



**ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม**  
**คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**  
**ใบรับรองปริญญาโท**

**ชื่อหัวข้อ** เครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กแบบตัวเลข  
**Digital Flux Density Meter**

**ชื่อนักศึกษา**

1. นายศักดิ์วิจิต	มันคง	รหัสประจำตัว	42035240
2. นายสกุลทอง	บุญมา	รหัสประจำตัว	42035242
3. นายอุดม	ใจลา	รหัสประจำตัว	42035247

**หลักสูตร** ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม

**อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ

คณะกรรมการสอบปริญญาโท	ลายมือชื่อ
1. ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม	
2. อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ	
3. อาจารย์โกศล ตราฐู	
4. อาจารย์พงษ์เกียรติ เชนฐพิทักษ์สกุล	
5. อาจารย์ปิยะ สุภวาราสวัสดิ์	

**วัน/เดือน/ปีที่สอบ** วันพุธที่ 18 เมษายน พ.ศ. 2544 เวลา 10.00 น.

**สถานที่สอบ** ห้อง ค.311 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว  
 ลงนาม.....   
 (ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
 วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....



# ปริญญานิพนธ์

เครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กแบบตัวเลข

DIGITAL FLUX DENSITY METER



นายศักดิ์วิจิตร มั่นคง  
นายสกุลทอง บุญมา  
นายอุดม ไจลา

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต

รฟ.

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ศ 326 ค

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

2543

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

40181

b. 1109 2452

17 ส.ค. 2544

i.

# ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กแบบตัวเลข  
Digital Flux Density Meter

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก
2. เพื่อออกแบบเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กแบบตัวเลข
3. เพื่อสร้างเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กแบบตัวเลข
4. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กแบบตัวเลข
5. เพื่อนำเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กแบบตัวเลขไปใช้งานได้

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ในเรื่องสนามแม่เหล็ก และฟลักซ์ไฟฟ้า
2. มีความรู้ในการทำงานของเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กเป็นตัวเลข
3. มีความรู้ในหลักการปรากฏการณ์ฮอลล์เอฟเฟค
4. มีความรู้ในการทำงานของไอซีตัวเดียวที่ใช้ควบคุมส่วนแสดงผล
5. สามารถออกแบบและสร้างเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กเป็นตัวเลข
6. สามารถนำเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กเป็นตัวเลขที่สร้างขึ้นมาใช้งานได้จริง

I

ชื่อหัวข้อ	เครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กแบบตัวเลข
นักศึกษา	นายศกดิ์วิชิต มั่นคง นายสกุลทอง บุญมา นายอุดม ใจลา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
ปีการศึกษา	2543

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เสนอเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กแบบตัวเลขโดยใช้แผงแสดงผลแบบผลึกเหลว 3.5 หลักเป็นตัวแสดงผล การทำงานของเครื่องแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของวงจรภาคการวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งใช้หลักการของปรากฏการณ์ฮอลล์โดยใช้ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก เบอร์ KMZ10B และส่วนของวงจรภาคแสดงผลใช้ไอซีตัวเดียว ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล และควบคุมการแสดงผลของแอลซีดี เครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กแบบตัวเลขนี้สามารถวัดได้ตั้งแต่ 0 ถึง 20 กิโลเกาส์ และวัดกับสนามแม่เหล็กที่มีความถี่สูงสุดได้ 500 เฮิรตซ์ โดยมีความผิดพลาดในการวัดประมาณ  $\pm 5$  เปอร์เซ็นต์

## II

<b>Thesis Title</b>	Digital Flux Density Meter	
<b>Students</b>	Mr.Sakwichit	Mankong
	Mr.Sakulthong	Boonma
	Mr.Udom	Jaila
<b>Advisor</b>	Assist. Prof.Wisuit	Atipornnum
<b>Co-Advisor</b>	Mr.Amornchai	Chaichana
<b>Education Level</b>	Bachelor of Science in Industrial Education.	
<b>Program in</b>	Telecommunication Engineering	
<b>Academic Year</b>	2000	

### ABSTRACT

This thesis Presents the product of Digital Flux Density Meter display on Liquid Crystal Display (LCD) 3.5 digits. The operation is divided into two sections. The first section is flux density measurement section, it use hall effect principle to measure flux density. The magnetic field sensor KMZ10B is used for detecting the flux density. The second section is display section. It uses to convert analog signal to digital signal and control LCD display. The digital flux density meter can measure flux density from 0 gauss to 20 kilogauss. Moreover, it can measure frequency of magnetic field at 500 herzt maximum. However, it product error  $\pm 5$  percent approxately.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ โดยอาศัยความอนุเคราะห์จาก ผศ.วิสุทธิ อธิพรธรรม อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ และคณาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์ศึกษาระดับปริญญาโททุกท่าน ซึ่งได้ช่วยเหลือคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทั้งคำแนะนำปรึกษาปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ บริษัทฟิลลิปส์ ประเทศไทย จำกัด และบริษัทโยโกกาวา ประเทศไทย จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กและข้อมูลในการทำโครงการตลอดจนรายละเอียดเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทำโครงการ

ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้ปริญญาานิพนธ์สำเร็จลงได้

สุดท้ายขอกราบของพระคุณคุณพ่อ และคุณแม่ผู้บังเกิดเกล้าผู้เป็นแรงกำลังอันยิ่งใหญ่ทั้งกำลังใจ และกำลังทรัพย์ตลอดมา

อนึ่งประโยชน์และคุณความดีใดๆที่เกิดจากปริญญาานิพนธ์นี้ขอมอบให้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ผู้ให้กำเนิด ครูบาอาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชามาตั้งแต่ต้น และผู้ที่มีความช่วยเหลือ ตลอดจนผู้ที่ทำให้กำลังใจเสมอมาจนปริญญาานิพนธ์สำเร็จไปได้ด้วยดี

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ชี้ความสามารถของโครงการ	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	4
2.1 กล่าวนำ	4
2.2 ทฤษฎีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก	4
2.2.1 สนามไฟฟ้า	4
2.2.2 สนามแม่เหล็ก	7
2.3 สมการของแมกเวลล์	8
2.4 ปรากฏการณ์ฮอลล์เอฟเฟกต์	12
2.4.1 ฮอลล์เอฟเฟกต์	14
2.4.2 ชนิดของฮอลล์	15
2.5 แผลงแสดงผลแบบผลึกเหลว	18
2.5.1 ข้อดีของแผลงแสดงผลแบบ แอลซีดี	18
2.5.2 โครงสร้างของ แอลซีดี	18
2.5.3 แอลซีดี แบบนิวมेटิกชนิดเกลียว	20
2.5.4 การแสดงผลแบบต่างๆ ของ แอลซีดี	21
2.5.5 คุณสมบัติทางแสง	21
2.5.6 มุมมอง	22
2.5.7 ความเร็วของการแสดง	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.5.8 การขับแอลซีดี	23
2.5.9 ประเภทของการขับแอลซีดี	24
2.5.10 เทคนิคการต่อใช้งานแอลซีดี	25
2.5.11 หลักในการพิจารณาเลือกใช้ แอลซีดี	27
2.6 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล	28
2.6.1 วงจรเปรียบเทียบแบบขนานหรือแบบแลตซ์	28
2.6.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่ใช้ในการอินทิเกรต	30
2.6.3 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่ใช้วงจรนับ และวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกประกอบกัน	34
2.6.4 การสุ่มและการคงค่า	37
2.6.5 การป้องกันการผิดพลาดจากสัญญาณแอนะล็อกของสัญญาณอินพุต วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล	37
2.7 วงจรขยายสัญญาณ	45
2.8 วงจรจ่ายกระแสคงที่	49
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	52
3.1 กล่าวนำ	52
3.2 หลักการทำงานของเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก	52
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้	53
3.3.1 ส่วนของการตรวจจับสนามแม่เหล็ก	53
3.3.2 การออกแบบวงจรขยาย	54
3.3.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	56
3.3.4 ไอซีควบคุมการทำงานของส่วนแสดงผล	57
3.3.5 การเลือกค่าอุปกรณ์สำหรับ ICL7106	59
3.3.6 รายละเอียดการออกแบบใช้งาน ICL7106	60
3.3.7 ตัวแสดงผลแบบผลึกเหลว	61
3.3.8 การออกแบบวงจร	62

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.4 การออกแบบย่านการวัด	65
3.5 การสร้างและการปรับแต่ง	66
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง	67
4.1 กล่าวนำ	67
4.2 วิธีการใช้ และบำรุงรักษาเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก	67
4.3 การทดลองวัดแท่งแม่เหล็กที่ทราบค่าแน่นอน	67
4.4 การทดลองวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กกับแท่งแม่เหล็กมาตรฐาน ที่ย่านการวัดต่างๆ	69
4.4.1 การวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กกับแท่งแม่เหล็ก โดยใช้ เครื่องที่สร้างขึ้น	69
4.4.2 การวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กลักษณะต่างๆ เทียบกับ เครื่องมาตรฐาน	70
4.4.3 การวัดขั้วของแม่เหล็กลักษณะต่างๆ เทียบกับเครื่องมาตรฐาน	71
4.4.4 การวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กจากแท่งแม่เหล็กมาตรฐาน 1 kG โดยใช้ฮอสซิล โลส โคป	72
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และพัฒนา	75
5.1 บทสรุป	75
5.2 ปัญหา และแนวทางแก้ไข	75
5.3 แนวทางการพัฒนา	76
ภาคผนวก ก รูปเครื่องต้นแบบของเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก	77
ภาคผนวก ข วงจร และแผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก	83
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	89
ภาคผนวก ง รายงานข้อมูล และคุณสมบัติของอุปกรณ์	93
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งานเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก	121
บรรณานุกรม	125
ประวัติผู้แต่ง	126

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนมัลติเพล็กซ์กับจำนวนจุดต่อ	25
ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตที่เป็นแอนะล็อก กับเอาต์พุตที่เป็นดิจิทัล	29
ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างย่านการวัดค่าความต้านทาน และค่าแรงดัน	65
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวัดสนามแม่เหล็กจากแท่งแม่เหล็กมาตรฐาน	69
ตารางที่ 4.2 ผลการวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กในย่านวัดต่างๆ	70
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองวัดแท่งแม่เหล็กที่ขนาดต่างๆ เทียบกับเครื่องมาตรฐาน	71
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการแสดงขั้วของแท่งแม่เหล็กในรูปลักษณะต่างๆ เทียบกับเครื่องมาตรฐาน	72
ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรส่วนภาคแสงผลแบบตัวเลข	90
ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรส่วนแสดงขั้วแม่เหล็ก	91
ตารางที่ ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรส่วนภาคขยายสัญญาณ	91
ตารางที่ ค.4 รายการอุปกรณ์ของวงจรภาคจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	92

## สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 เส้นแรงของสนามไฟฟ้ารอบประจุไฟฟ้าบวกที่มีขนาดเล็ก	6
รูปที่ 2.2 (ก) พลักซ์ไฟฟ้าผ่านพื้นที่ A ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า E จะมีขนาด EA (ข) หาก A เอียงทำมุม $\theta$ กับแนวตั้งฉากกับ E พื้นที่ ยังผล $A' = A \cos \theta$ ดังนั้น พลักซ์ไฟฟ้าจะเป็น $\Psi = EA \cos \theta$	6
รูปที่ 2.3 แรงแม่เหล็ก $F_m$ ที่กระทำกับอนุภาคที่มีขนาดประจุไฟฟ้า Q เคลื่อนที่ด้วยความเร็วตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก B จะมีขนาด $F_m = QvB$ และทิศทางตั้งฉากกับ V และ B	8
รูปที่ 2.4 พลักซ์จาก 2 ประจุไฟฟ้าต่างชนิดกัน พลักซ์สุทธิที่ไหลผ่านผิว a เป็น 0 ผ่านพื้นผิว b เป็นบวก $(+Q/\epsilon_0)$ และผ่านพื้นผิว c เป็นลบ $(-Q/\epsilon_0)$	9
รูปที่ 2.5 (ก) พลักซ์สุทธิจากแท่งแม่เหล็กที่อยู่ในผิวปิดเป็นศูนย์ (ข) พลักซ์สุทธิจากแท่งแม่เหล็กที่อยู่ในผิวปิดเพียงหัวเดียวจะเป็นศูนย์	10
รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กกับเวลาเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะเกิดขึ้นรอบพลักซ์แม่เหล็กนั้น	12
รูปที่ 2.7 (ก) ปรากฏการณ์ฮอลล์ออฟเฟลในสารกึ่งตัวนำ (ข) ปรากฏการณ์มูมฮอลล์	12
รูปที่ 2.8 หลักการของฮอลล์เงินเนอเรเตอร์	14
รูปที่ 2.9 การวัดสนามแม่เหล็กด้วยฮอลล์เงินเนอเรเตอร์	15
รูปที่ 2.10 ผังการทำงานและกราฟแสดงผลตอบสนองของฮอลล์ชนิดสวิตช์	16
รูปที่ 2.11 การตอบสนองแรงดันเอาต์พุตกับสนามแม่เหล็กของฮอลล์ชนิดแลตซ์	16
รูปที่ 2.12 ผังงานและกราฟแสดงผลตอบสนองของฮอลล์ชนิดเชิงเส้นเบอร์ TL3103	17
รูปที่ 2.13 โครงสร้างของ แอลซีดี	19
รูปที่ 2.14 (ก) โครงสร้างของนีเมติก (ข) โครงสร้างโครเรสเทอริก (ค) โครงสร้างแบบสมคติก	19
รูปที่ 2.15 การแสดงผลเชิงบวก	20
รูปที่ 2.16 การแสดงผลของ แอลซีดี แบบต่างๆ	21

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงกับแรงดัน	22
รูปที่ 2.18 วงจรสมมูลของ แอลซีดี	23
รูปที่ 2.19 การสลับเฟสของการขับโดยตรงโดยมี EXCLUSIVE OR GATE ควบคุมแรงดันส่งไปให้ส่วนต่างๆ	24
รูปที่ 2.20 ตัวเลขหนึ่งตัวพร้อมทั้งจุดทศนิยม (8 ส่วน) โดยใช้มัลติเพล็กซ์ 1:3	25
รูปที่ 2.21 การต่อแบบธรรมดา	26
รูปที่ 2.22 การต่อแบบแท่งตัวนำ	26
รูปที่ 2.23 การต่อแบบฟอลล์	27
รูปที่ 2.24 การต่อวงจร parallel comparator A/ D converter	29
รูปที่ 2.25 ผังการทำงานของวงจรเปลี่ยนสัญญาณแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็น ดิจิทัลแบบสโโลปเดี่ยว	30
รูปที่ 2.26 ความชันของสัญญาณแรมป์	31
รูปที่ 2.27 ผังการทำงานของวงจรเปลี่ยนสัญญาณแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็น ดิจิทัลแบบสโโลปคู่	32
รูปที่ 2.28 เาต์พุตของวงจรอินทิเกรเตอร์เทียบกับเวลา	32
รูปที่ 2.29 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบเดลต้า-ซิกมา	33
รูปที่ 2.30 แปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบวงจรนับเดียวที่สร้างโดยวงจรรนับ ขึ้น และวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก	34
รูปที่ 2.31 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่สร้างขึ้นจากวงจรรนับขึ้น/ลง และวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก	35
รูปที่ 2.32 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบ Successive Approximation	36
รูปที่ 2.33 ความผิดพลาดที่เกิดจากสัญญาณแอนะล็อกของอินพุตเปลี่ยนแปลง	37
รูปที่ 2.34 ผังการทำงานการจัดส่วนการป้องกันทางอินพุต	39
รูปที่ 2.35 รูปสัญญาณที่เกิดจากการเคลมปลิงแรงดันอินพุตในอุดมคติ	39
รูปที่ 2.36 วงจรป้องกันอย่างง่าย โดยการใช้ซีเนอร์ไดโอดเคลมปลิงแรงดัน	39
รูปที่ 2.37 การต่อทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ตามแทนซีเนอร์ไดโอด	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.38 การต่อตัวความต้านทานแบ่งแรงดันอ้างอิงให้กับทรานซิสเตอร์	41
รูปที่ 2.39 (ก) การใช้ซีเนอร์ไดโอดรักษาระดับแรงดันอ้างอิง (ข) การต่อตัวความต้านทานปรับค่าได้เพื่อปรับความละเอียดของแรงดันอ้างอิง	41
รูปที่ 2.40 การต่อซีเนอร์ไดโอดอนุกรมกับขามิตเตอร์เพื่อเพิ่มช่วงแรงดัน การป้องกัน	42
รูปที่ 2.41 การใช้ไดโอด D2 ป้องกันการไหลย้อนกลับที่รอยต่อ เบส- อิมิตเตอร์ เมื่อทรานซิสเตอร์ทำงาน	43
รูปที่ 2.42 การเพิ่มทรานซิสเตอร์เพื่อป้องกันแรงดันอินพุตเป็นลบ	43
รูปที่ 2.43 การแบ่งแรงดันอ้างอิงให้กับตัวทรานซิสเตอร์ด้วยตัวต้าน $R_1 - R_2$	44
รูปที่ 2.44 การจัดวงจรป้องกันโดยจำกัดค่าแรงดันอินพุตไม่เกิน $\pm 10$ โวลต์	44
รูปที่ 2.45 วงจรขยายแบบอิมิตเตอร์ร่วมพร้อมกับแหล่งจ่ายแรงดันเดี่ยว	45
รูปที่ 2.46 ผังการทำงานของวงจรขยายแบบอิมิตเตอร์ร่วมพร้อมกับแหล่งจ่าย แรงดันอันเดียว	45
รูปที่ 2.47 วงจรขยายแบบคอมมอนอิมิตเตอร์ พร้อมกับการป้อนกลับที่คอลเลกเตอร์	47
รูปที่ 2.48 วงจรขยายแบบคอมมอนอิมิตเตอร์ พร้อมกับการป้อนกลับที่อิมิตเตอร์	47
รูปที่ 2.49 การป้อนกลับที่อิมิตเตอร์พร้อมกับตัวเก็บประจุ $C_E$	48
รูปที่ 2.50 วงจรขยายแบบคอมมอนอิมิตเตอร์ พร้อมกับการป้อนกลับแบบแบ่งแรงดัน	48
รูปที่ 2.51 (ก) วงจรจ่ายกระแสคงที่ (ข) วงจรจ่ายกระแสที่มีกราวด์เป็นจุดอ้างอิง	50
รูปที่ 2.52 (ก) สัญลักษณ์ของวงจรกำเนิดกระแสคงที่ในวงจร (ข) การชดเชยอุณหภูมิด้วยแอลอีดี	51
รูปที่ 3.1 ผังการทำงานของวงจรส่วนวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก	52
รูปที่ 3.2 ผังการทำงานของส่วนแสดงผล	53
รูปที่ 3.3 โครงสร้างของตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก	54
รูปที่ 3.4 วงจรเบื้องต้นของ Instrument Amplifier	55
รูปที่ 3.5 การเพิ่มอัตราขยายใน Instrument Amplifier	56
รูปที่ 3.6 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	57

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 3.7 ส่วนวงจรถ่ายแอมป์ของ ICL7106	57
รูปที่ 3.8 การต่อ Exclusive- OR Gate เพื่อขับส่วนที่เป็น Decimal point	59
รูปที่ 3.9 แอลซีดี ขนาด 3.5 หลักแบบธรรมดา	61
รูปที่ 3.10 วงจรส่วนแสดงค่าความเข้มแสงแม่เหล็ก	63
รูปที่ 3.11 วงจรส่วนแสดงขั้วแม่เหล็ก	64
รูปที่ 3.12 วงจรส่วนขยับการวัดความเข้มแสงแม่เหล็ก	65
รูปที่ 4.1 การวัดแท่งแม่เหล็กมาตรฐาน โดยใช้เครื่องวัดความเข้มแสงแม่เหล็ก	68
รูปที่ 4.2 ตำแหน่งการวัดจุดต่างๆ ของแท่งแม่เหล็ก	68
รูปที่ 4.3 การต่อออสซิลโลสโคป	73
รูปที่ 4.4 สัญญาณที่ได้จากการวัดความเข้มแสงแม่เหล็ก 1 kG โดยใช้ย่านการวัด 20 kG	74
รูปที่ 4.5 สัญญาณที่ได้จากการวัดความเข้มแสงแม่เหล็ก 1 kG โดยใช้ย่านการวัด 2 kG	74
รูปที่ ก.1 วงจรควบคุมการแสดงผล	78
รูปที่ ก.2 วงจรภาคขยายสัญญาณและแสดงขั้วแม่เหล็ก	78
รูปที่ ก.3 วงจรภาคจ่ายไฟตรง +9 โวลต์	79
รูปที่ ก.4 วงจรภาคจ่ายไฟตรง $\pm 5$ โวลต์	79
รูปที่ ก.5 วงจรจอแสดงผล แอลซีดี	80
รูปที่ ก.6 การจัดอุปกรณ์ภายในเครื่องวัดความเข้มแสงแม่เหล็ก	80
รูปที่ ก.7 เครื่องวัดความเข้มแสงแม่เหล็กด้านหน้า	81
รูปที่ ก.8 เครื่องวัดความเข้มแสงแม่เหล็กด้านข้าง	81
รูปที่ ก.9 เครื่องวัดความเข้มแสงแม่เหล็กด้านหลัง	82
รูปที่ ก.10 สายวัดของเครื่องวัดความเข้มแสงแม่เหล็ก	82
รูปที่ ข.1 วงจรส่วนแสดงผลแบบดิจิทัล	84
รูปที่ ข.2 วงจรส่วนภาคขยายสัญญาณ	85
รูปที่ ข.3 วงจรส่วนแสดงขั้วแม่เหล็ก	85
รูปที่ ข.4 วงจรส่วนแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	86

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ ข.5 วงจรส่วนย่านการวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก	86
รูปที่ ข.6 วงจรพิมพ์ของส่วนควบคุมการแสดงผล	87
รูปที่ ข.7 วงจรพิมพ์ของส่วนภาคขยายสัญญาณ และแสดงขั้วแม่เหล็ก	87
รูปที่ ข.8 วงจรพิมพ์ของส่วนแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง +9 โวลต์	88
รูปที่ ข.9 วงจรพิมพ์ของส่วนแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง $\pm 5$ โวลต์	88
รูปที่ ค.10 วงจรพิมพ์ของส่วนจอแสดงผล แอลซีดี	88
รูปที่ จ.1 ปุ่มปรับฟังก์ชันการทำงานของเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก	122

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปริญญานิพนธ์

เนื่องจากในโลกปัจจุบันเป็นยุคของการติดต่อสื่อสาร หรือที่เข้าใจกันคืออยู่แล้วว่าเป็นโลกแห่งเทคโนโลยี เทคโนโลยีด้านการสื่อสารนี้ได้มีการพัฒนา และเจริญเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยการสื่อสารประเภทใดก็จะมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กจะมีผลอย่างมากในการติดต่อสื่อสารในโลกปัจจุบัน และส่วนด้านเครื่องมือวัดต่างๆ ได้มีการพัฒนาให้ทันกับยุคสมัย เพื่อความสะดวก และคล่องตัวในการใช้งาน จากความจำเป็นนี้ทำให้เป็นแนวคิดสร้างเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งจัดได้ว่าเป็นเครื่องมือสำคัญอย่างหนึ่งกับงานที่เกี่ยวกับการสื่อสารคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะบอกให้ทราบถึงความแรงของสัญญาณที่รับได้และส่งออกไป และยังบอกให้ทราบถึงระดับที่เป็นอันตรายต่อคนและสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ด้วย เครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กที่มีใช้ในประเศในปัจจุบันจะเป็นแบบแอนะล็อกหรือที่อ่านข้อมูลจากหน้าปัทม์เข็ม ซึ่งไม่ค่อยละเอียด และเที่ยงตรงมากเท่าใดนัก ดังนั้น จึงได้นำเทคโนโลยีการแสดงผลแบบดิจิทัลมาใช้แทน และเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กที่มีขาย ต้องนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งราคาแพง จึงเป็นการประหยัดเงินไม่เสียดุลต่างชาติ และราคาถูกกว่าด้วย

### 1.2 ขีดความสามารถของโครงการ

- 1) สามารถวัดค่าความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กแบบตัวเลข โดยวัดได้ตั้งแต่ย่าน 0–20 กิโลเกาส์ และมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 5 %
- 2) สามารถแสดงขั้วของเส้นแรงแม่เหล็ก โดยใช้ แอลซีดี แสดงสถานะ
- 3) สามารถวัดค่าความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กแบบตัวเลขได้ค่าใกล้เคียงกับ เครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กในปัจจุบัน
- 4) สามารถใช้ออสซิลโลสโคปวัดค่าความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กได้

### 1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

ในปฏิญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาในส่วนต่างๆ ดังนี้  
 บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ กล่าวถึงองค์ประกอบที่สำคัญของปฏิญญานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนย่อย ๆ 8 เรื่อง คือ

- 1) ทฤษฎีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ในหัวข้อนี้จะนำเสนอหลักการพื้นฐานที่ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก รวมถึงสมการต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ
- 2) สมการของแมกซ์เวลล์ ในหัวข้อนี้จะนำเสนอเนื้อหาเกี่ยวกับกฎของเกาส์
- 3) ปรัชญาการณฮอลล์เอฟเฟคในหัวข้อส่วนนี้จะนำเสนอเนื้อหาพื้นฐานของการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์เอฟเฟคเพื่อทราบถึงหลักการวัดของเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก
- 4) ฮอลล์เจเนอเรเตอร์ ในหัวข้อนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับการกำเนิดปรากฏการณ์ฮอลล์ และชนิดของฮอลล์เจเนอเรเตอร์ที่มีใช้ในปัจจุบัน
- 5) แผลงแสดงผลและผลึกเหลวในหัวข้อนี้จะนำเสนอหลักการทำงานของแอลซีดี แบบต่างๆที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน รวมถึงการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน และเทคนิคการต่อใช้งาน
- 6) วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบต่าง ๆ และข้อดีของเสียของแต่ละชนิด
- 7) วงจรขยายสัญญาณ ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการทำงานของวงจรขยายสัญญาณแบบต่างๆ และการออกแบบวงจรขยายสัญญาณ
- 8) วงจรจ่ายกระแสคงที่ ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการทำงานของวงจรจ่ายกระแสคงที่ และการออกแบบวงจร

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง กล่าวถึงการออกแบบ และการสร้างวงจร แบ่งออกเป็นหลักการทำงานของเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กแบบตัวเลข อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบและการสร้างวงจร การออกแบบวงจรส่วนแสดงผล การออกแบบย่านการวัด และการออกแบบวงจรขยายสัญญาณ

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง มีเนื้อหาเกี่ยวกับการตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานของภาคต่างๆ และการทดสอบเครื่องที่สมบูรณ์แล้ว

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหาและแนวทางแก้ไข และพัฒนา โดยกล่าวถึงสมรรถภาพการทำงาน ความผิดพลาด และจุดบกพร่องที่พบในการสร้าง รวมถึงที่มาและแนวทางแก้ไข

ภาคผนวก ก รูปเครื่องต้นแบบของเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก

ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก

ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์

ภาคผนวก ง รายการข้อมูล และคุณสมบัติของอุปกรณ์  
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งานเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก  
บรรณานุกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายเกี่ยวกับ หลักการ และทฤษฎีต่างๆ พร้อมทั้งสมการที่เกี่ยวข้องกับสนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก ฟลักซ์แม่เหล็ก และการเกิดปรากฏการณ์ฮอลล์เอฟเฟกต์ พร้อมด้วยรายละเอียดของวงจรต่างๆ วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล วงจรลดทอน วงจรขยาย วงจรจ่ายกระแสคงที่ วงจรป้องกันอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล และรายละเอียดของจอแสดงผลแบบผลึกเหลว

#### 2.2 ทฤษฎีสถานไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

ในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับฟลักซ์แม่เหล็กนั้น จำเป็นที่ต้องศึกษาเกี่ยวกับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กก่อน เนื่องจากฟลักซ์แม่เหล็กมีความสัมพันธ์กับสนามทั้งสองอย่างมาก

##### 2.2.1 สนามไฟฟ้า

จากกฎของคูลอมบ์ (Coulomb's Law) กล่าวว่าประจุไฟฟ้าเหมือนกันจะผลักรัน และประจุไฟฟ้าที่ต่างกันจะดึงดูดกัน โดยที่เรียกประจุสองตัวกระทำต่อกันว่า แรงไฟฟ้าสถิตย์ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2} \quad (2.1)$$

ความสัมพันธ์พื้นฐานของแรงกระทำระหว่างประจุจากสมการขั้นต้นสามารถพิจารณาได้จากแนวความคิดของสนามไฟฟ้าได้ โดยแยกออกเป็นสองส่วน คือ การเกิดสนามไฟฟ้าจากประจุหนึ่งเดียว กับอีกส่วนหนึ่งเป็นการตอบสนองต่อสนามไฟฟ้าของประจุก่อตัวหนึ่ง

ในส่วนแรกนั้น ประจุไฟฟ้าอนุภาค  $Q_1$  จะกระทำให้เกิดอิทธิพลเชิงไฟฟ้า หรือสนามไฟฟ้า  $E_1$  ในบริเวณรอบประจุนั้น ไม่ว่าจะจะมีอีกประจุไฟฟ้าหนึ่งปรากฏอยู่หรือไม่ก็ตาม

$$E_1 = \frac{kQ_1}{r^2} \quad (2.2)$$

แต่อีกส่วนหนึ่งนั้น ประจุไฟฟ้าตัวหนึ่ง  $Q_2$  เมื่ออยู่ในอิทธิพลของสนามดังกล่าวแล้วแสดง การตอบสนองต่ออิทธิพลของสนามนั้น ซึ่งปรากฏเป็นแรงมีขนาดและทิศทาง

$$F_2 = Q_2 E_1 \quad (2.3)$$

ถ้าหากแทนสมการที่ (2.3) ลงในสมการที่ (2.2) จะได้สมการกฎของคูลอมบ์ดังเช่นสมการ ที่ (2.1) สมการที่ (2.3) นั้นเป็นการอธิบายอิทธิพลของสนามไฟฟ้าต่อประจุไฟฟ้า ที่เข้าไปอยู่ใน สนามนั้น และต่อมาได้กลายเป็นนิยามของสนามไฟฟ้าตามสมการที่ (2.4) เมื่อ  $Q$  เป็นขนาดของ ประจุไฟฟ้าทดสอบที่วางอยู่ในสนามไฟฟ้า  $E$  ก็จะถูกแรงกระทำดังนี้

$$F = QE \quad (2.4)$$

หน่วยของสนามไฟฟ้า  $E$  มีหน่วยเป็นแรงต่อประจุไฟฟ้า หรือนิวตันต่อคูลอมบ์ (N/C) หรือ บางครั้งอาจอยู่ในรูปของความต่างศักย์ไฟฟ้าต่อระยะทาง หรือ โวลต์ต่อเมตร (V/m)

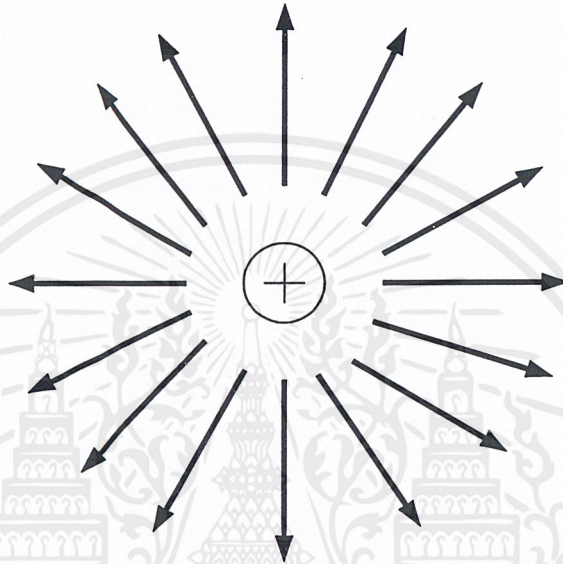
จากสมการที่ (2.4) พบว่าแรงของสนามไฟฟ้าจะเป็นปฏิภาค โดยตรงกับประจุ แต่เป็นอิสระ กับความเร็วประจุ และทิศทางของสนามไฟฟ้า ณ จุดที่พิจารณาจะมีทิศทางขนานกับแรงที่กระทำ ต่อประจุไฟฟ้าบวก ซึ่งนำไปวางทดสอบที่ตำแหน่งนั้น อีกทั้งสนามไฟฟ้าจากหลายประจุไฟฟ้า ณ ตำแหน่งนั้นจะเป็นผลรวมของเวกเตอร์ของแต่ละสนามไฟฟ้าจากประจุไฟฟ้าต่างๆ ที่กระทำที่จุด นั้น

จากแนวคิดเรื่องสนามไฟฟ้าสามารถนำไปสู่แนวคิดเรื่องความหนาแน่นของเส้นแรงสนาม ไฟฟ้าว่าเป็นสัดส่วนกัน บริเวณที่มีเส้นแรงไฟฟ้ามากที่นั่นจะมีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงตาม ไปด้วย ทั้งนี้ เส้นแรงไฟฟ้าจะแผ่ออกรอบประจุที่ทำให้เกิดสนามในทุกทิศทางดังรูปที่ 2.1 และ ขนาดของสนาม  $E$  เป็นสัดส่วนกับ  $1/R^2$  ดังสมการที่ (2.2) แนวทิศทางของเส้นแรงเป็นทิศทางกับ แรงจากสนามไฟฟ้าที่กระทำกับประจุในสนาม หาประจุนั้นเป็นบวก

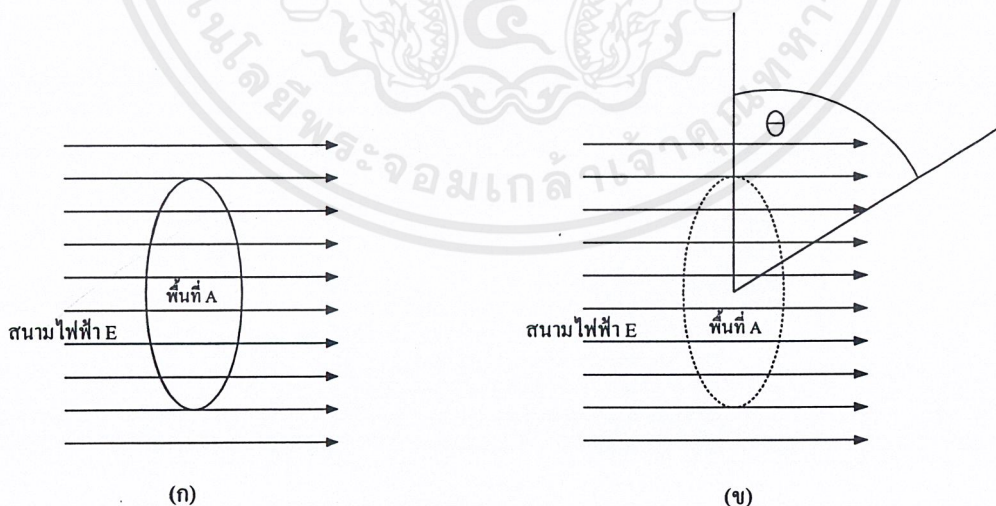
เมื่อเปรียบเทียบกับของไหล ปริมาณคงที่ที่ไหลผ่านพื้นที่ซึ่งมีขนาดและรูปร่างต่างๆ กัน เช่น กระแสน้ำไหลจากจุดเริ่มต้นผ่านท่อขนาดต่างๆ กันไปสู่จุดสุดท้าย โดยที่ปริมาณของน้ำทั้ง หมดที่ไหลผ่านพื้นที่ต่างๆ ย่อมเท่ากัน แต่ปริมาณของน้ำที่ไหลต่อหน่วยพื้นที่ย่อมแตกต่างกัน เป็นคั่น ในทำนองเดียวกัน เส้นแรงสนามไฟฟ้าที่เริ่มต้นจากประจุบวกผ่านบริเวณต่างๆ ไปสู่ประจุ ลบ ซึ่งอาจถือได้ว่าจำนวนเส้นแรงไฟฟ้าทั้งหมดเทียบได้กับปริมาณกระแสน้ำทั้งหมด หรือฟลักซ์ ในขณะที่เส้นแรงไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่เทียบได้กับปริมาณกระแสน้ำต่อหน่วยพื้นที่หรือความหนา

แนวของฟลักซ์ ทำให้ทราบนิยามของฟลักซ์ไฟฟ้าว่าเป็นผลคูณของสนามไฟฟ้า  $E$  และพื้นที่ภาคตัดกรวย  $A$  ซึ่งทำมุม  $\theta$  กับทิศทางตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า ดังนี้

$$\psi = EA \cos \theta \quad (2.5)$$



รูปที่ 2.1 เส้นแรงของสนามไฟฟ้ารอบประจุไฟฟ้าบวก ที่มีขนาดเล็ก



รูปที่ 2.2 (ก) ฟลักซ์ไฟฟ้าผ่านพื้นที่  $A$  ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า  $E$  จะมีขนาด  $EA$

(ข) หาก  $A$  เอียงทำมุม  $\theta$  กับแนวตั้งฉากกับ  $E$  พื้นที่ซึ่งผล  $A' = A \cos \theta$

ดังนั้น ฟลักซ์ไฟฟ้าจะเป็น  $\Psi = EA \cos \theta$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 สนามแม่เหล็ก

สมการของคูลอมบ์ ซึ่งแสดงแรงทางไฟฟ้าสถิตย์ระหว่างประจุสองตัวนั้น ใช้เฉพาะในกรณีที่ประจุใดประจุหนึ่งในสองประจุนั้นเคลื่อนที่ หรือหากประจุทั้งสองเคลื่อนที่ แรงกระทำระหว่างประจุทั้งสองจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าที่หาได้ในสมการของคูลอมบ์แรงที่เพิ่มเข้ามานี้เรียกว่าแรงแม่เหล็กโดยจะเพิ่มขึ้นเมื่อประจุไฟฟ้าทั้งสองเกิดการเคลื่อนที่นั่น คือ แรง แม่เหล็กเป็นแรงที่กระทำระหว่างกระแสไฟฟ้าสองกระแส ซึ่งต่างจากแรงไฟฟ้าสถิตย์ที่เกิดจากประจุเมื่ออยู่กับที่กระทำกัน

การคำนวณหาค่าแรงแม่เหล็กหาได้จากการนำสมการที่ (2.1) คูณเข้ากับอัตราส่วนกำลังสองระหว่าง  $v$  คือ ความเร็วสัมพัทธ์ของประจุทั้งสอง และ  $c$  เป็นความเร็วของแสง ดังนี้

$$F_m = \frac{kQ_1Q_2}{r^2} \left( \frac{v^2}{c^2} \right) \quad (2.6)$$

จากสมการที่ (2.6) สามารถแยกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกเป็นแรงที่ได้จากไฟฟ้าสถิตย์ และ ส่วนที่สองเป็นอิทธิพลของสนามแม่เหล็ก ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

$$B_1 = \frac{kQ_1}{r^2} \left( \frac{v}{c^2} \right) \quad (2.7)$$

$$F_2 = Q_2 v B_1 \quad (2.8)$$

สามารถเขียนสมการที่ (2.7) และ(2.8) ใหม่ให้อยู่ในรูปทั่วไป เพื่อใช้เป็นนิยามของสนามแม่เหล็ก  $B$  หรือเรียกว่าความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก หรือความเหนี่ยวนำแม่เหล็กได้ดังนี้

$$B = \frac{k \cdot Q}{r^2} \frac{v}{c^2} \quad (2.9)$$

$$\text{เมื่อ} \quad k' = \frac{k}{c^2}$$

$$B = k' v \frac{Q}{r^2} \quad (2.10)$$

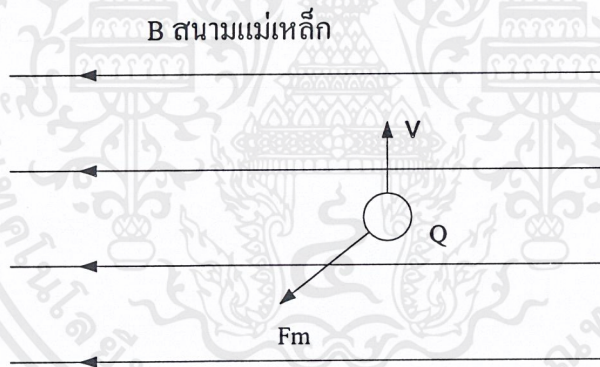
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่สนามแม่เหล็ก  $B$  มีหน่วยเป็น เทสลา (Tesla) หรือ  $\text{Ns/Cm}$  หรือ  $\text{N/Am}$  หรือ  $\text{Kg/Cs}$

$$\text{ส่วนแรงแม่เหล็ก} \quad F = QvB \quad (2.11)$$

นอกจากนั้นแล้วยังมีการใช้หน่วยเป็นเวเบอร์ต่อตารางเมตร ( $\text{Weber/m}^2$ ,  $\text{Wb/m}^2$ ) และอีกหน่วยหนึ่ง คือ หน่วยเกาส์ (Gauss, G) เพื่อให้ทราบไว้เป็นแนวทางอาจนำเอาสนามแม่เหล็กโลกมาอ้างว่ามีขนาดประมาณ  $10^{-14}$  T หรือ 1 G

จากสมการที่ (2.11) ขนาดของแรงของสนามแม่เหล็กนั้นนอกจากเป็นสัดส่วนกับทั้งขนาดและความเร็วของประจุไฟฟ้าในอิทธิพลของสนามแม่เหล็กแล้ว ยังขึ้นอยู่กับทิศทางซึ่งประจุนั้นเคลื่อนที่ด้วย นอกจากนี้ทิศทางของแรงจากสนามแม่เหล็กที่กระทำต่อประจุที่เคลื่อนที่อยู่ที่ได้อิทธิพลนั้นตั้งฉากกับทิศทางของสนามแม่เหล็ก และทิศทางการเคลื่อนที่ของประจุนั้นด้วย



