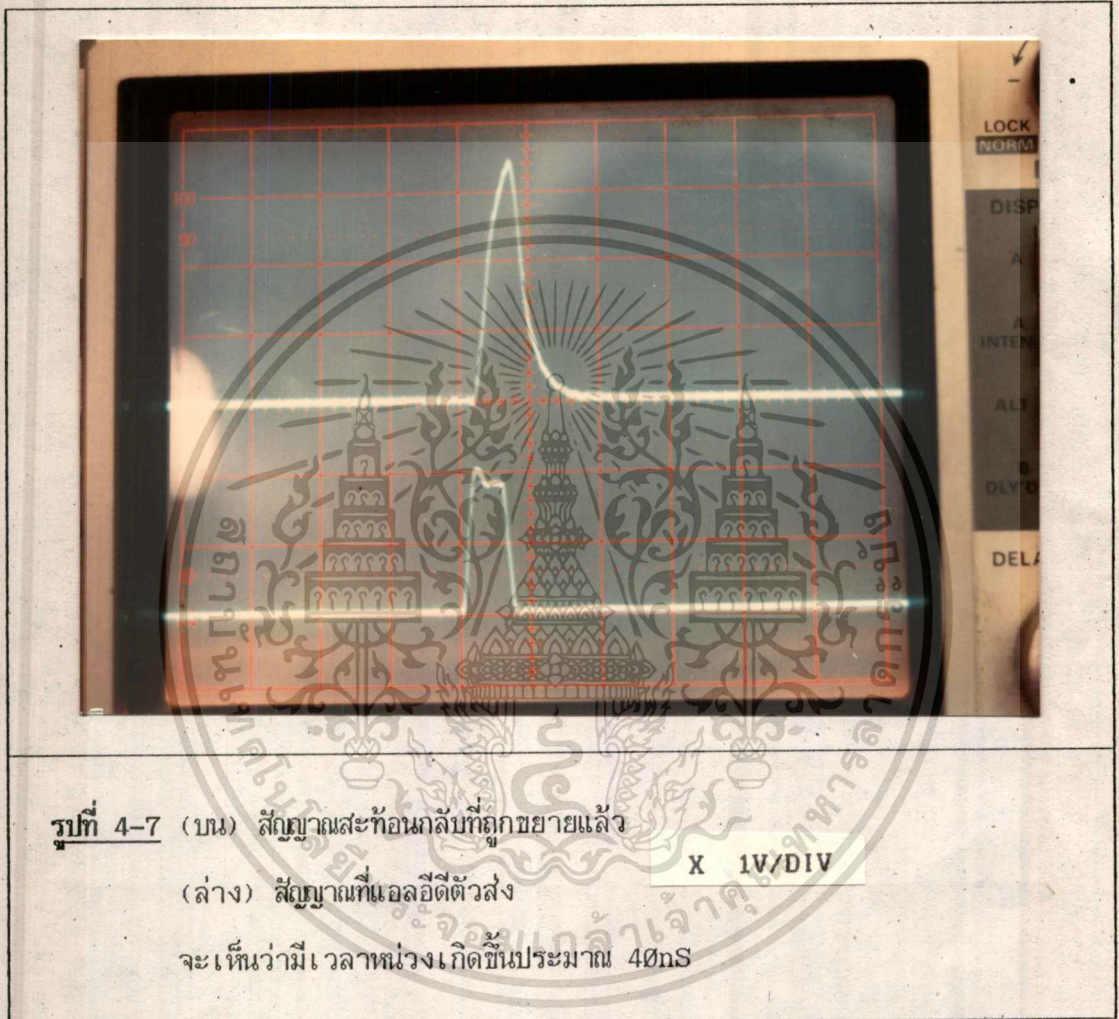
**รูปที่ 4-6** เมื่ออ็อกปลายของสายถูกจ่อไว้ด้วยโลหะฉนวน

(บน) สัญญาณก่อนเข้าวงจรขยาย X 10mV/DIV

(ล่าง) สัญญาณหลังขยายแล้ว X .1V/DIV

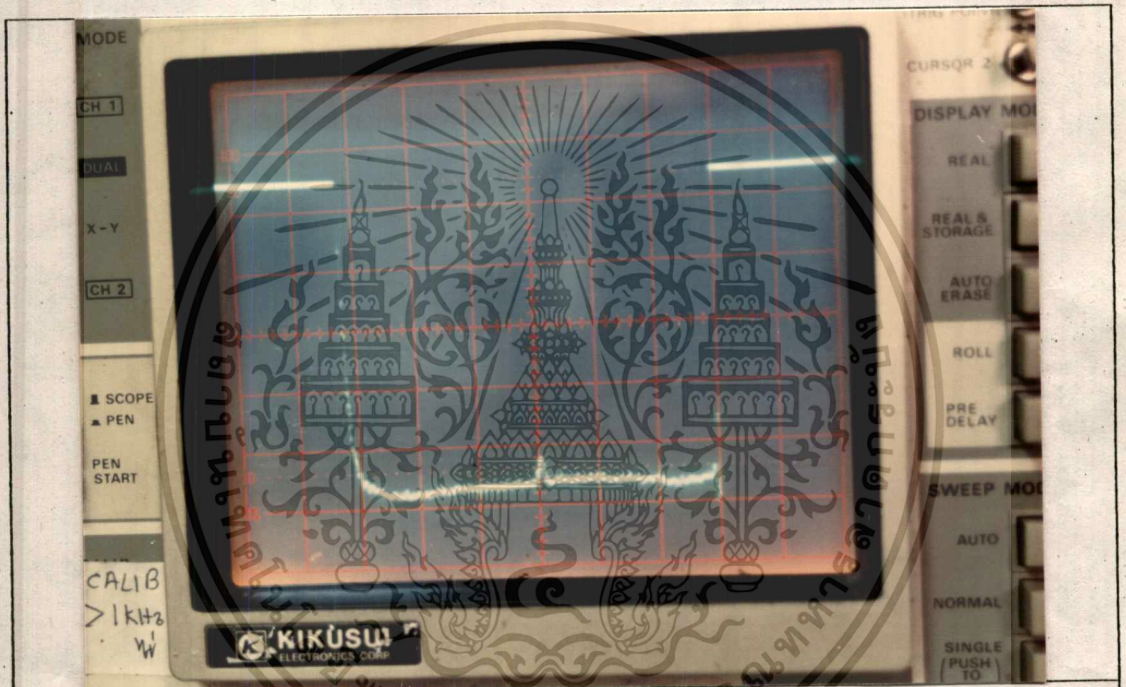
5. อีกจุดที่วัด คือการวัดเวลาหน่วงของตัวแอลอีดี รวมทั้งเวลาหน่วงของวงจร

