

การชำระและคำนวณค่าไฟฟ้าด้วยสมาร์ทการ์ดและดิจิทัล  
กิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ แบบ 1-เฟส

THE ELECTRICITY PAYMENT AND CALCULATION BY SMARTCARD  
AND DIGITAL 1-PHASE KILO WATT-HOUR METER

วุดทิพันธ์ ศิลปวรรณวิวัฒน์  
WUTTIPAN SILPAWORNWIWAT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2548

ISBN 974-15-2145-6

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การชำระและคำนวณค่าไฟฟ้าด้วยสมาร์ทการ์ดและดิจิทัล  
กิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ แบบ 1-เฟส

THE ELECTRICITY PAYMENT AND CALCULATION BY SMARTCARD  
AND DIGITAL 1-PHASE KILO WATT-HOUR METER



วุฒิพันธ์ ศิลปวรรณวิวัฒน์

WUTTIPAN SILPAWORNWIWAT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2549

ISBN 974-15-2145-6

**THE ELECTRICITY PAYMENT AND CALCULATION BY SMARTCARD  
AND DIGITAL 1-PHASE KILO WATT-HOUR METER**

**WUTTIPAN SILPAWORNWIWAT**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2006**

**ISBN 974-15-2145-6**

**COPYRIGHT 2006**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การชำระและคำนวณค่าไฟฟ้าด้วยสมาร์ตการ์ดและดิจิทัล กิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์ แบบ 1-เฟส
นักศึกษา	นายวุฒิพันธ์ ศิลปวรรณวิวัฒน์
รหัสนักศึกษา	45060127
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอถึงวิธีการชำระเงินค่าไฟฟ้าแบบล่วงหน้า หรือพรีเพด (Prepaid) โดยใช้เครื่องดิจิทัลกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์ แบบ 1-เฟส ทำการหาขนาด และมุมที่ต่างกันระหว่างแรงดัน และกระแส เพื่อที่จะนำมาคำนวณหาจำนวนยูนิตที่ใช้งาน จากนั้นนำจำนวนยูนิตที่ได้มาคำนวณหาค่าไฟฟ้าตามอัตราค่าบริการในปัจจุบัน โดยเครื่องปรับค่าอัตราผันแปรจะเปลี่ยนแปลงค่าอัตราผันแปร (Fi) เพื่อให้การคิดค่าไฟฟ้าถูกต้องกับค่าไฟฟ้าในปัจจุบัน โดยจะส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ต RS-485 ไปยังดิจิทัลกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์ จากนั้นทำการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้แล้ว และทำการหักยอดเงินที่มีอยู่ในเครื่องดิจิทัลกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์ ซึ่งจำนวนเงินนี้ได้มาจากบัตรสมาร์ตการ์ด

**Thesis Title** The Electricity payment and calculation by Smartcard and Digital 1-Phase  
KiloWatt-Hour Meter

**Student** Mr.Wuttiapan Silpawornwiwat

**Student ID.** 45060127

**Degree** Master of Engineering

**Programmer** Electrical Engineering

**Year** 2006

**Thesis Advisor** Assoc. Prof. Monthon Leelachindakaileak

### **ABSTRACT**

The thesis presents a method of the electricity payment by prepaid. The method employs a single-phase digital kilowatt-hour meter which measures a difference of the amplitude and angle between voltage and current in order to determine a number of operating units. Then, a number of operating units can be calculated to get the electricity price followed by the present electricity-service rate. The FT changer machine will change the FT rate for right present electricity-service rate. It will transfer the data by RS-485 port to a digital kilowatt-hour meter. Then, it can calculate the electricity payment and deduct some money in the digital kilowatt-hour meter which the money comes from a smartcard.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาเกี่ยวกับการดำเนินการศึกษาและวิจัยจาก รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในการอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวานิชเลิศ, อ.จิรศักดิ์ ส่งบุญแก้ว ที่ช่วยให้คำแนะนำและคอยช่วยเหลือเป็นอย่างดี ในบางจุดที่ผู้วิจัยติดปัญหาบางอย่าง ท่านก็ช่วยชี้แนะเพิ่มเติมให้ผู้วิจัยได้เข้าใจถึงวิธีแก้ไขปัญหานั้นให้ผ่านลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติพี่น้องที่ เป็นผู้สนับสนุนและให้กำลังใจที่ดีเสมอมาจนสำเร็จสมความตั้งใจ

คุณค่าประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วุฒิพันธ์ ศิลปวรรณวิวัฒน์



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า.....	10
2.3.1 วัดคัมมิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนามิก.....	11
2.3.2 วัดคัมมิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า.....	16
2.3.3 วัดคัมมิเตอร์เฟสเดียวแบบอาศัยการเหนี่ยวนำไฟฟ้า.....	17
2.3.4 ดิจิตัลกลิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ .....	21
บทที่ 3 การออกแบบและหลักการทำงาน .....	23
3.1 บทนำ.....	23
3.2 เครื่องดิจิตัลกลิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ .....	23
3.2.1 การหาขนาดแรงดัน.....	24
3.2.2 การหาขนาดกระแส.....	25
3.2.3 การหาค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์.....	27
3.2.4 การหาค่ากำลังไฟฟ้า .....	30
3.2.5 การหาจำนวนยูนิตที่ใช้งาน.....	30
3.2.6 การเพิ่มจำนวนเงินเข้าไปยังเครื่องดิจิตัลกลิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ .....	31
3.2.7 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราผันแปร.....	31
3.2.8 การคำนวณค่าไฟฟ้า.....	33
3.3 เครื่องปรับค่าอัตราผันแปร.....	35
3.3.1 การเปลี่ยนแปลงข้อมูล.....	35
3.3.2 การเพิ่มจำนวนเงินในบัตรสมาร์ทการ์ด .....	35
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง .....	40
4.1 การทดสอบหาค่าแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแส.....	40
4.2 การทดสอบหาค่าแรงดันและกระแส.....	40
4.3 การทดสอบหาค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์.....	43
4.4 การหาจำนวนยูนิตใช้งาน.....	44
4.5 การคิดเงิน.....	46

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	47
บรรณานุกรม.....	49
ภาคผนวก .....	50
ภาคผนวก ก. การคำนวณหาค่าไฟฟ้า.....	51
ภาคผนวก ข. ผลวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	53
ภาคผนวก ค. DATASHEET.....	61
ประวัติผู้เขียน .....	94

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นรูปไซน์.....	9
2.2 ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นรูปไซน์.....	10
3.1 ค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1.2 บ้านอยู่อาศัย.....	33
4.1 การเปรียบเทียบแรงดันขณะไม่มีโหลด.....	41
4.2 การเปรียบเทียบแรงดันและกระแสขณะมีโหลด.....	41
4.3 การเปรียบเทียบกระแสและเพาเวอร์แฟกเตอร์.....	42
4.4 การเปรียบเทียบจำนวนยูนิต.....	45
4.5 การเปรียบเทียบการคิดเงิน.....	46

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน.....5
2.2	สัญญาณรูปคลื่นของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน.....5
2.3	วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นขดลวดเหนี่ยวนำ.....5
2.4	สัญญาณรูปคลื่นของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นขดลวดเหนี่ยวนำ.....6
2.5	วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นความจุไฟฟ้า.....7
2.6	สัญญาณรูปคลื่นของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นความจุไฟฟ้า.....7
2.7	วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นความต้านทานและขดลวดเหนี่ยวนำ.....7
2.8	สัญญาณรูปคลื่นของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นความต้านทาน และขดลวดเหนี่ยวนำ.....8
2.9	วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นความต้านทานและความจุไฟฟ้า.....9
2.10	สัญญาณรูปคลื่นของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นความต้านทาน และความจุไฟฟ้า.....9
2.11	วงจรการเกิดค่ากำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า.....11
2.12	ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้า S, P และ Q.....13
2.13	โครงสร้างของวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนามิก.....14
2.14	การต่อวัตต์มิเตอร์เข้ากับโหลด.....14
2.15	โครงสร้างของวัตต์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า.....16
2.16	ลักษณะของมุมที่เกิดขึ้นในวัตต์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า.....16
2.17	(ก) โครงสร้างของวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า (ข) แม่เหล็กหน่วง.....18
2.18	ส่วนประกอบภายในของกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์.....18
2.19	วงจรการต่อกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์แบบหนึ่งเฟส.....20
2.20	กิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า.....20
2.21	หลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องดิจิทัลกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์.....21
2.22	เครื่องดิจิทัลกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์.....21
3.1	หลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องดิจิทัลกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์.....24
3.2	วงจรเรียงกระแสแบบเต็มลูกคลื่น.....24

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3	วงจรการต่ออะนาล็อกทูลิจิตัลคอนเวอร์เตอร์.....25
3.4	(ก) แปลงกระแส (ข) หลักการพื้นฐานของหม้อแปลงกระแส.....26
3.5	กราฟแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแสเทียบกับกระแสโหลด.....26
3.6	วงจรซีโรครอสซิงคิเทคเตอร์.....27
3.7	การหามุมเฟสระหว่างแรงดัน และกระแส .....27
3.8	สัญญาณกระแสที่ยังไม่ผ่านวงจรขยาย บน: สัญญาณที่ออกจากวงจรซีโรครอสซิง ล่าง: สัญญาณกระแสที่ยังไม่ผ่านวงจรขยาย....28
3.9	สัญญาณกระแสที่ผ่านวงจรขยาย บน: สัญญาณที่ออกจากวงจรซีโรครอสซิง ล่าง: สัญญาณกระแสที่ผ่านวงจรขยาย.....28
3.10	สัญญาณแรงดันและกระแสในรูปแบบต่างๆ.....29
3.11	เปรียบเทียบมุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแส.....30
3.12	วงจรการต่อ RTC เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ .....31
3.13	(ก) วงจรการต่อเครื่องอ่านบัตรสมาร์ตการ์ด (ข) หน้าสัมผัสบัตรสมาร์ตการ์ด.....32
3.14	การรับ-ส่งข้อมูลการเปลี่ยนค่าอัตราผันแปร.....33
3.15	แผนผังการทำงานของเครื่องดิจิตัลโวลต์ดีซีว โมงมิเตอร์ .....34
3.16	การทำงานของเครื่องปรับค่าอัตราผันแปรและเครื่องดิจิตัลโวลต์ดีซีว โมงมิเตอร์ .....34
3.17	แผนผังการ ส่งข้อมูลที่ต้องการเปลี่ยนแปลงของเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร .....36
3.18	แผนผังการรับ-ส่งข้อมูลของเครื่องดิจิตัลโวลต์ดีซีว โมงมิเตอร์.....36
3.19	แผนผังการเติมเงินให้กับบัตรสมาร์ตการ์ด.....37
3.20	เครื่องดิจิตัลโวลต์ดีซีว โมงมิเตอร์และเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร .....37
3.21	วงจรเครื่องดิจิตัลโวลต์ดีซีว โมงมิเตอร์ .....38
3.22	วงจรเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร.....39
4.1	การเปรียบเทียบแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแสและกระแสที่ใช้งาน.....40
4.2	วงจรการทดลองหาค่าแรงดันขณะ ไม่มีโหลด.....42
4.3	วงจรการทดลองหาค่าแรงดันและกระแสขณะมีโหลด .....42
4.4	วงจรการทดลองหาค่ากระแสและเพาเวอร์แฟกเตอร์.....42
4.5	การทดสอบหาค่าต่างๆ.....43

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6	วงจรการทดลองหาจำนวนยูนิตใช้งานในห้องทดลอง .....43
4.7	วงจรการทดลองหาจำนวนยูนิตในบ้านพักอาศัย.....44
4.8	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของเครื่องดิจิทัลกิโวลต์จัมป์ชั่วโมงมิเตอร์เทียบกับ เครื่องกิโวลต์จัมป์ชั่วโมงมิเตอร์.....44
4.9	การทดสอบหาจำนวนยูนิตในบ้านพักอาศัย.....45

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การชำระค่าไฟฟ้าแม้ว่าในปัจจุบันจะมีอยู่หลายวิธี [1] เช่น ใช้วิธีหักเงินจากบัญชีธนาคาร ซึ่งวิธีนี้ผู้ที่ไม่ได้เปิดบัญชีไว้กับธนาคารจะไม่สามารถใช้วิธีนี้ได้ และอาจสร้างความลำบากให้กับผู้ที่ไม่ค่อยได้ติดต่อกับธนาคารบ่อยนัก หรือวิธีชำระยังศูนย์บริการที่รับชำระค่าไฟฟ้าในบางพื้นที่ยังมีศูนย์บริการน้อย และค่อนข้างไกลจากบ้านพักอาศัยของผู้ใช้บริการ ทำให้ต้องเสียเวลาในการเดินทาง การสร้างศูนย์บริการรับชำระค่าไฟฟ้าขึ้นมาใหม่เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ก็ต้องใช้เงินจำนวนมากในการลงทุนสร้าง อีกทั้งผู้ให้บริการบางท่านมีการจ่ายที่ล่าช้าเกินกว่ากำหนด เมื่อรวมหลายๆ รายเข้าด้วยกันแล้ว ทำให้การไฟฟ้าสูญเสียรายได้ตรงจุดนี้ รวมถึงดอกเบี้ยที่ควรจะได้ไปค่อนข้างมาก

งานวิจัยนี้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการชำระค่าไฟฟ้าด้วยวิธีการนำบัตรเดบิตเงิน มาเติมเข้ายังเครื่องคิดตัดถักโวลต์ซ์ชั่วโมงมิเตอร์ อีกทั้งยังช่วยให้ผู้ใช้ไฟได้รับความสะดวกสบายไม่ต้องเสียเวลาเดินทางเพื่อไปชำระค่าบริการ และยังสามารถทราบถึงปริมาณการใช้ไฟในแต่ละเดือน ทำให้ผู้ใช้ไฟสามารถกำหนดการใช้ไฟของตัวเองได้

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการชำระค่าไฟฟ้าในแบบต่างๆ ทำการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย และนำมาเป็นข้อมูลในการเลือกวิธีที่เหมาะสมกับการดำเนินชีวิตในปัจจุบัน

1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการหาจำนวนยูนิตใช้งาน โดยใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ในการควบคุมการทำงานของวงจร

1.2.3 เพื่อนำวิธีการชำระเงินในระบบปริเทค หรือการชำระเงินล่วงหน้ามาใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องคิดตัดถักโวลต์ซ์ชั่วโมงมิเตอร์ แบบ 1- เฟส

1.2.4 เพื่อช่วยลดต้นทุนและขั้นตอนในการชำระเงินของการไฟฟ้า

### 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 สามารถเติมเงินเข้าไปยังเครื่องคิดตัดถักโวลต์ซ์ชั่วโมงมิเตอร์โดยใช้บัตรสมาร์ตการ์ดได้

1.3.2 เมื่อค่าอัตราผันแปรเกิดการเปลี่ยนแปลง เครื่องคิดตัดถักโวลต์ซ์ชั่วโมงมิเตอร์ แบบ 1-เฟสสามารถที่จะปรับค่าอัตราผันแปรได้โดยใช้เครื่องปรับค่าอัตราผันแปร

1.3.3 ทำการออกแบบและสร้างเครื่องดิจิทัลมิเตอร์แบบ 1-เฟส ให้สามารถหาจำนวนยูนิตและคำนวณค่าไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัย หรือหอพัก

1.3.4 เมื่อมีการใช้ไฟ เครื่องดิจิทัลมิเตอร์จะลดจำนวนเงินลงไป จนกระทั่งจำนวนเงินในเครื่องหมด เครื่องจะทำการตัดวงจรจ่ายไฟให้กับผู้ใช้บริการ

## 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1.4.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวิธีชำระเงินในระบบพีเรด, สมาร์ทการ์ด, การหาค่ากำลังไฟฟ้า, การหาจำนวนยูนิตที่ใช้งาน และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 วิเคราะห์และออกแบบระบบการทำงานของเครื่องดิจิทัลมิเตอร์ และเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร

1.4.3 ออกแบบและพัฒนาวงจรการทำงานในแต่ละส่วนของเครื่องดิจิทัลมิเตอร์ และเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร

1.4.4 ทำการทดสอบและเก็บข้อมูล พร้อมทั้งวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้

1.4.5 เรียบเรียงและเขียนวิทยานิพนธ์

## 1.5 หลักการใหม่ในวิทยานิพนธ์

ในปัจจุบัน มิเตอร์ของการไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ จะเป็นแบบอนาล็อก ซึ่งต้องคอยส่งพนักงานไปทำการบันทึกจำนวนยูนิตจากแต่ละเครื่อง เพื่อที่จะนำไปคำนวณหาค่าไฟฟ้า จากนั้นจึงส่งใบเรียกเก็บค่าไฟฟ้าไปยังแต่ละบ้าน เพื่อที่จะชำระค่าไฟฟ้าต่อไป แต่ในงานวิจัยที่นำเสนอนี้ การคำนวณหาจำนวนยูนิตที่ใช้งาน, การคำนวณหาค่าไฟฟ้า และการชำระเงินโดยใช้ดิจิทัลมิเตอร์ อวมิเตอร์ เครื่องนี้เพียงเครื่องเดียว

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางการชำระค่าไฟฟ้าอีกวิธีหนึ่ง คือการชำระเงินแบบล่วงหน้าหรือที่เรียกกันว่า พีเรด ซึ่งวิธีการนี้เริ่มได้รับความนิยมในหลายๆประเทศ และเริ่มมีการนำมิเตอร์แบบชำระเงินล่วงหน้า (Pre-payment meter) มาใช้ในการชำระค่าบริการในหลายๆอย่างมากขึ้น [2-3] สำหรับงานวิจัยนี้ จะใช้สมาร์ทการ์ดแทนเงินสด โดยจะทำงานร่วมกับ มิเตอร์ดิจิทัลมิเตอร์ ทำการคำนวณหาค่าไฟฟ้าออกมา เพื่อที่จะนำไปหักเงินที่มีอยู่ในเครื่องซึ่งได้จำนวนมาจากบัตรสมาร์ทการ์ดต่อไป

## 1.6 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาวิจัยเพื่อออกแบบเครื่องดิจิทัลมิเตอร์และเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานในระบบพีเรด ซึ่งรายละเอียดที่กล่าวในงานวิจัยนี้ สามารถแบ่งเรื่องได้ดังนี้

บทที่ 1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา ขอบเขตของการศึกษา ขั้นตอนการศึกษา หลักการใหม่ในวิทยานิพนธ์ รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีของวงจรในแต่ละรูปแบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าในแบบต่างๆ

บทที่ 3 การออกแบบและหลักการทำงานเครื่องดิจิทัลโวลต์ดีซีว โมงมิเตอร์ และเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร

บทที่ 4 จะแสดงผลการทดสอบหาค่าแรงดัน, กระแส, เพาเวอร์แฟกเตอร์, จำนวนยูนิตที่ใช้งาน และการคิดเงิน

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## บทที่ 2

# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 บทนำ

สำหรับบทนี้จะเป็นการกล่าวถึง ทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ และโครงสร้างการทำงานของเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าในแบบต่างๆ โดยจะอธิบายถึงหลักการพื้นฐานของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ เช่น ลักษณะของสัญญาณรูปไซน์ที่เกิดขึ้นเมื่อใช้กับโหลดในแบบต่างๆว่าเป็นอย่างไร รวมถึงไปถึงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

### 2.2 หลักการพื้นฐานของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

#### 2.2.1 สัญญาณรูปไซน์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในภาวะอยู่ตัว

เนื่องจากการใช้ไฟฟ้าตามบ้านพักอาศัย จะมีโหลดแบบต่างๆไม่ว่าจะเป็นโหลดแบบ ความต้านทาน (R), ขดลวดเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L) และโหลดที่เป็นความจุไฟฟ้า (C) ต่ออยู่ด้วยไม่ว่าจะเป็น การต่อโหลดชนิดเดียว หรือต่อแบบอนุกรมและขนาน จึงควรที่จะทราบลักษณะของสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการใช้โหลดจำพวกนี้เสียก่อน เพื่อที่จะนำไปใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องต่อไป

2.2.1.1 สัญญาณรูปไซน์ที่เกิดจากโหลดที่เป็นความต้านทาน พิจารณาจากรูปที่ 2.1 เป็นวงจรไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายให้กับโหลดที่เป็นความต้านทานเพียงอย่างเดียว

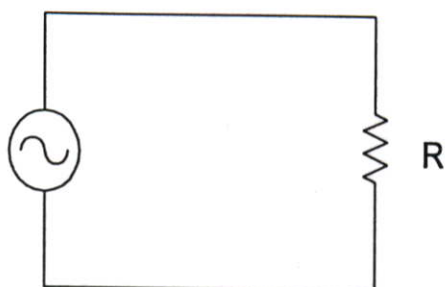
วงจรความต้านทานไฟฟ้า (R)

$$v = V_m \sin \omega t \quad (2.1)$$

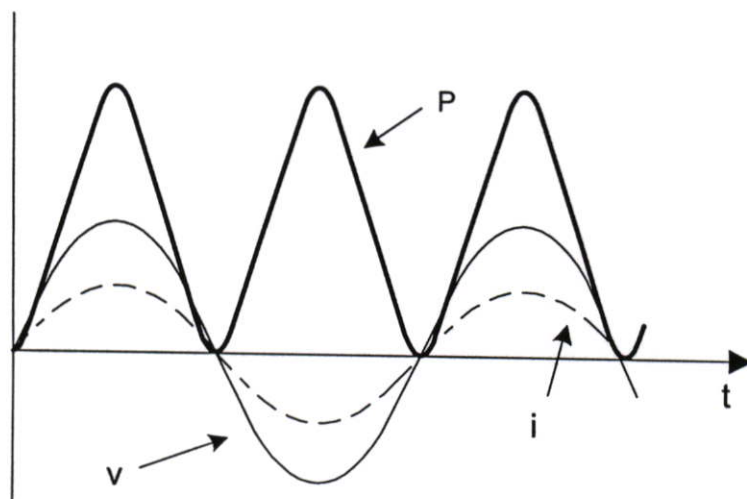
$$i = \frac{V_m}{R} \sin \omega t \quad (2.2)$$

จากสมการที่ 2.1 และ 2.2 และสัญญาณในรูปที่ 2.2 [4] สัญญาณของกระแสและแรงดันจะมีความต่างเฟสเท่ากับศูนย์ ( $\theta = 0$ ) หมายความว่า สัญญาณกระแสจะมีลักษณะเช่นเดียวกับแรงดันเสมอ นั่นคือ เมื่อแรงดันเป็นศูนย์ กระแสจะเป็นศูนย์ เมื่อแรงดันเป็นค่าบวก กระแสก็จะเป็นค่าบวก และเมื่อแรงดันเป็นค่าลบ กระแสก็จะเป็นลบเช่นเดียวกัน จากเหตุผลดังกล่าว สามารถที่จะหาค่ากำลังไฟฟ้าได้จากสมการดังนี้

$$P = VI \cos \theta \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.1 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน

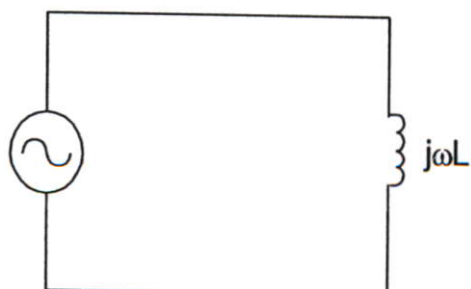


รูปที่ 2.2 สัญญาณรูปคลื่นของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน

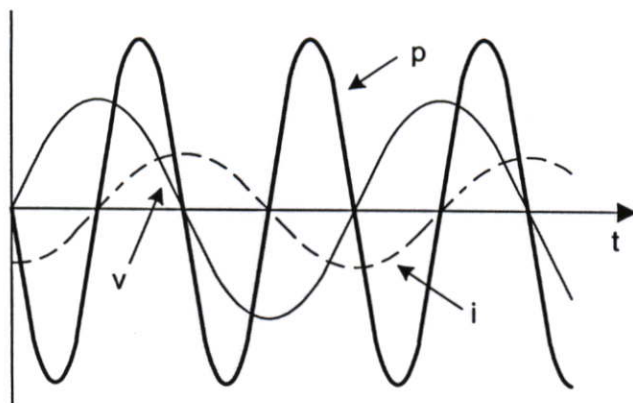
เนื่องจาก  $\cos \theta = 1$  ดังนั้น

$$P = VI \quad (2.4)$$

2.2.1.2 สัญญาณรูปไซน์ที่เกิดจากโหลดที่เป็นขดลวดเหนี่ยวนำ จากรูปที่ 2.3 เป็นวงจรไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายให้กับโหลดที่เป็นตัวเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียว ในรูปที่ 2.4 จะแสดงให้เห็นถึงรูปสัญญาณที่เกิดขึ้นในวงจรนี้



รูปที่ 2.3 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นขดลวดเหนี่ยวนำ



รูปที่ 2.4 สัญญาณรูปคลื่นของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นขดลวดเหนี่ยวนำ

วงจรความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L)

$$v = V_m \sin \omega t \quad (2.5)$$

$$i = \frac{V_m}{\omega L} (-\cos \omega t) \quad (2.6)$$

จากสมการที่ 2.5, 2.6 และสัญญาณในรูปที่ 2.4 กระแสจะตามหลัง (lag) แรงดันและมีความต่างเฟสเท่ากับ  $90^\circ$  ( $\theta = -90^\circ$ ) หมายความว่า สัญญาณกระแส จะมีลักษณะไม่เหมือนกับแรงดันที่เวลาเดียวกัน นั่นคือ เมื่อแรงดันเป็นศูนย์ กระแสจะมีค่าเป็นบวกหรือลบมากที่สุด เมื่อแรงดันมีค่าเป็นบวกมากที่สุด หรือลบมากที่สุด กระแสก็จะมีค่าเป็นศูนย์

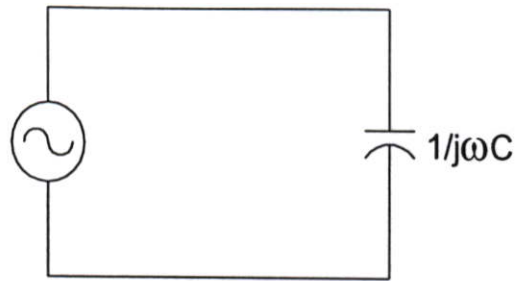
2.2.1.3 สัญญาณรูปไซน์ที่เกิดจากโหลดที่เป็นความจุไฟฟ้า จากรูปที่ 2.5 เป็นวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายให้กับโหลดที่เป็นความจุไฟฟ้า ในรูปที่ 2.6 จะแสดงให้เห็นถึงรูปสัญญาณที่เกิดขึ้นในวงจรนี้

วงจรความจุไฟฟ้า (C)

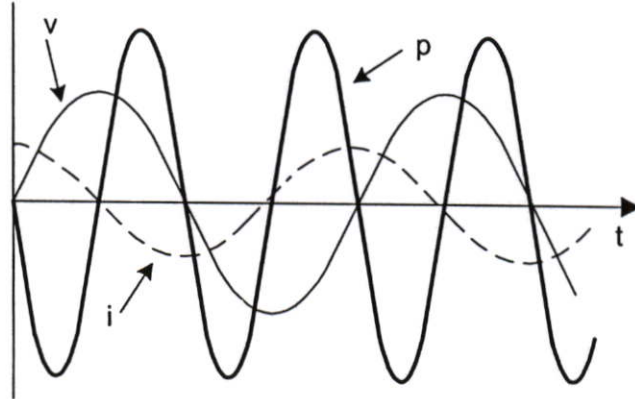
$$v = V_m \sin \omega t \quad (2.7)$$

$$i = \omega C V_m \cos \omega t \quad (2.8)$$

จากสมการที่ 2.7, 2.8 และสัญญาณในรูปที่ 2.6 กระแสจะนำหน้า (lead) แรงดันและมีความต่างเฟสเท่ากับ  $90^\circ$  ( $\theta = +90^\circ$ ) หมายความว่า สัญญาณกระแส จะมีลักษณะไม่เหมือนกับแรงดันที่เวลาเดียวกัน นั่นคือ เมื่อแรงดันเป็นศูนย์ กระแสจะมีค่าเป็นบวกหรือลบมากที่สุด เมื่อแรงดันมีค่าเป็นบวกมากที่สุด หรือลบมากที่สุด กระแสก็จะมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งเหมือนกับกรณีวงจรที่เป็นความเหนี่ยวนำไฟฟ้า แต่จะแตกต่างกันในลักษณะที่สัญญาณกระแสจะนำหน้าแรงดัน



รูปที่ 2.5 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นความจุไฟฟ้า

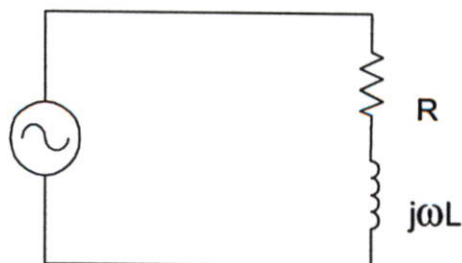


รูปที่ 2.6 รูปคลื่นของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นความจุไฟฟ้า

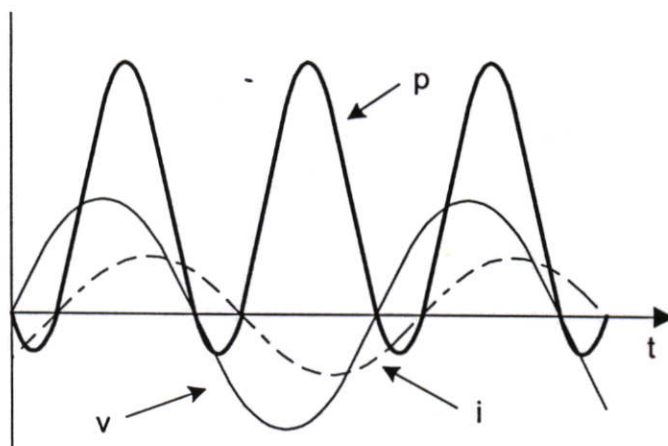
2.2.1.4 สัญญาณรูปไซน์ที่เกิดจากโหลดที่เป็นความต้านทานและขดลวดเหนี่ยวนำ (R-L) จากรูปที่ 2.7 เป็นวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายให้กับโหลดที่เป็นความต้านทาน และขดลวดเหนี่ยวนำต่ออนุกรมอยู่ด้วยกัน ในรูปที่ 2.8 จะแสดงให้เห็นถึงรูปสัญญาณที่เกิดขึ้นในวงจรนี้ วงจรอนุกรม (R-L)

$$v = V_m \sin \omega t \quad (2.9)$$

$$i = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \sin\left(\omega t - \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}\right) \quad (2.10)$$



รูปที่ 2.7 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นความต้านทานและขดลวดเหนี่ยวนำ



รูปที่ 2.8 สัญญาณรูปคลื่นของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นความต้านทานและ  
ขดลวดเหนี่ยวนำ

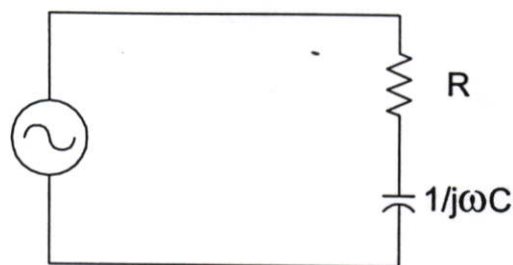
จากสมการที่ 2.9, 2.10 และสัญญาณในรูปที่ 2.8 จะเห็นได้ว่ากระแสจะตามหลังแรงดัน และมี  
ความต่างเฟส ( $\theta$ ) เท่ากับ  $-\tan^{-1} \omega L/R$  เนื่องจาก วงจรเป็นลักษณะของค่าความต้านทานและ  
ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า ซึ่งมุมของความต่างเฟสนี้จะมีค่ามากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนของ  
ค่า  $\omega L$  กับค่า  $R$  เช่น ถ้าค่า  $\omega L \ll R$  มุม  $\theta$  จะเข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่ามีลักษณะเป็นความต้านทาน  
ไฟฟ้ามากกว่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า และถ้าค่า  $\omega L \gg R$  มุม  $\theta$  จะเข้าใกล้  $90^\circ$  แสดงว่ามีลักษณะ  
เป็นความเหนี่ยวนำไฟฟ้ามากกว่าความต้านทานไฟฟ้า

2.2.1.5 สัญญาณรูปไซน์ที่เกิดจากโหลดที่เป็นความต้านทานและความจุไฟฟ้า (R-C) จาก  
รูปที่ 2.9 เป็นวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายให้กับโหลดที่เป็นความต้านทาน และความจุไฟฟ้าต่อ  
อนุกรมอยู่ด้วยกัน ในรูปที่ 2.10 จะแสดงให้เห็นถึงรูปสัญญาณที่เกิดขึ้นในวงจรนี้  
วงจรอนุกรม (R-C)

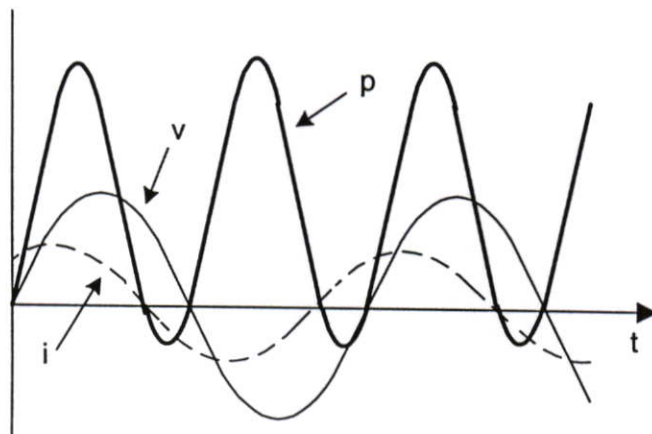
$$v = V_m \sin \omega t \quad (2.11)$$

$$i = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} \sin\left(\omega t + \tan^{-1} \frac{1}{\omega CR}\right) \quad (2.12)$$

จากสมการที่ 2.11, 2.12 และสัญญาณในรูปที่ 2.10 จะเห็นได้ว่ากระแสจะตามหลังแรงดัน และ  
มีความต่างเฟส ( $\theta$ ) เท่ากับ  $\tan^{-1} 1/\omega CR$  เนื่องจาก วงจรเป็นลักษณะของค่าความต้านทานและ  
ความจุไฟฟ้า ซึ่งมุมของความต่างเฟสนี้จะมีค่ามากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนของค่า  $1/\omega C$   
กับค่า  $R$  เช่น ถ้าค่า  $1/\omega C \ll R$  มุม  $\theta$  จะเข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่ามีลักษณะเป็นความต้านทาน-



