

## ปริญญานิพนธ์

เครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

THREE PHASE INDUCTION MOTOR PARAMETER METER



นายวินัย ยุกถาวร

นายสุเมธ จังศิริวัฒนา

นายอรรณพ ชรรรมกิริติ

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน...51058...

วัน,เดือน,ปี...29 ส.ย. 2547...

.b.....

.i.....

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม  
 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อ เครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส  
 Three Phase Induction Motor Parameter Meter

- ชื่อนักศึกษา
- นายวินัย ยกถาวร รหัสประจำตัว 45035438
  - นายสุเมธ จังศิริวัฒนา รหัสประจำตัว 45035448
  - นายอรรถพร ธรรมกิติ รหัสประจำตัว 45035453

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม  
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม  
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงษ์คี

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์ปิยะ สุภรารัฐวัฒน์	
2. อาจารย์ประเสริฐ เคนพันค้อ	
3. ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม	
4. อาจารย์โกศล ตราฐู	
5. อาจารย์อมรชัย ชัยชนะ	

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันพุธที่ 19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2546 เวลา 10:00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.311 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(นายสุรสิทธิ์ ราษฎร์)



หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่ 31 เดือน พ.ค. พ.ศ. 47



<BT4610422>

เครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เช่าเห็นใบเสร็จรับเงินดำเนินการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ปริญญานิพนธ์

เรื่อง เครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

Three Phase Induction Motor Parameter Meter

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงพารามิเตอร์ ที่ใช้ในการวัดคุณสมบัติและส่วนประกอบของเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส
2. เพื่อออกแบบวงจรภาคลดแรงดัน ภาควัดแรงดัน ภาควัดกระแส ภาคเฟส และภาคแสดงผลค่าแรงดัน กระแส เฟส และเพาเวอร์แฟกเตอร์
3. เพื่อสร้างวงจรภาคลดแรงดัน ภาควัดแรงดัน ภาควัดกระแส ภาคเฟส และภาคแสดงผลค่าแรงดัน กระแส เฟส และเพาเวอร์แฟกเตอร์
4. เพื่อทดลองและทดสอบส่วนประกอบเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้า ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส
5. เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถอธิบายบอกส่วนประกอบของแต่ละส่วนของเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสได้
2. ได้แบบวงจรภาคลดแรงดัน ภาควัดแรงดัน ภาควัดกระแส ภาคเฟส และภาคแสดงผล
3. ได้วงจรภาคลดแรงดัน ภาควัดแรงดัน ภาควัดกระแส ภาคเฟส และภาคแสดงผล
4. สามารถนำค่าที่ได้จากการทดลอง และทดสอบไปปรับปรุงแก้ไขได้
5. ได้เครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส (เครื่องต้นแบบ) เพื่อนำไปใช้ในงานจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	เครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	
นักศึกษา	นายวินัย	ยกุลวาร
	นายสุเมธ	จั่งศิริวัฒนา
	นายอรรถนพ	ธรรมกิริติ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.วิสุทธิ์	อธิพรธรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงษ์ดี	
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต	
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2546	

### บทคัดย่อ

ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เสนอ โครงสร้างของเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส เพื่อวัดค่าแรงดัน ค่ากระแส ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ และจำนวนเฟส รวมเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งค่าที่ได้จากการวัดจะแสดงด้วยส่วนแสดงผล 7 ส่วน สีหลัก แสดงผลทางด้านหน้าของตัวเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

## II

<b>Thesis</b>	Three Phase Induction Motor Parameter Meter	
<b>Students</b>	Mr. Winai	Yokthavorn
	Mr. Sumath	Chaiseanan
	Mr. Annop	Thammakilate
<b>Advisor</b>	Assis. Prof. Wisuit	Atipornnum
<b>Co-Advisor</b>	Surapong	Siripongdee
<b>Education Level</b>	Bachelor of Science in Industrial Education	
<b>Program in</b>	Industrial Instrument Technology	
<b>Academic Year</b>	2003	

### ABSTRACT

This thesis observe about presents a designs and implementation of Three Phase Induction motor Parameter Meter. the device for mesure voltage the device for mesure current, the line of electric power, power factor and phase combination. The value to show that 7-segments and 4 positions on the part of display

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปด้วยดี เนื่องมาจากความร่วมมือของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน ขอขอบคุณ ผ.ศ.วิสุทธ์ อธิพรธรรม อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงษ์ดี และคณาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์วิสุกรรมทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ รวมทั้งให้คำแนะนำ แนวความคิด ความรู้ต่างๆ แนวทางการแก้ไขปัญหาในการจัดทำปริญญานิพนธ์ ขอขอบคุณห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สำนักงานหอสมุดกลาง ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการค้นคว้าข้อมูล สดุดีที่ควรระลึกถึงอย่างยิ่ง บิดา และมารดาที่เป็นผู้ให้ความสนับสนุนด้านการศึกษา และเป็นผู้ที่ให้อำนาจใจด้วยดีตลอดมา ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 ซัดความสามารถของ โครงการงาน	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	3
2.1.1 การเกิดสนามแม่เหล็กหมุน	7
2.1.2 การผลิตแรงบิด	8
2.1.3 การวิเคราะห์วงจรสมมูล	10
2.1.4 การทำงาน โดยการปรับค่าแรงดัน	15
2.1.5 การทำงาน โดยการปรับความถี่	15
2.2 วงจรอปแอมป์	19
2.2.1 วงจรขยายแบบอินเวอร์ตติ้ง	19
2.2.2 วงจรรวมสัญญาณแบบอินเวอร์ตติ้ง	23
2.2.3 วงจรตามแรงดัน	25
2.2.4 วงจรขยายแบบนอนอินเวอร์ตติ้ง	28
2.2.5 วงจรขยายแบบผสมผสาน	31
2.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล	33
2.3.1 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลแบบเฟลทช	33
2.3.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลที่ใช้ในการอินทิเกรต	34
2.3.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอลที่ใช้วงจรมินิ	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.3.4 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบการสุ่ม และการคงค่า	41
2.4 PIC 16F877	42
บทที่ 3 การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน	46
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	46
3.2 แผนผังการทำงาน	49
3.3 การออกแบบ	51
3.3.1 ภาคลดแรงดัน	51
3.3.2 ภาควัดกระแส	53
3.3.3 ภาคแสดงผลและประมวลผล	55
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	58
4.1 ผลการทดลอง	58
บทที่ 5 บทสรุป	60
5.1 สรุป	60
5.2 ปัญหาและการแก้ไข	60
5.3 แนวทางการพัฒนา	61
บรรณานุกรม	62
ภาคผนวก ก เครื่องต้นแบบ	63
ภาคผนวก ข วงจรและแผ่นวงจรพิมพ์	67
ภาคผนวก ค รายการอุปกรณ์	74
ภาคผนวก ง แผนผังการทำงานและรหัสต้นฉบับของโปรแกรม	77
ภาคผนวก จ คู่มือการใช้งาน	87
ภาคผนวก ฉ รายละเอียดและคุณสมบัติของอุปกรณ์	93
ประวัติผู้แต่ง	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบขนาด	33
4.1 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส กับเครื่องวัดแรงดันและวัดกระแส	59
ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรลดแรงดัน	75
ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรวัดกระแส	75
ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรแสดงผล	76
ค.4 รายการอุปกรณ์ของวงจรคอนโทรล	76



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	3
2.2 โรเตอร์แบบกรงกระรอก	4
2.3 โรเตอร์แบบกรงกระรอกและองค์ประกอบของขดลวดมอเตอร์	5
2.4 หน้าตัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่สมมาตร	6
2.5 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในทางอุดมคติแบบสองขั้ว	6
2.6 ลักษณะสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้นในสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบ 2 POLE	8
2.7 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแต่ละเฟส	8
2.8 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของวงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	9
2.9 วงจรสมมูลที่แท้จริงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	12
2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วขณะที่ความถี่และแรงดันมีค่าคงที่	13
2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงบิดขณะปรับแรงดันที่สเตเตอร์	15
2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงบิดโดยการปรับความถี่	16
2.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงบิดที่แรงดันและความถี่มีค่าคงที่	16
2.14 กราฟย่านของความเร็วและแรงบิดโดยการปรับแรงดันและปรับความถี่ที่แหล่งจ่าย	17
2.15 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่และแรงดันของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	17
2.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วกับการปรับกระแสที่สเตเตอร์	18
2.17 วงจรขยายแบบกลับเฟส	19
2.18 การไหลของกระแสเมื่อแรงดันที่เป็นลบลูกป้อนเข้าที่ขาลบของออปแอมป์	22
2.19 วงจรอินเวอร์ตติ้ง	22
2.20 วงจรรวมสัญญาณแบบอินเวอร์ตติ้งเมื่อ $R$ เท่ากับ 10	23
2.21 วงจรตามแรงดัน	25
2.22 (ก) ประโยชน์จากการไม่มีกระแสไหลจาก $E_{gen}$ โดยตรงทำให้แรงดันที่เอาต์พุตเท่ากับ อินพุต $V_o = E_{gen}$	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.22 (ข) แรงดันของ $E_{gen}$ จะถูกแบ่งระหว่างความต้านทานของมันเอง และความต้านทานที่ ขาอินพุตของออปแอมป์	27
2.23 ทิศทางการไหลของกระแส และขั้วของแรงดันเมื่อป้อนแหล่งจ่ายไฟชนิดต่างๆ	29
2.24 วงจรขยายแบบกลับเฟสแบบผสมผสาน	31
2.25 การต่อวงจรเปรียบเทียบแบบขนาน หรือแบบเฟส	34
2.26 แผนผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโโลปเดี่ยว	35
2.27 ความชันของสัญญาณขึ้นบันได	35
2.28 แผนผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโโลปคู่	36
2.29 แรงดันขาออกของวงจรอินทิเกรเตอร์เทียบกับเวลา	38
2.30 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบเคลต้า-ซิกมา	39
2.31 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่สร้างขึ้นจากวงจรนับขึ้น/ลง และวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก	40
2.32 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบประมาณค่า	41
2.33 ตำแหน่งขาสัญญาณต่างๆ ของ PIC 16F877	43
2.34 การจัดสรรพื้นที่หน่วยความจำของ PIC 16F877	44
2.35 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876	45
3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานในการสร้างเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้า ของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าสามเฟส	46
3.1 (ต่อ) ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานในการสร้างเครื่องแสดงคุณสมบัติทาง ไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าสามเฟส	47
3.1 (ต่อ) ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานในการสร้างเครื่องแสดงคุณสมบัติทาง ไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าสามเฟส	48
3.2 แผนภาพการทำงานของเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	50
3.3 ภาคลดแรงดันไฟฟ้า	52
3.4 ภาควัดกระแส	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 ภาคแสดงผลค่าแรงดันบนจอแสดงผลแบบเจ็ดส่วน 4 หลักทศนิยม 1 ตำแหน่ง	55
3.6 ภาคแสดงผลค่ากระแสบนจอแสดงผลแบบเจ็ดส่วน 4 หลักทศนิยม 2 ตำแหน่ง	56
3.7 ภาคแสดงผลค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์บนจอแสดงผลแบบเจ็ดส่วน 4 หลัก ทศนิยม 2 ตำแหน่ง	56
3.8 ภาคประมวลผลโดย PIC 16F877	57
4.1 การทดลองวัดแรงดันด้วยเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้า ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	58
4.2 การต่อสายวัดของเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	59
ก.1 เครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	64
ก.2 ด้านข้างของเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	65
ก.3 ด้านหลังของเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	66
ข.1 ตำแหน่งการวางขาภาควัดกระแส	68
ข.2 แผ่นวงจรพิมพ์ภาควัดกระแส	68
ข.3 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์ภาควัดกระแส	69
ข.4 ตำแหน่งการวางขาของภาควัดแรงดัน	69
ข.5 แผ่นวงจรพิมพ์ภาควัดแรงดัน	70
ข.6 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์ภาควัดแรงดัน	70
ข.7 ตำแหน่งการวางขาภาคแสดงผล	71
ข.8 ตำแหน่งการวางขาและการลากสายในส่วนภาคแสดงผล	71
ข.9 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคแสดงผล	72
ข.10 ตำแหน่งการวางขาและการลากสายในส่วนภาคประมวลผล	72
ข.11 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคประมวลผล	73
ข.12 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์ภาคประมวลผล	73
จ.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้า ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ สามเฟส	89

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากในปัจจุบันได้มีการนำมอเตอร์เหนี่ยวนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบโรงงานอุตสาหกรรม จึงมีการศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับแบบสามเฟส เพื่อป้องกันความเสียหายอันเกิดจากมอเตอร์ทำงานได้ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ซึ่งอาจก่อให้เกิดความสูญเสียในหลายๆ ด้าน เช่น มอเตอร์ได้รับอันตราย ผลผลิตไม่ได้คุณภาพ และตัวมอเตอร์หรืออุปกรณ์อื่นที่ต่อร่วมกับมอเตอร์อาจเกิดการเสียหายได้ เป็นต้น ดังนั้นจึงได้คิดสร้างเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขึ้น ซึ่งสามารถแสดงเฟส ค่าแรงดัน ค่ากระแส และค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสได้

### 1.2 ขีดความสามารถของโครงการ

โครงการนี้มีขีดความสามารถดังนี้

1. แสดงค่าแรงดันแต่ละเฟสได้สูงสุด 380 โวลต์ ทศนิยม 1 ตำแหน่ง
2. แสดงค่ากระแสแต่ละเฟสได้สูงสุด 15 แอมป์ ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
3. แสดงเฟสที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสด้วยหลอด LED
4. แสดงค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์ ทศนิยม 2 ตำแหน่ง
5. สามารถแสดงค่าพารามิเตอร์ในข้อที่ 1 บนส่วนแสดงผล 7 ส่วน 4 หลัก
6. ใช้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 380 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

เนื้อหาภายในปฏิญญาฉบับนี้ได้แบ่งออกเป็นบทต่างๆ เพื่อสะดวกต่อการศึกษาและทำความเข้าใจ ในแต่ละบทจะประกอบไปด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปฏิญญาฉบับนี้ ชี้ความสามารถของโครงการ และเนื้อหาในบทต่างๆ โดยสังเขป

บทที่ 2 ประกอบไปด้วยทฤษฎีและหลักการ กล่าวถึงมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรอปแอมป์

บทที่ 3 กล่าวถึงเนื้อหาที่เกี่ยวกับ แผนผังการทำงานของโครงการ ผังวงจรต่างๆ ที่ใช้ในโครงการ ตลอดจนการออกแบบและการสร้างส่วนประกอบต่างๆ เช่น วงจรลดแรงดัน วงจรวัดกระแส วงจรจ่ายไฟ วงจรแสดงผลแบบเจ็ดส่วน โครงสร้างของชิ้นงาน พร้อมทั้งการทำงานของส่วนประกอบของส่วนต่างๆโดยละเอียด

บทที่ 4 ประกอบด้วย การทดลองและผลการทดลองของวงจรภาคลดแรงดัน วงจรภาควัดกระแส วงจรภาคจ่ายไฟ และวงจรภาคแสดงผลแบบเจ็ดส่วน

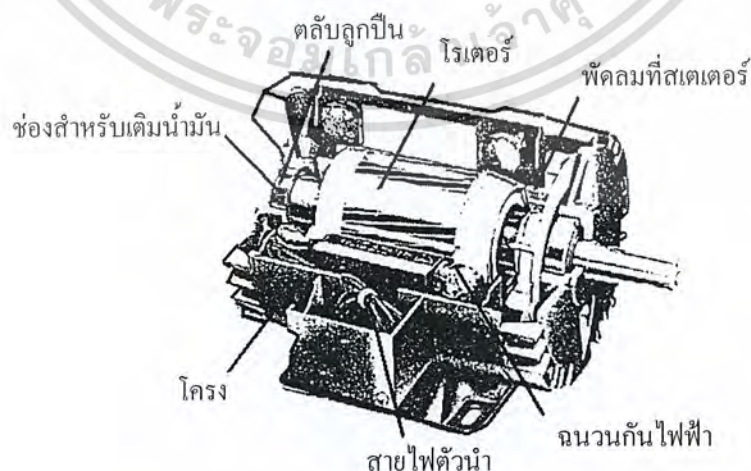
บทที่ 5 เป็นการสรุปผลการจัดทำโครงการ ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางในการแก้ไข รวมทั้งแนวทางการพัฒนา

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

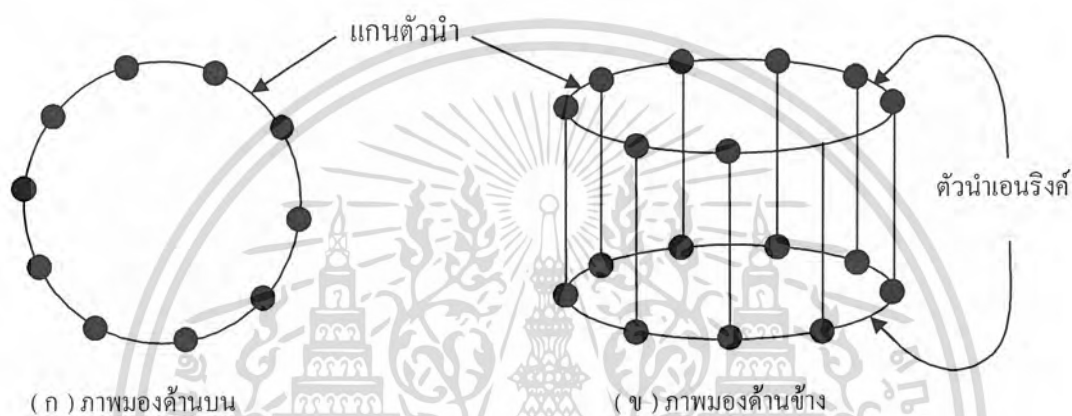
มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสนิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เมื่อต้องการมอเตอร์ขับเคลื่อนที่มีความเร็วคงที่ มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะถูกนำมาใช้งานมากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหรือมอเตอร์ไฟฟ้าซิงโครนัส หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ คือ การเหนี่ยวนำกระแสโรเตอร์ที่เกิดจากสนามแม่เหล็กหมุน ซึ่งหมุนไปพร้อมกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสโรเตอร์ และจากการเกิดการเหนี่ยวนำกระแสขึ้นบนโรเตอร์ จึงไม่มีการต่อวงจรโรเตอร์ออกไปภายนอกซึ่งไม่จำเป็นต้องมีแปรงถ่านและสลีปรिंग (Slip-Ring) มอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีโรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel – Cage – Rotor) เหตุที่ใช้ชื่อกรงกระรอกเพราะว่าตัวนำของโรเตอร์มีโครงสร้างคล้ายกับกรงกระรอก มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก มีโครงสร้างไม่สลับซับซ้อนง่ายในการนำไปใช้งาน มีความทนทาน ไม่ต้องมีการบำรุงรักษามากและมีราคาถูกกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหรือมอเตอร์ซิงโครนัสเมื่อมีกำลังเท่ากันคุณสมบัติเด่นของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ดีกว่า คือ สามารถนำไปใช้งานได้หลายอย่าง สามารถตัดาร์จากจุดที่มอเตอร์หยุดนิ่งได้โดยตรงกับไลน์ นั่นคือขณะที่โรเตอร์หยุดนิ่งอยู่กับที่สามารถจ่ายไฟเท่ากับแรงดันขั้วตามพิกัดที่ขดลวดสเตเตอร์ มอเตอร์จะหมุนไปที่ความเร็วรอบตามพิกัด เทคนิคแบบนี้ไม่สามารถนำไปใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงหรือมอเตอร์ไฟฟ้าซิงโครนัสได้



รูปที่ 2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

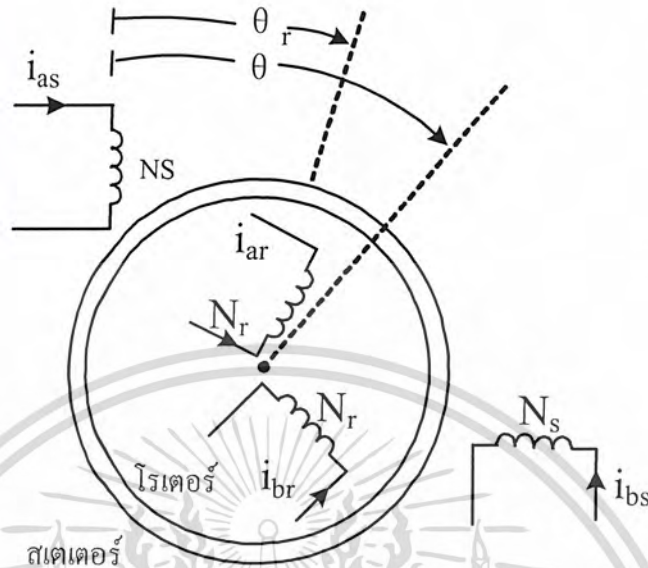
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำคือ การขับเคลื่อนด้วยความเร็วคงที่การทำงานอย่างมีประสิทธิภาพนั้น โรเตอร์จะต้องหมุนด้วยความเร็วใกล้เคียงกับความเร็วซิงโครนัส ซึ่งความเร็วซิงโครนัสหาได้จากความถี่ไฟฟ้าต่อเข้ากับอาร์เมเจอร์ (อยู่บนสเตเตอร์) และจำนวนขั้วของมอเตอร์ การปรับความเร็วรอบสามารถทำได้โดย การปรับความถี่ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ของเทคโนโลยีโซลิตสแตตทำให้สามารถปรับค่าความถี่ ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ได้ ซึ่งจะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถในการใช้งานให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ



รูปที่ 2.2 โรเตอร์แบบกรงกระรอก

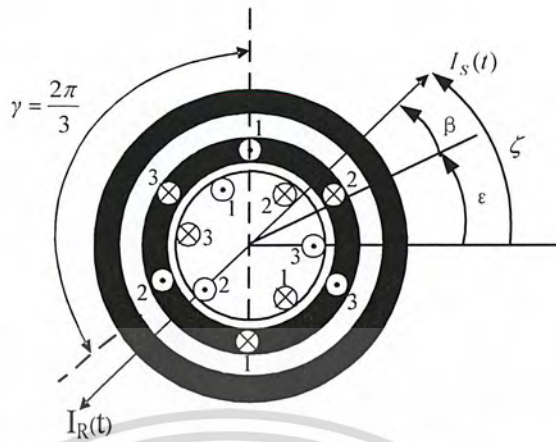
ขดลวดสเตเตอร์และขดลวดโรเตอร์ไม่จำเป็นต้องมีจำนวนเฟสเท่ากัน แต่จะต้องมีจำนวนขั้วแม่เหล็กเท่ากัน บนโรเตอร์แบบกรงกระรอกมีส่วนประกอบที่สำคัญคือบาร์ตัวนำที่ติดตั้งอยู่ในร่อง (Slots) รอบๆ โรเตอร์ บาร์จะถูกตัดวงจรที่ปลายทั้งสองด้านของโรเตอร์ด้วย วงแหวน (Ring) หรือแผ่นตัวนำที่มีความต้านทานต่ำสามารถตัดทิ้งไปได้ รูปที่ 2.3 แสดงโรเตอร์แบบกรงกระรอกและองค์ประกอบของขดลวดโรเตอร์ จะมีจำนวนเฟสเท่ากับจำนวนบาร์ตัวนำทั้งหมดบนโรเตอร์ หากด้วยจำนวนขั้วของขดลวดสเตเตอร์ นั้นแสดงว่าโรเตอร์แบบกรงกระรอกจะเกิดขั้วแม่เหล็กที่มีจำนวนขั้วที่เกิดจากระแสสเตเตอร์ ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่มีขดลวดพันบนโรเตอร์เรียกว่า มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบววดโรเตอร์ (Wound – Rotor Induction Machine) และขดลวดบนโรเตอร์จะต้องพันให้เหมือนกับขดลวดบนสเตเตอร์



รูปที่ 2.3 โรเตอร์แบบกรงกระรอกและองค์ประกอบของขดลวดมอเตอร์

การควบคุมมอเตอร์กระแสสลับ จะต้องควบคุมทั้งขนาดและมุมเฟสของกระแสหรืออีกนัยหนึ่งเวกเตอร์ของกระแสจะต้องถูกควบคุมในมอเตอร์กระแสสลับสนามแม่เหล็กฟิลด์และอามเจอร์  $mmf$  หมุนไปตามความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ ไม่สามารถวัดได้โดยตรง เพราะปริมาณทั้งสองได้รวมอยู่ในกระแสสเตเตอร์ ซึ่งแตกต่างจากมอเตอร์กระแสตรง ที่สนามแม่เหล็กฟิลด์อยู่กับที่ และอามเจอร์  $mmf$  ก็อยู่กับที่ โดยมีคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านเป็นตัวตัดต่อตามมุมที่เปลี่ยนแปลงไป

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสภาวะพลศาสตร์โดยให้สเตเตอร์ของมอเตอร์เป็นรูปทรงกระบอกและมีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงแหวนภายในบรรจุโรเตอร์  $h$  มีขนาดคงที่ตามแนวรัศมีตลอดพื้นผิว บนพื้นที่ผิวมีการวางขดลวดตัวนำสามเฟสสมมาตร โดยละเลยความถี่ของการวางขดลวดมี  $mmf$  ซึ่งเกิดขึ้นที่ขดลวดตัวนำกระจายเป็นไซนูซอยด์ในช่องว่างการต่อขดลวดบนสเตเตอร์และโรเตอร์ต่อแบบสตาร์แยกออกจากกัน และกำหนดให้ค่าความซึมซาบของแผ่นเหล็กของสเตเตอร์มีค่าเป็นอนันต์ และละเลยการอิ่มตัวของแกนเหล็ก, การสูญเสียในแกนเหล็ก, ผลของปลายขดลวด และผลของช่องสล็อต (Slots) ดังรูปที่ 2.4

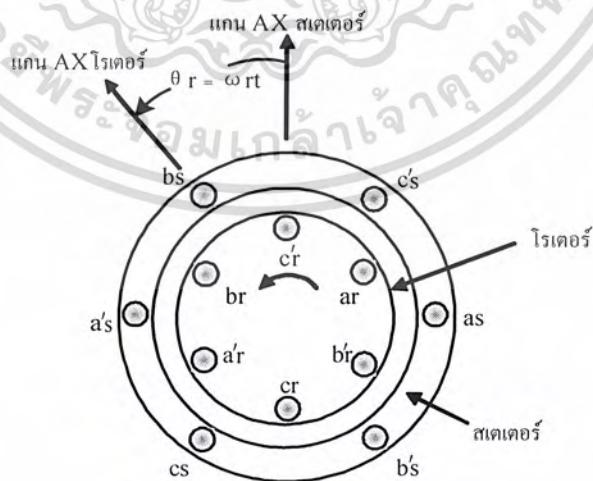


รูปที่ 2.4 หน้าตัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่สมมาตร

$\alpha$  หมายถึง ตำแหน่งของมุมใดๆในกรอบอ้างอิงของขดลวดสเตเตอร์ 1 องศา  
 $\beta$  หมายถึง ตำแหน่งของมุมใดๆในกรอบอ้างอิงของขดลวดสเตเตอร์ 1 องศา  
 $\epsilon$  หมายถึง มุมของการหมุนของโรเตอร์วัดที่กรอบอ้างอิงสเตเตอร์ 1 องศา

$$\omega(t) = \frac{d\theta}{dt}$$

$\omega(t)$  หมายถึง ความเร็วชั่วขณะของมอเตอร์ rad/s



รูปที่ 2.5 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในทางอุดมคติแบบสองขั้ว

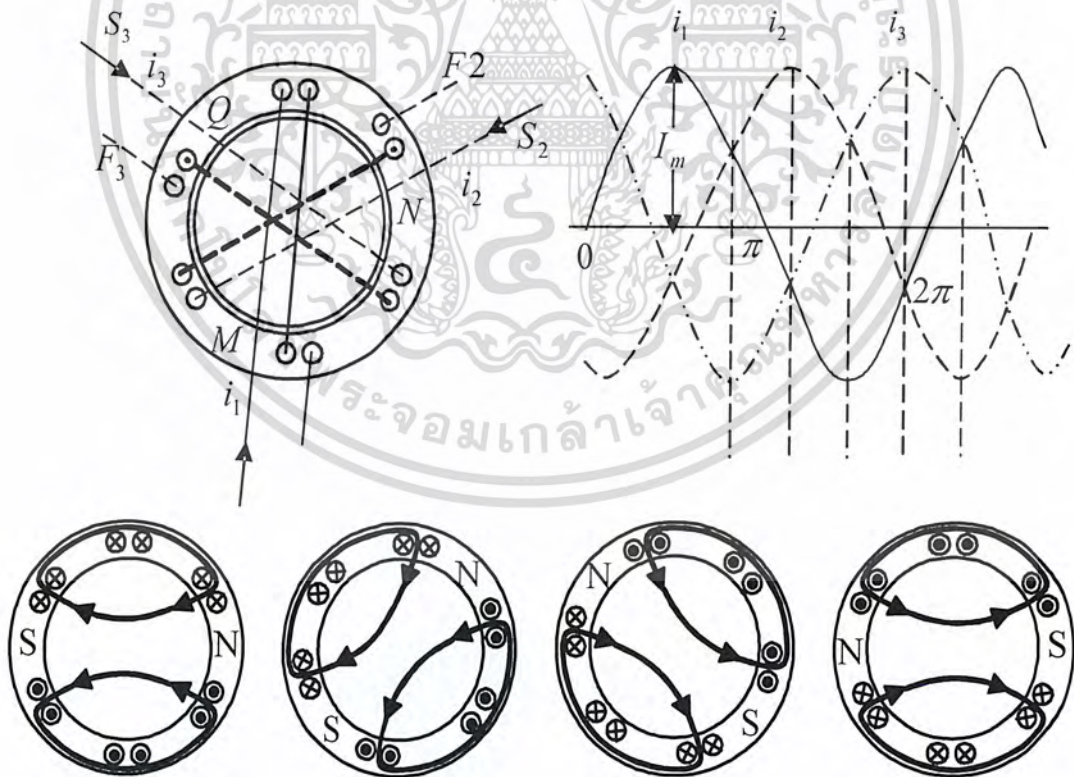
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1 การเกิดสนามแม่เหล็กหมุน

สนามแม่เหล็กหมุนเกิดจากระบบไฟฟ้า 3 เฟสไหลผ่านขดลวดสามเฟสที่พันอยู่ในร่องของสเตเตอร์ โดยที่กระแสแต่ละเฟสจะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของแหล่งจ่าย จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กคล้ายกับการเกิดการหมุนของสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้นนี้จะมีความเร็วคงที่เรียกว่า “ความเร็วซิงโครนัส” (synchronous speed) ความเร็วของมันขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วแม่เหล็กที่สเตเตอร์และความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$N_s = \frac{120f}{P} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $N_s$  หมายถึง ความเร็วซิงโครนัส เป็น รอบต่อนาที  
 $f$  หมายถึง ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าด้านสเตเตอร์ เป็น Hz  
 $P$  หมายถึง จำนวนขั้วแม่เหล็กที่สเตเตอร์



รูปที่ 2.6 ลักษณะสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้นในสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

แบบ 2 Pole

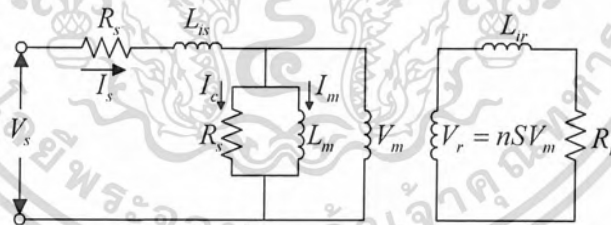
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.2 การผลิตแรงบิด

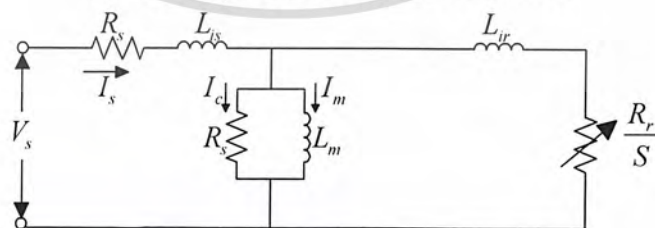
$$N_e = \frac{120f_e}{P} \quad (2.2)$$

$$S = \frac{N_e - N_r}{N_e} = \frac{\omega_e - \omega_r}{\omega_e} = \frac{\omega_{sl}}{\omega_e} \quad (2.3)$$

