

สมาร์ทการ์ดกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์แบบรีโมทข้อมูลผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า

REMOTE DATA SMART CARD KILO WATT-HOUR METER
ON LEASED LINE NETWORK

บัณฑิต แก้วศรี

BUNDIT KAEWSRI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินการตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2718-7

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สมาร์ทการ์ดกิโลวัตต์ - ชั่วโมงมิเตอร์แบบรีโมทข้อมูลผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า

REMOTE DATA SMART CARD KILO WATT – HOUR METER
ON LEASED LINE NETWORK

บัณฑิต แก้วศรี

BUNDIT KAEWSRI

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 65448
วัน,เดือน,ปี... 1.1 ต.ค. 2549

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2549

ISBN 974-15-2718-7

**REMOTE DATA SMART CARD KILO WATT – HOUR METER
ON LEASED LINE NETWORK**

BUNDIT KAEWSRI

**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 974-15-2718-7

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมาร์ตการ์ดกิโลวัตต์ – ชั่วโมงมิเตอร์แบบรีโมทข้อมูลผ่าน โครงข่ายคู่สายเช่า
นักศึกษา	นายบัณฑิต แก้วศรี
รหัสนักศึกษา	44061052
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. ศุติ บรรจงจิตร

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอ หลักการทำงานของระบบการชำระเงินค่าไฟฟ้าแบบ
ล่วงหน้า ด้วยเครื่องสมาร์ตการ์ดกิโลวัตต์ ชั่วโมงมิเตอร์แบบรีโมทข้อมูลผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า ซึ่งจะ
มีการรับส่งข้อมูลผ่านระบบโครงข่ายเช่าคู่สายเช่าระหว่างเครื่องปรับเปลี่ยนอัตราไฟฟ้าผันแปร ที่
ได้ติดตั้งเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายคู่สายเช่าที่ชุมสายโทรศัพท์ และเครื่องกิโลวัตต์ ชั่วโมงมิเตอร์ ที่
ได้ติดตั้งเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายคู่สายเช่าที่บ้านของผู้ใช้ไฟฟ้า โดยข้อมูลที่ทำกรรับส่งผ่านบน
โครงข่ายคู่สายเช่าประกอบด้วย ค่าอัตราไฟฟ้าผันแปร วัน เดือน ปี และเวลา รวมถึงจำนวนหน่วย
ของไฟฟ้าที่ได้ใช้ไป และจำนวนเงินที่เหลืออยู่ในเครื่องกิโลวัตต์ ชั่วโมงมิเตอร์ ทั้งนี้ข้อมูลที่ทำกร
รับส่งผ่านบนโครงข่ายคู่สายเช่า นั้นสามารถแสดงผลได้ทั้งที่เครื่องกิโลวัตต์ ชั่วโมงมิเตอร์ และเครื่อง
ปรับเปลี่ยนอัตราไฟฟ้าผันแปร

Thesis Title Remote Data Smart Card Kilo Watt - Hour Meter On Leased Line Network
Student Mr. Bundit Kaewsri
Student ID. 44061052
Degree Master of Engineering
Program Electrical Engineering
Year 2006
Thesis Advisor Assoc. Prof. Sulee Banjongjit

ABSTRACT

This paper presents the principle of electric prepaid by smart card kilo watt hour meter. Via leased line system. The data to transfer via leased line between. Ft machine and smart card kilo watt hour meter .Ft machine is stalled in telephone exchange and smart card kilo watt hour meter is installed in home or customer. The data to transfer via network to consist of Ft ratio,date, time unit of electric and value of smart card. How ever. The data on network will indicate on smart card kilo watt hour meter and Ft ratio machine.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการดำเนินการศึกษาและวิจัยจาก รศ.ศุภี บรรจงจิตร ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในการอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ รศ.นิทัศน์ กฤษณจินดา , รศ.มณฑล ติลาจินดาไกรฤกษ์ คณะกรรมการสอบเค้าโครงวิทยานิพนธ์ ที่ช่วยให้คำแนะนำและคอยช่วยเหลือเป็นอย่างดี ในบางจุดที่ผู้วิจัยติดปัญหาบางอย่าง ท่านก็ช่วยชี้แนะเพิ่มเติมให้ผู้วิจัยได้เข้าใจถึงวิธีแก้ไขปัญหานั้นให้ผ่านลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ ส่วนปฏิบัติการสื่อสารข้อมูลและข้อมูลนครหลวงที่ 4 ส่วนปฏิบัติการชุมชนนครหลวงที่ 4 ส่วนปฏิบัติการระบบตอนนอกที่ 4.1 และส่วนปฏิบัติการบำรุงดูแลรักษานครหลวงที่ 4 ของ บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) ที่ได้สนับสนุนอุปกรณ์โครงข่าย เครื่องมือ ตลอดจนข้อมูล และหนังสือต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติพี่น้องที่เป็นผู้สนับสนุนและเพื่อนๆที่ให้การกำลังใจที่ดีเสมอมาจนสำเร็จสมความตั้งใจ

คุณค่าประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

บัณฑิต แก้วศรี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.5 หลักการใหม่ในวิทยานิพนธ์.....	2
1.6 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 บทนำ	4
2.2 หลักการพื้นฐานของระบบสื่อสาร.....	4
2.2.1 ลักษณะและชนิดของระบบสื่อสาร.....	4
2.2.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบสื่อสาร.....	7
2.2.3 ข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสาร.....	8
2.3 โครงข่ายคู่สายเช่า.....	10
2.3.1 ประเภทของคู่สายเช่าและวงจรเช่า.....	16
2.3.2 โครงข่าย คีดีเอ็น.....	10
2.3.3 โครงข่ายโทรศัพท์.....	11
2.3.3.1 ข่ายทางสาย.....	11
2.3.3.2 ชนิดของเคเบิลและการใช้งาน.....	12
2.3.3.3 มาตรฐานของเคเบิล.....	14
2.3.3.4 มาตรฐานรหัสสี่เคเบิล.....	15

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.3.5 สายผ่าน.....	15
2.3.3.6 ระบบการให้หมายเลขรหัสสำหรับข่ายสาย	16
2.3.3.7วิธีการวางแผนข่ายสายท้องถิ่น.....	17
2.4 หลักการพื้นฐานของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ.....	20
2.4.1 สัญญาณรูปไซน์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในภาวะอยู่ตัว.....	20
2.4.1.1 สัญญาณรูปไซน์ที่เกิดจากโพลต์ที่เป็นความต้านทาน.....	20
2.4.1.2 สัญญาณรูปไซน์ที่เกิดจากโพลต์ที่เป็นขดลวดเหนี่ยวนำ.....	22
2.4.1.3 สัญญาณรูปไซน์ที่เกิดจากโพลต์ที่เป็นความจุไฟฟ้า.....	23
2.4.1.4 สัญญาณรูปไซน์ที่เกิดจากโพลต์ที่เป็นความต้านทาน และขดลวดเหนี่ยวนำ.....	24
2.4.1.5 สัญญาณรูปไซน์ที่เกิดจากโพลต์ที่เป็นความต้านทานและความจุไฟฟ้า.....	25
2.4.2 กำลังไฟฟ้าและค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	26
2.4.2.1 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย	27
2.4.2.2 กำลังไฟฟ้าปรากฏ	28
2.4.2.3 กำลังไฟฟ้าเสมือน	29
2.5 เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า.....	30
2.5.1 วัดคัมมิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์.....	32
2.5.2 วัดคัมมิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า.....	34
2.5.3 วัดคัมมิเตอร์เฟสเดียวแบบอาศัยการเหนี่ยวนำไฟฟ้า.....	34
2.5.4 ดิจิตอลกลิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์.....	36
บทที่ 3 การออกแบบและหลักการทำงาน	39
3.1 บทนำ.....	39
3.2 โครงข่ายคู่สายเช่า.....	39
3.2.1 ลักษณะของบริการคู่สายเช่า.....	39
3.2.2 รูปแบบการให้บริการคู่สายเช่า.....	39
3.2.3 หลักการทำงานของดีดีเอ็น.....	40

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.4 ส่วนประกอบโครงข่ายคิดีเอ็น	42
3.3 เครื่องคิดจอตกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์	43
3.3.1 การหาขนาดแรงดัน	44
3.3.2 การหาขนาดกระแส	45
3.3.3 การหาค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์	47
3.3.4 การหาค่ากำลังไฟฟ้า	51
3.3.5 การหาจำนวนยูนิตที่ใช้งาน	51
3.3.6 การเพิ่มจำนวนเงินเข้าไปยังเครื่องกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์	52
3.3.7 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราผันแปร	52
3.3.8 การคำนวณค่าไฟฟ้า	54
3.4 เครื่องปรับค่าอัตราผันแปร	57
3.4.1 การเปลี่ยนแปลงข้อมูล	57
3.4.2 การเพิ่มจำนวนเงินในบัตรสมาร์ทการ์ด	57
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	62
4.1 การทดลองโครงข่ายคู่สายเช่า	62
4.1.1 การทดสอบหาค่าระยะทาง ค่าความต้านทาน และค่าความต้านทานของฉนวนของเคเบิลต้นทาง ช่วงห้องโทรคมนาคม1 ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ผ่านห้องเคเบิลที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ไปยังตู้ผ่าน	63
4.1.2 การทดสอบหาค่าระยะทาง ค่าความต้านทาน และค่าความต้านทานของฉนวนของเคเบิลต้นทางช่วงตู้ผ่านไปยังตู้ปลายทาง	64
4.1.3 การทดสอบหาค่าระยะทาง ค่าความต้านทาน และค่าความต้านทานของฉนวนของเคเบิลต้นทาง ช่วงห้องโทรคมนาคม1 ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ไปยังตู้ปลายทาง	65
4.1.4 การทดสอบหาค่าระยะทาง ค่าความต้านทาน และค่าความต้านทานของฉนวนของเคเบิลต้นทางช่วงห้องโทรคมนาคม 1 ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ไปยังตัวเอ็นทียู	66