รูปที่ 2.9 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นความต้านทานและความจุไฟฟ้า



รูปที่ 2.10 สัญญาณรูปคลื่นของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นความต้านทานและความจุไฟฟ้า

ไฟฟ้ามากกว่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า และถ้าค่า  $1/\omega C \gg R$  มุม  $\theta$  จะเข้าใกล้  $90^\circ$  แสดงว่ามีลักษณะเป็นความจุไฟฟ้ามากกว่าความต้านทานไฟฟ้า

ความสัมพันธ์ของสมการแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วยความต้านทานไฟฟ้า, ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า และความจุไฟฟ้า เมื่อกำหนดให้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นรูปไซน์ สมการกระแสไฟฟ้าที่ได้จะแสดงในตารางที่ 2.1 และเมื่อกำหนดให้สัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นรูปไซน์ สมการแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นรูปไซน์

ส่วนประกอบ	กระแสไฟฟ้า	เมื่อ $v = V_m \sin \omega t$	เมื่อ $v = V_m \cos \omega t$
Resistance $R$	$i_R = \frac{v}{R}$	$i_R = \frac{V_m}{R} \sin \omega t$	$i_R = \frac{V_m}{R} \cos \omega t$
Inductance $L$	$i_L = \frac{1}{L} \int v dt$	$i_L = \frac{V_m}{\omega L} (-\cos \omega t)$	$i_L = \frac{V_m}{\omega L} \sin \omega t$
Capacitance $C$	$i_C = C \frac{dv}{dt}$	$i_C = \omega C V_m \cos \omega t$	$i_C = \omega C V_m (-\sin \omega t)$

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นรูปไซน์

ส่วนประกอบ	กระแสไฟฟ้า	เมื่อ $v = V_m \sin \omega t$	เมื่อ $v = V_m \cos \omega t$
Resistance $R$	$v_R = Ri$	$v_R = RI_m \sin \omega t$	$v_R = RI_m \cos \omega t$
Inductance $L$	$V_L = L \frac{di}{dt}$	$V_L = \omega LI_m \cos \omega t$	$V_L = \omega LI_m (-\sin \omega t)$
Capacitance $C$	$V_C = \frac{1}{C} \int i dt$	$V_C = \frac{I_m}{\omega C} (-\cos \omega t)$	$V_C = \frac{I_m}{\omega C} \sin \omega t$

### 2.2.2 กำลังไฟฟ้าและค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าเป็นสิ่งที่ต้องเกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้าซึ่งเป็นผลมาจากค่าแรงดัน และกระแสไฟฟ้า พิจารณาจากรูปที่ 2.11 เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้า  $v$  ให้กับวงจรจะทำให้เกิดค่ากระแสไฟฟ้า  $i$  ขึ้น โดยขนาดของกระแสจะขึ้นอยู่กับลักษณะของส่วนประกอบต่างๆ ในวงจร ซึ่งผลคูณของแรงดันและกระแสไฟฟ้า ที่เวลาใดเวลาหนึ่งจะเป็นค่ากำลังไฟฟ้าชั่วขณะ (p) ดังสมการที่ 2.13

$$p = vi \quad (2.13)$$

กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ (p) จะมีค่าเป็นบวกหรือลบ จะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่พิจารณา ถ้ากำลังไฟฟ้าชั่วขณะ มีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่าพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดจ่ายให้กับวงจรไฟฟ้า และถ้ากำลังไฟฟ้าชั่วขณะ มีค่าเป็นลบ แสดงให้เห็นว่าพลังงานไฟฟ้าจากวงจรไฟฟ้า จ่ายกลับให้แหล่งกำเนิด

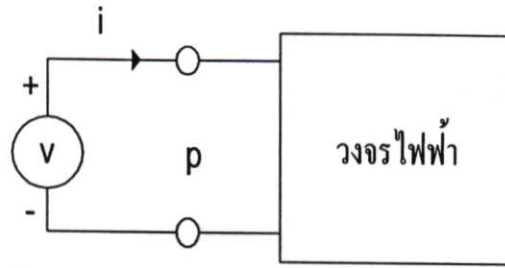
2.2.2.1 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power: P) ซึ่งบางครั้งจะเรียกว่ากำลังแอกทีฟ (Active power) หรือ กำลังไฟฟ้าจริง (True power) ในกรณีที่วงจรไฟฟ้าเป็นค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่เป็นฟังก์ชันไซน์ ดังสมการที่ 2.5 สัญญาณกระแสในวงจร จะอยู่ในรูปสมการดังนี้

$$i = i_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad (2.14)$$

จะได้ว่า

$$p = V_m I_m \sin \omega t \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = -\frac{1}{2} V_m I_m \sin 2\omega t \quad (2.15)$$

และในกรณีที่วงจรไฟฟ้า เป็นค่าความจุไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่เป็นฟังก์ชันไซน์ ดังสมการที่ 2.5 สัญญาณกระแสในวงจรจะอยู่ในรูปสมการดังนี้



รูปที่ 2.11 วงจรการเกิดค่ากำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า

$$i = i_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (2.16)$$

จะได้ว่า

$$p = V_m I_m \sin \omega t \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = \frac{1}{2} V_m I_m \sin 2\omega t \quad (2.17)$$

จากสมการที่ 2.15 และ 2.17 จะเห็นได้ว่าค่ากำลังไฟฟ้า จะเป็นฟังก์ชันของ  $\sin 2\omega t$  นั่นคือ มีความถี่เป็นสองเท่าของสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ (P) ในสมการที่ 2.15 และ 2.17 จะมีค่าเท่ากับศูนย์ในช่วงหนึ่งคาบเวลาเสมอ

เมื่อพิจารณาในกรณีที่วงจรไฟฟ้าเป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่เป็นฟังก์ชันไซน์ ดังสมการที่ 2.5 สัญญาณกระแสในวงจร จะอยู่ในรูปสมการดังนี้

$$i = I_m \sin \omega t \quad (2.18)$$

จะได้ว่า

$$p = V_m I_m \sin^2 \omega t = \frac{1}{2} V_m I_m (1 - \cos 2\omega t) \quad (2.19)$$

จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าชั่วขณะจะมีค่าเท่ากับ  $\frac{1}{2} V_m I_m$

ดังนั้นวงจรไฟฟ้าที่มีส่วนประกอบต่างๆ ค่ากำลังไฟฟ้าชั่วขณะจะอยู่ในรูปสมการ

$$p = V_m I_m \sin \omega t \sin(\omega t + \theta) \quad (2.20)$$

โดยที่มุม  $\theta$  มีค่าเป็นบวกหรือลบ

$$p = \frac{1}{2} V_m I_m [\cos \theta - \cos(2\omega t + \theta)] \quad (2.20)$$

จากสมการที่ 2.20 แสดงให้เห็นว่าค่ากำลังไฟฟ้าชั่วขณะของวงจรไฟฟ้าจะประกอบด้วย 2 เทอม คือ เทอม  $\cos(2\omega t + \theta)$  ซึ่งค่าเฉลี่ยจะมีค่าเป็นศูนย์ และเทอม  $\cos \theta$  ซึ่งเป็นค่าคงที่ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าชั่วขณะจะมีค่าเท่ากับ

$$P = \frac{1}{2} V_m I_m \cos \theta = VI \cos \theta \quad (2.21)$$

โดยที่ค่า  $V = V_m / \sqrt{2}$  และ  $I = I_m / \sqrt{2}$  เป็นค่าประสิทธิผลของเฟสเซอร์  $V$  และ  $I$  ตามลำดับ เทอม  $\cos \theta$  จะเรียกชื่อว่าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า หรือ เพาเวอร์แฟกเตอร์ (power factor: p.f.) ซึ่งมุม  $\theta$  เป็นมุมระหว่างแรงดัน และกระแส จะมีค่าอยู่ระหว่าง  $\pm 90^\circ$  ดังนั้น  $\cos \theta$  และค่า  $P$  จะมีค่าเป็นบวกเสมอ อย่างไรก็ตาม เพื่อเป็นการบอกลักษณะของวงจรไฟฟ้า จะกำหนดว่า ถ้าวางจรไฟฟ้าเป็นลักษณะของค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Inductive load) จะเรียกว่า แลคกิ้งเพาเวอร์แฟกเตอร์ และถ้าวางจรไฟฟ้าเป็นลักษณะของค่าความจุไฟฟ้า (Capacitive load) จะเรียกว่า ลีดดิ้งเพาเวอร์แฟกเตอร์ ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยนี้ จะมีหน่วยเป็น วัตต์ (W)

**2.2.2.2 กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent power: S)** จากลักษณะการเกิดค่ากำลังไฟฟ้าในวงจรที่มีส่วนประกอบต่างๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะกำหนดให้ผลคูณของค่าประสิทธิผลของแรงดันกับกระแสไฟฟ้า จะเรียกชื่อว่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ มีหน่วยเป็น โวลต์-แอมแปร์ (VA)

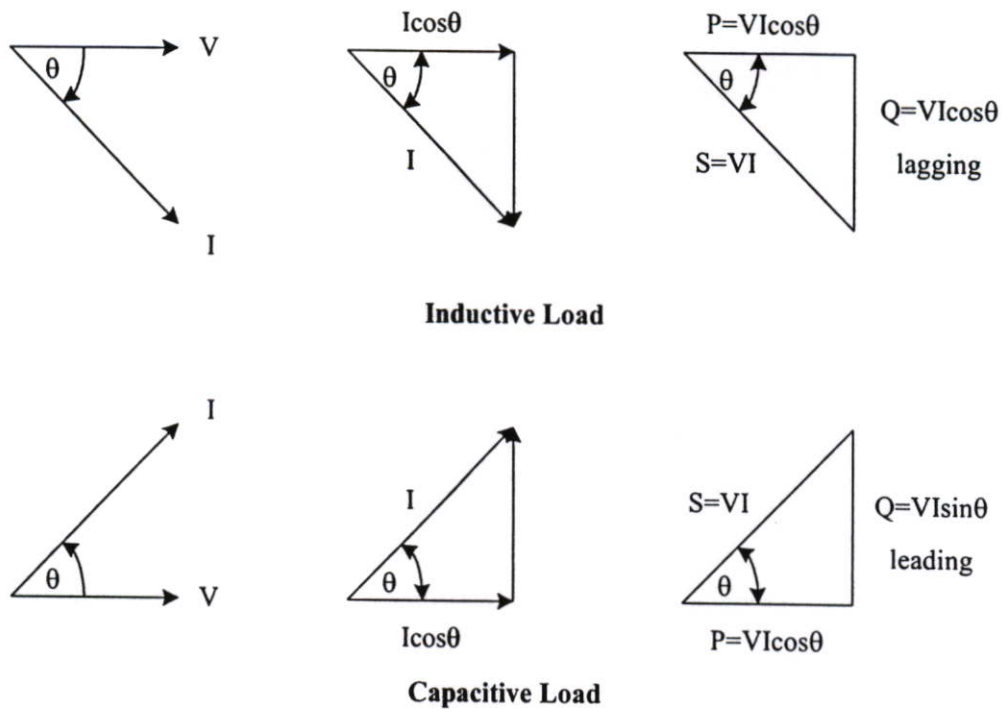
$$S = VI \quad (2.22)$$

เมื่อ  $V$  คือ แรงดันอาร์เอ็มเอส

$I$  คือ กระแสอาร์เอ็มเอส

**2.2.2.3 กำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive power: Q)** จากลักษณะของค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรไฟฟ้าตามสมการที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ  $S$  คือ กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับค่าอิมพีแดนซ์ ( $Z$ ) และค่ากำลังไฟฟ้าจริง ( $P$ ) จะเป็นกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ค่าความต้านทานไฟฟ้าจริง ( $R$ ) ดังนั้น จะกำหนดให้กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ค่าความต้านทานไฟฟ้าเสมือน ( $X$ ) เรียกชื่อว่าค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน ( $Q$ ) มีหน่วยเป็น โวลต์-แอมแปร์-รีแอกทีฟ (VAR)

$$Q = VI \sin \theta \quad (2.23)$$



รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้า S, P และ Q

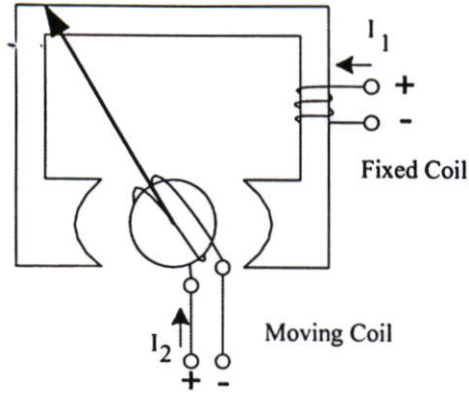
รูปที่ 2.12 แสดงให้เห็นถึง ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ, กำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือน สามารถที่จะแสดงให้อยู่ในรูปของสามเหลี่ยมมุมฉากได้ ซึ่งเรียกว่า สามเหลี่ยมกำลัง (Power triangle)

### 2.3 เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า

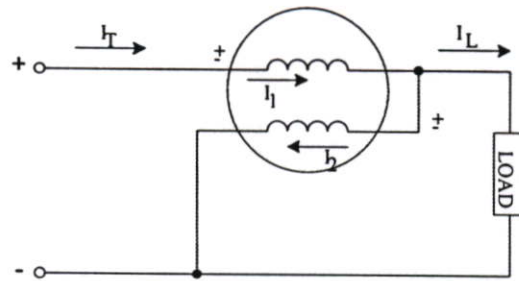
การที่จะหาขนาดของกำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน จะใช้วัตต์มิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งในปัจจุบันก็มีวัตต์มิเตอร์อยู่มากมายหลายแบบหลายแบบ เช่น วัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนามิก, วัตต์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า ซึ่งมีการนำหลักการของมิเตอร์เหล่านี้ไปประยุกต์ใช้จนสามารถที่จะนำมาใช้หาจำนวนยูนิตการใช้งานหรือที่เรียกว่า กิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ได้ อีกทั้งยังได้มีการพัฒนามิเตอร์เรื่อยมาไม่ว่าจะเป็นการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม ทำให้มิเตอร์สามารถที่จะแสดงผลต่างๆ ได้มากมาย ซึ่งในส่วนต่อไปนี้จะอธิบายถึงโครงสร้างและหลักการทำงานของมิเตอร์ในแบบต่างๆ เพื่อที่จะสามารถทำการพัฒนามิเตอร์ได้อย่างเข้าใจและมีประสิทธิภาพมากที่สุด

#### 2.3.1 วัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนามิก (Electro Dynamic Wattmeter)

โครงสร้างของวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนามิกจะประกอบด้วยขดลวด 2 ขด ขดหนึ่งเป็นขดลวดเคลื่อนที่ (Moving Coil) อีกขดหนึ่งคือขดลวดอยู่กับที่ (Fixed Coil) ขดลวดทั้ง 2 จะมีการเสไฟฟ้าไหลเข้าทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของเข็มชี้ [5-6] ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนามิก



รูปที่ 2.14 การต่อวัตต์มิเตอร์เข้ากับโหลด

จากรูปที่ 2.14 สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I_T = I_1 + I_2 \quad (2.24)$$

เมื่อ  $I_T$  คือ กระแสรวมที่ไหลผ่านโหลด

$I_1$  คือ กระแสที่ไหลผ่านขดกระแส หรือ ขดลวดอยู่กับที่

$I_2$  คือ กระแสที่ไหลผ่านขดแรงดัน หรือ ขดลวดเคลื่อนที่

กระแส  $I_1$  จะแปรผันตามกระแสรวมของโหลด ส่วนกระแส  $I_2$  จะเปลี่ยนแปลงตามแรงดันที่ตกคร่อมโหลด ดังนั้น การเบี่ยงเบนของเข็มจึงแปรผันตรงกับกระแสทั้ง 2 เมื่อสร้างสเกลหน้าปัดให้เหมาะสมก็สามารถนำไปวัดค่าของกำลังไฟฟ้าได้ดังสมการที่ 2.25

$$\text{การเบี่ยงเบนของเข็ม} \propto I_1 I_2 \quad (2.25)$$

$$I_1 \propto I_T \quad (2.26)$$

$$I_2 \propto V_s \quad (2.27)$$

ดังนั้น การเบี่ยงเบนของเข็ม  $\propto I_T V_s$  (2.28)

$$I_T V_s = \text{Volt} \times \text{Amps} = \text{Watts} \quad (2.29)$$

การเบี่ยงเบนของเข็ม  $\propto P$  (2.30)

ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง กำลังที่วัดได้ก็คือผลคูณของแรงดันและกระแส ดังนั้นแรงบิดเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังไฟฟ้า แต่สำหรับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับนั้นแรงบิดเบี่ยงเบนชั่วขณะหนึ่งจะมีค่าดังนี้

$$T_{inst} = vi \quad (2.31)$$

เมื่อ  $v$  = ค่าแรงดันชั่วขณะที่ป้อนให้กับขดลวดเคลื่อนที่

$i$  = ค่ากระแสชั่วขณะที่ไหลผ่านขดลวดอยู่กับที่

เนื่องจากวัตต์มิเตอร์จะวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย (Average power) ดังนั้น

แรงบิดเบี่ยงเบนเฉลี่ย  $T_m =$  ค่าเฉลี่ยของ  $vi$  (2.32)

ถ้า  $v = V_{\max} \sin \theta$  (2.33)

$$i = I_{\max} \sin(\theta - \phi) \quad (2.34)$$

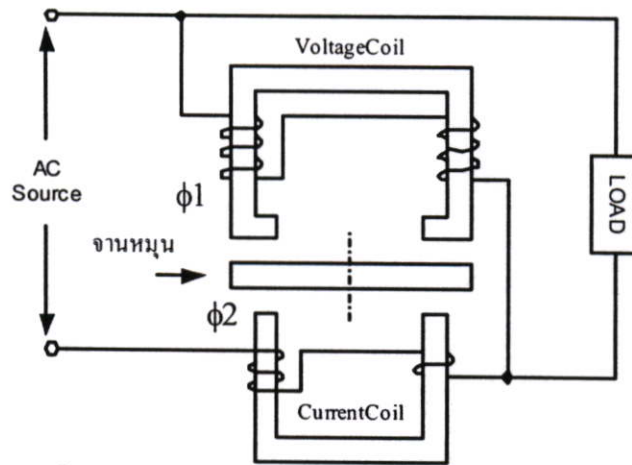
ดังนั้น  $T_m = VI \cos \phi$  (2.35)

จะเห็นว่า เมื่อวัตต์มิเตอร์ใช้วัดกำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ค่าแรงบิดเฉลี่ย  $T_m$  จะแปรผันโดยตรงกับค่า  $VI \cos \phi$  หรือกำลังไฟฟ้า วัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนามิกนี้ สามารถนำไปวัดได้ทั้งกำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ เพราะว่าขดลวดทั้งสองสามารถใช้ได้ทั้งวงจรไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ แต่ต้องระวังไม่ให้

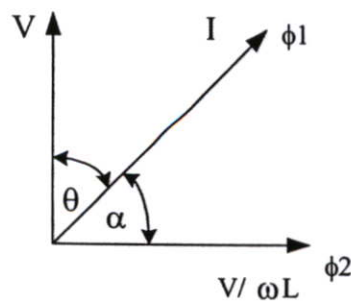
กระแสที่ไหลผ่านขดลวดกระแสเกินกว่าพิกัดด้วย ในการวัดจึงควรมีเครื่องวัดกระแสต่อร่วมอยู่ด้วย เพื่อเป็นตัวแสดงค่าของกระแสทั้งหมดที่ผ่านขดลวดกระแสของวัตต์มิเตอร์

### 2.3.2 วัตต์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Induction Wattmeter)

วัตต์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้านี้ ทำงานโดยอาศัยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เกิดขึ้นกับจานหมุน เมื่อขดลวดกระแส (Current Coil) และขดลวดแรงดัน (Voltage Coil) ได้รับกระแส และทำให้เกิดการเหนี่ยวนำกับจานหมุนซึ่งติดตั้งเข็มชี้ไว้ เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านโพลที่ทำการวัด ขดลวดกระแสจะสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก  $\phi_1$  ขึ้นมา ดังนั้น  $\phi_1$  จึงแปรผันกับกระแส (I) และมีเฟสเดียวกับกระแสด้วย ถ้ากระแสของโพล (I) ล้าหลังแรงดัน (V) ด้วยมุม  $\theta$  เส้นแรงแม่เหล็ก  $\phi_1$  ก็จะล้าหลังด้วยมุม  $\theta$  ด้วยเช่นกัน ส่วนขดลวดแรงดันจะออกแบบให้มีอินดักแตนซ์ (L) สูงมาก ทำให้ความต้านทานของขดลวดแรงดันมีค่าน้อยมาก ซึ่งขดลวดแรงดันนี้จะต่อขนานกับแรงดัน ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านจึงแปรผันกับ  $\frac{V}{\omega L}$  และกระแสไฟฟ้าจำนวนนี้จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก  $\phi_2$  ขึ้นมา เมื่อกระแสไหลผ่านขดลวดแรงดันมุมที่ได้จะล้าหลังด้วยมุม 90 องศา ดังนั้น  $\phi_2$  จึงล้าหลังหรือมีมุมต่างเฟสกับแรงดันด้วยมุม 90 องศาด้วย ดังนั้น  $\phi_2$  จึงแปรผันกับ  $\frac{V}{\omega L}$  ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของวัตต์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า



รูปที่ 2.16 ลักษณะของมุมที่เกิดขึ้นในวัตต์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า

แรงบิดเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นบนจานอลูมิเนียมของวัตต์มิเตอร์แบบนี้ สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$T = K_2 \omega \phi_1 m \phi_2 m \sin \alpha \quad (2.36)$$

$$\alpha \propto \omega I \frac{V}{\omega L} \sin(90^\circ - \theta) \quad (2.37)$$

$$\alpha \propto VI \cos \theta \quad (2.38)$$

$$\alpha \propto \text{กำลังไฟฟ้าของโหลด} \quad (2.39)$$

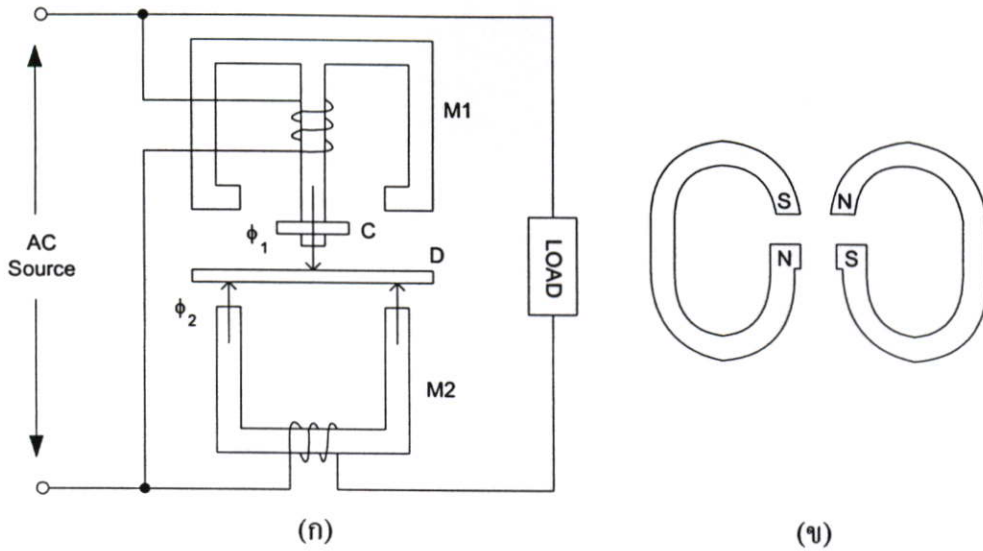
จะเห็นได้ว่า แรงบิดเบี่ยงเบนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังไฟฟ้าของโหลด และเมื่อใช้สปริงเป็นตัวทำให้เกิดแรงบิดควบคุม ดังนั้น  $T_c$  จะแปรผันตรงกับ  $\theta$  เมื่อเข็มชี้หยุดนิ่งแล้ว

$\theta \propto$  กำลังไฟฟ้าของโหลด (Power) หมายความว่า มุมที่เข็มชี้เบี่ยงเบนไปนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ

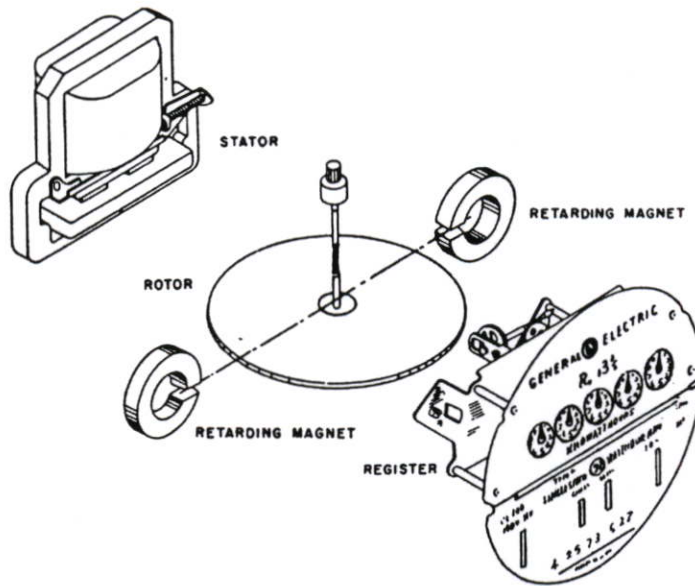
### 2.3.3 วัตต์ชั่วโมงมิเตอร์เฟสเดียวแบบอาศัยการเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Induction type single phase watt-hour meter)

เครื่องวัดวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์เฟสเดียวแบบอาศัยการเหนี่ยวนำไฟฟ้านี้ จะอาศัยหลักการทำงานเหมือนกับวัตต์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่ได้กล่าวมาก่อนหน้า แต่เครื่องนี้จะสามารถวัดพลังงานไฟฟ้าในหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง หรือจำนวนชนิดได้ ซึ่งจะมีส่วนประกอบที่เหมือนกันก็คือ ขดลวดกระแส และขดลวดแรงดัน ส่วนที่แตกต่างกันออกไปคือ ในเครื่องวัตต์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้าจะใช้สปริงและเข็มชี้ แต่ในวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์จะใช้แม่เหล็กหน่วงและชุดของเฟืองในการทำงาน แม่เหล็กหน่วงจะทำให้เกิดกระแสไหลวนขึ้นในจานอลูมิเนียมที่หมุนตลอดเวลา แทนที่จะให้จานเคลื่อนไปเป็นมุมหนึ่งมุมใดเหมือนวัตต์มิเตอร์

ในรูปที่ 2.17 จะแสดงถึงส่วนประกอบของวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์แบบนี้ ซึ่งจะประกอบด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ชุด คือแม่เหล็กไฟฟ้า  $M_1$  และ  $M_2$  แม่เหล็ก  $M_1$  เรียกว่าแม่เหล็กขนาน (Shunt magnet) ขดลวดที่ทำให้เกิดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดนี้จะต่อขนานกับแรงดันของโหลด โดยที่กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดชุดนี้จะแปรผันตรงกับแรงดันของโหลด ในส่วนของแม่เหล็กอีกชุดหนึ่งคือ  $M_2$  เรียกว่า แม่เหล็กอันดับ (Series magnet) ขดลวดที่ทำให้เกิดแม่เหล็กไฟฟ้าชุดนี้จะต่ออนุกรมกับโหลด ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดชุดนี้จะแปรผันตรงกับกระแสของโหลด แม่เหล็ก  $M_2$  จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก  $\phi_2$  ขึ้นมา และแม่เหล็ก  $M_1$  จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก  $\phi_1$  ขึ้นมา ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า  $\phi_2$  จะแปรผันโดยตรงกับกระแสของโหลด และมีเฟสเดียวกับ



รูปที่ 2.17 (ก) โครงสร้างของวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า  
(ข) แม่เหล็กหน่วง



รูปที่ 2.18 ส่วนประกอบภายในของกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์

กระแสด้วย ส่วน  $\phi_1$  จะแปรผันโดยตรงกับแรงดันของโหลด และมีมุมต่างเฟส 90 องศา ซึ่งจะล่าหลังกับแรงดันของโหลด มุมต่างเฟสนี้สามารถที่จะปรับแต่งได้โดยการปรับตำแหน่งของแหวนทองแดง C ที่สวมอยู่ที่แกนกลางของแม่เหล็กขานาน  $M_1$

เส้นแรงแม่เหล็ก  $\phi_1$  ส่วนใหญ่จะเคลื่อนผ่านช่องว่างไปยังแกนด้านข้างของแม่เหล็ก  $M_1$  แต่มีเส้นแรงแม่เหล็กอีกจำนวนหนึ่งซึ่งมีจำนวนน้อยที่เคลื่อนที่ผ่านจาน D และเป็นเส้นแรงแม่เหล็กส่วนที่ทำให้เกิดแรงบิดเบี่ยงเบนขึ้น เส้นแรงแม่เหล็ก  $\phi_1$  และ  $\phi_2$  จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า

เหนี่ยวนำขึ้นในจาน D และจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลวนขึ้นในจาน D ด้วย ปฏิสัมพันธ์ระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองจำนวนกับกระแสไหลวนทั้งสอง จะทำให้เกิดแรงบิด หรือแรงขับขึ้นที่จาน D ส่วนแรงหน่วงหรือแรงบิดควบคุม เกิดขึ้นได้จากแม่เหล็กถาวรหนึ่งคู่ดังรูปที่ 2.17 (ข) ซึ่งติดตั้งเป็นแนวเส้นตรงตามแนวเส้นผ่าศูนย์กลางของจาน และให้มีทิศทางของอำนาจแม่เหล็กต้านกันกับอำนาจแม่เหล็กของ  $M_1$  และ  $M_2$  ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะลดปฏิสัมพันธ์ระหว่างอำนาจแม่เหล็กของ  $M_1$  และ  $M_2$

เมื่อขอบของจาน D เคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างขั้ว N และ S ของแม่เหล็กหน่วง จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลวนเหนี่ยวนำขึ้นในจาน กระแสไฟจำนวนนี้ทำให้เกิดแรงหน่วงขึ้น ซึ่งแรงหน่วง  $T_B$  จะมีค่าดังนี้

$$T_B \propto \frac{\phi^2 N}{r} \quad (2.40)$$

เนื่องจาก  $\phi$  และ  $r$  จะมีค่าคงที่เสมอ

$$T_B \propto N \quad (2.41)$$

เมื่อ  $\phi$  คือ เส้นแรงแม่เหล็กของแม่เหล็กหน่วง

$N$  คือ ความเร็วของจานหมุน

$R$  คือ ความต้านทานของวงจรกระแสไหลวนในจาน

ดังที่ได้อธิบายมาก่อนหน้านี้แล้วว่า แรงบิดเบี่ยงเบนหรือแรงขับของเครื่องวัดแบบนี้จะเป็นสัดส่วนกับกำลังของไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้านั้นๆ

$$T_d \propto VI \cos \theta \quad (2.42)$$

เมื่อความเร็วของเครื่องวัดคงที่

$$T_B = T_d \quad (2.43)$$

จากสมการที่ 2.37 และ 2.38

$$N \propto VI \cos \theta \quad (2.44)$$

$$\alpha \text{ กำลังไฟฟ้า (W)} \quad (2.45)$$

หรือ

$$N \propto \frac{VI \cos \theta \cdot t}{3600 \times 1000} \quad (2.46)$$

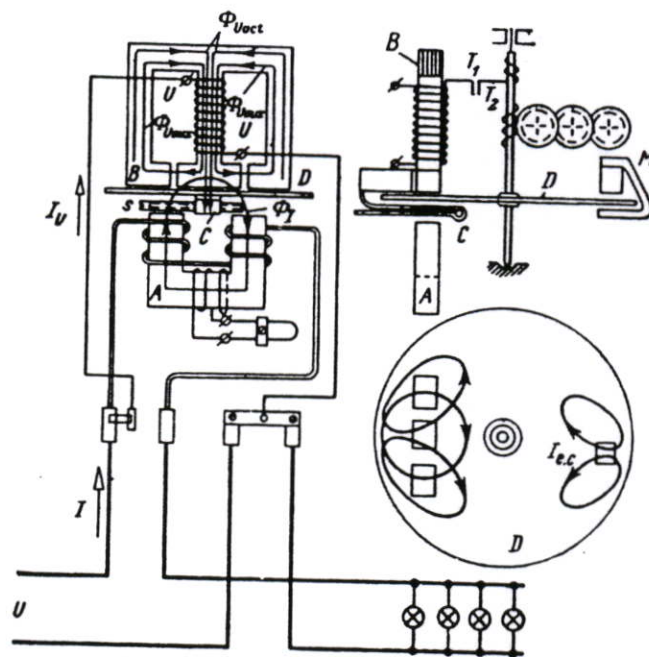
ดังนั้น

$$N = K \frac{VI \cos \theta \cdot t}{3600 \times 1000} \quad (2.47)$$

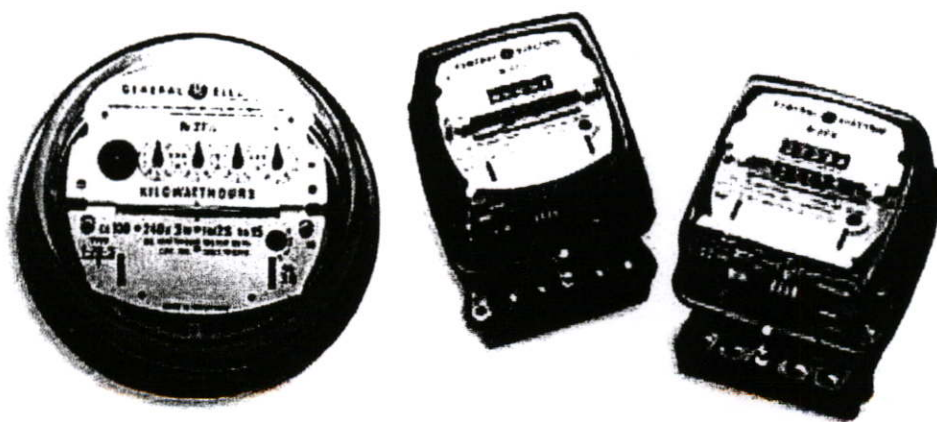
$$N = K \frac{W.t}{3600 \times 1000} \quad \text{รอบ} \quad (2.48)$$

$$t = \frac{3600 \times 1000 N}{K.W} \quad \text{วินาที} \quad (2.49)$$

เมื่อ  $K$  คือ ค่าคงที่ของเครื่องวัด (จำนวนรอบ/กิโลวัตต์ชม.)