ขยาย ดังรูปที่ 4-7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ในส่วนวงจรบ็อกซ์คาร์อินทรีเกรเตอร์ ปรากฏว่าวงจรทำงานได้ตรงตามที่ออกแบบ แต่เนื่องจากสัญญาณเปิดเกทมีลักษณะเลือนตลอดเวลา (ได้อธิบายไปแล้ว) จึงไม่สะดวกแก่การถ่ายภาพ ดังนั้นในส่วนนี้ จะขอนำสัญญาณสะท้อนกลับที่ได้ผ่านวงจรบ็อกซ์คาร์อินทรีเกรเตอร์แล้วมาแสดงแทน โดยเราสามารถบันทึกได้จากการใช้สเตรจสโคป (STORAGE SCOPE) แทนการใช้ชาร์ทเรคคอร์ดเตอร์



**รูปที่ 4-8** แสดงภาพของสัญญาณสะท้อนกลับที่ผ่านวงจรบ็อกซ์คาร์อินทรีเกรเตอร์แล้วบันทึกโดยสเตรจสโคป (STORAGE SCOPE)

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและวิจารณ์

จากผลการทดลองที่ได้ปรากฏว่า เครื่องตรวจสอบเส้นใยนำแสงที่สร้างขึ้นนี้สามารถใช้งานได้ดีพอสมควรกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทำได้และในราคาพอสมควร ทั้งนี้ทางผู้จัดทำได้พยายามปรับปรุงส่วนควบคุมที่ยุ่งยากซับซ้อนจากในทอมที่แล้ว ให้มาอยู่ในรูปแบบที่กะทัดรัดยิ่งขึ้นดังที่ได้อธิบายไปแล้วในบทก่อน ๆ ซึ่งเมื่อเราได้ทำการต่อส่วนต่าง ๆ ของระบบนี้ก็มีการทำงานเป็นที่น่าพึงพอใจ เริ่มตั้งแต่ส่วนสร้างพัลส์ ซึ่งให้กำเนิดพัลส์ 100ns ที่ค่อนข้างคม และส่งผ่านแอลอีดีตัวส่งได้อย่างถูกต้องและเต็มกำลังเท่าที่แอลอีดีจะทำได้ โดยอาศัยวงจรขยายที่ออกแบบมา และกำลังแสงที่ผ่านชุดเลนส์ที่ทำหน้าที่คัปปลิงสัญญาณแสง ไปยังเส้นใยนำแสง และทำหน้าที่นำสัญญาณสะท้อนกลับที่ได้จากเส้นใยนำแสงกลับมายังไดโอดตัวรับ สามารถทำให้ เรา ได้สัญญาณสะท้อนกลับจำนวนมากพอสมควรถ้ามีการปรับแต่งให้เหมาะสม จากนั้นเราก็ผ่านส่วนวงจรขยาย ซึ่งก็ทำงานได้ตรงตามที่ออกแบบ จากนั้นเราก็นำสัญญาณจากวงจรขยายมาเข้าวงจรบ็อกซ์คาร์อินทรีเกรเตอร์ เพื่อปรับปรุงคุณภาพสัญญาณให้ดีขึ้น ซึ่งก็ปรากฏว่าวงจรทำงานได้ดีพอสมควร เมื่อจะนำไปเข้าชาร์ทเรคคอร์ดเตอร์

แต่อย่างไรก็ตาม ในการทดลองต่อวงจรเราจะพบปัญหาต่าง ๆ มากมายแต่ปัญหาใหญ่ ๆ ที่มีผลต่อวงจรมากก็คือ

1. ในภาคส่งนั้น เราจะพบปัญหาที่ว่าพัลส์ที่ส่งออกแอลอีดี มีขนาดแคบมากคือประมาณ 100ns เราจึงหาวงจรขยายภาคส่งที่สามารถขยายสัญญาณแคบ ๆ นี้จากส่วนกำเนิดสัญญาณพัลส์ได้ทัน และไม่ทำให้รูปสัญญาณเพี้ยน ซึ่งในวงจรเราต้องใช้ทรานซิสเตอร์ที่มี Ft สูง , ต้องมีตัวเก็บประจุไว้เพิ่มความเร็วจาเบสของทรานซิสเตอร์ต่าง ๆ และต้องใช้รูปแบบวงจรที่สามารถสวิตช์ได้เร็ว ๆ ด้วย

2. ถึงแม้ว่าวงจรภาครับแอลอีดีตัวส่ง จะถูกออกแบบมาตั้งแต่ต้น ให้สามารถจ่ายกระแสได้ถึง 1 แอมป์ แต่อินพุทเรตแอลอีดีตัวส่งที่มีอยู่กลับสามารถใช้กับกระแสได้ไม่กี่ร้อยมิลลิแอมป์ จึงทำให้กำลังแสงที่ได้ออกมาจากตัวส่งมีกำลังต่ำมาก ทำให้เกิดปัญหาที่ว่าสัญญาณสะท้อนมีกำลังน้อยมาก ๆ ในตอนแรกเราลองใช้ตัวคัปเปลอร์ที่มีอยู่ต่อลงรับสัญญาณสะท้อนที่กลับมาแต่กลับพบปัญหา เช่น การสูญเสีย (LOSS) ที่ข้อต่อเชื่อมระหว่างสาย , อีกทั้งการต้องมาเข้าหัวสายเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ใยนำแสงใหม่ ซึ่งทำได้ยากมาก เพราะ ไม่มีเครื่องมือที่ดีพอ เป็นต้น ทำให้ไม่สามารถรับสัญญาณที่  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะท้อนกลับได้ ต่อมาเราจึงเปลี่ยนเป็นการใช้ชุดเลนส์มาเป็นตัวบดปลิงสัญญาณแสง ซึ่งก็มีปัญหาที่ว่าการปรับแต่งให้แสงเข้าเส้นใยนำแสงได้มาก อีกทั้งให้แสงที่สะท้อนกลับ เข้าตัวรับได้มากทำได้ยาก และใช้เวลานาน เพราะเราไม่สามารถเห็นแสงแอลอีดีได้ และสัญญาณที่ออกมาจากตัวส่งยังมีขนาดต่ำอีกด้วย ดังนั้นในการทำวงจรรขยายจึงต้องออกแบบคำนึงถึงเรื่องปัญหาสัญญาณรบกวนเป็นอย่างมาก