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.5 การทดสอบหาค่า ERRORS และ BERT TEST ช่วงห้องโทรคมนาคม1 ที่ ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ไปยังตัวเอ็นทียู.....	68
4.2 การทดสอบหาค่าแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแส.....	69
4.3 การทดสอบหาค่าแรงดันและกระแส.....	69
4.4 การทดสอบหาค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์.....	72
4.5 การหาจำนวนยูนิต์ใช้งาน.....	73
4.6 การคิดเงิน.....	75
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	77
บรรณานุกรม.....	79
ภาคผนวก	80
ภาคผนวก ก. การคำนวณหาค่าไฟฟ้า.....	81
ภาคผนวก ข. ผลวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	83
ภาคผนวก ค. DATASHEET.....	96
ประวัติผู้เขียน.....	125

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงชนิดของเคเบิลส่วนประกอบและสถานที่ใช้งาน.....	13
2.2 แสดงมาตรฐานความยาว เส้นผ่าศูนย์กลาง จำนวนคู่สาย AP ,AP (8) , AP FSF.....	14
2.3 รหัสสีของสายทองแดงจำนวน 12 เส้น.....	15
2.4 รหัสสีของเคเบิลชนิดคู่.....	16
2.5 แสดงขนาดของที่ใช้พันเคเบิล.....	18
2.6 แสดงระยะห่างระหว่างเคเบิลและสายไฟฟ้า.....	18
2.7 ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นรูปไซน์.....	26
2.8 ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นรูปไซน์.....	26
3.1 ค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1.1 บ้านอยู่อาศัย.....	54
4.1 แสดงผลการทดลองวัดระยะทาง, ค่าความต้านทานและความต้านทานของฉนวนของเคเบิลต้นทางจากช่วงห้องโทรคมนาคม 1 ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ผ่านห้องเคเบิล ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ ไปยังตู้ผ่าน.....	64
4.2 แสดงผลการทดลองวัดระยะทาง,ค่าความต้านทานและความต้านทานของฉนวน ของเคเบิลปลายทางจากช่วงตู้ผ่านไปยังตู้ปลาย.....	65
4.3 แสดงผลการทดลองวัดระยะทาง,ค่าความต้านทานและความต้านทานของฉนวน ของเคเบิลต้นทางและเคเบิลปลายทาง จากช่วงห้องโทรคมนาคม 1 ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ไปยังตู้ปลาย.....	66
4.4 แสดงผลการทดลองวัดระยะทาง,ค่าความต้านทานและความต้านทานของฉนวน ของเคเบิลต้นทางและเคเบิลปลายทางจากช่วงห้องเคเบิล ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ ไปยังเครื่องเอ็นทียู.....	68
4.5 แสดงผลการทดลองวัดวัดค่า ERRORS และ BERT TEST ของคู่สายทองแดงจากต้นทางถึงปลายทาง ตัวเอ็นทียู.....	69
4.6 การเปรียบเทียบแรงดันขณะไม่มีโหลด.....	70
4.7 การเปรียบเทียบแรงดันและกระแสขณะมีโหลด.....	70
4.8 การเปรียบเทียบกระแสและเพาเวอร์แฟกเตอร์.....	71
4.9 การเปรียบเทียบการคิดเงินและจำนวนยูนิิต.....	75

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หลักการเบื้องต้นของระบบสื่อสาร.....	4
2.2 หลักการเบื้องต้นของระบบสื่อสาร	
(ก) บล็อกโคอะแกรม.....	5
(ข) วงจรเบื้องต้น.....	5
2.3 ระบบสื่อสารสองทางเต็มรูปแบบ	
(ก) บล็อกโคอะแกรม.....	6
(ข) วงจรเบื้องต้น.....	6
2.4 ระบบสื่อสารสองทางครึ่งรูปแบบ	
(ก) บล็อกโคอะแกรม.....	7
(ข) วงจรเบื้องต้น.....	7
2.5 โครงสร้างพื้นฐานของระบบสื่อสาร.....	7
2.6 การสื่อสารด้วยสัญญาณไฟฟ้าในรูปแบบสัญญาณ	
(ก) สัญญาณอะนาล็อก.....	8
(ข) สัญญาณดิจิทัล.....	9
2.7 การสื่อสารด้วยสัญญาณไฟฟ้าในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล	
(ก) สัญญาณดิจิทัลแบบ 4 ระดับ.....	9
(ข) สัญญาณดิจิทัลแบบ 8 ระดับ.....	10
2.8 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน.....	21
2.9 สัญญาณรูปคลื่นของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน.....	22
2.10 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นขดลวดเหนี่ยวนำ.....	22
2.11 สัญญาณรูปคลื่นของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นขดลวดเหนี่ยวนำ.....	22
2.12 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นความจุไฟฟ้า.....	23
2.13 สัญญาณรูปคลื่นของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นความจุไฟฟ้า.....	23
2.14 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นความต้านทานและขดลวดเหนี่ยวนำ.....	24
2.15 สัญญาณรูปคลื่นของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นความต้านทานและขดลวด เหนี่ยวนำ.....	24
2.16 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นความต้านทานและความจุไฟฟ้า.....	25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.17 สัญญารูปคลื่นของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มีโหลดเป็นความต้านทานและความจุไฟฟ้า.....	25
2.18 วงจรการเกิดค่ากำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้า.....	27
2.19 ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้า S, P และ Q.....	29
2.20 โครงสร้างของวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์.....	30
2.21 การต่อวัตต์มิเตอร์เข้ากับโหลด.....	30
2.22 โครงสร้างของวัตต์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า.....	33
2.23 ลักษณะของมุมที่เกิดขึ้นในวัตต์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า.....	33
2.24 (ก) โครงสร้างของวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า (ข) แม่เหล็กหน่วง.....	34
2.25 ส่วนประกอบภายในของกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์.....	35
2.26 วงจรการต่อกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์แบบหนึ่งเฟส.....	37
2.27 กิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์แบบเหนี่ยวนำ.....	37
2.28 หลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องดิจิทัลกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์.....	38
2.29 เครื่องดิจิทัลกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์.....	38
3.1 แผนผังการทำงานขั้นตอนของการรับ - ส่งข้อมูลระยะไกลระหว่างตัวเครื่อง กับเครื่องลูกข่าย โดยผ่าน โครงข่ายคู่สายเช่าและเครื่องลูกข่ายกับเครื่องลูกข่าย.....	42
3.2 ตัวเครื่องอุปกรณ์รับ-ส่ง คู่สายเช่า.....	42
3.3 ตัวเครื่องโมเด็มต้นทางและปลายทาง.....	42
3.4 การรับ-ส่งข้อมูลระยะไกลระหว่างเครื่องมาสเตอร์กับเครื่องลูกข่ายโดยผ่าน โครงข่ายคู่สายเช่าและ เครื่องลูกข่ายกับเครื่องลูกข่าย.....	43
3.5 หลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์.....	44
3.6 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มลูกคลื่น.....	45
3.7 วงจรการต่ออะนาล็อกทูลดิจิทัลคอนเวอร์เตอร์.....	45
3.8 (ก) แปลงกระแส (ข) หลักการพื้นฐานของหม้อแปลงกระแส.....	46
3.9 กราฟแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแสเทียบกับกระแสโหลด.....	46
3.10 วงจรซีโรครอสซิงคิเทคเตอร์.....	48
3.11 การหามุมเฟสระหว่างแรงดัน และกระแส.....	48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 สัญญาณกระแสที่ยังไม่ผ่านวงจรถาย บน: สัญญาณที่ออกจากวงจรซีโรครอสซิง ล่าง: สัญญาณกระแสที่ยังไม่ผ่านวงจรถาย....	49
3.13 สัญญาณกระแสที่ผ่านวงจรถาย บน: สัญญาณที่ออกจากวงจรซีโรครอสซิง ล่าง: สัญญาณกระแสที่ผ่านวงจรถาย.....	49
3.14 สัญญาณแรงดันและกระแสในรูปแบบต่างๆ.....	50
3.15 เปรียบเทียบมุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแส.....	50
3.16 วงจรการต่อ RTC เข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	51
3.17 (ก) วงจรการต่อเครื่องอ่านบัตรสมาร์ทการ์ด (ก) หน้าสัมผัสบัตรสมาร์ทการ์ด.....	53
3.18 การรับ-ส่งข้อมูลการเปลี่ยนค่าอัตราผันแปร.....	54
3.19 แผนผังการทำงานของเครื่องกิโวลต์จ้าวโมงมิเตอร์.....	55
3.20 การทำงานของเครื่องปรับค่าอัตราผันแปรและเครื่องกิโวลต์จ้าวโมงมิเตอร์.....	55
3.21 แผนผังการ ส่งข้อมูลที่ต้องการเปลี่ยนแปลงของเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร.....	57
3.22 แผนผังการรับ-ส่งข้อมูลของเครื่องกิโวลต์จ้าวโมงมิเตอร์.....	57
3.23 แผนผังการเติมเงินให้กับบัตรสมาร์ทการ์ด.....	58
3.24 แผนผังการเรียกดูจำนวนเงิน.....	58
3.25 แผนผังการเรียกดูจำนวนยูนิต.....	59
3.26 เครื่องกิโวลต์จ้าวโมงมิเตอร์.....	59
3.27 เครื่องปรับค่าอัตราผันแปร.....	59
3.28 วงจรเครื่องกิโวลต์จ้าวโมงมิเตอร์.....	60
3.29 วงจรเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร.....	61
4.1 วงจรการทดลองหาค่าระยะทางของเคเบิลต้นทางช่วงห้อง โทรคมหลักสี่ไปยังตู้ผ่าน.....	63
4.2 วงจรการทดลองหาค่าความต้านทานของเคเบิลต้นทางช่วงห้อง โทรคมหลักสี่ไปยังตู้ผ่าน...63	63
4.3 วงจรการทดลองหาค่าความต้านทานของฉนวนของเคเบิลต้นทางช่วงห้อง โทรคมหลักสี่ไปยังตู้ผ่าน.....	63
4.4 วงจรการทดลองหาค่าระยะทางของเคเบิลต้นทางช่วงจากช่วงตู้ผ่าน ไปยังตู้ปลายทาง.....	64
4.5 วงจรการทดลองหาค่าความต้านทานของเคเบิลต้นทางช่วงจากช่วงตู้ผ่าน ไปยังตู้ปลายทาง.....	64
4.6 วงจรการทดลองหาค่าความต้านทานของฉนวนของเคเบิลต้นทางจากช่วงตู้ผ่าน ไปยังตู้ปลายทาง.....	65