รูปที่ 2.19 วงจรการต่อกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์แบบหนึ่งเฟส

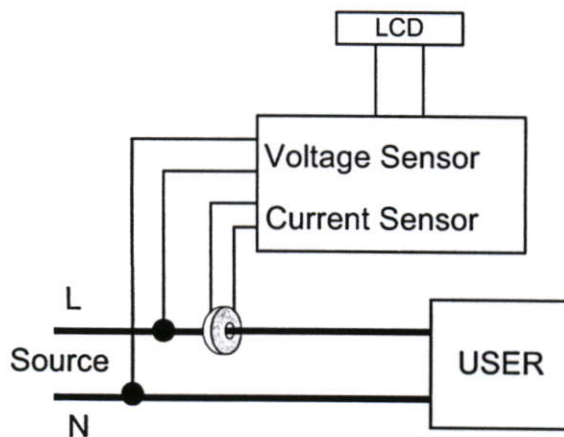


รูปที่ 2.20 กิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า

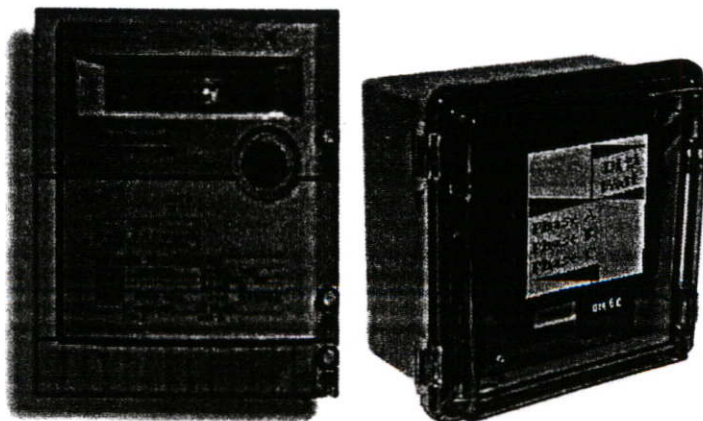
### 2.3.4 ดิจิทัลโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์

ในปัจจุบันเริ่มมีการเปลี่ยนจากโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์แบบเหนี่ยวนำ มาใช้เป็นแบบดิจิทัลโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์ ซึ่งมิเตอร์แบบนี้จะมีความสามารถในการทำงานเพิ่มขึ้นมากมาย เช่น สามารถที่จะแสดงค่าต่างๆบนหน้าจอได้ ไม่ว่าจะเป็นค่าแรงดัน (V), กระแส (I), ความถี่ (f), วัตต์ (W), จำนวนหน่วยการใช้งาน (kW.h) เป็นต้น ทำให้ผู้ใช้งานทราบปริมาณการใช้ไฟในที่ต่างๆได้อย่างสะดวก นำไปสู่การคำนวณหาความต้องการทางไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆได้อย่างถูกต้องมากขึ้น ทำให้ผู้ใช้สามารถจัดความจำเป็นในการใช้ไฟฟ้าได้ตามความต้องการ ในแต่ละช่วงเวลาได้อย่างเหมาะสม

รูปที่ 2.21 แสดงให้เห็นถึงหลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องดิจิทัลโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์ โดยทั่วไป จะนำสัญญาณแรงดัน และสัญญาณกระแส เข้ามายังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการคำนวณค่าต่างๆออกมา จากนั้นจะนำค่าที่คำนวณได้นี้ มาแสดงบนหน้าจอแสดงผล เพื่อให้ผู้ใช้งานได้ทราบค่าต่างๆที่ต้องการได้อย่างสะดวก



รูปที่ 2.21 หลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องดิจิทัลโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์



รูปที่ 2.22 เครื่องดิจิทัลโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์

เครื่องดิจิทัลโวลต์ชั่วโอมมิเตอร์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่ ถึงแม้จะมีความสามารถต่างๆ เพิ่มขึ้นมาก แต่ก็ทำได้เพียงแค่แสดงค่าต่างๆ ได้เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ไม่สามารถทำการจ่ายเงินและตัดต่อไฟฟ้าได้ เครื่องดิจิทัลโวลต์ชั่วโอมมิเตอร์ในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาให้สามารถทำการคำนวณหาจำนวนยูนิตการใช้งาน, ค่าไฟฟ้า และสามารถทำการชำระเงินได้อีกด้วย ซึ่งที่กล่าวมานี้จะรวมทั้งหมดยู่ภายในเครื่องเดียว ทำให้ช่วยลดขั้นตอนและต้นทุนในการดำเนินการต่างๆ ได้อย่างมาก

## บทที่ 3

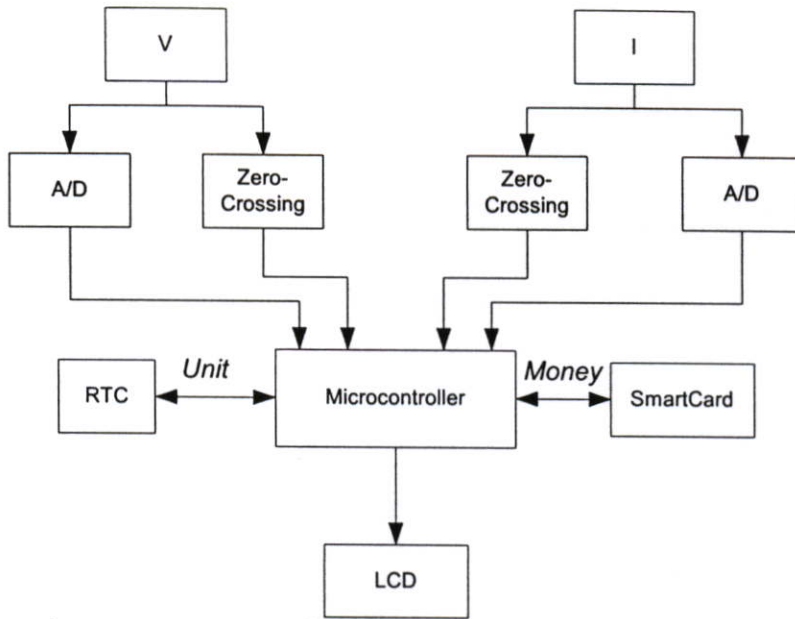
### การออกแบบและหลักการทำงาน

#### 3.1 บทนำ

ในงานวิจัยนี้ ได้แบ่งการทำงานของระบบออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ เครื่องดิจิทัลโวลต์ชั่วโชมมิเตอร์แบบ 1-เฟส (Digital 1-Phase KiloWatt-Hour Meter) และเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร (FT Changer Machine) โดยที่เครื่องดิจิทัลโวลต์ชั่วโชมมิเตอร์ จะทำการหาค่าต่างๆออกมาเพื่อนำมาคำนวณหาจำนวนยูนิต และค่าไฟฟ้าที่ใช้ไป เพื่อที่จะนำไปหักกับยอดเงินที่มีอยู่ในเครื่อง ส่วนเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร จะมีหน้าที่ส่งข้อมูลของค่าอัตราผันแปรที่เปลี่ยนแปลง (Ft), วัน/เดือน/ปี และเวลา เข้าไปยังเครื่องดิจิทัลโวลต์ชั่วโชมมิเตอร์เพื่อทำการเปลี่ยนข้อมูลเหล่านั้นให้ถูกต้องตามต้องการ และยังสามารถเพิ่มจำนวนเงินเข้าไปในบัตรสมาร์ตการ์ดได้อีกด้วย

#### 3.2 เครื่องดิจิทัลโวลต์ชั่วโชมมิเตอร์

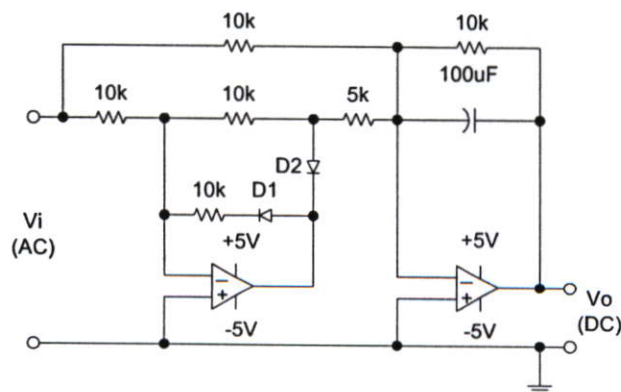
หลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องดิจิทัลโวลต์ชั่วโชมมิเตอร์ แบบ 1-เฟส แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.1 การหาขนาดของแรงดันจะใช้หม้อแปลงแรงดัน (PT) ทำการลดระดับแรงดันจาก 220 V ลดลงเหลือ 4.5 V ในส่วนของการหาค่ากระแส จะใช้หม้อแปลงกระแส (CT) ซึ่งสัญญาณแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงแรงดัน และหม้อแปลงกระแส จะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจึงต้องทำการเปลี่ยนให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเสียก่อน เนื่องจากสัญญาณอินพุทของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลที่ใช้นั้นจะรับเฉพาะแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จึงต้องใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นมาทำการแปลงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นจึงนำสัญญาณที่ได้มาต่อเข้ากับอะนาล็อกทูดิจิทัลคอนเวอร์เตอร์ (Analog to Digital Converter) ซึ่งจะทำการส่งสัญญาณดิจิทัลเข้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการคำนวณหาขนาดของแรงดัน และกระแส ส่วนการหาค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์นั้น จะนำสัญญาณจากหม้อแปลงแรงดัน และหม้อแปลงกระแส มาต่อเข้ากับวงจรซีโร่-ครอสซิงดีเทคเตอร์ (Zero-Crossing detector) โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการจับเวลาของสัญญาณแรงดัน และสัญญาณกระแส เพื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของมุมเฟสระหว่างแรงดัน และกระแสที่เกิดขึ้น ทำให้สามารถคำนวณหาค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ออกมาได้ จากนั้นนำค่าที่ได้เหล่านี้ไปคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน เมื่อได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้งานแล้ว นำค่าที่ได้มาคำนวณหาจำนวนยูนิตที่ใช้งาน จากนั้นนำจำนวนยูนิตที่คำนวณได้ ไปทำการคำนวณหาค่าไฟฟ้าตามประเภทการใช้งาน เพื่อที่จะนำค่าไฟฟ้าที่คำนวณได้นี้ ไปหักกับจำนวนเงินที่มีอยู่ในเครื่อง ดิจิทัลโวลต์ชั่วโชมมิเตอร์ ซึ่งจำนวนเงินที่อยู่ในเครื่องนี้ได้มาจากบัตรสมาร์ตการ์ด



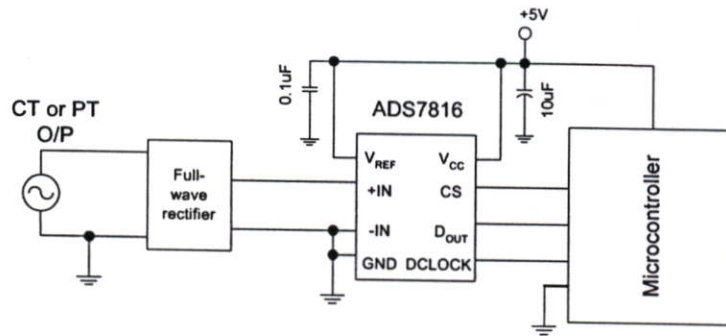
รูปที่ 3.1 หลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องดิจิทัลกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์

### 3.2.1 การหาขนาดแรงดัน

การหาขนาดแรงดันสามารถหาได้โดยการใช้หม้อแปลงแรงดัน มาทำการลดระดับแรงดันลง จาก 220 V ลดลงเหลือ 4.5 V สาเหตุที่ต้องลดระดับแรงดันลงก่อนเนื่องจาก อะนาล็อกคิวดิจิทัลคอนเวอเตอร์ สามารถทนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านขาเข้าได้ไม่เกิน 5 V จึงต้องทำการลดระดับลงให้ไม่เกิน 5 V เสียก่อน เมื่อลดระดับแรงดันได้แล้ว แรงดันที่ได้ยังเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอยู่ จึงต้องทำการแปลงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเสียก่อน โดยใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มลูกคลื่นดังรูปที่ 3.2 จากนั้นจึงนำระดับแรงดันที่ได้มาต่อเข้ากับวงจระอนาล็อกคิวดิจิทัลคอนเวอเตอร์ ซึ่งจะทำการแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วส่งสัญญาณนี้เข้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการคำนวณหาขนาดแรงดันต่อไป ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มลูกคลื่น



รูปที่ 3.3 วงจรการต่ออะนาล็อกทูลดิจิทัลคอนเวอร์เตอร์

ในการคำนวณหาขนาดแรงดันโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำการเทียบอัตราส่วนโดยกำหนดให้แรงดันที่เข้าวงจรอะนาล็อกทูลดิจิทัลคอนเวอร์เตอร์ ที่ 4.5 V มีค่าเท่ากับ 220 V ดังสมการที่ 3.1

$$V = V_{pt} \times \left( \frac{220}{4.5} \right) \quad (3.1)$$

เมื่อ  $V$  คือ แรงดันที่คำนวณได้

$V_{pt}$  คือ แรงดันที่ออกจากหม้อแปลงแรงดัน

### 3.2.2 การหาขนาดกระแส

การหาขนาดกระแสที่ใช้งาน สามารถหาได้โดยใช้หม้อแปลงกระแส (CT) ดังรูปที่ 3.4 หลักการทำงานของหม้อแปลงกระแสกล่าวคือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านเส้นลวดตัวนำ ( $I_o$ ) จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบๆตัวนำ ทำให้เกิดฟลักซ์ขึ้นในแกนเหล็ก ขดลวดทางด้านทุติยภูมิที่พันอยู่รอบๆแกนเหล็กนี้ก็จะมีความแรงดัน ( $E_o$ ) เกิดขึ้นมา ถ้ากำหนดให้เส้นลวดตัวนำทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 1 รอบ สามารถเขียนสมการออกมาได้ดังสมการที่ 3.2

$$E_o = \frac{KI_oR_L}{n} \quad (3.2)$$

$E_o$  คือ แรงดันทางด้านเอาต์พุต ( $V_{rms}$ )

$K$  คือ อัตราการขยายหาได้จากคู่มือของหม้อแปลงกระแส

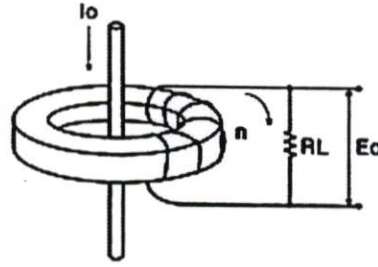
$I_o$  คือ กระแสที่ผ่านลวดตัวนำทางด้านปฐมภูมิ ( $A_{rms}$ )

$R_L$  คือ ตัวต้านทานที่ต่อทางด้านทุติยภูมิ ( $\Omega$ )

$n$  คือ จำนวนรอบของขดลวดทางด้านทุติยภูมิ



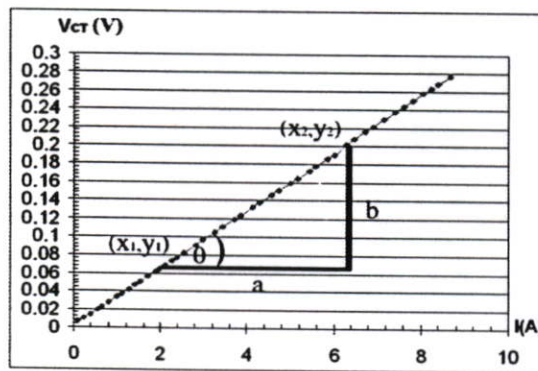
(ก)



(ข)

รูปที่ 3.4 (ก) หม้อแปลงกระแส

(ข) หลักการพื้นฐานของหม้อแปลงกระแส



รูปที่ 3.5 กราฟแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแสเทียบกับกระแสโหลด

เนื่องจากแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแสนั้นเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ จึงต้องทำการแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงก่อนที่จะเข้าวงจรอนุบาลีคทูดิจิตัลคอนเวอเตอร์ โดยใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มลูกคลื่นเหมือนการหาขนาดแรงดันที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้า จากนั้นทำการวัดเปรียบเทียบแรงดันที่ได้กับกระแสที่ใช้งาน ดังรูปที่ 3.5 จากนั้นนำค่าที่ได้นี้หาขนาดมุมความชันที่เกิดขึ้น เนื่องจากแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแสนี้ไม่เป็นเชิงเส้นเท่าที่ควร จึงต้องทำการแบ่งกลุ่มตามความชันเพื่อคำนวณหาขนาดของกระแสที่ใช้งานขณะนั้น สามารถหามุมความชันได้โดยใช้สมการที่ 3.3

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) \quad (3.3)$$

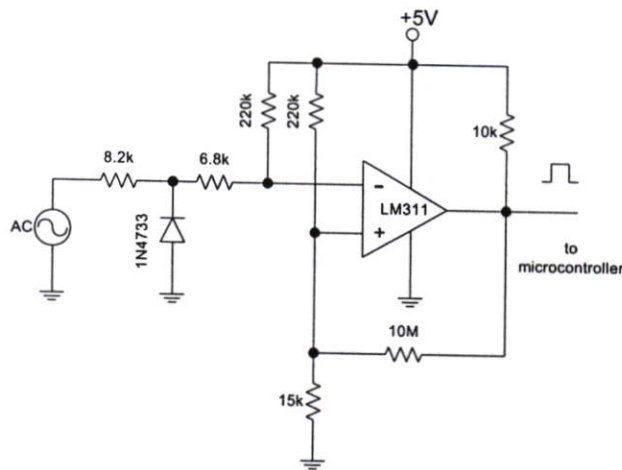
เมื่อหาขนาดมุมได้แล้ว สามารถที่จะหาขนาดของกระแสได้โดยใช้สมการที่ 3.4

$$I = \left[ \frac{(V_{cr} - y_1)}{\tan \theta} \right] + x_1 \quad (3.4)$$

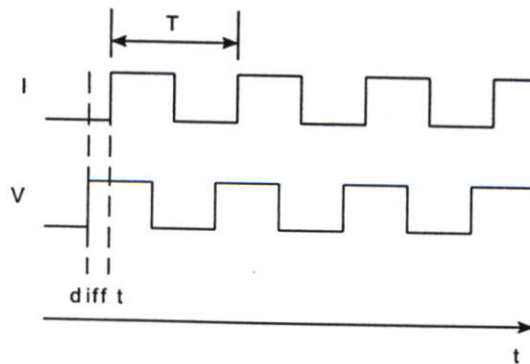
- เมื่อ  $V_{CT}$  คือ แรงดันที่ออกมาจากหม้อแปลงกระแส  
 $y_1$  คือ แรงดันเริ่มต้นของแต่ละกลุ่ม  
 $x_1$  คือ กระแสเริ่มต้นของแต่ละกลุ่ม  
 $I$  คือ กระแสที่คำนวณหาได้

### 3.2.3 การหาค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์

การหาค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ สามารถหาได้โดยนำสัญญาณแรงดันที่ออกมาจากหม้อแปลงแรงดันและหม้อแปลงกระแส มาต่อเข้ากับวงจรซีโรครอสซิงดิเทคเตอร์ ดังรูปที่ 3.6 สัญญาณที่ออกมาจะเป็นสัญญาณพัลส์ (pulse) ของแรงดันและกระแส ดังรูปที่ 3.7 จากนั้นนำเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการนับสัญญาณแต่ละช่วง โดยกำหนดให้ 1 คาบเวลา (T) ที่ 50 Hz มีค่าเท่ากับ 20 ms เทียบได้เป็น 360 องศา เมื่อทราบช่วงระยะเวลาที่ต่างกันแล้ว นำไปแทนค่าลงในสมการที่ 3.5 จะทำให้ทราบค่าองศาที่ต่างกัน นำองศาที่ได้นี้มาใส่ใน  $\cos \theta$  ทำให้ได้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ออกมา



รูปที่ 3.6 วงจรซีโรครอสซิงดิเทคเตอร์



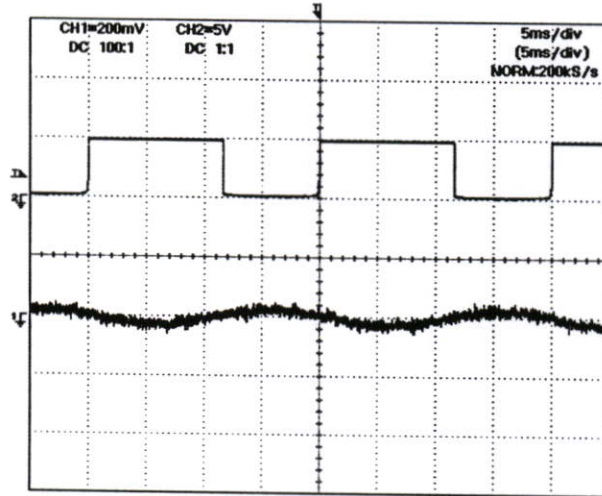
รูปที่ 3.7 การหามุมเฟสระหว่างแรงดัน และกระแส

$$\theta = \left( \frac{360}{T} \right) \times \text{diff } t \quad (3.5)$$

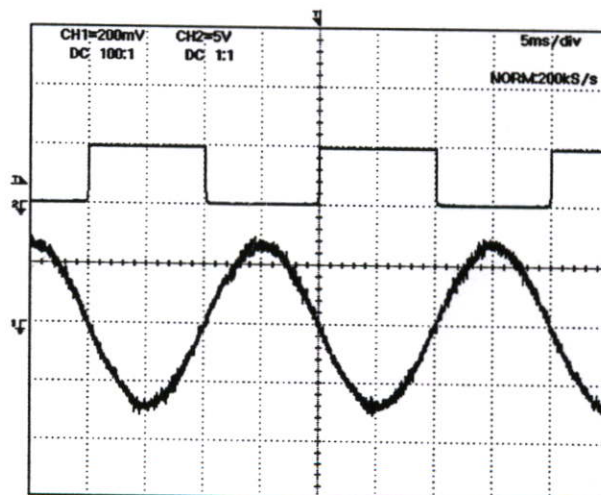
เมื่อ  $\theta$  คือ ขนาดมุมที่ต่างกันของแรงดันและกระแส

$T$  คือ คาบเวลา

$\text{diff } t$  คือ ช่วงเวลาที่ต่างกันของแรงดันและกระแส



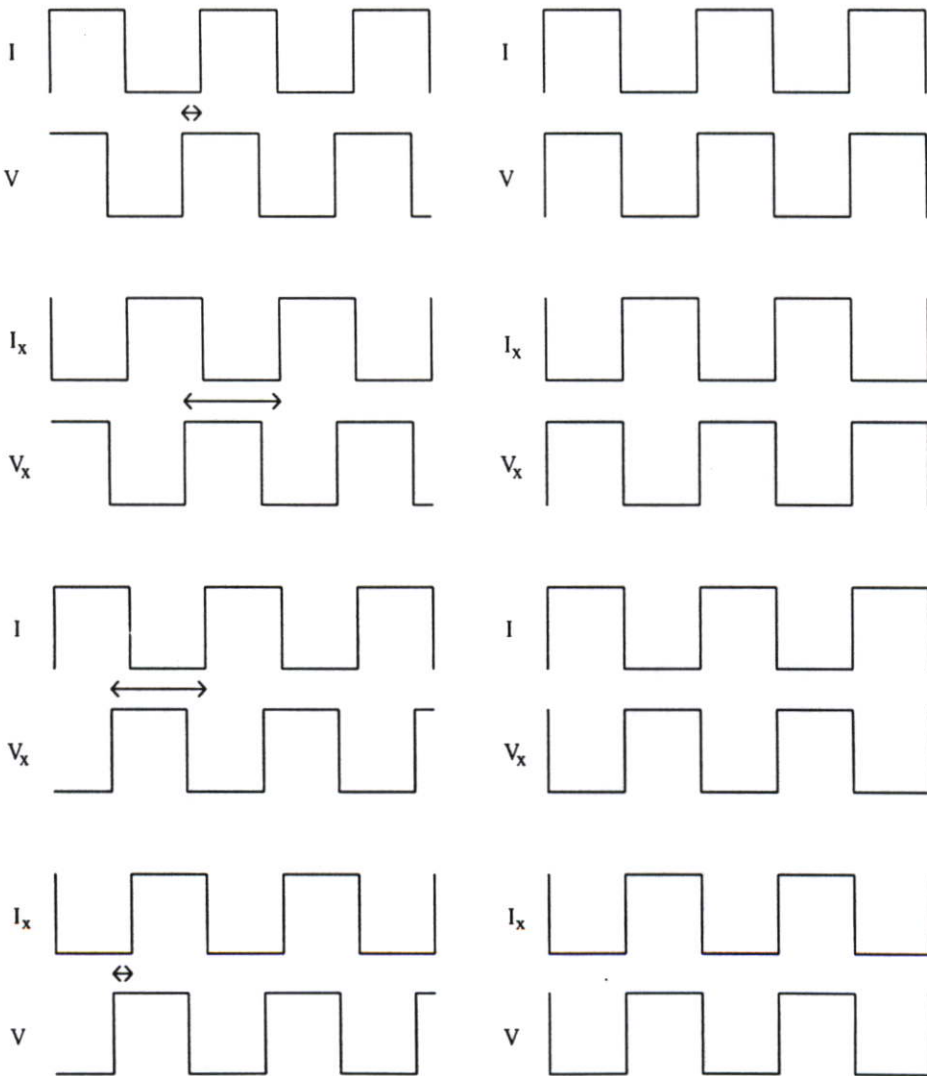
รูปที่ 3.8 สัญญาณกระแสที่ยังไม่ผ่านวงจรถบาย  
บน: สัญญาณที่ออกจากวงจรซีโรครอสซึ่ง  
ล่าง: สัญญาณกระแสที่ยังไม่ผ่านวงจรถบาย



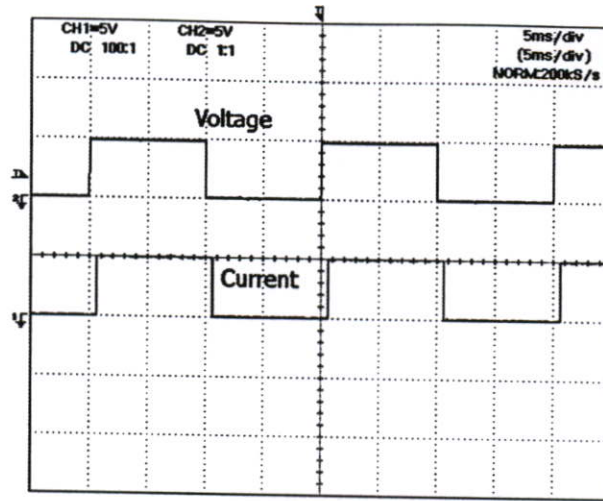
รูปที่ 3.9 สัญญาณกระแสที่ผ่านวงจรถบาย  
บน: สัญญาณจากวงจรซีโรครอสซึ่ง  
ล่าง: สัญญาณกระแสที่ผ่านวงจรถบาย

ในการทดลองพบว่า การหาค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์จะมีปัญหาได้เมื่อผู้ใช้ไฟต่อโหลดที่ใช้กระแสไฟฟ้าต่ำ ส่งผลให้แรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแสจะมีค่าน้อยมาก สัญญาณที่ออกจากวงจรซีโรครอสซึ่งดีเทคเตอร์จึงมีรูปแบบไป ดังรูปที่ 3.8 สามารถแก้ไขได้โดยนำสัญญาณแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแสก่อนเข้าวงจรซีโรครอสซึ่งดีเทคเตอร์ มาต่อเข้ากับวงจรมหาขยายสัญญาณเสียก่อน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้อิซีเบอร์ INA 217 มาเป็นตัวขยายสัญญาณที่ออกจากหม้อแปลงกระแส ทำให้วงจรซีโรครอสซึ่งดีเทคเตอร์สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องมากขึ้น การหาค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ก็จะมีค่าถูกต้องมากขึ้น ไปด้วย ดังรูปที่ 3.9

จากรูปที่ 3.10 จะแสดงถึงสัญญาณแรงดัน และกระแสที่กลับเฟส ในการต่อใช้งานจริงสัญญาณแรงดัน และกระแสอาจมีการสลับเฟสกันได้ [7] เนื่องจากเราไม่สามารถที่จะทราบได้ว่า ผู้ใช้ไฟจะต่อสัญญาณแรงดัน และกระแสเข้าทางขั้วไหน จึงต้องนำรูปแบบทั้ง 8 มาพิจารณา ในการคำนวณสามารถใช้สมการที่ 3.5 มาคำนวณหามุมที่ต่างกันของแรงดัน และกระแสได้เหมือนเดิม



รูปที่ 3.10 สัญญาณแรงดันและกระแสในรูปแบบต่างๆ



รูปที่ 3.11 เปรียบเทียบมุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแส

จากรูปที่ 3.11 จะแสดงการเปรียบเทียบของสัญญาณที่ออกจากวงจรซีโรครอสซิงดีเทคเตอร์ โดยเส้นบนจะเป็นสัญญาณแรงดัน ส่วนเส้นล่างจะเป็นสัญญาณกระแส

### 3.2.4 การหาค่ากำลังไฟฟ้า

เมื่อหาค่าแรงดัน, กระแส และเพาเวอร์แฟกเตอร์ได้แล้ว เราก็สามารถที่จะนำค่าเหล่านั้นมาทำการคำนวณหาโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน โดยนำค่าที่ได้มาคำนวณในสมการที่ 3.6 เพื่อที่จะนำไปหาจำนวนยูนิตที่ใช้งานต่อไป [8-9]

$$P = VI \cos \theta \quad (3.6)$$

### 3.2.5 การหาจำนวนยูนิตที่ใช้งาน

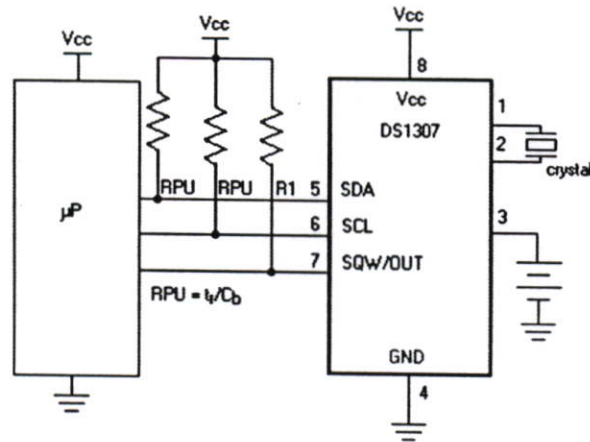
เมื่อได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้งานแล้ว นำค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ มาคำนวณหาจำนวนยูนิตที่ใช้งาน โดยใช้สมการที่ (3.7)

$$W_p = P \times \frac{T}{1000} \quad (3.7)$$

เมื่อ  $W_p$  คือ จำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์/ชั่วโมง หรือ 1 หน่วย

$P$  คือ กำลังไฟฟ้า (W)

$T$  คือ จำนวนเวลาที่ใช้ (Hour)



รูปที่ 3.12 วงจรการต่อ RTC เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

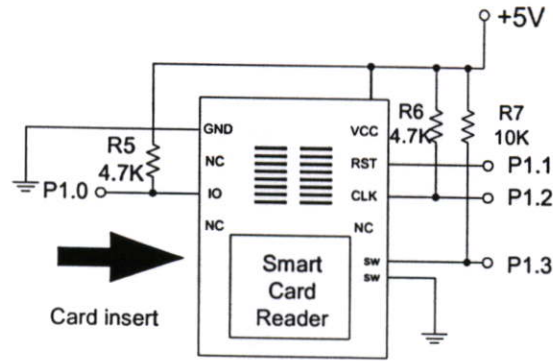
เนื่องจากการคำนวณโดยใช้เครื่องคิดเลขโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ จะทำการคำนวณทุกๆ 1 วินาที จึงต้องทำการเปลี่ยนแปลงจำนวนเวลาที่ใช้งานให้เป็น 1 วินาที จึงทำให้ T มีค่าเท่ากับ 1/3600 ชั่วโมง เมื่อคำนวณหาจำนวนยูนิตได้ ก็จะนำข้อมูลที่ได้นี้ไปเก็บไว้ใน RTC เบอร์ DS1307 เพื่อรอการคำนวณค่าไฟต่อไป ในรูปที่ 3.12 จะแสดงให้เห็นถึงวงจรการต่อเพื่อทำการรับส่งข้อมูลระหว่าง RTC กับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

### 3.2.6 การเพิ่มจำนวนเงินเข้าไปยังเครื่องคิดเลขโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์

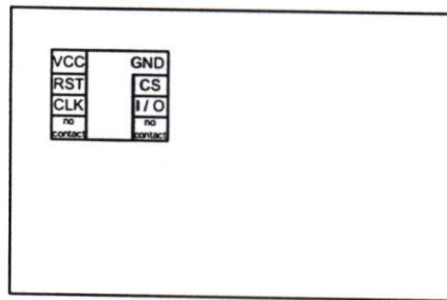
จำนวนเงินที่เพิ่มเข้าไปยังเครื่องคิดเลขโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์นี้จะได้จาก บัตรสมาร์ตการ์ดที่ได้รับบริการใส่จำนวนเงินเข้าไปในบัตรจากเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร การจะอ่านข้อมูลจากบัตรสมาร์ตการ์ดนั้น จึงต้องมีเครื่องอ่านสมาร์ตการ์ดต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ดังรูปที่ 3.12(ก) เมื่อสอดบัตรสมาร์ตการ์ดเข้าไป เครื่องจะทำการอ่านข้อมูลว่าบัตรที่ใส่เข้าไบนั้น เป็นบัตรที่เข้ารหัสเดียวกับเครื่องคิดเลขโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์หรือไม่ ถ้าไม่ใช่บัตรที่ใช้กับเครื่องคิดเลขโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ก็จะไม่สามารถเติมเงินเข้าไปได้ แต่ถ้ารหัสบัตรตรวจสอบแล้วว่าตรงกัน เครื่องก็จะทำการตรวจสอบว่ามีจำนวนเงินอยู่ในบัตรสมาร์ตการ์ดหรือไม่ ถ้ามีก็จะปรากฏข้อความ Transfer? ขึ้นมาที่หน้าจอ LCD เพื่อที่จะถามว่าต้องการโอนเงินเข้าไปในเครื่องทั้งหมดหรือไม่ เมื่อกดสวิทช์ที่ต่อเข้ากับขา P2.0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ เครื่องก็จะทำการโอนเงินจากบัตรสมาร์ตการ์ดเข้าไปยังเครื่องคิดเลขโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ โดยจะนำจำนวนเงินที่ได้นี้ไปเก็บไว้ใน RTC (Real-Time Clock) เบอร์ DS1307 หากเกิดไฟดับ ข้อมูลก็ยังมิเก็บไว้ในนี้อยู่เนื่องจากมีแบตเตอรี่สำรองคอยจ่ายไฟอยู่ ดังรูปที่ 3.13 พร้อมกับทำการหักจำนวนเงินที่มีอยู่ในบัตรออกไป