รูปที่ 2.3 แรงแม่เหล็ก  $F_m$  ที่กระทำกับอนุภาคที่มีขนาดประจุไฟฟ้า  $Q$  เคลื่อนที่ด้วยความเร็วตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก  $B$  จะมีขนาด  $F_m = QvB$  และทิศทางตั้งฉาก  $V$  และ  $B$

### 2.3 สมการของแมกซ์เวลล์

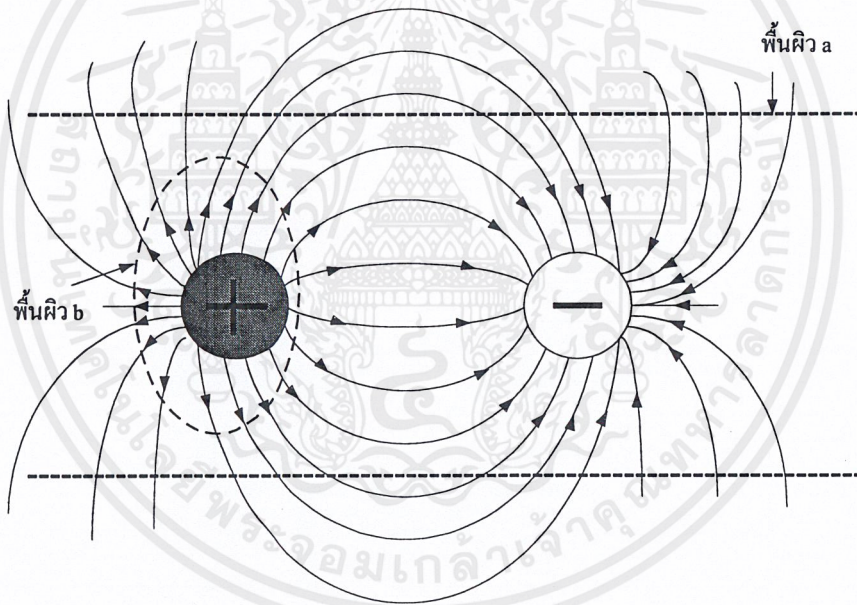
กฎของเกาส์สำหรับไฟฟ้าสถิตย์ ซึ่งอธิบายสนามไฟฟ้าได้โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้า และประจุไฟฟ้าที่ทำให้เกิดสนามไฟฟ้านั้น

กฎของเกาส์สำหรับสนามไฟฟ้ากล่าวว่ามีฟลักซ์ไฟฟ้าทั้งหมด หรือผลรวมขององค์ประกอบของสนามไฟฟ้าซึ่งอยู่ตามแนวตั้งฉาก และผ่านออกมาจากผิวที่ปิดสนิทจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลรวมของประจุที่อยู่ในผิวนั้น เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\psi = \sum(E_n \Delta S) = \frac{1}{\epsilon_0} \Omega \quad (2.12)$$

โดยต้องคำนึงถึงเครื่องหมายของประจุด้วย ทั้งนี้ เส้นแรงไฟฟ้าเริ่มจากประจุไฟฟ้าบวก และไปสิ้นสุดที่ประจุไฟฟ้าลบ

กฎของเกาส์สำหรับสนามไฟฟ้านี้ เริ่มใช้กับปรากฏการณ์ไฟฟ้าสถิตย์ อันเป็นกรณีที่สนามไฟฟ้ามีค่าคงที่ไม่แปรผันกับเวลา และกฎนี้สามารถใช้ได้กับกรณีเมื่อสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป กับเวลา คือ เป็นฟังก์ชันของเวลาด้วย



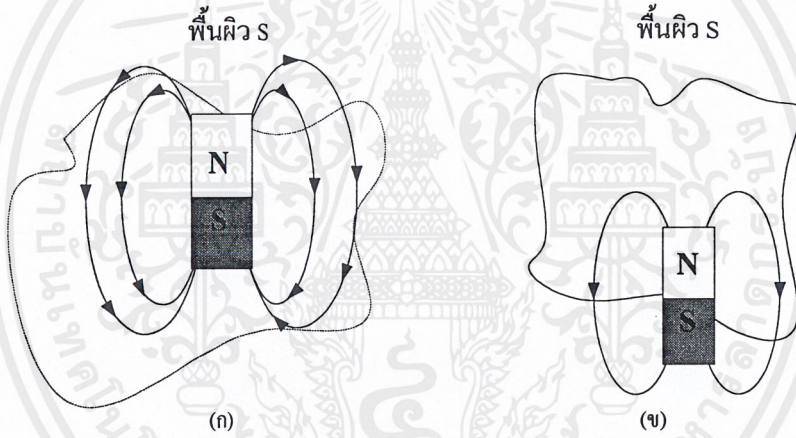
รูปที่ 2.4 ฟลักซ์จากสองประจุไฟฟ้าต่างชนิดกัน ฟลักซ์สุทธิที่ไหลผ่านผิว a เป็นศูนย์ ผ่านพื้นผิว b เป็นบวก  $(+Q/\epsilon_0)$  และที่ผ่านพื้นผิว c เป็นลบ  $(-Q/\epsilon_0)$

กฎของเกาส์สำหรับสนามแม่เหล็ก กฎนี้ใช้อธิบายสนามแม่เหล็ก มีความคล้ายคลึงและคู่กับกฎของเกาส์สำหรับไฟฟ้าสถิตย์

กฎของเกาส์สำหรับสนามแม่เหล็กนี้ กล่าวว่าฟลักซ์แม่เหล็กทั้งหมดที่ผ่านพื้นผิวที่ปิดสนิท ซึ่งภายในอาจมีหรือไม่มีแท่งแม่เหล็กเลยก็ตามจะเป็นศูนย์เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\Phi = \sum (B_N \Delta S) = 0 \quad (2.13)$$

จะเห็นว่าสมการที่ (2.12) และ(2.13) มีความคล้ายกัน ซึ่งสมการที่ (2.13) นี้อาจเขียนแทนได้จากสมการที่ (2.12) โดยการแทน  $\Psi$  และ  $E$  ด้วย  $\Phi$  และ  $B$  ตามลำดับ ส่วนทางขวามือสมการเป็นศูนย์เนื่องจากในการทดลองยังไม่เคยพบว่ามีขั้วแม่เหล็กเดี่ยวไม่เหมือนประจุไฟฟ้าบวกหรือลบ ซึ่งอยู่เป็นอิสระได้โดยลำพัง หมายถึงว่า ในผิวที่ปิดใดๆ เส้นแรงแม่เหล็กที่ผ่านออกไปจากผิวต้องผ่านสวนกลับเข้ามาในผิวด้วย ผลลัพธ์สุทธิจึงเป็นศูนย์เสมอ ทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กซึ่งเป็นปริมาณโดยตรงกับจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กเป็นศูนย์ด้วย กฎของเกาส์สำหรับสนามแม่เหล็กนี้ใช้ได้กับกรณีที่สนามแม่เหล็กคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง หรือเปลี่ยนแปลงไปกับเวลา



รูปที่ 2.5 (ก) ฟลักซ์สุทธิจากแท่งแม่เหล็กที่อยู่ภายในผิวปิดเป็นศูนย์  
(ข) ฟลักซ์สุทธิจากแท่งแม่เหล็กที่อยู่ภายในผิวปิดเพียงขั้วเดียวจะเป็นศูนย์

จากผลสรุปที่กล่าวไว้ว่า “จะมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้น เมื่อสนามแม่เหล็กเปลี่ยนไปจากเดิม” หรือหากมีการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็ก จะมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้น

กฎของฟาราเดย์ และเฮนรีสำหรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และฟลักซ์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง  $\Delta\Phi$  กับเวลา  $\Delta t$  คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเท่ากับค่าลบของอัตราการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (2.14)$$

เครื่องหมายลบปรากฏในสมการ เพื่อเป็นการแสดงว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีทิศทางที่ต่อต้าน การเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก ซึ่งเป็นไปตามกฎทั่วไปตามธรรมชาติ ที่ว่าหากมีการเปลี่ยนแปลงจะมีความพยายามที่จะต่อต้านการเปลี่ยนแปลงนั้น

ทั้งนี้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ คือ งานที่ต้องกระทำต่อหนึ่งหน่วยประจุไฟฟ้าในการที่จะทำให้อประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปตามเส้นล้อมรอบฟลักซ์แม่เหล็กที่พิจารณาไว้ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำอาจเขียนให้อยู่ในรูปผลบวกของผลคูณของแรงที่กระทำต่อประจุไฟฟ้าหนึ่งหน่วย คือ  $E_T$  หรือองค์ประกอบของสนามไฟฟ้า  $E$  เมื่อคิดในแนวขนานกับระยะทางคิดเป็นช่วงสั้นๆ  $\Delta L$  ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเส้นที่ล้อมฟลักซ์แม่เหล็กนั้น เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ} = \sum (E_T \Delta L) = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (2.15)$$

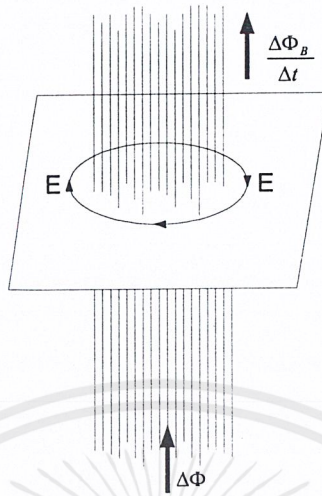
หรืออีกในหนึ่ง การหมุนเวียนของสนามไฟฟ้ารอบเส้นที่ล้อมปิดพื้นที่บริเวณหนึ่งไว้เป็นค่าลบของอัตราการเปลี่ยนเส้นแรงแม่เหล็กซึ่งผ่าน และตั้งฉากกับพื้นที่ล้อมปิดดังกล่าว

ความสัมพันธ์ของการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก และกระแสไฟฟ้านี้จะระบุไว้ว่าการหมุนเวียนของสนามแม่เหล็กรอบเส้นที่ล้อมปิดพื้นที่หนึ่งจะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน และตั้งฉากกับพื้นที่ล้อมปิดนั้น ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\sum (B_T \Delta L) = \mu_0 \quad (2.16)$$

เมื่อ  $B_T$  เป็นองค์ประกอบของสนามไฟฟ้า  $B$  ที่ขนานกับระยะทาง  $\Delta L$  ที่ล้อมปิดบริเวณสนามแม่เหล็ก จะเกิดขึ้นไม่เพียงเฉพาะบริเวณใกล้กับที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเท่านั้น ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

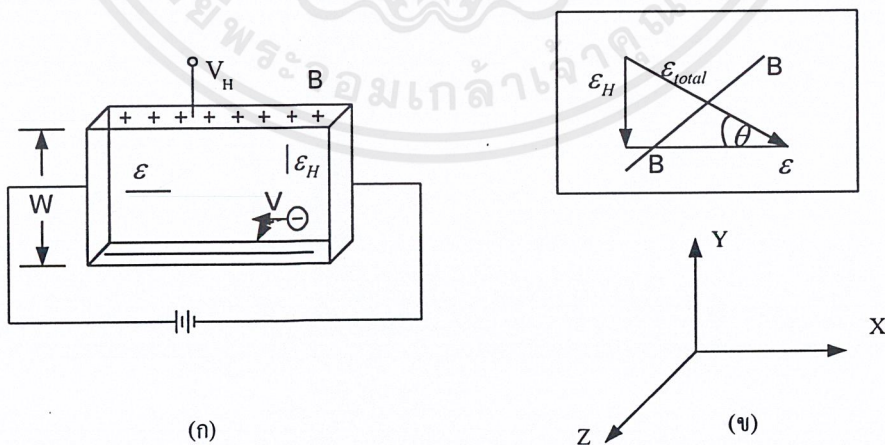
$$\sum (B_T \Delta L) = \mu_0 \left( I + \epsilon_0 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right) \quad (2.17)$$



รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กกับเวลาเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้าซึ่งจะเกิดขึ้นรอบฟลักซ์แม่เหล็กนั้น

หรืออีกนัยหนึ่ง การหมุนเวียนของสนามแม่เหล็กกรอบเส้นที่ล้อมปิดพื้นที่บริเวณหนึ่งไว้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน และอัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กในบริเวณนั้น

### 2.4 ปรากฏการณ์ฮอลล์เอฟเฟกต์



รูปที่ 2.7 (ก) ปรากฏการณ์ฮอลล์เอฟเฟกต์ในสารกึ่งตัวนำ

(ข) ปรากฏการณ์มุมของฮอลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำดังรูปที่ 2.7 เมื่อมีสนามแม่เหล็ก (ทิศทางตั้งฉาก  $J$  และพุ่งออกจากกระดาษ) อิเล็กตรอนจะได้รับแรงลอเรนซ์ และเคลื่อนที่โค้งลงด้านล่าง ทำให้ผิวด้านล่างเป็นลบเมื่อเทียบกับผิวด้านบน และทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในทิศทาง  $-Y$  เรียกว่า สนามของฮอลล์ สนามไฟฟ้านี้จะทำให้เกิดแรงกระทำต่ออิเล็กตรอนในทิศทาง  $+Y$  ในสภาวะที่คงที่ แรงจากสนามแม่เหล็กและสนามของฮอลล์จะเท่ากัน

$$e\epsilon_H = eBv \quad (2.18)$$

ในกรณีของอิเล็กตรอนเนื่องจาก  $J = -env$

$$-\frac{1}{ne} = \frac{\epsilon_H}{BJ} \quad (2.19)$$

ค่า  $\epsilon_H/BJ$  เป็นค่าคงที่ เรียกว่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ หรือค่าคงตัวของฮอลล์ แทนด้วย  $R$  ดังนี้

$$R_e = \frac{1}{ne} = \frac{\epsilon_H}{BJ} \quad (2.20)$$

และในกรณีของโฮลก็จะอยู่ในรูปเดียวกัน ยกเว้นประจุของโฮลที่เป็นบวก และทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์เป็นบวกด้วย

$$R_h = \frac{1}{pe} = \frac{\epsilon_H}{BJ} \quad (2.21)$$

ในกรณีที่มีพาหะนำประจุชนิดเดียว จาก  $e\epsilon_H = eBv$  หรือ  $v = \epsilon_H/B$  และจากนิยามของความคล่องตัว ( $v$  ในที่นี้ Drift velocity) ดังนั้น  $\epsilon$  คือ สนามไฟฟ้าในแนว  $x$  หรือคือสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแบตเตอรี่ หรือแรงเคลื่อนไฟฟ้าภายนอกนั่นเอง ดังรูปที่ 2.7

เนื่องจากผิวของศักย์ไฟฟ้าคงที่ จะตั้งฉากกับเส้นของสนามไฟฟ้านั้น จะเห็นว่าจะมีจุดบางคู่ เช่น  $B$  และ  $B'$  เป็นต้น ซึ่งมีความต่างศักย์เป็นศูนย์ จากรูปที่ 2.7  $\epsilon_H/\epsilon$  มีค่าเท่ากับ  $\tan \theta$  ตัวมุม  $\theta$  เรียกว่ามุมของฮอลล์ ดังนี้

$$\mu = \frac{\tan \theta}{B} \quad (2.22)$$

ความคล่องตัวนี้ยังอาจวัดได้อีกวิธีหนึ่งจากการทดลองของฮอลล์ คือ ในกรณีสารกึ่งตัวนำชนิด เอ็น แทนค่า  $ne$  จากสมการที่ (2.20) จะได้

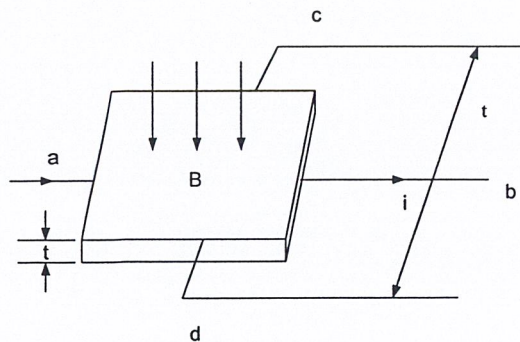
$$\sigma_e = ne\mu_e \quad (2.23)$$

สำหรับกรณีของโฮลในสารกึ่งตัวนำชนิดพี จะได้สมการคล้ายๆ กัน ดังนั้น ค่าความคล่องตัวของอิเล็กตรอน และโฮลสามารถวัดได้จากสภาพการนำไฟฟ้า และค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์จากสารกึ่งตัวนำเอกซ์ทรินซิก ค่า  $\sigma R$  นี้เรียกว่าความคล่องตัวของโฮล และเขียนย่อๆ ว่า  $\mu_H$

จะเห็นว่าวิธีการของฮอลล์เอฟเฟกต์ ทำให้สามารถวัดความหนาแน่นของพาหะนำประจุและความคล่องตัวของพาหะนำประจุในสารกึ่งตัวนำได้

ในกรณีที่ต้องพิจารณาทั้งอิเล็กตรอนและโฮลพร้อมๆ กัน ต้องมีการแก้ไขสมการใหม่ให้ถูกต้อง จากรูปที่ 2.7 (ก) สนามไฟฟ้า  $E$  อยู่ในทิศ  $X$  และขณะเดียวกันสนามแม่เหล็ก  $B$  อยู่ในทิศ  $Z$  เนื่องจากสนาม  $E$  จะเกิดกระแส โดยอิเล็กตรอนเคลื่อนไปทางซ้าย และโฮลเคลื่อนไปทางขวา การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และโฮลในสนามแม่เหล็กนี้จะทำให้มันได้รับแรงลอเรนซ์ และทิศทางเปลี่ยนไป คือ ทั้งอิเล็กตรอน และโฮลจะเคลื่อนที่ลงไปสู่ผิวด้านล่าง ดังรูปที่ 2.7 (ก) และเกิดการหักล้างกันเกิดขึ้น การหักล้างนี้จะไม่หมดไปอย่างสิ้นเชิง และทำให้เกิดประจุไฟฟ้าขึ้นที่ผิวด้านล่าง เนื่องจากสารจะต้องเป็นกลางทางไฟฟ้า ดังนั้นจะเกิดประจุตรงกันข้ามขึ้นที่ผิวด้านบน และเกิดสนามไฟฟ้าในแกน  $Y$  ขึ้น ซึ่งเรียกว่าสนามของฮอลล์

#### 2.4.1 ฮอลล์เจนนอเรเตอร์



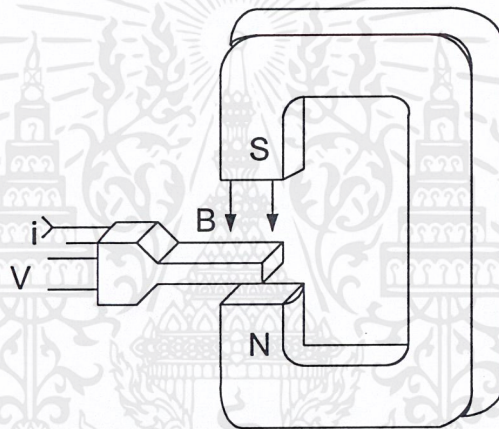
รูปที่ 2.8 หลักการของฮอลล์เจนนอเรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.8 ให้กระแส  $i$  (A) ไหลผ่านไปใ้ในสารกึ่งตัวนำเช่นเจอร์มาเนียมที่มีความหนา  $t$ (m) ซึ่งวางอยู่ในสนามแม่เหล็กที่มีความหนาแน่นของฟลักซ์  $B$  (Wb/m<sup>2</sup>) ในแนวตั้งฉากกับระนาบ (plane) ของสารกึ่งตัวนำนั้นจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า  $V$ (v) ขึ้นในแนวตั้งฉากกับทั้ง  $B$  และ  $i$  ดังนี้

$$v = \frac{\eta i B}{t} \quad (2.24)$$

ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า ปรากฏการณ์ของฮอลล์ และ(m<sup>3</sup>/C) เรียกว่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ ถ้าทราบค่า  $t$  และ  $i$  จะหา  $B$  ได้โดยการวัด  $v$



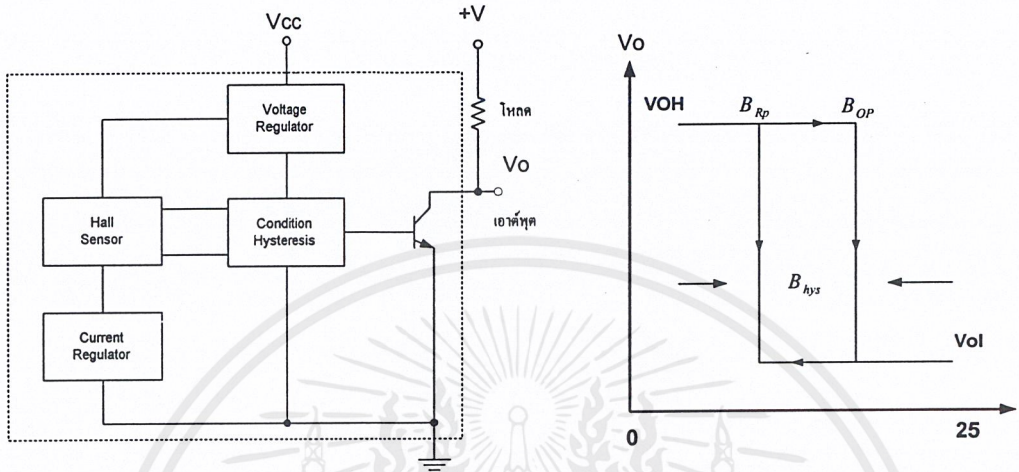
รูปที่ 2.9 การวัดสนามแม่เหล็กด้วยฮอลล์เจเนอเรเตอร์

ฮอลล์เจเนอเรเตอร์มีขนาดเล็กมาก  $t$  มีค่าประมาณ 0.1 มิลลิเมตร จนสามารถนำไปวัดความหนาแน่นของฟลักซ์ในที่แคบๆ เช่น ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ได้ ความไวของเครื่องนี้สามารถได้ระดับ  $10^{-4}$ (Wb/m<sup>2</sup>) การปรับเทียบทำได้โดยการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าของฮอลล์ ในความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กที่ทราบค่าแล้ว เกาส์มิเตอร์ที่ใช้ฮอลล์เจเนอเรเตอร์ โดยทั่วไปจะมีแม่เหล็กถาวรชิ้นเล็กๆ ซึ่งให้ความหนาแน่นของฟลักซ์ที่ทราบค่าติดอยู่ด้วยเพื่อใช้ในการปรับเทียบ

#### 2.4.2 ชนิดของฮอลล์

ฮอลล์แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ ชนิดเป็นสวิทช์ ชนิดเป็นตัวเลดซ์ และชนิดเป็นอุปกรณ์เชิงเส้น 2 ชนิดแรกเป็นอุปกรณ์ทางดิจิทัล คือ มีเอาต์พุตเพียงสองสถานะ ไม่เปิดก็ปิด ในขณะที่ฮอลล์แบบเชิงเส้นจะให้แรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงตามขนาดของสนามแม่เหล็ก

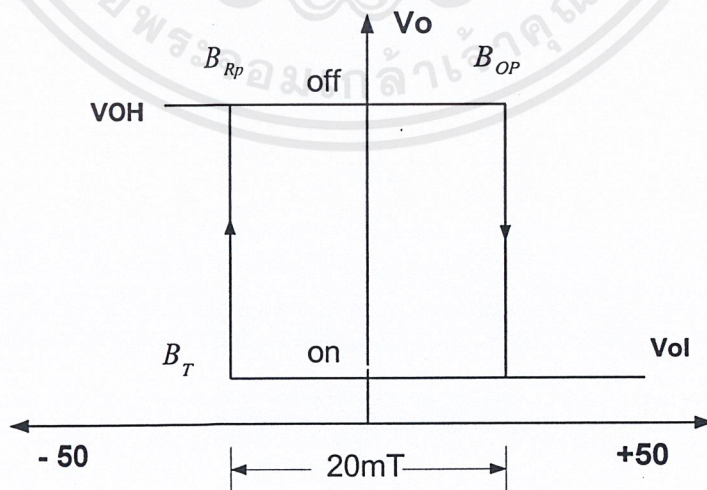
1) ฮอลล์ชนิดสวิตช์ เป็นอุปกรณ์ที่อยู่ในสภาวะปกติ “ปิด” และจะ “เปิด” เมื่อได้รับสนามแม่เหล็ก และจะปิดเมื่อหยุดให้สนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.10 ฟังก์ชันและกราฟแสดงผลตอบสนองของฮอลล์ชนิดสวิตช์

รูปที่ 2.10 ฟังก์ชันของฮอลล์ชนิดสวิตช์ และการเปลี่ยนแปลงของแรงดันเมื่อเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก เมื่อสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นจนถึงค่า  $B_{Rp}$  แล้วจะได้แรงเคลื่อน  $V_{OH}$  สภาวะเช่นนี้คือ “เปิด” แต่เมื่อสนามแม่เหล็กลดลงจะถึง  $B_{Op}$  จะได้แรงดัน  $V_{OL}$  สภาวะเช่นนี้ คือ “ปิด”

2) ฮอลล์ชนิดแอสต์รี



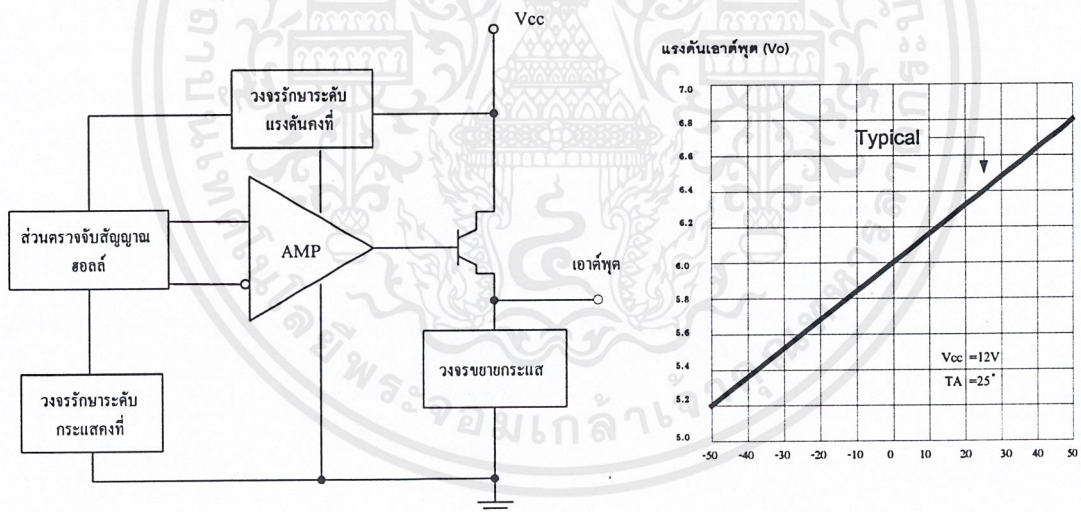
รูปที่ 2.11 การตอบสนองแรงดันเอาต์พุตกับสนามแม่เหล็กกับฮอลล์ชนิดแอสต์รี

ฮอลล์ชนิดแลตซ์เป็นฮอลล์ที่จะเปิดเมื่อได้รับสนามแม่เหล็กบวกและจะปิดเมื่อได้รับสนามแม่เหล็กลบ ซึ่งต่างจากฮอลล์ชนิดสวิตช์ รูปที่ 2.11 เป็นการตอบสนองของฮอลล์ชนิดแลตซ์ จะเห็นว่าฮอลล์จะเปิดเมื่อได้รับสนามแม่เหล็กเพื่อแลตซ์เป็น 20 มิลลิเทสลา และจะปิดเมื่อได้รับสนามแม่เหล็กเป็น -25 มิลลิเทสลา

3) ฮอลล์ชนิดเชิงเส้น

ถ้าเพิ่มสนามแม่เหล็กให้แก่ฮอลล์ แล้วทำให้แรงดันที่เกิดขึ้น เพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้นแล้ว เรียกฮอลล์แบบนี้ว่าฮอลล์ชนิดเชิงเส้น ซึ่งจะมีการเปิด/ปิด แบบฮอลล์ชนิดสวิตช์ คือไม่เกิดฮิสเตอร์รีซิส ความไวของฮอลล์ชนิดเชิงเส้นมีประมาณ 16 มิลลิโวลต์ต่อมิลลิเทสลา ซึ่งสามารถนำฮอลล์ชนิดเชิงเส้นมาหาขั้วของสนามแม่เหล็กเป็นศูนย์ ซึ่งเรียกว่าจุดอินเตอร์เซปต์

ถ้าแรงดันของฮอลล์มีค่ามากกว่าจุดอินเตอร์เซปต์แล้ว แสดงว่าขณะนั้นขั้วของสนามแม่เหล็กเป็นขั้วเหนือ แต่ค่าของแรงดันฮอลล์น้อยกว่าจุดอินเตอร์เซปต์ แสดงว่าสนามแม่เหล็กขณะนั้นเป็นขั้วใต้ เรานำคุณสมบัตินี้ไปหาตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้



รูปที่ 2.12 ฟังก์ชันและกราฟแสดงผลตอบสนองของฮอลล์ชนิดเส้นเบอร์ TL3103

รูปที่ 2.12 ฟังก์ชันการตอบสนองของฮอลล์ชนิดเชิงเส้นเบอร์ TL3103 ภายในไอซีเบอร์นี้ มีฮอลล์ชนิดเชิงเส้นคอยรับรู้ กระแสที่จ่ายให้แก่ฮอลล์ชนิดเชิงเส้นจะต้องคงที่ โดยต้องต่อตัวจ่ายกระแสคงที่ให้แก่ฮอลล์ เอาต์พุตจากฮอลล์ชนิดเชิงเส้นมีค่าต่ำ ดังนั้น จึงต้องขยายเพื่อให้ได้แรงดันที่สูงพอเมื่อนำไปใช้งาน

เนื่องจากฮอลล์เป็นอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ ดังนั้น อุณหภูมิจึงมีผลต่อการทำงานของฮอลล์ ภายในไอซีจะต้องมีส่วนชดเชยอุณหภูมิ ฮอลล์ชนิดเชิงเส้นที่ดีจะต้องมีความเที่ยงตรงขณะที่จุดอุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่าอุณหภูมิใช้งานปกติ แรงดันที่วัดได้ไม่ควรผิดพลาดเกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ของแรงดันที่เอาต์พุตปกติ

แรงดันจากชนิดเชิงเส้นมีค่าน้อยมากเป็นมิลลิโวลต์ เราต้องขยายให้เป็นโวลต์ ตัวอย่างเช่นเอาต์พุตของ TL3103 ขณะที่สนามแม่เหล็กเป็นศูนย์ แรงดันมีค่าสูงถึง 5 โวลต์ และถ้าหากสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น แรงดันเอาต์พุตของ TL3103 จะเพิ่มขึ้นด้วย

## 2.5 จอแสดงผลแบบผลึกเหลว

แอลซีดี เป็นตัวแสดงผลที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน มีโครงสร้างเป็นผลึกคริสตัลเหลว โดยที่ผลึกเหลวเป็นสารที่รวมกันเป็นสัดส่วนของเหลวกับผลึก จุดหลอมเหลวของสารชนิดนี้อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เรียกว่าเมโซเฟส โมเลกุลของสารสามารถเคลื่อนที่ได้เหมือนของเหลว แต่สารชนิดนี้ถูกจัดเป็นประเภทเดียวกับผลึกซึ่งเป็นของแข็ง ในปี พ.ศ. 2513 มีการค้นพบว่าในสารผลึกเหลวสามารถเปลี่ยนตัวเองจากใสกลายเป็นทึบแสง และจากทึบแสงเป็นใสได้โดยการป้อนแรงดันเข้าไป คุณสมบัตินี้คือหลักการพื้นฐานของแอลซีดี

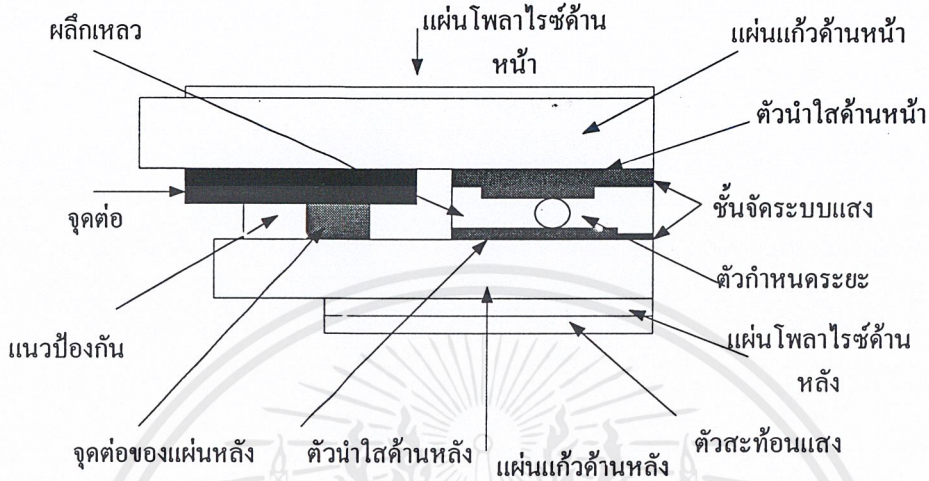
### 2.5.1 ข้อดีของจอแสดงผลแบบแอลซีดี

1. บางเบาและพกพาสะดวก มีความหนาเพียงไม่กี่มิลลิเมตร
2. ใช้พลังงานน้อย เนื่องจากต้องการกำลังงาน และแรงดันต่ำ ทำให้สามารถใช้งานได้นาน แม้จะมีเพียงแบตเตอรี่ขนาดเล็กจ่ายกำลัง และยังสามารถใช้ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น ซีมอสได้ด้วย
3. เป็นตัวแสดงผลแบบพาสซีฟ เพราะว่าแอลซีดี ไม่ได้กำเนิดแสงเอง การอ่านค่าที่ตัวแสดงผลต้องใช้แสงสว่างจากภายนอก แต่ความเข้มของการแสดงผลไม่ได้จางลงเมื่อแสงสว่างจากภายนอกเพิ่มขึ้น หากต้องการอ่านค่าในที่มืด ทำได้โดยใช้แสงส่องมาจากด้านหลังของจอ แอลซีดี
4. เชื้อถ้อได้ ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิกว้าง และมีอายุการใช้งานนาน
5. ใช้งานได้กว้างขวาง ด้วยข้อดีต่างๆ มากมาย เช่น นาฬิกา เครื่องคิดเลข เครื่องมือวัดต่างๆ จึงมีผู้ผลิตมากทำให้มีราคาถูก เป็นต้น

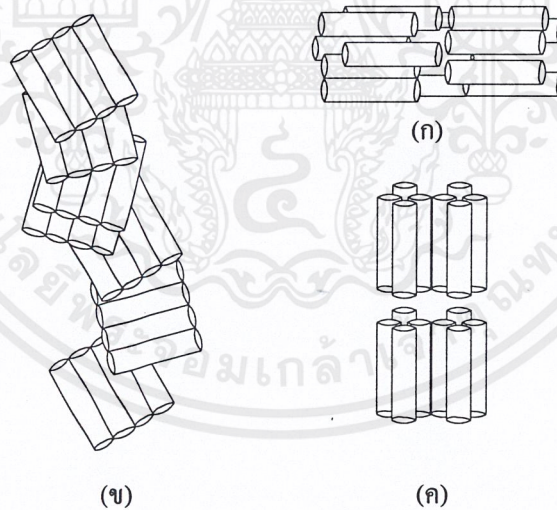
### 2.5.2 โครงสร้างของแอลซีดี

แอลซีดี ประกอบไปด้วยแผ่นแก้วสองแผ่นประกบกัน โดยเว้นช่องกลางไว้ประมาณ 6-10 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 2.13 ผิวด้านในของแผ่นแก้วเคลือบด้วยตัวนำไฟฟ้าชนิดที่ใสที่ไว้แสดง ตัวอักษร สัญลักษณ์ หรือเครื่องหมายต่างๆ ทำมาจากสารประเภทอินเดียมทินออกไซด์ระหว่างตัวนำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าชนิดใสกับผลึกเหลวจะมีชั้นสารที่ทำให้โมเลกุลของผลึกรวมตัวกันในทิศทางที่แสงส่องออกมาเรียกว่า ชั้นจัดระบบรับแสงหรือชั้นที่หันเหเข้าหาแสง



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของ แอลซีดี



รูปที่ 2.14 (ก) โครงสร้างแบบนีเมติก

(ข) โครงสร้างแบบโครเรสเทอริก

(ค) โครงสร้างแบบสเตมคติก

ระยะห่างระหว่างแผ่นทั้งสองจะถูกจำกัดโดยตัวจัดระยะ ชนิดของผลึกที่นิยมใช้กัน คือ แบบนีเมติก ดังรูปที่ 2.14 (ก) โมเลกุลของผลึกแบบนีเมติกจะวางขนานกันไปตามแนวตรงคล้ายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นลวดยาวถ้าหากว่าวางกลับทิศทางจะทำให้คุณสมบัติเปลี่ยนแปลง ตัวคริสตอลเหลวที่สามารถแสดงเครื่องหมายพิเศษต่างๆได้ คือ แบบโคเรสเทอริก และแบบสมคติก ดังรูปที่ 2.14 (ข) และ (ค) ตามลำดับ

### 2.5.3 แอลซีดีแบบนีเมติกชนิดเกลียว

การทำงานของแอลซีดีแบบนีเมติกชนิดเกลียว โมเลกุลของผลึกจะถูกจัดโดยชั้นจัดระบบรับแสง ตำแหน่งของการรับแสงระหว่างแผ่นล่าง และแผ่นบนจะต่างกัน 90 องศา โมเลกุลของผลึกเหลวจะบิดเป็นเกลียวต่างกัน 90 องศา เมื่อแสงจากด้านล่างผ่านโมเลกุลของผลึกที่เป็นเกลียวขึ้นไปยังแผ่นบน ทำให้ตำแหน่งของแสงหมุนไป 90 องศา ด้วยปรากฏการณ์นี้เกิดจากคุณสมบัติแอนนิโซโทรปี ทางแสงของโมเลกุล ทำให้แสงลอดผ่านแผ่นโพลาริซซ์ออกไปได้

ถ้ามีแรงดันป้อนให้ตัวนำชนิดใส คุณสมบัติแอนนิโทรปีทางไฟฟ้าของโมเลกุลจะทำให้การวางตัวของโมเลกุลเปลี่ยนไป แสงจะผ่านผลึกเหลวด้วยทิศทางคงเดิม จึงไม่สามารถผ่านแผ่นโพลาริซซ์ด้านบนออกไปได้

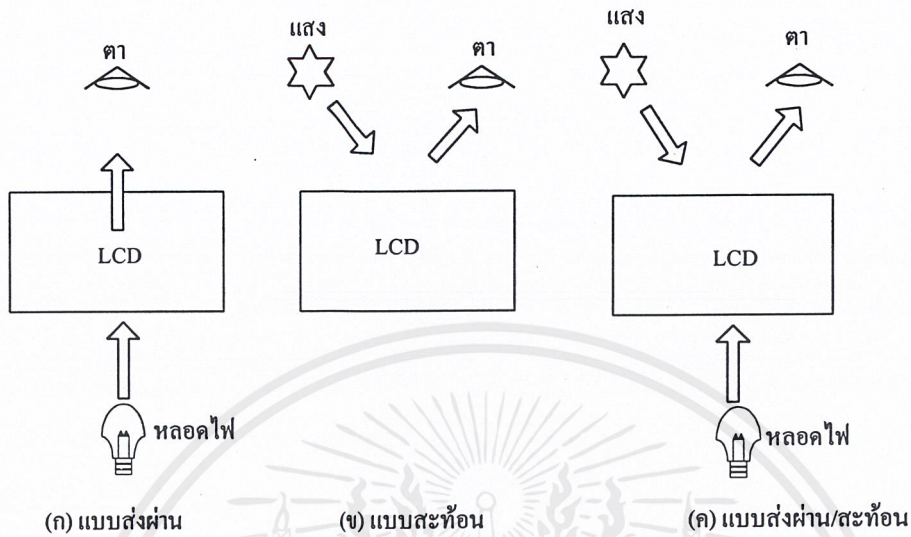
เมื่อหยุดป้อนแรงดัน โมเลกุลจะเรียงตัวเหมือนเดิมอีกครั้ง แสงจะสามารถทะลุผ่านไปได้ การทำงานของ แอลซีดี แบบนี้ เรียกว่าการแสดงผลเชิงบวก ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การแสดงผลเชิงบวก

ถ้าวางแผ่นโพลาริซซ์ใช้หมุนไปมากกว่า 90 องศา ผลที่ได้จะตรงข้ามกัน คือ แอลซีดี จะมีคทึบเมื่อไม่มีแรงดันป้อน แต่จะเป็นจอใสเมื่อป้อนแรงดัน เรียกการทำงานแบบนี้ว่าการแสดงผลเชิงลบ

## 2.5.4 การแสดงผลแบบต่างๆของ แอลซีดี



รูปที่ 2.16 การแสดงผลของแอลซีดีแบบต่างๆ

แอลซีดีสามารถแสดงผลให้เราเห็นได้โดยอาศัยหลักการ 3 แบบ คือ

1) แบบสะท้อนจะมีสารประเภทโลหะเคลือบอยู่ที่บริเวณแผ่นหลังของจอแอลซีดี เช่น อลูมิเนียมฟอสฟอรัส เป็นต้น จะทำการสะท้อนแสงจากภายนอกผ่านตัวแสดงผลไปยังตาของเรา แบบนี้เหมาะกับสถานที่ที่มีแสงสว่างเพียงพอ ข้อดี คือ ไม่ต้องการแหล่งจ่ายแรงดันเพื่อป้อนให้กับหลอดไฟ ดังรูปที่ 2.16 (ข)