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7	วงจรถอดลองหาค่าระยะทางของเคเบิลต้นทางและเคเบิลปลายทาง จากช่วงห้อง โทรคมนาคม1 ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ไปยังตู้ปลายทาง.....65
4.8	วงจรถอดลองหาค่าความต้านทานของเคเบิลต้นทางและเคเบิลปลายทาง จากช่วงห้อง โทรคมนาคม1 ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ไปยังตู้ปลายทาง.....66
4.9	วงจรถอดลองหาค่าความต้านทานของฉนวนของเคเบิลต้นทางและเคเบิลปลายทาง จาก ช่วงห้องโทรคมนาคม1 ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ไปยังตู้ปลายทาง.....66
4.10	วงจรถอดลองหาค่าระยะทางของเคเบิลต้นทางและเคเบิลปลายทาง จากช่วงห้องเคเบิล ที่ ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ไปยังเครื่องเอ็นทียู.....67
4.11	วงจรถอดลองหาค่าความต้านทานของเคเบิลต้นทางและเคเบิลปลายทาง จากช่วงห้อง เคเบิลที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ไปยังเครื่องเอ็นทียู.....67
4.12	วงจรถอดลองหาค่าความต้านทานของฉนวนของเคเบิลต้นทางและเคเบิลปลายทาง จาก ช่วงห้องเคเบิล ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ ไปยังเครื่องเอ็นทียู.....67
4.13	วงจรถอดลองหาค่า ERRORS และ BERT TEST ของคู่สายทองแดงจากต้นทางห้อง MDF ถึงปลายทางตัวเอ็นทียู.....68
4.14	การเปรียบเทียบแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแสและกระแสที่ใช้งาน.....69
4.15	วงจรถอดลองหาค่าแรงดันขณะไม่มีโหลด.....71
4.16	วงจรถอดลองหาค่าแรงดันและกระแสขณะมีโหลด.....71
4.17	การทดลองหาค่ากระแสและเพาเวอร์แฟกเตอร์.....71
4.18	การทดสอบหาค่าต่างๆ.....72
4.19	วงจรถอดลองหาจำนวนยูนิตใช้งานในห้องทดลอง.....72
4.20	วงจรถอดลองหาจำนวนยูนิตในบ้านพักอาศัย.....73
4.21	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของเครื่องกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์เทียบกับเครื่องกิโลวัตต์ ชั่วโมง มิเตอร์.....73
4.22	การทดสอบหาจำนวนยูนิตในบ้านพักอาศัยของลิงค์ที่ 1.....74
4.23	การทดสอบหาจำนวนยูนิตในบ้านพักอาศัยของลิงค์ที่ 2.....74
4.24	การทดสอบหาจำนวนยูนิตในบ้านพักอาศัยของลิงค์ที่ 3.....75

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แม้ว่าในปัจจุบันนี้ จะมีผู้ให้บริการไฟฟ้าได้มีการนำเอาบัตรสมาร์ตการ์ด มาใช้ในการชำระเงินค่าไฟฟ้าแทนเงินสด แต่ก็ยังมีปัญหาและเกิดความไม่สะดวก เนื่องจากหลักการเดิมในการทำงานของเครื่องมาสเตอร์หรือเครื่องปรับเปลี่ยนค่าอัตราไฟฟ้าผันแปร ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มมูลค่าเงิน ให้กับบัตรสมาร์ตการ์ด ,ปรับเปลี่ยนค่าอัตราไฟฟ้าผันแปร(Ft) วัน/เดือน/ปี และเวลา ส่วนเครื่องลูกข่ายหรือเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้งานและลดมูลค่าของจำนวนเงินที่มีอยู่ในบัตรสมาร์ตการ์ด ในการทำงานทั้ง 2 ส่วนนี้จะต้องทำงานร่วมกัน คือ มีการรับส่งข้อมูลถึงกันโดยใช้พอร์ต RS - 485 แต่ก็ยังมีข้อจำกัดเรื่องระยะทาง ทำให้ไม่สามารถควบคุมเรียกดูค่าและปรับเปลี่ยนค่าที่ได้กล่าวมาไว้ข้างต้นได้ในระยะไกล ซึ่งอาจจะใช้ได้เฉพาะอาคารชุด, แฟลต และยังคงต้องใช้บุคลากร เดินทางเข้าไปในบริเวณพื้นที่รัศมีทำการ ซึ่งไม่แตกต่างไปจากแบบเดิม เพียงแต่เปลี่ยนจากไปจดบันทึกยูนิทไปเป็นปรับเปลี่ยนค่าต่างๆที่เครื่องมาสเตอร์ ผู้ให้บริการยังคงมีต้นทุนในด้านพนักงานจากปัญหาดังกล่าว ทำให้การชำระเงินค่าไฟฟ้า โดยใช้บัตรสมาร์ตการ์ดแทนเงินสดยังคงมีข้อเสียบ่อยและเป็น การนำเอาโครงข่ายคู่สายเช่า ที่มีการใช้งานอยู่แล้วในระบบสื่อสารโทรคมนาคมเช่น คู่บริการเงินด่วนเอทีเอ็ม เครื่องขายน้ำอัดลมอัตโนมัติ และระบบออนไลน์ต่างๆ นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ จึงได้คิดทำงานวิจัยเรื่องสมาร์ตการ์ดกิโลวัตต์ - ชั่วโมงมิเตอร์แบบรีโมทข้อมูลผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า เพื่อเป็นการลดต้นทุนของผู้ให้บริการไฟฟ้า

งานวิจัยนี้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของผู้ให้บริการไฟฟ้า เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการชำระค่าไฟฟ้า อีกทั้งยังช่วยให้ผู้ใช้ไฟได้รับความสะดวกสบายไม่ต้องเสียเวลาเดินทางเพื่อไปชำระค่าบริการและยังสามารถทราบถึงปริมาณการใช้ไฟในแต่ละเดือน ทำให้ผู้ใช้ไฟสามารถกำหนดการใช้ไฟของตัวเองได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อช่วยลดต้นทุนและขั้นตอนในการชำระเงินของผู้ให้บริการไฟฟ้า

1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการรับส่งข้อมูลโดยใช้โครงข่ายคู่สายเช่าและนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์

1.2.3 เพื่อศึกษาวิธีการหาจำนวนยูนิทใช้งานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานของวงจร

1.2.4 เพื่อนำวิธีการชำระเงินในระบบฟรีเฟด หรือการชำระเงินล่วงหน้ามาใช้ในการออกแบบ และสร้างเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์แบบรีโมทข้อมูลผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า

1.2.5 เพื่อศึกษาวิธีการชำระค่าไฟฟ้าในแบบต่างๆ ทำการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย และนำมาเป็น ข้อมูลในการเลือกวิธีที่เหมาะสมกับการดำเนินชีวิตในปัจจุบัน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 สามารถควบคุมเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ได้ในระยะไกล โดยใช้โครงข่ายคู่สายเช่า

1.3.2 เมื่อค่าอัตราผันแปรเกิดการเปลี่ยนแปลง เครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์แบบรีโมทข้อมูล ผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า สามารถที่จะปรับค่าอัตราผันแปรได้ โดยใช้เครื่องปรับค่าอัตราผันแปรได้ ในระยะไกล

1.3.3 ทำการออกแบบและสร้างเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์แบบรีโมทข้อมูลผ่าน โครงข่าย คู่สายเช่า ให้สามารถหาจำนวนยูนิตและคำนวณค่าไฟฟ้าสำหรับบ้านพักอาศัย หรือหอพัก

1.3.4 เมื่อมีการใช้ไฟเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์จะลดจำนวนเงินลงไป จนกระทั่งจำนวนเงิน ในเครื่องหมด เครื่องจะทำการตัดวงจรการจ่ายไฟให้กับผู้ใช้บริการ

1.3.5 สามารถเติมเงินเข้าไปยังเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์โดยใช้บัตรสมาร์ตการ์ดได้