### 3.2.7 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราผันแปร

ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ การไฟฟ้าจึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราผันแปรเพื่อให้การคิดค่าคำนวณไฟฟ้าเหมาะสมกับต้นทุนในช่วงเวลานั้น ในงานวิจัยนี้ เครื่องคิดเลขโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงอัตราผันแปรที่ใช้ในการคำนวณ



(ก)



(ข)

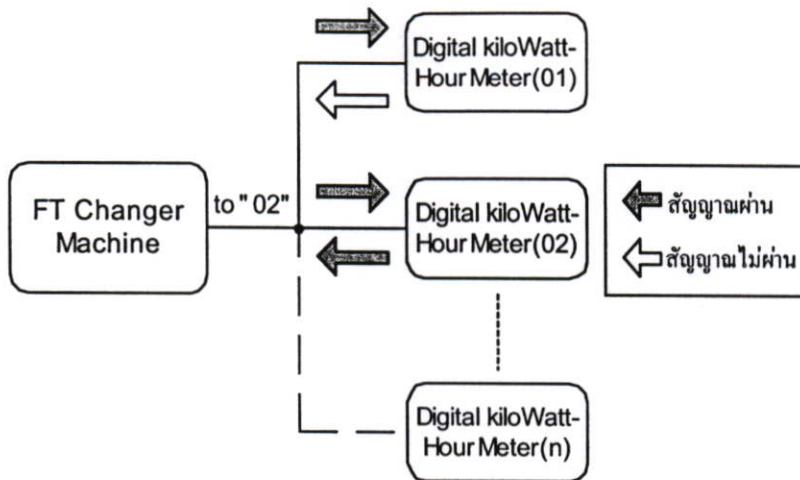
รูปที่ 3.13 (ก) วงจรการต่อเครื่องอ่านบัตรสมาร์ทการ์ด

(ข) หน้าสัมผัสบัตรสมาร์ทการ์ด

จากรูปที่ 3.13 (ข) [10] หน้าที่การทำงานของแต่ละหน้าสัมผัสมีดังนี้

- VCC คือ แรงดันไฟบวกที่ป้อนให้แก่ชิปในสมาร์ทการ์ด
- RST คือ แรงดันไฟสำหรับรีเซ็ตชิปในสมาร์ทการ์ด
- CLK คือ สัญญาณนาฬิกาสำหรับกำหนดจังหวะการรับ-ส่งข้อมูล
- GND คือ กราวด์ของแหล่งจ่ายไฟ
- CS คือ เขียนข้อมูลลงชิปในสมาร์ทการ์ด
- I/O คือ อินพุตและเอาต์พุตสำหรับการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

ค่าไฟฟ้าได้โดยการรับข้อมูลจากเครื่องปรับค่าอัตราผันแปรผ่านพอร์ต RS-485 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการรับ-ส่งข้อมูลผ่านไอซีเบอร์ SN65HVD3082E ซึ่งสามารถทำการรับส่งข้อมูลโดยใช้สายไฟเพียง 2 เส้นคือ สายส่ง (TxD) และสายรับ (RxD) ตามมาตรฐาน EIA/TIA-485 และสามารถต่อได้ถึง 256 จุด สายส่งสัญญาณสามารถส่งได้ยาวถึง 4,000 ฟุต โดยที่เครื่องดิจิทัลกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์แต่ละตัวที่ต่ออยู่ในโครงข่ายจะกำหนดรหัสประจำตัวของแต่ละเครื่องเอาไว้ ดังรูปที่ 3.14 เครื่องปรับค่าอัตราผันแปรจะกำหนดว่าต้องการเปลี่ยนค่าอัตราผันแปรในเครื่องดิจิทัลกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์หมายเลข 02 เครื่องก็ทำการส่งข้อมูลไปยังทุกเครื่องที่ต่ออยู่ร่วมกัน แต่มี



รูปที่ 3.14 การรับ-ส่งข้อมูลการเปลี่ยนค่าอัตราผันแปร

เพียงเครื่องหมายเลข 02 เท่านั้นที่ทำการรับข้อมูลได้ เนื่องจากการกำหนดเอาไว้ว่ารับได้เฉพาะเครื่องหมายเลข 02 การรับ-ส่งข้อมูลจากเครื่องปรับค่าอัตราผันแปรไปยังแต่ละเครื่องโดยกำหนดหมายเลขแบบนี้ทำให้สามารถที่จะตรวจสอบได้ว่าการส่งข้อมูลไปนั้นถูกต้องสมบูรณ์หรือไม่

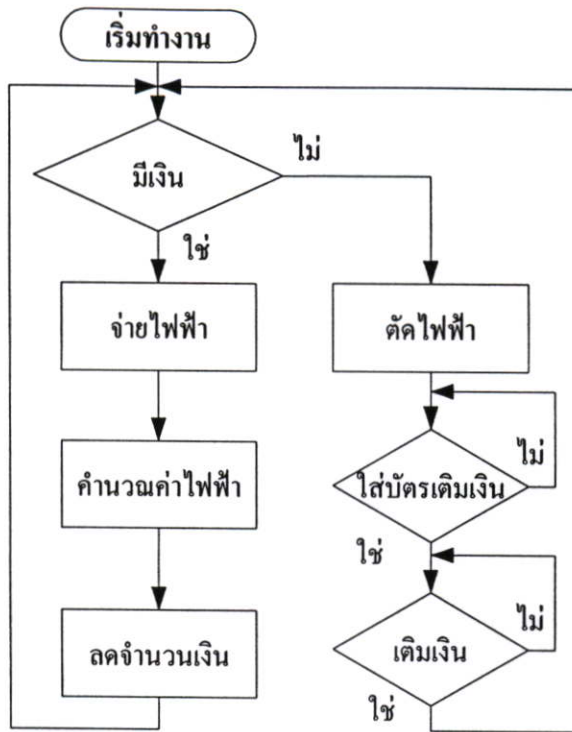
### 3.2.8 การคำนวณค่าไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้ได้นำมาทดลองต่อเข้ากับบ้านอยู่อาศัย [11] จึงได้ใช้การคำนวณค่าไฟฟ้าตามอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1.2 ดังตารางที่ 3.1

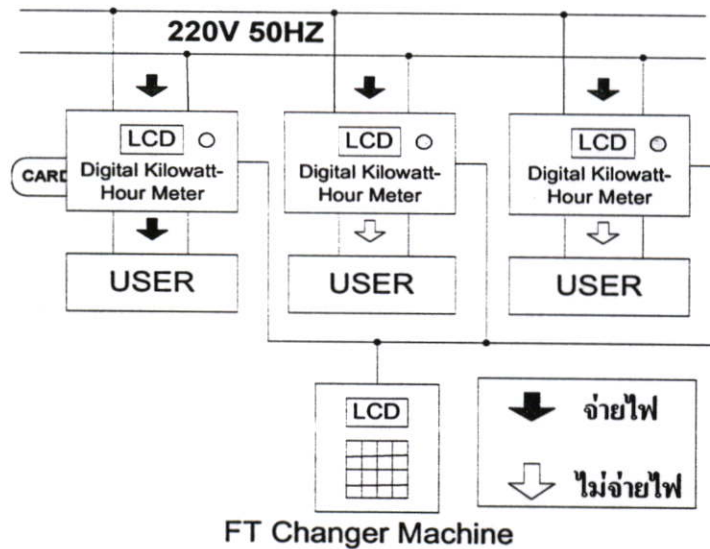
ตารางที่ 3.1 อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1.2 บ้านอยู่อาศัย

	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
ค่าบริการ		40.90
150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0- 150)	1.8047	
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400)	2.7781	
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	2.9780	

ในขั้นตอนการคำนวณ เมื่อจำนวนหน่วยที่เก็บไว้ใน RTC ครบแต่ละหน่วย ก็จะนำมาคำนวณหาค่าไฟฟ้าตามอัตราค่าไฟฟ้าข้างต้นรวมกับค่าอัตราผันแปร (Fi) ซึ่งสามารถเปลี่ยนค่าอัตราผันแปรได้โดยใช้เครื่องปรับค่าอัตราผันแปร ส่งข้อมูลการเปลี่ยนแปลงมายังเครื่องดิจิทัลกล็โวลต์คัทซ์ว็อมมิเตอร์ โดยที่เครื่องจะทำการคำนวณจำนวนเงินรวมกันไปเรื่อยๆจนครบหลักหน่วย จากนั้นจะทำการลดจำนวนเงินที่มีอยู่ในเครื่องตามการคำนวณที่ได้ลงไปเรื่อยๆจนหมด



รูปที่ 3.15 แผนผังการทำงานของเครื่องดิจิทัลกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์



FT Changer Machine

รูปที่ 3.16 การทำงานของเครื่องปรับค่าอัตราผันแปรและเครื่องดิจิทัลกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์

รูปที่ 3.15 แสดงถึงแผนผังการทำงานของเครื่องดิจิทัลกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ เมื่อเริ่มทำงาน เครื่องจะทำการตรวจสอบว่ามียอดเงินอยู่หรือไม่ ถ้ามียอดเงินอยู่ เครื่องก็จะจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟ แต่ถ้าหากไม่มียอดเงินอยู่เลย เครื่องจะทำการตัดไฟไม่จ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟ จนกว่าจะมีการเติมเงินจากบัตรเติมเงินเพื่อให้มีเงินอยู่ในเครื่องเสียก่อน เมื่อเริ่มมีการใช้งานเกิดขึ้น เครื่องจะทำการคำนวณหาค่าไฟฟ้า และจะเริ่มลดจำนวนเงินที่มีอยู่ในเครื่องไปเรื่อยๆ โดยเครื่องจะทำการ

ตรวจสอบว่ายังมีจำนวนเงินเหลืออยู่ไม่ ถ้าหาจำนวนเงินถูกลดไปจนหมด เครื่องก็จะไม่จ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟได้ใช้งานจนกว่าจะมีการเติมเงินเข้าไปในเครื่องดิจิทัลโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์ จึงจะเริ่มจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟได้ใช้งานต่อได้

### 3.3 เครื่องปรับค่าอัตราผันแปร

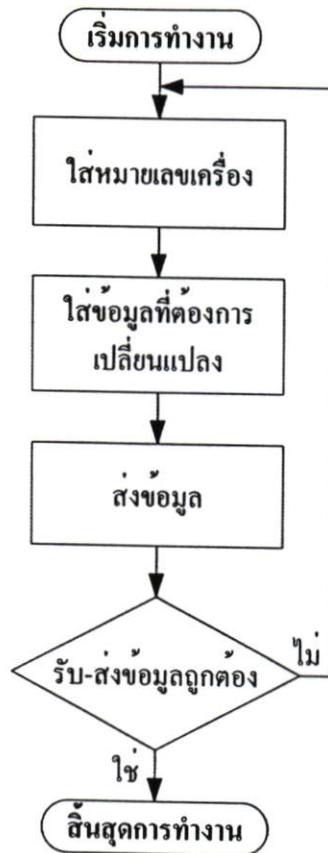
เครื่องปรับค่าอัตราผันแปร จะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงค่าอัตราผันแปร, วัน/เดือน/ปี และเวลาให้กับเครื่องดิจิทัลโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์ โดยจะทำการรับ-ส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ต RS-485 และยังทำหน้าที่เพิ่มเงินให้กับบัตรสมาร์ตการ์ดอีกด้วย

#### 3.3.1 การเปลี่ยนแปลงข้อมูล

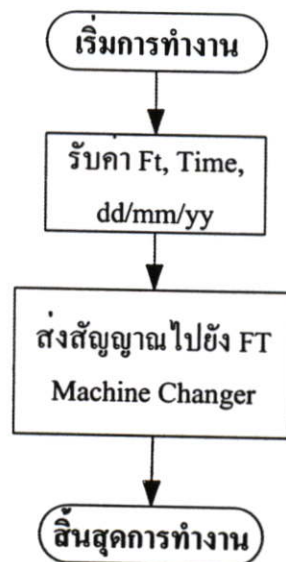
การเปลี่ยนแปลงข้อมูลโดยใช้เครื่องปรับค่าอัตราผันแปรนี้ สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงค่าอัตราผันแปร, วัน/เดือน/ปี และเวลาให้กับเครื่องดิจิทัลโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์ โดยจะต่อสายไฟเข้ากับพอร์ต RS-485 ของเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร และเครื่องดิจิทัลโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์เข้าด้วยกัน เมื่อเริ่มการทำงาน ดังรูปที่ 3.17 เราจะต้องกำหนดก่อนว่าเราต้องการแก้ไขที่เครื่องหมายเลขใด จากนั้นก็ทำการเลือกว่าต้องการเปลี่ยนแปลงข้อมูลใด แล้วทำการใส่ข้อมูลที่ต้องการเปลี่ยนแปลง เมื่อใส่ข้อมูลเรียบร้อยแล้วก็ทำการส่งข้อมูลไปยังเครื่องดิจิทัลโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์ ที่ต้องการเปลี่ยนแปลงข้อมูล เครื่องจะทำการตรวจสอบว่าข้อมูลที่ส่งไปนั้น ถูกต้องสมบูรณ์หรือไม่ ถ้าหากการส่งข้อมูลถูกต้องสมบูรณ์ เครื่องดิจิทัลโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์ก็จะทำการส่งสัญญาณกลับมายังเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร ดังรูปที่ 3.18 ที่หน้าจอ LCD ของเครื่องปรับค่าอัตราผันแปรก็จะแสดงให้ผู้ทำการส่งได้ทราบว่าการส่งข้อมูลสำเร็จเรียบร้อยแล้ว แต่ถ้าหากการส่งข้อมูลไม่สมบูรณ์ เครื่องปรับค่าอัตราผันแปรก็จะแสดงให้ผู้ส่งได้เห็นว่ามีการส่งข้อมูลผิดพลาด ทำให้เราทราบว่ามีการผิดพลาดเกิดขึ้นทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลไปได้ จึงต้องทำการตรวจสอบหาข้อผิดพลาดแล้วทำการส่งข้อมูลไปใหม่

#### 3.3.2 การเพิ่มจำนวนเงินในบัตรสมาร์ตการ์ด

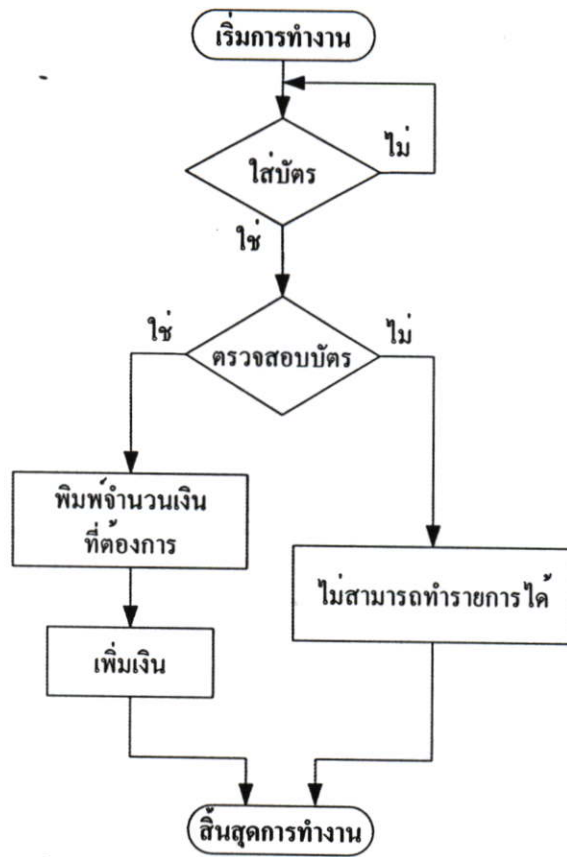
ในงานวิจัยนี้ได้นำบัตรสมาร์ตการ์ดมาใช้แทนเงินสด การจะทำให้บัตรสมาร์ตการ์ดมีจำนวนเงินอยู่ภายในบัตรได้ จะต้องมีเครื่องที่ทำหน้าที่เพิ่มจำนวนเงินเข้าไปในบัตรเสียก่อน ซึ่งการทำงานในส่วนของการเติมเงินนี้ จะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.19 เมื่อทำการใส่บัตรสมาร์ตการ์ดเข้าไปในช่องใส่บัตร เครื่องจะทำการเปลี่ยนการทำงานมาที่โหมดการเติมเงิน และจะทำการตรวจสอบว่ารหัสของบัตรตรงกับที่เครื่องกำหนดไว้หรือไม่ ถ้าไม่ตรงเครื่องจะไม่สามารถเติมเงินเข้าไปในบัตรได้ แต่ถ้าบัตรนั้นมีรหัสตรงกับที่เครื่องกำหนดไว้ เราก็สามารถพิมพ์จำนวนเงินที่ต้องการเพิ่มเข้าไปในบัตรสมาร์ตการ์ดและทำการเพิ่มเงินเข้าไปได้



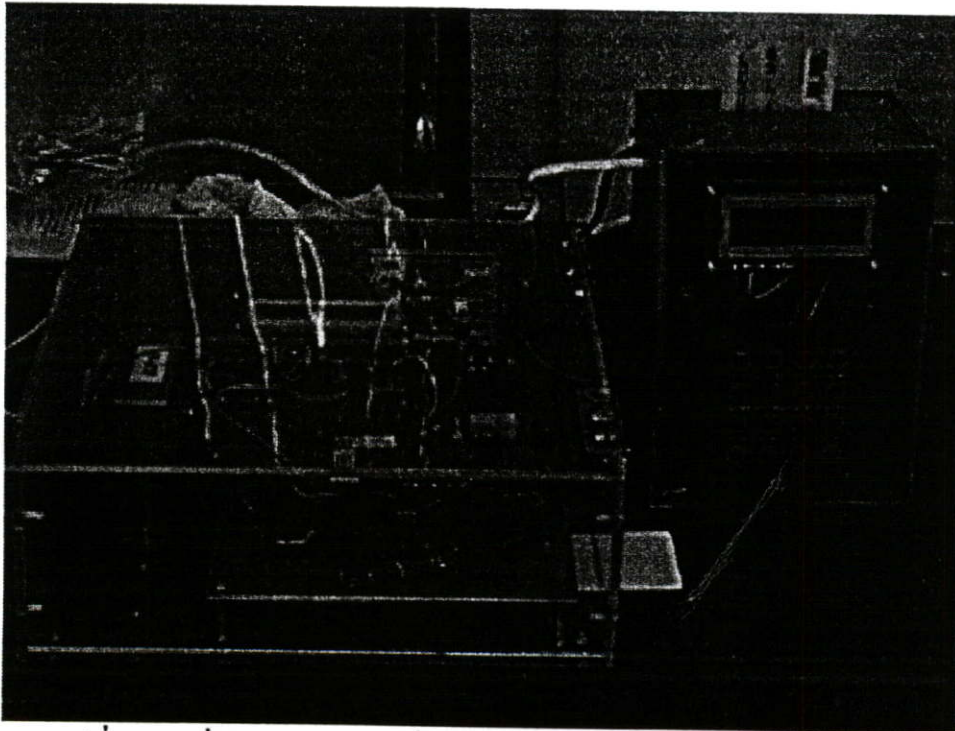
รูปที่ 3.17 แผนผังการ ส่งข้อมูลที่ต้องการเปลี่ยนแปลงของเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร



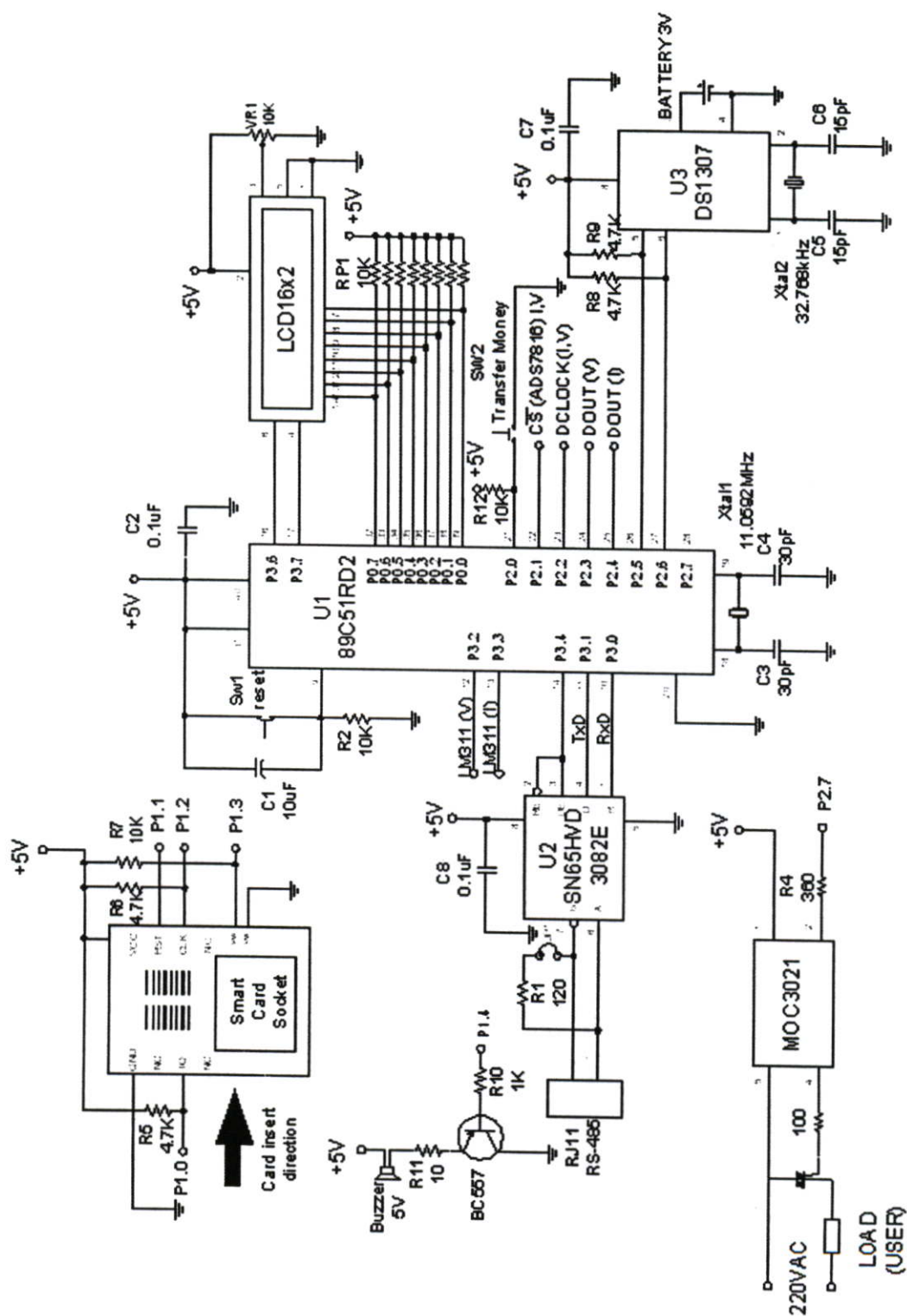
รูปที่ 3.18 แผนผังการรับ-ส่งข้อมูลของเครื่องคิิตลกีโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์



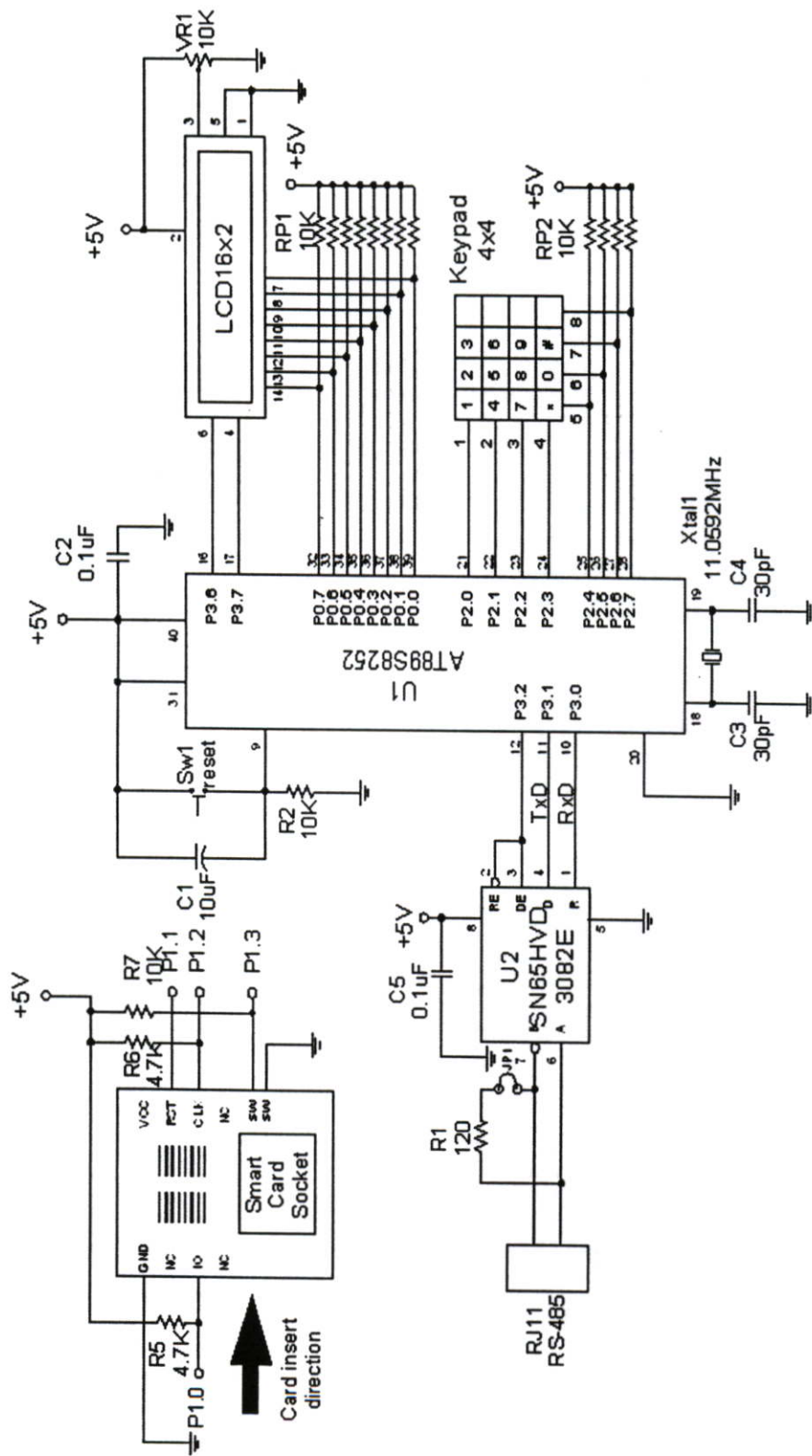
รูปที่ 3.19 แผนผังการเติมเงินให้กับบัตรสมาร์ทการ์ด



รูปที่ 3.20 เครื่องดิจิทัลกลิวัดค้ชั่วโมงมิเตอร์และเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร



รูปที่ 3.21 วงจรเครื่องคิดเลขไมโครตัวหัวไมงมิเตอร์



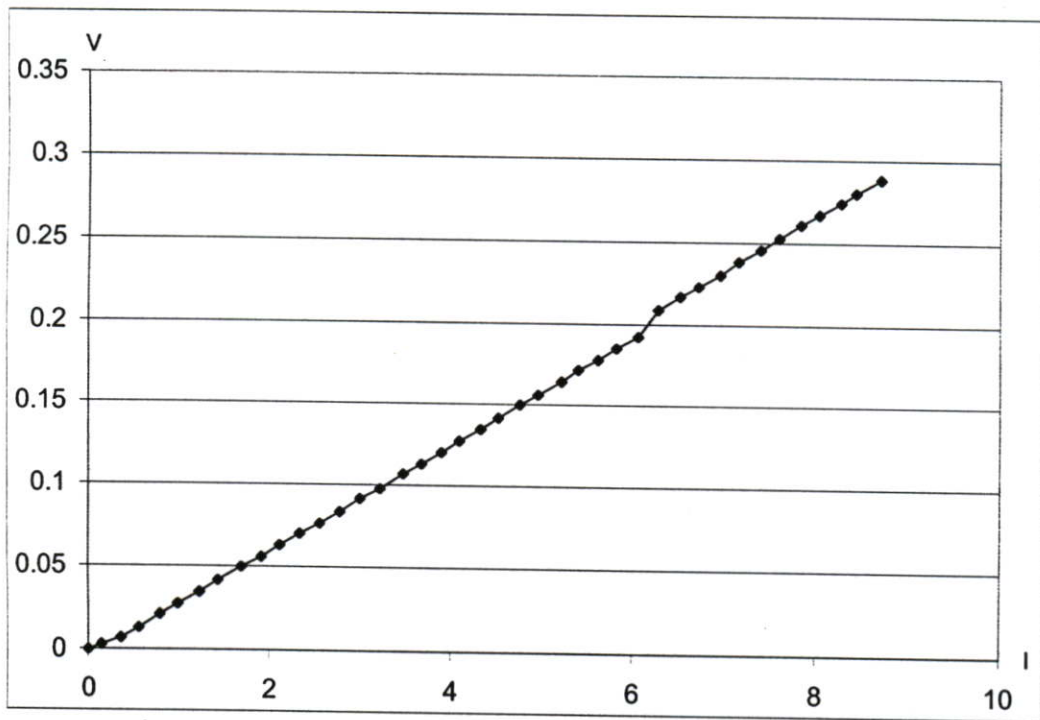
รูปที่ 3.22 วงจรเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 การทดสอบหาค่าแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแส

การทดลองนี้ จะใช้ออสซิลอสโคปทำการวัดแรงดันที่ออกจากวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น ซึ่งแรงดันขาเข้าจะได้รับมาจากหม้อแปลงกระแส โดยจะเปรียบเทียบกับขนาดของกระแสที่ใช้งาน ในขณะนั้น ซึ่งวัดได้จากมิเตอร์ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 43B ดังรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟที่ได้ยังไม่เป็นเชิงเส้นเท่าที่ควร จึงควรทำการแบ่งกลุ่มเพื่อหาค่ากระแสตามความชันให้เหมาะสม



รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแสและกระแสที่ใช้งาน

#### 4.2 การทดสอบหาค่าแรงดันและกระแส

การทดลองนี้จะทำการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องดิจิทัลโวลต์จัมป์โอมมิเตอร์ กับมิเตอร์ยี่ห้อ FLUKE รุ่น 43B ในตารางที่ 4.1 จะทำการทดลองหาค่าแรงดันขณะไม่มีโหลด โดยใช้วารีแอกทำ การปรับแรงดันในระดับต่างๆ แล้วนำ FLUKE 43 B ทำการวัดที่จุด A และ B ดังรูปที่ 4.2 ในตาราง ที่ 4.1 จะแสดงถึงผลการทดลองที่ได้ ในตารางที่ 4.2 เป็นการทดลองหาค่ากระแส โดยใช้หลอดไส้ ขนาด 100 W ต่อขนานกันเป็นโหลดในการทดลอง โดยจะเพิ่มจำนวนหลอดไส้ขึ้นไปเรื่อยๆ จากนั้นทำการวัดแรงดัน และกระแสที่ได้ขณะทดลองบันทึกผลลงในตารางที่ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบ ผลที่ได้จากทั้ง 2 มิเตอร์พบว่าแรงดันและกระแสที่ได้ ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง ซึ่งสามารถ

ปรับค่าให้ถูกต้องมากขึ้นได้ โดยทำการแบ่งกลุ่มตามความชันในรูปที่ 4.1 ให้ละเอียดและเหมาะสมขึ้น ส่งผลให้การคำนวณหาค่ากระแสละเอียดและถูกต้องมากขึ้น แต่ถ้าหากแบ่งจำนวนกลุ่มมากเกินไป ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำงานหนักจนเกิดการรวนขึ้นได้

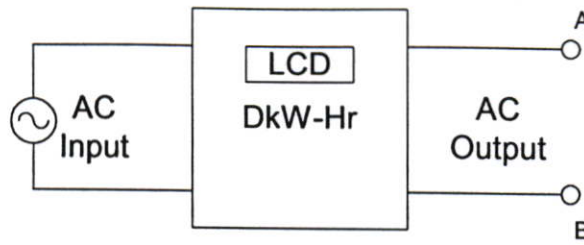
ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบแรงดันขณะไม่มีโหลด

Voltage (V)	
DkW-Hr	Fluke
243	240.3
234	231.3
220	219.5
209	209.1
200	200.7
187	189.1

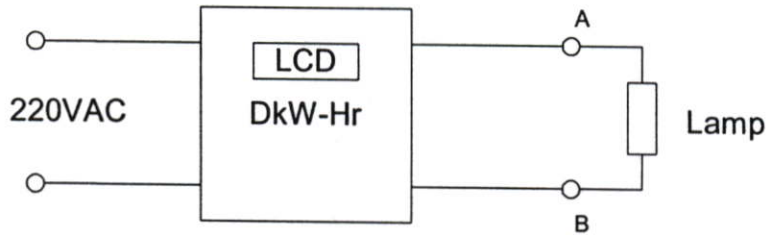
หมายเหตุ DkW-Hr คือ Digital kiloWatt-Hour meter