3. แสงสะท้อนกลับที่หัวของเส้นใยนำแสง มีขนาดสูงกว่าสัญญาณสะท้อนกลับภายในเส้นใยนำแสง ทำให้วงจรรขยายสัญญาณในภาครับจะเกิดการอ้อมตัวในช่วงแรก (เพราะเราออกแบบวงจรรขยายมาให้ขยายระดับสัญญาณต่ำ ๆ) ซึ่งทำให้เราต้องเสียระยะการวัดไปในช่วงที่วงจรรขยายยังไม่กลับสู่ภาวะปกติ ดังนั้นการออกแบบวงจรรขยายจำเป็นต้องแก้ไขปัญหานี้ให้น้อยลง ซึ่งรวมแล้วหมายถึง เราต้องการวงจรมีแบนด์วิธกว้าง , ไดนามิคเรนจ์กว้าง , สัญญาณรบกวนต่ำ , อัตราขยายสูง ซึ่งถ้าจะทำให้ดี จะทำได้ยากมาก เช่น ในวงจรรขยาย, นอกจากจะออกแบบวงจรมีดีแล้ว ยังต้องมีการทำกรานด์เพลนบนแผ่นปริ้นท์อีก ทั้งต้องชิลด์วงจรมีใช้แผ่นเหล็กล้อมรอบวงจรมีด้วย

4. ปัญหาใหญ่อีกอย่างคือ การที่เกิดสัญญาณรบกวนจากการสวิตช์ ทั้งการรบกวนจากการสวิตช์อย่างรวดเร็วของวงจรขับแอลอีดีทางภาคส่ง , จากวงจรมีอ็อกซ์คาร์อินทรีเกรเตอร์ และยังมีกรรบกวนจากออสซิลโลสโคป โดยสัญญาณจะรบกวนทางอินพุทของสโคป ทำให้รูปสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ผิดพลาด และทำให้วงจรมีทำงานได้ไม่ตรงตามที่เราต้องการได้ง่าย เนื่องจากสัญญาณที่สะท้อนกลับมีขนาดเล็กล้อมอยู่แล้ว เช่น

- ในวงจรรขยาย จะทำให้รูปสัญญาณมีสัญญาณรบกวนมากจนอาจทำให้รับอะไรไม่ได้เลย หรือสังเกตได้ยากมาก

- ในวงจรมีอ็อกซ์คาร์อินทรีเกรเตอร์ จะทำให้พัลส์ที่ไปเปิดเกทเกิดครามผิดพลาดไม่แน่นอนคือ มา ๆ หาย ๆ

เราแก้ไขมันได้โดย ทำการแยกชุดไฟเลี้ยงที่เกี่ยวข้องกับวงจรมีที่มีการสวิตช์อย่างรวดเร็วออกจากชุดไฟเลี้ยงอื่น ๆ ที่ใช้งานธรรมดาทั่วไป และต้องมีการดีคัปปลิงไฟเลี้ยงตามจุดต่าง ๆ ให้ดีเป็นระยะ ๆ เพื่อไม่ให้สัญญาณรบกวนผ่านเข้าไปในวงจรมีได้

สุดท้ายนี้ เมื่อทำการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ให้น้อยที่สุด จะพบว่า ระบบนี้สามารถวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจ ความยาวของเส้นใยนำแสงได้ , ตรวจสอบรอยต่อของสายเส้นใยนำแสงได้ ตรงตามจุดประสงค์ที่ไม่วางกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราต้องการให้ได้เครื่องมือตรวจสอบที่มีคุณภาพดีพอควร โดยมีค่าใช้จ่ายในการทำไม่สูงมากนัก แต่อย่างไรก็ตาม วงจรนี้ก็สามารถปรับปรุงให้คุณภาพดีขึ้นได้ โดยต้องมีการใช้อุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติดี มากในบางส่วน เช่น ใช้แอลอีดีตัวส่งที่มีกำลังส่งสูงขึ้น จะทำให้สัญญาณที่กลับมามีรายละเอียดและความชัดเจนเพิ่มขึ้น เป็นต้น แต่ปัญหาเรื่องค่าใช้จ่ายก็จะสูงขึ้นด้วยอีกทั้งการหาอุปกรณ์ก็จะลำบากมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ในภาคผนวกนี้ เราจะให้รายละเอียดของอุปกรณ์สำคัญที่จำเป็นต้องใช้และหาได้ยากตั้งรายการต่อไปนี้

HIGH RADIANCE HIGH SPEED LED (INFRARED LED) (L2812/15)

PHOTODIODE (HFD-1060)

HIGH SPEED DIFFERENTIAL COMPARATOR (LM361)

N-CHANNEL FET (2N4861)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## High Radiance High Speed LED Sender Unit SMA Style

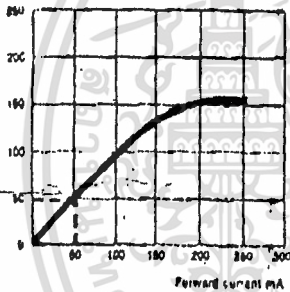
These units contain a high radiance light emitting diode suitable for use with single optical fibres of 150 microns core diameter and above. The diodes are individually assembled to provide the highest possible coupling efficiency.