2) แบบส่งผ่านนิยมใช้กับแอลซีดี ที่มีการแสดงผลเชิงลบโดยจะวางหลอดไฟไว้ด้านหลังแสดงดังรูปที่ 2.16 (ก)

3) แบบส่งผ่าน/สะท้อน เป็นการรวมการแสดงผลสองแบบเข้าด้วยกันตัวแสดงผลอ่านค่าได้จากการสะท้อนของแสงจากภายนอก และมีแสงส่องสว่างจากทางด้านหลังเมื่อต้องการอ่านค่าในที่มืด ดังรูปที่ 2.16 (ค)

## 2.5.5 คุณสมบัติทางแสง

ความชัดเจนในการอ่านขึ้นอยู่กับตัวแปรสำคัญ คือ ความสว่าง และความเข้มของแสงของแอลซีดี นั่นเอง

ความเข้มของแสงหาได้จากความสว่างสีใสหารด้วยควมสว่างของบริเวณที่มีสีทึบ ในแอลซีดี แบบ TN อัตราความเข้มของแสงจะอยู่ในย่าน 5-50 แต่อัตราส่วนความเข้มของที่ตามนุษย์จับได้มีค่าประมาณ 10 และความชัดเจนอย่างน้อยที่สุดประมาณ 2 ในตัวแสดงผลแบบที่แสงส่อง

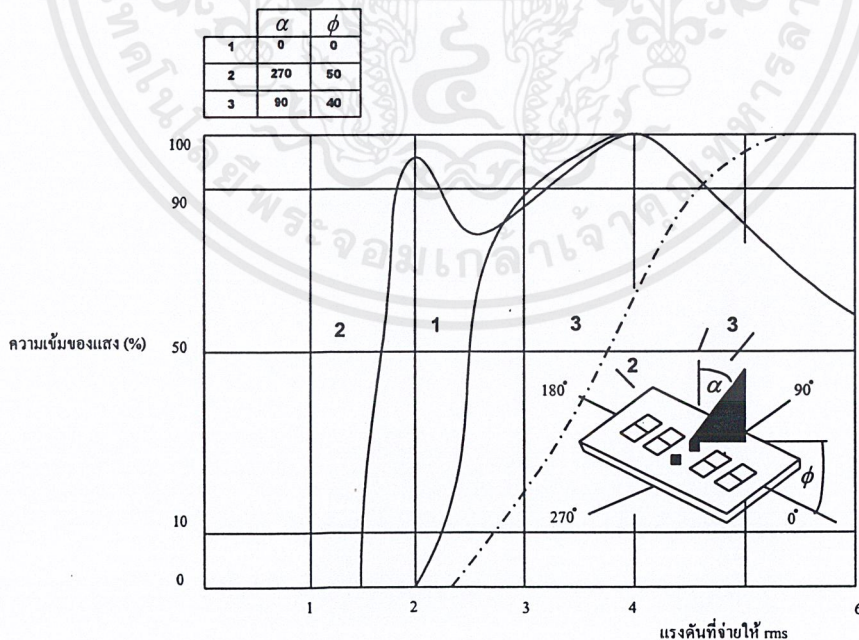
จากด้านหลังต้องมีอัตราส่วนความเข้มของแสงสูงเป็นพิเศษ เพราะเมื่อมองผ่านแสงที่ย้อนขึ้นมา ตาของเราจะจับความเข้มได้น้อยลง

ทั้งนี้ความสว่าง และความเข้มขึ้นอยู่กับชนิดของแผ่นโพลารไรซ์ สำหรับตัวแสดงผลแบบสะท้อนเชิงบวก แผ่นโพลารไรซ์ประสิทธิภาพต่ำจะให้ความสว่างมากแต่ความเข้มน้อย ส่วนแผ่นโพลารไรซ์ประสิทธิภาพสูงจะให้ความเข้มสูงแต่ความสว่างลดลง

### 2.5.6 มุมมอง

จากรูปที่ 2.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงกับแรงดันของมุมมองสามมุมที่แรงดันต่ำมากๆ แอลซีดี ไม่สามารถแสดงผลได้ชัดเจน เมื่อ  $\Phi$  คือมุมในแนวระดับของ แอลซีดี และ  $\alpha$  คือมุมที่อ้างอิงกับเส้นตั้งฉาก

เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้น มุมที่สามารถมองเห็นได้จะสูงขึ้นตาม (มุมเงยต่ำ) ดังเส้นกราฟเส้นที่สองหากแรงดันสูงขึ้นมุมเงยจะสูงขึ้นตามลำดับ แรงดันที่น้อยที่สุดที่จะทำให้มองเห็นชัดเจน (10 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันสูงสุด) เรียกว่าแรงดันเทรชโฮล (Threshold voltage :  $V_{th}$ ) แรงดันที่มีค่าถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันสูงสุดเรียกว่าแรงดันอิ่มตัว (Saturation voltage :  $V_{sat}$ ) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มของแสง จะเปลี่ยนไปตามส่วนผสมที่ต่างกันของผลึกเหลว อัตราส่วนผสมส่วนใหญ่ก็มีสัมพันธ์ของอุณหภูมิเป็นลบ ซึ่ง  $V_{th}$  จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงกับแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

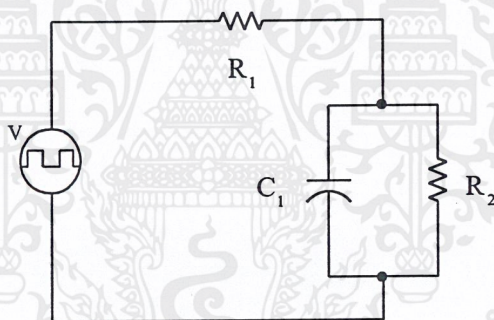
### 2.5.7 ความเร็วของการแสดงผล

เวลาตอบสนองการทำงานอยู่ในช่วง 50-100 มิลลิวินาที (ในอุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส) สิ่งที่สำคัญที่มีผลต่อช่วงเวลาการตอบสนอง คือ ความเหนียวของผลึกเหลว ซึ่งความเหนียว จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง เพราะว่าโมเลกุลมีอิสระในการเคลื่อนที่น้อยลงทำให้การตอบสนองช้าลง

เวลาตอบสนองยังขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันที่จ่ายให้กับแอลซีดี และวิธีป้องกันแรงดันและความหนาแน่นของผลึกเหลวด้วย

### 2.5.8 การขับแอลซีดี

แอลซีดีแต่ละเซกเมนต์ สามารถเขียนวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 2.18 ประกอบด้วยตัวความต้านทาน  $R_1$  ค่าต่ำต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ  $C_1$  ซึ่งต่อขนานกับตัวความต้านทาน  $R_2$  (มีค่าสูงกว่า  $R_1$ ) ค่าตัวเก็บประจุจะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันที่ปรากฏคร่อม แอลซีดี



รูปที่ 2.18 วงจรสมมูลของ แอลซีดี

ถ้าเราจ่ายแรงดันไฟตรงให้แอลซีดีจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานสั้นลง ดังนั้น จึงต้องป้อนสัญญาณไฟสลับให้ด้วยกำลังงานไม่เกิน 100 มิลลิวัตต์ การแสดงผลจะได้จากค่า rms ที่จ่ายให้

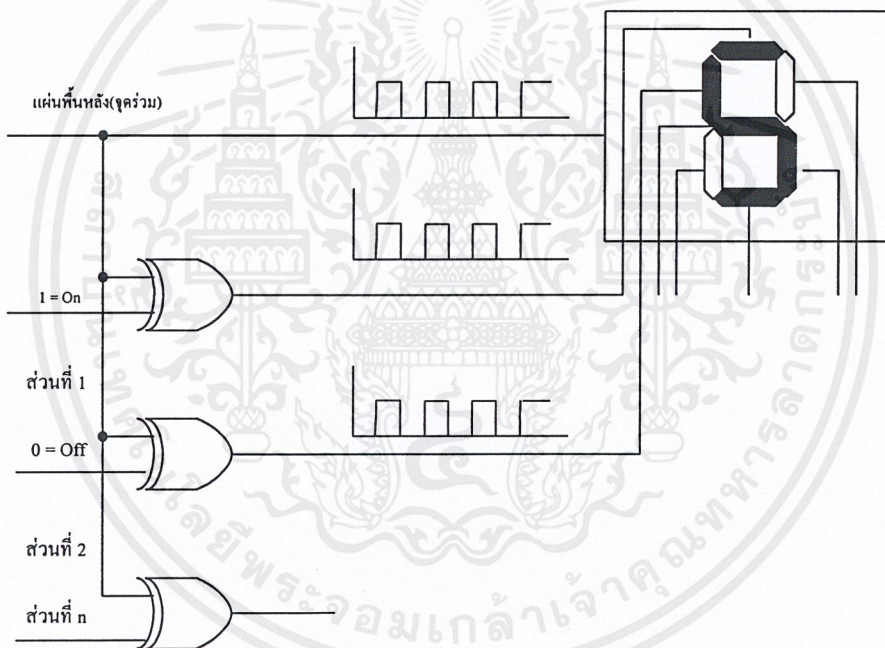
ค่าความถี่ที่ป้อนเข้าไปต้องไม่ต่ำกว่า 30 เฮิรตซ์ เพื่อป้องกันการกระพริบของตัวแสดงผล กระแสที่ใช้กันทั่วไป คือ 105 ไมโครแอมป์ต่อตารางเซนติเมตร ของแผ่นแอลซีดีกระแสที่แอลซีดีต้องการจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ของสัญญาณที่ป้อนเข้าไป จิตจำกัดสูงสุดของความถี่ถูกกำหนดโดยคุณสมบัติทางด้าน การคับปลิ่ง และผลของรีแลกซ์เซชัน ซึ่งทำให้เกิดเงาในการแสดงผล

### 2.5.9 ประเภทของการขับแอลซีดี

1) การขับตรง จะมีการต่อแยกขับแต่ละเซกเมนต์ และขับแผ่นหลังหรือส่วนจตุรร่วมอีกหนึ่งจุด

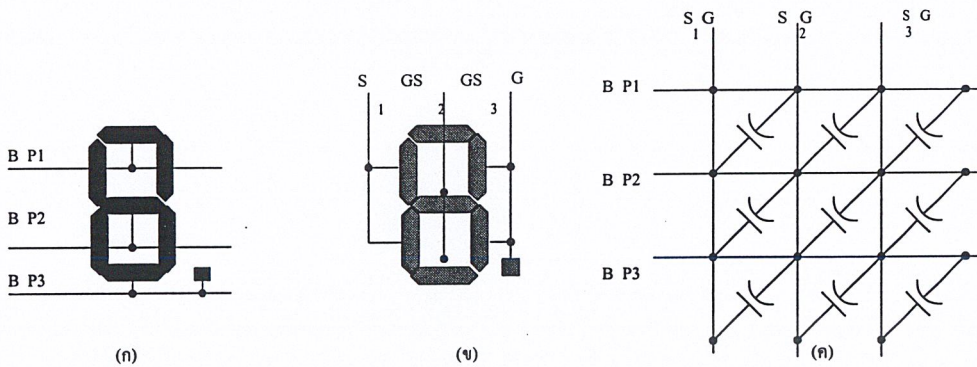
จากรูปที่ 2.19 จะเห็นได้ว่าแผ่นหลังของ แอลซีดี จะถูกป้อนด้วยคลื่นสี่เหลี่ยม การเลือกเซกเมนต์ให้ทำงาน ทำได้โดยการส่งคลื่นรูปเดียวกันแต่กลับเฟสไปให้ส่วนนั้นๆ จะเกิดแรงดันตกคร่อมประมาณค่า rms ของรูปคลื่น ส่วนอื่นที่ไม่ได้เลือกจะป้อนสัญญาณเฟสเดียวกันกับแผ่นหลัง โดยที่สัญญาณที่ป้อนให้ต้องเป็นแบบสมมาตร เพื่อป้องกันการกระพริบของส่วนแสดงผล

ข้อดีของการขับแบบตรง คือ ใช้งานได้ในย่านอุณหภูมิกว้าง ตอบสนองเร็ว และความผิดพลาดน้อย แต่การใช้งานต้องต่อหลายจุด หากเป็นวงจรใหญ่ๆ และจะมีความยุ่งยาก



รูปที่ 2.19 การสลับเฟสของการขับโดยตรง โดยมี XOR ควบคุมแรงดันส่งไปให้ส่วนต่างๆ

2) การขับแบบมัลติเพล็กซ์ การขับแบบนี้เหมาะกับภาคแสดงผลจำนวนมาก เช่น การต่อแบบคอตเมตริกซ์ ขั้วของการขับแบบมัลติเพล็กซ์จะวางอยู่ในรูปแบบเมตริกซ์ ภาคแสดงผลจะต่อกันเป็นกลุ่มๆ ส่วนแผ่นหลังจะแยกกันเป็นหลายจตุรร่วม ดังนั้น แต่ละเซกเมนต์ในกลุ่มหนึ่งๆ จะมีจตุรร่วมต่างกันอัตราส่วนของมัลติเพล็กซ์เขียนอยู่ในรูปของ 1:N โดยที่ N คือจำนวนจตุรร่วมของแผ่นหลัง หรือจำนวนของส่วนแสดงผลแต่ละกลุ่ม



รูปที่ 2.20 ตัวเลขหนึ่งตัวพร้อมทั้งจุดทศนิยม (8 ส่วน) โดยใช้มัลติเพล็กซ์ 1:3

จากรูปที่ 2.20 แสดงการต่อส่วนแสดงผล และแผ่นหลังด้วยการขับแบบมัลติเพล็กซ์ 1:3 จำนวนจุดต่อลดลงจาก 9 มาเป็น 6 ในรูปที่ 2.20 (ค) แสดงวงจรสมมูลของแต่ละส่วนแทนด้วยตัวเก็บประจุ

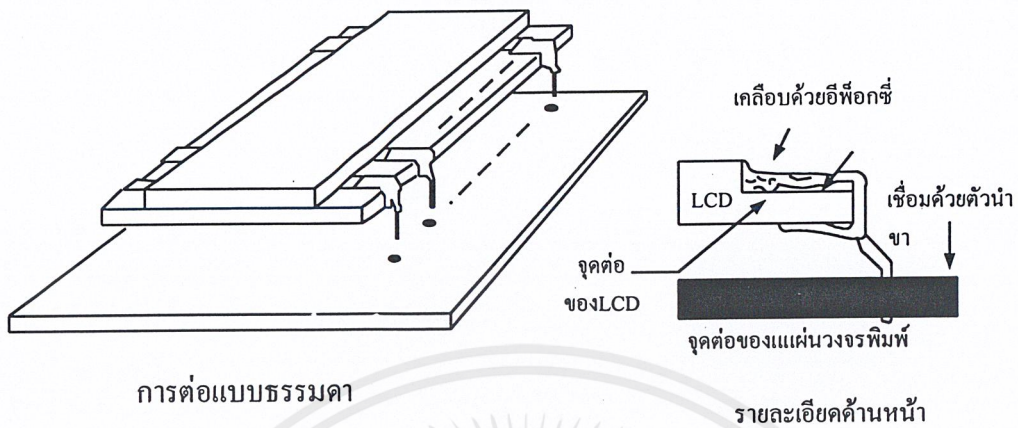
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนมัลติเพล็กซ์กับจำนวนจุดต่อ

อัตราการมัลติเพล็กซ์	1:1	1:2	1:3	1:4	1:8
ความแตกต่างของ $V_{out}/v_{off}$ (rms)	$\infty$	2.24	1.92	1.73	1.45
จำนวนจุดต่อเมื่อใช้กับภาคแสดงผล	121	62	43	34	23

จากตารางที่ 2.1 แสดงข้อได้เปรียบของการใช้มัลติเพล็กซ์ 1:2 จุดต่อจะลดลงประมาณครึ่งหนึ่ง และจะได้อัตราส่วนของแรงดัน 2.24 ทำให้ได้ความคมชัดที่ดีมาก

### 2.5.10 เทคนิคการต่อใช้งานแอลซีดี

วิธีการต่อใช้งานทั่วไปมี 3 รูปแบบ คือ ต่อขาแบบธรรมดา แบบแบ่งตัวนำ และแบบฟอลท์ การต่อแบบธรรมดามีขาขึ้นออกมาจากตัวถังเหมือนขาไอซี โดยทั่วไปวิธีการนี้สะดวกสำหรับแอลซีดี ที่มีจุดต่อไม่มากนัก ดังรูปที่ 2.21

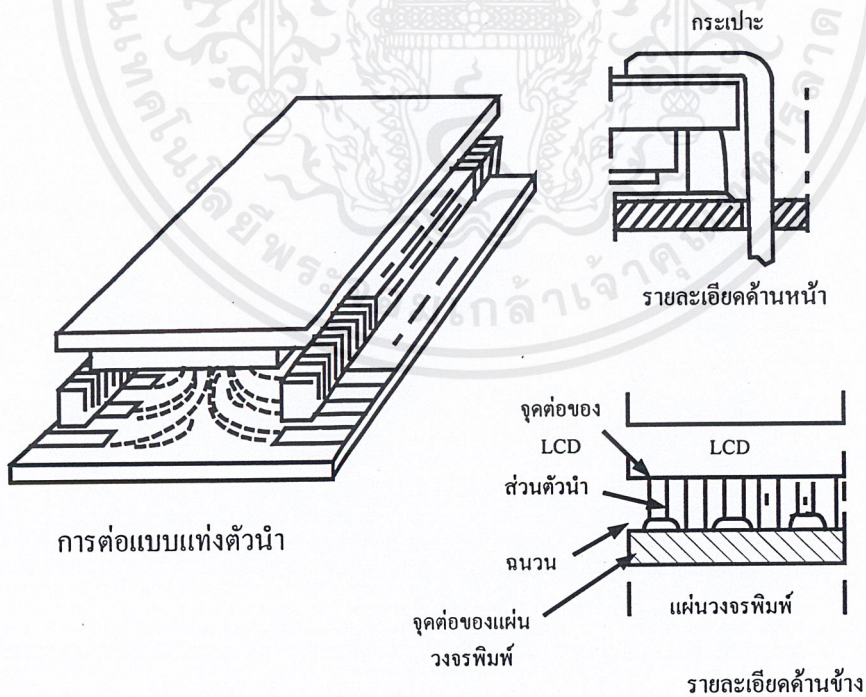


การต่อแบบธรรมดา

รายละเอียดด้านหน้า

รูปที่ 2.21 การต่อแบบธรรมดา

แบบแท่งตัวนำประกอบด้วยตัวนำสัญญาณไฟสลัป และส่วนที่เป็นฉนวน ทั้งสองสิ่งนี้ขึ้นอยู่ระหว่างตัวแอลซีดี กับแผ่นวงจรพิมพ์ การต่อแบบนี้ต้องระวังให้แอลซีดี มีแรงกดบนแท่งตัวนำให้พอเหมาะ ดังรูปที่ 2.22



การต่อแบบแท่งตัวนำ

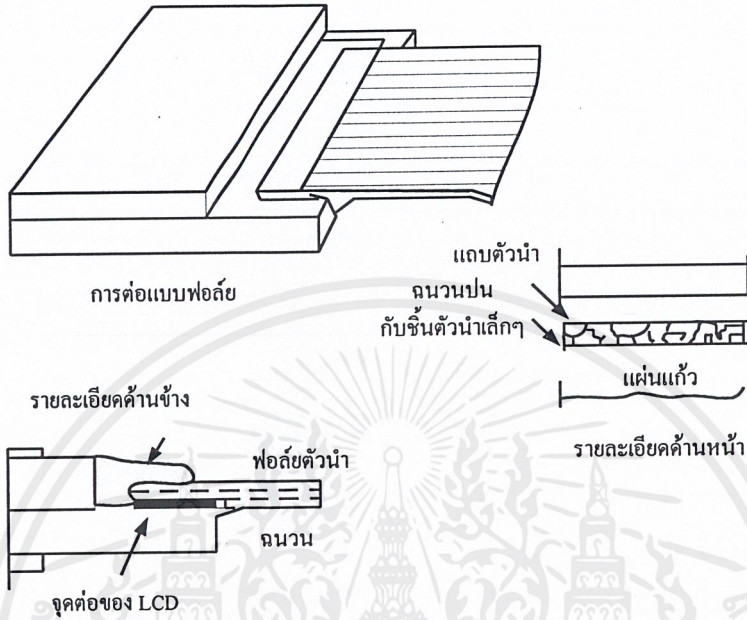
รายละเอียดด้านหน้า

รายละเอียดด้านข้าง

รูปที่ 2.22 การต่อแบบแท่งตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อแบบฟอลซีแสดงดังรูปที่ 2.23 ประกอบด้วยตัวนำยึดแอลซีดี ติดกับแผ่นฟอลซี มักใช้กับตัวแสดงผลที่ต้องการแสงไฟส่องจากด้านหลัง



รูปที่ 2.23 การต่อแบบฟอลซี

### 2.5.11 หลักในการพิจารณาเลือกใช้แอลซีดี

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

2) แหล่งจ่ายแรงดันสำหรับแอลซีดี คือแรงดันที่จ่ายให้กับแอลซีดีโดยตรงในกรณีที่แอลซีดีเป็นแบบโมดูล (แอลซีดีที่มีอุปกรณ์ขับเอาต์พุตอยู่แล้ว เพียงแค่ป้อนสัญญาณที่เป็นข้อมูลเข้าไปเท่านั้น) สำหรับแอลซีดีโมดูลส่วนมากจะมีแรงดันขับที่แตกต่างกัน

3) แรงดันทางอินพุต คือ ค่าแรงดันทางอินพุตของแอลซีดี จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง  $+V_{CC}$  (แรงดันไฟเลี้ยงวงจร)

4) ความละเอียดในการแสดงผล ถ้าเป็นแอลซีดีแบบเซกเมนต์ จะพิจารณาจำนวนหลักของการแสดงผล ซึ่งมาตรฐานหลักของแอลซีดี แบบนี้จะมี 3 หลัก 3.5 หลัก และ  $4\frac{1}{2}$  หลัก เป็นต้น ถ้าหากเป็นแบบจุดเมตริกซ์โมดูล จะมีความละเอียดเป็นจำนวนจุดทางตั้ง หรือเป็นจำนวนจุดต่อพื้นที่การแสดงผลอักขระหนึ่งตัวว่ามีกี่จุด เช่น  $5 \times 7$  จุด เป็นต้น และพื้นที่ของแต่ละจุดจะมีขนาด

กว้าง  $x$  ยาว มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร และยังคงคำนึงถึงจำนวนการแสดงผลที่ตัวอักษรต่อบรรทัด และมีที่บรรทัดในการแสดงผล

5) แหล่งจ่ายกระแสที่เป็นระดับลอจิกนั้น ส่วนมากแอลซีดีต้องการแรงดันในการทำงานประมาณ 5 โวลต์ เท่ากับระดับลอจิกจากไอซีขับแบบต่างๆ และบางครั้งต้องการไฟลบถึง -10 โวลต์ ในบางชนิดหรือบางรุ่น โดยกระแสที่ใช้งานมีค่าประมาณ 2-5 มิลลิแอมป์

6) ชนิดของแอลซีดี โดยทั่วไปแล้วมีให้เลือกใช้อยู่หลายชนิด เช่น แอลซีดี ในตระกูลนีเมติกดิ่งที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น มีให้เลือกใช้อยู่หลายแบบ เช่น แบบตีเกลียว (TN) แบบ Super TN หรือ STN แบบ Double-Layer STN หรือ DSTN และแบบ Film compensation single-Layer STN หรือ FSTN เป็นต้น

7) ลักษณะการแสดงผล เป็นคุณสมบัติการเลือกใช้อัลซีดี ว่าควรจะใช้ประเภทใดจึงจะเหมาะสมกับสภาพการใช้งานในลักษณะต่างๆ กัน โดยพิจารณาความเข้มของแสงสว่างของบริเวณที่จะใช้งาน

8) ขนาดของแอลซีดีโมดูล ขนาดของโมดูลจะเป็นตัวกำหนดขนาดของผลิตภัณฑ์ และพื้นที่ในการติดตั้งจอแอลซีดี

## 2.6 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

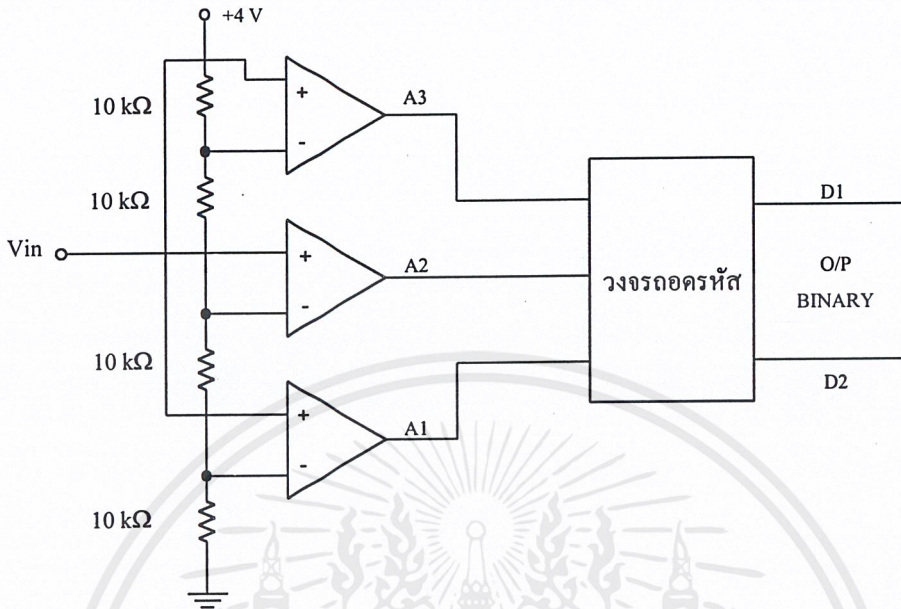
การทำงานของไอซีจำเป็นต้องใช้สัญญาณดิจิทัลในการควบคุมการทำงาน และการประมวลผล เมื่อมีความจำเป็นต้องใช้ไอซีตัวเดียวกับสัญญาณแอนะล็อก ต้องอาศัยกระบวนการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล หรือใช้วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลเข้ามาช่วย โดยวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไปมีดังต่อไปนี้

### 2.6.1 วงจรแบบเปรียบเทียบขนานหรือแบบแฟลช

วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบนี้ใช้หลักการง่ายๆ อีกทั้งยังเป็นวิธีที่รวดเร็วที่สุด คือ ใช้วงจรเปรียบเทียบขนานกัน ดังรูปที่ 2.24

ในรูปที่ 2.24 ประกอบไปด้วยออปแอมป์ที่ต่อเป็นวงจรเปรียบเทียบ และตัวความต้านทานที่เอาไว้เพื่อแบ่งแรงดันที่ขาอินพุตแบบกลับให้มีขนาดต่างๆกัน

จากหลักการของวงจรเปรียบเทียบต่างๆไป เมื่อแรงดันอินพุตที่ขาอินพุตแบบไม่กลับมีค่าสูงกว่าที่ขาอินพุตแบบกลับเอาต์พุตจะได้แรงดันค่าสูง ดังจากตารางที่ 2.2 เอาต์พุต ของ วงจรที่ได้จะนำไปเข้ารหัสให้เป็นเลขฐานสองต่อไป จำนวนของวงจรเปรียบเทียบที่ต้องใช้ในวงจรขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณแอนะล็อกที่อินพุต



รูปที่ 2.24 การต่อวงจร parallel comparator A/D converter

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตที่เป็นแอนะล็อกกับเอาต์พุตที่เป็นดิจิทัล

แรงดันอินพุต Vin (โวลต์)	เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบ			เอาต์พุตเลขฐานสอง	
	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

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

จะเห็นว่าที่ความละเอียด 8 บิต ต้องใช้มากถึง 255 ตัว ซึ่งเป็นข้อเสียของวงจร A/D แบบนี้ ข้อเสียอีกประการหนึ่ง คือ เอาต์พุตที่ไม่ได้เป็นเลขฐานสอง ต้องมีวงจรเพิ่มเติมไปทำการเข้ารหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

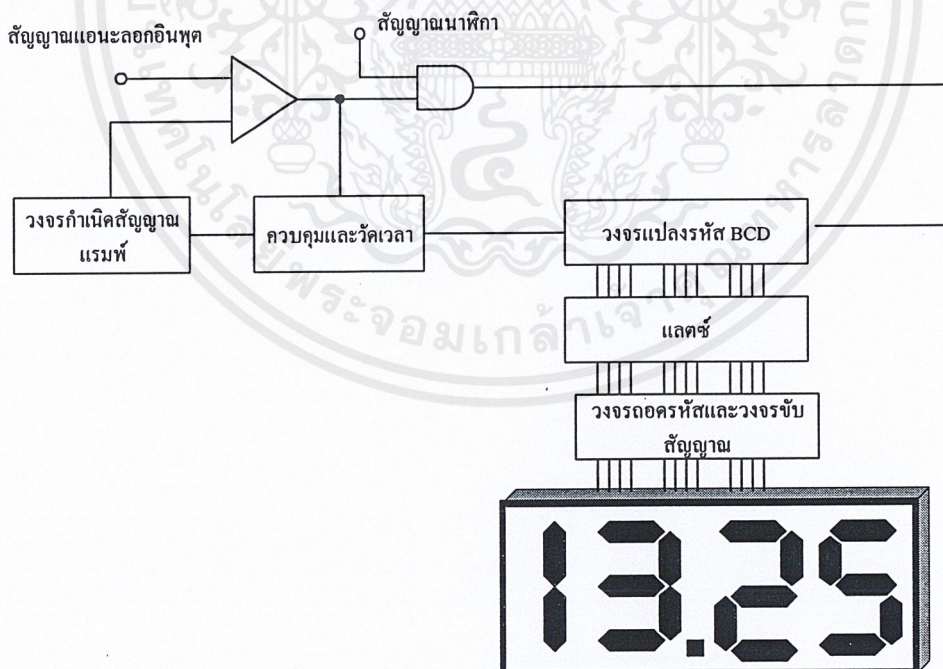
ข้อดีของวงจรแบบนี้ คือ ความเร็วสูงมาก จึงเรียกววงจรแบบนี้ว่าแบบแฟลช วงจรชนิดนี้ใช้เวลาในการแปลงได้เร็วมากเป็นนาโนวินาที

## 2.6.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลที่ใช้ในการอินทีเกรต

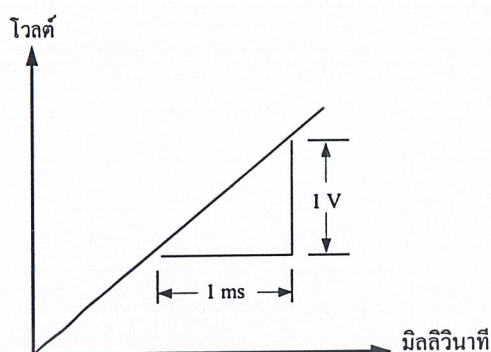
วงจรเปลี่ยนสัญญาณแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลที่ใช้เทคนิคการอินทีเกรตสัญญาณมี 4 แบบ คือ

1) แบบสโลปเคียว หรือแบบเรมปี วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบนี้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.25 ประกอบด้วยวงจรกำเนิดสัญญาณเรมปี วงจร BCD หรือเลขฐานสอง

เมื่อเริ่มทำการเปลี่ยนสัญญาณ สัญญาณเรมปี และวงจรมับจะถูกปรับให้เป็นศูนย์ แรงดันแอนะล็อกถูกป้อน ไปยังวงจรเปรียบเทียบ ทางขาอินพุตแบบไม่กลับ เมื่อแรงดันอินพุตที่งานี้เป็นบวกมากกว่าที่ขาอินพุตแบบกลับ วงจรเปรียบเทียบก็จะทำให้เอาต์พุตเป็นระดับ “1” ทำให้แอนด์เกต ปล่อยสัญญาณนาฬิกาผ่านไปยังวงจรมับได้ และทำให้สัญญาณเรมปีมีแรงดันเป็นบวกมากขึ้นเรื่อยๆ จนมากกว่าระดับแรงดันอินพุต เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบก็จะตกลงมาเป็นระดับ “0” ปิดแอนด์เกต ไม่มีแอนด์เกตไม่มีสัญญาณผ่านไปให้วงจรมับ วงจรมับจะหยุดนับ และเก็บค่าไว้ที่วงจรแลตซ์ จากนั้น จึงทำการปรับวงจรมับและวงจรกำเนิดสัญญาณเรมปี



รูปที่ 2.25 ผังการทำงานของวงจรเปลี่ยนสัญญาณแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบสโลปเคียว



รูปที่ 2.26 ความชันของสัญญาณแรมป์

วงจรในลักษณะนี้มักนำไปใช้งานในการเปลี่ยนเวลาเป็นขนาดของสัญญาณ หรืออาจใช้ในดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ แต่ไม่ใช่กับงานที่ต้องการความถูกต้องสูง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในแหล่งกำเนิดสัญญาณแรมป์ขึ้นกับอุณหภูมิ และผลตอบสนองต่อสัญญาณอินพุต ทำให้ไม่มีความคงที่ ดังนั้น จึงมีการปรับปรุงให้ดีขึ้นกลายเป็นแบบสโโลปคู่

## 2) แบบสโโลปคู่

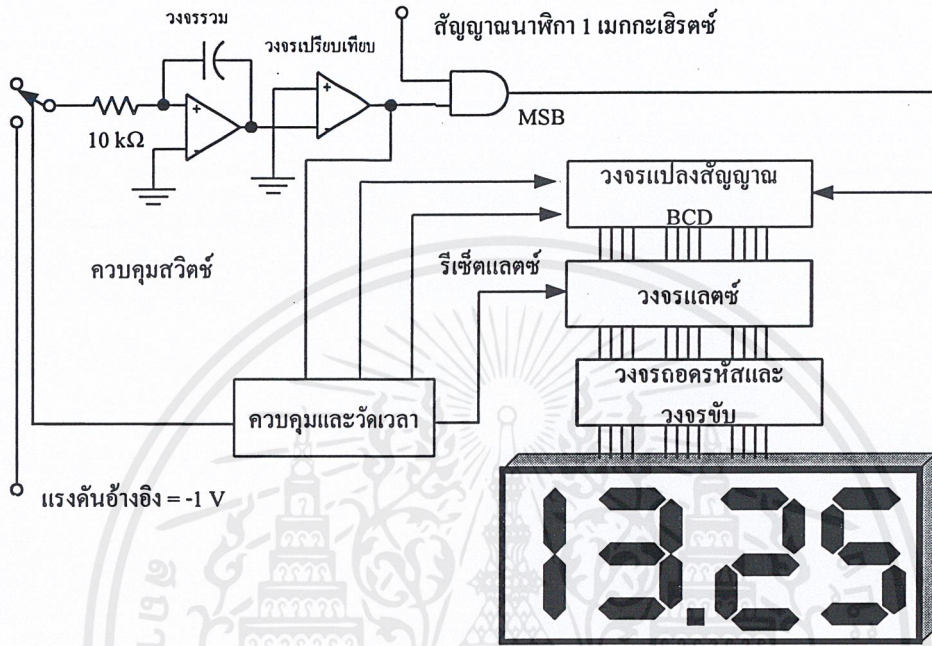
จากรูปที่ 2.27 แสดงผังงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบสโโลปคู่ วงจรส่วนใหญ่คล้ายแบบสโโลปเดี่ยว ซึ่งมีสวิตช์ที่อินพุตเพิ่มขึ้น เพื่อทำการเลือกกระแหว่งแรงดันอินพุตกับแรงดันอ้างอิง (วงจรเปรียบเทียบกับอินพุตกลับกันกับแบบสโโลปเดี่ยว)

ส่วนแรกของวงจร คือ วงจรกำเนิดสัญญาณแรมป์ หรือวงจรอินทิเกรเตอร์ที่อินพุตแบบกลับของออปแอมป์มีสภาพเป็นกราวด์เทียม ถ้ามีแรงดันอินพุต 2 โวลต์ จะได้กระแสไหลผ่านตัวความต้านทาน 10 กิโลโอห์ม เท่ากับ 0.2 มิลลิแอมป์ ไปยังจุดรวม

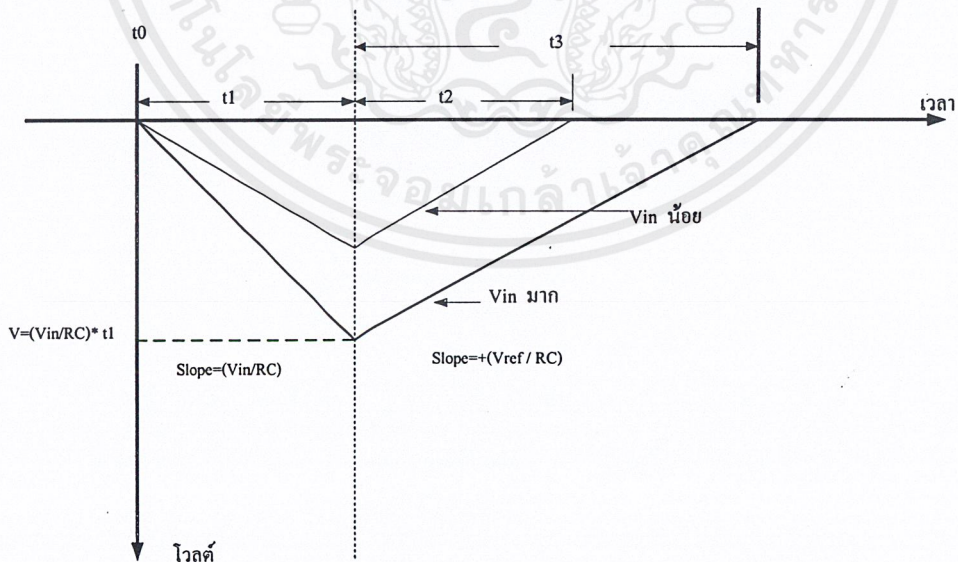
เนื่องจากค่าความต้านทานอินพุตของออปแอมป์สูงมาก กระแสที่ไหลจึงสูงขึ้นผ่านตัวเก็บประจุ ขณะที่ตัวเก็บประจุทำการเก็บประจุ แรงดันที่เอาต์พุตของออปแอมป์จะยิ่งเป็นลบมากขึ้นเรื่อยๆ เพื่อรักษาระดับกระแสให้คงที่ แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจะเป็นสัญญาณแรมป์ที่เป็นเชิงเส้น

จากวงจรในรูปที่ 2.27 เมื่อสวิตช์ต่อกับสัญญาณอินพุตจะทำให้มีแรงดันบวกจากอินพุตป้อนสัญญาณเข้าสู่วงจรอินทิเกรเตอร์ ได้เอาต์พุตออกมาเป็นแรมป์ทางลบ วงจรเปรียบเทียบจะได้แรงดันลบจากวงจรอินทิเกรเตอร์ แล้วให้เอาต์พุตเป็นบวกทำการเปิดแอนด์เกตให้สัญญาณนาฬิกาผ่านเข้าไปสู่วงจรนับ วงจรนับจะนับไปยังค่าที่กำหนดไว้คงที่ ( $t_1$ ) แล้วทำการสับสวิตช์ต่อเข้ากับแรงดันอ้างอิง ในช่วงที่วงจรนับในค่าคงที่นั้น วงจรอินทิเกรเตอร์จะให้สัญญาณแรมป์ทางลบที่มีค่าได้สูงสุดตามแต่ละระดับแรงดันอินพุต เมื่อทำการสวิตช์อินพุตของวงจรอินทิเกรเตอร์ให้ไปที่ค่า

แรงดันอ้างอิงค่าลบ เอาต์พุตของวงจรจึงได้เป็นแรมป์ทางบวกคือช่วง  $t_2$  รูปที่ 2.28 พร้อมๆ กับปรับค่าของวงจรมับลงเป็นศูนย์เพื่อ เริ่มนับใหม่



รูปที่ 2.27 ผังการทำงานของวงจรเปลี่ยนสัญญาณแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโโลคู่



รูปที่ 2.28 เอาต์พุตของวงจรอินทิเกรเตอร์เทียบกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

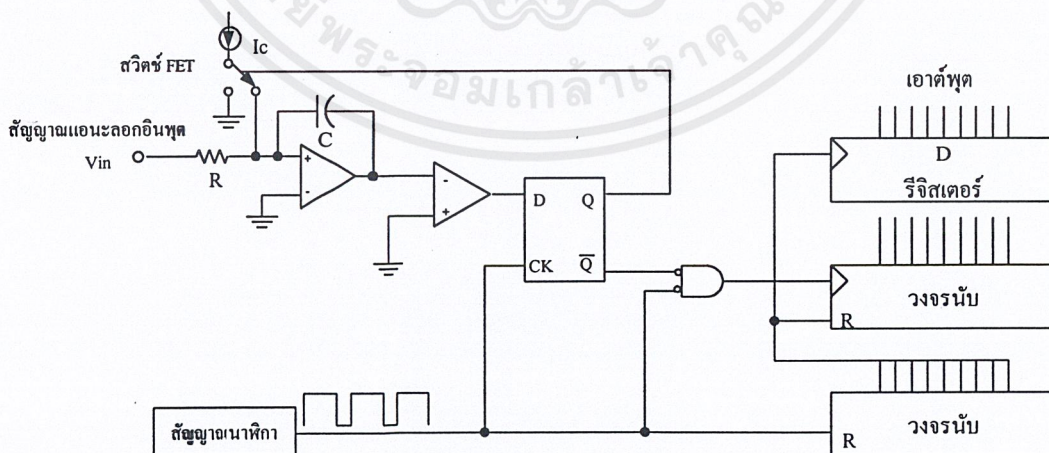
ถ้าแรงดันอินพุตเป็นบวก วงจรอินทิเกรเตอร์จะให้เอาต์พุตเป็นสัญญาณแรมป์ทางลบดังแสดงไว้ในช่วง  $t_1$  รูปที่ 2.28 หากแรงดันอินพุตเป็นลบจะทำให้เอาต์พุตได้แรมป์ทางบวก

