

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบตรวจวัดไฟฟ้าและป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้า



นายปริทรรศน์ โจนิตวิวัฒน์

๒๒๑  
๒๕๔๙  
๗/๑๑

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... **62313**  
วัน,เดือน,ปี..... - 8 ส.ค. 2549

b. 11620193  
i. ....

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์  
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปีการศึกษา พ.ศ. 2548  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Mainline Monitor And Electronic Device Protector



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Bachelor  
of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
Academic Year 2005  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง

ระบบตรวจวัด ไฟฟ้าและป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้า

นักศึกษา

นาย ปรีทรกรณ์ โฆษิตวิวัฒน์

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

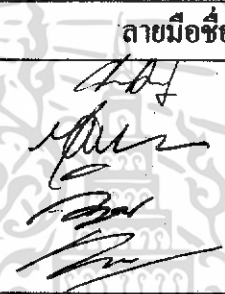
สาขาวิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์ เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. เบญจพล คันธุ์

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ กรรมการ กรรมการ กรรมการที่ปรึกษา	
ศส. สาหรัย เต็กชะอุม อ. กางปัญญา สุวรรณ ไข อ. วิฑูรย์ ยินดีสุข อ. เบญจพล คันธุ์	

(รองศาสตราจารย์วิชาญ เคชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ เรื่อง

ระบบตรวจวัดไฟฟ้าและป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้า

นักศึกษา

นาย ปรีทรรณ์ โยมิตวิวัฒน์

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา

2548

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. เบญจพล ต้นธุ์

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการสร้างอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดค่าทางไฟฟ้า ได้แก่ ความดัน ความดี  
กระแส และกำลัง เพื่อนำไปเก็บค่าในหน่วยความจำภายนอกที่มีแหล่งจ่ายพลังงานสำรอง เมื่อพลังงาน  
หลักไม่เพียงพอ และยังสามารถควบคุมรีเลย์ ในการปิด/เปิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่อไฟฟ้าไม่เพียงพอ  
เพื่อป้องกันการเสียหายของอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยส่วนประกอบทั้งหมดนี้สามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์  
ในการควบคุม ประมวลผลและเชื่อมต่อ ไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Special Project Title</b>	<b>Mainline Monitor And Electronic Device Protector</b>
<b>Name</b>	<b>Mr. Paritat Kositwiwat</b>
<b>Department</b>	<b>Applied Physics</b>
<b>Program</b>	<b>Applied Physics – Instrumentation and factory</b>
<b>Academic Year</b>	<b>2548</b>
<b>Special Project Advisor</b>	<b>Mr. Benchapol Tunhoo</b>



### ABSTRACT

This special project is a device that can measure electronic value include voltage, frequency, current and power. Also, it can record to external memory with reserve battery and use relay to protect electronic device when low power. All components are controlled by microcontroller and interface to display by computer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญรูป	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 รูปคลื่นไซน์	3
2.2 วงจรการแบ่งแรงดันและกระแส	16
2.3. วงจรเรกติไฟเออร์	18
2.4. การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ในการจัดการสัญญาณ	20
2.5 รีเลย์	21
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	24
3.1 ส่วนฮาร์ดแวร์	24
3.2 ส่วนซอฟต์แวร์	26
3.3 วงจรที่ใช้ในการตัดไฟเมื่อไฟตกหรือไฟเกิน	30
บทที่ 4 ผลการทดลอง	32
4.1 Voltage	32
4.2 Frequency	35
4.3 Current and Power	35
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	38
เอกสารอ้างอิง	39

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1-1

หน้า

13



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 หลักการเบื้องต้นของการกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	3
รูปที่ 2.2 การเคลื่อนที่ของขดลวดในตำแหน่งต่างๆห่างกันช่วงละ 90 องศา	4
รูปที่ 2.3 ตัวประกอบในการหาค่าของแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดในวงของขดลวดหมุน	5
รูปที่ 2.4 รูปคลื่นไซน์เปรียบเทียบมุมกับรูปวงกลม	7
รูปที่ 2.5 รูปคลื่นไซน์เมื่อเทียบกับฐานเวลา	8
รูปที่ 2.6 ค่าจากยอดถึงยอดของรูปคลื่นไซน์	9
รูปที่ 2.7 ค่าชั่วขณะใดๆของรูปคลื่นไซน์	10
รูปที่ 2.8 ค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นไซน์	11
รูปที่ 2.9 ค่า rms ของรูปคลื่นไซน์	12
รูปที่ 2.10 การเปรียบเทียบค่าหรือขนาดต่างๆของรูปคลื่นไซน์	14
รูปที่ 2.11 การเปรียบเทียบค่าหรือขนาดต่างๆของรูปไซน์	15
รูปที่ 2.12 วงจรการแบ่งแรงดันที่ไม่มีโหลด	16
รูปที่ 2.13 วงจรการแบ่งแรงดันที่มีโหลด	17
รูปที่ 2.14 การแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	18
รูปที่ 2.15 สัญลักษณ์ของออปแอมป์	20
รูปที่ 2.16 วงจรเปรียบเทียบ	21
รูปที่ 2.17 โครงสร้างภายในของรีเลย์ควบคุม	22
รูปที่ 2.18 คอนแทกเตอร์	22
รูปที่ 2.19 หน้าสัมผัสของคอนแทกเตอร์	23
รูปที่ 3.1 Block Diagram แสดงส่วนประกอบของการวัด	24
รูปที่ 3.2 วงจรที่ใช้สำหรับวัดแรงดันและความถี่	25
รูปที่ 3.2 Flow chart แสดงการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในการวัดแรงดัน	27
รูปที่ 3.3 Flow chart แสดงการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในการวัดความถี่	28
รูปที่ 3.4 Flow chart แสดงการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในการวัดกระแสและควบคุมรีเลย์	29
รูปที่ 3.5 วงจรตัดไฟฟ้าเมื่อไฟตกหรือไฟเกิน	30
รูปที่ 4.1 สัญญาณที่ถูกแปลงด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า	32
รูปที่ 4.2 สัญญาณที่ผ่านวงจร Rectifier	33
เอกสารรูปที่ 4.3 สัญญาณที่ผ่านวงจรแบ่งแรงดันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 33 การค้า	

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4 สัญญาณที่ออกจากวงจร Comparator	34
รูปที่ 4.5 การอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำEEPROM ผ่านคอมพิวเตอร์	34
รูปที่ 4.6 สัญญาณที่ออกจากวงจร Comparator	35
รูปที่ 4.7 ค่า Voltage ที่ตกคร่อม $R = 10\Omega$	36
รูปที่ 4.8 ค่า Voltage ที่วัดได้โดยผ่าน ADC	36
รูปที่ 4.9 กระแสที่คำนวณออกมาได้	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันไฟฟ้ามีความสำคัญต่อมนุษย์อย่างมาก ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่มนุษย์ใช้ในการดำรงชีวิต ไม่ว่าจะเป็นครัวเรือนจนไปถึงโรงงานขนาดใหญ่ ไฟฟ้าก็เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่ทำให้เกิดผลผลิตต่างๆ นานา ซึ่งกำลังในการส่งไฟฟ้าอาจส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าได้

ในโครงการนี้จะใช้การวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังและความถี่โดยสามารถบันทึกค่าและแสดงผลออกมาทางคอมพิวเตอร์รวมทั้งสามารถตัดไฟฟ้าเมื่อกำลังไฟฟ้าต่ำลงอันเป็นอันตรายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าได้

### 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการเชื่อมต่อระบบไมโครคอนโทรลเลอร์กับระบบตรวจวัดสัญญาณ
- 1.2.2 เพื่อเรียนรู้หลักในการออกแบบระบบให้ใช้งานได้ง่ายและใช้งานได้จริง
- 1.2.3 เพื่อเรียนรู้ลักษณะงานที่เป็นระบบและรู้จักวิเคราะห์ปัญหา
- 1.2.4 เพื่อศึกษาระบบตรวจวัดสัญญาณ
- 1.2.5 เพื่อศึกษาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.2.6 เพื่อศึกษาการวัดส่วนประกอบทางไฟฟ้า เช่น แรงดัน กระแส ความถี่ เป็นต้น

### 1.3 ขอบเขตของการดำเนินงาน

สำหรับขอบเขตของการดำเนินงานนี้เราสามารถแบ่งออกเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

1.3.1 ส่วนฮาร์ดแวร์ จะเป็นการศึกษาการเชื่อมต่อระบบการวัดสัญญาณไฟฟ้าซึ่งก็คือแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและความถี่ กับระบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ และเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงค่าและกราฟของแรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่ได้ทำการตรวจวัดที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

1.3.2 ส่วนของซอฟต์แวร์ จะเป็นการศึกษาและใช้งานโปรแกรม kiel ซึ่งเป็นคอมไพเลอร์ของภาษาซี เพื่อควบคุมและเชื่อมต่อระบบการวัด ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ และคอมพิวเตอร์ เพื่อให้สามารถใช้งานได้ง่ายและยังสามารถเก็บบันทึกข้อมูลที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงานแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆได้ดังนี้

ม.ย.-ส.ค. ศึกษาลักษณะของไฟฟ้าที่ใช้ครัวเรือนเพื่อหาวิธีในการวัดสัญญาณ

ส.ค.-ต.ค. ออกแบบระบบของการวัดและระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

ต.ค.-ธ.ค. ออกแบบโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม, การเชื่อมต่อและการแสดงผล

ธ.ค.-ม.ค. ทดลองและบันทึกผล

ม.ค.-ก.พ. ปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ

ก.พ.-มี.ค. สรุปผลและเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาต่อไป

#### 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 รู้จักประยุกต์ใช้งานระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในชีวิตประจำวันให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น

1.5.2 รู้จักค้นคว้าและวิเคราะห์ข้อมูล

1.5.3 รู้จักวิธีการทำงานอย่างเป็นระบบและสามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างมีหลักการและเหตุผล

## บทที่ 2

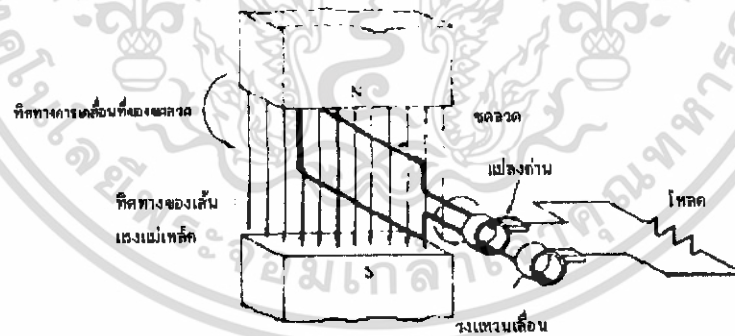
### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 รูปคลื่นไซน์

ในการคำนวณเกี่ยวกับเรื่องของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับนั้น เราจะพิจารณาเห็นได้ว่า รูปคลื่นไซน์จะมีความสำคัญมากและพบมากที่สุดด้วยเมื่อเทียบกับรูปคลื่นอื่นๆ รูปคลื่นไซน์เราสามารถที่จะเขียนแทนด้วยสมการอย่างง่ายได้ดังนี้คือ  $y = k \sin x$  อย่างไรก็ตามก่อนที่จะพิจารณาถึงค่าต่างๆ เช่น ค่ายอดคลื่น ค่าจากยอดถึงยอด ค่าเฉลี่ย และค่า rms พร้อมทั้งลักษณะคุณสมบัติต่างๆ ของรูปคลื่นไซน์ เราก็คงจะพิจารณาถึงการเกิด การจ่าย และการใช้ของรูปคลื่นไซน์ก่อน

รูปคลื่นไซน์มีความสำคัญมากในเรื่องของวงจรกระแสสลับ เพราะการกำเนิดรูปคลื่นสามารถกระทำได้ง่าย นอกจากนี้การส่งหรือการจ่ายและการใช้ก็ยังสามารถกระทำได้ง่ายมาก เช่นเดียวกัน อีกทั้งรูปคลื่นชนิดอื่นๆ ในทุกรูปแบบเราสามารถทำการวิเคราะห์และสังเคราะห์ได้จากรูปคลื่นไซน์ที่ประกอบอยู่ในรูปคลื่นเหล่านั้น

การเกิดรูปคลื่นไซน์



รูปที่ 2.1 หลักการเบื้องต้นของการกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

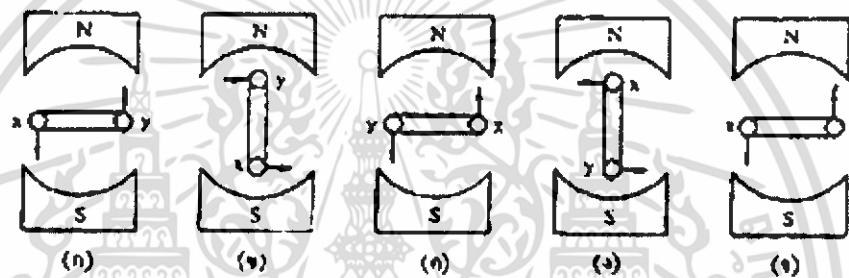
เราจะพิจารณาเห็นได้ว่า พลังงานไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมก็ดี ธุรกิจการค้าก็ดี และบ้านเรือนที่อยู่อาศัยก็ดี เราได้มาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งผลิตไฟฟ้าขึ้นมาโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้า

ในรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงหลักการเบื้องต้นของการกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งจะพิจารณาเห็นได้ว่ามีขดลวดตัวเหนี่ยวนำหนึ่งรอบเคลื่อนที่อยู่ในสนามแม่เหล็ก ในขณะที่ขดลวดตัวเหนี่ยวนำเคลื่อนที่ตัดกับสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดแรงดันขึ้นที่ปลายทั้งสองของขดลวด และที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ หรือมีการดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลายทั้งสองของขดลวดดังกล่าวนี้จะต่ออยู่กับวงแหวนเลื่อน (slip ring) ที่วงแหวนเลื่อนแต่ละวงจะมีแปรงถ่าน (brush) ต่อสัมผัสอยู่ โดยแปรงถ่านทั้งสองอันนี้ทำหน้าที่ต่อแรงดันเพื่อจ่ายไปยังวงจรภายนอกต่อไป

ในรูปที่ 2.2 แสดงถึงการเคลื่อนที่ของขดลวดตัวเหนี่ยวนำในตำแหน่งต่างๆอย่าง ต่อเนื่องกัน การเคลื่อนที่ของขดลวดตัวนำในสนามแม่เหล็กดังกล่าวนี้จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางทวน เข็มนาฬิกา



รูปที่ 2.2 การเคลื่อนที่ของขดลวดในตำแหน่งต่างๆห่างกันช่วงละ 90 องศา

ในรูปที่ 2.2(ก) จะพิจารณาเห็นได้ว่า ณ ตำแหน่งนี้ขดลวดกำลังเคลื่อนที่ไปในทิศทางขนานกับทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก ดังนั้นในตำแหน่งนี้จึงไม่มีแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้น เพราะขดลวดไม่ได้ตัดกับสนามแม่เหล็ก

ในรูปที่ 2.2(ข) จะเห็นได้ว่า ณ ตำแหน่งนี้ ขดลวดกำลังเคลื่อนที่ที่ตัดกับสนามแม่เหล็ก ในแนวที่ตั้งฉากพอดีจึงทำให้แรงดันเกิดขึ้นมากที่สุด

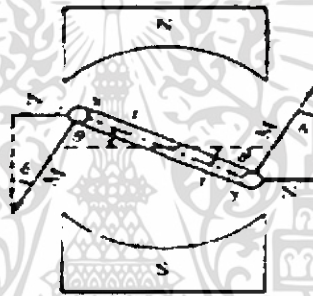
ในรูปที่ 2.2(ค) การเคลื่อนที่ของขดลวด ณ ตำแหน่งนี้ จะอยู่ในลักษณะทำนองเดียวกันกับในรูปที่ 2.2(ก) แต่ตำแหน่งของ x และ y จะสลับที่กัน ณ ตำแหน่งนี้จะไม่มีการเกิดแรงดันขึ้นเช่นเดียวกัน

ในรูปที่ 2.2(ง) การเคลื่อนที่ของขดลวด ณ ตำแหน่งนี้ จะทำให้ได้ขนาดของแรงดันมากที่สุดเช่นเดียวกับในรูปที่ 2.2(ข) แต่ตำแหน่งของ x และ y จะสลับที่กัน ดังนั้นขนาดของแรงดันที่ได้จึงมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของแรงดันในรูปที่ 2.1-2(ข)