$\omega_r$	หมายถึง ความถี่เชิงมุมทางไฟฟ้าของโรเตอร์	rad/s
$\omega_e$	หมายถึงความถี่เชิงมุมของสเตเตอร์	rad/s
$\omega_{sl}$	หมายถึงความถี่เชิงมุมของสลิป	rad/s
$N_e$	หมายถึงความเร็วรอบของสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์	rpm
$N_r$	หมายถึงความเร็วรอบของโรเตอร์	rpm
$f_e$	หมายถึงความถี่ที่จ่ายให้กับมอเตอร์	rpm
$S$	หมายถึงสลิปของมอเตอร์	Hz
$P$	หมายถึงจำนวนขั้วของมอเตอร์	rpm/s



(ก) วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำแต่ละเฟส



(ข) วงจรเปรียบเทียบวงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

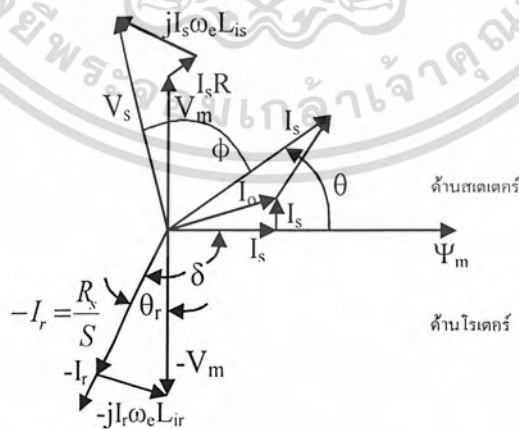
รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแต่ละเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $R_s$  หมายถึง ความต้านทานที่สเตเตอร์
- $R_m$  หมายถึง ความต้านทานแมกนีไตซิงค์
- $V_m$  หมายถึง แรงดันแมกนีไตซิงค์
- $L_m$  หมายถึง ความเหนี่ยวนำแมกนีไตซิงค์
- $L_{is}$  หมายถึง ความเหนี่ยวนำของกระแสที่สเตเตอร์
- $L_{ir}$  หมายถึง ความเหนี่ยวนำของกระแสที่โรเตอร์
- $I_o$  หมายถึง กระแสที่เอาท์พุต
- $I_c$  หมายถึง กระแสที่ไหลในแกนเหล็ก
- $I_m$  หมายถึง กระแสแมกนีไตซิงค์
- $I_r$  หมายถึง กระแสที่โรเตอร์
- $I_s$  หมายถึง กระแสที่สเตเตอร์
- $n$  หมายถึง จำนวนรอบ

$$I_r = nI'_r = \frac{n^2 S V_m}{R_r + j\omega_s L'_{lr}} = \frac{V_m}{\left(\frac{R_r}{S}\right) + j\omega_e L_{lr}} \tag{2.4}$$

$$T_e = K\psi_m I_r \sin \delta \tag{2.5}$$



รูปที่ 2.8 เฟสเซอร์ไดอะแกรมของวงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $I_m$  เป็นแม่เหล็กหรือเป็นองค์ประกอบของฟลักซ์ของกระแสที่สเตเตอร์

$I_a = I_s \sin \theta$  = อาร์เมเจอร์หรือแรงบิดซึ่งเป็นส่วนประกอบของกระแสที่สเตเตอร์และ  $K'$  จะเป็นแรงบิดคงที่ ส่วนประกอบของกระแส  $I_c$  จะไม่ต้องนำมาคิด และสมการที่ (2.5) สามารถที่จะทำให้ง่ายลงได้ดังนี้

$$T_e = K' I_m I_r \sin \delta \quad (2.6)$$

$$T_e = K' I_m I_s \sin \theta$$

$$T_e = K' I_m I_a$$

### 2.1.3 การวิเคราะห์ห้วงจรสมมูล

การสูญเสียพลังงานในมอเตอร์ไฟฟ้าสามารถที่จะสรุปเป็นหัวข้อได้ดังนี้  
กำลังงานที่อินพุต

$$P_{in} = 3V_s I_s \cos \theta \quad (2.7)$$

การสูญเสียในขดลวดที่สเตเตอร์

$$P_{1s} = 3I_s^2 R_s \quad (2.8)$$

การสูญเสียในแกนเหล็ก

$$P_{1c} = 3 \frac{V^2}{R_m} \quad (2.9)$$

กำลังงานในช่องอากาศ

$$P_g = 3I_r^2 \frac{R_r}{s} \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสูญเสียในขดลวดที่โรเตอร์

$$P_{1r} = 3I_r^2 R_r \quad (2.11)$$

กำลังงานที่เอาต์พุต

$$P_o = P_g - P_{1r} = 3I_r^2 R_r \frac{1-s}{s} \quad (2.12)$$

กำลังงานที่เพล

$$P_{sh} = P_s = P_{FW} \quad (2.13)$$

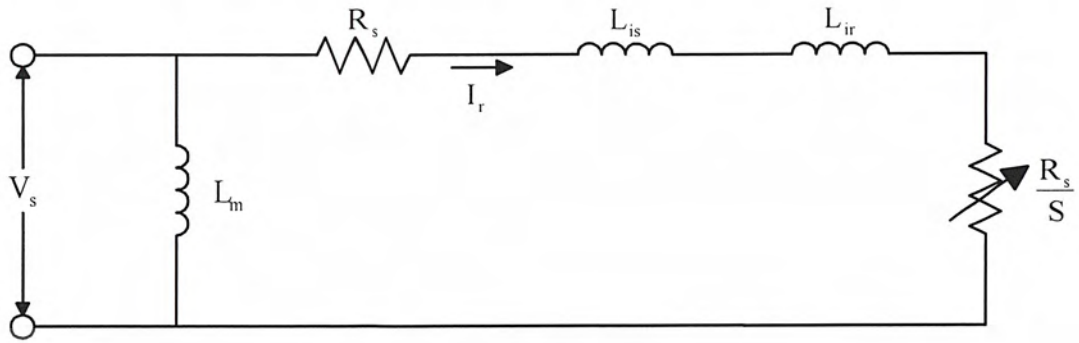
ที่  $P_{FW}$  จะเป็นการสูญเสียพลังไปในรูปของแรงเสียดทานและที่ใบพัดกำลังงานที่เอาต์พุตจะเป็นตัวทำให้เกิดความเร็วและแรงบิด ( $T_e$ ) โดยที่ ( $T_e$ ) สามารถที่จะหาได้ดังนี้

$$T_e = \frac{P_o}{\omega_m} = \frac{3}{\omega_m} I_r^2 R_r \frac{1-s}{s} = 3 \left( \frac{P}{2} \right) I_r^2 \frac{R_r}{s \omega_e} \quad (2.14)$$

ที่  $\omega_m = \left( \frac{2}{p} \right) \omega_r$  จะเป็นความเร็วของโรเตอร์มีหน่วยเป็น  $\left( \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$  จากนั้นนำสมการที่ (2.10) มาแทนในสมการที่ (2.14) จะได้

$$T_e = \left( \frac{P}{2} \right) \frac{P_g}{\omega_e} \quad (2.15)$$

สิ่งที่จะเป็นตัวชี้บอกแรงบิดสามารถที่จะคำนวณได้จากกำลังงานตรงช่องอากาศ



รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลที่แท้จริงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

$$I_r = \frac{V_s}{\sqrt{\left(R_s + \frac{R_r}{S}\right)^2 + \omega_e^2 (L_{is} + L_{ir})^2}} \quad (2.16)$$

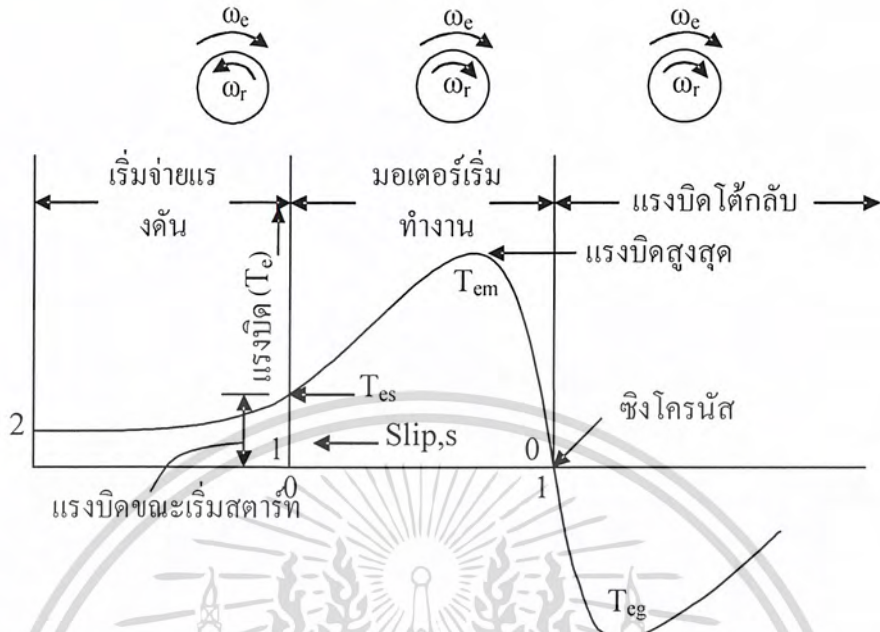
นำสมการที่ (2.16) มาแทนลงในสมการที่ (2.14) จะได้

$$T_e = 3 \left(\frac{P}{2}\right) \frac{R_r}{s \omega_e} \frac{V_s^2}{\left(R_s + \frac{R_r}{s}\right)^2 + \omega_e^2 (L_{is} + L_{ir})^2} \quad (2.17)$$

แรงบิดขณะเริ่มต้น  $T_{es}$  ที่  $S = 1$  สามารถที่จะเขียนได้จากสมการที่ (2.17) ดังนี้

$$T_{es} = 3 \left(\frac{P}{2}\right) \frac{R_r}{\omega_e (R_s + R_r)^2 + \omega_e^2 (L_{is} + L_{ir})^2} V_s^2 \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วขณะที่ความถี่และแรงดันมีค่าคงที่  
 ถ้าสมการที่ 2.17 เป็นดิฟเฟอเรนเชียลเกี่ยวกับถึงสลลิปและสมการเป็นศูนย์

$$S_m = \pm \frac{R_r}{\sqrt{R_s^2 + \omega_e^2 (L_{is} + L_{ir})^2}} \tag{2.19}$$

ที่  $S_m$  จะเป็นสลลิปที่ลักษณะเช่นเดียวกันถึงจุดที่ทำให้แรงบิด ( $T_{em}$ ) เสียหาย นำสมการที่ได้  
 นั้นบวกกับ  $S_m$  ในสมการที่ (2.17) แรงบิดที่จะทำให้มอเตอร์เสียหายคือ

$$T_{em} = \frac{3}{4} \frac{P}{\omega_e} \frac{V_s^2}{\sqrt{R_s^2 + \omega_e^2 (L_{is} + L_{ir})^2} + R_s} \tag{2.20}$$

และ โดยการนำสมการที่ (2.20) มาแทนลบกับ  $S_m$  แรงบิดป้อนกับที่จะทำให้เกิดความเสียหายคือ

$$T_{eg} = -\frac{3}{4} \frac{P}{\omega_e} \frac{V_s^2}{\sqrt{R_s^2 + \omega_e^2 (L_{is} + L_{ir})^2} - R_s} \tag{2.21}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสังเกต  $T_{em} = T_{eg}$  ถ้าไม่สนใจความต้านทานที่สเตเตอร์  $R_s$  วงจรสมมูลของรูปที่ 2.8 จะช่วยทำให้เข้าใจง่ายขึ้นและสามารถที่จะทำโดยการมองข้ามค่าพารามิเตอร์ที่สเตเตอร์คือ  $R_s$  และ  $L_{is}$  สมการที่ (2.17) สามารถที่จะทำให้เข้าใจง่ายขึ้นได้ดังนี้

$$T_e = 3 \left( \frac{P}{2} \right) \left( \frac{V_s}{\omega_e} \right)^2 \frac{\omega_{sl} R_r}{R_r^2 + \omega_{sl}^2 L_{lr}^2} \quad (2.22)$$

สมการที่ (2.22) สามารถที่จะแสดงให้เห็นใกล้เคียงกับสมการที่ (2.5) โดยการสลับที่

$$I_r = \frac{V_s}{\sqrt{R_r^2 + \omega_{sl}^2 L_{lr}^2}} \quad (2.23)$$

$$\cos \theta_r = \frac{R_r}{\sqrt{R_r^2 + \omega_{sl}^2 L_{lr}^2}} \quad (2.24)$$

และสามารถที่จะยอมรับฟลักซ์ที่ช่องว่างอากาศ  $\psi_m$  โดย

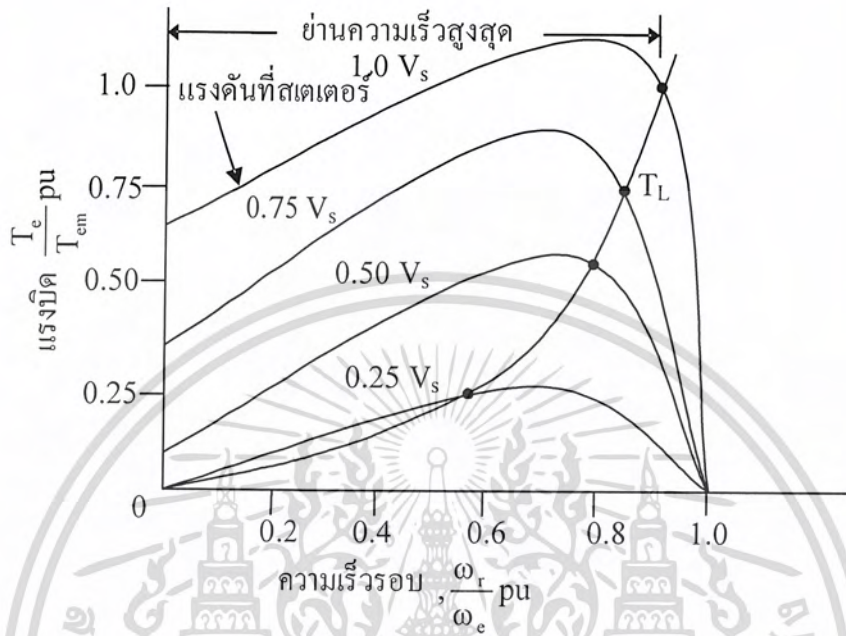
$$\psi_m = \frac{V_s}{\omega_e} \quad (2.25)$$

ในบริเวณที่มีสลิตต่ำ สมการที่ (2.22) สามารถที่จะประมาณได้ดังนี้

$$T_e = 3 \left( \frac{P}{2} \right) \frac{1}{R_r} \psi_m^2 \omega_{sl} \quad (2.26)$$

ที่  $R_r^2 \gg \omega_{sl}^2 L_{lr}^2$  สมการที่ (2.26) จะเป็นตัวชี้ค่าคงที่  $\omega_{sl}, T_e \propto \psi_m^2$  หรือค่าคงที่  $\psi_m, T_e \propto \omega_{sl}$

## 2.1.4 การทำงานโดยการปรับค่าแรงดัน



รูปที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงบิดขณะปรับแรงดันที่สเตเตอร์

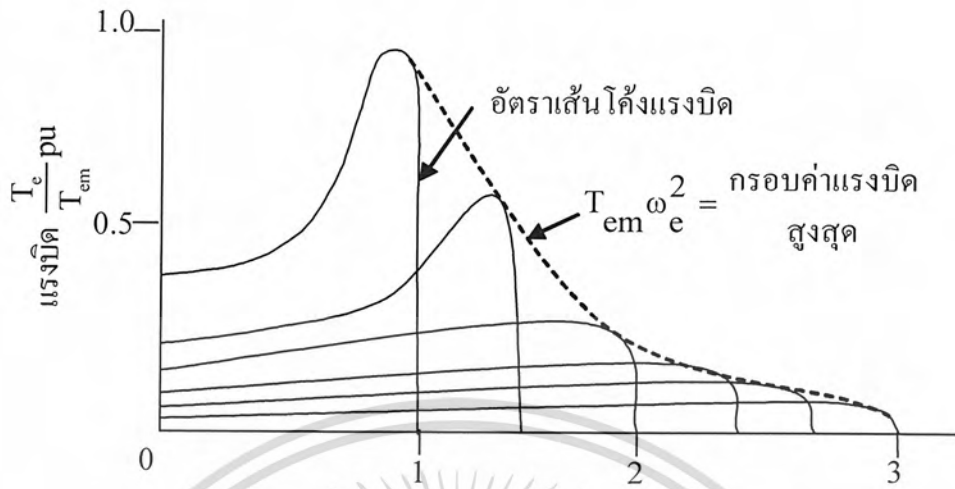
## 2.1.5 การทำงานโดยการปรับความถี่

แรงบิดสูงสุดที่เป็นฟังก์ชันของสลลิปสามารถที่จะหาได้จากสมการที่ 2.22

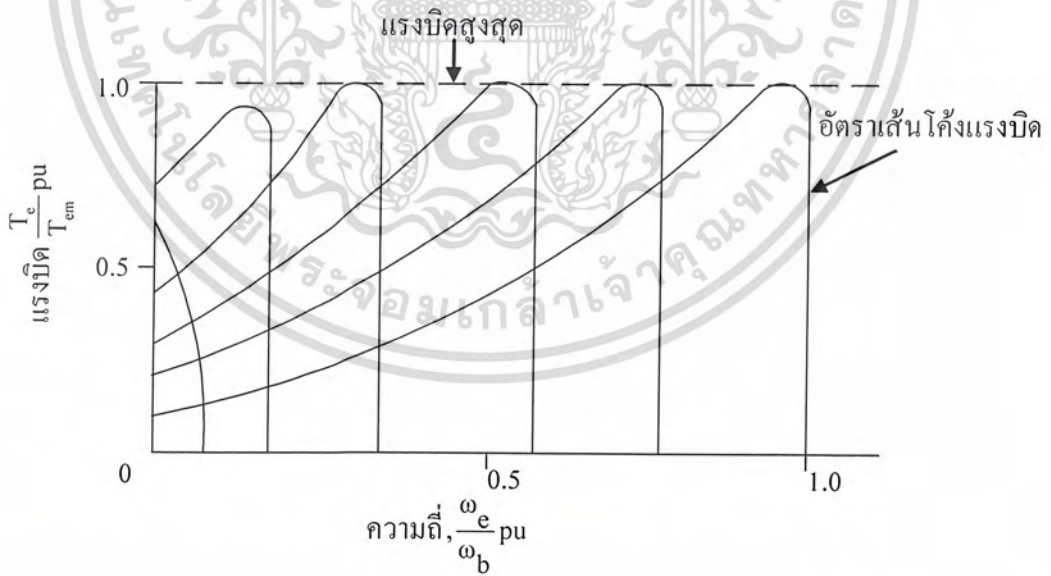
$$T_{em} = 3 \left( \frac{P}{2} \right) \left( \frac{V_s}{\omega_e} \right)^2 \frac{\omega_{slm} R_r}{R_r^2 + \omega_{slm}^2 L_{lr}^2} \quad (2.27)$$

ที่  $\omega_{slm} = \frac{R_r}{L_{lr}}$  จะเป็นความถี่สลลิปที่แรงบิดสูงสุด โดยสมการ  $T_{em} \omega_e^2 =$  ค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

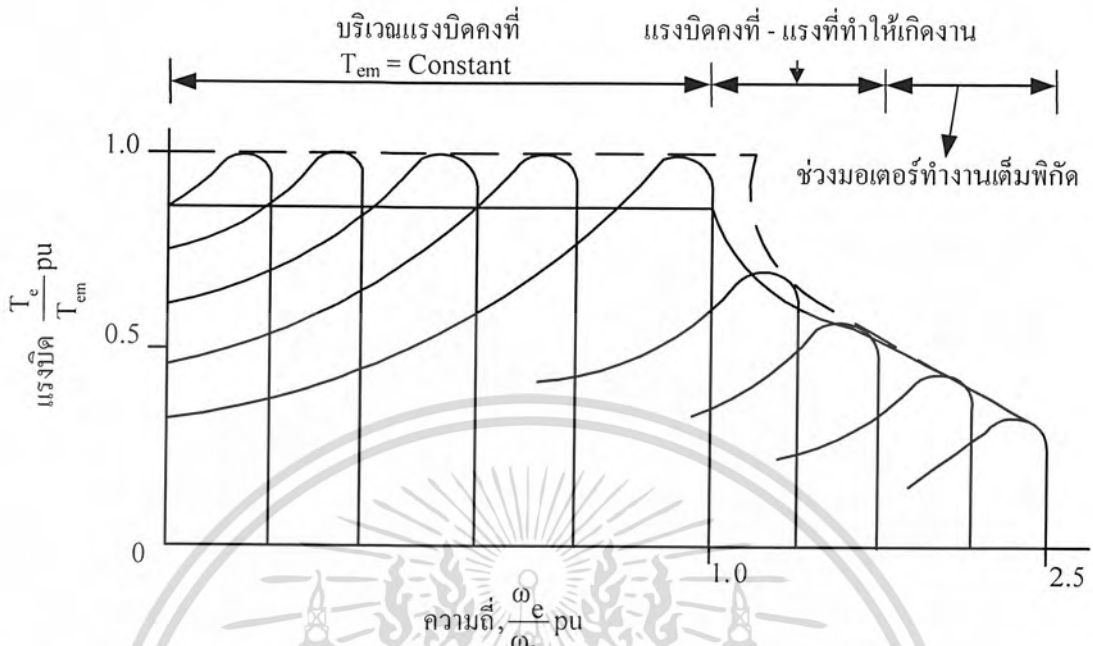


รูปที่ 2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงบิดโดยการปรับความถี่

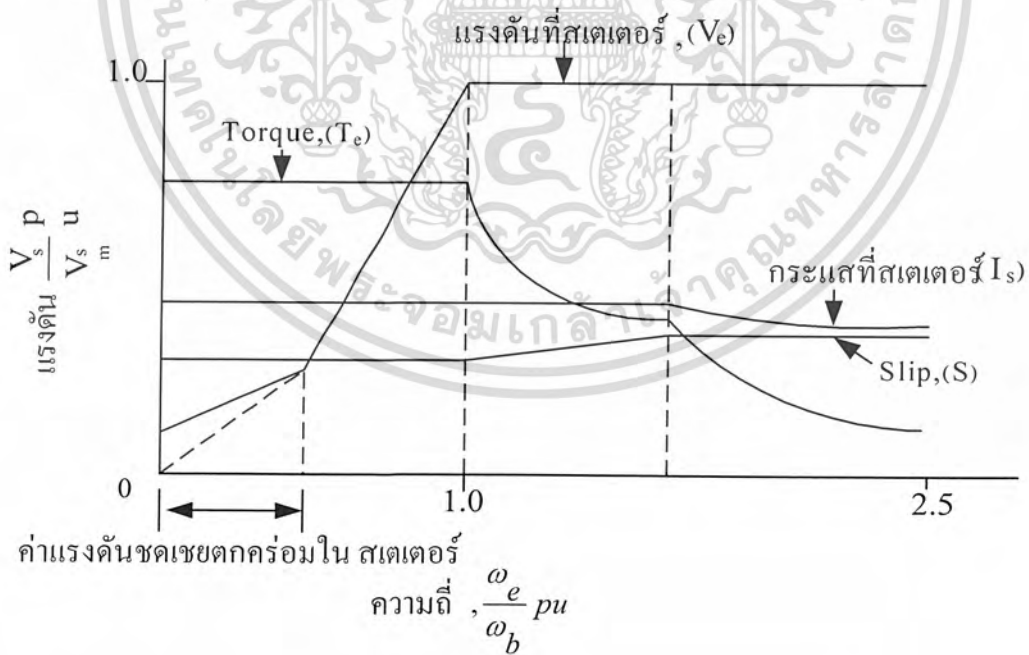


รูปที่ 2.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงบิดที่แรงดันและความถี่มีค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 กราฟย่านของความเร็วและแรงบิด โดยการปรับแรงดันและปรับความถี่ที่แหล่งจ่าย



รูปที่ 2.15 กราฟความสัมพันธ์ของความถี่และแรงดันของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรั่วไหลของการเหนี่ยวนำที่โรเตอร์ ( $\omega_e L_{ls} \frac{R_r}{s}$ ) และการสูญเสียในแกนเหล็กจะไม่นำมาคิด การแบ่งของกระแสสามารถที่จะหาได้ดังนี้

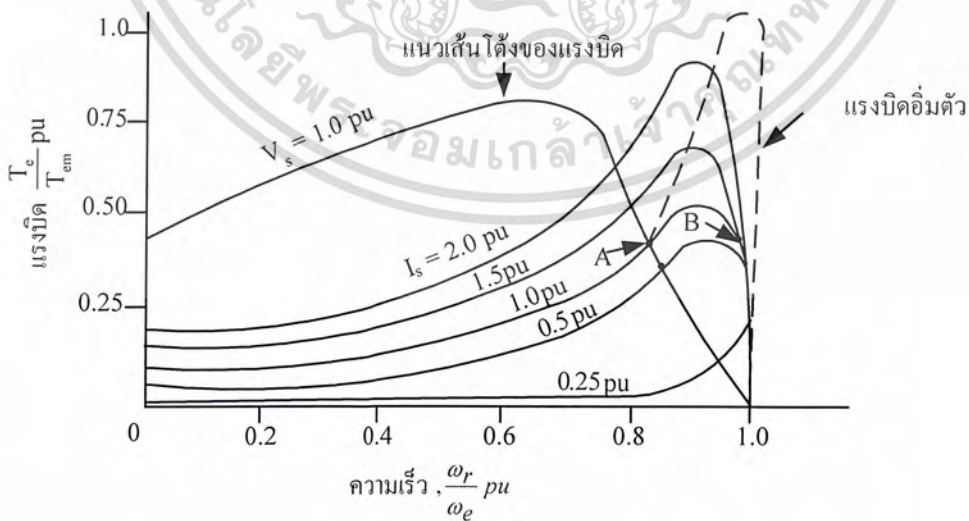
$$I_m = \frac{\frac{R_r}{s}}{\sqrt{\omega_e^2 L_m^2 + \left(\frac{R_r}{s}\right)^2}} I_s \tag{2.28}$$

$$I_r = I_a = \frac{\omega_e L_m}{\sqrt{\omega_e^2 L_m^2 + \left(\frac{R_r}{s}\right)^2}} I_s \tag{2.29}$$

นำสมการที่ (2.28) และ (2.29) มาแทนในสมการที่ (2.26) จะได้แรงบิดดังนี้

$$T_e = K' I_s^2 \frac{S \omega_e R_r L_m}{R_r^2 + S^2 \omega_e^2 L_m^2} \tag{2.30}$$

สมการที่ (2.30) จะให้แรงบิดที่เป็นฟังก์ชันของกระแสที่สเตเตอร์, ความถี่และสลิป



รูปที่ 2.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วกับการปรับกระแสที่สเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

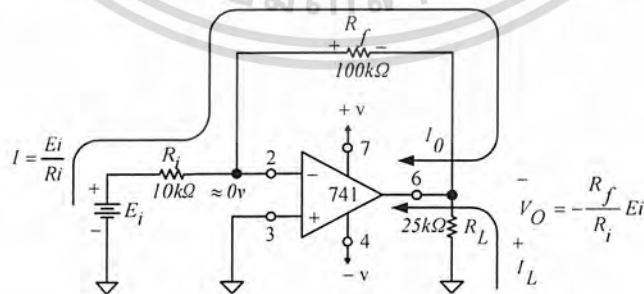
## 2.2 วงจรออปแอมป์

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงการใช้งานออปแอมป์เพื่อเป็นวงจขยาย (Amplifier) วงจขยายคือ วงจรที่รับสัญญาณทางด้านอินพุต แล้วขยายสัญญาณเดิมนั้นให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและไม่มีอาการผิดปกติ โดยสัญญาณที่ได้รับการขยายแล้วนี้จะถูกขับออกทางเอาต์พุต สำหรับวงจรทุกวงจรที่ใช้ในบทนี้จะเป็นการป้อนกลับแบบลบ (Negative feedback) คือมีการนำตัวด้านทานภายนอกมาต่อระหว่างขาเอาต์พุตกับขาอินพุตลบของออปแอมป์ เมื่อมีการป้อนกลับแบบลบ วงจรในตอนนี้ก็ไม่ได้เป็นแบบเปิดลูป (Open loop) อีกต่อไป อัตราการขยายจึงเป็นอัตราการขยายแบบปิดลูป (Close loop gain) ซึ่งเป็นอัตราขยายที่ไม่ได้ขึ้นอยู่กับอัตราการขยายแบบเปิดลูป  $A_{OL}$  อัตราขยายของลูปปิด  $A_{CL}$  จะขึ้นอยู่กับตัวด้านทานที่นำมาต่อเพิ่มภายนอกเท่านั้น ถ้าเราใช้ตัวด้านทานซึ่งมีความผิดพลาด 5 เปอร์เซ็นต์ วงจรขยายที่ได้ก็จะมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการขยายประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ตามไปด้วย ข้อระลึกระการหนึ่งก็คือ อัตราการขยายแบบเปิดลูป  $A_{OL}$  ซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำตัวของออปแอมป์แต่ละตัว และมักมีค่าอัตราการขยายที่สูงมาก จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าไปตามวงจรหนึ่ง ๆ แต่อย่างใด

### 2.2.1 วงจขยายแบบอินเวอร์ตติ้ง

วงจรในรูปที่ 2.17 เป็นวงจขยายได้ทั้งสัญญาณ AC และ DC อัตราการขยายแบบลูปปิด  $A_{CL}$  จาก  $E_i$  ไปสู่  $V_o$  ขึ้นอยู่กับ  $R_f$  และ  $R_i$  เพื่อทำความเข้าใจกับวงจรแบบนี้ ขอยกข้อแนะนำดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 มาเสนอใหม่ดังนี้

1. ในกรณี  $V_o$  ไม่อิ่มตัว (Saturation) ความต่างศักย์ระหว่างขาอินพุตบวกและลบ ( $E_d$ ) จะเท่ากับศูนย์
2. ปริมาณกระแสที่ไหลเข้าขาอินพุตทั้งสองจะมีค่าน้อยมาก จนคิดว่าไม่มีกระแสไหลเข้า



รูปที่ 2.17 วงจขยายแบบกลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1) เมื่อป้อนแรงดันบวกเข้าที่ขาอินเวอร์ตติ้ง

จากวงจรในรูปที่ 2.17 เราป้อนแรงดัน ( $+E_i$ ) ให้กับขาอินพุตลบ (ขาอินเวอร์เตอร์) ผ่านตัวต้านทานอินพุต  $R_i$  และให้  $R_f$  ซึ่งเป็นตัวต้านทานป้อนกลับต่ออยู่ระหว่างขาเอาต์พุตและอินพุตลบ ส่วนขาอินพุตบวกต่ออยู่กับกราวด์ สิ่งที่เราต้องการหาคือ  $A_{CL}$  ว่าจะมีค่าเท่าไร ซึ่งหาได้จากสูตร  $\frac{V_o}{E_i}$  โดย  $V_o$  หาได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

จากรูปที่ 2.17 แรงดันบวกถูกป้อนเข้าที่ขาลบของออปแอมป์  $R_i$  จะทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันให้เป็นกระแส  $I$  จากนั้น  $R_f$  จะทำหน้าที่แปลงกระแส  $I$  ให้กลับมาอยู่ในรูปของแรงดันอีกครั้ง โดยเป็นแรงดันที่เป็นสัดส่วนกับ  $E_i$

