

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ เครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ

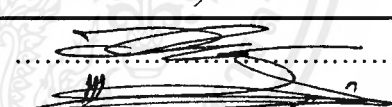
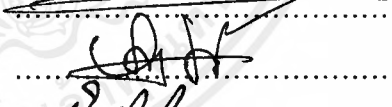
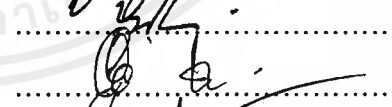
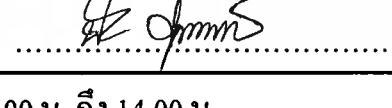
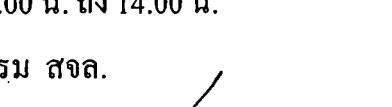
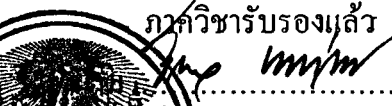
TRANSMISSION LINE CHARECTERISTIC METER

|              |               |               |              |          |
|--------------|---------------|---------------|--------------|----------|
| ชื่อนักศึกษา | 1. นายจิราวุธ | ตั้งอมรศิริ   | รหัสประจำตัว | 38031205 |
|              | 2. นายนิพนธ์  | จิราภากุล     | รหัสประจำตัว | 38031215 |
|              | 3. นายสมควร   | ฤทธิเจริญ     | รหัสประจำตัว | 38031231 |
|              | 4. นายสุพจน์  | พิสุทธิทรัพย์ | รหัสประจำตัว | 38031235 |

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

1. อาจารย์วิสุทธิ อธิพรธรรม
2. อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์
3. อาจารย์ประเสริฐ เกนพันค้อ

| คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ |                 | ลายมือชื่อ                                                                           |
|---------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. อาจารย์วิสุทธิ         | อธิพรธรรม       |  |
| 2. อาจารย์พีระวุฒิ        | สุวรรณจันทร์    |  |
| 3. อาจารย์ประเสริฐ        | เคนพันค้อ       |  |
| 4. อาจารย์ปิยะ            | จิตธรรมมาภิรมย์ |  |
| 5. อาจารย์อำพล            | ทองระอา         |  |
| 6. อาจารย์ปิยะ            | ศุภวราสุวัฒน์   |  |

วันเดือนปีที่สอบ วันที่ 24 เมษายน 2540 เวลา 13.00 น. ถึง 14.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.301 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

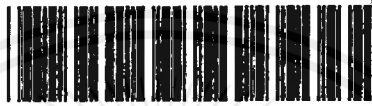
ภาควิชารับรองแล้ว  
ศาสตราจารย์ ดร. เทพหัสดิน ณ อยุธยา  
คณบดีภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง  
วันที่ 24 เดือน 4 พ.ศ. 2540



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาและวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ  
TRANSMISSION LINE CHARACTERISTIC METER



A021612

นายจิราวุธ ตั้งอมรศิริ  
นายนิพนธ์ จิระอากาศ  
นายสมควร ฤทธิเจริญ  
นายสุพจน์ พิสุทธิทรัพย์

|                   |            |        |
|-------------------|------------|--------|
| เลขหมู่.....      | 1843       | 021612 |
| เลขทะเบียน.....   |            |        |
| วัน เดือน ปี..... | 23 พค 2540 |        |

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ

TRANSMISSION LINE CHARACTERISTIC METER

## ผู้จัดทำ

1. นายจิราวุธ ตั้งอมรศิริ
2. นายนิพนธ์ จิรอากาศกุล
3. นายสมควร ฤทธิเจริญ
4. นายสุพจน์ พิสุทธิทรัพย์

## อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงนาม.....

(อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

ลงนาม.....

(อาจารย์ไพระวุฒิ สุวรรณจันทร์)

ลงนาม.....

(อาจารย์ประเสริฐ เคนพันก่อ)

## หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

ลงนาม.....

(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ

TRANSMISSION LINE CHARACTERISTIC METER

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการสื่อสารผ่านสายนำสัญญาณ
2. เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ
3. เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ และใช้งานเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ
4. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบสายนำสัญญาณของระบบสื่อสารข้อมูล

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจหลักการทำงานของเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ
2. สามารถออกแบบเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณที่ใช้ส่วนแสดงผลแบบจอผลึกเหลวได้
3. สามารถสร้างวงจรเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณที่ใช้ส่วนแสดงผลแบบจอผลึกเหลวได้
4. สามารถนำเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณไปใช้งานทดสอบสายนำสัญญาณในสภาพใช้งานจริงได้

## เครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ

|            |               |
|------------|---------------|
| นายจิราวุธ | ตั้งอมรศิริ   |
| นายนิพนธ์  | จิราภากุล     |
| นายสมควร   | ฤทธิ์เจริญ    |
| นายสุพจน์  | พิสุทธิทรัพย์ |

|                  |              |
|------------------|--------------|
| อาจารย์ที่ปรึกษา |              |
| อาจารย์วิสุทธิ   | อธิพรธรรม    |
| อาจารย์พีระวุฒิ  | สุวรรณจันทร์ |
| อาจารย์ประเสริฐ  | เคนพั่นค้อ   |
| ปีการศึกษา 2539  |              |

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เสนอเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณแบบตัวเลขโดยใช้แผงแสดงผลแบบผลึกเหลวขนาด 3.5 หลัก การทำงานของวงจรภาคแสดงผลใช้ไอซีเบอร์ ICL7106 ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และควบคุมการแสดงผลของแผงแสดงผลแบบผลึกเหลว เครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณนี้สามารถวัดระดับสัญญาณรบกวน, วัดค่าการสูญเสียของสัญญาณ และวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณได้ โดยมีค่าความผิดพลาดในการวัดประมาณ  $\pm 5$  เปอร์เซ็นต์

# TRANSMISSION LINE CHARACTERISTIC METER

MR.JERAWUT TUNGAMORNSIRI

MR.NIPON JIRA-ARPAKUN

MR.SOMKHUAN RICDCHAROEN

MR.SUPHOJ PISUTSUP

## ADVISORS

MR.WISUIT ATIPORNTUM

MR.PHERAWUTH SUWANJAN

MR.PRASERT KENPUNKHOR

1996

## ABSTRACT

This thesis presents the project of transmission line characteristic meter which displays by using Liquid Crystal Display (LCD) 3.5 digits. The operation of display circuit section use single ship Integrate Circuit to change analog signal to digital signal and control display of LCD. This transmission line characteristic meter can be measure level of noise, measure ratio of loss and measure impedance with error  $\pm 5$  percents.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากคณาจารย์ ประจำภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม โดยเฉพาะอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ทั้ง 3 ท่าน คือ อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม ที่ได้สละเวลาให้ข้อคิด และแนวทางการจัดทำ พร้อมทั้งตรวจ ปริญญานิพนธ์ อาจารย์พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์ ได้ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับปริญญานิพนธ์ อาจารย์ประเสริฐ เคนพันค้อ ผู้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับวงจรอิมพีแดนซ์ และแนวทางในการ ปรับปรุงแก้ไขวงจรอิมพีแดนซ์ อาจารย์ปิยะ สุภวราสุวัฒน์ ผู้ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน จนปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ และคุณแม่ผู้บังเกิดเกล้า ผู้เป็นแรงกำลังอันยิ่งใหญ่ทั้งกำลังใจ กำลังทรัพย์ และเป็นผู้ให้ตลอดมา

อนึ่ง ประโยชน์ และคุณความดีใดๆ ที่เกิดจากปริญญานิพนธ์นี้ขอบใจให้แก่คุณพ่อ คุณแม่ ผู้ให้กำเนิด ครูบาอาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชามาตั้งแต่ต้น และผู้ให้ความช่วยเหลือ ตลอดจนผู้ที่ให้กำลังใจเสมอมาจนทำให้ปริญญานิพนธ์สำเร็จได้ด้วยดี

## สารบัญ

| เรื่อง                                                     | หน้า |
|------------------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย                                            | I    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                                         | II   |
| กิตติกรรมประกาศ                                            | III  |
| สารบัญ                                                     | IV   |
| สารบัญตาราง                                                | VIII |
| สารบัญรูปภาพ                                               | IX   |
| บทที่ 1 บทนำ                                               | 1    |
| 1.1 หลักการและเหตุผลของปริญญานิพนธ์                        | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการทำปริญญานิพนธ์                       | 1    |
| 1.3 ขอบเขตของการทำปริญญานิพนธ์                             | 1    |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                              | 2    |
| 1.5 เนื้อหาโดยสังเขป                                       | 2    |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ                                    | 4    |
| 2.1 กล่าวนำ                                                | 4    |
| 2.2 สายนำสัญญาณ                                            | 4    |
| 2.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ขั้นต้นกับสายนำสัญญาณ | 4    |
| 2.2.2 ลักษณะคุณสมบัติทางอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ           | 6    |
| 2.2.3 สัมประสิทธิ์การลดทอน                                 | 9    |
| 2.3 การต่อตัวภาระเข้ากับสายนำสัญญาณ                        | 11   |
| 2.3.1 กรณีลัดวงจร                                          | 14   |
| 2.3.2 กรณีเปิดวงจร                                         | 15   |
| 2.4 สัมประสิทธิ์การสะท้อน และคลื่นนิ่ง                     | 16   |
| 2.4.1 สัมประสิทธิ์การสะท้อน                                | 16   |
| 2.4.2 คลื่นนิ่ง                                            | 17   |

## สารบัญ (ต่อ)

| เรื่อง                                                                                                       | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.4.3 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง                                                                                     | 20   |
| 2.4.4 การวัดค่า VSWR                                                                                         | 21   |
| 2.5 ชนิด และคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ                                                                          | 22   |
| 2.5.1 สายนำสัญญาณแบบสมดุลย์                                                                                  | 22   |
| 2.5.2 สายนำสัญญาณแบบไม่สมดุลย์                                                                               | 22   |
| 2.5.3 สายนำสัญญาณแบบใช้อากาศเป็นฉนวน                                                                         | 22   |
| 2.6 แผลงแสดงผลแบบผลึกเหลว                                                                                    | 23   |
| 2.6.1 ข้อดีของแผลงแสดงผลแบบแผลงแสดงผลแบบผลึกเหลว                                                             | 23   |
| 2.6.2 โครงสร้างของแผลงแสดงผลแบบผลึกเหลว                                                                      | 24   |
| 2.6.3 แผลงแสดงผลแบบผลึกเหลวแบบนีเมติกชนิดเกลียว                                                              | 25   |
| 2.6.4 การแสดงผลแบบต่างๆ ของแผลงแสดงผลแบบผลึกเหลว                                                             | 26   |
| 2.6.5 คุณสมบัติทางแสง                                                                                        | 26   |
| 2.6.6 มุมมอง                                                                                                 | 27   |
| 2.6.7 ความเร็วของการแสดงผล                                                                                   | 27   |
| 2.6.8 การขับแผลงแสดงผลแบบผลึกเหลว                                                                            | 27   |
| 2.6.9 หลักการเลือกใช้แผลงแสดงผลแบบผลึกเหลว                                                                   | 30   |
| 2.7 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล                                                                        | 31   |
| 2.7.1 วงจรเปรียบเทียบแบบขนาน หรือแบบแฟลช                                                                     | 31   |
| 2.7.2 วงจรแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่ใช้ในการอินทีเกรต                                                            | 33   |
| 2.7.3 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่ใช้วงจรนับ และ<br>วงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกประกอบกัน | 38   |
| 2.7.4 การสุ่มและการคงค่าสัญญาณ                                                                               | 42   |
| 2.7.5 การป้องกันความผิดพลาดจากสัญญาณแอนะล็อกของอินพุต<br>เปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล              | 42   |
| 2.8 วงจรกำเนิดสัญญาณคลื่นไซน์                                                                                | 51   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

| เรื่อง                                                        | หน้า      |
|---------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน</b>                 | <b>55</b> |
| 3.1 กล่าวนำ                                                   | 55        |
| 3.2 หลักการทำงานของเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ          | 55        |
| 3.3 อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในภาคแสดงผล                    | 56        |
| 3.3.1 ไอซีควบคุมการทำงานของส่วนแสดงผล                         | 56        |
| 3.3.2 การเลือกอุปกรณ์สำหรับ ICL7106                           | 59        |
| 3.3.3 รายละเอียดในการออกแบบใช้งาน ICL7106                     | 61        |
| 3.4 การออกแบบวงจรภาคแสดงผล                                    | 61        |
| 3.5 หลักการทำงานของวงจรภาคส่ง                                 | 63        |
| 3.6 หลักการทำงานของวงจรภาครับ                                 | 70        |
| 3.6.1 วงจรปรับแต่งสัญญาณ                                      | 70        |
| 3.6.2 วงจรขยายเสียง                                           | 72        |
| 3.7 วงจรวัดอิมพีแดนซ์                                         | 73        |
| 3.7.1 กรณีที่ยังไม่ต่อสายนำสัญญาณ                             | 73        |
| 3.7.2 กรณีที่ต่อสายนำสัญญาณเพื่อทำการวัด                      | 74        |
| 3.8 วงจรเครื่องส่งสัญญาณย่านความถี่วิทยุเอฟเอ็ม               | 74        |
| 3.8.1 การออกแบบวงจรเครื่องส่งสัญญาณย่านความถี่ความถี่วิทยุ    | 74        |
| 3.8.2 การสร้างวงจรเครื่องส่งสัญญาณย่านความถี่วิทยุ            | 74        |
| <b>บทที่ 4 การทดลองผลการทดลอง และการทดสอบ</b>                 | <b>76</b> |
| 4.1 กล่าวนำ                                                   | 76        |
| 4.2 วิธีการใช้ และบำรุงรักษาเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ | 76        |
| 4.3 การทดลองวัดสายนำสัญญาณ                                    | 76        |
| 4.3.1 การวัดค่าความสูญเสียภายในสายนำสัญญาณ                    | 76        |
| 4.3.2 การวัดสัญญาณรบกวนภายในสายนำสัญญาณ                       | 78        |
| 4.3.3 การวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ                       | 79        |

## สารบัญ (ต่อ)

| เรื่อง                                                              | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------|------|
| 4.4 การวัดสัญญาณที่จุดต่างๆ ในวงจรภาคส่ง และภาครับ                  | 80   |
| 4.4.1 สัญญาณเอาต์พุตของภาคส่ง                                       | 80   |
| 4.4.2 สัญญาณที่อินพุตของภาครับ                                      | 81   |
| 4.4.3 สัญญาณจากขา 12 ของ IC LM324D                                  | 81   |
| 4.4.4 สัญญาณจากขา 4 ของ IC LM324D                                   | 81   |
| 4.4.5 สัญญาณจากขา 8 ของ IC LM324D                                   | 83   |
| 4.4.6 สัญญาณจากขา 6 ของ IC LF351                                    | 83   |
| 4.4.7 สัญญาณเสียง                                                   | 83   |
| 4.5 ตารางค่าการสูญเสีย                                              | 85   |
| - บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา                         | 87   |
| 5.1 บทสรุป                                                          | 87   |
| 5.2 ปัญหา                                                           | 87   |
| 5.3 แนวทางแก้ไข และพัฒนา                                            | 89   |
| ภาคผนวก ก รูปแบบเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ                   | 91   |
| ภาคผนวก ข วงจร และแผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ | 95   |
| ภาคผนวก ค รายการข้อมูล และคุณสมบัติของอุปกรณ์                       | 107  |
| ประวัติผู้แต่ง                                                      | 127  |
| บรรณานุกรม                                                          | 131  |

## สารบัญตาราง

| ตาราง                                                                                | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนมัลติเพล็กซ์กับจำนวนจุดต่อ                | 30   |
| ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตที่เป็นแอนะล็อกกับเอาต์พุตที่เป็นดิจิทัล | 32   |



## IX

### สารบัญภาพ

| รูปภาพ                                                                                         | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 2.1 การแพร่คลื่นจากสายแบบเส้นคู่                                                        | 5    |
| รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลย์ของสายนำสัญญาณที่ไม่คิดการลดทอน                                          | 6    |
| รูปที่ 2.3 ลักษณะสมบัติทางอิมพีแดนซ์ของสาย                                                     | 7    |
| รูปที่ 2.4 ค่า $Z_0$ ในวงจรไฟฟ้าของสายนำสัญญาณ                                                 | 7    |
| รูปที่ 2.5 การหาขนาด $D$ และ $d$ ของสายโคแอกเชียล                                              | 9    |
| รูปที่ 2.6 การหาขนาด $S$ และ $d$ ของสายแบบเส้นคู่                                              | 9    |
| รูปที่ 2.7 ตัวภาระที่ต่อกับสายนำสัญญาณที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ $Z_0$                          | 12   |
| รูปที่ 2.8 กรณีไม่สมมูลย์กับสายนำสัญญาณ                                                        | 12   |
| รูปที่ 2.9 เวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสของสายที่ลัดวงจร                                      | 14   |
| รูปที่ 2.10 เวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสของสายที่เปิดวงจร                                    | 15   |
| รูปที่ 2.11 เวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสในกรณีที่มีตัวภาระ ( $R$ ) ต่ออยู่                   | 16   |
| รูปที่ 2.12 เวกเตอร์ของส่วนประกอบต่างๆ บนสายนำสัญญาณ                                           | 18   |
| รูปที่ 2.13 คลื่นนิ่งที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้า และกระแสนบนสายนำสัญญาณ                              | 18   |
| รูปที่ 2.14 โครงสร้างของสายแบบเปิด                                                             | 22   |
| รูปที่ 2.15 โครงสร้างของแผงแสดงผลแบบผลึกเหลว                                                   | 24   |
| รูปที่ 2.16 การแสดงผลเชิงบวก                                                                   | 25   |
| รูปที่ 2.17 วงจรสมมูลย์ของแผงแสดงผลแบบผลึกเหลว                                                 | 27   |
| รูปที่ 2.18 การสลับเฟสของการขับโดยตรงโดยมี Exclusive OR Gate ควบคุมแรงดัน<br>ส่งไปให้ส่วนต่างๆ | 28   |
| รูปที่ 2.19 ตัวเลขหนึ่งตัวกับจุดทศนิยมเป็น 8 ส่วน โดยใช้มัลติเพล็กซ์ 1:3                       | 29   |
| รูปที่ 2.20 การต่อวงจร Parallel Comparator A/D Converter                                       | 32   |
| รูปที่ 2.21 ผังการทำงานของวงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโลปเดี่ยว                    | 34   |
| รูปที่ 2.22 ความชันของสัญญาณแรมป์                                                              | 34   |
| รูปที่ 2.23 ผังการทำงานของวงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโลปคู่                       | 35   |
| รูปที่ 2.24 แรงดันขาออกของวงจรอินทิเกรตเตอร์เทียบกับเวลา                                       | 36   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| รูปภาพ                                                                                                                           | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 2.25 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบเคลด้า-ซิกม่า                                                                 | 37   |
| รูปที่ 2.26 วงจรเอพูตีแบบวงจรนับเดี่ยวยที่สร้างโดยวงจรนับขึ้น และวงจรตีทุเอ                                                      | 38   |
| รูปที่ 2.27 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่สร้างขึ้นจากวงจรนับขึ้น/ลง และวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก            | 39   |
| รูปที่ 2.28 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบใช้การประมาณค่า                                                               | 41   |
| รูปที่ 2.29 ความผิดพลาดที่เกิดจากสัญญาณแอนะล็อกทางอินพุตเปลี่ยนแปลง                                                              | 41   |
| รูปที่ 2.30 รูปสัญญาณที่เกิดจากการแคลมป์แรงดันอินพุตในอุดมคติ                                                                    | 44   |
| รูปที่ 2.31 ผังการทำงานของการจัดส่วนป้องกันทางอินพุต                                                                             | 44   |
| รูปที่ 2.32 วงจรป้องกันอย่างง่าย โดยใช้ซีเนอร์ไดโอดแคลมป์แรงดัน                                                                  | 45   |
| รูปที่ 2.33 การต่อทรานซิสเตอร์อิมิตเตอร์ตามแทนซีเนอร์ไดโอด                                                                       | 45   |
| รูปที่ 2.34 การต่อตัวความต้านทานแบ่งแรงดันอ้างอิงให้กับทรานซิสเตอร์                                                              | 46   |
| รูปที่ 2.35 (ก) การใช้ซีเนอร์ไดโอดรักษาระดับแรงดันอ้างอิง<br>(ข) การต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ เพื่อปรับความละเอียดของแรงดันอ้างอิง | 47   |
| รูปที่ 2.36 การต่อซีเนอร์ไดโอดอนุกรมกับขาอิมิตเตอร์เพื่อเพิ่มช่วงแรงดันการป้องกัน                                                | 48   |
| รูปที่ 2.37 การใช้ไดโอด $D_2$ ป้องกันการไหลย้อนกลับที่รอยต่อเบส-อิมิตเตอร์ เมื่อทรานซิสเตอร์ทำงาน                                | 49   |
| รูปที่ 2.38 การเพิ่มทรานซิสเตอร์เพื่อการป้องกันแรงดันอินพุตที่เป็นลบ                                                             | 49   |
| รูปที่ 2.39 การแบ่งแรงดันอ้างอิงให้กับทรานซิสเตอร์ด้วยตัวความต้านทาน $R_1$ ถึง $R_3$                                             | 50   |
| รูปที่ 2.40 การจัดวงจรป้องกันโดยจำกัดค่าแรงดันอินพุตไม่เกิน $\pm 10$ โวลต์                                                       | 51   |
| รูปที่ 2.41 แผนผังการทำงานของขาต่างๆ ของ XR-2206                                                                                 | 52   |
| รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ                                                                    | 55   |
| รูปที่ 3.2 ส่วนวงจรภาคแอนะล็อกของ ICL7106                                                                                        | 57   |
| รูปที่ 3.3 การต่อ Exclusive OR Gate เพื่อขับส่วนที่เป็นจุดทศนิยม                                                                 | 58   |
| รูปที่ 3.4 วงจรส่วนดิจิทัลของ ICL7106                                                                                            | 59   |
| รูปที่ 3.5 แผลงแสดงผลแบบจอผลึกเหลวขนาด 3.5 หลัก แบบธรรมดา                                                                        | 62   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| รูปภาพ                                                                                         | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 3.6 วงจรผลิตคลื่นรูปไซน์อย่างง่ายโดยแหล่งจ่ายตัวเดียว                                   | 64   |
| รูปที่ 3.7 วงจรผลิตคลื่นรูปไซน์                                                                | 65   |
| รูปที่ 3.8 วงจรทวินท์อย่างง่ายที่ใช้สำหรับปรับค่าความเพี้ยน                                    | 66   |
| รูปที่ 3.9 วงจรเพิ่มเติมเพื่อลดออฟเซตดิซี                                                      | 67   |
| รูปที่ 3.10 วงจรกำเนิดคลื่นรูปสามเหลี่ยมสามารถปรับความถี่ได้                                   | 67   |
| รูปที่ 3.11 วงจรผลิตคลื่นรูปสี่เหลี่ยมที่สามารถปรับความถี่อย่างง่าย                            | 68   |
| รูปที่ 3.12 วงจรเพิ่มเติมที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำที่สามารถปรับขนาดได้                             | 69   |
| รูปที่ 3.13 วงจรผลิตรูปคลื่นหลายรูปแบบ                                                         | 69   |
| รูปที่ 3.14 วงจรภาครับ                                                                         | 71   |
| รูปที่ 3.15 วงจรวัดอิมพีแดนซ์                                                                  | 73   |
| รูปที่ 3.16 วงจรเครื่องส่งสัญญาณย่านความถี่วิทยุเอฟเอ็ม                                        | 75   |
| รูปที่ 4.1 การต่อเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณซึ่งใช้วัดค่าความสูญเสียภายในสายนำสัญญาณ     | 77   |
| รูปที่ 4.2 การต่อเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ เพื่อใช้ในการวัดสัญญาณรบกวนภายในสายนำสัญญาณ | 79   |
| รูปที่ 4.3 สัญญาณที่เอาต์พุตของภาคส่ง                                                          | 80   |
| รูปที่ 4.4 สัญญาณที่อินพุตของภาครับ                                                            | 81   |
| รูปที่ 4.5 สัญญาณจากขา 12 ของ IC LM324D                                                        | 82   |
| รูปที่ 4.6 สัญญาณจากขา 4 ของ IC LM324D                                                         | 82   |
| รูปที่ 4.7 สัญญาณจากขา 8 ของ IC LM324D                                                         | 83   |
| รูปที่ 4.8 สัญญาณขา 6 ของ IC LF351                                                             | 84   |
| รูปที่ 4.9 สัญญาณเสียง                                                                         | 84   |

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 หลักการและเหตุผลของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันนี้จะเห็นได้ว่ามีโครงข่ายที่ให้บริการด้านสื่อสารข้อมูลอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งองค์ประกอบสำคัญของการให้บริการการสื่อสาร คือ สายส่งหรือสายนำสัญญาณที่ดีและมีคุณภาพ และเนื่องจากในปัจจุบัน เครื่องมือที่ใช้วัดคุณสมบัติของสายส่งและสายนำสัญญาณ ยังมีราคาแพง ประกอบกับความสำคัญของการหาคุณสมบัติต่างๆ ของสายส่งหรือสายนำสัญญาณ จึงได้จัดทำปริญญานิพนธ์นี้ขึ้น ซึ่งสายส่ง และสายนำสัญญาณจะแบ่งออกตามการใช้งาน และชนิดของวัตถุที่นำมาสร้าง เช่น สายทองแดง สายใยแก้วนำแสง เป็นต้น เครื่องมือชุดนี้เรียกว่า เครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ ซึ่งคุณสมบัติของเครื่องมือชุดนี้จะช่วยบอกถึงการสูญเสียของพลังงาน, การสูญเสียเนื่องจากความถี่, การรบกวนจากสายนำสัญญาณข้างเคียง และความไม่สมดุลของความต้านทาน โดยแสดงผลเป็นตัวเลขแบบจอผลึกเหลว และยังสามารถที่จะพัฒนาเครื่องมือดังกล่าว เพื่อแสดงผลทางคอมพิวเตอร์ได้อีกด้วย

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการทำปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องทดสอบสายนำสัญญาณ และนำผลการศึกษาที่ได้ไปออกแบบ แล้วทำการสร้างเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณแบบแสดงผลด้วยตัวเลขแบบจอผลึกเหลว ตลอดจนการทดสอบเครื่องมือที่ได้สร้างขึ้น และการนำเอาเครื่องทดสอบสายนำสัญญาณที่สร้างขึ้นไปใช้งานจริงได้

### 1.3 ขอบเขตของการทำปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์นี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณแสดงผลด้วยระบบตัวเลขแบบจอผลึกเหลว โดยมีไอซีแสดงผลแบบดิจิตอลเบอร์ ICL7106 เป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวควบคุมการทำงานของส่วนแสดงผล ซึ่งจะมีรายละเอียดและคุณสมบัติของเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณดังต่อไปนี้

- 1.3.1 เป็นเครื่องทดสอบคู่สายโทรศัพท์ และคู่สายสื่อสารข้อมูล
- 1.3.2 สามารถวัดค่าระดับสัญญาณจาก -40 เดซิเบล ถึง -3 เดซิเบล
- 1.3.3 สามารถวัดค่าระดับสัญญาณรบกวน (Noise) ได้
- 1.3.4 สามารถทำการลูปแบ็ก (Loop-Back) เพื่อวัดค่าสูญเสียของสัญญาณได้
- 1.3.5 วัดค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของสายนำสัญญาณได้
- 1.3.6 แสดงผลเป็นตัวเลขด้วยจอผลึกเหลว

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

หลังจากที่ได้ทำปริญญานิพนธ์นี้แล้ว คาดว่าจะได้รับประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังนี้

- 1.4.1 มีความรู้ในการทำงานของเครื่องวัดคุณสมบัติสายนำสัญญาณ
- 1.4.2 มีความรู้ในหลักการทำงานของวงจรภาคต่างๆ ของเครื่องวัดคุณสมบัติสายนำสัญญาณ
- 1.4.3 มีความรู้ในหลักการทำงานของแสดงผลแบบตัวเลขบนจอผลึกเหลว
- 1.4.4 ได้เครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ
- 1.4.5 สามารถนำเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณไปใช้งานจริงได้

#### 1.5 เนื้อหาโดยสังเขป

ในปริญญานิพนธ์นี้จะประกอบไปด้วยเนื้อหาทั้งหมด 5 บท ได้แก่ บทนำ, ทฤษฎีและหลักการ, การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน, การทดลอง ผลการทดลอง และบทสรุปปัญหา, แนวทางแก้ไข และพัฒนาข้อเสนอแนะต่างๆ

บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ บทนี้เป็นรายละเอียดของทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำปริญญานิพนธ์ เช่น ทฤษฎีของสายนำสัญญาณ, ทฤษฎีของวงจรกำเนิดสัญญาณ และทฤษฎีของการแสดงผลด้วยตัวเลข เป็นต้น

บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน กล่าวถึงเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ ตลอดจนรายละเอียดของการออกแบบ และการสร้างโครงงานนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 การทดลอง ผลการทดลอง และการทดสอบ ประกอบไปด้วยรายละเอียดของ  
ผลการทดลอง วิธีการทดลอง และทดสอบเครื่องมือที่สร้างขึ้น

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา บทนี้เป็นการสรุปผลการทดลอง  
และปัญหาที่เกิดขึ้น ตลอดจนการแก้ไข และแนวทางการพัฒนาปริญญานิพนธ์

ภาคผนวก ก รูปแบบของเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ

ภาคผนวก ข วงจร และแผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ

ภาคผนวก ค รายการข้อมูล และคุณสมบัติของอุปกรณ์

บรรณานุกรม



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการ และทฤษฎีต่างๆ คือ ลักษณะของสายนำสัญญาณที่ใช้งานในปัจจุบัน, รายละเอียดของวงจรที่ใช้งานต่างๆ เช่น วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล, วงจรลดทอน, วงจรป้องกันอินพุตของวงจรเอชดี, รายละเอียดของแผงแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD) และวงจรการทำงานพื้นฐานของภาคส่งสัญญาณ

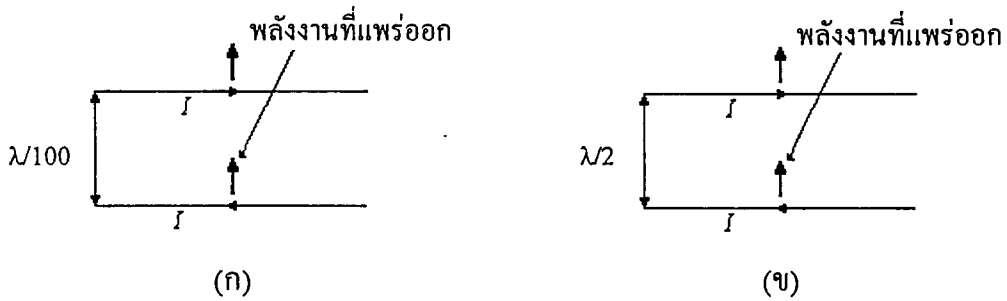
#### 2.2 สายนำสัญญาณ

##### 2.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติขั้นต้นกับสายนำสัญญาณ

ในสายโคแอกเชียลมีตัวนำอยู่ 2 เส้น คือ ตัวนำชั้นใน กับตัวนำชั้นนอก ตัวนำชั้นในคือ ลวดทองแดง ส่วนตัวนำชั้นนอกคือ ลวดทองแดงสาน ซึ่งตัวนำชั้นนอกทำหน้าที่เหมือนฉากกั้น (Screen) มีผลทำให้ลดการแพร่ของพลังงานจากภายในสายโคแอกเชียลออกสู่ภายนอกสายไปได้ หรือทำนองกลับกัน คือ กันพลังงานจากภายนอกแทรกเข้ามารบกวนภายในสาย

ประสิทธิภาพในการทำหน้าที่เป็นฉากกั้น จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของตัวนำชั้นนอกอย่างเช่น ถ้าใช้ท่อทองแดงเป็นตัวนำชั้นนอกจะมีประสิทธิภาพดีมาก คือ ไม่มีการรั่วไหลของพลังงานเลย แต่ถ้าใช้ลวดทองแดงสาน พบว่าไม่ดีเท่าที่ควร คือ จะมีประสิทธิภาพลดลง เมื่อความถี่ใช้งานสูงขึ้น ซึ่งมักใช้ลวดทองแดงสายในสายโคแอกเชียลแบบอ่อน

สำหรับกรณีสายแบบเส้นคู่ ระยะห่างระหว่างตัวนำทั้งสองเส้นมีความสำคัญมาก คือ ถ้าตัวนำทั้งสองเส้นมีระยะห่างทางไฟฟ้าใกล้กันมาก พลังงานที่แพร่จากตัวนำเส้นหนึ่งจะไปหักล้างกับส่วนของอีกเส้น สิ่งนี้เกิดขึ้นเพราะที่ทุกๆ จุดบนสายทั้งสองจะมีกระแสนาฬิกาเท่ากันไหลอยู่ แต่มีทิศทางตรงข้ามกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1



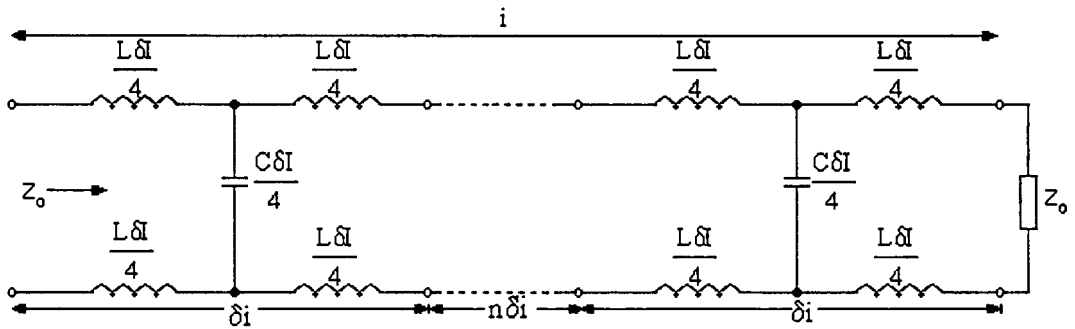
รูปที่ 2.1 การแพร่คลื่นจากสายแบบเส้นคู่

พิจารณา รูปที่ 2.1 (ก) แสดงทิศของกระแสในตัวนำแต่ละเส้นว่ามีทิศตรงข้ามกัน และระยะห่างระหว่างตัวนำเท่ากับ  $\lambda/100$  พลังงานที่แพร่ออกจากตัวนำเส้นล่างจะมีค่าเฟสต่างกับพลังงานที่แพร่ออกจากเส้นบน เพราะทิศของกระแสต่างกัน และระยะห่างขนาด  $\lambda/100$  เทียบกับเฟสได้ 3.6 องศา จึงทำให้พลังงานจากทั้งสองเส้น เกือบหักล้างกันหมดไป

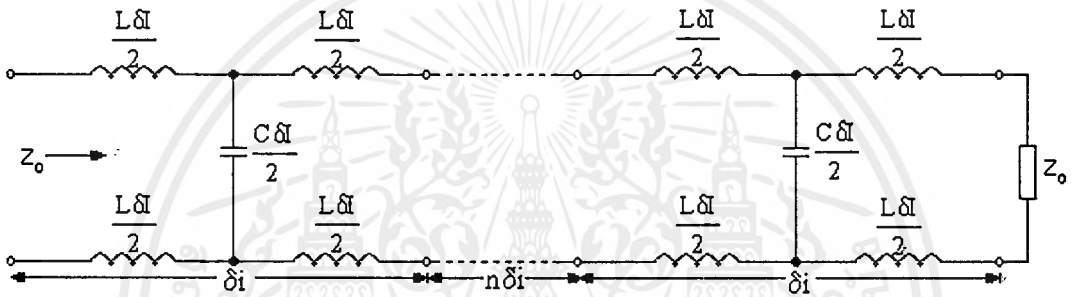
ส่วนรูปที่ 2.1 (ข) ระยะห่างมีค่าเท่ากับ  $\lambda/2$  จากเดิมที่พลังงานจากเส้นล่างมีเฟสตามหลังอยู่ 180 องศา เมื่อบวกเพิ่มกับระยะห่างที่พลังงานเดินทางไปเส้นบนอีก  $\lambda/2$  หรืออีก 180 องศา ทำให้เฟสที่เปลี่ยนไปทั้งหมดเท่ากับ 180 องศาบวก 180 องศา หรือเท่ากับ 360 องศา ดังนั้น หมายถึงพลังงานจากทั้งสองเส้นจะเสริมค่ากัน

ในกรณีวิฤต ค่าการลดทอนของสายที่เกิดจากค่าความต้านทาน และค่าความนำสามารถละทิ้งไม่นำมาคิดได้ เพราะมีค่าน้อยมาก ทำให้สามารถแทนโครงสร้างทางไฟฟ้าของสายใหม่ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ก)

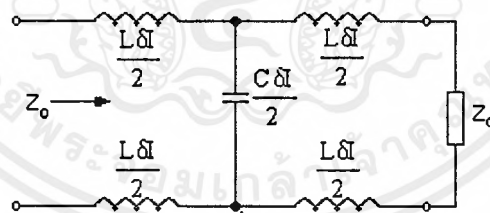
พิจารณาจากรูปที่ 2.2 (ก) เราแบ่งสายออกเป็นส่วนเล็กๆ ขนาดเท่ากันจำนวนมาก แต่ละส่วนยาวเท่ากับ  $\delta l$  ต่อเรียงกันเป็นแถวยาว แต่ละส่วนเล็กๆ นี้มีค่าปาริเตอร์ขนาด  $C\delta l$  ต่อขนานอยู่ และมีอินดักเตนซ์กระจายเท่าๆ กันตลอดความยาวของสาย เพื่อให้ง่ายขึ้นเขียนค่าความเหนี่ยวนำใหม่ดังรูปที่ 2.2 (ข) และค่าความเหนี่ยวนำของแต่ละส่วนเล็กๆ มีขนาด  $L\delta l$



(ก)



(ข)



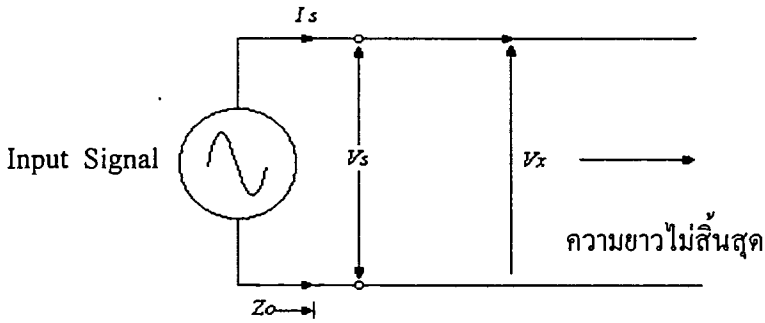
(ค)

รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลของสายนำสัญญาณที่ไม่เกิดการลดทอน

### 2.2.2 ลักษณะคุณสมบัติทางอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ

แทนด้วยสัญลักษณ์  $Z_0$  เป็นค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายที่มีความยาวไม่สิ้นสุด  
พิจารณารูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

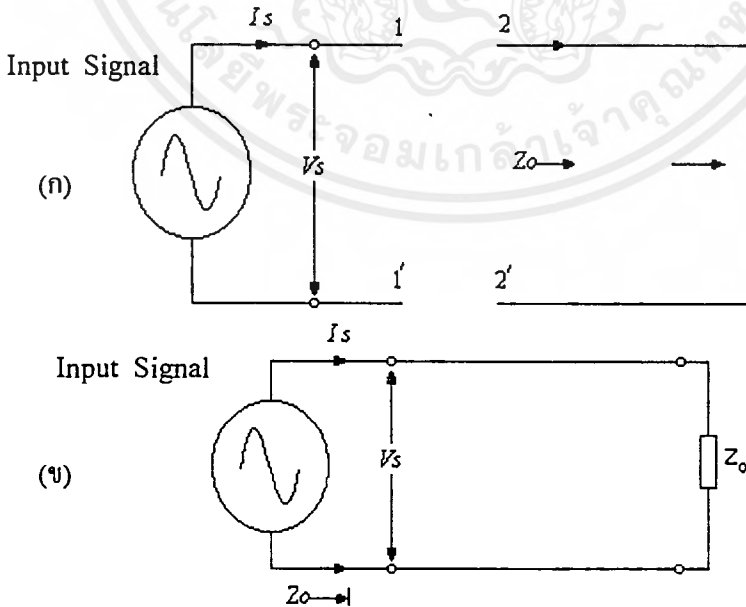


รูปที่ 2.3 ลักษณะคุณสมบัติทางอิมพีแดนซ์ของสาย

จากรูป ค่าอิมพีแดนซ์อิมพีแดนซ์ มีค่าเท่ากับอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าคร่อมจุดส่ง ( $V_s$ ) กับกระแสที่ไหลบนสาย ( $I_s$ ) เขียนได้เป็นสมการที่ 2.1

$$Z_o = \frac{V_s}{I_s} \quad (2.1)$$

หรืออาจคิดค่าที่ทุกจุดใดๆ บนสายคือค่าอัตราส่วน  $V_x/I_x$  เท่ากับ  $Z_o$  ก็ได้ สมมุติให้ตัดสายให้มีความยาวจำกัดที่จุดส่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ก)



รูปที่ 2.4 ค่า  $Z_o$  ในวงจรไฟฟ้าของสายนำสัญญาณ

ส่วนที่เหลือของสายยังมีความยาวไม่สิ้นสุดอยู่ ดังนั้น ค่าอิมพีแดนซ์ที่วัดที่จุด 2-2' มีขนาดเท่ากับค่าคุณสมบัติทางอิมพีแดนซ์ของสาย ทำให้ได้ว่าก่อนตัดสายที่จุด 1-1' จะมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $Z_0$  ดังนั้น ถ้านำตัวภาระมาต่อที่จุด 1-1' ให้มีขนาดตัวภาระเท่ากับ  $Z_0$  ก็จะไม่ทำให้คุณสมบัติของสายเปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ข) เรียกสายที่ถูกต่อด้วยตัวภาระขนาด  $Z_0$  นี้ว่ามีการต่อปลายสายที่ถูกต้อง

ทำให้วงจรสมมูลของสายที่ไม่เกิดการลดทอน จากรูปที่ 2.2 (ก) และ (ข) สามารถย่อให้เล็กลงโดยการต่อตัวภาระขนาด  $Z_0$  ดังในรูปที่ 2.2 (ค)

ค่าลักษณะสมบัติทางอิมพีแดนซ์ของสายที่ใช้งานในความถี่วิทยุ คิดค่าได้จากสมการที่ 2.2 คือ

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{โอห์ม} \quad (2.2)$$

โดยที่  $L$  และ  $C$  คือ ค่าอินดักแตนซ์ และคาปาซิแตนซ์ที่คิดต่อหนึ่งเมตร สำหรับสูตรคำนวณหา  $Z_0$  จากสายนำสัญญาณแต่ละแบบมีดังนี้

- สายแบบโคแอกเชียลที่มีอากาศเป็นฉนวน

$$Z_0 = 138 \log_{10} \frac{D}{d} \quad \text{โอห์ม} \quad (2.3)$$

ค่า  $D$  แทนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำชั้นนอก

$d$  แทนขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำชั้นใน ดังแสดงในรูปที่ 2.5

- สายแบบเส้นคู่ที่มีอากาศเป็นฉนวน

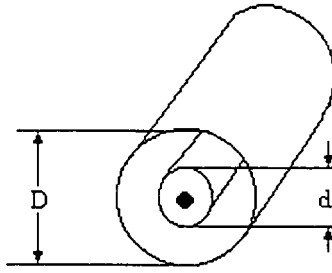
$$Z_0 = 276 \log_{10} \frac{2S}{d} \quad \text{โอห์ม} \quad (2.4)$$

ค่า  $S$  แทนระยะห่างระหว่างตัวนำทั้งสองเส้น

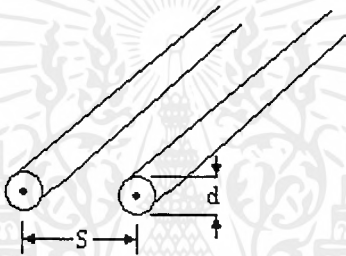
$d$  แทนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำทั้งสองเส้น ซึ่งเท่ากัน ดังแสดงใน

รูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ขนาด  $D$  และ  $d$  ของสายโคแอกเชียล



รูปที่ 2.6 ขนาด  $S$  และ  $d$  ของสายแบบเส้นคู่

ถ้าสายทั้งสองแบบข้างต้นใช้ฉนวนชนิดอื่นระหว่างตัวนำ ค่า  $Z_0$  จะลดลงเหลือ  $Z_0 / \sqrt{\epsilon_r}$  โดย  $\epsilon_r$  คือ ค่าเพอร์มิทิวตี้สัมพัทธ์ของฉนวนที่ใช้เป็นอากาศ โดยค่า  $\epsilon_r$  ของอากาศ เท่ากับ 1

ในการใช้งานจริงมีวิธีหาค่าลักษณะสมบัติทางอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณมีวิธีการ คือ วัดค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายเมื่อเราทำการกับสายดังนี้

1. เปิดวงจร แทนค่าด้วย  $Z_{oc}$
2. ลัดวงจร แทนค่าด้วย  $Z_{sc}$

โดยหาค่า  $Z_0$  ได้จาก;  $Z_0 = \sqrt{(Z_{oc} Z_{sc})}$  โอห์ม

### 2.2.3 สัมประสิทธิ์การลดทอน (Attenuation Coefficient)

เมื่อมีกระแส หรือแรงดันไฟฟ้าไหลบนสายนำสัญญาณ จะพบว่าขนาดจะถูกลดทอน

หรือลดลงไปเรื่อยๆ เนื่องมาจากเกิดการสูญเสียภายในสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสามารถแบ่งชนิดของการสูญเสียภายในสายได้ 3 แบบ ดังนี้

1. การสูญเสียเนื่องจากตัวนำ

2. การสูญเสียเนื่องจากฉนวน

3. การสูญเสียเนื่องจากการแผ่คลื่น ซึ่งในสายแบบเส้นคู่จะมีการสูญเสียแบบนี้อยู่แต่ในสายแบบโคแอกเชียลขึ้นอยู่กับชนิดของตัวนำชั้นนอกที่ใช้ ดังเช่น ถ้าเป็นท่อทองแดงจะไม่มีการสูญเสียเนื่องจากการแผ่คลื่นเลย ส่วนถ้าเป็นลวดทองแดงสาน จะมีบ้างในปริมาณเล็กน้อย

เนื่องจากการสูญเสียในแบบที่ 3 จัดว่ายากในการหาค่า และมีขนาดน้อย ทำให้สามารถละทิ้งไม่คิดค่านี้ได้ โดยกำหนดให้กระแส หรือแรงดันไฟฟ้าที่จุดปลายด้านส่งของสายแทนด้วย  $I_s$  และ  $V_s$  ตามลำดับ

ดังนั้น สามารถเขียนแทนค่ากระแสหรือแรงดันไฟฟ้าต่อหนึ่งเมตรได้เป็น

$$I_1 = I_s e^{-\alpha} ; V_1 = V_s e^{-\alpha} \quad (2.5)$$

เมื่อ  $e$  แทนลือกการชี้มาตรฐานธรรมชาติ (2.7183)

และ  $\alpha$  แทนสัมประสิทธิ์การลดทอนของสาย มีหน่วยเป็นเนเปอร์ต่อเมตร (neper/m)

โดย 1 เนเปอร์ = 8.686 dB

ดังนั้น ในส่วนเมตรถัดไปของความยาวสาย พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเท่าเดิม ทำให้ได้  $I_2$  (ระยะ 2 เมตรของสาย) เป็น

$$I_2 = I_1 e^{-\alpha} = I_s e^{-\alpha} e^{-\alpha} = I_s e^{-2\alpha} \quad (2.6)$$

ในทำนองเดียวกัน กรณีค่า  $V_2 = V_s e^{-2\alpha}$

ถ้ากำหนดให้ความยาวของสายเท่ากับ 1 เมตร ค่ากระแส หรือแรงดันไฟฟ้าที่จุดปลายของสายมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} I &= I_s e^{-\alpha l} \\ V &= V_s e^{-\alpha l} \end{aligned} \quad (2.7)$$

ซึ่งสมการทั้งสองนี้ แสดงถึงค่ากระแส และแรงดันไฟฟ้าลดลงตามระยะของสายที่เพิ่มขึ้นที่ความถี่คลื่นวิทยุหนึ่ง สูตรคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของสายคือ

$$\alpha = R/2Z_0 + GZ_0/2 \text{ เนเปอร์/เมตร} \quad (2.8)$$

โดยที่ค่า R แทนค่าความต้านทานภายในของสายต่อหนึ่งเมตร

G แทนค่าคอนดักแตนซ์ของสายต่อหนึ่งเมตร

ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนจะมีค่าไม่คงที่ แต่จะเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น มีอยู่ 2 ตัวแปรที่มีผล คือ

1. การสูญเสียเนื่องจากตัวนำ จะเป็นสัดส่วนรากที่สองของความถี่
2. การสูญเสียเนื่องจากฉนวน จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่