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบแรงดันและกระแสขณะมีโหลด

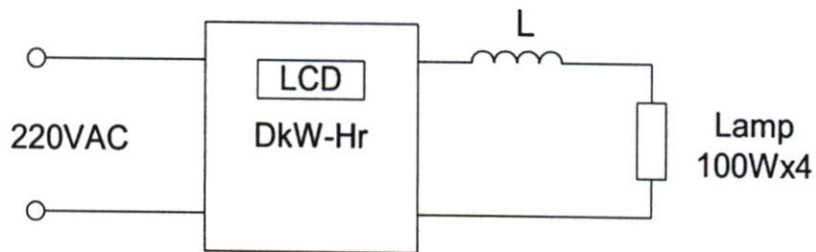
W	Current (A)		Voltage (V)	
	DkW-Hr	Fluke	DkW-Hr	Fluke
0	0	0	226	226.7
200	0.84	0.82	226	226.7
400	1.71	1.71	226	226.7
600	2.6	2.59	225	226.3
800	3.46	3.48	226	227.1
1000	4.41	4.40	224	223.8
1200	5.22	5.20	223	223.5
1400	6.07	6.04	222	221.6
1600	6.95	6.93	221	221.2
1800	7.80	7.78	220	220.3
2000	8.53	8.50	219	220.0



รูปที่ 4.2 วงจรการทดลองหาค่าแรงดันขณะไม่มีโหลด



รูปที่ 4.3 วงจรการทดลองหาค่าแรงดันและกระแสขณะมีโหลด



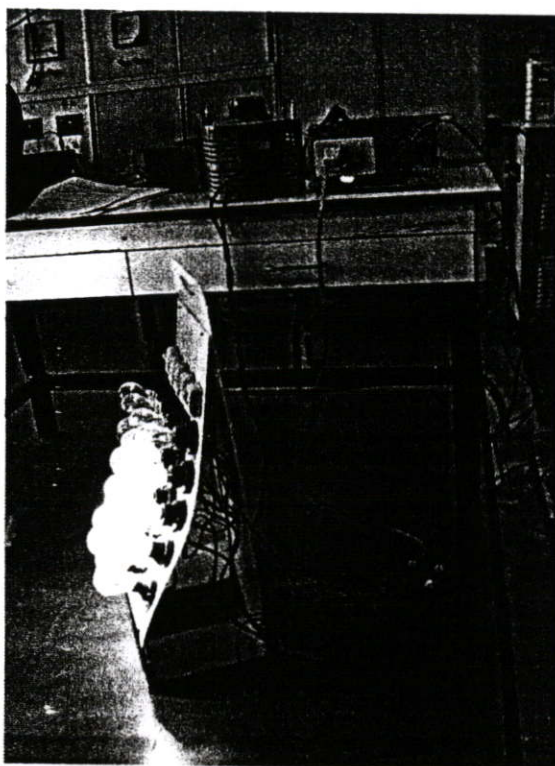
รูปที่ 4.4 วงจรการทดลองหาค่ากระแสและเพาเวอร์แฟกเตอร์

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบกระแสและเพาเวอร์แฟกเตอร์

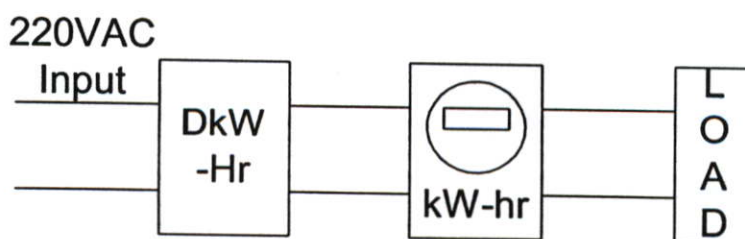
L (mH)	Current		Power factor	
	DkW-Hr	Fluke 43 B	DkW-Hr	Fluke 43 B
4.21	1.71	1.72	0.987	0.98
4.80	1.72	1.72	0.976	0.97
5.12	1.72	1.72	0.968	0.96
9.01	1.72	1.72	0.915	0.91
9.33	1.71	1.70	0.909	0.90
9.92	1.71	1.71	0.900	0.90
14.13	1.71	1.71	0.847	0.85

### 4.3 การทดสอบหาค่ากระแสและเพาเวอร์แฟกเตอร์

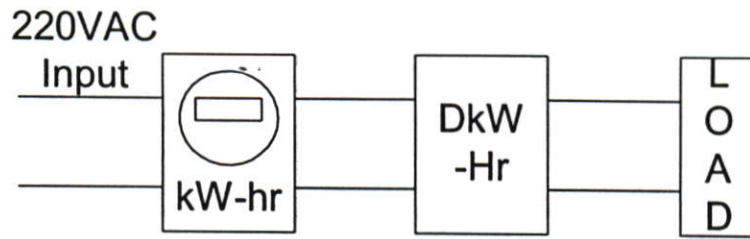
การทดลองนี้ได้นำโหลดชนิดความต้านทานและเหนี่ยวนำมาต่ออนุกรมกัน ดังรูปที่ 4.4 โดยใช้หลอดไส้ 100 W ต่อขนานกันจำนวน 4 หลอด เป็นโหลดความต้านทานคงที่ ทำการเปลี่ยนค่าตัวเหนี่ยวนำ เพื่อให้ได้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่หลากหลาย และวัดกระแสที่ไหลผ่านโหลด จากนั้นบันทึกผลที่ได้ในตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่า ถึงแม้จะเปลี่ยนค่าตัวเหนี่ยวนำ แต่กระแสไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนัก อาจเป็นเพราะแรงดันที่จ่ายให้กับโหลดมีการแกว่งไปมา และปริมาณของโหลดชนิดความต้านทานใช้กระแสไฟฟ้าไม่มากนัก ทำให้ความแตกต่างที่เกิดขึ้นมีเพียงเล็กน้อย เนื่องจากขนาดของตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในการทดลองนี้สามารถทนกระแสได้ไม่มากนัก ในการทดลองนี้จึงไม่สามารถเพิ่มขนาดของโหลดชนิดความต้านทานให้ใช้กระแสไฟฟ้ามากขึ้นได้



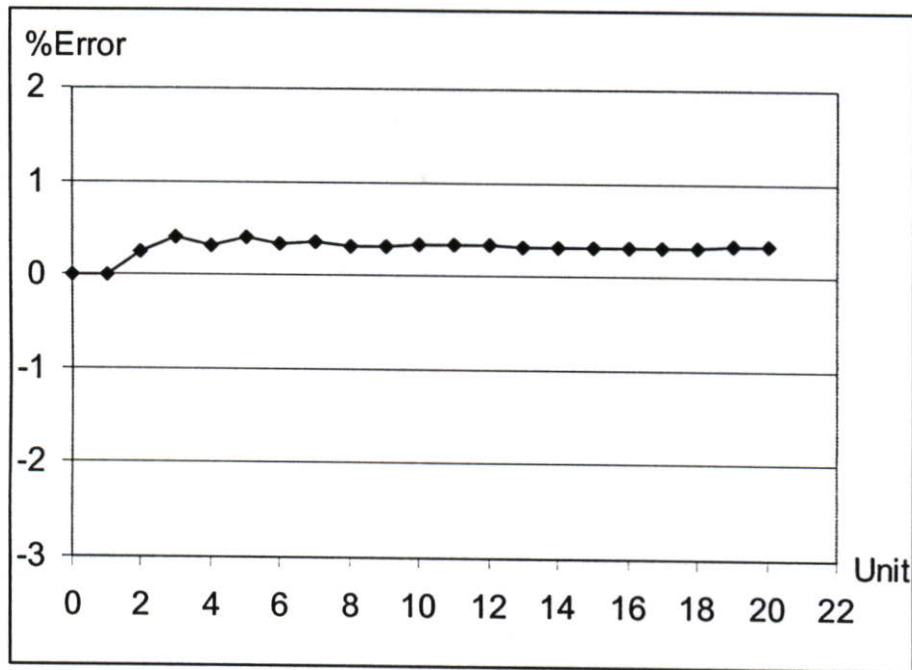
รูปที่ 4.5 การทดสอบต่อวงจรหาค่าต่างๆ



รูปที่ 4.6 วงจรการทดลองหาจำนวนยูนิตใช้งานในห้องทดลอง



รูปที่ 4.7 วงจรการทดลองหาจำนวนยูนิตในบ้านพักอาศัย



รูปที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของเครื่องดิจิทัลโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์เทียบกับเครื่อง  
กีโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์

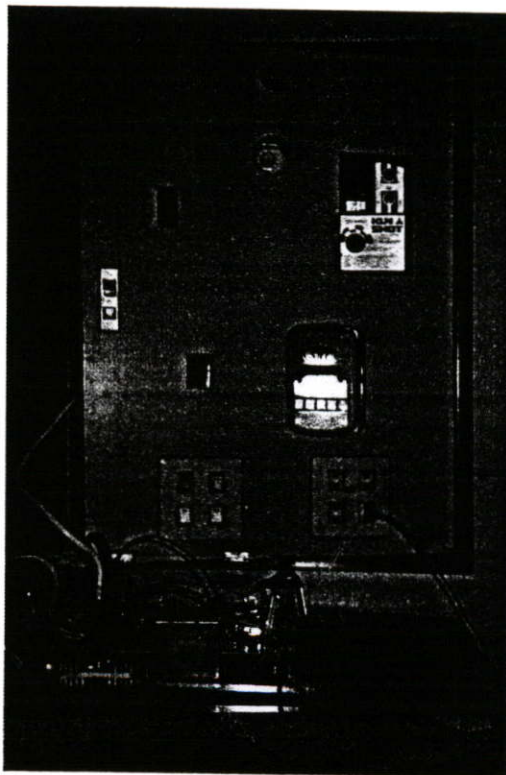
#### 4.4 การหาจำนวนยูนิตใช้งาน

การทดลองจะใช้เครื่องดิจิทัลโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์เปรียบเทียบกับ เครื่องกีโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์ ยี่ห้อ SONGXIZ TYPE DD28 ในการทดลอง จะจ่ายไฟให้กับเครื่องดิจิทัลโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์ก่อน โดยที่เครื่องกีโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์จะต่ออยู่ด้านหลังอีกที ดังรูปที่ 4.6 สาเหตุที่ต้องต่อลักษณะนี้ เนื่องจากเครื่องดิจิทัลโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์มีการใช้ไฟฟ้าเพื่อเลี้ยงวงจรอยู่ตลอดเวลา ทำให้ผลการทดลองที่ได้จะเกิดการผิดเพี้ยนไปจึงต้องทำการต่อในแบบที่กล่าวมา โดยทำการต่อเข้ากับโหลดโหลดได้ 1000 W เป็นเวลาประมาณ 20 ชม. คิดเป็นจำนวน 20 ยูนิต ผลที่ได้จากการทดสอบออกมาใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.8 จากนั้นทำการทดสอบโดยนำเครื่องดิจิทัลโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์ ดังรูปที่ 4.7 มาต่อเข้ากับบ้านพักอาศัย 2 หลัง เพื่อทำการเปรียบเทียบกับเครื่องกีโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์ของการไฟฟ้า (kW-Hr) ในการทดลองพบว่า จำนวนยูนิตที่ได้มีความแตกต่างกัน เนื่องจากเครื่องดิจิทัลโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์ต่ออยู่หลังจากเครื่องกีโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์ของการไฟฟ้า ทำให้เครื่อง

ของการไฟฟ้าคิดจำนวนการใช้ไฟฟ้าของเครื่องคัสดึงลิโวด์คัซซ์โมงมิเตอร์ไปด้วย ซึ่งใช้ไฟฟ้าประมาณ 0.0066 หน่วย/ชม. เมื่อเพิ่มจำนวนการใช้ไฟฟ้าของเครื่องคัสดึงลิโวด์คัซซ์โมงมิเตอร์เข้าไป ในตารางที่ 4.4 พบว่าจำนวนยูนิตที่ได้ยังมีความแตกต่างกันอยู่บ้าง อาจเป็นเพราะการหาค่าแรงดัน, กระแส และเพาเวอร์แฟกเตอร์ ยังไม่เที่ยงตรงเท่าที่ควร ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้ทำให้การหาจำนวนยูนิตเกิดความคลาดเคลื่อนสะสมมากขึ้นเรื่อยๆ ค่าที่ได้จึงไม่ตรงกันเท่าใดนัก

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบจำนวนยูนิต

DkW-Hr	Month	Unit	
		kW-Hr	DkW-Hr
1	March	631	615.1
	April	693	677.7
	May	665	649.2
2	March	684	667.9
	April	713	697.4
	May	697	681.1



รูปที่ 4.9 การทดสอบหาจำนวนยูนิตในบ้านพักอาศัย

#### 4.5 การคิดเงิน

ในการทดลองนี้จะนำเครื่องดิจิทัลมิเตอร์มาต่อเข้ากับบ้านพักอาศัย 2 หลัง โดยทำการคำนวณค่าไฟฟ้า ตามอัตราค่าไฟฟ้าในประเภท 1.2 อัตราค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) อยู่ที่ 43.28 สต. /หน่วย [12] ในส่วนของการคิดเงิน เครื่องดิจิทัลมิเตอร์ จะเริ่มคิดเงินก็ต่อเมื่อครบ 1 หน่วย และจะแสดงยอดเงินคงเหลือ ในรูปแบบจำนวนเต็มไม่มีทศนิยม โดยยอดเงินที่ได้จะทำการคิดเฉพาะค่าพลังงานไฟฟ้ารวมกับค่าอัตราผันแปรไม่ได้รวมค่าบริการรายเดือน และ ภาษีมูลค่าเพิ่ม

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบการคิดเงิน

DkW-Hr	Month	Unit	Money (Baht)	
			Calculate	DkW-Hr
1	March	631	1926.24	1926
	April	693	2137.71	2137
	May	665	2042.21	2042
2	March	684	2107.02	2107
	April	713	2205.92	2205
	May	697	2151.36	2151

จากตารางที่ 4.5 เนื่องจากจำนวนหน่วยที่เครื่องดิจิทัลมิเตอร์หาออกมาได้ ไม่ตรงกับเครื่องมิเตอร์ของการไฟฟ้า ในการทดลองนี้จึงทำการคำนวณหาจำนวนเงินจากจำนวนหน่วยที่ได้ โดยเปรียบเทียบกับจำนวนเงินที่เครื่องดิจิทัลมิเตอร์คำนวณออกมาได้ ในการคำนวณค่าไฟฟ้าจะคำนวณจากจำนวนหน่วยในรูปแบบจำนวนเต็มไม่มีทศนิยม จะเห็นได้ว่า จำนวนเงินที่คำนวณได้กับที่เครื่องดิจิทัลมิเตอร์คำนวณออกมานั้น ค่าใกล้เคียงกันมากมีความแตกต่างกันเพียงทศนิยม เนื่องจากเครื่องดิจิทัลมิเตอร์นี้จะทำการตัดจำนวนเงินเมื่อครบจำนวนเต็มแล้วเท่านั้น

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการชำระค่าไฟฟ้าในอีกรูปแบบหนึ่งในระบบปริเฟด ด้วยการนำบัตรสมาร์ตการ์ดมาใช้แทนเงินสด โดยจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนคือ เครื่องดิจิทัลมิเตอร์อัจฉริยะ และเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร การทดสอบในส่วนเครื่องดิจิทัลมิเตอร์อัจฉริยะพบว่าค่าแรงคืน ยังมีความแตกต่างกันอยู่บ้างเมื่อแรงดันที่วัดห่างจากระดับ 220 โวลต์ แต่ถ้าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับระดับ 220 โวลต์ ค่าที่ได้จะค่อนข้างใกล้เคียงกัน การวัดค่ากระแส และเพาเวอร์แฟกเตอร์ พบว่าถ้าหากมีการใช้งานที่มีกระแสใช้งานน้อย ค่าที่วัดได้จะไม่ถูกต้องเท่าที่ควร เนื่องจากแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแสจะมีค่าน้อยมาก แต่ก็สามารถแก้ไขได้โดยการนำแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแส มาต่อเข้ากับวงจรขยายสัญญาณเสียก่อน และเนื่องจากใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม ทำให้การเปลี่ยนแปลงข้อมูลเพื่อที่จะใช้ในการคำนวณปรับค่าให้ถูกต้องสามารถทำได้ง่าย ทำให้ค่าที่วัดได้มีผลใกล้เคียงกันมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการหาจำนวนหน่วยที่ใช้งานมีผลถูกต้องมากขึ้นไปด้วย ส่วนผลการทดลองหาจำนวนหน่วยเมื่อนำไปต่อกับบ้านพักอาศัย จะเห็นว่ามีความแตกต่างพอสมควร เนื่องจากเครื่องดิจิทัลมิเตอร์อัจฉริยะต่ออยู่ด้านหลังเครื่องมิเตอร์ของการไฟฟ้า ทำให้เครื่องของการไฟฟ้าคิดปริมาณการใช้งานของเครื่องดิจิทัลมิเตอร์อัจฉริยะไปด้วย อีกทั้งการหาจำนวนหน่วยจะใช้เวลานาน ความผิดพลาดนี้ก็จะมีสะสมมากขึ้นไปเรื่อยๆ ทำให้ผลในการหาจำนวนหน่วยที่ใช้งานไม่ตรงกันเท่าที่ควร ในการทดสอบการคำนวณหาค่าไฟฟ้านั้นพบว่าค่าที่ได้มีความถูกต้อง โดยจะทำการลดจำนวนเงินที่มีอยู่ในเครื่องเมื่อครบจำนวนเต็มทุกๆ 1 บาท เมื่อจำนวนเงินถูกลดไปจนหมดเครื่องจะทำการตัดไฟฟ้าที่จ่ายให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าจนกว่าจะมีการเติมเงินจากบัตรสมาร์ตการ์ด จึงจะใช้ไฟต่อไปได้

ในส่วนเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร จะสามารถเพิ่มจำนวนเงินเข้าไปยังบัตรสมาร์ตการ์ดเพื่อที่จะนำบัตรสมาร์ตการ์ดที่มีเงินอยู่ในบัตรนี้ ไปเติมเงินเข้ายังเครื่องดิจิทัลมิเตอร์อัจฉริยะต่อไป การทดสอบเปลี่ยนค่าอัตราผันแปร เครื่องดิจิทัลมิเตอร์อัจฉริยะสามารถที่จะต่อเป็นโครงข่ายได้ถึง 256 จุด ภายในระยะทาง 4000 ฟุต แต่ในการทดลองจะต่อเครื่องดิจิทัลมิเตอร์อัจฉริยะเพียง 2 เครื่อง ในการส่งข้อมูลเครื่องปรับค่าอัตราผันแปรจะกำหนดแอดเดรสว่าต้องการเปลี่ยนแปลงข้อมูลไปยังเครื่องใด ทำให้ง่ายต่อการตรวจสอบว่า เครื่องที่ต้องการเปลี่ยนแปลงข้อมูลนั้น สามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลได้อย่างถูกต้องหรือไม่ ซึ่งในการทดลองก็สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างถูกต้อง แต่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงข้อมูลนั้น จะส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ต RS-485 ซึ่งต้องใช้สายไฟ 2 เส้นในการส่งข้อมูล ทำให้การส่งข้อมูลในระยะทางไกล หรือกรณีที่มีเครื่องดิจิทัลมิเตอร์อัจฉริยะที่ต่ออยู่ในโครงข่ายมีจำนวนมาก การที่จะเดินสายไฟใน

ระยะทางยาวและจำนวนมาก ย่อมที่จะไม่สะดวกและไม่สวยงามเท่าใดนัก อีกทั้งการรับ-ส่งข้อมูลทำได้ในระยะ 4000 ฟุต ถ้าหากนำไปใช้งานในระบบโครงข่ายที่ใหญ่ขึ้นจะต้องมีจุดเชื่อมต่อหลายจุด ในการพัฒนาขั้นต่อไปอาจจะทำให้การส่งข้อมูลใช้การรับ-ส่งข้อมูลสามารถส่งได้ระยะไกลขึ้นสามารถส่งได้ไกลทั่วประเทศโดยมีสถานีส่งเพียงแห่งเดียว หรือในภูมิภาคเดียวกัน หรืออาจจะทำการส่งข้อมูลผ่านทางสายไฟ 220 โวลท์ ที่ต่อเข้ามายังผู้ใช้ไฟฟ้าในแต่ละจุดได้เลย และพัฒนาสถานีที่ใช้ส่งข้อมูลให้สามารถดึงข้อมูลการใช้งานของแต่ละบ้านว่าในแต่ละเดือน มีปริมาณการใช้ไฟสูงสุดช่วงเวลาไหนบ้าง และใช้ไปทั้งหมดเท่าไร ทำให้ทราบได้ว่าช่วงเวลาใดควรจ่ายไฟมากหรือน้อย และยังสามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณการใช้ไฟฟ้า เพื่อนำไปวางแผนการสร้างโรงจักรไฟฟ้าให้รองรับกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในอนาคต

## บรรณานุกรม

- [1] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. ช่องทางชำระค่าไฟฟ้า. [Online]. Available : <http://www.pea.co.th/service/how2pay.htm>. 2548.
- [2] M. Mc Connachie, "Prepayment Advances with Smart-Card Solutions that Cover Electricity, Gas and Water," Proc. of IEEE Metering and Tariffs for Energy Supply, Conference Publication No.462, May 1999, pp.248-250.
- [3] M.I. Tibbenham, "Implementing a Pre-Payment System," Proc. of IEEE Metering and Tariffs for Energy Supply, Conference Publication No.462, May 1999, pp.251-253.
- [4] สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544. **พื้นฐานเครื่องจักรไฟฟ้า**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [5] นภัทร วัฒนเทพินทร์. **ปฏิบัติการทดลองวงจรไฟฟ้าและการวัดทางไฟฟ้า**. กรุงเทพฯ: ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ. 2534.
- [6] ณรงค์ ขอนตะวัน. **เครื่องวัดไฟฟ้า**. กรุงเทพฯ: เอร่าวัฒนาการพิมพ์. 2533.
- [7] นฤมล ชิ่งเถียรตระกูล. "อุปกรณ์วัดวัดต่อชั่วโมงของไฟ 3 เฟส." **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**. 2544.
- [8] M. Munday and D.G. Hart, "Method for Electric Power Measurements," Proc. of IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol.2, Jan 2002, pp.1433-1436.
- [9] C.D. Johnson, **Process Control Instrumentation Technology**, 5<sup>th</sup> ed., Prentice-Hall, 1997.
- [10] J. Zoreda and J. Otor, **Smart Cards**, Artech House, London, 1994.
- [11] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. **คู่มือชี้แจงอัตราค่าไฟฟ้า**. กองอัตราและธุรกิจการไฟฟ้า. ฝ่ายเศรษฐกิจและงบประมาณ. 2546.
- [12] การไฟฟ้านครหลวง. **สถิติอัตราค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft)**. [Online]. Available : [http://www.mea.or.th/portal/index.php?option=com\\_content&task=view&id=78&Itemid=80](http://www.mea.or.th/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=78&Itemid=80). 2549.

ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก.**  
**การคำนวณหาค่าไฟฟ้า**

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าไฟฟ้าจะสมมุติว่า บ้านหลังหนึ่งใช้ไฟไป 631 หน่วย คิดค่าไฟในประเภทที่ 1.2 บ้านอยู่อาศัย

อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1.2 บ้านอยู่อาศัย

	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
ค่าบริการ		40.90
150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0- 150)	1.8047	
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400)	2.7781	
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	2.9780	

1) ค่าไฟฟ้าฐาน

1.1 ค่าพลังงานไฟฟ้า = หน่วยการใช้ไฟฟ้า x อัตราค่าไฟฟ้า

หน่วยที่ 0-150 = 150 x 1.8047 = 270.7050 บาท

หน่วยที่ 151-400 = 250 x 2.7781 = 694.5250 บาท

หน่วยที่ 401-631 = 231 x 2.9780 = 687.9180 บาท

รวม 1653.15 บาท

1.2 ค่าบริการรายเดือน = 40.90 บาท

รวมค่าไฟฟ้าฐาน = 1605.50+40.90 = 1646.40 บาท

2) ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) หน่วยละ 43.28 สตางค์/หน่วย

= หน่วยการใช้ไฟฟ้า x ค่าอัตราผันแปร

= 631 x 0.4328 = 273.09 บาท

3) ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %

= (ค่าไฟฟ้าฐาน+ค่า Ft) x (7/100)

= 134.36 บาท

รวมเงินที่ต้องชำระ = 2053.85 บาท

แต่ในงานวิจัยนี้ จะทำการคำนวณเฉพาะ ค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าผันแปร

รวมเงินที่ต้องชำระ = 1653.15+273.09 = 1926.24 บาท

ภาคผนวก ข

## ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

- [1] วุฒิพันธ์ ศิลปวรรณวิวัฒน์ และมณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์. “การชำระและคำนวณค่าไฟฟ้าด้วย สมาร์ทการ์ดและคิจิตอลกิโวลต์ซ์ชั่วโมงมิเตอร์ 1-เฟส.” วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่22, ฉบับที่2, มิถุนายน 2548, หน้า 25-30.



ISSN 0125-1724

วิศวกรรม

# ลาดกระบัง

ฉบับวิชาการระดับศาสตราจารย์ ดร.พรจวบภักดิ์ วัฒนการลาดกระบัง

## LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 22 ฉบับที่ 2

มิถุนายน 2548

1. การศึกษาพฤติกรรมการไหลของไหลในท่อจ่ายไฟฟ้ากระแสพหุแรงดันสูงความถี่สูง แบบหนึ่งมิติแบบผสม ศศิโรจน์ เกตุแก้ว	3
2. การศึกษาการสั่นพ้องกำลังไฟฟ้าในระบบส่งกำลังไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง เพื่อลดการสั่นพ้องแรงดัน ศศิโรจน์ เกตุแก้ว, วีระศักดิ์ วงศ์วิทย์	7
3. การจำลองการไหลของของไหลในระบบไฮดรอลิกแบบสามมิติ ธวัชพร นนทการุณ, นนทช, ศิวาจินดา ไชยกุล	13
4. การศึกษาพฤติกรรมการสั่นพ้องของระบบไฟฟ้ากำลังโดยวิธีแบบวิเคราะห์ ศศิโรจน์ เกตุแก้ว, สมชาย ศรีวิภากร	15
5. การวิเคราะห์การสั่นพ้องกำลังไฟฟ้าในระบบส่งกำลังไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง ศศิโรจน์ เกตุแก้ว, นนทช, ศิวาจินดา ไชยกุล	23
6. การออกแบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังของอินเวอร์เตอร์สำหรับการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าในระบบส่งกำลังไฟฟ้า ศศิโรจน์ เกตุแก้ว, สมชาย ศรีวิภากร	31
7. การประเมินความเสถียรของระบบกำลังไฟฟ้าโดยการวิเคราะห์การสั่นพ้อง ณัฐพร นนทการุณ, สมชาย ศรีวิภากร	37
8. การควบคุมการสั่นพ้องในระบบส่งกำลังไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง ศศิโรจน์ เกตุแก้ว, นนทช, พรหมณี, สมชาย ศรีวิภากร	43
9. การควบคุมกำลังส่งในระบบส่งกำลังไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง ศศิโรจน์ เกตุแก้ว, นนทช, พรหมณี, สมชาย ศรีวิภากร, สมชาย ศรีวิภากร	49
10. การวิเคราะห์การสั่นพ้องกำลังไฟฟ้าในระบบส่งกำลังไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง ณัฐพร นนทการุณ, นนทช, พรหมณี, สมชาย ศรีวิภากร, สมชาย ศรีวิภากร	54
11. การวิจัยและพัฒนาการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำในระบบส่งกำลังไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง ศศิโรจน์ เกตุแก้ว, สมชาย ศรีวิภากร	60

# การชำระและคำนวณค่าไฟฟ้าด้วยสมาร์ทการ์ดและดิจิทัลมิเตอร์ วัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ 1-เฟส

## The Electricity Payment and Calculation by Smartcard and 1-Phase Digital kiloWatt-Hour Meter

วุฒิพันธ์ ศิลปรัตน์วิวัฒน์

มณฑล ฮิตาจินดากรฤกษ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

บทความนี้ นำเสนอวิธีการชำระเงินค่าไฟฟ้าแบบล่วงหน้า หรือพรีเพด์ (Prepaid) โดยใช้เครื่องดิจิทัลมิเตอร์วัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ 1-เฟส ทำการหาขนาด และมุมที่ต่างกันระหว่างแรงดัน และกระแส เพื่อที่จะนำมาคำนวณหาจำนวนหน่วยที่ใช้ งาน จากนั้นนำจำนวนหน่วยที่ได้มาคำนวณค่าไฟฟ้าตามอัตราค่าบริการในปัจจุบัน โดยเครื่องปรับค่า FT จะเปลี่ยนแปลง ค่า FT เพื่อให้การคิดค่าไฟฟ้าถูกต้องกับค่าไฟฟ้าในปัจจุบัน โดยจะส่งข้อมูลผ่านพอร์ท RS-485 ไปยังดิจิทัลมิเตอร์วัตต์- ชั่วโมงมิเตอร์ จากนั้นทำการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้แล้ว และทำการหักยอดเงินที่มีอยู่ในเครื่องดิจิทัลมิเตอร์วัตต์- ชั่วโมงมิเตอร์ ซึ่งจำนวนเงินนี้ได้มาจากบัตรสมาร์ทการ์ด

### Abstract

This paper presents a method of the electricity payment by prepaid. The method employs a single-phase digital kilowatt-hour meter which measures a difference of the amplitude and angle between voltage and current in order to determine a number of operating units. Then, a number of operating units can be calculated to get the electricity price followed by the present electricity-service rate. The FT changer machine will change the FT rate for right present electricity-service rate. It will transfer the data by RS-485 port to a digital kilowatt-hour meter. Then, it can calculate the electricity payment and deduct some money in the digital kilowatt-hour meter which the money comes from a smartcard.

### 1. บทนำ

การชำระค่าไฟฟ้าในปัจจุบัน ผู้ให้บริการสามารถเลือกวิธีการชำระได้หลายวิธี [1] เช่น ใช้วิธีหักเงินจากบัญชีธนาคาร ซึ่งอาจสร้างความยุ่งยาก ให้กับผู้ที่ไม่ได้ติดต่อกับธนาคารบ่อยนัก หรือชำระด้วยเงินสดที่รับชำระค่าไฟฟ้า ในบางพื้นที่มีศูนย์ให้บริการอยู่น้อย และค่อนข้างไกลทำให้ต้องเสียเวลาในการเดินทางไปติดต่อ ผู้ให้บริการ

จึงต้องเปิดศูนย์บริการเพิ่มขึ้น เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ต่างๆ ซึ่งเป็นการลงทุนที่สูงอีกทั้งศูนย์บริการส่วนใหญ่มีเวลาทำการอยู่ในช่วงเวลาราชการ ผู้ที่มีเวลาทำงานในช่วงนั้นจึงหาเวลาชำระค่าไฟฟ้าได้ลำบาก

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ แนวทางการชำระค่าไฟฟ้า

อีกวิธีหนึ่งคือ การชำระเงินแบบล่วงหน้าหรือที่เรียกกันว่า  
 พรีเพด ซึ่งวิธีการนี้เริ่มได้รับความนิยมในหลายๆประเทศ  
 และเริ่มมีการนำ pre-payment meter มาใช้ในการชำระค่า  
 บริการในหลายๆอย่างมากขึ้น เช่น ค่าไฟฟ้า, ค่าแก๊ส และ  
 ค่าน้ำ เป็นต้น [2-3] สำหรับงานวิจัยนี้ จะใช้สมาร์ตการ์ด  
 แทนเงินสด โดยจะทำงานร่วมกับเครื่องคิดเลขอิเล็กทรอนิกส์-  
 ชั่วโมเมนต์ ทำการคำนวณค่าไฟฟ้าออกมา เพื่อที่จะ  
 นำไปหักกับจำนวนเงินที่มีอยู่ในเครื่องคิดเลขอิเล็กทรอนิกส์-  
 ชั่วโมเมนต์ต่อไป

2. หลักการทำงานและการคำนวณ

2.1 หลักการทำงานเบื้องต้น

หลักการทำงานเบื้องต้นของ เครื่องคิดเลขอิเล็กทรอนิกส์-  
 ชั่วโมเมนต์ แสดงให้เห็นดังรูปที่ 1 การหาขนาด  
 ของแรงดันจะใช้หม้อแปลงแรงดัน (PT) อัตราส่วนแรงดัน  
 จาก 220 V ลดลงเหลือ 4.5 V ในส่วนของการหาค่ากระแส  
 จะใช้หม้อแปลงกระแส (CT) ซึ่งแรงดันที่ออกจาก PT และ  
 CT จะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจึงต้องเปลี่ยนเป็นมร  
 ดันไฟฟ้ากระแสตรงก่อน โดยใช้อุปกรณ์ full-wave rectifier  
 จากนั้นจึงนำสัญญาณที่ได้มาต่อเข้ากับ A/D คอนเวอร์เตอร์  
 ซึ่งจะทำการส่งสัญญาณดิจิทัลเข้าไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์  
 เพื่อใช้คำนวณหาขนาดของแรงดัน และกระแส สห  
 พหุคูณแอมป์แอมป์จะนำสัญญาณจาก PT และ CT มาต่อ  
 เข้ากับวงจร Zero-Crossing detector ดังรูปที่ 2 เพื่อทำการ  
 เปรียบเทียบความแตกต่างของรูปคลื่นระหว่างแรงดัน และ  
 กระแส [4] ดังรูปที่ 3 โดยไมโครคอนโทรลเลอร์รับ  
 สัญญาณในแต่ละช่วง โดยกำหนดให้ 1 คาบเวลา (T) ที่ 50  
 Hz มีค่าเท่ากับ 20 ms เมื่อได้เป็น 360 องศา เมื่อทราบ  
 ช่วงระยะเวลาที่ค้างกันแล้ว นำไปแทนค่าลงในสมการที่  
 (1) จะทำให้ทราบค่าองศาที่ค้างกัน นำองศาที่ได้มาใส่ใน  
 cos θ ทำให้ได้ค่าพหุคูณแอมป์แอมป์ออกมา จากนั้น นำ  
 ค่าที่ได้เหล่านี้ไปคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน [5-6]  
 ในสมการที่ (2)

$$\theta = \left(\frac{360}{T}\right) \times \text{diff } t \quad (1)$$

$$P = VI \cos \theta \quad (2)$$

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้า (W)

V คือ แรงดัน (V)

I คือ กระแส (A)

cos θ คือ ค่าพหุคูณแอมป์แอมป์

เมื่อได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้งานแล้ว นำค่าที่ได้มา  
 คูณหาจำนวนชั่วโมงใช้งาน ในสมการที่ (3) จากนั้น นำ  
 จำนวนชนิดที่ได้ไปทำการคำนวณหาค่าไฟฟ้า ตาม  
 ประเภทการใช้งานต่อไป

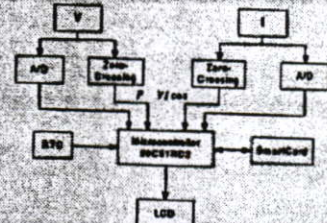
$$W_p = P \times \frac{T}{1000} \quad (3)$$