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1.4.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวิธีชำระเงินในระบบฟรีเฟด, สมาร์ตการ์ด, การหาค่ากำลังไฟฟ้า, การรับส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า, การหาจำนวนยูนิตที่ใช้งาน และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 วิเคราะห์และออกแบบระบบการทำงานของเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์แบบรีโมท ข้อมูลผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า และเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร

1.4.3 วิเคราะห์และออกแบบระบบการทำงานของโครงข่ายคู่สายเช่า

1.4.4 ออกแบบวงจรการทำงานในแต่ละส่วนของเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์แบบรีโมท ข้อมูลผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า และเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร

1.4.5 ศึกษาเงื่อนไขของการปรับเปลี่ยนค่าอัตราไฟฟ้าผันแปร

1.4.6 วิเคราะห์และออกแบบระบบในแต่ละส่วนของโครงข่ายคู่สายเช่า

1.4.7 ทำการทดสอบและเก็บข้อมูล พร้อมทั้งวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้

1.4.8 เรียบเรียงและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 หลักการใหม่ในวิทยานิพนธ์

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการรับส่งข้อมูลระยะทางไกล ระหว่างเครื่องมาสเตอร์ซึ่งทำหน้าที่ ปรับเปลี่ยนค่าอัตราไฟฟ้าผันแปร (Ft) วัน/เดือน/ปี เวลา และเรียกค่าต่างๆ กับเครื่องลูกข่ายหรือ

เครื่องกิโวลต์ - ชั่วโมงมิเตอร์ โดยประยุกต์ใช้กับระบบโครงข่ายคู่สายเช่า DDN (Digital Data Network) ที่มีการใช้งานอยู่แล้วในระบบสื่อสารโทรคมนาคมเช่น ตู้บริการเงินค่านเอทีเอ็ม เครื่องขายน้ำอัดลมอัตโนมัติ และระบบออนไลน์ต่างๆ เพื่อที่จะสามารถปรับเปลี่ยนค่าและเรียกดูค่าที่ได้กล่าวมาข้างต้นได้ในระยะทางที่ไกลขึ้น และเมื่อมูลค่าของเงินในบัตรสมาร์ตการ์ดใกล้จะหมด จะมีเสียงเตือนที่ตัวเครื่องกิโวลต์ - ชั่วโมงมิเตอร์ให้ผู้ใช้ไฟได้

ในปัจจุบันกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์ของการไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ จะเป็นแบบอนาลอก ซึ่งต้องคอยส่งพนักงานไปทำการบันทึกจำนวนยูนิตจากแต่ละเครื่อง เพื่อที่จะนำไปคำนวณหาค่าไฟฟ้า จากนั้นจึงส่งใบเรียกเก็บค่าไฟฟ้าไปยังแต่ละบ้าน เพื่อที่จะชำระค่าไฟฟ้าต่อไป แต่ในงานวิจัยที่นำเสนอนี้ การคำนวณหาจำนวนยูนิตที่ใช้งาน, การคำนวณหาค่าไฟฟ้า และการชำระเงิน โดยใช้สมาร์ตการ์ดกิโวลต์ - ชั่วโมงมิเตอร์แบบรีโมทข้อมูลผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า เครื่องนี้เพียงเครื่องเดียว

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางการชำระค่าไฟฟ้าอีกวิธีหนึ่ง คือการชำระเงินแบบล่วงหน้าหรือที่เรียกกันว่า พรีเพด ซึ่งวิธีการนี้เริ่มได้รับความนิยมในหลายๆประเทศ และเริ่มมีการนำมิเตอร์แบบชำระเงินล่วงหน้า (Pre-payment meter) มาใช้ในการชำระค่าบริการในหลายๆอย่างมากขึ้น [1] สำหรับงานวิจัยนี้ จะใช้สมาร์ตการ์ดแทนเงินสด โดยจะทำงานร่วมกับกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์ ทำการคำนวณหาค่าไฟฟ้าออกมา เพื่อที่จะนำไปหักเงินที่มีอยู่ในเครื่องซึ่งได้จำนวนมาจากบัตรสมาร์ตการ์ดต่อไป

1.6 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาวิจัยเพื่อออกแบบเครื่องกิโวลต์ - ชั่วโมงมิเตอร์และเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานในระบบพรีเพด ส่วนการรีโมทหรือการรับ-ส่งข้อมูลจะใช้โครงข่ายคู่สายเช่า ซึ่งรายละเอียดที่กล่าวในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งเรื่องได้ดังนี้

บทที่ 1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา ขอบเขตของการศึกษา ขั้นตอนการศึกษา หลักการใหม่ในวิทยานิพนธ์ รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีของหลักการพื้นฐานของระบบสื่อสารและวงจรในแต่ละรูปแบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ , เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าในแบบต่างๆ

บทที่ 3 การออกแบบและหลักการทำงานของ โครงข่ายคู่สายเช่าและเครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์ เครื่องปรับค่าอัตราผันแปร

บทที่ 4 จะแสดงผลการทดสอบโครงข่ายคู่สายเช่าและทดสอบหาค่าแรงดัน, กระแส, เพาเวอร์แฟกเตอร์, จำนวนยูนิตที่ใช้งาน การคิดเงิน

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

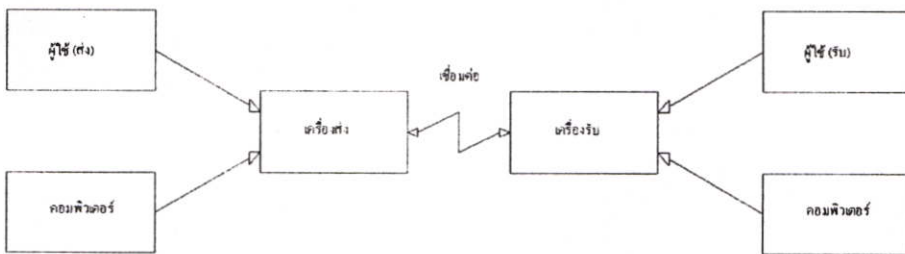
2.1 บทนำ

ในส่วนของบทนี้จะเป็นการนำเสนอทฤษฎีต่างๆที่นำมาใช้ในการทำงานวิจัย และ โครงสร้างหลักการพื้นฐานของระบบสื่อสารและการทำงานของเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าในแบบต่างๆ โดยจะอธิบายถึงหลักการพื้นฐานระบบสื่อสารและของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ เช่น ลักษณะการสื่อสารแบบดิจิทัลและ ลักษณะของสัญญาณรูปไซน์ที่เกิดขึ้นเมื่อใช้กับโหลดในแบบต่างๆว่าเป็นอย่างไร รวมไปถึงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

2.2 หลักการพื้นฐานของระบบสื่อสาร

2.2.1 ลักษณะและชนิดของระบบสื่อสาร

ส่วนมากแล้วระบบสื่อสารที่สร้างขึ้นมามีใช้งาน จะใช้ในการส่งข่าวสารจากจุดหนึ่งไปยังจุดอื่น ๆ ไม่สนใจการออกแบบระบบ ทุก ๆ ระบบการสื่อสารมีหลักการเบื้องต้นเหมือนกันแสดงได้ดังรูป 2.1



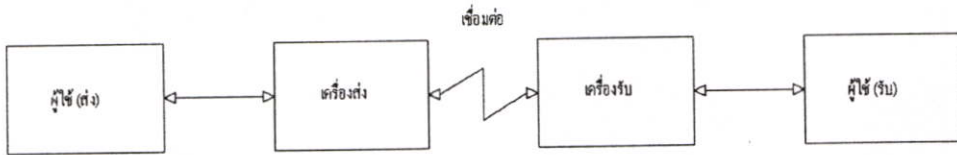
รูปที่ 2.1 หลักการเบื้องต้นของระบบสื่อสาร

แสดงหลักการเบื้องต้นของระบบสื่อสารที่ปลายด้านหนึ่งหรือด้านผู้ส่งข่าวสาร อาจเป็นได้ทั้งบุคคล คอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ข่าวสารถูกไปให้เครื่องส่ง คอมพิวเตอร์ถูกออกแบบให้ส่งผ่านข่าวสาร หรืออาจเป็นวงจรเบื้องต้นบางชนิดภายในระบบ ข่าวสารส่งออกไปในระบบสื่อสารโดยการเชื่อมต่อไปยังปลายทางจากผู้ส่งไปยังผู้รับ ที่ปลายด้านรับมีอุปกรณ์ที่รับข่าวสารแยกออกจากการเชื่อมต่อและส่งผ่านข่าวสารไปยังผู้ใช้ เป็นได้ทั้งบุคคล คอมพิวเตอร์ หรือส่วนประกอบอื่น ๆ ของวงจร

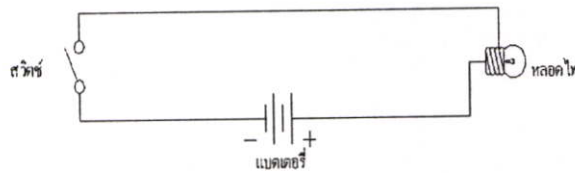
การออกแบบที่ถูกต้องและการทำหน้าที่ของระบบสื่อสาร จะต้องรวบรวมส่วนประกอบของข่าวสารทั้งหมดจากการส่งผ่านเครื่องส่งผ่านระบบเชื่อมต่อ เข้าอุปกรณ์เครื่องรับและส่งถึงผู้รับ