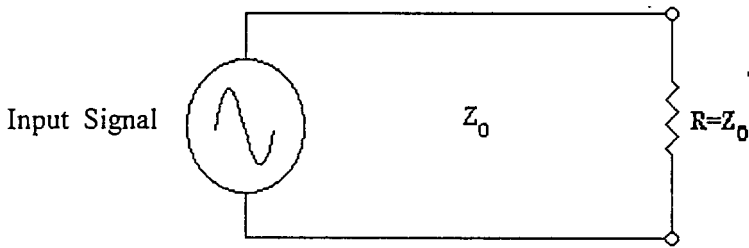
โดยทั่วไปขนาดของการสูญเสียในข้อ 1 จะมากกว่าข้อ 2 อยู่หลายเท่ามาก ทำให้ค่าการสูญเสียเนื่องจากฉนวนสามารถละทิ้งไม่ได้

ดังนั้น กล่าวได้ว่า สัมประสิทธิ์การลดทอนเป็นสัดส่วนกับรากที่สองของความถี่ สำหรับการใช้งานในย่าน VHF หรือสูงกว่านี้ ค่าการสูญเสียของสายมีขนาดน้อย จนละทิ้งไม่ได้ ทำให้สายนำสัญญาณในย่านความถี่นี้ จัดว่าไม่มีการสูญเสียเลย

## 2.3 การต่อโหลดเข้ากับสายนำสัญญาณ

กรณีที่ค่า  $Z_0 = \sqrt{L/C}$  ของสายนำสัญญาณนั้น ต้องกำหนดไว้ว่าไม่มีค่าความต้านทานในตัวนำ และไม่มีการรั่วไหลของกระแสระหว่างกัน โดยที่ L คือ ค่าการเหนี่ยวนำ และ C คือ ค่าการเก็บประจุ ส่วนค่าการเหนี่ยวนำลดลงเมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวเหนี่ยวนำมีขนาดเพิ่มขึ้น ค่าการเก็บประจุลดลง เมื่อช่องว่างระหว่างตัวนำทั้งสองเพิ่มขึ้น

จึงสรุปได้ว่า ในสายที่มีตัวนำขนาดใหญ่อยู่ใกล้กันมาก จะมีค่า  $Z_0$  ต่ำ หรือสายที่มีตัวนำขนาดเล็กอยู่ห่างกันมาก จะมีค่า  $Z_0$  สูง ในการใช้งานจริง ค่า  $Z_0$  ของลวดตัวนำสองเส้นที่วางขนานกัน จะมีค่าระหว่าง 200-800 โอห์ม ส่วนสายโคแอกเชียลค่า  $Z_0$  มีค่าระหว่าง 30-100 โอห์ม ถ้าเราต่อตัวภาระขนาดเท่ากับ  $Z_0$  เข้ากับสายนำสัญญาณที่มีค่าลักษณะคุณสมบัติทางสายเท่ากับ  $Z_0$  ซึ่งต่อกับแหล่งกำเนิดพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ตัวภาระที่ต่อกับสายนำสัญญาณที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $Z_0$

จากรูปที่ 2.7 จะแยกเป็นกรณีดังนี้

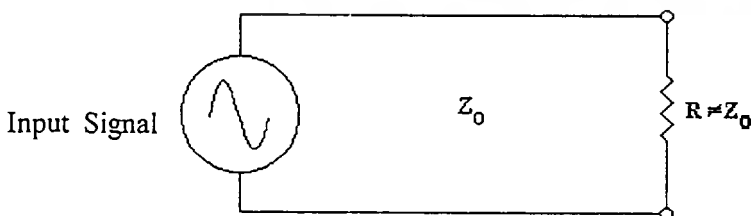
- กรณีที่สมดุล (Match) กับสาย

ถ้าเราต่อความต้านทานขนานค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสาย จะเรียกการต่อลักษณะนี้ว่า “สมดุล”

ในสายนำสัญญาณที่สมดุล ค่าพลังงานที่ส่งจากแหล่งกำเนิดไปยังตัวภาระ จะถูกดูดกลืนหายไปที่ตัวภาระหมด ไม่มีการสะท้อนของพลังงานกลับไป ทำให้ไม่เกิดการสูญเสียพลังงานบนสาย เรียกได้ว่าการถ่ายทอดพลังงานอย่างสมบูรณ์ ถ้ากำหนดให้แรงดันไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดเท่ากับ  $E$  สามารถหาค่ากระแส และพลังงานบนสายได้เท่ากับ  $E^2/Z_0$  และ  $I^2/Z_0$  ตามลำดับ โดยการใช้กฎของโอห์ม

- กรณีที่ไม่สมดุลกับสาย

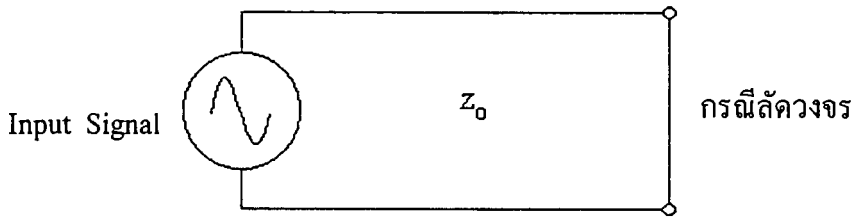
ถ้าต่อความต้านทานมีขนาดไม่เท่ากับ  $Z_0$  เรียกลักษณะเช่นนี้ว่า “ไม่สมดุล” (mismatch) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 (ก)



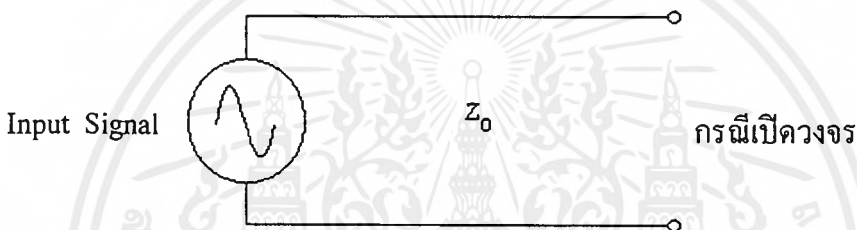
(ก) ตัวภาระที่ต่อมีค่าไม่เท่ากับ  $Z_0$

รูปที่ 2.8 กรณีไม่สมดุลกับสายนำสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) กรณีลัดวงจร



(ค) กรณีเปิดวงจร

รูปที่ 2.8 (ต่อ) กรณีไม่สมดุลย์กับสายนำสัญญาณ

- (ก) ตัวภาระที่ต่อมีค่าไม่เท่ากับ  $Z_0$
- (ข) ลัดวงจร
- (ค) เปิดวงจร

พลังงานที่มาถึงตัวภาระ  $R$  จะไม่ถูกดูดกลืนจนหมด ต่างกับกรณี  $R = Z_0$  ที่พลังงานหายไปในการะจนหมด ทำให้เหลือพลังงานบางส่วนสะท้อนกลับไปยังแหล่งกำเนิด เหมือนกับการปาลูกบอลไปกระทบกำแพง ซึ่งถ้าเกิดสภาวะไม่สมดุลย์ระหว่างสายนำสัญญาณกับตัวภาระมากขึ้น จะมีค่าพลังงานที่สะท้อนกลับตามมาด้วย ซึ่งค่าความต้านทานแตกต่างกับ  $Z_0$  มากขึ้น

มีอยู่ 2 กรณีที่ถือว่าพลังงานทั้งหมดที่มาถึงตัวภาระถูกสะท้อนกลับหมด คือ

- กรณีลัดวงจร (รูปที่ 2.8 (ข))
- กรณีเปิดวงจร (รูปที่ 2.8 (ค)) (รูปที่ 2.9 (ข))

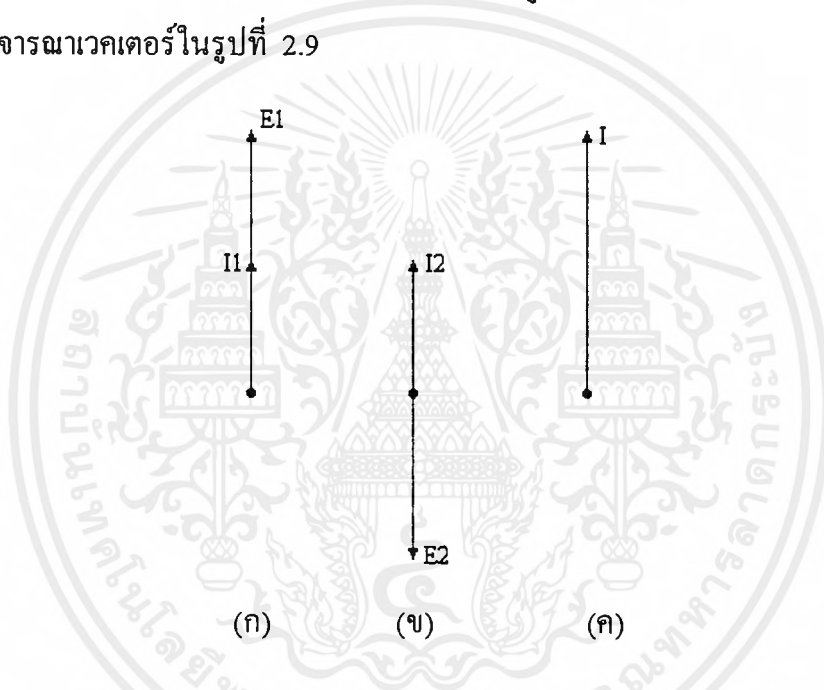
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไป ถ้าแหล่งกำเนิดเป็นไฟกระแสสลับ ค่าแรงดันไฟฟ้า ณ จุดใดๆ บนสายนำสัญญาณ จะเป็นผลรวมทางพีชคณิตระหว่างแรงดันไฟฟ้าส่วนที่เดินทางไปหาตัวภาระกับส่วนที่สะท้อนกลับจากตัวภาระ

### 2.3.1 กรณีลัดวงจร

กำหนดไว้ว่าแรงดันไฟฟ้าที่ตัวภาระต้องเท่ากับศูนย์ นั่นคือแรงดันไฟฟ้าสะท้อนกลับขนาดเท่ากัน แต่มีเฟสตรงข้าม จะทำให้ผลรวมเท่ากับศูนย์ได้

พิจารณาเวกเตอร์ในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 เวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสของสายที่ลัดวงจร

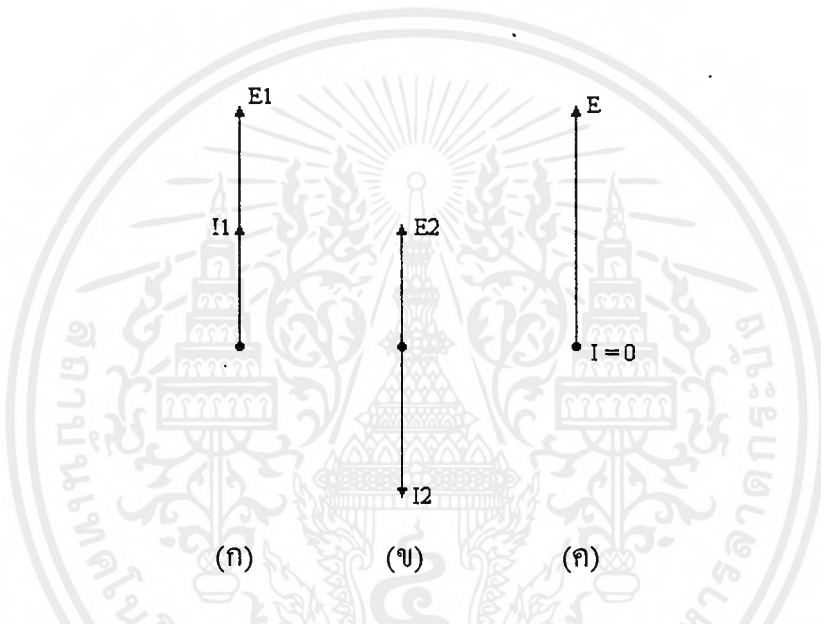
- (ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสที่เดินทางไปยังตัวภาระ
- (ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสที่สะท้อนกลับจากตัวภาระ
- (ค) ผลรวมของ (ก) และ (ข) ทำให้กระแสสูงขึ้น  
และแรงดันไฟฟ้าเท่ากับศูนย์

จากรูปที่ 2.9 เป็นการแสดงทั้งขนาดและทิศทางสำหรับกระแสในกรณีลัดวงจร จะไม่หายไปในตัวภาระ ในทางกลับกัน กระแสส่วนที่สะท้อนกลับจะไปเสริมค่ากระแสที่เดินทางไปยังตัวภาระ โดยมีขนาดและเฟสเหมือนกัน

### 2.3.2 กรณีเปิดวงจร

กำหนดให้กระแสที่ตัวภาระเท่ากับศูนย์ แสดงว่ากระแสที่สะท้อนกลับต้องมีเฟสต่างกับกระแสที่เดินทางมายังตัวภาระอยู่ 180 องศา และมีขนาดเท่ากัน ในทำนองเดียวกับกรณีลัดวงจร ค่าแรงดันไฟฟ้าส่วนที่สะท้อนกลับต้องมีเฟสเหมือนกับส่วนที่เดินทางมาถึงตัวภาระ และขนาดเท่ากัน ทำให้เกิดการเสริมของแรงดันไฟฟ้ามีค่ามากขึ้น

พิจารณาเวกเตอร์ในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสของสายที่เปิดวงจร

- (ก) แรงดันไฟฟ้าและกระแสที่เดินทางมาถึงตัวภาระ
- (ข) แรงดันไฟฟ้าและกระแสที่สะท้อนกลับจากตัวภาระ
- (ค) ผลรวมของ (ก) และ (ข) ที่ให้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น และกระแสเท่ากับศูนย์

สำหรับกรณีที่มีตัวภาระต่ออยู่ และขนาดไม่เท่ากับ  $Z_0$  พบว่าจะมีพลังงานบางส่วนสะท้อนกลับจากตัวภาระ และมีขนาดน้อยกว่าด้วย

สามารถแยกพิจารณาได้ 2 กรณี คือ

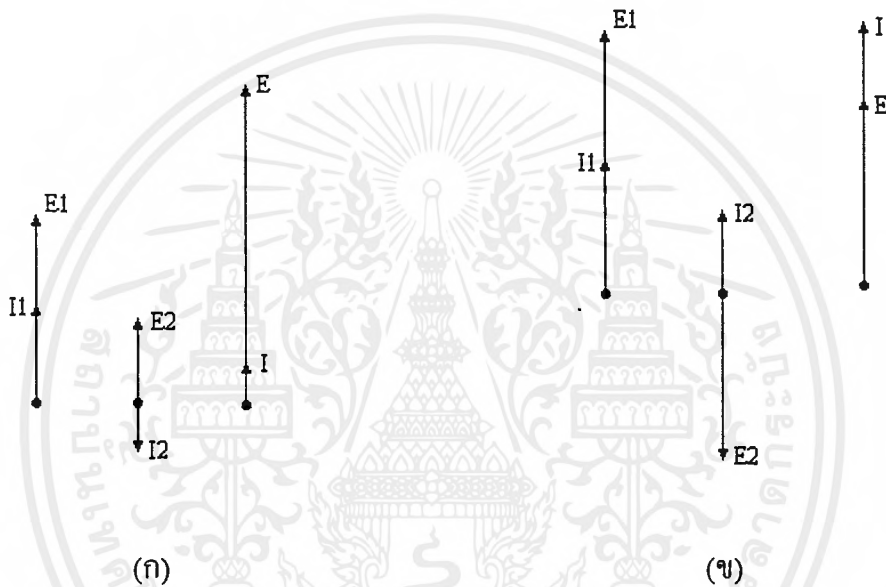
- กรณีความต้านทานน้อยกว่า  $Z_0$  แรงดันไฟฟ้าส่วนที่สะท้อนกลับมีเฟสต่างกับที่เดินทางมายังตัวภาระอยู่ 180 องศา เหมือนกับกรณีลัดวงจร แต่มีขนาดไม่เท่ากัน เนื่องจากแรงดัน

เอกสารไฟฟ้าทั้งหมดไม่ได้หายไปอยู่ที่ตัวภาระ ดูเวกเตอร์ได้ในรูปที่ 2.11 (ก) ดึงนำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กรณีความต้านทานมากกว่า  $Z_0$  กระแสไฟฟ้าส่วนที่สะท้อนกลับมีเฟสต่างกับที่เดินทางมายังตัวภาระอยู่ 180 องศา เหมือนกับกรณีเปิดวงจร แต่มีขนาดไม่เท่ากัน เนื่องจากกระแสทั้งหมดไม่ได้หายไปที่ตัวภาระ ดูเวกเตอร์ได้ในรูปที่ 2.11 (ข)

พิจารณาทั้งสองกรณีได้จากรูป 2.11

หมายเหตุ ค่าผลลัพธ์รวมของแรงดันไฟฟ้า และกระแสจะมีเฟสเดียวกันที่ตัวภาระ เพราะตัวภาระมีค่าความต้านทานอย่างเดียว



รูปที่ 2.11 เวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสในกรณีที่มีตัวภาระต่ออยู่

(ก) กรณีความต้านทานน้อยกว่า  $Z_0$

(ข) กรณีความต้านทานมากกว่า  $Z_0$

## 2.4 สัมประสิทธิ์การสะท้อน และคลื่นนิ่ง

### 2.4.1 สัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection Coefficient)

อัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าที่สะท้อนกลับจากตัวภาระ กับส่วนที่เดินทางมายังตัวภาระ โดยแทนค่านี้ว่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน คือ

$$\rho = \frac{E_r}{E_f} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $\rho$  จะเกี่ยวข้องกับตัวแปร 2 ค่า คือ ค่า  $Z_0$  และค่าตัวภาระที่ต่ออยู่ นอกจากนี้ ค่า  $\rho$  จะต้องมีย่านน้อยกว่าหนึ่ง และมากกว่าศูนย์เสมอ ถ้าตัวภาระที่ต่อเป็นค่าความต้านทาน ( $R$ ) อย่างเดียว ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนหาได้จาก

$$\rho = \frac{R - Z_0}{R + Z_0} \quad (2.10)$$

$R$  เป็นความต้านทานที่นำมาต่อกับสายนำสัญญาณ ค่า  $\rho$  มีเครื่องหมายบวก เมื่อค่าความต้านทานมากกว่า  $Z_0$  และมีเครื่องหมายลบ เมื่อค่าความต้านทานน้อยกว่า  $Z_0$  การเปลี่ยนเครื่องหมายของ  $\rho$  แสดงถึงการเปลี่ยนเฟสของแรงดันไฟฟ้าที่สะท้อนจากโหลด

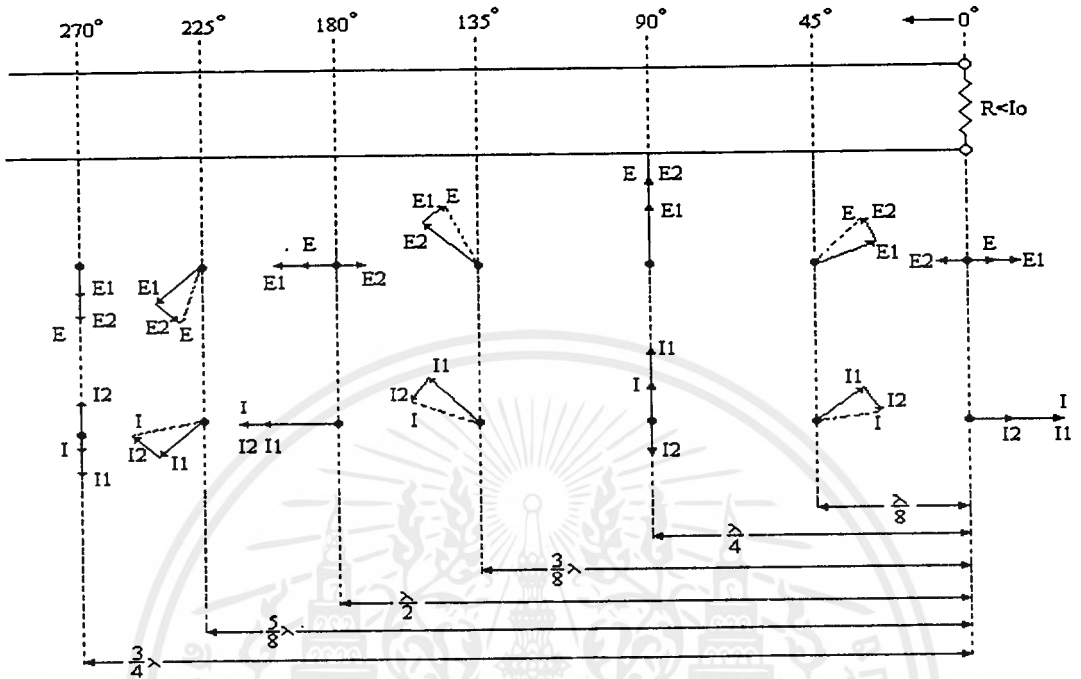
#### 2.4.2. คลื่นนิ่ง (Standing Waves)

การสะท้อนของคลื่นพลังงานที่ตัวภาระมีผลต่อแรงดันไฟฟ้า และกระแสนสายนำสัญญาณ ซึ่งอธิบายจากภาพเวกเตอร์ในรูปที่ 2.12 ที่กรณีค่าความต้านทานน้อยกว่า  $Z_0$  แรงดันไฟฟ้า และกระแสที่ตำแหน่งตัวภาระเหมือนกับเวกเตอร์ในรูปที่ 2.11 (ก)

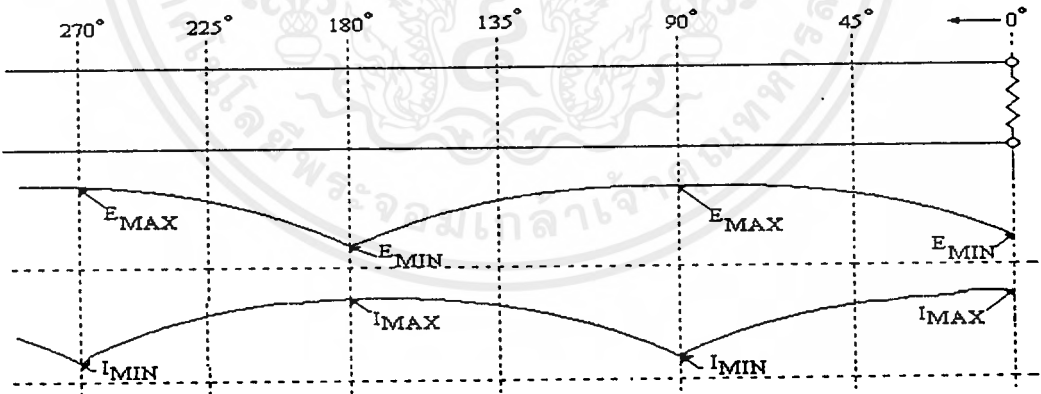
จากรูปที่ 2.12 พิจารณาจากตัวภาระไปหาแหล่งกำเนิดพลังงาน เวกเตอร์ของส่วนที่มาจากตัวภาระ  $E_1$  และ  $I_1$  จะนำหน้าเวกเตอร์ที่จุดต่อตัวภาระตามระยะทางของสายที่วัดในหน่วยของ  $\lambda$  เทียบได้เป็นเศษส่วนของความยาวคลื่น เวกเตอร์ของส่วนสะท้อนจากตัวภาระ  $E_2$  และ  $I_2$  จะตามหลังเวกเตอร์เดียวกันนี้ ณ จุดต่อตัวภาระ สำหรับผลลัพธ์ของแรงดัน และกระแสแสดงเป็นเส้นประในแต่ละตำแหน่ง เห็นได้ว่าถึงแม้ว่าส่วนที่เดินทางมาที่ตัวภาระกับส่วนที่สะท้อนจากตัวภาระจะสามารถรักษาค่าขนาดของแรงดัน และกระแสได้ก็ตาม ในรูปนี้ ส่วนสะท้อนมีขนาดครึ่งหนึ่งของส่วนมายังตัวภาระ แต่ถ้าคิดผลลัพธ์ทั้งหมดแล้ว แรงดัน และกระแสในแต่ละตำแหน่งบนสายจะต่างกัน

ขนาดและเฟสจึงเปลี่ยนไปตามตำแหน่งบนสาย ถ้าพิจารณาเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของขนาดอย่างเดียว จะเขียนกราฟของผลลัพธ์ตามตำแหน่งได้ดังแสดงในรูปที่ 2.13 (ก)

ถ้าเรามีตัวภาระที่สมดุลกับสายวัดค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสได้เท่ากันตลอดทุกจุดบนสาย แต่กรณีไม่สมดุล ทำให้ขนาดที่วัดได้เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งบนสาย เกิดรูปสัญญาณคล้ายคลื่นเรียกว่า คลื่นนิ่ง



รูปที่ 2.12 เวกเตอร์ของส่วนประกอบต่างๆ บนสายนำสัญญาณ



(ก) ผลลัพธ์ของแรงดันไฟฟ้า และกระแสนบนสายที่ไม่สมดุลย์

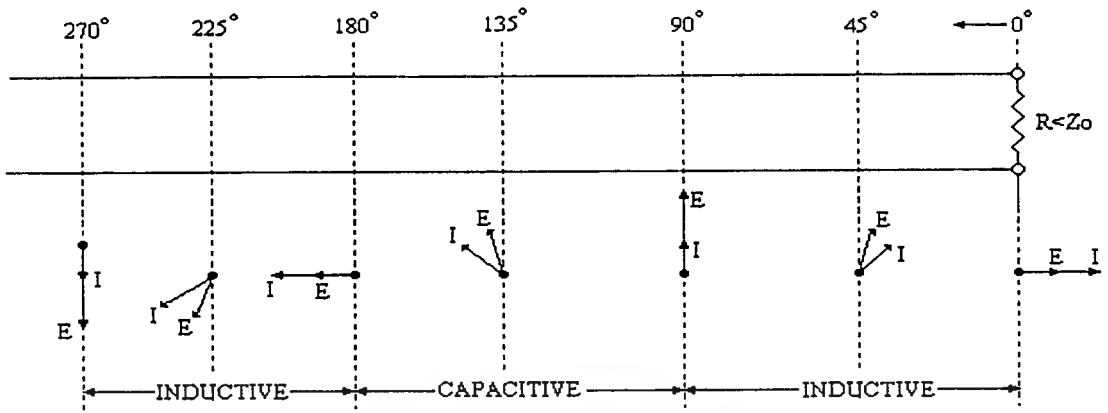
รูปที่ 2.13 คลื่นนิ่งที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้า และกระแสนบนสายนำสัญญาณ

(ก) ผลลัพธ์ของแรงดันไฟฟ้า และกระแสนบนสายที่ไม่สมดุลย์

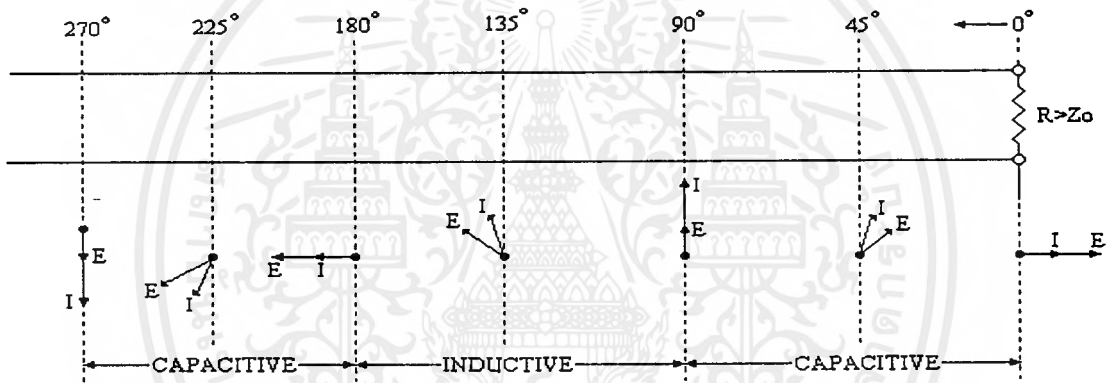
(ข) กรณีค่าความต้านทานน้อยกว่า  $Z_0$

(ค) กรณีค่าความต้านทานมากกว่า  $Z_0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) กรณีค่าความต้านทานน้อยกว่า  $Z_0$



(ค) กรณีค่าความต้านทานมากกว่า  $Z_0$

รูปที่ 2.13 (ต่อ) คลื่นนิ่งที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้า และกระแสนำสัญญาณ

(ก) ผลลัพธ์ของแรงดันไฟฟ้า และกระแสนำสัญญาณที่ไม่สมดุล

(ข) กรณีค่าความต้านทานน้อยกว่า  $Z_0$

(ค) กรณีค่าความต้านทานมากกว่า  $Z_0$

ในกรณีที่ค่าความต้านทานมากกว่า  $Z_0$  ค่าแรงดันไฟฟ้าจะมากที่สุดที่ตัวภาระ และค่ากระแสจะน้อยที่สุดที่ตัวภาระ ส่วนกรณีที่ค่า  $R$  น้อยกว่า  $Z_0$  ค่าแรงดันไฟฟ้าจะน้อยที่สุดที่ตัวภาระ และค่ากระแสจะมากที่สุดที่ตัวภาระ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 (ก)

### 2.4.3 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง

อัตราส่วนของค่าแรงดันไฟฟ้ามากที่สุดต่อค่าน้อยที่สุดที่ปรากฏบนสายนำสัญญาณ หรือแทนด้วยอัตราส่วนของ  $E_{\max}$  ต่อ  $E_{\min}$  ดังรูปที่ 2.13 (ก) เรียกว่า อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า คลื่นนิ่ง (Voltage-Standing Wave Ratio) เขียนเป็น VSWR หรือใช้ SWR ก็ได้ ดังนี้

$$SWR = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} \quad (2.11)$$

ในทำนองเดียวกัน ค่ากระแสมากที่สุดต่อค่าน้อยที่สุด ( $I_{\max}/I_{\min}$ ) เป็นค่า VSWR เช่นเดียวกัน การหา VSWR จะพิจารณาจากกำลังคลื่นที่สะท้อน และส่วนที่ผ่านมายังตัวภาระ ซึ่งวัดโดยใช้ อาร์.เอฟ. วัดคัมมิเตอร์

นอกจากนี้ SWR ยังใช้บ่งคุณสมบัติต่างๆ ของสายที่ไม่สมดุลได้ด้วย หรือใช้บอกถึงประสิทธิภาพของสายได้ โดยถ้าตัวภาระไม่มีค่ารีแอ็กแตนซ์อยู่เลย ค่า SWR จึงคิดได้จากอัตราส่วนระหว่างความต้านทานของตัวภาระกับอิมพีแดนซ์ประจำ  $Z_0$  ของสาย หรือแยกพิจารณาเป็น 2 แบบ คือ

$$SWR = \frac{R}{Z_0} \quad (\text{ถ้า } R \text{ มากกว่า } Z_0) \quad (2.12)$$

$$SWR = \frac{Z_0}{R} \quad (\text{ถ้า } R \text{ น้อยกว่า } Z_0) \quad (2.13)$$

จึงสรุปได้ว่า การไม่สมดุลของสายนำสัญญาณเกิดมากขึ้น จะมีผลทำให้ความแตกต่างระหว่างค่า  $Z_0$  และความต้านทานมีมากขึ้น หรือค่า SWR มีขนาดมากขึ้น ส่วนสายที่มีการสมดุลกับตัวภาระอย่างสมบูรณ์จะไม่มีคลื่นนิ่งเกิดบนสาย และมีลักษณะคลื่นเป็นเส้นตรงตลอดความยาวของสาย ในบางกรณี ค่า SWR สามารถหาจากสัมประสิทธิ์การสะท้อน ( $\rho$ ) ได้จากสูตรต่อไปนี้

$$SWR = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} \quad (2.14)$$

#### 2.4.4 การวัดค่า VSWR

ค่า VSWR ในทางทฤษฎีพิจารณาจากค่าแรงดันไฟฟ้ามากที่สุดกับค่าน้อยที่สุด แต่ในทางปฏิบัติจะใช้ VSWR มิเตอร์ หรือกัลวโนมิเตอร์วัดค่าบนสาย และนำค่านี้มาคำนวณขนาดอิมพีแดนซ์ของตัวภาระที่นำมาต่อได้

โดยถ้าตัวภาระมีอิมพีแดนซ์เป็นค่าความต้านทานอย่างเดียว จะมีวิธีคำนวณง่ายขึ้น สมมติให้  $Z_L = R_L = 3R_o$  จะได้ (กรณี  $R_L$  มากกว่า  $Z_o$ )

$$\rho = \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o} = \frac{3R_o - R_o}{3R_o + R_o} = \frac{1}{2} \angle 0^\circ \quad (2.15)$$

ดังนั้น

$$SWR = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} = \frac{1 + \frac{1}{2}}{1 - \frac{1}{2}} = 3$$

ในทางกลับกัน ถ้าให้  $Z_L = R_L \frac{1}{3} R_o$  (กรณี  $R_L$  น้อยกว่า  $Z_o$ ) จะได้

$$\rho = \frac{\frac{1}{3}R_o - R_o}{\frac{1}{3}R_o + R_o} = \frac{1}{2} \angle 180^\circ \quad (2.16)$$

ดังนั้น

$$SWR = \frac{1 + \frac{1}{2}}{1 - \frac{1}{2}} = 3$$

จึงเห็นได้ว่า VSWR ทั้งของอัตราส่วน  $R_L/Z_o$  หรือ  $Z_o/R_L$  มีค่าเท่ากัน การคำนวณข้างต้นใช้เฉพาะกรณีไม่เกิดการสูญเสียในสาย และตัวภาระที่มาต่อเป็นค่าความต้านทาน เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ชนิดและคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ

### 2.5.1 สายนำสัญญาณแบบสมดุลย์ (Balance Line)

เป็นสายที่มีตัวนำ 2 เส้นที่มีลักษณะเหมือนกัน วางคู่ขนานกันโดยมีตัวกลาง หรือ สารไดอิเล็กตริก (Dielectric) คั่นกลางอยู่ เช่น สายแบบเปิด หรือสายเปลือย และมีฉนวนต่อ บิดสาย (Spacers) เพื่อความแข็งแรง และรักษาการขนานกันของตัวนำไว้

### 2.5.2 สายนำสัญญาณแบบไม่สมดุลย์ (Unbalance Line)

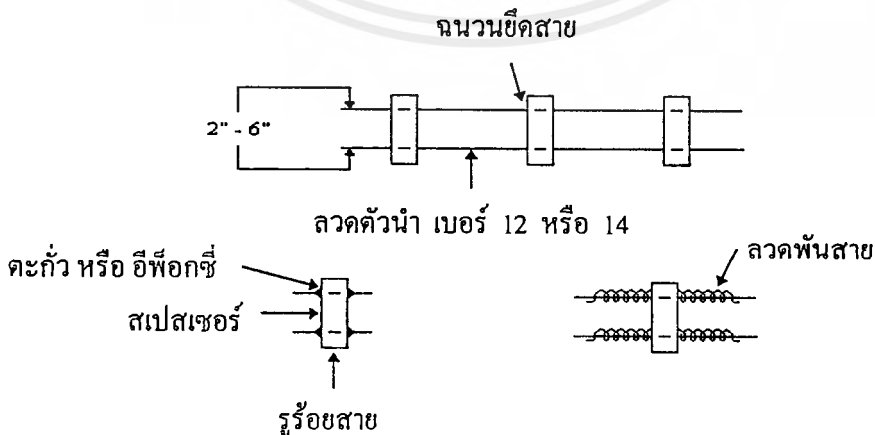
เป็นสายที่มีตัวนำ 2 เส้นที่มีลักษณะต่างกัน หรือที่นิยมใช้กันมากคือ สายโคแอกเชียล สายชนิดนี้ดีกว่าสายแบบสมดุลย์ในแง่ที่สามารถป้องกันการแพร่คลื่นกระจายจากสาย และ ป้องกันไม่ให้คลื่นวิทยุภายนอกสายแทรกเข้ามาได้ ทำให้สามารถนำไปติดตั้งใกล้กับโลหะได้ โดยไม่มีผลการสูญเสียคลื่นออกจากสาย

นอกจากนี้ทั้งสองชนิดยังแบ่งย่อยได้อีก 2 ประเภทตามชนิดฉนวน คือ

1. ฉนวนส่วนใหญ่ระหว่างตัวนำ คือ อากาศ อาจมีส่วนน้อยที่ใช้เป็น ไดอิเล็กตริกแข็ง เพื่อไว้เสริมโครงสร้างให้แข็งแรง
2. ฉนวนที่กั้นระหว่างตัวนำเป็นสารไดอิเล็กตริกแข็ง

### 2.5.3 สายนำสัญญาณแบบใช้อากาศเป็นฉนวน

โครงสร้างเป็นตัวนำ 2 เส้นวางขนานกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของสายแบบเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.14 ตัวนำถูกยึดด้วยฉนวนยืดสาย เพื่อให้ระยะห่างคงที่ ฉนวนยืดสายอาจใช้ได้โดยทำมาจากสายหลายๆ ชนิด เช่น เทฟลอน, เพลิกซิแกลีส, โพลีเอททิลีน หรือลูโซท์ เป็นต้น ความยาวของฉนวนยืดสายมีตั้งแต่ขนาด 2 นิ้ว ถึง 6 นิ้ว ในงานวิทยุสมัครเล่น ตัวนำเบอร์ 12 หรือ 14 ใช้ค่าระหว่าง 500-600 โอห์ม

ซึ่งค่าอิมพีแดนซ์ประจำสาย (Characteristic Impedance) หาได้จากสูตร (ไม่คิดผลจากฉนวนยืดสาย)

$$Z_o = 276 \log \frac{2S}{d} \quad (2.17)$$

เมื่อ  $Z_o$  แทนอิมพีแดนซ์ประจำสาย (โอห์ม)

$S$  ระยะระหว่างจุดกึ่งกลางของแต่ละตัวนำ

$d$  เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ

## 2.6 แผงแสดงผลแบบผลึกเหลว (Liquid Crystal Display : LCD)

แผงแสดงผลแบบผลึกเหลวเป็นตัวแสดงผลที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน มีโครงสร้างเป็นผลึกคริสตัลเหลว โดยที่ผลึกเหลวเป็นสารที่รวมกันเป็นสัดส่วนของเหลวกับผลึก จุหลอมเหลวของสารชนิดนี้อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เรียกว่า เมโซเฟส (Mesophase) โมเลกุลของสารสามารถเคลื่อนที่ได้เหมือนของเหลว แต่สารชนิดนี้ถูกจัดเป็นประเภทเดียวกับผลึกซึ่งเป็นของแข็ง ในปี พ.ศ. 2513 มีการค้นพบว่า ในสารผลึกเหลวสามารถเปลี่ยนตัวเองจากใสกลายเป็นทึบแสง และจากทึบแสงกลายเป็นใสได้โดยการป้อนแรงดันเข้าไป คุณสมบัตินี้ คือ หลักการพื้นฐานของแผงแสดงผลแบบผลึกเหลว

### 2.6.1 ข้อดีของแผงแสดงผลแบบผลึกเหลว

1. บางเบาและพกพาสะดวก มีความหนาเพียงไม่กี่มิลลิเมตร
2. ใช้พลังงานน้อย เนื่องจากต้องการกำลังงาน และแรงดันต่ำ ทำให้สามารถใช้งานได้นาน แม้จะมีเพียงแบตเตอรี่ขนาดเล็กเป็นตัวจ่ายกำลัง และยังสามารถใช้ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ซีโมส (CMOS) ได้ด้วย

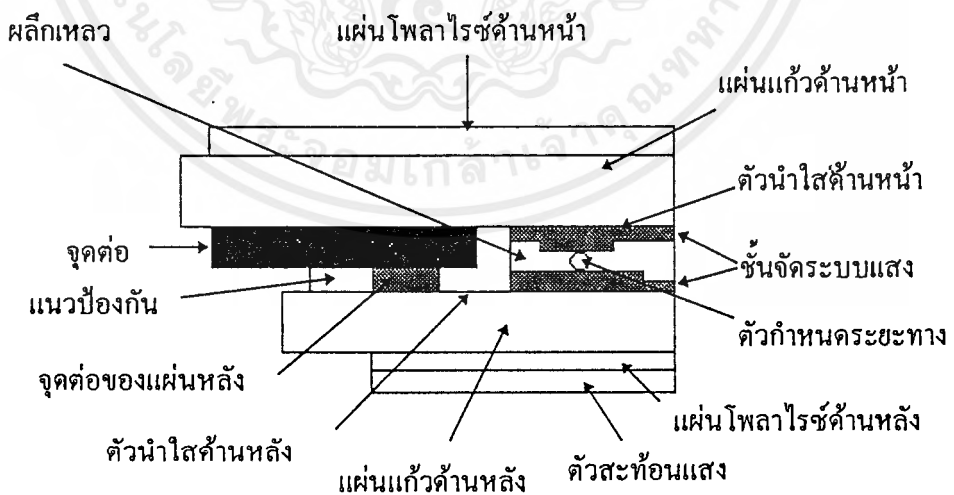
3. เป็นตัวแสดงผลแบบพาสซีฟ (Passive Display) เพราะว่าแผงแสดงผลแบบผลึกเหลวไม่ได้กำเนิดแสงเอง การอ่านค่าที่ตัวแสดงผลต้องใช้แสงสว่างจากภายนอก แต่ความเข้มของการแสดงผลไม่ได้จางลง เมื่อแสงสว่างจากภายนอกเพิ่มขึ้น หากต้องการอ่านค่าในที่มืดทำได้โดยใช้แสงส่องมาจากด้านหลังของแผงแสดงผลแบบผลึกเหลว

4. เชื้อถั่วได้ ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิกว้าง และมีอายุการใช้งานนาน

5. ใช้งานได้กว้างขวาง ด้วยข้อดีต่างๆ มากมาย เช่น นาฬิกา, เครื่องคิดเลข, เครื่องมือวัดต่างๆ เป็นต้น จึงมีผู้ผลิตมาก ทำให้มีราคาถูก

## 2.6.2 โครงสร้างของแผงแสดงผลแบบผลึกเหลว

แผงแสดงผลแบบผลึกเหลวประกอบไปด้วยแผ่นแก้วสองแผ่นประกบกัน โดยเว้นช่องกลางไว้ประมาณ 6 ถึง 10 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 2.15 ผิวด้านในของแผ่นของแผ่นแก้วเคลือบด้วยตัวนำไฟฟ้าชนิดไอทียูแสดงตัวอักษร, สัญลักษณ์ หรือเครื่องหมายต่างๆ ทำมาจากสารประเภทอินเดียม/ทินออกไซด์ (Indium/Tin Oxide : ITO) ระหว่างตัวนำไฟฟ้าชนิดไอทียูผลึกเหลวจะมีชั้นสารที่ทำให้โมเลกุลของผลึกรวมตัวกันในทิศทางที่แสงส่องออกมา เรียกว่าชั้นจัดระบบปรับแสง หรือชั้นที่หันเหเข้าหาแสง



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของแผงแสดงผลแบบผลึกเหลว

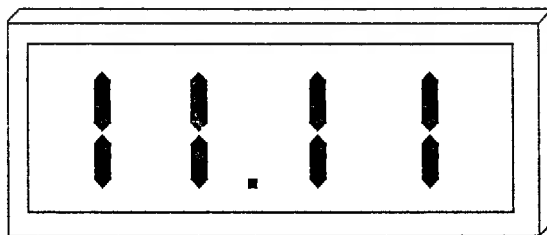
ระยะห่างระหว่างแผ่นทั้งสองจะถูกจำกัดโดยตัวจัดระยะ ชนิดของผลึกที่นิยมใช้กัน คือ แบบนีเมติก (Nematic) โมเลกุลของผลึกแบบนีเมติกจะวางขนานกันไปเป็นแนวตรงคล้ายเส้นลวดยาว ถ้าหากวางกลับทิศทางจะทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนไป ตัวคริสตัลเหลวที่สามารถแสดงเครื่องหมายพิเศษต่างๆ ได้ คือ แบบโคเรสเตอริก (Cholesteric) และแบบสเมคติก (Smectic)

### 2.6.3 แผงแสดงผลแบบผลึกเหลวแบบนีเมติกชนิดเกลียว (Twisted Nematic : TN)

การทำงานของแผงแสดงผลแบบผลึกเหลวแบบนีเมติกชนิดเกลียว โมเลกุลของผลึกจะถูกจัดโดยชั้นจัดระบบแสง ตำแหน่งของการรับแสงระหว่างแผ่นล่าง และแผ่นบนจะต่างกัน 90 องศา โมเลกุลของผลึกเหลวจะบิดเป็นเกลียวต่างกัน 90 องศา เมื่อแสงจากด้านล่างผ่าน โมเลกุลของผลึกที่เป็นเกลียวขึ้นไปยังแผ่นบน จะทำให้ตำแหน่งของแสงหมุนไป 90 องศา ด้วยปรากฏการณ์นี้เกิดจากคุณสมบัติแอนนิโซโทรปี (Anisotropy) ทางแสงของโมเลกุล ทำให้แสงส่องผ่านแผ่นโพลาริซออกไปได้

ถ้ามีแรงดันป้อนให้ตัวนำไฟฟ้าชนิดไอ คุณสมบัติแอนนิโซโทรปีทางไฟฟ้าของโมเลกุลจะทำให้การวางตัวของโมเลกุลเปลี่ยนไป แสงจะผ่านผลึกเหลวด้วยทิศทางคงเดิม จึงไม่สามารถผ่านแผ่นโพลาริซด้านบนออกไปได้

เมื่อเราหยุดป้อนแรงดัน โมเลกุลจะเรียงตัวเหมือนเดิมอีกครั้ง แสงจะสามารถทะลุผ่านไปได้ การทำงานของแผงแสดงผลแบบผลึกเหลวแบบนี้ เรียกว่า การแสดงผลเชิงบวก (Positive Image Display) ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การแสดงผลเชิงบวก

ถ้าวางแผ่นโพลารอยซ์ให้หมุนไปมากกว่า 90 องศา ผลที่เกิดขึ้นจะตรงข้ามกัน คือ แผงแสดงผลแบบผลึกเหลว จะมีมืดทึบเมื่อไม่มีแรงดันป้อน แต่จะเป็นแผงใสเมื่อป้อนแรงดัน เรียกการทำงานแบบนี้ว่า การแสดงผลเชิงลบ (Negative Image Display)

#### 2.6.4 การแสดงผลแบบต่างๆ ของแผงแสดงผลแบบผลึกเหลว

แผงแสดงผลแบบผลึกเหลวสามารถแสดงผลให้เห็นได้โดยอาศัยหลักการ 3 แบบ คือ

1. แบบสะท้อน (Reflective Mode) จะมีสารประเภทโลหะเคลือบอยู่ที่แผ่นหลังของแผงแสดงผลแบบผลึกเหลว เช่น อลูมิเนียมฟอล์ย จะทำการสะท้อนแสงจากภายนอกผ่านตัวแสดงผลไปยังตาของเรา แบบนี้เหมาะสำหรับสถานที่ที่มีแสงสว่างเพียงพอ ข้อดี คือ ไม่ต้องการแหล่งจ่ายแรงดันเพื่อป้อนให้กับหลอดไฟ

2. แบบส่งผ่าน (Transmissive Mode) นิยมใช้กับแผงแสดงผลแบบผลึกเหลวที่มีการแสดงผลเชิงลบ โดยจะวางหลอดไฟฟ้าเอาไว้ด้านหลัง

3. แบบส่งผ่าน/สะท้อน (Transflective Mode) เป็นการรวมการแสดงผลทั้งสองแบบเข้าด้วยกัน ตัวแสดงผลอ่านค่าได้จากการสะท้อนของแสงจากภายนอก และมีแสงส่องสว่างจากทางด้านหลังเมื่อต้องการอ่านค่าในที่มืด

#### 2.6.5 คุณสมบัติทางแสง

ความชัดเจนในการอ่านขึ้นอยู่กับตัวแปรสำคัญ คือ แสงสว่าง และความเข้มของแสงของแผงแสดงผลแบบผลึกเหลวเอง

ความเข้มของแสงหาได้จากความสว่างของบริเวณไร้สีหารด้วยความสว่างของบริเวณที่มีสีทึบ ในแผงแสดงผลแบบผลึกเหลวแบบ TN อัตราส่วนความเข้มของแสงจะอยู่ในช่วง 5 ถึง 50 แต่อัตราส่วนความเข้มของแสงที่ตามนุษย์สามารถจับได้มีค่าประมาณ 10 และความชัดเจนอย่างน้อยที่สุดประมาณ 2 ในตัวแสดงแบบที่แสงส่องจากด้านหลังต้องมีอัตราส่วนความเข้มของแสงสูงเป็นพิเศษ เพราะเมื่อมองผ่านแสงที่สวนเข้าตาของเราจะจับความเข้มได้น้อยลง

ทั้งความสว่าง และความเข้มขึ้นอยู่กับชนิดของแผ่นโพลารอยซ์ สำหรับตัวแสดงผลแบบสะท้อนเชิงบวก แผ่นโพลารอยซ์ประสิทธิภาพต่ำจะให้ความสว่างมาก แต่ความเข้มน้อย ส่วนแผ่นโพลารอยซ์ประสิทธิภาพสูงจะให้ความเข้มสูงแต่ความสว่างลดลง

### 2.6.6 มุมมอง

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงกับแรงดันของมุมมองสามมุม ที่แรงดันต่ำมากๆ แผลงแสดงผลแบบผลึกเหลวไม่สามารถแสดงผลได้ชัดเจนได้ เมื่อ  $\phi$  คือ มุมในแนวระดับของแผลงแสดงผลแบบผลึกเหลว และ  $\alpha$  คือ มุมที่อ้างอิงกับเส้นตั้งฉาก