ในรูปที่ 2.2(จ) จะพิจารณาเห็นได้ว่าขดลวดจะเคลื่อนที่กลับมา ณ ตำแหน่งเดิมอีก คือมาอยู่ในตำแหน่งเดียวกันกับในรูปที่ 2.2(ก) ดังนั้นขนาดของแรงดันจะมีค่าเท่ากับศูนย์อีกครั้งหนึ่ง

การเคลื่อนที่ของขดลวดครบหนึ่งรอบดังในรูปที่ 2.1 และ 2.2 หมายถึงการเคลื่อนที่ครบหนึ่งไซเคิลของไฟฟ้ากระแสสลับพอดิ หรือทำให้เกิดแรงดันของไฟกระแสสลับครบหนึ่งไซเคิลนั่นเอง

ในรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของขดลวดซึ่งพิจารณาเห็นได้ว่า สามารถที่จะทำให้เกิดแรงดัน ได้ตั้งแต่ค่าศูนย์ไปจนถึงค่าสูงสุดแนวพื้นราบของวงของขดลวด (เส้นที่ลากระหว่างขดลวดตัวนำ  $x$  และ  $y$ ) จะทำมุมกับแกนนอนเท่ากับมุม  $\theta$  ทิศทางการเคลื่อนที่ของขดลวด  $x$  และ  $y$  ในทุกๆ ระยะเวลาจะตั้งฉากกับรัศมีของการเคลื่อนที่และจะทำมุม  $\theta$  กับแกนตั้งเสมอ (มุม  $\theta$  จะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งของวงของขดลวดที่เคลื่อนที่หมุนไปในสนามแม่เหล็ก)



รูปที่ 2.3 ตัวประกอบในการหาค่าของแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดในวงของขดลวดหมุน

แรงดันที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของขดลวดตัดกับสนามแม่เหล็ก ในรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าทิศทางที่แท้จริงในการเคลื่อนที่ของขดลวด  $x$  และ  $y$  ในทุกๆ ระยะเวลาจะเขียนแทนด้วยลูกศร  $M$  และทิศทางของส่วนประกอบในการเคลื่อนที่ที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กจะเขียนแทนด้วยลูกศร  $N$  และความยาวหรือขนาดของลูกศรดังกล่าวนี้หมายถึงความเร็วในการเคลื่อนที่ของขดลวดนั่นเอง

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่แท้จริงกับความเร็วที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กคือ

$$N \propto M \sin \theta$$

ในที่นี้  $\theta$  หมายถึงมุมระหว่างเส้นที่ลากระหว่างขดลวดเหนี่ยวนำ  $x$  และ  $y$  กระทำกับแกนนอนในทุกระยะเวลาที่ขดลวดเคลื่อนที่หมุนไปในสนามแม่เหล็ก หน่วยของมุม  $\theta$  คือ องศา หรือ เรเดียน

แรงดัน  $e$  ที่เกิดขึ้นในทุกระยะเวลาจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเร็ว  $N$  ที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก ดังนั้นจะได้

$$E \propto N \propto M \sin \theta$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคลากรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ความเร็ว  $M$  ที่แท้จริงในการเคลื่อนที่ของตัวนำ เมื่อพิจารณาจากขดลวด  $x$  และ  $y$  จะเห็นได้ว่า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วรอบที่มีความสัมพันธ์กับรัศมีของการเคลื่อนที่คือ  $r$  ซึ่งจะเขียนความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้เป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$M = \omega r$$

ในที่นี้  $\omega$  คือความเร็วเชิงมุมของการเคลื่อนที่ มีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที (rad/s) ดังนั้นความเร็ว  $M$  จึงเป็นปริมาณโดยตรงกับรัศมี  $r$  และความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เกิดขึ้นกับรัศมีของการเคลื่อนที่คือ

$$e = r \sin \theta \quad (2.1)$$

จากสมการที่ (2.1) จะพิจารณาเห็นได้ว่า แรงดันที่เกิดขึ้นจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้านั้นจะมีรูปคลื่นของแรงดันเป็นแบบรูปคลื่นซายน์นั่นเอง

### 2.1.1 รูปคลื่นซายน์

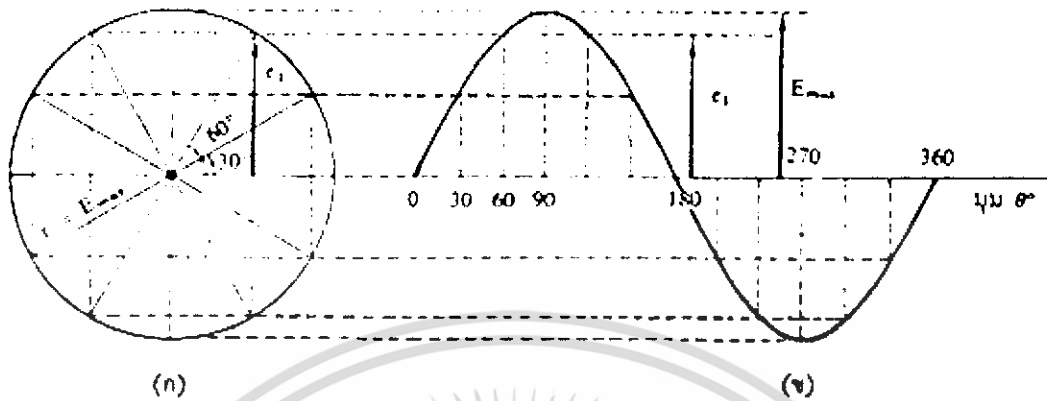
แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากเครื่องกำเนิดซึ่งใช้หลักการของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้านั้น จะพิจารณาเห็นได้ว่า ณ ทุกๆ ขณะเวลา ค่าของแรงดันที่ได้จะเป็นปริมาณโดยตรงกับมุมของซายน์ จากหลักการเบื้องต้นของตรีโกณมิติ เราสามารถที่จะนำมาเขียนรูปคลื่นของซายน์ได้ ถ้าหากว่านำวงกลมมาแบ่งออกเป็นส่วนๆ เท่าๆ กัน แล้วเริ่มต้นพิจารณาที่แกนนอนก่อน จะเห็นได้ว่า ค่าของมุมซายน์แต่ละมุมที่กระทำกับแกนนอนนั้น จะเป็นปริมาณโดยตรงกับเส้นตั้งฉากที่ตั้งอยู่บนแกนนอน ซึ่งถ่ายทอดมาจาก เส้นรอบวงของวงกลมนั่นเอง

วงกลมดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 2.4(ก) มีรัศมีเท่ากับ  $E_{\max}$  เมื่อแบ่งออกเป็น 12 ส่วนเท่าๆ กัน จะเห็นว่า ในแต่ละส่วนจะมีมุมเท่ากับ  $30^\circ$  หรือ  $\pi/6$  rad ส่วนในรูปที่ 2.1-7(ข) จะเห็นว่าสเกลในแกนนอนจะแทนด้วยค่าของมุม ซึ่งมีระยะห่างกันช่วงละ  $30^\circ$  เท่าๆ กัน และแกนนอนนี้จะเริ่มตั้งแต่  $0$  ถึง  $360^\circ$  ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ

( $2\pi$  rad) หรือหนึ่งไซเคิลของแรงดันไฟสลับพอดี

ณ ที่มุมใดๆ ที่กระทำกับแกนนอน ดังรูปที่ 2.4(ก) จะเห็นว่า ความยาวของเส้นตั้งฉากที่ตั้งฉากกับแกนนอน ซึ่งเป็นเส้นตั้งฉากที่ลากมาจากเส้นรอบวงของวงกลมมายังแกนนอนจะใช้แทนขนาดของแรงดันที่เกิดขึ้น

ณ มุมในขณะนั้น ดังเช่น  $e_1$  ใช้ขนาดของแรงดันที่เกิดขึ้นที่มุม  $60^\circ$



รูปที่ 2.4 รูปคลื่นไซน์เปรียบเทียบกับรูปวงกลม

จากรูปคลื่นไซน์ดังในรูปที่ 2.4(ข) จะเห็นว่าเส้นตั้งฉาก(ซึ่งห่างกันช่วงละ  $30^\circ$ ) ที่ถ่ายทอดมาจากเส้นตั้งฉากที่เส้นรอบวงของวงกลมจะมีค่าเท่ากับรัศมีของวงกลมคูณด้วยค่าของมุมไซน์ที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์ต่อกัน ดังตัวอย่างเช่น  $e_1 = E_{\max} \sin 60^\circ$  และรูปคลื่นที่ได้ซึ่งเป็นรูปคลื่นไซน์เราจะใช้แทนค่าของแรงดันที่เกิดขึ้นในทุกๆ ขณะเวลาหรือที่มุม  $\theta$  ใดๆ ในระยะเวลาหนึ่งคาบหรือในหนึ่งไซเคิล

ค่าสูงสุดของแรงดันของไฟสลับในรูปที่ 2.4 คือ  $E_{\max}$  โวลต์ ส่วนค่าชั่วขณะของแรงดันที่มุม  $\theta$  ใดๆ จะมีค่าเท่ากับ

$$e = E_{\max} \sin \theta \quad (2.2)$$

จากสมการที่ (2.2) จะเห็นว่าค่าของแรงดันที่ได้มีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ ซึ่งสมการดังกล่าวนี้ เราสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกระแสไฟสลับได้เช่นเดียวกันคือ

$$i = I_{\max} \sin \theta$$

### 2.1.2 ความเร็วเชิงมุมและความถี่เชิงมุม

อัตราของการหมุนรอบวงกลมคือความเร็วเชิงมุม ซึ่งเป็นอัตราการหมุนที่ทำให้ค่าของมุมเปลี่ยนแปลงไป การเขียนสัญลักษณ์แทนความเร็วเชิงมุมเราใช้  $\omega$  (อ่านว่า โอเมก้า เป็นภาษากรีก) เขียนแทน หน่วยของความเร็วเชิงมุมมีค่าเป็นเรเดียนต่อวินาที(rad/s)

ส่วนความถี่  $f$  Hz ของไฟสลับเราสามารถที่จะพิจารณาได้จากรูปที่ 2.4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าความถี่  $f$  Hz ก็คือการที่รัศมีของวงกลมหมุนไป  $f$  รอบต่อวินาทีนั่นเอง และในระหว่างการหมุนแต่ละรอบของรัศมีจะครอบคลุมมุมไป  $2\pi$  หรือ  $360^\circ$  เพราะฉะนั้นความเร็วเชิงมุมเราสามารถจะเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้  $\omega = 2\pi f$  การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (2.3) ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้  $\omega$  = ความเร็วเชิงมุมหรือความถี่เชิงมุม, rad/s

$$\pi = \frac{22}{7} \text{ (ค่าคงที่)}$$

$f$  = ความถี่, Hz

ความเร็วเชิงมุมคือมุมที่ถูกรัศมีของวงกลมเคลื่อนที่ผ่านไปในแต่ละวินาที ดังนั้น จะได้

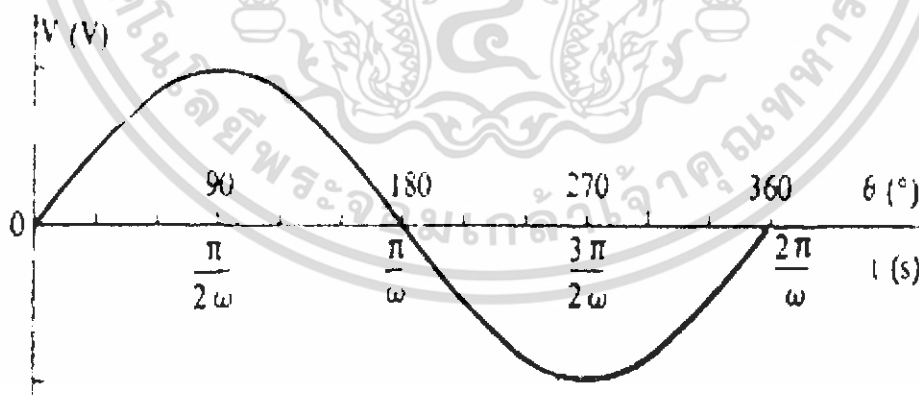
$$\omega = \frac{\theta}{t} \text{ หรือ } \theta = \omega t \text{ หรือ } t = \frac{\theta}{\omega} \quad (2.4)$$

ในที่นี้  $\theta$  = มุม, rad

$\omega$  = ความเร็วเชิงมุม, rad/s

$t$  = เวลา, s

สมการ (2.4) ให้ความสัมพันธ์ที่สำคัญระหว่างมุมกับเวลาและคลื่นรูปไซน์ดังในรูปที่ 2.4 เราสามารถที่จะเขียนเทียบกับฐานเวลาซึ่งตั้งอยู่ในแกนนอนได้โดยการแทนที่เวลา  $t = \theta / \omega$  รูปคลื่นไซน์ดังในรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า มีลักษณะเหมือนกับรูปคลื่นไซน์ดังในรูปที่ 2.4(ข) ซึ่งในรูปทั้งสองดังกล่าวนี้เรากำหนดให้ แกนนอนแทนค่าของมุมและเวลา และจากสมการที่ (2.3) กับ (2.4) จะเห็นว่า ปริมาณทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์กับ  $2\pi f$  ซึ่งเป็นค่าคงที่สำหรับคลื่นร่ายคาบทุกๆ คลื่นที่กำหนดมาให้



รูปที่ 2.5 รูปคลื่นไซน์เมื่อเทียบกับฐานเวลา

จากรูปที่ 2.5 และ 2.4(ข) เมื่อพิจารณาที่มุม  $\pi$  เรเดียน ( $180^\circ$ ) ซึ่งรูปคลื่นไซน์เกิดขึ้นครึ่งคลื่นพอดี ก็จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ของเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{แต่ } \theta = \omega t$$

$$\text{ดังนั้น } \omega t = \pi$$

$$\text{หรือ } t = \frac{\pi}{\omega}$$

จากการพิสูจน์ที่ผ่านมา จะเห็นว่า เวลา  $t$  มีค่าเท่ากับ  $\frac{\pi}{\omega}$  อย่างแท้จริง ฉะนั้น เมื่อแทนค่า  $\omega = 2\pi f$  จากสมการที่ (2.3) ก็จะได้

$$t = \frac{\pi}{\omega} = \frac{\pi}{2\pi f} = \frac{1}{2f}$$

แต่เวลาที่ทำให้เกิดรูปคลื่นครบหนึ่งรอบหรือหนึ่งไซเคิลคือ คาบเวลา  $T$  ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$T = \frac{1}{f}$$

ดังนั้นที่มุม  $\pi$  เรเดียน จะได้เวลา  $t$  เท่ากับ

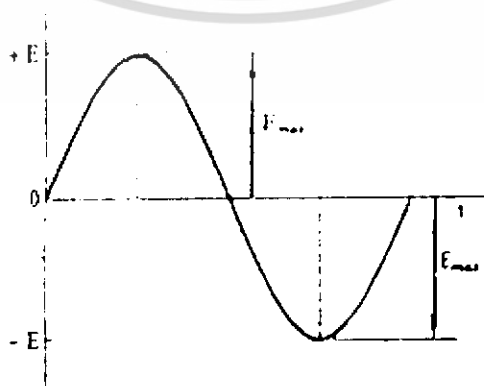
$$t = \frac{1}{2f} = \frac{T}{2}$$

เพราะฉะนั้น ค่า  $\pi/\omega$  จึงเป็นเวลาที่ทำให้เกิดรูปคลื่นซายน์ครึ่งคลื่นพอดี

### 2.1.3 ค่าสูงสุดหรือค่ายอดคลื่นของรูปคลื่นซายน์

ค่าสูงสุดหรือค่ายอดคลื่นของรูปคลื่นซายน์ หมายถึง ขนาดสูงสุดทั้งทางด้านบวกและทางด้านลบเมื่อเทียบกับแกนอน (ที่แกนอนขนาดเท่าด้วยศูนย์)

รูปคลื่นซายน์ที่อยู่ในลักษณะสมมาตร จะเห็นได้ว่าในครึ่งไซเคิลบวกและครึ่งไซเคิลลบจะมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ ดังนั้นค่ายอดคลื่นในทางด้านบวกและลบจะมีขนาดเดียวกัน ดังในรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึงค่าสูงสุดหรือค่ายอดคลื่นของรูปคลื่นซายน์ที่มีค่าเท่ากับในครึ่งไซเคิลบวกและครึ่งไซเคิลลบ