การออกแบบที่ถูกต้องและการทำหน้าที่ของระบบสื่อสาร จะต้องรวบรวมส่วนประกอบของข่าวสารทั้งหมดจากการส่งผ่านเครื่องส่งผ่านระบบเชื่อมต่อ เข้าอุปกรณ์เครื่องรับและส่งถึงผู้รับ ข่าวสารระบบสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือสื่อสารทางเดียว , สื่อสารสองทางเต็มรูปแบบ , และสื่อสารสองทางครึ่งรูปแบบ

1. ระบบทางเดียว (Simplex System) เป็นการส่งข้อมูลได้ในทิศทางเดียวจากปลายด้านหนึ่งไปยังที่อื่น ตามรูป 2.2



(ก) บล็อกไดอะแกรม



(ข) วงจรเบื้องต้น

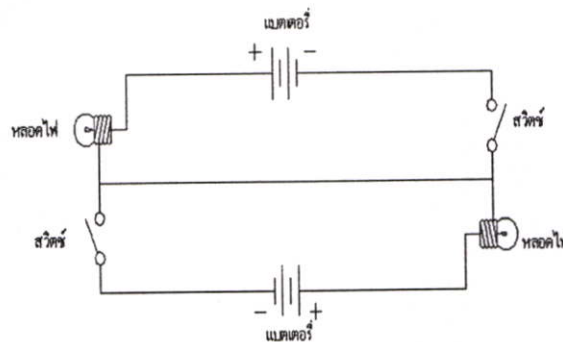
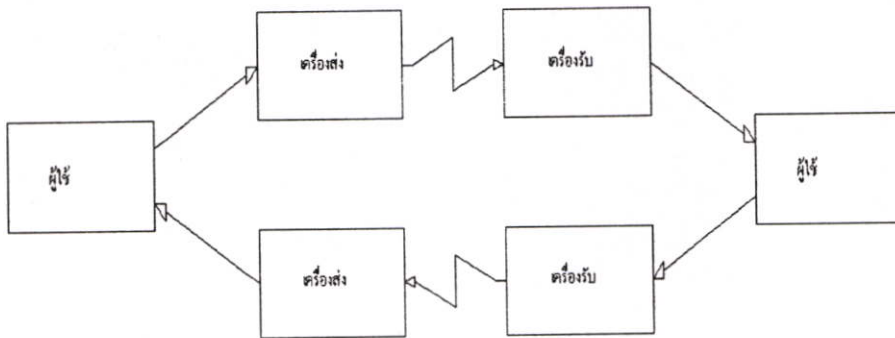
รูปที่ 2.2 หลักการเบื้องต้นของระบบสื่อสาร

จากรูปที่ 2.2 แสดงระบบสื่อสารทางเดียว โครงสร้างประกอบด้วย เครื่องส่งหนึ่งเครื่อง และเครื่องรับหนึ่งเครื่อง ตัวอย่างการเชื่อมต่อแบบทางเดียว เช่น ระบบเคเบิลทีวี (TV Cable System) โดยการส่งภาพไปยังจอโทรทัศน์ซึ่งถูกส่งมาจากห้องส่งของระบบส่งไปยังแต่ล้าน ผู้เข้าด้วยสายเคเบิล ตัวอย่างอื่น ๆ เช่น ระบบส่งเสียงตามสาย (Public Address System) ข่าวสารสามารถกระจายไปยังส่วนต่าง ๆ ครอบคลุมพื้นที่ หรือการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ในรูปแบบข้อความไปให้เครื่องพิมพ์ พิมพ์ข้อความออกมา มีทิศทางการทำงานในทิศทางเดียว เป็นต้น

2.ระบบสองทางเต็มรูปแบบ (Full Duplex System) หรือเรียกสั้น ๆ ว่าแบบสองทาง (Duplex) เป็นการส่งข้อมูลเชื่อมต่อถึงกันได้ทั้งสองทิศทางพร้อมๆ กันในแต่ละปลายทาง ประกอบด้วยเครื่องส่งและเครื่องรับและสามารถใช้งานได้พร้อมกัน แสดงดังรูปที่ 2.3

จากรูปที่ 2.3 แสดงระบบสื่อสารสองทางเต็มรูปแบบ ตัวอย่างการเชื่อมต่อสองทางเต็มรูปแบบเช่นระบบโทรศัพท์ คู่สนทนาทั้งสองสามารถพูดคุยกันได้พร้อมกันในเวลาเดียวกันถ้าต้องการไม่ได้เสมอไปที่ระบบสื่อสารสองทางเต็มรูปแบบต้องการวงจรมากกว่าที่แต่ละปลายและมี

การเชื่อมต่อสองทาง แต่อาจต้องการระบบคอมพิวเตอร์หรือวงจรที่ใช้ในการเชื่อมต่อที่สามารถเข้าใจและสามารถสนทนากันได้พร้อมกัน



(ก) บล็อกไดอะแกรม

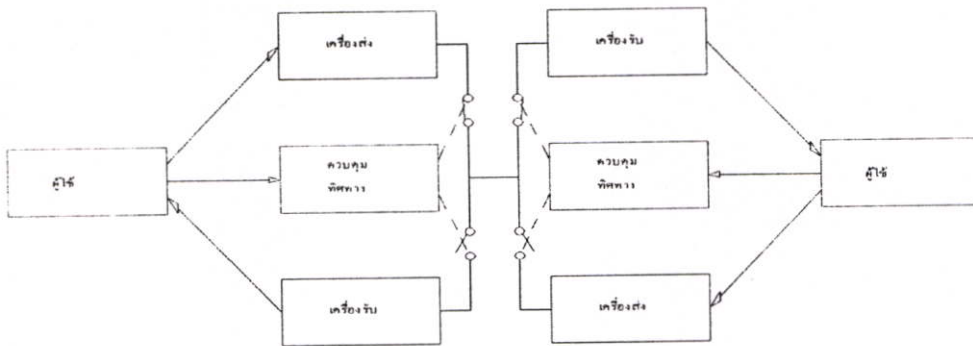
(ข) วงจรเบื้องต้น

รูปที่ 2.3 ระบบสื่อสารสองทางเต็มรูปแบบ

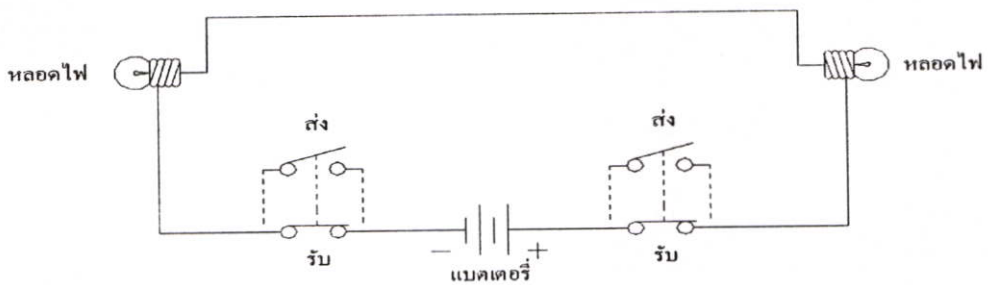
3. ระบบสองทางครึ่งรูปแบบ (Half Duplex System) ในการเชื่อมต่อแบบสองทางครึ่งรูปแบบนั้น ปลายแต่ละด้านสามารถส่งได้ แต่ต้องเป็นด้านใดด้านหนึ่งในเวลานั้น ที่ปลายทั้งสองต้องสามารถส่งหรือรับข่าวสารได้เหมือนกัน โดยการเชื่อมต่อระหว่างปลายทั้งสองต้องแบ่งเวลากันแสดงดังรูปที่ 2.4

จากรูปที่ 2.4 แสดงระบบสื่อสารสองทางครึ่งรูปแบบ การเชื่อมต่อเพื่อสื่อสารถึงกันไม่สามารถส่งพร้อมกันหรือรับพร้อมกันได้ในเวลาเดียวกัน การจะทำได้พร้อมกันโดยปลายด้านหนึ่งเป็นต้นส่ง ปลายอีกด้านหนึ่งต้องเป็นตัวรับ มีสวิตซ์ตัดต่อการทำงานช่วยทำหน้าที่ในการทำงาน ตัวอย่างการเชื่อมต่อ ระบบสื่อสารสองทางครึ่งรูปแบบเช่นวิทยุสื่อสารย่านประชาชนหรือ CB (Citizens Band) หรือวิทยุสื่อสารสมัครเล่น (Radio Amateur) ช่องความถี่ถูกแบ่งออกเป็นช่อง ๆ

การติดต่อสื่อสารถึงกันต้องปรับช่องความถี่ให้ตรงกัน การพุดคุยกันจะมีสวิทช์เป็นตัวปรับเปลี่ยนสถานะส่งหรือรับ



(ก) บล็อกไดอะแกรม

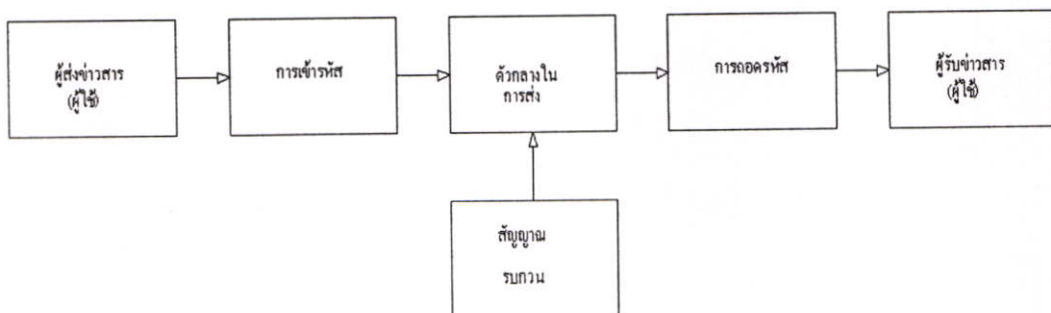


(ข) วงจรเบื้องต้น

รูปที่ 2.4 ระบบสื่อสารสองทางครึ่งรูปแบบ

2.2.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบสื่อสาร

โครงสร้างพื้นฐานของระบบสื่อสารโทรคมนาคมแบ่งออกได้เป็นส่วนประกอบต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างพื้นฐานของระบบสื่อสาร