จากข้อเสนอแนะที่ว่าความต่างศักย์ระหว่างขาบวกและขาลบเป็นศูนย์ ซึ่งหมายความว่าแรงดันของทั้ง 2 ขาต้องเท่ากัน ดังนั้นเมื่อขาอินพุตบวกในวงจรนี้จึงเป็นกราวด์ ขาอินพุตลบจึงเสมือนต่ออยู่กับกราวด์ด้วย กระแสที่ไหลผ่าน  $R_i$  จึงเกิดจากความต่างศักย์ระหว่าง  $E_i$  และกราวด์ ตามกฎของโอห์มได้กระแสดังนี้

$$I = \frac{E_i}{R_i} \quad (2.31)$$

จากข้อเสนอแนะที่ว่าจะไม่มีการไหลเข้าขาอินพุตทั้ง 2 ของออปแอมป์ ดังนั้นกระแส  $I$  ทั้งหมดจาก  $R_i$  จะไหลผ่านไปยัง  $R_f$  ทำให้เกิด  $V_{Rf}$  ขึ้น ( โดยไม่มีการไหลเข้าอินพุตลบ )

$$V_{Rf} = I \times R_f = \frac{E_i}{R_i} \times R_f \quad (2.32)$$

จาก  $V_{Rf}$  ที่ได้เป็นแรงดันที่ตกคร่อม  $R_f$  ซึ่งเกิดจากความต่างศักย์ระหว่างกราวด์กับ  $V_o$  ตามทิศทางของกระแสในขณะนี้ กระแสไหลสืบเนื่องมาจาก  $I$  ผ่านกราวด์ซึ่งอยู่ทางซ้ายของ  $R_f$  มายัง  $V_o$  ซึ่งอยู่ทางขวาของ  $R_f$  แสดงให้เห็นว่า  $V_o$  ในตอนนี้มีแรงดันต่ำกว่ากราวด์คือเป็นลบ (แรงดันคร่อมขา 2 และขา 6 ของออปแอมป์ มีค่าเท่ากับ 0 โวลต์) ดังนั้นในขณะที่  $E_i$  เป็นบวกเทียบกับกราวด์  $V_o$  ก็จะเป็นลบเมื่อเทียบกับกราวด์ (จะหักล้างเป็น 0 โวลต์พอดี) เพราะฉะนั้นถ้าคิดว่าขนาดของ  $V_o$  เท่ากับ  $V_{Rf}$  แล้วเครื่องหมายของ  $V_o$  ก็จะกลับกันกับ  $V_{Rf}$  ดังนั้นจากสมการที่ (2.31) จะได้

$$V_o = \frac{(-E_i \times R_f)}{R_i} \quad (2.33)$$

จากนิยามของอัตราขยายแบบลูปปิด  $A_{CL}$  เท่ากับ  $\frac{V_o}{E_i}$  จะได้

$$\begin{aligned} A_{CL} &= \frac{V_o}{E_i} \\ A_{CL} &= \frac{(-E_i \times R_f)}{R_i} \times \frac{1}{E_i} \\ A_{CL} &= \frac{-R_f}{R_i} \end{aligned} \quad (2.34)$$

เครื่องหมายลบในสมการที่ (2.17) แสดงว่าขั้วของ  $V_o$  จะกลับกับทางด้าน  $E_i$  ซึ่งจุดนี้เองที่ทำให้วงจรขยายนี้จึงได้ชื่อว่า วงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier) ซึ่งอัตราขยายของวงจรนี้จะขึ้นอยู่กับ  $R_f$  และ  $R_i$  เท่านั้น

## 2) โหลดและกระแสเอาต์พุต

กระแสเอาต์พุต  $I_o$  ของออปแอมป์ ประกอบด้วยกระแส 2 ส่วนคือ

1.1 กระแสที่เกิดจาก  $V_o$  ครอบ  $R_L$  (ในขณะที่  $V_o$  เป็นลบ)  $I_L$  เท่ากับ  $\frac{V_o}{R_L}$

1.2 กระแส  $I$  ที่ไหลผ่าน  $R_f$  มายังเอาต์พุต ซึ่งทิศทางของ  $I$  จะเหมือนกันกับ  $I_L$

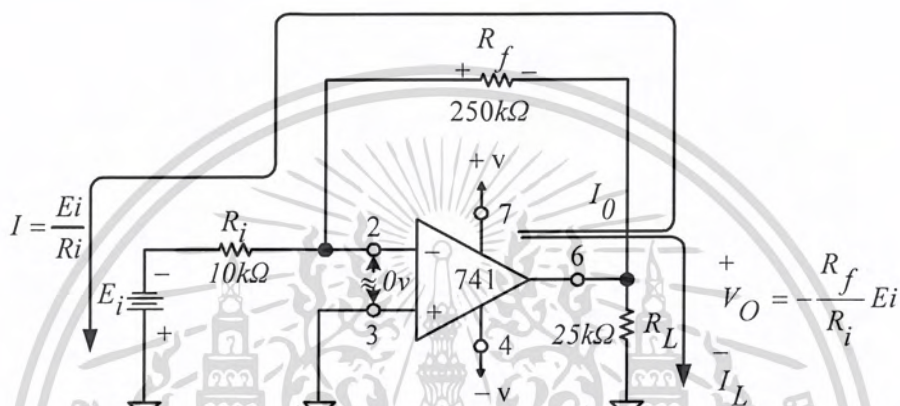
(มีทิศทางไหลเข้าขา 6 ของออปแอมป์เหมือนกันดังรูปที่ 2.23) ดังนั้นกระแสเอาต์พุตของออปแอมป์  $I_o$  จะเท่ากับ

$$I_o = I + I_L \quad (2.35)$$

ซึ่ง  $I_o$  จะมีค่ามากที่สุดอยู่ระหว่าง 5 ถึง 10 มิลลิแอมป์เท่านั้น

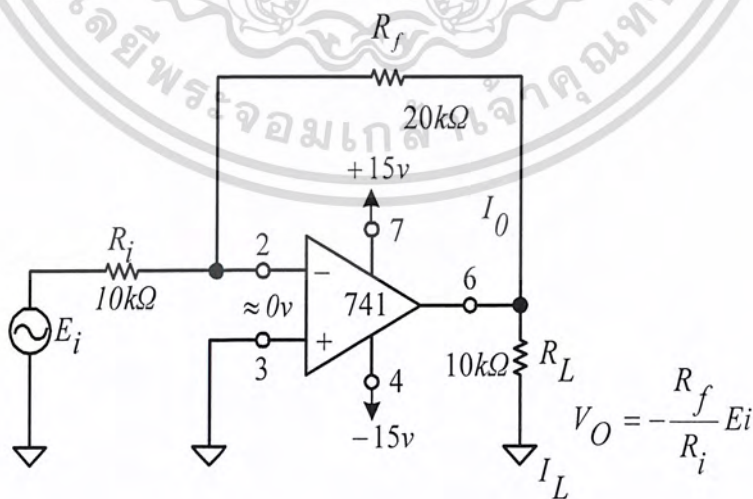
3) เมื่อป้อนแรงดันลบเข้าที่ขาอินเวอร์ตติ้ง

จากวงจรในรูปที่ 2.18 มีการป้อน  $E_i$  ผ่าน  $R_i$  เข้าทางขาอินพุตลบ โดย  $E_i$  ที่ป้อนให้มีแรงดันเป็นลบ ดังนั้นทำให้ทิศทางการไหลของกระแสจึงกลับตัวดังวงจรในรูปที่ 2.23 แต่สมการทุกอย่างสมการจะเหมือนกันกับตอนแรก และเมื่อพิจารณาจากทิศทางการไหลของกระแส ในวงจรรูปที่ 2.24 นี้แล้ว จะได้ข้อสังเกตว่า ในขณะที่แรงดัน  $E_i$  เป็นลบจะทำให้  $V_o$  เป็นบวก



รูปที่ 2.18 การไหลของกระแสเมื่อแรงดันที่เป็นลบถูกป้อนเข้าที่ขาลบของออปแอมป์

4) เมื่อป้อน AC ให้กับขาอินเวอร์ตติ้ง



รูปที่ 2.19 วงจรอินเวอร์ตติ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.19 เมื่อถูกป้อนอินพุตด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งจะได้อัตราขยาย (gain) เท่ากับ -2

จากวงจรรูปที่ 2.19 เป็นการป้อนสัญญาณ AC เข้าที่ขาอินพุตลบลักษณะสัญญาณ AC ที่ป้อนให้มีลักษณะดังรูปที่ 2.19 โดยจะประกอบด้วยคลื่นแบ่งเป็น 2 ช่วงใน 1 ลูก คือ

1. ช่วงที่มีแรงดันเป็นบวก ก็จะใช้การพิจารณาวงจรและสมการเช่นเดียวกันกับวงจร ในรูปที่ 3.1 ดังนั้นในขณะที่  $E$ , ซึ่งตอนนี้เป็นบวก จะทำให้  $V_o$  เป็นลบ
2. ช่วงที่มีแรงดันลบ ก็จะใช้การพิจารณาวงจรและสมการเช่นเดียวกันกับวงจรในรูปที่ 2.19 ดังนั้นในขณะที่  $E$ , ซึ่งตอนนี้เป็นลบ จะทำให้  $V_o$  เป็นบวก
3. รูปคลื่นที่ออกมาทางด้านเอาต์พุตจะกลับเฟส ( $180^\circ$  output of phase) กับทางด้านอินพุตดังแสดง โดยที่ความถี่ของคลื่นในด้านอินพุตจะเท่ากับเอาต์พุต

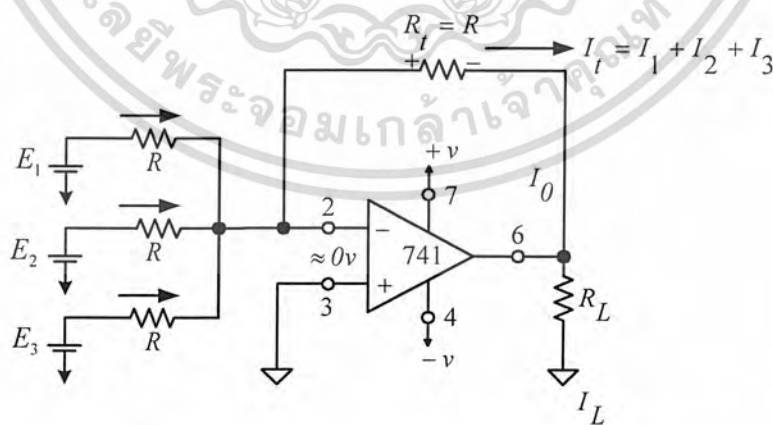
5) วิธีการวิเคราะห์ห้วงจร

ในการวิเคราะห์ห้วงจรแบบอินเวอร์ตติ้งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 5.1) หา  $R_f$  ซึ่งก็คือค่าความต้านทานด้านอินพุตของวงจรก่อน
- 5.2) เมื่อทราบ  $R_f$  แล้ว ขนาดของอัตราขยายจะเท่ากับ  $\frac{R_f}{R_i}$  โดยสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะมีการกลับเฟสกับทางด้านอินพุต

2.2.2 วงจรรวมสัญญาณแบบอินเวอร์ตติ้ง

วงจรแบบอินเวอร์ตติ้ง (inverting adder)



รูปที่ 2.20 วงจรรวมสัญญาณแบบอินเวอร์ตติ้งเมื่อ  $R$  เท่ากับ 10

วงจรในรูปเป็นวงจรที่ใช้รวมสัญญาณทางด้านอินพุตให้ออกมาที่ด้านเอาต์พุต โดย

สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะกลับเฟสเมื่อเทียบกับด้านอินพุต ซึ่งเป็นไปตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_o = -(E_1 + E_2 + E_3) \quad (2.36)$$

พิจารณากระแสที่เกิดจากแหล่งจ่ายไฟและ ค่าความต้านทาน ทางด้านอินพุตแต่ละตัว จะรวมกันที่จุด  $S$  (ที่จุด  $S$  จะเสมือนเป็นกราวด์) ซึ่งกระแส  $I_1, I_2$  และ  $I_3$  หาได้ดังนี้

$$I_1 = \frac{E_1}{R}, I_2 = \frac{E_2}{R}, I_3 = \frac{E_3}{R} \quad (2.37)$$

จากลักษณะของวงจรขยายแบบอินเวอร์ตติ้ง กระแสรวม ( $I_1 + I_2 + I_3$ ) ที่ไหลเข้าที่จุด  $S$  จะไหลผ่านออกมาทาง  $R_f$  เกิดแรงดันตกคร่อมซึ่งมีขนาดเท่ากับ  $V_o$  แต่กลับเฟสกัน

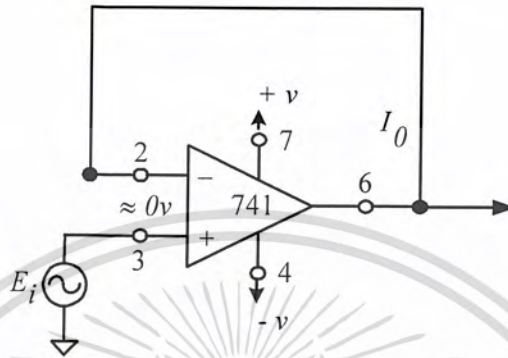
$$V_o = -(I_1 + I_2 + I_3) \times R_f$$

เมื่อแทนค่ากระแสจากสมการที่ 2.37 และใช้  $R_f$  เท่ากับ  $R$  ลงไปสมการ  $V_o$  ก็จะได้  $V_o$  ตามสมการที่ 2.36

$$\begin{aligned} V_o &= -\left[ \frac{(E_1) + (E_2) + (E_3)}{R} \right] \times R \\ &= -(E_1 + E_2 + E_3) \end{aligned}$$

ถ้าต้องการรวมสัญญาณเพิ่มขึ้นก็ให้เพิ่มแหล่งจ่ายไฟเข้าไปอีก และตัวต้านทานที่เพิ่มเข้าไปต้องเท่ากับตัวต้านทาน  $R$  เดิม ( เหตุที่ใช้ตัวต้านทานเท่ากันเพื่อตัดปัญหาอัตราส่วนระหว่าง  $R_f$  และ  $R_i$  ) แต่ถ้าต้องการลดจำนวนสัญญาณด้านอินพุตลงก็ให้ปลดแหล่งจ่ายไฟนั้น ๆ ออกไปเลย

### 2.2.3 วงจรตามแรงดัน



รูปที่ 2.21 วงจรตามแรงดัน

ถ้าสำหรับวงจรในรูปที่ 2.21 มีชื่อเรียกว่าวงจรตามแรงดัน (Voltage follower) โดยสาเหตุที่เรียกชื่อเป็นวงจรตามแรงดัน ก็เพราะว่าวงจรในลักษณะนี้จะสะท้อนค่าความต่างศักย์ที่ขาอินพุตให้ปรากฏเหมือนกันที่ขาเอาต์พุตของออปแอมป์ หรือมีการเลียนตามค่าแรงดันที่ขาอินพุตนั่นเอง จุดนี้เองเราจึงเรียกมันว่าวงจรตามแรงดันอินพุต

วงจรลักษณะนี้จะมีคุณสมบัติการขยายเท่ากับ 1 เท่านั้น บางคนเรียกววงจรนี้ว่า บัฟเฟอร์บ้าง คนก็เรียกว่า Isolation amplifier และบางคนก็เรียกว่า Unity amplifier ซึ่งเป็นการเรียกกันตามลักษณะของวงจร วงจรประเภทนี้จะป้อนสัญญาณ  $E_i$  เข้าทางขาอินพุต ขาบวก เพื่อไม่ให้สัญญาณที่ออกมาทางด้านเอาต์พุตเกิดการกลับเฟส มีการลัดวงจรระหว่างด้านอินพุตขาลบ และ ขาเอาต์พุตด้วย ซึ่งเป็นลักษณะของวงจรแบบลบบด้วยเช่นกัน

จากวงจร ความต่างศักย์ระหว่างขาอินพุตทั้งสอง เป็น 0 ดังนั้นแรงดันที่ขาลบ ซึ่งลัดวงจรอยู่กับเอาต์พุต จะเท่ากับที่ขาบวก ดังนั้น

$$V_o = E_i \quad (2.38)$$

เพราะฉะนั้นอัตราขยายของวงจรนี้จะเท่ากับ 1 ดังสมการที่ 2.38

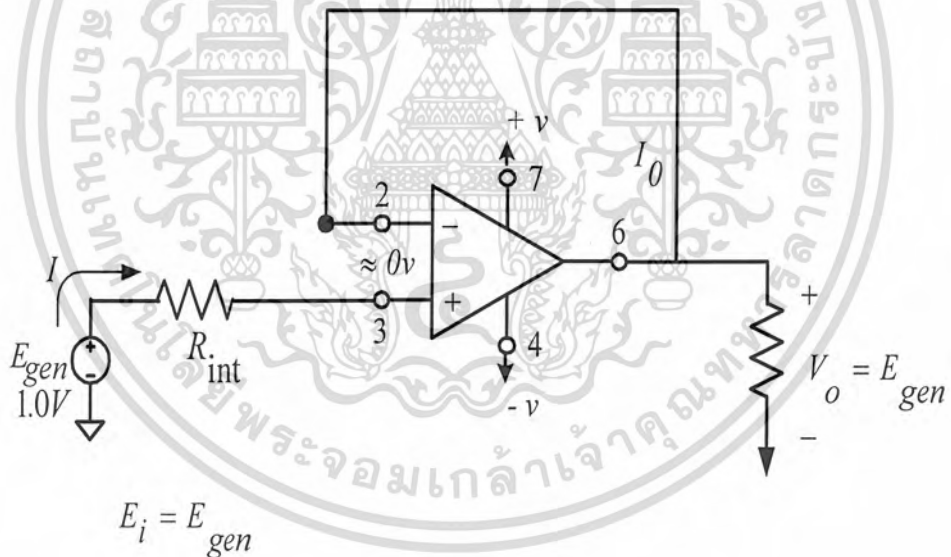
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_{CL} = \frac{V_o}{E_i} \quad (2.39)$$

$$= 1$$

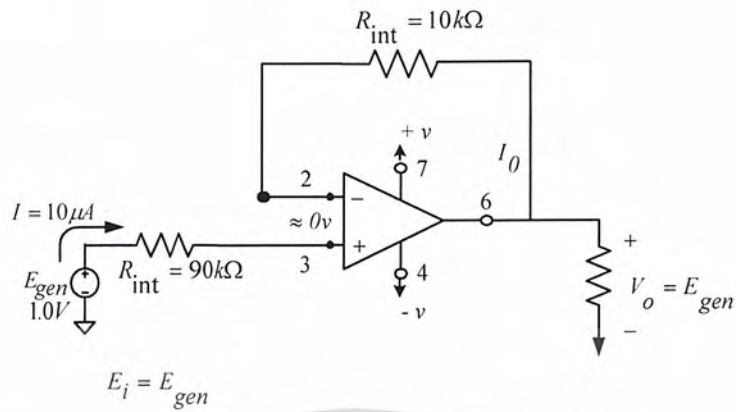
### 1) การใช้งานวงจรตามแรงดัน

หลายคนอาจจะสงสัยว่าในเมื่อวงจรตามแรงดันเป็นวงจรที่อัตราขยายเป็น 1 เมื่อเทียบกับวงจรขยายแบบอินเวอร์ตติ้งอื่นๆ แล้วมันมีประโยชน์อย่างไร สำหรับหัวข้อนี้จะกล่าวถึงข้อดีของวงจรประเภทนี้โดยไม่สนใจเครื่องหมายของอัตราขยาย แต่สนใจในเรื่องผลของการดึงกระแสทางด้านอินพุตมากกว่า ในรูปที่ 2.28 (ก) ประโยชน์จากการไม่มีกระแสไหลจาก  $E_{gen}$  โดยตรงทำให้แรงดันที่เอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ  $E_{gen}$  ข้อควรระวัง ออปแอมป์จะสามารถจ่ายกระแสที่เอาต์พุตได้สูงสุด 5 มิลลิแอมป์เท่านั้น ส่วนในรูปที่ 2.28 (ข) แรงดันของ  $E_{gen}$  จะถูกแบ่งระหว่างตัวต้านทานของมันเอง และตัวต้านทานที่ขาอินพุตของออปแอมป์ ทำให้แรงดันที่ได้ไม่ถึง 1 โวลต์



รูปที่ 2.22 (ก) ประโยชน์จากการไม่มีกระแสไหลจาก  $E_{gen}$  โดยตรงทำให้แรงดันที่เอาต์พุตเท่ากับ อินพุต  $V_o = E_{gen}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 (ข) แรงดันของ  $E_{gen}$  จะถูกแบ่งระหว่างความต้านทานของมันเอง และความต้านทานที่ขาอินพุตของออปแอมป์

ข้อดีของวงจรตามวงจรแรงดัน คือ มีความต้านทานทางขาอินพุตของวงจรสูงมาก (เป็นเมกะโอห์ม) ทำให้ดึงกระแสจากแหล่งจ่ายไฟน้อยมาก ตัวอย่างเช่นวงจรในรูปที่ 2.22 (ก) แหล่งจ่ายไฟของวงจร  $E_{gen}$  มีแรงดัน 1 โวลต์ มีความต้านทานภายในแหล่งไฟ ( $R_{int}$ ) เท่ากับ 90 กิโลโอห์ม ต่ออยู่ขาอินพุต จากคุณสมบัติของวงจรขยายทั่วไปที่กล่าวไว้ว่ากระแสไหลเข้าขาอินพุตของออปแอมป์น้อยมากจนถือว่าไม่มีกระแสไหล ดังนั้นแรงดันทางขาอินพุตของวงจรขยายจึงเท่ากับ  $E_{gen}$  และจากคุณสมบัติอีกข้อของวงจรขยายคือ แรงดันของขาอินพุตทั้งสองจะเท่ากันทำให้

$$V_o = E_i = E_{gen}$$

เมื่อพิจารณาวงจรขยายแบบอินเวอร์ตติ้งในรูปที่ 2.22 (ข) เราให้แหล่งจ่ายไฟและความต้านทานภายในเหมือนกับวงจรรูปที่ 2.22 (ก) และให้อัตราการขยาย ( $-R_f/R_i$ ) เท่ากับ 1 ซึ่งขนาดของอัตราขยายของทั้ง 2 วงจรเท่ากันอยู่กันอยู่ แต่เมื่อพิจารณาเพื่อหากระแสผ่าน  $R_f$  และ  $R_i$  ตามหลักการของวงจรประเภทนี้ได้ดังต่อไปนี้

$$E_{gen} = I \times (R_{int} + R_i)$$

$$I = 1$$

$$= 0.01 \text{ mA}$$

$$= 10$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง  $I$  ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่  $R_{int}$

$$\begin{aligned} V_{R_{int}} &= 0.01m \times 90 \\ &= 0.9V \end{aligned}$$

ดังนั้นจึงเหลือแรงดันที่จ่ายให้วงจร ( $E_i$ ) เป็น

$$\begin{aligned} E_i &= E_{gen} - V_{R_{int}} \\ &= 0.1V \\ &= 100mV \end{aligned}$$

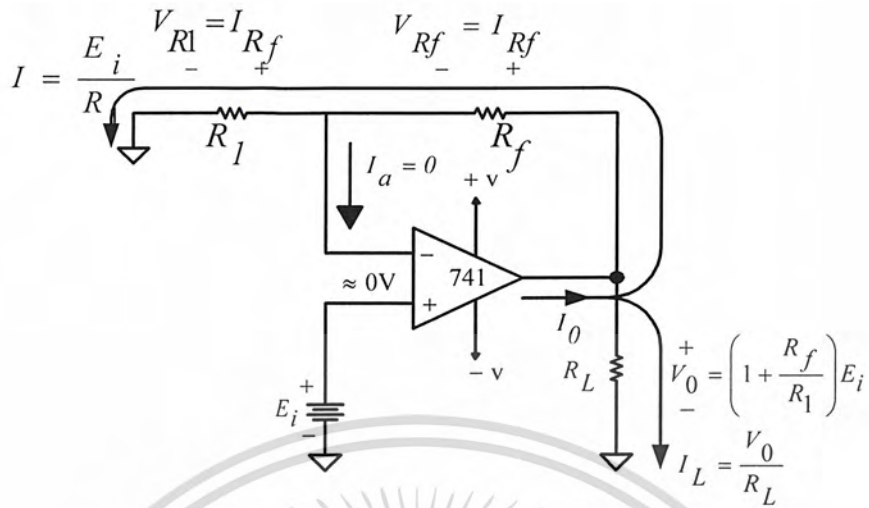
จากอัตราการขยายของวงจรมีขนาดเท่ากับ 1 ดังนั้นขนาดของ  $V_o$  จึงเหลือเพียงแค่ 0.1 โวลต์ เท่านั้น จะเห็นได้ว่าถ้าใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีความต้านทานภายในสูง เพื่อนำมาต่อกับวงจรขยายแบบอินเวอร์ตแล้ว อัตราการขยายก็อาจไม่ได้ขึ้นอยู่กับ  $R_f$  และ  $R_i$  เท่านั้น แต่จะขึ้นอยู่กับ  $R_{int}$  อีกด้วย ดังเช่นสมการของอัตราการขยายต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \frac{V_o}{E_{gen}} &= \frac{R_f}{R_i + R_{int}} \\ &= \frac{10k\Omega}{100k\Omega} \\ &= -0.1 \end{aligned}$$

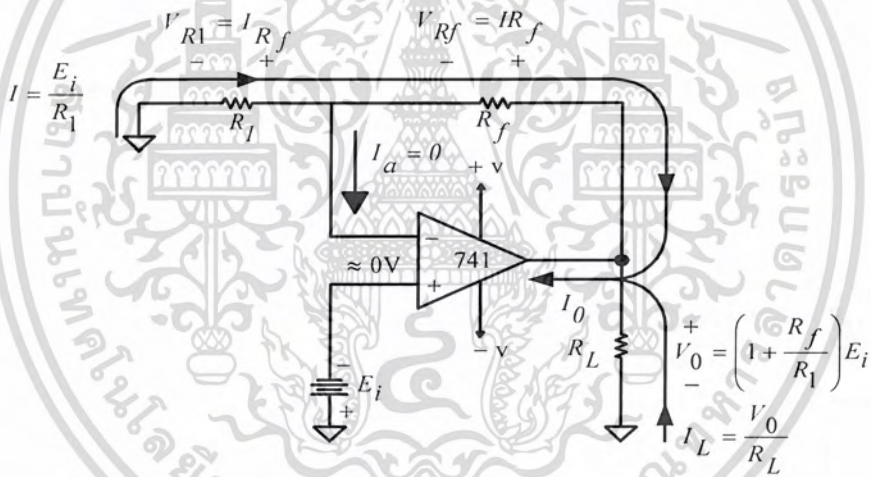
## 2.2.4 วงจรขยายแบบนอนอินเวอร์ตติ้ง

### 1) การวิเคราะห์ห้วงจร

วงจรขยายแบบนอนอินเวอร์ตติ้งรูปที่ 2.23 เป็นวงจรที่ให้แรงดันเอาต์พุต  $V_o$  มีเครื่องหมายหรือมีขั้วเหมือนกับแรงดันทางด้านอินพุต  $E_i$  ในการวิเคราะห์ห้วงจรจะใช้ข้อแนะนำ 2 ข้อจากหัวข้อที่ เหมือนกับการวิเคราะห์ห้วงจรขยายแบบอินเวอร์ตติ้ง โดยให้ถือว่าความต้านทานทางด้านอินพุตของออปแอมป์มีขนาดค่ามากเกิน 100 เมกะโอห์ม



(ก) เมื่อป้อนแหล่งจ่ายไฟชนิดบวก



(ข) เมื่อป้อนแหล่งจ่ายไฟชนิดลบ

รูปที่ 2.23 ทิศทางการไหลของกระแส และขั้วของแรงดันเมื่อป้อนแหล่งจ่ายไฟชนิดต่างๆ

เมื่อไม่มีค่าความต่างศักย์ระหว่างขาของอินพุตบวกและขาของอินพุตลบ ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อม  $R_1$  คือ  $E_i$  ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่าน  $R_1$  และ  $R_2$  (ไม่มีกระแสไหลเข้าขาอินพุตลบ) หาได้จาก

$$I = \frac{E_i}{R_1} \tag{2.40}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทิศทางของกระแสขึ้นอยู่กับแรงดัน  $E_i$  ซึ่งเสมือนค่าแรงดันที่ตกคร่อม  $R_1$  สำหรับวงจรรูปที่ 2.23 (ก) ที่ขาอินพุตลบจะเสมือนมีแรงดันบวก  $E_i$  อยู่ ดังนั้นกระแสจึงไหลจากด้านขวาของ  $R_1$  ผ่าน  $R_f$  ลงกราวด์ การไหลเช่นนี้ทำให้เกิดทิศทางของ  $I$  ในรูปที่ 2.23 (ข) เมื่อทราบ  $I$  แล้วจึงสามารถหาความต่างศักย์ตกคร่อม  $R_f$  ได้

$$V_{R_f} = I R_f = \frac{R_f}{R_1} \times E_i \quad (2.41)$$

เมื่อได้  $V_{R_f}$  และ  $V_{R_1}$  ซึ่งเท่ากับ  $E_i$  แล้ว จะสามารถ  $V_o$  ได้

$$\begin{aligned} V_o &= V_{R_f} + E_i \\ &= E_i \times \frac{R_f}{R_1} + E_i \\ &= 1 + \frac{R_f}{R_1} E_i \end{aligned} \quad (2.42)$$

ทุกค่า  $V_o$  ที่หาได้ นำมาใช้ในการหาอัตราขยายของวงจรนี้ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} A_{cl} &= \frac{V_o}{E_i} \\ &= 1 + \frac{R_f}{R_1} \times E_i \\ &= 1 + \frac{R_f}{R_1} \\ &= \frac{(R_1 + R_f)}{R_1} \end{aligned} \quad (2.43)$$

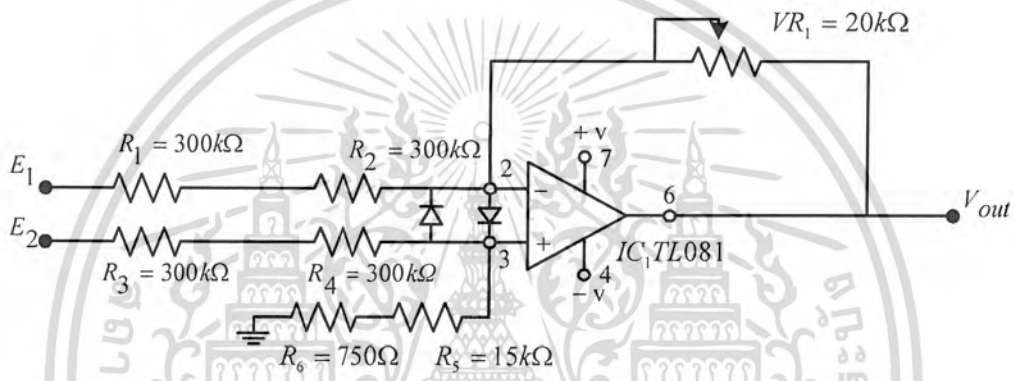
อัตราขยายของวงจรขยายแบบนอนอินเวอร์ตหรือแบบไม่กลับเฟส จะมีค่ามากกว่า 1 เสมอ กระแสที่จ่ายให้โหลด ( $I_L$ ) เท่ากับ  $\frac{V_o}{R_L}$  ส่วนกระแส  $I_o = I + I_L$  ดังสมการที่ 2.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.5 วงจรขยายแบบผสมผสาน

### 1) การวิเคราะห์วงจร

วงจรในรูปที่ 2.24 มีการทำงานแบบวงจรขยายแบบกลับเฟสสำหรับสัญญาณ  $E_1$  รวมกับวงจรแบบไม่กลับเฟสสัญญาณ โดยการวิเคราะห์วงจรด้วยวิธีซูเปอร์โพสิชัน (Super position) คือให้พิจารณาแหล่งจ่ายไฟทีละแห่ง โดยแหล่งที่ไม่ใช้คิดในขณะนั้นถ้าหากเป็นแหล่งจ่ายแรงดันให้ลัดวงจร ถ้าหากเป็นแหล่งจ่ายกระแสให้เปิดวงจร แล้วจึงนำผลของส่วนที่ต้องการทราบค่ามารวมกัน