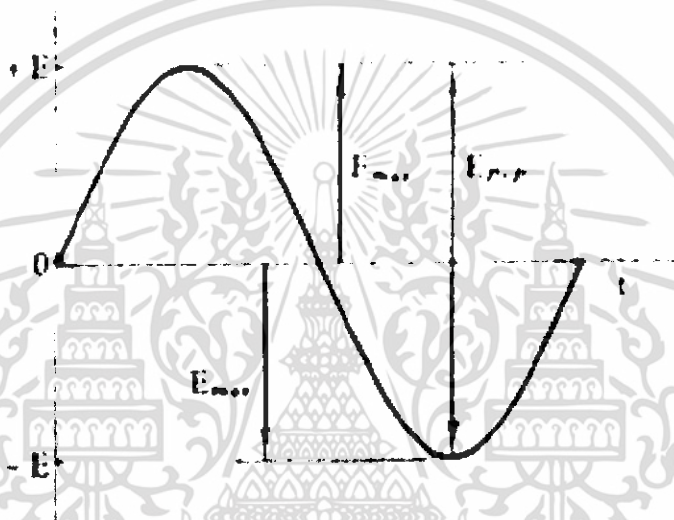
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.6 ค่าจากยอดถึงยอดของรูปคลื่นซายน์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

### 2.1.4 ค่าจากยอดถึงยอดของรูปคลื่นไซน์

ค่าจากยอดถึงยอด(peak to peak value)ของรูปคลื่นไซน์ เป็นผลรวมของขนาดของรูปคลื่นทั้งในครึ่งไซเคิลบวกและลบ ซึ่งพิจารณาจากค่ายอดคลื่นทางด้านบวก (ครึ่งไซเคิลบวก) มายัง ค่ายอดคลื่นทางด้านลบ (ครึ่งไซเคิลลบ) จากรูปที่ 2.7 จะได้ค่ายอดถึงยอดคือ

$$\begin{aligned} E_{p-p} &= E_{\max} (\text{ครึ่งไซเคิลบวก}) + E_{\max} (\text{ครึ่งไซเคิลลบ}) \\ &= 2E_{\max} \end{aligned}$$



รูปที่ 2.7 ค่าช่วงระยะใดๆของรูปคลื่นไซน์

### 2.1.5 ค่าช่วงระยะใดๆของรูปคลื่นไซน์

ค่าช่วงระยะใดๆของรูปคลื่นไซน์ หมายถึง ขนาดที่เกิดขึ้นที่เวลาใดขณะหนึ่งเมื่อเทียบกับ เวลาอ้างอิง เวลาอ้างอิงปกติเรากำหนดให้เป็น  $t_0$  ซึ่งเป็นเวลาที่ขนาดของรูปคลื่นมีค่าเท่ากับศูนย์ และกำลังจะเริ่มคืนสวิง (swing) ไปในทางด้านบวก

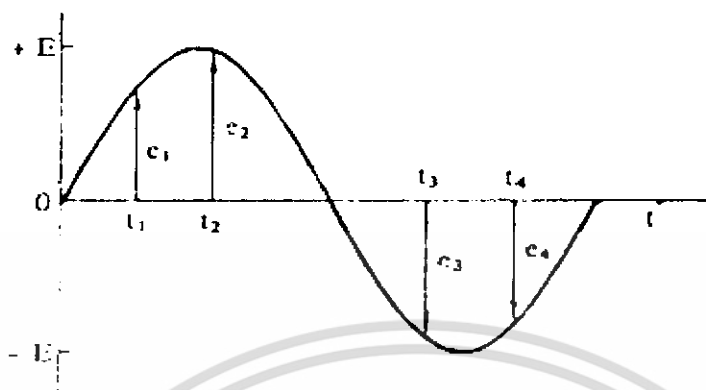
ค่าของไซน์ที่แสดงในเทอมของมุมนั้น เป็นความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับเวลา ซึ่งกำหนดให้มา ดังในสมการที่ (2.4) คือ

$$\theta = \omega t$$

เมื่อนำความสัมพันธ์อันนี้ไปประยุกต์เข้ากับสมการที่ (2.2) คือ  $e = E_{\max} \sin \theta$  ก็จะได้ค่าช่วงระยะใดๆของแรงดันในรูปที่ 2.7 คือ

$$e = E_{\max} \sin \omega t$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



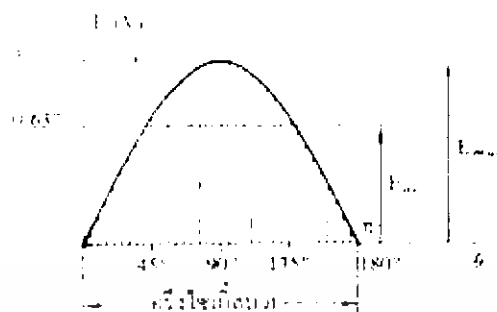
รูปที่ 2.8 ค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นไซน์

### 2.1.6 ค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นไซน์

ค่าเฉลี่ย (average value) หรือค่าระหว่างกลาง (mean value) ในหนึ่งไซเคิลของรูปคลื่นไซน์ที่แท้จริงมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นค่าเฉลี่ยที่แท้จริงของรูปคลื่นไซน์จึงไม่ใช้ในทางปฏิบัติ

การหาค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นไซน์ทั้งในครึ่งไซเคิลบวกและครึ่งไซเคิลลบนั้น ค่าที่เราหามาได้สามารที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการสร้างเครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับได้ ปกติแล้วเครื่องวัดไฟฟ้ากระแสสลับจะประกอบด้วยเครื่องวัดไฟฟ้ากระแสตรงที่มีการเคลื่อนที่ของขดลวดในตำแหน่งที่คงที่ แล้วผ่านวงจรเรกติไฟเออร์ ซึ่งทำหน้าที่แปลงไฟสลับให้เป็นไฟตรงแล้วเข็มของเครื่องวัดที่เคลื่อนที่ไปบนสเกลจะชี้ค่าเฉลี่ยของขนาดรูปคลื่นครึ่งคลื่นที่ผ่านจากวงจรเรกติไฟเออร์ ดังกล่าวข้างต้น

ค่าเฉลี่ยทั้งหมดของรูปคลื่นไซน์ที่กล่าวถึงนั้นหมายถึงค่าเฉลี่ยขนาดของครึ่งไซเคิลบวกหรือครึ่งไซเคิลลบ จากรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นถึงการหาค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นไซน์ในครึ่งไซเคิลบวก ส่วนในครึ่งไซเคิลลบนั้น ก็มีหลักพิจารณาในทำนองเดียวกัน



รูปที่ 2.9 ค่า rms ของรูปคลื่นไซน์

การหาค่าเฉลี่ยของเคอร์ฟในรูปที่ 2.9 สามารถหาได้โดยการแบ่งพื้นที่ใต้เคอร์ฟ (curve) ครึ่งไซเคิลออกเป็นหลายๆส่วน แต่ละส่วนมีขนาดช่วงกว้างเท่าๆกัน แล้วหาค่าเฉลี่ยของความสูงในแต่ละส่วน ซึ่งพิจารณาให้เห็นได้ว่า จากรูปที่ 2.9 เราได้แบ่งรูปคลื่นไซน์ครึ่งคลื่นออกเป็น 36 ส่วนเท่าๆกัน ซึ่งห่างช่วงละ  $5^\circ$  พิจารณาจากตารางที่ 2.1

ลำดับที่	มุม $\theta$	$\sin \theta$	$\sin^2 \theta$	
1	5	0.0872	0.0076	
2	10	0.1736	0.0301	
3	15	0.2598	0.0675	
4	20	0.3420	0.1170	
5	25	0.4226	0.1786	
6	30	0.5000	0.2500	
7	35	0.5736	0.3290	
8	40	0.6428	0.4132	
9	45	0.7071	0.5000	
10	50	0.7660	0.5868	
11	55	0.8192	0.6711	
12	60	0.8660	0.7500	
13	65	0.9063	0.8214	
14	70	0.9397	0.8830	
15	75	0.9659	0.9330	
16	80	0.9848	0.9698	
17	85	0.9962	0.9924	
18	90	1.0000	1.0000	
19	95	0.9962	0.9924	
20	100	0.9848	0.9698	
21	105	0.9659	0.9330	
22	110	0.9397	0.8830	
23	115	0.9063	0.8214	
24	120	0.8660	0.7500	
25	125	0.8192	0.6711	
26	130	0.7660	0.5868	
27	135	0.7071	0.5000	
28	140	0.6428	0.4132	
29	145	0.5736	0.3290	
30	150	0.5000	0.2500	
31	155	0.4226	0.1786	
32	160	0.3420	0.1170	
33	165	0.2598	0.0675	
34	170	0.1736	0.0301	
35	175	0.0872	0.0076	
36	180	0.0000	0.0000	
รวม	—	—	22.9036	18.0000
		ค่าเฉลี่ย	$= \frac{22.9036}{36} = 0.636$	ค่า rms $= \sqrt{\frac{18}{36}} = \sqrt{0.5}$ $= 0.707$

ตารางที่ 2.1

จากตารางที่ 2.1 จะได้

$$E_{av} = \left( \frac{\sin 5^\circ + \sin 10^\circ + \sin 15^\circ + \dots + \sin 170^\circ + \sin 175^\circ + \sin 180^\circ}{36} \right)$$

$$E_{av} = E_{\max} \left( \frac{23.9036}{36} \right)$$

$$E_{av} = 0.636 E_{\max} \quad (2.6)$$

อย่างไรก็ตาม จะพิจารณาเห็นได้ว่า  $E_{av}$  ที่คำนวณได้นี้ยังมีค่าผิดพลาดอยู่บ้างเหมือนกัน ดังนั้น ถ้าหากว่าเราต้องการให้ได้ค่า  $E_{av}$  ที่มีความถูกต้องมากกว่านี้ ก็จะต้องแบ่งรูปคลื่นไซน์ให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

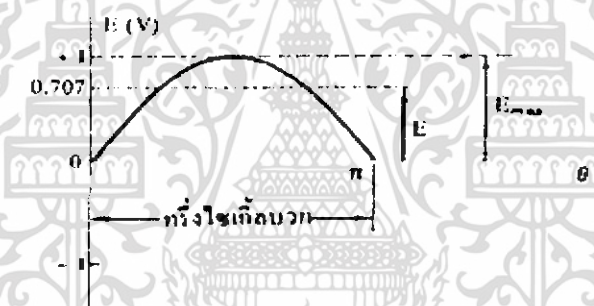
ละเอียดมากกว่านี้ ยิ่งแบ่งละเอียดมากก็จะได้ค่าที่ถูกต้องมาก แต่อย่างไรก็ตามเรามีวิธีการคำนวณที่สะดวกกว่านี้ โดยการใช้วิธีแคลคูลัส (calculus) ซึ่งพิจารณาได้ดังต่อไปนี้คือ

$$E_{av} = \frac{2}{2\pi} \int_0^{\pi} E_{max} \sin \theta \, d\theta$$

$$E_{av} = \frac{2}{\pi} E_{max} \text{ หรือ } 0.637 E_{max} \quad (2.7)$$

### 2.1.7 ค่า rms ของรูปคลื่นซายน์

กำลังงานไฟฟ้าที่ได้จากกระแสหรือแรงดันของไฟตรงที่เป็นค่าเรียบและมีค่าเท่ากับกำลังงานไฟฟ้าที่ได้จากกระแสหรือแรงดันรูปคลื่นซายน์ของไฟสลับซึ่งค่าของรูปคลื่นซายน์ดังกล่าวนี้ก็คือค่า rms หรือค่าประสิทธิผล (effective value) ของกระแสหรือแรงดันไฟสลับนั่นเอง



รูปที่ 2.10 การเปรียบเทียบค่าหรือขนาดต่างๆของรูปคลื่นซายน์

การหาค่า rms ของรูปคลื่นซายน์ เราสามารถแสดงให้เห็นได้ด้วยวิธีการดังในรูปที่ 2.9 และ 2.10 ซึ่งจะพิจารณาให้เห็นได้ว่า ที่ทุกๆจุดบนเส้นเคอร์ฟหามาได้จากการนำเอาค่าชั่วขณะใดๆมายกกำลังสอง แล้วหาค่าเฉลี่ยความสูงของเคอร์ฟอีกทีหนึ่ง ก็จะทำให้ได้ค่า rms ของเคอร์ฟออกมา ซึ่งจะพิจารณาได้จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า

$$E = E_{max} \sqrt{\frac{\sin^2 5^\circ + \sin^2 10^\circ + \sin^2 15^\circ + \dots + \sin^2 170^\circ + \sin^2 175^\circ + \sin^2 180^\circ}{36}}$$

$$E = E_{max} \sqrt{\frac{18}{36}}$$

$$E = 0.707 E_{max} \quad (2.8)$$

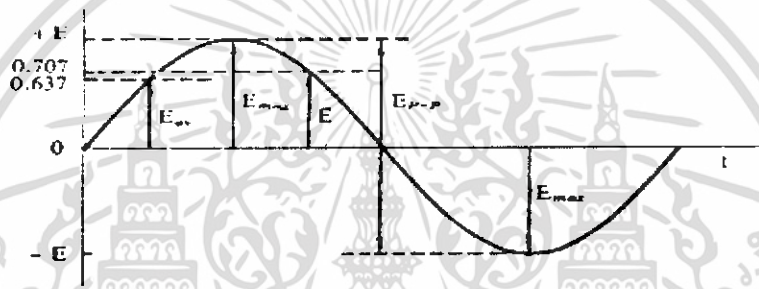
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามการคำนวณหาค่า rms นี้ ถ้านำเอาวิธีการของแคลคูลัสมาใช้แล้ว จะช่วยทำให้รวดเร็วและมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ค่า rms ของรูปคลื่นไซน์ของแรงดันคือ

$$E = \sqrt{\frac{2}{2\pi} \int_0^{2\pi} (E_{\max} \sin \theta)^2 d\theta}$$

$$E = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}} = 0.707 E_{\max}$$

ข้อสังเกต สัญลักษณ์ตัว E ที่ไม่มีขีดสคริปต์ใดๆเขียนกำกับเอาไว้ให้หมายถึง ค่า rms



รูปที่ 2.11 การเปรียบเทียบค่าหรือขนาดต่างๆของรูปไซน์

ในรูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นถึงรูปคลื่นไซน์ของแรงดันในหนึ่งไซเคิลที่ประกอบด้วยค่าสูงสุดหรือค่ายอดคลื่น, ค่าจากยอดถึงยอด, ค่าเฉลี่ย และค่า rms ความแตกต่างของขนาดของค่าต่างๆเหล่านี้ เราสามารถที่จะพิจารณาให้เห็นอย่างชัดเจน ส่วนค่าชั่วขณะใดๆ ในที่นี้ขอตัดทิ้งออกไปเพราะขนาดของมันสามารถที่จะมีค่าเท่าใดก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าเราจะพิจารณาตรงจุดไหนในไซเคิล

### 2.1.8 ฟอर्मแฟคเตอร์

ฟอर्मแฟคเตอร์ (form factor) เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของรูปคลื่นซึ่งให้ค่าจำกัดความไว้ดังนี้คือ

$$\text{ฟอर्मแฟคเตอร์} = \frac{\text{ค่า rms}}{\text{ค่าเฉลี่ย}} = \frac{0.707 I_{\max}}{0.637 I_{\max}} = 1.11$$

### 2.1.9 เครสท์หรือพีคแฟคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

crest หรือพีคแฟกเตอร์ (crest or peak factor) เป็นค่าสัมประสิทธิ์ยอดคลื่น ให้คำจำกัดความไว้ดังนี้ คือ

$$\text{crest แฟกเตอร์} = \text{ค่าสูงสุด} / \text{ค่า rms} = \frac{I_{\max}}{0.707I_{\max}} = 1.414$$

## 2.2 วงจรการแบ่งแรงดันและกระแส

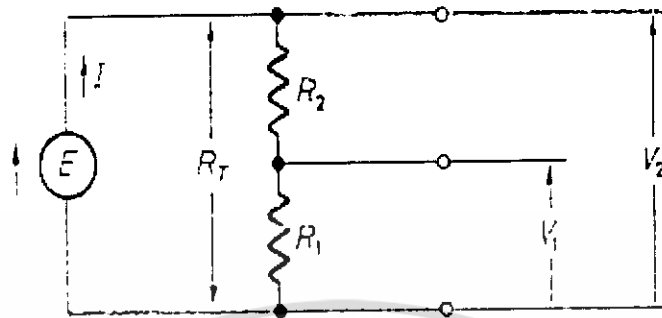
ปกตวงจรแบบอนุกรมจะมีการแบ่งแรงดันในเกือบทุกๆวงจร โดยแรงดันที่ถูกแบ่งนั้นขึ้นอยู่กับค่าของความต้านทานที่มีอยู่ในแต่ละส่วนของวงจร ส่วนในวงจรแบบขนานนั้นก็จะมีลักษณะในทำนองเดียวกัน กล่าวคือวงจรแบบขนานจะมีการแบ่งการไหลของกระแส โดยกระแสที่ไหลในแต่ละส่วนหรือแต่ละสาขา จะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานในส่วนหรือในสาขานั้นของวงจรมันเอง