เมื่อเอาต์พุตของวงจรอินทิเกรเตอร์เพิ่มขึ้นถึงศูนย์อีกครั้ง เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบกับจะเป็นลบ (หรือเป็นศูนย์) วงจรควบคุมจัดการเปลี่ยนแปลงอันนี้ได้ก็จะส่งสัญญาณสไตรบให้วงจรนับเก็บค่าที่ได้ไว้ที่วงจรเลข หลังจากนั้นก็ปรับให้เป็นศูนย์ และทำการสวิตช์ให้อินพุตของวงจรอินทิเกรเตอร์ต่อกับแรงดันอินพุต ซึ่งเป็นการเริ่มเปลี่ยนสัญญาณอีกรอบหนึ่ง จำนวนที่นับได้ที่เก็บไว้ที่วงจรเลขจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันอินพุต  $V_{in}$

ข้อดีของวงจรเปลี่ยนสัญญาณแบบสโโลปคู่ คือ ความถูกต้องสูง ราคาสูง เสถียรภาพทางอุณหภูมิ ข้อเสีย คือ ความเร็วต่ำ ในการเปลี่ยนสัญญาณ 1 ครั้ง ใช้ เวลาถึง 100 มิลลิวินาที (ในขณะที่แบบแฟลช ใช้เวลาประมาณ 30 นาโนวินาที)

### 3) แบบซาร์จบาลานซ์

วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบนี้ใช้วงจรสำคัญคล้ายกับแบบสโโลปคู่ แต่แทนที่จะให้อินพุตสวิตช์ไปมาระหว่างแรงดันที่ไม่รู้ค่ากับแรงดันอ้างอิง ที่ทำการแทรกพัลส์ของกระแสอ้างอิงมาตรงๆ ที่จุดรวมของวงจรอินทิเกรเตอร์ในช่วงเวลาที่คงที่โดยที่จำนวนของพัลส์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันอินพุตที่ไม่รู้ค่า ประโยชน์ของเทคนิคนี้ คือ แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุของวงจร อินทิเกรเตอร์มีค่าใกล้เคียง 0 โวลต์ ดังนั้น จึงทำให้ไม่เกิดความผิดพลาดที่เกิดจากกระแสรั่วไหล วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลชนิดนี้ จึงมีความถูกต้องกว่าแบบสโโลปคู่



รูปที่ 2.29 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบเคลต้า-ซิกมา

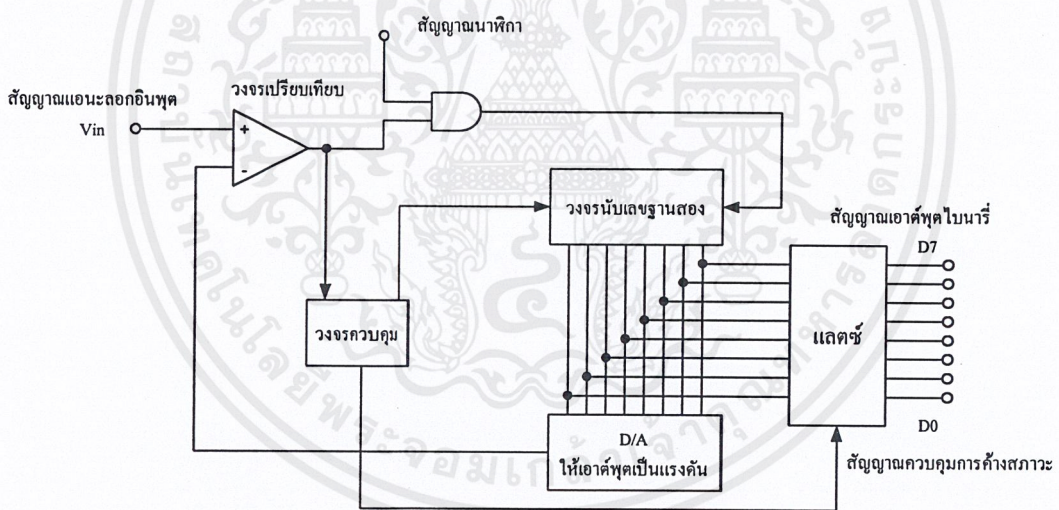
4) แบบเคลตต้า-ซิกม่า

จากวงจรรูปที่ 2.29 เมื่อมีแรงดันอินพุตป้อนเข้าไปที่วงจรรินทีเกรตเตอร์ จะให้เอาต์พุตไปเข้าวงจรเปรียบเทียบ เพื่อเปรียบเทียบกับแรงดันคงที่ (จากรูปคือ กราวด์) พัลซ์ของกระแสที่ได้ขึ้นอยู่กับ เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบ โดยสวิทช์ที่ทำงานจากเฟด จะควบคุมให้กระแสเข้าไปยังที่ จูคร่วม หรือลงกราวด์ไป ส่วนวงจรมับจะนับวงจรพัลซ์ด้วยหลักการที่คล้ายกัน

2.6.3 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลที่ใช้วงจรมับ และวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกประกอบกัน

1) แบบวงจรมับเดี่ยว

สัญญาณแรมป์เชิงเส้น อาจประกอบขึ้นด้วยสัญญาณขั้นบันไดเล็กๆ จำนวนมากที่เกิดจากการต่อเอาต์พุตของวงจรมับเข้ากับวงจรแปลงดีเอชเอช ขนาดของขั้นบันไดแต่ละขั้นขึ้นอยู่กับจำนวนบิตหรือความละเอียดของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลนั้นๆ



รูปที่ 2.30 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิตอลแบบวงจรมับเดี่ยวที่สร้างโดยวงจรมับขึ้นและวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก

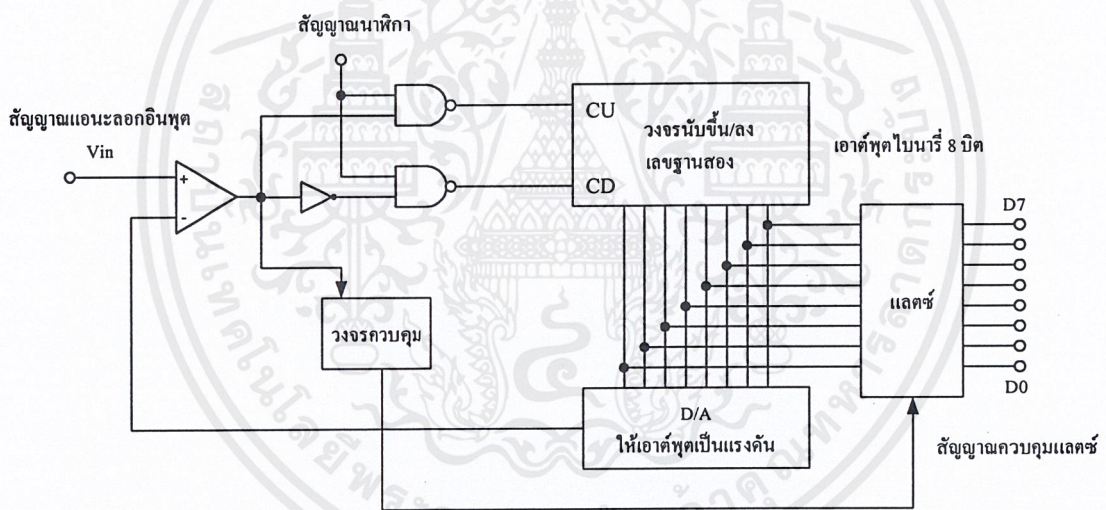
ในรูปที่ 2.30 แสดงการกำเนิดสัญญาณแรมป์เดี่ยวด้วยวงจรมับ และวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก(แทนวงจรรินทีเกรตเตอร์) เมื่อเริ่มแปลงสัญญาณวงจรมับจะถูกรับเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกมีระดับ 0 เมื่อแรงดันถูกป้อนเข้าไปยัง อินพุตของ

วงจรเปรียบเทียบเอาต์พุตก็จะขึ้นสู่ระดับ 1 และเปิดสัญญาณนาฬิกาไปสู่วงจรมับ แต่ผลลัพธ์ของสัญญาณนาฬิกา ทำให้เกิดการนับและเพิ่มแรงดันขึ้นหนึ่งขั้น

เมื่อเอาต์พุตของแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกมีค่ามากกว่าอินพุต  $V_{in}$  เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบจะกลายเป็น 0 ทำให้สัญญาณนาฬิกาไม่อาจผ่านไปยังวงจรมับได้ ดังนั้น วงจรควบคุมจะทำการแลตซ์เอาต์พุตของวงจรมับ และปรับวงจรมับให้เริ่มรอบใหม่อีกครั้งหนึ่ง

2) แบบแทรีกิ้ง

การทำงานของวงจรจะคล้ายกันแบบใช้วงจรมับเดี่ยว แต่การนับจะไม่ได้เริ่มจากศูนย์ แต่ จะทำการนับขึ้น หรือนับลงจากค่าล่าสุดไปยังค่าใหม่ แล้วแต่ว่าแรงดันอินพุตในรอบใหม่มีค่าสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าที่แล้ว ข้อดีของแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบแทรีกิ้ง คือ ทำงานได้เร็วขึ้น



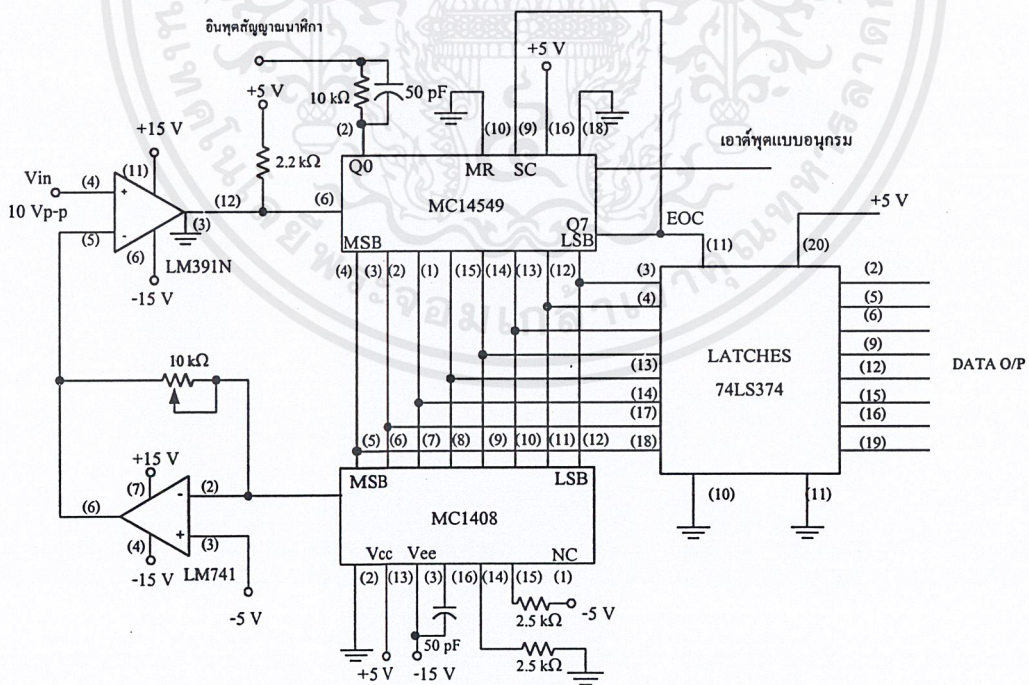
รูปที่ 2.31 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่สร้างขึ้นจากวงจรมับขึ้น/ลง และวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก

3) วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบใช้การประมาณค่า

วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบนี้มีข้อได้เปรียบทางด้านความละเอียด เพราะว่ามีควมละเอียดเป็น  $n$  บิต สามารถกำหนดได้จากสัญญาณนาฬิกา  $n$  ลูก ตัวอย่างเช่น วงจรแปลงขนาด 8 บิต ต้องการพัลส์ของสัญญาณนาฬิกาเพียง 8 ลูก ในขณะที่แบบใช้วงจรมับ ต้องใช้พัลส์ถึง 256 ลูก วงจร SA (Successive-Approximation) แสดงไว้ดังรูปที่ 2.28 ถึงที่

สำคัญของวงจร คือ successive-approximation-register (SAR) เช่น เบอร์ MC14549 มีการทำงานดังต่อไปนี้

เมื่อเริ่มทำการเปลี่ยนสัญญาณพัลส์ลูกแรกจะทำการส่งบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุด (MSB) ไปยังแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก เบอร์ MC1408 โดย SAR จะรอสัญญาณจากวงจรเปรียบเทียบ LM319 ซึ่งทำการตรวจสอบว่าเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกมากกว่า หรือน้อยกว่าแรงดันอินพุต  $V_{in}$  ถ้าเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบมีระดับ “1” เอาต์พุตของแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกจึงต่ำกว่า  $V_{in}$  SAR จะทำการเก็บบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดไว้ ถ้าเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบเป็นระดับ “0” เอาต์พุตของแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกจึงมากกว่า  $V_{in}$  SAR จะทำการทำบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดนั้น พัลส์ลูกต่อมาจะทำงานเช่นเดียวกัน โดยบิตที่ได้ คือ บิตที่มีนัยสำคัญรองลงมา SAR จะทำงานแบบนี้ไปจนถึงบิตที่นัยสำคัญต่ำสุด (LSB) แต่ละบิตจะใช้สัญญาณนาฬิกาเพียงลูกเดียว เมื่อครบทุกบิตแล้ว SAR ก็ จะทำการส่งสัญญาณ EOC (End of Conversion) ออกไปสัญญาณ EOC เป็นตัวบอกว่าสายสัญญาณเอาต์พุตที่ขนานกันมาทุกเส้นมีข้อมูลดิจิทัลของสัญญาณอินพุตครบถ้วนแล้ว ถ้าสัญญาณ EOC ถูกต่อไปยังอินพุตที่เป็นจุดเริ่มการเปลี่ยนสัญญาณ การเปลี่ยนสัญญาณจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง MC14549 ยังสามารถส่งเอาต์พุตดิจิทัลแบบอนุกรมได้อีกด้วยขึ้นอยู่กับการควบคุมของ SAR



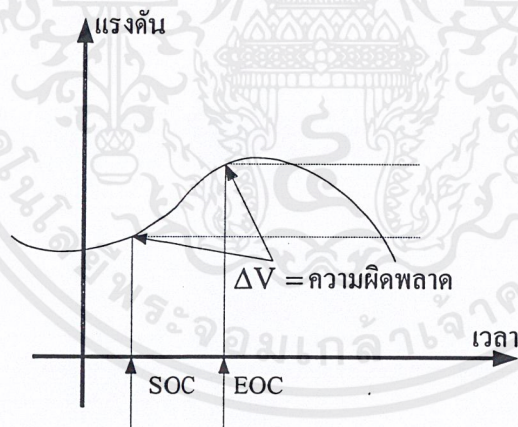
รูปที่ 2.32 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบ Successive Approximation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรูปที่ 2.32 ใช้แรงดันอินพุตสูงสุด  $\pm 5$  โวลต์ อินพุตแบบไม่กลับของออปแอมป์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน ต่อเข้ากับ  $-5$  โวลต์ แทนที่จะต่อลงกราวด์เป็นการยกระดับแรงดันแอนะลอกจาก  $-5$  โวลต์ ถึง  $+5$  โวลต์ แทน  $0$  ถึง  $10$  โวลต์ สัญญาณไฟสลักรูปขายนี้อาจสามารถต่อโดยตรงเข้ากับอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิทัลวงจรนี้ได้ วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิทัลชนิดนี้มีความเร็วสูง และมีความละเอียดสูง จึงเป็นวงจรที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย

#### 2.6.4 การสุ่มและการคงค่า

วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิทัลต้องการเวลาในการแปลงสัญญาณ หรือเรียกว่า conversion time เพื่อเปลี่ยนสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่เหมาะสม ถ้าสัญญาณแอนะลอกมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาการแปลงเอาต์พุตของวงจรเปลี่ยนสัญญาณอาจเกิดความผิดพลาด จึงต้องมีการป้องกันด้วยวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ เพื่อใช้จับสัญญาณแอนะลอกที่จุดเริ่มต้นของการเปลี่ยนสัญญาณ แล้วเก็บไว้ในตัวเก็บประจุระหว่างช่วงเวลาการแปลงหลังจากการเปลี่ยนสัญญาณเสร็จสิ้น จึงจับสัญญาณแอนะลอกค่าใหม่มาเก็บไว้อีกครั้งเป็นเช่นนี้ต่อไป จึงมักได้พบเห็นวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณปรากฏคู่กับวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิทัลอยู่เสมอ



รูปที่ 2.33 ความผิดพลาดที่เกิดจากสัญญาณแอนะลอกทางอินพุตเปลี่ยนแปลง

#### 2.6.5 การป้องกันความผิดพลาดจากสัญญาณแอนะลอกของอินพุตวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิทัล

ในกระบวนการทำงานส่วนใหญ่ของคอมพิวเตอร์จะใช้การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นดิจิทัลเสียส่วนใหญ่ เพื่อใช้ในการควบคุม การบันทึก และการแสดงผล เป็นต้น ซึ่งในการ

ทำงานอาจมีการผิดพลาดขึ้นได้ เนื่องจากสัญญาณแอนะล็อกที่อินพุตไม่อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ และมีสัญญาณรบกวนมาก รวมทั้งแรงดันไฟที่ป้อนที่ไม่คงที่ ดังนั้น จึงต้องมีการสร้างวงจรไว้ป้องกันความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ หรือที่เกิดขึ้นแล้ว เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเป็นผลตามมาจากการทำงานที่ผิดพลาดนั้น ต้องมีการป้องกันความผิดพลาดเอาไว้

วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขึ้นพื้นฐานนั้นมีลักษณะวงจรอยู่ 2 แบบคือ

1) แบบรับแรงดันไฟป้อนเดี่ยว คือ วงจรสามารถทำงานได้กับแรงดันด้านบวกหรือด้านลบเพียงด้านเดียวเท่านั้น เช่น วงจรทำงานในช่วง 0 ถึง 2.55 โวลต์ เป็นต้น

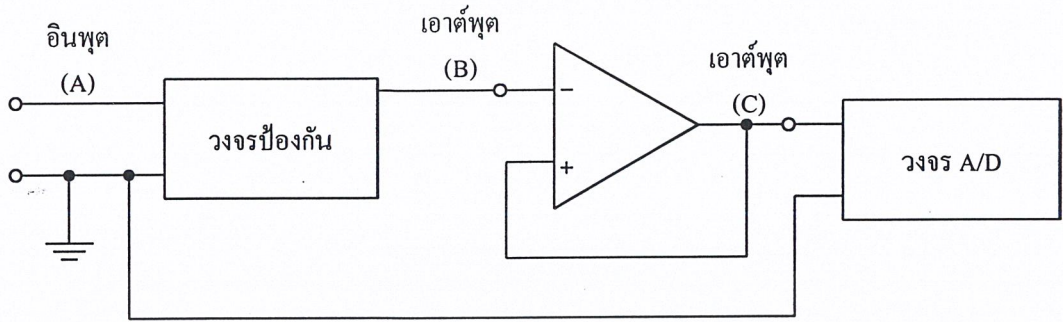
แบบรับแรงดันไฟป้อนคู่ คือ วงจรที่ต้องการแรงดันไฟป้อนแบบบวก ลบ และกราวด์ เป็นแรงดันทางคั่นบวกและลบที่มีค่าเท่ากัน เช่น วงจรจะทำงานในช่วง -2.56 ถึง +2.56 โวลต์ (-2.56 , 0, +2.56 โวลต์) เป็นต้น

2) การยกระดับ หรือการเคลมปลิ่งแรงดันด้วยไดโอด

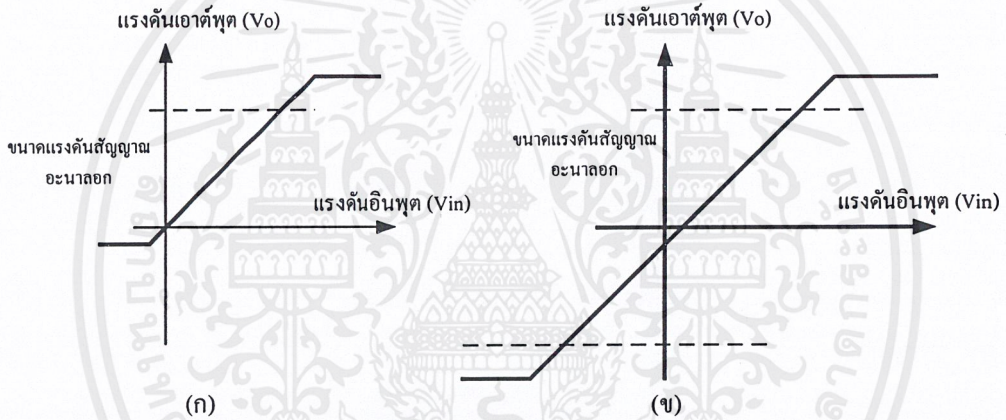
โดยทั่วไปแล้วตามทฤษฎีในทางอุดมคติ อาจกำหนดช่วงของแรงดันอินพุตได้ต่ำลงอีกถึง 0.3 โวลต์ ของแหล่งจ่ายแรงดันเดิม (Vcc) เช่น ที่แหล่งจ่ายไฟเดี่ยว +5 โวลต์ จะสามารถกำหนดขนาดแรงดันทางอินพุตตามทฤษฎีอุดมคติได้ต่ำสุดตั้งแต่ -0.3 โวลต์ จนถึง +5 โวลต์ และถ้าเป็นแบบแหล่งจ่ายไฟคู่  $\pm 5$  โวลต์ จะกำหนดแรงดันอินพุตได้ต่ำสุดตั้งแต่ -5.3 ถึง +5 โวลต์ เป็นต้น ซึ่งช่วงแรงดันอินพุตที่กำหนดขึ้นทั้งสองแบบในอุดมคตินี้ แสดงไว้ในรูปที่ 2.34 การออกแบบวงจรป้องกันจะสืบเนื่องไปจนถึงการพิจารณาเลือกชนิดของแหล่งจ่ายแรงดันด้วย แต่จะใช้แบบไหนก็ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ และวงจรที่ต่อใช้งานร่วม

รูปที่ 2.34 เป็นคุณสมบัติของวงจรป้องกันทางอุดมคติ ซึ่งจะทำให้กราฟของแรงดันทางอินพุตที่ระดับ -0.3 จนถึง +5 โวลต์ (+Vcc) โดยในรูปที่ 2.34 เป็นคุณสมบัติของวงจรป้องกันทางอุดมคติ ซึ่งจะทำให้กราฟของแรงดันทางอินพุตที่ระดับ -0.3 จนถึง +5 โวลต์ (+Vcc) ซึ่งในรูปที่ 2.34 (ก) เป็นของแรงดันไฟป้อนเดี่ยว ส่วนรูปที่ 2.34 (ข) เป็นของแรงดันไฟป้อนคู่ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการเคลมปลิ่งแรงดันที่นอกเหนือ หรือเหนือจากความต้องการของอินพุต

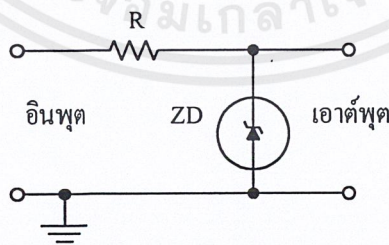
จากรูปที่ 2.35 แสดงวิธีการป้องกันความผิดพลาดของสัญญาณแอนะล็อกที่อินพุตของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลนั้น โดยใช้อปแอมป์ต่อเป็นวงจรขยายแรงดันตาม เปรียบเสมือนเป็นวงจรบัฟเฟอร์ ระหว่างวงจรป้องกันทางอินพุตกับวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล สัญญาณที่ปรากฏตรงอินพุตที่จุด A จะผ่านวงจรป้องกัน และวงจรบัฟเฟอร์ไปปรากฏที่จุด C ดังแสดงในรูปที่ 2.35 การป้องกันความผิดพลาดจะเกิดผลมากที่สุด ถ้าวางขยายแรงดันตามที่ใช้เป็นบัฟเฟอร์ของวงจรแปลงสัญญาณ A/D ใช้แหล่งจ่ายชนิดเดียวกันกับวงจรแปลงสัญญาณนี้ ซึ่งเป็นชนิดใดก็ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟที่ใช้ป้อนวงจรแปลงสัญญาณ



รูปที่ 2.34 ผังการทำงานการจัดส่วนป้องกันทางอินพุต



รูปที่ 2.35 รูปสัญญาณที่เกิดจากการเคลมปลิ่งแรงดันอินพุตในอุดมคติ



รูปที่ 2.36 วงจรป้องกันอย่างง่าย โดยการใช้ซีเนอร์ไดโอดเคลมปลิ่งแรงดัน

จากรูปที่ 2.36 แสดงวงจรอย่างง่ายสำหรับการป้องกัน ซึ่งยังเป็นวงจรที่มีประสิทธิภาพการป้องกันต่ำอยู่ จากวงจรจะเห็นว่า การต่อซีเนอร์ไดโอด เหมือนกับการต่อไบอัสกลับ ของไดโอด ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันอินพุตมากกว่าค่าแรงดันซีเนอร์ไดโอดจะทำให้ซีเนอร์ไดโอดนำกระแส เพื่อป้องกันแรงดันเกินที่อินพุต แต่ถ้าแรงดันที่อินพุตอยู่ในช่วงของค่าแรงดันซีเนอร์ไดโอด ก็จะไม่มีการไหลผ่านตัวซีเนอร์ไดโอดจึงไม่ถูกลดทอน ความแตกต่างระหว่างแรงดันอินพุตกับค่าแรงดันซีเนอร์ไดโอดจะเท่ากับ  $V_i - V_z$  และจะเกิดการตกคร่อมที่ค่าความต้านทาน ซึ่งค่าแรงดันที่ผ่านอินพุตได้โดยยังไม่เกิดการลดทอนสูงสุดเท่ากับ

$$V_i(\max) = V_z + \sqrt{(PR)} \quad (2.25)$$

เมื่อ  $V_z$  คือค่าแรงดันของซีเนอร์ไดโอด (โวลต์)

$R$  คือค่าความต้านทานในวงจร (โอห์ม)

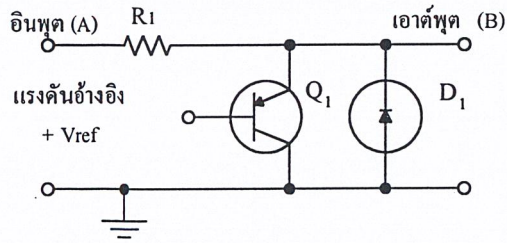
$P$  คือขนาดของกำลังวัตต์ของตัวความต้านทาน (วัตต์)

สำหรับแรงดันอินพุตที่เป็นค่าลบนั้น จะทำให้ซีเนอร์ไดโอดนำกระแสที่ประมาณ 0.4 โวลต์ ถ้าแรงดันอินพุตเป็นค่าแรงดันลบมากจะทำให้กระแสไหลผ่านไดโอดมากเป็นผลให้ซีเนอร์ไดโอดจะเริ่มเข้าสู่จุดทำงาน และเกิดการเคลมปลิงขึ้น เป็นผลให้ที่จุด B มีแรงดันตกคร่อมอยู่ประมาณ -0.7 โวลต์ จากทฤษฎีตรงจุดนี้ จะเห็นว่าการทำงานเช่นนี้เหมาะสำหรับวงจรแปลงสัญญาณ A/D ที่ใช้แหล่งจ่ายไฟป้อนคู่ แต่ไม่เหมาะสมกับวงจรที่ใช้ไฟป้อนเดี่ยว

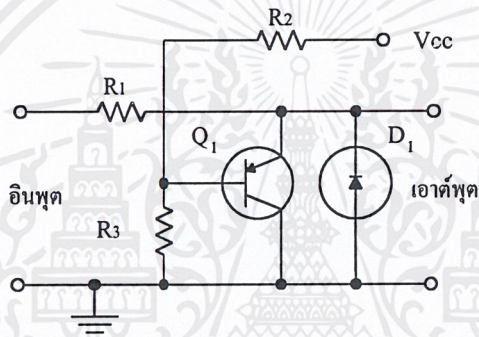
### 3) แคลมปลิงแรงดันด้วยทรานซิสเตอร์

การปรับปรุงโดยการเอาทรานซิสเตอร์มาทำหน้าที่แคลมปลิงแรงดันนั้น ส่วนใหญ่จะจัดวงจรการทำงานแบบอิมิตเตอร์ตาม ดังแสดงในรูปที่ 2.37 เป็นการต่อทรานซิสเตอร์ชนิดพีเอ็นพีร่วมกับไดโอด และความต้านทาน เมื่อมีแรงดันมาตกคร่อมตัวความต้านทาน โดยมีอิมิตเตอร์เป็นโหนด ดังนั้น ทรานซิสเตอร์จะไม่สามารถนำกระแสได้จนกว่าจะได้รับไบอัสตรงระหว่างรอยต่อขาเบส-อิมิตเตอร์ ทรานซิสเตอร์จะเริ่มนำกระแสได้ก็ต่อเมื่อแรงดันที่ขาเบส-อิมิตเตอร์ มีค่าสูงกว่า 0.4 โวลต์ แรงดัน  $V_{ref}$  มีค่าสูงทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม  $V_{bc}$  เกินกว่า 0.4 โวลต์ ทรานซิสเตอร์จึงจะนำกระแส

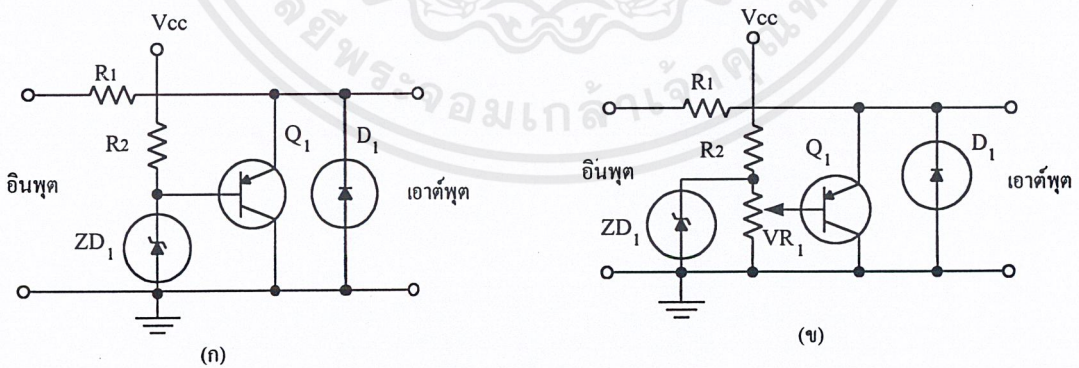
ดังนั้น แรงดันอินพุตที่มีค่าระหว่าง ศูนย์โวลต์ จนถึง แรงดันอ้างอิง  $V_{ref} + 0.4$  โวลต์ จะเป็นแรงดันที่จุด B ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงแรงดันจากจุด A และถูกแคลมปลิงไว้ที่ค่าแรงดันอ้างอิง  $V_{ref}$  บวกกับแรงดันที่ขาเบส-อิมิตเตอร์ เมื่อ  $V_{bc}$  เพิ่มสูงขึ้นเป็น 0.7 โวลต์ กระแสรวมที่ขาอิมิตเตอร์จะเพิ่มขึ้นตามด้วย ไดโอด  $D1$  ทำหน้าที่ป้องกันเมื่อแรงดันอินพุตเป็นลบ และป้องกันเมื่อแรงดันอินพุตเป็นลบ และทรานซิสเตอร์จากค่าจำกัดแรงดันย้อนกลับที่ขาคอลเลกเตอร์-อิมิตเตอร์ ( $V_{ce}$ ) โดยไดโอดจะนำกระแสในลักษณะไบอัสตรง เมื่อแรงดันอินพุตเป็นลบมากขึ้น



รูปที่ 2.37 การต่อทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ตาม แทนซีเนอร์ไดโอด



รูปที่ 2.38 การต่อตัวความต้านทานแบ่งแรงดันอ้างอิงให้ทรานซิสเตอร์



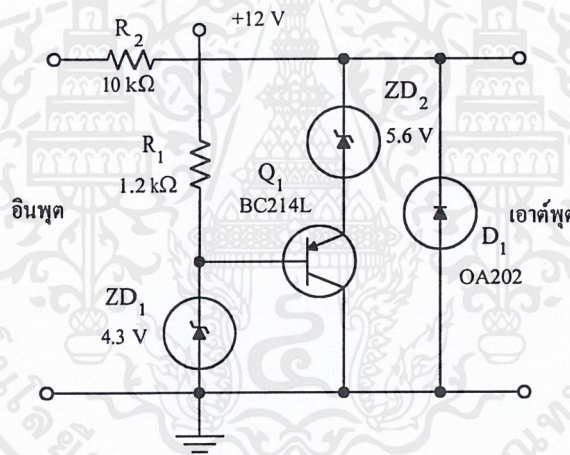
รูปที่ 2.39 (ก) การใช้ซีเนอร์ไดโอดรักษาระดับแรงดันอ้างอิง

(ข) การต่อตัวความต้านทานปรับค่าได้เพื่อปรับความละเอียดของแรงดันอ้างอิง

ในรูปที่ 2.38 แสดงวิธีอย่างง่ายของการสร้างแรงดันอ้างอิงจากการต่อตัวความต้านทานแบบแบ่งแรงดัน จะทำให้เป็นแหล่งจ่ายที่มีประสิทธิภาพดีขึ้น ถ้าประสิทธิภาพไม่เพียงพออาจใช้ซีเนอร์ไดโอดต่อเป็นตัวควบคุมระดับแรงดันอ้างอิงที่แทนดังรูปที่ 2.39 (ก) ถ้าจะให้สามารถปรับแรงดันอ้างอิงให้ได้ค่าตามต้องการ และการถูกต้องอาจต่อตัวความต้านทานแบบปรับค่าได้ เพื่อแบ่งแรงดัน และปรับได้ละเอียดยิ่งขึ้นดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.39 (ข)

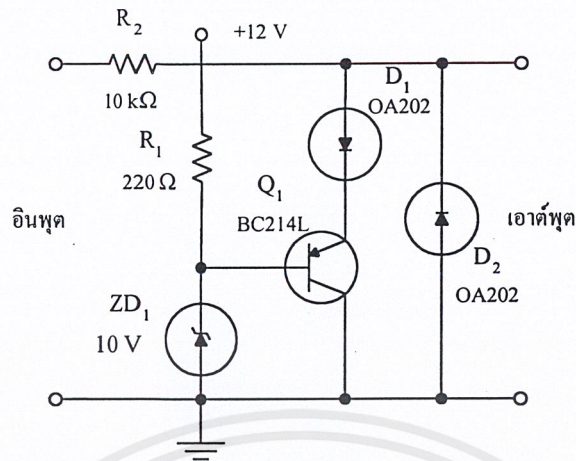
#### 4) ช่วงแรงดันปลอดภัย

ทรานซิสเตอร์ชนิดซิลิกอนจะมีแรงดันเบรกดาวน์ ที่ขาเบส-อิมิตเตอร์ ระดับแรงดันต่ำๆ ปกติจะประมาณ 5-7 โวลต์ ดังนั้นเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ จึงต้องเลือกช่วงแรงดันที่ต่ำกว่าแรงดันเบรกดาวน์ของทรานซิสเตอร์เช่น ในรูปที่ 2.39 จะจำกัดแรงดันไว้ที่ประมาณ 4.5 โวลต์ สำหรับแรงดันอ้างอิง ( $V_{ref}$ ) ของทรานซิสเตอร์จะต้องเลือกช่วงที่มีค่าของแรงดันน้อยกว่าแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดยังไม่นำกระแส



รูปที่ 2.40 การต่อซีเนอร์ไดโอดอนุกรมกับขาอิมิตเตอร์เพื่อเพิ่มช่วงแรงดันการป้องกัน

วงจรในรูปที่ 2.40 เป็นวงจรที่มีคุณภาพดีในทางทฤษฎี โดยได้มีการเพิ่มช่วงการจำกัดแรงดันด้วยการนำซีเนอร์ไดโอดต่ออนุกรมที่ขาอิมิตเตอร์เป็นการป้องกันการนำกระแสของทรานซิสเตอร์

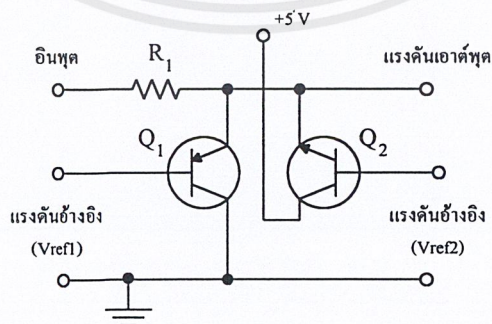


**รูปที่ 2.41** การใช้ไดโอด  $D_2$  ป้องกันการไหลย้อนกลับที่รอยต่อเบส-อิมิตเตอร์เมื่อทรานซิสเตอร์ทำงาน

ในรูปวงจรที่ 2.41 ไดโอด  $D_2$  ทำหน้าที่ป้องกันกระแสไหลย้อนกลับที่รอยต่อเบส-อิมิตเตอร์ ช่วงที่ทรานซิสเตอร์นำกระแส ซึ่งจะได้รับไบอัสกลับ จึงมีเฉพาะค่าแรงดันเบรกควาน์

5) การป้องกันทางแรงดันไฟป้อนเดียว

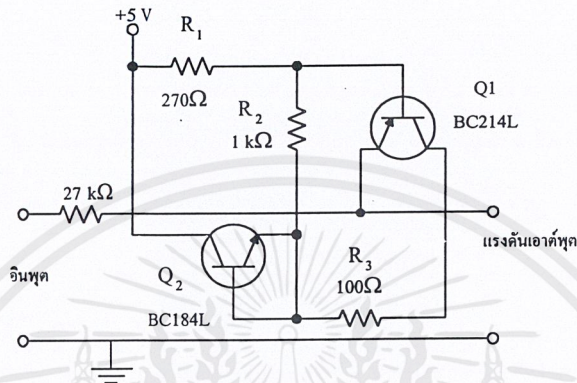
การป้องกันสัญญาณที่อินพุตของแหล่งจ่ายแรงดันไฟป้อนเดียวจะทำให้ยากมาก เพราะว่าสัญญาณแรงดันทางด้านลบจะปรากฏที่จุด B และต้องมีค่าไม่เกิน  $-0.3$  โวลต์ ดังนั้น วิธีแก้ไขสามารถกระทำได้โดยการนำเอาทรานซิสเตอร์ชนิด NPN มาต่อเข้าในวงจรลักษณะอิมิตเตอร์ตามแทนที่ไดโอด  $D_1$  ในวงจรที่ผ่านมา เมื่อแทนที่เข้าไปทรานซิสเตอร์แล้ว จะได้วงจรดังรูปที่ 2.42 ซึ่งทรานซิสเตอร์ทั้งสองชุดนี้ทำหน้าที่ป้องกันร่วมกัน



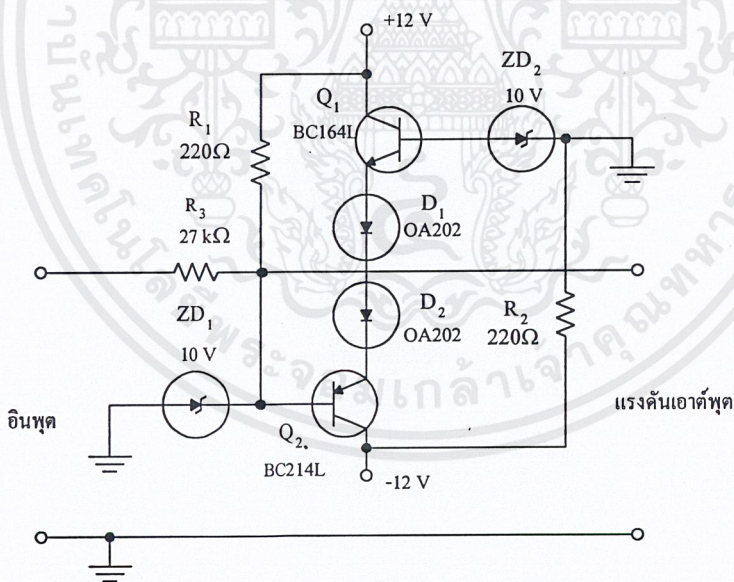
**รูปที่ 2.42** การเพิ่มทรานซิสเตอร์เพื่อการป้องกันแรงดันอินพุตที่เป็นลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.42 จะใช้ตัวความต้านทาน  $R_1$ ,  $R_2$  และ  $R_3$  ต่อกันเป็นวงจรแบ่งแรงดันอ้างอิงให้กับทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัว สำหรับการใช้งานที่ต้องการคุณภาพแน่นอนจะใช้ตัวความต้านทานเมทัลฟิล์ม ซึ่งตัวความต้านทานประเภทนี้จะผิดพลาดเพียงหนึ่งเปอร์เซ็นต์ มีเสถียรภาพทางอุณหภูมิ และเกิดการรบกวนต่ำ



รูปที่ 2.43 การแบ่งแรงดันอ้างอิงให้กับทรานซิสเตอร์ด้วยตัวความต้านทาน  $R_1$ ,  $R_2$  และ  $R_3$