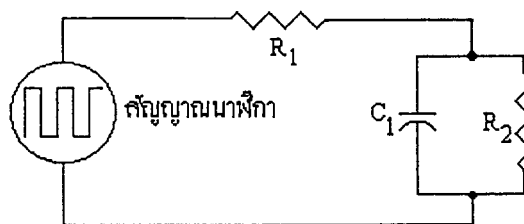
เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น มุมที่สามารถมองเห็นได้จะสูงตาม ที่มุมเงยต่ำ ดังเส้นกราฟเส้นที่สอง หากแรงดันสูงขึ้นมุมเงยจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ แรงดันที่น้อยที่สุดที่พอจะทำให้มองเห็นชัดเจน (10 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันสูงสุด) เรียกว่า แรงดันเทรชโฮล (Threshold Voltage;  $V_{th}$ ) แรงดันที่มีค่าถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันสูงสุด เรียกว่า แรงดันอิ่มตัว (Saturation Voltage;  $V_{sat}$ ) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กับค่าความเข้มของแสงจะเปลี่ยนไปตามส่วนผสมที่แตกต่างกันของผลึกเหลว อัตราส่วนผสมส่วนใหญ่มักมีสมบัติของอุณหภูมิเป็นลบ ซึ่ง  $V_{th}$  จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น

### 2.6.7 ความเร็วของการแสดงผล

เวลาตอบสนองการทำงานอยู่ในช่วง 50 ถึง 100 มิลลิวินาที ที่ในอุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส สิ่งสำคัญที่มีผลต่อช่วงเวลาการตอบสนอง คือ ความเหนียวของผลึกเหลว ซึ่งความเหนียว (Viscosity) จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง เพราะโมเลกุลมีอิสระในการเคลื่อนที่น้อยลง ทำให้การตอบสนองช้าลง

เวลาตอบสนองยังขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันที่จ่ายให้กับแผลงแสดงผลแบบผลึกเหลว วิธีป้องกันแรงดัน และความหนาแน่นของผลึกเหลวด้วย

### 2.6.8 การขับแผลงแสดงผลแบบผลึกเหลว



รูปที่ 2.17 วงจรสมมูลย์ของแผลงแสดงผลแบบผลึกเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

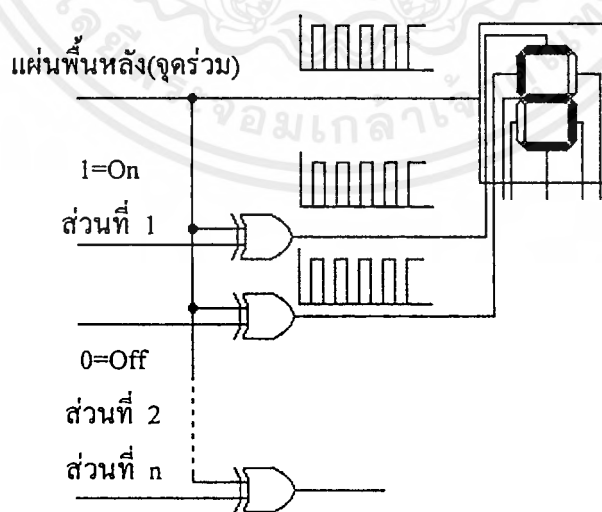
แผงแสดงผลแบบผลึกเหลวแต่ละเซกเมนต์ สามารถเขียนวงจรสมมูลยี่ได้ดังรูปที่ 2.17 ซึ่งประกอบด้วยตัวความต้านทาน  $R_1$  ค่าต่ำต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ  $C_1$  ซึ่งต่อขนานกับตัวความต้านทาน  $R_2$  ที่มีค่าสูงกว่า  $R_1$  ค่าของตัวเก็บประจุจะขึ้นอยู่กับแรงดันที่ปรากฏรอบแผงแสดงผลแบบผลึกเหลว

ถ้าจ่ายแรงดันไฟตรงให้แผงแสดงผลแบบผลึกเหลวจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานสั้นลง ดังนั้น จึงต้องป้อนสัญญาณไฟสลับให้ด้วยกำลังงานไม่เกิน 100 มิลลิวัตต์ การแสดงผลจะได้จากค่า rms ที่จ่ายให้

ค่าความถี่ของสัญญาณที่ป้อนเข้าไปต้องไม่ต่ำกว่า 30 เฮิรตซ์ เพื่อป้องกันการกระพริบของตัวแสดงผล กระแสที่ใช้กันทั่วไป คือ 105 ไมโครแอมป์ต่อตารางเซนติเมตรของแผ่นแผงแสดงผลแบบผลึกเหลว กระแสที่แผงแสดงผลแบบผลึกเหลวต้องการจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ของสัญญาณที่ป้อนเข้าไป จิตจำกัคสูงสุดของความถี่ถูกกำหนดโดยคุณสมบัติทางด้านการคัปปลิง (Coupling) และผลของรีแลกซ์เซชัน (Relaxation Effect) ซึ่งทำให้เกิดเงาในแสดงผล

### ประเภทของการขับ

1. การขับตรง จะมีการต่อแยกขับแต่ละเซกเมนต์ และขับแผ่นหลัง หรือส่วนจุดร่วม อีกหนึ่งจุด



รูปที่ 2.18 การสลับเฟสของการขับโดยตรงโดยมี Exclusive or Gate ควบคุม

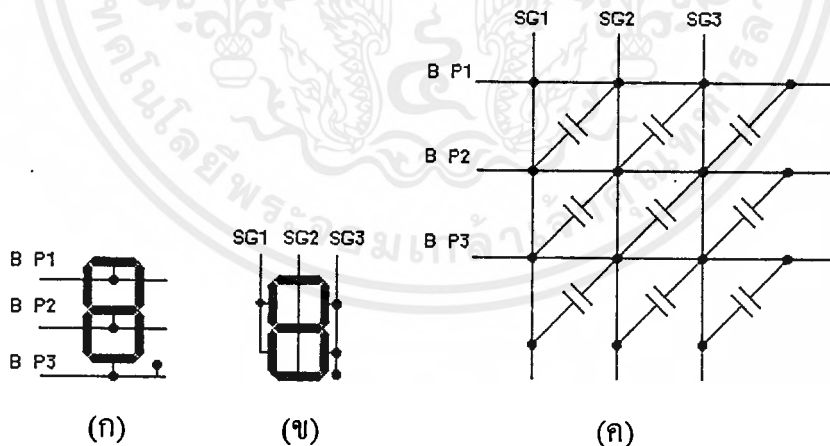
แรงดันส่งไปให้ส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.18 จะเห็นได้ว่าแผ่นหลังของแผงแสดงผลแบบผลึกเหลวจะถูกป้อนด้วยคลื่นสี่เหลี่ยม การเลือกเซกเมนต์ให้ทำงาน ทำได้โดยการส่งคลื่นรูปเดียวกัน แต่กลับเฟสไปให้ส่วนนั้นๆ จะเกิดแรงดันตกคร่อมระหว่างเซกเมนต์นั้นกับจุดร่วม ประมาณค่าเฉลี่ย (rms) ของรูปคลื่น ส่วนอื่นที่ไม่ได้เลือกจะป้อนสัญญาณเฟสเดียวกันกับแผ่นหลัง โดยที่สัญญาณที่ป้อนให้ต้องเป็นแบบสมมาตร เพื่อป้องกันการกระปริบของส่วนแสดงผล

ข้อดีของการขับแบบตรง คือ ใช้งานได้ในย่านอุณหภูมิกว้าง, มุมมองกว้าง, ตอบสนองเร็ว และความผิดพลาดน้อย แต่การใช้งานต้องต่อหลายจุด หากเป็นวงจรใหญ่ๆ แล้วจะมีความยุ่งยาก

2. การขับแบบมัลติเพล็กซ์ (Multiplex Drive) การขับแบบนี้จะเหมาะกับภาคแสดงผลจำนวนมาก เช่น การต่อแบบคอตเมตริกซ์ (Dot Matrix LCD) ขั้วของการขับแบบมัลติเพล็กซ์จะวางอยู่ในรูปแบบเมตริกซ์ ภาคแสดงผลจะต่อกับเป็นกลุ่มๆ ส่วนแผ่นหลังจะแยกกันเป็นหลายจุดร่วม ดังนั้น แต่ละเซกเมนต์ในกลุ่มหนึ่งๆ จะมีจุดร่วมต่างกัน อัตราส่วนของมัลติเพล็กซ์เขียนอยู่ในรูปของ 1:N โดยที่ N คือ จำนวนจุดร่วมของแผ่นหลัง หรือจำนวนของส่วนแสดงผลในแต่ละกลุ่ม



รูปที่ 2.19 ตัวเลขหนึ่งตัวกับจุดทศนิยมเป็น 8 ส่วน โดยใช้มัลติเพล็กซ์ 1:3

จากรูปที่ 2.19 แสดงการต่อแสดงผล และแผ่นพื้นหลังด้วยการขับแบบมัลติเพล็กซ์ 1:3 จำนวนจุดต่อลดลงจาก 9 มาเป็น 6 ในรูปที่ 2.19 (ค) แสดงวงจรสมมูลของแต่ละส่วน แทนด้วยตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนมัลติเพล็กซ์กับจำนวนจุดต่อ

| อัตราส่วนมัลติเพล็กซ์                    | 1:1      | 1:2  | 1:3  | 1:4  | 1:8  |
|------------------------------------------|----------|------|------|------|------|
| ความแตกต่างของ $V_{on}/V_{off}$ (rms)    | $\infty$ | 2.24 | 1.92 | 1.73 | 1.45 |
| จำนวนจุดต่อเมื่อใช้กับภาคแสดงผล 120 ส่วน | 121      | 62   | 43   | 34   | 23   |

จากตารางที่ 2.1 แสดงข้อได้เปรียบของการใช้มัลติเพล็กซ์ 1:2 จุดต่อจะลดลงประมาณครึ่งหนึ่ง และจะได้อัตราส่วนของแรงดันเป็น 2.24 ทำให้ได้ความคมชัดที่ดีมาก

### 2.6.9 หลักการเลือกใช้แผงแสดงผลแบบผลึกเหลว

1. แหล่งจ่ายแรงดันสำหรับลอจิก (ตั้งแต่  $V_{DD}-V_{SS}$ ) เป็นแรงดันสัญญาณลอจิกที่ถูกขับออกมาทางเอาต์พุตของชุดวงจรที่มีลักษณะเป็นลอจิก 0 และ 1 ที่ความถี่ 30-64 เฮิร์ตซ์ ระดับแรงดันลอจิกนี้จะมีค่าสูงสุดไม่เกิน +7 โวลต์

2. แหล่งจ่ายแรงดันสำหรับแผงแสดงผลแบบผลึกเหลว คือ แรงดันที่จ่ายให้กับแผงแสดงผลแบบผลึกเหลว โดยตรงในกรณีที่แผงแสดงผลแบบผลึกเหลวนั้นเป็นแบบรูปแบบที่แน่นอน (Module) แผงแสดงผลแบบผลึกเหลวที่มีอุปกรณ์ขับเอาต์พุตอยู่แล้ว เพียงแค่ป้อนสัญญาณที่เป็นข้อมูลเข้าไปเท่านั้น สำหรับแผงแสดงผลแบบผลึกเหลวโมดูลส่วนมากจะมีแรงดันขับที่แตกต่างกัน

3. แรงดันทางอินพุต คือ ค่าแรงดันทางอินพุตของแผงแสดงผลแบบผลึกเหลวจะมีค่าตั้งแต่ 0 โวลต์ จนถึง  $+V_{CC}$  (แรงดันไฟเลี้ยงวงจร)

4. ความละเอียดในการแสดงผล ถ้าเป็นแผงแสดงผลแบบผลึกเหลวแบบเซกเมนต์ จะพิจารณาจำนวนหลักของการแสดงผล ซึ่งมาตรฐานหลักของแผงแสดงผลแบบผลึกเหลวแบบนี้จะมี 3 หลัก,  $3\frac{1}{2}$  หลัก,  $4\frac{1}{2}$  หลัก เป็นต้น ถ้าหากเป็นแบบคอตเมตริกซ์โมดูล จะมีความละเอียดเป็นจำนวนจุดทางตั้ง หรือเป็นจำนวนคอตต่อพื้นที่การแสดงผลอักขระหนึ่งตัวว่ามีกี่คอต เช่น  $5 \times 7$  จุด และพื้นที่ของแต่ละคอตจะมีขนาดกว้าง x ยาว มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร และยังต้องคำนึงถึงจำนวนการแสดงผลที่ตัวอักษรต่อบรรทัด และมีกี่บรรทัดในการแสดงผล

5. แหล่งจ่ายกระแสที่เป็นระดับลอจิก ส่วนมากแสดงผลแบบผลิกเหลว ต้องการแรงดันในการทำงานประมาณ 5 โวลต์ เท่ากับระดับลอจิกจากไอซีขับแบบต่างๆ และบางครั้งต้องการไฟลบถึง -10 โวลต์ ในบางชนิด หรือบางรุ่น โดยกระแสที่ใช้งานมีค่า 2-5 มิลลิแอมป์

6. ชนิดของแผงแสดงผลแบบผลิกเหลว โดยทั่วไปแล้วแผงแสดงผลแบบผลิกเหลว มีให้เลือกใช้อยู่หลายชนิด เช่น แผงแสดงผลแบบผลิกเหลวในตระกูลนี้เมติกดั่งที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น มีให้เลือกใช้อยู่หลายแบบ เช่น แบบทีเกลียว (TN), แบบ Super TN (STN), แบบ Double-Layer STN หรือ DSTN และแบบ Film compensation single-Layer STN หรือ FSTN

7. ลักษณะการแสดงผล เป็นคุณสมบัติที่กำหนดการเลือกใช้แผงแสดงผลแบบผลิกเหลวว่าควรจะใช้แผงแสดงผลแบบผลิกเหลวประเภทใดจึงจะเหมาะสมกับสภาพการใช้งานในลักษณะต่างๆ กัน โดยพิจารณาความเข้มของแสงสว่างของบริเวณที่จะใช้งาน

8. ขนาดของแผงแสดงผลแบบผลิกเหลวโมดูล ขนาดของโมดูลจะเป็นตัวกำหนดขนาดของผลิตภัณฑ์ และพื้นที่ในการติดตั้งแผงแสดงผลแบบผลิกเหลว

## 2.7 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter)

การทำงานของไอซีตัวเดียว จำเป็นต้องอาศัยสัญญาณดิจิตอลในการควบคุมการทำงาน และการประมวลผล เมื่อมีความจำเป็นต้องใช้งานไอซีตัวเดียรร่วมกับสัญญาณแอนะล็อก ต้องอาศัยกระบวนการการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล หรือใช้วงจรเอทวูติเข้ามาช่วย โดยวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไปมีดังต่อไปนี้

### 2.7.1 วงจรเปรียบเทียบแบบขนานหรือแบบแฟลช

#### (Parallel Comparator Simultaneous "Flash" A/D Converter)

วงจรเอทวูติแบบนี้ใช้หลักการง่ายๆ อีกทั้งยังเป็นวิธีที่รวดเร็วที่สุด คือ ใช้วงจรเปรียบเทียบต่อขนานกันดังรูปที่ 2.20

ในรูปที่ 2.20 ประกอบไปด้วยขอลปแอมป์ที่ต่อเป็นวงจรเปรียบเทียบ และตัวความต้านทานที่ต่อเอาไว้เพื่อแบ่งแรงดันที่ขาอินพุตแบบกลับเฟส (Inverting) ให้มีขนาดต่างๆ กัน

จากหลักการของวงจรเปรียบเทียบทั่วๆ ไป เมื่อแรงดันอินพุตที่ขาอินพุตแบบไม่กลับเฟส (Noninverting) มีค่าสูงกว่าที่ขาอินพุตแบบกลับเฟส เอาต์พุตจะได้แรงดันค่าสูงสุดจาก

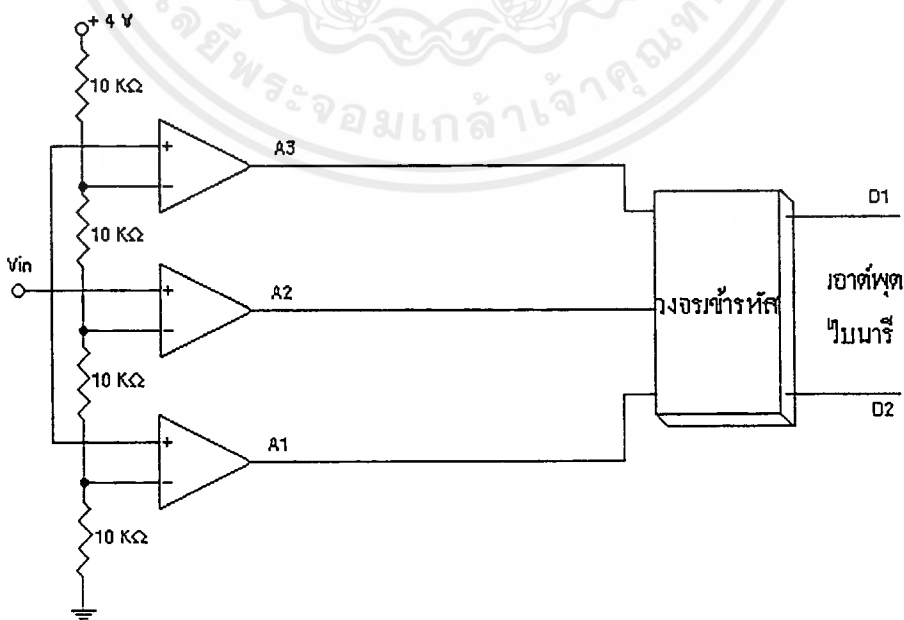
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตที่เป็นแอนะล็อกกับเอาต์พุตที่เป็นดิจิทัล

| แรงดันอินพุต $V_{in}$ (โวลต์) | เอาต์พุตของ<br>วงจรเปรียบเทียบ |    |    | เอาต์พุต<br>เลขฐานสอง |    |
|-------------------------------|--------------------------------|----|----|-----------------------|----|
|                               | A1                             | A2 | A3 | D1                    | D2 |
| 0 - 1                         | 0                              | 0  | 0  | 0                     | 0  |
| 1 - 2                         | 1                              | 0  | 0  | 0                     | 1  |
| 2 - 3                         | 1                              | 1  | 0  | 1                     | 0  |
| 3 - 4                         | 1                              | 1  | 1  | 1                     | 1  |

ตารางที่ 2.2 เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบที่ได้จะนำไปเข้ารหัสให้เป็นเลขฐานสองต่อไป จำนวนของวงจรเปรียบเทียบที่ต้องใช้ในวงจรขึ้นอยู่กับขนาดสัญญาณแอนะล็อกที่อินพุต

เมื่อต้องการวงจรที่มีความละเอียดสูงขึ้น จำเป็นต้องใช้วงจรเปรียบเทียบเพิ่มขึ้น เช่น ถ้าต้องการความละเอียด 3 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบ 7 ตัว ความละเอียด 4 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบ 15 ตัว (16 ระดับ) โดยการหาจำนวนวงจรเปรียบเทียบได้จาก  $2^N - 1$  เมื่อ  $N$  คือ จำนวนบิตหรือความละเอียดที่ต้องการ



รูปที่ 2.20 การต่อวงจรเปรียบเทียบแบบขนานหรือแบบเฟสซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่ามีความละเอียด 8 บิต ต้องใช้มากถึง 255 ตัว ซึ่งเป็นข้อเสียของวงจรเอทุติแบบนี้ ข้อเสียอีกประการหนึ่ง คือ เอาต์พุตที่ไม่ได้เป็นเลขฐานสอง ต้องมีวงจรเพิ่มเติมไปทำการเข้ารหัส ข้อดีของวงจรเอทุติแบบนี้ คือ ความเร็วสูงมาก จึงเรียกววงจรแบบนี้ว่า ลักษณะนี้ว่า เฟลช (Flash) วงจรเอทุติชนิดนี้ใช้เวลาในการแปลงได้เร็วมากเป็นนาโนวินาที

## 2.7.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลที่ใช้ในการอินทิเกรต

### (Integrate A/D Circuits)

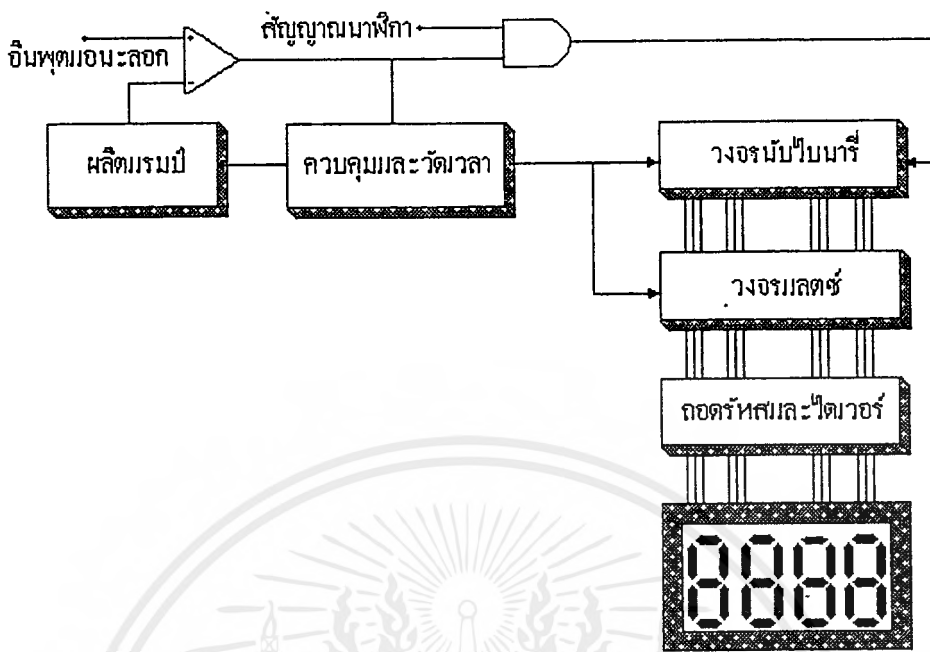
วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลที่ใช้เทคนิคการอินทิเกรตสัญญาณมี 4 แบบ คือ

#### 1. แบบสลอป หรือแบบแรมป์เดี่ยว (Single Ramp หรือ Single Slope A/D Converter)

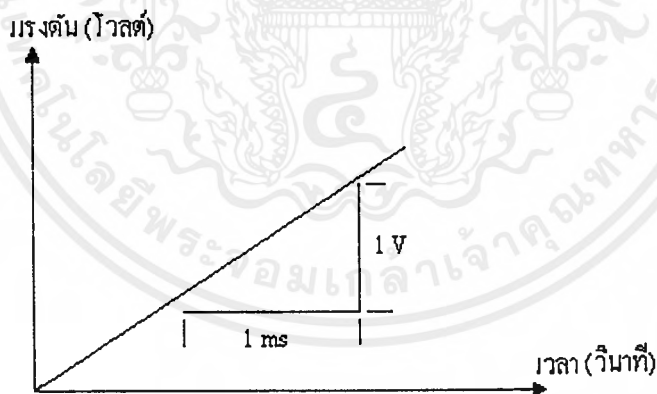
วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.21 ประกอบด้วย วงจรกำเนิดสัญญาณแรมป์, วงจรนับ BCD หรือนับเลขฐานสอง

เมื่อเริ่มทำการเปลี่ยนสัญญาณ สัญญาณแรมป์ และวงจรมนับจะถูกปรับให้เป็นศูนย์ แรงดันแอนะล็อกถูกป้อนไปยังวงจรเปรียบเทียบกับขาเข้าแบบไม่กลับเฟส เมื่อแรงดันขาเข้าที่ขาเข้านี้เป็นบวกมากกว่าที่แรงดันขาเข้าแบบกลับเฟส วงจรเปรียบเทียบจะให้แรงดันขาออกเป็นระดับ 1 ทำให้แอนคเกดปล่อยสัญญาณนาฬิกาไปยังวงจรมนับได้ และทำให้สัญญาณแรมป์มีแรงดันเป็นบวกขึ้นเรื่อยๆ จนมากกว่าระดับแรงดันขาเข้า ระดับแรงดันขาออกของวงจรเปรียบเทียบจะตกลงมาเป็นระดับ 0 ปิดแอนคเกด ไม่มีสัญญาณผ่านไปยังวงจรมนับ วงจรมนับจะหยุดนับ และเก็บค่าไว้ที่วงจรแลตช์ จากนั้น จึงทำการปรับวงจรมนับ และวงจรกำเนิดสัญญาณแรมป์

วงจรในลักษณะนี้มักนำไปใช้งานในการเปลี่ยนเวลาเป็นขนาดของสัญญาณ (Time to Amplitude Conversion) หรืออาจใช้ในดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ แต่ไม่ใช้กับงานที่ต้องการความถูกต้องสูง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในแหล่งกำเนิดสัญญาณแรมป์ขึ้นกับอุณหภูมิ และผลตอบสนองต่อสัญญาณขาเข้า ทำให้ไม่มีความคงที่ ดังนั้น จึงมีการปรับปรุงให้ดีขึ้นกลายเป็นแบบสลอปคู่ (Dual-slope)



รูปที่ 2.21 แผนผังการทำงานของวงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโลป  
เดียว



รูปที่ 2.22 ความชันของสัญญาณเรมปี

## 2. แบบสโลปคู่ (Dual-Slope A/D Converter)

จากรูปที่ 2.23 แสดงผังงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบสโลปคู่ วงจรส่วนใหญ่คล้ายกับแบบสโลปเดียว ซึ่งมีสวิตช์ที่ขาเข้าเพิ่มขึ้น เพื่อทำการ

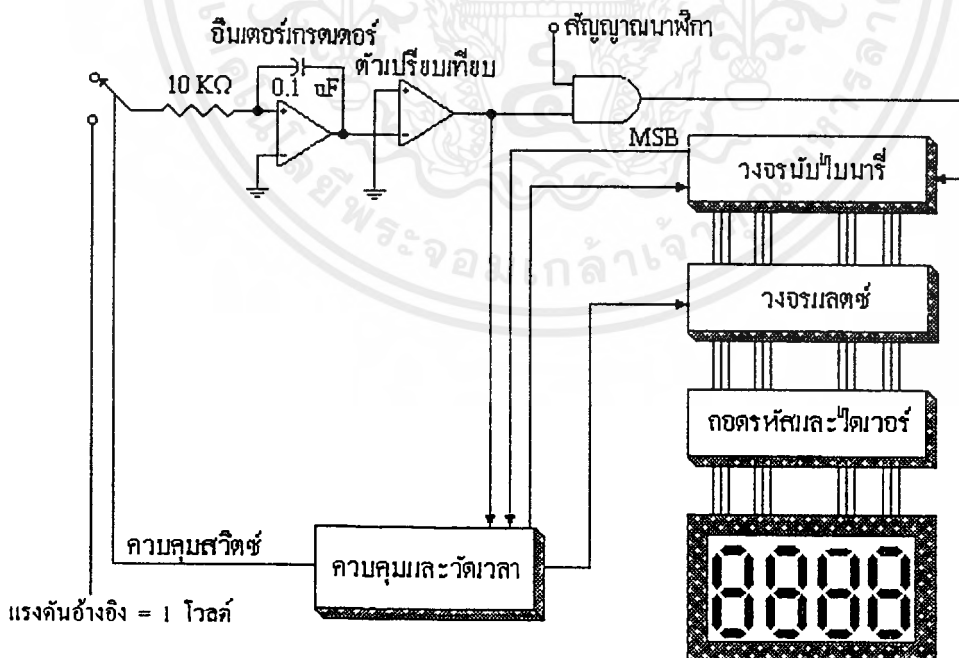
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลือระหว่างแรงดันขาเข้ากับแรงดันอ้างอิง ซึ่งวงจรเปรียบเทียบกับค่าสัญญาณขาเข้าอินพุต กลับเฟสกันกับแบบสโโลปเดี่ยว

ส่วนแรกของวงจร คือ วงจรกำเนิดสัญญาณแรมป์ หรือวงจรอินทิเกรตเตอร์ที่แรงดันระดับขาเข้าแบบกลับเฟสของออปแอมป์มีสภาพเป็นกราวด์เทียม (Virtual Ground) ถ้ามีแรงดันขาเข้า 2 โวลต์ จะได้กระแสไหลผ่านตัวความต้านทาน 10 กิโลโอห์ม หรือมีค่าเท่ากับ 0.2 มิลลิแอมป์ ไปยังจุดรวม

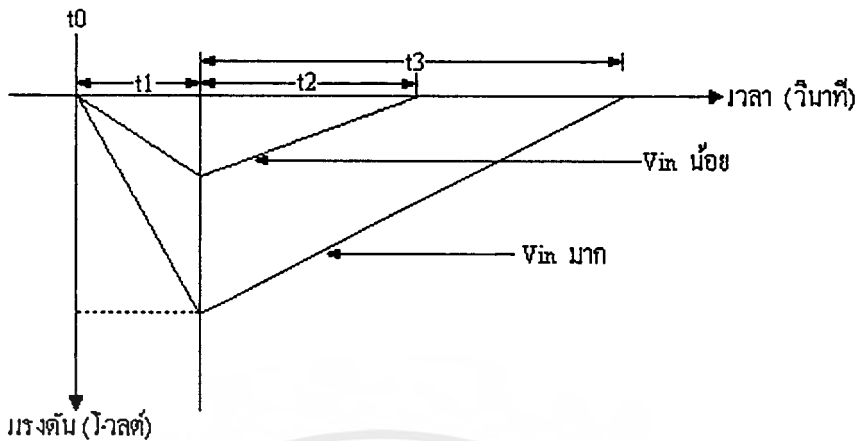
เนื่องจากค่าความต้านทานขาเข้าของออปแอมป์สูงมาก กระแสที่ไหลจึงเกิดขึ้นผ่านตัวเก็บประจุ ขณะที่ตัวเก็บประจุทำการเก็บประจุ แรงดันที่ขาออกของออปแอมป์จะยังเป็นลบมากขึ้นเรื่อยๆ เพื่อรักษาระดับกระแสให้คงที่ แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจึงเกิดเป็นสัญญาณแรมป์ที่เป็นเชิงเส้น (Linear ramp)

ถ้าแรงดันอินพุตเป็นบวก วงจรอินทิเกรตเตอร์จะให้แรงดันขาออกเป็นสัญญาณแรมป์ทางลบดังแสดงในช่วง  $t_1$  ของรูปที่ 2.23 หากแรงดันขาเข้าเป็นลบจะทำให้แรงดันขาออกได้แรมป์ทางบวก



รูปที่ 2.23 แผนผังการทำงานของวงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโโลปคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 แรงดันขาออกของวงจรอินทิเกรเตอร์เทียบกับเวลา

จากวงจรในรูปที่ 2.23 เมื่อสวิตช์ต่อกับสัญญาณอินพุตจะทำให้มีแรงดันบวกจากขาเข้า ป้อนเข้าสู่วงจรอินทิเกรเตอร์ ได้แรงดันขาออกเป็นแรมป์ทางลบ วงจรเปรียบเทียบกับจะได้ แรงดันลบจากวงจรอินทิเกรเตอร์ แล้วให้แรงดันขาออกเป็นบวก ทำการเปิดแอนด์เกตให้ สัญญาณนาฬิกาผ่านเข้าไปสู่วงจรนับ วงจรนับจะนับไปยังค่าที่กำหนดไว้คงที่ ( $t_1$ ) แล้วทำ การสับสวิตช์ต่อเข้ากับแรงดันอ้างอิง ในช่วงที่วงจรนับด้วยค่าคงที่นั้น วงจรอินทิเกรตจะให้ สัญญาณแรมป์ทางลบที่มีค่าได้สูงสุดตามแต่ละระดับแรงดันขาเข้า เมื่อทำการสับสวิตช์ขาเข้า ของวงจรอินทิเกรเตอร์ให้ไปที่ค่าแรงดันอ้างอิงค่าลบ แรงดันขาออกของวงจรจึงได้เป็น แรมป์ทางบวก คือ ช่วง  $t_2$  ในรูปที่ 2.24 พร้อมๆ กับปรับค่าวงจรนับลงเป็นศูนย์ เพื่อเริ่มนับ ใหม่

เมื่อแรงดันขาออกของวงจรอินทิเกรเตอร์เพิ่มขึ้นถึงศูนย์อีกครั้ง แรงดันขาออก ของวงจรเปรียบเทียบกับจะเป็นลบ หรือเป็นศูนย์ วงจรควบคุมจับการเปลี่ยนแปลงอันนี้ได้ส่ง สัญญาณสตrobeให้วงจรนับเก็บค่าที่ได้ไว้ที่วงจรแลตช์ หลังจากนั้น จึงปรับให้เป็นศูนย์ แล้ว ทำการสวิตช์ให้อินพุตของวงจรอินทิเกรเตอร์ต่อกับแรงดันอินพุต ซึ่งเป็นการเริ่มเปลี่ยน สัญญาณอีกรอบหนึ่ง จำนวนที่นับได้ที่เก็บไว้ในวงจรแลตช์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดัน ขาเข้า  $V_{in}$

ข้อดีของวงจรเปลี่ยนสัญญาณแบบสโลปคู่ คือ ความถูกต้องสูง, ราคาถูก และ เสถียรภาพทางด้านอุณหภูมิ ข้อเสีย คือ ความเร็วต่ำ ในการเปลี่ยนสัญญาณ 1 ครั้งใช้เวลาถึง 100 มิลลิวินาที ในขณะที่แบบแฟลช ใช้เวลาประมาณ 30 นาโนวินาที

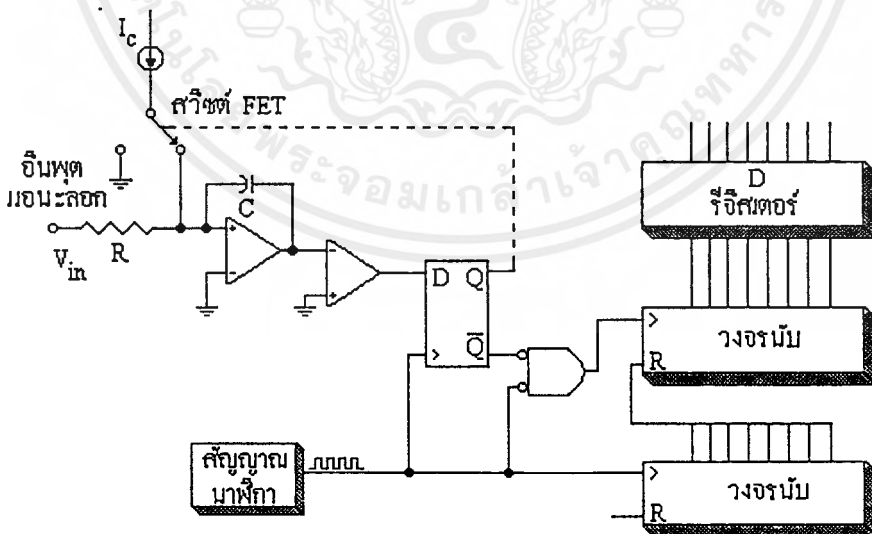
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. แบบประจุสมดุลย์ (Charge Balance A/D Converter)

วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบประจุสมดุลย์ ใช้วงจรสำคัญคล้ายกับแบบสโลปคู่ แต่แทนที่จะให้ขาเข้าสวิตช์ไปมาระหว่างแรงดันที่ไม่รู้ค่ากับแรงดันอ้างอิง จะทำการแทรกพัลส์ของกระแสอ้างอิงมาตรงๆ ที่จุดรวมของวงจรอินทิเกรตเตอร์ในช่วงเวลาที่คงที่ โดยที่จำนวนของพัลส์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันอินพุตที่ไม่รู้ค่า ประโยชน์ของเทคนิคนี้ คือ แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุของวงจรอินทิเกรตเตอร์มีค่าใกล้เคียง 0 โวลต์ ดังนั้น ทำให้ไม่เกิดความผิดพลาดจากผลของกระแสรั่วไหล วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลชนิดนี้จึงมีความถูกต้องสูงกว่าแบบสโลปคู่

### 4. แบบเดลต้า-ซิกมา (Delta-Sigma A/D Converter)

จากวงจรรูปที่ 2.25 เมื่อมีแรงดันอินพุตป้อนเข้าไปที่วงจรอินทิเกรตเตอร์ จะให้แรงดันเอาต์พุตไปเข้าวงจรเปรียบเทียบ เพื่อเปรียบเทียบกับแรงดันคงที่ จากรูปคือกราวด์ โดยที่พัลส์ของกระแสที่ได้ขึ้นอยู่กับเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบ โดยสวิตช์ที่ทำงานจากเฟต (FET) จะควบคุมให้กระแสเข้าไปยังที่จุดรวม หรือลงกราวด์ไป ส่วนวงจรนับจะนับจำนวนพัลส์ด้วยหลักการที่คล้ายกัน



รูปที่ 2.25 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบเดลต้า-ซิกมา

ข้อสรุปของเหตุที่แบบอินทิเกรต สัญญาณจุดสำคัญของเทคนิคอินทิเกรตก็คือ สัญญาณขาเข้าที่ให้กับวงจรอินทิเกรตเตอร์ต้องเป็นกระแส ไอซีคอนเวอร์เตอร์บางตัวอาจมีอินพุตให้สองขา แต่จะมีขาหนึ่งต่อตรงกับจุดใช้กับอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสโดยตรง ถ้าให้อินพุตเป็นกระแส ไม่ต้องคำนึงถึงแรงดันออฟเซตของวงจรอินทิเกรต แต่ถ้าหากใช้กับอินพุตที่เป็นแรงดัน ที่ต้องมีตัวความต้านทานต่ออนุกรมอยู่ เพื่อให้ได้เป็นกระแสที่ต้องปรับออฟเซตของออปแอมป์เสียก่อน

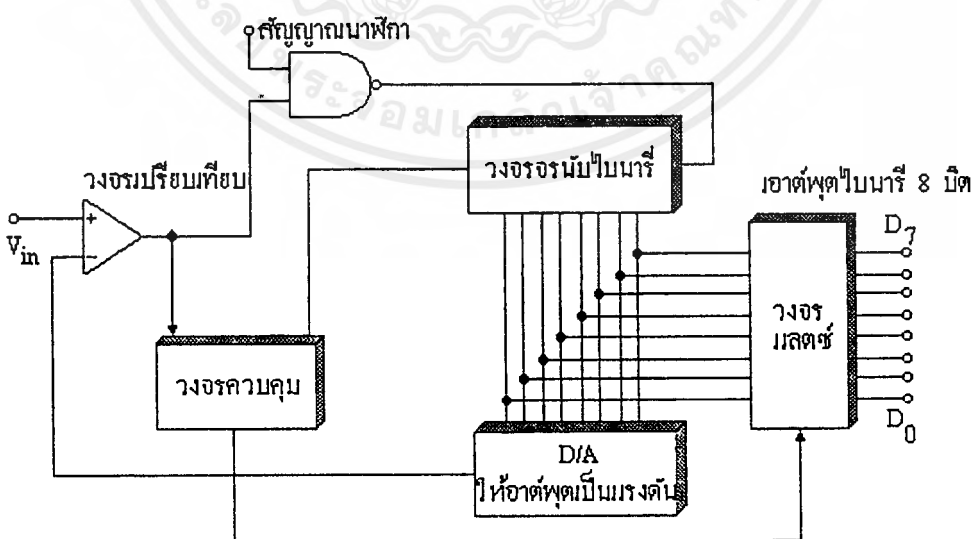
การใช้อินพุตเป็นกระแสทำให้ย่านการใช้งานไฟสลักกว้าง

ไอซีแบบประจุมวลค์มักประกอบด้วยวงจรแปลงแรงดันเป็นความถี่อยู่ด้วย ดังนั้นถ้าหากต้องการเอาต์พุตเป็นความถี่จะสามารถเลือกได้

### 2.7.3 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่ใช้วงจรนับ และวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกประกอบกัน

#### 1. แบบวงจรนับเดียว (Single-Counter)

สัญญาณแรงดันเชิงเส้นอาจประกอบขึ้นด้วยสัญญาณขั้นบันไดเล็กๆ จำนวนมากที่เกิดจากการต่อเอาต์พุตของวงจรนับเข้ากับวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก ขนาดของขั้นบันไดแต่ละขั้นขึ้นอยู่กับจำนวนบิต หรือความละเอียดของวงจรเหตุนี้



รูปที่ 2.26 วงจรเหตุที่แบบวงจรนับเดียวที่สร้างโดยวงจรนับขึ้น และวงจรดิจิทัล

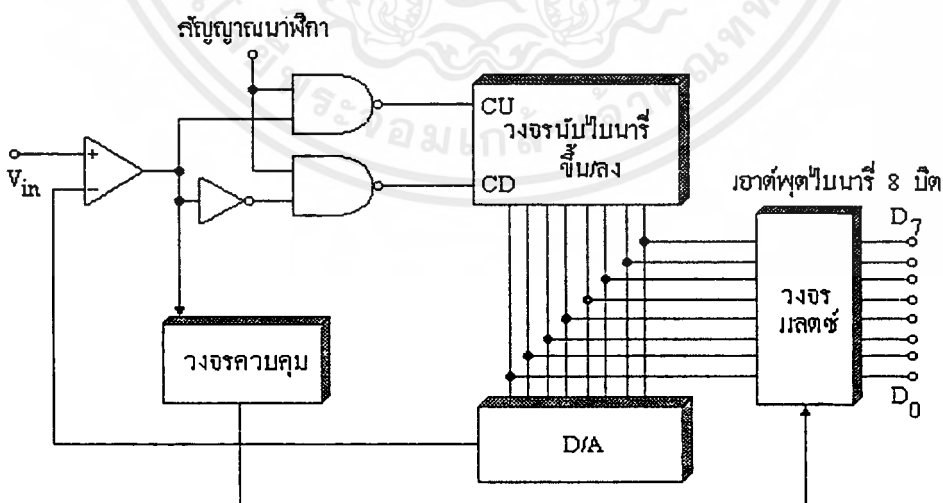
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.26 แสดงการกำเนิดสัญญาณแรมป์ด้วยวงจรนับ และวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อก ซึ่งแทนด้วยวงจรอินทีเกรตเตอร์ เมื่อเริ่มเปลี่ยนสัญญาณ วงจรนับจะถูกปรับเอาต์พุตของวงจรแอนะล็อกเป็นดิจิทัลมีระดับ 0 เมื่อแรงดันถูกป้อนเข้าไปยังขาเข้าของวงจรเปรียบเทียบ สัญญาณขาออกจะขึ้นสู่ระดับ 1 และเปิดสัญญาณนาฬิกาไปสู่วงจรนับ แต่ละพัลส์ของสัญญาณนาฬิกา ทำให้เกิดการนับ และเพิ่มแรงดันขึ้นหนึ่งขั้น

เมื่อสัญญาณขาออกของวงจรเปลี่ยนดิจิทัลเป็นแอนะล็อกมีค่ามากกว่าสัญญาณขาเข้า  $V_{in}$  สัญญาณขาออกของวงจรเปรียบเทียบจะกลายเป็น 0 ทำให้สัญญาณนาฬิกาไม่อาจผ่านไปยังวงจรนับได้ ดังนั้น วงจรควบคุมจะทำการแลตช์เอาต์พุตของวงจรนับ และปรับวงจรนับให้เริ่มรอบใหม่อีกครั้งหนึ่ง

## 2. แบบเทรกกิง (Tracking A/D Converter)

การทำงานของวงจรคล้ายกับแบบใช้วงจรเดี่ยว แต่การนับจะไม่ได้เริ่มจากศูนย์แต่จะทำการนับขึ้น หรือนับลงจากค่าล่าสุดไปยังค่าใหม่ แล้วแต่ว่าแรงดันอินพุตในรอบใหม่มีค่าสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าที่แล้ว ข้อดีของวงจรเปลี่ยนแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบเทรกกิง คือ ทำงานได้เร็วขึ้น



รูปที่ 2.27 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่สร้างขึ้นจากวงจรนับขึ้น/ลง

และวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบใช้การปรับค่า

#### (Successive Approximation A/D Converter)

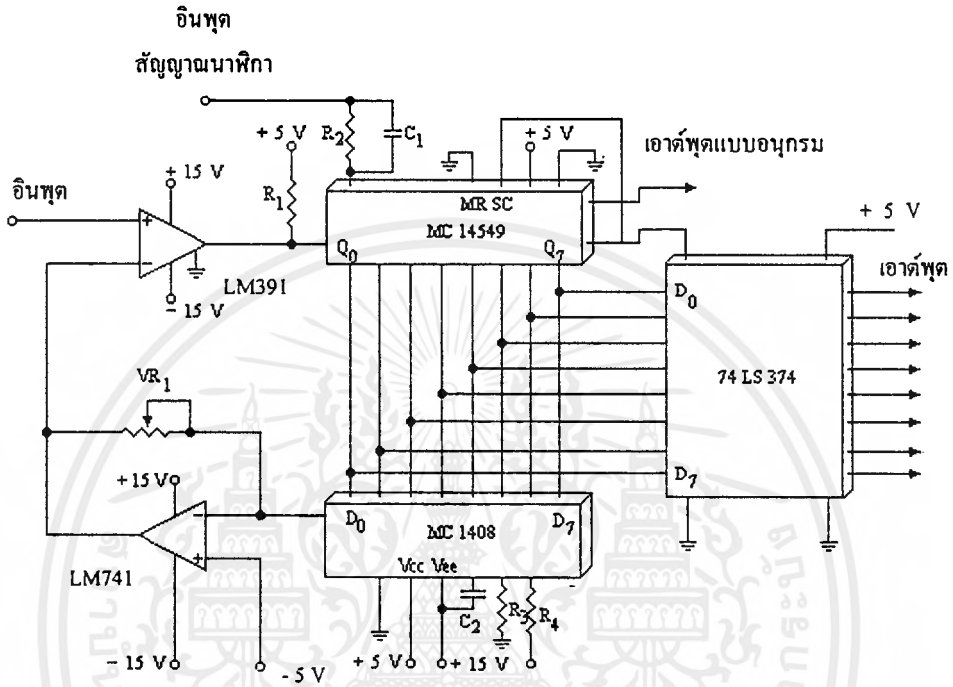
วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบนี้ มีข้อได้เปรียบทางด้านความละเอียด เพราะมีความละเอียดเป็น  $n$  บิต สามารถกำหนดได้จากสัญญาณนาฬิกา  $n$  ลูก เช่น วงจรแปลงขนาด 8 บิต ต้องการพัลส์ของสัญญาณนาฬิกาเพียง 8 ลูก ในขณะที่แบบใช้วงจรนับต้องใช้พัลส์ถึง 256 ลูก วงจร SA (Successive-Approximation) แสดงดังรูปที่ 2.22 ไอซีที่เป็นวงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบใช้การปรับค่าเช่น เบอร์ MC14549 มีการทำงานดังต่อไปนี้

เมื่อเริ่มทำการเปลี่ยนสัญญาณ พัลส์ลูกแรกจะทำการส่งบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุด (MSB) ไปยังวงจรเปลี่ยนดิจิทัลเป็นแอนะล็อกเบอร์ MC1408 โดย SAR จะรอสัญญาณจากวงจรเปรียบเทียบ LM319 ซึ่งทำการตรวจสอบว่า สัญญาณขาออกของวงจรเปลี่ยนดิจิทัลเป็นสัญญาณแอนะล็อกมากกว่า หรือน้อยกว่าแรงดันขาเข้า  $V_{in}$  ถ้าสัญญาณขาเข้าของวงจรเปรียบเทียบเป็นระดับ 1 สัญญาณขาออกของวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกจึงต่ำกว่า  $V_{in}$  โดยที่ SAR จะทำการเก็บบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดไว้ ถ้าสัญญาณขาออกของวงจรเปรียบเทียบเป็นระดับ 0 สัญญาณขาออกของวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกจึงมากกว่า  $V_{in}$  ซึ่ง SAR จะทำการทำบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดนั้น พัลส์ลูกต่อมาจะทำงานเช่นเดียวกัน

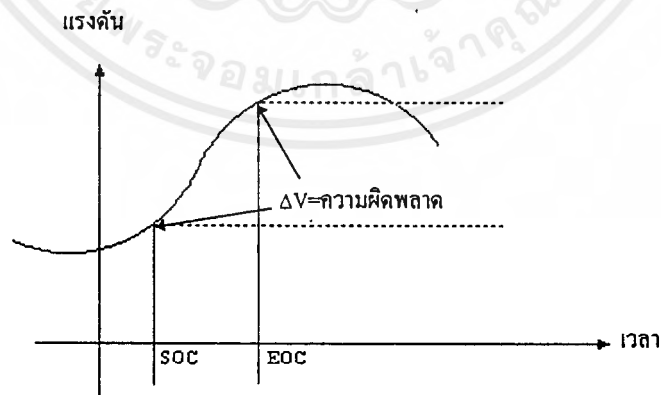
โดยบิตที่ได้ คือ บิตที่มีนัยสำคัญรองลงมา SAR จึงทำงานแบบนี้ไปจนถึงบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด (LSB) แต่ละบิตจะใช้สัญญาณนาฬิกาเพียงลูกเดียว เมื่อครบทุกบิตแล้ว SAR จะทำการส่งสัญญาณ EOC (End of Conversion) ออกไป สัญญาณ EOC เป็นตัวบอกว่าสัญญาณขาออกที่ขนานกันมาทุกเส้นมีข้อมูลดิจิทัลของสัญญาณอินพุตครบถ้วนแล้ว ถ้าสัญญาณ EOC ถูกต่อไปยังอินพุตที่เป็นจุดเริ่มการเปลี่ยนสัญญาณ การเปลี่ยนสัญญาณจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง MC14549 ยังสามารถส่งเอาต์พุตดิจิทัลแบบอนุกรมได้อีกด้วย ขึ้นอยู่กับการควบคุมของ SAR