รูปที่ 2.24 วงจรขยายแบบกลับเฟสแบบผสมผสาน

เมื่อคิดแหล่งจ่ายไฟ  $E_1$  แหล่งเดียว ( $E_2$  ให้คิดเสมือนว่าถูกลัดวงจรไป ทำให้  $R_4$  ต่ออยู่กับกราวด์) และพิจารณาแรงดันที่ขาอินพุตทั้ง 2 ต้องเท่ากัน ดังนั้นวงจรตอนนี้จะเป็นวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

$$V_o = E_1 \times \left[ \frac{(R_f + R_i)}{R_i} \right]$$

เมื่อคิดแหล่งจ่ายไฟ  $E_2$  แหล่งเดียว ( $E_1$  ให้คิดเสมือนลัดวงจร ดังนั้นขาอินพุตบวกจึงต่ออยู่กับกราวด์) วงจรนี้จะเป็นวงจรแบบกลับเฟส

$$V_o = -E_2 \times \left( \frac{R_f}{R_i} \right)$$

เมื่อได้  $V_o$  จากทั้งสองแหล่งจ่ายไฟแล้ว  $V_o$  ของวงจรจะเป็นผลรวมของ  $V_o$  ทั้งสอง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_o = E_1 \times \left[ \frac{(R_i + R_f)}{R_i} \right] - E_2 \left( \frac{R_f}{R_i} \right)$$

นอกจากการวิเคราะห์วงจรโดยวิธีการชูปเปอร์โพสิชันแล้ว ยังใช้การวิเคราะห์วงจรด้วยวิธีตรงได้อีกดังนี้

$$V_o = IR_f + IR_1 + IR_2 \quad (I \text{ คือกระแสที่ไหลผ่าน } R_1 \text{ และ } R_2)$$

$$I = \frac{(E_1 - E_2)}{R_1}$$

$$V_o = \frac{(E_1 - E_2)}{R_1} \times R_f + \frac{(E_1 - E_2)}{R_1} \times R_1 + \frac{(E_2 R_1)}{R_1}$$

$$V_o = E_1 \times \left[ \frac{(R_f + R_1)}{R_1} \right] - \frac{E_2 R_f}{R_1}$$

ก็จะได้ว่า  $V_o$  เหมือนกับวิธีคิดด้วยชูปเปอร์โพสิชัน และแรงดันเอาต์พุตสำหรับวงจรดิฟเฟอเรนเชียล หรือ  $V_o$  จะเป็นค่าแรงดันแตกต่างที่ป้อนเข้าสู่ที่ขาบวกและลบของออปแอมป์ ควบคู่กับค่าอัตราขยาย ( Differential gain ) ซึ่งถูกกำหนดขึ้นโดยตัวต้านทาน

## 2.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

การทำงานของไอซีตัวเดียวจำเป็นต้องอาศัยสัญญาณดิจิทัลในการควบคุมการทำงานและประมวลผล เมื่อมีความจำเป็นต้องใช้งานไอซีตัวเดียวร่วมกับสัญญาณแอนะล็อก ต้องอาศัยกระบวนการเปลี่ยนแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลหรือวงจรเอทวูตีเข้ามาช่วย โดยวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไปมีดังต่อไปนี้

### 2.3.1 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบแฟลช

วงจรเอทวูตีแบบนี้ให้หลักการง่ายๆ อีกทั้งยังเป็นวิธีที่เร็วที่สุด คือใช้วงจรเปรียบเทียบที่ต่อขนานกัน ดังรูปที่ 2.25

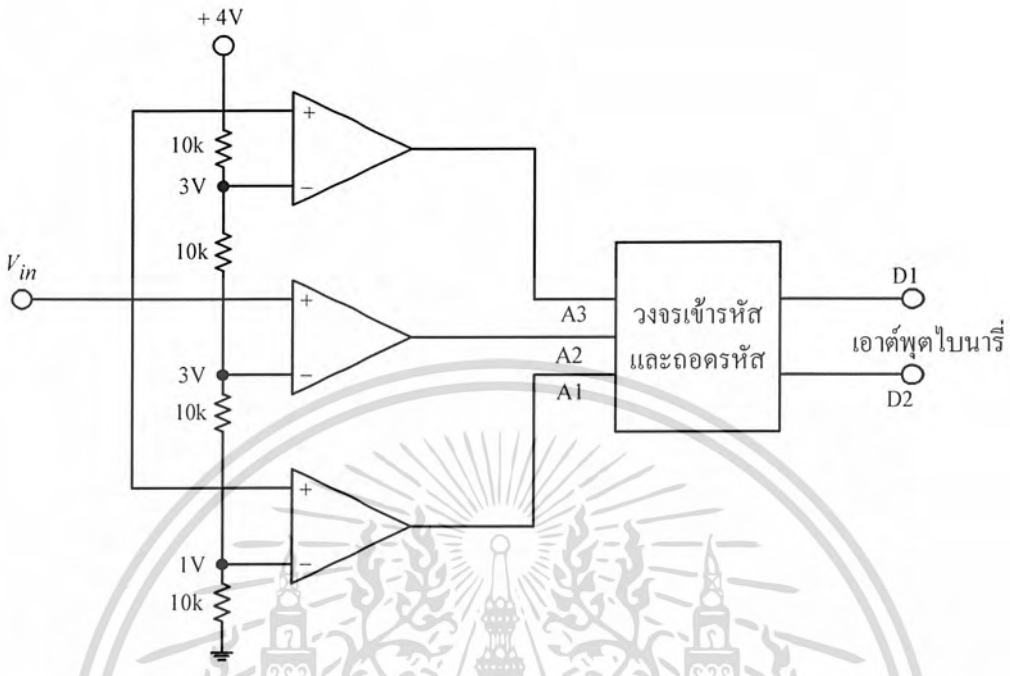
ในรูปที่ 2.25 ประกอบด้วยออปแอมป์ที่ต่อเป็นวงจรเปรียบเทียบ และตัวต้านทานที่ต่อเอาไว้เพื่อแบ่งแรงดันที่ขาอินพุตแบบกลับเฟส (Inverting) ให้มีขนาดต่างๆ กัน โดยจากหลักการของวงจรเปรียบเทียบต่างๆ ไป เมื่อแรงดันอินพุตที่ขาอินพุตแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting) มีค่าแรงดันสูงกว่าที่ขาอินพุตแบบกลับเฟส เอาต์พุตจะได้แรงดันค่าสูงสุดดังตารางที่ 2.25 ซึ่งผลในตารางที่ 2.1 นั้นเป็นการเปรียบเทียบค่าระดับสัญญาณที่ได้โดยมีการกำหนดค่าอินพุตให้มีค่าเป็นแรงดันขนาดคงที่ ตามขนาดของค่าอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบวงจรรูปร่าง

ตารางที่ 2.1 สัญญาณเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบขนาน

แรงดันอินพุต $V_m$ (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
3-5	1	1	1	1	1

เมื่อต้องการวงจรที่มีความละเอียดสูงขึ้น จำเป็นต้องใช้วงจรเปรียบเทียบเพิ่มขึ้น เช่น ถ้าต้องการความละเอียด 3 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบ 7 ตัว ความละเอียด 4 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบ 15 ตัว (16 ระดับ) โดยหาวงจรเปรียบเทียบได้จาก 2 ถึง 1 เมื่อ N แทนจำนวนบิต หรือความละเอียดที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 การต่อวงจรเปรียบเทียบแบบขนาน หรือแบบเฟส

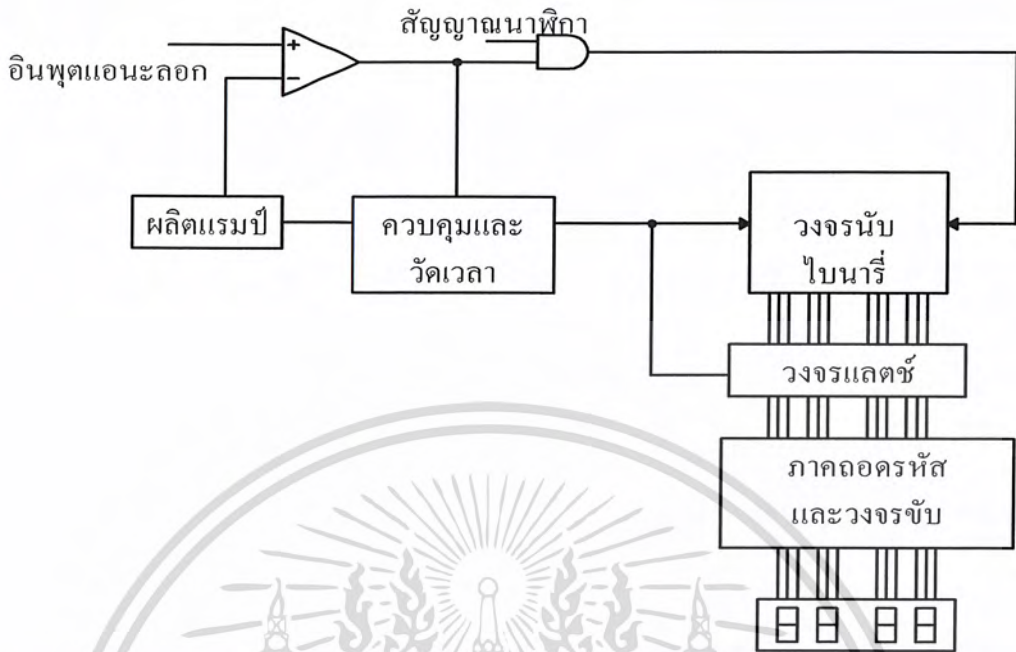
จะเห็นได้ว่าที่ความละเอียด 8 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบมากถึง 255 ตัว ซึ่งเป็นข้อเสียของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบนี้ ข้อเสียอีกประการหนึ่ง คือเอาต์พุตที่ไม่ได้เป็นเลขฐานสองต้องมีวงจรเพิ่มเติมไปทำการเข้ารหัส ข้อดีของวงจรเอพูดีแบบขนานนี้ คือ ความเร็วสูงมาก บางครั้งจึงเรียกวงจรลักษณะนี้ว่า แฟลช (Flash) จะทำให้วงจรชนิดนี้ใช้เวลาในการแปลงได้เร็วในระดับนาโนวินาที

### 2.3.2 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่ใช้ในการอินทิเกรต

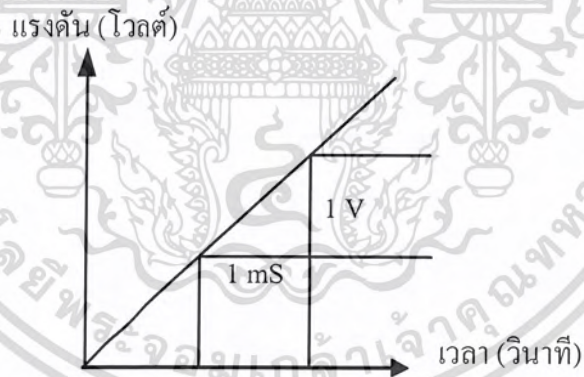
วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่ใช้เทคนิคการอินทิเกรตสัญญาณมี 4 แบบ คือ

- 1) วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโลปหรือแบบแร่มป์เดียว

วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบนี้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.26 ประกอบด้วยวงจรกำลังสัญญาณขึ้นไค, วงจรเปรียบเทียบ, วงจรนับ BCD หรือนับเลขฐานสอง



รูปที่ 2.26 แผนผังการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโโลปเดี่ยว



รูปที่ 2.27 ความชันของสัญญาณขึ้นบันได

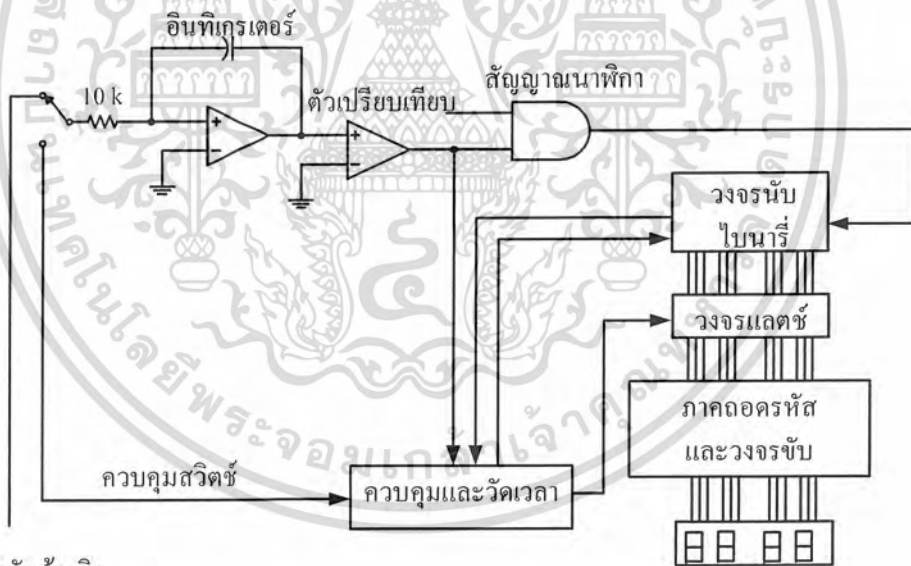
เมื่อเริ่มทำการเปลี่ยนสัญญาณขึ้นบันได และวงจรนับจะถูกปรับให้เป็นศูนย์แรงดันแอนะล็อกถูกป้อนไปยังวงจรเปรียบเทียบทางเข้าแบบไม่กลับเฟส เมื่อแรงดันขาเข้าที่ขานี้เป็นบวกมากกว่าที่แรงดันขาเข้าแบบกลับเฟส วงจรเปรียบเทียบให้ระดับขาออกเป็นระดับ 1 ทำให้ไอซีแอนค้เกิดปล่อยสัญญาณนาฬิกาไปยังวงจรนับได้ และทำให้สัญญาณขึ้นบันไดมีแรงดันเป็นบวกมากขึ้นเรื่อยๆ จนมากกว่าระดับแรงดันขาเข้า ระดับแรงดันขาออกจากวงจรเปรียบเทียบจะตกเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับที่ 0 บิต แอนด์เกตไม่มีสัญญาณผ่านมาในวงจรรับ วงจรรับจะหยุดนับ และเก็บค่าไว้ที่วงจรมัลติเพลกซ์ จากนั้นจึงทำการปรับค่าวงจรรับและวงจรถ่ายค่าแอดเดชันสัญญาณขึ้นบันได

วงจรถ่ายค่าในลักษณะนี้มักนำไปใช้ในการเปลี่ยนเวลาเป็นขนาดของสัญญาณหรือใช้เป็นดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ แต่ไม่ใช้กับงานที่ต้องการความถูกต้องสูง หรือต้องการความละเอียดมาก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในแหล่งกำเนิดสัญญาณขึ้นบันไดขึ้นกับอุณหภูมิ และผลตอบสนองต่อสัญญาณขาเข้า ทำให้ไม่มีความคงที่ ดังนั้น จึงมีการปรับปรุงพัฒนาให้วงจรมีเสถียรภาพเพิ่มขึ้น สามารถใช้ในวงจรถ่ายค่าที่ต้องการความถูกต้องสูงได้ แสดงการชดเชยลักษณะการสูญเสีย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นให้ดีขึ้น จึงกลายเป็นวงจรถ่ายค่าสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่ใช้การอินทิเกรตแบบสโลปคู่ที่มีการทำงานที่ไม่ยุ่งยาก และมีการทำให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงาน ซึ่งเป็นวงจรถ่ายค่าที่เหมาะสมในการใช้งาน การออกแบบที่ไม่มี ความยุ่งยาก ผลกระทบทางอุณหภูมิมีน้อยกว่าวงจรถ่ายค่าสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบอื่น ๆ มาก

2) วงจรถ่ายค่าสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโลปคู่



แรงดันอ้างอิง

รูปที่ 2.28 แผนผังการทำงานของวงจรถ่ายค่าสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโลปคู่

รูปที่ 2.28 แสดงผังการทำงานของวงจรถ่ายค่าสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบสโลปคู่ วงจรส่วนใหญ่คล้ายกับสโลปเดี่ยว ซึ่งมีสวิทช์ที่ขาเข้าเพิ่มเติม เพื่อทำการเลือกกระหว่างค่าแรงดันขาเข้ากับแรงดันอ้างอิง ซึ่งวงจรถ่ายค่าขาเข้ากับอินพุตกลับเฟสกันแบบสโลปเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนแรกของวงจร คือ วงจรกำเนิดสัญญาณขึ้นบันได หรือวงจรอินทิเกรต ที่แรงดันระดับขาเข้าแบบกลับของออปแอมป์ที่มีสภาพเป็นกราวด์เสมือน (Virtual Ground) ถ้ามีแรงดันขาเข้ามีค่า 2 โวลต์ จะได้กระแสไหลผ่านตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม เท่ากับ 0.2 มิลลิแอมป์ ไปยังจุดรวม (Summing Point) เนื่องจากค่าความต้านทานอินพุตของออปแอมป์นั้นสูงมาก กระแสที่ไหลจึงเกิดขึ้นผ่านตัวเก็บประจุ

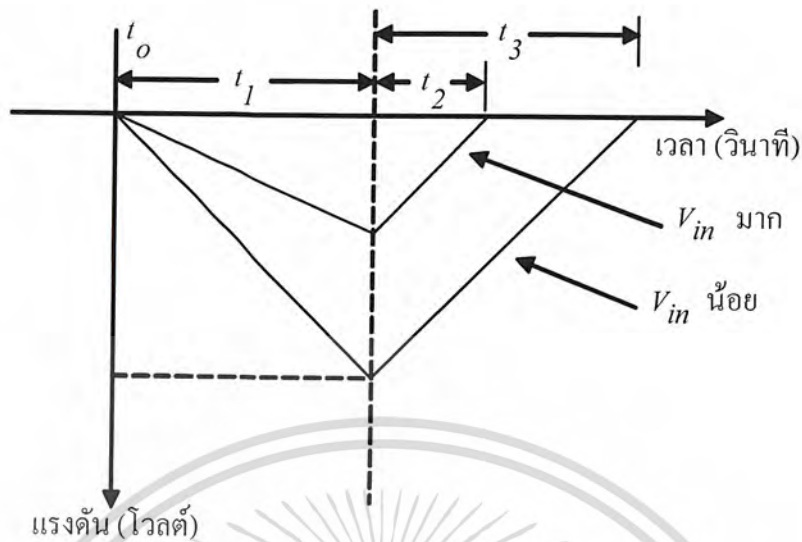
ขณะที่ตัวเก็บประจุทำการเก็บประจุ ค่าแรงดันที่ขาเข้าของออปแอมป์จะยังเป็นลบมากขึ้นเรื่อยๆ เพื่อรักษาระดับกระแสให้คงที่ แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจึงได้เป็นสัญญาณขึ้นบันไดที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้น (Linear Ramp)

ถ้าแรงดันทางด้านอินพุตเป็นบวกวงจรอินทิเกรเตอร์จะให้แรงดันเอาต์พุตออกเป็นสัญญาณขึ้นบันไดทางลบดังแสดงไว้ในช่วง  $t_1$  ดังรูปที่ 2.29 หากแรงดันขาเข้าเป็นลบ ทำให้แรงดันขาออกได้เริ่มป้อนบวก

จากวงจรในรูปที่ 2.34 เมื่อสวิตช์ต่อกับสัญญาณอินพุตจะทำให้มีแรงดันบวกจากขาเข้าป้อนสู่วงจรอินทิเกรเตอร์ ได้แรงดันขาออกเป็นสัญญาณขึ้นบันไดทางลบ วงจรเปรียบเทียบจะได้แรงดันทางลบจากวงจรอินทิเกรเตอร์ แล้วให้แรงดันออกเป็นบวก ทำการเปิดแอนด์เกต ให้สัญญาณนาฬิกาเข้าไปสู่วงจรนับ วงจรนับจะนับไปยังค่าที่กำหนดไว้คงที่  $t_1$  แล้วทำการสวิตช์ต่อเข้ากับแรงดันอ้างอิง ในช่วงที่วงจรถับด้วยค่าคงที่นั้น

วงจรอินทิเกรตจะให้สัญญาณขึ้นบันไดทางลบ ที่มีค่าได้สูงสุดตามแต่ระดับแรงดันขาเข้า เมื่อทำการสวิตช์ขาเข้าของวงจรอินทิเกรเตอร์ทำให้ไปที่ค่าแรงดันอ้างอิงทางลบ แรงดันของวงจรจึงได้เป็นสัญญาณขึ้นบันไดทางบวก คือ ช่วง  $t_2$  ในรูปที่ 2.29 พร้อมๆ กับปรับค่าของวงจรถับลงเป็นศูนย์เพื่อเริ่มนับใหม่

เมื่อแรงดันขาออกของวงจรอินทิเกรเตอร์เพิ่มขึ้นถึงแรงดันศูนย์อีกครั้ง แรงดันขาออกของวงจรเปรียบเทียบจะเป็นลบ หรือเป็นศูนย์ วงจรควบคุมจับการเปลี่ยนแปลงอันนี้ได้ส่งสัญญาณสโตรบไปห้วงจรถับเก็บค่าที่ได้ไว้ที่วงจรถับเก็บค่า จากนั้นจึงปรับให้เป็นศูนย์ แล้วทำการสวิตช์ให้แก่ค่าอินพุตของวงจรอินทิเกรเตอร์ต่อกับแรงดันอินพุตซึ่งเป็นการเริ่มเปลี่ยนสัญญาณอินพุตอีกรอบหนึ่ง จำนวนที่นับได้ที่เก็บไว้ที่วงจรถับเก็บค่าจะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับแรงดันขาเข้า  $V_{in}$



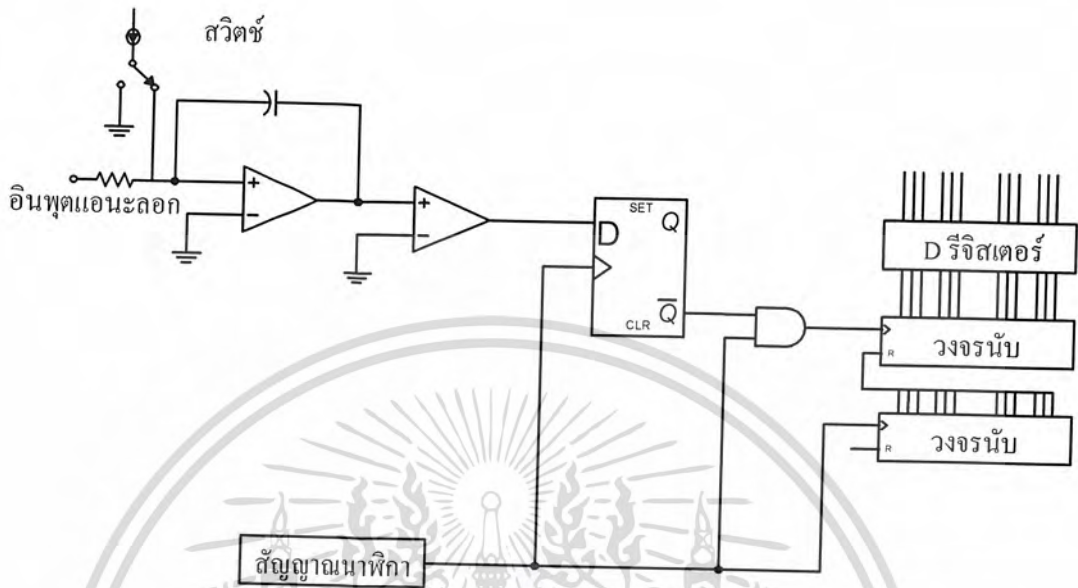
รูปที่ 2.29 แรงดันขาออกของวงจรอินทิเกรเตอร์เทียบกับเวลา

ข้อดีของวงจรแปลงสัญญาณแบบสโโลปคู่ คือ ความถูกต้องสูง, ราคาถูก เสถียรภาพทางด้านอุณหภูมิ ข้อเสีย คือ ความเร็วต่ำ ในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ 1 ครั้ง อาจใช้เวลาถึง 100 มิลลิวินาที ในขณะที่แบบเฟลซใช้เวลาประมาณ 30 มิลลิวินาที

### 3) วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบประจุมวล

วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบประจุมวล จะใช้วงจรสำคัญที่คล้ายกับแบบสโโลปคู่ แต่แทนที่จะใช้ขาเข้าสวิตช์ไปมาระหว่างแรงดันที่ไม่รู้ค่ากับแรงดันอ้างอิง จะทำการแทรกพัลส์ของกระแสอ้างอิงมาโดยตรงที่จุดรวมของวงจรอินทิเกรเตอร์ในช่วงเวลาที่คงที่ โดยที่จำนวนของพัลส์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันอินพุตที่ไม่รู้ค่า ประโยชน์ของเทคนิคนี้ คือ ค่าแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุของวงจรอินทิเกรเตอร์จะมีค่าใกล้เคียงศูนย์โวลต์ ดังนั้น ทำให้ไม่เกิดการผิดพลาดจากผลของกระแสรั่วไหล วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลชนิดนี้จึงมีความถูกต้องกว่าแบบสโโลปคู่

4) วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อกแบบเดลด้า-ซิกม่า



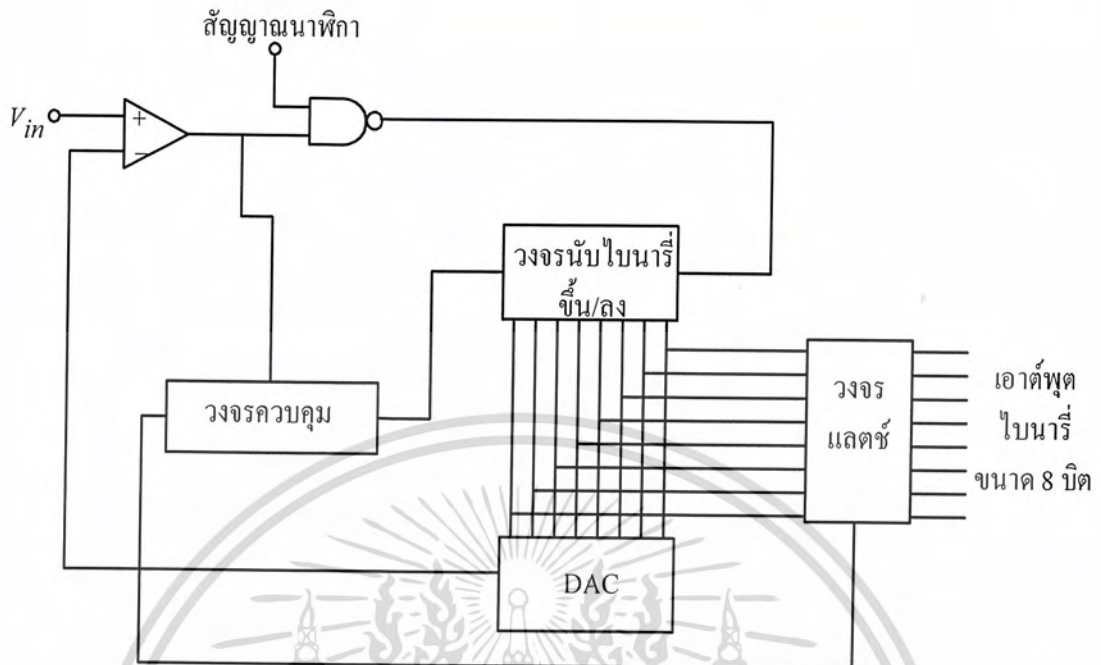
รูปที่ 2.30 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบเดลด้า-ซิกม่า

จากวงจรรูปที่ 2.30 เมื่อแรงดันอินพุตป้อนเข้าที่วงจรอินทิเกรเตอร์ จะให้ค่าแรงดันเอาต์พุตไปเข้าวงจรเปรียบเทียบ เพื่อเปรียบเทียบกับแรงดันคงที่จากกราวด์ โดยที่พัลส์ของกระแสที่ได้ขึ้นอยู่กับเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบ โดยสวิตช์ที่ทำงานจากเฟด (FET) จะควบคุมให้กระแสเข้าไปยังที่จุ่มรวม หรือลงกราวด์ไป ส่วนวงจรรีบจำนวนพัลส์ด้วยหลักการที่คล้ายกัน

2.3.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่ใช้วงจรรีบ

1) วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบแทรกกิ่ง

การทำงานจะคล้ายกับใช้วงจรรีบเดี่ยว แต่การนับจะไม่ได้เริ่มจากศูนย์ แต่จะทำการนับขึ้นหรือนับลงจากค่าสุดท้ายไปยังค่าใหม่ แล้วแต่ค่าแรงดันอินพุตในรอบใหม่มีค่าสูงหรือต่ำกว่ารอบที่แล้ว ข้อดีของเอทูดิแบบแทรกกิ่ง คือ การทำงานได้เร็วขึ้น



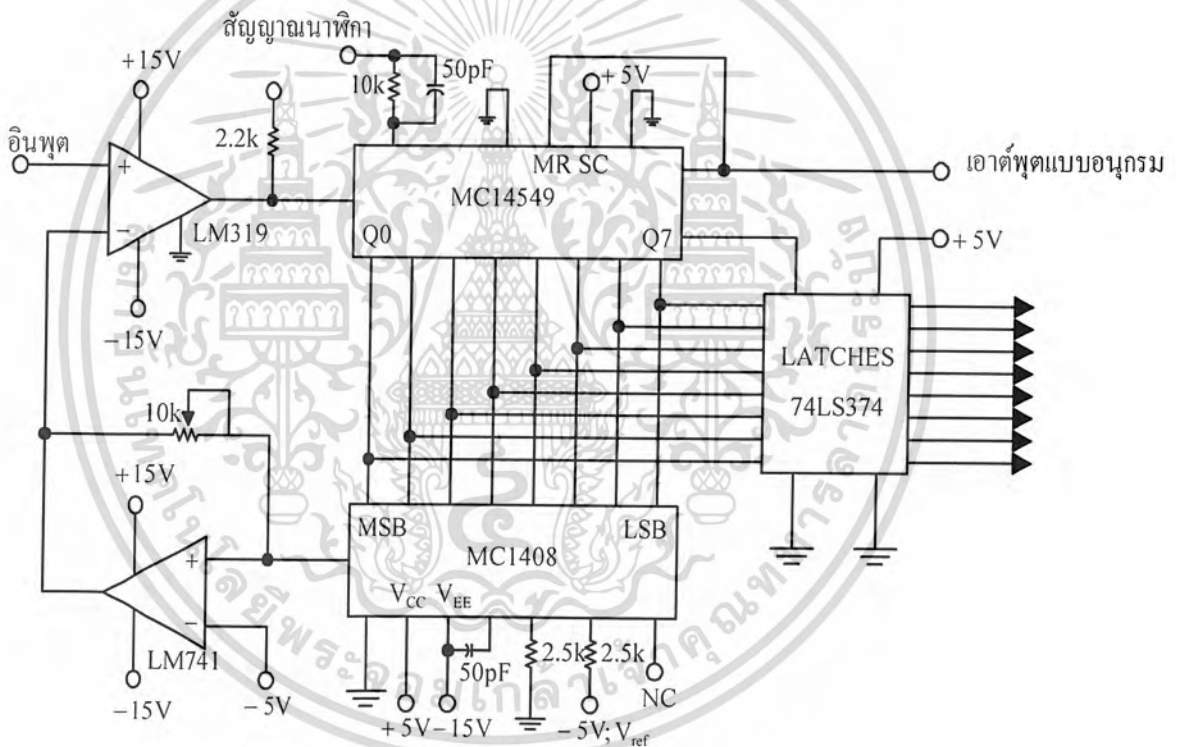
รูปที่ 2.31 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่สร้างขึ้นจากวงจรนับขึ้น/ลง และวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก

## 2) วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบการปรับค่า

วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบนี้ จะมีข้อได้เปรียบทางด้านความละเอียด เพราะมีความละเอียดเป็น  $n$  บิต สามารถกำหนดได้จากสัญญาณนาฬิกา  $n$  ลูก เช่น วงจรแปลงขนาด 8 บิต ต้องการพัลส์นาฬิกา 8 ลูก ในขณะที่แบบใช้วงจรนับต้องการพัลส์ถึง 256 ลูก วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบประมาณค่าแสดงดังรูปที่ 2.32