รูปที่ 2.44 การจัดวงจรป้องกันโดยจำกัดค่าแรงดันอินพุตไม่เกิน  $\pm 10$  โวลต์

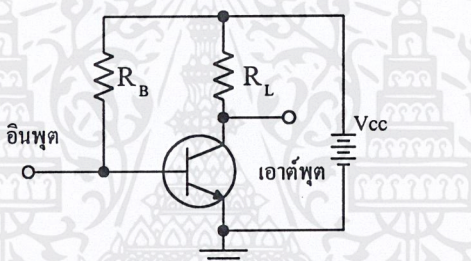
#### 6) การป้องกันทางแรงดันไฟป้อนคู่

จะใช้หลักการพิจารณาลักษณะ แบบแรงดันไฟเดี่ยว ซึ่งง่ายในการป้องกันช่วงแรงดันที่อาจจะอยู่กลาง หรือไม่กลางที่ประมาณศูนย์ ในกรณีขาเบสของ  $Q_2$  มีระดับแรงดันอ้างอิงเป็นลบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

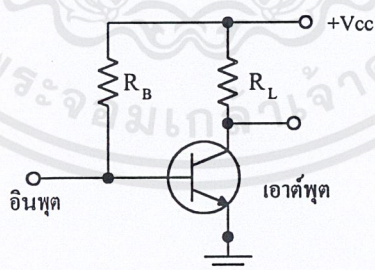
ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.44 ซึ่งเหมาะสมสำหรับการป้องกันช่วงสัญญาณแอนะล็อกที่มีค่าแรงดันประมาณ  $\pm 10$  โวลต์

## 2.7 วงจรขยายสัญญาณ

รูปแบบโดยทั่วไปของวงจขยายทรานซิสเตอร์ คือ วงจรเบสร่วม วงจรอิมิตเตอร์ร่วม และ วงจรคอลเลคเตอร์ร่วม วงจรทั้งหมดนี้ต้องการแรงดันไบอัสสองแหล่งจ่าย โดยที่รอยต่อ เบส-อิมิตเตอร์ ต้องการรับแรงดันแบบไบอัสตรงและ รอยต่อ เบส-คอลเลคเตอร์ ต้องการรับแรงดันไบอัสกลับ อย่างไรก็ตามในแรงดันไบอัสทั้งสองสามารถจ่ายจากแหล่งจ่ายตัวเดียวได้ เพราะว่าโดยทั่วไปจะใช้วงจรคอมมอนอิมิตเตอร์ ซึ่งหลักการโดยทั่วไปจะเหมือนกับคอมมอนเบส และคอมมอนคอลเลคเตอร์



รูปที่ 2.45 วงจรขยายแบบอิมิตเตอร์ร่วมพร้อมแหล่งจ่ายแรงดันเดียว



รูปที่ 2.46 ผังการทำงานของวงจขยายคอมมอนอิมิตเตอร์พร้อมกับแหล่งจ่ายแรงดันเดียว

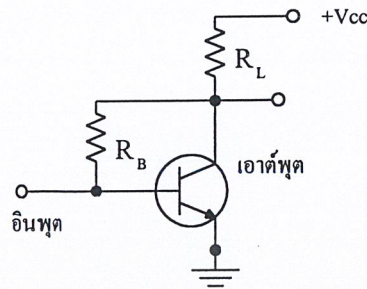
จากรูป 2.46 แสดงวงจขยายทรานซิสเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วม ซึ่งใช้แหล่งจ่ายแรงดันเพียง แรงดันเดียว รูปวงจการทำงานแสดงในรูปที่ 2.46 แหล่งจ่ายแรงดันกำหนดให้เป็น +Vcc สัญลักษณ์กราวด์ คือ ไฟลบบของแรงดัน + Vcc แหล่งจ่ายแรงดันเดียวจะทำให้การไบอัสที่เหมาะสม

แก่รอยต่อเบสและอิมิตเตอร์ และรอยต่อเบส-คอลเลกเตอร์ ตัวความต้านทาน  $R_B$  และ  $R_L$  ใช้เพื่อกระจายแรงดันออกให้เหมาะสมกับการทำงาน โดยที่ตัวความต้านทาน  $R_L$  คือตัวความต้านทานของโหลดนั่นเอง เมื่อกระแสคอลเลกเตอร์ไหลจะเกิดแรงดันตกคร่อม  $R_L$  และตกคร่อมรอยต่อคอลเลกเตอร์ และ อิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ด้วย ตัวความต้านทาน  $R_B$  ซึ่งต่ออยู่ระหว่างเบส และแหล่งจ่ายแรงดันจะใช้เป็นตัวควบคุมปริมาณกระแส ซึ่งจะนำไปไบอัสให้แก่เบส กระแสเบสจะไหลผ่านตัวความต้านทาน  $R_B$  ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวมัน และแรงดันส่วนใหญ่จากแหล่งจ่ายจะตกคร่อมตัวความต้านทาน  $R_B$  ด้วย จะมีแรงดันปริมาณน้อยเท่านั้น ที่จะตกคร่อมอยู่ที่รอยต่อเบส-อิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ ทั้งนี้เพื่อทำให้เกิดความเหมาะสมต่อการไบอัส แหล่งจ่ายแรงดันเดียวสามารถจ่ายแรงดันตรง และแรงดันกลับได้ สำหรับทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็นพีเอ็น เบส และคอลเลกเตอร์ต้องมีศักย์เป็นบวกเมื่อเทียบกับอิมิตเตอร์ ดังนั้น แรงดันจากแหล่งจ่ายสามารถต่อกับเบสและคอลเลกเตอร์โดยผ่านตัวความต้านทาน  $R_B$  และ  $R_L$  วงจรนี้บ่อยครั้งถูกเรียกว่าวงจรเบสไบอัส เพราะว่ากระแสเบสถูกควบคุมด้วยตัวความต้านทาน  $R_B$  และแหล่งจ่ายแรงดันสัญญาณอินพุตถูกจ่ายระหว่างเบสกับอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ของทรานซิสเตอร์ หรือระหว่างขั้วอินพุตกับกราวด์ สัญญาณอินพุตจะเป็นแรงดัน ไบอัสตรงที่เหมาะสมตกคร่อมที่รอยต่ออิมิตเตอร์ เป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสคอลเลกเตอร์ ซึ่งหลังจากนั้นจะทำให้แรงดันที่ตกคร่อม  $R_L$  เกิดการเปลี่ยนแปลงและจะได้สัญญาณเอาต์พุตกับกราวด์

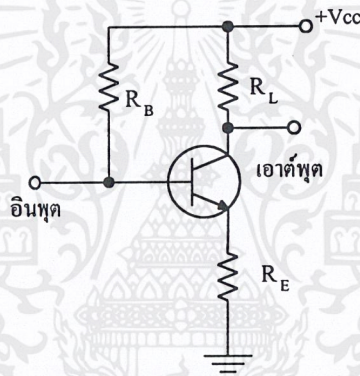
วงจรในรูปที่ 2.45 จะขาดความเสถียรภาพ เพราะไม่สามารถชดเชยการเปลี่ยนแปลงของกระแสเบส ขณะที่ไม่มีสัญญาณจ่ายเข้ามาได้ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงเป็นเหตุอย่างหนึ่งซึ่งทำให้ความต้านทานภายในทรานซิสเตอร์เปลี่ยนแปลงเป็นผลให้กระแสไบอัสเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย และจุดทำงานของทรานซิสเตอร์เกิดการเลื่อนอัตราขยายของทรานซิสเตอร์ลดลง ซึ่งขบวนการที่กล่าวมานี้เรียกว่าความไม่เสถียรเนื่องจากอุณหภูมิ

ในการชดเชยอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในวงจรขยายทรานซิสเตอร์นั้น ถ้าเรานำสัญญาณเอาต์พุตส่วนที่ไม่ต้องการไปป้อนกลับให้แก่วงจรอินพุต สัญญาณจะมีการเปลี่ยนแปลงในทางตรงกันข้ามซึ่ง เรียกว่าการป้อนกลับ ดังแสดงในรูปที่ 2.47 ในวงจรที่มีการป้อนกลับนั้น ตัวความต้านทาน  $R_B$  จะถูกนำไปต่อโดยตรงกับคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์

กระแสจะไหลผ่านตัวความต้านทาน  $R_B$  และมีแรงดันตกคร่อมที่  $R_B$  ด้วย ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น กระแสคอลเลกเตอร์จะเพิ่มตามไปด้วย และแรงดันที่ตกคร่อม  $R_L$  จะเพิ่มขึ้น ส่วนแรงดันคอลเลกเตอร์-อิมิตเตอร์จะลดลง และแรงดันที่จ่ายไปยัง  $R_B$  ลดลงตามไปด้วย เป็นผลให้มีการลดกระแสเบสลง ซึ่งจะทำให้กระแสคอลเลกเตอร์ลดลงในที่สุด ซึ่งการทำเช่นนี้เราเรียกว่าวงจรป้อนกลับที่คอลเลกเตอร์



รูปที่ 2.47 วงจรขยายแบบคอมมอนอิมิตเตอร์ พร้อมกับการป้อนกลับที่คอลเลคเตอร์

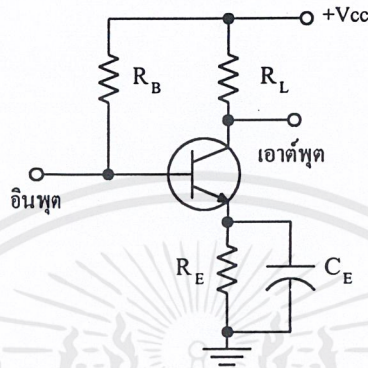


รูปที่ 2.48 วงจรขยายแบบคอมมอนอิมิตเตอร์ พร้อมกับการป้อนกลับที่อิมิตเตอร์

จากรูปที่ 2.48 แสดงการป้อนกลับที่อิมิตเตอร์มีตัวความต้านทาน  $R_E$  มาต่อที่ขาอิมิตเตอร์ ตัวความต้านทาน  $R_B$  และ  $R_E$  และรอยต่ออิมิตเตอร์-เบสของทรานซิสเตอร์จะต่อกันในลักษณะอนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดัน  $V_{cc}$  เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็นเหตุให้กระแสคอลเลคเตอร์ไหลมากขึ้นตามไปด้วยทำให้แรงดันตกคร่อมตัวความต้านทาน  $R_E$  เพิ่มขึ้น และแรงดันตกคร่อม  $R_B$  ลดลง ทำให้กระแสเบสไหลน้อยลง ซึ่งจะทำให้ทั้งกระแสคอลเลคเตอร์ และกระแสอิมิตเตอร์ไหลน้อยลงตามไปด้วย ทั้งนี้เพราะผลจากการป้อนกลับที่อิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์นั่นเอง

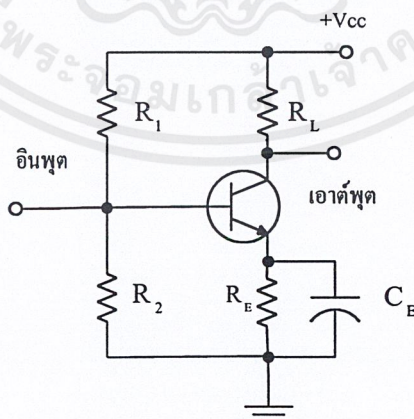
ปัญหาที่เกิดขึ้นมาสำหรับวงจรคอมมอนอิมิตเตอร์ พร้อมกับการป้อนกลับที่อิมิตเตอร์ คือ เมื่อสัญญาณอินพุตเป็นไฟสลับจ่ายแรงดันตกคร่อมตัวความต้านทาน  $R_E$  และตกคร่อมตัวความต้านทานโหลด  $R_E$  รวมทั้งตัวทรานซิสเตอร์ด้วย ทำให้อัตราขยายทั้งหมดของวงจรลดลง ดังนั้น จึงเพิ่มตัวเก็บประจุคร่อมตัวความต้านทานอิมิตเตอร์  $R_E$  ดังแสดงในรูปที่ 2.49 สัญญาณไฟสลับจะผ่านตัว

เก็บประจุ  $C_E$  นี้ โดยที่ตัวเก็บประจุ  $C_E$  จะเป็นตัวป้องกันการเปลี่ยนแปลงแรงดันทันทีทันใดที่ปรากฏต่อคร่อมตัวความต้านทาน  $R_E$  และยังมีหน้าที่รักษาแรงดันตกคร่อมให้คงที่  $R_E$  ในขณะที่ตัวความต้านทาน  $R_E$  ทำหน้าที่เป็นตัวความต้านทานป้อนกลับ



รูปที่ 2.49 การป้อนกลับที่อิมิตเตอร์ พร้อมกับตัวเก็บประจุ  $C_E$

วงจรป้อนกลับแบบแบ่งแรงดัน ดังแสดงในรูปที่ 2.50 เป็นวงจรที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ตัวความต้านทาน  $R_1$  จะมีแรงดันตกคร่อมน้อยกว่าตัวความต้านทาน  $R_2$  โดยที่แรงดันที่เบสเทียบกับกราวด์จะเท่ากับแรงดันตกคร่อมตัวความต้านทาน  $R_2$  จุดประสงค์ของการแบ่งแรงดันก็เพื่อให้แรงดันที่ตกคร่อมเบสกับกราวด์มีค่าคงที่



รูปที่ 2.50 วงจรขยายแบบคอมมอนอิมิตเตอร์พร้อมกับการป้อนกลับแบบแบ่งแรงดัน

ดังนั้น กระแสที่ไหลผ่านตัวความต้านทาน  $R_2$  ไปยังกราวด์จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม  $R_2$  มีศักย์ที่เบสเป็นบวกเทียบกับกราวด์ เนื่องจากมีกระแสอิมิตเตอร์ไหลผ่านตัวความต้านทาน  $R_E$  จึงทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวความต้านทาน  $R_E$  ขึ้น โดยมีศักย์บวกอยู่ที่ขาอิมิตเตอร์แรงดันที่ตกคร่อมรอยต่อเบส-อิมิตเตอร์จะเกิดขึ้นจากความต่างศักย์ระหว่างแรงดันบวกสองแรงดัน คือ แรงดันตกคร่อมตัวความต้านทาน  $R_2$  และแรงดันตกคร่อมตัวความต้านทาน  $R_E$  สำหรับแรงดันไบอัสตรงที่เหมาะสมจะปรากฏขึ้นเมื่อแรงดันบวกที่เบสมากกว่าแรงดันบวกที่อิมิตเตอร์เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้กระแสคอลเลกเตอร์ และกระแสอิมิตเตอร์ไหลเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเป็นเหตุให้แรงดันตกคร่อมตัวความต้านทาน  $R_E$  เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลให้ที่ขาอิมิตเตอร์มีศักย์บวกเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกราวด์และแรงดันไบอัสตรงตกคร่อมรอยต่อเบส-อิมิตเตอร์ลดลง จึงทำให้กระแสเบสลดลงด้วย การลดลงของกระแสเบสจะเป็นผลต่อเนื่อง ทำให้กระแสคอลเลกเตอร์และกระแสอิมิตเตอร์ลดลงตามไปด้วย และในทางกลับกันเมื่ออุณหภูมิลดลงจะทำให้กระแสเบสไหลเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้กระแสคอลเลกเตอร์ และอิมิตเตอร์ไหลเพิ่มขึ้นด้วย

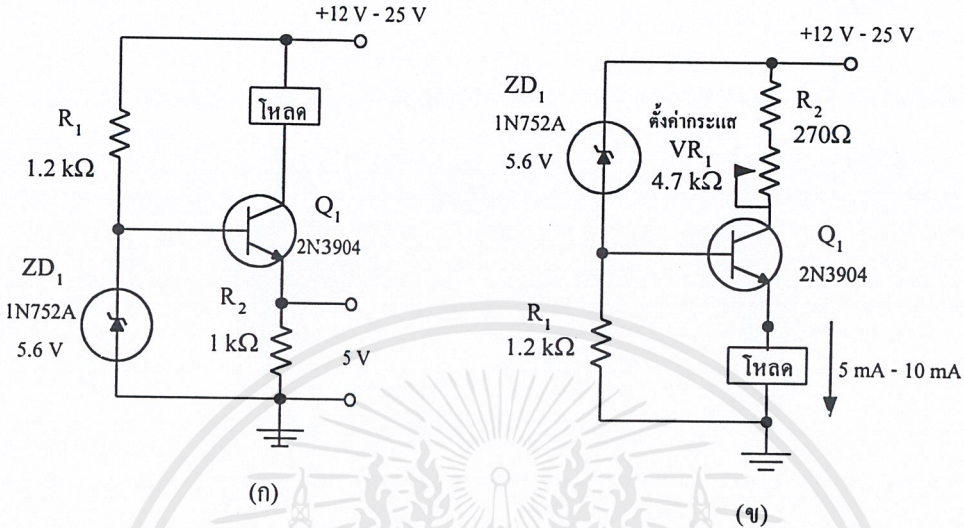
## 2.8 วงจรกำเนิดกระแสคงที่

ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์สามารถนำมาทำหน้าที่จ่ายกระแสคงที่ให้กับวงจร หรืออุปกรณ์อื่นๆ ได้ โดยจัดการทำงานไว้ในแบบคอลเลกเตอร์ร่วมที่ใช้เทคนิคพิเศษ หรือถูกนำมาใช้ในแหล่งจ่ายไฟที่อาศัยขาคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์เป็นตัวจ่ายกระแสคงที่ให้กับอุปกรณ์ภายนอก ดังวงจรจ่ายกระแสคงที่ที่แสดงในรูปที่ 2.51 (ก) จะเห็นว่าตัวความต้านทาน  $R_2$  ค่า 1 กิโลโอห์ม ทำหน้าที่เป็นโหลดให้กับขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์  $Q_1$  และตัวความต้านทานที่ต่ออนุกรมกับซีเนอร์ไดโอด ( $R_1$  และ  $ZD_1$ ) จะเป็นชุดจ่ายแรงดันอ้างอิงเพื่อไบอัสให้กับขาของ  $Q_1$  มีค่าเท่ากับ 5.6 โวลต์ตามค่าของ  $ZD_1$

จากการไบอัสแรงดันที่ขาเบส 5.6 โวลต์ จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมระหว่างอิมิตเตอร์กับขาเบสของ  $Q_1$  มีค่าเท่ากับ 600 มิลลิโวลต์ พร้อมกับแรงดันตกคร่อม  $R_1$  เท่ากับ 5 โวลต์ เป็นผลทำให้เกิดการไหลของกระแสคงที่ 5 มิลลิแอมป์ไหลผ่านค่าความต้านทาน (โหลด) ผ่านขาคอลเลกเตอร์ไปยังขาอิมิตเตอร์ตามคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์กระแสอิมิตเตอร์จะมีขนาดเท่ากัน

สิ่งที่พิจารณาอันดับแรก คือ ถ้ากระแสคงที่มีขนาดหรือปริมาณสูงแล้วกำหนดได้จากค่าแรงดันอ้างอิงที่ขาเบส และค่าความต้านทานโหลดที่ขาอิมิตเตอร์ ( $R_2$ ) ผลที่ได้ตามมา คือ ค่ากระแสคงที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้จากการเปลี่ยน หรือปรับค่าอุปกรณ์หรือพารามิเตอร์ต่างๆ ในรูปที่ 2.51 (ข) เป็นการปฏิบัติตามสมมติฐาน จากรูปที่ 2.51 (ก) แต่ในรูปที่ 2.51 (ข) ได้ทำการเปลี่ยนมาใช้กราวด์มาเป็นจุดอ้างอิง เพื่อเป็นการเปรียบเทียบให้กับกระแสคงที่ให้กับเอาต์พุต และสามารถทำงานได้

ตัวความต้านทานปรับค่า  $VR_1$  ที่ต่ออนุกรมกับขาคอลเลกเตอร์จะใช้ปรับค่าของกระแสที่ โดยสามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 1-10 มิลลิแอมป์



รูปที่ 2.51 (ก) วงจรจ่ายกระแสคงที่  
(ข) วงจรจ่ายกระแสคงที่มีกราวด์เป็นจุดอ้างอิง

ข้อสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในวงจรกระแสคงที่ของกระแสไฟฟ้าผ่านความต้านทานทางเอาต์พุตค่าสูงๆ ปกติแล้วประมาณ 100 กิโลโอห์ม แต่ในทางปฏิบัติจะไม่มีค่าสำคัญมากนัก เนื่องจากมีค่ามากเกินไปความต้องการ

วงจรจ่ายกระแสคงที่นี้ หากต้องการความเที่ยงตรงจะต้องคำนึงถึงลักษณะของแรงดันอ้างอิงของวงจร ซึ่งสามารถปรับหรือเปลี่ยนแปลงได้กำจัดผลของการจ่ายกำลังงานที่เปลี่ยนแปลงและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโดยรอบของทรานซิสเตอร์ ซึ่งลักษณะการปรับปรุงวงจรของรูปที่ 2.51 (ก) และรูปที่ 2.51 (ข) สามารถปรับปรุงมาเป็นวงจรใหม่โดยแสดงดังรูปที่ 2.52 (ก) โดยตัวความต้านทาน  $R_1$  ในวงจรกำหนดให้มีกระแสไหลผ่าน 5 มิลลิแอมป์ คงที่ สามารถแสดงได้โดยเป็นรูปวงกลม สองวงทับกันอยู่ ดังแสดงในวงจรที่ขาเบสของ  $Q_1$

ดังนั้น กระแสคงที่ที่จะถูกกำหนดจากค่ากระแสที่ไหลผ่าน  $ZD_1$  และแรงดันที่ตกคร่อมขาเบสกับกราวด์ ซึ่งคือแรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงจากการปรับระหว่างแรงดันจากแหล่งจ่ายจนถึงครึ่งหนึ่งของแรงดันนั้น และวงจรที่มีความเที่ยงตรงสูงมาก ถ้ามาตรฐานการผลิตซีเนอริไดโอดจากโรงงานได้มาตรฐานเดียวกันจะอ้างอิงถึงมาตรฐานประสิทธิภาพทางอุณหภูมิของ  $ZD_1$  โดยกำหนดไว้ที่ 2 มิลลิโวลต์ต่อ 1 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะสมกับกับอุณหภูมิ ระหว่างขาเบสกับขาคอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์  $Q_1$  ได้ดี



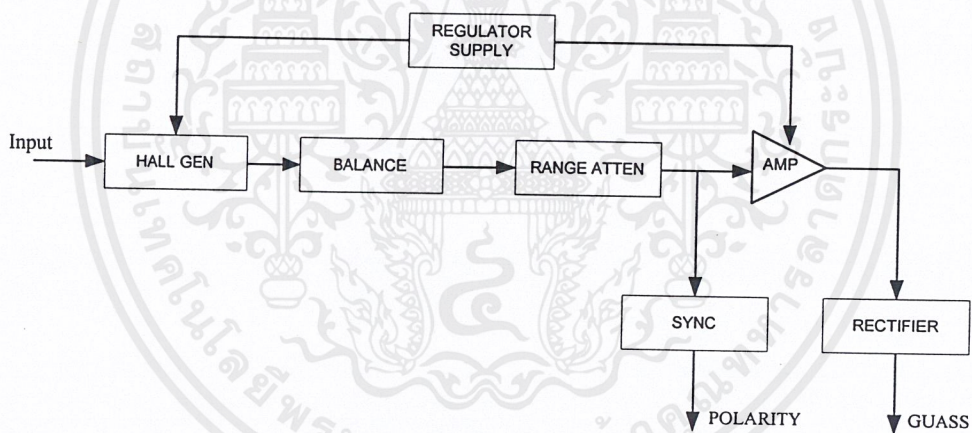
# บทที่ 3

## การออกแบบ การสร้างและการทำงาน

### 3.1 กล่าวนำ

บทนี้เป็นกล่าวถึงรายละเอียดของการออกแบบวงจรส่วนแสดงผล การออกแบบภาคขยาย และการออกแบบย่านการวัดต่าง ๆ พร้อมทั้งหลักการการทำงานของเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กแบบตัวเลข นอกจากนี้ยังมีรายละเอียด การสร้าง การปรับแต่งวงจรส่วนแสดงผล รายละเอียดของเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำปริญญาโท ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

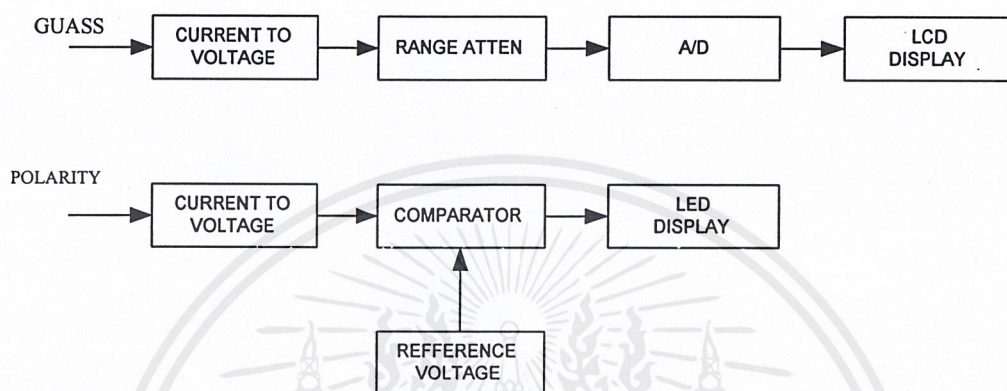
### 3.2 หลักการทำงานของเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กแบบตัวเลข



รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานของวงจรส่วนวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก

จากรูป 3.1 วงจรออสซิลเลเตอร์ภายในวงจรจ่ายกระแสที่ จะผลิตความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับความถี่ที่ได้จากภาคกำเนิดฮอลล์ โดยจะทำการเปรียบเทียบกันที่วงจรสมมูล ผลการเปรียบเทียบที่ได้จะเป็นค่าแรงดันผลต่าง ซึ่งจะถูกส่งไปให้วงจรขยายโดยผ่านชุดลดทอนย่านการวัดเพื่อให้เหมาะสมกับการวัดแต่ละย่าน เอาต์พุตที่ได้จากภาคขยายจะแยกออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนแรกส่งไปให้ชุดค่าวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กโดยผ่านวงจรเรียงกระแส ส่วนที่สองส่งไปให้ภาค

ซึ่งโครโนซ์ เพื่อใช้ในการแสดงชั่วแม่เหล็ก และส่วนสุดท้ายคือ Scope เป็นส่วนที่สามารถใช้ออสซิลโลสโคปวัดค่าความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กได้



รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของส่วนแสดงผล

จากรูป 3.2 ที่จุด A จะได้รับกระแสที่ได้จากวงจรเรียงกระแส ซึ่งจะมีค่าสูงสุด 100 ไมโครแอมป์ หลังจากนั้นวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดันจะทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสเป็นแรงดันไฟตรงเพื่อส่งให้วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแล้วส่งไปแสดงผลด้วยแผงแสดงผลแบบแอลซีดี ที่จุด B จะได้กระแสค่า 22 ไมโครแอมป์ 50 ไมโครแอมป์ หรือ 78 ไมโครแอมป์ โดยขึ้นอยู่กับชั่วแม่เหล็กที่ทำการวัด ค่ากระแสที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันแล้วส่งให้วงจรเปรียบเทียบแล้วนำผลการเปรียบเทียบค่าไปแสดงชั่วแม่เหล็ก

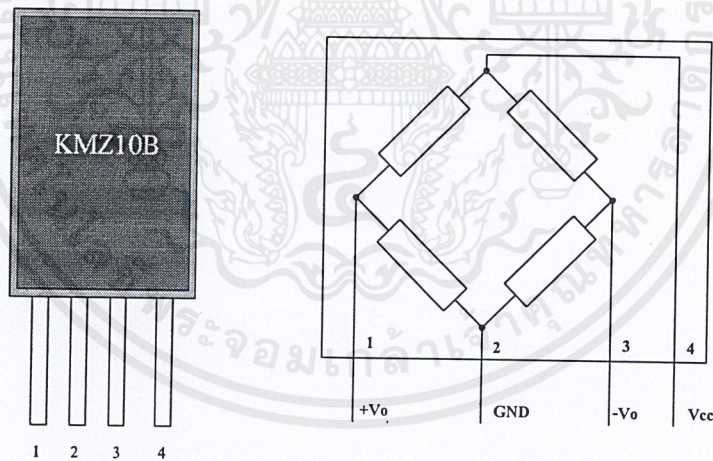
### 3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

#### 3.3.1 ส่วนของตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก

ในส่วนของฮาร์ดแวร์จะการทำงานตามแผนแสดงการทำงานดังรูป 3.1 ซึ่งมีลักษณะการทำงานได้ดังนี้ ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก จะมีสนามแม่เหล็กถาวรติดอยู่กับตัวของตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กเองแล้วจะทำการส่งสนามแม่เหล็กถาวรออกไปรอบตัวเอง เมื่อมีชิ้นงานใหม่ซึ่งเป็นโลหะ ก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กถาวรที่ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กส่งออกไป ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กจะทำให้การตรวจจับผลของสนามแม่เหล็กที่สะท้อนกลับมา ซึ่งภายในตัวตรวจจับสนาม

แม่เหล็กจะเปรียบเสมือนวงจรวีสโตรนปริคซ์ ซึ่งภายในวงจรจะมีขาของวงจรวัดค่าหนึ่งที่จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวเองตามการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่สามารถจับได้ แล้วจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าของสนามแม่เหล็กที่ตรวจจับได้ออกมาเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ที่ได้จะมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงต้องนำสัญญาณที่ได้มาทำการขยายสัญญาณแต่เนื่องจากสัญญาณในตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กเป็นสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนมาก ดังนั้น จึงใช้วงจรขยาย Instrument Amplifier เพื่อลดสัญญาณรบกวน แล้วนำสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจขยายส่งต่อไปให้กับวงจรแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นดิจิทัล และส่งต่อไปประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงผลทางจอภาพ

ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กนั้น เป็นอุปกรณ์สำเร็จรูปที่อาศัยหลักการทำงานของปรากฏการณ์ฮอลล์ ซึ่งได้อธิบายในบทที่ 2 แล้ว โดยอุปกรณ์นี้จะทำงานเมื่อมีสนามแม่เหล็กมาตกกระทบที่ตัวมัน ซึ่งตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กนี้เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Philips จำกัด เบอร์ KMZ10B โครงสร้างของตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กแสดงดังรูปที่ 3.3

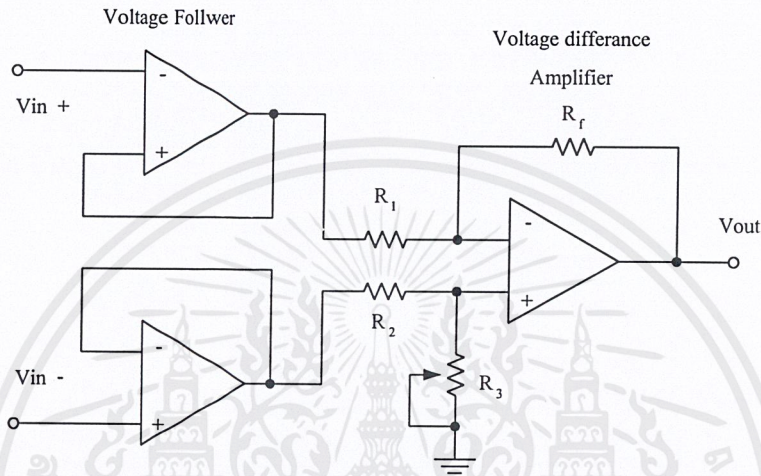


รูปที่ 3.3 โครงสร้างของตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก

### 3.3.2 การออกแบบวงจขยายสัญญาณ

ในโครงงานเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กแบบตัวเลขนี้ วงจขยายสัญญาณจะใช้วงจขยาย Instrument Amplifier เพื่อเป็นการลดสัญญาณรบกวนที่มากับสัญญาณเอาต์พุตของตัวตรวจจับสนามแม่เหล็ก เพื่อจะนำสัญญาณที่ได้ไปประมวลผลให้มีความเที่ยงตรง และแม่นยำมากขึ้น

วงจรเบื้องต้นของวงจรขยาย Instrument Amplifier นั้นคือ วงจร Voltage Differencing Amplifier แบบง่ายซึ่งมีส่วนด้านอินพุตเป็นวงจรแรงดันตาม อยู่ ซึ่งอินพุตอิมพีแดนซ์มีค่าสูงมากเกือบเป็นอนันต์ เป็นสาเหตุให้ไม่สามารถดึงกระแสไฟจาก Bridge Network



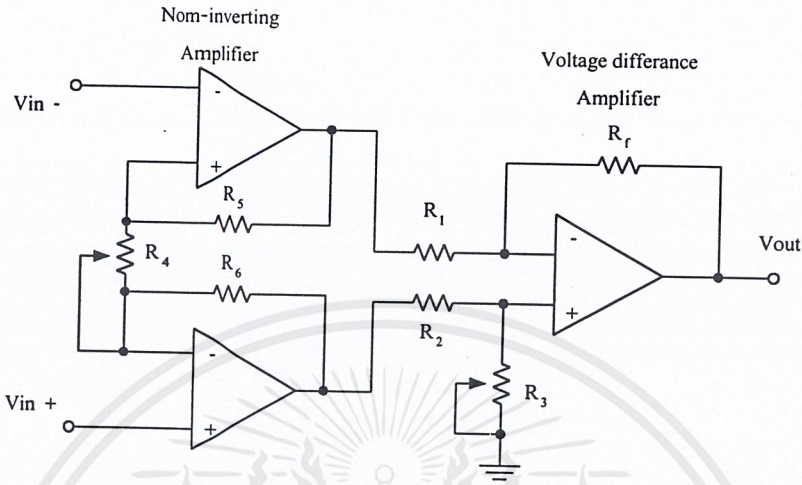
รูปที่ 3.4 วงจรเบื้องต้นของ Instrument Amplifier

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นว่าแบ่งวงจรออกเป็นสองส่วน กล่าวคือ ส่วนของอินพุต และส่วนของเอาต์พุต ซึ่งประกอบด้วยวงจร Voltage Differencing Amplifier เราสามารถเพิ่มอัตราขยายได้โดยเปลี่ยนวงจรด้านอินพุตเป็นแบบ Non-Inverting Amplifier ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.5 เราสามารถคำนวณอัตราขยายในส่วน Input Stage ได้จากสมการต่อไปนี้

$$Av1 = \frac{R_5 + 1}{R_4 - 2} \quad (3.1)$$

และเราสามารถคำนวณอัตราขยายใน Output Stage ได้จาก

$$Av2 = \frac{R_f}{R_{in}} (V_2 - V_1) \quad (3.2)$$



รูปที่ 3.5 การเพิ่มอัตราขยายใน Instrument Amplifier

ส่วนอัตราขยายรวมของวงจรจะหาได้จากสมการ

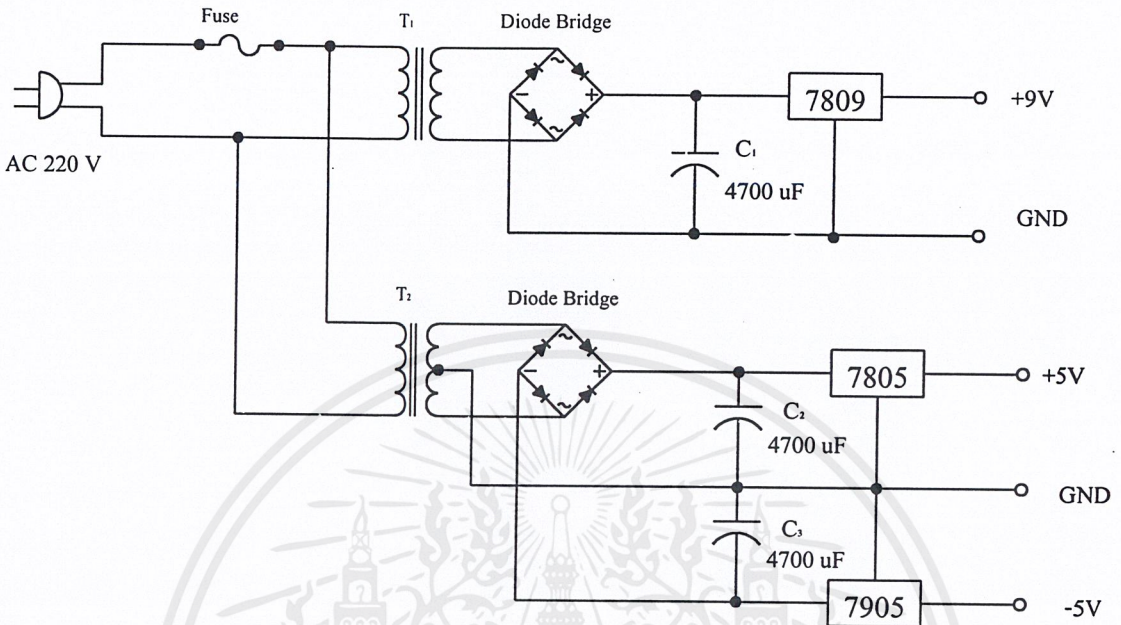
$$Av = Av_1 \times Av_2$$

(3.3)

จากรูปจะเห็นว่า R3 ถูกแทนด้วย Potentiometer ซึ่งจะช่วยให้สามารถปรับ CMRR ให้มีค่าที่เหมาะสม การเปลี่ยนค่าความต้านทานเพียงเล็กน้อยนี้จะช่วยให้เกิดการสมดุลระหว่างอินพุตทั้งสอง การออกแบบวงจรขยายสัญญาณจะใช้อุปกรณ์ที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ ซึ่งจากการศึกษาทำให้เราใช้ MOSFET low-noise Op-Amp และกำหนดอัตราขยายใน Input Stage เท่ากับ 50 เท่า และใน Output Stage เท่ากับ 20 เท่า ดังนั้นอัตราขยายรวมของวงจรเท่ากับ 1,000 เท่า

### 3.3.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

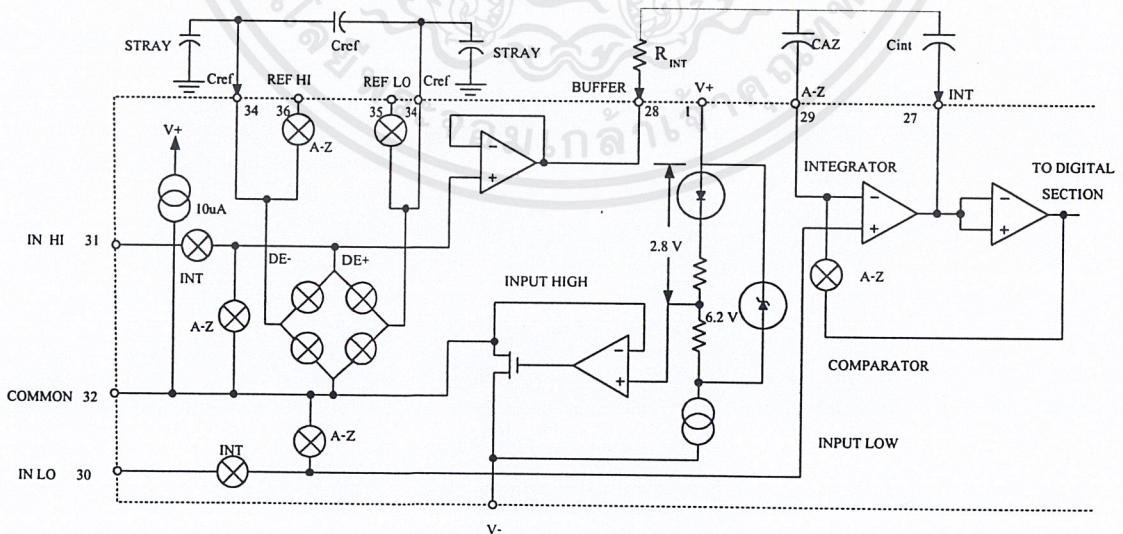
วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงในการออกแบบนั้นจำเป็นต้องออกแบบให้มี 2 ชุด เพื่อไม่เกิดการรบกวนที่ส่วนแสดงผล และส่วนตรวจจับสัญญาณ โดยในโครงงานนี้ใช้ IC ตระกูล 78XX และ 79XX ซึ่งทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันให้คงที่ โดยในชุดแรกจะเป็นแหล่งจ่ายของส่วนแสดงผล โดยใช้แรงดัน +9 V ซึ่งใช้ IC 7809 และอีกชุดหนึ่งจะจ่ายให้ส่วนตรวจจับสนามแม่เหล็ก โดยแบ่งเป็นแรงดัน +5 V และ -5V โดยใช้ IC 7805 และ 7905 ตามลำดับ วงจรพื้นฐานแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.6 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

### 3.3.4 ไอซีควบคุมการทำงานของส่วนแสดงผล

#### 1) วงจรส่วนแอนะล็อก



รูปที่ 3.7 วงจรภาคแอนะล็อกของ ICL7106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.7 แสดงวงจรส่วนแอนะล็อกของไอซีเบอร์ ICL7106 ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วนใหญ่ คือ ส่วนปรับศูนย์อัตโนมัติทำหน้าที่ปรับระดับสัญญาณ และส่วนกลีบการอินทีเกรต

ส่วนการปรับศูนย์อัตโนมัติทำหน้าที่ปรับสัญญาณ เพื่อชดเชยแรงดันออฟเซตให้กับวงจรบัฟเฟอร์ วงจรอินทีเกรเตอร์ และวงจรเปรียบเทียบ เพื่อให้วงจรแสดงค่าศูนย์ออกมาขณะที่ไม่มีสัญญาณเข้ามา

ส่วนการอินทีเกรตสัญญาณทำหน้าที่การอินทีเกรตสัญญาณความแตกต่างของขา IN HI และ IN LO แล้วป้อนให้กับวงจรเปรียบเทียบเพื่อเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล (ขา IN LO จะต่ออยู่กับขาร่วม เพื่อให้ได้ค่าแรงดันโหมคร่วมที่ถูกต้อง)

ส่วนกลีบการอินทีเกรต ทำหน้าที่เป็นส่วนอ้างอิงการอินทีเกรต เพื่อให้เอาต์พุตการอินทีเกรตกลับเป็นศูนย์อีกครั้ง ซึ่งส่วนนี้จะใช้ในการกำหนดความถี่ในการอ่านค่าการแสดงผล