The housing interfaces are based on SMA connectors and are internationally compatible. Two alternative mounting methods are offered, one having a single hole fixing with an anti-rotation flat and the second having a BNC standard flange for surface mounting.



L2812/15

L2822/16

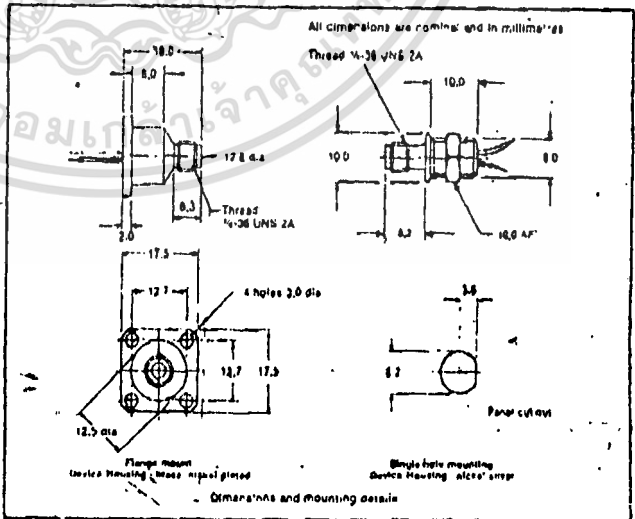


### Specification

Reverse voltage, maximum: at  $I_R = 10\mu A$   
 Maximum continuous forward current,  $I_F$   
 Forward voltage at  $I_F = 50mA$   
 Rise time = fall time  
 Peak radiation wavelength  
 Spectral bandwidth  
 Maximum power dissipation at  $T_a = +25^\circ C$   
 Optical power output measured using a 300 $\mu m$  core step index fibre of NA = 0.48 at 50mA operation  
 Temperature coefficient of radiated power,  $I_F = 50mA$   
 Solder fall finish  
 Insulation  
 Case operating temperature,  $T_a$   
 Electrical Characteristics measured at  $25^\circ C$

1V  
 60mA  
 1.5V  
 12ns  
 620nm  
 35nm  
 65mW  
 130 $\mu W$  (typical)  
 - 0.3%/°K  
 Gold plated  
 Polyester, epoxy  
 - 40 °C to + 100 °C

These devices are suitable for high speed analogue and digital applications where transmission distances of up to 2 kilometres are envisaged. High optical output at low current consumption is also a major feature.



### Ordering Reference

L2822/16 Flange mount  
 L2812/15 Single-hole mounting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## HFD Series (1060; 1100)

### Features

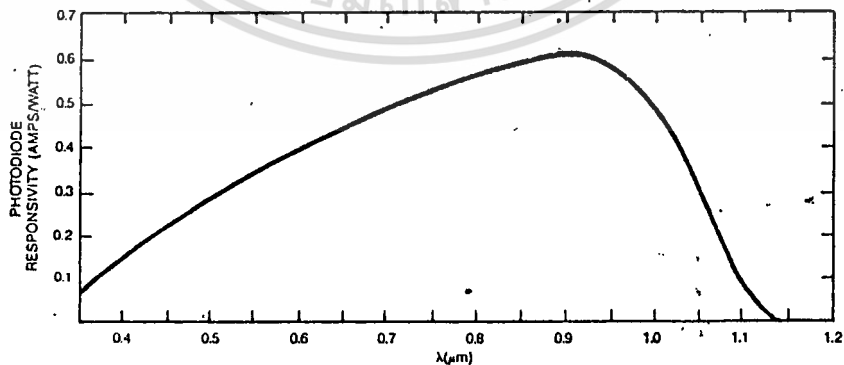
- 600 V/10<sup>-6</sup> Slow Rate Amplifier
- Groundable Case
- Temperature and Voltage Stable
- Low-Voltage Operation
- Shielded Amplifier
- Wide Spectral Range

### Operating Data and Specifications at 23°C Performance at -15 V Bias (Photodiode) and ±5 V (Amplifier)

CHARACTERISTIC	MINIMUM	TYPICAL	MAXIMUM	UNITS
Active Area	—	1.5	—	Sq. mm (HFD-1060)
Active Area	—	5.1	—	Sq. mm (HFD-1100)
Responsivity	5	6	—	10 <sup>4</sup> V/W (850 nm); R <sub>f</sub> = 100K ohms
Responsivity	3.5	4	—	10 <sup>4</sup> V/W (633 nm); R <sub>f</sub> = 100K ohms
*Frequency Range <sup>1</sup>	DC	—	1.2	GHz
Noise Voltage <sup>2</sup>	—	700	—	10 <sup>-6</sup> V rms; R <sub>f</sub> = 100K ohms
Minimum Detectable Power	—	1.2	—	10 <sup>-6</sup> W at 850 nm; R <sub>f</sub> = 100K ohms
Minimum Detectable Power	—	1.8	—	10 <sup>-6</sup> W at 633 nm; R <sub>f</sub> = 100K ohms
Open Loop Gain	—	50	—	R <sub>f</sub> = 150 <sup>3</sup> ohms
Bias Current <sup>2</sup>	—	5	—	10 <sup>-4</sup> A
Offset Current <sup>2</sup>	—	3	—	10 <sup>-4</sup> A
Offset Voltage <sup>2</sup>	—	2	—	mV
Offset Voltage Drift	—	5	—	10 <sup>-4</sup> V/°C
Output Resistance	—	10	—	Ohms
Slow Rate	300	—	600	V/10 <sup>-6</sup> S
Supply Voltage	±5	—	±12	V
Supply Current	8	—	14	mA
Power Consumption	80	220	336	mW
Operating Temperature	0	—	70	°C

- Notes: 1. Gain bandwidth product.  
2. Doubles every +10°C.  
3. Adjustable to 0 volts with external trimming circuit.