### 2.3.4 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบการสุ่ม และการคงค่า

วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลต้องการเวลาในการแปลงสัญญาณ หรือที่เรียกว่า Conversion Time เพื่อเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลที่เหมาะสม ถ้าสัญญาณแอนะล็อกมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างช่วงเวลาที่แปลงเอาต์พุตของค่าวงจรเปลี่ยนสัญญาณ อาจเกิดความผิดพลาด จึงต้องมีการป้องกันด้วยการสุ่ม และคงค่าสัญญาณ เพื่อให้จับค่าของสัญญาณแอนะล็อกที่จุดเริ่มของการเปลี่ยนสัญญาณแล้วเก็บไว้ ที่ตัวเก็บประจุระหว่างช่วงเวลาของการแปลงสัญญาณ หลังจากการเปลี่ยนสัญญาณเสร็จสิ้นจึงจับค่าสัญญาณแอนะล็อกค่าใหม่มาเก็บไว้อีกครั้ง เป็นเช่นนี้ ต่อเรื่อยๆ ไป



รูปที่ 2.32 วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลแบบประมาณค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

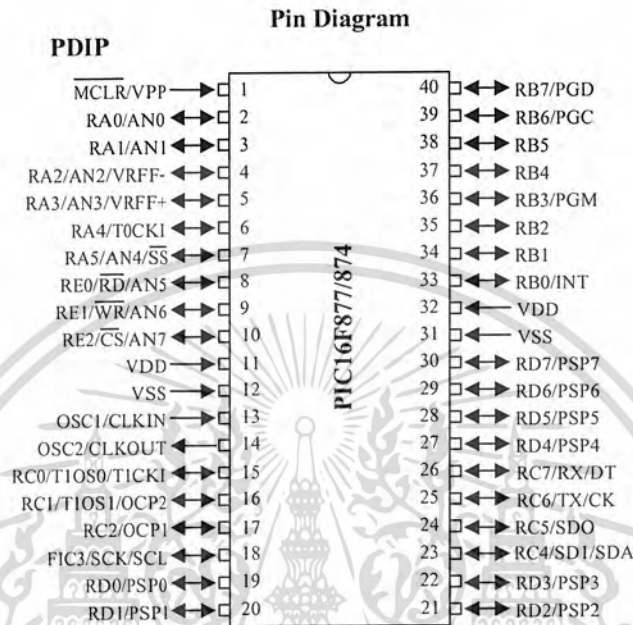
## 2.4 PIC16F877

PIC 16F877 เป็น CPU ที่มีความสามารถสูงพอสมควร ประกอบไปด้วยฟังก์ชันการทำงานต่างๆ มากมายสรุปคุณสมบัติคร่าวๆ ได้ดังนี้

1. มี 35 Instruction คำสั่ง
2. ในการปฏิบัติงานคำสั่งต่างๆ จะใช้ ไชเคิลเดียวและ 2 ไชเคิลในคำสั่งที่เป็นการกระโดด
3. ความถี่สูงสุดที่ทำงานได้คือ 20 MHz (16F877-20/P)
4. การทำงานจะเป็นลักษณะ Pipeline ทำให้มีการทำงานที่เร็วขึ้น
5. หน่วยความจำโปรแกรมแบบ FLASH Program Memory มีขนาด 8k (14-Bit Words)
6. หน่วยความจำข้อมูล (RAM) 368 Bytes
7. หน่วยความจำข้อมูล (EEPROM) 256 Bytes
8. สามารถตอบสนองการอินเทอร์รัพได้ถึง 14 แหล่ง
9. มี STACK 8 ระดับ
10. มีเพาเวอร์อนรีเซต (POR) , เพาเวอร์อัปไทมเมอร์(PRRT) และ ออสซิลเลเตอร์สตาร์ทอัปไทมเมอร์ (OST)
11. วอตช์ด็อกไทมเมอร์ (WDT) ที่มีวงจรออสซิลเลเตอร์ในตัวทำให้มีความน่าเชื่อถือในการทำงานสูง
12. สามารถเลือกการป้องกันข้อมูลได้ (Code Protection)
13. มีโหมดประหยัดพลังงาน (Sleep Mode)
14. เลือกโหมดของสัญญาณนาฬิกาได้หลายโหมด
15. สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5 โวลต์ได้
16. มีฟังก์ชันการ โปรแกรมแบบ ICSP (In-Circuit Serial Programming)
17. ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2.0 โวลต์ ถึง 5.5 โวลต์
18. กระแสทั้งซิงก์และซอร์สของพอร์ตคือ 25 มิลลิแอมป์
19. มี Timer/Counter จำนวน 3 ตัว คือ Timer0,Timer1 และTimer2
20. มีโมดูล Capture/Compare/PWM จำนวน 2ชุด
21. มี ภาคแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิตอล ความละเอียด 10 บิต 8 แชนแนล ภายในตัว
22. มีโมดูลการสื่อสาร USART
23. มีโมดูลตรวจจับระดับไฟเลี้ยง Brown-out reset (BOR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24. มีพอร์ต I/O 5 พอร์ตประกอบด้วย A,B,C,D และ E แต่ละพอร์ตจะมีจำนวนบิตไม่เท่ากัน ซึ่งรวมแล้วจะมี I/O จำนวน 33 บิต



รูปที่ 2.33 ตำแหน่งขาสัญญาณต่างๆ ของ PIC 16F877

การจัดสรรหน่วยความจำของ PIC 16F877 นี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรม หน่วยความจำข้อมูล (RAM) และหน่วยความจำข้อมูลที่เป็น EEPROM ซึ่งมีดังนี้

#### 1) หน่วยความจำโปรแกรม

PIC 16F877 นี้มีโปรแกรมเคาน์เตอร์ ขนาด 13 บิต ซึ่งสามารถอ้างตำแหน่งของข้อมูลได้ถึง 8 กิโลเวิร์ด โดยจะมีตำแหน่งรีเซตเวคเตอร์ ที่ 0000h และอินเตอร์รัพท์ที่ 0004h ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมจึงควรสงวนพื้นที่ส่วนนี้ไว้สำหรับการใช้งานอินเตอร์รัพท์ จากรูปที่ 2.33 จะเห็นได้ว่ามีพื้นที่ของสแต็ก 8 ระดับ และหน่วยความจำแบ่งออกเป็น 4 page (8 kwords) ซึ่งพื้นที่ในส่วนนี้มีไว้สำหรับเก็บข้อมูลคำสั่งทั้งหมดโดยโครงสร้างจะเป็นแบบแฟรช (Flash Memory) ทำให้ลบและเขียนใหม่ได้หลายครั้ง

#### 2) หน่วยความจำข้อมูล

หน่วยความจำข้อมูลจะแบ่งออกเป็นพื้นที่ของ RAM หน่วยความจำใช้งานทั่วไป ขนาด 360 ไบต์และพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Registers) ในการจัดวางพื้นที่จะแบ่งออกเป็น 4 แบนด์ ตั้งแต่แอดเดรส 00h ถึง 1FFh ดังรูปที่ 2.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3) หน่วยความจำข้อมูล EEPROM

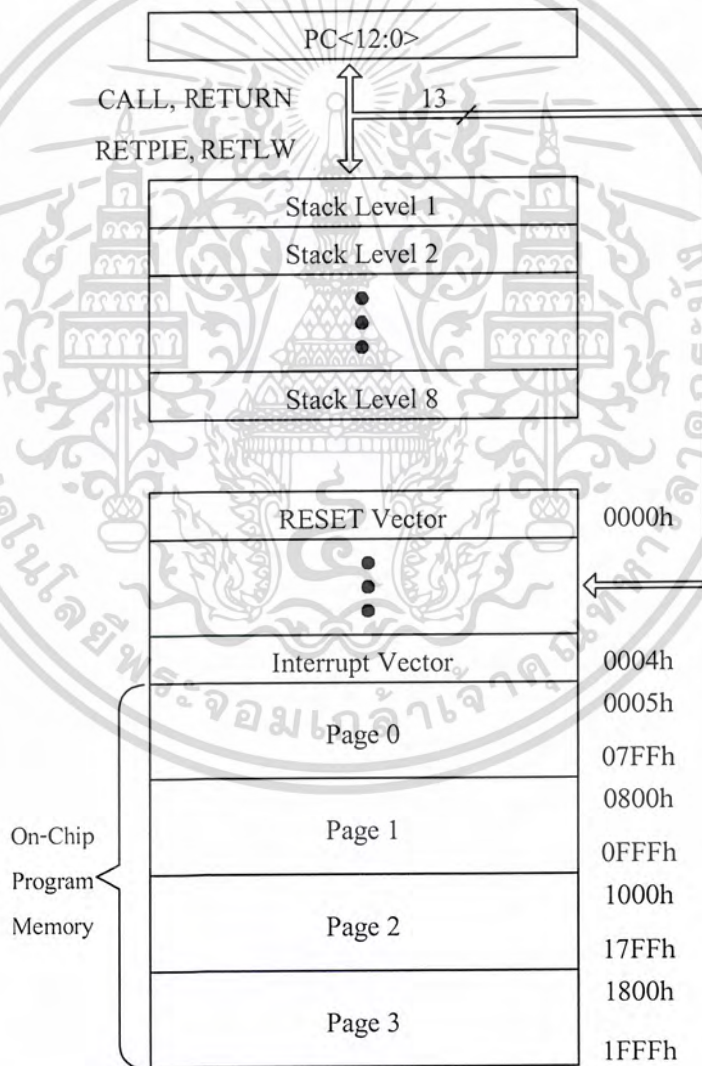
มีหน่วยความจำแบบ EEPROM จำนวน 256 ไบต์ โดยสามารถอ่านและเขียนในขณะที่ทำงานปกติได้แต่ต้องไม่มีการ Enable Code Protect Bit โดยการเข้าถึงนั้นจะต้องทำผ่านรีจิสเตอร์พิเศษ ซึ่งต้องใช้ถึง 4 ตัวดังนี้

EECON1 : ควบคุมการเข้าถึงหน่วยความจำ

EECON2 : จัดลำดับการเขียนข้อมูล

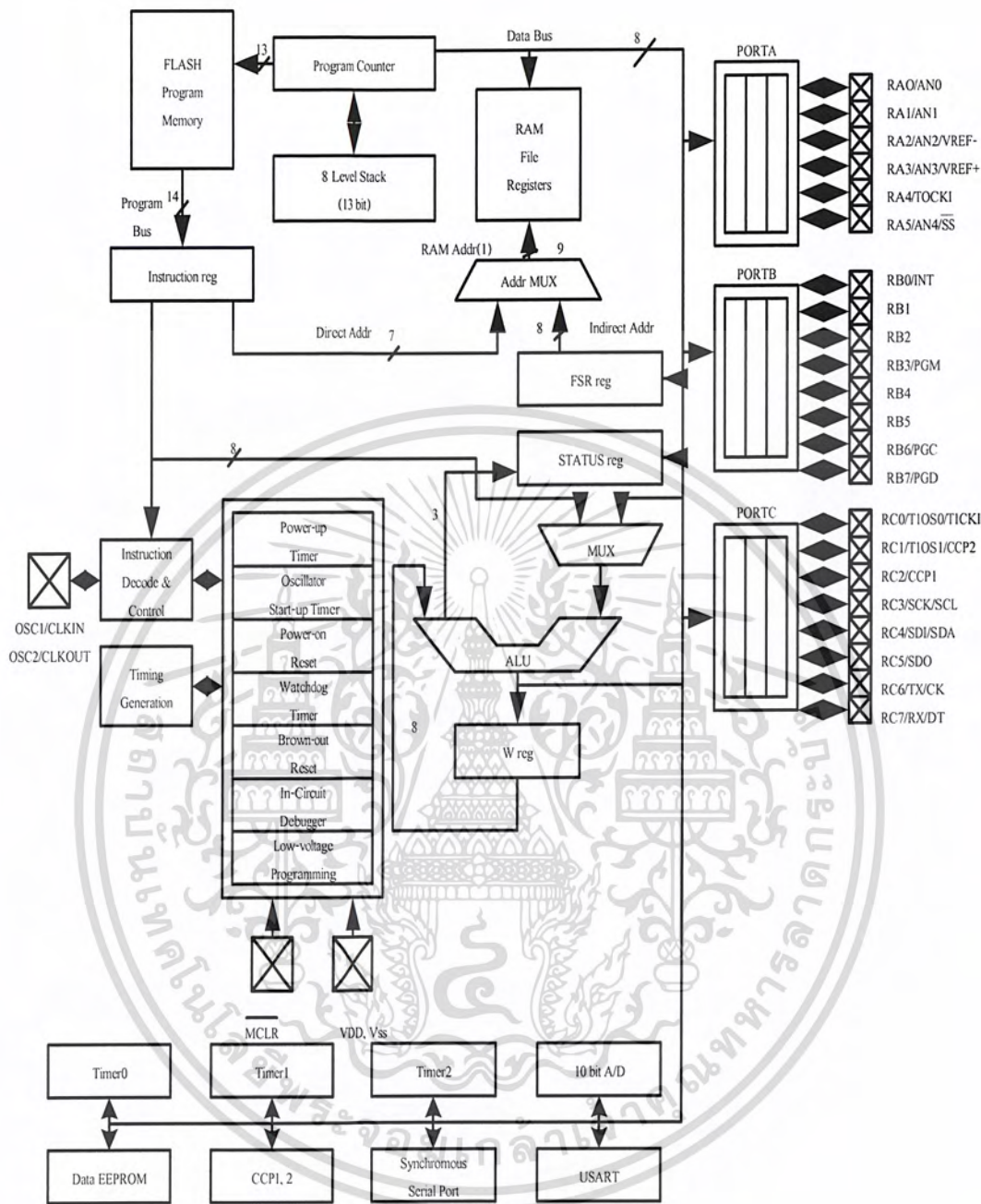
EEDATA: เป็นบัฟเฟอร์ที่ใช้เก็บข้อมูล 8 บิต สำหรับการอ่านและเขียน

EEADR : รีจิสเตอร์ที่เก็บแอดเดรส 00h – FFh (256 ไบต์)



รูปที่ 2.34 การจัดสรรพื้นที่หน่วยความจำของ PIC 16F877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876

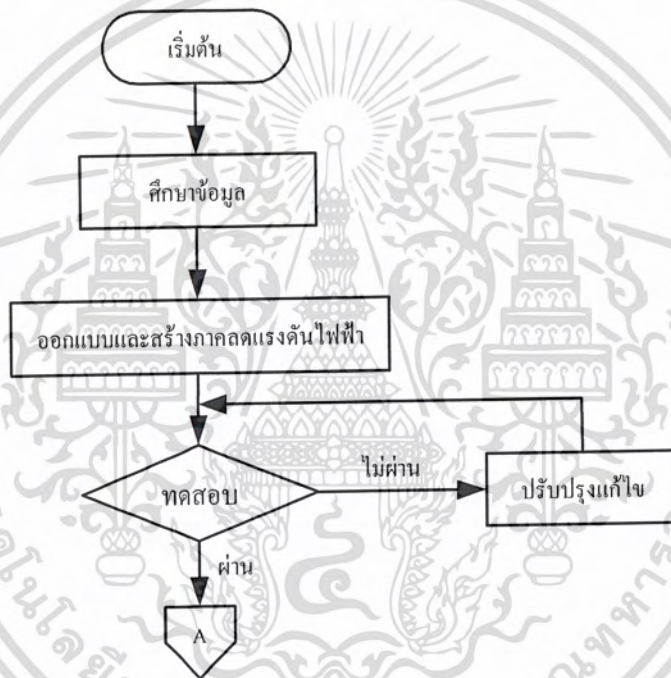
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

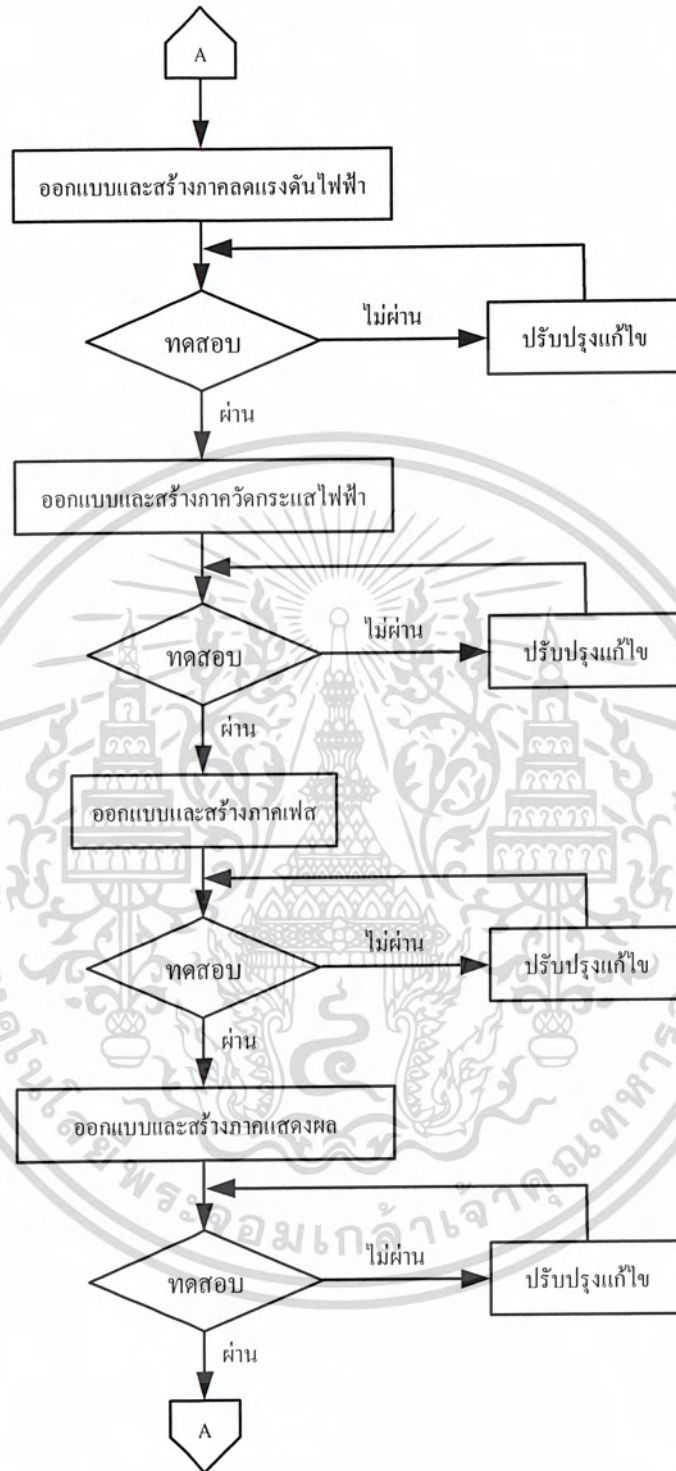
### การออกแบบ การสร้าง และการทำงาน

การวางแผนและการดำเนินงานจริงที่ผ่านมา สามารถที่จะแจกแจงการทำโครงการเรื่อง เครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ได้ดังนี้

#### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

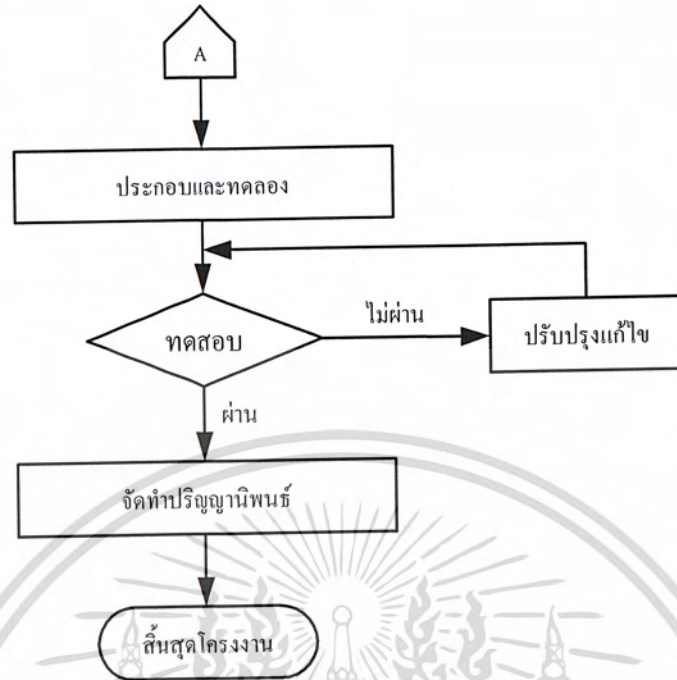


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานในการสร้างเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าสามเฟส



รูปที่ 3.1 (ต่อ) ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานในการสร้างเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

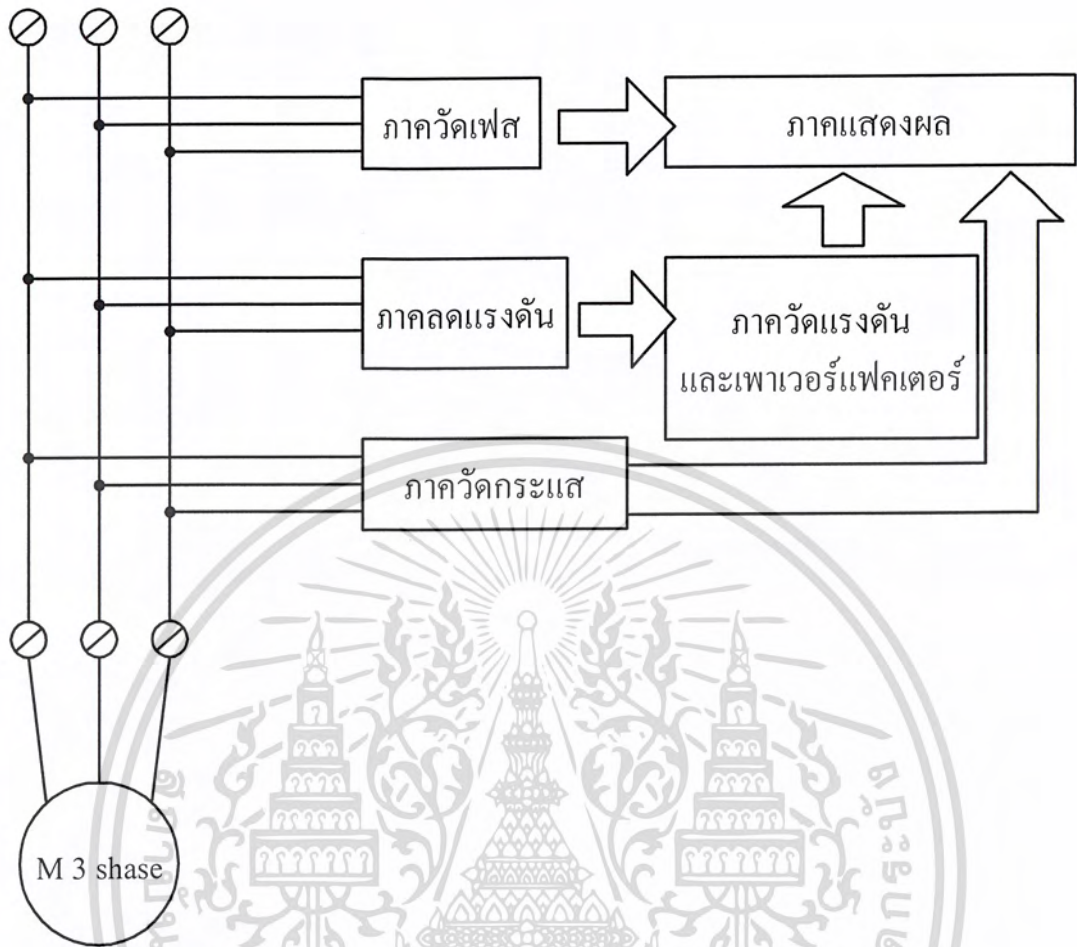


รูปที่ 3.1 (ต่อ) ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานในการสร้างเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าสามเฟส

## 3.2 แผนผังการทำงาน

ลำดับ ที่	งานที่ต้องปฏิบัติ	เดือน พฤษภาคม		เดือน มิถุนายน		เดือน กรกฎาคม		เดือน สิงหาคม		เดือน กันยายน	
		สัปดาห์ที่ 1-4		สัปดาห์ที่ 1-4		สัปดาห์ที่ 1-4		สัปดาห์ที่ 1-4		สัปดาห์ที่ 1-4	
1	ค้นคว้าศึกษา ข้อมูลและ รวบรวมข้อมูล	←→		←→							
2	ออกแบบวงจร ภาคลดแรงดัน	←→		←→							
3	ออกแบบวงจร ภาควัดแรงดัน			←→		←→					
4	ออกแบบวงจร ภาควัดกระแส			←→		←→					
5	ออกแบบวงจร ภาคเฟส					←→		←→			
6	ออกแบบวงจร ภาคแสดงผล					←→		←→			
7	สร้าง ส่วนประกอบแต่ละ ส่วน					←→		←→			
8	ทดสอบและ ปรับปรุงแก้ไข			←→		←→		←→		←→	
9	จัดทำปริญญา นิพนธ์	←→		←→		←→		←→		←→	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผนภาพการทำงานของเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

จากแผนภาพการทำงานของเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส สามารถที่จะแยกการทำงานออกเป็นภาคๆ ได้ดังนี้

ภาคลดแรงดันไฟฟ้า

ภาควัดกระแส

ภาคประมวลผล

ภาคแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การออกแบบ

**3.3.1** ภาคลดแรงดันไฟฟ้านี้แสดงอยู่ในรูปของวงจร Differenfier Amplifier ซึ่งสามารถวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 380 โวลต์ซึ่งเอาต์พุตแต่ละเฟสจะต่างเฟสกันทำมุม 120 องศาทางไฟฟ้า เนื่องจากต้องการแรงดันไฟฟ้าประมาณ 10 โวลต์ ซึ่งอินพุตรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 380 โวลต์เข้ามาต้องปรับอัตราขยายให้ได้  $\frac{10}{380} = 0.025$  เท่า จึงใช้วงจร Differenfier Amplifier

เป็นตัวกำหนดอัตราขยายดังรูป ที่ 3.3

จากสมการของวงจร Differenfier Amplifier ที่ใช้หาค่า  $V_o$  จะได้

$$V_o = \left( \frac{R_f}{R_a} \right) (V_1 - V_2)$$

โดยกำหนดให้

$$R_f = R_5 + R_6$$

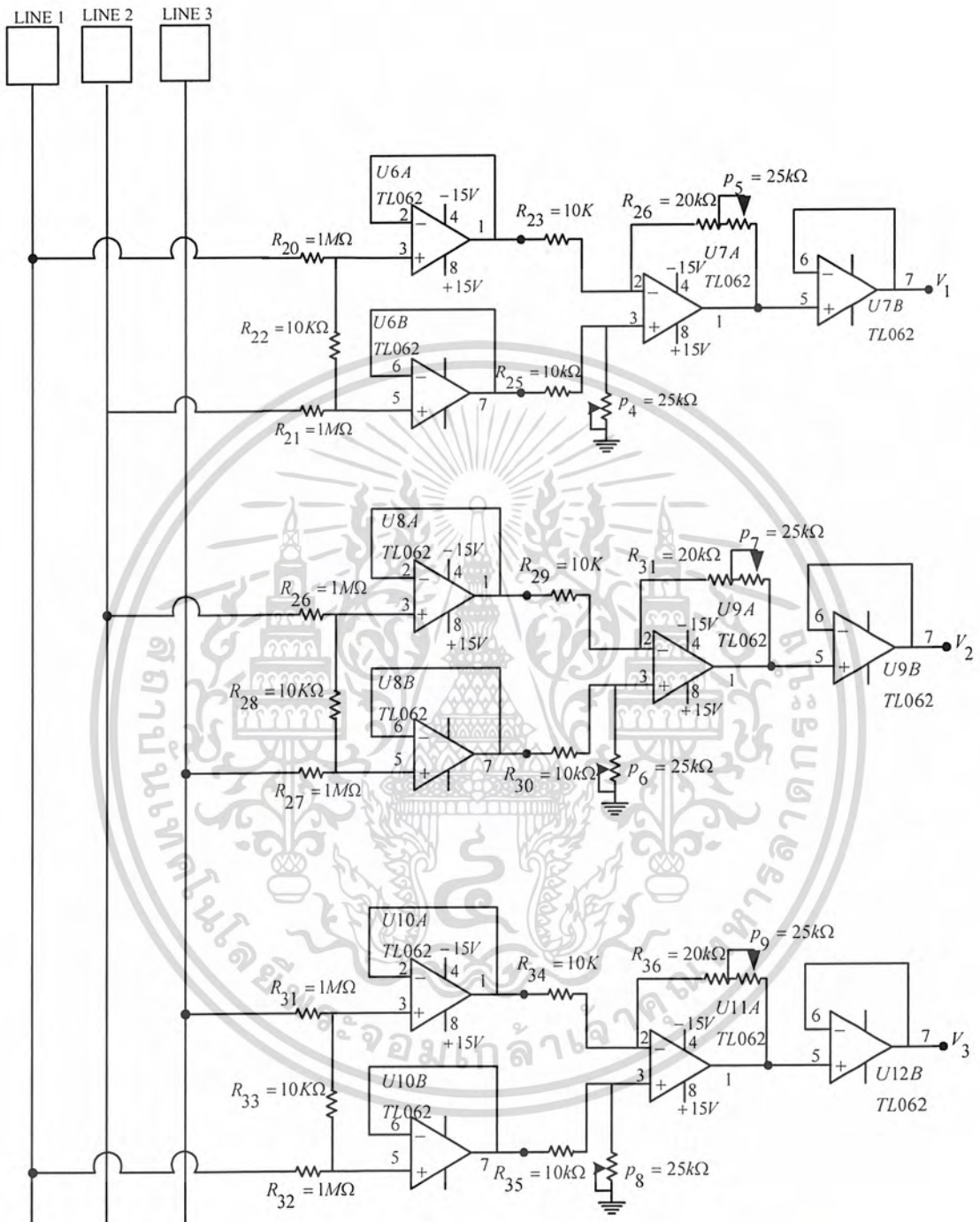
$$R_a = R_1 + R_2$$

จะได้

$$V_o = \left( \frac{25000}{1000000} \right) (V_1 - V_2)$$

$$V_o = (0.025)(V_1 - V_2)$$

ซึ่งสามารถปรับค่าให้มีความละเอียดได้อีกโดยการปรับค่าที่  $P_5$



รูปที่ 3.3 ภาคลดแรงดันไฟฟ้า

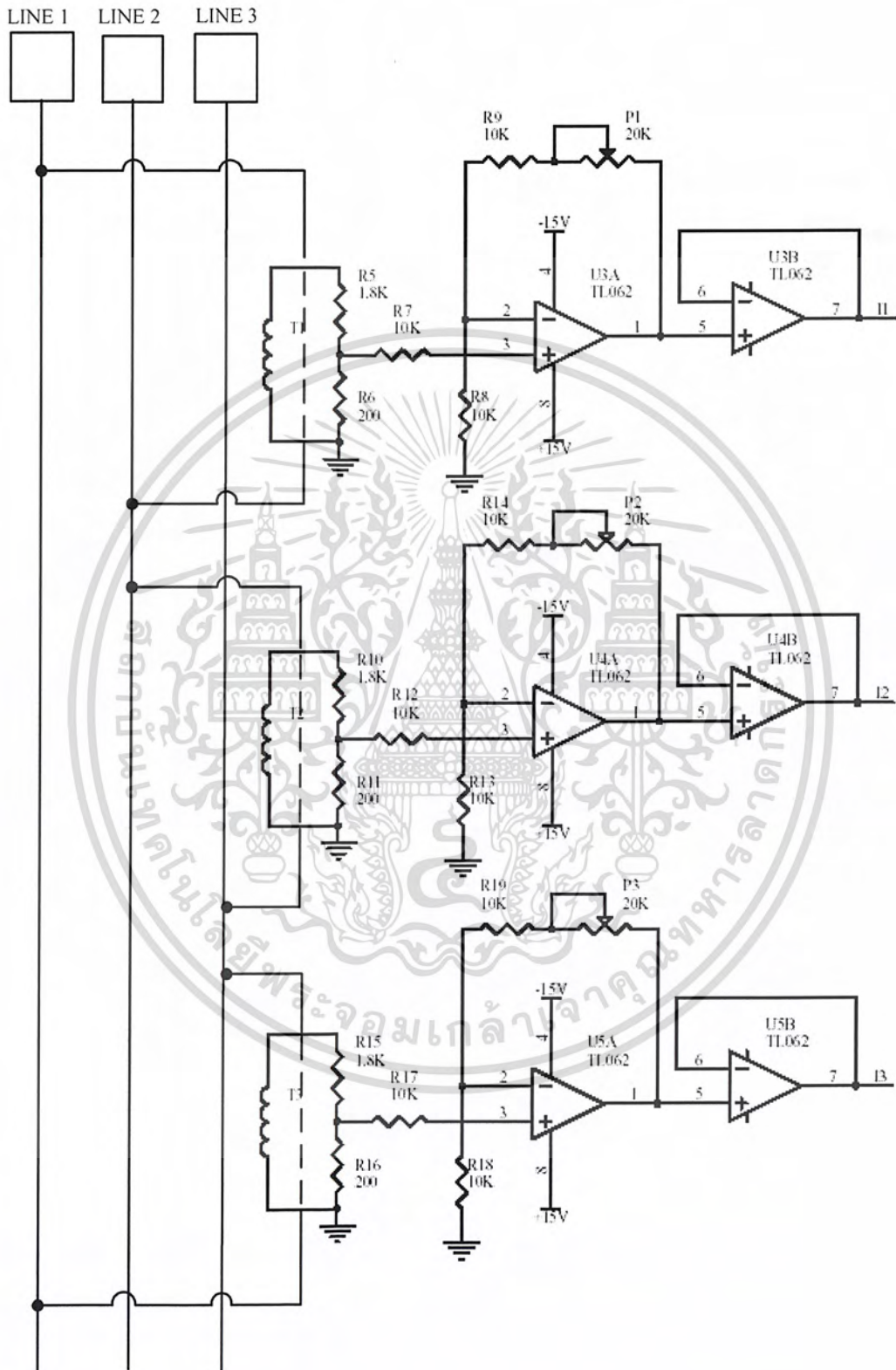
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 ภาควัดกระแส