ในวงจรแบ่งแรงดันและกระแส (voltage dividers and current dividers) ที่ค่อนข้างจะยุ่งยากและซับซ้อนนั้น ถ้าเราจะคำนวณหาค่าของแรงดันหรือกระแสที่ถูกแบ่งนี้ด้วยวิธีธรรมดาแล้วจะยุ่งยากและเสียเวลามาก ดังนั้นเพื่อให้การคำนวณง่ายและรวดเร็วมากยิ่งขึ้นกว่าวิธีแบบธรรมดาเราจึงมีสูตรเฉพาะที่ใช้เกี่ยวกับการคำนวณวงจรการแบ่งแรงดันหรือกระแส ซึ่งจะกล่าวต่อไปดังนี้

### 2.2.1 วงจรการแบ่งแรงดันที่ไม่มีโหลด

วงจรการแบ่งแรงดันที่ไม่มีโหลด (unloaded voltage dividers) ก็คือ วงจรแบบอนุกรมทั่วๆ ไปนั่นเอง ซึ่งเราสามารถแบ่งแรงดันได้หลายๆค่า เพื่อนำไปจ่ายให้แก่โหลดที่ต้องการแรงดันในระดับต่างที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งทั้งนี้แรงดันที่ถูกแบ่งทั้งหมดจะได้มาจากแหล่งกำเนิดแรงดันเพียงตัวเดียวเท่านั้น

ในรูปที่ 2.12 จะพิจารณาให้เห็นว่า วงจรประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแรงดัน  $E$  ซึ่งจ่ายแรงดันให้แก่ความต้านทาน  $R_1$  และ  $R_2$  โดยความต้านทาน  $R_1$  และ  $R_2$  จะทำหน้าที่แบ่งแรงดันออกเป็นสองส่วนและทำให้ได้แรงดันเอาต์พุตสองค่าคือ  $V_1$  และ  $V_2$  ซึ่งแรงดันเอาต์พุต  $V_1$  และ  $V_2$  นี้ ได้มาจากแหล่งกำเนิดตัวเดียวกันคือ  $E$  และสามารถคำนวณหาค่าของแรงดันเอาต์พุต  $V_1$  และ  $V_2$  ได้ดังต่อไปนี้คือ



รูปที่ 2.12 วงจรการแบ่งแรงดันที่ไม่มีโหลด

จากวงจรในรูปที่ 2.12 จะได้

$$R_T = R_1 + R_2 \quad (2.9)$$

$$I = \frac{E}{R_T} \quad (2.10)$$

$$V_1 = IR_1 \quad (2.11)$$

แทนค่า I จากสมการที่ (2.10) ลงในสมการที่ (2.11) จะได้

$$\text{แรงดันเอาต์พุต } V_1 = E \frac{R_1}{R_T} = E \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (2.12)$$

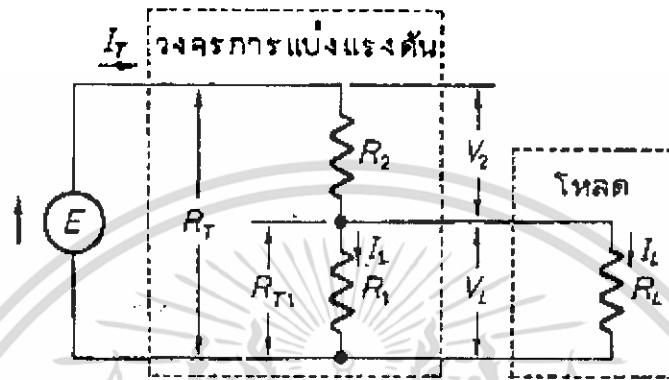
$$\text{แรงดันเอาต์พุต } V_2 = E \quad (2.13)$$

### 2.2.2 วงจรการแบ่งแรงดันที่มีโหลด

วงจรการแบ่งแรงดันที่ได้แรงดันมาจากแหล่งกำเนิดแรงดันเพียงตัวเดียวนั้น เราสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโหลดได้หลายจำนวน ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าเราจะนำไปใช้กับโหลดจำนวนเท่าใดก็ได้แล้วแต่ความต้องการของเรา แต่โดยหลักการแล้วในวงจรการแบ่งแรงดันนี้จะต้องพยายามให้กระแสเบลีเดอร์ (bleeder current) มีค่าน้อย คือประมาณ 10 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ของกระแสโหลดทั้งหมด (กระแสเบลีเดอร์หมายถึง กระแสที่ไหลผ่านความต้านทานทุกๆตัวที่ทำหน้าที่แบ่งแรงดัน)

วงจรการแบ่งแรงดันที่มีโหลด (load voltage divider) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 จะพิจารณาเห็นว่าแรงดัน E จากแหล่งกำเนิดเพียงตัวเดียวจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ด้วยความต้านทาน  $R_1$  และ  $R_2$  ทั้งนี้เพื่อให้ได้แรงดันที่สอดคล้องกับแรงดันที่โหลดต้องการพอดีคือ  $V_L$  ส่วน  $I_L$

หมายถึงกระแสที่ไหลผ่านโหลด  $R_L$  และ  $I_1$  หมายถึงกระแสที่ไหลผ่านความต้านทาน  $R_1$  หรือ กระแสลัดเตอร์นั่นเอง



รูปที่ 2.13 วงจรการแบ่งแรงดันที่มีโหลด

จากวงจรในรูปที่ 2.13 จะได้

$$R_{T1} = \frac{R_1 R_L}{R_1 + R_L} \quad (2.14)$$

$$R_T = R_{T1} + R_2$$

$$V_L = E \frac{R_{T1}}{R_T}$$

$$V_2 = E \frac{R_2}{R_T}$$

หรือ  $V_2 = E - V_L$

$$I_L = \frac{V_L}{R_L}$$

$$I_1 = \frac{V_L}{R_1}$$

$$I_T = I_1 + I_L$$

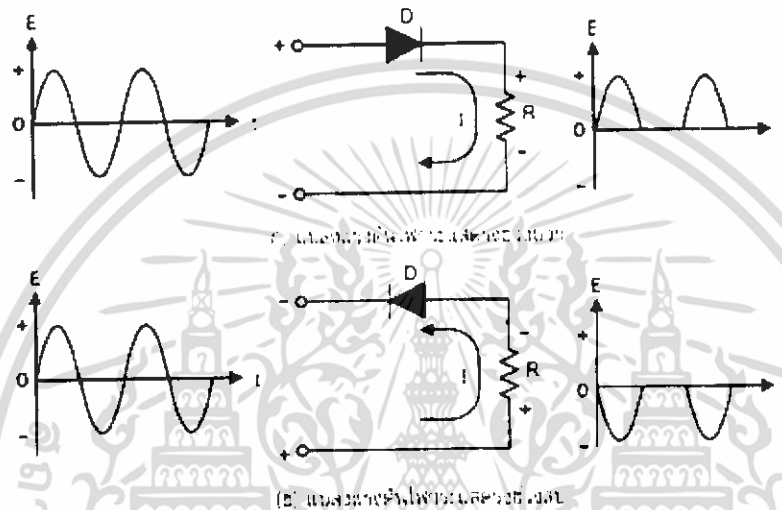
### 2.3. วงจรเรกติไฟเออร์

วงจรแปลงแรงดันไฟกระแสสลับ (VAC) เป็นแรงดันไฟตรง (VDC) มีชื่อเรียกว่า วงจรเรกติไฟเออร์ (Rectifier Circuit) การทำงานของตัวไดโอดอาศัยคุณสมบัติการจ่ายแรงดันไบแอสตรง และจ่ายแรงดันไบแอสกลับให้กับตัวไดโอด ทำให้ไดโอดนำกระแสและหยุดนำกระแส ตามสภาวะการจ่ายไบแอส แรงดันที่ออกมาเป็นไฟกระแสตรง (VDC) สามารถกำหนดได้ทั้งแรงดันไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสตรงช่วงบวก (+) หรือแรงดันไฟกระแสตรงช่วงลบ (-) ซึ่งขึ้นอยู่กับการจัดขาทางออกของตัวไดโอด ใช้ขาแคโทด (K) ให้เป็นทางออก ได้แรงดันไฟกระแสตรงช่วงบวก (+) ออกมา หรือใช้ขาแอนโนด (A) ให้เป็นทางออก ได้แรงดันไฟกระแสตรงช่วงลบ (-) ออกมา ลักษณะการทำงานแสดงดังรูปที่ 2.3.2



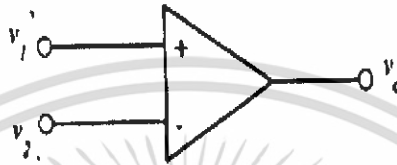
รูปที่ 2.14 การแปลงแรงดันไฟกระแสสลับเป็นแรงดันไฟกระแสตรง

จากรูปที่ 2.14 ก. เป็นวงจรแปลงแรงดันไฟกระแสสลับเป็นแรงดันไฟตรง ช่วงบวก (+) จ่ายออกมา วงจรใช้ไดโอดต่อขา แคโทด (K) เป็นขาทางออก ไดโอดจะได้ไบอัสตรงเมื่อสัญญาณป้อนเข้าด้านบนเป็นบวก (+) และด้านล่างเป็นลบ (-) มีกระแสไหลผ่านตัว R เกิดความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทาน R บนบวก (+) ล่างลบ (-) ได้แรงดันไฟกระแสสลับช่วงบวก (+) ทั้งช่วงออกมา ถ้าขณะที่สัญญาณป้อนเข้าด้านบนเป็นลบ (-) ด้านล่างเป็นบวก (+) ไดโอดรับไบอัสกลับไม่นำกระแสไม่มีแรงดันจ่ายออก

ส่วนรูปที่ 2.14 ข. เป็นวงจรแปลงแรงดันไฟกระแสสลับเป็นแรงดันไฟตรง ช่วงลบ (-) จ่ายออกมา วงจรใช้ไดโอดต่อขา แอนโนด (A) เป็นขาทางออก ไดโอดจะได้ไบอัสตรงเมื่อสัญญาณป้อนเข้าด้านบนเป็นลบ (-) และด้านล่างเป็นบวก (+) มีกระแสไหลผ่านตัว R เกิดความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทาน R บนลบ (-) ล่างบวก (+) ได้แรงดันไฟกระแสสลับช่วงลบ (-) ทั้งช่วงออกมา ถ้าขณะที่สัญญาณป้อนเข้าด้านบนเป็นบวก (+) ด้านล่างเป็นลบ (-) ไดโอดรับไบอัสกลับไม่นำกระแสไม่มีแรงดันจ่ายออก

## 2.4. การประยุกต์ใช้ออปแอมป์ในการจัดการสัญญาณ

ออปแอมป์ (Operational Amplifier : Op-Amp) เป็นวงจรรีเลย์ทรอนิกส์แบบสำเร็จหรือวงจรรวม (Integrated Circuit : IC) ที่มีการประยุกต์ใช้ในการจัดการสัญญาณเป็นอย่างมากในปัจจุบันเนื่องจากมีขนาดเล็กและสมรรถนะสูง สัญลักษณ์ของออปแอมป์แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 สัญลักษณ์ของออปแอมป์

คุณสมบัติที่สำคัญของออปแอมป์ในอุดมคติ จะประกอบไปด้วย

1. ความต้านทานระหว่างขา (+) และขา (-) จะมีค่าสูงมาก
2. อัตราการขยายสัญญาณความแตกต่าง  $A_0$  มีค่าที่สูงมาก
3. ความต้านทานเอาต์พุตมีค่าต่ำมาก
4. ผลต่างระหว่างแรงดันที่ขา (+) และแรงดันที่ขา (-) จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์
5. อัตราขยายสัญญาณรวมมีค่าต่ำมาก

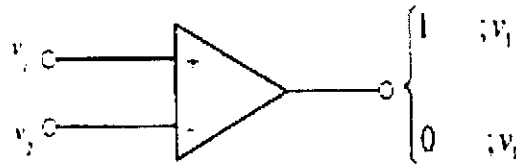
อัตราขยายสัญญาณความแตกต่าง คือ อัตราการขยายของออปแอมป์ เมื่อป้อนสัญญาณ  $V_1$  และ  $V_2$  ที่มีค่าไม่เท่ากัน

สำหรับอัตราขยายสัญญาณรวม คือ อัตราการขยายของออปแอมป์ เมื่อป้อนสัญญาณ  $V_1$  และ  $V_2$  ที่มีค่าเท่ากัน

ในการควบคุมระบบหรืออุปกรณ์ต่างจะแบ่งการควบคุมออกได้ 2 แบบ คือการควบคุมแบบอนาลอกและการควบคุมแบบดิจิทัล การควบคุมแต่ละแบบจะใช้วิธีการจัดการสัญญาณที่แตกต่างกัน สัญญาณอนาลอกจะเป็นสัญญาณต่อเนื่อง เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า เป็นต้น ส่วนสัญญาณดิจิทัลจะมีเพียง 2 สถานะ คือ “0” และ “1”

โดยทั่วไปในการจัดการสัญญาณอนาลอกสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ การเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณ (Signal level changes) การจัดสัญญาณให้เป็นเชิงเส้น (Linearization) การเปลี่ยนชนิดของสัญญาณ (Conversions) การกรองและอิมพีแดนซ์แมตชิ่ง (Filtering and impedance matching) โดยในการใช้งานอาจจะใช้เพียงประเภทใดประเภทหนึ่งหรือใช้ทั้งหมด 4 ประเภท ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสัญญาณที่ต้องการและการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 วงจรเปรียบเทียบ

วงจรเปรียบเทียบ (Comparator) เป็นอุปกรณ์พื้นฐานในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยมีสัญลักษณ์ที่เหมือนกับออปแอมป์แต่ไม่มีการป้อนกลับ ดังแสดงในรูปที่ 2.16 การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้ สัญญาณ 2 สัญญาณจะถูกนำมาเปรียบเทียบกันถ้า  $v_1 > v_2$  จะได้สัญญาณดิจิทัลเอาต์พุต  $D_0$  เป็น “1” แต่ถ้า  $v_1 < v_2$  จะได้สัญญาณดิจิทัลเอาต์พุต  $D_0$  เป็น “0” สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$D_0 = \begin{cases} 1 & ; v_1 > v_2 \\ 0 & ; v_1 < v_2 \end{cases}$$

การใช้งานของวงจรเปรียบเทียบโดยมากมักใช้ในการส่งสัญญาณเตือน (Alarm) เมื่อสัญญาณจากตัวตรวจวัดสูงเกินจากที่คาดไว้ สัญญาณเตือนนี้จะส่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์หรือระบบประมวลผลแบบดิจิทัล วงจรเปรียบเทียบสามารถที่จะนาเอาออปแอมป์มาใช้งานได้โดยตรง เพียงแต่สัญญาณเอาต์พุตของออปแอมป์จะมีค่าสูงกว่าระดับมาตรฐานที่ใช้กันคือ 5V. เท่ากับสัญญาณดิจิทัล “1” และ 0V. เท่ากับ สัญญาณดิจิทัล “0” ในระบบดิจิทัล ทัวไปสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากออปแอมป์จึงต้องทำการตัดขนาดของสัญญาณให้ได้ระดับสัญญาณที่ใช้งาน

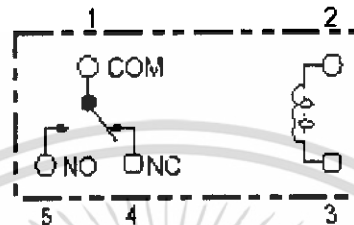
## 2.5 รีเลย์

รีเลย์ เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์มีหลักการทำงานคล้ายกับ ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโซลินอยด์ (solenoid) รีเลย์ใช้ในการควบคุมวงจร ไฟฟ้าได้อย่างหลากหลาย รีเลย์ เป็นสวิตช์ควบคุมที่ทำงานด้วยไฟฟ้า แบ่งออกตามลักษณะ การใช้งานได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. รีเลย์กำลัง ( Power relay) หรือมักเรียกกันว่า “คอนแทกเตอร์ “ (Contactor or Magnetic contactor) ใช้ในการควบคุมไฟฟ้ากำลัง มีขนาดใหญ่กว่ารีเลย์ธรรมดา
2. รีเลย์ควบคุม (Control Relay) มีขนาดเล็กกำลังไฟฟ้า ต่ำ ใช้ในวงจรควบคุมทั่วไปที่มี