เมื่อ  $W_p$  คือ จำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (Unit)

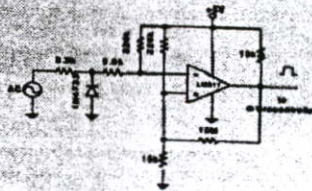
P คือ กำลังไฟฟ้า (W)

T คือ จำนวนเวลาที่ใช้ (Hour)

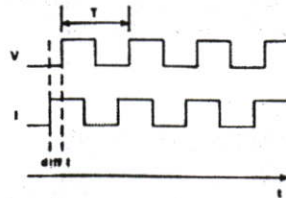
การหาค่ากระแสที่ใช้งาน สามารถหาได้โดยใช้  
 หม้อแปลงกระแส (CT) ทำการวัดปริมาณที่ออกมา  
 ออกจาก CT กับกระแสที่ใช้งาน จากนั้นนำค่าที่ได้มาหา  
 ขนาดของความถี่ที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 4 เนื่องจากแรงดันที่  
 ออกจาก CT นี้ไม่เป็นเชิงเส้น จึงต้องทำการแบ่งกลุ่มตาม  
 ความถี่โดยสังเกตรที่ (4)



รูปที่ 1 การทำงานเบื้องต้นของเครื่องคิดเลขอิเล็กทรอนิกส์-  
 ชั่วโมเมนต์



รูปที่ 2 วงจร Zero-crossing detector



รูปที่ 3 การหามุมเฟสระหว่างแรงดัน และกระแส

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) \quad (4)$$

เมื่อหาขนาดมุมได้แล้ว สามารถที่จะหาขนาดของกระแส โดยใช้ค่าแรงดันที่ออกมาจาก CT แปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นทำการหารกระแสได้โดยใช้สมการที่ (5)

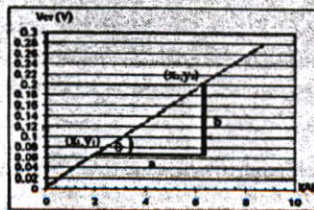
$$I = \left[ \frac{(V_{CT} - y_1)}{\tan \theta} \right] + x_1 \quad (5)$$

- เมื่อ  $V_{CT}$  คือ แรงดันที่ออกมาจากหม้อแปลงกระแส
- $y_1$  คือ แรงดันเริ่มต้นของแต่ละกลุ่ม
- $x_1$  คือ กระแสเริ่มต้นของแต่ละกลุ่ม

การหาค่าแรงดัน จะใช้หม้อแปลงแรงดัน ทำการลดระดับจาก 220 V ให้เหลือ 4.5 V แล้วนำมานแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าแรงดันที่ได้ โดยที่ขอบข่ายส่วนกันดังสมการที่ (6)

$$V = V_{pt} \times \left( \frac{220}{4.5} \right) \quad (6)$$

- เมื่อ  $V$  คือ แรงดันที่คำนวณได้
- $V_{pt}$  คือ แรงดันที่ออกมาจากหม้อแปลงแรงดัน

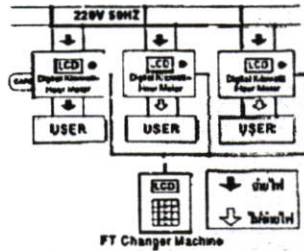


รูปที่ 4 กราฟที่แรงดันที่ออกมาจากCTเทียบกับกระแสไหล

เนื่องจากการคำนวณค่าไฟฟ้านั้น จะมีการคำนวณอยู่ตลอดเวลา อีกทั้งยังเริ่มคิดจำนวนหน่วยรอบใหม่เมื่อเริ่มขึ้นเดือนใหม่ทุกๆเดือน ถ้าหากผู้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์คำนวณหาเวลา จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานมากขึ้นความจำเป็น จะทำให้เกิดอาการรวนได้ในงานวิจัยนี้จึงได้ใช้ Real Time Clock (RTC) เบอร์ DS1307 สามารถนับเวลาเป็นวินาที, นาที, ชั่วโมง, วัน, เดือน, ปี ได้จนถึงปี ค.ศ. 2100 และยังสามารถนับเวลาเหล่านี้ มาแสดงบนจอภาพหน้าจอล CD ได้อีกด้วย

2.2 การทำงานของเครื่อง

การทำงานของเครื่อง จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การทำงานของเครื่องปรับค่า FT และเครื่องดิจิทัลมิเตอร์-ชั่วโมงมิเตอร์ ในส่วนของเครื่องปรับค่า FT จะเปลี่ยนแปลงค่า FT ให้กับเครื่องดิจิทัลมิเตอร์-ชั่วโมงมิเตอร์ ทำให้การคำนวณคิดอัตราค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือนตรงกับอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าในแต่ละเดือน ได้อย่างถูกต้อง โดยเครื่องปรับค่า FT จะทำการส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ต RS-485 ไปยังเครื่องดิจิทัลมิเตอร์-ชั่วโมงมิเตอร์แต่ละเครื่อง ซึ่งจะทำการกำหนดแอดเดรสของแต่ละเครื่องเอาไว้ ทำให้ทราบได้ว่าเครื่องใดสามารถรับส่งข้อมูลได้อย่างถูกต้อง โดยเครื่องปรับค่า FT ยังสามารถเพิ่มจำนวนเงินให้กับบิลการสมัครการคได้อีกด้วย การทำงานในของเครื่องดิจิทัลมิเตอร์-ชั่วโมงมิเตอร์ เมื่อไม่มีออกเงินคงเหลือ เครื่องจะทำการตัดไฟฟ้าที่ส่งจ่ายให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า แต่เมื่อโอนเงินจากบัตรเข้าไปยังเครื่องดิจิทัลมิเตอร์-ชั่วโมงมิเตอร์เรียบร้อยแล้ว เครื่องจะทำการจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าได้ใช้งาน เมื่อมีการใช้งานเกิดขึ้นโปรแกรมจะทำการคำนวณหาจำนวนหน่วยที่ใช้งาน และหาค่าไฟฟ้าออกมา โดยจะหักเงินจากออกเงินที่ได้บันทึกไว้ในเครื่อง เมื่อจำนวนเงินใกล้หมด จะมีเสียงออกดังเตือนขึ้น แต่ถ้ายังไม่เติมเงินปล่อยให้จำนวนเงินที่มีอยู่ในเครื่องหมดไป เครื่องดิจิทัลมิเตอร์-ชั่วโมงมิเตอร์จะทำการตัดวงจรจ่ายไฟฟ้าออก ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่สามารถใช้งานต่อไปได้ ถ้าหากต้องการใช้งาน ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องเติมเงินเข้าตู้เครื่องดิจิทัลมิเตอร์-ชั่วโมงมิเตอร์ จึงจะสามารถใช้งานต่อไปได้ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การทำงานของเครื่องปรับค่า FT และเครื่องดิจิทัลกลิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์

3. รายละเอียดของเครื่อง

จากรูปที่ 6 ประกอบด้วยเครื่องปรับค่า FT และเครื่องดิจิทัลกลิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ สามารถส่งข้อมูลการเปลี่ยนแปลงค่า FT ผ่านอินเตอร์ RS-485 โดยใช้ IC เบอร์ SN65HVD3082E ซึ่งใช้สายไฟเพียง 2 เส้นคือ สายส่ง (Tx) 1 เส้น และสายรับ (Rx) 1 เส้น ตามมาตรฐาน EIA/TIA-485 ทำการส่งข้อมูลแบบ half-duplex สายสัญญาณสามารถส่งได้ยาวถึง 4,000 ฟุต และต่อได้ถึง 256 จุด การส่งข้อมูลไปยังแต่ละเครื่องจะมีการกำหนดแอดเดรสขึ้นในแต่ละตัว เพื่อที่จะสามารถตรวจสอบได้ว่าการรับ-ส่งข้อมูลของแต่ละเครื่องถูกต้องสมบูรณ์หรือไม่

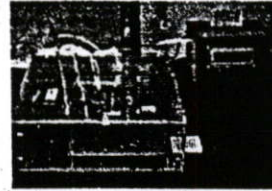
4. การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองหาค่าแรงดัน และกระแส

การทดลองจะเปรียบเทียบระหว่าง เครื่องดิจิทัลกลิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ กับมิเตอร์ชื่อ FLUKE รุ่น 43 B การหาค่าแรงดันจะใช้วาวีร์แอส ทำการปรับแรงดันในระดับต่างๆ แล้ววัดเปรียบเทียบกัน แสดงผลที่ได้ในตารางที่ 1 การหาค่ากระแสใช้หลอดใส่เป็น โหลดในการทดลอง โดยทำการวัดแรงดัน และกระแสที่ได้ขณะทดลองในตารางที่ 2 จะเห็นว่าค่าแรงดัน และกระแสที่ได้ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง สามารถปรับให้ค่าถูกต้องมากขึ้นได้ โดยทำการแบ่งกลุ่มตามความชื้น เพื่อใช้ในการคำนวณให้ละเอียดขึ้นแต่ด้วยแบ่งกลุ่มมากเกินไป ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำงานหนักจนเกิดการรวนได้

4.2 การทดลองหาค่าพหุคูณแม่เหล็ก

การทดลองได้นำโหลด RL มาใช้ในการทดลอง



รูปที่ 6 เครื่องปรับค่า FT และเครื่องดิจิทัลกลิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบแรงดัน

Voltage (V)	
DkW-Hr	Fluke
243	240.3
234	231.3
220	219.5
209	209.1
200	200.76
187	189.1

หมายเหตุ DkW-Hr คือ Digital kiloWatt-Hour meter

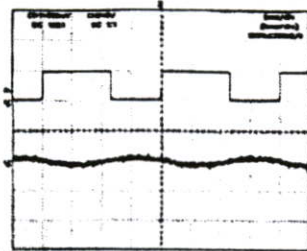
ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบแรงดันและกระแสขณะมี โหลด

W	Current (A)		Voltage (V)	
	DkW-Hr	Fluke	DkW-Hr	Fluke
0	0	0	226	226.7
200	0.84	0.82	226	226.7
400	1.71	1.71	226	226.7
600	2.6	2.59	225	226.3
800	3.46	3.48	226	227.1
1000	4.41	4.40	224	223.8
1200	5.22	5.20	223	223.5
1400	6.07	6.04	222	221.8
1600	6.95	6.93	221	221.2
1800	7.80	7.78	220	220.3
2000	8.53	8.50	219	220.0

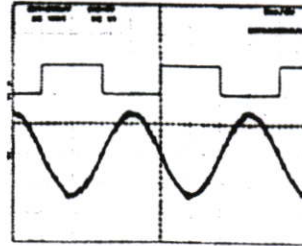
ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบพหุคูณแม่เหล็ก

L (mH)	power factor	
	DkW-Hr	Fluke
4.21	0.987	0.98
4.80	0.976	0.97
5.12	0.968	0.96
9.01	0.915	0.91
9.33	0.909	0.90
9.92	0.900	0.90
14.13	0.847	0.85

โดยใช้หลอดใส่ 400W เป็น โหลด X คงที่ ทำการเปลี่ยนค่า L เพื่อให้ได้ค่าพหุคูณแม่เหล็กที่หลายๆ ค่า แสดงผลที่ได้ในตารางที่ 3 จากการทดลองพบว่าพหุคูณแม่เหล็ก-



รูปที่ 7 บน: สัญญาณจากวงจร zero-crossing detector  
ล่าง: แฉงคั่นที่ออกจาก CT ยังไม่ผ่านวงจรขยาย



รูปที่ 8 บน: สัญญาณจากวงจร zero-crossing detector  
ล่าง: แฉงคั่นที่ออกจาก CT ผ่านวงจรขยาย

แพทเตอร์จะมีปัญหา เมื่อใช้กับโหลดที่ใช้กระแสไฟฟ้าต่ำ เนื่องจากแรงคั่นที่ออกจาก CT จะมีค่าน้อยมากสัญญาณที่ออกจากวงจร zero-crossing detector จึงมีรูปแบบไปดังรูปที่ 7 สามารถแก้ไขได้อันนำสัญญาณแรงคั่นที่ออกจาก CT ก่อนเข้าวงจร zero-crossing detector มาต่อเข้ากับวงจรขยายสัญญาณ ทำให้การหาค่าหาเวอรัแพทเตอร์ มีความถูกต้องมากขึ้น ดังรูปที่ 8

4.3 การหาจำนวนหน่วยไฟฟ้าและภาระกิจการคณิน

จากการใช้เครื่องวัดจลิตออกกิโลวัตต์-ชั่วโมง มิเตอร์เทียบกับ กิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ของการไฟฟ้า โดยทำการต่อโหลด  $\times 1000$  W 20 ชนิดเป็น 20 ชนิด ผลที่ได้จากการทดสอบใกล้เคียงกัน โดยค่าของกิโลวัตต์-ชม.ของการไฟฟ้ามีค่ามากกว่า คิดเป็น 1% ซึ่งจะเห็นวันละของความแตกต่างในจุดนี้มาจาก การคำนวณหาค่าแรงคั่น, กระแส และพาวเวอร์แฟกเตอร์ ยังมีความผิดพลาดอยู่บ้าง จากนั้นได้ทำการทดสอบโดย นำเครื่องวัดจลิตออกกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ มาต่อเข้ากับบ้านพักอาศัย 2 หลัง เพื่อทำการเปรียบเทียบ เครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ของการไฟฟ้า (kWh) โดยคำนวณค่าไฟฟ้าในประเภท 1.2 อัตราค่าไฟฟ้าผันแปร (FT) อยู่ที่ 43.28 บาท/หน่วย [7-8] ในการทดลองพบว่า จำนวนหน่วยที่ได้มีความแตกต่างกัน เนื่องจากเครื่องวัดจลิตออกกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ ต่ออยู่หลังจากเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ของการไฟฟ้า ทำให้เครื่องของการไฟฟ้า คิดจำนวนการใช้ไฟฟ้าของเครื่องวัดจลิตออกกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ไว้ด้วย ซึ่งใช้ไฟฟ้าประมาณ 0.0066 หน่วย/ชม. เมื่อเพิ่มจำนวนการใช้ไฟฟ้าของเครื่องวัดจลิตออกกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์เข้าไป ในตาราง

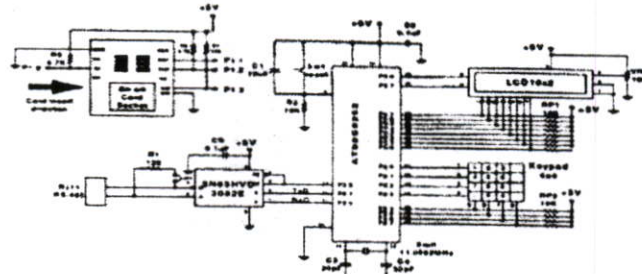
ที่ 4 พบว่าจำนวนหน่วยมีความแตกต่างกันอยู่บ้าง อาจเป็นเพราะการหาค่าแรงคั่น, กระแส และพาวเวอร์แฟกเตอร์ ยังไม่เที่ยงตรงเท่าที่ควร จำนวนหน่วยที่ได้จึงไม่ ตรงกันในส่วนของการกิจการเงิน เครื่องวัดจลิตออกกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ จะรับคณินที่ต่อเมื่อครบ 1 หน่วย และจะแสดงผลออกเงินคงเหลือ ในรูปแบบจำนวนเต็มไม่มีทศนิยม โดยออกเงินที่ได้จะทำการคิดเฉพาะ ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมกับค่า FT ไม่ได้รวมค่าบริการรายเดือน และภาษีมูลค่าเพิ่ม

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

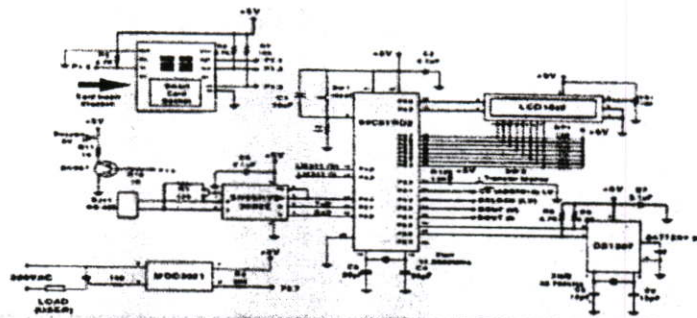
งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ วิธีการชำระค่าไฟฟ้าในอีกรูปแบบหนึ่งในระบบพหุเทศ คือการนำบัตรสมาร์ตการ์ด มาใช้แทนเงินสด ซึ่งสามารถหักเงินได้โดยตรงจากเครื่องวัดจลิตออกกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ เนื่องจากทาง เครื่องวัดจลิตออกกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์นี้ใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม และยังมีเทอร์ค 2S-485 จึงสามารถต่อรวมกันเป็นโครงข่ายได้ ทำให้สามารถส่งข้อมูลการเปลี่ยนค่า FT ได้พร้อมกันหลายเครื่อง จากผลการทดสอบการหาค่าแรงคั่น, กระแส และพาวเวอร์แฟกเตอร์ ค่าที่ได้ยังมีความแตกต่างกันอยู่บ้าง ซึ่งการหาจำนวนหน่วยจะใช้ระยะเวลาสั้น ความแตกต่างนี้จึงสะสมมากขึ้นไปเรื่อยๆ ทำให้การหาจำนวนความที่ 4 เปรียบเทียบจำนวนหน่วยและการกิจการเงิน

DKW-Hr	Month	Unit		Money (Baht)	
		kW-Hr	DKW-Hr	Calculate	DKW-Hr
1	March	631	615.1	1926.24	1926
	April	693	677.7	2137.71	2137
	May	666	649.2	2042.21	2042
2	March	684	667.9	2107.02	2107
	April	713	697.4	2205.92	2205
	May	697	681.1	2151.36	2151

ชนิดที่ใช้งานไม่ตรงกัน ถ้าการหาค่าคงมามีความถูกต้องมากขึ้น การคำนวณหาจำนวนชนิดที่ใช้งานก็จะใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากขึ้นไปด้วย



รูปที่ 9 วงจรเครื่องปรับค่า FT



รูปที่ 10 วงจรเครื่องคิดเลข ทีโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, <http://www.psa.co.th/services/how2pay.htm>, 27 มี.ค. 2548
- [2] M. McConnachie, "Prepayment Advances with Smart-Card Solutions that Cover Electricity, Gas and Water," Proc. of IEEE Metering Apparatus and Tariffs for Electricity Supply, Conference Publication No.462, pp.248-250, 1999.
- [3] M.I. Tibbenham, "Implementing a Pre-Payment System," Proc. of IEEE Metering Apparatus and Tariffs for Electricity Supply, Conference Publication No.462, pp.251-253, 1999.
- [4] นฤมล ชั่งเกียรติตระกูล, "อุปกรณ์วัดค่าชั่วโมงของไฟ 3 เฟส" ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.
- [5] C.D. Johnson, "Process Control Instrumentation Technology," 5<sup>th</sup> ed., Prentice-Hall, 1997.
- [6] M. Munday and D.G. Hart, "Method for Electric Power Measurements," Proc. of IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol.2, pp.1433-1436, 2002.
- [7] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, "คู่มือแจ้งอัตราค่าไฟฟ้า" ของอัตราและวิธีการไฟฟ้า, ฝ่ายเศรษฐกิจและงบประมาณ, 2546.
- [8] การไฟฟ้านครหลวง, <http://www.mca.or.th/P&Sub.htm>, 1 มี.ค. 2548

ภาคผนวก ค  
DATASHEET

## 一般計測用CTL汎用シリーズ

## プリント板、パネル取付両用の中型・OEM対応の交流電流センサ

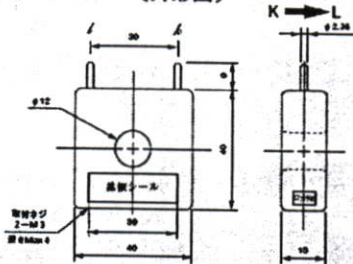


## 型式 CTL-12-S36-4

## 〔特長〕

- 変流比400:1の中型OEM対応品。(CTL-6-4シリーズ)と巻数仕様共通でヒータ断線検出器などの応用において、電気仕様共通の上位機種として、使用できる。
- 低変流比、大出力電流特性で、通電表示用LED点灯など、比較的小電流からの電流検知に適する。
- 形状、寸法は標準品と完全互換。
- 出力端子は(φ2.36×9φ)の丸ピンで堅牢な構造。プリント板ハンダ付/リード線ハンダ付、または別売コネクタセットいずれにも対応可。

## 〔外形図〕



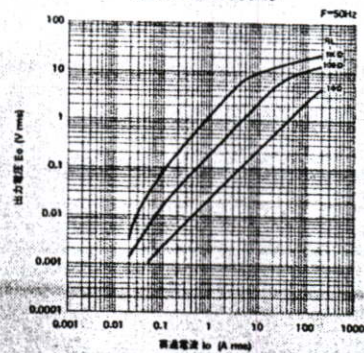
## 〔仕様〕

型式	CTL-12-S36-4
適用電流	0.1~120Arms (50/60Hz)
最大許容電流	200Arms連続
無歪最大出力電圧	5Vrms (歪率3%以下)
出力特性	出力電圧特性図参照
直線性	結合係数(K)特性図参照 ( $\pm 2\%$ 以内)としての利用は(K)特性がフラットな領域を使用してください)
二次巻数(n)	400±2ターン
二次巻線抵抗	7.9±1Ω (参考値)
耐電圧	AC2000V, 1分間 (貫通穴-出力端子間)
絶縁抵抗	DC500V, 100MΩ以上 (貫通穴-出力端子間)
使用温度	-20℃~+75℃
保存温度	-30℃~+90℃
構造	PBT樹脂ケース、エポキシ片面充填封止
難燃性グレード	UL94-V-0準拠
出力端子	φ2.36×9φ (丸ピン)、錫メッキ付
重量	50g
耐振性	50Hz 10G 各方向加振テスト後、特性変化のないこと

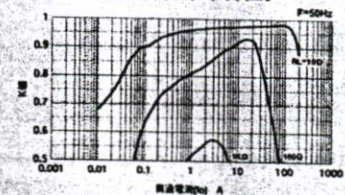
備考(1) 出力電圧は、貫通電流/負荷抵抗/結合係数(K)等のパラメーターにより変化します。各特性図をよく吟味して使用条件を設定してください。

(2) 特性図中、点線表示部は、材料特性の変化等で製品個体差が出やすい領域となるため、充分なマージンを持ってご使用ください。

## 〔出力電圧特性〕

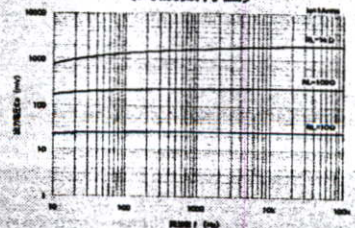


## 〔結合係数(K)特性〕



(負荷抵抗と貫通電流から(K)を読み取り出力電圧が計算できます。)  
 $E_o = K \cdot I_o \cdot R_L / n$  (Vrms)

## 〔周波数特性〕





SBOS247B – JUNE 2002 – REVISED FEBRUARY 2005

## Low-Noise, Low-Distortion INSTRUMENTATION AMPLIFIER Replacement for SSM2017

### FEATURES

- LOW NOISE:  $1.3\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  at 1kHz
- LOW THD+N: 0.004% at 1kHz,  $G = 100$
- WIDE BANDWIDTH: 800kHz at  $G = 100$
- WIDE SUPPLY RANGE:  $\pm 4.5\text{V}$  to  $\pm 18\text{V}$
- HIGH CMR:  $> 100\text{dB}$
- GAIN SET WITH EXTERNAL RESISTOR
- DIP-8 AND SOL-16 WIDE BODY PACKAGES

### APPLICATIONS

- PROFESSIONAL MICROPHONE PREAMPS
- MOVING-COIL TRANSDUCER AMPLIFIERS
- DIFFERENTIAL RECEIVERS
- BRIDGE TRANSDUCER AMPLIFIERS

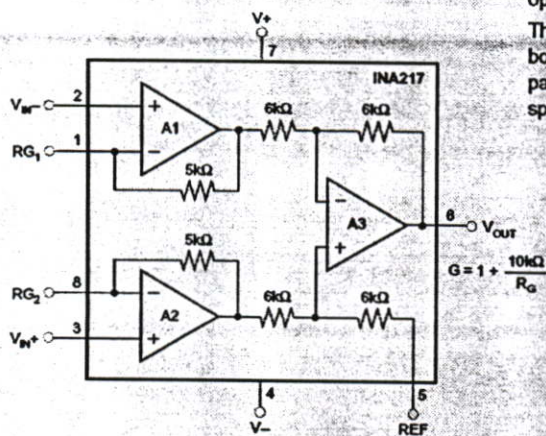
### DESCRIPTION

The INA217 is a low-noise, low-distortion, monolithic instrumentation amplifier. Current-feedback circuitry allows the INA217 to achieve wide bandwidth and excellent dynamic response over a wide range of gain. The INA217 is ideal for low-level audio signals such as balanced low-impedance microphones. Many industrial, instrumentation, and medical applications also benefit from its low noise and wide bandwidth.

Unique distortion cancellation circuitry reduces distortion to extremely low levels, even in high gain. The INA217 provides near-theoretical noise performance for  $200\Omega$  source impedance. The INA217 features differential input, low noise, and low distortion that provides superior performance in professional microphone amplifier applications.

The INA217 features wide supply voltage, excellent output voltage swing, and high output current drive, making it an optimal candidate for use in high-level audio stages.

The INA217 is available in the same DIP-8 and SOL-16 wide body packages and pinouts as the SSM2017. For a smaller package, see the INA163 in SO-14 narrow. The INA217 is specified over the temperature range of  $-40^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ .



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

All trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

TEXAS  
INSTRUMENTS  
www.ti.com

Copyright © 2002-2005, Texas Instruments Incorporated

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS<sup>(1)</sup>

Supply Voltage, $V_+$ to $V_-$ .....	$\pm 18V$
Signal Input Terminals, Voltage <sup>(2)</sup> .....	$(V_-) - 0.5V$ to $(V_+) + 0.5V$
Current <sup>(2)</sup> .....	10mA
Output Short-Circuit <sup>(3)</sup> .....	Continuous
Operating Temperature.....	$-55^\circ C$ to $+125^\circ C$
Storage Temperature.....	$-55^\circ C$ to $+150^\circ C$
Junction Temperature.....	$+150^\circ C$
Lead Temperature (soldering, 10s).....	$+300^\circ C$

NOTES: (1) Stresses above these ratings may cause permanent damage. Exposure to absolute maximum conditions for extended periods may degrade device reliability. (2) Input terminals are diode-clamped to the power-supply rails. Input signals that can swing more than 0.5V beyond the supply rails should be current limited to 10mA or less. (3) Short-circuit to ground, one amplifier per package.



## ELECTROSTATIC DISCHARGE SENSITIVITY

This integrated circuit can be damaged by ESD. Texas Instruments recommends that all integrated circuits be handled with appropriate precautions. Failure to observe proper handling and installation procedures can cause damage.

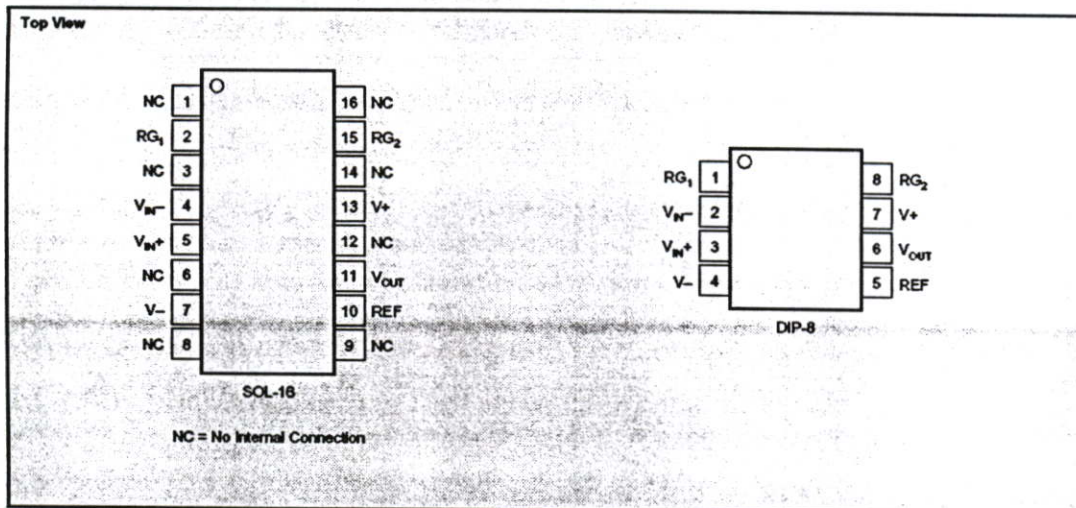
ESD damage can range from subtle performance degradation to complete device failure. Precision integrated circuits may be more susceptible to damage because very small parametric changes could cause the device not to meet its published specifications.

PACKAGE/ORDERING INFORMATION<sup>(1)</sup>

PRODUCT	PACKAGE-LEAD	PACKAGE DESIGNATOR	PACKAGE MARKING
INA217	SOL-16	DW	INA217
INA217	DIP-8	P	INA217

NOTES: (1) For the most current package and ordering information, see the Package Option Addendum at the end of this document, or see the TI website at [www.ti.com](http://www.ti.com).

## PIN CONFIGURATIONS



## ELECTRICAL CHARACTERISTICS: $V_S = \pm 15V$

Boldface limits apply over the specified temperature range,  $T_A = -40^\circ C$  to  $+85^\circ C$ .

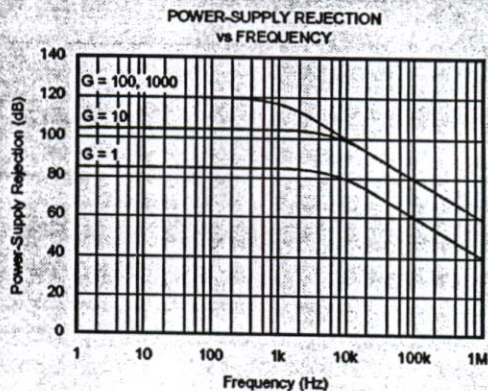
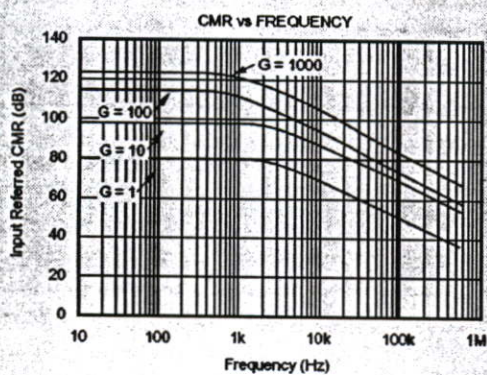
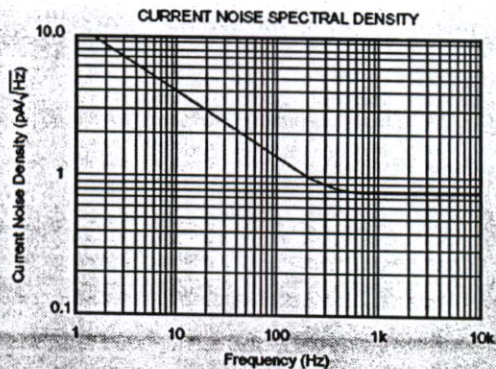
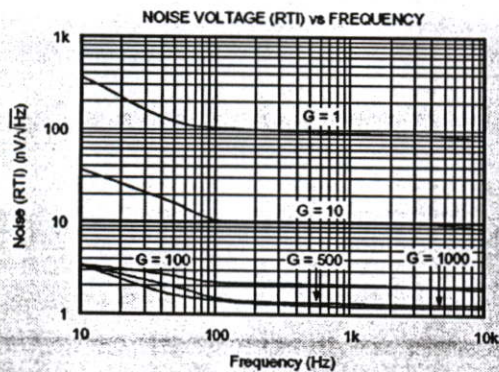
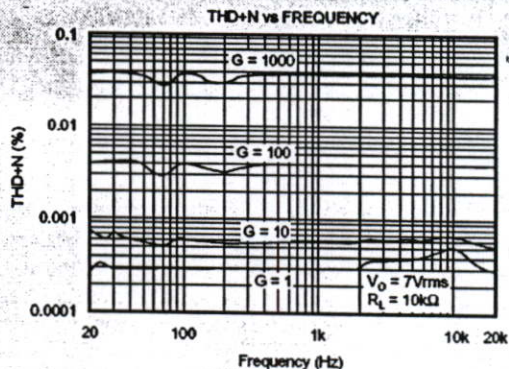
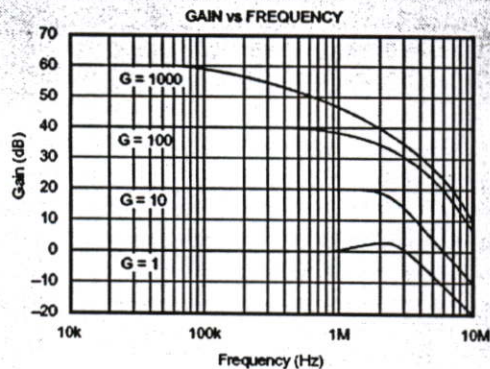
$T_A = +25^\circ C$ ,  $R_f = 2k\Omega$ ,  $V_S = \pm 15V$ , unless otherwise noted.