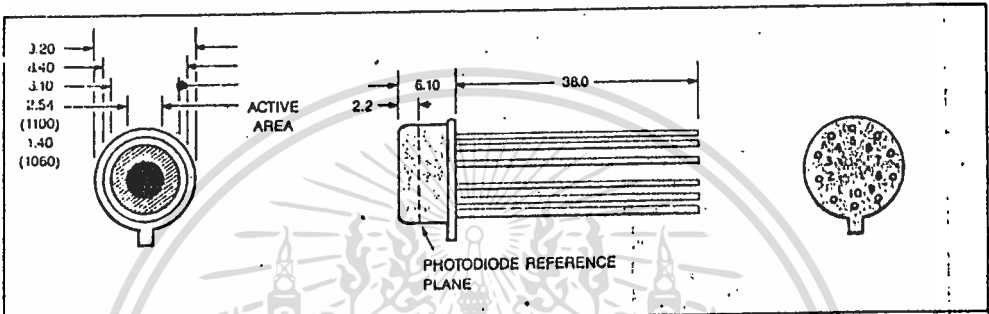
### Typical Spectral Response



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

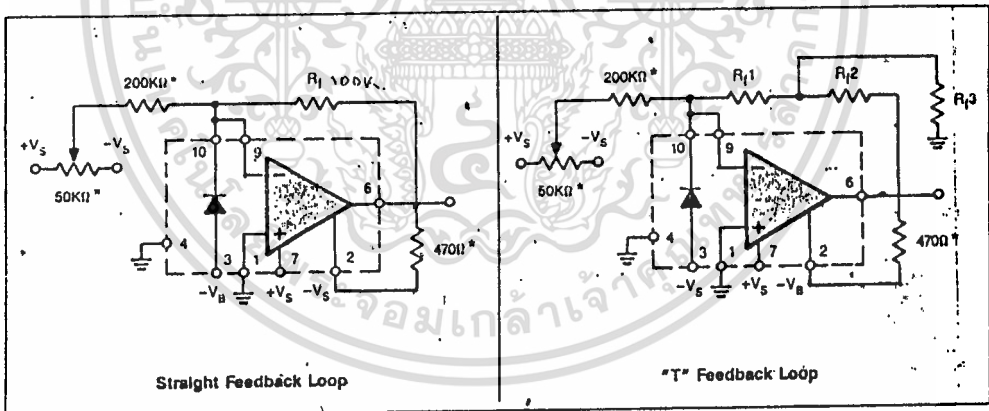
## Ultra-Fast Photodiode/Op-Amp

### Mechanical Data



- Notes:
1. All dimensions in millimeters.
  2. Pin circle diameter is 4.17 mm.

### Electrical Data



- Notes:
1. \* Indicates recommended resistor values.
  2. High frequency filtering may be required on power supply lines.

### Pin Assignments

- |   |       |                     |
|---|-------|---------------------|
| 1 | _____ | Signal Ground (+In) |
| 2 | _____ | -V Supply           |
| 3 | _____ | -V Bias (Anode)     |
| 4 | _____ | Case Ground         |
| 5 | _____ | Not Connected       |

- |    |       |                       |
|----|-------|-----------------------|
| 6  | _____ | Output                |
| 7  | _____ | +V Supply             |
| 8  | _____ | Compensation          |
| 9  | _____ | Inverting Input (-In) |
| 10 | _____ | Cathode               |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# Voltage Comparators

## LM161/LM261/LM361 High Speed Differential Comparators

### General Description

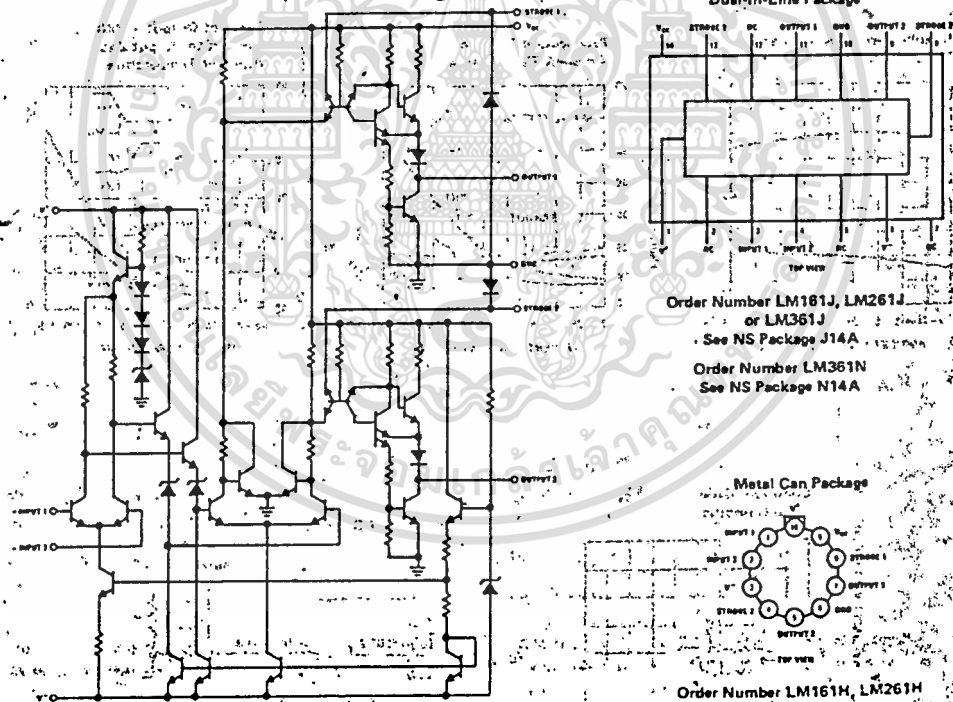
The LM161/LM261/LM361 is a very high speed differential input, complementary TTL output voltage comparator with improved characteristics over the SE529/NE529 for which it is a pin-for-pin replacement. The device has been optimized for greater speed performance and lower input offset voltage. Typically delay varies only 3 ns for over-drive variations of 5 mV to 500 mV. It may be operated from op amp supplies ( $\pm 15V$ ).

Complementary outputs having minimum skew are provided. Applications involve high speed analog to digital converters and zero-crossing detectors in disc file systems.