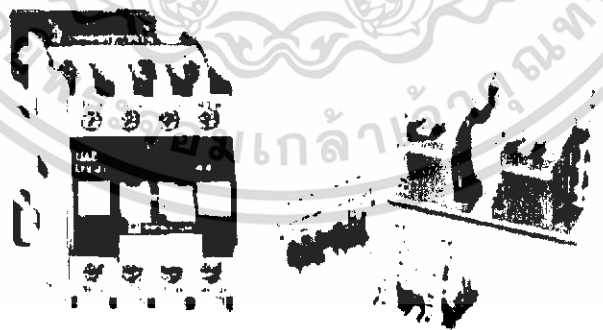
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังไฟฟ้าไม่มากนัก หรือเพื่อ การควบคุมรีเลย์หรือคอนแทกเตอร์ขนาดใหญ่ รีเลย์ควบคุม บางทีเรียกกันง่าย ๆ ว่า "รีเลย์"



รูปที่ 2.17 โครงสร้างภายในของรีเลย์ควบคุม

หน้าที่ของคอนแทกเตอร์ คือ การใช้กำลังไฟฟ้าจำนวนน้อย เพื่อไปควบคุมการตัดต่อกำลังไฟฟ้าจำนวนมาก คอนแทกเตอร์ทำให้เราสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าในตำแหน่งอื่นๆ ของระบบไฟฟ้าได้ สายไฟควบคุมให้รีเลย์กำลังหรือคอนแทกเตอร์ทำงานเป็นสายไฟขนาดเล็กต่อเข้ากับสวิตช์ควบคุมและคอยล์ของคอนแทกเตอร์ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าคอยล์อาจจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง หรือไฟฟ้ากระแสสลับก็ได้ ขึ้นอยู่กับการออกแบบการใช้คอนแทกเตอร์ทำให้สามารถควบคุมวงจรจากระยะไกล (Remote) ได้ ซึ่งทำให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติงานในการควบคุมกำลังไฟฟ้า

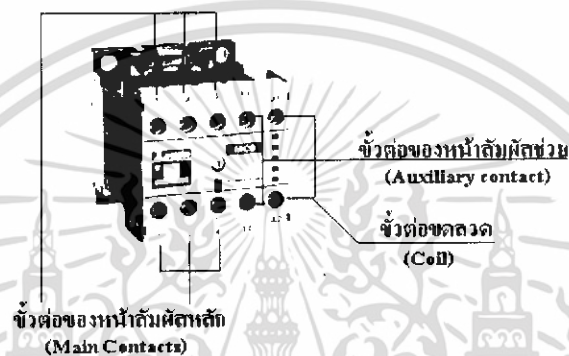


รูปที่ 2.18 คอนแทกเตอร์

คอนแทกเตอร์ (Contactors) นอกจากจะมีหน้าสัมผัสทั้งส่วนเคลื่อนที่ และหน้าสัมผัสส่วนที่อยู่กับที่แล้วหน้าสัมผัสภายในของคอนแทกเตอร์ยังแบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามลักษณะของการทำงาน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. หน้าสัมผัสหลัก (Main Contacts) โดยปกติแล้วหน้าสัมผัสหลักมี 3 อัน สำหรับส่งผ่านกำลังไฟฟ้า 3 เฟสเข้าไปสู่มอเตอร์ หรือ โหลดที่ใช้แรงดันไฟฟ้า 3 เฟส หน้าสัมผัสหลักของคอนแทกเตอร์มีขนาดใหญ่ทนแรงดันและกระแสได้สูง หน้าสัมผัสหลักเป็นชนิดปกติเปิด (Normally open; N.O. contact) อักษรกำกับ หน้าสัมผัสด้านแหล่งจ่ายคือ 1, 3, 5 หรือ L1, L2, L3 และด้านโหลดคือ 2, 4, 6 หรือ T1, T2, T3 ดังรูป



รูปที่ 2.19 หน้าสัมผัสของคอนแทกเตอร์

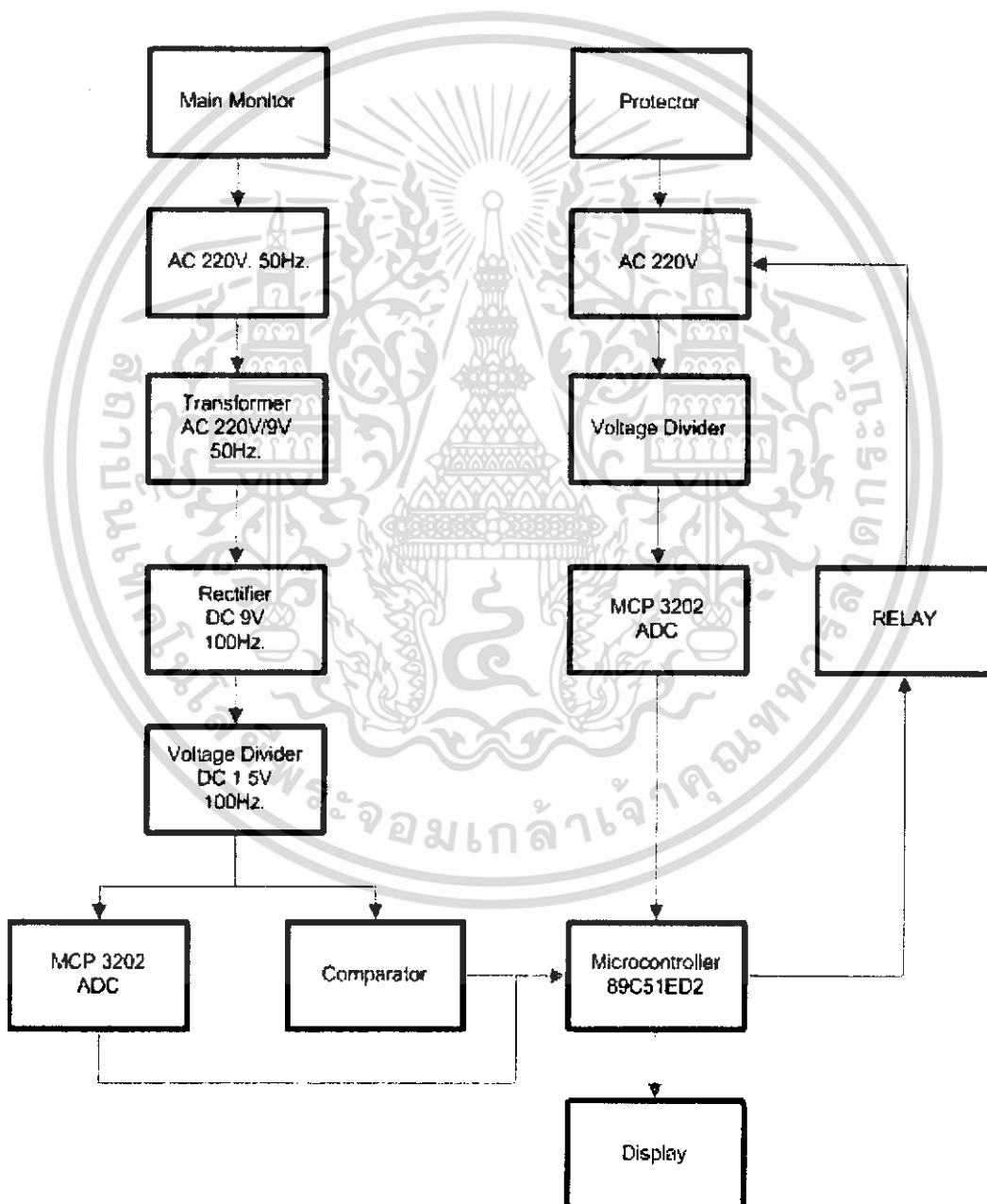
2. หน้าสัมผัสช่วย (Auxiliary Contacts) หน้าสัมผัสชนิดนี้ติดตั้งอยู่ด้านข้างทั้งสองด้านของตัวคอนแทกเตอร์ มีขนาดเล็กทนกระแสได้ต่ำทำหน้าที่ช่วยการทำงานของวงจร เช่น เป็นหน้าสัมผัสที่ทำให้คอนแทกเตอร์ทำงานได้ตลอดเวลา หรือเรียกว่า "holding" หรือ "maintaining contact" หน้าสัมผัสช่วยนี้เป็นหน้าสัมผัสแบบโยกได้สองทาง โดยจะถูกดึงขึ้น-ลงไปตามจังหวะการดูด-ปล่อยของคอนแทกเตอร์ อักษรกำกับหน้าสัมผัสช่วย จะเป็น 13, 14 สำหรับคอนแทกเตอร์ที่มีหน้าสัมผัสช่วยแบบปกติเปิด 1 ชุด ถ้ามี N.O. ชุดที่ 2 จะเป็น 23, 24 และหน้าสัมผัสช่วยแบบปกติปิดจะมีอักษรกำกับเป็น 31, 32 และ 41, 42

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

#### 3.1 ส่วนฮาร์ดแวร์ แบ่งออกตามส่วนประกอบของการวัดทั่วไปได้



รูปที่ 3.1 Block Diagram แสดงส่วนประกอบทั้งหมดของการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.1 ส่วนตรวจวัด

ในโครงการนี้เป็นการวัดไฟฟ้าโดยตรง จึงไม่ต้องมีส่วนของ Sensor หรือ Transducer ในการตรวจวัดหรือแปลงค่าหรือปริมาณที่ต้องการตรวจวัดไปเป็นปริมาณทางไฟฟ้า ซึ่งเราสามารถใช้อุปกรณ์ไฟและสายไฟเป็นตัวเชื่อมต่อได้เลย

### 3.1.2 ส่วนแปลงสัญญาณ

ส่วนนี้มีหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้อยู่ในรูปหรือขนาดที่เหมาะสมในการส่งเข้าไปในส่วนประมวลผล โดยส่วนแปลงสัญญาณนี้ประกอบไปด้วย

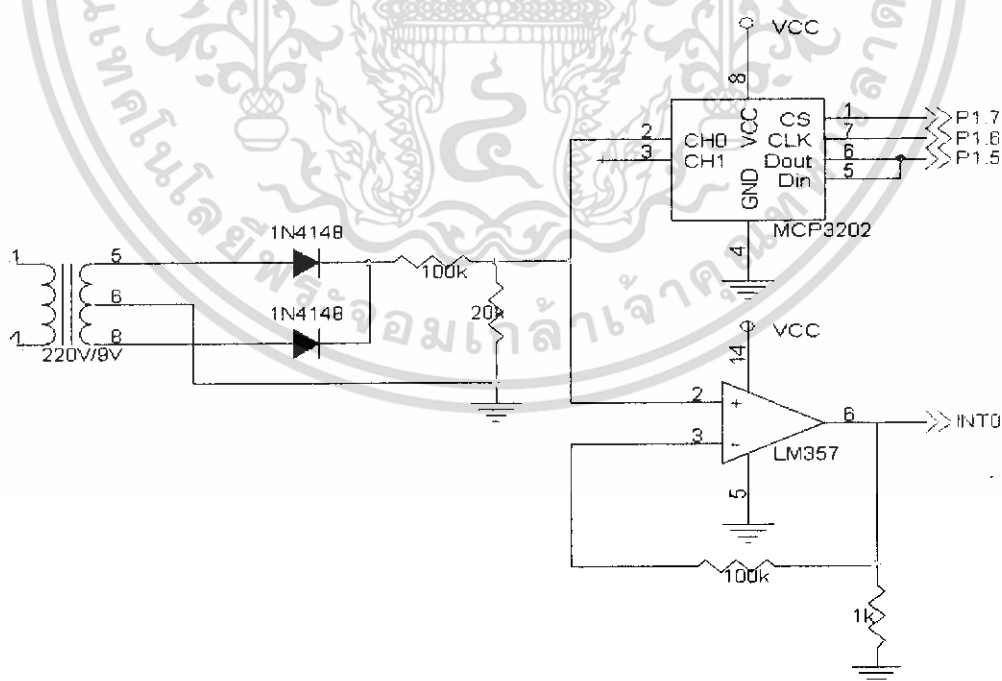
- หม้อแปลงไฟฟ้า แปลงไฟ AC 220V./50Hz. ไปเป็นไฟ AC 9V./50Hz.

- วงจรเรกติไฟเออร์ ทำหน้าที่รวมแรงดันจากหม้อแปลงที่มีเฟสต่างกัน จะได้ไฟ DC 9V./100 Hz.

- วงจรแบ่งแรงดัน ทำหน้าที่ลดแรงดันไฟ AC 9V./50Hz. ไปเป็น 0.5V./50Hz.

- Op-Amp ทำหน้าที่แปลงสัญญาณรูปไซน์ ให้เป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม ความถี่ 50Hz.

เมื่อได้สัญญาณสุดท้ายแล้วเราจึงนำไปเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อประมวลผลต่อไป



รูปที่ 3.2 วงจรที่ใช้สำหรับวัดแรงดันและความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 ส่วนประมวลผล

ส่วนประมวลผลทำหน้าที่ประมวลสัญญาณขาเข้าแล้วเปลี่ยนเป็นขนาดของสัญญาณที่จะใช้ในส่วนแสดงผลและส่วนบันทึกต่อไป โดยเราจะใช้ ชิพ 89C51RD2 ในการประมวลผล

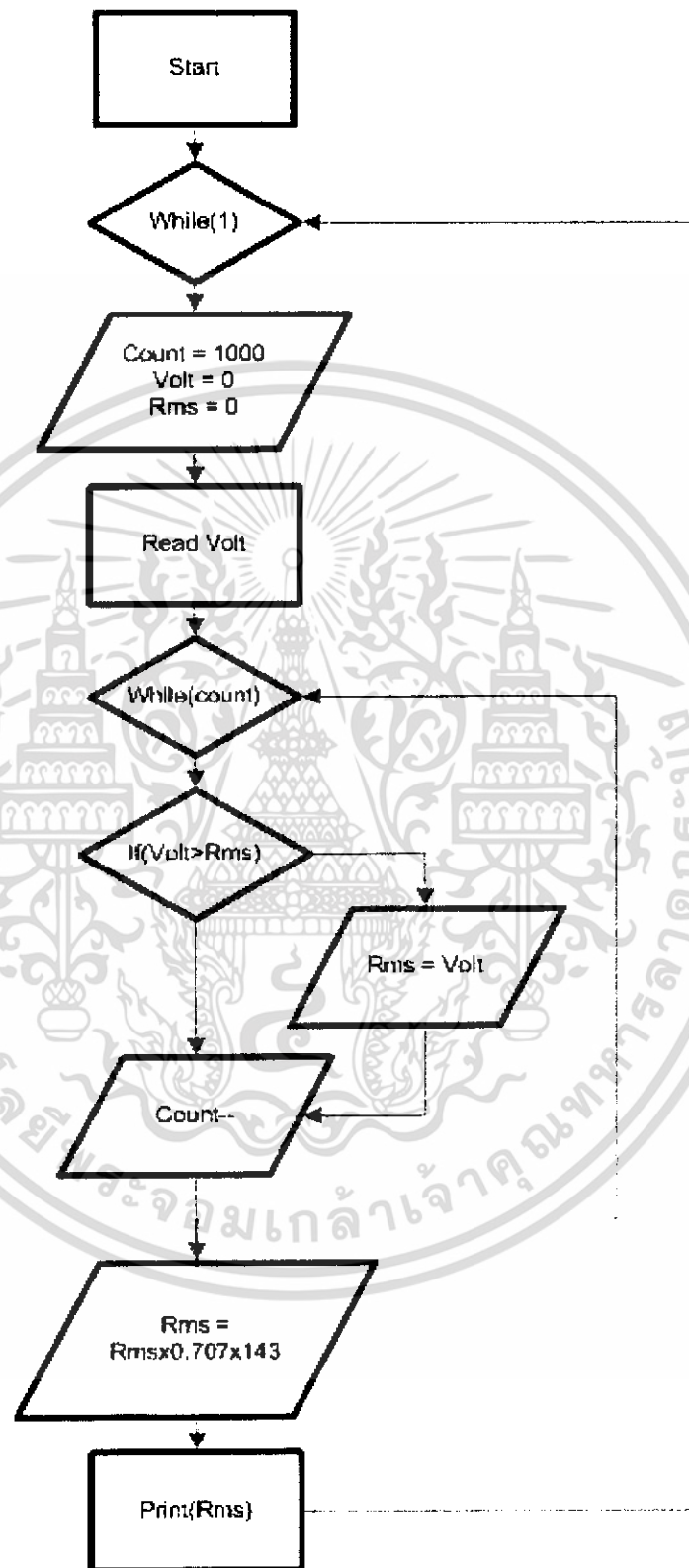
### 3.1.4 ส่วนแสดงผล

สัญญาณที่ถูกประมวลแล้วจะเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ผ่านทาง Serial Port