PARAMETER	CONDITIONS	INA217			UNITS
		MIN	TYP	MAX	
<b>GAIN EQUATION</b> Range Gain Error, $G = 1$ $G = 10$ $G = 100$ $G = 1000$ Gain Temp Drift Coefficient, $G = 1$ $G > 100$ Nonlinearity, $G = 1$ $G = 100$			$G = 1 + 10k/R_G$ 1 to 10000 $\pm 0.1$ $\pm 0.2$ $\pm 0.2$ $\pm 0.5$ $\pm 3$ $\pm 40$ $\pm 0.0003$ $\pm 0.0006$	$\pm 0.25$ $\pm 0.7$	V/V % % % % ppm/ $^\circ C$ ppm/ $^\circ C$ % of FS % of FS
<b>INPUT STAGE NOISE</b> Voltage Noise $f_o = 1kHz$ $f_o = 100Hz$ $f_o = 10Hz$ Current Noise $f_o = 1kHz$	$R_{SOURCE} = 0\Omega$		1.3 1.5 3.5 0.8		nV/ $\sqrt{Hz}$ nV/ $\sqrt{Hz}$ nV/ $\sqrt{Hz}$ pA/ $\sqrt{Hz}$
<b>OUTPUT STAGE NOISE</b> Voltage Noise, $f_o = 1kHz$			90		nV/ $\sqrt{Hz}$
<b>INPUT OFFSET VOLTAGE</b> Input Offset Voltage vs Temperature vs Power Supply	$V_{CM} = V_{OUT} = 0V$ $T_A = T_{MIN}$ to $T_{MAX}$ $V_S = \pm 4.5V$ to $\pm 18V$		$50 + 2000/G$ $1 + 20/G$ $1 + 50/G$	$250 + 5000/G$ $3 + 200/G$	$\mu V$ $\mu V/^\circ C$ $\mu V/V$
<b>INPUT VOLTAGE RANGE</b> Common-Mode Voltage Range Common-Mode Rejection, $G = 1$ $G = 100$	$V_{IN+} - V_{IN-} = 0V$ $V_{IN+} - V_{IN-} = 0V$ $V_{CM} = \pm 11V$ , $R_{SRC} = 0\Omega$	(V+) - 4 (V-) + 4 70 100	(V+) - 3 (V-) + 3 80 116		V V dB dB
<b>INPUT BIAS CURRENT</b> Initial Bias Current vs Temperature Initial Offset Current vs Temperature			2 10 0.1 0.5	12 1	$\mu A$ nA/ $^\circ C$ $\mu A$ nA/ $^\circ C$
<b>INPUT IMPEDANCE</b>	Differential Common-Mode		$60 \parallel 2$ $60 \parallel 2$		$M\Omega \parallel pF$ $M\Omega \parallel pF$
<b>DYNAMIC RESPONSE</b> Bandwidth, Small Signal, -3dB, $G = 1$ $G = 100$ Slew Rate THD+Noise, $f = 1kHz$ Settling Time, 0.1% 0.01% Overload Recovery	$G = 100$ $G = 100$ , 10V Step $G = 100$ , 10V Step 50% Overdrive		3.4 800 15 0.004 2 3.5 1		MHz kHz V/ $\mu s$ % $\mu s$ $\mu s$ $\mu s$
<b>OUTPUT</b> Voltage Load Capacitance Stability Short-Circuit Current	$R_L$ to GND Continuous-to-Common	(V+) - 2 (V-) + 2	(V+) - 1.8 (V-) + 1.8 1000 $\pm 60$		V V pF mA
<b>POWER SUPPLY</b> Rated Voltage Voltage Range Current, Quiescent	$I_o = 0mA$	$\pm 4.5$	$\pm 15$ $\pm 10$	$\pm 18$ $\pm 12$	V V mA
<b>TEMPERATURE RANGE</b> Specification Operating Thermal Resistance DIP-8 SOL-16		-40 -40		+85 +125	$^\circ C$ $^\circ C$ $^\circ C/W$ $^\circ C/W$

NOTE: (1) Gain accuracy is a function of external  $R_G$ .

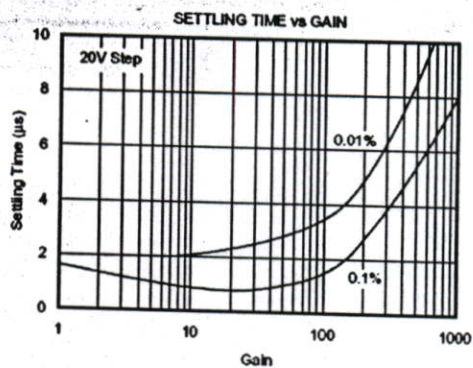
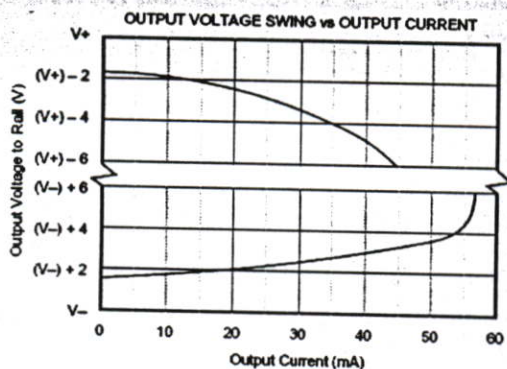
## TYPICAL CHARACTERISTICS

At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ ,  $R_L = 2\text{k}\Omega$ , unless otherwise noted.

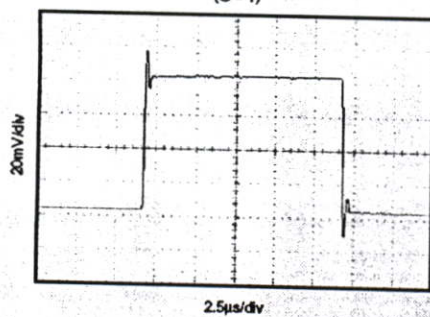


## TYPICAL CHARACTERISTICS (Cont.)

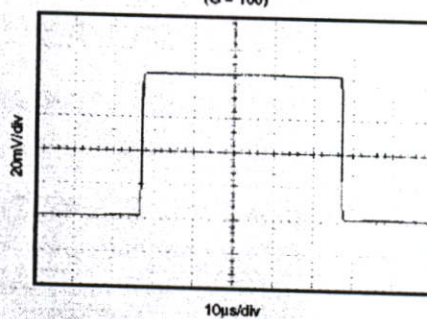
At  $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_S = \pm 15\text{V}$ ,  $R_L = 2\text{k}\Omega$ , unless otherwise noted.



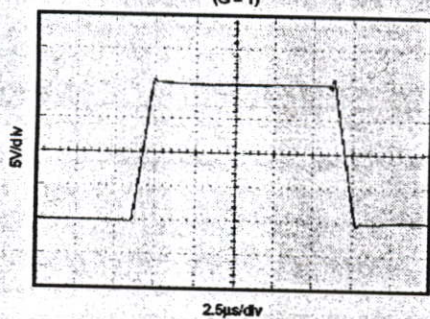
**SMALL-SIGNAL TRANSIENT RESPONSE**  
(G = 1)



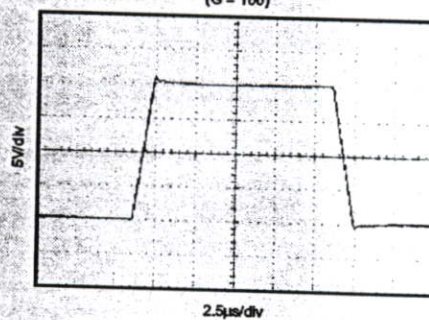
**SMALL-SIGNAL TRANSIENT RESPONSE**  
(G = 100)



**LARGE-SIGNAL TRANSIENT RESPONSE**  
(G = 1)



**LARGE-SIGNAL TRANSIENT RESPONSE**  
(G = 100)



## APPLICATIONS INFORMATION

Figure 1 shows the basic connections required for operation. Power supplies should be bypassed with 0.1µF tantalum capacitors near the device pins. The output Reference (pin 5) should be a low-impedance connection. Resistance of a few ohms in series with this connection will degrade the common-mode rejection of the INA217.

### GAIN-SET RESISTOR

Gain is set with an external resistor,  $R_G$ , as shown in Figure 1. The two internal 5kΩ feedback resistors are laser-trimmed to 5kΩ within approximately ±0.2%. The gain equation for the INA217 is:

$$G = 1 + \frac{10,000}{R_G}$$

The temperature coefficient of the internal 5kΩ resistors is approximately ±25ppm/°C. Accuracy and TCR of the external  $R_G$  will also contribute to gain error and temperature drift. These effects can be inferred from the gain equation. Make a short, direct connection to the gain set resistor,  $R_G$ . Avoid running output signals near these sensitive input nodes.

### NOISE PERFORMANCE

The INA217 provides very low noise with low-source impedance. Its 1.3nV/√Hz voltage noise delivers near-theoretical noise performance with a source impedance of 200Ω. The input stage design used to achieve this low noise results in

relatively high input bias current and input bias current noise. As a result, the INA217 may not provide the best noise performance with a source impedance greater than 10kΩ. For source impedance greater than 10kΩ, other instrumentation amplifiers may provide improved noise performance.

### INPUT CONSIDERATIONS

Very low source impedance (less than 10Ω) can cause the INA217 to oscillate. This depends on circuit layout, signal source, and input cable characteristics. An input network consisting of a small inductor and resistor, as shown in Figure 2, can greatly reduce any tendency to oscillate. This is especially useful if a variety of input sources are to be connected to the INA217. Although not shown in other figures, this network can be used as needed with all applications shown.

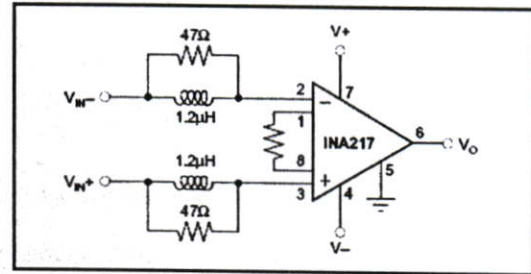


FIGURE 2. Input Stabilization Network.

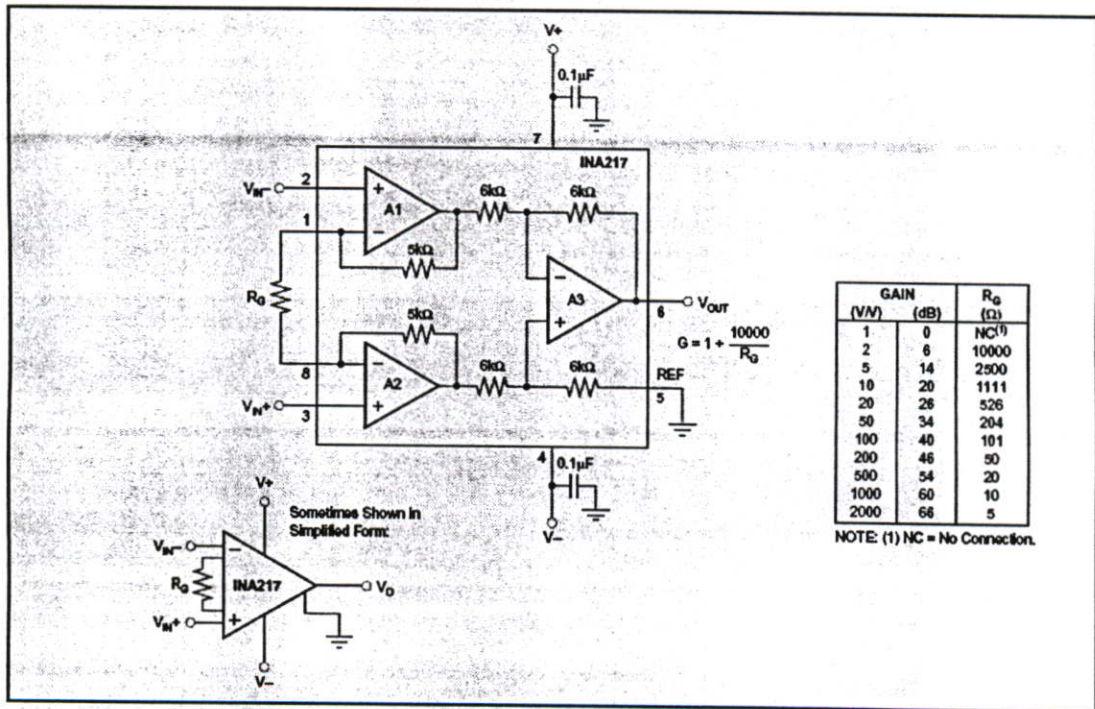


FIGURE 1. Basic Circuit Connections.

### OFFSET VOLTAGE TRIM

A variable voltage applied to pin 5, as shown in Figure 3, can be used to adjust the output offset voltage. A voltage applied to pin 5 is summed with the output signal. An op amp connected as a buffer is used to provide a low impedance at pin 5 to assure good common-mode rejection.

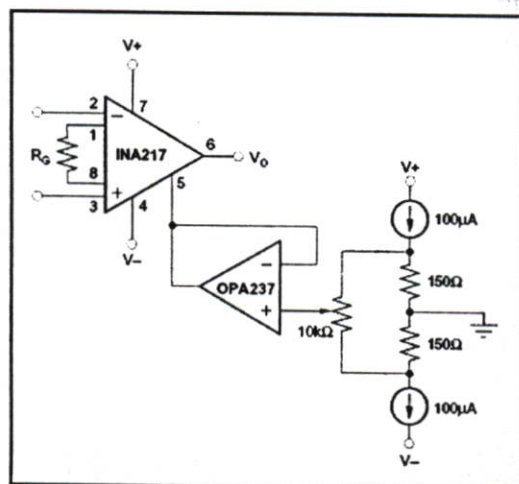


FIGURE 3. Offset Voltage Adjustment Circuit.

### MICROPHONE AMPLIFIER

Figure 4 shows a typical circuit for a professional microphone input amplifier.  $R_1$  and  $R_2$  provide a current path for conventional 48V phantom power source for a remotely located microphone. An optional switch allows phantom power to be disabled.  $C_1$  and  $C_2$  block the phantom power voltage from the INA217 input circuitry. Non-polarized capacitors should be used for  $C_1$  and  $C_2$  if phantom power is to be disabled. For additional input protection against ESD and hot-plugging, four IN4148 diodes may be connected from the input to supply lines.

$R_4$  and  $R_5$  provide a path for input bias current of the INA217. Input offset current (typically 100nA) creates a DC differential input voltage that will produce an output offset voltage. This is generally the dominant source of output offset voltage in this application. With a maximum gain of 1000 (60dB), the output offset voltage can be several volts. This may be entirely acceptable if the output is AC-coupled into the subsequent stage. An alternate technique is shown in Figure 4. An inexpensive FET-input op amp in a feedback loop drives the DC output voltage to 0V. A2 is not in the audio signal path and does not affect signal quality.

Gain is set with a variable resistor,  $R_7$ , in series with  $R_6$ .  $R_6$  determines the maximum gain. The total resistance,  $R_6 + R_7$ , determines the lowest gain. A special reverse-log taper potentiometer for  $R_7$  can be used to create a linear change (in dB) with rotation.

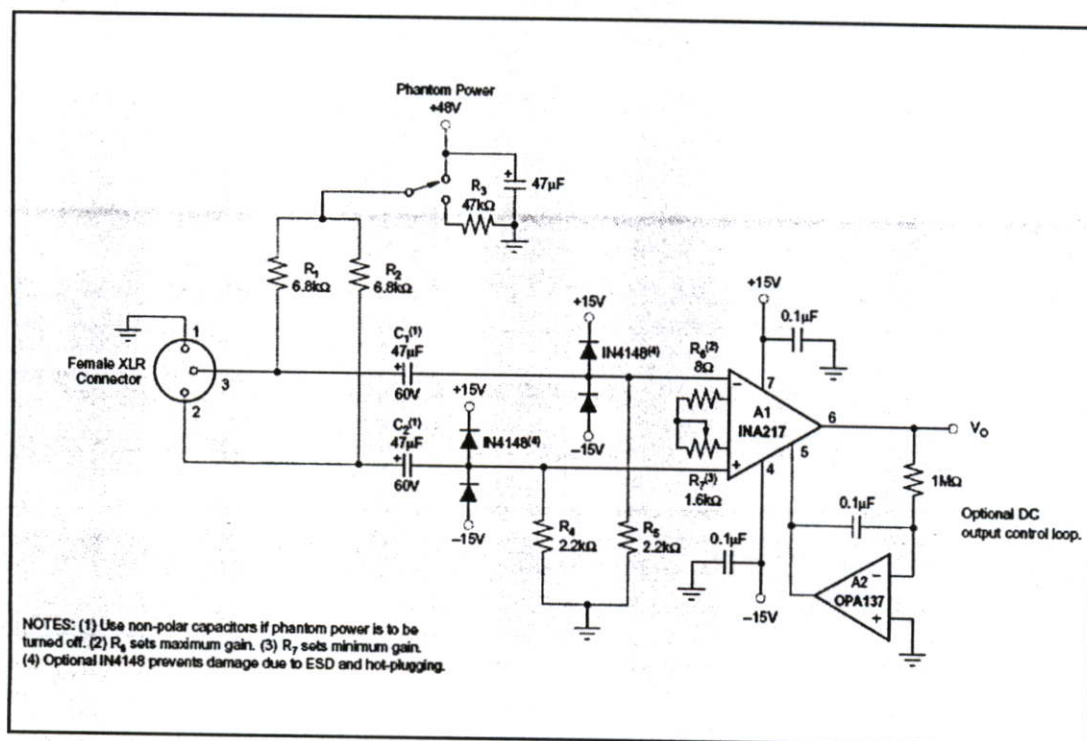


FIGURE 4. Phantom-Powered Microphone Preamplifier.

## PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status <sup>(1)</sup>	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan <sup>(2)</sup>	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp <sup>(3)</sup>
INA217AIDWR	ACTIVE	SOIC	DW	16	1000	TBD	CU NIPDAU	Level-3-220C-168 HR
INA217AIDWT	ACTIVE	SOIC	DW	16	250	TBD	CU NIPDAU	Level-3-220C-168 HR
INA217AIP	ACTIVE	PDIP	P	8	50	TBD	Call TI	Level-NA-NA-NA

<sup>(1)</sup> The marketing status values are defined as follows:

**ACTIVE:** Product device recommended for new designs.

**LIFEBUY:** TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

**NRND:** Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

**PREVIEW:** Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

**OBSOLETE:** TI has discontinued the production of the device.

<sup>(2)</sup> Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS) or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

TBD: The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

**Pb-Free (RoHS):** TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

**Green (RoHS & no Sb/Br):** TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

<sup>(3)</sup> MSL, Peak Temp. -- The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

**Important Information and Disclaimer:** The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

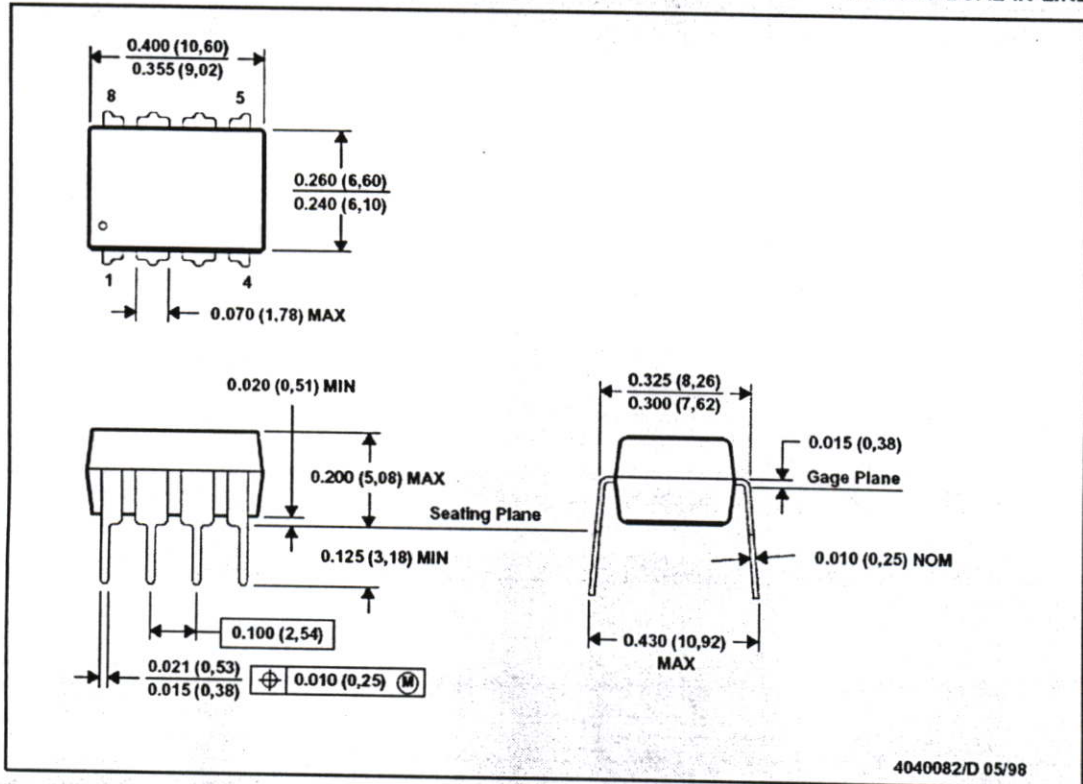
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

## MECHANICAL DATA

MPDI001A - JANUARY 1995 - REVISED JUNE 1999

P (R-PDIP-T8)

PLASTIC DUAL-IN-LINE



- NOTES: A. All linear dimensions are in inches (millimeters).  
 B. This drawing is subject to change without notice.  
 C. Falls within JEDEC MS-001

For the latest package information, go to [http://www.ti.com/sc/docs/package/pkg\\_info.htm](http://www.ti.com/sc/docs/package/pkg_info.htm)

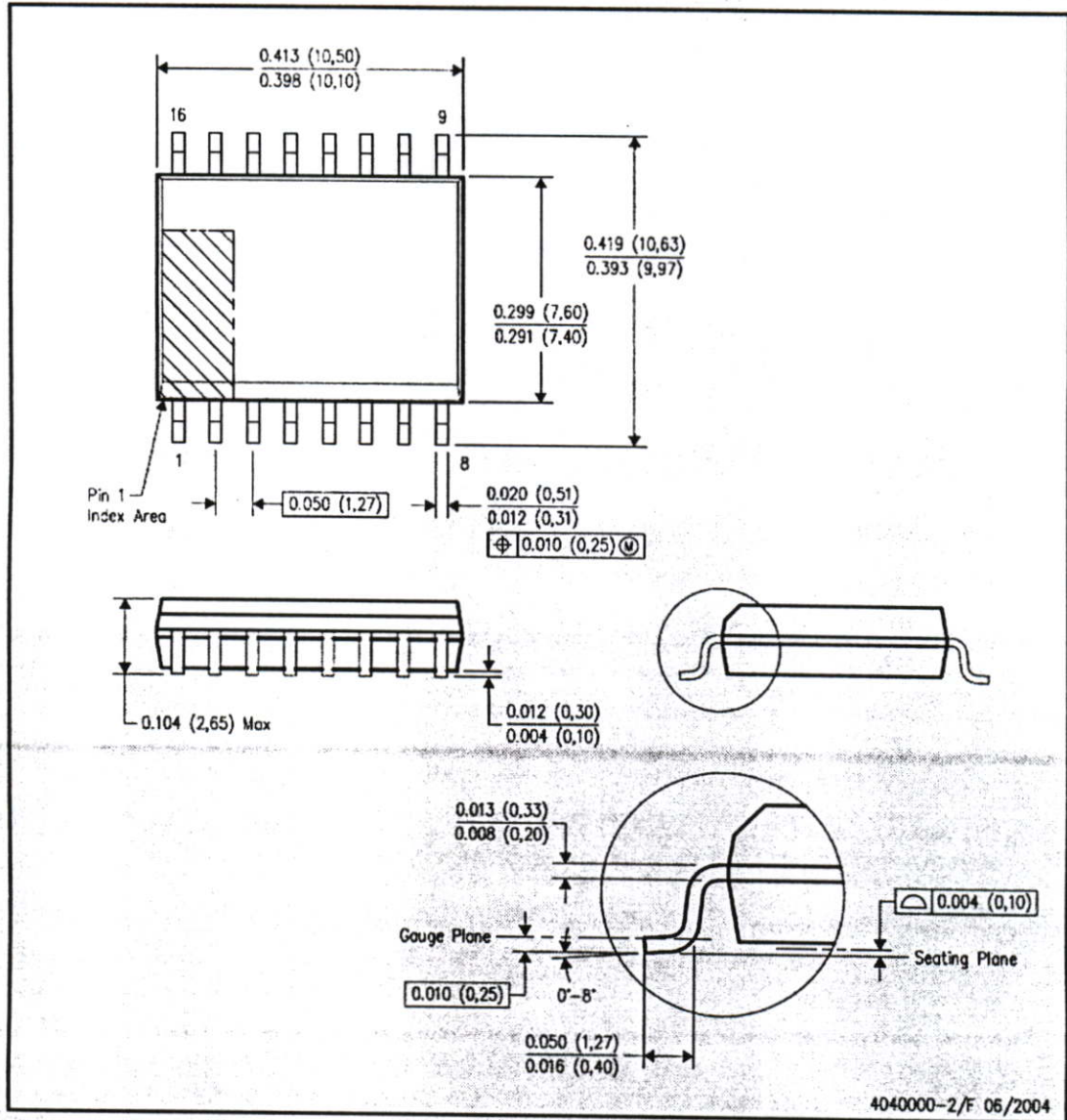
**TEXAS  
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

## MECHANICAL DATA

DW (R-PDSO-G16)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE



- NOTES:
- All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - This drawing is subject to change without notice.
  - Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0.006 (0,15).
  - Falls within JEDEC MS-013 variation AA.

## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

Products		Applications	
Amplifiers	<a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>	Audio	<a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>
Data Converters	<a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>	Automotive	<a href="http://www.ti.com/automotive">www.ti.com/automotive</a>
DSP	<a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>	Broadband	<a href="http://www.ti.com/broadband">www.ti.com/broadband</a>
Interface	<a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>	Digital Control	<a href="http://www.ti.com/digitalcontrol">www.ti.com/digitalcontrol</a>
Logic	<a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>	Military	<a href="http://www.ti.com/military">www.ti.com/military</a>
Power Mgmt	<a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>	Optical Networking	<a href="http://www.ti.com/opticalnetwork">www.ti.com/opticalnetwork</a>
Microcontrollers	<a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a>	Security	<a href="http://www.ti.com/security">www.ti.com/security</a>
		Telephony	<a href="http://www.ti.com/telephony">www.ti.com/telephony</a>
		Video & Imaging	<a href="http://www.ti.com/video">www.ti.com/video</a>
		Wireless	<a href="http://www.ti.com/wireless">www.ti.com/wireless</a>

Mailing Address: Texas Instruments  
Post Office Box 655303 Dallas, Texas 75265

Copyright © 2005, Texas Instruments Incorporated

**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR

**6-PIN DIP RANDOM-PHASE  
OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT  
(250/400 VOLT PEAK)**

**MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M**

**DESCRIPTION**

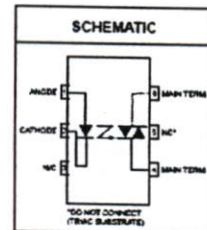
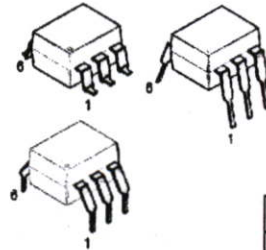
The MOC301XM and MOC302XM series are optically isolated triac driver devices. These devices contain a AlGaAs infrared emitting diode and a light activated silicon bilateral switch, which functions like a triac. They are designed for interfacing between electronic controls and power triacs to control resistive and inductive loads for 115/240 VAC operations.

**FEATURES**

- Excellent  $I_{FT}$  stability—IR emitting diode has low degradation
- High isolation voltage—minimum 5300 VAC RMS
- Underwriters Laboratory (UL) recognized—File #E90700
- Peak blocking voltage  
-250V-MOC301XM  
-400V-MOC302XM
- VDE recognized (File #94766)
- Ordering option V (e.g. MOC3023VM)

**APPLICATIONS**

- European applications for  
• Triac driver  
• 240 VAC (MOC302X only)
- Industrial controls
- Traffic lights
- Vending machines
- Solid state relay
- Lamp ballasts
- Solenoid/valve controls
- Static AC power switch
- Incandescent lamp dimmers
- Motor control



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)				
Parameters	Symbol	Device	Value	Units
<b>TOTAL DEVICE</b>				
Storage Temperature	$T_{STG}$	All	-40 to +150	$^\circ\text{C}$
Operating Temperature	$T_{OPR}$	All	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
Lead Solder Temperature	$T_{SOL}$	All	260 for 10 sec	$^\circ\text{C}$
Junction Temperature Range	$T_J$	All	-40 to +100	$^\circ\text{C}$
Isolation Surge Voltage <sup>(1)</sup> (peak AC voltage, 60-Hz, 1 sec duration)	$V_{ISO}$	All	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ 25 $^\circ\text{C}$ Derate above 25 $^\circ\text{C}$	$P_D$	All	330	mW
			4.4	mW/ $^\circ\text{C}$
<b>EMITTER</b>				
Continuous Forward Current	$I_F$	All	60	mA
Reverse Voltage	$V_R$	All	3	V
Total Power Dissipation 25 $^\circ\text{C}$ Ambient Derate above 25 $^\circ\text{C}$	$P_D$	All	100	mW
			1.33	mW/ $^\circ\text{C}$
<b>DETECTOR</b>				
Off-State Output Terminal Voltage	$V_{ORM}$	MOC3010M/11M/2M	250	V
		MOC3020M/11M/2M/3M	400	V
Peak Repetitive Surge Current (PW = 1 ms, 120 pps)	$I_{TSM}$	All	1	V
Total Power Dissipation @ 25 $^\circ\text{C}$ Ambient Derate above 25 $^\circ\text{C}$	$P_D$	All	300	mW
			4	mW/ $^\circ\text{C}$

**Note**

1. Isolation surge voltage,  $V_{ISO}$ , is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR®

**6-PIN DIP RANDOM-PHASE  
OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT  
(250/400 VOLT PEAK)**

**MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M**

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  Unless otherwise specified)

**INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS**

Parameters	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
<b>EMITTER</b>							
Input Forward Voltage	$I_F = 10\text{ mA}$	$V_F$	All		1.15	1.5	V
Reverse Leakage Current	$V_R = 3\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	$I_R$	All		0.01	100	$\mu\text{A}$
<b>DETECTOR</b>							
Peak Blocking Current, Either Direction	Rated $V_{DRM}, I_F = 0$ (note 1)	$I_{CRM}$	All		10	100	nA
Peak On-State Voltage, Either Direction	$I_{TM} = 100\text{ mA peak}, I_F = 0$	$V_{TM}$	All		1.8	3	V
Critical Rate of Rise of Off-State Voltage	$I_F = 0$ (figure 5, note 2)	$dv/dt$	All		10		V/ $\mu\text{s}$

**TRANSFER CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  Unless otherwise specified.)

DC Characteristics	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
LED Trigger Current	Voltage = 3V (note 3)	$I_{FT}$	MOC3020M			30	mA
			MOC3010M			15	
			MOC3021M			15	
			MOC3011M			10	
			MOC3022M			10	
			MOC3012M			5	
Holding Current, Either Direction		$I_H$	All		100	$\mu\text{A}$	

**Note**

- Test voltage must be applied within  $dv/dt$  rating.
- This is static  $dv/dt$ . See Figure 5 for test circuit. Commutating  $dv/dt$  is a function of the load-driving thyristor(s) only.
- All devices are guaranteed to trigger at an  $I_F$  value less than or equal to  $\max I_{FT}$ . Therefore, recommended operating  $I_F$  lies between  $\max I_{FT}$  (30 mA for MOC3020M, 15 mA for MOC3010M and MOC3021M, 10 mA for MOC3011M and MOC3022M, 5 mA for MOC3012M and MOC3023M) and absolute  $\max I_F$  (60 mA).



6-PIN DIP RANDOM-PHASE OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT (250/400 VOLT PEAK)

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

Fig. 1 LED Forward Voltage vs. Forward Current

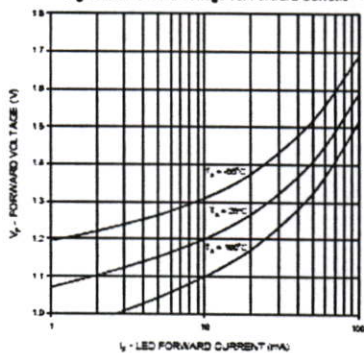


Fig. 2 On-State Characteristics

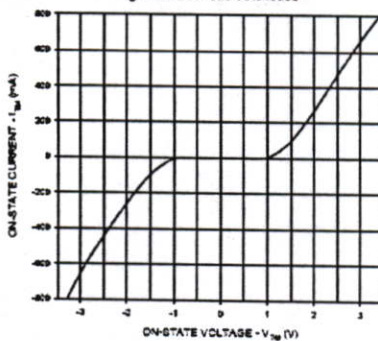


Fig. 3 Trigger Current vs. Ambient Temperature

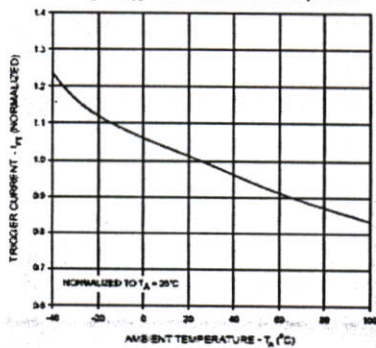


Fig. 4 LED Current Required to Trigger vs. LED Pulse Width

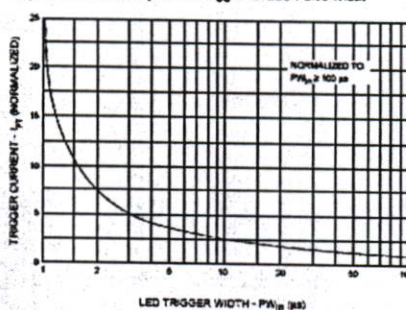


Fig. 5 dV/dt vs. Temperature

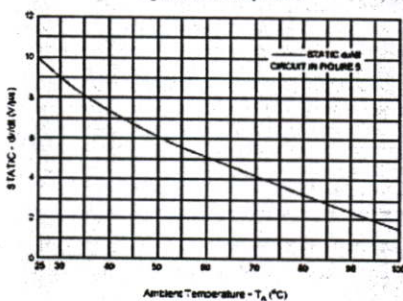
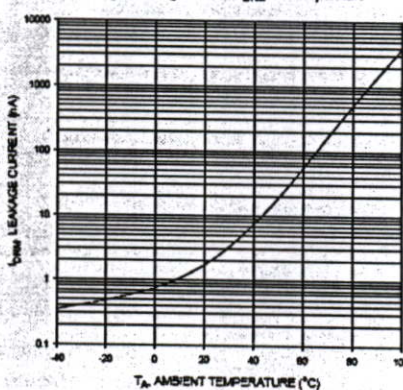


Fig. 6 Leakage Current, I<sub>ONL</sub> vs. Temperature



**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR®

**6-PIN DIP RANDOM-PHASE  
OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT  
(250/400 VOLT PEAK)**

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

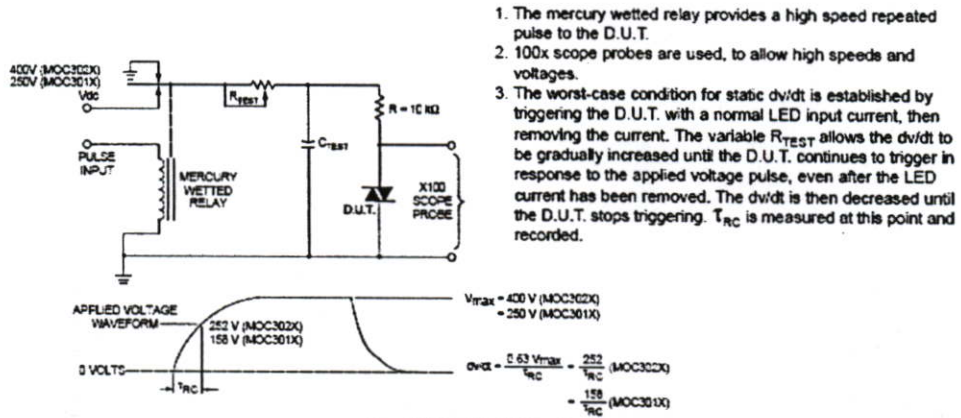


Figure 5. Static dv/dt Test Circuit

NOTE: This optoisolator should not be used to drive a load directly. It is intended to be a trigger device only.