#### 2) ค่าความต่างอินพุต

ความแตกต่างของแรงดันโหมคร่วมที่อินพุตสามารถยอมรับได้จะมีขนาดแรงดันตั้งแต่ 1 โวลต์จนถึง 8.5 โวลต์ ถ้าใช้แหล่งจ่าย 9 โวลต์ ซึ่งย่านนี้ระบบจะมีค่า CMRR เท่ากับ 86 เดซิเบล

#### 3) ความแตกต่างของการอ้างอิง

แรงดันอ้างอิงถูกกำเนิดมาจากแหล่งจ่ายกำลังซึ่งเป็นแรงดันของการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของการอ้างอิง แรงดันอินพุตที่เป็นบวก หรือลบอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดได้ ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้จะต้องไม่เกิน 5 ครั้ง

#### 4) ขาร่วมแอนะล็อก

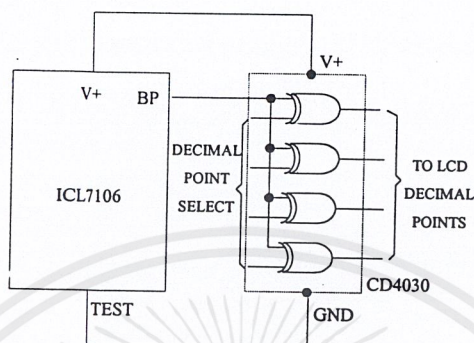
เป็นขาร่วมทางแอนะล็อกของวงจรภายในไอซี 7106 โดยปกติจะมีแรงดันตกคร่อมที่ขานี้ประมาณ 2.8 โวลต์ และจะถูกต่อไว้กับขา REF LO ของไอซีเสมอ ถ้าหากใช้ไอซีตัวนี้กับแบตเตอรี่ 9 โวลต์ แรงดันที่แบตเตอรี่จะต้องไม่ต่ำกว่า 6 โวลต์วงจรจึงจะทำงานได้

#### 5) ขาทดสอบ

ขานี้มีหน้าที่ คือ เป็นแหล่งจ่ายไฟดิจิตอลให้กับไอซีดิจิตอลที่ใช้เป็นตัวขับแอลซีดี ในส่วนที่เป็นจุดทศนิยม ดังรูปที่ 3.8

จากรูปจะเห็นว่า กราวด์ดิจิตอลภายในตัวไอซีเกิดจากซีเนอร์ไดโอด 6 โวลต์ และเฟทแบบแซนแนล - พี ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายตาม โดยแหล่งจ่ายนี้จะจ่ายให้กับขา BP เพื่อขับแอลซีดี ความถี่ที่ป้อนให้กับขา BP จะถูกหารด้วย 800 ดังนั้นในการอ่าน 3 ครั้งต่อวินาที ของแอลซีดีจะใช้ความถี่

60 เฮิร์ตซ์ เป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5 โวลต์ โดยที่ส่วนเซกเมนต์จะถูกขับด้วยความถี่ และสัญญาณเดียวกันแต่ต่างเฟสกันกับ BP



รูปที่ 3.8 การต่อ Exclusive – OR Gate เพื่อขับส่วนที่เป็น Decimal point

ไอซีเบอร์ ICL7106 สามารถใช้สัญญาณนาฬิกาได้ 2 วิธีคือ

- 1) ใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกป้อนไปที่ขา 40
- 2) ใช้ R และ C ต่อเป็นวงจรรอสซิลเลเตอร์

จากรูปวงจรรอสซิลเลเตอร์จะถูกหารด้วย 4 ก่อนที่จะป้อนให้กับวงจรมับสิบ เพื่อทำการนับ และถอดรหัสแสดงผลต่อไป

### 3.3.5 การเลือกค่าอุปกรณ์สำหรับ ICL7106

- 1) ตัวความต้านทานอินทิเกรตติ้ง

ตัวความต้านทานที่ต่ออยู่กับขา BUFF ของ ICL7106 ทำหน้าที่เป็นตัวความต้านทานอินทิเกรตจะต้องเลือกค่าที่มากพอจะทำให้เกิดความเป็นเชิงเส้นกับย่านการวัด เช่น ย่านการวัด 2 โวลต์เต็มสเกลจะใช้ค่า 470 กิโลโอห์ม ส่วนในย่าน 200 มิลลิโวลต์เต็มสเกลใช้ค่า 47 กิโลโอห์ม

- 2) ตัวเก็บประจุอินทิเกรตติ้ง

ตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่กับขา INT ควรจะเลือกเอาค่าที่สามารถทำให้การแกว่งของแรงดันมีค่าสูงสุด โดยที่ไม่ทำให้แรงดันของการอินทิเกรตเกิดการอิมพัลส์ (มีค่าประมาณ 0.3 โวลต์ในแหล่งจ่ายแต่ละแบบ) สำหรับ ICL 7106 ในย่าน 2 โวลต์เต็มสเกลโดยขาร่วมแอนะล็อกถูกใช้เป็นจุดอ้างอิงการอินทิเกรตในการอ่านค่าแบบ 3 รอบต่อวินาที (สัญญาณนาฬิกา 48 กิโลเฮิร์ตซ์) โดยปกติแล้วจะใช้ค่า Cint มีค่า 0.22 ไมโครฟารัด และ 0.1 ไมโครฟารัด ตามลำดับ

## 1) ตัวเก็บประจุปรับค่าศูนย์อัตโนมัติ

ค่าของตัวเก็บประจุปรับค่าศูนย์อัตโนมัติ จะมีผลกับสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น ในย่าน 200 มิลลิโวลต์เต็มสเกล ซึ่งถือว่า สัญญาณรบกวนจะมีความสำคัญมากมักจะใช้ตัวเก็บประจุค่า 0.47 ไมโครฟารัด ส่วนย่าน 2 โวลต์เต็มสเกลจะใช้ค่า 0.047 ไมโครฟารัด ตัวเก็บประจุปรับค่าศูนย์อัตโนมัติจะช่วยเพิ่มความเร็วในการคืนสภาพจากการเกิดโพลดเกิน และยังเป็นตัวกรองสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นด้วย

## 2) ตัวเก็บประจุอ้างอิง

ตัวเก็บประจุอ้างอิงส่วนมากจะใช้ค่า 0.1 ไมโครฟารัด เนื่องจากเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งาน อย่างไรก็ตามถ้าหาก ขาด REF LO ไม่ต่อกับขั้วร่วมแอนะล็อกแสดงว่าวงจรใช้ค่าแรงดันโหมคร่วมที่มีค่ามากขึ้นค่าตัวเก็บประจุจะเปลี่ยนไป

## 3) อุปกรณ์สร้างวงจรถ่ายสัญญาณ

ในทุกย่านการวัด ตัวความต้านทาน 100 กิโลโอห์ม มักจะถูกใช้เสมอ และเลือกเอาค่าตัวเก็บประจุจากสมการ

$$F = \frac{0.45}{RC} \quad (3.4)$$

สำหรับความถี่ 48 กิโลเฮิรตซ์ (การอ่าน 3 รอบต่อวินาที)

$$C = 100 \text{ พิโคฟารัด}$$

## 6) แรงดันอ้างอิง

ค่าแรงดันอินพุตเต็มสเกลหาได้จาก  $V_{IN} = 2 V_{REF}$  ดังนั้นสำหรับย่านการวัด 200 มิลลิโวลต์ และ 2 โวลต์ แรงดันอ้างอิง ( $V_{REF}$ ) ควรจะมีค่าเท่ากับ 100 มิลลิโวลต์ และ 1 โวลต์ ตามลำดับ

## 3.3.6 รายละเอียดในการออกแบบใช้งาน ICL7106

## 1) ความถี่ออสซิลเลเตอร์

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

$$C_{OSC} = 50 \text{ พิโคฟารัด}; R_{OSC} > 50 \text{ กิโลโอห์ม}$$

2) ช่วงเวลาการเกิดออสซิลเลเตอร์

$$t_{OSC} = \frac{RC}{0.45} \quad (3.5)$$

3) ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้อินทิเกรต

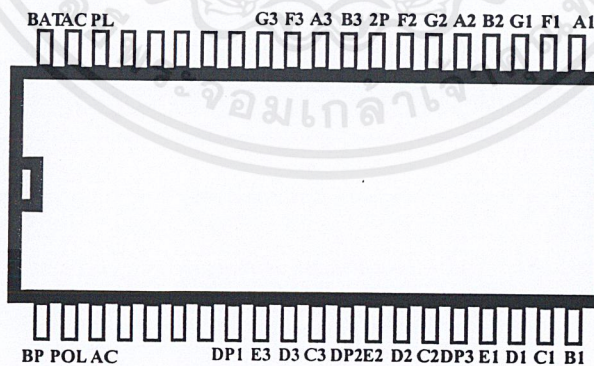
$$F_{CLOCK} = \frac{F_{OSC}}{4} \quad (3.6)$$

4) ช่วงเวลาการอินทิเกรต

$$t_{INT} = 100 \frac{4}{F_{OSC}} \quad (3.7)$$

### 3.3.7 ตัวแสดงผลแบบผลึกเหลว

แผงแสดงผลที่ใช้ที่นี่เป็นแผงแสดงผลแบบ 3.5 หลัก และต่อแบบธรรมดา ซึ่งมีขาเป็น  
ดินตะขาบ 40 ขา



รูปที่ 3.9 แอลซีดีขนาด 3.5 หลักแบบธรรมดา

### 3.3.8 การออกแบบวงจร

การออกแบบวงจรส่วนแสดงผลแบบตัวเลข และส่วนแสดงชั่วโมง มีการออกแบบวงจรดังนี้

1) วงจรส่วนแสดงค่าความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก

วงจรส่วนนี้จะใช้ไอซี ICL7106 ควบคุมการทำงานโดยการออกแบบได้ดังนี้

1.1) ความถี่ออสซิลเลเตอร์

กำหนด

$$C = 100 \text{ พิโคฟารัด}$$

จะได้

$$R = 93.75 \text{ กิโลโอห์ม}$$

1.2) ตัวความต้านทานอินทีเกรต

$$R_{INT} = \frac{V_{INFS}}{I_{INT}} \quad (3.8)$$

เมื่อ

$$V_{INFS} = 200 \text{ มิลลิโวลต์}$$

$$I_{INT} = 4 \text{ ไมโครแอมป์}$$

$$R_{INT} = 50 \text{ กิโลโอห์ม}$$

1.3) ตัวเก็บประจุอินทีเกรต

$$C_{INT} = \frac{(t_{INT})}{V_{INT}} (I_{INT}) \quad (3.9)$$

เมื่อ

$$I_{INT} = 4 \text{ ไมโครแอมป์}$$

$$\therefore C_{INT} = 0.1 \text{ ไมโครฟารัด}$$

1.4) ตัวเก็บประจุปรับศูนย์อัตโนมัติ

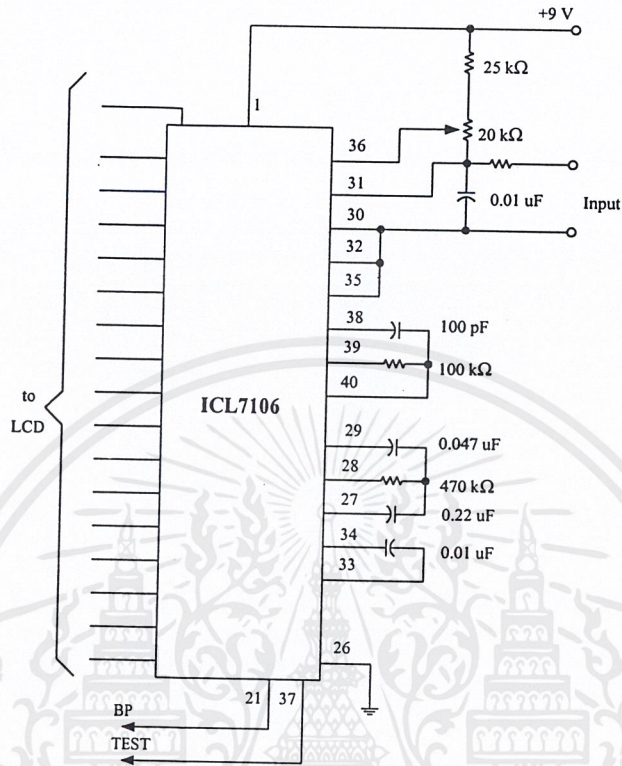
$$C_{AZ} \text{ (0.01 ไมโครฟารัด ถึง 1 ไมโครฟารัด)}$$

เลือกใช้ค่า  $C_{AZ} = 0.47$  ไมโครฟารัด เมื่อค่าเต็มสเกลเท่ากับ 200 มิลลิโวลต์

1.5) ตัวเก็บประจุอ้างอิง

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

เลือกใช้ค่า  $C_{REF} = 0.047$  ไมโครฟารัด (ค่าที่แนะนำเอาไว้ในรายการข้อมูล)



รูปที่ 3.10 วงจรส่วนแสดงค่าความเข้มแสงแม่เหล็ก

## 2) การออกแบบวงจรส่วนแสดงขั้วแม่เหล็ก

วงจรส่วนแสดงขั้วแม่เหล็กจะใช้อปแอมป์สร้างเป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน เพื่อแสดงขั้วแม่เหล็ก โดยขั้วแม่เหล็กเป็นขั้วเหนือแอลอีดีสีแดงจะติด ถ้าขั้วแม่เหล็กเป็นขั้วใต้แอลอีดีสีเขียวจะติด

$$V_{REF2} = \frac{R_2 + R_3}{R_2 + R_3 + R_4} V_{CC} \quad (3.10)$$

กำหนด

$$V_{REF2} = 2 \text{ โวลต์}$$

$$R_4 = 2 \text{ กิโลโห์ม}$$

$$V_{CC} = 5 \text{ โวลต์}$$

จะได้

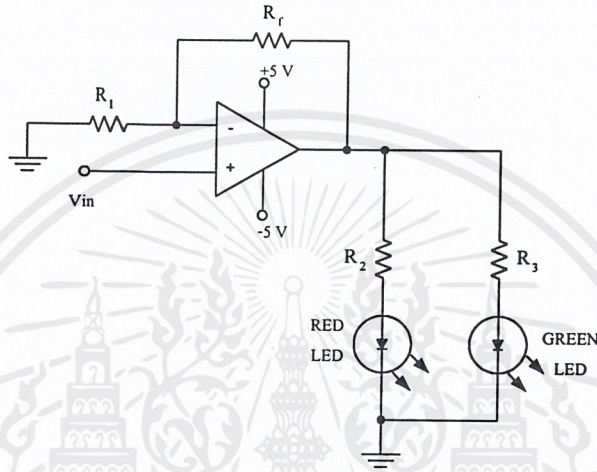
$$R_2 + R_3 = 3 \text{ กิโลโห์ม}$$

ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่าน  $R_4$  มีค่าเท่ากับ

$$I_{R4} = \frac{V_{REF2}}{R_4} = 1 \text{ ไมโครแอมป์}$$

$$\therefore R_2 = 2 \text{ กิโลโห์ม}$$

$$R_3 = 1 \text{ กิโลโห์ม}$$



รูปที่ 3.11 วงจรส่วนแสดงขั้วแม่เหล็ก

ในการวัดขั้วแม่เหล็กโดยปกติขณะที่ยังไม่ทำการวัด วงจรขยายกระแสจะจ่ายกระแสออกมา 50 ไมโครแอมป์ (ครึ่งสเกล) เมื่อทำการวัดขั้วแม่เหล็กค่ากระแสที่ถูกจ่ายออกมากจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง 28 ไมโครแอมป์ กล่าวคือ ถ้าขั้วแม่เหล็กเป็นขั้วเหนือจะต้องมีกระแสไหล 78 ไมโครแอมป์ แต่ถ้าขั้วแม่เหล็กเป็นขั้วใต้จะมีกระแสไหล 22 ไมโครแอมป์

ดังนั้นในการออกแบบวงจรเปรียบเทียบ เมื่อทราบว่า  $V_{REF} = 2 - 3$  โวลต์ แล้วแรงดันตกคร่อม  $R_1$  จะต้องเท่ากับ 2-3 โวลต์ ด้วย

เลือกค่า  $V_{REF}$  เท่ากับ 2-5 โวลต์

หาค่า  $R_1$  ได้จาก 
$$R_1 = \frac{V}{I} = 50 \text{ กิโลโห์ม}$$

การจำกัดกระแสให้กับแอลอีดี ทั้งสองดวงใช้ค่าความต้านทาน 500 โอห์ม ต่อกับแอลอีดี ซึ่งจะทำให้มีกระแสไหลประมาณ 8 มิลลิแอมป์ป้องกันแอลอีดี ขณะได้ไบอัสกลับ

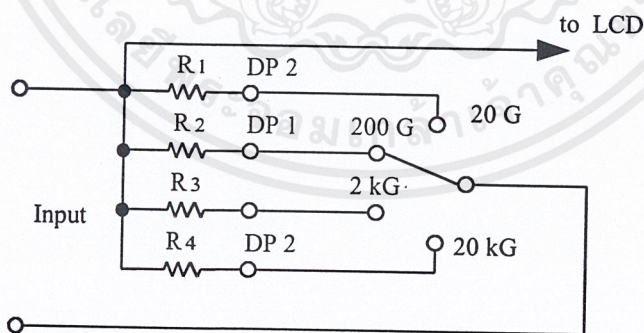
### 3.4 การออกแบบย่านการวัด

ในการออกแบบย่านการวัดแต่ละย่าน ตั้งแต่ 20 เกาส์ ถึง 20 กิโลเกาส์ ได้พิจารณากระแสเต็มสเกลคือ 100 ไมโครแอมป์ มาใช้ออกแบบย่านการวัดแต่ละย่านโดยใช้ตัวความต้านทานต่ออนุกรมกับกระแสที่จ่ายออกมาแล้วใช้วงจรส่วนการวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กเป็นตัววัดแรงดัน ดังนี้

จากตารางจะเห็นว่าย่านการวัด 2 กิโลเกาส์ สามารถแสดงเป็น 2000 ได้โดยการไม่แสดงจุด DP3 ออกมาทางจอ แอลซีดี และย่านการวัด 20 กิโลเกาส์ สามารถแสดงเป็น 20.00 ได้โดยการใช้จอแสดงผล แอลซีดี แสดงจุด DP2 ขณะเลือกย่านการวัดนี้

ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างย่านการวัด ความความต้านทาน และแรงดัน

ย่านการวัด	ค่าความต้านทาน	แรงดันที่ได้
20	200 $\Omega$	20.0 mV
200	2 k $\Omega$	200.0 mV
2 k	2 k $\Omega$	200.0 mV
20 k	2 k $\Omega$	200.0 mV

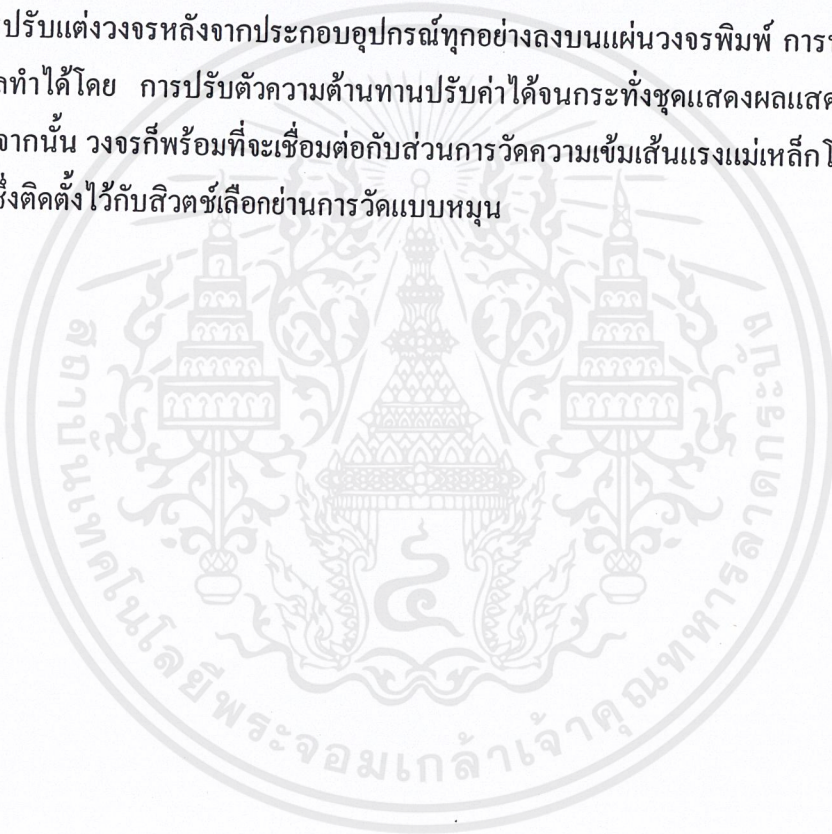


รูปที่ 3.12 วงจรส่วนย่านการวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก

### 3.5 การสร้างและการปรับแต่ง

การสร้างวงจรส่วนแสดงผลจะใช้แผ่นวงจรพิมพ์ 2 ชุด คือชุดแสดงผล และชุดต่อไปการที่ต้องสร้างชุดจ่ายไฟสำหรับส่วนแสดงผล โดยเฉพาะเนื่องจาก ต้องการลดการรบกวนของภาคจ่ายไฟหลักของวงจร เนื่องจาก ICL7106 มีความไวต่อการรบกวนมาก ตัวแสดงผลแอลซีดี จะแยกออกมาจากแผ่นวงจรพิมพ์ แล้วต่อสายไฟผ่านตัวต่อสาย ตัวแอลซีดีถูกประกอบลงแผ่นวงจรพิมพ์โดยใส่ซ็อกเก็ตไอซี เช่นเดียวกับไอซีทุกตัวที่ใช้ในวงจรส่วนแสดงผลเพื่อป้องกันความร้อนที่เกิดขึ้นจากการบัดกรี ตัวความต้านทานแบบปรับค่าจะใช้ตัวความต้านทานปรับค่าได้แบบพอร์ตชนิดปรับได้หลายรอบ

การปรับแต่งวงจรหลังจากประกอบอุปกรณ์ทุกอย่างลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ การทดลองปรับแต่งภาคแสดงผลทำได้โดย การปรับตัวความต้านทานปรับค่าได้จนกระทั่งชุดแสดงผลแสดงค่าออกมาเป็น “000” หลังจากนั้น วงจรก็พร้อมที่จะเชื่อมต่อกับส่วนการวัดความเข้มแสงแม่เหล็ก โดยผ่านชุดเลือกย่านการวัด ซึ่งติดตั้งไว้กับสวิตช์เลือกย่านการวัดแบบหมุน



## บทที่ 4

### การทดลอง และผลการทดลอง

#### 4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดการทดลอง ผลการทดลองและการทดสอบการวัดค่าความเข้มแสงแม่เหล็กกับแท่งแม่เหล็กมาตรฐาน ตลอดจนการปรับแต่งให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงวิธีการใช้และการบำรุงรักษาอย่างถูกต้อง

#### 4.2 วิธีการใช้และบำรุงรักษาเครื่องวัดความเข้มแสงแม่เหล็กแบบตัวเลข

1. ก่อนเปิดสวิตช์ต้องตรวจสอบว่าสายไฟและหัววัดต่อไว้เรียบร้อยแล้ว
2. ในการวัดทุกครั้งต้องตั้งย่านการวัดสูงสุดเสมอ
3. ก่อนทำการวัดสนามแม่เหล็กต้องทำการปรับศูนย์ทุกครั้งเพื่อลดการคลาดเคลื่อน
4. เมื่อไม่ทำการวัดให้ถอดหัววัดเก็บให้เรียบร้อยทุกครั้ง

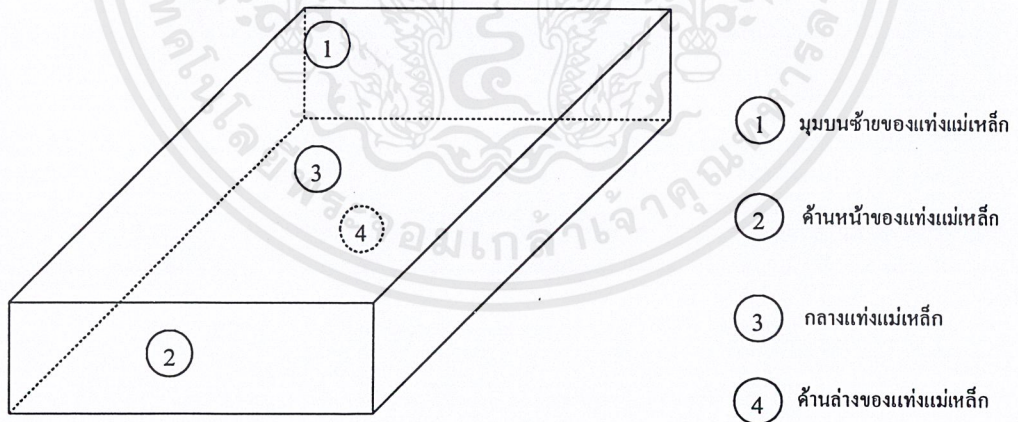
#### 4.3 การทดลองวัดแท่งแม่เหล็กที่ทราบค่าและขั้วแม่เหล็กแน่นอน

การวัดค่าสนามแม่เหล็ก 1 kG โดยใช้เครื่องวัดความเข้มแสงแม่เหล็ก  
ขั้นตอนการทดลอง

1. ประกอบหัววัดและสายไฟเข้ากับเครื่องวัดความเข้มแสงแม่เหล็ก
2. ปรับย่านการวัดไปที่ตำแหน่ง 2 kG
3. เปิดสวิตช์เพื่อเริ่มการทำงาน
4. ปรับปุ่ม Zero เพื่อให้จอแอลซีดีแสดงค่า “000”
5. ทำการวัดแท่งแม่เหล็กที่เตรียมไว้
6. อ่านค่าที่ได้จากจอแสดงผล และสังเกตแอลซีดี ที่แสดงขั้วแม่เหล็ก



รูปที่ 4.1 การวัดแท่งแม่เหล็กมาตรฐานโดยใช้เครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก



รูปที่ 4.2 ตำแหน่งการวัดตรงจุดต่างๆของแม่เหล็ก

## ผลการทดลอง

จากการทดลองได้ค่าตามตาราง ทำการเปรียบเทียบกับเครื่องมาตรฐานเกิดการคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวัดสนามแม่เหล็กจากแท่งแม่เหล็กมาตรฐาน

ตำแหน่งการวัด	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมาตรฐาน (G)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องที่สร้าง (G)	ความผิดพลาด (%)
1	1,000	1,023	2.3
2	960	980	2
3	980	982	0.5
4	1,000	1,030	3

$$\text{ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดหาจาก} = \frac{\text{ค่าจากเข็ม} - \text{ค่าจากคิจิตอล}}{\text{ค่าที่อ่านจากเข็ม}} \times 100 \quad (4.1)$$

#### 4.4 การทดลองวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กกับแท่งแม่เหล็กมาตรฐานที่ย่านการวัดต่างๆ

##### 4.4.1 การวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กกับแท่งแม่เหล็กโดยใช้เครื่องที่สร้างขึ้น ขั้นตอนการทดลอง

1. ประกอบหัววัดและสายไฟเข้ากับเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก
2. ปรับย่านการวัดไปที่ตำแหน่ง ต่างๆตามตาราง
3. เปิดสวิตซ์เพื่อเริ่มการทำงาน
4. ปรับปุ่ม Zero เพื่อให้จอแอลซีดี แสดงค่า “000”
5. ทำการวัดแท่งแม่เหล็กที่เตรียมไว้
6. อ่านค่าที่ได้จากจอแสดงผล และสังเกตแอลอีดีที่แสดงขั้วแม่เหล็ก

## ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กในย่านการวัดต่างๆ

ย่านการวัด	ค่าที่อ่านได้ (G)	
	สี่เหลี่ยมผืนผ้า	ทรงกระบอก
20 G	1	17.7
200 G	1	18.2
2 kG	1,030	18
20 kG	1.04	20

#### 4.4.2 การวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กขนาดต่างๆเทียบกับเครื่องมาตรฐาน ขั้นตอนการทดลอง

1. ประกอบหัววัดและสายไฟเข้ากับเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก
2. ปรับย่านการวัดไปที่ตำแหน่งสูงสุด
3. เปิดสวิตช์เพื่อเริ่มการทำงาน
4. ปรับปุ่ม Zero เพื่อให้จอแอลซีดีแสดงค่า "000"
5. ทำการวัดแท่งแม่เหล็กที่เตรียมไว้ในขนาดต่างๆกัน
6. อ่านค่าที่ได้จากจอแสดงผล และสังเกตแอลอีดีที่แสดงขั้วแม่เหล็ก

## ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองวัดแท่งแม่เหล็กที่ขนาดต่างๆเทียบกับเครื่องมาตรฐาน

ลักษณะแท่งแม่เหล็ก	ค่าที่อ่านจากเครื่องมาตรฐาน (G)	ค่าที่อ่านจากเครื่องที่สร้าง (G)	ค่าความผิดพลาด (%)
สี่เหลี่ยมผืนผ้าเล็ก	1,000	1,030	3
สี่เหลี่ยมผืนผ้าใหญ่	700	720	2.8
วงกลม	340	340	0.5
ทรงกระบอก	40	41	2.5
เกือกม้า	240	242	0.8

## 4.4.3 การวัดขั้วแม่เหล็กลักษณะต่างๆ เทียบกับเครื่องมาตรฐาน

## ขั้นตอนการทดลอง

1. ประกอบหัววัดและสายไฟเข้ากับเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก
2. ปรับย่านการวัดไปที่ตำแหน่งสูงสุด
3. เปิดสวิตช์เพื่อเริ่มการทำงาน
4. ปรับปุ่ม Zero เพื่อให้จอแอลซีดีแสดงค่า “000”
5. ทำการวัดแท่งแม่เหล็กที่เตรียมไว้ในขนาดต่างๆกัน
6. อ่านค่าที่ได้จากจอแสดงผล และสังเกตแอลอีดีที่แสดงขั้วแม่เหล็ก

## ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการแสดงขั้วของแท่งแม่เหล็กในรูปลักษณะต่างๆ เทียบกับเครื่องมาตรฐาน

ลักษณะของแม่เหล็ก	ขั้วของแม่เหล็ก			
	เครื่องมาตรฐาน		เครื่องที่สร้าง	
	ด้านที่ 1	ด้านที่ 2	ด้านที่ 1	ด้านที่ 2
สี่เหลี่ยมผืนผ้าเล็ก	N	S	N	S
สี่เหลี่ยมผืนผ้าใหญ่	N	S	N	S
วงกลม	N	S	N	S
ทรงกระบอก	N	S	N	S
เกือกม้า	N	S	N	S

N แสดงสถานะเป็นขั้วเหนือของแม่เหล็ก และ S แสดงสถานะเป็นขั้วใต้ของแม่เหล็ก

#### 4.4.4 การวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กจากแท่งแม่เหล็กมาตรฐาน 1 kG โดยการใช้ฮอสซิลโลสโคป

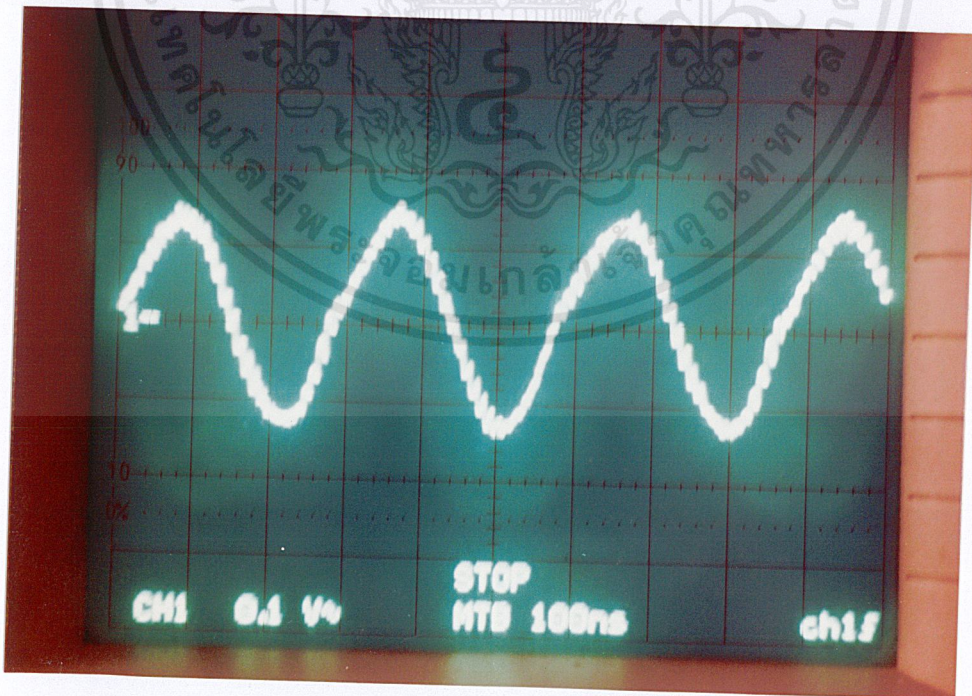
##### ขั้นตอนการทดลอง

1. ประกอบหัววัดและสายไฟเข้ากับเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก
2. ปรับย่านการวัดไปที่ตำแหน่งสูงสุด
3. เปิดสวิตช์เพื่อเริ่มการทำงาน
4. ปรับปุ่ม Zero เพื่อให้จอแอลซีดีแสดงค่า "000"
5. ทำการวัดแท่งแม่เหล็กที่เตรียมไว้
6. ปรับตั้งฮอสซิลโลสโคป
  - 6.1 ปรับตำแหน่งที่ DC MODE
  - 6.2 ปรับปุ่ม V/D ไว้ที่ตำแหน่ง 1 V/D
  - 6.3 ปรับปุ่ม T/D ไว้ที่ตำแหน่ง 1 mS/D
  - 6.4 นำสายวัดสัญญาณของฮอสซิลโลสโคปต่อเข้าจุด CRO ของเครื่อง
7. ทำการบันทึกผลการทดลอง



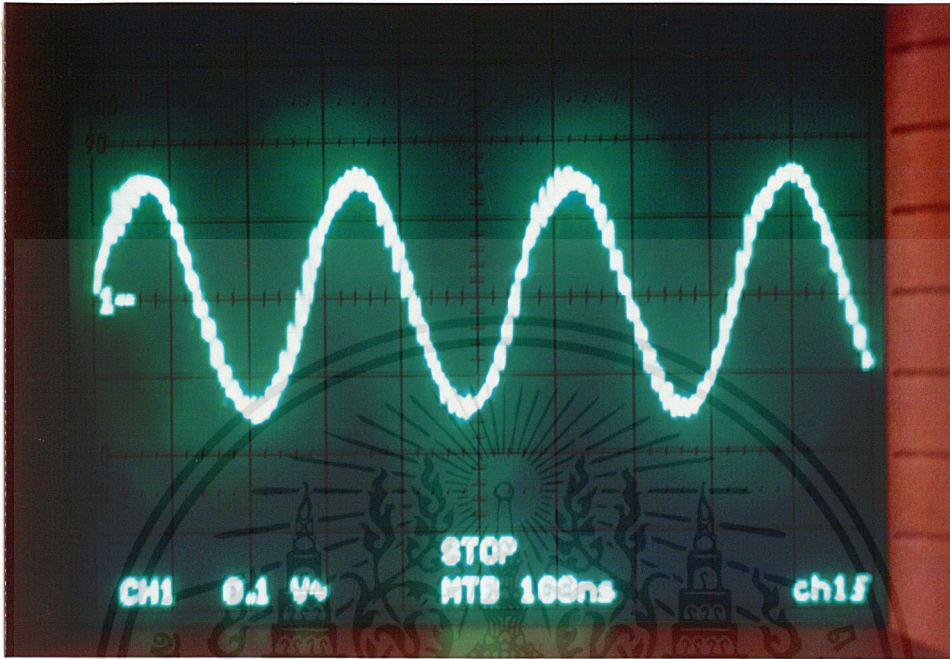
รูปที่ 4.3 การต่อออสซิลโลสโคป

ผลการทดลอง



รูปที่ 4.4 รูปคลื่นที่ได้จากการทดลองวัดความเข้มแสงแม่เหล็ก 1 kG โดยใช้ย่านการวัด 20 kG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 รูปคลื่นที่ได้จากการทดลองวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก 1 kG โดยใช้ย่านการวัด 2 kG

## บทที่ 5

### บทสรุป ปัญหา แนวทางแก้ไข และการพัฒนา

#### 5.1 สรุป

เครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กแบบตัวเลขที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการทำงาน และสร้างเครื่องมือวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก โดยอาศัยการแสดงผลแบบตัวเลข หลังจากสร้างเสร็จแล้วทำการทดลองวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก จากแท่งแม่เหล็กมาตรฐาน ผลปรากฏว่ามีความคลาดเคลื่อน  $\pm 5\%$  โดยสามารถวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กได้ตั้งแต่ 0 G ถึง 20 kG

#### 5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

ปัญหาที่พบในระหว่างการดำเนินการสร้างและทดสอบสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ปัญหาการรบกวนจากภาคจ่ายไฟ เนื่องจากส่วนแสดงคานามแม่เหล็กใช้ไอซีตัวเดียวคือ ICL7106 ซึ่งมีความไวต่อสัญญาณรบกวนมาก ดังนั้นในการวัดย่านที่ต้องการความละเอียดมากมักเกิดสัญญาณรบกวนง่าย โดยเฉพาะสัญญาณรบกวนจากการกระเพื่อมของแรงดันที่ภาคจ่ายไฟ

การแก้ไขสามารถทำได้โดยการแยกภาคจ่ายไฟออกเป็น 2 ชุด ดังอธิบายไว้ในบทที่ 3

2. ปัญหาการที่ไม่สามารถแสดงขั้วสนามแม่เหล็กที่ทำการวัดได้ รังเกิดจากการเชื่อมต่อวงจรส่วนการวัดขั้วกับส่วนแสดงขั้วไม่สามารถทำได้เนื่องจากใช้กราวด์อ้างอิงต่างกันจึงไม่สามารถเปรียบเทียบค่าความแตกต่างได้

การแก้ไขปัญหานี้มีแนวทางดังนี้

1) สร้างวงจรเลียนแบบส่วนการวัดขั้วแม่เหล็กเพิ่ม โดยแยกเป็นอิสระจากการวัดขั้วแม่เหล็ก  
2) อ่านค่ากระแสจากแอลซีดี โดยเปลี่ยนวงจรส่วนแสดงผล ซึ่งทำได้โดยการต่อตัวความต้านทานค่า  $1\text{ k}\Omega$  ขนานที่อินพุตของไอซี ICL7106 เพื่อให้สามารถวัดค่ากระแสได้

3) ความผิดพลาดจากการวัดสนามแม่เหล็ก ซึ่งเกิดจาก 2 ส่วน คือ ส่วนของอุปกรณ์ประกอบวงจรที่ค่าความผิดพลาดมาก และเกิดจากตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กเอง

การแก้ไขโดยใช้อุปกรณ์ประกอบวงจรที่ค่าการผิดพลาดน้อยที่สุด และทำการเปลี่ยนตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กเป็นตัวใหม่

4) อุปกรณ์ตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กไม่สามารถหาซื้อได้ โดยเราได้รับอนุเคราะห์มาทำการทดลองเพียง 3 ตัวเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถใช้งานได้เต็มที่ การแก้ไขไม่สามารถทำวิธีอื่นได้นอกจากใช้ของที่มีอย่างคุ้มค่าที่สุด

### 5.3 แนวทางการพัฒนา

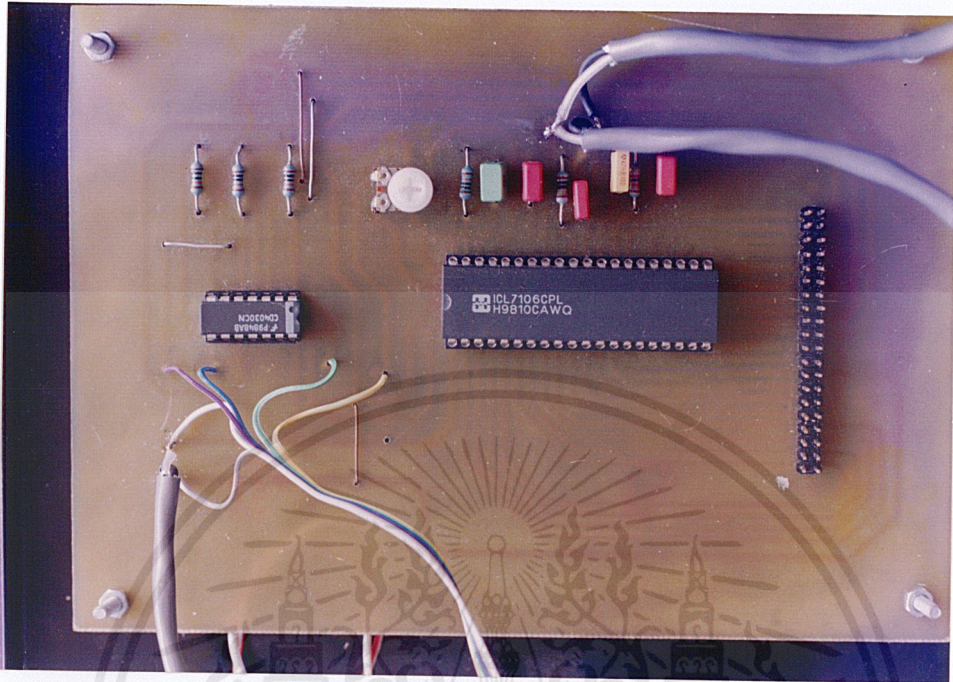
การพัฒนาเครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็กสามารถทำได้ดังนี้

1. การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของส่วนแสดงผลซึ่งจะทำให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้น
2. การใช้ส่วนแสดงผลเป็น แอลซีดีคอตเมตริกซ์ซึ่งแสดงได้ทั้งตัวเลขและตัวอักษร
3. การวัดโดยวิธีการเปลี่ยนย่านอัตโนมัติ เพื่อความสะดวกในการทำงาน
4. ลดขนาดของตัวเครื่องมือให้สามารถพกพาได้ และสามารถใช้กับแบตเตอรี่ได้

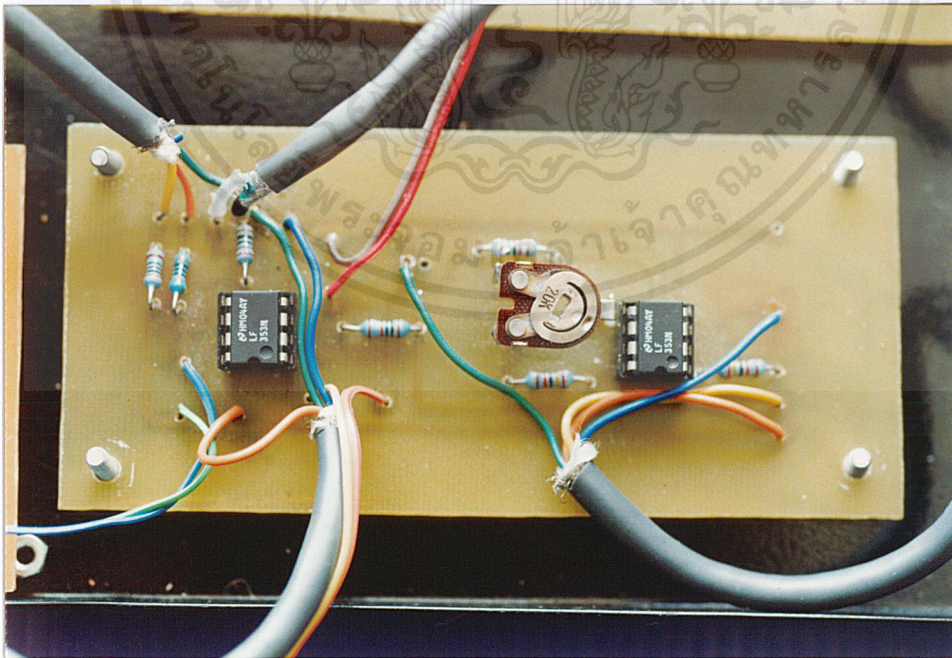
แนวทางการพัฒนาดังกล่าวนี้ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องวัดความเข้มสนามแม่เหล็กแบบตัวเลขให้มากขึ้น สะดวกต่อการใช้งานซึ่งน่าจะมีการพัฒนาให้เป็นไปได้ โดยส่วนสำคัญคือ การพัฒนาด้านซอฟต์แวร์ และการควบคุมการทำงานโดยอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาควบคุมการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

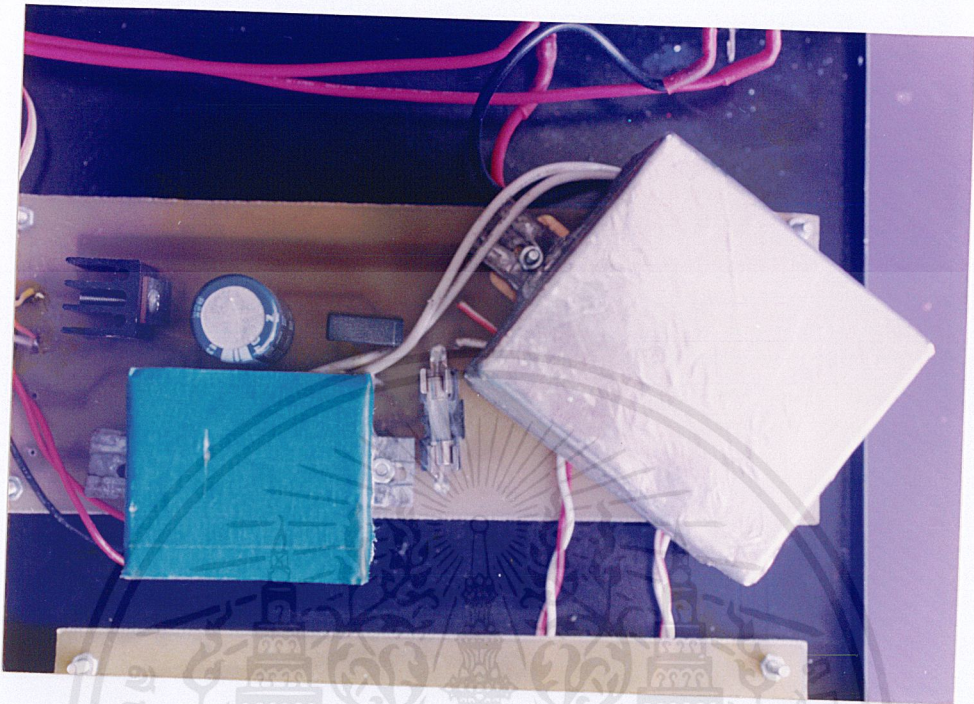


รูปที่ ก.1 วงจรส่วนแสดงผล

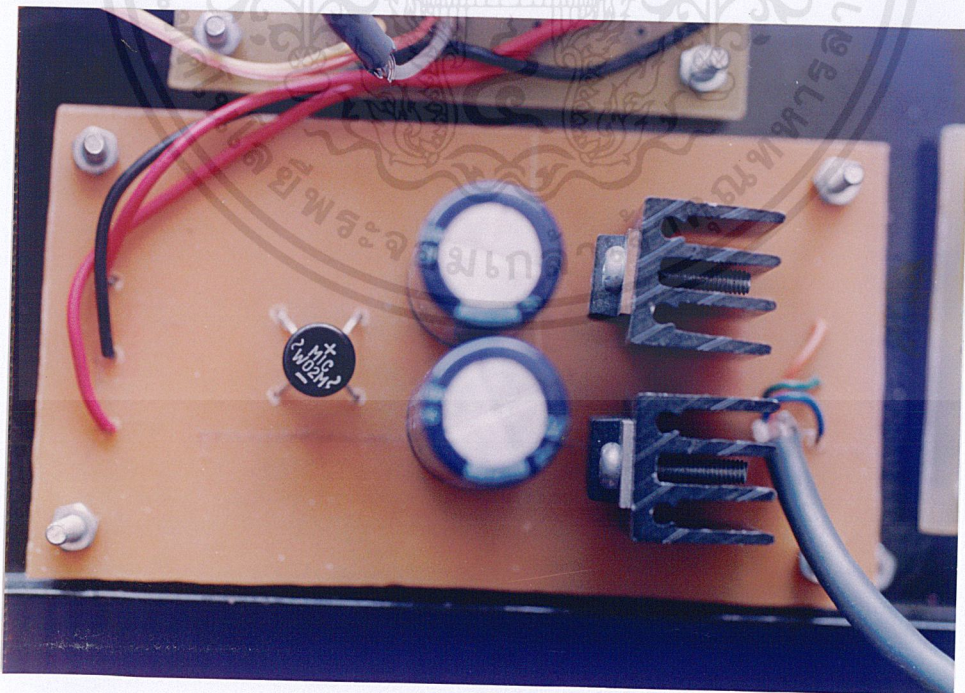


รูปที่ ก.2 วงจรภาคขยายสัญญาณและแสดงขั้วแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

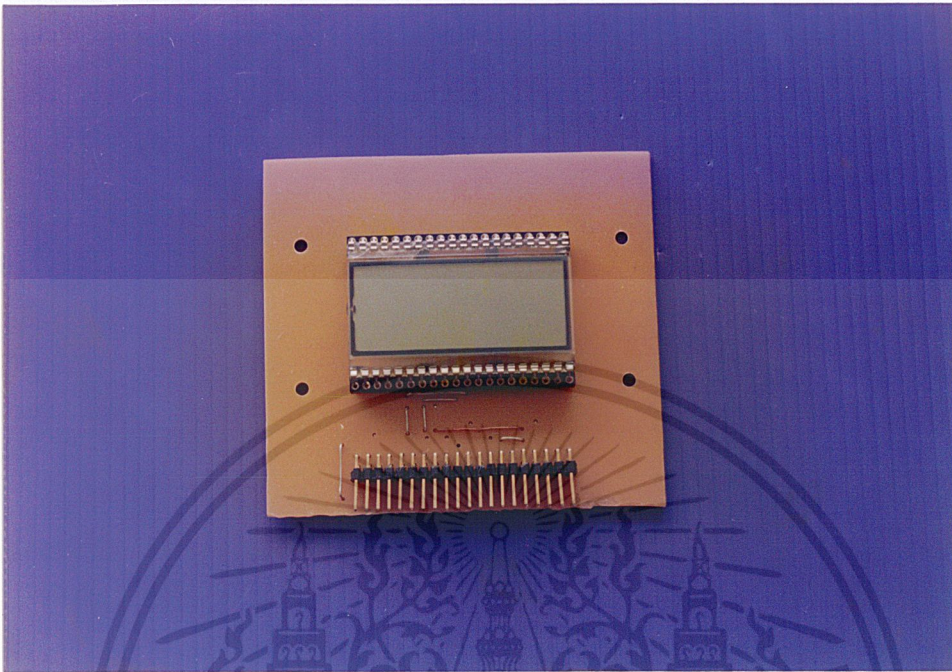


รูปที่ ก.3 วงจรภาคจ่ายไฟตรง + 9 โวลต์

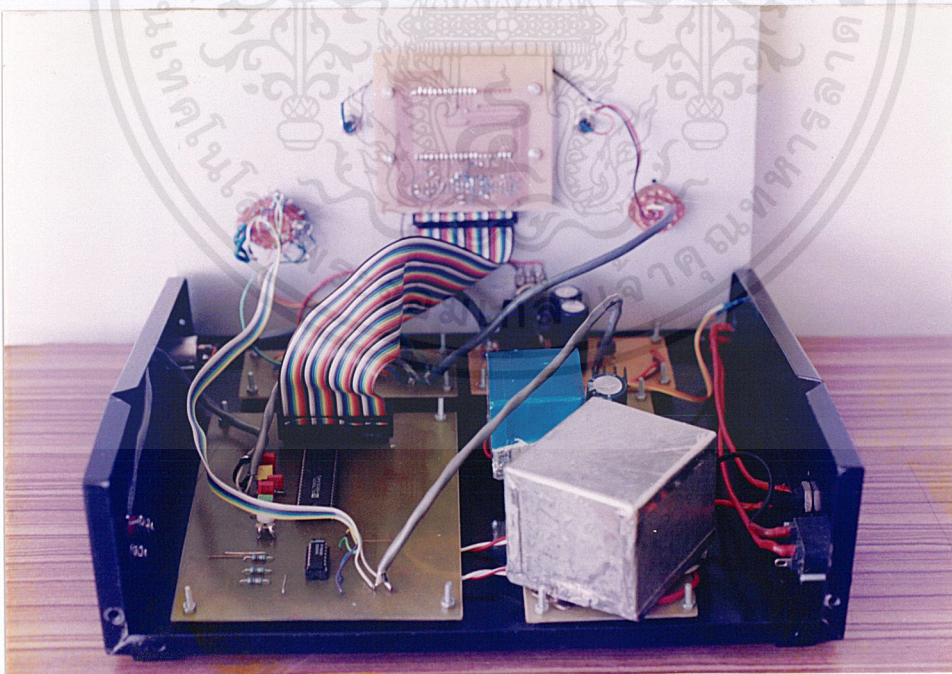


รูปที่ ก.4 วงจรภาคจ่ายไฟตรง  $\pm 5$  โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.5 วงจรจอแสดงผลแอลซีดี

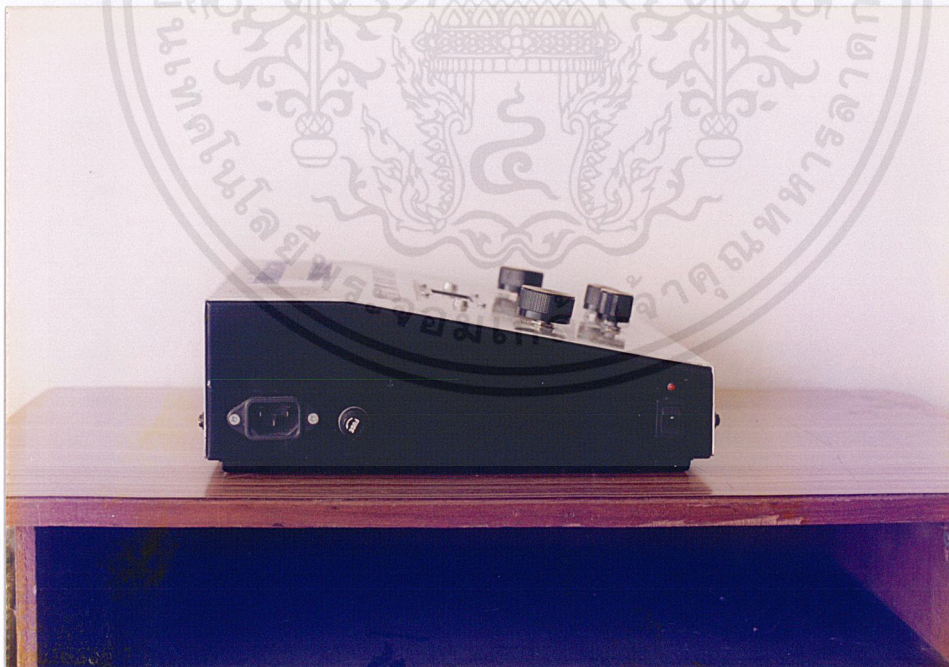


รูปที่ ก.6 การจัดวางอุปกรณ์ภายในเครื่องวัดความเข้มแสงแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.7 เครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กด้านหน้า



รูปที่ ก.8 เครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กด้านข้างซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.9 เครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็กด้านข้างขวา



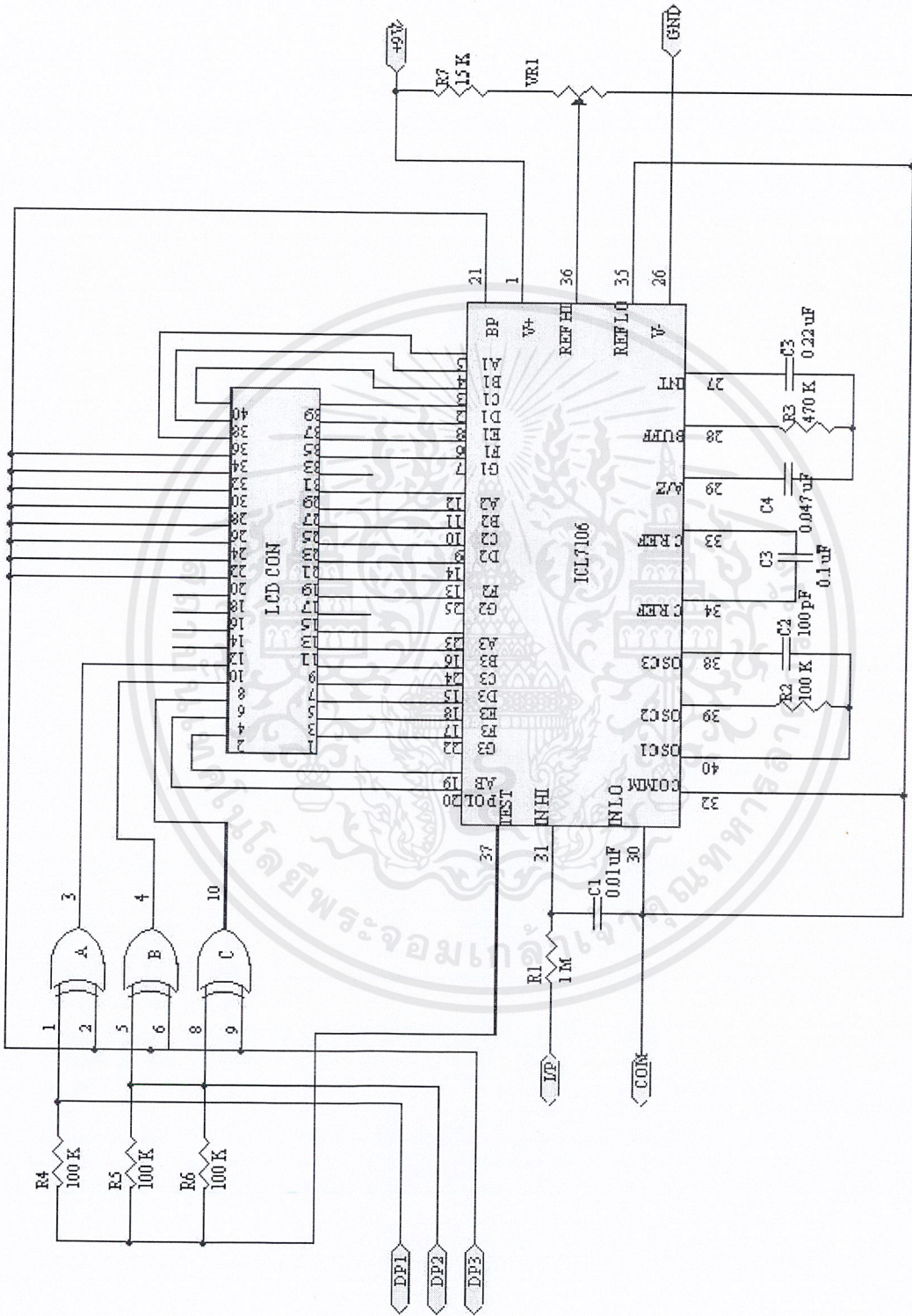
รูปที่ ก.10 สายวัดของเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



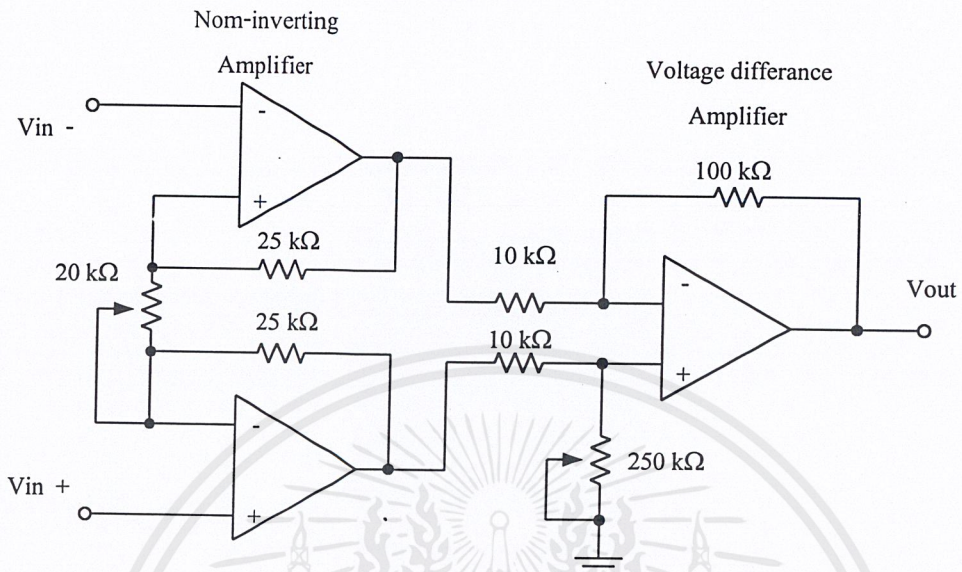
**ภาคผนวก ข**  
**วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์ของเครื่องวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

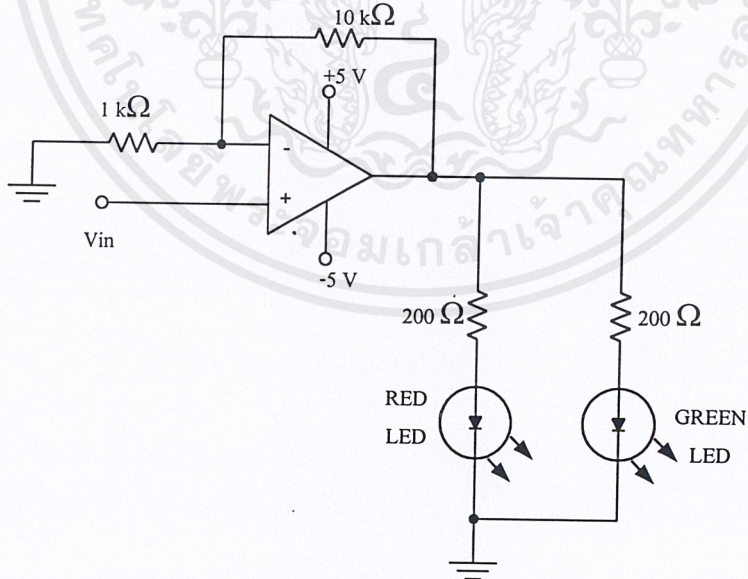


รูปที่ ข.1 วงจรส่วนแสดงผลแบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

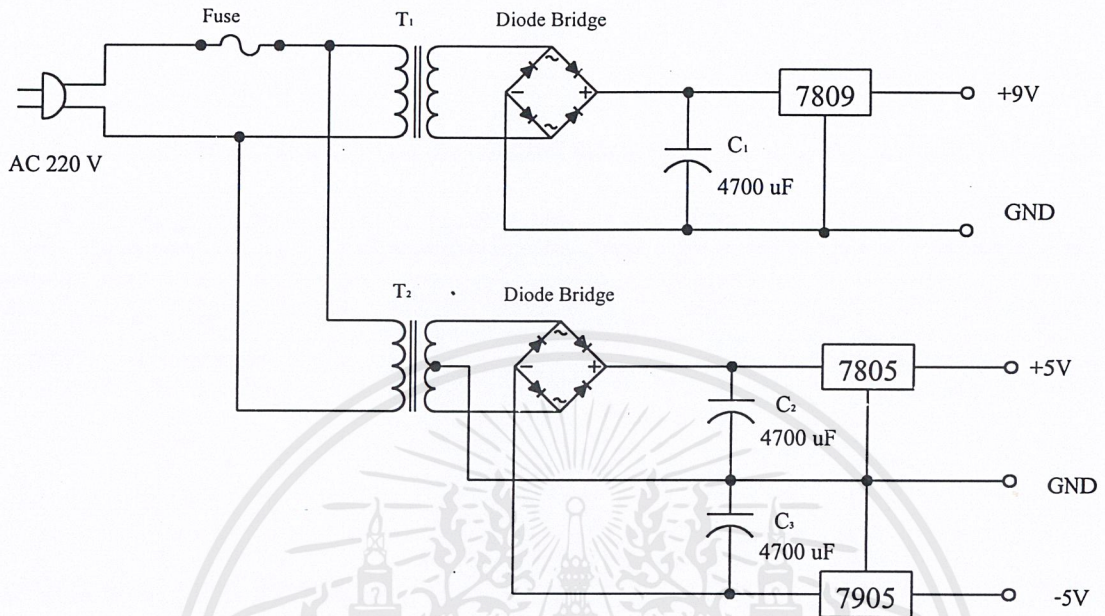


รูปที่ ข.2 วงจรส่วนภาคขยายสัญญาณ

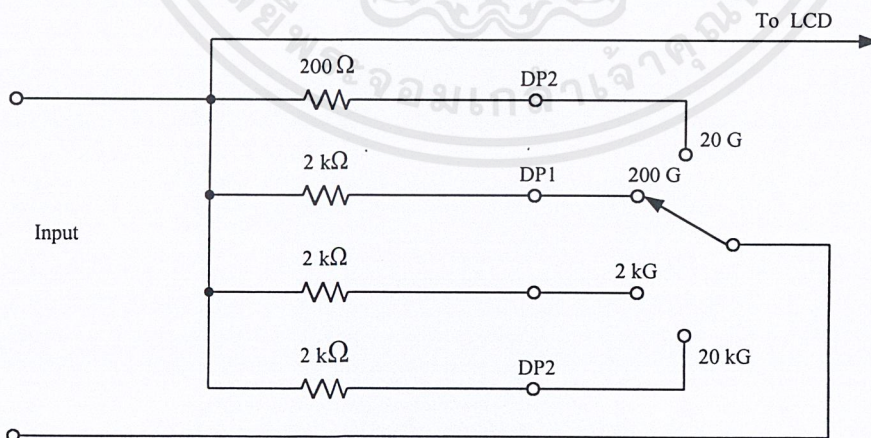


รูปที่ ข.3 วงจรส่วนแสดงขั้วแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

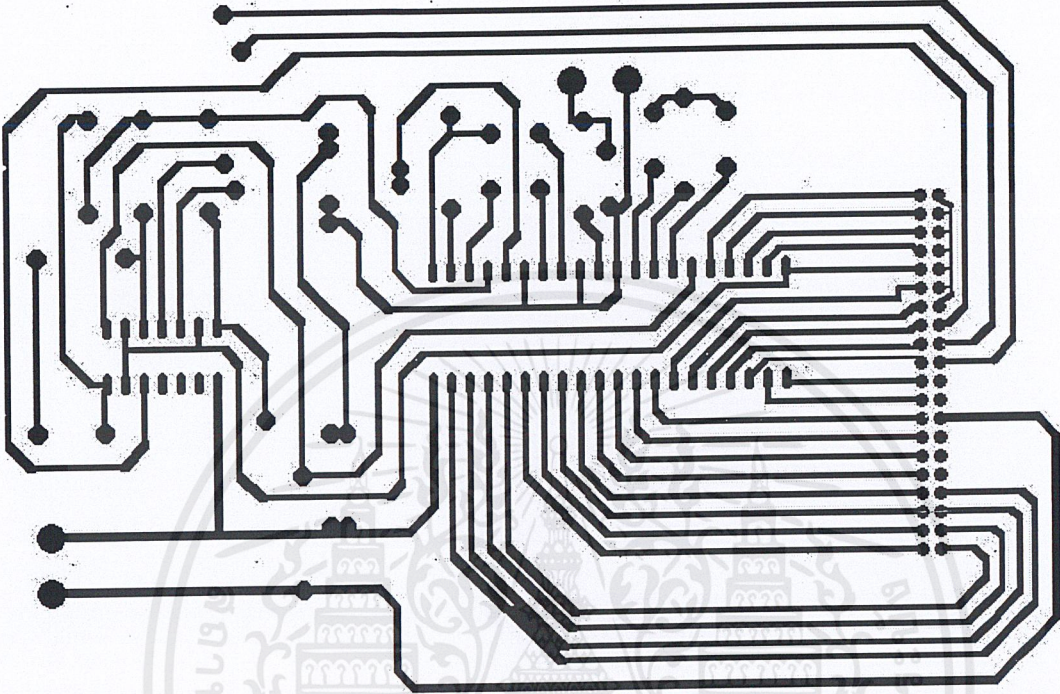


รูปที่ ข.4 วงจรส่วนแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

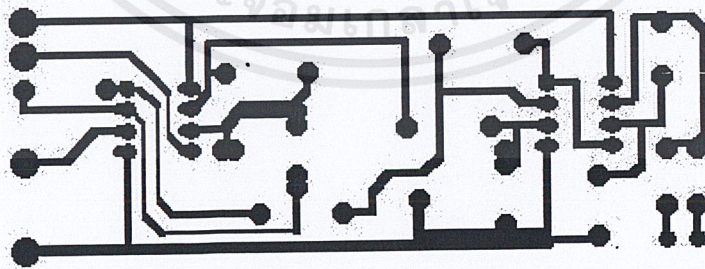


รูปที่ ข.5 วงจรส่วนย่านการวัดความเข้มเส้นแรงแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

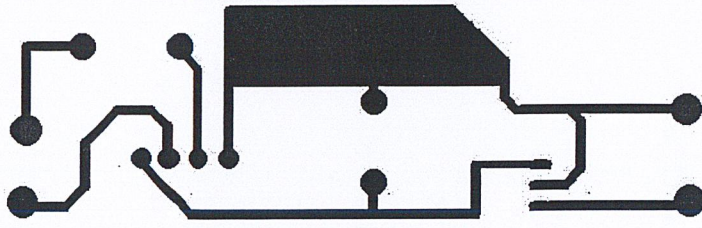


รูปที่ ข.6 วงจรพิมพ์ของส่วนควบคุมการแสดงผล

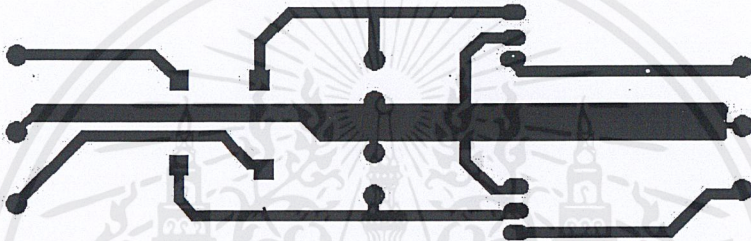


รูปที่ ข.7 วงจรพิมพ์ของส่วนขยายสัญญาณ และ แสดงขั้วแม่เหล็ก

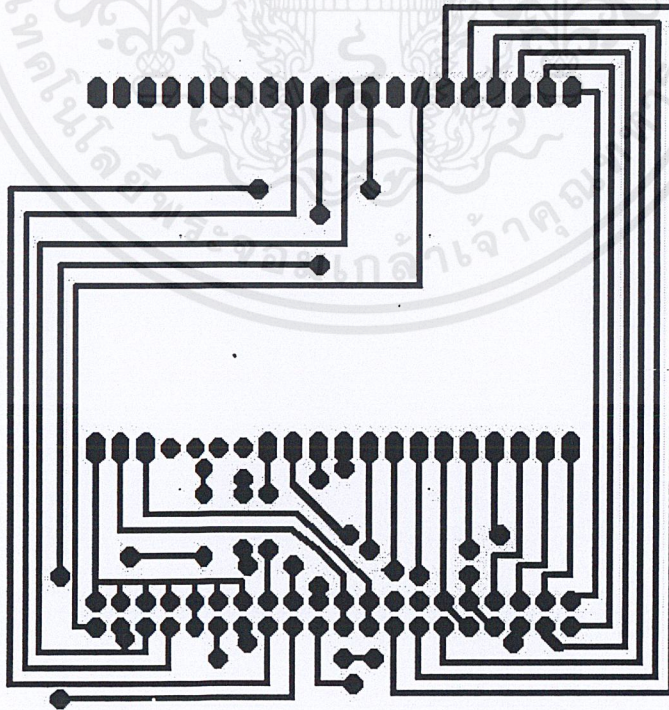
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.8 วงจรพิมพ์ของส่วนแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง +9 โวลต์



รูปที่ ข.9 วงจรพิมพ์ของส่วนแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง  $\pm 5$  โวลต์



รูปที่ ข.10 วงจรพิมพ์ของส่วนจอแสดงผลแอลซีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค  
รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการอุปกรณ์

### 1. วงจรส่วนแสดงผลแบบตัวเลข

ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์วงจรส่วนแสดงผลแบบตัวเลข

รายการอุปกรณ์	จำนวน
ไอซี ICL7106	1
จอแสดงผลแบบผลึกเหลว ขนาด 3.5 หลัก	1
ไอซี MC4030	1
ซี็อกเก็ต ไอซี 40 ขา	1
ซี็อกเก็ต ไอซี 14 ขา	1
ตัวเก็บประจุ 0.01 ไมโครฟารัด	2
ตัวเก็บประจุ 0.047 ไมโครฟารัด	1
ตัวเก็บประจุ 0.22 ไมโครฟารัด	1
ตัวเก็บประจุ 100 พิโกฟารัด	1
ตัวความต้านทาน 25 กิโลโอห์ม	1
ตัวความต้านทาน 20 กิโลโอห์ม	1
ตัวความต้านทาน 100 กิโลโอห์ม	1
ตัวความต้านทาน 470 กิโลโอห์ม	1
ตัวความต้านทาน 1 เมกะโอห์ม	1

## 2. วงจรส่วนแสดงขั้วแม่เหล็ก

ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์วงจรส่วนแสดงขั้วแม่เหล็ก

รายการอุปกรณ์	จำนวน
ไอซี LF353	1
ซี็อกเก็ตไอซี 8 ขา	1
แอลอีดีสีแดง	1
แอลอีดีสีเขียว	1
ตัวความต้านทาน 200 โอห์ม	2
ตัวความต้านทาน 1 กิโลโอห์ม	1
ตัวความต้านทาน 10 กิโลโอห์ม	1

## 3. วงจรส่วนภาคขยายสัญญาณ

ตารางที่ ค.3 รายการอุปกรณ์วงจรส่วนภาคขยายสัญญาณ

รายการอุปกรณ์	จำนวน
ไอซี LF353	2
ซี็อกเก็ตไอซี 8 ขา	2
ตัวความต้านทานปรับค่าได้ 20 กิโลโอห์ม	1
ตัวความต้านทานปรับค่าได้ 250 กิโลโอห์ม	1
ตัวความต้านทาน 10 กิโลโอห์ม	2
ตัวความต้านทาน 25 กิโลโอห์ม	2
ตัวความต้านทาน 100 กิโลโอห์ม	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. วงจรภาคจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

ตารางที่ ค.4 รายการอุปกรณ์วงจรภาคจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรง

รายการอุปกรณ์	จำนวน
หม้อแปลง 9 โวลต์ / 1 แอมป์	1
หม้อแปลงมีแกนกลาง 5 โวลต์ / 500 มิลลิแอมป์	1
วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่น 1 แอมป์	2
ไอซีรักษาระดับแรงดันคงที่ 7809	1
ไอซีรักษาระดับแรงดันคงที่ 7805	1
ไอซีรักษาระดับแรงดันคงที่ 7905	1
ตัวระบายความร้อน	3
ตัวเก็บประจุ 4700 ไมโครฟารัด	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง

คุณสมบัติของตัวอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LF353

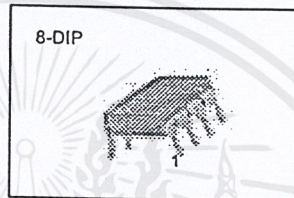
### Dual Operational Amplifier (JFET)

#### Features

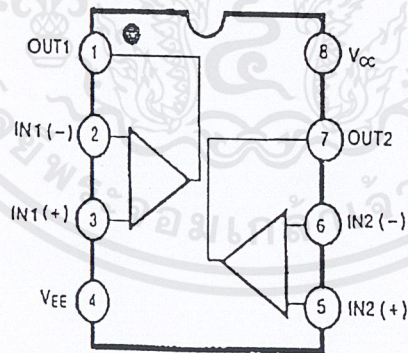
- Internally trimmed offset voltage: 10mV
- Low input bias current: 50pA
- Wide gain bandwidth: 4MHz
- High slew rate: 13V/μs
- High Input impedance:  $10^{12}\Omega$

#### Description

The LF353 is a JFET input operational amplifier with an internally compensated input offset voltage. The JFET input device provides wide bandwidth, low input bias currents and offset currents.

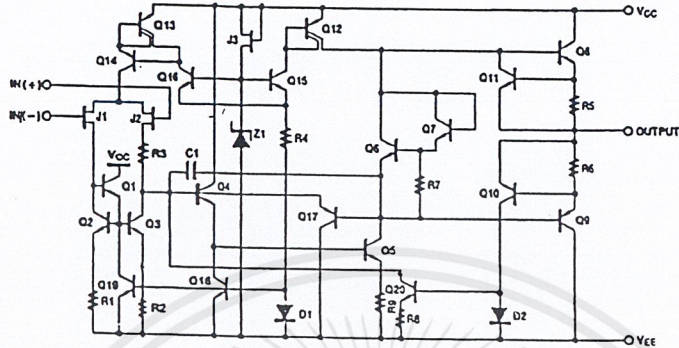


#### Internal Block Diagram



**Schematic Diagram**

(One Section Only)



**Absolute Maximum Ratings**

Parameter	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage	VCC	±18	V
Differential Input Voltage	VI(DIFF)	30	V
Input Voltage Range	VI	±15	V
Output Short Circuit Duration	-	Continuous	-
Power Dissipation	PD	500	mW
Operating Temperature Range	TOPR	0 ~ +70	°C
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ +150	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics

( $V_{CC} = +15V$ ,  $V_{EE} = -15V$ ,  $T_A = 25^\circ C$ , unless otherwise specified)

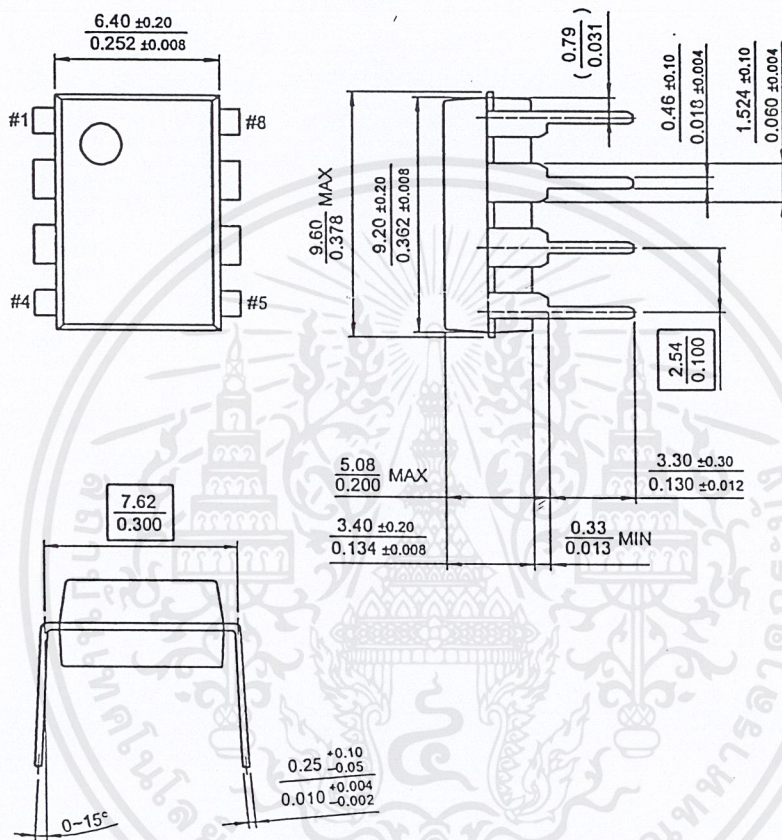
Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input Offset Voltage	$V_{IO}$	$R_S = 10K\Omega$ $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$	-	5.0	10	mV
Input Offset Voltage Drift	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	$R_S = 10K\Omega$ $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$	-	10	-	$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current	$I_{IO}$	$0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$	-	25	100	pA
Input Bias Current	$I_{BIAS}$	$0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$	-	50	200	pA
Input Resistance	$R_I$	-	-	$10^{12}$	-	W
Large Signal Voltage Gain	$G_V$	$V_{O(P-P)} = \pm 0V$ $R_L = 2K\Omega$ $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$	25	100	-	V/mV
Output Voltage Swing	$V_{O(P.P)}$	$R_L = 10K\Omega$	$\pm 12$	$\pm 13.5$	-	V
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	-	$\pm 11$	$\pm 15/-12$	-	V
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	$R_S \geq 10K\Omega$	70	100	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$R_S \geq 10K\Omega$	70	100	-	dB
Power Supply Current	$I_{CC}$	-	-	3.6	6.5	mA
Slew Rate	SR	$G_V = 1$	-	13	-	V/ $\mu S$
Gain-Bandwidth Product	GBW	-	-	4	-	MHz
Channel Separation	CS	$f = 1Hz \sim 20KHz$ (Input referenced)	120	120	-	dB
Equivalent Input Noise Voltage	$V_{NI}$	$R_S = 100\Omega$ $f = 1KHz$	16	16	-	$nV/\sqrt{Hz}$
Equivalent Input Noise Current	$I_{NI}$	$f = 1KHz$	0.01	0.01	-	$pA/\sqrt{Hz}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Mechanical Dimensions

## Package

## 8-DIP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Philips Semiconductors – a worldwide company

Argentina: see South America

Australia: 34 Waterloo Road, NORTH RYDE, NSW 2113,  
Tel. +61 2 9805 4455, Fax. +61 2 9805 4466

Austria: Computerstr. 6, A-1101 WIEN, P.O. Box 213, Tel. +43 160 1010,  
Fax. +43 160 101 1210

Belarus: Hotel Minsk Business Center, Bld. 3, r. 1211, Volodarski Str. 6,  
220050 MINSK, Tel. +375 172 200 733, Fax. +375 172 200 773

Belgium: see The Netherlands

Brazil: see South America

Bulgaria: Philips Bulgaria Ltd., Energoproject, 15th floor,  
51 James Bourchier Blvd., 1407 SOFIA,  
Tel. +359 2 689 211, Fax. +359 2 689 102

Canada: PHILIPS SEMICONDUCTORS/COMPONENTS,  
Tel. +1 800 234 7381

China/Hong Kong: 501 Hong Kong Industrial Technology Centre,  
72 Tat Chee Avenue, Kowloon Tong, HONG KONG,  
Tel. +852 2319 7888, Fax. +852 2319 7700

Colombia: see South America

Czech Republic: see Austria

Denmark: Prags Boulevard 80, PB 1919, DK-2300 COPENHAGEN S,  
Tel. +45 32 88 2636, Fax. +45 31 57 0044

Finland: Sinkkilaentie 3, FIN-02630 ESPOO,  
Tel. +358 9 615800, Fax. +358 9 61580920

France: 51 Rue Carnot, BP317, 92156 SURESNES Cedex,  
Tel. +33 1 40 99 6161, Fax. +33 1 40 99 6427

Germany: Hammerbrookstraße 69, D-20097 HAMBURG,  
Tel. +49 40 23 53 60, Fax. +49 40 23 536 300

Greece: No. 15, 25th March Street, GR 17778 TAVROS/ATHENS,  
Tel. +30 1 4894 339/239, Fax. +30 1 4814 240

Hungary: see Austria

India: Philips INDIA Ltd, Band Box Building, 2nd floor,  
254-D, Dr. Annie Besant Road, Worli, MUMBAI 400 025,  
Tel. +91 22 493 8541, Fax. +91 22 493 0966

Indonesia: see Singapore

Ireland: Newstead, Clonskeagh, DUBLIN 14,  
Tel. +353 1 7640 000, Fax. +353 1 7640 200

Israel: RAPAC Electronics, 7 Kehilat Salonik St, PO Box 18053,  
TEL AVIV 61180, Tel. +972 3 645 0444, Fax. +972 3 649 1007

Italy: PHILIPS SEMICONDUCTORS, Piazza IV Novembre 3,  
20124 MILANO, Tel. +39 2 6752 2531, Fax. +39 2 6752 2557

Japan: Philips Bldg 13-37, Kohnan 2-chome, Minato-ku, TOKYO 108,  
Tel. +81 3 3740 5130, Fax. +81 3 3740 5077

Korea: Philips House, 260-199 Itaewon-dong, Yongsan-ku, SEOUL,  
Tel. +82 2 709 1412, Fax. +82 2 709 1415

Malaysia: No. 76 Jalan Universiti, 46200 PETALING JAYA, SELANGOR,  
Tel. +60 3 750 5214, Fax. +60 3 757 4880

Mexico: 5900 Gateway East, Suite 200, EL PASO, TEXAS 79905,  
Tel. +9-5 800 234 7381

Middle East: see Italy

Netherlands: Postbus 90050, 5600 PB EINDHOVEN, Bldg. VB,  
Tel. +31 40 27 82785, Fax. +31 40 27 88399

New Zealand: 2 Wagener Place, C.P.O. Box 1041, AUCKLAND,  
Tel. +64 9 849 4160, Fax. +64 9 849 7811

Norway: Box 1, Manglerud 0612, OSLO,  
Tel. +47 22 74 8000, Fax. +47 22 74 8341

Philippines: Philips Semiconductors Philippines Inc.,  
106 Valero St. Salcedo Village, P.O. Box 2108 MCC, MAKATI,  
Metro MANILA, Tel. +63 2 816 6380, Fax. +63 2 817 3474

Poland: Ul. Lukiska 10, PL 04-123 WARSZAWA,  
Tel. +48 22 612 2831, Fax. +48 22 612 2327

Portugal: see Spain

Romania: see Italy

Russia: Philips Russia, Ul. Usatcheva 35A, 119048 MOSCOW,  
Tel. +7 095 755 6918, Fax. +7 095 755 6919

Singapore: Lorong 1, Toa Payoh, SINGAPORE 1231,  
Tel. +65 350 2538, Fax. +65 251 6500

Slovakia: see Austria

Slovenia: see Italy

South Africa: S.A. PHILIPS Pty Ltd., 195-215 Main Road Martindale,  
2092 JOHANNESBURG, P.O. Box 7430 Johannesburg 2000,  
Tel. +27 11 470 5911, Fax. +27 11 470 5494

South America: Al. Vicente Pinzon, 173, 6th floor,  
04547-130 SÃO PAULO, SP, Brazil,  
Tel. +55 11 821 2333, Fax. +55 11 821 2382

Spain: Balmes 22, 08007 BARCELONA,  
Tel. +34 3 301 6312, Fax. +34 3 301 4107

Sweden: Kottbygatan 7, Akalla, S-16485 STOCKHOLM,  
Tel. +46 8 5985 2000, Fax. +46 8 5985 2745

Switzerland: Allmendstrasse 140, CH-8027 ZÜRICH,  
Tel. +41 1 488 2741 Fax. +41 1 488 3263

Taiwan: Philips Semiconductors, 6F, No. 96, Chien Kuo N. Rd., Sec. 1,  
TAIPEI, Taiwan Tel. +886 2 2134 2855, Fax. +886 2 2134 2874

Thailand: PHILIPS ELECTRONICS (THAILAND) Ltd.,  
209/2 Sanpawuth-Bangna Road Prakanong, BANGKOK 10260,  
Tel. +66 2 745 4090, Fax. +66 2 398 0793

Turkey: Talatpasa Cad. No. 5, 80640 GÜLTEPE/ISTANBUL,  
Tel. +90 212 279 2770, Fax. +90 212 282 6707

Ukraine: PHILIPS UKRAINE, 4 Patrice Lumumba str., Building B, Floor 7,  
252042 KIEV, Tel. +380 44 264 2776, Fax. +380 44 268 0461

United Kingdom: Philips Semiconductors Ltd., 276 Bath Road, Hayes,  
MIDDLESEX UB3 5BX, Tel. +44 181 730 5000, Fax. +44 181 754 8421

United States: 811 East Arques Avenue, SUNNYVALE, CA 94088-3409,  
Tel. +1 800 234 7381

Uruguay: see South America

Vietnam: see Singapore

Yugoslavia: PHILIPS, Trg N. Pasicca 5A, 11000 BEOGRAD,  
Tel. +381 11 625 344, Fax. +381 11 635 777

For all other countries apply to: Philips Semiconductors,  
International Marketing & Sales Communications, Building BE-p, P.O. Box 218,  
5600 MD EINDHOVEN, The Netherlands, Fax. +31 40 27 24825

Internet: <http://www.semiconductors.philips.com>

© Philips Electronics N.V. 1998

SCA58

All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.