## 3.2 ส่วนซอฟต์แวร์ ซอฟต์แวร์ที่แบ่งเป็น 2 ส่วน

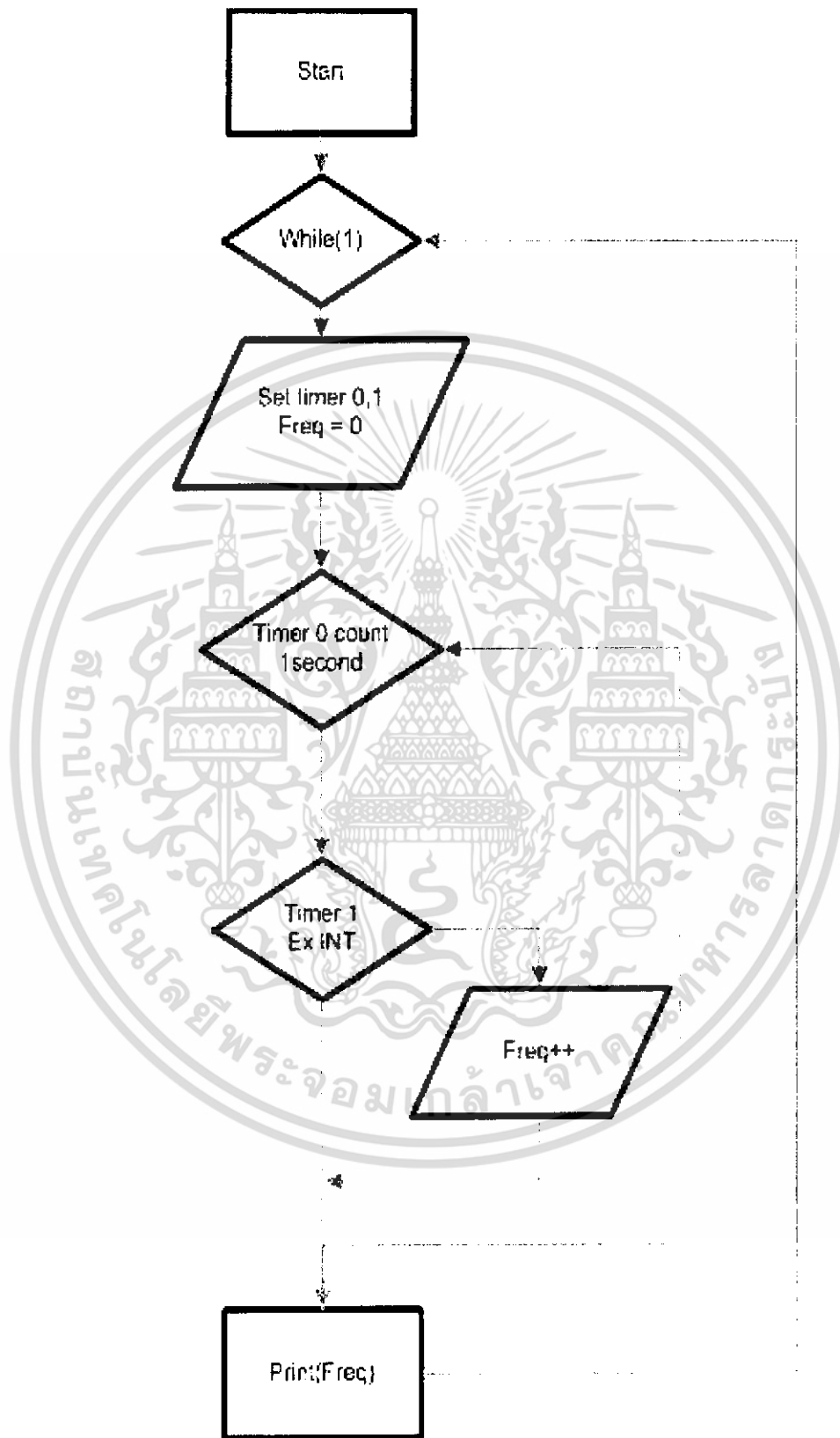
### 3.2.1 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

ใช้โปรแกรม keil ซึ่งเป็นคอมไพเลอร์ในการเขียนภาษาซีเพื่อควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์



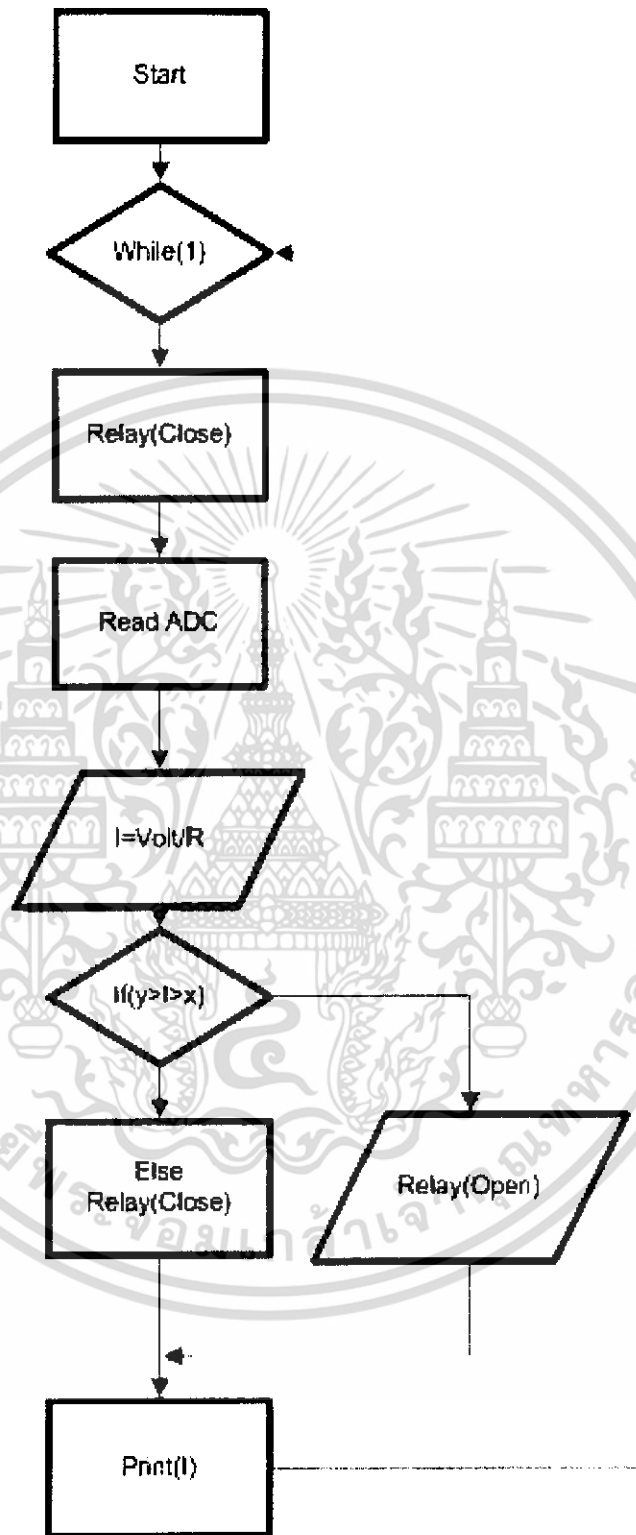
รูปที่ 3.3 Flow chart แสดงการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในการวัดแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 Flow chart แสดงการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในการวัดความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 Flow chart แสดงการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในการวัดกระแสและควบคุมรีเลย์

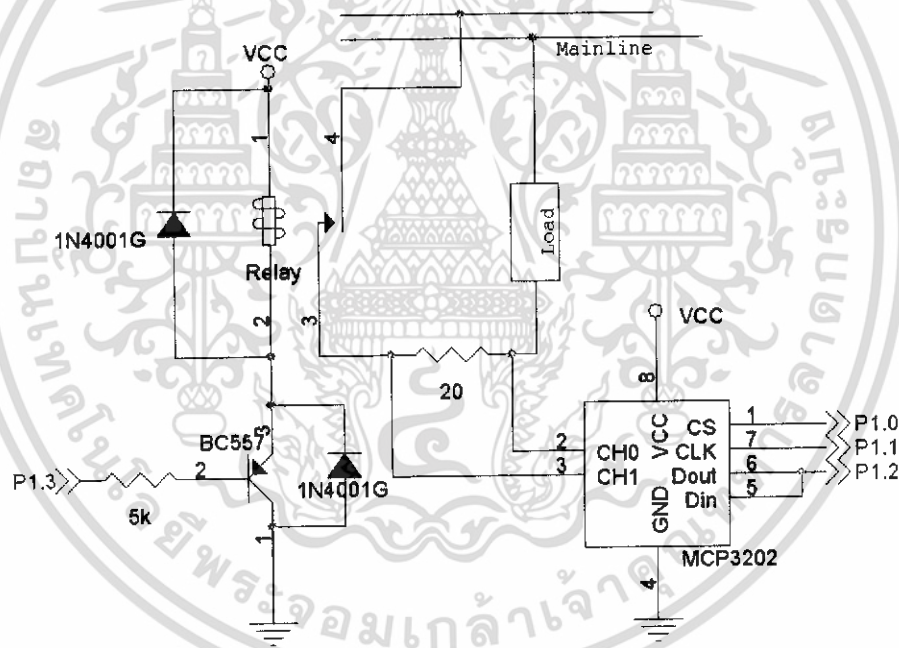
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 ซอร์ฟแวร์ที่ใช้ในการแสดงผล

ใช้โปรแกรม Sterm ในการแสดงค่าของแรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่วัดได้ผ่านทาง serial port (RS-232)

### 3.3 วงจรที่ใช้ในการตัดไฟเมื่อไฟตกหรือไฟเกิน

จากวิธีการข้างต้น ได้มีการพัฒนาให้โครงงานนี้มีความสามารถและมีประโยชน์มากขึ้น เพื่อสามารถนำไปใช้งานในชีวิตประจำวันได้จริง จึงได้มีการเพิ่มส่วนที่ใช้ในการวัดกระแสและกำลังไฟ ซึ่งเราสามารถนำค่าเหล่านี้มาใช้ในการคำนวณเพื่อหาวิธีในการตัดไฟฟ้าก่อนที่เครื่องใช้ไฟฟ้าจะชำรุดเสียก่อน โดยนำรีเลย์มาช่วยในการตัดไฟ ดังรูป



รูปที่ 3.5 วงจรตัดไฟฟ้าเมื่อไฟตกหรือไฟเกิน

จากรูปเราได้ทำการควบคุมรีเลย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเมื่อกระแสหรือกำลังไฟฟ้าลดหรือเกินจากที่กำหนด รีเลย์จะทำการตัดไฟฟ้าไม่ให้อุปกรณ์ไฟฟ้า(โหลด)ทำงานต่อไป โดยในการวัดกระแสหรือกำลังไฟฟ้านั้น เราจะใช้ ตัวต้านทาน(R) มาต่ออนุกรมกับโหลด แล้วทำการวัดแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน เมื่อได้ค่าแรงดัน เราก็สามารถหาค่ากระแสได้จากสูตร

$$I = \frac{V_R}{R}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $I$  คือกระแสที่ไหลผ่านวงจร (A)  
 $V_R$  คือแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน (Volt)  
 $R$  คือค่าของตัวต้านทาน( $\Omega$ )

เมื่อเราได้ค่า  $I$  แล้วเราก็สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าได้จาก

$$P = IV$$

เมื่อ  $P$  คือค่ากำลังไฟฟ้า (Watt)  
 $I$  คือกระแสที่ไหลผ่านวงจร (A)  
 $V$  คือแรงดันไฟฟ้า (Volt)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

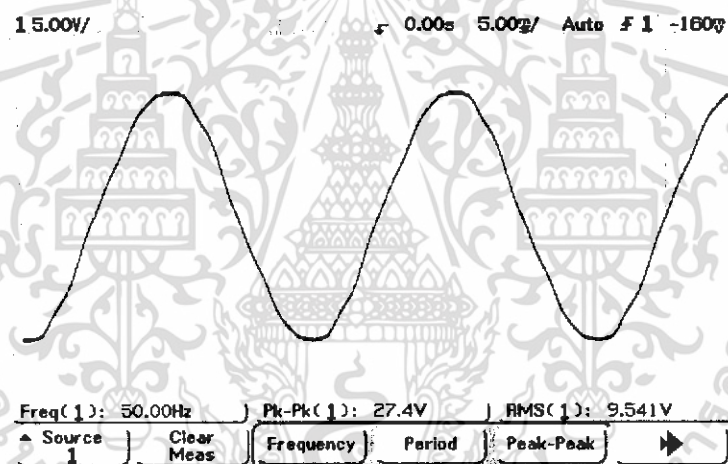
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

จากวิธีการทดลองที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 สามารถแสดงผลของการวัดและประมวลผลออกมา โดยผลการทดลองที่ได้มีดังนี้

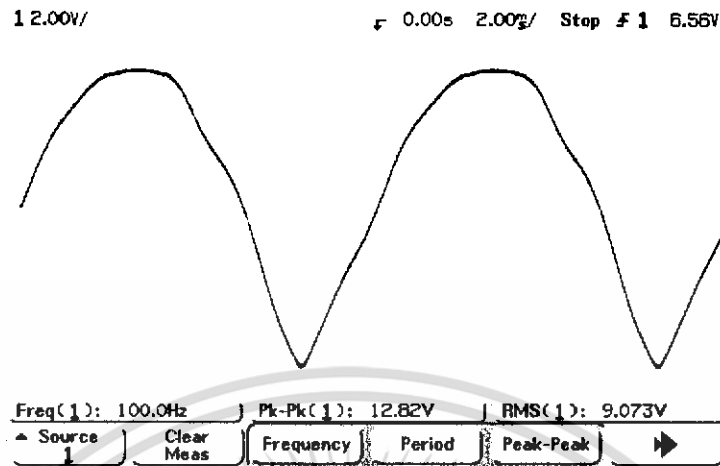
#### 4.1 Voltage

4.1.1 หม้อแปลงไฟฟ้า แปลงไฟ AC 220V./50Hz. ไปเป็นไฟ AC 9V./50Hz. โดยแบ่งสัญญาณออกเป็น 3 เส้น คือ +9V. 2 เส้นที่มีเฟสต่างกัน 180 องศา และ Ground 1 เส้น



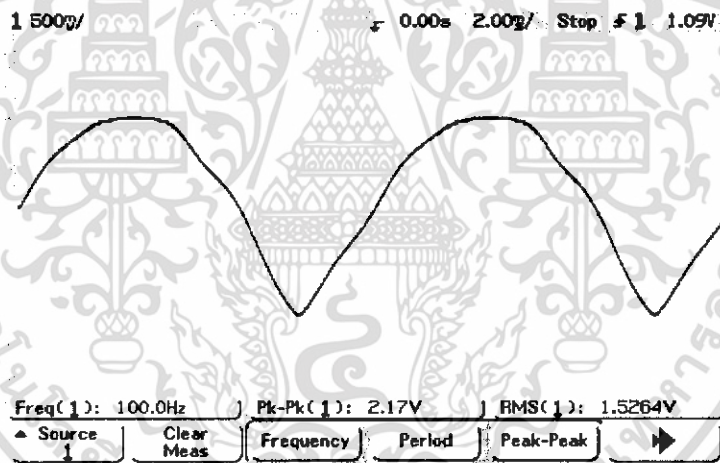
รูปที่ 4.1 สัญญาณที่ถูกแปลงด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า

4.1.2 วงจรเรกติไฟเออร์ ทำหน้าที่รวมสัญญาณไฟ 9V. ทั้ง 2 สัญญาณ โดยตัดสัญญาณด้านลบออกให้เหลือแต่ด้านบวก ทำให้ได้ความถี่เท่ากับ 100Hz.