วงจรรูปที่ 2.28 ใช้แรงดันอินพุตสูงสุด  $\pm 5$  โวลต์ อินพุตแบบไม่กลับเฟสของวงจรออปแอมป์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน (Current to voltage converter) ต่อเข้ากับแรงดัน -5 โวลต์ แทนที่จะต่อลงกราวด์เป็นการยกกระดานแรงดันแอนะล็อกจากแรงดัน -5 โวลต์ ถึงแรงดัน +5 โวลต์ แทน 0 ถึง 10 โวลต์ สัญญาณไฟสลักรูปขาค้นจึงสามารถต่อโดยตรงเข้า

กับอินพุตของเอพูตี่วงจรนี้ได้ วงจรแปลงเอพูตี่ชนิดนี้มีความเร็วและความละเอียดสูง จึงเป็นวงจรที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย



รูปที่ 2.28 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบใช้การประมาณค่า



รูปที่ 2.29 ความผิดพลาดที่เกิดจากสัญญาณแอนะล็อกทางอินพุตเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.7.4 การสุ่มและการคงค่าสัญญาณ (Sample and Holds)

วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลต้องการเวลาในการแปลงสัญญาณ หรือเรียกว่า Conversion Time เพื่อเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่เหมาะสม ถ้าสัญญาณแอนะล็อกมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างเวลาการแปลงสัญญาณขาออกของวงจรเปลี่ยนสัญญาณ อาจเกิดความผิดพลาด จึงต้องมีการป้องกันด้วยวงจรสุ่ม และการคงค่าสัญญาณ (Sample and Hold) เพื่อใช้จับสัญญาณแอนะล็อกที่จุดเริ่มต้นของการเปลี่ยนสัญญาณ แล้วเก็บไว้ในตัวเก็บประจุระหว่างช่วงเวลาการแปลงหลังจากที่การเปลี่ยนสัญญาณเสร็จสิ้น จึงจับสัญญาณแอนะล็อกค่าใหม่มาเก็บไว้อีกครั้งเป็นเช่นนี้ต่อไป จึงมักพบวงจรสุ่ม และคงค่าสัญญาณปรากฏอยู่กับวงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลเสมอ

#### 2.7.5 การป้องกันความผิดพลาดจากสัญญาณแอนะล็อกของอินพุตเปลี่ยนสัญญาณ

วงจรแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ในกระบวนการทำงานส่วนใหญ่ของคอมพิวเตอร์ จะใช้การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลเสียส่วนมาก เพื่อใช้ในการควบคุม, การบันทึก, และการแสดงผล เป็นต้น ซึ่งในการทำงานอาจมีความผิดพลาดขึ้นได้ เนื่องจากสัญญาณแอนะล็อกที่อินพุตไม่อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้และมีสัญญาณรบกวน รวมทั้งแรงดันไฟป้อนไม่คงที่ ดังนั้น จึงต้องมีการสร้างวงจรไว้ป้องกันความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ หรือในกรณีที่เกิดขึ้นแล้ว เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเป็นผลตามมาจากการทำงานที่ผิดพลาดนั้น ต้องมีการป้องกันความผิดพลาดเอาไว้

วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขั้นพื้นฐานนั้นมีลักษณะวงจรอยู่ 2 แบบคือ

- แบบรับแรงดันไฟป้อนเดี่ยว (Monopolar) คือ วงจรสามารถทำงานได้กับแรงดันด้านบวกหรือด้านลบเพียงด้านเดียวเท่านั้น เช่น วงจรทำงานในช่วง 0 ถึง 2.55 โวลต์
- แบบรับแรงดันไฟป้อนคู่ (Bi-polar) คือ วงจรที่ต้องการแรงดันไฟป้อนแบบบวก, แบบลบ และแบบกราวด์ เป็นแรงดันทางด้านบวก และลบที่มีค่าแรงดันเท่ากัน เช่น วงจรจะทำงานในช่วง -2.56 ถึง +2.56 โวลต์ (-2.56, 0, +2.56 โวลต์)

##### 1. การยกระดับ หรือการเคลมปลิงแรงดันด้วยไดโอด

ตามทฤษฎีในทางอุดมคติ อาจกำหนดช่วงของแรงดันอินพุตได้ต่ำลงอีกถึง 0.3 โวลต์ของแหล่งจ่ายแรงดันเดิม ( $V_{CC}$ ) เช่น ที่แหล่งจ่ายไฟเดี่ยว +5 โวลต์ จะสามารถกำหนดขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันทางอินพุตตามทฤษฎีอุดมคติได้ต่ำสุดตั้งแต่ -0.3 โวลต์ จนถึง +5 โวลต์ และถ้าเป็นแบบแหล่งจ่ายไฟคู่  $\pm 5$  โวลต์ จะกำหนดแรงดันอินพุตได้ต่ำสุดตั้งแต่ -5.3 ถึง +5 โวลต์ ซึ่งช่วงแรงดันอินพุตที่กำหนดขึ้นทั้งสองแบบในอุดมคตินี้ แสดงไว้ในรูปที่ 2.30 การออกแบบวงจรป้องกันจะขึ้นอยู่กับวิธีการเลือกชนิดของแหล่งจ่ายแรงดันด้วย แต่จะใช้แบบไหนนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ และวงจรที่ต่อใช้งานร่วม

รูปที่ 2.30 เป็นคุณสมบัติวงจรป้องกันทางอุดมคติ ซึ่งจะทำให้กราฟของแรงดันทางอินพุตอยู่ที่ระดับ -0.3 จนถึง +5 โวลต์ ( $+V_{CC}$ ) ซึ่งในรูปที่ 2.30 (ก) เป็นของแรงดันไฟป้อนเดี่ยว ส่วนรูปที่ 2.30 (ข) เป็นของแรงดันไฟป้อนคู่ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการเคลมปลิงแรงดันที่นอกเหนือจากความต้องการของอินพุต

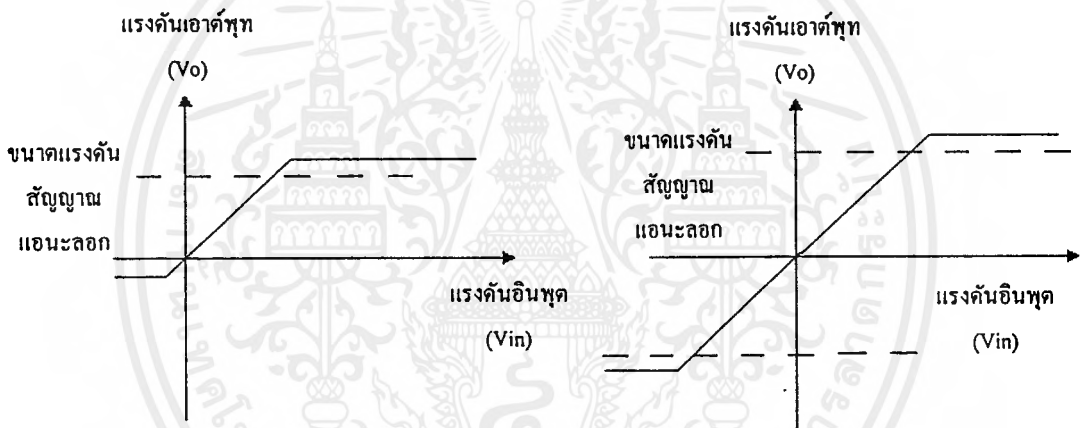
จากรูปที่ 2.31 แสดงวิธีการป้องกันความผิดพลาดของสัญญาณแอนะล็อกที่อินพุตของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลนั้น โดยใช้โอปแอมป์ต่อเป็นวงจรขยายแรงดันตาม (Voltage Follower) เปรียบเสมือนเป็นวงจรบัฟเฟอร์ (Buffer) ระหว่างวงจรป้องกันอินพุตกับวงจรแปลงสัญญาณ A/D สัญญาณที่ปรากฏตรงอินพุตที่จุด A จะผ่านวงจรป้องกันและวงจรบัฟเฟอร์ไปปรากฏที่จุด C ดังแสดงในวงจรรูปที่ 2.31 การป้องกันความผิดพลาดจะเกิดผลมากที่สุด ถ้าวงจรขยายแรงดันตามที่ใช้เป็นบัฟเฟอร์ของวงจรแปลงสัญญาณ A/D ใช้แหล่งจ่ายชนิดเดียวกันกับวงจรแปลงสัญญาณนี้ ซึ่งเป็นชนิดใดขึ้นอยู่กับแรงดันไฟที่ใช้ป้อนวงจรแปลงสัญญาณ

จากรูปที่ 2.32 แสดงวงจรอย่างง่ายสำหรับการป้องกัน ซึ่งยังเป็นวงจรที่มีประสิทธิภาพการป้องกันต่ำอยู่ จากวงจรจะเห็นว่า การต่อซีเนอร์ไดโอดเหมือนกับการต่อไบอัสกลับ (Revers bias) ของไดโอด ถ้าแรงดันอินพุตมากกว่าค่าแรงดันซีเนอร์ของไดโอดจะทำให้ซีเนอร์ไดโอดนำกระแส เพื่อเป็นการป้องกันแรงดันเกินที่อินพุต แต่ถ้าแรงดันที่อินพุตอยู่ในช่วงของค่าแรงดันซีเนอร์ของซีเนอร์ไดโอด จะไม่มีกระแสไหลผ่านตัวซีเนอร์ไดโอด จึงยังไม่ถูกลดทอนลง ความแตกต่างระหว่างแรงดันอินพุตกับค่าแรงดันซีเนอร์ไดโอดจะเท่ากับ  $V_i - V_z$  และจะเกิดการตกคร่อมที่ค่าความต้านทานซึ่งค่าแรงดันที่ผ่านอินพุตได้ โดยยังไม่เกิดการลดทอนสูงสุดเท่ากับ

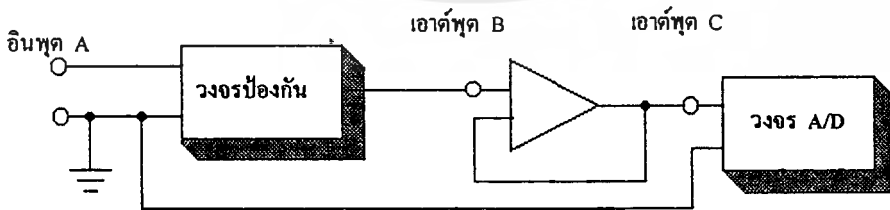
$$V_{i(max)} = V_z + \sqrt{(PR)} \quad (2.18)$$

- เมื่อ  $V_z$  คือ ค่าแรงดันของซีเนอร์ไดโอด (โวลต์)  
 $R$  คือ ค่าความต้านทานในวงจร (โอห์ม)  
 $P$  คือ ขนาดของกำลังวัตต์ของตัวความต้านทาน (วัตต์)

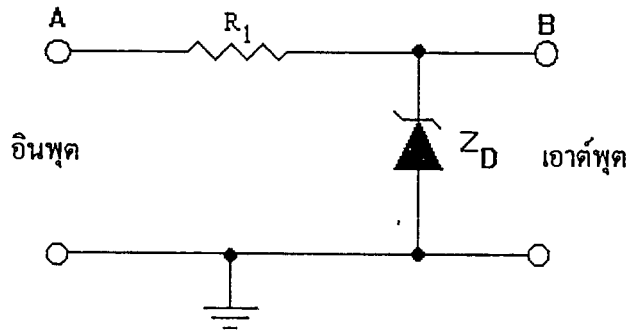
สำหรับแรงดันอินพุตที่เป็นค่าลบนั้น จะทำให้ซีเนอร์ไดโอดนำกระแสที่ประมาณ 0.4 โวลต์ ถ้าแรงดันอินพุตเป็นค่าแรงดันลบมากทำให้กระแสไหลผ่านซีเนอร์ไดโอดมาก เป็นผลให้ซีเนอร์ไดโอดเริ่มเข้าสู่จุดทำงาน และเกิดการแคลมป์ลิ่งขึ้น (Saturate Clamping) เป็นผลให้ที่จุด B มีแรงดันตกคร่อมอยู่ประมาณ -0.7 โวลต์ จากทฤษฎีตรงนี้ จะเห็นว่าการทำงานเช่นนี้เหมาะสำหรับวงจรแปลงสัญญาณ A/D ที่ใช้แหล่งจ่ายไฟป้อนคู่ แต่ไม่เหมาะกับวงจรที่ใช้ไฟป้อนเดี่ยว



รูปที่ 2.30 รูปสัญญาณที่เกิดจากการแคลมป์แรงดันอินพุตในอุดมคติ



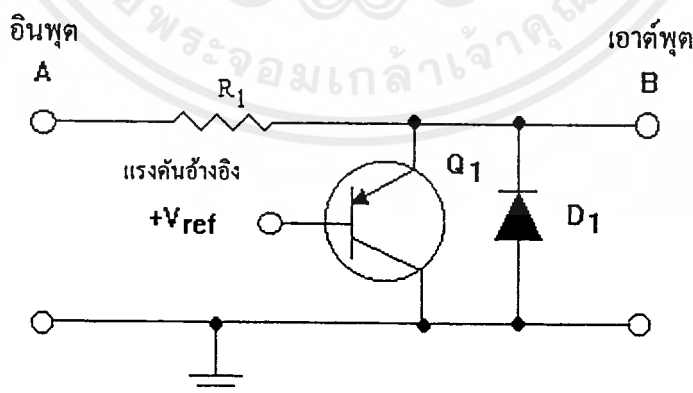
รูปที่ 2.31 แผนผังการทำงานการจัดส่วนป้องกันทางอินพุต



รูปที่ 2.32 วงจรป้องกันอย่างง่าย โดยใช้ซีเนอร์ไดโอดเคลมปลั๊กแรงดัน

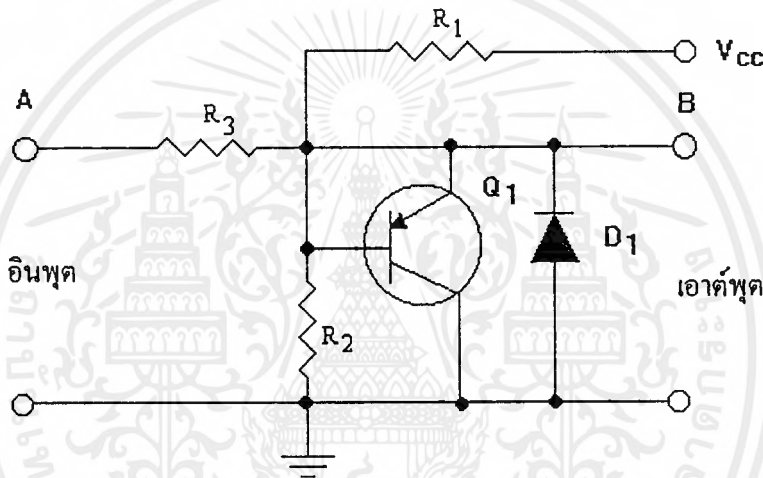
## 2. เคลมปลั๊กแรงดันด้วยทรานซิสเตอร์

การปรับปรุงโดยเอาทรานซิสเตอร์มาทำหน้าที่เคลมปลั๊กแรงดันนั้น ส่วนใหญ่จะจัดวงจรการทำงานแบบอิมิตเตอร์ตาม (Emitter Follower) ดังแสดงในรูปที่ 2.33 เป็นการต่อทรานซิสเตอร์ชนิด PNP ร่วมกับไดโอด และตัวความต้านทาน เมื่อมีแรงดันมาตกคร่อมตัวความต้านทาน โดยมีขาอิมิตเตอร์เป็นตัวภาระ ดังนั้น ทรานซิสเตอร์จะไม่สามารถนำกระแสได้ จนกว่าจะได้รับไบอัสตรง (Forward bias) ระหว่างรอยต่อขาเบส-อิมิตเตอร์ ทรานซิสเตอร์จะเริ่มนำกระแสได้ต่อเมื่อแรงดันที่ขาเบสอิมิตเตอร์มีค่าสูงกว่า 0.4 โวลต์ แรงดัน  $V_{ref}$  มีค่าสูง ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม  $V_{BE}$  เกินกว่า 0.4 โวลต์ ทรานซิสเตอร์จึงนำกระแส



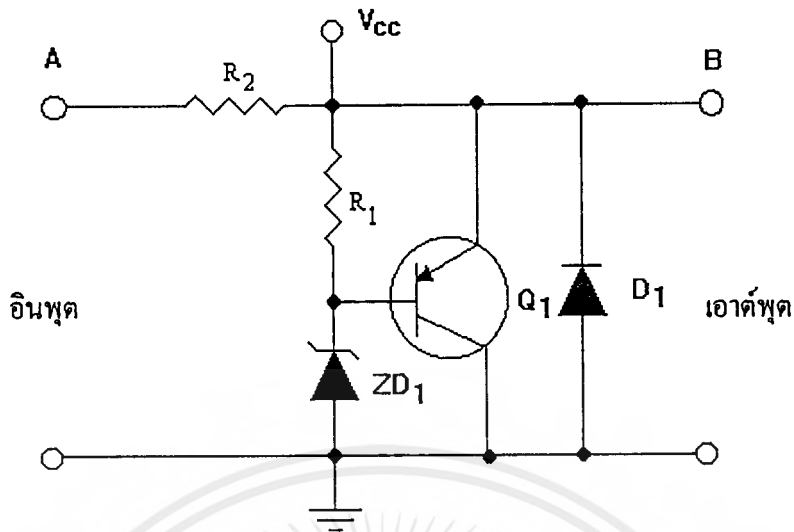
รูปที่ 2.33 การต่อทรานซิสเตอร์อิมิตเตอร์ตามแทนซีเนอร์ไดโอด

ดังนั้น แรงดันอินพุตที่มีค่าระหว่างศูนย์โวลต์ถึงแรงดันอ้างอิง  $V_{ref} + 0.4$  โวลต์ จะเป็นแรงดันที่จุด B ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงแรงดันจากจุด A และจะถูกแคลมป์ไว้ที่แรงดันอ้างอิง  $V_{ref}$  บวกกับแรงดันที่ขาเบส-อิมิตเตอร์ เมื่อ  $V_{BE}$  เพิ่มขึ้นเป็น 0.7 โวลต์ กระแสรวมที่ขาอิมิตเตอร์จะเพิ่มขึ้นตามด้วย ไดโอด  $D_1$  ทำหน้าที่ป้องกัน เมื่อแรงดันอินพุตเป็นลบ และป้องกันเมื่อแรงดันอินพุตเป็นลบ และป้องกันทรานซิสเตอร์จากค่าจำกัดแรงดันย้อนกลับที่ขาคอลเลกเตอร์-อิมิตเตอร์ ( $V_{CE}$ ) โดยไดโอดจะนำกระแสในลักษณะไบอัสตรง เมื่อแรงดันอินพุตเป็นลบมากขึ้น

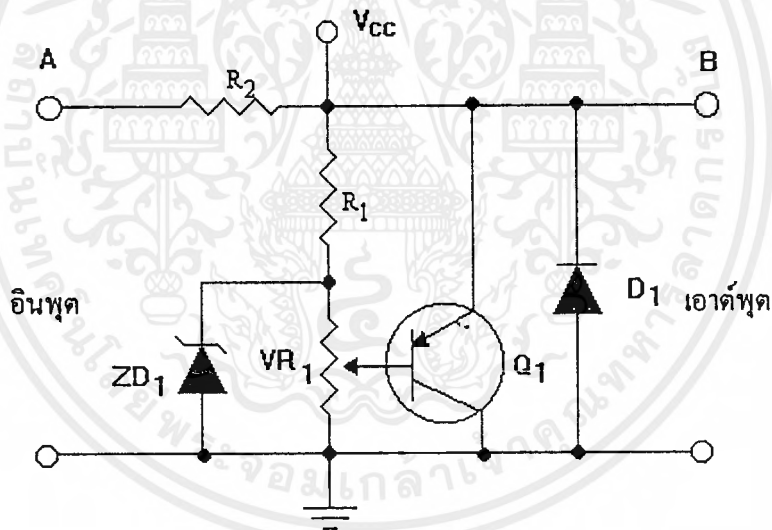


รูปที่ 2.34 การต่อต้านความต้านทานแบ่งแรงดันอ้างอิงให้กับทรานซิสเตอร์

ในรูปที่ 2.34 แสดงวิธีอย่างง่ายของการสร้างแรงดันอ้างอิงจากการต่อวงจรที่มีตัวความต้านทานแบบแบ่งแรงดัน (Resistor Divider) จะทำให้เป็นแหล่งจ่ายที่มีประสิทธิภาพดีขึ้น ถ้ายังมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ อาจใช้ซีเนอร์ไดโอดต่อเป็นตัวควบคุมระดับแรงดันอ้างอิงที่แทนดังรูปที่ 2.35 (ก) แต่ถ้าจะให้สามารถปรับแรงดันอ้างอิงให้ได้ค่าที่ต้องการ และถูกต้อง อาจต่อตัวความต้านทานแบบปรับค่าได้ เพื่อแบ่งแรงดัน และปรับได้ละเอียดยิ่งขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.35 (ข)



(ก) การใช้ซีเนอร์ไดโอดรักษาระดับแรงดันอั่งอิง



(ข) การต่อตัวความต้านทานปรับค่าได้ เพื่อปรับความละเอียดของแรงดันอั่งอิง

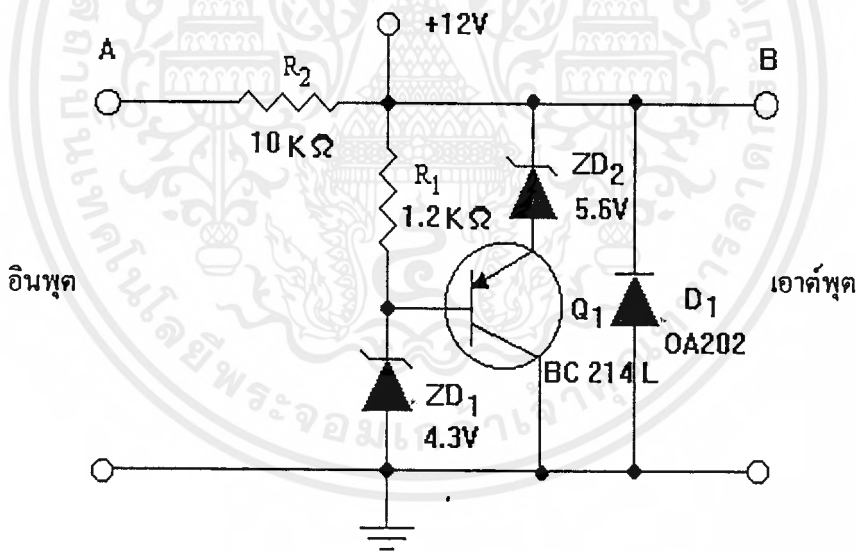
รูปที่ 2.35 (ก) การใช้ซีเนอร์ไดโอดรักษาระดับแรงดันอั่งอิง

(ข) การต่อตัวความต้านทานปรับค่าได้ เพื่อปรับความละเอียดของแรงดันอั่งอิง

### 3. ช่วงแรงดันปลอดภัย

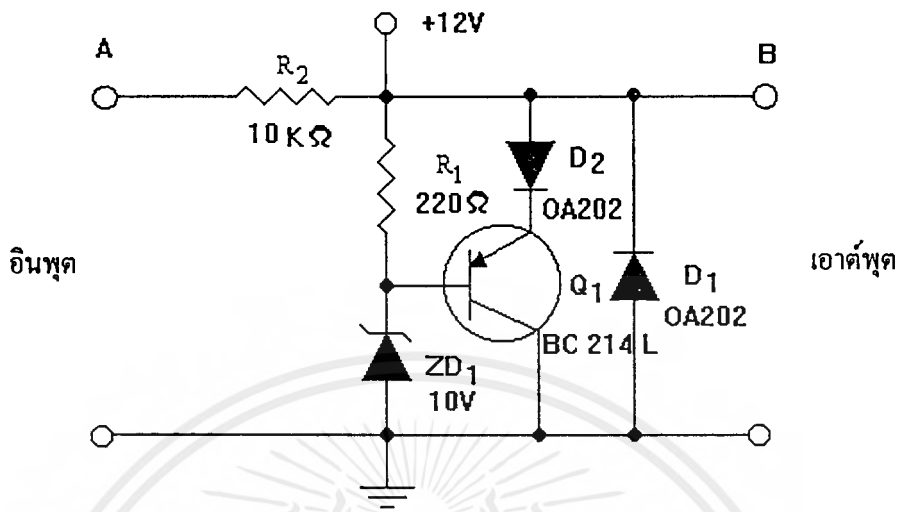
ทรานซิสเตอร์ชนิดซิลิกอนจะมีแรงดันจุดพังทลาย (Break Down Voltage) ระหว่างขาเบส-อิมิตเตอร์ที่ระดับแรงดันต่ำๆ ปกติจะมีแรงดันประมาณ 5-7 โวลต์ ดังนั้น เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ จึงต้องเลือกช่วงแรงดันที่ต่ำกว่าแรงดันจุดพังทลายของทรานซิสเตอร์ เช่น ในรูปที่ 2.36 จะจำกัดแรงดันไว้ที่ประมาณ 4.5 โวลต์ สำหรับแรงดันอ้างอิง ( $V_{ref}$ ) ของทรานซิสเตอร์จะต้องเลือกช่วงที่มีค่าของแรงดันน้อยกว่าแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดยังไม่นำกระแส

วงจรในรูปที่ 2.36 เป็นวงจรที่มีคุณภาพดีในทางทฤษฎี โดยได้มีการเพิ่มช่วงการจำกัดแรงดันด้วยการนำซีเนอร์ไดโอดต่ออนุกรมกับขาอิมิตเตอร์ เป็นการป้องกันการนำกระแสของทรานซิสเตอร์

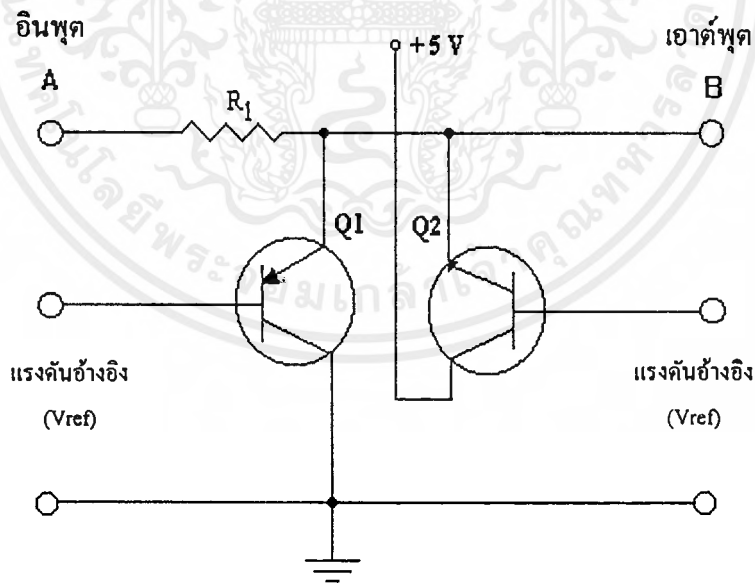


รูปที่ 2.36 การต่อซีเนอร์ไดโอดอนุกรมกับขาอิมิตเตอร์เพื่อเพิ่มช่วงแรงดันการป้องกัน

ในวงจรรูปที่ 2.37  $D_2$ ทำหน้าที่ป้องกันกระแสย้อนกลับที่รอยต่อเบส-อิมิตเตอร์ ช่วงที่ทรานซิสเตอร์นำกระแส ซึ่งจะได้รับไบอัสกลับ จึงมีเฉพาะแรงดันจุดพังทลาย



รูปที่ 2.37 การใช้ไดโอด  $D_2$  ป้องกันการไหลย้อนกลับที่รอยต่อเบส-อิมิตเตอร์เมื่อทรานซิสเตอร์ทำงาน

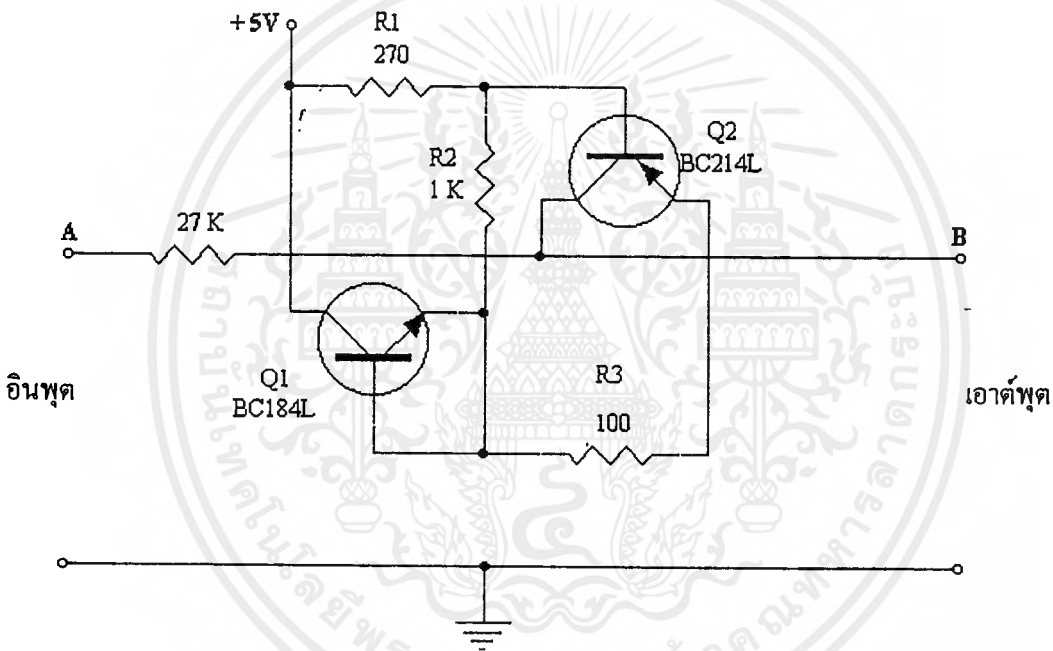


รูปที่ 2.38 การเพิ่มทรานซิสเตอร์เพื่อการป้องกันแรงดันอินพุตที่เป็นลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. การป้องกันทางแรงดันไฟป้อนเดียว

การป้องกันสัญญาณที่อินพุตของแหล่งจ่ายแรงดันไฟป้อนเดียวจะทำให้ยากมาก เพราะว่าสัญญาณแรงดันทางด้านลบจะปรากฏที่จุด B และต้องมีค่าไม่เกิน  $-0.3$  โวลต์ ดังนั้นวิธีแก้ไขสามารถกระทำได้โดยการนำเอาทรานซิสเตอร์ชนิด NPN มาต่อเข้าในวงจรลักษณะอิมิตเตอร์ตามแทนที่ไดโอด  $D_1$  ในวงจรที่ผ่านมา เมื่อทรานซิสเตอร์เข้าไปแล้ว จะได้วงจรดังรูปที่ 2.38 ซึ่งทรานซิสเตอร์ทั้งสองชุดนี้จะทำหน้าที่ป้องกันร่วมกัน

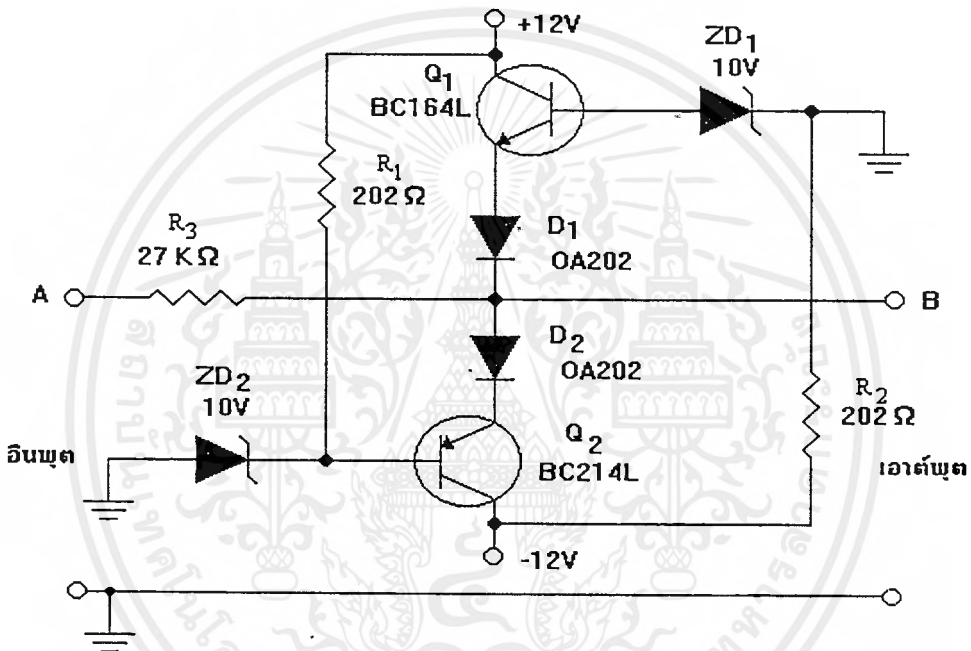


รูปที่ 2.39 การแบ่งแรงดันอ้างอิงให้กับทรานซิสเตอร์ด้วยตัวความต้านทาน  $R_1$  ถึง  $R_3$

ในรูปที่ 2.39 จะใช้ตัวความต้านทาน  $R_1$ ,  $R_2$  และ  $R_3$  ต่อกันเป็นวงจรแบ่งแรงดันอ้างอิงให้กับทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัว สำหรับการใช้งานที่ต้องการคุณภาพแน่นอนจะใช้ตัวความต้านทานเมทัลฟิล์ม (Metal Film) ซึ่งตัวความต้านทานประเภทนี้จะผลิตผลาดเพียงหนึ่งเปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความเสถียรภาพทางอุณหภูมิ และเกิดสัญญาณรบกวนต่ำ

## 5. การป้องกันทางแรงดันไฟป้อนคู่

จะใช้หลักการพิจารณาคล้ายๆ แบบแรงดันไฟป้อนเดี่ยว ซึ่งง่ายในการป้องกันช่วงแรงดันที่อาจจะอยู่กลาง หรือไม่กลางที่ประมาณศูนย์ ในกรณีขาเบสของ  $Q_2$  มีแรงดันอ้างอิงเป็นลบดังแสดงในรูปที่ 2.40 ซึ่งเหมาะสมสำหรับการป้องกันช่วงสัญญาณแอนะล็อกที่มีค่าแรงดันประมาณ  $\pm 10$  โวลต์



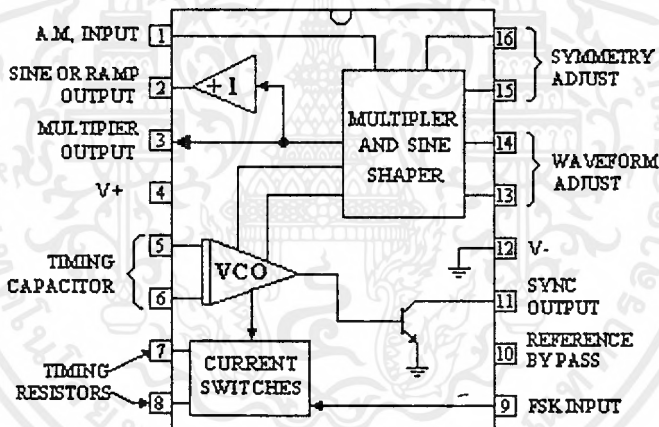
รูปที่ 2.40 การจัดวงจรป้องกันโดยจำกัดค่าแรงดันอินพุตไม่เกิน  $\pm 10$  โวลต์

## 2.8 วงจรกำเนิดสัญญาณคลื่นไซน์

วงจรนี้ใช้ไอซีเบอร์ XR-2206 นี้เป็นโมโนลิทิก ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์มีความสามารถในการผลิตคลื่นรูปไซน์ (Sine), รูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangle), สี่เหลี่ยม (Square), แรมป์ (Ramp) ได้ โดยที่มีความถี่ตั้งแต่ไม่กี่เฮิรตซ์จนถึงหลายร้อยกิโลเฮิรตซ์ โดยต่อกับวงจรภายนอกอีกเล็กน้อย นอกจากนี้ยังสามารถนำไอซี XR-2206 มาควบคุมขนาด, และความถี่ และการเลื่อนเฟสของ Frequency Shift Key ได้อีก

สำหรับ XR-2206 นี้ผลิตโดยบริษัท Exar Intergrated System Inc. ซึ่งเป็นรูปแบบของไอซี 16 ขา สามารถจะใช้กับไฟเลี้ยงในช่วง 10 ถึง 26 โวลต์ได้ หรืออาจใช้ไฟเลี้ยงคู่ได้ในช่วง 5 ถึง 13 โวลต์ ขณะที่ผลลิตคลื่นไซน์ นั้นค่า T.H.D. ของสัญญาณนั้นจะมีค่า 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อยังไม่มีกรปรับแต่ง แต่จะสามารถปรับให้เหลือเพียง 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยการควบคุมของวงจรที่นำมาเชื่อมต่อ โดยสัญญาณเอาต์พุตรูปไซน์นี้จะมีขนาดสูงสุด 2 V<sub>r.m.s</sub> และมีเอาต์พุตอิมพีแดนซ์เท่ากับ 600 โอห์ม

รูปที่ 2.41 แสดงแผนผังแต่ละส่วนของ XR-2206 ซึ่งเป็นรูปแบบขนาด 16 ขา หัวใจสำคัญของส่วนนี้คือวงจรควบคุมแรงดัน (Voltage Control Oscillator) ซึ่งจากรูปจะเห็นว่ามีส่วนเก็บประจุจัดเวลา (Time Capacitor) ซึ่งมีค่า ในช่วง 1,000 พิโกฟารัด ต่อที่ขา 5 และ 6 ซึ่งเป็นอินพุตของวงจรควบคุมแรงดัน



รูปที่ 2.41 แผนผังการทำงานของขาต่างๆ ของ XR-2206

สำหรับตัวต้านทานจัดเวลา (Timing Resister) นั้นจะต่อกับขา 12 และขา 7 หรือขา 8 ซึ่งมีค่าระหว่าง 1 กิโลโอห์ม ถึง 2 เมกะโอห์ม ค่าของตัวต้านทานจัดเวลาและตัวเก็บประจุจัดเวลานี้จะมีผลต่อความถี่ในการออสซิลเลทซึ่งจะมีค่าเท่ากับ

$$f_o = \frac{1}{RC}$$

จะเห็นว่าเราสามารถเปลี่ยนค่าความต้านทาน หรือค่าความจุ เพื่อให้ความถี่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะทำให้เกิดการคงตัวของอุณหภูมิ (Temperature Stability) และความเพี้ยนของสัญญาณไชน์น้อยที่สุด ควรให้ค่าของตัวต้านทานมีค่าอยู่ระหว่าง 4 กิโลโอห์ม ถึง 200 กิโลโอห์ม

ในการเลือกตัวต้านทานจัดเวลาซึ่งต่อกับขา 7 หรือขา 8 นั้น สามารถพิจารณาโดยดูว่ามีการป้อนสัญญาณที่ขาอินพุต FSK หรือไม่ ถ้าขาอินพุต FSK ขา 9 นี้เปิดวงจรหรือต่อกับสัญญาณแรงดันขนาดมากกว่า 2 โวลต์จะต่อตัวความต้านทานเข้าขา 7 ในทางกลับกัน ถ้าขาอินพุต FSK นี้ต่อกับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 1 โวลต์ ขา 8 จะต้องต่อตัวความต้านทานด้วย

ส่วนของวงจรควบคุมแรงดันของไอซีนันผลิตรูปคลื่นได้ 2 ชนิด คือ รูปคลื่นแรมป์ซึ่งจะป้อนไปส่วนของมัลติพลาย และ Shaper Block อีกที่หนึ่ง และรูปคลื่นสี่เหลี่ยมซึ่งป้อนออกที่ขาเอาต์พุตขา 11 โดยผ่านทรานซิสเตอร์ ซึ่งการผลิตรูปคลื่นนี้ขึ้นอยู่กับตัวเก็บประจุจัดเวลา โดยตัวเก็บประจุนี้จะเริ่มต้นประจุ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดคลื่นรูปแรมป์ที่กำลังพุ่งขึ้น และที่อีกเอาต์พุตจะได้สัญญาณแรงดันระดับสูง ที่คลื่นสี่เหลี่ยมจนกระทั่งแรงดันไฟฟ้านั้นจะถึงจุดหนึ่งเรียกว่า Firing Voltage ที่จุดนี้จะทำให้สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจะกลายเป็นสัญญาณแรงดันระดับต่ำ และตัวเก็บประจุจัดเวลา จะเก็บประจุในทิศทางกลับกับตอนต้น เป็นผลทำให้สัญญาณรูปแรมป์จะตกลง ซึ่งจะตกลงจนถึงจุด Firing Voltage เช่นกัน จะทำให้รูปคลื่นสี่เหลี่ยมกลับกลายเป็นระดับสัญญาณระดับสูง และขบวนการต่างๆ จะกลับไปกลับมาเช่นนี้เหมือนเดิม

จากการการอธิบายข้างต้น จะเห็นว่าวงจรควบคุมแรงดันส่วนนี้จะผลิตรูปคลื่นรูปสามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยมที่สมมาตรออกมา ถ้านำเอาสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้จากขา 11 ต่อเข้ากับขาอินพุต FSK (ขา 9) ของไอซีจะมีผลทำให้ได้คลื่นรูปแรมป์ และรูปสี่เหลี่ยมไม่สมมาตรมาแทน

รูปคลื่นแรมป์ที่ได้จากส่วนของวงจรควบคุมแรงดันของไอซีเบอร์ XR-2206 ถูกนำไปเข้ายังส่วนของมัลติพลาย และ Shaper Block อีกที่ ซึ่งส่วนนี้นั้น ทำหน้าที่คล้ายกับวงจรขยายความแตกต่าง ซึ่งจะทำให้เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ที่ขา 3 มีค่าสูง และที่ขา 2 จะเป็นบัฟเฟอร์เอาต์พุตที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 600 โอห์ม ในกรณีที่เปิดวงจรที่ขา 13 และ 14 นั้น มีผลทำให้เอาต์พุตขา 2 และ 3 นั้น ให้รูปคลื่นรูปแรมป์ออกมา แต่ถ้าต่อตัวความต้านทานที่มีค่าความต้านทานสองร้อยถึงสามร้อยโอห์มที่ขา 13 และ 14 จะทำให้ยอดของคลื่นรูปแรมป์ถูกตัดออก

ทำให้เอาต์พุตที่ขา 2 และ 3 ผลิตรูปไซน์ออกมา ถ้ามีการปรับแต่งที่ถูกต้องและเหมาะสม จะทำให้คลื่นรูปไซน์ที่ได้มีความเพี้ยนเพียง 0.5 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้นเอง

สำหรับอัตรายบาย และเฟสของเอาต์พุตของมัลติพลาย สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการเพิ่มสัญญาณแรงดันที่ขา 1 ของไอซี เอาต์พุตที่ได้จะถูกควบคุมโดยการเปลี่ยนแปลงสัญญาณแรงดันที่ขา 1 ซึ่งค่าแรงดันนี้ควรอยู่ราวๆ ครึ่งหนึ่งของไฟที่ป้อนให้ โดยค่าของเอาต์พุตจะมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อสัญญาณแรงดันที่ขา 1 มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงดันที่จ่ายให้กับไอซีพอดี้ และจะเพิ่มขึ้นเมื่อสัญญาณแรงดันเพิ่มขึ้น แต่ถ้าระดับแรงดันเกิดลดลงต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟที่จ่ายให้กับไอซีที่จะทำให้สัญญาณเอาต์พุตเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่เฟสที่ได้จะตรงกันข้ามกัน คุณสมบัตินี้เอง สามารถนำมาใช้ในการมอดูเลททางขนาด (AM) หรือเฟสชิฟต์ (Phase Shift Key) ซึ่งจะให้อาต์พุตที่ขา 2 และ 3

เนื่องจากกว่าเอาต์พุตขา 3 ของไอซี XR-2206 นั้นต่อกับอินพุตของวงจรรายที่มีอัตรายบายเท่ากับ 1 นั้น ซึ่งทำให้เกิดบัฟเฟอร์เอาต์พุตมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 600 โอห์มที่ขา 2 ทำให้สามารถป้อนสัญญาณอินพุตเข้าที่วงจรรายบัฟเฟอร์ โดยการใช้วงจรแบ่งแรงดัน โดยเทียบกับกราวด์ ซึ่งคุณสมบัตินี้เองทำให้สามารถควบคุมอัตรายบายด้วยวิธีง่ายๆ ได้

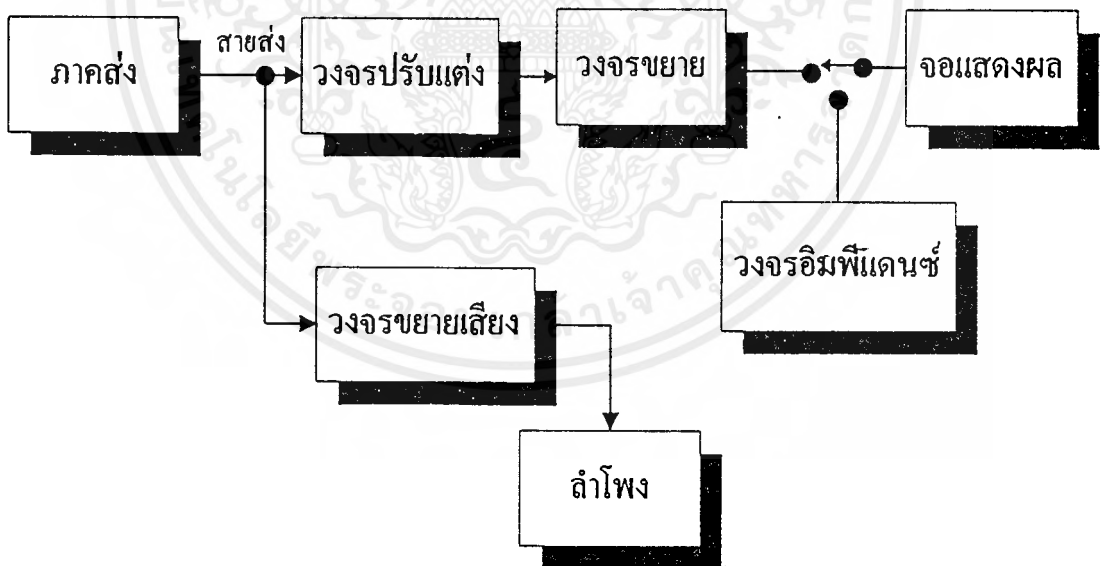
### บทที่ 3

#### การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

##### 3.1 กล่าวนำ

บทนี้กล่าวถึงการออกแบบและการทำงานของวงจรส่วนแสดงผล, พร้อมทั้งการทำงานของวงจรภาครับ, ภาคส่ง และวงจรวัดอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ รวมทั้งอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ ดังมีรายละเอียดการทำงานดังต่อไปนี้

##### 3.2 หลักการทำงานของเครื่องวัดคุณสมบัติสายนำสัญญาณ



รูปที่ 3.1 ผังการทำงานของเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ

จากรูปที่ 3.1 เป็นผังการทำงานของวงจรภายใน โดยประกอบด้วยภาคส่งซึ่งทำหน้าที่ผลิตความถี่ และสามารถเลือกความถี่ที่ทำงานส่งได้ถึง 5 ความถี่ คือ 400 เฮิรตซ์, 800 เฮิรตซ์, 1 กิโลเฮิรตซ์, 1.8 กิโลเฮิรตซ์ และ 2.8 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ในย่านความถี่เสียง และสามารถเลือกระดับความแรงของสัญญาณได้ 5 ระดับ คือ 0 เดซิเบล, -3 เดซิเบล, -10 เดซิเบล, -20 เดซิเบล, และ -40 เดซิเบล เมื่อปรับความถี่ และความแรงของสัญญาณแล้ว จะทำการส่งสัญญาณผ่านสายนำสัญญาณชนิดต่างๆ ที่ทำการทดสอบ เพื่อเข้ามายังภาครับสัญญาณ ซึ่งประกอบด้วยวงจรปรับแต่ง, วงจรขยายเสียง และวงจรขยายสัญญาณ โดยที่วงจรปรับแต่งจะทำหน้าที่ปรับแต่งสัญญาณ ซึ่งจะเลือกรับสัญญาณที่เหมาะสมโดยมีตัวปรับเลือกเป็นตัวเลือก และจะส่งสัญญาณผ่านวงจรขยายส่งสัญญาณไปยังภาคแสดงผล และในภาครับดังกล่าวยังสามารถจัดแสดงเสียงได้ โดยสัญญาณที่รับเข้ามาจะผ่านวงจรขยายเสียงออกลำโพง ซึ่งสัญญาณขยายเสียงนี้สามารถปรับระดับความแรงของสัญญาณได้

วงจรอีกภาคหนึ่งที่สำคัญในการวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณนั้น คือ วงจรวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสาย ซึ่งการวัดดังกล่าวจะมีขีดความสามารถที่จำกัดตั้งแต่ 0-500 โอห์ม ซึ่งแสดงค่าในจอแสดงผล