The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent- or other industrial or intellectual property rights.

Printed in The Netherlands

115 106/00/03/pp8

Date of release: 1998 Mar 31

Document order number: 9397 750 03639

Philips  
Semiconductors



PHILIPS

Let's make things better.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Magnetic field sensor

KMZ10B

DESCRIPTION

The KMZ10B is a sensitive magnetic field sensor, employing the magnetoresistive effect of thin-film permalloy. Its properties enable this sensor to be used in a wide range of applications for current and field measurement, revolution counters, angular or linear position measurement, proximity detectors, etc.

PINNING

PIN	SYMBOL	DESCRIPTION
1	+V <sub>O</sub>	output voltage
2	GND	ground
3	-V <sub>O</sub>	output voltage
4	V <sub>CC</sub>	supply voltage

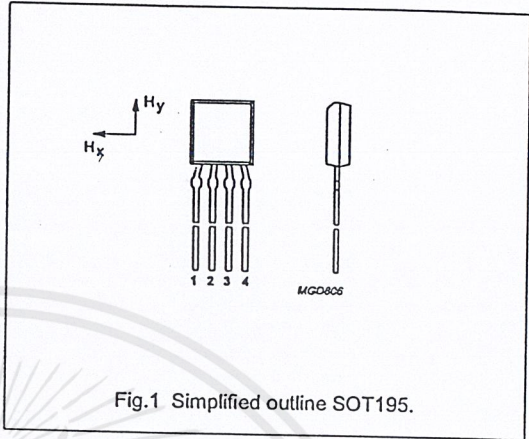


Fig.1 Simplified outline SOT195.

QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
V <sub>CC</sub>	bridge supply voltage	-	5	12	V
H <sub>y</sub>	magnetic field strength	-2	-	+2	kA/m
H <sub>x</sub>	auxiliary field	-	3	-	kA/m
S	sensitivity	-	4	-	mV/V kA/m
R <sub>bridge</sub>	bridge resistance	1.6	-	2.6	kΩ
V <sub>offset</sub>	offset voltage	-1.5	-	+1.5	mV/V

CIRCUIT DIAGRAM

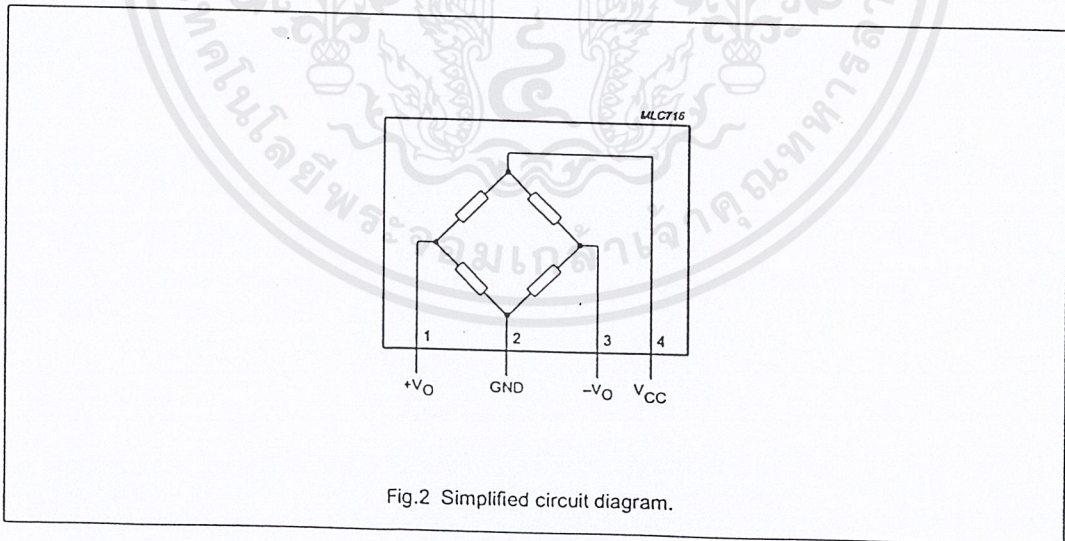


Fig.2 Simplified circuit diagram.

## Magnetic field sensor

KMZ10B

## LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$V_{CC}$	bridge supply voltage		-	12	V
$P_{tot}$	total power dissipation	up to $T_{amb} = 130\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	120	mW
$T_{stg}$	storage temperature		-65	+150	$^{\circ}\text{C}$
$T_{bridge}$	bridge operating temperature		-40	+150	$^{\circ}\text{C}$

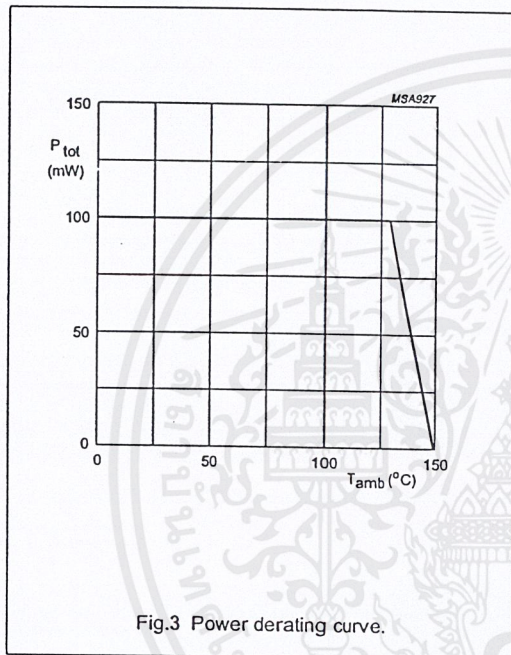


Fig.3 Power derating curve.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Magnetic field sensor

KMZ10B

## THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	VALUE	UNIT
$R_{th\text{-}j\text{-}a}$	thermal resistance from junction to ambient	180	K/W

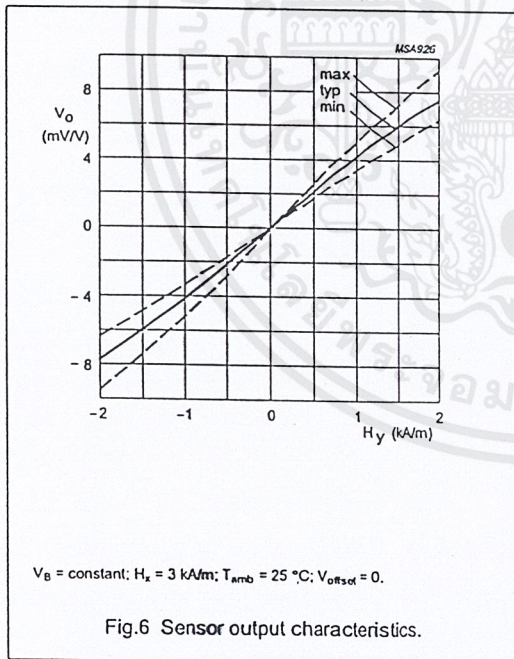
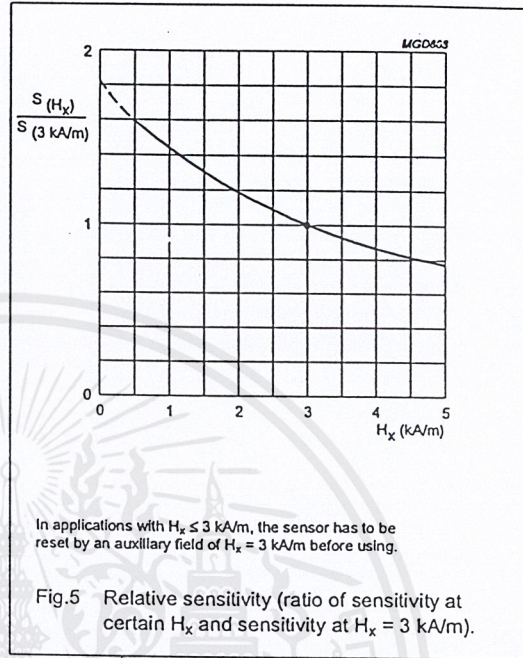
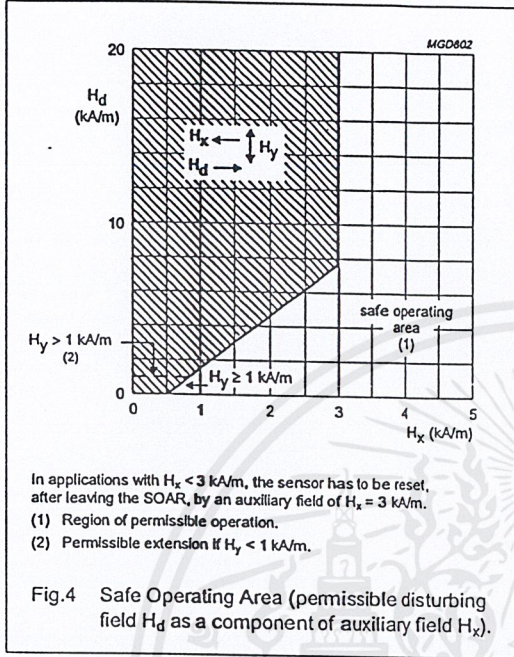
## CHARACTERISTICS

 $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $H_x = 3\text{ kA/m}$ ; note 1.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$V_{CC}$	bridge supply voltage		–	5	–	V
$H_y$	magnetic field strength		–2	–	+2	kA/m
S	sensitivity	open circuit, notes 2 and 3	3.2	–	4.8	$\frac{\text{mV}}{\text{V}}$ $\frac{\text{kA}}{\text{m}}$
$TCV_O$	temperature coefficient of output voltage	$V_{CC} = 5\text{ V}$ ; $T_J = -25\text{ to }+125\text{ }^{\circ}\text{C}$	–	–0.4	–	%/K
		$I_B = 3\text{ mA}$ ; $T_J = -25\text{ to }+125\text{ }^{\circ}\text{C}$	–	–0.1	–	%/K
$R_{bridge}$	bridge resistance		1.6	–	2.6	k $\Omega$
$TCR_{bridge}$	temperature coefficient of bridge resistance	$T_{bridge} = -25\text{ to }+125\text{ }^{\circ}\text{C}$	–	0.3	–	%/K
$V_{offset}$	offset voltage		–1.5	–	+1.5	mV/V
$TCV_{offset}$	offset voltage drift	$T_J = -25\text{ to }+125\text{ }^{\circ}\text{C}$	–3	–	+3	$\frac{\mu\text{V}}{\text{V}}$ K
FL	linearity deviation of output voltage	$H_y = 0\text{ to } \pm 1\text{ kA/m}$	–	–	$\pm 0.5$	%-FS
		$H_y = 0\text{ to } \pm 1.6\text{ kA/m}$	–	–	$\pm 1.7$	%-FS
		$H_y = 0\text{ to } \pm 2\text{ kA/m}$	–	–	$\pm 2$	%-FS
FH	hysteresis of output voltage		–	–	0.5	%-FS
f	operating frequency		0	–	1	MHz

## Notes

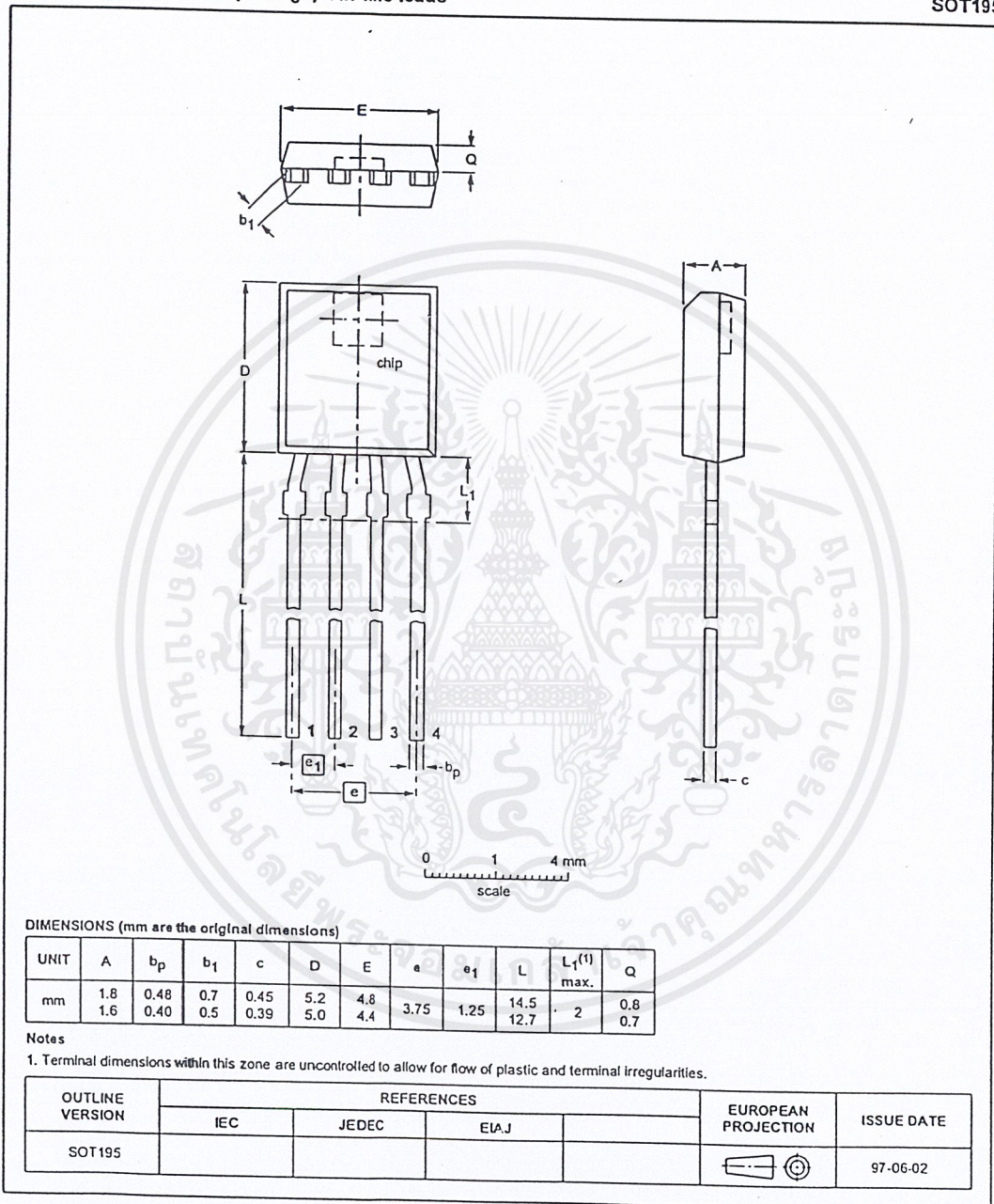
- In applications with  $H_x < 3\text{ kA/m}$  the sensor has to be reset before first operation by application of an auxiliary field  $H_x = 3\text{ kA/m}$ .
- No disturbing field ( $H_d$ ) allowed; for stable operation under disturbing conditions see Fig.4 (SOAR) and see Fig.5 for decrease of sensitivity.
- $$S = \frac{(V_O \text{ at } H_y = 1.6\text{ kA/m}) - (V_O \text{ at } H_y = 0)}{1.6 \times V_{CC}}$$



PACKAGE OUTLINE

Plastic single-ended flat package; 4 in-line leads

SOT195



Magnetic field sensor

KMZ10B

**DEFINITIONS**

<b>Data Sheet Status</b>	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
<b>Limiting values</b>	
Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
<b>Application information</b>	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	

**LIFE SUPPORT APPLICATIONS**

These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


**ICL7106, ICL7107, ICL7107S**
**Data Sheet February 2001 File Number 3082.3**

### 3<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Digit, LCD/LED Display, A/D Converters

The Intersil ICL7106 and ICL7107 are high performance, low power, 3<sup>1</sup>/<sub>2</sub> 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/ $^{\circ}$ 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.

#### Ordering Information

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

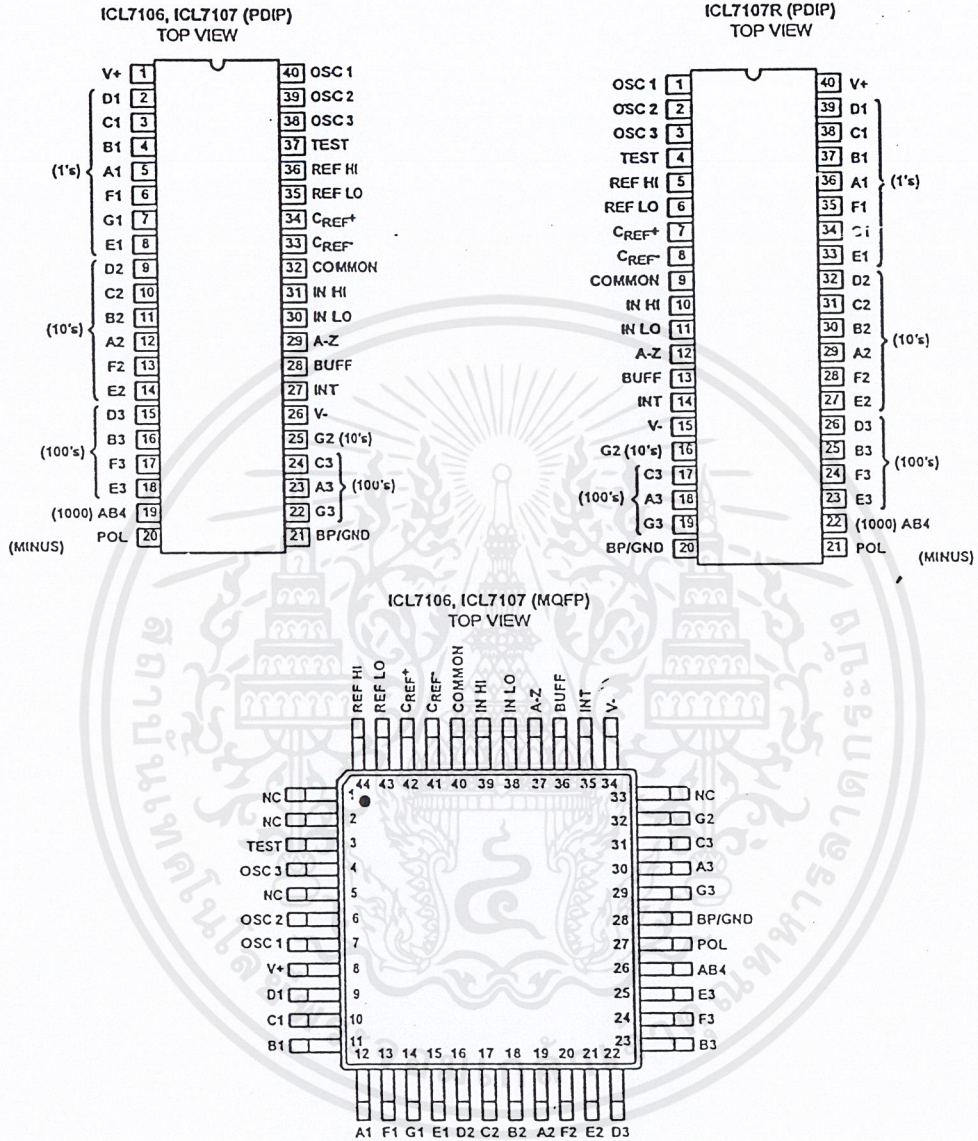
NOTE: "R" indicates device with reversed leads for mounting to PC board underside. "S" indicates enhanced stability.

#### 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 $\mu$ V<sub>p-p</sub>
- On Chip Clock and Reference
- Low Power Dissipation - Typically Less Than 10mW
- No Additional Active Circuits Required
- Enhanced Display Stability

ICL7106, ICL7107, ICL7107S

Pinouts



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ICL7106, ICL7107, ICL7107S

## 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 (Typical, Note 2)	$\theta_{JA}$ (°C/W)
PDIP Package	50
MQFP Package	75
Maximum Junction Temperature	150°C
Maximum Storage Temperature Range	-65°C to 150°C
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s)	300°C
(MQFP - Lead Tips Only)	

## Operating Conditions

Temperature Range	0°C to 70°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.

## NOTES:

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

## Electrical Specifications (Note 3)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
<b>SYSTEM PERFORMANCE</b>					
Zero Input Reading	$V_{IN} = 0.0V$ , Full Scale = 200mV	-000.0	$\pm 000.0$	+000.0	Digital Reading
Stability (Last Digit) (ICL7106S, ICL7107S Only)	Fixed Input Voltage (Note 6)	-000.0	$\pm 000.0$	+000.0	Digital Reading
Ratiometric Reading	$V_{IN} = V_{REF}$ , $V_{REF} = 100mV$	999	999/1000	1000	Digital Reading
Rollover Error	$-V_{IN} = +V_{IN} = 200mV$ Difference in Reading for Equal Positive and Negative Inputs Near Full Scale	-	$\pm 0.2$	$\pm 1$	Counts
Linearity	Full Scale = 200mV or Full Scale = 2V Maximum Deviation from Best Straight Line Fit (Note 5)	-	$\pm 0.2$	$\pm 1$	Counts
Common Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = 1V$ , $V_{IN} = 0V$ , Full Scale = 200mV (Note 5)	-	50	-	$\mu V/V$
Noise	$V_{IN} = 0V$ , Full Scale = 200mV (Peak-To-Peak Value Not Exceeded 95% of Time)	-	15	-	$\mu V$
Leakage Current Input	$V_{IN} = 0$ (Note 5)	-	1	10	$\mu A$
Zero Reading Drift	$V_{IN} = 0$ , 0°C To 70°C (Note 5)	-	0.2	1	$\mu V/^\circ C$
Scale Factor Temperature Coefficient	$V_{IN} = 199mV$ , 0°C To 70°C, (Ext. Ref. 0ppm/°C) (Note 5)	-	1	5	ppm/°C
End Power Supply Character V+ Supply Current	$V_{IN} = 0$ (Does Not Include LED Current for ICL7107)	-	1.0	1.8	mA
End Power Supply Character V- Supply Current	ICL7107 Only	-	0.6	1.8	mA
COMMON Pin Analog Common Voltage	25k $\Omega$ Between Common and Positive Supply (With Respect to + Supply)	2.4	3.0	3.2	V
Temperature Coefficient of Analog Common	25k $\Omega$ Between Common and Positive Supply (With Respect to + Supply)	-	80	-	ppm/°C
<b>DISPLAY DRIVER ICL7106 ONLY</b>					
Peak-To-Peak Segment Drive Voltage	$V+ = 10V$ , $V- = 9V$ (Note 4)	4	5.5	6	V
Peak-To-Peak Backplane Drive Voltage					

ICL7106, ICL7107, ICL7107S

Electrical Specifications (Note 3) (Continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
<b>DISPLAY DRIVER ICL7107 ONLY</b>					
Segment Sinking Current	V+ = 5V, Segment Voltage = 3V				
Except Pins 19 and 20		5	8	-	mA
Pin 19 Only		10	16	-	mA
Pin 20 Only		4	7	-	mA

NOTES:

- Unless otherwise noted, specifications apply to both the ICL7106 and ICL7107 at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $f_{\text{CLOCK}} = 48\text{kHz}$ . 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 degrees out of phase for "on" segment. Frequency is 20 times conversion rate. Average DC component is less than 50mV.
- Not tested, guaranteed by design.
- Sample Tested.

Typical Applications and Test Circuits

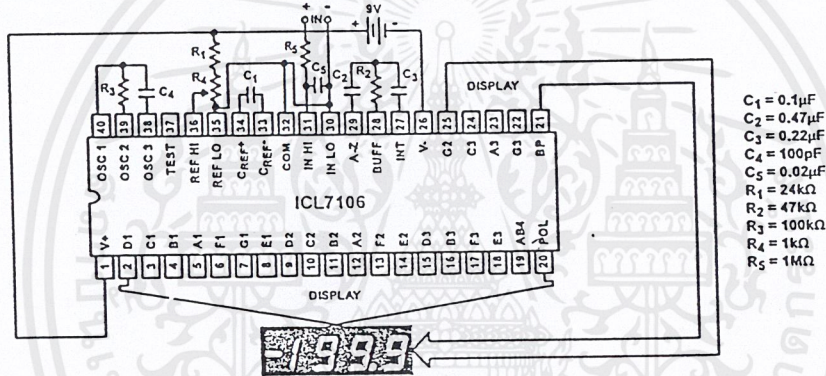


FIGURE 1. ICL7106 TEST CIRCUIT AND TYPICAL APPLICATION WITH LCD DISPLAY COMPONENTS SELECTED FOR 200mV FULL SCALE

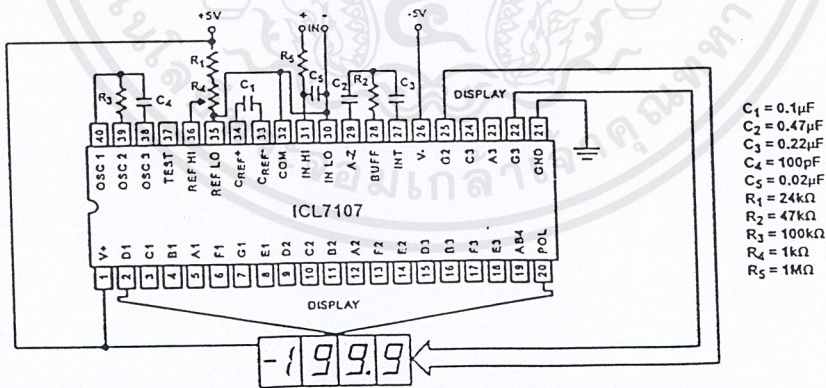


FIGURE 2. ICL7107 TEST CIRCUIT AND TYPICAL APPLICATION WITH LED DISPLAY COMPONENTS SELECTED FOR 200mV FULL SCALE

## ICL7106, ICL7107, ICL7107S

**Component Value Selection****Integrating Resistor**

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

**Integrating Capacitor**

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

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

**Auto-Zero Capacitor**

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

**Reference Capacitor**

A  $0.1\mu\text{F}$  capacitor gives good results in most applications. However, where a large common mode voltage exists (i.e., the REF LO pin is not at analog COMMON) and a 200mV scale is used, a larger value is required to prevent roll-over error. Generally  $1\mu\text{F}$  will hold the roll-over error to 0.5 count in this instance.

**Oscillator Components**

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

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

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

**Reference Voltage**

The analog input required to generate full scale output (2000 counts) is:  $V_{\text{IN}} = 2V_{\text{REF}}$ . Thus, for the 200mV and 2V scale,  $V_{\text{REF}}$  should equal 100mV and 1V, respectively. However, in many applications where the A/D is connected to a transducer, there will exist a scale factor other than unity between the input voltage and the digital reading. For instance, in a weighing system, the designer might like to have a full scale reading when the voltage from the transducer is 0.662V. Instead of dividing the input down to 200mV, the designer should use the input voltage directly and select  $V_{\text{REF}} = 0.341\text{V}$ . Suitable values for integrating resistor and capacitor would be  $120\text{k}\Omega$  and  $0.22\mu\text{F}$ . This makes the system slightly quieter and also avoids a divider network on the input. The ICL7107 with  $\pm 5\text{V}$  supplies can accept input signals up to  $\pm 4\text{V}$ . Another advantage of this system occurs when a digital reading of zero is desired for  $V_{\text{IN}} \neq 0$ . 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  $\pm 5\text{V}$  supplies. However, if a negative supply is not available, it can be generated from the clock output with 2 diodes, 2 capacitors, and an inexpensive IC. Figure 10 shows this application. See ICL7660 data sheet for an alternative.

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

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

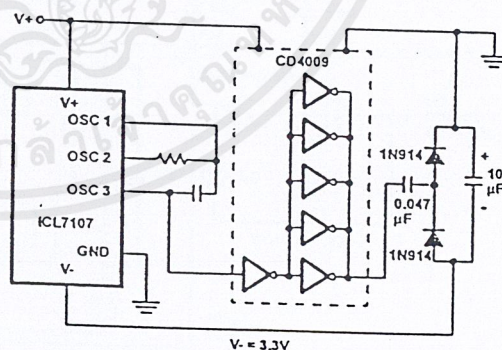


FIGURE 10. GENERATING NEGATIVE SUPPLY FROM +5V

ICL7106, ICL7107, ICL7107S

Analog COMMON

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

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

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

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

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

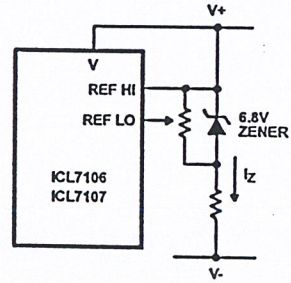


FIGURE 4A.

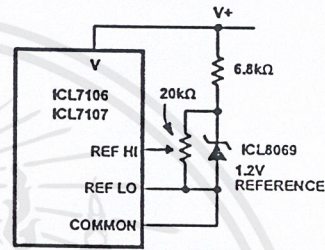


FIGURE 4B.

FIGURE 4. USING AN EXTERNAL REFERENCE

TEST

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

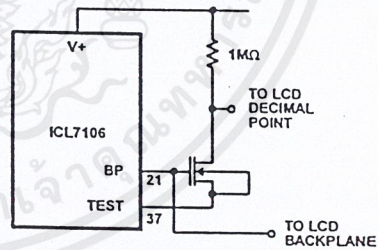


FIGURE 5. SIMPLE INVERTER FOR FIXED DECIMAL POINT

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

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

ICL7106, ICL7107, ICL7107S

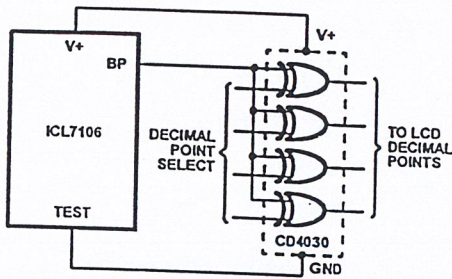


FIGURE 6. EXCLUSIVE 'OR' GATE FOR DECIMAL POINT DRIVE

Digital Section

Figures 7 and 8 show the digital section for the ICL7106 and ICL7107, respectively. In the ICL7106, an internal digital ground is generated from a 6V Zener diode and a large P-Channel source follower. This supply is made stiff to

absorb the relative large capacitive currents when the back plane (BP) voltage is switched. The BP frequency is the clock frequency divided by 800. For three readings/sec., this is a 60Hz square wave with a nominal amplitude of 5V. The segments are driven at the same frequency and amplitude and are in phase with BP when OFF, but out of phase when ON. In all cases negligible DC voltage exists across the segments.

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

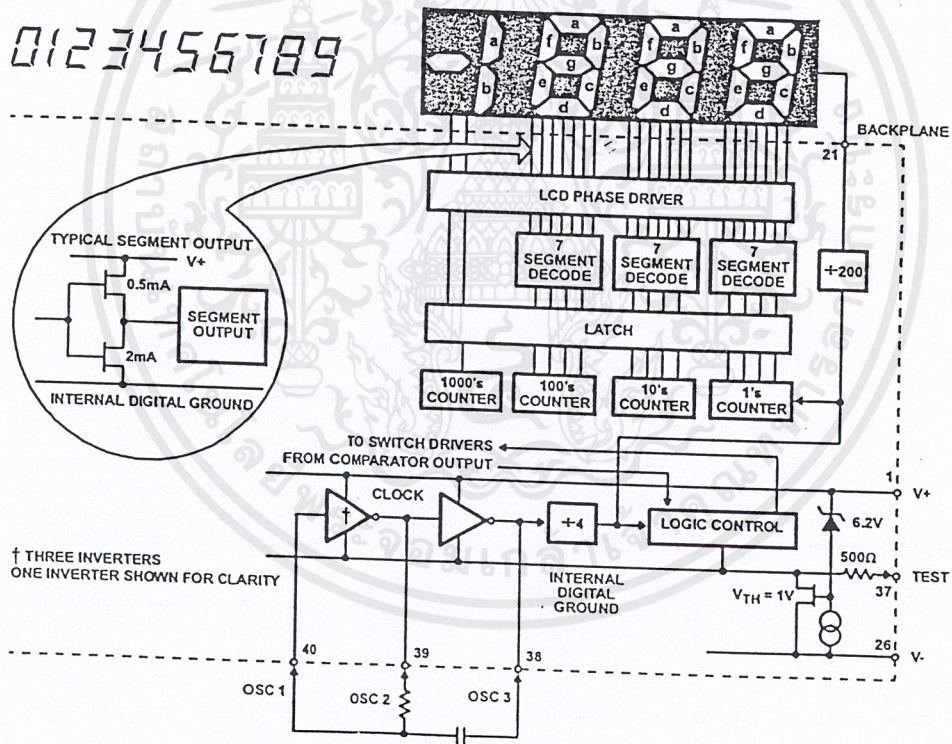


FIGURE 7. ICL7106 DIGITAL SECTION

## ICL7106, ICL7107, ICL7107S

## Design Information Summary Sheet

## • OSCILLATOR FREQUENCY

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

$$C_{OSC} > 50pF; R_{OSC} > 50k\Omega$$

$$f_{OSC} (Typ) = 48kHz$$

## • OSCILLATOR PERIOD

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

## • INTEGRATION CLOCK FREQUENCY

$$f_{CLOCK} = f_{OSC}/4$$

## • INTEGRATION PERIOD

$$t_{INT} = 1000 \times (4/f_{OSC})$$

## • 60/50Hz REJECTION CRITERION

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

## • OPTIMUM INTEGRATION CURRENT

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

## • FULL SCALE ANALOG INPUT VOLTAGE

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

## • INTEGRATE RESISTOR

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

## • INTEGRATE CAPACITOR

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

## • INTEGRATOR OUTPUT VOLTAGE SWING

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

•  $V_{INT}$  MAXIMUM SWING:

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

## • DISPLAY COUNT

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

## • CONVERSION CYCLE

$$t_{CYC} = t_{CLOCK} \times 4000$$

$$t_{CYC} = t_{OSC} \times 16,000$$

when  $f_{OSC} = 48kHz; t_{CYC} = 333ms$

## • COMMON MODE INPUT VOLTAGE

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

## • AUTO-ZERO CAPACITOR

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

## • REFERENCE CAPACITOR

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

•  $V_{COM}$ 

Biased between  $V_i$  and  $V_-$ .

•  $V_{COM} \equiv V+ - 2.8V$ 

Regulation lost when  $V+ \text{ to } V_- < \cong 6.8V$

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

## • ICL7106 POWER SUPPLY: SINGLE 9V

$$V+ - V_- = 9V$$

Digital supply is generated internally

$$V_{GND} \equiv V+ - 4.5V$$

## • ICL7106 DISPLAY: LCD

Type: Direct drive with digital logic supply amplitude.

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

$$V+ = +5V \text{ to GND}$$

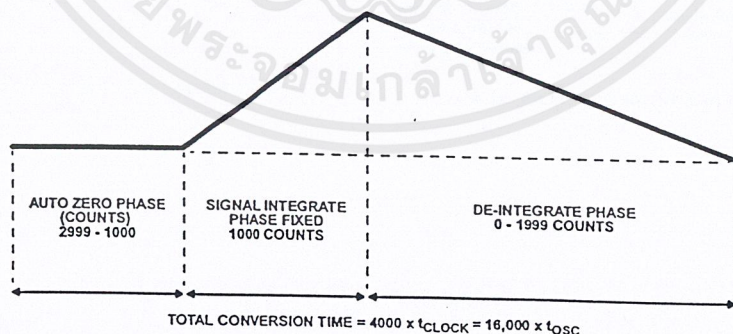
$$V_- = -5V \text{ to GND}$$

Digital Logic and LED driver supply  $V+ \text{ to GND}$

## • ICL7107 DISPLAY: LED

Type: Non-Multiplexed Common Anode

## Typical Integrator Amplifier Output Waveform (INT Pin)





ภาคผนวก จ

คู่มือการใช้งานเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อผู้ทำปริญญาบัตร	นายศักดิ์วิชิต มั่นคง
วันเดือนปีเกิด	1 กันยายน 2521
สถานที่เกิด	จังหวัด นครนายก
ภูมิลำเนาเดิม	28 หมู่ 7 ตำบลคอนขอ อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก รหัสไปรษณีย์ 26000
ที่อยู่ปัจจุบัน	2003/14 เกษะชุมชนห้วยขวาง ถนนรัชดาภิเษก แขวงดินแดง เขตดินแดง กรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10320
โทรศัพท์	02 - 2775959
<b>ประวัติการศึกษา</b>	
ประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านคลอง 3 ครุฑศึกษา
มัธยมศึกษา	โรงเรียนเมืองนครนายก
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคนครนายก
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี
ปริญญาตรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	ทุนผลการเรียนดีเด่น
คติพจน์	จงเป็นผู้ให้มากกว่าจะเป็นผู้รับ