รูปที่ 4.2 สัญญาณที่ผ่านวงจร Rectifier

4.1.3 วงจรแบ่งแรงดัน ทำหน้าที่ลดแรงดันไฟ DC 9V./100Hz. ไปเป็น 1.526V./100Hz.



รูปที่ 4.3 สัญญาณที่ผ่านวงจรแบ่งแรงดัน

เมื่อได้สัญญาณนี้มาแล้วจึงนำไปเชื่อมต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยผ่าน MCP3202 ซึ่งเป็น ADC แบบ 12 บิต จากนั้นจึงประมวลผลเพื่อเก็บค่าและแสดงผลต่อดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

STERM ... SILA Research Co., Ltd.
File Options About
Open Port
-----Mainline Monitor -----
17/03/06 06:08:01 Urms= 220 Freq = 50
17/03/06 06:08:02 Urms= 220 Freq = 50
17/03/06 06:08:03 Urms= 220 Freq = 50
17/03/06 06:08:04 Urms= 220 Freq = 50
17/03/06 06:08:05 Urms= 220 Freq = 50
17/03/06 06:08:06 Urms= 219 Freq = 50
17/03/06 06:08:07 Urms= 219 Freq = 50
17/03/06 06:08:08 Urms= 219 Freq = 50
17/03/06 06:08:09 Urms= 219 Freq = 50
17/03/06 06:08:10 Urms= 219 Freq = 50
17/03/06 06:08:11 Urms= 219 Freq = 50
17/03/06 06:08:12 Urms= 219 Freq = 50
17/03/06 06:08:13 Urms= 219 Freq = 50
17/03/06 06:08:14 Urms= 219 Freq = 50
17/03/06 06:08:15 Urms= 220 Freq = 50
17/03/06 06:08:16 Urms= 220 Freq = 50
17/03/06 06:08:17 Urms= 219 Freq = 50
17/03/06 06:08:18 Urms= 219 Freq = 50
17/03/06 06:08:19 Urms= 219 Freq = 50
17/03/06 06:08:20 Urms= 219 Freq = 50
17/03/06 06:08:21 Urms= 219 Freq = 50

STATUS : Disconnect

```

รูปที่ 4.4 การแสดงผลผ่านคอมพิวเตอร์

```

STERM ... SILA Research Co., Ltd.
File Options About
Close Port
17/03/06 07:01:34 Urms= 220 Freq = 50
17/03/06 07:01:35 Urms= 220 Freq = 50
>> 2 = Print History to Monitor..
Please Enter 3 Digit...
Begin Data : 000
End Data : 010

History Data

0 : 17/03/06 06:53:00 Volt = 220 Freq = 50
1 : 17/03/06 06:54:00 Volt = 221 Freq = 51
2 : 17/03/06 06:55:00 Volt = 221 Freq = 51
3 : 17/03/06 06:57:00 Volt = 221 Freq = 51
4 : 17/03/06 06:58:00 Volt = 221 Freq = 51
5 : 17/03/06 06:59:00 Volt = 221 Freq = 51
6 : 17/03/06 07:00:00 Volt = 221 Freq = 51
7 : 17/03/06 07:01:00 Volt = 220 Freq = 50
8 : 17/03/06 06:37:00 Volt = 221 Freq = 51
9 : 17/03/06 06:38:00 Volt = 221 Freq = 51
10 : 17/03/06 06:39:00 Volt = 221 Freq = 51

End of data...
>> █

STATUS : Connect com2 : 8 : 1 : NCNE : 9600

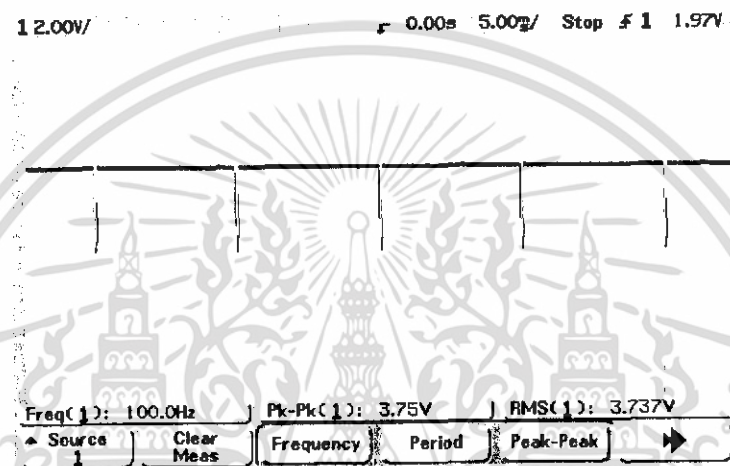
```

รูปที่ 4.5 การอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำEEPROM ผ่านคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 Frequency

4.2.1 นำสัญญาณที่ได้จาก 4.1.3 ไปแปลงสัญญาณจากรูปไซน์ ให้เป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม ความถี่ 100Hz. โดยใช้วงจรเปรียบเทียบ(Comparator) แล้วจึงนำไปเชื่อมต่อกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อวัดค่าความถี่



รูปที่ 4.6 สัญญาณที่ออกจากวงจร Comparator

## 4.3 Current and Power

เราสามารถวัดกระแสได้โดยการต่อ ตัวต้านทาน(R) อนุกรมกับ Load (อุปกรณ์ไฟฟ้า) ดังที่กล่าวไว้ แล้วในบทที่ 3 ส่วนในบทนี้เราจะทำการวัดค่ากระแสโดยการหา Voltage ที่ตกคร่อม R แล้ว เชื่อมต่อเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้ MCP3202 เช่นเดียวกับในหัวข้อ 4.1 เพื่อประมวลผล โดยใช้สูตร  $I = \frac{V}{R}$  และค่ากำลังได้จาก  $P = IV$  ซึ่งเราได้ใช้ ค่า  $R = 10 \Omega$  ในการทดลองและได้ผล ดังนี้

```

STERM - SILA Research Co., Ltd.
File Options About
Close Put
I = 0.118
I = 0.121
I = 0.132
I = 0.126
I = 0.120
I = 0.120
I = 0.122
I = 0.122
I = 0.120
I = 0.118
I = 0.120
I = 0.119
I = 0.125
I = 0.125
I = 0.120
I = 0.121
I = 0.128
I = 0.117
I = 0.119
I = 0.119
I = 0.121
I = 0.118
I = 0.122
I = 0.122
I = 0.120
STATUS : Connect com1 : 8 : 1 : NONE : 9600
SILA

```

รูปที่ 4.9 กระแสที่คำนวณออกมาได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์

เมื่อเราได้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจรนี้แล้วเราจึงนำค่านี้ไปใช้เป็นค่าอ้างอิงในการป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เราใช้โดยใช้ค่าภายใน Maximum และ Minimum เป็นช่วงที่ยอมให้อุปกรณ์ทำงานได้เช่น ให้ค่า Max และ Min ในช่วง  $\pm 20\%$  คือค่ากระแสต้องอยู่ในช่วง  $\pm 20mA \times 20\% = \pm 4mA$ . (16mA. ถึง 24mA.) ถ้าเกินจากช่วงนี้จะทำการตัดไฟโดยใช้รีเลย์ควบคุมอีกต่อหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองเราสามารถวัดค่าแรงดันและความถี่ออกมาได้โดยมีความละเอียดที่ 1 V. และ 1 Hz. ตามลำดับ ข้อมูลจะแสดงผลผ่านโปรแกรม Hyper terminal ทุกๆ 1 วินาที แล้วนำไปเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีขนาดความจุ 2048 byte จากขนาดหน่วยความจำดังกล่าวสามารถเก็บข้อมูลได้ 227 ข้อมูล ซึ่งความถี่ในการเก็บข้อมูลมีผลต่อระยะเวลาในการเก็บข้อมูล(จนเต็ม) ได้ดังนี้

- เก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที จะสามารถเก็บข้อมูลได้ในระยะเวลาประมาณ 4 ชม.
- เก็บข้อมูลทุกๆ 5 นาที จะสามารถเก็บข้อมูลได้ในระยะเวลาประมาณ 19 ชม.
- เก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที จะสามารถเก็บข้อมูลได้ในระยะเวลาประมาณ 38 ชม.

ซึ่งหน่วยความจำอาจมีขนาดความจุเล็กไป อาจมีการพัฒนาให้มีการเพิ่มหน่วยความจำให้มีขนาดความจุมากขึ้น จึงจะสามารถเก็บข้อมูลได้จำนวนมากทำให้สามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังได้เป็นระยะเวลานานๆ

อีกส่วนหนึ่งของโครงการพิเศษนี้คือส่วนวัดกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์ไฟฟ้าและสามารถตัดไฟฟ้าได้เมื่อกระแสนั้นมีค่ามากหรือน้อยกว่าที่อุปกรณ์ไฟฟ้าตัวนั้นจะสามารถทำงานได้ต่อ ซึ่งในการวัดกระแสนั้น สามารถวัดกระแสที่ความละเอียด 0.001 A. และกำหนดขอบเขตของกระแสที่ต้องการควบคุมเพื่อสั่งให้รีเลย์ตัดไฟฟ้าก่อนที่อุปกรณ์ไฟฟ้าจะเสียได้

ข้อจำกัดต่างๆของโครงการพิเศษนี้

- ความละเอียดของการวัดแรงดัน คือ 1 V.
- ความละเอียดของการวัดความถี่ คือ 1 Hz.
- ความละเอียดของการวัดกระแส คือ 1 mA.
- ส่วนป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าสามารถทนกระแสได้สูงสุด 2 A.

## เอกสารอ้างอิง

วรารุฒิ เถาลัดดา. ปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ 2. ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Instrumentation Engineering Laboratory 1. ภาควิชาวิศวกรรมวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

บอดตัน, ดับบลิว. การวัดและการทดสอบทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น  
,2543

มงคล ทองสงคราม. ทฤษฎีวงจรไฟฟ้า = Electrical Circuits. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ.  
พริ้นติ้ง, 2539



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
*/Source Code For Measure Vrms and Frequency*/
```

```
#include<REG51ED2.H>
#include<STDIO.h>
#include<intrins.h>
#include<absacc.h>
#include"I2C.h"
#include"EEPROM.H"
#include"EEDCOM.H"
```

```
#define port_A XBYTE[0x9000]
#define port_B XBYTE[0x9001]
#define port_C XBYTE[0x9002]
#define port_con XBYTE[0x9003]
```

```
sbit DATA = P1^7;
sbit CLK = P1^6;
sbit CS = P1^5;
```

```
unsigned int volt;
unsigned int rms,count2;
unsigned int adr;
unsigned char RTC_ADDR = 0xD0;
char *menu[] = "\n Input Key To Select Mode\
\n =====\
\n 0 = Menu\
\n 1 = Print current time\
\n 2 = Print History to Monitor\n\
\n =====";
```

```
//initial serial port
```

```
void serinit()
```

```
{
    SCON=0x50;
    TMOD=0x20;
    TH1=0xfd;
    TI=1;
    TR1=1;
}
```

```
// mSec Delay 11.0592 Mhz
```

```
void delay(unsigned int count) // mSec Delay 11.0592 Mhz
```

```
{
    unsigned int i;
    while(count)
    {
        i=110;
        while(i>0)
            i--;
        count--;
    }
}
```

```
typedef struct CLOCK{
```

```
    char sec;
    char min;
    char hour;
    char day;
    char date;
    char month;
    char year;
```

```
}CLOCK;
```

```
CLOCK RTC;
```

```
void RTC_WRITE(unsigned char addr,unsigned char ad_in,unsigned char dat);
```

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    I2C_start();
    if(I2C_wrbyte(addr))
        I2C_stop();
    if(I2C_wrbyte(ad_in))
        I2C_stop();
    I2C_wrbyte(dat);
    I2C_stop();
}

void RTC_WRITE_DATA()
{
    RTC_WRITE(RTC_ADDR,0,RTC.sec);
    RTC_WRITE(RTC_ADDR,1,RTC.min);
    RTC_WRITE(RTC_ADDR,2,RTC.hour);
    RTC_WRITE(RTC_ADDR,3,RTC.day);
    RTC_WRITE(RTC_ADDR,4,RTC.date);
    RTC_WRITE(RTC_ADDR,5,RTC.month);
    RTC_WRITE(RTC_ADDR,6,RTC.year);
}

void RTC_READ(unsigned char addr,unsigned char ad_in,unsigned char *dat)
{
    I2C_start();
    if(I2C_wrbyte(addr))
        I2C_stop();
    if(I2C_wrbyte(ad_in))
        I2C_stop();
    I2C_start();
    if(I2C_wrbyte(addr|0x01))
        I2C_stop();
    *dat = I2C_rdbyte();
    I2C_stop();
}

void RTC_READ_DATA()
{
    RTC_READ(RTC_ADDR,0,&RTC.sec);
    RTC_READ(RTC_ADDR,1,&RTC.min);
    RTC_READ(RTC_ADDR,2,&RTC.hour);
    RTC_READ(RTC_ADDR,3,&RTC.day);
    RTC_READ(RTC_ADDR,4,&RTC.date);
    RTC_READ(RTC_ADDR,5,&RTC.month);
    RTC_READ(RTC_ADDR,6,&RTC.year);
}

void settime()
{
    RTC.hour = 0x21;
    RTC.min = 0x38;
    RTC.sec = 0x00;
    RTC.day = 0x1;
    RTC.date = 0x05;
    RTC.month = 0x03;
    RTC.year = 0x06;
    RTC_WRITE_DATA();
}

void wri_ee(void)
{
    if(RTC.sec==00)
    {
        eeprom_write(addr,RTC.date);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        adr++;
        eeprom_write(adr,RTC.month);
        adr++;
        eeprom_write(adr,RTC.year);
        adr++;
        eeprom_write(adr,RTC.hour);
        adr++;
        eeprom_write(adr,RTC.min);
        adr++;
        eeprom_write(adr,RTC.sec);
        adr++;
    }
}

int read_ADC(char n)
{
    unsigned int k;
    char i,channel;
    k=0;

    /* set config to use A/D 0x0d = 1101
    -> start bit = 1
    -> SGL/~DIFF = 1 (single ended mode)
    -> ODD/~SIGN = 0 (use channel 0)
    -> MSBF = 1 (get MSB first, but if set 0 get LSB first)
    */

    CS=0; // start use A/D

    if(n==0) channel= 0x09; //use channel 0
    else channel= 0x0b; //use channel 1

    // send config nibble dummy read NULL bit after config nibble
    for(i=0; i<4; i++)
    {
        CLK=0;
        if(channel&8) DATA=1;
        else DATA=0;
        CLK=1;
        channel <<=1;
    }

    DATA=1; //EDIT.....
    //P0 |= 2; // change to input bit
    CLK=0;

    // now read 12-bit data
    for(i=0; i<12; i++)
    {
        k<<=1;
        CLK=1;
        CLK=0;
        if(DATA==1) k |=1; //EDIT.....
        else k &= ~1;
    }

    CS=1; //end use ADC
    k&=0xffff;
    volt=k*12;
    return k; //use 12 digit only
}

void readvolt()
{
    count2=1000;
    rms=0;
    while(count2)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        read_ADC(0);
        if(volt>rms)
        {
            rms=volt;
        }
        count2--;
    }
    rms=rms*0.707*1.43/100;
}

printtime()
{
    while(1)
    {
        readvolt();
        RTC_READ_DATA();
        wri_ee();
        printf("\r%02bx", RTC.date);
        printf("/%02bx", RTC.month);
        printf("/%02bx", RTC.year);
        printf(" %02bx", RTC.hour);
        printf(":%02bx", RTC.min);
        printf(":%02bx", RTC.sec);
        printf("\tVrms= %d ", rms);
        delay(500);
    }
}

main()
{
    char c;
    adr=0;
    serinit();
    port_con = 0x88;
    settime();
    while(1)
    {
        do
        {
            printf("\n>> ");
            c = _getkey();
        }
        while(c==0x13);
        printf("%c", c);
        if(c==0x30) puts(*menu);
        if(c==0x31) printtime();
        if(c==0x32) history();
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*Source Code for Electronic Device Protector*/

#include<REG51ED2.H>
#include<STDIO.h>
#include<intrins.h>
#include<absacc.h>

sbit DATA = P1^2; // 5,6
sbit CLK = P1^1; // 7
sbit CS = P1^0; // 1
sbit RL = P1^3;
sbit SW = P1^4;

unsigned int volt,I,V;
unsigned int rms,count2;
float I2;