1. ผู้ส่งข่าวสาร (Sender) เป็นแหล่งกำเนิดข่าวสารต่าง ๆ เช่น สัญญาณภาพ สัญญาณเสียง และข้อมูลข่าวสาร เป็นต้น ซึ่งผู้ใช้เป็นผู้ส่งข่าวสารออกไป

2. ผู้รับข่าวสาร (Receiver) เป็นจุดหมายปลายทางของข่าวสารที่ส่ง การที่จะรับข่าวสารได้นั้น ขบวนการส่งข่าวสาร ต้องครบสมบูรณ์ตามระบบสื่อสารนั้น หมายถึง การสื่อสารบรรลุจุดประสงค์ หากขบวนการส่งข่าวสารไม่ครบสมบูรณ์ เกิดความบกพร่องในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง ข่าวสารจะไม่ถูกส่งถึงปลายทาง แสดงว่าการสื่อสารล้มเหลว

3. การถอดรหัส (Encoding) เป็นการแปลงข้อมูลข่าวสารที่ส่งไปยังปลายทางให้อยู่ในรูปของรหัสสัญญาณทางไฟฟ้าที่บรรจุข้อมูลข่าวสารทั้งหมดไว้เพื่อช่วยให้ผู้ส่งข่าวสารและผู้รับข่าวสารมีความเข้าใจตรงกัน และสามารถสื่อสารถึงกันได้

4. การถอดรหัส (Decoding) เป็นการแปลงรหัสสัญญาณทางไฟฟ้าให้กลับมาเป็นข้อมูลข่าวสารทางด้านผู้รับข่าวสาร การถอดรหัสสัญญาณจะต้องตรงกับ การเข้ารหัสสัญญาณจึงสามารถสื่อสารกันได้

5. เป็นสื่อกลางที่ข่าวสารใช้ในการเดินทางผ่านไปจากต้นทางถึงปลายทาง สื่อกลางนี้มีหลายชนิด เช่น อากาศ สายนำสัญญาณ ตลอดจนไปถึงสื่อตัวนำต่าง ๆ เช่น โลหะ น้ำ และพื้นดินที่มีความชื้น เป็นต้น ระยะเวลาในการสื่อสารขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลางในการส่ง

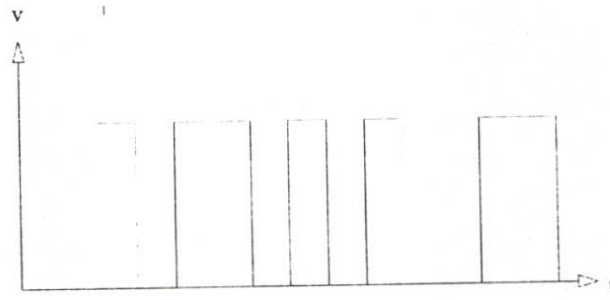
6. สัญญาณรบกวน (Noise) เป็นสัญญาณที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมีอยู่ทั่วไป มักจะรบกวนและลดทอนสัญญาณทางไฟฟ้าที่ส่งออกไป อาจเกิดขึ้นได้ทั้งทางด้านผู้ส่งข่าว ผู้รับข่าวสาร และตัวกลางในการข่าวสาร ตำแหน่งที่ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณรบกวนอยู่ที่ตัวกลางในการส่งข่าวสาร เพราะเป็นส่วนที่ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนจำนวนมาก การกำจัดสัญญาณรบกวนทำได้โดยใช้วงจรกรอง (Filter) ทั้งทางด้านต้นทางและปลายทาง ช่วยลดทอนสัญญาณรบกวนลงได้

2.2.3 ข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสาร

ในการสื่อสารข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ จำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับระบบสื่อสารทั้งสิ้น ในการสื่อสารนั้นจำเป็นต้องเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารให้ไปอยู่ในรูปรหัสสัญญาณทางไฟฟ้า จึงสามารถส่งผ่านข้อมูลข่าวสารไปตามสื่อตัวกลางต่าง ๆ ได้ ข้อมูลข่าวสารที่อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้ามีลักษณะสัญญาณไฟฟ้า 2 ลักษณะ คือ สัญญาณอะนาล็อก (Analog Signal) และสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal) ลักษณะสัญญาณอะนาล็อกและสัญญาณดิจิทัลแสดงดังรูปที่ 2.6



(ก) สัญญาณอะนาล็อก

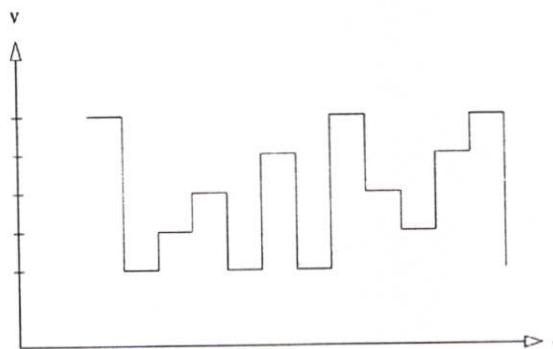


(ข) สัญญาณดิจิทัล

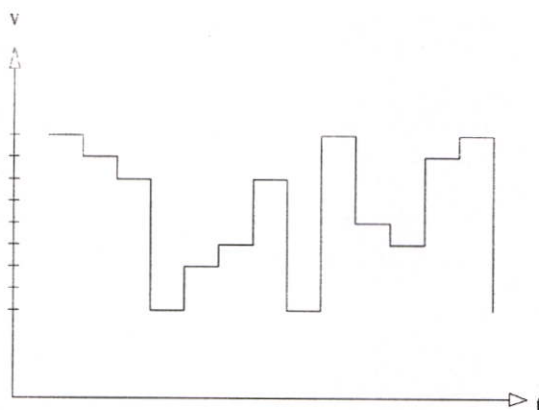
รูปที่ 2.6 การสื่อสารด้วยสัญญาณไฟฟ้าในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล

จากรูปที่ 2.6 (ก) เป็นข้อมูลข่าวสารในรูปแบบสัญญาณไฟฟ้าแบบสัญญาณอะนาล็อกการสื่อสารแบบนี้เช่นการสื่อสารทางโทรศัพท์และการสื่อสารทางวิทยุโทรศัพท์ เป็นต้น สัญญาณอะนาล็อกจะอยู่ในรูปของสัญญาณคลื่นไซน์ มีระดับความแรง (Amplitude) เปลี่ยนแปลงตามระดับความดังของเสียง และมีความถี่ (Frequency) เปลี่ยนแปลงตามเสียงทุ้มแหลมที่ป้อนเข้ามา เรียกการสื่อสารแบบนี้ว่าการสื่อสารสัญญาณอะนาล็อก (Analog Signal Communication)

ส่วนรูปที่ 2.6 (ข) เป็นข้อมูลข่าวสารในรูปแบบไฟฟ้าแบบสัญญาณดิจิทัล อยู่ในรูปของสัญญาณ 2 ระดับ (Binary Signal) การสื่อสารแบบนี้เช่นการสื่อสารทางคอมพิวเตอร์การส่งข้อมูลด้วยสัญญาณดิจิทัลลอจิก เป็นต้น สัญญาณดิจิทัลจะอยู่ในรูปคลื่นสี่เหลี่ยม มีระดับความแรงของคลื่น 2 ระดับ คือสูงสุดหรือ “1” และระดับต่ำสุดหรือ “0” โดยมีระดับความถี่คงที่ค่าหนึ่งตลอดเวลา นอกจากนั้นอาจจะมีการแปลงสัญญาณอะนาล็อกให้อยู่ในสัญญาณดิจิทัลก่อนการส่งข้อมูลข่าวสาร สัญญาณดิจิทัลแบบนี้มีระดับความแรงของสัญญาณคงที่อาจเป็น 4 ระดับ หรือ 8 ระดับ เป็นต้นแสดงดังรูปที่ 2.7



(ก) สัญญาณดิจิทัลแบบ 4 ระดับ



(ข) สัญญาณดิจิทัลแบบ 8 ระดับ

รูปที่ 2.7 การสื่อสารด้วยสัญญาณไฟฟ้าในรูปแบบสัญญาณดิจิทัล

2.3 โครงข่ายคู่สายเช่า

เกิดขึ้นจากการนำเอาข่ายสายโทรศัพท์และอุปกรณ์โทรคมนาคมชนิดต่างๆมาประกอบใช้งานร่วมกันเพื่อ สนองความต้องการของภาครัฐและเอกชนที่ต้องการใช้ช่องทางไว้ติดต่อสื่อสารและรับส่งข้อมูลถึงกัน

2.3.1 ประเภทของคู่สายเช่าและวงจรเช่า

สามารถแบ่งแยกตามกฎระเบียบข้อบังคับของกิจการโทรศัพท์แห่งประเทศไทย(TOT) ว่าด้วยการ กำหนดอัตราค่าเช่าและค่าใช้บริการ พศ. 2529 (ข้อ 12 - 16) และระเบียบของกิจการโทรศัพท์แห่งประเทศไทย(TOT) ว่าด้วย การให้บริการวงจรเช่าระบบดิจิทัล พศ. 2541