### 3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในภาคแสดงผล

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่นำมาใช้สร้างวงจรแสดงผล ซึ่งประกอบไปด้วยไอซีตัวเดียวใช้ควบคุมการทำงานของส่วนแสดงผล และแผงแสดงผลแบบพนักเหลวขนาด

#### 3.5 หลัก

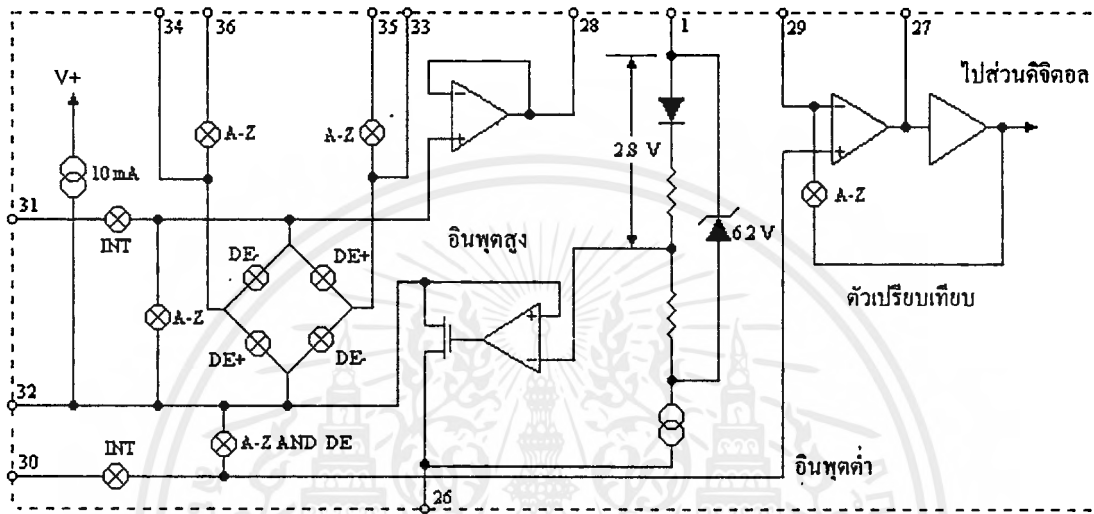
##### 3.3.1 ไอซีควบคุมการทำงานของส่วนแสดงผล

###### วงจรส่วนแอนะล็อก (Analog Section)

จากรูปที่ 3.2 แสดงวงจรส่วนแอนะล็อกไอซีเบอร์ ICL7106 ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วนใหญ่ ส่วนปรับศูนย์อัตโนมัติ, ส่วนอินทิเกรตสัญญาณ และส่วนกลับการอินทิเกรต

ส่วนการปรับศูนย์อัตโนมัติ ทำหน้าที่ปรับระดับสัญญาณเพื่อชดเชยแรงดันออฟเซตให้กับวงจรบัฟเฟอร์, วงจรอินทิเกรตเตอร์ และวงจรเปรียบเทียบ เพื่อใช้วงจรแสดงค่าศูนย์ออกมาขณะที่ไม่มีสัญญาณเข้ามา

ส่วนการอินทิเกรตสัญญาณทำหน้าที่การอินทิเกรตสัญญาณความแตกต่างของขา IN HI และ IN LO แล้วป้อนให้กับวงจรเปรียบเทียบ เพื่อเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ขา IN LO จะต่ออยู่กับขา Common เพื่อให้ได้ค่าแรงดันโหมคร่วมที่ถูกต้อง



รูปที่ 3.2 วงจรส่วนแอนะล็อกของ ICL7106

ส่วนกลไกการอินทิเกรตทำหน้าที่เป็นส่วนอ้างอิงการอินทิเกรต เพื่อให้เอาต์พุตการอินทิเกรตกลับเป็นศูนย์อีกครั้ง ซึ่งส่วนนี้จะใช้ในการกำหนดความถี่ในการอ่านค่าการแสดงผล

#### ค่าความต่างอินพุต (Different Input)

ความแตกต่างของแรงดันโหมคร่วมที่อินพุตสามารถยอมรับได้จะมีขนาดแรงดันตั้งแต่ 1 โวลต์ จนถึง 8.5 โวลต์ ถ้าใช้แหล่งจ่าย 9 โวลต์ ซึ่งในย่านนี้ระบบจะมีค่า CMRR เท่ากับ 86 เดซิเบล

#### ความต่างของการอ้างอิง (Differential Referent)

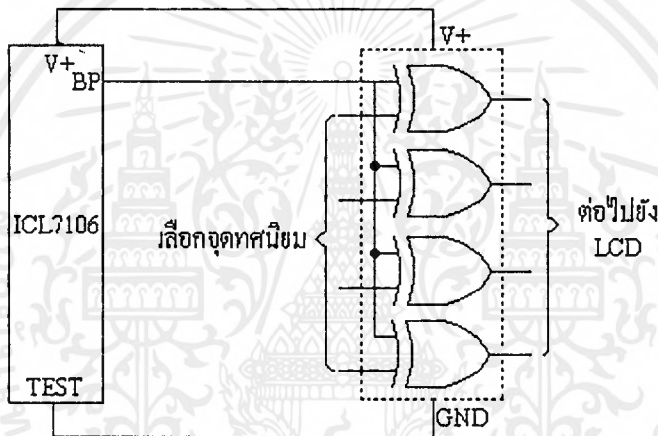
แรงดันอ้างอิงถูกกำเนิดมาจากแหล่งจ่ายกำลัง ซึ่งเป็นแรงดันของการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของการอ้างอิง แรงดันอินพุตที่เป็นบวก หรือลบอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดได้ ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้จะต้องไม่เกิน 5 ครั้ง

### ขาร่วมแอนะล็อก (Analog Common)

เป็นขาร่วมทางแอนะล็อกของวงจรภายในไอซี ICL7106 โดยปกติมีแรงดันตกคร่อมที่ขานี้ประมาณ 2.8 โวลต์ และจะถูกต่อไว้กับขา REF LO ของไอซีเสมอ ถ้าหากใช้ไอซีตัวนี้กับแบตเตอรี่ 9 โวลต์ แรงดันที่แบตเตอรี่จะต้องไม่ต่ำกว่า 6 โวลต์ วงจรจึงจะทำงานได้

### ขาทดสอบ (Test)

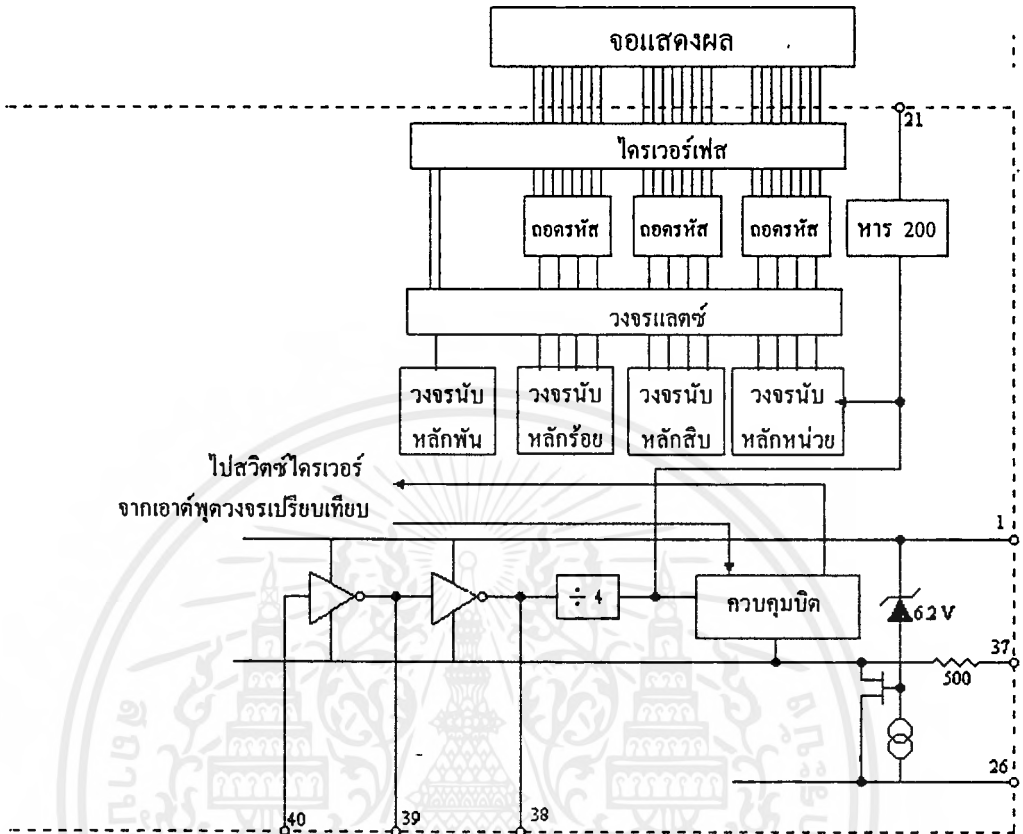
ขานี้มีหน้าที่ คือ เป็นแหล่งจ่ายไฟดิจิทัลลบให้กับไอซีดิจิทัลที่ใช้เป็นตัวขับแผงแสดงผลแบบผลึกเหลวในส่วนที่เป็นจุดทศนิยม ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การต่อ Exclusive-OR Gate เพื่อขับส่วนที่เป็นจุดทศนิยม

### วงจรส่วนดิจิทัล (Digital Section)

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นว่า กราวด์ดิจิทัลภายในตัวไอซีเกิดจากซีเนอร์ไดโอด 6 โวลต์ และเฟดแบบเซนแนล-พี ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายตาม (Source Follower) โดยแหล่งจ่ายนี้จะจ่ายให้กับขา BP (Black Plane) เพื่อขับแผงแสดงผลแบบผลึกเหลว ความถี่ที่ป้อนให้กับขา BP จะถูกหารด้วย 800 ดังนั้น ในการอ่าน 3 ครั้งต่อวินาที ของแผงแสดงผลแบบผลึกเหลวจะใช้ความถี่ 60 เฮิรตซ์ เป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5 โวลต์ โดยที่ส่วนเชกเมนต์จะถูกขับด้วยความถี่ และสัญญาณเดียวกันแต่ต่างเฟสกับ BP



รูปที่ 3.4 วงจรส่วนดิจิทัลของ ICL7106

### 3.3.2 การเลือกค่าอุปกรณ์ สำหรับ ICL7106

#### 1. ตัวความต้านทานอินทิเกรตติง (Integrating Resistor)

ตัวต้านทานที่ต่ออยู่กับขา BUFF ของ ICL7106 ทำหน้าที่เป็นตัวความต้านทานอินทิเกรตจะต้องเลือกค่าที่มากพอ จะทำให้เกิดความเป็นเชิงเส้นกับย่านการวัด เช่น ย่านการวัด 2 โวลต์เต็มสเกลจะใช้ค่า 470 กิโลโอห์ม ส่วนในย่าน 200 มิลลิโวลต์ เต็มสเกลใช้ค่า 47 กิโลโอห์ม

## 2. ตัวเก็บประจุอินทิเกรตติ้ง (Copacitor Integrating)

ตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่กับขา INT ควรจะเลือกเอาค่าที่สามารถทำให้การแกว่งของแรงดันมีค่าสูงสุด โดยที่ไม่ทำให้แรงดันของการอินทิเกรตเกิดการอิ่มตัว (มีค่าประมาณ 0.3 โวลต์ ในแหล่งจ่ายแต่ละแบบ) สำหรับ ICL7106 ในย่าน 2 โวลต์ เต็มสเกล โดยขาร่วมแอนะล็อกถูกใช้เป็นจุดอ้างอิงการอินทิเกรตในการอ่านค่าแบบ 3 รอบต่อวินาที (สัญญาณนาฬิกา 48 กิโลเฮิร์ตซ์) โดยปกติแล้วใช้ค่า  $C_{INT}$  มีค่า 0.22 ไมโครฟารัด และ 0.1 ไมโครฟารัด ตามลำดับ

## 3. ตัวเก็บประจุปรับค่าศูนย์อัตโนมัติ (Auto Zero-Capacitor)

ค่าของตัวเก็บประจุปรับศูนย์อัตโนมัติ จะมีผลกับสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น ในย่าน 200 มิลลิโวลต์เต็มสเกล ซึ่งถือว่า สัญญาณรบกวนจะมีความสำคัญมาก มักจะใช้ตัวเก็บประจุ 0.47 ไมโครฟารัด ส่วนย่าน 2 โวลต์เต็มสเกลจะใช้ค่า 0.047 ไมโครฟารัด ตัวเก็บประจุปรับศูนย์อัตโนมัติจะช่วยเพิ่มความเร็วในการคืนสภาพจากการเกิดตัวถ่วงเรเกิน และยังเป็นตัวกรองสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นด้วย

## 4. ตัวเก็บประจุอ้างอิง (Reference Capacitor)

ตัวเก็บประจุอ้างอิงส่วนมากจะใช้ค่า 0.1 ไมโครฟารัด เนื่องจากเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งาน อย่างไรก็ตาม ถ้าหาก ขา REF LO ไม่ต่อกับขาร่วมแอนะล็อก แสดงว่าวงจรใช้ค่าแรงดันโหมครวมที่มีค่ามากขึ้นค่าตัวเก็บประจุจะเปลี่ยนไป

## 5. อุปกรณ์สร้างวงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator Component)

ในทุกย่านการวัด ตัวความต้านทาน 100 กิโลโอห์ม มักจะถูกใช้เสมอ และเลือกเอาค่าตัวเก็บประจุจากสมการ

$$F = \frac{0.45}{RC}$$

สำหรับความถี่ 48 กิโลเฮิร์ตซ์ (การอ่าน 3 รอบต่อวินาที) จะใช้ตัวเก็บประจุ 100 พิโกฟารัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. แรงดันอ้างอิง (Reference Voltage)

ค่าแรงดันอินพุตเต็มสเกลหาได้จาก  $V_{IN} = 2 V_{REF}$  ดังนั้น สำหรับย่านการวัด 200 มิลลิโวลต์ และ 2 โวลต์ แรงดันอ้างอิง ควรจะมีค่าเท่ากับ 100 มิลลิโวลต์ และ 1 โวลต์ ตามลำดับ

### 3.3.3 รายละเอียดในการออกแบบใช้งาน ICL7106

#### ความถี่ออสซิลเลเตอร์

$$F_{OSC} = \frac{0.45}{RC} \quad (3.1)$$

$$C_{OSC} = 50 \text{ PF}; R_{OSC} > 50 \text{ กิโลโห์ม}$$

#### ช่วงเวลาการเกิดออสซิลเลเตอร์

$$t_{OSC} = \frac{RC}{0.45} \quad (3.2)$$

#### ความถี่ของสัญญาณพิกัดที่ใช้อินทีเกรต

$$F_{CLOCK} = \frac{F_{OSC}}{4} \quad (3.3)$$

#### ช่วงเวลาการอินทีเกรต

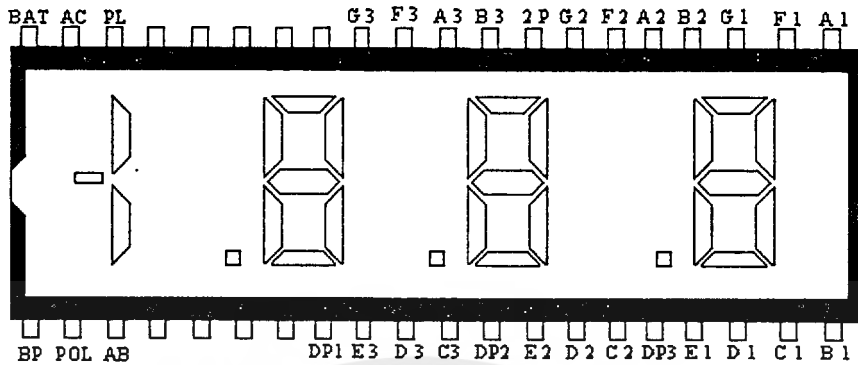
$$t_{INT} = 100 \times \frac{4}{F_{OSC}} \quad (3.4)$$

### 3.3.4 ตัวแสดงผลแบบผลึกเหลว

แผงแสดงผลที่ใช้นั้นเป็นแผงแสดงผลแบบ 3.5 หลัก และแบบธรรมดา ซึ่งมีขาเป็นดินตะขาบ 40 ขา ดังรูปที่ 3.5

## 3.4 การออกแบบวงจรภาคแสดงผล

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการออกแบบวงจรส่วนแสดงผลแบบตัวเลข เนื่องจากเป็นวงจรส่วนที่สร้างขึ้นใหม่ และเป็นส่วนหนึ่งที่เพิ่มเติมเข้ามาที่รายละเอียดการออกแบบมีดังนี้



รูปที่ 3.5 แผงแสดงผลแบบผลึกเหลวขนาด 3.5 หลัก แบบธรรมดา

### 1. วงจรส่วนแสดงผลโดยใช้แผงแสดงผลแบบผลึกเหลว

วงจรส่วนแสดงผลโดยใช้แผงแสดงผลแบบผลึกเหลวจะใช้ไอซีเพียงตัวเดียว คือ เบอร์ ICL7106 ควบคุมการทำงาน โดยมีรายละเอียดการออกแบบดังนี้

#### 1.1 ความถี่ออสซิลเลเตอร์

จาก 
$$F = \frac{0.45}{RC}$$

กำหนด 
$$C = 100 \text{ pF}$$

$$f_{osc} = 48 \text{ kHz}$$

$$R = \frac{0.45}{(48 \text{ kHz} \times 100 \text{ pF})}$$

$$= 93.75 \text{ กิโลโอห์ม (ใช้ค่า 100 กิโลโอห์ม)}$$

#### 1.2 ตัวต้านทานอินทิเกรต

$$R_{INT} = \frac{V_{INFS}}{I_{INT}} \quad (3.5)$$

เมื่อ 
$$V_{INFS} = 200 \text{ mV}$$

$$I_{INT} = 4 \text{ } \mu\text{A}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{INT} = \frac{200 \text{ mV}}{4 \text{ } \mu\text{A}} = 50 \text{ k}\Omega \text{ (ใช้ค่า 47 กิโลโอห์ม)}$$

### 1.3 ตัวเก็บประจุอินทิเกรต

$$C_{INT} = \frac{(t_{INT})(I_{INT})}{V_{INT}} \quad (3.6)$$

เมื่อ

$$t_{INT} = 1000 \times \frac{4}{F_{OSC}}$$

$$I_{INT} = 4 \text{ } \mu\text{A}$$

$$V_{INT} = 2 \text{ V}$$

หา

$$t_{INT} = 1000 \times \frac{4}{45 \text{ kHz}}$$

$$\therefore C_{INT} = \frac{88.89 \text{ mS} \times 4 \text{ mS}}{2} = 0.17 \text{ } \mu\text{F} \text{ (ใช้ค่า 0.22 ไมโครฟารัด)}$$

### 1.4 ตัวเก็บประจุปรับศูนย์อัตโนมัติ

$C_{AZ}$  (0.01  $\mu\text{F}$  ถึง 1  $\mu\text{F}$ )

เลือกใช้ค่า  $C_{AZ} = 0.47 \text{ } \mu\text{F}$  เมื่อค่าเต็มสเกลเท่ากับ 200 มิลลิโวลต์

### 1.5 ตัวเก็บประจุอ้างอิง

$C_{REF}$  (0.1  $\mu\text{F}$  ถึง 1  $\mu\text{F}$ )

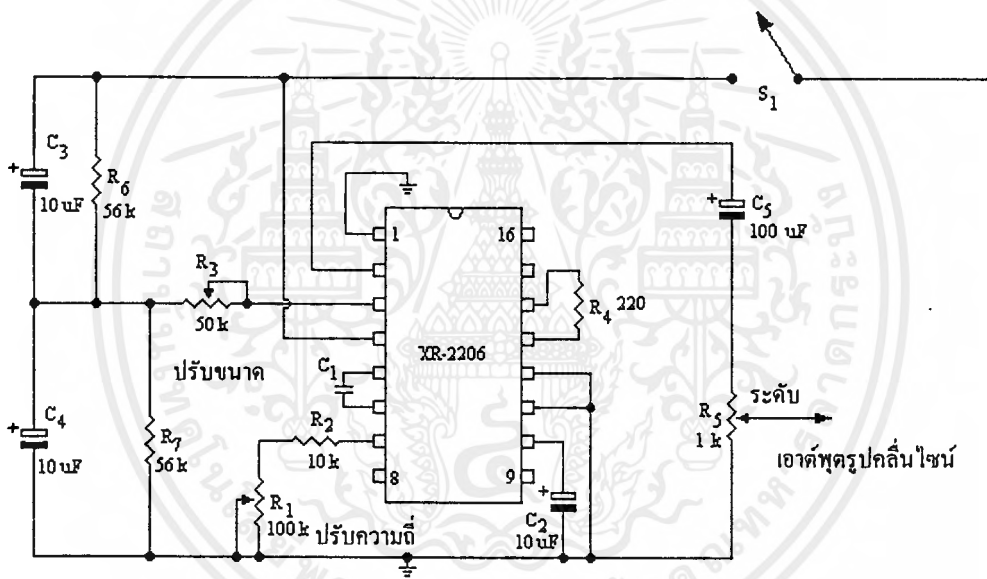
เลือกใช้ค่า  $C_{REF} = 0.47$  (ค่าที่แนะนำเอาไว้ในรายการข้อมูล)

## 3.5 หลักการทำงานของวงจรภาคส่ง

รูปที่ 3.6 เป็นการต่อวงจรอย่างง่ายสำหรับผลิตคลื่นรูปไซน์ที่มีช่วงความกว้างอย่างง่าย ๆ ซึ่งจากรูปมีไฟที่จ่ายให้กับไอซีเพียงตัวเดียว และตัวความต้านทานจับเวลาประกอบด้วย  $R_1$  และ  $R_2$  ซึ่งต่ออนุกรมกันอยู่ และสามารถที่จะผลิตคลื่นรูปไซน์ที่มีความถี่ได้หลายย่าน โดยการให้ค่าของตัวเก็บประจุเปลี่ยนไป โดยที่เมื่อ  $C_1$  นั้น มีค่า 1 ไมโครฟารัด ความถี่ที่ได้จะอยู่ในช่วง 10 เฮิรตซ์ถึง 100 เฮิรตซ์ โดยปรับค่า  $R_1$  ถ้า  $C_1$  มีค่า 0.001 ไมโครฟารัด ความถี่ที่ได้จะมีค่า 10 กิโลเฮิรตซ์ ถึง 100 กิโลเฮิรตซ์ ขอให้สังเกตว่าตัวความต้านทานจับเวลา นั้นใช้แค่ค่า 7 ของไอซีเท่านั้น เหตุผลเพราะขา FSK INPUT (ขา 9) นั้นมิได้ป้อน

เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและทำความเข้าใจถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

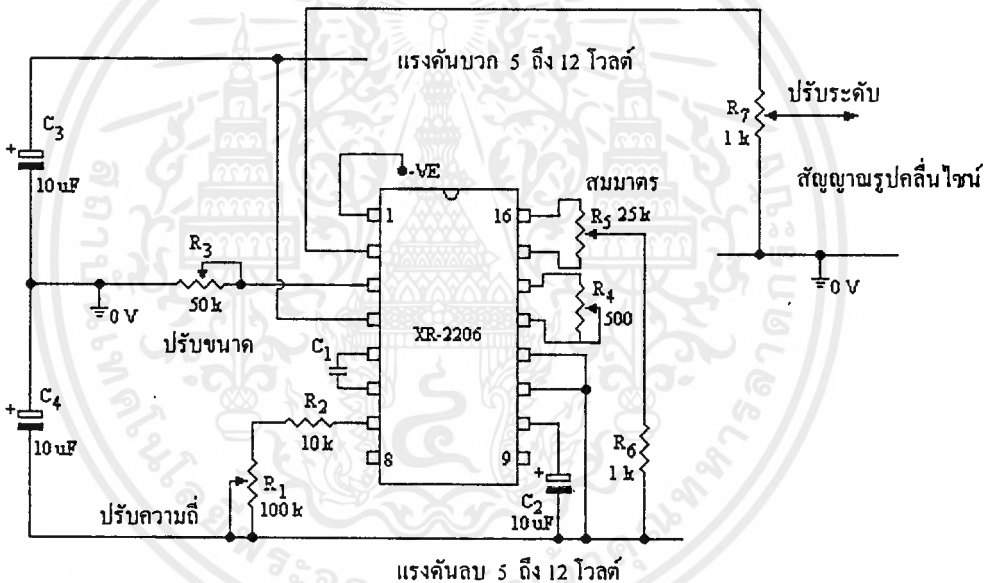
สัญญาณใดๆ ตามที่เคยกล่าวไว้ตอนต้น วงจรจะผลิตคลื่นรูปไซน์ เพราะว่าต่อตัวความต้านทาน 220 โอห์ม ต่อเข้ากับขา 13 และ 14 ของไอซี สำหรับตัวอย่างนี้คลื่นรูปไซน์จะมีความเพี้ยนของสัญญาณน้อยกว่า 2.5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแรงดันไฟฟ้าที่ขา 3 ของไอซีนี้มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของไฟเลี้ยง โดยการใช้วงจรแบ่งแรงดัน  $R_6$ - $R_7$  ซึ่งต่อขนานกับ  $C_3$ - $C_4$  ซึ่งมีอิมพีแดนซ์ต่ำ ดังนั้น สัญญาณรูปไซน์ที่ขา 2 ควรจะมีค่าราวๆ ครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟเลี้ยง ส่วนเอาต์พุตที่ได้จะถูกกรองสัญญาณแรงดันไฟตรงออกโดย  $C_5$  และทำให้มีค่าเปลี่ยนแปลงขนาดได้โดย  $R_5$  ซึ่งเป็นเอาต์พุตสุดท้ายนี้เอง และค่าขนาดของสัญญาณเอาต์พุตรูปไซน์ที่มีค่าสูงสุดที่ได้ถูกตั้งไว้โดย  $R_3$  ซึ่งในการตั้ง  $R_3$  นี้จะต้องถอด  $R_4$  จากขา 13 เสียก่อนซึ่งจะทำให้ได้



รูปที่ 3.6 วงจรการผลิตคลื่นรูปไซน์อย่างง่ายโดยแหล่งจ่ายไฟตัวเดียว

สัญญาณเอาต์พุตเป็นรูปสามเหลี่ยมแทน จากนั้นค่อยๆ ลดค่า  $R_3$  จนกระทั่ง ส่วนที่ถูกตัดขอยอดคลื่นของสัญญาณรูปสามเหลี่ยมจะหมดไป ขณะนี้ถือว่าเสร็จการตั้งค่า  $R_3$  เรียบร้อยแล้วหลังจากนั้นจึงต่อ  $R_4$  เข้าที่เดิม ซึ่งจะทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตรูปไซน์ที่ดีพอสมควร สำหรับตัวอย่างนี้สามารถใช้กับแรงดันไฟเลี้ยงที่มีค่าอยู่ในช่วง 10 โวลต์ ถึง 24 โวลต์ซึ่งสามารถดัดแปลงใช้ในการจ่ายไฟเลี้ยง 2 ชุด โดยการแทนกราวด์ด้วยไฟเลี้ยงที่มีค่าเป็นลบแทน และนำ  $R_3$  ต่อลงกราวด์แทน ดังแสดงในรูปที่ 3.7

จากรูปที่ 3.7 นั้นเห็นได้ว่าตัวความต้านทาน  $R_6$  และตัวความต้านทาน  $R_7$  จะเป็นวงจรแบ่งแรงดัน และ  $C_3$  จะไม่ใช่ เพราะว่าสัญญาณเอาต์พุตรูปไซน์จะปรับจุดศูนย์กลางที่ระดับศูนย์โดยอัตโนมัติ ซึ่งลักษณะนี้จะแสดงให้เห็นถึงการลดค่าความเพี้ยนทางฮาร์โมนิกทั้งหมด (Total Harmonic Distortion : THD) ให้เหลือ 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยการเพิ่มค่าความต้านทาน  $R_4$  และ  $R_5$  ซึ่งค่าความต้านทาน  $R_4$  จะทำหน้าที่ปรับค่าความเพี้ยนทางฮาร์โมนิก ในขณะที่ค่าความต้านทาน  $R_5$  จะทำหน้าที่ปรับความสมมาตร ซึ่งการปรับค่าความต้านทาน  $R_4$  และค่าความต้านทาน  $R_5$  ต้องปรับหลังจากค่าความต้านทาน  $R_3$  ซึ่งปรับให้ได้คลื่นรูปสามเหลี่ยมที่ไม่มีการตัดยอดคลื่นของสัญญาณเรียบร้อยแล้ว

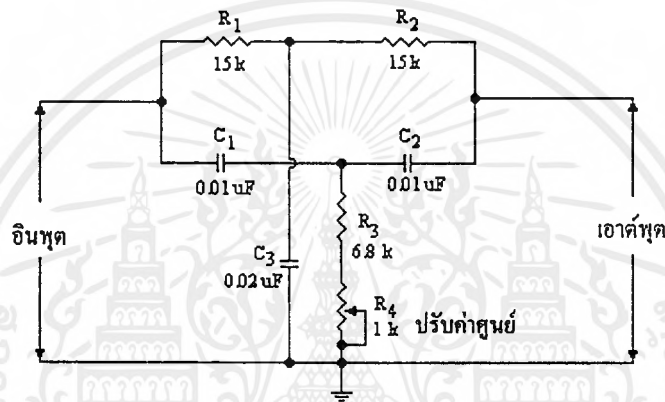


รูปที่ 3.7 วงจรผลิตคลื่นรูปไซน์

ในกรณีที่ไม่มีมิเตอร์วัดแฟกเตอร์ความเพี้ยนนั้น ให้ใช้ฟิลเตอร์แบบทวินที (Twin - T)

1 กิโลเฮิรตซ์อย่างง่าย ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ซึ่งใช้ร่วมกับออสซิลโลสโคป หรือมัลติมิเตอร์ในการปรับค่าความเพี้ยนของคลื่นรูปไซน์ให้มีค่าน้อยที่สุดที่ 1 กิโลเฮิรตซ์ สำหรับขั้นตอนในการใช้ฟิลเตอร์นี้ โดยป้อนสัญญาณเอาต์พุตรูปไซน์ที่ผลิตได้ เป็นอินพุตให้กับวงจรฟิลเตอร์นี้ที่  $1 V_{r.m.s}$  ความถี่ประมาณ 1 กิโลเฮิรตซ์ และนำเอาต์พุตของวงจรฟิลเตอร์นี้ไปเป็นอินพุตให้กับออสซิลโลสโคป หรือมัลติมิเตอร์ จากนั้น ทำการปรับค่าความถี่อินพุตของเจนเนอเรเตอร์ และค่าความต้านทาน  $R_4$  ของวงจรฟิลเตอร์ เพื่อให้ค่าเอาต์พุตที่อ่านได้มีค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

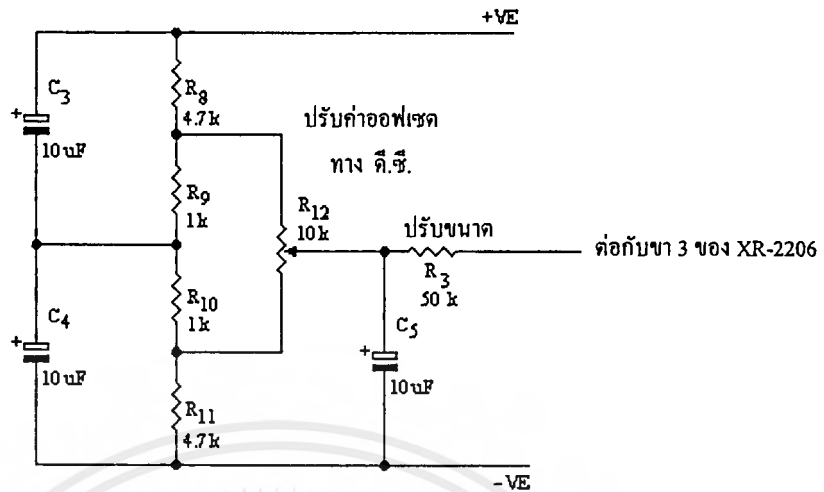
น้อยที่สุด และจากนั้น จึงปรับเปลี่ยนค่าความต้านทาน  $R_4$  และค่าความต้านทาน  $R_5$  ซึ่งเป็นตัวควบคุมความถี่ของเจนเนอเรเตอร์ เพื่อที่จะลดค่าเอาต์พุตที่อ่านได้จากวงจรฟิลเตอร์ เพื่อให้ได้ค่าน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ซึ่งจะได้อสัญญาณรูปไซน์ที่มีความถี่ต่ำ ซึ่งค่าที่ได้จะมีค่าประมาณ 0.1 เฮอร์เซ็นต์ โดยที่เกิดอ่านค่าในสโคป หรือมิลลิโวลต์มิเตอร์ได้ 5 มิลลิโวลต์ จะได้ค่าความถี่ทางฮาร์โมนิกทั้งหมดประมาณ 5 เฮอร์เซ็นต์



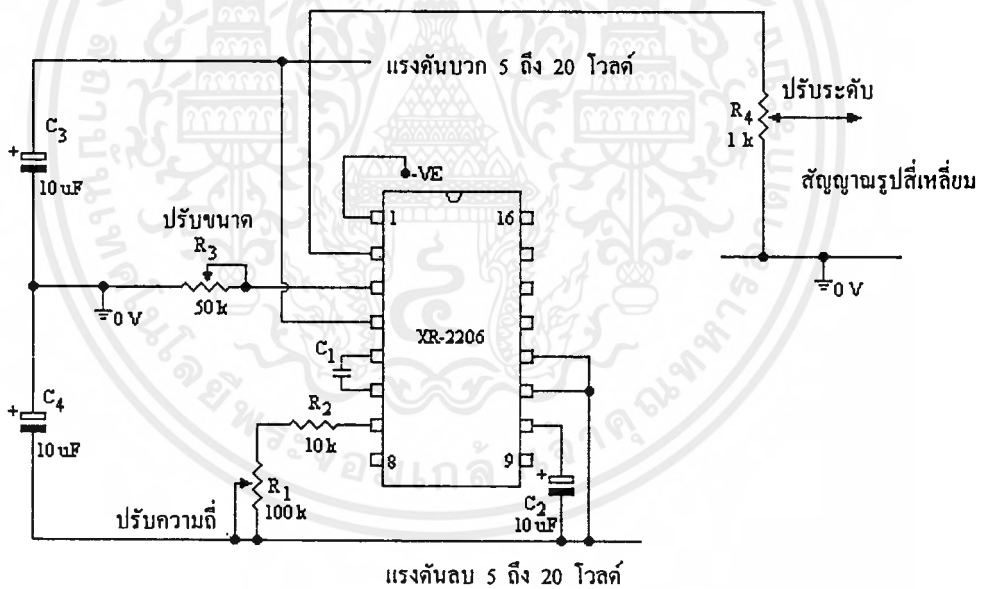
รูปที่ 3.8 วงจรทวินที่อย่างง่ายที่ใช้สำหรับปรับค่าความถี่

เมื่อได้อสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ต่ำแล้ว จะสังเกตเห็นว่าสัญญาณที่ขา 3 นั้นมีความใกล้เคียงกับเอาต์พุตที่ขา 2 แต่สัญญาณที่ขา 3 มีความถี่ของสัญญาณที่ต่ำกว่า และเอาต์พุตที่ขา 2 และ 3 ดังแสดงในรูปที่ 3.7 โดยการเพิ่มวงจรบางส่วนเข้าไป เพื่อให้ได้วงจรใช้งานดังแสดงในรูปที่ 3.9

ไอซี XR-2206 ยังสามารถที่จะผลิตคลื่นรูปสามเหลี่ยมได้โดยการใช้วงจรพื้นฐาน ดังแสดงวงจรพื้นฐานที่ผ่านมาประกอบเป็นวงจรใหม่ ได้โดยปราศจากค่าความต้านทานที่ขา 13 และขา 14 ดังแสดงในรูปที่ 3.10

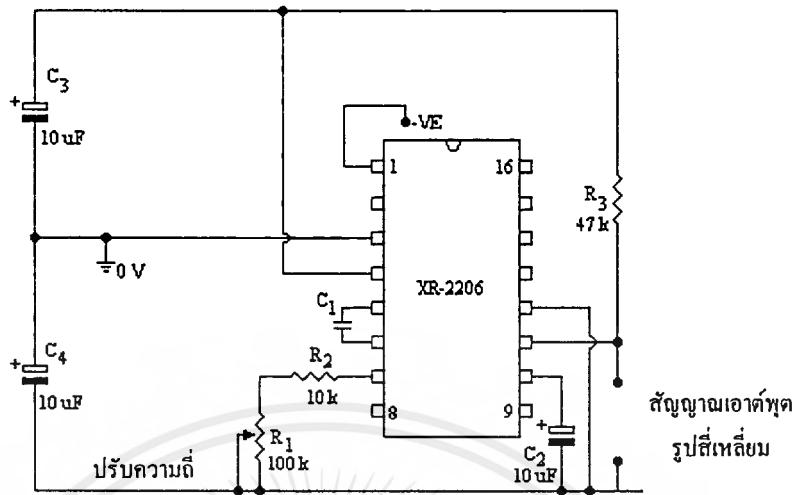


รูปที่ 3.9 วงจรเพิ่มเติมเพื่อลดออฟเซตดีซี



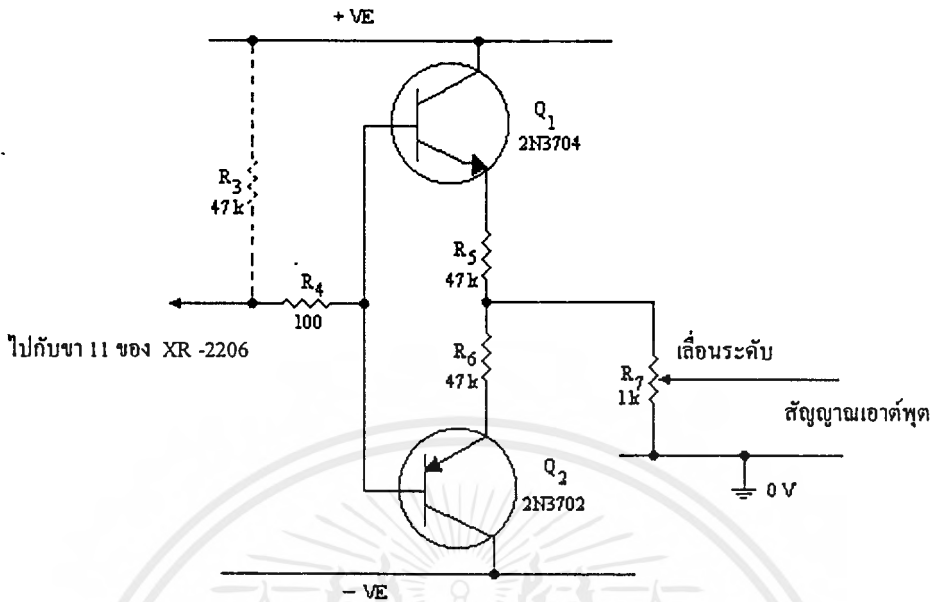
รูปที่ 3.10 วงจรกำเนิดคลื่นรูปสามเหลี่ยมที่สามารถปรับความถี่ได้

รูปที่ 3.10 แสดงให้เห็นถึงวงจรที่สามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ของวงจรผลิตรูปคลื่นสามเหลี่ยม ถ้าเกิดป้อนไฟเลี้ยงในขนาด 9-0-9 โวลต์ จะทำให้ไอซีสามารถผลิตสัญญาณใน

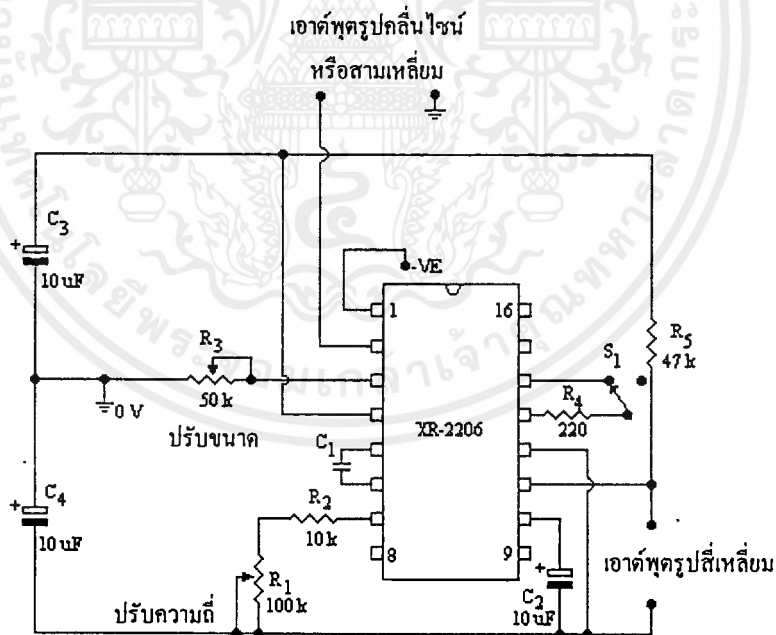


รูปที่ 3.11 วงจรผลิตคลื่นรูปสี่เหลี่ยมที่สามารถปรับความถี่อย่างง่าย

ขณะที่ยังมีได้ต่อตัวภาระ นอกจากนี้ไอซี XR-2206 ยังสามารถที่จะผลิตสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยมที่มีขนาดคงที่ได้ที่ขา 11 ได้โดยต่อตัวความต้านทานระหว่างขา 11 กับไฟเลี้ยงที่เป็นบวก รูปที่ 3.11 แสดงถึงวงจรที่สามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ได้ ซึ่งจะผลิตคลื่นรูปสี่เหลี่ยมเท่านั้น จากโครงสร้างของไอซี XR-2206 ที่ขา 11 จะเรียกว่า ซิงค์เอาต์พุต (Sync Output) เพราะว่าสัญญาณที่ปรากฏที่จุดนี้ไม่เหมาะกับการที่จะนำไปขับโหลดที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำโดยตรง แต่ในทางกลับกัน เหมาะที่จะนำไปขับตัวภาระที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูง เช่น ออสซิลโลสโคป เวลาของสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมที่ขอบขาขึ้น และขอบขาลงนี้มีค่าเท่ากับ 250 นาโนวินาที และ 50 นาโนวินาที ตามลำดับ เมื่อตัวภาระที่นำมาต่อกับขา 11 มีค่าเท่ากับ 10 พิโคฟารัด ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ซึ่งเป็นวงจรที่เป็นตัวส่งผ่านกันชน เพื่อช่วยในการขับตัวภาระที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ ซึ่งวงจรนี้เป็นวงจรคอมพลีเมนทารี อิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์ (Complementary Emitter Follower) แต่ควรจะต้องตัวความต้านทาน  $R_3$  ที่มีค่า 47 กิโลโอห์ม ไว้ด้วย เพื่อเป็นการป้องกันการลัดวงจรที่เอาต์พุต



รูปที่ 3.12 วงจรเพิ่มเติมที่มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำที่สามารถปรับขนาดได้



รูปที่ 3.13 วงจรผลิตรูปคลื่นหลายรูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.6 ถึง 3.13 นั้น สามารถที่จะนำไปใช้งานได้ ซึ่งจะได้วงจรที่สามารถผลิตรูปคลื่นได้หลายแบบ ซึ่งเป็นวงจรที่สามารถผลิตรูปคลื่นไซน์, สามเหลี่ยม, สี่เหลี่ยม ที่มีขนาดสัญญาณคงที่

### ขั้นตอนการปรับค่าของวงจร

การปรับค่าเพื่อให้ขนาดของเอาต์พุตมีค่าสูงสุด โดยการตั้ง  $S_{2a}$  ไปยังตำแหน่งการผลิตคลื่นรูปไซน์ที่มีความถี่ประมาณ 1 กิโลเฮิร์ตซ์ และใช้มิเตอร์ขนาด 0-25 โวลต์ย่านกระแสตรง ดีซี ต่อเข้ากับเอาต์พุต เพื่อปรับค่า  $R_8$  เพื่อให้เอาต์พุตของวงจรนี้มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดศูนย์ โวลต์ โดยการปรับค่า  $R_8$  จนกระทั่งค่าบนมิเตอร์มีค่าเท่ากับศูนย์พอดี หลังจากนั้นจึงทำการปรับค่าของ  $R_3$  เพื่อให้วงจรนี้มีเอาต์พุตที่มีขนาดสูง โดยเปลี่ยนมิเตอร์ที่ย่านกระแสตรงเป็นย่านกระแสสลับ แล้วนำมาต่อเข้ากับเอาต์พุตอีกที จากนั้น จึงปรับค่า  $R_3$  จนกระทั่งอ่านค่าบนมิเตอร์ได้เท่ากับ 2 โวลต์ และปรับค่า  $R_4$  และ  $R_5$  เพื่อให้สัญญาณเอาต์พุตที่มีความเพี้ยนที่มีค่าน้อยที่สุด จากนั้นกลับมามาดตรวจสอบค่าดีซีออฟเซต และขนาดเอาต์พุต

## 3.6 หลักการทำงานภาครับ

ในวงจรภาครับนั้นดังรูปที่ 3.14 จะแบ่งวงจรออกเป็น 2 ส่วนซึ่งประกอบด้วย

3.6.1 วงจรปรับแต่งสัญญาณ (Caribrator)

3.6.2 วงจรขยายเสียง (Amplifier)

### 3.6.1 วงจรปรับแต่งสัญญาณ (Caribrator)

ในวงจรภาครับปรับแต่งสัญญาณนั้นจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก คือ ไอซีออปแอมป์ LM324 ซึ่งประกอบด้วยออปแอมป์ภายในทั้งสิ้น 4 ตัว ซึ่งเป็นไอซีแบบที่ใช้ไฟเลี้ยงแบบแหล่งจ่ายเดียว ซึ่งเป็นการสะดวกในการออกแบบวงจร และเป็นไอซีที่หาง่าย และมีราคาถูก จึงเหมาะสมแก่การนำมาใช้งาน

การทำงานของวงจรปรับแต่งสัญญาณ เมื่อมีสัญญาณเข้ามาทางอินพุต  $S_2$  จะเป็นสวิทช์ เลือกค่าความสมดุลของสายนำสัญญาณ เช่น ในกรณีวัดสัญญาณรบกวนในสายนำสัญญาณ



จะต้องวัดขณะที่ไม่มีการปลดสายนำสัญญาณออกจากเครื่องอุปกรณ์ และจะเลื่อนสวิตช์ไปที่ตำแหน่ง BRIGE และเมื่อต้องการวัด ขณะปลดสายนำสัญญาณออกจากเครื่องอุปกรณ์ สามารถเลือกได้ 2 แบบ คือ ถ้าสายนำสัญญาณมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 600 โอห์ม ให้เลือกสวิตช์ที่ตำแหน่ง 600 และถ้าสายนำสัญญาณมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 900 โอห์ม ให้เลือกสวิตช์มาที่ตำแหน่ง 900 และเมื่อสัญญาณจากอินพุตจะถูกคัปปลิ่งผ่านคาปาซิเตอร์  $C_1$  เข้ามายังขา 3 ของ IC1A ไอซีตัวนี้ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ และขา 2 จะต่อกับตัวความต้านทาน  $R_1, R_2, R_3$  และ  $R_4$  ตามลำดับ ซึ่งจะเป็นการปรับแต่งสัญญาณที่รับเข้ามาให้ถูกต้อง โดยมี  $S_1$  เป็นสวิตช์เพื่อเลือกกระดับสัญญาณที่ต้องการ จากนั้น จะต่อไปยังอินพุตของ IC1B ที่ขา 12 ซึ่งมีต่อเป็นวงจรขยายผลต่าง โดยมีตัวปรับความต้านทาน  $VR_1$  และ  $VR_2$  เป็นตัวปรับอัตราขยาย จะเป็นการปรับความแรงของสัญญาณ การต่อวงจรเป็นวงจรขยายผลต่าง โดยมีอินพุตส่วนหนึ่งได้มาจาก IC1C ซึ่งเป็นวงจรบัฟเฟอร์ แรงดันที่ได้จะเป็นอินพุตให้แก่ IC1C ที่ขา 10 และได้เอาต์พุตออกที่ขา 8 ส่งไปยัง IC<sub>3</sub> เบอร์ LF351 ซึ่งเป็นไอซีชนิด Wide Bandwidth JFET ซึ่งมีคุณสมบัติ แรงดันอินพุตออฟเซตต่ำ, กระแสอินพุตไบอัสต่ำ, อินพุตอิมพีแดนซ์สูง, และแบนด์วิธที่กว้าง ซึ่งเหมาะสำหรับนำมาใช้เป็นวงจรสร้างความสมดุล เพื่อปรับ  $V_o$  ให้เป็นศูนย์ให้อยู่ในสถานะสงบได้ ส่วนออฟแอมป์บางตัว เช่น เบอร์ 741 จะมีขั้วไว้ให้พร้อม เรียกว่า Offset Null สำหรับให้ต่อตัวความต้านทานปรับค่าได้ เพื่อปรับ  $V_o$  ให้เป็นศูนย์ สำหรับออฟแอมป์เบอร์ LF351 ไม่มีขั้วลักษณะนี้ ซึ่งสามารถต่อวงจรสร้างสมดุลขึ้นได้ เพื่อปรับค่า  $V_o$  ให้เป็นศูนย์ โดยมี  $VR_4$  เป็นตัวปรับ และเอาต์พุตที่ได้จะส่งไปยังวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล เพื่อแสดงผลเป็นตัวเลขต่อไป