### Features

- Independent strobes
- Guaranteed high speed: 20 ns max
- Tight delay matching on both outputs
- Complementary TTL outputs
- Operates from op amp supplies:  $\pm 15V$
- Low speed variation with overdrive variation
- Low input offset voltage
- Versatile supply voltage range

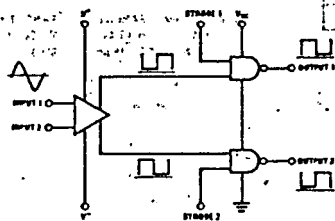
### Schematic and Connection Diagrams



Order Number LM161J, LM261J or LM361J  
See NS Package J14A  
Order Number LM361N  
See NS Package N14A

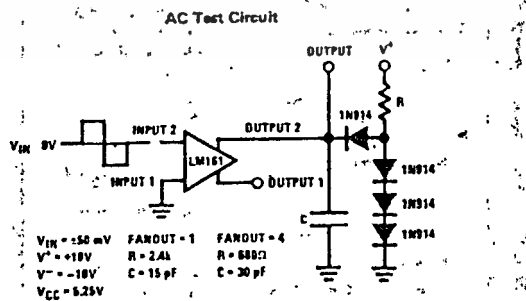
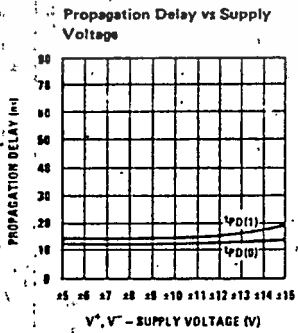
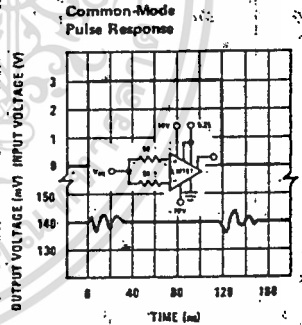
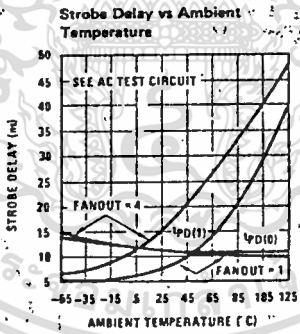
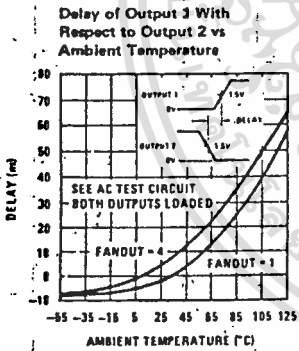
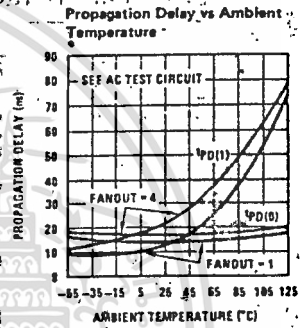
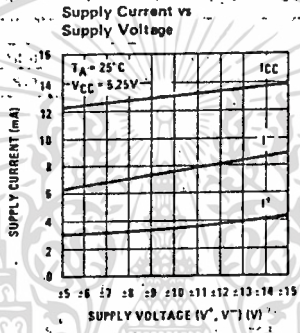
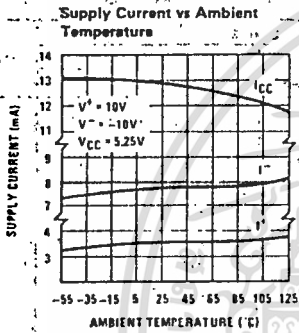
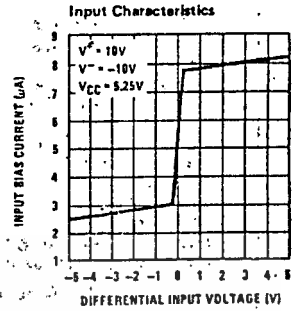
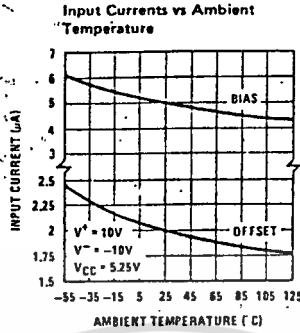
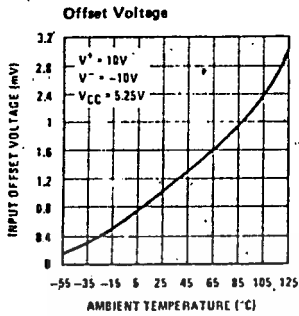
Order Number LM161H, LM261H or LM361H  
See NS Package H10C

### Logic Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Typical Performance Characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings

Positive Supply Voltage, $V^+$	+16V
Negative Supply Voltage, $V^-$	-16V
Gate Supply Voltage, $V_{CC}$	+7V
Output Voltage	+7V
Differential Input Voltage	±5V
Input Common Mode Voltage	±6V
Power Dissipation	600 mW
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Operating Temperature Range	$T_{MIN}$ $T_{MAX}$
LM161	-55°C to +125°C
LM261	-25°C to +85°C
LM361	0°C to +70°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	300°C
For Any Device Lead Below $V^-$	0.3V

## Operating Conditions

	MIN	TYP	MAX
Supply Voltage $V^+$			
LM161/LM261	5V		15V
LM361	5V		15V
Supply Voltage $V^-$			
LM161/LM261	-6V		-15V
LM361	-6V		-15V
Supply Voltage $V_{CC}$			
LM161/LM261	4.5V	5V	5.5V
LM361	4.75V	5V	5.25V

## Electrical Characteristics

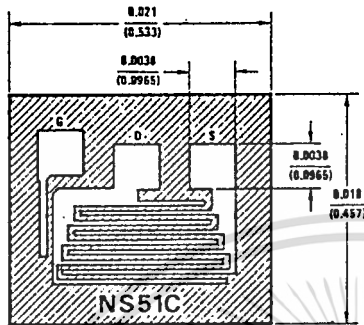
( $V^+ = +10V$ ,  $V_{CC} = +5V$ ,  $V^- = -10V$ ,  $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ , unless noted)