1. คู่สายโทรศัพท์ภายในท้องถิ่น
2. วงจรโทรศัพท์ทางไกล
3. วงจรโทรเลข
4. วงจรวิทยุกระจายเสียง
5. วงจรช่องสัญญาณถ่ายทอดโทรทัศน์
6. วงจรเช่าระบบดิจิทัล

2.3.2 โครงข่าย ดีดีเอ็น

จัดอยู่ในประของคู่สายเช่าและวงจรเช่าระบบดิจิทัล ซึ่งเกิดจากการนำเอาโครงข่ายหลักขององค์กรโทรศัพท์(TOT) ที่ระดับความเร็ว 2 Mb/s(1E1) มาสร้างเป็นโครงข่ายสื่อสารไว้รับส่งข้อมูลแบบดิจิทัล ที่สนองความต้องการใช้งานของผู้ใช้งาน ซึ่งระดับความเร็วสามารถผู้ใช้สามารถเลือกใช้ได้ตามความต้องการ คือ

1. ขนาดความเร็ว 9.6 Kb/s

- 2.ขนาดความเร็ว 64 Kb/s
- 3.ขนาดความเร็ว 128 Kb/s
- 4.ขนาดความเร็ว 256 Kb/s
- 5.ขนาดความเร็ว 512 Kb/s
- 6.ขนาดความเร็ว 1 Mb/s

2.3.3 โครงข่ายโทรศัพท์

คำว่า TELEPHONE NETWORK ไม่ได้หมายความว่าเพียงข่ายสายโทรศัพท์เท่านั้น แต่ยังมี ความหมายรวมไปถึง เทคโนโลยีและอุปกรณ์ทุกอย่างที่สามารถทำให้มีการติดต่อถึงกันทาง โทรศัพท์ได้ทั่วทุกหนทุกแห่งในโลก กล่าวได้ว่า “TELEPHONE NETWORK” หมายถึงส่วนที่เป็น SWITCHING และ TRANSMISSION

- การศึกษาเรื่อง TELEPHONE NETWORK นั้นจำเป็นต้องเข้าใจถึงความรู้เกี่ยวกับ TELEPHONE TRAFFIC, LINE NETWORK NUMBERING (การกำหนดเลขหมายของผู้เข้า) CHARGING และ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR TELECOMMUNICATION
- การวางแผนเกี่ยวกับ TELEPHONE NETWORK นั้นจะต้องกระทำเป็นอย่างดี เพื่อให้ สอดคล้องกับการพัฒนาในอนาคต และเพื่อให้สามารถทำการบำรุงรักษาอุปกรณ์ที่ใช้อยู่ให้ทำงาน อย่างมีประสิทธิภาพ
- แต่ในที่นี้เราจะกล่าวถึงเฉพาะเรื่องของ LINE NETWORK เท่านั้น

2.3.3.1 ข่ายทางสาย

ระบบข่ายทางสายโทรศัพท์ เป็นการลงทุนสูงมาก เพราะฉะนั้นการวางแผนระยะยาว เกี่ยวกับทางสายโทรศัพท์เพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของผู้เข้าเป็นสิ่งสำคัญมาก LINE NETWORK ประกอบด้วย

- SUBSCRIBER LINE NETWORK OR LOCAL LINE NETWORK เป็นข่าย สายที่เชื่อมระหว่างเครื่องโทรศัพท์กับชุมสายท้องถิ่น (LOCAL EXCHANGE)
- JUNCTION LINE NETWORK เป็นข่ายสายที่เชื่อมระหว่างชุมสายกับชุมสาย SUBSCRIBER LINE NETWORK OR LOCAL LINE NETWORK (ข่ายสายท้องถิ่น)

ยังแบ่งออกเป็น 2 ระบบ

1. ระบบยุโรป (EUROPEAN SYSTEM)

เป็นระบบข่ายสายที่มีตู้ผ่าน (CROSS CONNECTION CABINET) ตู้ผ่านหรือ ตู้คอง ดินเป็นจุดเชื่อมระหว่างเคเบิลต้นทาง (PRIMARY CABLE) และเคเบิลปลายทาง (SECONDARY CABLE) โดยใช้สายโยงเชื่อมระหว่างเคเบิลต้นทางและปลายทาง การเชื่อมโยงระหว่างเคเบิลทั้ง

สองในตู้คอนดิชั่นทำให้เกิดจุดยึดหยุ่นขึ้นในตู้คอนดิชั่น เนื่องจาก อัตราส่วนคู่สายเคเบิลสั้นทางน้อยกว่าเคเบิลปลายทาง

2. ระบบอเมริกัน (AMERICAN SYSTEM OR DIRECT FEED)

เป็นระบบจ่ายสายซึ่งมีส่วนคล้ายกับระบบยุโรป แต่ในระบบนี้ไม่มีตู้ผ่าน เป็นระบบที่จ่ายสายจาก MDF ไปยังตู้พักปลายทางโดยตรง โดยใช้หลักการ MULTIPLE คู่สายเป็นตัวยึดหยุ่นจ่ายทางสาย

2.3.3.2 ชนิดของเคเบิลและการใช้งาน

การใช้เคเบิลในสถานที่ต่าง ๆ เคเบิลที่ใช้ในกิจการของโทรศัพท์ มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน แต่ละชนิดนำมาใช้งานในสถานที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบและความแข็งแรงของเคเบิล เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในแต่ละสถานที่ เราพอจะแยกตามสถานที่ใช้งานของเคเบิลได้ดังต่อไปนี้

1. เคเบิลอากาศ (AERIAL CABLE) คือการสร้างทางสายเคเบิลไปตามแนวเสาหรือตามอาคาร เคเบิลที่จะนำไปใช้ในอากาศส่วนประกอบจะไม่ยุ่งยากมากนัก และมีน้ำหนักเบาเพื่อให้สามารถแขวนได้จำนวนมาก ๆ ข้อดีของการสร้างเคเบิลแบบนี้ คือสร้างง่าย สะดวกในการเปลี่ยนแปลงและการบำรุงรักษา สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยแต่มีข้อเสียอยู่ตรงที่ว่าเกาะกระรุกรังไม่เหมาะสมกับเมืองที่พัฒนาแล้ว

2. เคเบิลฝังดิน (BURIED CABLE) คือการสร้างจ่ายสายโดยการฝังดินโดยตรง ข้อดีของการสร้างจ่ายสายแบบนี้ก็คือสามารถจัดความรุกรังให้หมดไป แต่การสร้างจ่ายสายอาจลงทุนสูง และจะต้องใช้เคเบิลชนิดที่มีเปลือกหุ้มพิเศษกว่าธรรมดา

3. เคเบิลใต้ดิน ชนิดร้อยท่อ (UNDERGROUND CONDUIT CABLE) การสร้างจ่ายสายเคเบิลชนิดนี้เป็นงานใหญ่เพราะต้องสร้างบ่อพัก และแนวท่อร้อยสายซึ่งอาจทำพร้อมกันกับการสร้างถนน เคเบิลจะถูกร้อยเข้าไปในท่อที่ฝังไว้ใต้ดินอย่างถาวร การติดต่อกและการแยกสายกระทำกันภายในบ่อพัก วิธีการสร้างจ่ายสายแบบนี้ดัดแปลงมาจากการเคเบิลฝังดินนั่นเอง ค่าใช้จ่ายในการสร้างจ่ายสายแบบนี้จะแพงมาก ควรจะสร้างในเมืองที่อยู่ในระดับพัฒนาแล้ว

4. เคเบิลในราง (TROUGHING CABLE) การสร้างจ่ายสายแบบนี้ส่วนมากจะสร้างในแนว FOOT - PATH โดยทำเป็นราวไปตาม FOOT - PATH แล้ววางเคเบิลไปในรางซึ่งมีฝาครอบรางที่กลมกลืนกับ FOOT - PATH การสร้างจ่ายสายแบบนี้สะดวกในการเปลี่ยนแปลงและการบำรุงรักษา

5. เคเบิลใต้น้ำ (SUBMARINE CABLE) การสร้างจ่ายสายแบบนี้หมายถึงการวางเคเบิลใต้น้ำ เช่น ใต้แม่น้ำ ทะเล มหาสมุทร ซึ่งวิธีการวางเคเบิลต้องใช้เทคนิคสูงกว่าการวางเคเบิลธรรมดา เคเบิลที่ใช้ก็ต้องใช้เคเบิลแบบพิเศษ

เคเบิลที่ใช้ในกิจการโทรศัพท์ มีหลายชนิดด้วยกัน แต่ละชนิดนำมาใช้งานในสถานที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของเคเบิลที่นำมาใช้งาน เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพสิ่งแวดล้อมในสถานที่นั้น ๆ

ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดของเคเบิลส่วนประกอบและสถานที่ใช้งาน