### 3.6.2 วงจรขยายเสียง (Amplifier)

วงจรนี้ประกอบด้วย IC2 เบอร์ LM386 ซึ่งเป็นเบอร์ที่นิยมใช้นำมาสร้างเป็นวงจรขยายสัญญาณเสียงที่มีวัตต์ต่ำ เนื่องจากเป็นวงจรที่สร้างง่าย ไอซีดังกล่าวนี้หาง่าย มีราคาไม่แพง แต่มีประสิทธิภาพการทำงานสูง โดยเมื่อสัญญาณอินพุตที่ได้จากขา 1 ของ IC1A เมื่อคัปปลิ่งผ่านตัวเก็บประจุ  $C_3$  มาแล้ว โดย  $VR_3$  จะทำหน้าที่ควบคุมอัตราขยายของวงจร โดยป้อนเข้าทางขา 3 ของไอซี หลังจากนั้น สัญญาณที่ขยายแล้วจะคัปปลิ่งผ่านตัวเก็บประจุ  $C_8$  เข้าลำโพงทำให้เกิดเสียงตามความถี่ของสัญญาณที่รับเข้ามา

### 3.7 วงจรวัดอิมพีแดนซ์

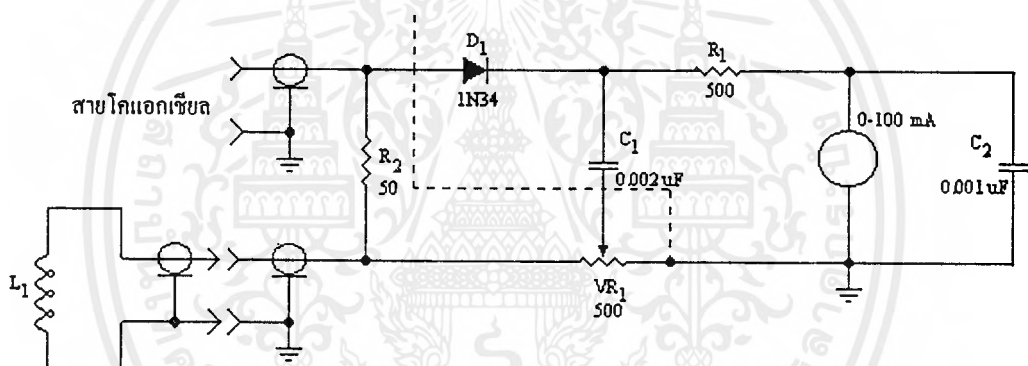
รูปที่ 3.15 เป็นวงจรวัดอิมพีแดนซ์ ซึ่งหลักการทำงานนั้นจะสามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

3.7.1. กรณีที่ยังไม่ต่อสายนำสัญญาณ

3.7.2. กรณีที่ต่อสายนำสัญญาณเพื่อทำการวัด

หลักการทำงานของวงจรวัดอิมพีแดนซ์

เริ่มจากการคลัปปลิงสัญญาณผ่าน  $L_1$  เข้ามา จากนั้นจะเป็นหน้าที่ของ  $R_2$  ซึ่งคอยจำกัดกระแส เพื่อป้องกันให้กับ  $D_1$  ซึ่งเป็นไดโอดชนิดเยอรมันเนียมเบอร์ 1N34



รูปที่ 3.15 วงจรวัดอิมพีแดนซ์

#### 3.7.1 กรณีที่ยังไม่ต่อสายนำสัญญาณ

เมื่อจุด A ซึ่งเป็นจุดที่จะวัดค่าอิมพีแดนซ์ไม่ต่อลงกราวด์ หรือมีค่าเป็นค่าอนันต์ ทำให้กระแสไหลผ่านตัวต้านทาน  $R_1$  ในลักษณะเป็นครึ่งคลื่นบวก ผ่านเข้าไปยังตัวเก็บประจุ  $C_1$  และตัวความต้านทาน  $R_1$  เกิดการแบ่งแรงดันขึ้นระหว่างตัวความต้านทาน  $R_1$  และตัวเก็บประจุ  $C_1$  ซึ่งจะส่งผลให้มีกระแสไหลผ่านไมโครแอมป์มิเตอร์ ซึ่งถ้าหากปรับค่า  $VR_1$  ให้มีค่าลดลง กระแสที่ไหลผ่านไมโครแอมป์มิเตอร์จะลดลงด้วย เนื่องจากสัญญาณจะผ่านตัวความต้านทานทาง  $VR_1$  ลงกราวด์ ซึ่งเมื่อปรับจนความต้านทานที่จุด B เป็นศูนย์ทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่านไมโครแอมป์มิเตอร์เข็มจึงไม่เคลื่อนไหว

### 3.7.2 กรณีที่ต่อสายนำสัญญาณเพื่อทำการวัด

เมื่อมีความต้านทานของสายมาต่อที่จุด A ซึ่งอิมพีแดนซ์จะเปรียบเสมือนเป็น  $R_x$  ของวงจร เมื่อกลับปลีงสัญญาณผ่าน  $L_1$  ผ่านความต้านทาน  $R_2$  เพื่อจำกัดกระแส ซึ่งจะมีกระแสไหลผ่านไปทางไดโอด  $D_1$  และ  $R_x$  โดยที่จุด A จะมีค่าแรงดันตกคร่อมอยู่จำนวนหนึ่ง จากนั้น กระแสจะผ่านไดโอด  $D_1$  ไปยังจุด B ในขณะนี้สามารถปรับค่าความต้านทานที่  $VR_1$  โดยจะปรับให้แรงดันที่จุด B และ A มีค่าเท่ากัน ซึ่งจะทำให้ไดโอด  $D_1$  ไม่นำกระแส เนื่องจากแรงดันทั้งสองจุดมีค่าเท่ากัน เพราะฉะนั้น จะส่งผลให้ไม่มีกระแสไหลผ่านไมโครแอมป์มิเตอร์ ซึ่งมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งจะสามารถอ่านค่าความต้านทานจาก  $VR_1$  โดยมีค่าเท่ากับกับค่าของสายที่เราต้องการวัดนั่นเอง

## 3.8 วงจรเครื่องส่งสัญญาณย่านความถี่วิทยุเอฟเอ็ม

วงจรเครื่องส่งสัญญาณย่านความถี่วิทยุ ใช้ความถี่เป็นสื่อกลางที่ให้สัญญาณไปยังภาครับของเครื่องรับสัญญาณ โดยในชุดทดลองนี้ใช้ย่านความถี่เอฟเอ็ม ที่ให้การส่งไม่ต้องใช้สายโคแอกเซียล

### 3.8.1 การออกแบบวงจรเครื่องส่งสัญญาณย่านความถี่วิทยุ

การออกแบบวงจรเครื่องส่งสัญญาณย่านความถี่วิทยุที่ใช้งานจริงแสดงดังรูปที่ 3.6 โดยใช้ทรานซิสเตอร์ BC 558 ซึ่ง  $Q_1$  ทำหน้าที่ขยายสัญญาณข่าวสาร แล้วส่งต่อไปที่  $Q_2$  เพื่อรวมสัญญาณ ส่วน  $Q_2$  ทำหน้าที่เป็นตัวผสมสัญญาณระหว่าง สัญญาณข่าวสารกับสัญญาณความถี่ที่ผลิตขึ้นมา และ  $Q_3$  ทำหน้าที่ร่วมกับ  $L_1$ , ทิมเมอร์  $T_1$  เป็นตัวกำเนิดความถี่ที่ใช้ในการส่ง โดยส่งผ่าน  $L_2$  ทิมเมอร์  $T_2$  เป็นตัวปรับความแรงของสัญญาณที่ส่ง

### 3.8.2 การสร้างวงจรเครื่องส่งสัญญาณย่านความถี่วิทยุ

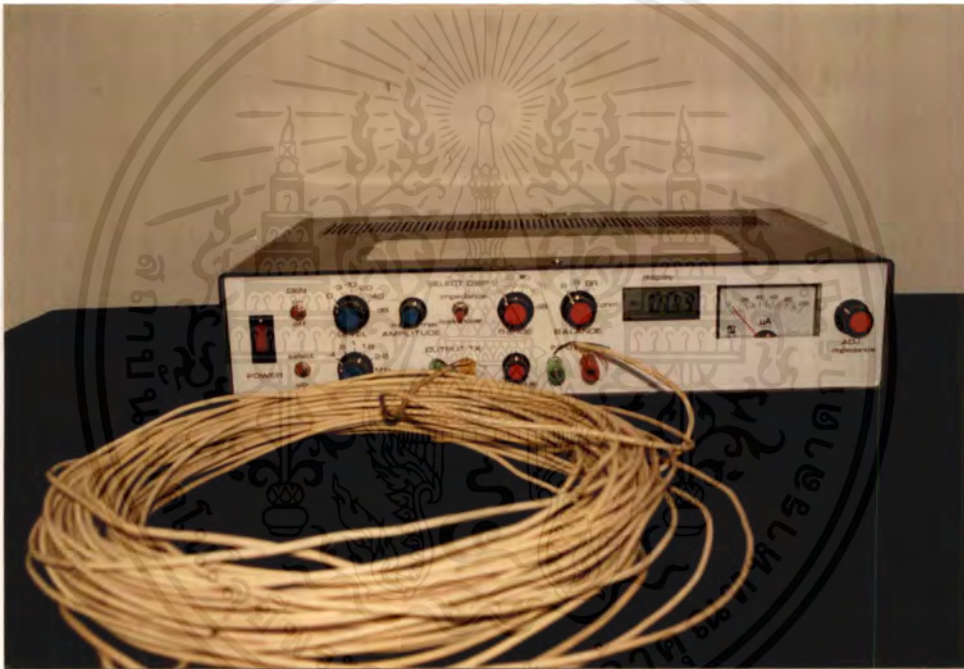
จากการออกแบบเครื่องส่งสัญญาณย่านความถี่วิทยุเอฟเอ็ม วงจรที่ใช้งานจริง แสดงดังรูปที่ 3.6 โดย RFC (Radio Frequency Control) เป็นการนำเอาความต้านทานขนาดทนกำลังไฟฟ้าได้ 1/2 วัตต์ ค่าประมาณ 1 เมกกะเฮิร์ตซ์ ขึ้นไป พันด้วยเส้นลวดรอบความต้านทานนี้ ทำการปรับความต้านทาน (VR) เพื่อให้ได้ แล้วใช้เครื่องสเปกตรัมวัดความแรงของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- ทางด้านส่ง

1. ต่อสายนำสัญญาณเข้าบวกเข้ายัง RX+
2. ต่อสายนำสัญญาณเข้าลบเข้ายัง RX-
3. ปรับสวิตช์เลือกไปที่ Loss-Noise
4. ปรับสวิตช์บาลานซ์ไปที่ 600 โอห์ม
5. ปรับสวิตช์เลือกรับสัญญาณ
6. ปรับสวิตช์ DISPLAY ไปที่ Loss-Noise



รูปที่ 4.1 การต่อเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ ซึ่งใช้วัดค่าความสูญเสียภายในสายนำสัญญาณ

วิธีการอ่านค่าจากตัวแสดงผล

ขั้นแรกปรับสวิตช์ GEN มาที่ OFF เพื่อดูค่าที่แสดงผล ค่าที่ปรากฏจะเป็นค่าการผิดพลาด โดยขึ้นเลข "1" ที่หน้าจอ ต่อมาทำการปรับสวิตช์ GEN มาที่ ON ดังเดิม ซึ่งถ้าค่าเกิดการผิดพลาดอีก ให้ทำการปรับสวิตช์เลือกความถี่ไปยังความถี่ต่ำๆ จนสามารถอ่านค่าได้ หรือในกรณีที่ค่าติดลบ ให้ปรับสวิตช์เลือกความถี่ไปยังตำแหน่งต่ำลงไปอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลการทดลอง

จากการทดลองเป็นการวัดการสูญเสียของสัญญาณในสายทดลองโดยใช้สายโทรศัพท์ 2 คู่สาย โดยป้อนสัญญาณผ่านสายนำสัญญาณทางเอาต์พุต แล้ววัดสัญญาณปลายเป็นการวัดการสูญเสียภายในสาย ซึ่งจากการทดลองใช้สายยาว 3 เมตร ปรากฏว่าไม่เกิดการสูญเสียในสาย เพราะว่าสายนำสัญญาณสั้นเกินไป จึงไม่เกิดการสูญเสีย จึงทำการทดลองการสูญเสียโดยให้สัญญาณเกิดการสูญเสีย เมื่อผ่านตัวต้านทานโดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ เพื่อปรับให้สูญเสียในระดับต่างๆ จากการทดลองเมื่อปรับค่าความต้านทาน โดยใช้ข้อสวิตช์โลสโคปวัดสัญญาณที่อินพุตนำมาคำนวณค่า เพื่อจัดทำตารางค่าการสูญเสียจริง

#### 4.3.2 การวัดสัญญาณรบกวนภายในสายนำสัญญาณ

เป็นการวัดสัญญาณรบกวนจากคู่สายอื่นที่แพร่เข้าไปในคู่สายที่ทำการวัด โดยปิดเครื่องใช้ที่ต่อกับคู่สายที่จะวัด แต่ยังเปิดเครื่องใช้ในคู่สายอื่น

ขั้นตอนการทดลอง

- ภาครับ

1. ต่อสายนำสัญญาณเข้าบวกเข้ากับ RX+
2. ต่อสายนำสัญญาณเข้าลบเข้ากับ RX-
3. เปิดสวิตช์ให้เครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณทำงาน
4. ปรับสวิตช์สัญญาณไปที่ตำแหน่ง LOSE-NOISE
5. ปรับสวิตช์ DISPLAY ไปยังตำแหน่ง LOSE-NOISE
6. ปรับย่านการวัดไปที่ -30 เดซิเบล
7. อ่านค่าบนหน้าจอ DISPLAY LCD

### ผลการทดลอง

การวัดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากคู่สายอื่น โดยป้อนสัญญาณเข้าคู่สายหนึ่ง แล้ววัดสัญญาณจากอีกคู่สายหนึ่ง โดยปรับระดับสัญญาณที่รับเข้ามาสูงสุด ซึ่งใช้สายนำสัญญาณยาว 5 เมตร จะมีสัญญาณรบกวน -38 เดซิเบล



รูปที่ 4.2 การต่อเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณเพื่อใช้ในการวัดสัญญาณรบกวนภายในสายนำสัญญาณ

#### 4.3.3 การวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ ขั้นตอนการทดลอง

1. นำวงจรเครื่องส่งสัญญาณความถี่วิทยุ ซึ่งมีค่าความถี่ประมาณ 145 MHz ต่อเข้ากับวงจรที่ใช้วัดอิมพีแดนซ์ของสาย
2. ทดลองนำค่าความต้านทานค่าตั้งแต่ 10-500 โอห์ม มาต่อที่จุดต่อ  $J_2$
3. ไมโครคอมพิวเตอร์จะขึ้นค่ากระแสอยู่ค่าหนึ่ง ทำการปรับค่า  $VR_1$  ให้ค่ากระแสมาที่จุดต่ำสุด
4. วัดค่า  $VR_1$  ที่ทำการปรับจะมีค่าตรงกันกับค่าของตัวต้านทานที่เราทำการวัด
5. ทดลองกับค่าความต้านทานตั้งแต่ 10-500 โอห์ม แล้วทำการกำหนดจุดของ  $VR_1$  ไว้ เพื่อทำการอ่านเวลาทดลองกับสายนำสัญญาณ
6. ทดลองนำสายนำสัญญาณที่ใช้งานจริงมาทำการวัดแทนตัวความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

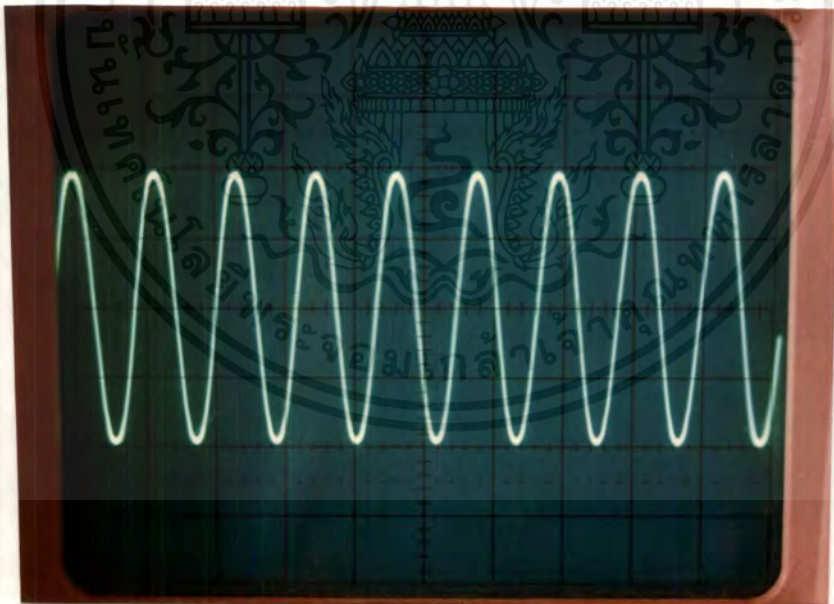
### ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าค่าความต้านทานค่าต่างๆ จะมีค่าความแน่นอนสูง (ตั้งแต่ 40 ถึง 300 โอห์ม) หากเลยจากนี้ก็จะมีความผิดพลาดจากค่าเป็นจริง ในการปรับให้ค่าของแอมป์มิเตอร์เป็นศูนย์ จะต้องพิจารณาจุดที่เข็มให้อ่านได้ขณะลงค่าต่ำสุด จึงจะได้ค่าใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด โดยจะเป็นจุดที่เกิดสมดุลย์กันของค่าความต้านทาน

## 4.4 การวัดสัญญาณที่จุดต่างๆ ในวงจรภาคส่ง และภาครับ

### 4.4.1 สัญญาณที่เอาต์พุตของภาคส่ง

รูปที่ 4.3 เป็นสัญญาณที่วัดจากเอาต์พุตของภาคส่งซึ่งเป็นความถี่ที่ปรับขนาดของสัญญาณให้ได้ 2 Vp-p สัญญาณเอาต์พุตนี้จะใช้เป็นสัญญาณทดสอบ เพื่อทำการวัดค่าต่างๆ เช่น ค่าการสูญเสีย และค่าการรบกวน เป็นต้น



VOLTS/DIV. = 0.5 V

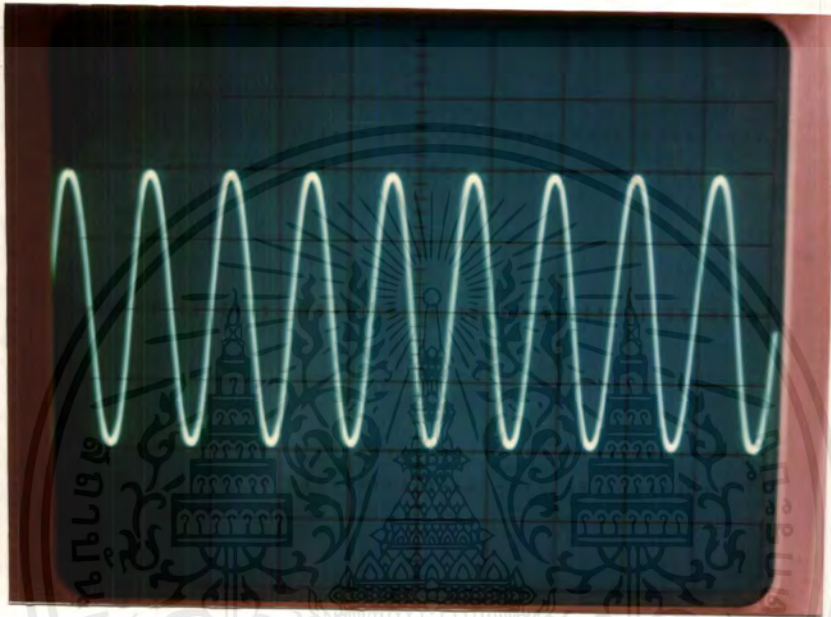
TIME/DIV. = 0.2 ms

รูปที่ 4.3 สัญญาณที่เอาต์พุตของภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.2 สัญญาณอินพุตของภาครับ

รูปที่ 4.4 สัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณที่ได้จากปลายสายทดสอบ ถ้าเกิดการการสูญเสีย สัญญาณจะต่ำกว่า 2 Vp-p ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการสูญเสียภายในสาย



VOLTS/DIV. = 0.5 V

TIME/DIV. = 0.2 mS

รูปที่ 4.4 สัญญาณอินพุตของภาครับ

#### 4.4.3 สัญญาณจากขา 12 ของ IC LM324D

รูปที่ 4.5 เป็นสัญญาณที่เลือกรับเข้ามาโดยตัวปรับเลือกสามารถเลือกรับได้ตั้งแต่ 0 ถึง -30 เดซิเบล

#### 4.4.4 สัญญาณจากขา 4 ของ IC LM324D

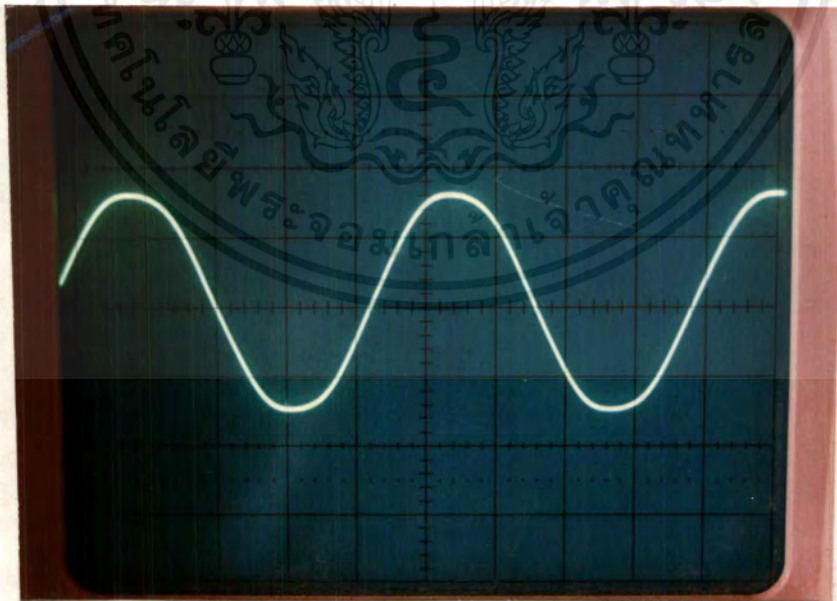
รูปที่ 4.6 เป็นสัญญาณที่ได้จากการขยายของออปแอมป์ภายใน IC เบอร์ LM324D ตัวแรกซึ่งเป็นตัวที่ขยาย เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องตามทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VOLTS/DIV. = 20 mV

TIME/DIV. = 0.5 mS

รูปที่ 4.5 สัญญาณจากขา 12 ของ ICLM324D



VOLTS/DIV. = 1 V

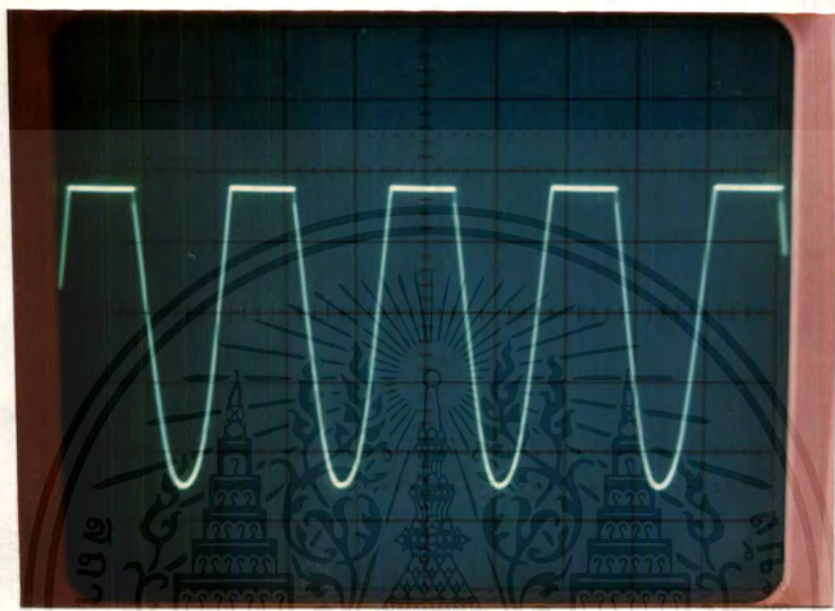
TIME/DIV. = 0.5 mS

รูปที่ 4.6 สัญญาณจากขา 4 ของ ICLM324D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.5 สัญญาณจากขา 8 ของ IC LM324D

รูปที่ 4.7 เป็นสัญญาณที่ได้จากการขยายของออปแอมป์ภายใน IC เบอร์ LM324D ตัวที่ 2 ซึ่งทำการขยายสัญญาณอีกครั้งหนึ่ง



VOLTS/DIV. = 1 V

TIME/DIV. = 1 ms

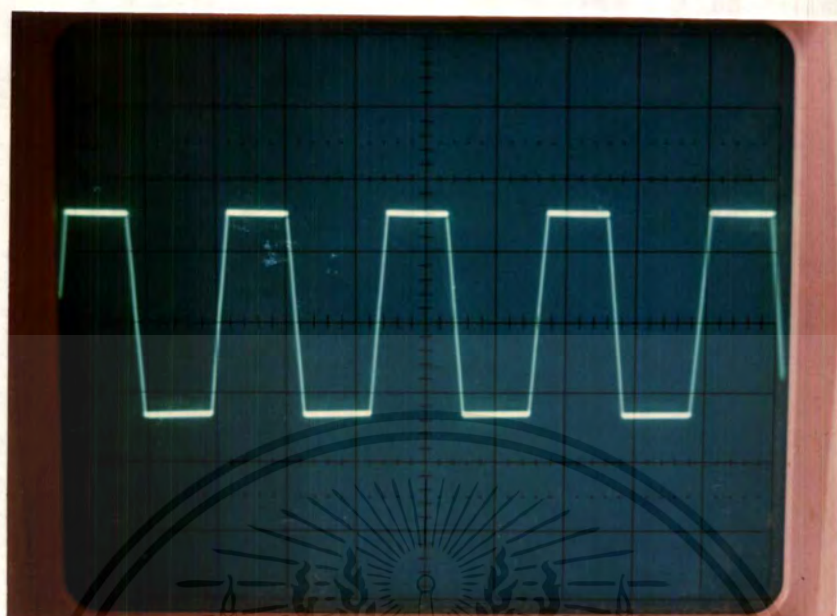
รูปที่ 4.7 สัญญาณจากขา 8 ของ ICLM324D

#### 4.4.6 สัญญาณจากขา 6 ของ IC LF351

รูปที่ 4.8 เป็นสัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณจริง กับระดับสัญญาณอ้างอิง 0 เป็นสัญญาณที่นำไปต่อเข้ากับภาคแสดงผล

#### 4.4.7 สัญญาณเสียง

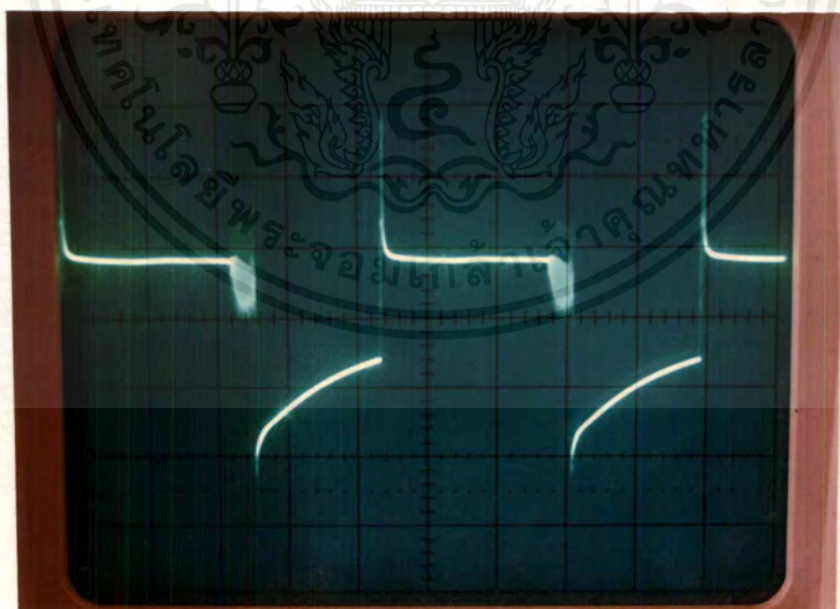
รูปที่ 4.9 เป็นสัญญาณที่ได้จาก IC LM380 นำไปต่อเข้ากับลำโพง เพื่อเป็นตัวแสดงผลทางเสียง ซึ่ง IC LM380 นี้เป็น IC ขยายเสียง



VOLTS/DIV. = 5 V

TIME/DIV. = 1 ms

รูปที่ 4.8 สัญญาณขา 6 ของ IC LF351



VOLTS/DIV. = 1 V

TIME/DIV. = 0.5 ms

รูปที่ 4.9 สัญญาณเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 ตารางค่าการสูญเสีย

จากผลการทดลองวัดค่าการสูญเสีย ซึ่งสามารถจัดทำเป็นตารางค่าการสูญเสีย โดยแบ่งเป็น 4 ย่านวัดดังต่อไปนี้

ย่านวัดที่ 0 ถึง -10 เดซิเบล

| ระดับการลดทอน (dB) | 400 Hz | 800 Hz | 1 kHz  | 1.8 kHz | 2.8 kHz |
|--------------------|--------|--------|--------|---------|---------|
| - 1                | - 0.8  | - 0.9  | - 1.0  | - 1.0   | - 1.1   |
| - 2                | - 1.1  | - 1.2  | - 1.3  | - 1.3   | - 1.4   |
| - 3                | - 1.5  | - 1.6  | - 1.7  | - 1.7   | - 1.7   |
| - 4                | - 2.4  | - 2.5  | - 2.6  | - 2.6   | - 2.6   |
| - 5                | - 3.1  | - 3.1  | - 3.2  | - 3.2   | - 3.2   |
| - 6                | - 4.1  | - 4.1  | - 4.2  | - 4.2   | - 4.2   |
| - 7                | - 6.3  | - 6.4  | - 6.4  | - 6.4   | - 6.4   |
| - 8                | - 8.2  | - 8.2  | - 8.3  | - 8.3   | - 8.3   |
| - 9                | - 9.6  | - 9.6  | - 9.7  | - 9.7   | - 9.7   |
| - 10               | -10.4  | - 10.4 | - 10.4 | - 10.4  | - 10.4  |

ย่านวัด - 10 ถึง -20 เดซิเบล

| ระดับการลดทอน (dB) | 400 Hz | 800 Hz | 1 kHz | 1.8 kHz | 2.8 kHz |
|--------------------|--------|--------|-------|---------|---------|
| - 11               | - 0.6  | - 0.7  | - 0.7 | - 0.7   | - 0.8   |
| - 12               | - 1.0  | - 1.2  | - 1.2 | - 1.2   | - 1.2   |
| - 13               | - 1.6  | - 1.7  | - 1.8 | - 1.8   | - 1.8   |
| - 14               | - 2.5  | - 2.5  | - 2.6 | - 2.6   | - 2.6   |
| - 15               | - 3.2  | - 3.3  | - 3.4 | - 3.3   | - 3.3   |
| - 16               | - 4.5  | - 4.5  | - 4.6 | - 4.6   | - 4.6   |
| - 17               | - 5.9  | - 6.0  | - 5.9 | - 5.9   | - 5.9   |
| - 18               | - 7.9  | - 7.9  | - 7.9 | - 7.9   | - 7.9   |
| - 19               | - 9.5  | - 9.5  | - 9.5 | - 9.6   | - 9.6   |
| - 20               | - 10.5 | - 10.5 | -10.5 | - 10.5  | - 10.5  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ย่านวัด - 20 ถึง -30 เดซิเบล

| ระดับการลดทอน (dB) | 400 Hz | 800 Hz | 1 kHz  | 1.8 kHz | 2.8 kHz |
|--------------------|--------|--------|--------|---------|---------|
| - 21               | - 0.4  | - 0.5  | - 0.6  | - 0.6   | - 0.6   |
| - 22               | - 0.8  | - 0.9  | - 0.9  | - 0.9   | - 0.9   |
| - 23               | - 1.4  | - 1.5  | - 1.5  | - 1.6   | - 1.6   |
| - 24               | - 2.0  | - 2.1  | - 2.2  | - 2.2   | - 2.2   |
| - 25               | - 2.8  | - 2.9  | - 3.0  | - 3.0   | - 2.9   |
| - 26               | - 3.8  | - 3.9  | - 3.9  | - 3.9   | - 3.9   |
| - 27               | - 5.5  | - 5.5  | - 5.6  | - 5.6   | - 5.6   |
| - 28               | - 7.7  | - 7.8  | - 7.8  | - 7.8   | - 7.8   |
| - 29               | - 9.1  | - 9.2  | - 9.2  | - 9.2   | - 9.2   |
| - 30               | - 10.1 | - 10.2 | - 10.2 | - 10.2  | - 10.2  |

## ย่านวัด - 30 ถึง -40 เดซิเบล

| ระดับการลดทอน (dB) | 400 Hz | 800 Hz | 1 kHz | 1.8 kHz | 2.8 kHz |
|--------------------|--------|--------|-------|---------|---------|
| - 31               | - 0.2  | - 0.3  | - 0.4 | - 0.3   | - 0.3   |
| - 32               | - 0.5  | - 0.6  | - 0.7 | - 0.7   | - 0.7   |
| - 33               | - 1.1  | - 1.2  | - 1.3 | - 1.3   | - 1.3   |
| - 34               | - 1.6  | - 1.7  | - 1.7 | - 1.8   | - 1.8   |
| - 35               | - 2.2  | - 2.3  | - 2.3 | - 2.3   | - 2.3   |
| - 36               | - 3.4  | - 3.4  | - 3.5 | - 3.5   | - 3.5   |
| - 37               | - 5.1  | - 5.1  | - 5.2 | - 5.2   | - 5.1   |
| - 38               | - 7.2  | - 7.3  | - 7.3 | - 7.3   | - 7.3   |
| - 39               | - 8.5  | - 8.6  | - 8.6 | - 8.6   | - 8.6   |
| - 40               | - 9.0  | - 9.0  | - 9.0 | - 9.0   | - 9.0   |

## บทที่ 5

### บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และการพัฒนา

#### 5.1 สรุป

เครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณแบบตัวเลข ที่นำเสนอในปริญญานิพนธ์นี้ จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการทำงาน และสร้างเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ โดยอาศัยการแสดงผลแบบตัวเลข เมื่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วหลังจากทำการทดลองวัดค่าการสูญเสียในสายนำสัญญาณ, การรบกวนในสายนำสัญญาณ และค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ ปรากฏว่ามีความคลาดเคลื่อนในการวัดเพียงเล็กน้อยประมาณ  $\pm 3$  เปอร์เซ็นต์

#### 5.2 ปัญหา และแนวทางแก้ไข

หลังจากที่ ออกแบบ และสร้างวงจรส่วนแสดงผลเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณแบบตัวเลขแล้ว สามารถพิจารณาปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งแบ่งเป็น 3 ภาค ดังพอสรุปได้ดังต่อไปนี้

##### ภาคแสดงผล

1. ปัญหาสัญญาณรบกวนจากภายนอกเข้า เนื่องจากตัวไอซีตัวเดียว เบอร์ ICL7106 มีความไวต่อสัญญาณรบกวนมาก ดังนั้น ในย่านวัดที่ต้องการความละเอียดสูงจึงมักเกิดสัญญาณรบกวนได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการกระเพื่อมของแรงดันที่จ่ายมาจากแหล่งจ่ายไฟ

การแก้ไขปัญหามาตรสามารถทำได้โดยการแยกจ่ายไฟออกเป็นชุด โดยชุดหนึ่งจ่ายให้กับวงจรภาครับ, ภาคส่ง, อิมพีแดนซ์ และอีกส่วนหนึ่งจ่ายให้กับวงจรส่วนแสดงผล โดยในส่วน ของวงจรภาคแสดงผลแหล่งจ่ายแรงดันที่สร้างขึ้นจะต้องใช้แหล่งจ่ายที่มีประสิทธิภาพ และมีเสถียรภาพที่ดี ซึ่งจะต้องอาศัยการป้องกันสัญญาณรบกวนที่ดีพอ

2. ปัญหาเรื่องความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเปอร์เซ็นต์การผิดพลาดของอุปกรณ์ เช่น

ตัวเก็บประจุ และตัวความต้านทาน โดยจะมีผลทำให้ความถี่ออสซิลเลเตอร์ มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลาดเคลื่อนจนเป็นเหตุให้การปรับศูนย์อัตโนมัติของไอซี ICL7106 มีความไม่แน่นอนส่งผลให้ค่าแรงดันอ้างอิงที่ตั้งไว้แปรเปลี่ยนไป ดังนั้น การแสดงผลในกรณีที่ปรับศูนย์อัตโนมัติจึงไม่สามารถทำได้

การแก้ไขปัญหานี้สามารถทำได้โดยการเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดต่ำมาใช้ โดยใช้ตัวความต้านทานชนิดที่มีค่าความผิดพลาด  $\pm 1$  เปอร์เซ็นต์ และใช้ตัวเก็บประจุที่มีคุณภาพดีซึ่งจะทำให้ลดปัญหาที่เกิดขึ้นกับไอซี ICL7106 ได้

3. ปัญหาการปรับศูนย์ในการวัดค่าการสูญเสีย และการรบกวนจากสัญญาณภายนอกไม่สามารถทำได้เนื่องจากสาเหตุ คือการเลือกใช้อุปกรณ์ที่ไม่ได้มาตรฐานตามที่ออกแบบไว้จะส่งผลให้วงจรภาคสมดุลผิดพลาด

การแก้ปัญหานี้สามารถทำได้โดยการสั่งซื้ออุปกรณ์จากต่างประเทศที่ได้ตามมาตรฐานมาใช้โดยทางคณะผู้จัดทำได้สั่งซื้อจากตัวแทนจำหน่ายในประเทศไทย ซึ่งควรจะสั่งซื้อล่วงหน้า

#### ภาครับ

1. ปัญหาเรื่องการหาค่าความต้านทานที่ตรงกับวงจรที่ออกแบบไม่ได้ เนื่องจากค่าความต้านทานไม่เป็นค่ามาตรฐาน

การแก้ปัญหานี้คือนำค่าความต้านทานที่เป็นมาตรฐานมาต่ออนุกรม และขนานให้ค่าใกล้เคียงกับที่ออกแบบมากที่สุด

2. การปรับสัญญาณทำได้ยาก เนื่องจากสัญญาณที่เอาต์พุตเป็นสัญญาณที่เทียบกับสัญญาณดิซี เมื่อสัญญาณเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ทำให้ค่าที่ได้เปลี่ยนแปลงมาก

การแก้ปัญหานี้คือปรับสัญญาณให้ค่าใกล้เคียงศูนย์มากที่สุด

#### ภาคอิมพีแดนซ์

1. ปัญหาที่เกิดจากตัวอุปกรณ์ซึ่งหาอุปกรณ์ที่มีค่าไม่ตรงกันกับวงจรเนื่องจากไม่มีขาย เช่น ไดโอดเบอร์ 1N82A ซึ่งเป็นไดโอดชนิดเยอรมันเนียม และตัวความต้านทานปรับค่าได้ค่า 500 โอห์ม ซึ่งตามปกติจะใช้ตัวต้านทานแบบ A ซึ่งเป็นแบบเชิงเส้น 2 ชั้น

การแก้ไขปัญหานี้คือใช้ไดโอดเบอร์ 1N34 แทนไดโอดเบอร์ 1N82A แต่จะต้องใช้หลายๆ ตัวในการทดลอง ส่วนตัวความต้านทานแบบปรับค่าได้ค่า 500 โอห์มจะใช้แบบ B

ชั้นเดียว 2 ตัวแทนแบบ A พบว่าใช้งานได้ดีในระดับหนึ่ง และทำการแปลงตัวความต้านทานดังกล่าว ให้สัมพันธ์กันโดยใช้เพียงคัลแปลง พบว่าจะเปลี่ยนแปลงค่าตรงกันดีพอสมควร

2. เป็นปัญหาที่เกิดจากการต่อลงกราวด์ของอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งทำให้เกิดการรบกวนของสัญญาณ เนื่องจากไมโครแอมป์มิเตอร์มีความไวสูง และการสร้างได้ออกแบบช่องเสียบที่จะทำการวัดสายไว้ห่างจากจุดที่ทำการต่อ ซึ่งหากเดินสายไกลจะทำให้เครื่องไม่ทำงาน เนื่องจากการสูญเสียของสัญญาณ

การแก้ไขปัญหานี้คือทำการสร้างกล่องครอบตัวไมโครแอมป์มิเตอร์ โดยใช้แผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้า เพื่อให้เปรียบเสมือนเป็นกราวด์ของวงจร และย้ายช่องเสียบที่จะใช้วัดมาใกล้จุดที่ทำการต่อให้มากที่สุด

3. ปัญหาจากความถี่ที่ใช้งาน ช่วงแรกทำการสร้างความถี่ประมาณ 50-70 เมกะเฮิร์ตซ์ จากวงจร VFO มาใช้งานดูปรากฏว่าวงจรไม่ทำงาน

การแก้ไขปัญหานี้คือการสร้างเครื่องส่งสัญญาณวิทยุ ปรับจูนค่าความถี่ไปที่ 145 เมกะเฮิร์ตซ์ พอดี

4. ปัญหาจากความเสถียรภาพของวงจร โดยการทดลองจะอ่านค่าได้ค่อนข้างแม่นยำในค่าความต้านทานต่ำๆ แต่หากเลยไปยังค่าความต้านทานประมาณ 300-500 โอห์ม จะได้ค่าที่ไม่ถูกต้อง อาจเนื่องจากตัวความต้านทานแบบปรับค่าได้ค่า 500 โอห์ม ที่ทำการคัลแปลงไว้

การแก้ไขปัญหานี้คือสร้างตารางที่ทำการเปรียบเทียบค่าต่างๆ ซึ่งมีค่าถูกต้องแล้วไว้อ้างอิง

### 5.3 แนวทางการพัฒนา

เนื่องจากเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณแบบตัวเลขนี้มีความสามารถเพียงรูปแบบการแสดงผลเป็นตัวเลขเท่านั้น ในการพัฒนาสามารถทำได้ดังต่อไปนี้คือ

1. การสร้างวงจรบางส่วน เพื่อให้สามารถแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ได้
2. การออกแบบโปรแกรม เพื่อทำการเก็บค่าการสูญเสีย และนำค่าการสูญเสียดังกล่าวมาเขียนกราฟการสูญเสียของสายนำสัญญาณ
3. การใช้ส่วนแสดงผลเป็นแบบ LCD DOT MATRIX ซึ่งสามารถแสดงได้ทั้งตัวอักษรและตัวเลข

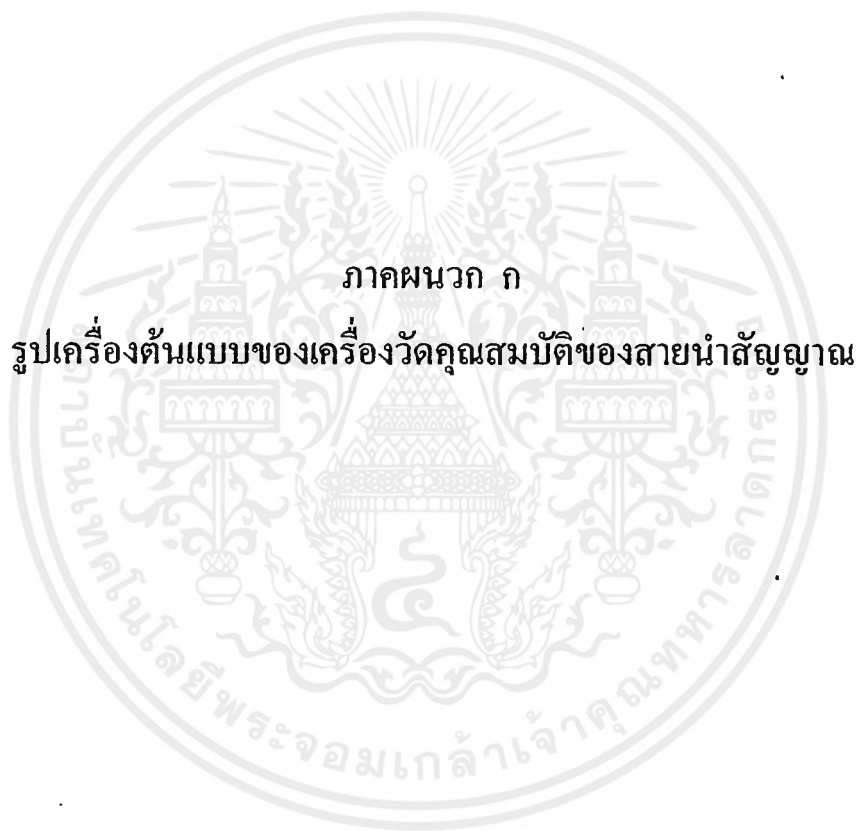
4. สามารถทำการวัดโดยวิธีการเปลี่ยนย่านการวัดอัตโนมัติ เพื่อความสะดวกในการวัดมากขึ้น

5. สามารถทำการวัดค่าการสูญเสีย และการรบกวนจากสัญญาณภายนอก เพื่อแสดงผลเป็นหน่วยมาตรฐาน (dB)

6. ลดขนาดของเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณให้มีขนาดเล็กลง เพื่อสามารถพกพาไปได้สะดวก และใช้กับแบตเตอรี่ได้

ซึ่งแนวทางในการพัฒนาทั้งหมดที่กล่าวไปแล้ว เพื่อให้เครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณแบบตัวเลขนั้น มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สะดวกต่อการใช้งาน ซึ่งน่าจะมีการพัฒนาให้เป็นไปได้ โดยส่วนสำคัญของการพัฒนาจะอยู่ที่การพัฒนาทางด้านซอฟต์แวร์ และการควบคุมการทำงานโดยอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาช่วยควบคุมการทำงาน





ภาคผนวก ก

รูปเครื่องต้นแบบของเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ

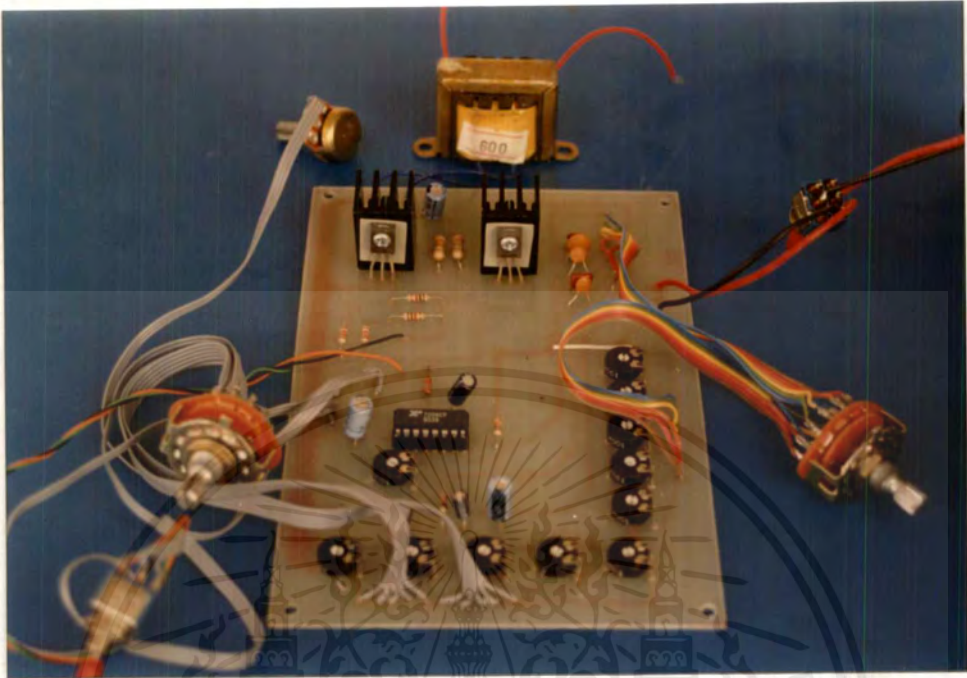
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



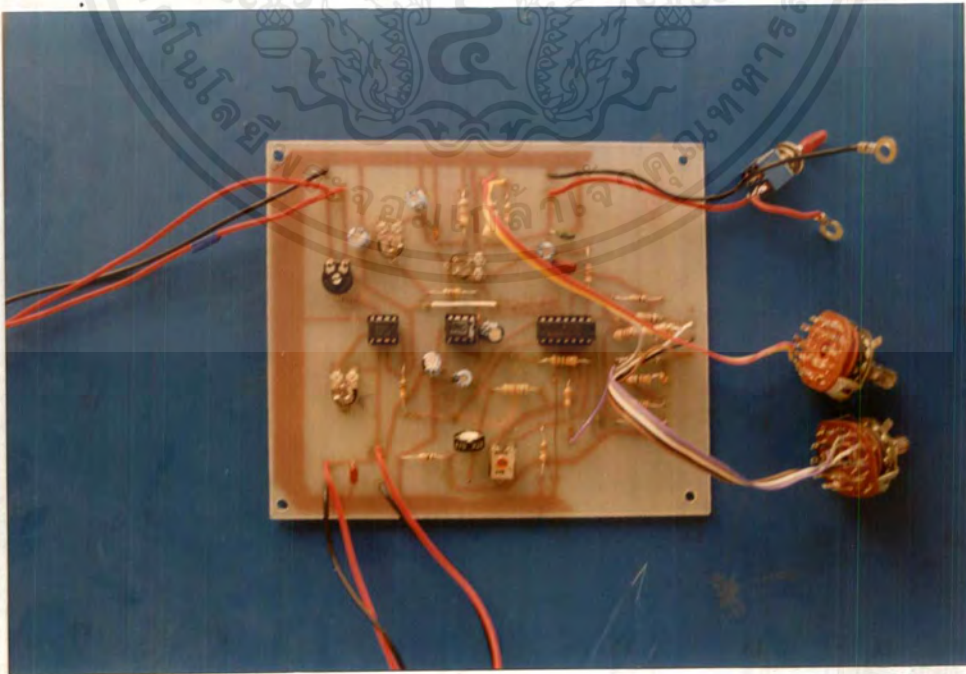
รูปที่ 1 ด้านหน้าของเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ

รูปที่ 2 ด้านหลังของเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 วงจรภาคส่ง

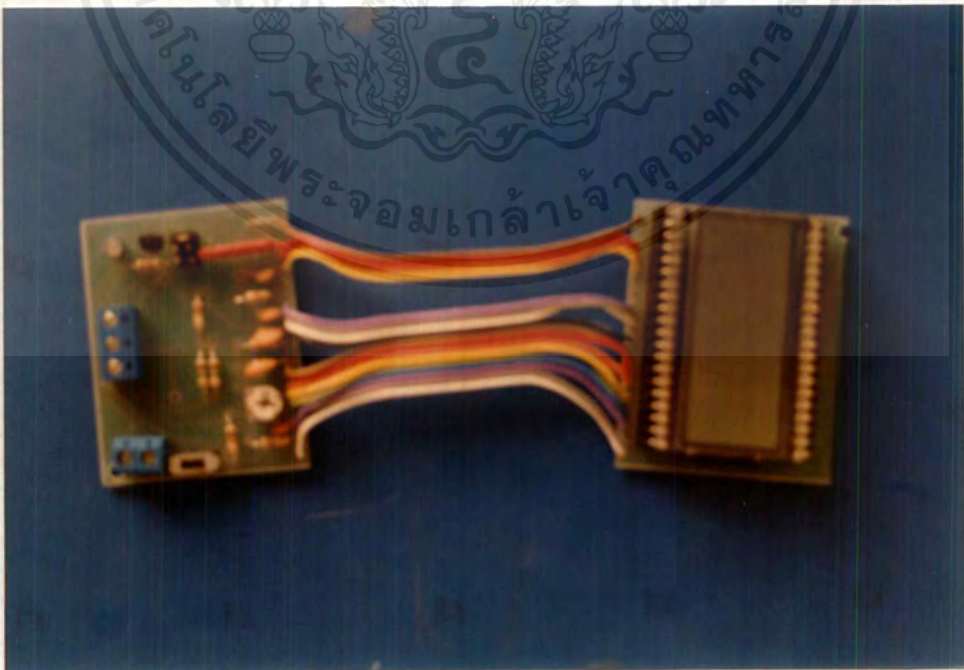


รูปที่ 4 วงจรภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 วงจรอิมพีแดนซ์



รูปที่ 6 วงจรส่วนแสดงผล

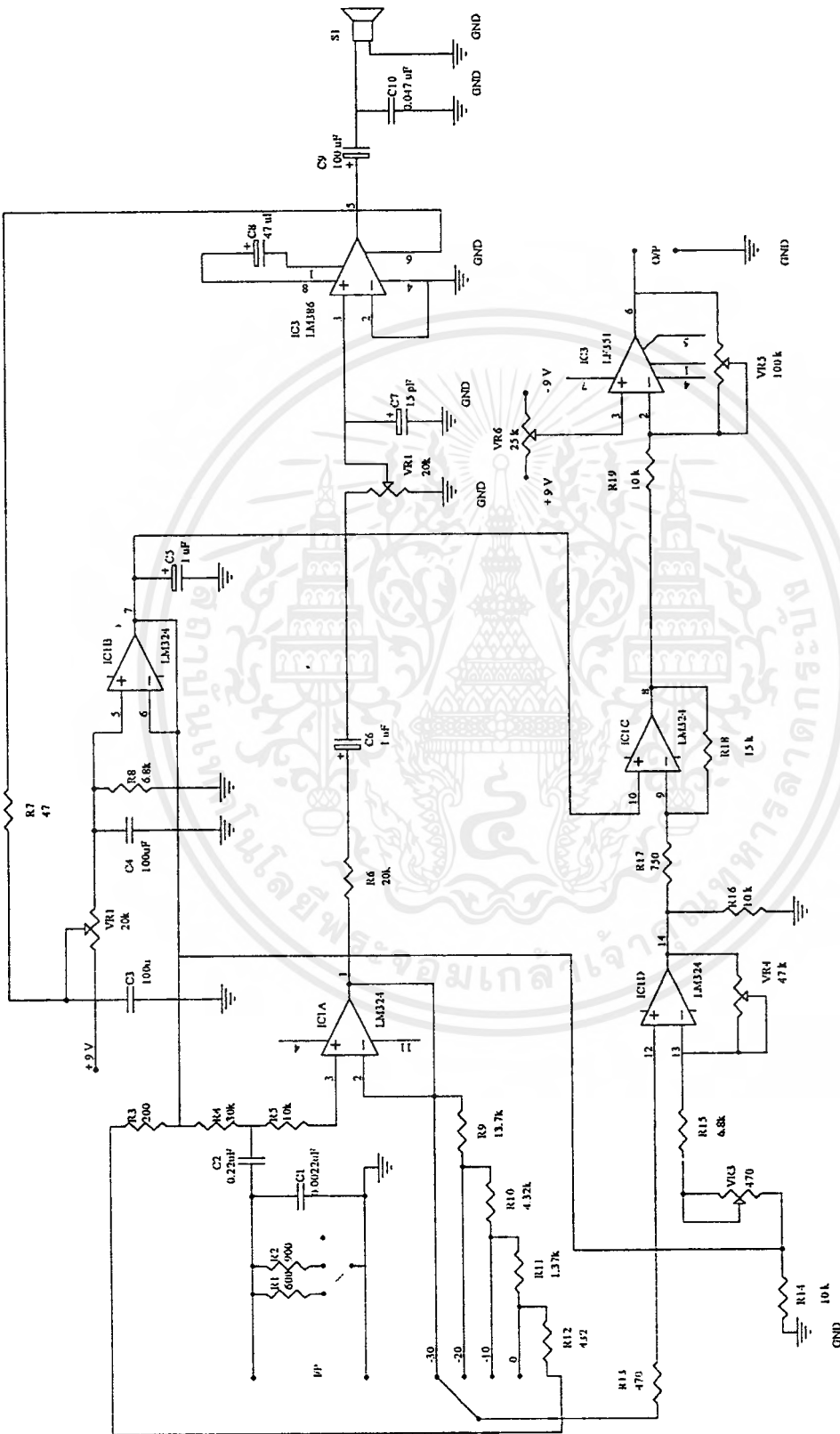
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

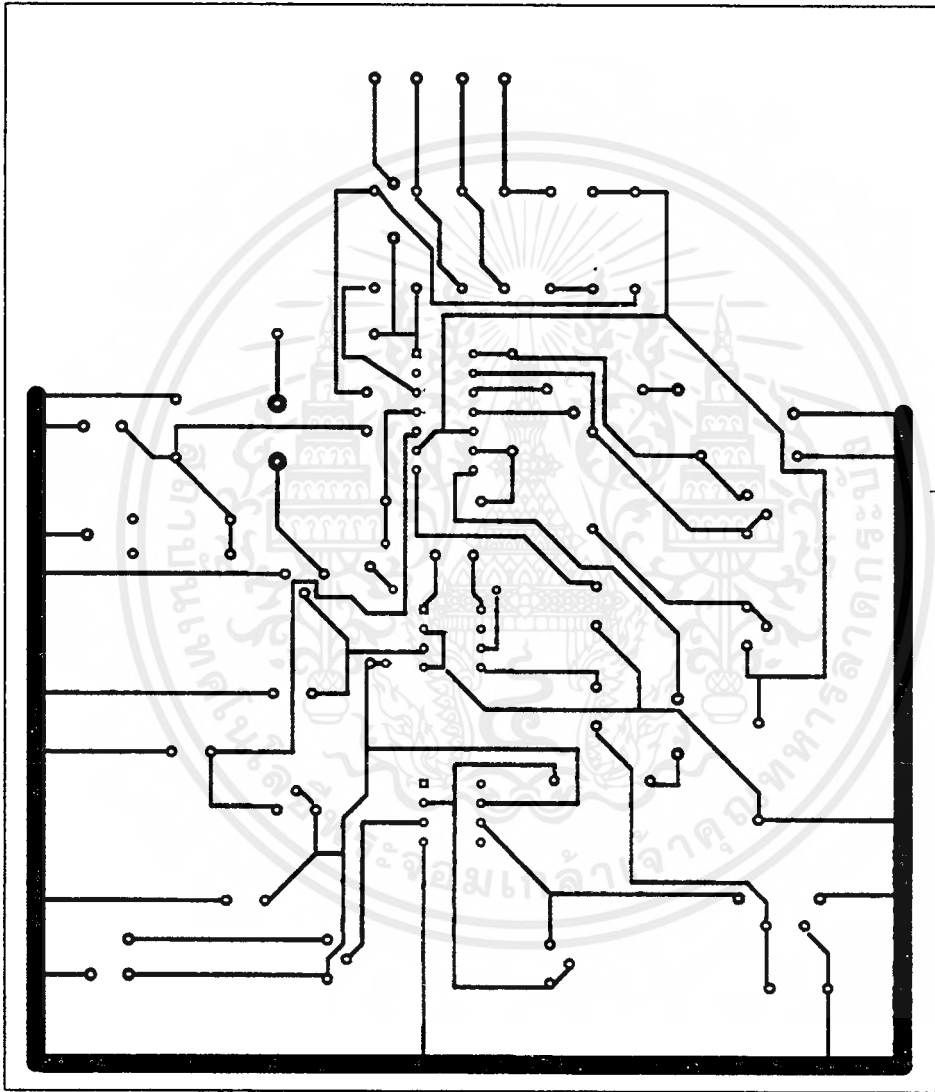
วงจร และแผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่องวัดคุณสมบัติของสายนำสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



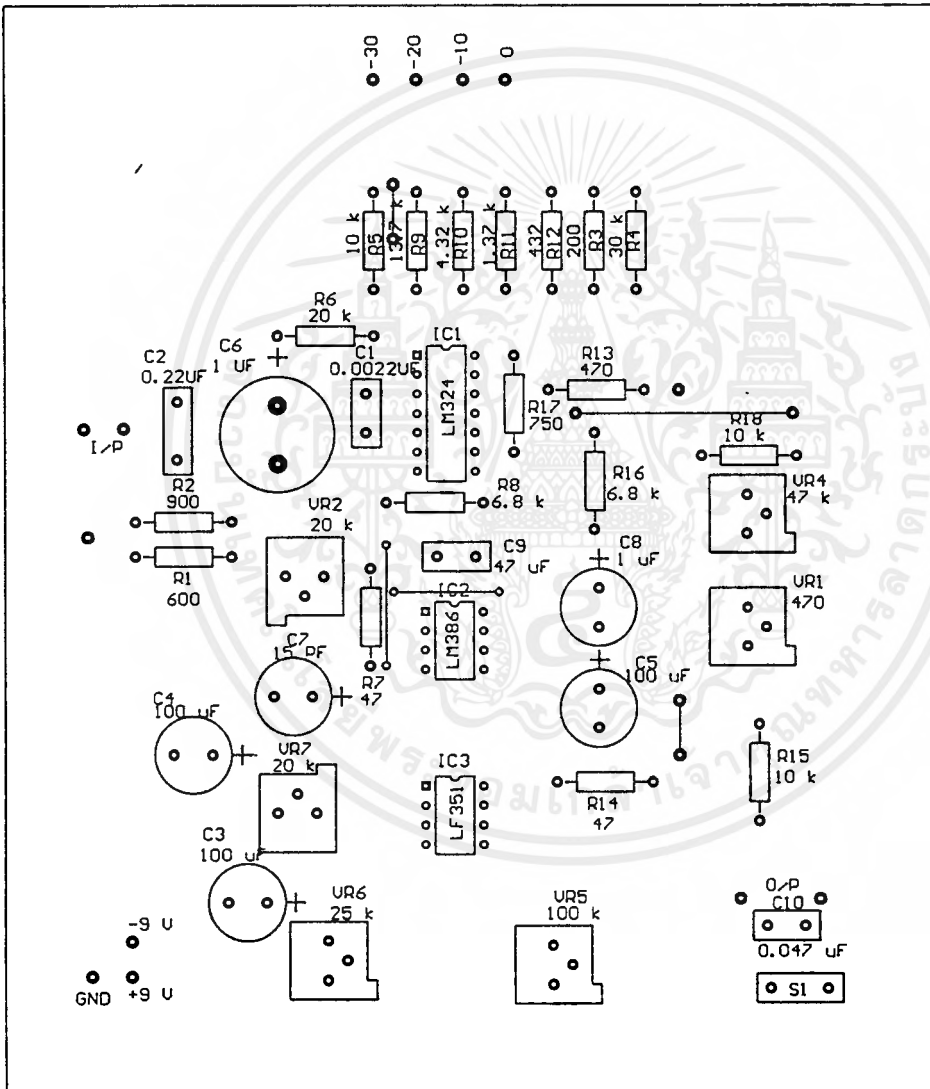
รูปที่ 1 วงจรการรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

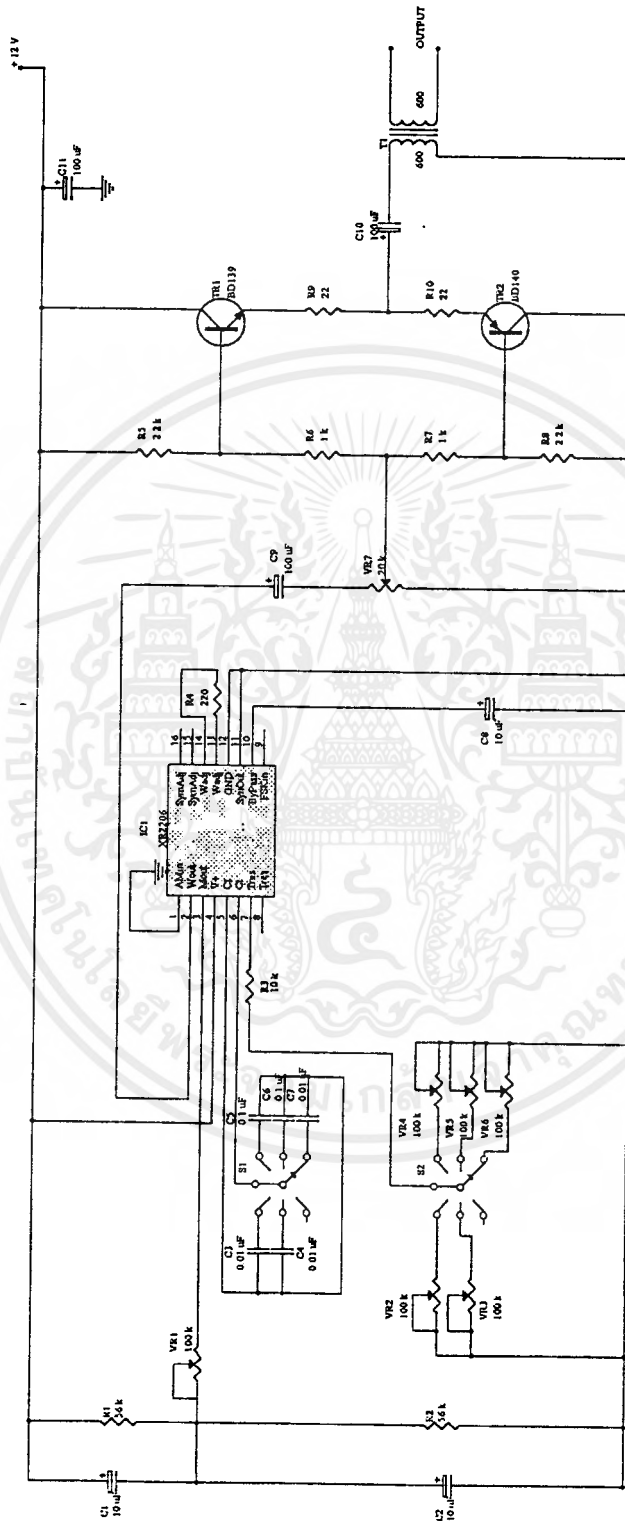


รูปที่ 2 แผนวงจรพัฒนาของวงจรภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

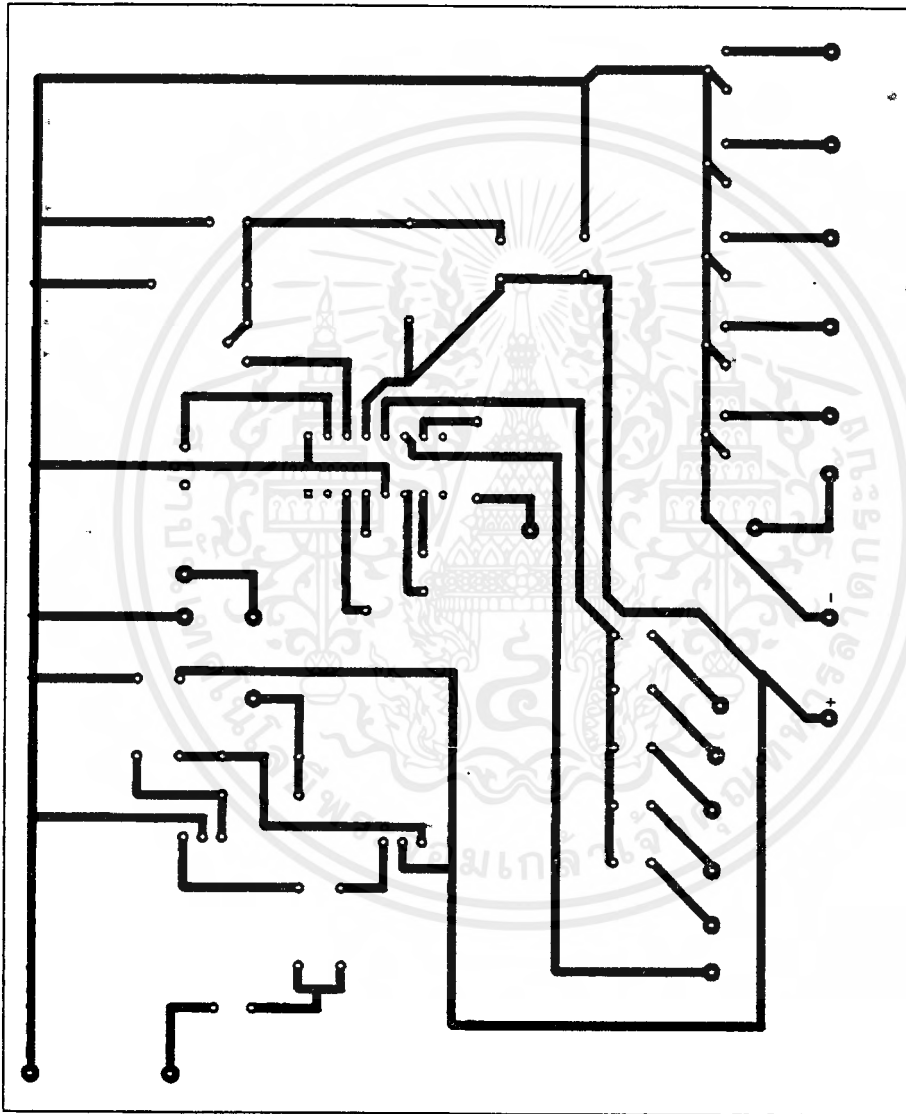


รูปที่ 3 ส่วนการวางอุปกรณ์ของวงจรภาครับ



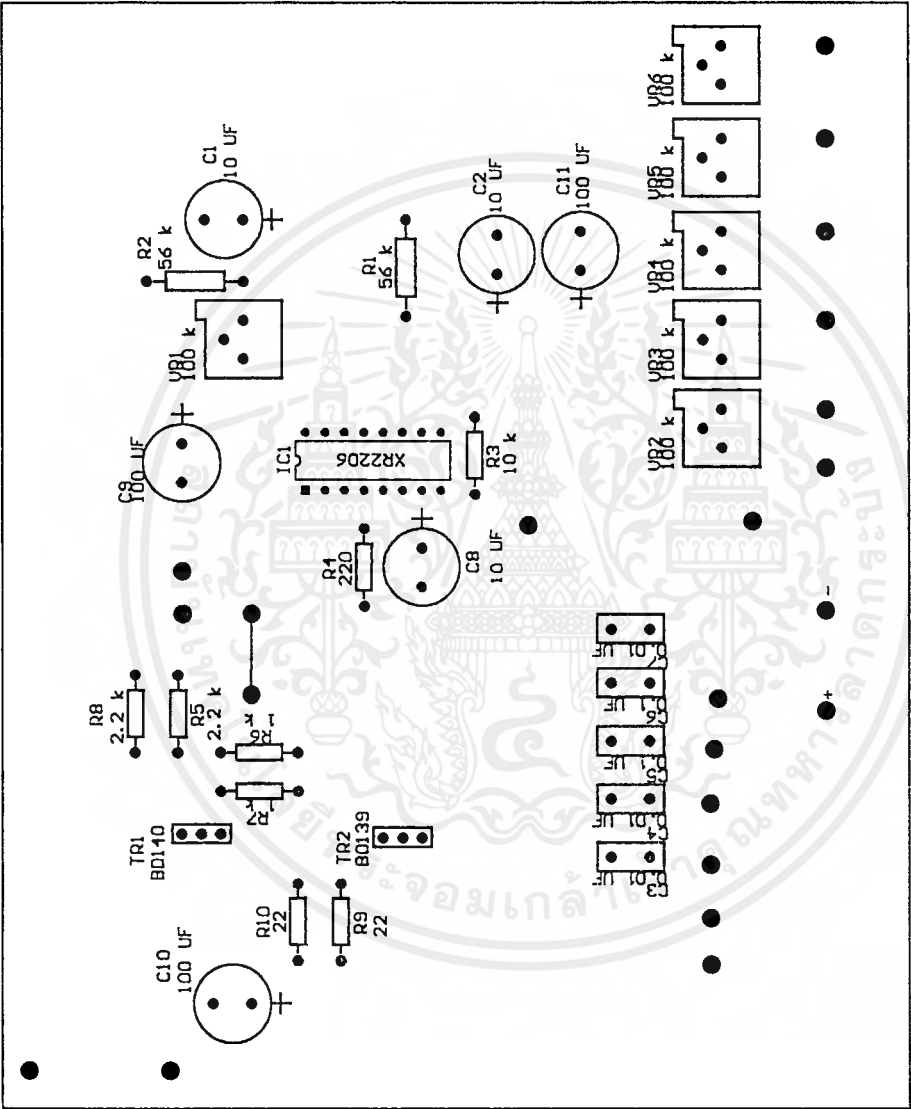
รูปที่ 4 วงจรภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

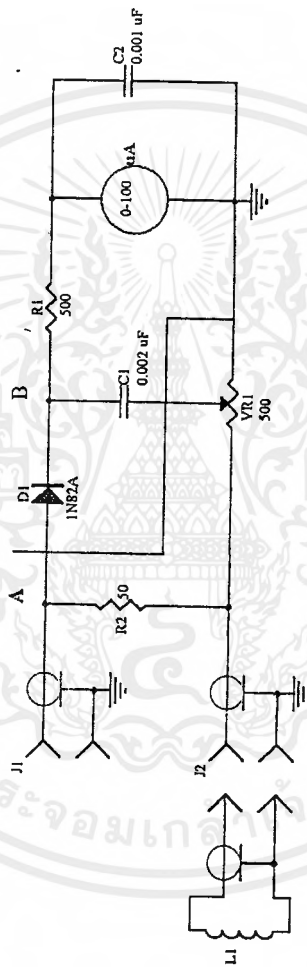


รูปที่ 5 แผงวงจรพิมพ์ด้านของวงจรภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

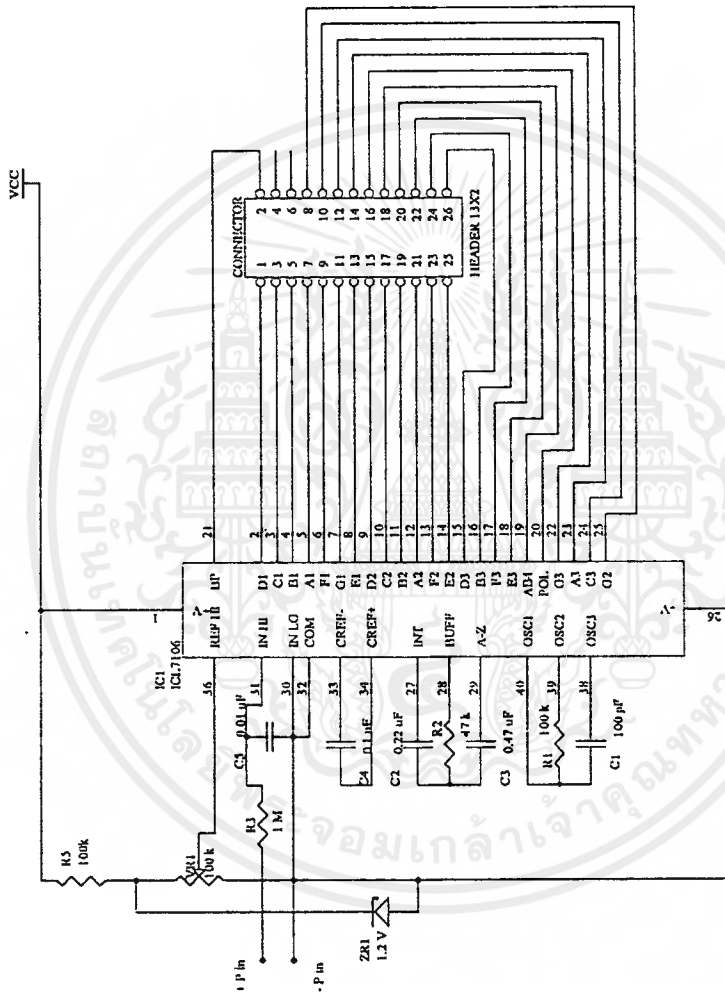


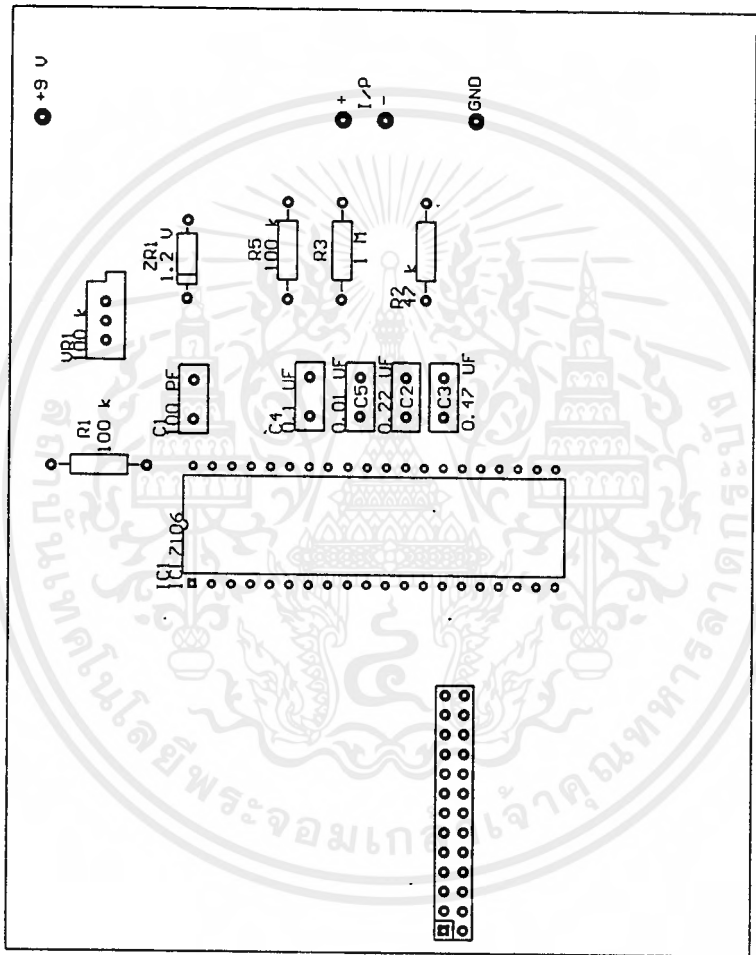
รูปที่ 6 ด้านการวางอุปกรณ์ของวงจรภาคส่ง



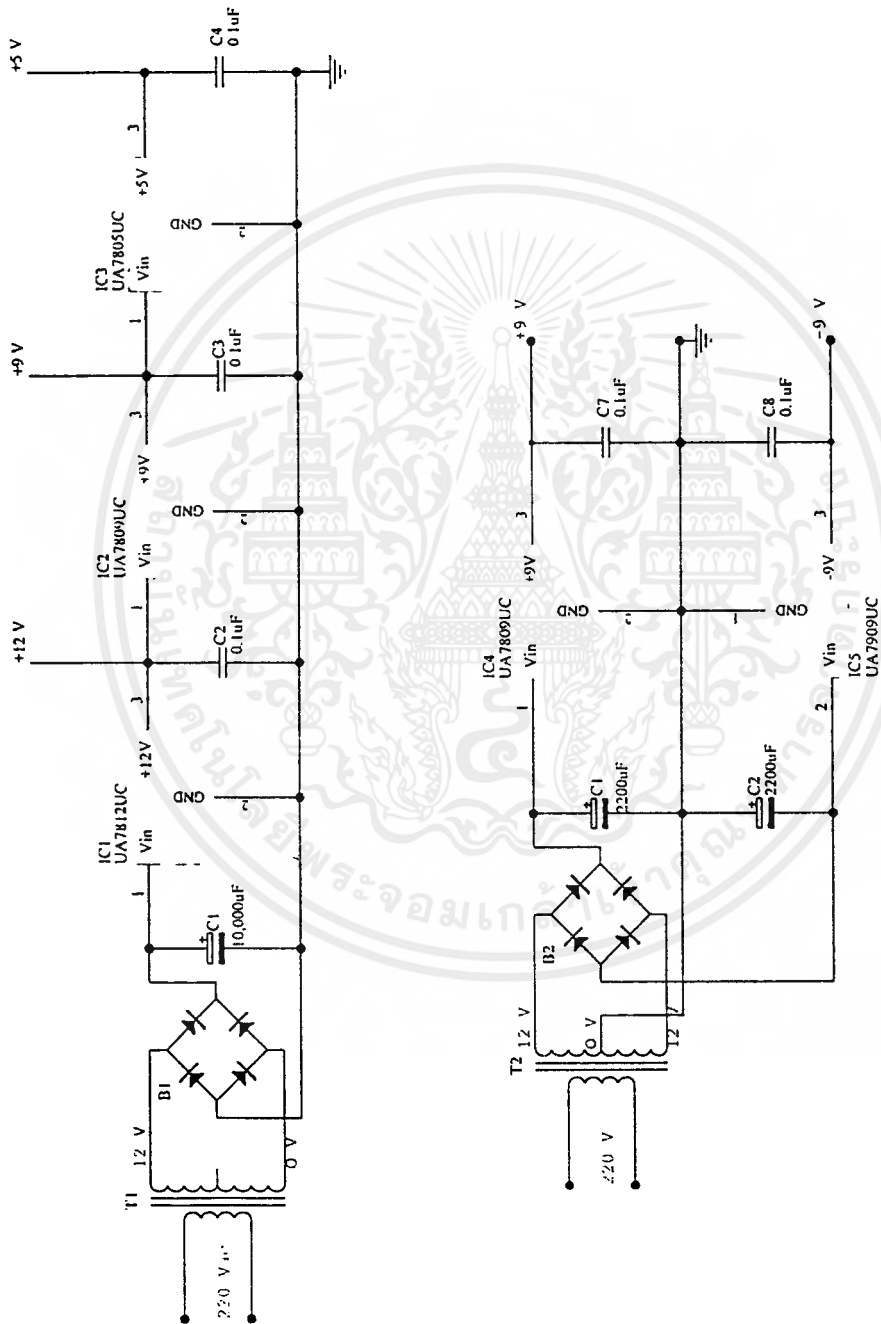
รูปที่ 7 วงจรวัตต์อิมพีแดนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



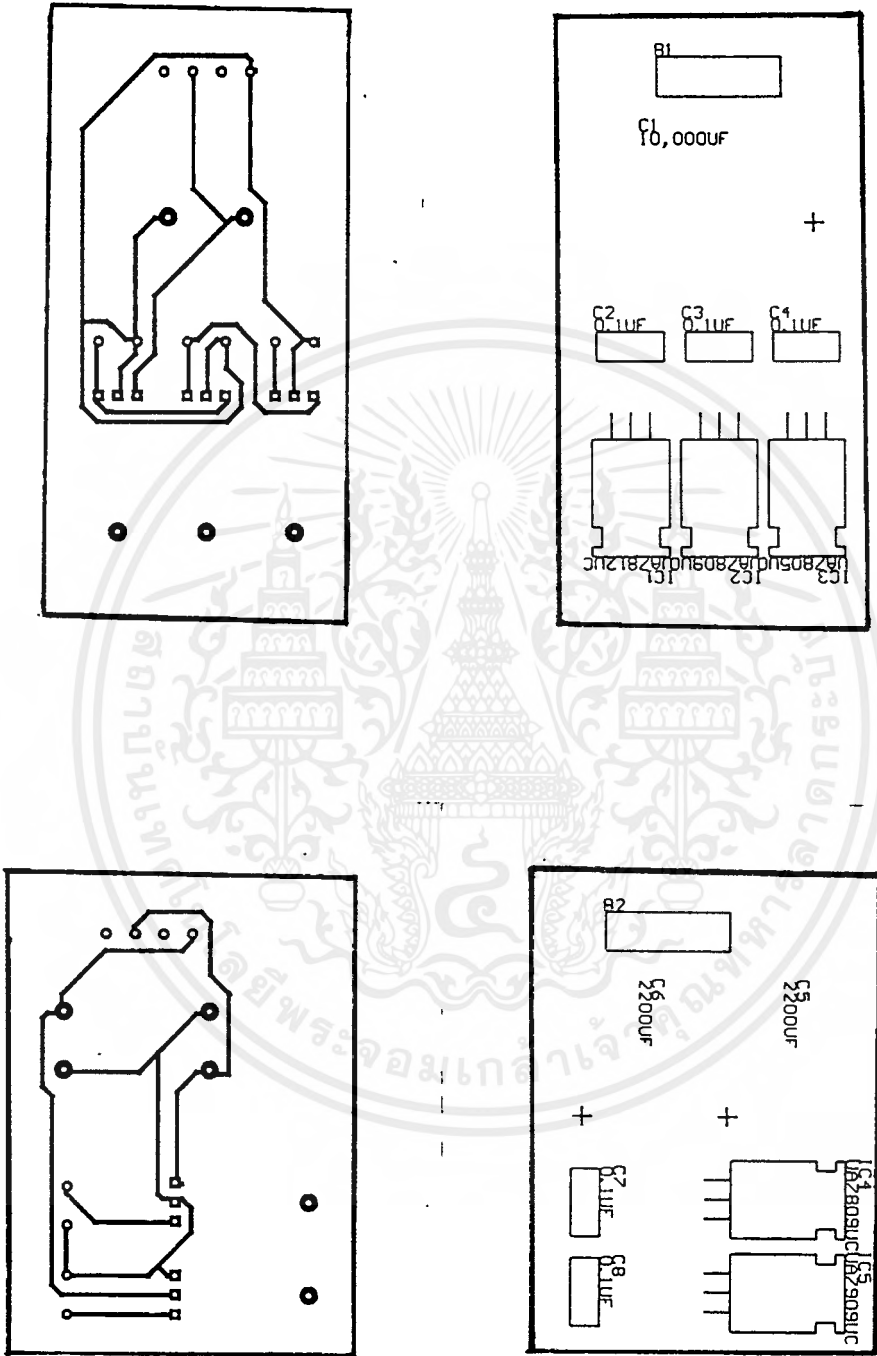


รูปที่ 9 แผ่นวงจรพิมพ์ และการวางอุปกรณ์ของภาคส่วนแสดงผล



รูปที่ 10 วงจรภาคจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11 แผนผังการวางอุปกรณ์จ่ายไฟ



ภาคผนวก ก  
รายการข้อมูล และคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# ICL7106, ICL7107

3 $\frac{1}{2}$  Digit LCD/LED  
Display A/D Converter

December 1993

## 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 15 $\mu$ Vp-p
- On Chip Clock and Reference
- Low Power Dissipation - Typically Less Than 10mW
- No Additional Active Circuits Required
- New Small Outline Surface Mount Package Available

## Ordering Information

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

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

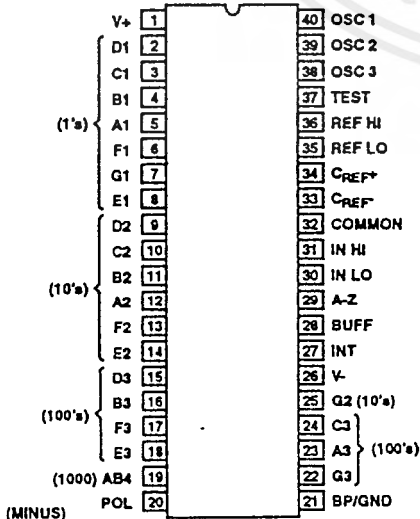
## Description

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

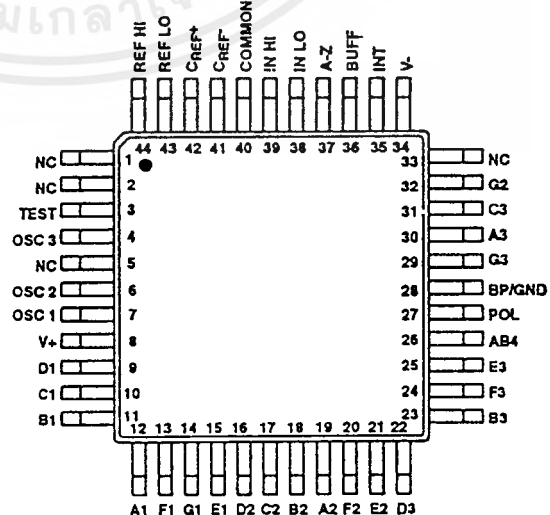
The ICL7106 and ICL7107 bring together a combination of high accuracy, versatility, and true economy. It features auto-zero to less than 10 $\mu$ V, zero drift of less than 1 $\mu$ V/°C, input bias current of 10pA max., and rollover error of less than one count. True differential inputs and reference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

## Pinouts

ICL7106, ICL7107  
(PDIP)  
TOP VIEW



ICL7106, ICL7107  
(MQFP)  
TOP VIEW



CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Users should follow proper E.C. Handling Procedures.

Copyright © Harris Corporation 1993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Specifications ICL7106, ICL7107

#### Absolute Maximum Ratings

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

#### Thermal Information

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

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

#### Electrical Specifications (Note 3)

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

## ICL7106, ICL7107

## Electrical Specifications (Note 3) (Continued)

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

## NOTES:

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

## Typical Applications and Test Circuits

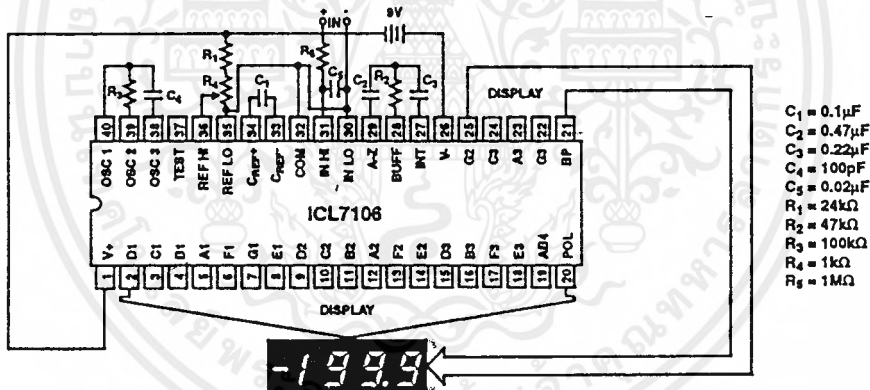


FIGURE 1. ICL7106 TEST CIRCUIT AND TYPICAL APPLICATION WITH LCD DISPLAY COMPONENTS SELECTED FOR 200mV FULL-SCALE

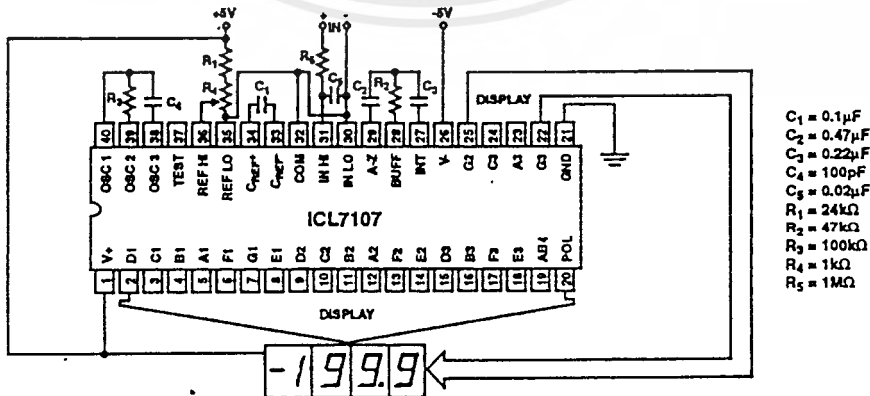


FIGURE 2. ICL7107 TEST CIRCUIT AND TYPICAL APPLICATION WITH LED DISPLAY COMPONENTS SELECTED FOR 200mV FULL-SCALE

## ICL7106, ICL7107

**Design Information Summary Sheet**• **OSCILLATOR FREQUENCY**

$$f_{osc} = 0.45/RC$$

$$C_{osc} > 50pF; R_{osc} > 50K\Omega$$

$$f_{osc} \text{ Typ.} = 48KHz$$

• **OSCILLATOR PERIOD**

$$t_{osc} = RC/0.45$$

• **INTEGRATION CLOCK FREQUENCY**

$$f_{clock} = f_{osc}/4$$

• **INTEGRATION PERIOD**

$$t_{int} = 1000 \times (4/f_{osc})$$

• **60/50Hz REJECTION CRITERION**

$$t_{int}/60Hz \text{ or } t_{int}/50Hz = \text{Integer}$$

• **OPTIMUM INTEGRATION CURRENT**

$$I_{int} = 4.0\mu A$$

• **FULL-SCALE ANALOG INPUT VOLTAGE**

$$V_{infs} \text{ Typically} = 200mV \text{ or } 2.0V$$

• **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:**

$$(V^- + 0.5V) < V_{int} < (V^+ - 0.5V), V_{int} \text{ typically} = 2.0V$$

• **DISPLAY COUNT**

$$\text{COUNT} = 1000 \times \frac{V_{in}}{V_{REF}}$$

• **CONVERSION CYCLE**

$$t_{cyc} = t_{clock} \times 4000$$

$$t_{cyc} = t_{osc} \times 16,000$$

$$\text{when } f_{osc} = 48KHz; t_{cyc} = 333ms$$

• **COMMON MODE INPUT VOLTAGE**

$$(V^- + 1.0V) < V_N < (V^+ - 0.5V)$$

• **AUTO-ZERO CAPACITOR**

$$0.01\mu F < C_{AZ} < 1.0\mu F$$

• **REFERENCE CAPACITOR**

$$0.1\mu F < C_{REF} < 1.0\mu F$$

•  **$V_{COM}$** 

Biased between  $V^+$  and  $V^-$ .

•  **$V_{COM} \approx V^+ - 2.8V$** 

Regulation lost when  $V^+$  to  $V^- < \approx 6.8V$ .

If  $V_{COM}$  is externally pulled down to  $(V^+ \text{ to } V^-)/2$ , the  $V_{COM}$  circuit will turn off.

• **ICL7106 POWER SUPPLY: SINGLE 9V**

$$V^+ - V^- = 9V$$

Digital supply is generated internally

$$V_{GND} \approx V^+ - 4.5V$$

• **ICL7106 DISPLAY: LCD**

Type: Direct drive with digital logic supply amplitude.

• **ICL7107 POWER SUPPLY: DUAL  $\pm 5.0V$** 

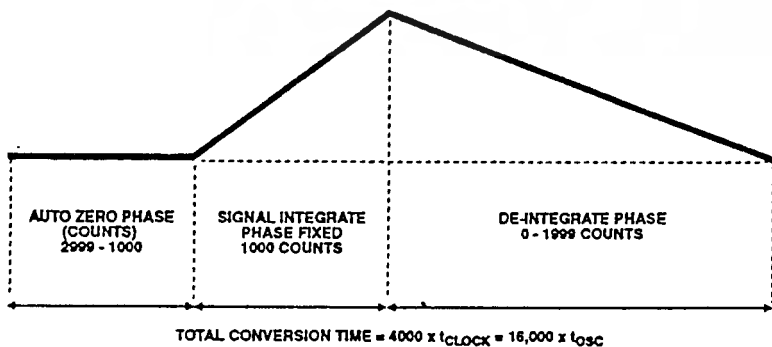
$$V^+ = +5.0V \text{ to GND}$$

$$V^- = -5.0V \text{ to GND}$$

Digital Logic and LED driver supply  $V^+$  to GND

• **ICL7107 DISPLAY: LED**

Type: Non-Multiplexed Common Anode

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

## ICL7106, ICL7107

**Detailed Description****Analog Section**

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

**Auto-Zero Phase**

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

**Signal Integrate Phase**

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

**De-integrate Phase**

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

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

**Differential Input**

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

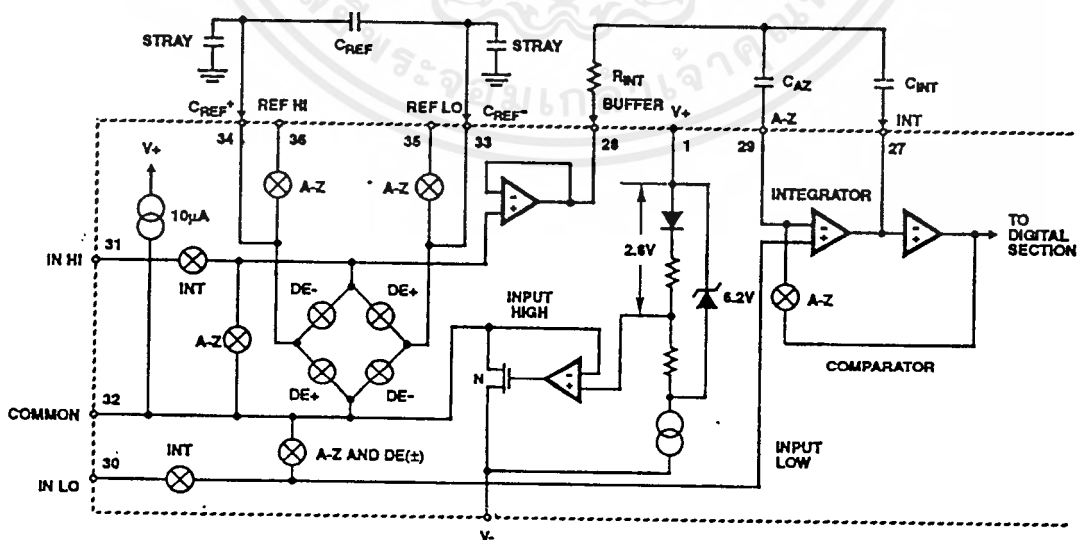


FIGURE 3. ANALOG SECTION OF ICL7106 AND ICL7107

ICL7106, ICL7107

Differential Reference

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

Analog COMMON

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

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  $25\mu\text{V}$  to  $80\mu\text{Vp-p}$ . Also the linearity in going from a high dissipation count such as 1000 (20 segments on) to a low dissipation count such as 1111 (8 segments on) can suffer by a count or more. Devices with a positive TC reference may require several counts to pull out of an over-range condition. This is because over-range is a low dissipation mode, with the three least significant digits blanked. Similarly, units with a negative TC may cycle between over-range and a non-over-range count as the die alternately heats and cools. All these problems are of course eliminated if an external reference is used.

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

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

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

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

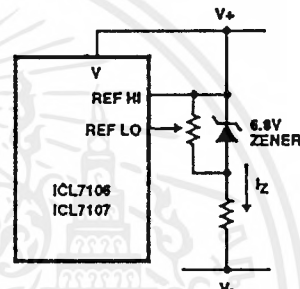


FIGURE 4A.

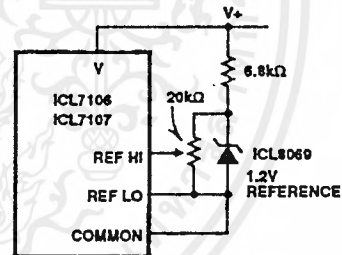


FIGURE 4B.