PARAMETER	CONDITIONS	LIMITS						UNITS
		LM161/LM261			LM361			
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage		1	3		1	5	mV	
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ C$	5	20		10	30	$\mu A$	
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ C$	2	3		2	5	$\mu A$	
Voltage Gain	$T_A = 25^\circ C$	3			3		V/mV	
Input Resistance	$T_A = 25^\circ C$ , $f = 1$ kHz	20			20		k $\Omega$	
Logical "1" Output Voltage	$V_{CC} = 4.75V$ , $I_{SOURCE} = -5$ mA	2.4	3.3		2.4	3.3	V	
Logical "0" Output Voltage	$V_{CC} = 4.75V$ , $I_{SINK} = 6.4$ mA		4			4	V	
Strobe Input "1" Current	$V_{CC} = 5.25V$ , $V_{STROBE} = 2.4V$		200			200	$\mu A$	
Strobe Input "0" Current	$V_{CC} = 5.25V$ , $V_{STROBE} = 4V$		-1.6			-1.6	mA	
Strobe Input "0" Voltage	$V_{CC} = 4.75V$		8			8	V	
Strobe Input "1" Voltage	$V_{CC} = 4.75V$	2		2			V	
Output Short Circuit Current	$V_{CC} = 5.25V$ , $V_{OUT} = 0V$	18	55		18	55	mA	
Supply Current $I^+$	$V^+ = 10V$ , $V^- = -10V$ , $V_{CC} = 5.25V$ , $-55^\circ C \leq T_A \leq 125^\circ C$		4.5				mA	
Supply Current $I^-$	$V^+ = 10V$ , $V^- = -10V$ , $V_{CC} = 5.25V$ , $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$		5				mA	
Supply Current $I^+$	$V^+ = 10V$ , $V^- = -10V$ , $V_{CC} = 5.25V$ , $55^\circ C \leq T_A \leq 125^\circ C$		10				mA	
Supply Current $I^-$	$V^+ = 10V$ , $V^- = -10V$ , $V_{CC} = 5.25V$ , $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$					10	mA	
Supply Current $I_{CC}$	$V^+ = 10V$ , $V^- = -10V$ , $V_{CC} = 5.25V$ , $-55^\circ C \leq T_A \leq 125^\circ C$		18				mA	
Supply Current $I_{CC}$	$V^+ = 10V$ , $V^- = -10V$ , $V_{CC} = 5.25V$ , $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$					20	mA	
<b>TRANSIENT RESPONSE</b>								
Propagation Delay Time ( $t_{p010}$ )	$V_{IN} = 50$ mV Overdrive, $T_A = 25^\circ C$	14	20		14	20	ns	
Propagation Delay Time ( $t_{p011}$ )	$T_A = 25^\circ C$	14	20		14	20	ns	
Delay Between Output A and B	$T_A = 25^\circ C$	2	6		2	5	ns	
Strobe Delay Time ( $t_{p010}$ )	$T_A = 25^\circ C$	8			8		ns	
Strobe Delay Time ( $t_{p011}$ )	$T_A = 25^\circ C$	8			8		ns	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Process 51 N-Channel JFET



GATE IS ALSO BACKSIDE CONTACT

### DESCRIPTION

Process 51 is designed primarily for electronic switching applications such as low ON resistance analog switching. It features excellent  $C_{iss}$ ,  $R_{DS(ON)}$  time constant. The inherent zero offset voltage and low leakage current make these devices excellent for chopper stabilized amplifiers, sample and hold circuits, and reset switches. Low feed-through capacitance also allows them to handle video signals to 100 MHz.

CHARACTERISTIC	PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Gate-Source Breakdown Voltage	$BV_{GSS}$	$V_{DS} = 0V, I_G = -1 \mu A$	-30	-50		V
Zero Voltage Drain Current	$I_{DSS}$	$V_{DS} = 20V, V_{GS} = 0$ Pulse Test	5.0	65	170	mA
Reverse Gate Leakage	$I_{GSS}$	$V_{GS} = -20V, V_{DS} = 0$		-15	-200	pA
"ON" Resistance	$r_{DS}$	$V_{DS} = 100 mV, V_{GS} = 0$	20	35	100	$\Omega$
Forward Transconductance	$g_{fs}$	$V_{DG} = 15V, I_D = 2 mA$		8.5		mmhos
Pinch Off Voltage	$V_{GS(OFF)}$	$V_{DS} = 20V, I_D = 1 nA$	-0.5	-4.5	-9.0	V
Drain "OFF" Current	$I_{D(OFF)}$	$V_{DS} = 20V, V_{GS} = -10V$		15	200	pA
Feedback Capacitance	$C_{rss}$	$V_{DG} = 15V, I_D = 5 mA, f = 1 MHz$		3.5	4.0	pF
Input Capacitance	$C_{iss}$	$V_{DS} = 15V, I_D = 5 mA, f = 1 MHz$		12	16	pF
Noise Voltage	$e_n$	$V_{DG} = 15V, I_D = 1 mA, f = 100 Hz$		6.0		$nV/\sqrt{Hz}$
Turn-On Time	$t_{on}$	$V_{DD} = 10V, I_D = 6.6 mA$		12	20	ns
Turn-Off Time	$t_{off}$	$V_{DD} = 10V, I_D = 6.6 mA$		40	80	ns

This process is available in the following device types. \*Denotes preferred parts.