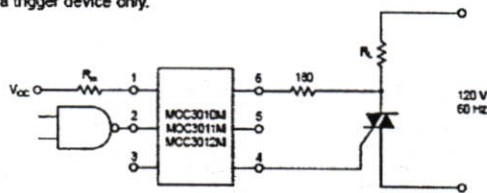


Figure 6. Resistive Load

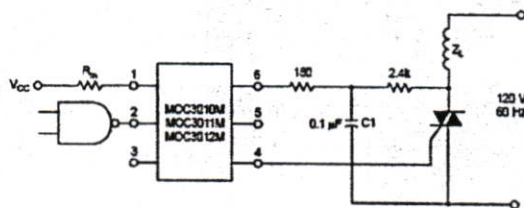


Figure 7. Inductive Load with Sensitive Gate Triac ( $I_{TG} \leq 15 \text{ mA}$ )

**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR®

**6-PIN DIP RANDOM-PHASE  
OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT  
(250/400 VOLT PEAK)**

**MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M**

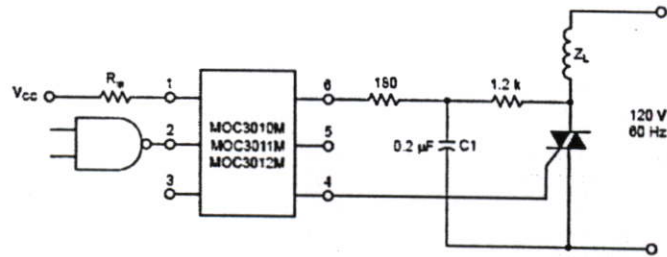
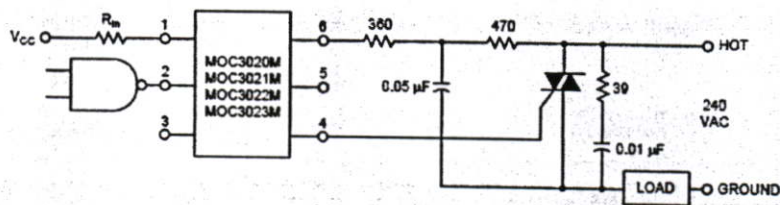


Figure 8. Inductive Load with Sensitive Gate Triac ( $I_{GT} \leq 15 \text{ mA}$ )



In this circuit the "hot" side of the line is switched and the load connected to the cold or ground side.

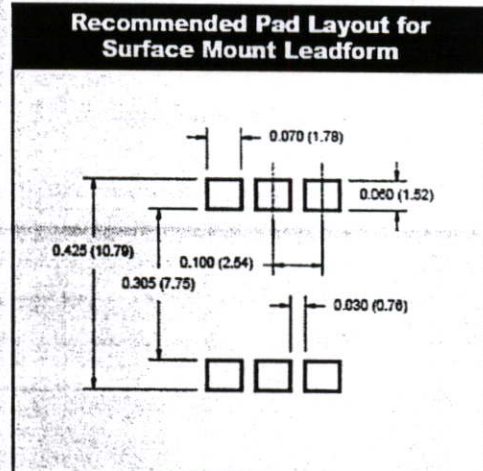
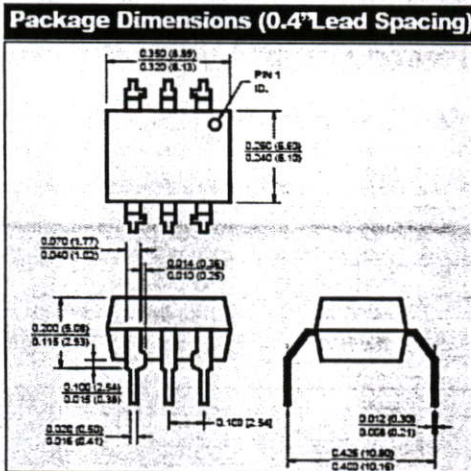
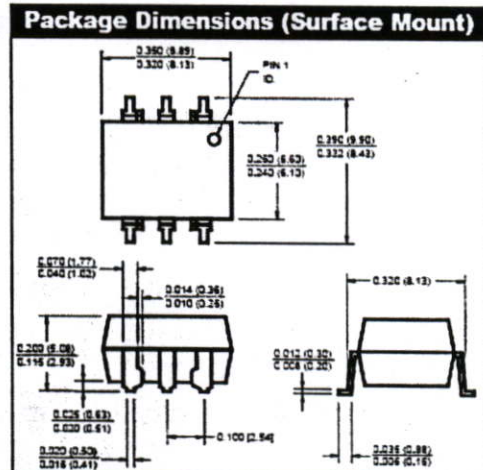
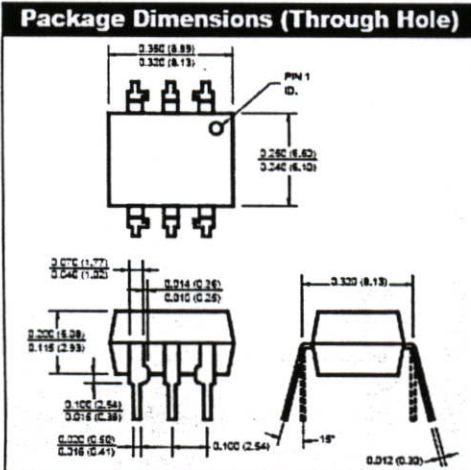
The 39 ohm resistor and 0.01  $\mu\text{F}$  capacitor are for snubbing of the triac, and the 470 ohm resistor and 0.05  $\mu\text{F}$  capacitor are for snubbing the coupler. These components may or may not be necessary depending upon the particular and load used.

Figure 9. Typical Application Circuit

**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR®

**6-PIN DIP RANDOM-PHASE  
OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT  
(250/400 VOLT PEAK)**

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M



**NOTE**  
All dimensions are in inches (millimeters)

**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR®

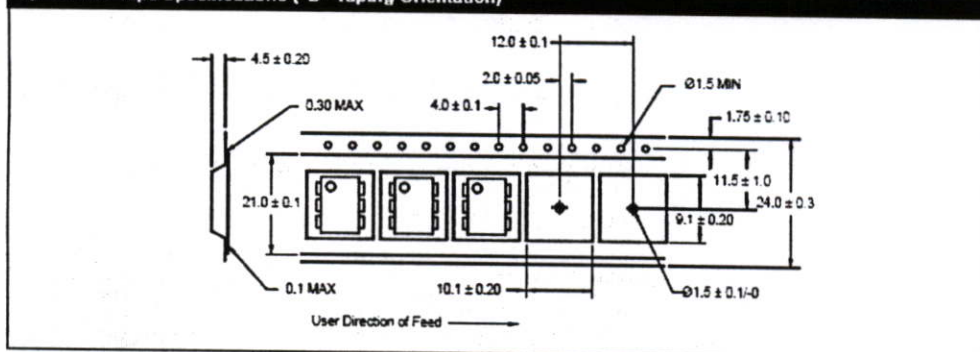
**6-PIN DIP RANDOM-PHASE  
OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT  
(250/400 VOLT PEAK)**

**MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M**

**ORDERING INFORMATION**

Option	Order Entry Identifier	Description
S	S	Surface Mount Lead Bend
SR2	SR2	Surface Mount, Tape and reel
T	T	0.4" Lead Spacing
V	V	VDE 0884
TV	TV	VDE 0884, 0.4" Lead Spacing
SV	SV	VDE 0884, Surface Mount
SR2V	SR2V	VDE 0884, Surface Mount, Tape & Reel

**QT Carrier Tape Specifications ("D" Taping Orientation)**



**NOTE**

All dimensions are in inches (millimeters)

**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR®

**6-PIN DIP RANDOM-PHASE  
OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT  
(250/400 VOLT PEAK)**

**MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M**

**DISCLAIMER**

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

**LIFE SUPPORT POLICY**

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



DS1307

## 64 x 8 Serial Real-Time Clock

[www.maxim-ic.com](http://www.maxim-ic.com)

## FEATURES

- Real-time clock (RTC) 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, battery-backed, nonvolatile (NV) RAM for data storage
- Two-wire serial interface
- Programmable squarewave output signal
- Automatic power-fail detect and switch circuitry
- Consumes less than 500nA in battery backup mode with oscillator running
- Optional industrial temperature range: -40°C to +85°C
- Available in 8-pin DIP or SOIC
- Underwriters Laboratory (UL) recognized

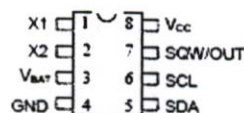
## ORDERING INFORMATION

DS1307	8-Pin DIP (300-mil)
DS1307Z	8-Pin SOIC (150-mil)
DS1307N	8-Pin DIP (Industrial)
DS1307ZN	8-Pin SOIC (Industrial)

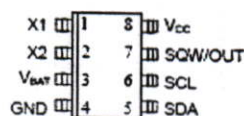
## DESCRIPTION

The DS1307 Serial Real-Time Clock is a low-power, full binary-coded decimal (BCD) clock/calendar plus 56 bytes of NV SRAM. Address and data are transferred serially via a 2-wire, bi-directional bus. The clock/calendar provides seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The end of the month date is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with AM/PM indicator. The DS1307 has a built-in power sense circuit that detects power failures and automatically switches to the battery supply.

## PIN ASSIGNMENT



DS1307 8-Pin DIP (300-mil)

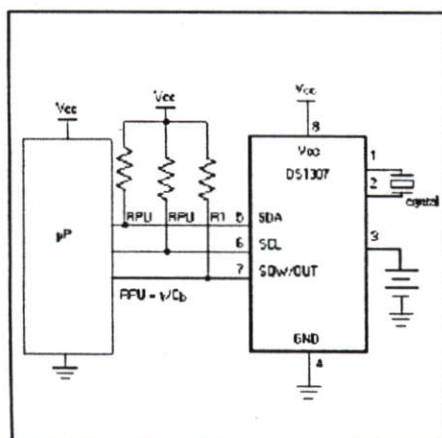


DS1307 8-Pin SOIC (150-mil)

## PIN DESCRIPTION

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

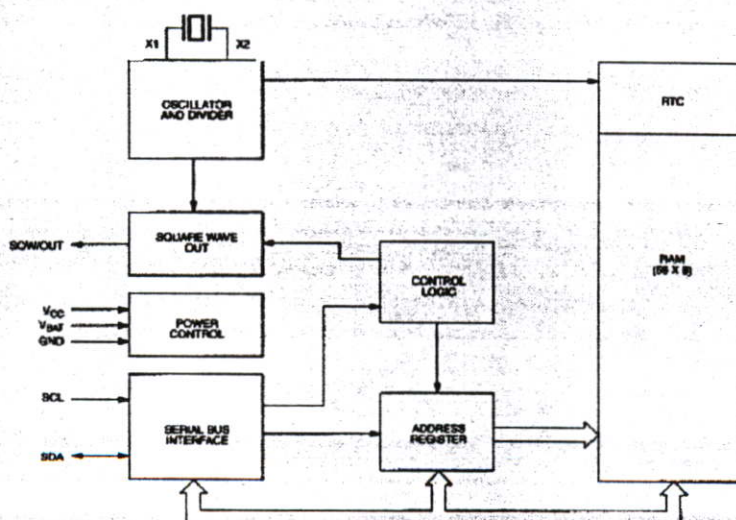
## TYPICAL OPERATING CIRCUIT



## OPERATION

The DS1307 operates as a slave device on the serial bus. Access is obtained by implementing a START condition and providing a device identification code followed by a register address. Subsequent registers can be accessed sequentially until a STOP condition is executed. When  $V_{CC}$  falls below  $1.25 \times V_{BAT}$  the device terminates an access in progress and resets the device address counter. Inputs to the device will not be recognized at this time to prevent erroneous data from being written to the device from an out of tolerance system. When  $V_{CC}$  falls below  $V_{BAT}$  the device switches into a low-current battery backup mode. Upon power-up, the device switches from battery to  $V_{CC}$  when  $V_{CC}$  is greater than  $V_{BAT} + 0.2V$  and recognizes inputs when  $V_{CC}$  is greater than  $1.25 \times V_{BAT}$ . The block diagram in Figure 1 shows the main elements of the serial RTC.

## DS1307 BLOCK DIAGRAM Figure 1



## SIGNAL DESCRIPTIONS

**V<sub>CC</sub>, GND** – DC power is provided to the device on these pins. V<sub>CC</sub> is the +5V input. When 5V is applied within normal limits, the device is fully accessible and data can be written and read. When a 3V battery is connected to the device and V<sub>CC</sub> is below 1.25 x V<sub>BAT</sub>, reads and writes are inhibited. However, the timekeeping function continues unaffected by the lower input voltage. As V<sub>CC</sub> falls below V<sub>BAT</sub> the RAM and timekeeper are switched over to the external power supply (nominal 3.0V DC) at V<sub>BAT</sub>.

**V<sub>BAT</sub>** – Battery input for any standard 3V lithium cell or other energy source. Battery voltage must be held between 2.0V and 3.5V for proper operation. The nominal write protect trip point voltage at which access to the RTC and user RAM is denied is set by the internal circuitry as 1.25 x V<sub>BAT</sub> nominal. A lithium battery with 48mAh or greater will back up the DS1307 for more than 10 years in the absence of power at 25°C. UL recognized to ensure against reverse charging current when used in conjunction with a lithium battery.

See “Conditions of Acceptability” at <http://www.maxim-ic.com/TechSupport/QA/ntrl.htm>.

**SCL (Serial Clock Input)** – SCL is used to synchronize data movement on the serial interface.

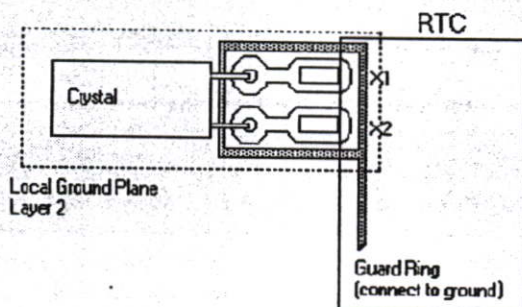
**SDA (Serial Data Input/Output)** – SDA is the input/output pin for the 2-wire serial interface. The SDA pin is open drain which requires an external pullup resistor.

**SQW/OUT (Square Wave/Output Driver)** – When enabled, the SQWE bit set to 1, the SQW/OUT pin outputs one of four square wave frequencies (1Hz, 4kHz, 8kHz, 32kHz). The SQW/OUT pin is open drain and requires an external pull-up resistor. SQW/OUT will operate with either V<sub>cc</sub> or V<sub>bat</sub> applied.

**X1, X2** – Connections for a standard 32.768kHz quartz crystal. The internal oscillator circuitry is designed for operation with a crystal having a specified load capacitance (CL) of 12.5pF.

For more information on crystal selection and crystal layout considerations, please consult Application Note 58, “Crystal Considerations with Dallas Real-Time Clocks.” The DS1307 can also be driven by an external 32.768kHz oscillator. In this configuration, the X1 pin is connected to the external oscillator signal and the X2 pin is floated.

## RECOMMENDED LAYOUT FOR CRYSTAL



## CLOCK ACCURACY

The accuracy of the clock is dependent upon the accuracy of the crystal and the accuracy of the match between the capacitive load of the oscillator circuit and the capacitive load for which the crystal was trimmed. Additional error will be added by crystal frequency drift caused by temperature shifts. External circuit noise coupled into the oscillator circuit may result in the clock running fast. See Application Note 58, "Crystal Considerations with Dallas Real-Time Clocks" for detailed information.

Please review Application Note 95, "Interfacing the DS1307 with a 8051-Compatible Microcontroller" for additional information.

## RTC AND RAM ADDRESS MAP

The address map for the RTC and RAM registers of the DS1307 is shown in Figure 2. The RTC registers are located in address locations 00h to 07h. The RAM registers are located in address locations 08h to 3Fh. During a multi-byte access, when the address pointer reaches 3Fh, the end of RAM space, it wraps around to location 00h, the beginning of the clock space.

DS1307 ADDRESS MAP Figure 2

00H	SECONDS
	MINUTES
	HOURS
	DAY
	DATE
	MONTH
	YEAR
07H	CONTROL
08H	RAM
3FH	56 x 8

## CLOCK AND CALENDAR

The time and calendar information is obtained by reading the appropriate register bytes. The RTC registers are illustrated in Figure 3. The time and calendar are set or initialized by writing the appropriate register bytes. The contents of the time and calendar registers are in the BCD format. Bit 7 of register 0 is the clock halt (CH) bit. When this bit is set to a 1, the oscillator is disabled. When cleared to a 0, the oscillator is enabled.

Please note that the initial power-on state of all registers is not defined. Therefore, it is important to enable the oscillator (CH bit = 0) during initial configuration.

The DS1307 can be run in either 12-hour or 24-hour mode. Bit 6 of the hours register is defined as the 12- or 24-hour mode select bit. When high, the 12-hour mode is selected. In the 12-hour mode, bit 5 is the AM/PM bit with logic high being PM. In the 24-hour mode, bit 5 is the second 10 hour bit (20-23 hours).

On a 2-wire START, the current time is transferred to a second set of registers. The time information is read from these secondary registers, while the clock may continue to run. This eliminates the need to re-read the registers in case of an update of the main registers during a read.

## DS1307 TIMEKEEPER REGISTERS Figure 3

DS1307

BIT 7										BIT 0	
00H	CH	10 SECONDS				SECONDS				00-99	
	0	10 MINUTES				MINUTES				00-59	
	0	12/24	10 HR A/P	10 HR	HOURS				01-12 00-23		
	0	0	0	0	0	DAY				1-7	
	0	0	10 DATE		DATE				01-28/29 01-30 01-31		
	0	0	0	10 MONTH	MONTH				01-12		
		10 YEAR				YEAR				00-99	
07H	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0			

## CONTROL REGISTER

The DS1307 control register is used to control the operation of the SQW/OUT pin.

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0

**OUT (Output control):** This bit controls the output level of the SQW/OUT pin when the square wave output is disabled. If SQWE = 0, the logic level on the SQW/OUT pin is 1 if OUT = 1 and is 0 if OUT = 0.

**SQWE (Square Wave Enable):** This bit, when set to a logic 1, will enable the oscillator output. The frequency of the square wave output depends upon the value of the RS0 and RS1 bits. With the square wave output set to 1Hz, the clock registers update on the falling edge of the square wave.

**RS (Rate Select):** These bits control the frequency of the square wave output when the square wave output has been enabled. Table 1 lists the square wave frequencies that can be selected with the RS bits.

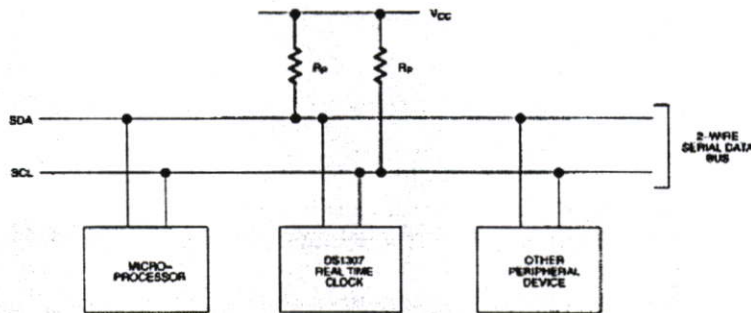
SQUAREWAVE OUTPUT FREQUENCY Table 1

RS1	RS0	SQW OUTPUT FREQUENCY
0	0	1Hz
0	1	4.096kHz
1	0	8.192kHz
1	1	32.768kHz

## 2-WIRE SERIAL DATA BUS

The DS1307 supports a bi-directional, 2-wire bus and data transmission protocol. A device that sends data onto the bus is defined as a transmitter and a device receiving data as a receiver. The device that controls the message is called a master. The devices that are controlled by the master are referred to as slaves. The bus must be controlled by a master device that generates the serial clock (SCL), controls the bus access, and generates the START and STOP conditions. The DS1307 operates as a slave on the 2-wire bus. A typical bus configuration using this 2-wire protocol is shown in Figure 4.

TYPICAL 2-WIRE BUS CONFIGURATION Figure 4



Figures 5, 6, and 7 detail how data is transferred on the 2-wire bus.

- Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.
- During data transfer, the data line must remain stable whenever the clock line is HIGH. Changes in the data line while the clock line is high will be interpreted as control signals.

Accordingly, the following bus conditions have been defined:

**Bus not busy:** Both data and clock lines remain HIGH.

**Start data transfer:** A change in the state of the data line, from HIGH to LOW, while the clock is HIGH, defines a START condition.

**Stop data transfer:** A change in the state of the data line, from LOW to HIGH, while the clock line is HIGH, defines the STOP condition.

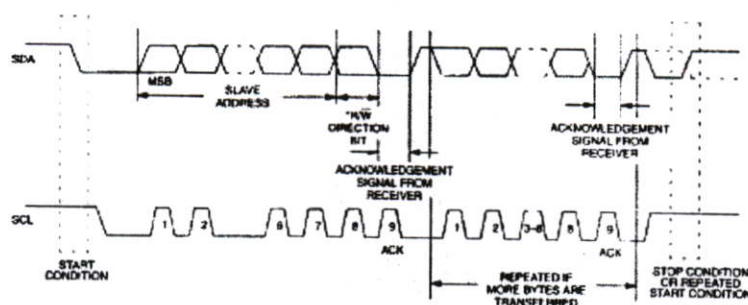
**Data valid:** The state of the data line represents valid data when, after a START condition, the data line is stable for the duration of the HIGH period of the clock signal. The data on the line must be changed during the LOW period of the clock signal. There is one clock pulse per bit of data.

Each data transfer is initiated with a START condition and terminated with a STOP condition. The number of data bytes transferred between START and STOP conditions is not limited, and is determined by the master device. The information is transferred byte-wise and each receiver acknowledges with a ninth bit. Within the 2-wire bus specifications a regular mode (100kHz clock rate) and a fast mode (400kHz clock rate) are defined. The DS1307 operates in the regular mode (100kHz) only.

**Acknowledge:** Each receiving device, when addressed, is obliged to generate an acknowledge after the reception of each byte. The master device must generate an extra clock pulse which is associated with this acknowledge bit.

A device that acknowledges must pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse in such a way that the SDA line is stable LOW during the HIGH period of the acknowledge related clock pulse. Of course, setup and hold times must be taken into account. A master must signal an end of data to the slave by not generating an acknowledge bit on the last byte that has been clocked out of the slave. In this case, the slave must leave the data line HIGH to enable the master to generate the STOP condition.

### DATA TRANSFER ON 2-WIRE SERIAL BUS Figure 5



Depending upon the state of the  $\overline{R/\overline{W}}$  bit, two types of data transfer are possible:

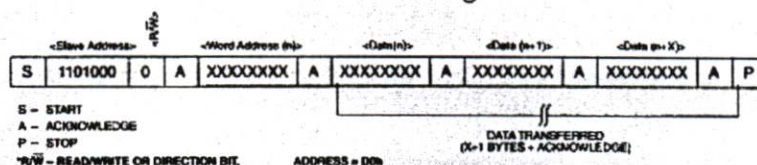
1. Data transfer from a master transmitter to a slave receiver. The first byte transmitted by the master is the slave address. Next follows a number of data bytes. The slave returns an acknowledge bit after each received byte. Data is transferred with the most significant bit (MSB) first.
2. Data transfer from a slave transmitter to a master receiver. The first byte (the slave address) is transmitted by the master. The slave then returns an acknowledge bit. This is followed by the slave transmitting a number of data bytes. The master returns an acknowledge bit after all received bytes other than the last byte. At the end of the last received byte, a "not acknowledge" is returned.

The master device generates all of the serial clock pulses and the START and STOP conditions. A transfer is ended with a STOP condition or with a repeated START condition. Since a repeated START condition is also the beginning of the next serial transfer, the bus will not be released. Data is transferred with the most significant bit (MSB) first.

The DS1307 may operate in the following two modes:

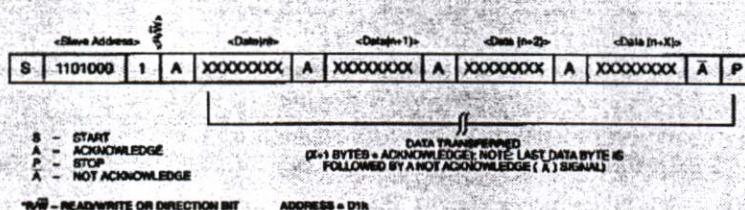
1. **Slave receiver mode (DS1307 write mode):** Serial data and clock are received through SDA and SCL. After each byte is received an acknowledge bit is transmitted. START and STOP conditions are recognized as the beginning and end of a serial transfer. Address recognition is performed by hardware after reception of the slave address and \*direction bit (See Figure 6). The address byte is the first byte received after the start condition is generated by the master. The address byte contains the 7 bit DS1307 address, which is 1101000, followed by the \*direction bit ( $R/\bar{W}$ ) which, for a write, is a 0. After receiving and decoding the address byte the device outputs an acknowledge on the SDA line. After the DS1307 acknowledges the slave address + write bit, the master transmits a register address to the DS1307. This will set the register pointer on the DS1307. The master will then begin transmitting each byte of data with the DS1307 acknowledging each byte received. The master will generate a stop condition to terminate the data write.

#### DATA WRITE – SLAVE RECEIVER MODE Figure 6



2. **Slave transmitter mode (DS1307 read mode):** The first byte is received and handled as in the slave receiver mode. However, in this mode, the \*direction bit will indicate that the transfer direction is reversed. Serial data is transmitted on SDA by the DS1307 while the serial clock is input on SCL. START and STOP conditions are recognized as the beginning and end of a serial transfer (See Figure 7). The address byte is the first byte received after the start condition is generated by the master. The address byte contains the 7-bit DS1307 address, which is 1101000, followed by the \*direction bit ( $R/\bar{W}$ ) which, for a read, is a 1. After receiving and decoding the address byte the device inputs an acknowledge on the SDA line. The DS1307 then begins to transmit data starting with the register address pointed to by the register pointer. If the register pointer is not written to before the initiation of a read mode the first address that is read is the last one stored in the register pointer. The DS1307 must receive a "not acknowledge" to end a read.

#### DATA READ – SLAVE TRANSMITTER MODE Figure 7



**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS\***

Voltage on Any Pin Relative to Ground	-0.5V to +7.0V
Storage Temperature	-55°C to +125°C
Soldering Temperature	260°C for 10 seconds DIP See JPC/JEDEC Standard J-STD-020A for Surface Mount Devices

\* This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

Range	Temperature	V <sub>CC</sub>
Commercial	0°C to +70°C	4.5V to 5.5V V <sub>CC1</sub>
Industrial	-40°C to +85°C	4.5V to 5.5V V <sub>CC1</sub>

**RECOMMENDED DC OPERATING CONDITIONS**

(Over the operating range\*)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>	4.5	5.0	5.5	V	
Logic 1	V <sub>IH</sub>	2.2		V <sub>CC</sub> + 0.3	V	
Logic 0	V <sub>IL</sub>	-0.5		+0.8	V	
V <sub>BAT</sub> Battery Voltage	V <sub>BAT</sub>	2.0		3.5	V	

\*Unless otherwise specified.

**DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

(Over the operating range\*)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Input Leakage (SCL)	I <sub>LI</sub>			1	μA	
I/O Leakage (SDA & SQW/OUT)	I <sub>LO</sub>			1	μA	
Logic 0 Output (I <sub>OL</sub> = 5mA)	V <sub>OL</sub>			0.4	V	
Active Supply Current	I <sub>CCA</sub>			1.5	mA	7
Standby Current	I <sub>CCS</sub>			200	μA	1
Battery Current (OSC ON); SQW/OUT OFF	I <sub>BAT1</sub>		300	500	nA	2
Battery Current (OSC ON); SQW/OUT ON (32kHz)	I <sub>BAT2</sub>		480	800	nA	
Power-Fail Voltage	V <sub>PF</sub>	1.216 x V <sub>BAT</sub>	1.25 x V <sub>BAT</sub>	1.284 x V <sub>BAT</sub>	V	8

\*Unless otherwise specified.

DS1307

**AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

(Over the operating range\*)

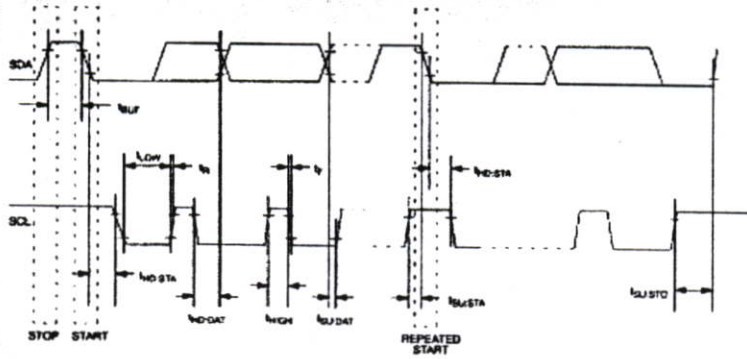
PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
SCL Clock Frequency	$f_{SCL}$	0		100	kHz	
Bus Free Time Between a STOP and START Condition	$t_{BUF}$	4.7			$\mu s$	
Hold Time (Repeated) START Condition	$t_{HD-STA}$	4.0			$\mu s$	3
LOW Period of SCL Clock	$t_{LOW}$	4.7			$\mu s$	
HIGH Period of SCL Clock	$t_{HIGH}$	4.0			$\mu s$	
Set-up Time for a Repeated START Condition	$t_{SU-STA}$	4.7			$\mu s$	
Data Hold Time	$t_{HD-DAT}$	0			$\mu s$	4.5
Data Set-up Time	$t_{SU-DAT}$	250			ns	
Rise Time of Both SDA and SCL Signals	$t_R$			1000	ns	
Fall Time of Both SDA and SCL Signals	$t_F$			300	ns	
Set-up Time for STOP Condition	$t_{SU-STO}$	4.7			$\mu s$	
Capacitive Load for each Bus Line	$C_B$			400	pF	6
I/O Capacitance ( $T_A = 25^\circ C$ )	$C_{IO}$		10		pF	
Crystal Specified Load Capacitance ( $T_A = 25^\circ C$ )			12.5		pF	

\*Unless otherwise specified.

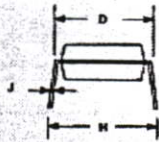
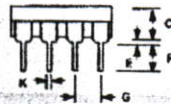
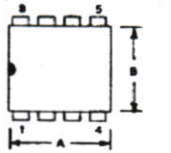
**NOTES:**

1.  $I_{CCS}$  specified with  $V_{CC} = 5.0V$  and SDA, SCL = 5.0V.
2.  $V_{CC} = 0V$ ,  $V_{BAT} = 3V$ .
3. After this period, the first clock pulse is generated.
4. A device must internally provide a hold time of at least 300ns for the SDA signal (referred to the  $V_{HMIN}$  of the SCL signal) in order to bridge the undefined region of the falling edge of SCL.
5. The maximum  $t_{HD-DAT}$  has only to be met if the device does not stretch the LOW period ( $t_{LOW}$ ) of the SCL signal.
6.  $C_B$  – Total capacitance of one bus line in pF.
7.  $I_{CCA}$  – SCL clocking at max frequency = 100kHz.
8.  $V_{FF}$  measured at  $V_{BAT} = 3.0V$ .

**TIMING DIAGRAM Figure 8**

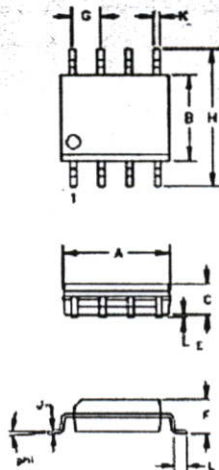


**DS1307 64 X 8 SERIAL REAL-TIME CLOCK  
8-PIN DIP MECHANICAL DIMENSIONS**



PKG DIM	8-PIN	
	MIN	MAX
A IN.	0.360	0.400
MM	9.14	10.16
B IN.	0.240	0.260
MM	6.10	6.60
C IN.	0.120	0.140
MM	3.05	3.56
D IN.	0.300	0.325
MM	7.62	8.26
E IN.	0.015	0.040
MM	0.38	1.02
F IN.	0.120	0.140
MM	3.04	3.56
G IN.	0.090	0.110
MM	2.29	2.79
H IN.	0.320	0.370
MM	8.13	9.40
J IN.	0.008	0.012
MM	0.20	0.30
K IN.	0.015	0.021
MM	0.38	0.53

**DS1307Z 64 X 8 SERIAL REAL-TIME CLOCK  
8-PIN SOIC (150-MIL) MECHANICAL DIMENSIONS**



PKG DIM	8-PIN (150 MIL)	
	MIN	MAX
A IN.	0.188	0.196
MM	4.78	4.98
B IN.	0.150	0.158
MM	3.81	4.01
C IN.	0.048	0.062
MM	1.22	1.57
E IN.	0.004	0.010
MM	0.10	0.25
F IN.	0.053	0.069
MM	1.35	1.75
G IN.	0.050 BSC	
MM	1.27 BSC	
H IN.	0.230	0.244
MM	5.84	6.20
J IN.	0.007	0.011
MM	0.18	0.28
K IN.	0.012	0.020
MM	0.30	0.51
L IN.	0.016	0.050
MM	0.41	1.27
phi	0°	8°

56-G2008-001

## ประวัติผู้เขียน

นายวุฒิพันธ์ ศิลปวรรณวิวัฒน์ เกิดเมื่อวันที่ 4 กรกฎาคม 2522 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2545