ในการวัดกระแสนี้จะใช้ current transformer (CT) เป็นตัวตรวจจับกระแสโดยเอาต์พุตของ CT จะเป็นสัญญาณแรงดันซึ่งมีขนาดแปรผันกับค่าของกระแสไฟฟ้า นั่นคือ เมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แรงดันเอาต์พุตของ CT ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อกระแสไฟฟ้าลดลงแรงดันเอาต์พุตที่ได้ก็จะมีค่าลดลงยกตัวอย่างเช่น เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้า 10 แอมแปร์ ให้กับ อินพุตของ CT แรงดันที่เอาต์พุตก็จะได้ 10 โวลต์ หรือถ้ามอเตอร์ใช้กระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์แรงดันเอาต์พุตจะมีค่า 5 โวลต์

เนื่องจากสเป็กของ CT เมื่อได้รับกระแสเข้ามา 15 แอมแปร์ แรงดันจะออกมาเพียงแค่ 5 V เพราะฉะนั้นจึงต้องผ่านวงจรขยายไม่กลับเฟส เพื่อทำการขยายเอาต์พุต  $\frac{15}{5}$  เท่า หรือประมาณ 3 เท่าดังรูปที่ 3.4



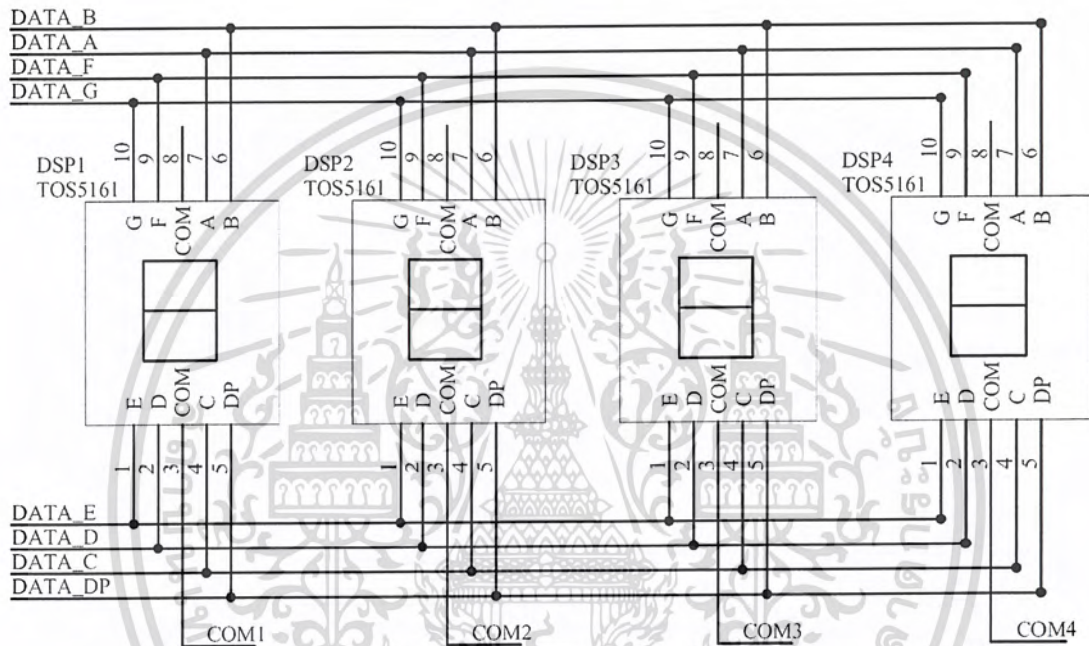


รูปที่ 3.4 ภาควัดกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

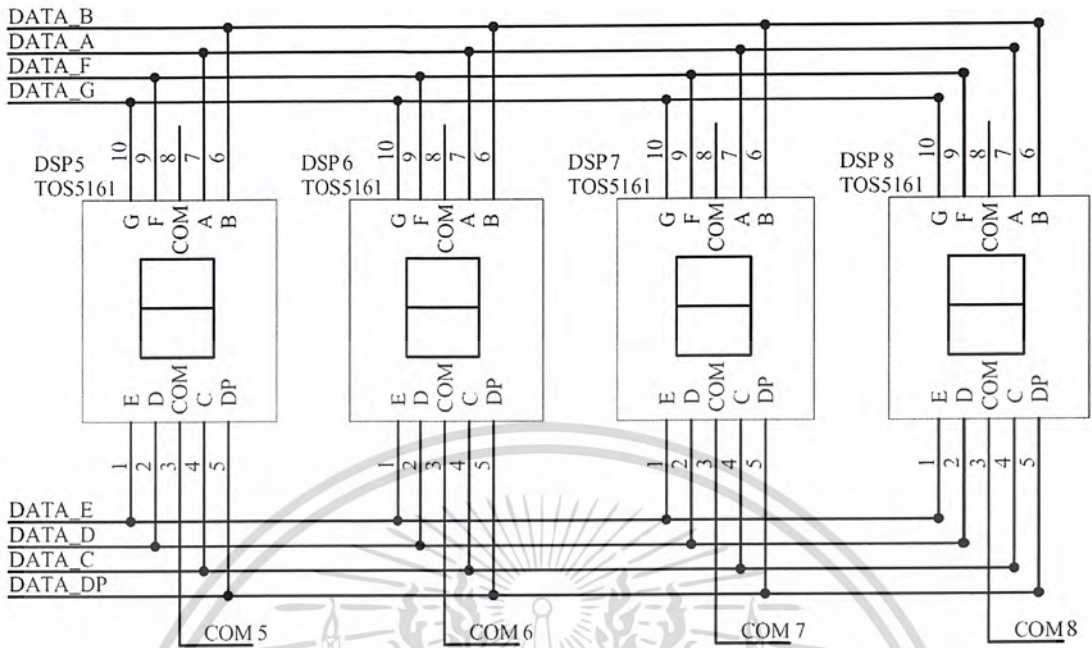
### 3.3.3 ภาคแสดงผลและประมวลผล

ประกอบด้วย 7-Segment จำนวน 4 หลัก 3 ชุดแสดงค่าแรงดัน กระแส ค่าเพาเวอร์เฟคเตอร์ ใช้ PIC 16F877 ทำหน้าที่ประมวลที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลส่งค่ามาประมวลผลใน PIC 16F877 ข้อมูลมายังภาคแสดงผล ใช้วงจรเลือกสัญญาณเป็นตัวเลือกตำแหน่งในการแสดงผลของข้อที่ทำการประมวลผลแล้ว

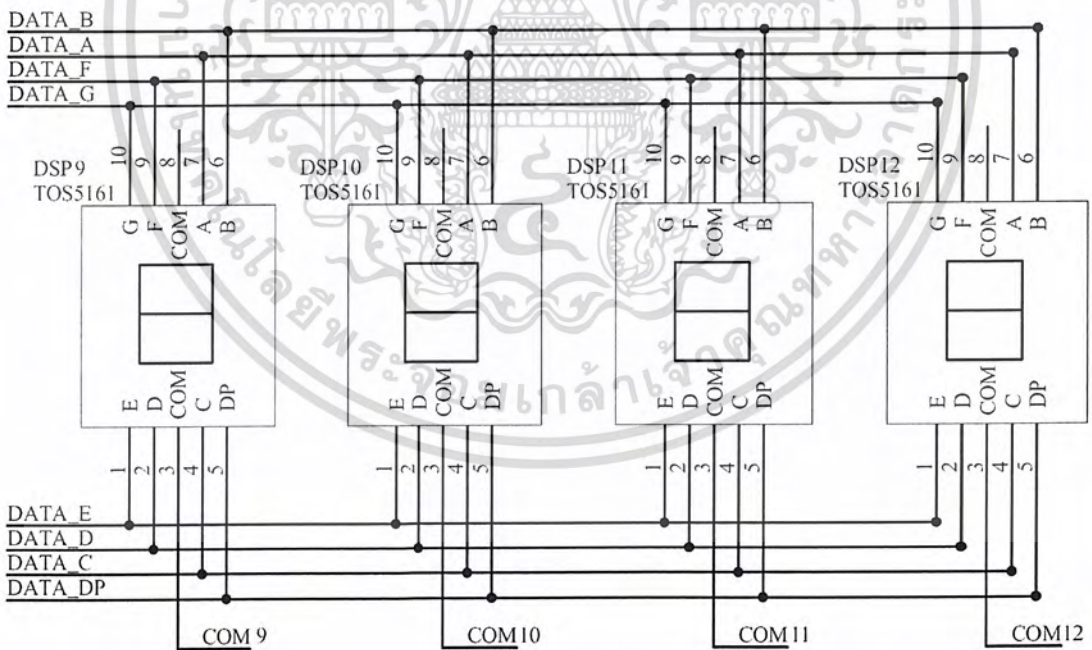


รูปที่ 3.5 ภาคแสดงผลค่าแรงดันบนจอแสดงผลแบบเจ็ดส่วน 4 หลักทศนิยม 1 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

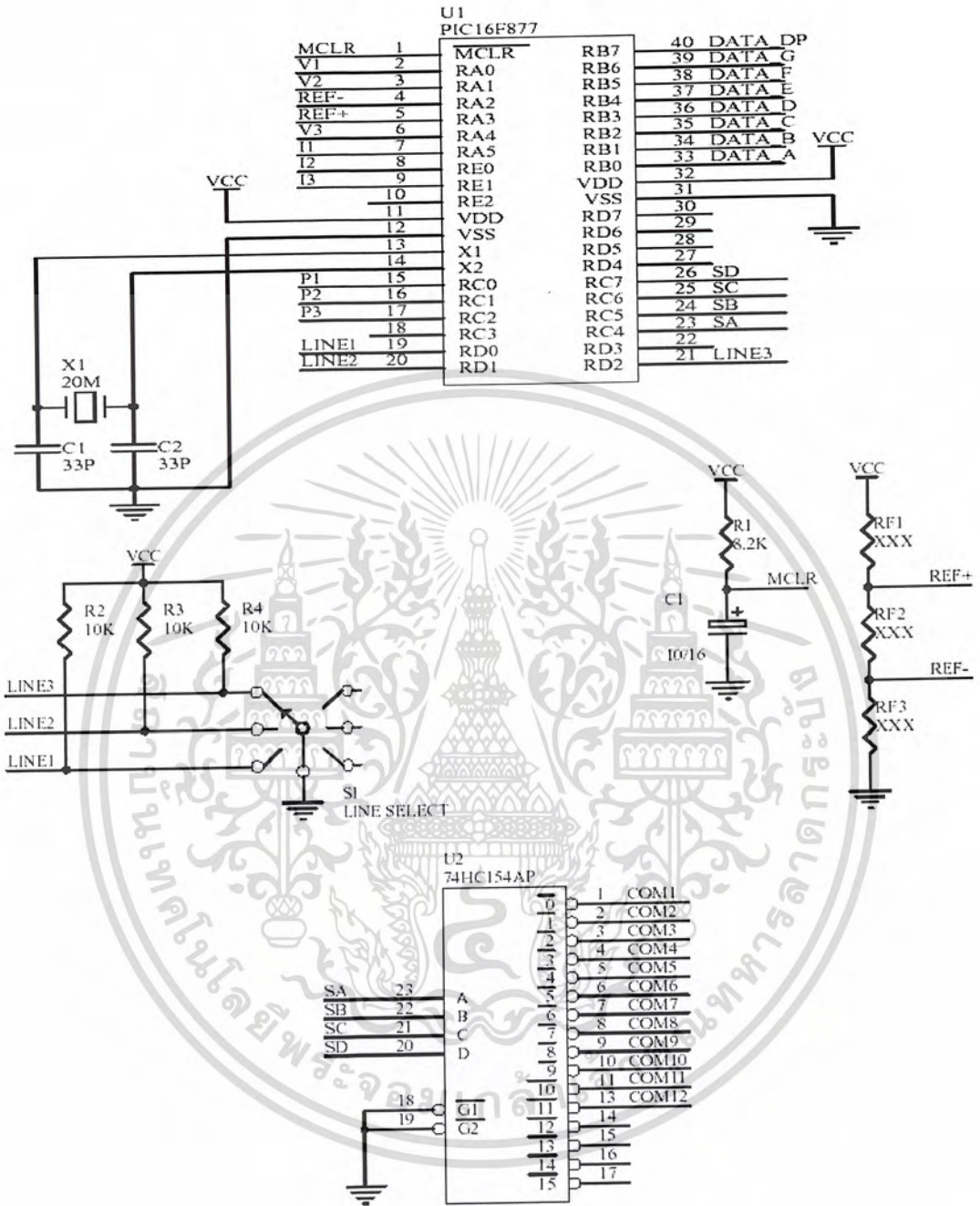


รูปที่ 3.6 ภาคแสดงผลค่ากระแสบนจอแสดงผลแบบเจ็ดส่วน 4 หลักทศนิยม 2 ตำแหน่ง



รูปที่ 3.7 ภาคแสดงผลค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์บนจอแสดงผลแบบเจ็ดส่วน 4 หลักทศนิยม 2 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ภาพประมวลผลโดย PIC 16F877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

จากการสร้างเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ก็เพื่อที่จะให้ทราบถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส เครื่องแสดงค่าแรงดัน กระแส ค่าเพาเวอร์เฟคเตอร์และเซ็คเฟสนี้ จะแสดงค่าโดยแสดงผลที่จอแสดงผลแบบเจ็ดส่วน ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบเครื่องและการทำงานของเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

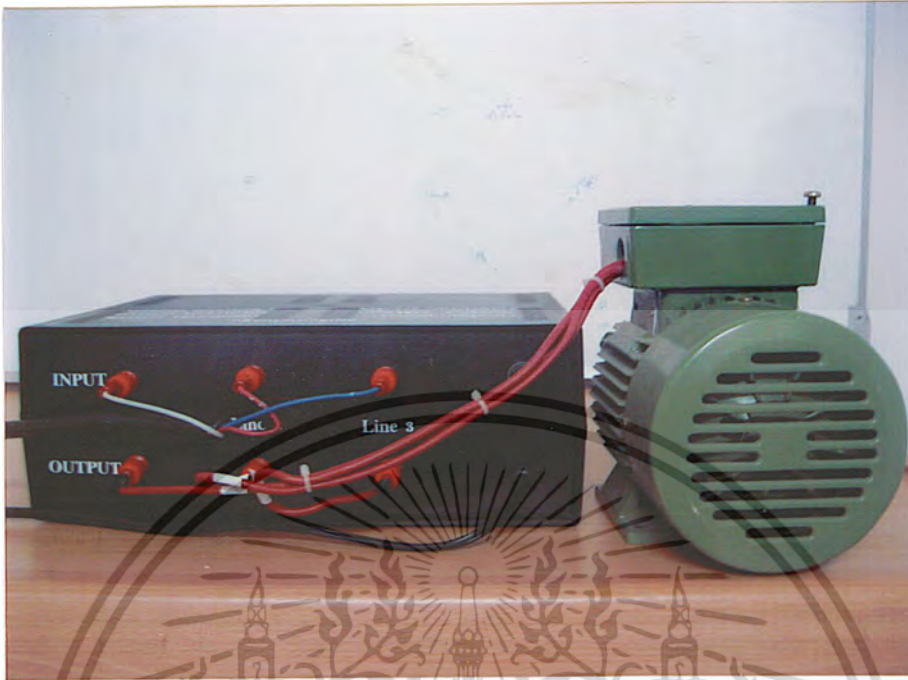
#### 4.1 ผลการทดลอง

ในการทดลองใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด  $\frac{1}{4}$  แรงม้า ในการทดสอบการวัดค่าแรงดัน กระแส และการเซ็คเฟสเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการวัดด้วยดิจิตอลมิเตอร์ผลการทดลองที่ทดลองได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 การทดลองวัดแรงดันด้วยเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การต่อสายวัดของเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส กับเครื่องวัดแรงดันและวัดกระแส

โหลดที่จ่ายแรงดัน	ค่าที่วัดได้จากเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส		ค่าที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์	
	แรงดัน (V)	กระแส (A)	แรงดัน (V)	กระแส (A)
หลอดไฟ 100 w	224	0.47	220	0.44
เตารีด	221	0.91	219	0.89
พัดลม เบอร์ 1	222	0.18	221	0.15
พัดลมเบอร์ 2	223	0.19	220	0.18
พัดลมเบอร์ 3	223	0.21	220	0.19
มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	383	1.67	380	1.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5

## บทสรุป

### 5.1 สรุป

โครงการนี้ได้ศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส โดยศึกษาค่าของแรงดัน กระแส เพาเวอร์แฟคเตอร์ และเฟสที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ดังนั้นจึงได้สร้างเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขึ้นซึ่งประกอบด้วย วงจรภาคลดแรงดัน วงจรภาควัดกระแส วงจรภาคจ่ายไฟ และวงจรภาคแสดงผล เพื่อใช้วัดค่า แรงดัน กระแส เพาเวอร์แฟคเตอร์ และตรวจสอบเฟส เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส เหมาะสำหรับนักศึกษา และผู้ที่สนใจเกี่ยวกับเรื่องของการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนและการเลือกใช้อุปกรณ์เหนี่ยวนำสามเฟส เพื่อให้เกิดความมั่นใจมากขึ้น

### 5.2 ปัญหาและการแก้ไข

จากการดำเนินการสร้างและทดสอบโครงการเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสพบที่เกิดปัญหาหลายประการสามารถสรุปได้ดังนี้

1. **ปัญหาการออกแบบวงจร** เป็นปัญหาใหญ่เพราะในการออกแบบ ต้องการออกแบบเครื่องมือวัดพารามิเตอร์ของ มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสให้มีความถูกต้องที่สุด

ปัญหาที่เกิดขึ้น คือ การออกแบบวงจรภาควัดกระแส ในการออกแบบภาควัดกระแสได้นำคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ Hall effect Sensor มาใช้ แต่เนื่องจาก Hall effect Sensor มีราคาแพงและหาซื้อได้ยากมาก เลยทำให้ชิ้นงานล่าช้า ทำให้การออกแบบวงจรแสดงผลไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากต้องแสดงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ซึ่งต้องการค่าเอาต์พุตที่ได้จากการวัดกระแสเข้ามาประมวลผลด้วย

**แนวทางการแก้ไข** คือ ได้เปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบกระแสจากที่ออกแบบไว้เดิมคือ Hall effect Sensor เปลี่ยนมาเป็น CT หรือ Current Tranformer ซึ่งมีราคาถูกกว่า และหาซื้อได้ง่ายกว่า คุณสมบัติทางไฟฟ้าในการเช็คกระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์ มีค่าความถูกต้องใกล้เคียงกับ Hall effect Sensor

ในภาค Display หรือภาคแสดงผลนั้นในตอนแรกได้ออกแบบวงจรให้ใช้ Controller ตระกูล 51 คือ MCS-51 มาใช้ในการประมวลผลและใช้วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงสัญญาณที่ได้มาให้เป็นดิจิทัลเพื่อใช้ในการประมวลของ MCS-51 แต่จากการศึกษาพบว่า MCS-51 มี Port ให้ใช้ในการใช้งานน้อยและไม่มีอุปกรณ์ที่ช่วยในการคำนวณค่าแรงดัน กระแส และ เพาเวอร์แฟคเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับ Controller ตระกูล PIC ในการต่อการใช้งาน PIC ไม่จำเป็นต้องต่อวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลจากภายนอกเนื่องจากภายในของ PIC เบอร์ 16877 จะมีวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลอยู่ภายในและยังมีคำสั่งในการใช้งานน้อยกว่า MCS-51 จึงเลยเปลี่ยนมา PIC เบอร์ 16877 แทนตัว Controller ตระกูล MCS-51 เบอร์ 89C51

### 5.3 แนวทางการพัฒนา

1. ในการวัดนั้นค่าที่ได้จะแสดงผลด้วยส่วนแสดงผลแบบเจ็ดส่วนทำให้เกิดความยุ่งยากในการควบคุมการแสดงผล จึงควรเปลี่ยนมาใช้เป็นแอลซีดี ซึ่งมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการแสดงผลน้อยกว่า วงจรไม่ยุ่งยาก

2. ชุดทดลองนี้ออกแบบให้เหมาะสมกับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ซึ่งมีขนาดไม่ใหญ่มาก นักควรที่จะพัฒนาให้สามารถวัดค่า แรงดัน กระแส และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่กว่าเพื่อให้สามารถใช้งานได้มากขึ้น

## บรรณานุกรม

อนันต์ เวทย์วัฒน์. “การเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าและทางกล.” กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.2540

ปัญญาคุณ รัตนเสถียร“AC MOTOR”กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.ม.ป.ป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

เครื่องต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 เครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 ด้านข้างของเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

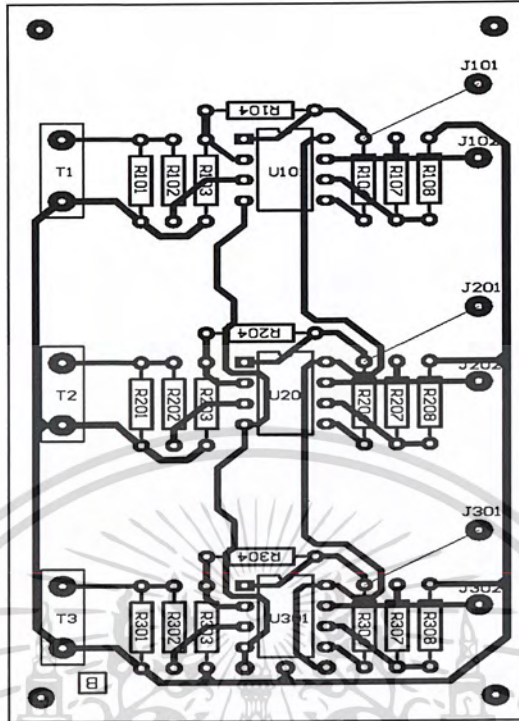


รูปที่ ก.3 ด้านหลังของเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

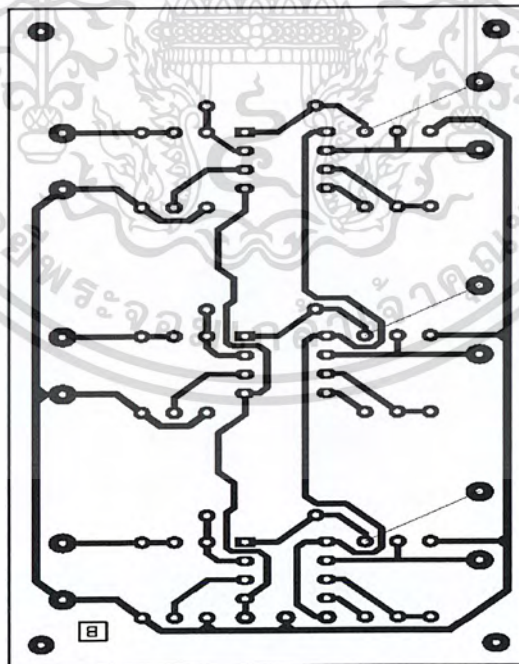
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

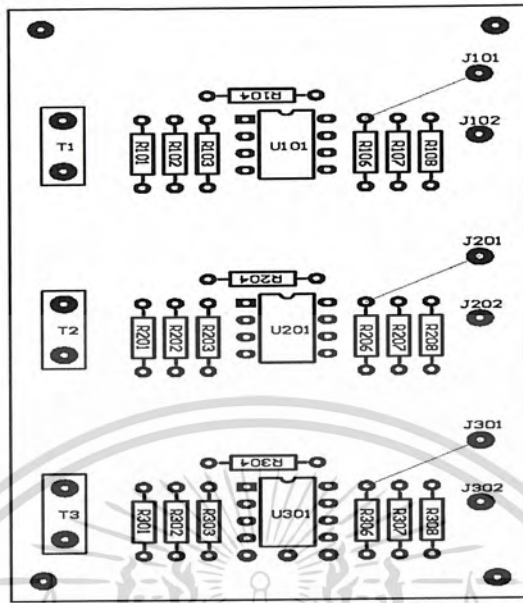


รูปที่ ข.1 ตำแหน่งการวางขงาภาคตัวกระแส

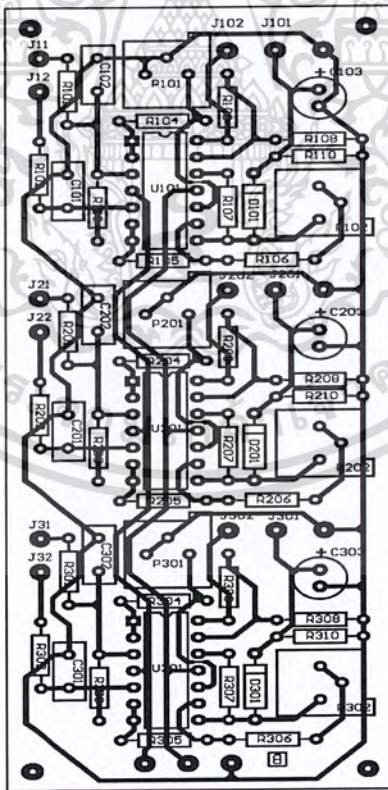


รูปที่ ข.2 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคตัวกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

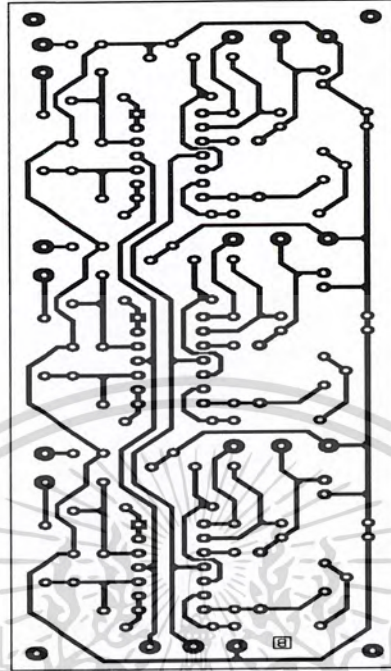


รูปที่ ข.3 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์ภาควัดกระแส

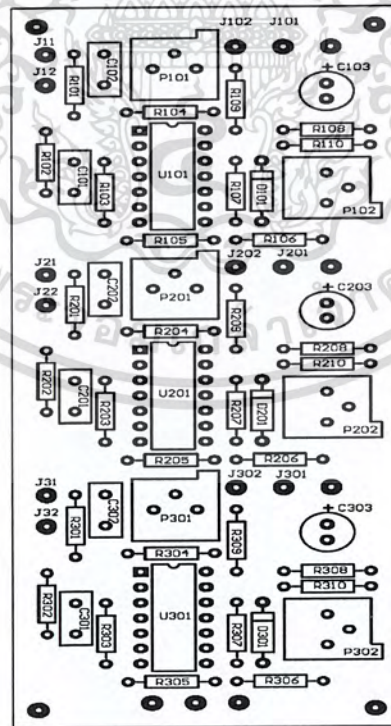


รูปที่ ข.4 ตำแหน่งการวางขาภาควัดแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

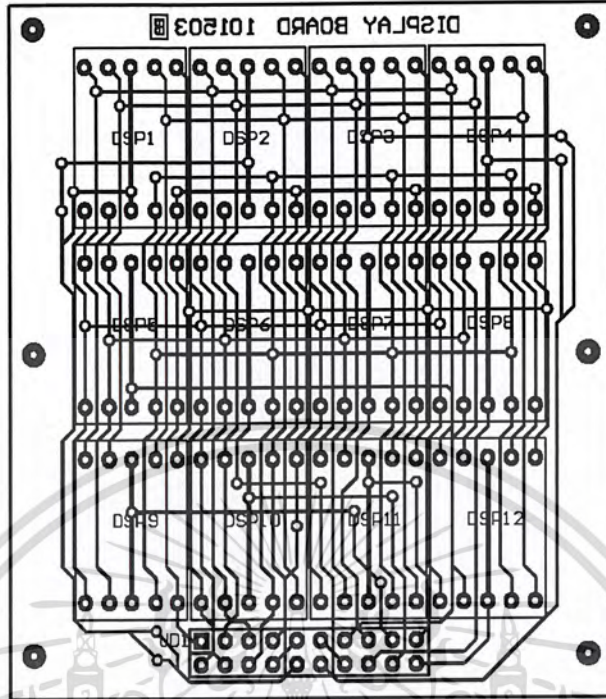


รูปที่ ข.5 แผ่นวงจรพิมพ์ภาควัตต์แรงดัน

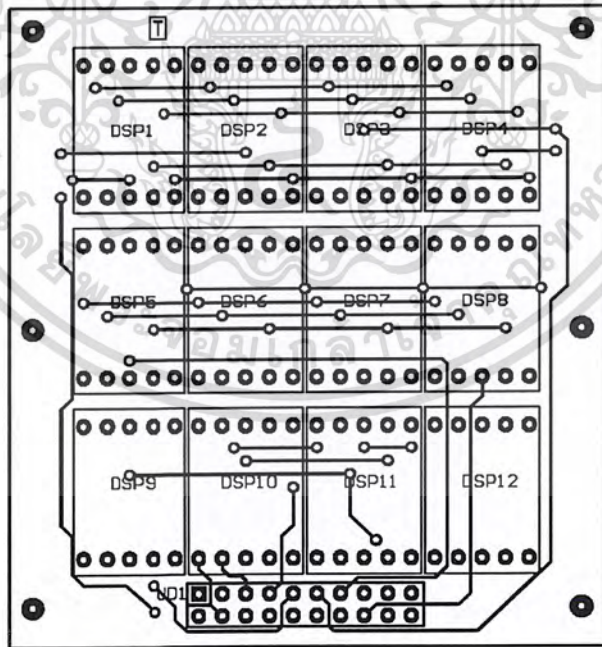


รูปที่ ข.6 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์ภาควัตต์แรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