//initial serial port
void serinit()
{
    SCON=0x50;
    TMOD=0x21;
    TH1=0xfd;
    TI=1;
    TR1=1;
}

// mSec Delay 11.0592 Mhz
void dmsec (unsigned int count) // mSec Delay 11.0592 Mhz
{
    unsigned int i;
    while(count)
    {
        i=111;
        while(i>0)
            i--;
        count--;
    }
}

int read_ADC(char n)
{
    unsigned int k;
    char i,channel;
    k=0;

    /* set config to use A/D
    0x0d = 1101
    0x0f = 1111
    0x09 = 1001
    0x0b = 1011

    -> start bit = 1
    -> SGL/~DIFF = 1/0 (single ended/differential mode)
    -> ODD/~SIGN = 0/1 (use channel 0/1)
    -> MSBF = 1 (get MSB first, but if set 0 get LSB first)
    */

    CS=0; // start use A/D

    if(n==0) channel= 0x09; //use channel 0-1
    else channel= 0x0b; //use channel 1-0

    // send config nibble dummy read NULL bit after config nibble
    for(i=0; i<4; i++)
    {
        CLK=0;
        if(channel&8) DATA=1;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else DATA=0;
CLK=1;
channel <<=1;
}
DATA=1; //EDIT.....
//PO |= 2; // change to input bit
CLK=0;

// now read 12-bit data
for(i=0; i<12; i++)
{
k<<=1;
CLK=1;
CLK=0;
if(DATA==1) k |=1; //EDIT.....
else k &= ~1;
}
CS=1; //end use ADC
k&=0xfff;
volt=k*12;
return k; //use 12 digit only
}

void main()
{
serinit();
RL = 0;
SW = 0;
while(1)
{
count2=1000;
rms=0;
while(count2>=1)
{
read_ADC(1);
if(volt>rms)
{
rms=volt;
//printf("\n\rms= %u ", rms);
}
count2--;
}
rms=(rms*0.707);
//printf("\nrms= %u ", rms);
//printf("\nV = %d.%d%d ", rms/10000, (rms/1000)%10, (rms/100)%10);
if(rms==4666) {rms = 0;}
if(rms==9010) {rms = 0;}
if(rms==9001) {rms = 0;}
if(rms==34741) {rms = 0;}
if(rms<=500) {rms = 0;}
I=rms*0.535;
//printf("\nI = %u", I);
printf("\nI = %u.%u%u%u", I/10000, (I/1000)%10, (I/100)%10, (I/10)%10);
if(I>2250){RL = 1;}
if(I<250){RL = 1;}
if(SW==1){RL = 0;}
dmsec(500);
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Migration from T89C51RD2 to AT89C51RD2/ED2

This application note is a guide to assist current T89C51RD2 users in converting existing designs to the AT89C51RD2/ED2 devices. In addition to the functional changes, the electrical characteristics of the AT89C51RD2/ED2 are different including an increase in operating power supply range. Check the datasheet for detailed information.

To permit an easy migration, this application note compares the features, memory organization/accesses, SFRs, bootloader functionality and AC/DC parameters.

**8051**  
**Microcontrollers**

**Application Note**

### Feature Comparison

Description	T89C51RD2	AT89C51RD2/ED2
Program Memory	64K bytes (63K bytes user Flash memory and 1K bytes Flash bootloader)	Full 64K bytes program/code memory
In-System Programming (ISP)	1K byte Flash bootloader mapped in the upper 64K bytes user Flash including serial ISP and Flash API	2K bytes ROM bootloader overlapped with user Flash including fast serial ISP and Flash API
RAM	256 bytes	256 bytes
XRAM	1024 bytes	1792 bytes
On-Chip EEPROM data	2048 bytes 64 bytes page write	2048 bytes byte write (ED2 only)
16-bit Timers	Yes (3)	Yes (3)
X2 Mode	CPU & Programmable separately by peripherals	CPU & Programmable separately by peripherals
SP1 Interface	No	Yes
Keyboard Interface	No	Yes (8 inputs)
Prescaler	No	Yes
Baud Rate Generator	No	Yes
Internal Interrupt sources	5	10
Maximum Frequency @ 5V	40 MHz X1 mode 20 MHz X2 mode	40 MHz X1 mode 20 MHz X2 mode
Power Supply	4.5 to 5.5V (M version) 2.7 to 3.3V (L version)	Unique Operating Voltage: 2.7V to 5.5V
Pinout	T89C51RD2 and AT89C51RD2/ED2 are pinout compatible.	

Rev. 4239A-80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7V Dual Channel 12-Bit A/D Converter with SPI® Serial Interface

### FEATURES

- 12-bit resolution
- $\pm 1$  LSB max DNL
- $\pm 1$  LSB max INL (MCP3202-B)
- $\pm 2$  LSB max INL (MCP3202-C)
- Analog inputs programmable as single-ended or pseudo-differential pairs
- On-chip sample and hold
- SPI® serial interface (modes 0,0 and 1,1)
- Single supply operation: 2.7V - 5.5V
- 100ksps max. sampling rate at  $V_{DD} = 5V$
- 50ksps max. sampling rate at  $V_{DD} = 2.7V$
- Low power CMOS technology
  - 500nA typical standby current, 5 $\mu$ A max.
  - 550 $\mu$ A max. active current at 5V
- Industrial temp range: -40°C to +85°C
- 8-pin PDIP SOIC and TSSOP packages

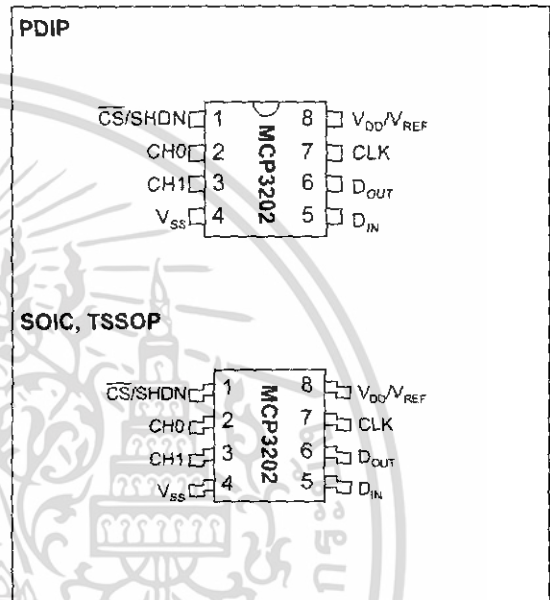
### APPLICATIONS

- Sensor Interface
- Process Control
- Data Acquisition
- Battery Operated Systems

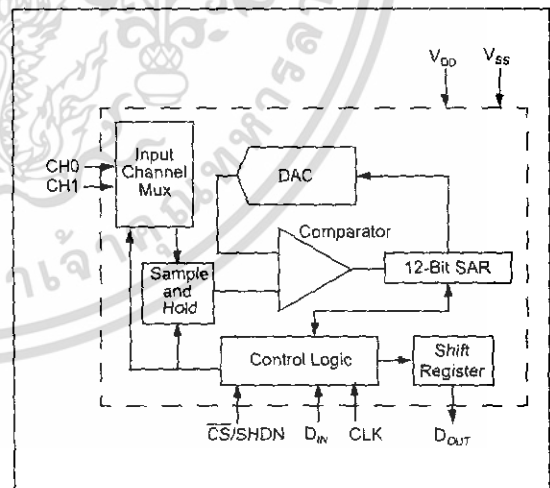
### DESCRIPTION

The Microchip Technology Inc. MCP3202 is a successive approximation 12-bit Analog-to-Digital (A/D) Converter with on-board sample and hold circuitry. The MCP3202 is programmable to provide a single pseudo-differential input pair or dual single-ended inputs. Differential Nonlinearity (DNL) is specified at  $\pm 1$  LSB, and Integral Nonlinearity (INL) is offered in  $\pm 1$  LSB (MCP3202-B) and  $\pm 2$  LSB (MCP3202-C) versions. Communication with the device is done using a simple serial interface compatible with the SPI protocol. The device is capable of conversion rates of up to 100ksps at 5V and 50ksps at 2.7V. The MCP3202 device operates over a broad voltage range (2.7V - 5.5V). Low current design permits operation with typical standby and active currents of only 500nA and 375 $\mu$ A, respectively. The MCP3202 is offered in 8-pin PDIP, TSSOP and 150mil SOIC packages.

### PACKAGE TYPES

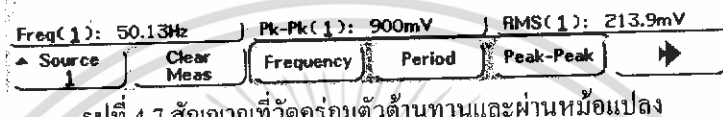


### FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

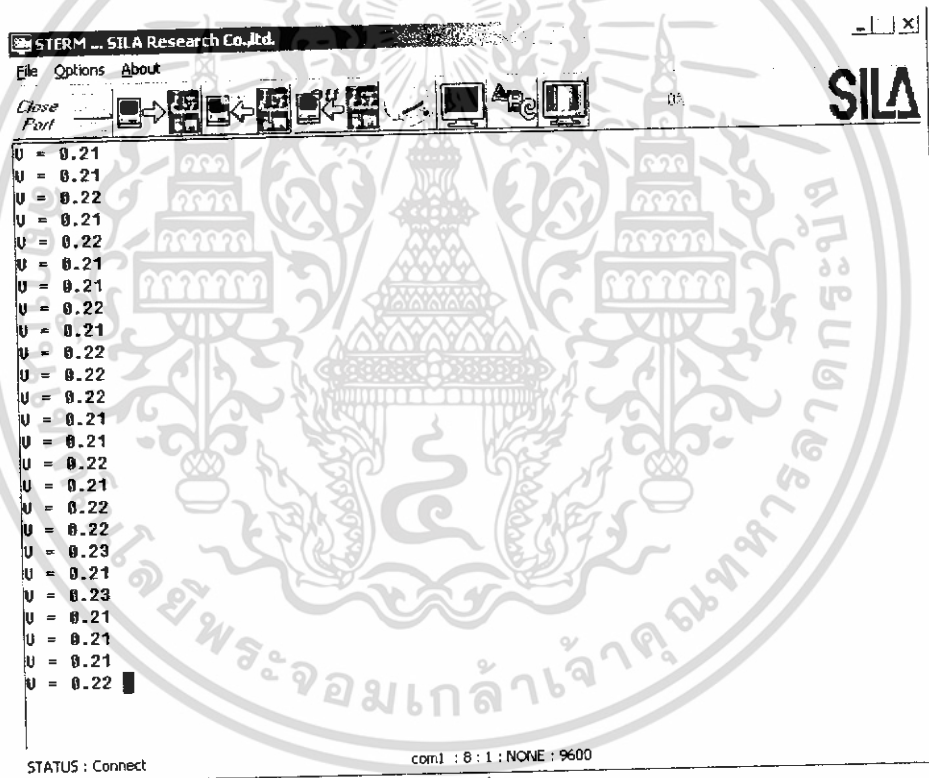


1 200%

0.00s 5.00g/ Stop F 1 3.20g



รูปที่ 4.7 สัญญาณที่วัดครอมตัวต้านทานและผ่านหม้อแปลง



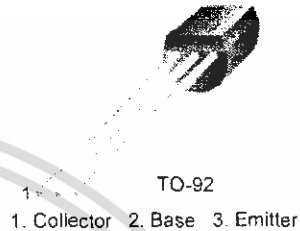
รูปที่ 4.8 ค่า Voltage ที่วัดได้โดยผ่าน ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## BC556/557/558/559/560

### Switching and Amplifier

- High Voltage: BC556,  $V_{CE0} = -65V$
- Low Noise: BC559, BC560
- Complement to BC546 ... BC 550



### PNP Epitaxial Silicon Transistor

#### Absolute Maximum Ratings $T_a = 25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
$V_{CBO}$	Collector-Base Voltage		
	: BC556	-80	V
	: BC557/560	-50	V
	: BC558/559	-30	V
$V_{CEO}$	Collector-Emitter Voltage		
	: BC556	-65	V
	: BC557/560	-45	V
	: BC558/559	-30	V
$V_{EBO}$	Emitter-Base Voltage	-5	V
$I_C$	Collector Current (DC)	-100	mA
$P_C$	Collector Power Dissipation	500	mW
$T_J$	Junction Temperature	150	$^\circ C$
$T_{STG}$	Storage Temperature	-65 ~ 150	$^\circ C$

#### Electrical Characteristics $T_a = 25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
$I_{CBO}$	Collector Cut-off Current	$V_{CB} = -30V, I_E = 0$			-15	nA
$h_{FE}$	DC Current Gain	$V_{CE} = -5V, I_C = 2mA$	110		800	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = -10mA, I_B = -0.5mA$		-90	-300	mV
		$I_C = -100mA, I_B = -5mA$		-250	-650	mV
$V_{BE(sat)}$	Collector-Base Saturation Voltage	$I_C = -10mA, I_B = -0.5mA$		-700		mV
		$I_C = -100mA, I_B = -5mA$		-900		mV
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE} = -5V, I_C = -2mA$	-600	-660	-750	mV
		$V_{CE} = -5V, I_C = -10mA$			-800	mV
$f_T$	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = -5V, I_C = -10mA, f = 10MHz$		150		MHz
$C_{ob}$	Output Capacitance	$V_{CB} = -10V, I_E = 0, f = 1MHz$			6	pF
NF	Noise Figure	: BC556/557/558	$V_{CE} = -5V, I_C = -200\mu A$	2	10	dB
		: BC559/560	$f = 1KHz, R_G = 2K\Omega$	1	4	dB
		: BC559	$V_{CE} = -5V, I_C = -200\mu A$	1.2	4	dB
		: BC560	$R_G = 2K\Omega, f = 30 \sim 15000MHz$	1.2	2	dB

### $h_{FE}$ Classification

Classification	A	B	C
$h_{FE}$	110 ~ 220	200 ~ 450	420 ~ 800

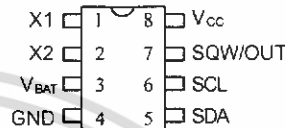
## FEATURES

- Real time clock counts seconds, minutes, hours, date of the month, month, day of the week, and year with leap year compensation valid up to 2100
- 56 byte nonvolatile RAM for data storage
- 2-wire serial interface
- Programmable squarewave output signal
- Automatic power-fail detect and switch circuitry
- Consumes less than 500 nA in battery backup mode with oscillator running
- Optional industrial temperature range -40°C to +85°C (IND) available for DS1307 and DS1308
- DS1307 available in 8-pin DIP or SOIC
- DS1308 available in 36-pin SMD BGA (Ball Grid Array)
- DS1308 accuracy is better than  $\pm 2$  minute/month at 25°C

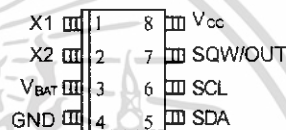
## ORDERING INFORMATION

DS1307	Serial Timekeeping Chip; 8-pin DIP
DS1307Z	Serial Timekeeping Chip; 8-pin SOIC (150-mil)
DS1307N	8-pin DIP (IND)
DS1307ZN	8-pin SOIC (IND)
DS1308	36-pin BGA
DS1308N	36-pin BGA (IND)

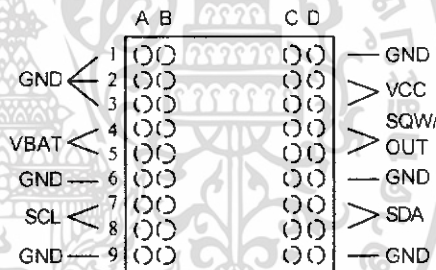
## PIN ASSIGNMENT



DS1307 8-Pin DIP (300-mil)



DS1307Z 8-Pin SOIC (150-mil)


 DS1308 36-Pin SMD BGA  
 (TOP VIEW)

## PIN DESCRIPTION DS1307/DS1308

V <sub>CC</sub>	- Primary Power Supply
X1, X2	- 32.768 kHz Crystal Connection
V <sub>BAT</sub>	- +3 Volt Battery Input
GND	- Ground
SDA	- Serial Data
SCL	- Serial Clock
SQW/OUT	- Square wave/Output Driver

## DS1308 PIN IDENTIFIER

V <sub>CC</sub>	- C2, C3, D2, D3
V <sub>BAT</sub>	- A4, A5, B4, B5
SDA	- C7, C8, D7, D8
SCL	- A7, A8, B7, B8
SQW/OUT	- C4, C5, D4, D5
GND	- All Remaining Balls