FIGURE 4. USING AN EXTERNAL REFERENCE

TEST

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

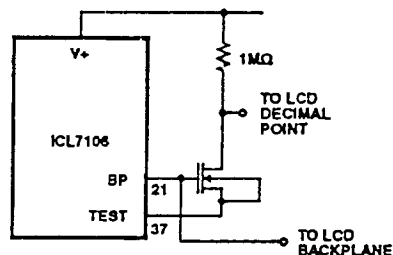


FIGURE 5. SIMPLE INVERTER FOR FIXED DECIMAL POINT

## ICL7106, ICL7107

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.

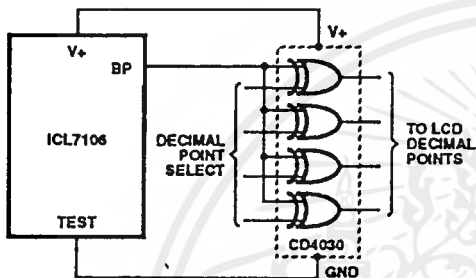


FIGURE 6. EXCLUSIVE 'OR' GATE FOR DECIMAL POINT DRIVE

### 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/second this is a 60Hz square wave with a nominal amplitude of 5V. The segments are driven at the same frequency and amplitude and are in phase with BP when OFF, but out of phase when ON. In all cases negligible DC voltage exists across the segments.

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

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.

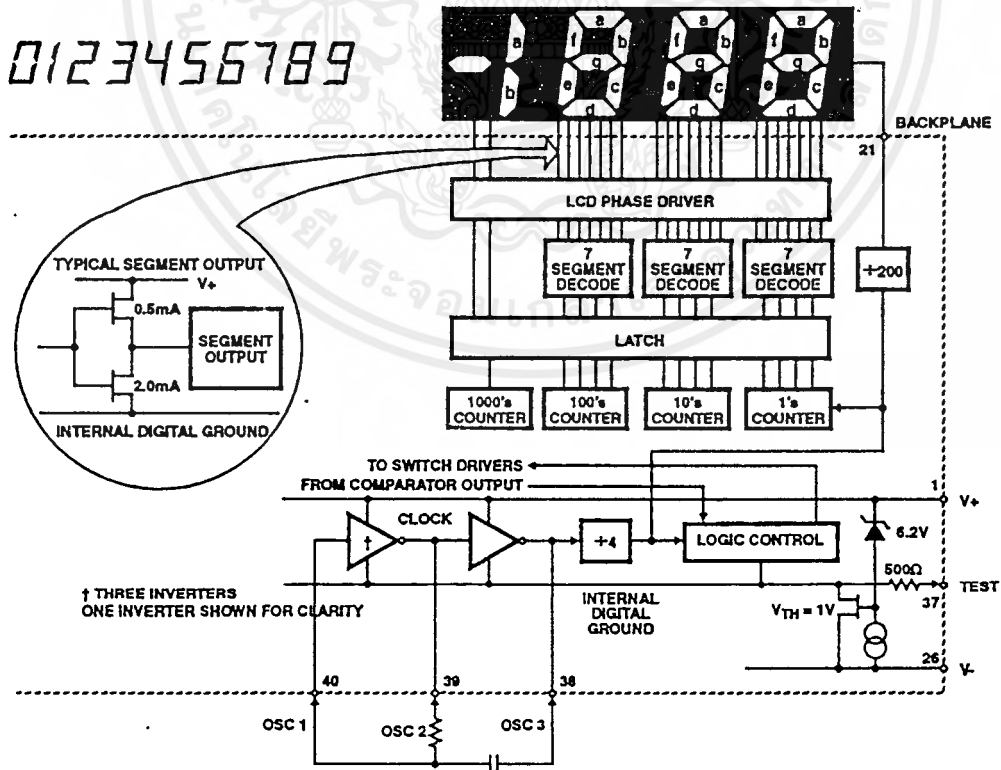


FIGURE 7. ICL7106 DIGITAL SECTION

## ICL7106, ICL7107

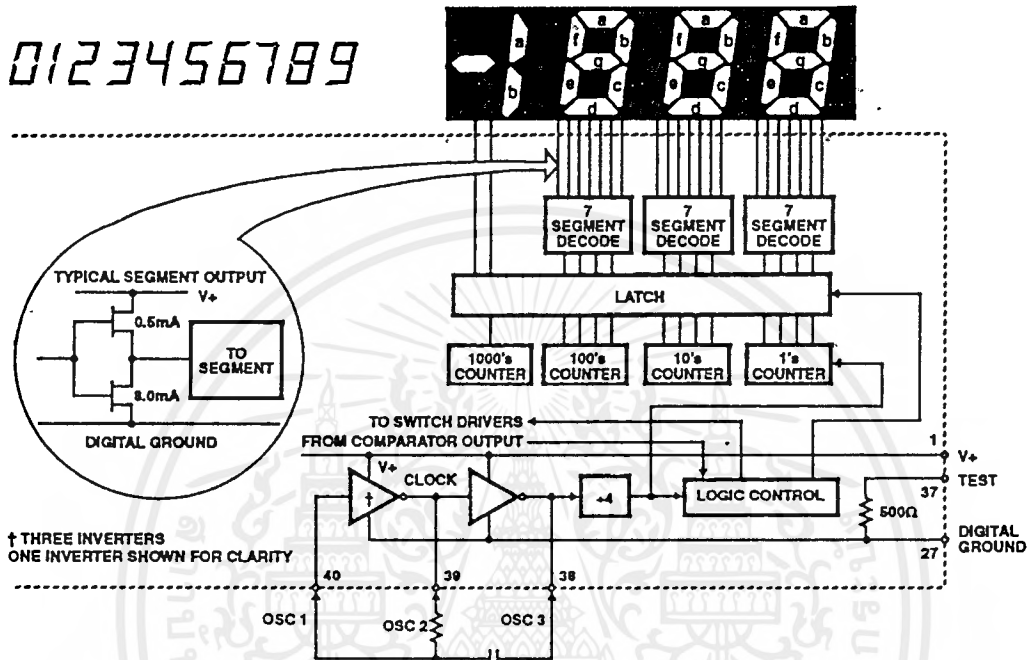


FIGURE 8. ICL7107 DIGITAL SECTION

## System Timing

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

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

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

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

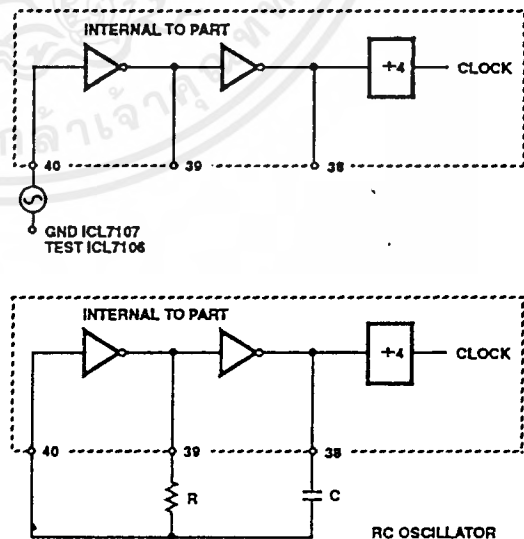


FIGURE 9. CLOCK CIRCUITS

## ICL7106, ICL7107

### Component Value Selection

#### Integrating Resistor

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

#### Integrating Capacitor

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

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

#### Auto-Zero Capacitor

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

#### Reference Capacitor

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

#### Oscillator Components

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

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

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

#### Reference Voltage

The analog input required to generate full-scale output (2000 counts) is:  $V_{IN} = 2V_{REF}$ . Thus, for the 200mV and 2V scale,  $V_{REF}$  should equal 100mV and 1V, respectively. However, in many applications where the A/D is connected to a transducer, there will exist a scale factor other than unity between the input voltage and the digital reading. For instance, in a weighing system, the designer might like to have a full-scale reading when the voltage from the transducer is 0.662V. Instead of dividing the input down to 200mV, the designer should use the input voltage directly and select  $V_{REF} = 0.341$ V. Suitable values for integrating resistor and capacitor would be 1 20k $\Omega$  and 0.22 $\mu$ F. This makes the system slightly quieter and also avoids a divider network on the input. The ICL7107 with  $\pm 5$ V supplies can accept input signals up to  $\pm 4$ V. Another advantage of this system occurs when a digital reading of zero is desired for  $V_{IN} = 0$ . Temperature and weighing systems with a variable fare are examples. This offset reading can be conveniently generated by connecting the voltage transducer between IN HI and COMMON and the variable (or fixed) offset voltage between COMMON and IN LO.

#### ICL7107 Power Supplies

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

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

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

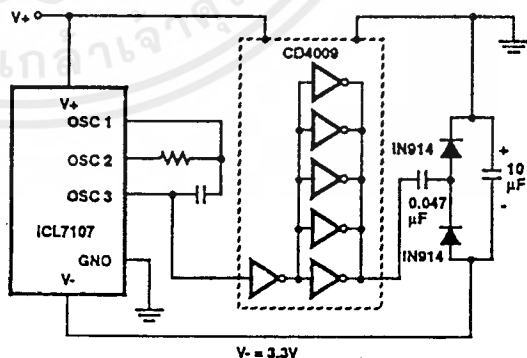


FIGURE 10. GENERATING NEGATIVE SUPPLY FROM +5V

## ICL7106, ICL7107

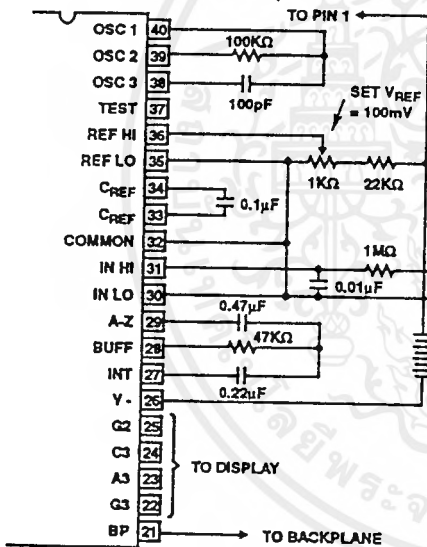
**Typical Applications**

The ICL7106 and ICL7107 may be used in a wide variety of configurations. The circuits which follow show some of the possibilities, and serve to illustrate the exceptional versatility of these A/D converters.

The following application notes contain very useful information on understanding and applying this part and are available from Harris semiconductor.

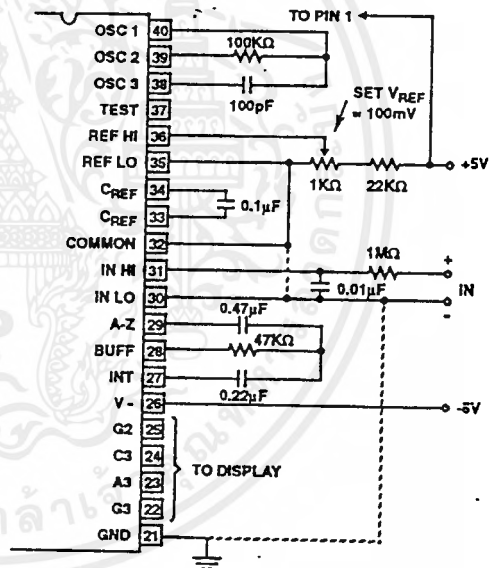
**Application Notes**

- A016 "Selecting A/D Converters"
- A017 "The Integrating A/D Converter"
- A018 "Do's and Don'ts of Applying A/D Converters"
- A023 "Low Cost Digital Panel Meter Designs"
- A032 "Understanding the Auto-Zero and Common Mode Performance of the ICL7106/7/9 Family"
- A046 "Building a Battery-Operated Auto Ranging DVM with the ICL7106"
- A052 "Tips for Using Single Chip 3 1/2 Digit A/D Converters"

**Typical Applications**

Values shown are for 200mV full-scale, 3 readings/sec., floating supply voltage (9V battery).

FIGURE 11. ICL7106 USING THE INTERNAL REFERENCE

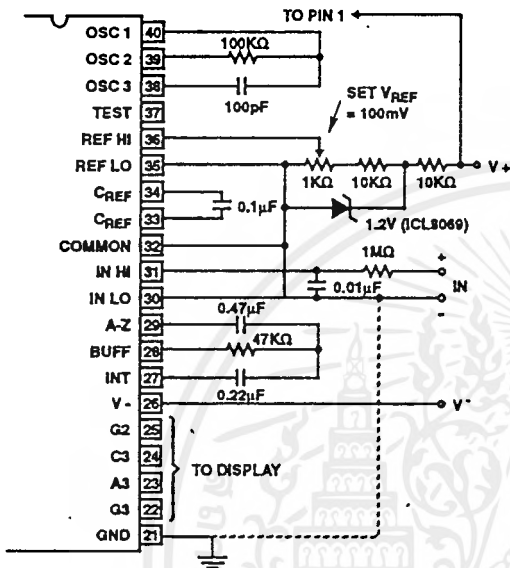


Values shown are for 200mV full-scale, 3 readings/sec. IN LO may be tied to either COMMON for inputs floating with respect to supplies, or GND for single ended inputs. (See discussion under Analog COMMON.)

FIGURE 12. ICL7107 USING THE INTERNAL REFERENCE

**ICL7106, ICL7107**

### Typical Applications (Continued)



IN LO is tied to supply COMMON establishing the correct common mode voltage. If COMMON is not shorted to GND, the input voltage may float with respect to the power supply and COMMON acts as a pre-regulator for the reference. If COMMON is shorted to GND, the input is single ended (referred to supply GND) and the pre-regulator is overridden.

**FIGURE 13. ICL7107 WITH AN EXTERNAL BAND-GAP REFERENCE (1.2V TYPE)**

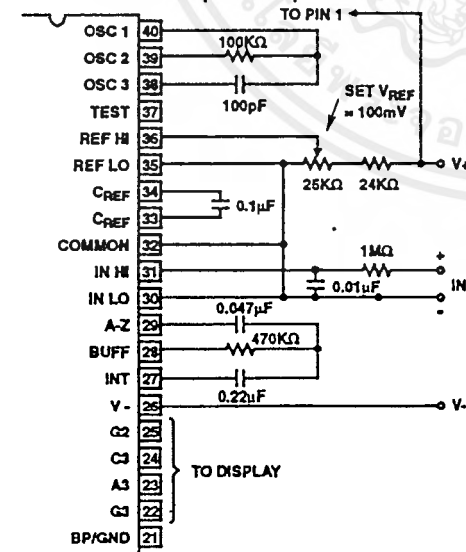
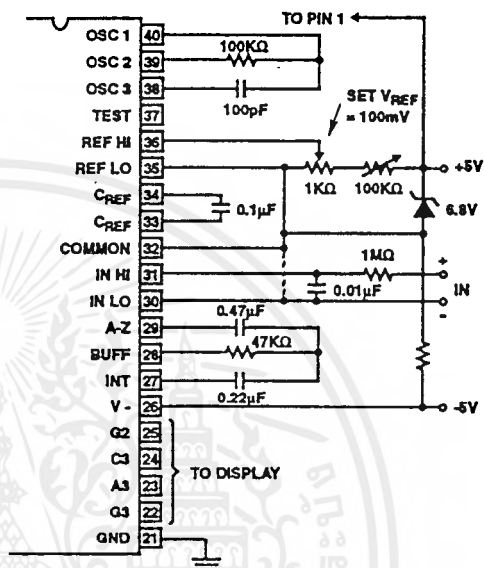
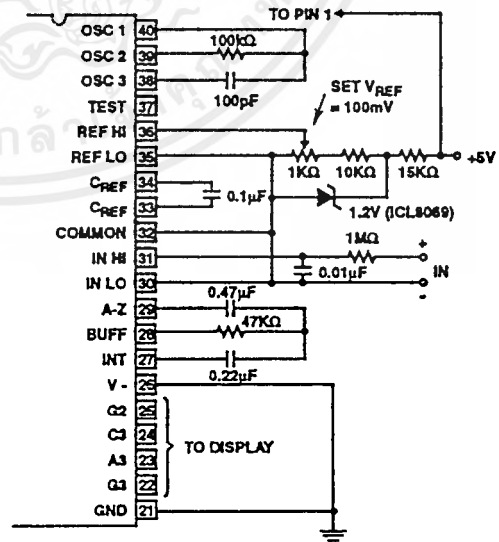


**FIGURE 15. ICL7106 AND ICL7107: RECOMMENDED COMPONENT VALUES FOR 2.0V FULL-SCALE**



Since low TC zeners have breakdown voltages ~ 6.8V, diode must be placed across the total supply (10V). As in the case of Figure 14, IN LO may be tied to either COMMON or GND

**FIGURE 14. ICL7107 WITH ZENER DIODE REFERENCE**

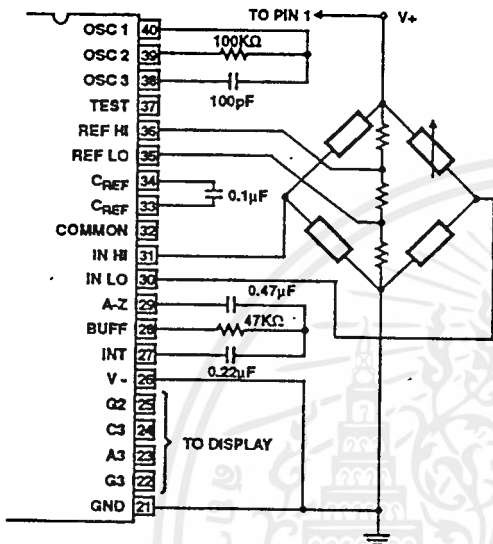


An external reference must be used in this application, since the voltage between V+ and V- is insufficient for correct operation of the internal reference.

FIGURE 16. ICL7107 OPERATED FROM SINGLE +5V

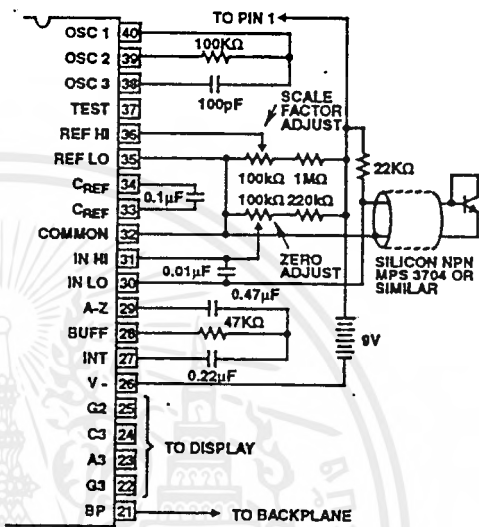
## ICL7106, ICL7107

## Typical Applications (Continued)



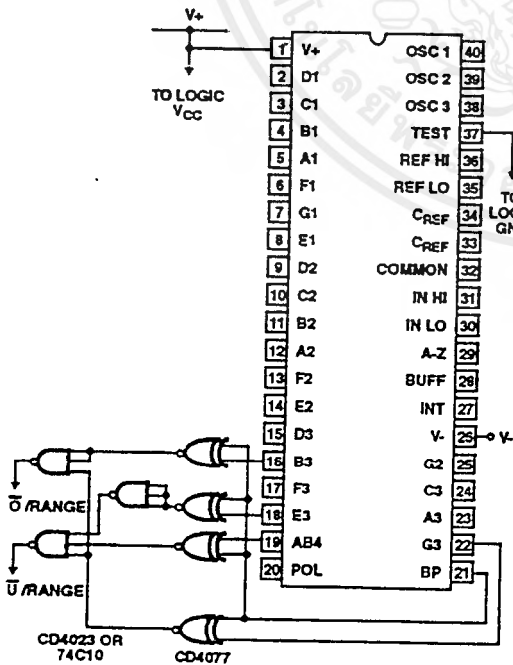
The resistor values within the bridge are determined by the desired sensitivity.

FIGURE 17. ICL7107 MEASURING RATIO-METRIC VALUES OF QUAD LOAD CELL



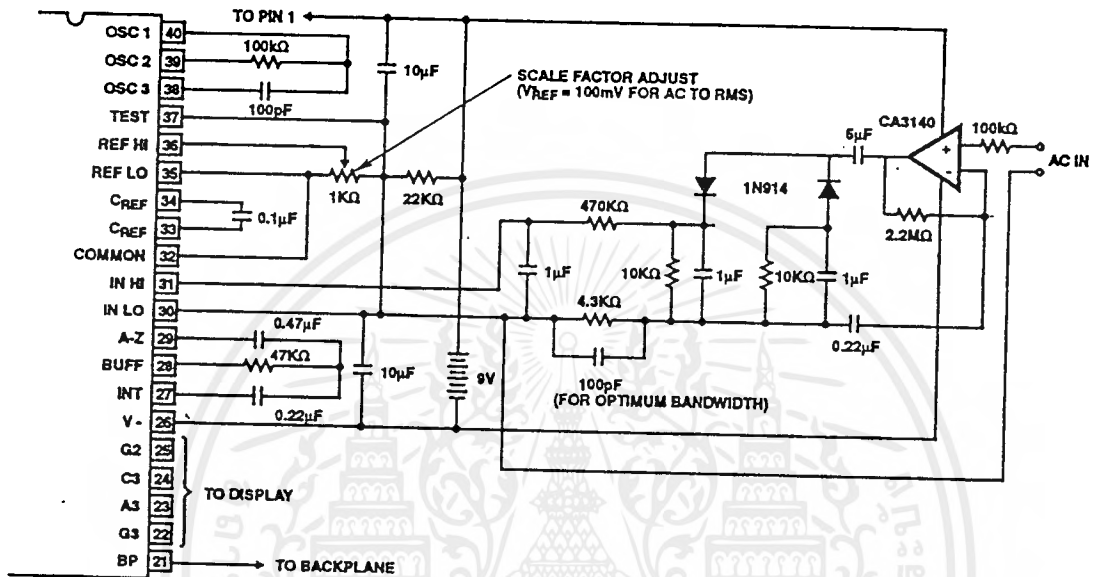
A silicon diode-connected transistor has a temperature coefficient of about  $-2\text{mV}/^\circ\text{C}$ . Calibration is achieved by placing the sensing transistor in ice water and adjusting the zeroing potentiometer for a 000.0 reading. The sensor should then be placed in boiling water and the scale-factor potentiometer adjusted for a 100.0 reading.

FIGURE 18. ICL7106 USED AS A DIGITAL CENTIGRADE THERMOMETER



## ICL7106, ICL7107

## Typical Applications (Continued)



Test is used as a common-mode reference level to ensure compatibility with most op amps.

FIGURE 21. AC TO DC CONVERTER WITH ICL7106

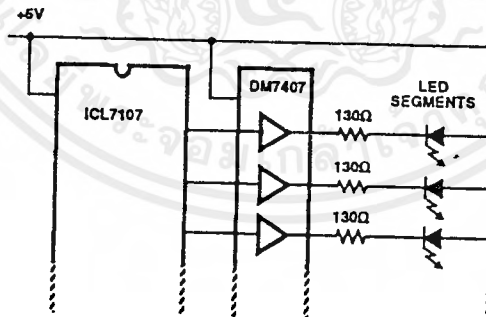


FIGURE 22. DISPLAY BUFFERING FOR INCREASED DRIVE CURRENT



XR-2206

## Monolithic Function Generator

### GENERAL DESCRIPTION

The XR-2206 is a monolithic function generator integrated circuit capable of producing high quality sine, square, triangle, ramp, and pulse waveforms of high-stability and accuracy. The output waveforms can be both amplitude and frequency modulated by an external voltage. Frequency of operation can be selected externally over a range of 0.01 Hz to more than 1 MHz.

The circuit is ideally suited for communications, instrumentation, and function generator applications requiring sinusoidal tone, AM, FM, or FSK generation. It has a typical drift specification of 20 ppm/°C. The oscillator frequency can be linearly swept over a 2000:1 frequency range, with an external control voltage, having a very small effect on distortion.

### FEATURES

|                                 |                    |
|---------------------------------|--------------------|
| Low-Sine Wave Distortion        | .5%, Typical       |
| Excellent Temperature Stability | 20 ppm/°C, Typical |
| Wide Sweep Range                | 2000:1, Typical    |
| Low-Supply Sensitivity          | 0.01%V, Typical    |
| Linear Amplitude Modulation     |                    |
| TTL Compatible FSK Controls     |                    |
| Wide Supply Range               | 10V to 26V         |
| Adjustable Duty Cycle           | 1% to 99%          |

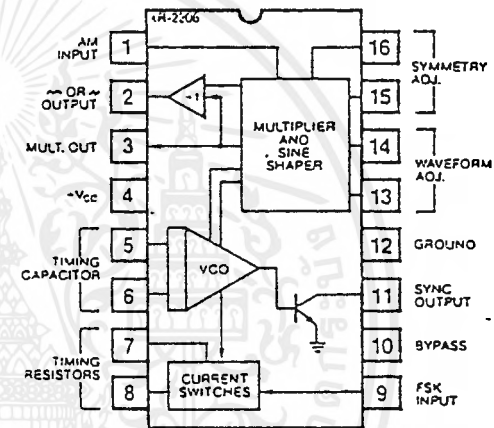
### APPLICATIONS

Waveform Generation  
Sweep Generation  
AM/FM Generation  
V/F Conversion  
FSK Generation  
Phase-Locked Loops (VCO)

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

|                      |                 |
|----------------------|-----------------|
| Power Supply         | 26V             |
| Power Dissipation    | 750 mW          |
| Derate Above 25°C    | 5 mW/°C         |
| Total Timing Current | 6 mA            |
| Storage Temperature  | -65°C to +150°C |

### FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



### ORDERING INFORMATION

| Part Number | Package | Operating Temperature |
|-------------|---------|-----------------------|
| XR-2206M    | Ceramic | -55°C to +125°C       |
| XR-2206N    | Ceramic | 0°C to +70°C          |
| XR-2206P    | Plastic | 0°C to +70°C          |
| XR-2206CN   | Ceramic | 0°C to +70°C          |
| XR-2206CP   | Plastic | 0°C to +70°C          |

### SYSTEM DESCRIPTION

The XR-2206 is comprised of four functional blocks: a voltage-controlled oscillator (VCO), an analog multiplier and sine-shaper; a unity gain buffer amplifier; and a set of current switches.

The VCO actually produces an output frequency proportional to an input current, which is produced by a resistor from the timing terminals to ground. The current switches route one of the timing pins current to the VCO controlled by an FSK input pin, to produce an output frequency. With two timing pins, two discrete output frequencies can be independently produced for FSK Generation Applications.



Integrated Systems, Inc., 750 Palomar Avenue, Sunnyvale, CA 94086 • (408) 732-7970 • TWX 910-339-9233

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# XR-2206

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Test Conditions: Test Circuit of Figure 1,  $V^+ = 12V$ ,  $T_A = 25^\circ$ ,  $C = 0.01 \mu F$ ,  $R_1 = 100 k\Omega$ ,  $R_2 = 10 k\Omega$ ,  $R_3 = 25 k\Omega$  unless otherwise specified.  $S_1$  open for triangle, closed for sine wave.

| PARAMETER                       | XR-2206M |           |          | XR-2206C |           |          | UNIT                  | CONDITIONS                                                                                          |
|---------------------------------|----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 | MIN.     | TYP.      | MAX.     | MIN.     | TYP.      | MAX.     |                       |                                                                                                     |
| GENERAL CHARACTERISTICS         |          |           |          |          |           |          |                       |                                                                                                     |
| Single Supply Voltage           | 10       |           | 26       | 10       |           | 26       | V                     | $R_1 > 10\text{ k}\Omega$                                                                           |
| Stable-Supply Voltage           | $\pm 5$  |           | $\pm 13$ | $\pm 5$  |           | $\pm 13$ | V                     |                                                                                                     |
| Supply Current                  |          | 12        | 17       |          | 14        | 20       | mA                    |                                                                                                     |
| OSCILLATOR SECTION              |          |           |          |          |           |          |                       |                                                                                                     |
| Max. Operating Frequency        | 0.5      | 1         |          | 0.5      | 1         |          | MHz                   | $C = 1000\text{ pF}$ , $R_1 = 1\text{ k}\Omega$                                                     |
| Lowest Practical Frequency      |          | 0.01      |          |          | 0.01      |          | Hz                    | $C = 50\text{ }\mu\text{F}$ , $R_1 = 2\text{ M}\Omega$                                              |
| Frequency Accuracy              |          | $\pm 1$   | $\pm 4$  |          | $\pm 2$   |          | % of $f_0$            | $f_0 = 1/R_1 C$                                                                                     |
| Temperature Stability           |          | $\pm 10$  | $\pm 50$ |          | $\pm 20$  |          | ppm/ $^\circ\text{C}$ | $0^\circ\text{C} < T_A < 75^\circ\text{C}$ ,<br>$R_1 = R_2 = 20\text{ k}\Omega$                     |
| Supply Sensitivity              |          | 0.01      | 0.1      |          | 0.01      |          | %/V                   | $V_{\text{LOW}} = 10\text{V}$ , $V_{\text{HIGH}} = 20\text{V}$ ,<br>$R_1 = R_2 = 20\text{ k}\Omega$ |
| Sweep Range                     | 1000:1   | 2000:1    |          |          | 2000:1    |          | $f_H = f_L$           | $f_H @ R_1 = 1\text{ k}\Omega$<br>$f_L @ R_1 = 2\text{ M}\Omega$                                    |
| Sweep Linearity                 |          |           |          |          |           |          | %                     | $f_L = 1\text{ kHz}$ , $f_H = 10\text{ kHz}$                                                        |
| 10:1 Sweep                      |          | 2         |          |          | 2         |          | %                     | $f_L = 100\text{ Hz}$ , $f_H = 100\text{ kHz}$                                                      |
| 1000:1 Sweep                    |          | 8         |          |          | 8         |          | %                     | $\pm 10\%$ Deviation                                                                                |
| FM Distortion                   |          | 0.1       |          |          | 0.1       |          | %                     |                                                                                                     |
| Recommended Timing Components   |          |           |          |          |           |          |                       |                                                                                                     |
| Timing Capacitor: C             | 0.001    |           | 100      | 0.001    |           | 100      | $\mu\text{F}$         | See Figure 4.                                                                                       |
| Timing Resistors: $R_1$ & $R_2$ | 1        |           | 2000     | 1        |           | 2000     | $\text{k}\Omega$      |                                                                                                     |
| Triangle Sine Wave Output       |          |           |          |          |           |          |                       | See Note 1, Figure 2.                                                                               |
| Triangle Amplitude              |          | 160       |          |          | 160       |          | mV/ $\text{k}\Omega$  | Figure 1, $S_1$ Open                                                                                |
| Sine Wave Amplitude             | 20       | 60        | 80       |          | 60        |          | mV/ $\text{k}\Omega$  | Figure 1, $S_1$ Closed                                                                              |
| Max. Output Swing               |          | 6         |          |          | 6         |          | V <sub>p-p</sub>      |                                                                                                     |
| Output Impedance                |          | 600       |          |          | 600       |          | $\Omega$              |                                                                                                     |
| Triangle Linearity              |          | 1         |          |          | 1         |          | %                     |                                                                                                     |
| Amplitude Stability             |          | 0.5       |          |          | 0.5       |          | dB                    | For 1000:1 Sweep                                                                                    |
| Sine Wave Amplitude Stability   |          | $\pm 500$ |          |          | $\pm 800$ |          | ppm/ $^\circ\text{C}$ | See Note 2.                                                                                         |
| Sine Wave Distortion            |          |           |          |          |           |          |                       |                                                                                                     |
| Without Adjustment              |          | 2.5       | -        |          | 2.5       |          | %                     | $R_1 = 30\text{ k}\Omega$                                                                           |
| With Adjustment                 |          | 0.4       | 1.0      |          | 0.5       | 1.5      | %                     | See Figures 6 and 7.                                                                                |
| Amplitude Modulation            |          |           |          |          |           |          |                       |                                                                                                     |
| Input Impedance                 | 50       | 100       |          | 50       | 100       |          | $\text{k}\Omega$      |                                                                                                     |
| Modulation Range                |          | 100       |          |          | 100       |          | %                     |                                                                                                     |
| Carrier Suppression             |          | 55        |          |          | 55        |          | dB                    |                                                                                                     |
| Linearity                       |          | 2         |          |          | 2         |          | %                     | For 95% modulation                                                                                  |
| Square-Wave Output              |          |           |          |          |           |          |                       |                                                                                                     |
| Amplitude                       |          | 12        |          |          | 12        |          | V <sub>p-p</sub>      | Measured at Pin 11.                                                                                 |
| Rise Time                       |          | 250       |          |          | 250       |          | nsec                  | $C_L = 10\text{ pF}$                                                                                |
| Fall Time                       |          | 50        |          |          | 50        |          | nsec                  | $C_L = 10\text{ pF}$                                                                                |
| Saturation Voltage              |          | 0.2       | 0.4      |          | 0.2       | 0.6      | V                     | $I_L = 2\text{ mA}$                                                                                 |
| Leakage Current                 |          | 0.1       | 20       |          | 0.1       | 100      | $\mu\text{A}$         | $V_{11} = 25\text{V}$                                                                               |
| FSK Keying Level (Pin 9)        | 0.8      | 1.4       | 2.4      | 0.5      | 1.4       | 2.4      | V                     | See section on circuit controls                                                                     |
| Reference Bypass Voltage        | 2.9      | 3.1       | 3.3      | 2.5      | 3         | 3.5      | V                     | Measured at Pin 10.                                                                                 |

Note 1: Output amplitude is directly proportional to the resistance,  $R_3$ , on Pin 3. See Figure 2

Note 2: For maximum amplitude stability,  $R_3$  should be a positive temperature coefficient resistor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## XR-2206

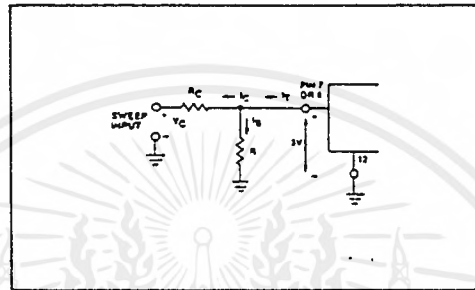


Figure 9: Circuit Connection for Frequency Sweep.

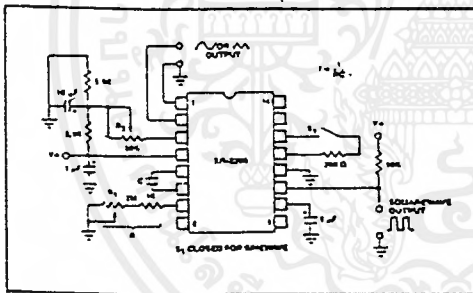
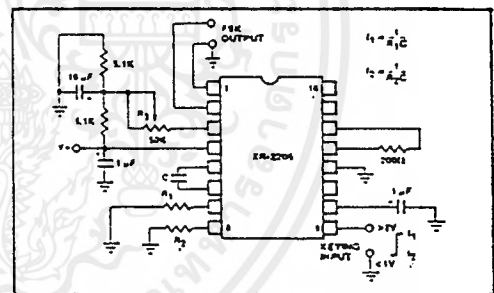
Figure 10: Circuit for Sine Wave Generation without External Adjustment. (See Figure 2 for Choice of  $R_3$ .)

Figure 12: Sinusoidal FSK Generator.

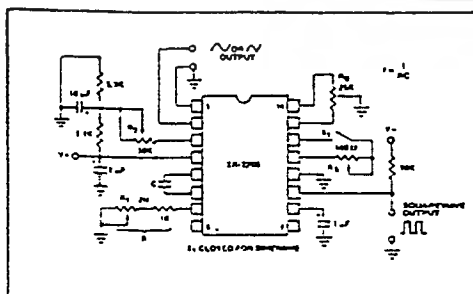
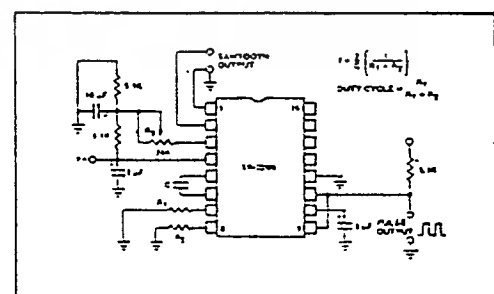
Figure 11: Circuit for Sine Wave Generation with Minimum Harmonic Distortion. ( $R_3$  Determines Output Swing — See Figure 2.)

Figure 13: Circuit for Pulse and Ramp Generation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## XR-2206

### Frequency-Shift Keying:

The XR-2206 can be operated with two separate timing resistors,  $R_1$  and  $R_2$ , connected to the timing Pin 7 and 8, respectively, as shown in Figure 12. Depending on the polarity of the logic signal at Pin 9, either one or the other of these timing resistors is activated. If Pin 9 is open-circuited or connected to a bias voltage  $>2V$ , only  $R_1$  is activated. Similarly, if the voltage level at Pin 9 is  $<1V$ , only  $R_2$  is activated. Thus, the output frequency can be keyed between two levels,  $f_1$  and  $f_2$ , as:

$$f_1 = 1/R_1C \text{ and } f_2 = 1/R_2C$$

For split-supply operation, the keying voltage at Pin 9 is referenced to  $V^-$ .

### Output DC Level Control:

The dc level at the output (Pin 2) is approximately the same as the dc bias at Pin 3. In Figures 10, 11 and 12, Pin 3 is biased midway between  $V^+$  and ground, to give an output dc level of  $\approx V^+/2$ .

## APPLICATIONS INFORMATION

### Sine Wave Generation

#### Without External Adjustment:

Figure 10 shows the circuit connection for generating a sinusoidal output from the XR-2206. The potentiometer,  $R_1$  at Pin 7, provides the desired frequency tuning. The maximum output swing is greater than  $V^+/2$ , and the typical distortion (THD) is  $<2.5\%$ . If lower sine wave distortion is desired, additional adjustments can be provided as described in the following section.

The circuit of Figure 10 can be converted to split-supply operation, simply by replacing all ground connections with  $V^-$ . For split-supply operation,  $R_2$  can be directly connected to ground.

#### With External Adjustment:

The harmonic content of sinusoidal output can be reduced to  $\approx 0.5\%$  by additional adjustments as shown in Figure 11. The potentiometer,  $R_A$ , adjusts the sine-shaping resistor, and  $R_B$  provides the fine adjustment for the waveform symmetry. The adjustment procedure is as follows:

1. Set  $R_B$  at midpoint, and adjust  $R_A$  for minimum distortion.
2. With  $R_A$  set as above, adjust  $R_B$  to further reduce distortion.

### Triangle Wave Generation

The circuits of Figures 10 and 11 can be converted to triangle wave generation, by simply open-circuiting Pin 13 and 14 (i.e.,  $S_1$  open). Amplitude of the triangle is approximately twice the sine wave output.

### FSK Generation

Figure 12 shows the circuit connection for sinusoidal FSK signal operation. Mark and space frequencies can be independently adjusted, by the choice of timing resistors,  $R_1$  and  $R_2$ ; the output is phase-continuous during transitions. The keying signal is applied to Pin 9. The circuit can be converted to split-supply operation by simply replacing ground with  $V^-$ .

### Pulse and Ramp Generation

Figure 13 shows the circuit for pulse and ramp waveform generation. In this mode of operation, the FSK keying terminal (Pin 9) is shorted to the square-wave output (Pin 11), and the circuit automatically frequency-shift keys itself between two separate frequencies during the positive-going and negative-going output waveforms. The pulse width and duty cycle can be adjusted from 1% to 99%, by the choice of  $R_1$  and  $R_2$ . The values of  $R_1$  and  $R_2$  should be in the range of  $1\text{ k}\Omega$  to  $2\text{ M}\Omega$ .



# XR-2206

## PRINCIPLES OF OPERATION

### Description of Controls

#### Frequency of Operation:

The frequency of oscillation,  $f_o$ , is determined by the external timing capacitor,  $C$ , across Pin 5 and 6, and by the timing resistor,  $R$ , connected to either Pin 7 or 8. The frequency is given as:

$$f_o = \frac{1}{RC} \text{ Hz}$$

and can be adjusted by varying either  $R$  or  $C$ . The recommended values of  $R$ , for a given frequency range, are shown in Figure 4. Temperature stability is optimum for  $4 \text{ k}\Omega < R < 200 \text{ k}\Omega$ . Recommended values of  $C$  are from  $1000 \text{ pF}$  to  $100 \text{ }\mu\text{F}$ .

#### Frequency Sweep and Modulation:

Frequency of oscillation is proportional to the total timing current,  $I_T$ , drawn from Pin 7 or 8:

$$f = \frac{320 I_T (\text{mA})}{C (\mu\text{F})} \text{ Hz}$$

Timing terminals (Pin 7 or 8) are low-impedance points, and are internally biased at  $+3\text{V}$ , with respect to Pin 12. Frequency varies linearly with  $I_T$ , over a wide range of current values, from  $1 \text{ }\mu\text{A}$  to  $3 \text{ mA}$ . The frequency can be controlled by applying a control voltage,  $V_C$ , to the activated timing pin as shown in Figure 9. The frequency of oscillation is related to  $V_C$  as:

$$f = \frac{1}{RC} \left( 1 + \frac{R}{R_C} \left( 1 - \frac{V_C}{3} \right) \right) \text{ Hz}$$

where  $V_C$  is in volts. The voltage-to-frequency conversion gain,  $K$ , is given as:

$$K = \partial f / \partial V_C = - \frac{0.32}{R C} \text{ Hz/V}$$

**CAUTION:** For safe operation of the circuit,  $I_T$  should be limited to  $\leq 3 \text{ mA}$ .

#### Output Amplitude:

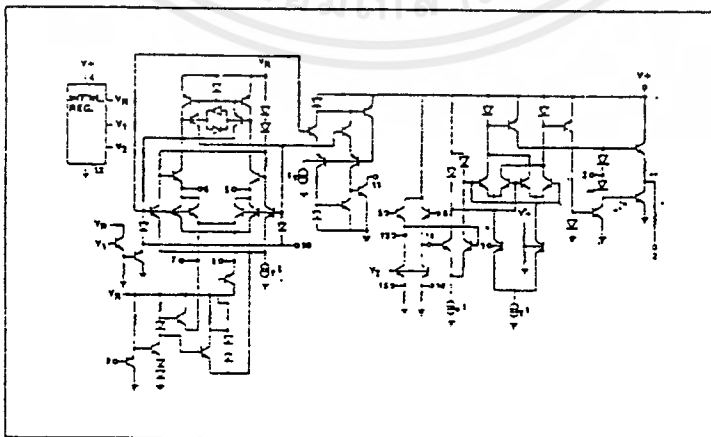
Maximum output amplitude is inversely proportional to the external resistor,  $R_3$ , connected to Pin 3 (see Figure 2). For sine wave output, amplitude is approximately  $60 \text{ mV}$  peak per  $\text{k}\Omega$  of  $R_3$ ; for triangle, the peak amplitude is approximately  $160 \text{ mV}$  peak per  $\text{k}\Omega$  of  $R_3$ . Thus, for example,  $R_3 = 50 \text{ k}\Omega$  would produce approximately  $\pm 3\text{V}$  sinusoidal output amplitude.

#### Amplitude Modulation:

Output amplitude can be modulated by applying a dc bias and a modulating signal to Pin 1. The internal impedance at Pin 1 is approximately  $100 \text{ k}\Omega$ . Output amplitude varies linearly with the applied voltage at Pin 1, for values of dc bias at this pin, within  $\pm 4$  volts of  $V^+/2$  as shown in Figure 5. As this bias level approaches  $V^+/2$ , the phase of the output signal is reversed, and the amplitude goes through zero. This property is suitable for phase-shift keying and suppressed-carrier AM generation. Total dynamic range of amplitude modulation is approximately  $55 \text{ dB}$ .

**CAUTION:** AM control must be used in conjunction with a well-regulated supply, since the output amplitude now becomes a function of  $V^+$ .

EQUIVALENT  
SCHEMATIC  
DIAGRAM



## ประวัติผู้แต่ง



|                                   |                                                                                               |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์             | นายจีราวุธ ตั้งอมรศิริ                                                                        |
| วันเดือนปีเกิด                    | 7 สิงหาคม พ.ศ. 2515                                                                           |
| สถานที่เกิด                       | กรุงเทพฯ                                                                                      |
| ภูมิลำเนา                         | กรุงเทพฯ                                                                                      |
| ที่อยู่ปัจจุบัน                   | 1/6 หมู่ที่ 11 ซอยพาศิขการชนบุรี<br>ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงบางแวก<br>เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10160 |
| โทรศัพท์                          | 02-4104293                                                                                    |
| ประวัติการศึกษา                   |                                                                                               |
| ประถมศึกษา                        | โรงเรียนเทพกาญจนา                                                                             |
| มัธยมศึกษา                        | โรงเรียนปากน้ำวิทยาคม                                                                         |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)        | สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตพระนครเหนือ                                                     |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.) | มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์                                                                      |
| ปริญญาดุษฎี                       | สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม<br>ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม<br>คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม               |
| กิตติคุณ                          | อุปสรรคเป็นหนทางนำพาสู่ความสำเร็จ                                                             |

ประวัติผู้แต่ง



|                                   |                                                                                 |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์             | นายนิพนธ์ จิระภากุล                                                             |
| วันเดือนปีเกิด                    | 24 กรกฎาคม พ.ศ. 2516                                                            |
| สถานที่เกิด                       | กรุงเทพฯ                                                                        |
| ภูมิลำเนา                         | กรุงเทพฯ                                                                        |
| ที่อยู่ปัจจุบัน                   | 15/144 ซอยเสือใหญ่อุทิศ ถนนรัชดาฯ<br>แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900       |
| โทรศัพท์                          | 02-541-7748, 02-541-7160                                                        |
| เพจเจอร์                          | 1500-201311                                                                     |
| ประวัติการศึกษา                   |                                                                                 |
| ประถมศึกษา                        | โรงเรียนวิริยาลัย                                                               |
| มัธยมศึกษาตอนต้น                  | โรงเรียนวิริยาลัย                                                               |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)        | โรงเรียนเทคนิควิทยา<br>สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์                               |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.) | โรงเรียนเทคนิควิทยา<br>สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์                               |
| ปริญญาตรี                         | สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม<br>ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม<br>คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม |
| คติพจน์                           | จงทำวันนี้ให้ดีที่สุด แล้ววันข้างหน้าจะดีเอง                                    |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



|                                   |                                                                                 |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์             | นายสมควร ฤทธิเจริญ                                                              |
| วันเดือนปีเกิด                    | 11 ตุลาคม พ.ศ. 2517                                                             |
| สถานที่เกิด                       | จังหวัดฉะเชิงเทรา                                                               |
| ภูมิลำเนา                         | จังหวัดฉะเชิงเทรา                                                               |
| ที่อยู่ปัจจุบัน                   | 22/4 หมู่ที่2 ตำบลเสม็ดใต้ อำเภอบางคล้า<br>จังหวัดฉะเชิงเทรา 24110              |
| เพจเจอร์                          | 1500-833-812                                                                    |
| ประวัติการศึกษา                   |                                                                                 |
| ประถมศึกษา                        | โรงเรียนบ้านหนองโสน                                                             |
| มัธยมศึกษาตอนต้น                  | โรงเรียนบางคล้าพิทยาคม                                                          |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)        | วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา<br>สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์                          |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.) | วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา<br>สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์                          |
| ปริญญาดรี                         | สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม<br>ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม<br>คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม |
| คติพจน์                           | ลงมือทุกอย่างถ้ามีโอกาส (ต้องเป็นสิ่งที่ดี)                                     |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



|                                   |                                                                                 |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์             | นายสุพจน์ พิสุทธิทรัพย์                                                         |
| วันเดือนปีเกิด                    | 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2517                                                         |
| สถานที่เกิด                       | จังหวัดฉะเชิงเทรา                                                               |
| ภูมิลำเนา                         | จังหวัดฉะเชิงเทรา                                                               |
| ที่อยู่ปัจจุบัน                   | 49 หมู่ที่3 ตำบลปากน้ำ อำเภอบางคล้า<br>จังหวัดฉะเชิงเทรา 24110                  |
| โทรศัพท์                          | 038-825-572                                                                     |
| เพจเจอร์                          | 1188-641-7911                                                                   |
| ประวัติการศึกษา                   | โรงเรียนดาราจรัส                                                                |
| ประถมศึกษา                        | โรงเรียนบางคล้าพิทยาคม                                                          |
| มัธยมศึกษาตอนต้น                  | วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา                                                        |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)        | สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์                                                      |
| ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.) | วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา<br>สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์                          |
| ปริญญาตรี                         | สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม<br>ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม<br>คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม |
| กิตติมศักดิ์                      | ไม่มีงานเลี้ยงใดที่ไม่เลิกลา                                                    |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. ทวีศักดิ์ ไพศาลภาณุมาส. "การป้องกันความผิดพลาดจากสัญญาณแอนะล็อกของอินพุต วงจรA/D", เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 140, (มิถุนายน 2537), หน้า 141-146
2. เปรมจิต วิสุทธิศิริ. "LCD สถาปัตยกรรมของจอแสดงผล", เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 98, (กุมภาพันธ์-มีนาคม 2533), หน้า 272-281
3. . . . . "พื้นฐานวงจรเอชดี ดีทูเอ ตอน 2 วงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัล", เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 103, (ธันวาคม 2533), หน้า 302-3094
4. วิสันต์ อาชาเดโชพล. "สายอากาศและเทคนิคการติดตั้ง", กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ฟิสิกส์ เซ็นเตอร์, 2535
5. เสกสิทธิ์ คำชมภู. "หลากหลายกับชุดแสดงผลแบบ LCD", เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 141, (สิงหาคม 2537), หน้า 116-120
6. Harris Semiconductor. "Data Acquisiton", 1994, USA, (1994), pp