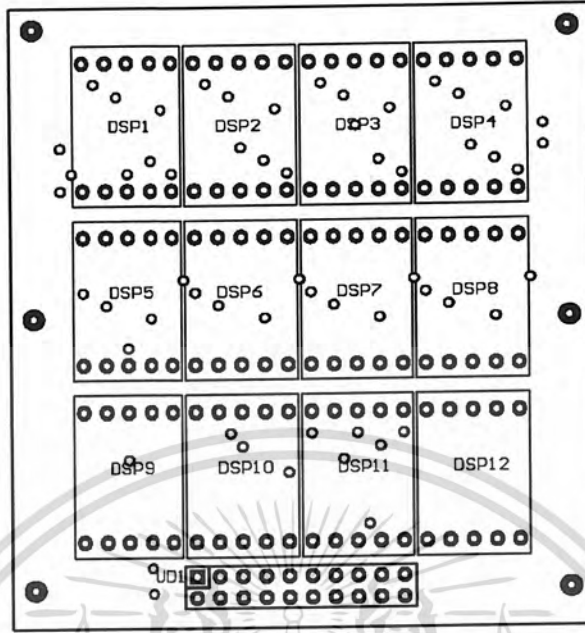


รูปที่ ข.7 ตำแหน่งการวางขาภาคแสดงผล

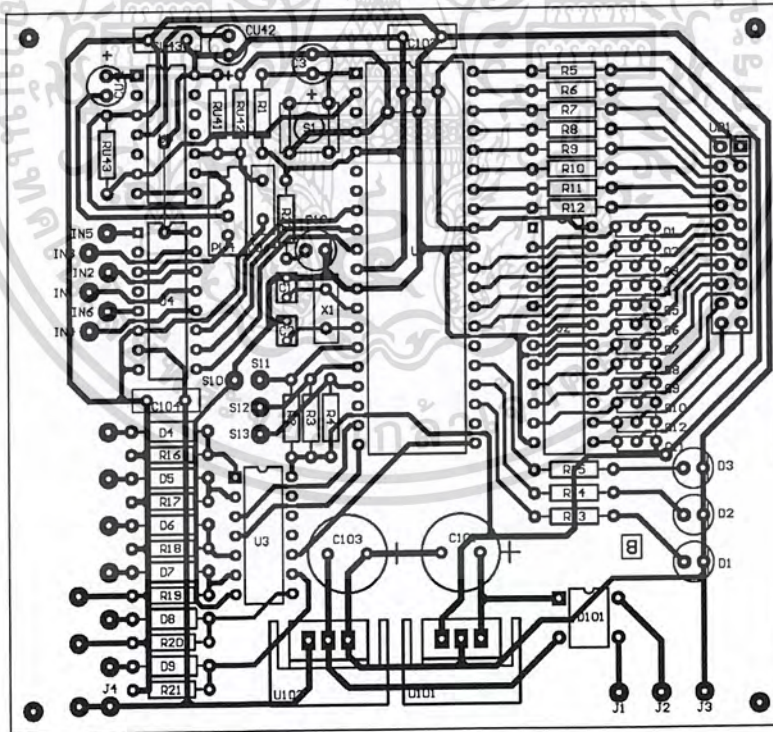


รูปที่ ข.8 ตำแหน่งการวางขาและการลากสายในส่วนภาคแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

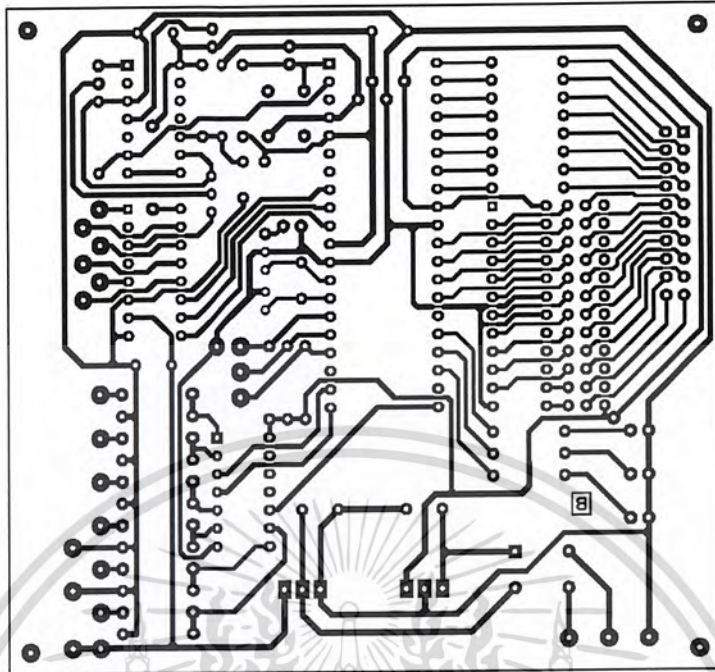


รูปที่ ข.9 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคแสดงผล

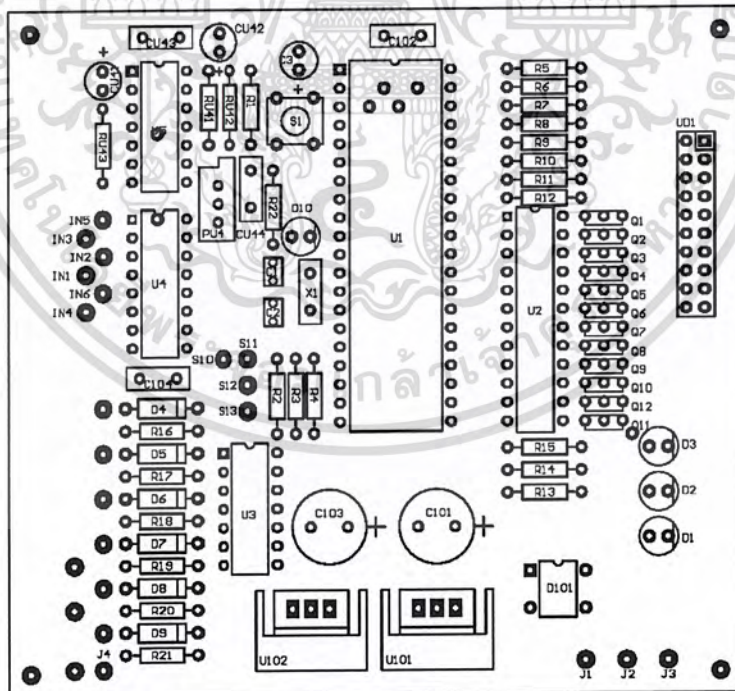


รูปที่ ข.10 ตำแหน่งการวางขาและการลากสายในส่วนภาคประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.11 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคประมวลผล



รูปที่ ข.12 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์แผ่นวงจรพิมพ์ภาคประมวลผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 รายการอุปกรณ์ของวงจรลดแรงดัน

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b> U6A-6B , U7A-7B , U8A-8B , U9A-9B , U10A-10B,U11A- 11B	TL 062	12 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b> R20,R21,R26,R27,R32,R33 R22,R23,R25,R28,R29,R30 R34,R35 P4-P9	$1\text{ M } \Omega \text{ } \frac{1}{4}\text{ W}$ $10\text{ k } \Omega$ $25\text{ k } \Omega$	6 ตัว 9 ตัว 6 ตัว

ตารางที่ ค.2 รายการอุปกรณ์ของวงจรวัดกระแส

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
<b>วงจรรวม</b> U3A-U5A,U3B-U5B	TL 062	6 ตัว
<b>ตัวความต้านทาน</b> R6,R11,R16 R7,R8,R10 R7-R9,R12-R14,R17-R19 P1-P3	$200\text{ } \Omega$ $1.8\text{ k } \Omega$ $10\text{ k } \Omega$ $20\text{ k } \Omega$	3 ตัว 3 ตัว 9 ตัว 3 ตัว
<b>อุปกรณ์อื่น</b> T1-T3	Current tranformer	3 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 รายการอุปกรณ์ของวงจรแสดงผล

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
อุปกรณ์อื่น DSP1-DSP12	7-segment TOS 5161	12 ตัว

ตารางที่ ค.4 รายการอุปกรณ์ของวงจรคอนโทรล

ชื่ออุปกรณ์	รายละเอียด	จำนวน
วงจรรวม		
U1	PIC 16F877	1 ตัว
U2	74 HC 154 AP	1 ตัว
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ		
X1	CRYTAL 12 MHz	1 ตัว
ตัวความต้านทาน		
R2-R4	10 k $\Omega$	3 ตัว
R1	8.2 k $\Omega$	1 ตัว
R7-R9,R12-R14,R17-R19	10 k $\Omega$	9 ตัว
P1-P3	20 k $\Omega$	3 ตัว
ตัวเก็บประจุ		
C1-C2	33 pF	2 ตัว
C3	10 uF/16V	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรมภาคประมวลผลแสดงผลบนส่วนแสดงผลเจ็ดส่วน

```

LIST P=16F877,W=-302
INCLUDE "P16F877.INC"
__CONFIG 0x3D32 ; XTAL 20 MHZ. HS GAIN

CBLOCK 0x20 ; RAM in bank0
COUNT,TEMP,H_BYTE,L_BYTE,R0,R1,R2,ACQ_VAR

XX,YY,DG1,DG2,DG3,DG4,DG5,DG6,DG7,DG8,DG9,DG10,DG11,DG12
ENDC

ADFM EQU 7
GO_DONE EQU 2
ADON EQU 0
;*****
ORG 0x0000
START:
GOTO INIT

ORG 0x0010
INIT:
BANKSEL TRISB ; DIGIT CONTROL
CLRF TRISB&7FH
BANKSEL PORTB
CLRF PORTB

BANKSEL TRISC ; LOGIC OUTPUT
MOVLW B'00001111'
MOVWF TRISC&7FH
BANKSEL PORTC
CLRF PORTC ; CLEAR PORT

BANKSEL TRISD ; DATA OUTPUT
CLRF TRISD&7FH
BANKSEL PORTD
CLRF PORTD

SET_ADCON1:
MOVLW B'10001110' ; Right justified,
MOVWF ADCON1 ; 1 channels, 2 references
SET_ADCON0:
MOVLW B'10000000' ; ADC clock = Fosc/32 @20 MHz.,
MOVWF ADCON0 ; Channel0 (RA0)

GOTO MAIN
;-----
m1 = high $
TABLE:
ANDLW B'00001111'
ADDWF PCL,1 ; Number 0-9 ;|XGFE|DCBA|
RETLW B'11000000' ;0 ABCDEF
RETLW B'11111001' ;1 BC
RETLW B'10100100' ;2 ABDEG
RETLW B'10110000' ;3 ABCDG
RETLW B'10011001' ;4 BCFG

```

```

RETLW B'10010010' ;5 ACDFG
RETLW B'10000010' ;6 ACDEFG
RETLW B'11111000' ;7 ABC
RETLW B'10000000' ;8 ABCDEFG
RETLW B'10010000' ;9 ABCDFG
m2 = high $
if (m1 != m2)
    error "Table out of range"
#endif

SCAN:
CALL DISPLAY
CALL DISPLAY
CALL DISPLAY
CALL DISPLAY
CALL DISPLAY
CALL DISPLAY
CALL DISPLAY
CALL DISPLAY
CALL DISPLAY

RETURN
;-----
MAIN:
BCF PORTC, 3 ;TEST PHASE1
BCF PORTD, 3
BCF PORTC, 7
CALL DELAY
CALL READ_VOLT

BTFSC R1, 5
GOTO MAIN11
BTFSC R1, 4
GOTO MAIN11
BCF PORTC, 4
GOTO MAIN1
MAIN11:
BSF PORTC, 4
MAIN1:
BSF PORTC, 3 ;TEST PHASE2
BCF PORTD, 3
BCF PORTC, 7
CALL DELAY
CALL READ_VOLT

BTFSC R1, 5
GOTO MAIN22
BTFSC R1, 4
GOTO MAIN22
BCF PORTC, 4
GOTO MAIN2
MAIN22:
BSF PORTC, 4
MAIN2:
BCF PORTC, 3 ;TEST PHASE3
BSF PORTD, 3
BCF PORTC, 7
CALL DELAY
CALL READ_VOLT

```

```

BTFSC R1,5
GOTO MAIN33 ;NEXT
BTFSC R1,4
GOTO MAIN33
BCF PORTC,4
GOTO MAIN3

MAIN33:
BSF PORTC,4

MAIN3:
MOVLW B'11111111'
MOVWF DG2
MOVWF DG3
MOVWF DG4
MOVWF DG6
MOVWF DG7
MOVWF DG8
MOVWF DG10
MOVWF DG11
MOVWF DG12

BCF PORTC,4
BCF PORTC,5
BCF PORTC,6 ; OFF ALL INDICATOR

BTFSS PORTC,0
GOTO SEL1
BTFSS PORTC,1
GOTO SEL2
BTFSS PORTC,2
GOTO SEL3

MOVLW B'00000000'
MOVWF PORTD

GOTO MAIN
;-----
SEL1:
BCF PORTC,3
BCF PORTD,3
BCF PORTC,7
CALL SCAN
CALL READ_VOLT
BSF PORTC,3
BSF PORTD,3
BCF PORTC,7
CALL SCAN
CALL READ_CURR
CALL SCAN
CALL READ_PHASE
CALL SCAN
GOTO MAIN

SEL2:
BSF PORTC,3
BCF PORTD,3

```

```

BCF          PORTC, 7
CALL  SCAN
CALL  READ_VOLT
BCF          PORTC, 3
BCF          PORTD, 3
BSF          PORTC, 7
CALL  SCAN
CALL  READ_CURR
CALL  SCAN
CALL  READ_PHASE
CALL  SCAN
GOTO  MAIN

SEL3:
BCF          PORTC, 3
BSF          PORTD, 3
BCF          PORTC, 7
CALL  SCAN
CALL  READ_VOLT
BSF          PORTC, 3
BCF          PORTD, 3
BSF          PORTC, 7
CALL  SCAN
CALL  READ_CURR
CALL  SCAN
CALL  READ_PHASE
CALL  SCAN
GOTO  MAIN

;-----
READ_VOLT:
CALL  AD_CONVERT          ;AFTER RUN THIS LINE
CALL  B16TOBCD            ; L_BYTE IS LSB
SWAPF R1,W
ANDLW 0x0F
CALL  TABLE
MOVWF DG1
MOVF  R1,W
ANDLW 0x0F
CALL  TABLE
MOVWF DG2
SWAPF R2,W
ANDLW 0x0F
CALL  TABLE
MOVWF DG3
MOVF  R2,W
ANDLW 0x0F
CALL  TABLE
MOVWF DG4
RETURN

READ_CURR:
CALL  AD_CONVERT1        ;AFTER RUN THIS LINE
CALL  B16TOBCD            ; L_BYTE IS LSB
SWAPF R1,W
ANDLW 0x0F
CALL  TABLE
MOVWF DG5

```

```

MOVWF R1,W
ANDLW 0x0F
CALL TABLE
MOVWF DG6
SWAPF R2,W
ANDLW 0x0F
CALL TABLE
MOVWF DG7
MOVWF R2,W
ANDLW 0x0F
CALL TABLE
MOVWF DG8
RETURN

READ_PHASE:
MOVLW B'01000000'
MOVWF DG9
MOVWF DG3,W
MOVWF DG10
MOVWF DG4,W
MOVWF DG11
MOVWF DG8,W
MOVWF DG12
RETURN

;-----
AD_CONVERT:
BSF ADCON0,ADON ; Turn-on ADC module
CALL ACQ_TIME ; Delay for acquisition time
BSF ADCON0,GO_DONE ; Start conversion

CON_WAIT:
BTFSC ADCON0,GO_DONE ; Wait for conversion complete
GOTO CON_WAIT
BCF ADCON0,ADON ; Disable ADC module

MOVWF ADRESH ; Read ADC result
CLRC
RRF ADRESH,W
MOVWF H_BYTE

BANKSEL ADRESL ; Select ADRESL <bank1>
MOVWF ADRESL
BANKSEL PORTB ; Select PORTB <bank0>
BTFSC STATUS,C
GOTO AD_C1
MOVWF L_BYTE ; Show lower 8-bit on port B
RRF L_BYTE,F
MOVLW B'01111111'
ANDWF L_BYTE,F
RETURN

AD_CONVERT1:
BSF ADCON0,ADON ; Turn-on ADC module
CALL ACQ_TIME ; Delay for acquisition time
BSF ADCON0,GO_DONE ; Start conversion

```

```

CON_WAIT1:
    BTFSC ADCON0,GO_DONE           ; Wait for conversion complete
    GOTO  CON_WAIT1
    BCF          ADCON0,ADON       ; Disable ADC module

    CLRC
    RRF          ADRESH,W
    MOVWF       H_BYTE

    BANKSEL     ADRESL             ; Select ADRESL <bank1>
    MOVFW ADRESL
    BANKSEL     PORTB             ; Select PORTB <bank0>
    BTFSC STATUS,C
    GOTO        AD_C1
    MOVWF L_BYTE                   ; Show lower 8-bit on port B
    RRF          L_BYTE,F
    MOVLW B'01111111'
    ANDWF L_BYTE,F

    CLRC
    RRF          H_BYTE,W
    MOVWF       H_BYTE

    BTFSC STATUS,C
    GOTO        AD_C2
    RRF          L_BYTE,F
    MOVLW B'01111111'
    ANDWF L_BYTE,F
    RETURN

AD_C1:
    RRF          L_BYTE,F
    MOVLW B'10000000'
    IORWF L_BYTE,F
    RETURN

AD_C2:
    RRF          L_BYTE,F
    IORLW B'10000000'
    MOVWF L_BYTE
    RETURN

ACQ_TIME:
    MOVLW .34                      ; Delay 20 microsecond
    MOVWF ACQ_VAR
    DECFSZ     ACQ_VAR,1
    GOTO      $-1
    GOTO      $+1
    RETURN

B16TOBCD:
    CLRC                               ; Clear the carry bit
    MOVLW     .10
    MOVWF     COUNT
    CLRF      R0
    CLRF      R1

```

```

        CLRF      R2
LOOP16:
        RLF      L_BYTE,1
        RLF      H_BYTE,1
        RLF      R2,1
        RLF      R1,1
        RLF      R0,1
        DECFSZ   COUNT,1
        GOTO     ADJDEC
        RETLW    0
ADJDEC:
        MOVLW    R2
        MOVWF    FSR
        CALL     ADJBCD
        MOVLW    R1
        MOVWF    FSR
        CALL     ADJBCD
        MOVLW    R0
        MOVWF    FSR
        CALL     ADJBCD
        GOTO     LOOP16
ADJBCD:
        MOVLW    3
        ADDWF   INDF,0
        MOVWF   TEMP
        BTFSC   TEMP,3          ; Test if result > 7
        MOVWF   INDF
        MOVLW   0x30
        ADDWF   INDF,0
        MOVWF   TEMP
        BTFSC   TEMP,7          ; Test if result > 7
        MOVWF   INDF          ; Save as millisecond
        RETLW   0
DISPLAY:
        BSF     PORTD,7
        BCF     PORTD,6
        BCF     PORTD,5
        BCF     PORTD,4
        MOVF    DG1,W
        MOVWF   PORTB
        CALL   DELAY

        BCF     PORTD,7
        BSF     PORTD,6
        BCF     PORTD,5
        BCF     PORTD,4
        MOVF    DG2,W
        MOVWF   PORTB
        CALL   DELAY

        BSF     PORTD,7
        BSF     PORTD,6
        BCF     PORTD,5
        BCF     PORTD,4
        MOVF    DG3,W
        MOVWF   PORTB
        CALL   DELAY

```

```

BCF      PORTD, 7
BCF      PORTD, 6
BSF      PORTD, 5
BCF      PORTD, 4
MOVF     DG4, W
MOVWF   PORTB
CALL    DELAY

```

```

BSF      PORTD, 7
BCF      PORTD, 6
BSF      PORTD, 5
BCF      PORTD, 4
MOVF     DG5, W
MOVWF   PORTB
CALL    DELAY

```

```

BCF      PORTD, 7
BSF      PORTD, 6
BSF      PORTD, 5
BCF      PORTD, 4
MOVF     DG6, W
ANDLW   B'01111111'
MOVWF   PORTB
CALL    DELAY

```

```

BSF      PORTD, 7
BSF      PORTD, 6
BSF      PORTD, 5
BCF      PORTD, 4
MOVF     DG7, W
MOVWF   PORTB
CALL    DELAY

```

```

BCF      PORTD, 7
BCF      PORTD, 6
BCF      PORTD, 5
BSF      PORTD, 4
MOVF     DG8, W
MOVWF   PORTB
CALL    DELAY

```

```

BSF      PORTD, 7
BCF      PORTD, 6
BCF      PORTD, 5
BSF      PORTD, 4
MOVF     DG9, W
ANDLW   B'01111111'
MOVWF   PORTB
CALL    DELAY

```

```

BCF      PORTD, 7
BSF      PORTD, 6
BCF      PORTD, 5
BSF      PORTD, 4
MOVF     DG10, W
MOVWF   PORTB
CALL    DELAY

```

```

BSF      PORTD, 7
BSF      PORTD, 6
BCF      PORTD, 5
BSF      PORTD, 4
MOVF     DG11, W
MOVWF   PORTB
CALL    DELAY

```

```

BCF      PORTD, 7
BCF      PORTD, 6
BSF      PORTD, 5
BSF      PORTD, 4
MOVF     DG12, W
MOVWF   PORTB
CALL    DELAY

```

```

RETURN

```

```

;-----
DELAY:

```

```

CLRf    XX          ; Deleay ~200 ms
DECFSZ  XX, 1
GOTO    $-1
RETURN
END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ  
คู่มือการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คู่มือการใช้งาน

# เครื่องแสดงค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส



ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

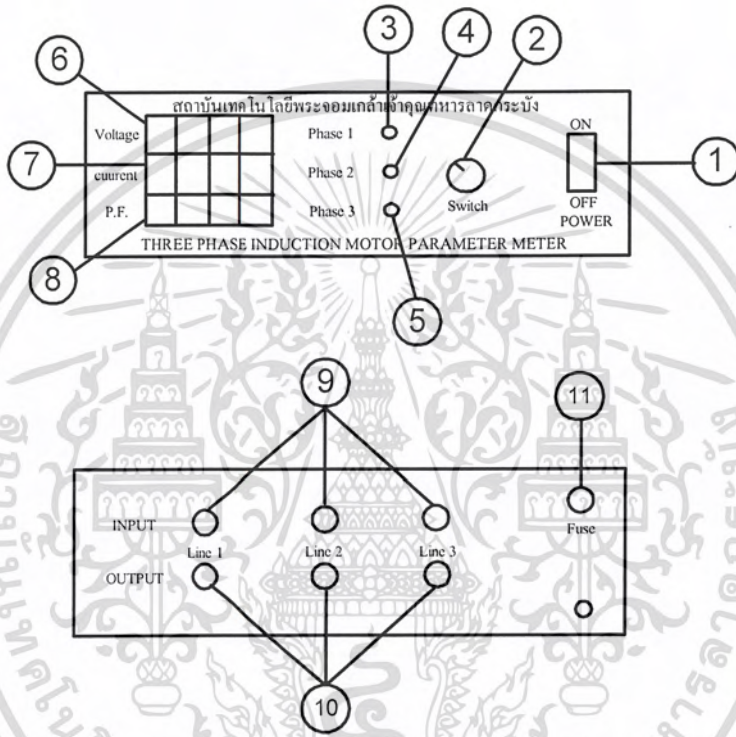
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คำแนะนำเบื้องต้น

ก่อนที่จะลงมือใช้งานเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ควรทำการศึกษาการใช้งานจากคู่มือให้เข้าใจเพื่อผลการวัดค่าที่ถูกต้อง และเป็นการป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

2. ส่วนประกอบและปุ่มควบคุม



รูปที่ จ.1 ส่วนประกอบและปุ่มควบคุมของเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ สามเฟส

จากรูปที่ จ.1 มีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1. สวิตช์ ปิด-เปิด เครื่อง
2. สวิตช์เลือกย่านวัดเฟส
3. หลอดแอลอีดีแสดงเฟส 1
4. หลอดแอลอีดีแสดงเฟส 2
5. หลอดแอลอีดีแสดงเฟส 3
6. จอแสดงค่าแรงดันบนส่วนแสดงผลแบบเจ็ดส่วนสี่หลัก
7. จอแสดงค่ากระแสบนส่วนแสดงผลแบบเจ็ดส่วนสี่หลัก
8. จอแสดงเพาเวอร์แฟกเตอร์บนส่วนแสดงผลแบบเจ็ดส่วนสี่หลัก
9. จุดต่อแรงดันไฟฟ้าสามเฟสด้านอินพุต
10. จุดต่อแรงดันไฟฟ้าสามเฟสด้านเอาต์พุต
11. พิวส์

### 3. การติดตั้งและการใช้งาน

- 3.1 เลือกย่านวัดเฟสไปที่ตำแหน่ง OFF ก่อนการใช้งานเสมอ
- 3.2 ทำการต่อสายไฟฟ้าสามเฟสด้านเอาต์พุตต่อกับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส
- 3.3 ทำการต่อสายไฟฟ้าสามเฟส เข้าทางด้านอินพุตของเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส โดยไม่ต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้าสามเฟส
- 3.4 ทำการเปิดเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส
- 3.5 ทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสามเฟสให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส
- 3.6 เลือกย่านวัดเฟสไปที่ตำแหน่งเฟสที่ต้องการวัดแรงดัน
- 3.7 สังเกตหลอดแอลอีดีแสดงเฟส
- 3.8 สังเกตค่าแรงดัน กระแส และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ บนจอแสดงผลแบบเจ็ดส่วน
- 3.9 เมื่อทำการวัดเสร็จแล้ว ทำการเลือกย่านการวัดเฟสไปที่ตำแหน่ง OFF และทำการปิดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสามเฟส ที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสก่อนเสมอ
- 3.10 ทำการถอดสายไฟฟ้าสามเฟสที่ต่อเข้ากับเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสด้านอินพุตก่อนเสมอ
- 3.11 ทำการถอดสายไฟฟ้าสามเฟส ที่ต่อเข้ากับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสด้านเอาต์พุตออก
- 3.12 ทำการปิดเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าและเก็บเข้าที่ให้เรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. การแก้ปัญหาเบื้องต้น

เมื่อท่านประสบปัญหาในการใช้งานเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส สามารถตรวจสอบแนวทางการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นได้จากตารางข้างล่างนี้

อาการ	สาเหตุและ/หรือวิธีแก้ไข
จอแสดงผลแบบเจ็ดส่วนไม่ติด	ตรวจสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่จ่ายแรงดันให้กับเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส, ฟิวส์, ไม่ได้เปิดสวิตช์กำลังที่หน้าเครื่อง
จอแสดงผลแบบเจ็ดส่วนแสดงค่าเริ่มต้นที่ค่าศูนย์ขณะทำการวัดเฟส	ตรวจสอบสวิตช์เลือกย่านวัดเฟสว่าอยู่ในตำแหน่ง OFF หรือไม่, จุดต่อแรงดันไฟฟ้าสามเฟส
หลอดแอลอีดีแสดงเฟสไม่ติด	ตรวจสอบจุดต่อแรงดันไฟฟ้าสามเฟส

#### 5. การดูแลรักษาและข้อควรระวัง

##### 5.1 การดูแลรักษา

- ถอดสายไฟฟ้าออกจากจุดต่อด้านหลังเครื่องทุกครั้งหลังจากใช้งานเสร็จ
- เช็ดทำความสะอาดตัวเครื่องด้วยผ้านุ่ม อย่าใช้สารใดๆ ที่เป็นตัวทำละลายเพราะอาจทำให้ตัวเครื่องเป็นรอยเสียหาย

##### 5.2 ข้อควรระวัง

- ห้ามจ่ายแรงดันไฟฟ้าสามเฟสก่อนเปิดเครื่องแสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าสามเฟส
- เลือกย่านวัดเฟสไปที่ตำแหน่ง OFF ก่อนการใช้งานเสมอ
- หลังจากการวัดให้ทำการปิดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสามเฟส ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ก่อนเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. ข้อมูลจำเพาะ

คุณสมบัติ	รายละเอียด
หลักการวัดแรงดัน	ใช้หลักการของวงจรแบ่งแรงดันแล้วทำการขยายย่านวัดด้วยวงจรออปแอมป์ TL 064 ของบริษัท ST จำกัด
หลักการวัดกระแส	ใช้หลักการของเคอร์เร็นทรานฟอเมอร์แล้วทำการขยายย่านวัดด้วยวงจรออปแอมป์ TL 062 ของบริษัท ST จำกัด
หลักการวัดเพาเวอร์แฟกเตอร์	ใช้หลักการคำนวณทางคณิตศาสตร์ภายในส่วนประมวลผลของ PIC 16F877
ย่านการวัดแรงดัน	แรงดันตั้งแต่ 0 โวลต์ ถึง 380 โวลต์
ย่านวัดกระแส	กระแสตั้งแต่ 0 แอมป์ ถึง 15 แอมป์
ย่านวัดเพาเวอร์แฟกเตอร์	ประสิทธิภาพตั้งแต่ 0 ถึง 1
ส่วนแสดงผล	จอแสดงผลแบบเจ็ดส่วนขนาด 4 หลัก 3 แถว ความสูง 2.4 นิ้ว
การแสดงผล	ใช้หลอดแอลอีดีเป็นตัวแสดงผล
ความเที่ยงตรง	สำหรับการอ่านค่าแบบเต็มสเกล $\pm 1.9\%$ ที่ย่านวัดแรงดัน $\pm 0.75\%$ ที่ย่านวัดกระแส $\pm 0.05\%$ ที่ย่านวัดเพาเวอร์แฟกเตอร์
ค่าความผิดพลาด	$\pm 3\%$
แหล่งจ่ายพลังงาน	ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ความถี่ 50 – 60 เฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



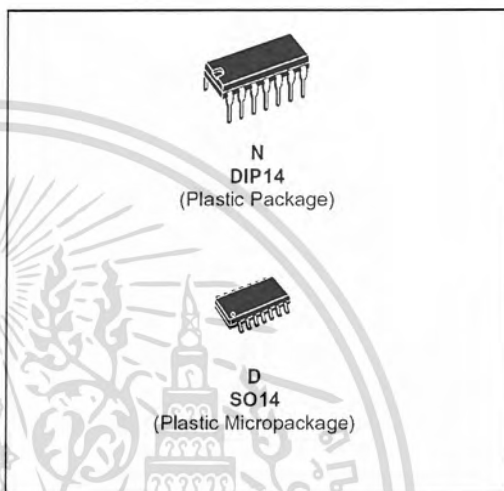
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**TL064**  
**TL064A - TL064B**

**LOW POWER J-FET QUAD OPERATIONAL AMPLIFIERS**

- VERY LOW POWER CONSUMPTION : 200µA
- WIDE COMMON-MODE (UP TO  $V_{CC+}$ ) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGES
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENTS
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : 3.5V/µs



**DESCRIPTION**

The TL064, TL064A and TL064B are high speed J-FET input quad operational amplifiers. Each of these J-FET input operational amplifiers incorporates well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

The device features high slew rate, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

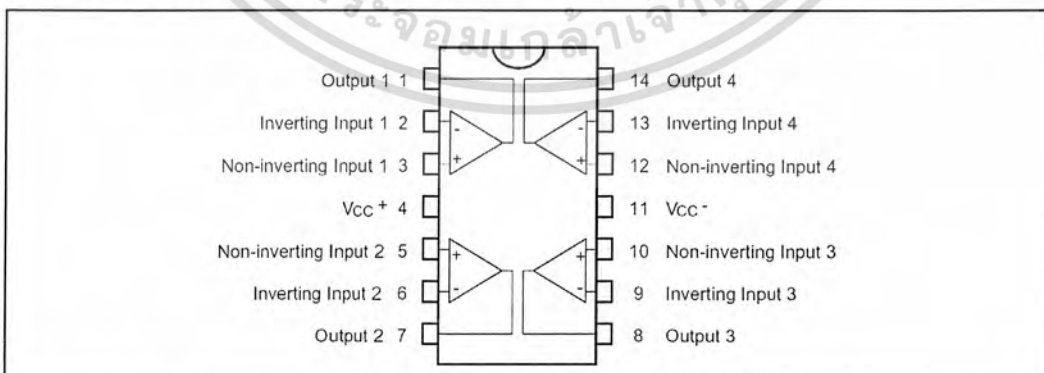
**ORDER CODE**

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
TL064M/AM/BM	-55°C, +125°C	•	•
TL064I/AI/BI	-40°C, +105°C	•	•
TL064C/AC/BC	0°C, +70°C	•	•

Example : TL064IN

N = Dual in Line Package (DIP)  
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)

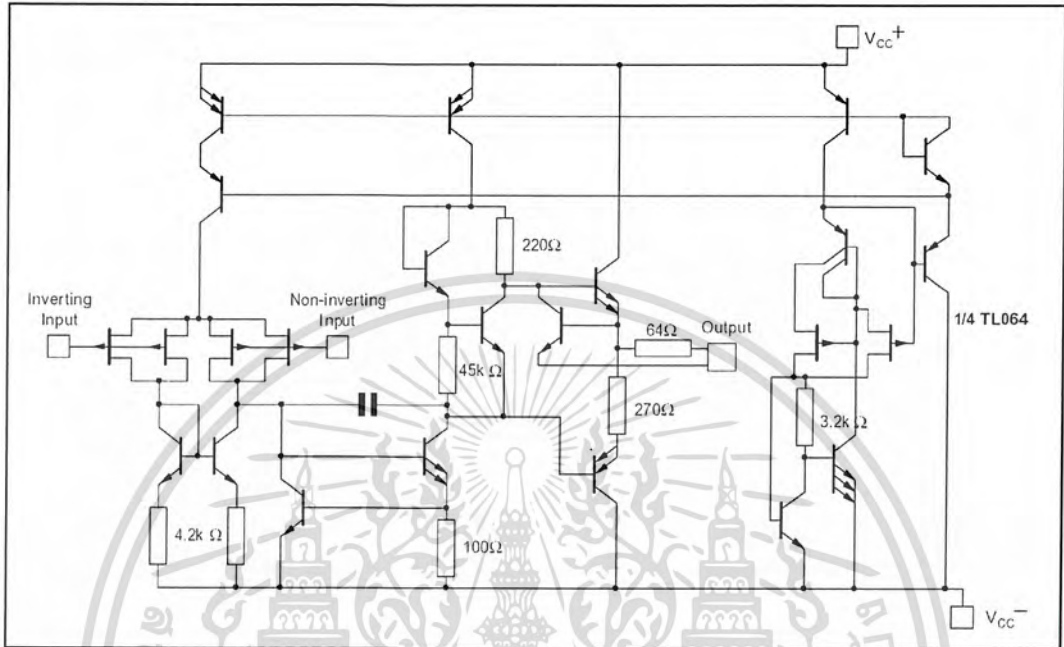
**PIN CONNECTIONS (top view)**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## TL064 - TL064A - TL064B

## SCHEMATIC DIAGRAM



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	TL064M, AM, BM	TL064I, AI, BI	TL064C, AC, BC	Unit
$V_{CC}$	Supply voltage - note <sup>1)</sup>		±18		V
$V_i$	Input Voltage - note <sup>2)</sup>		±15		V
$V_{id}$	Differential Input Voltage - note <sup>3)</sup>		±30		V
$P_{tot}$	Power Dissipation		680		mW
	Output Short-circuit Duration - note <sup>4)</sup>		Infinite		
$T_{oper}$	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
$T_{stg}$	Storage Temperature Range		-65 to +150		°C

1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between  $V_{CC+}$  and  $V_{CC-}$ .
2. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
3. Differential voltages are the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
4. The output may be shorted to ground or to either supply, Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC} = \pm 15V$ ,  $T_{amb} = +25^{\circ}C$  (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	TL064M			TL064I			TL064C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
$V_{io}$	Input Offset Voltage ( $R_S = 50\Omega$ ) $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		3	6 15		3	6 9		3	15 20	mV
$DV_{io}$	Temperature Coefficient of Input Offset Voltage ( $R_S = 50\Omega$ )		10			10			10		$\mu V/^{\circ}C$
$I_{io}$	Input Offset Current - note 1) $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	100 20		5	100 10		5	200 5	pA nA
$I_{ib}$	Input Bias Current - note 1 $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		30	200 50		30	200 20		30	400 10	pA nA
$V_{icm}$	Input Common Mode Voltage Range	$\pm 11.5$	+15 -12		$\pm 11.5$	+15 -12		$\pm 11$	+15 -12		V
$V_{opp}$	Output Voltage Swing ( $R_L = 10k\Omega$ ) $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	20 20	27		20 20	27		20 20	27		V
$A_{vd}$	Large Signal Voltage Gain $R_L = 10k\Omega$ , $V_o = \pm 10V$ , $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	4 4	6		4 4	6		3 3	6		V/mV
GBP	Gain Bandwidth Product $T_{amb} = 25^{\circ}C$ , $R_L = 10k\Omega$ , $C_L = 100pF$		1			1			1		MHz
$R_i$	Input Resistance		$10^{12}$			$10^{12}$			$10^{12}$		$\Omega$
CMR	Common Mode Rejection Ratio $R_S = 50\Omega$	80	86		80	86		70	76		dB
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio $R_S = 50\Omega$	80	95		80	95		70	95		dB
$I_{CC}$	Supply Current, Per Amplifier $T_{amb} = 25^{\circ}C$ , no load, no signal		200	250		200	250		200	250	$\mu A$
$V_{o1}/V_{o2}$	Channel Separation $A_v = 100$ , $T_{amb} = 25^{\circ}C$		120			120			120		dB
$P_D$	Total Power Consumption $T_{amb} = 25^{\circ}C$ , no load, no signal		6	7.5		6	7.5		6	7.5	mW
SR	Slew Rate $V_i = 10V$ , $R_L = 10k\Omega$ , $C_L = 100pF$ , $A_v = 1$	1.5	3.5		1.5	3.5		1.5	3.5		V/ $\mu s$
$t_r$	Rise Time 5 (see figure 1) $V_i = 20mV$ , $R_L = 10k\Omega$ , $C_L = 100pF$ , $A_v = 1$		0.2			0.2			0.2		$\mu s$
$K_{ov}$	Overshoot Factor (see figure 1) $V_i = 20mV$ , $R_L = 10k\Omega$ , $C_L = 100pF$ , $A_v = 1$ (see figure 1)		10			10			10		%
$e_n$	Equivalent Input Noise Voltage $R_S = 100\Omega$ , $f = 1KHz$		42			42			42		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$

1. The input bias currents of a FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive. Pulse techniques must be used that will maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## TL064 - TL064A - TL064B

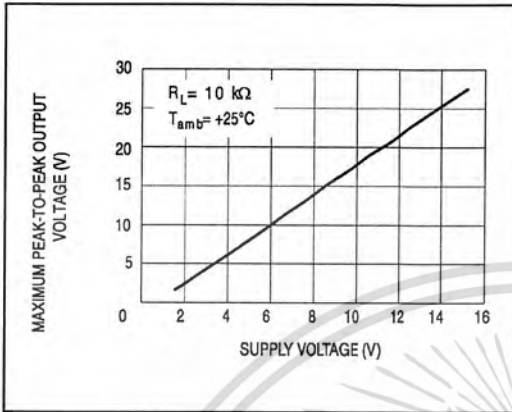
## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC} = \pm 15V$ ,  $T_{amb} = +25^{\circ}C$  (unless otherwise specified)

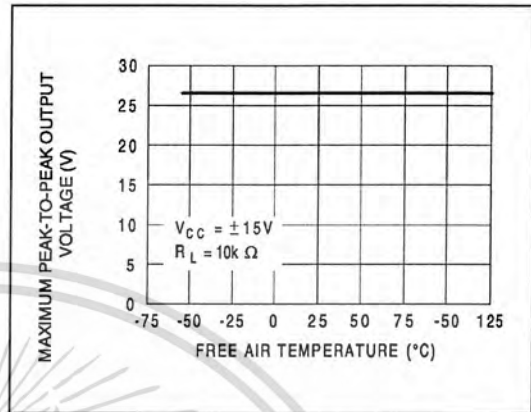
Symbol	Parameter	TL064AC, AI, AM			TL064BC, BI, BM			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
$V_{io}$	Input Offset Voltage ( $R_S = 50\Omega$ ) $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		3	6 7.5		2	3 5	mV
$DV_{io}$	Temperature Coefficient of Input Offset Voltage ( $R_S = 50\Omega$ )		10			10		$\mu V/^{\circ}C$
$I_{io}$	Input Offset Current - note 1) $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	100 3		5	100 3	pA nA
$I_{ib}$	Input Bias Current - note 1 $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		30	200 7		30	200 7	pA nA
$V_{icm}$	Input Common Mode Voltage Range	$\pm 11.5$	+15 -12		$\pm 11.5$	+15 -12		V
$V_{opp}$	Output Voltage Swing ( $R_L = 10k\Omega$ ) $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	20 20	27		20 20	27		V
$A_{vd}$	Large Signal Voltage Gain $R_L = 10k\Omega$ , $V_o = \pm 10V$ , $T_{amb} = 25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	4 4	6		4 4	6		V/mV
GBP	Gain Bandwidth Product $T_{amb} = 25^{\circ}C$ , $R_L = 10k\Omega$ , $C_L = 100pF$		1			1		MHz
$R_i$	Input Resistance		$10^{12}$			$10^{12}$		$\Omega$
CMR	Common Mode Rejection Ratio $R_S = 50\Omega$	80	86		80	86		dB
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio $R_S = 50\Omega$	80	95		80	95		dB
$I_{CC}$	Supply Current (Per Amplifier) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ , no load, no signal		200	250		200	250	$\mu A$
$V_{o1}/V_{o2}$	Channel Separation $A_v = 100$ , $T_{amb} = +25^{\circ}C$		120			120		dB
$P_D$	Total Power Consumption (Each Amplifier) $T_{amb} = 25^{\circ}C$ , no load, no signal		6	7.5		6	7.5	mW
SR	Slew Rate $V_i = 10V$ , $R_L = 10k\Omega$ , $C_L = 100pF$ , $A_v = 1$	1.5	3.5		1.5	3.5		V/ $\mu s$
$t_r$	Rise Time $V_i = 20mV$ , $R_L = 10k\Omega$ , $C_L = 100pF$ , $A_v = 1$		0.2			0.2		$\mu s$
$K_{ov}$	Overshoot Factor (see figure 1) $V_i = 20mV$ , $R_L = 10k\Omega$ , $C_L = 100pF$ , $A_v = 1$		10			10		%
$e_n$	Equivalent Input Noise Voltage $R_S = 100\Omega$ , $f = 1KHz$		42			42		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$

1. The input bias currents of a FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive. Pulse techniques must be used that will maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible.

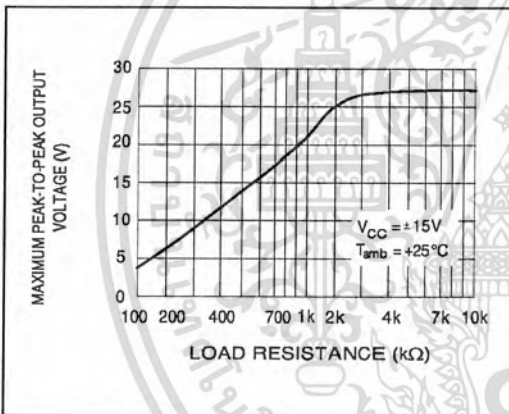
**MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus SUPPLY VOLTAGE**



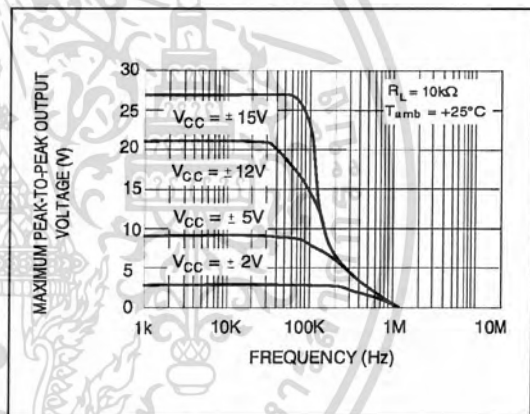
**MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus FREE AIR TEMPERATURE**



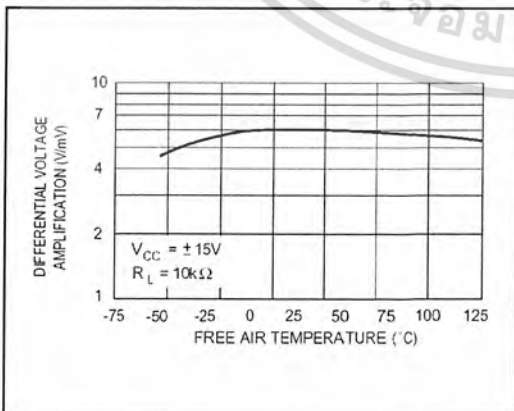
**MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus LOAD RESISTANCE**



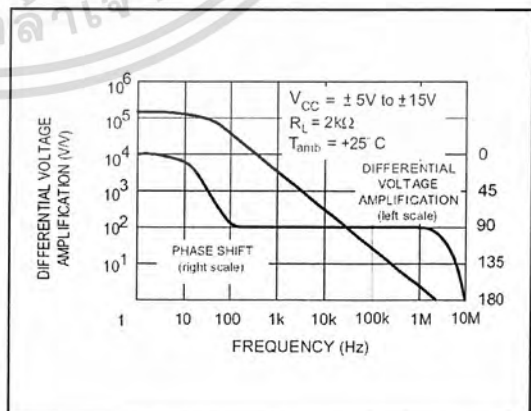
**MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus FREQUENCY**



**DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION versus FREE AIR TEMPERATURE**



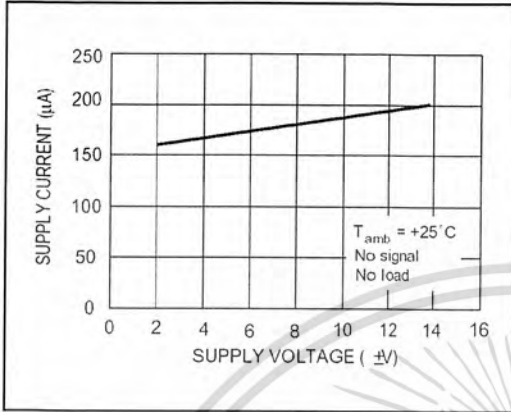
**LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION AND PHASE SHIFT versus FREQUENCY**



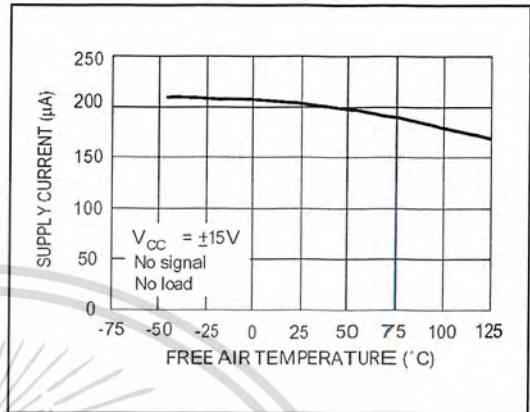
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL064 - TL064A - TL064B

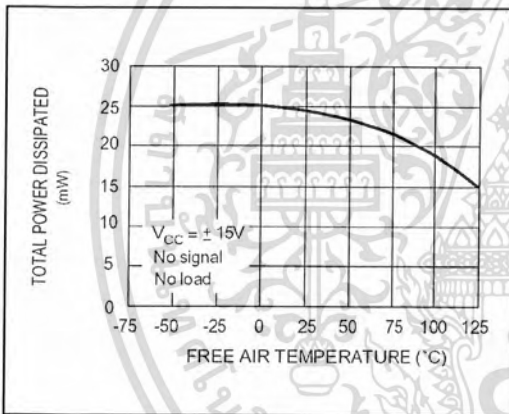
SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER versus SUPPLY VOLTAGE



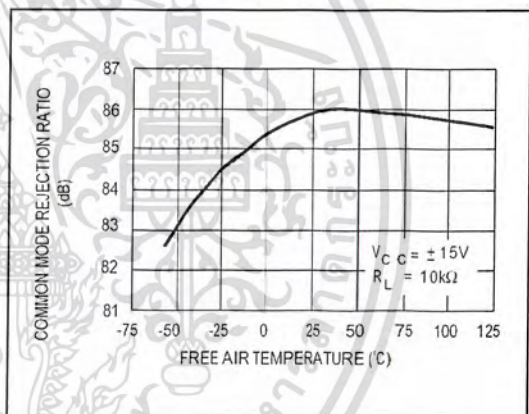
SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER versus FREE AIR TEMPERATURE



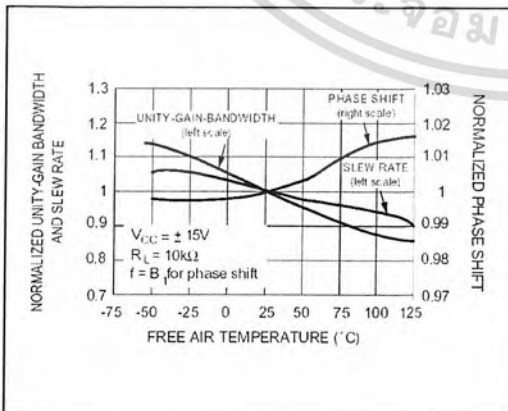
TOTAL POWER DISSIPATED versus FREE AIR TEMPERATURE



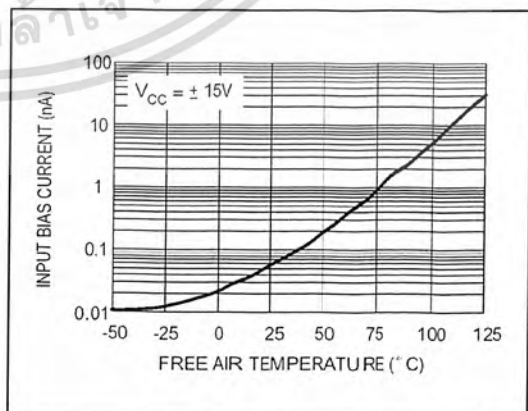
COMMON MODE REJECTION RATIO versus FREE AIR TEMPERATURE



NORMALIZED UNITY GAIN BANDWIDTH, SLEW RATE, AND PHASE SHIFT versus TEMPERATURE

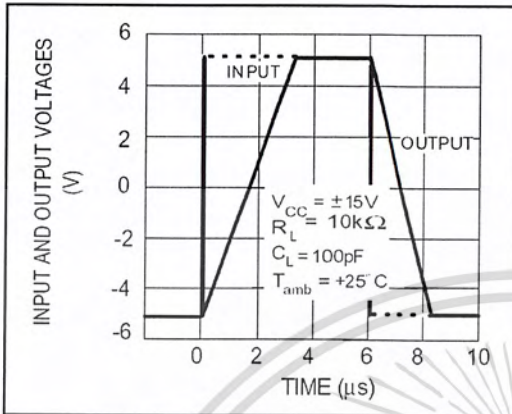


INPUT BIAS CURRENT versus FREE AIR TEMPERATURE

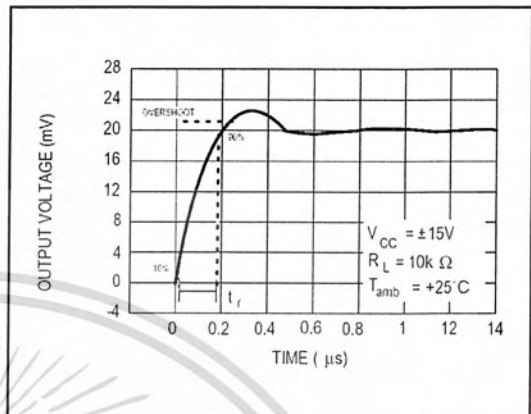


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

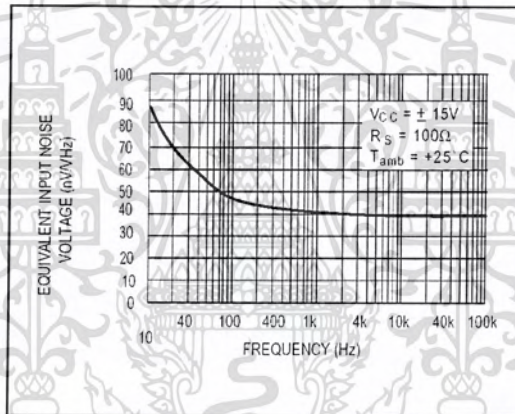
VOLTAGE FOLLOWER LARGE SIGNAL PULSE RESPONSE



OUTPUT VOLTAGE versus ELAPSED TIME



EQUIVALENT INPUT NOISE VOLTAGE versus FREQUENCY



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL064 - TL064A - TL064B

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

Figure 1 : Voltage Follower

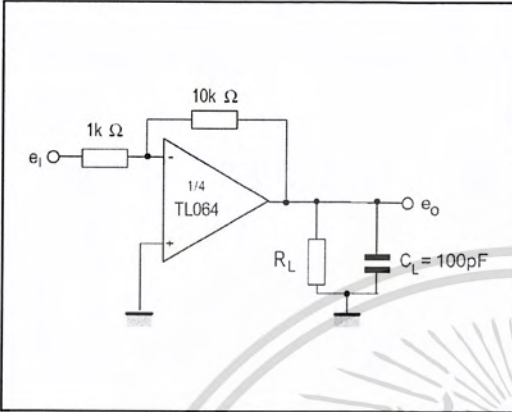
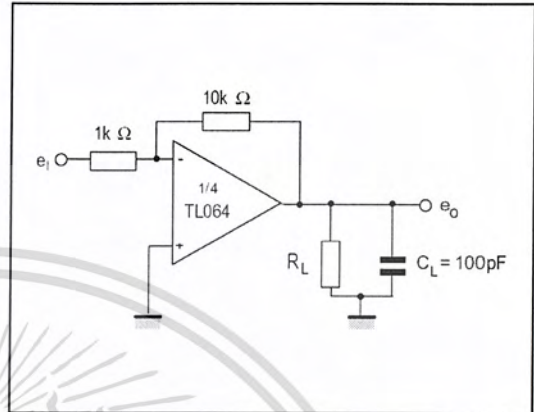
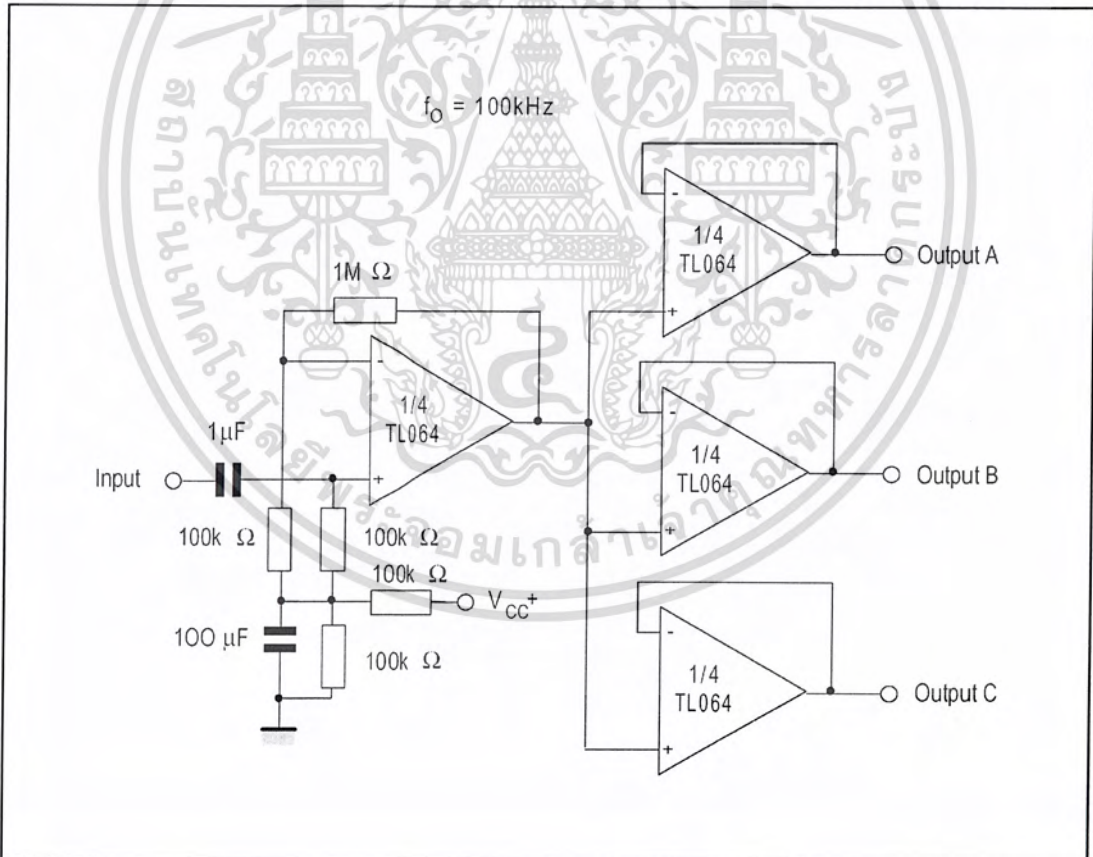


Figure 2 : Gain-of-10 Inverting Amplifier

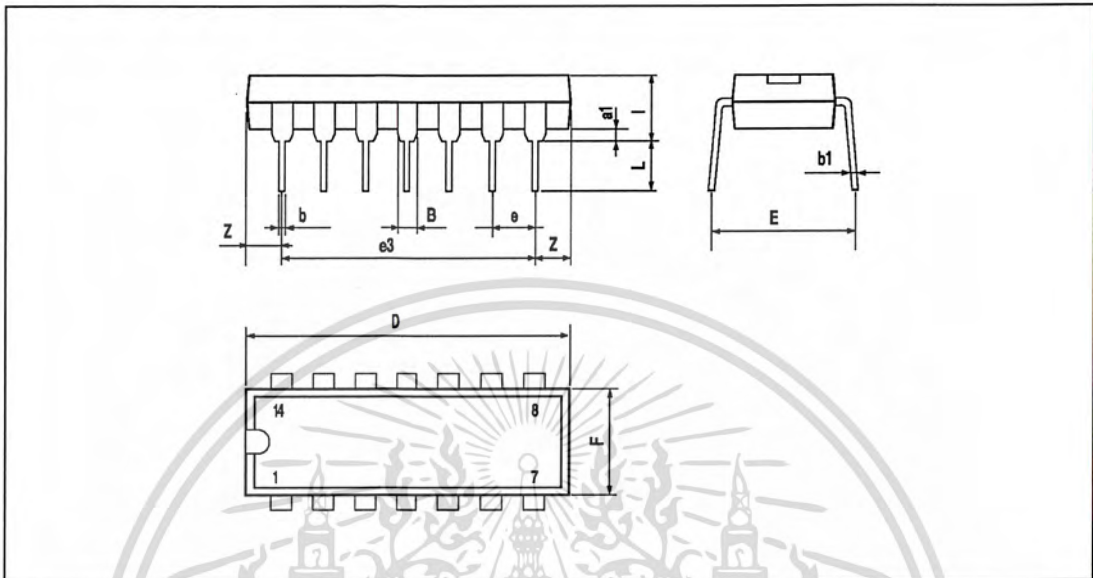


TYPICAL APPLICATIONS  
AUDIO DISTRIBUTOR AMPLIFIER



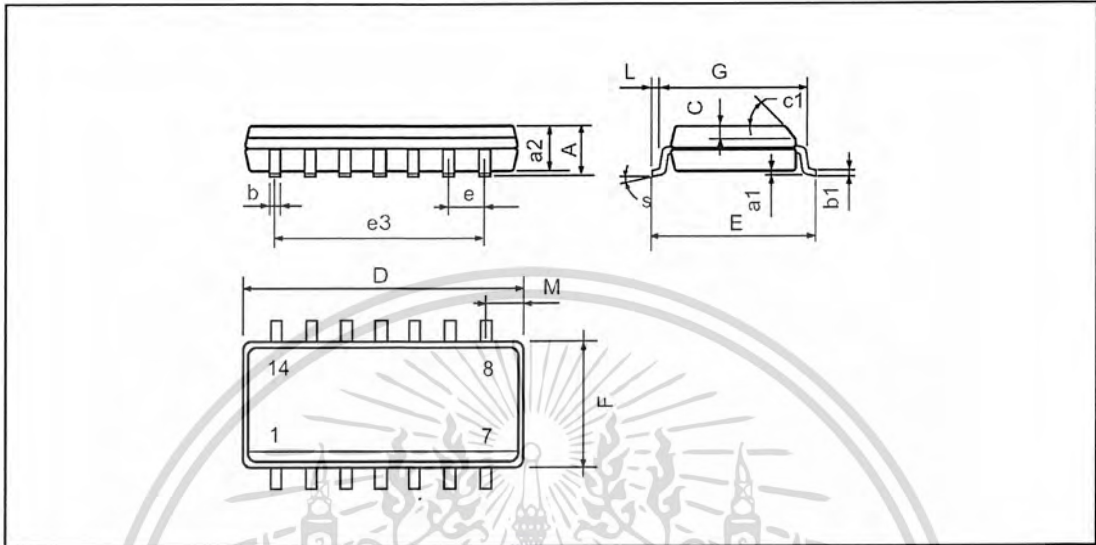
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PACKAGE MECHANICAL DATA**  
14 PINS - PLASTIC DIP



Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
a1	0.51			0.020		
B	1.39		1.65	0.055		0.065
b		0.5			0.020	
b1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		15.24			0.600	
F			7.1			0.280
i			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z	1.27		2.54	0.050		0.100

## TL064 - TL064A - TL064B

**PACKAGE MECHANICAL DATA**  
 14 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)


Dimensions	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.2	0.004		0.008
a2			1.6			0.063
b	0.35		0.46	0.014		0.018
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C		0.5			0.020	
c1				45° (typ.)		
D (1)	8.55		8.75	0.336		0.344
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		7.62			0.300	
F (1)	3.8		4.0	0.150		0.157
G	4.6		5.3	0.181		0.208
L	0.5		1.27	0.020		0.050
M			0.68			0.027
S				8° (max.)		

Note : (1) D and F do not include mold flash or protrusions - Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15mm (.066 inc) ONLY FOR DATA BOOK.

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

© The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2001 STMicroelectronics - Printed in Italy - All Rights Reserved  
 STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco  
 Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom

© <http://www.st.com>

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล

นายวินัย ชกदार

วัน เดือน ปีเกิด

13 ตุลาคม พ.ศ. 2524

ภูมิลำเนา

21 หมู่ 5 ถ.กาญจนวนิช อำเภอลาดใหญ่

จังหวัดสงขลา 90110 โทรศัพท์ 0-7443-8704

## ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา

โรงเรียนบ้านคลองหะระ จังหวัดสงขลา

มัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนธรรมโมสิต จังหวัดสงขลา

ประกาศนียบัตรวิชาชีพ

โรงเรียนสงขลาเทคโนโลยี

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

โรงเรียนสงขลาเทคโนโลยี

ปริญญาตรี

สาขาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

คติพจน์

วันนี้ยังมีหวังจงสู้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล นายสุเมธ จังศิริวัฒนา  
 วัน เดือน ปีเกิด 14 กันยายน พ.ศ. 2525  
 ภูมิลำเนา 93/461 ม.6 แขวงสามเตา เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ  
 10150 โทรศัพท์ 0-2892-7835

## ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา โรงเรียนประชาอุทิศ จังหวัดนครศรีธรรมราช  
 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนประชาอุทิศ จังหวัดนครศรีธรรมราช  
 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยเทคนิคตรัง  
 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคตรัง  
 ปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีการควบคุมทางอุตสาหกรรม  
 ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์วิศวกรรม  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.  
 คติพจน์ ไม่มีคำว่าสาย สำหรับการเริ่มต้นใหม่

## ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ-สกุล	นายอรรณพ ชรรณกิริติ
วัน เดือน ปีเกิด	28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2525
ภูมิลำเนา	73 ม.6 ต.ควนมะพร้าว อ.เมือง จ.พัทลุง 93000 โทรศัพท์ 0-7461-7296
ประวัติการศึกษา	
ประถมศึกษา	โรงเรียนเทศบาลบ้านคูหาสวรรค์
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนพัทลุง
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ	วิทยาลัยเทคนิคพัทลุง
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง	โรงเรียนสงขลาเทคโนโลยี
ปริญญาตรี	สาขาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.
คติพจน์	เรียนรู้งานด้วยการลงมือทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้