#### TO-18 (CASE 02)

2N3970  
2N3971  
~~2N3972~~  
\*2N4091  
\*2N4092  
\*2N4093  
\*2N4391  
\*2N4392  
\*2N4393  
\*2N4856  
2N4856A  
\*2N4857  
2N4857A  
\*2N4858  
2N4858A  
2N4859  
2N4859A  
2N4860  
2N4860A

2N4861  
2N4861A

#### TO-72 (CASE 25)

\*NF5101  
\*NF5102  
\*NF5103

#### TO-92 (CASE 72)

\*2N5638  
\*2N5639  
\*2N5640  
2N5653  
2N5654  
\*J111  
\*J112  
\*J113  
\*PF5101  
\*PF5102  
\*PF5103  
\*PN4091

\*PN4092  
\*PN4093  
\*PN4391  
\*PN4392  
\*PN4393  
\*PN4856  
\*PN4857  
\*PN4858  
\*PN4859  
\*PN4860  
\*PN4861  
U1897E  
U1898E  
U1899E

#### TO-92 (CASE 74)

BF246A  
BF246B  
BF246C

#### TO-92 (CASE 77)

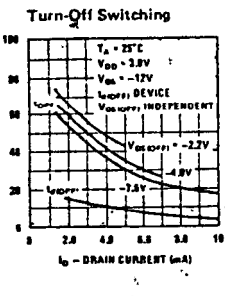
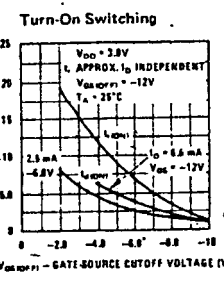
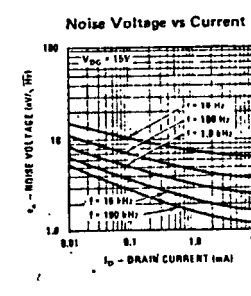
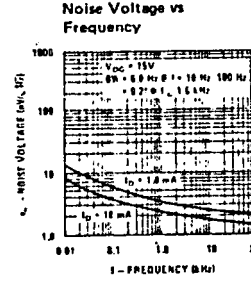
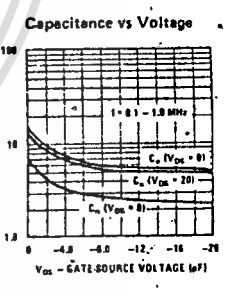
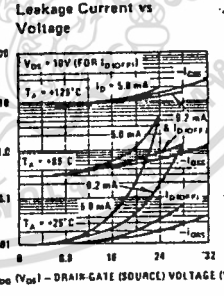
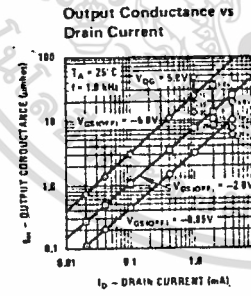
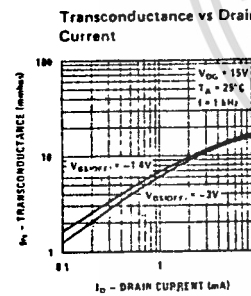
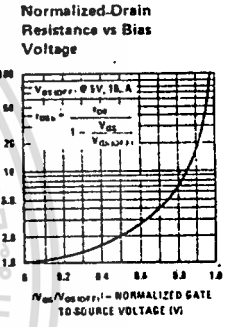
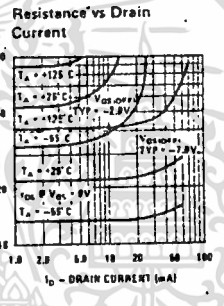
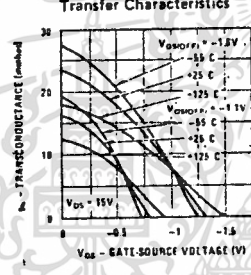
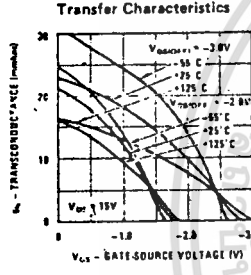
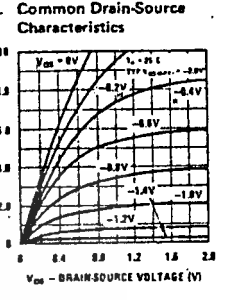
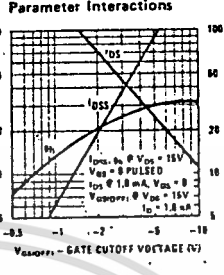
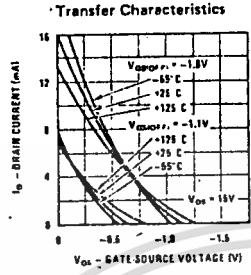
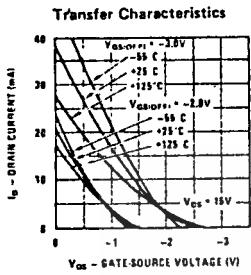
BF247A  
BF247B  
BF247C  
TIS73  
TIS74  
TIS75

#### QUALIFIED PER MIL-S-19500

2N4091 JAN, JANTX  
2N4092 JAN, JANTX  
2N4093 JAN, JANTX, JANTXV  
2N4856 JAN, JANTX, JANTXV  
2N4857 JAN, JANTX, JANTXV  
2N4858 JAN, JANTX, JANTXV  
2N4859 JAN, JANTX, JANTXV  
2N4860 JAN, JANTX, JANTXV  
2N4861 JAN, JANTX, JANTXV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดร.แดเนียล บริน อาจารย์ที่ปรึกษาผู้แนะนำและริเริ่มโครงการและให้คำปรึกษา รวมทั้งท่านอาจารย์ท่านอื่น ๆ อีกหลายท่านซึ่งมิได้เอ่ยนามไว้ ที่ได้ช่วยทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ประสงค์	ชจรัตน์เดช
พิชิต	สีเหนุมิจิตร
ไพโรจน์	เต็มสินธุ์สุวรรณ
ภาณุพันธ์	องค์ชัยวัฒน์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. STEVE NEWTON, "A new technique in o.t.d.r.",  
ELECTRONICS AND WIRELESS WORLD,  
Volume 94-95 May-June 1988.
2. K. NOGUCHI, "52 km-long single-mode optical fibre fault location  
using the stimulated raman scattering effect",  
ELECTRONICS LETTER,  
7th January 1982 Vol.18 No.1.
3. "optoelectronics device data", MOTOROLA INC.
4. J.A.COEKIN, "high speed pulse techniques",  
PERGAMON PRESS.