เคเบิล	ส่วนประกอบนับจากในมาหา นอก	อักษรย่อ	การใช้งาน
LEAD	LEAD	L	ฝังดินวางในท่อ
LEAD SHEATH TAPE ARMOUR	LEAD - STEEL TAPE - JUTE	LTJ	ฝังดินวางในราง
STALPETH	ALUMINIUM - STEEL - POLYETHYLENE	ASP	วางในท่อ ฝังดิน วางในราง
DOUBLE SHEATH - STALPETH	POLUETHYLENE - ALUMINUM-STEEL - POLUETHYLENE	PASP	ฝังดิน
ALPETH	ALUMINIUM - POLUETHYLENE	A.P.	แขวนอากาศแบบใช้สาย สะพาน
ALPETH FIGURE 8	ALUMINIUM - POLUETHYLENE	A.P. (8)	แขวนอากาศแบบมีสาย สะพานในตัว
ALPETH DOUBLE SHEATH	POLUETHYLENE - ALUMINUM- POLUETHYLENE	PAP	ฝังดิน
PVC.	POLY VINYL CHLORIDE	PVC	ใช้ภายในอาคาร
POLYETHYLENE SHEATH	POLYETHYLENE	P.	แขวนอากาศแบบใช้สาย สะพาน
DOUBLE SHEAT POLYETHYLENE WITH	POLYETHYLENE - STEEL TAPE - POLYETHYLENE	PTP	ฝังดิน
LEAD SHEATH WIRE ARMOUR	LEAD - SINGLE OR DOUBLE WIRE ARMOUR	SUB	วางใต้น้ำ
FOAM SKIN INSULATION ALPETH SHEATH FILL CABLE	โครงสร้างเช่นเดียวกับ AP และ มี COMPOUND	AP - FSF	ในท่อในราง

2.3.3.3 มาตรฐานของเคเบิล

ตารางที่ 2.2 แสดงมาตรฐานความยาว , เส้นผ่าศูนย์กลาง , จำนวนคู่สาย AP ,AP (8) , AP FSF

จำนวนคู่	ความยาวมาตรฐาน - ม.ม.				เส้นผ่าศูนย์กลาง - ม.ม.				ที่มา
	0.4	0.5	0.65	0.9	0.4	0.5	0.65	0.9	
<u>สายอากาศ</u>									
25 – AP	1000	1000	1000	1000	11.7	13.5	15.5	21.8	ทศท.
50 – AP	1000	1000	1000	500	14.2	16.8	19.6	27.9	"
100 – AP	1000	1000	500	500	18.0	21.8	27.9	38.1	"
200 – AP	500	500	500	500	23.6	30.5	35.6	53.3	"
300 – AP	500	500	350	250	27.9	35.6	45.7	63.5	"
400 – AP	500	500	250	250	33.0	40.6	50.8	71.1	"
600 – AP	500	350	200	-	40.6	48.3	58.4	-	"
900 – AP	350	350	-	-	48.3	48.4	-	-	"
25 – AP (8)	1000	1000	1000	1000					
50 – AP (8)	1000	1000	1000	1000					
100 – AP (8)	1000	1000	1000	500					
200 – AP (8)	500	500	500	250					
<u>AP-FSF</u>									
25	1000	1000	1000	1000	12.0	13.7	15.9	20.5	PHEIP
50	1000	1000	1000	1000	14.7	17.1	20.4	27.6	S
100	1000	1000	1000	750	18.6	22.9	27.4	37.5	DODG
200	1000	750	750	350	24.9	30.2	37.4	51.3	E
300	1000	750	750	350	29.8	36.2	45.4	61.4	"
400	1000	350	350	350	33.3	40.7	51.0	70.2	"
600	500	350	350	350	39.7	49.5	61.1	83.9	"
900	350	350	350	-	48.3	59.1	73.4	-	"
1200	350	350	350	-	54.8	67.4	83.4	-	"
1500	350	350	-	-	60.3	74.4	-	-	"
1800	350	350	-	-	65.8	80.6	-	-	"
2100	250	350	-	-	70.3	86.3	-	-	"
2400	250	-	-	-	74.5	-	-	-	"
2700	250	-	-	-	78.5	-	-	-	"
3000	200	-	-	-	82.2	-	-	-	"

2.3.3.4 มาตรฐานรหัสสีเคเบิล

สายคู่ตีเกลียวเป็นเคเบิลที่นิยมที่ใช้กันมากที่สุดในระบบโทรศัพท์และโทรคมนาคม สายคู่ตีเกลียวประกอบด้วย สายทองแดง 2 เส้น ตีเกลียวโดยทั่วไปสายโทรศัพท์ประกอบด้วย ตัวนำเป็นสายทองแดงแข็ง และเป็นสายคู่ตีเกลียว เคเบิล 2 คู่สาย มีเปลือกห่อหุ้ม มีรหัสสี 4 สี คือ แดง, เขียว, ดำ, เหลือง สำหรับใช้งานโทรศัพท์พื้นฐานนั้นต้องการใช้สายทองแดงเพียง 2 เส้น เท่านั้น

เคเบิลหลาย ๆ คู่สายใช้รหัสสี 2 สี ในหนึ่งคู่จะมีสีมาตรฐานหนึ่งสี ตารางที่ 2.1 แสดงมาตรฐานของเบลเคนสำหรับเส้นเดี่ยว ตารางที่ 2.3 แสดงรหัสสีของเคเบิลชนิดคู่

ตารางที่ 2.3 รหัสสีของสายทองแดงจำนวน 12 เส้น

สายทองแดง	สี
เส้นที่ 1	ดำ
เส้นที่ 2	ขาว
เส้นที่ 3	แดง
เส้นที่ 4	เขียว
เส้นที่ 5	น้ำตาล
เส้นที่ 6	น้ำเงิน
เส้นที่ 7	ส้ม
เส้นที่ 8	เหลือง
เส้นที่ 9	ม่วง
เส้นที่ 10	เทา
เส้นที่ 11	ชมพู
เส้นที่ 12	น้ำตาลเข้ม

2.3.3.5 สายผ่าน

แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ

- 1) MESH SHAPE NETWORK ระบบข่ายสายแบบนี้เหมาะสำหรับใช้ในพื้นที่ ที่มีชุมสายน้อย ๆ ถ้าหากว่านำระบบนี้ไปใช้ในพื้นที่ ที่มีชุมสายมาก ๆ ข่ายสายที่เชื่อมโยงระหว่างชุมสายจะมากขึ้นตามไปด้วยหลายเท่า

2) STAR SHAPE NETWORK ระบบข่ายสายแบบนี้ เหมาะสำหรับใช้ในพื้นที่ ที่มี ชุมชนมาก ๆ เช่น ในเมืองหลวง โดยการตั้งชุมสายต่อผ่านขึ้นมาหลาย ๆ ชุมสาย เพื่อรับทราบฟีดจาก ชุมสายท้องถิ่นในพื้นที่นั้น หรือรับทราบฟีดจากชุมสายต่อผ่านด้วยกัน

ตารางที่ 2.4 รหัสสีของเคเบิลชนิดคู่

คู่สายที่	สี	คู่สายที่	สี
1	ดำ - แดง	19	ขาว - น้ำเงิน
2	ดำ - ขาว	20	ขาว - เหลือง
3	ดำ - เขียว	21	ขาว - น้ำตาล
4	ดำ - น้ำเงิน	22	ขาว - ส้ม
5	ดำ - เหลือง	23	น้ำเงิน - เหลือง
6	ดำ - น้ำตาล	24	น้ำเงิน - น้ำตาล
7	ดำ - ส้ม	25	น้ำเงิน - ส้ม
8	แดง - ขาว	26	น้ำตาล - เหลือง
9	แดง - เขียว	27	น้ำตาล - ส้ม
10	แดง - น้ำเงิน	28	ส้ม - เหลือง
11	แดง - เหลือง	29	ม่วง - ส้ม
12	แดง - น้ำตาล	30	ม่วง - แดง
13	เขียว - ขาว	31	ม่วง - ขาว
14	เขียว - น้ำเงิน	32	ม่วง - เขียวเข้ม
15	เขียว - เหลือง	33	ม่วง - ฟ้า
16	เขียว - น้ำตาล	34	ม่วง - เหลือง
17	เขียว - ส้ม	35	ม่วง - น้ำตาล
18	ขาว - น้ำเงิน	36	ม่วง - ดำ

2.3.3.6 ระบบการให้หมายเลขรหัสสำหรับข่ายสาย

ในระบบข่ายสายใหม่จำเป็นต้องมีรหัสซึ่งส่วนมากจะกำหนดเป็นตัวเลข เพื่อใช้ในการเขียนกำกับลงในส่วนต่างๆ ของแบบข่ายสาย ซึ่งกำหนดดังต่อไปนี้

1. ชุมสายโทรศัพท์ กำหนดเป็นเลข 4 ตัว เช่น

0101 - เป็นชุมสายเพลินิจิต

0405 - เป็นชุมสายงามวงศ์วาน

0406 - เป็นชุมสายปากเกร็ด

2. เคเบิลต้นทาง (PRIMARY CABLE) กำหนดเป็นเลข 2 ตัว เช่น

01 เป็นลำดับเคเบิลเส้นที่ 1 ออกจากชุมสาย

02 เป็นลำดับเคเบิลเส้นที่ 2 ออกจากชุมสาย

3. ตู้คอยดิน (CABINET) กำหนดเป็นเลข 3 ตัว เริ่มจาก 001 เป็นต้นไป เช่น

001 หมายถึง CABINET ที่ 1

002 หมายถึง CABINET ที่ 2

การกำหนดนัมเบอร์ตู้คอยดิน ให้เริ่มต้นจากปลายทางเข้าหาชุมสาย คือ กำหนดตู้ที่ 001 ในปลายทางของเคเบิลเส้นที่ 01 ถัดมาเป็นตู้ที่ 002, 003 เรียงตามลำดับเข้าหาชุมสาย เมื่อการกำหนดนัมเบอร์ตู้ในเส้นที่ 01 เสร็จสิ้นลงในเคเบิลเส้นที่ 02 ก็ทำเช่นเดียวกับเส้นที่ 01 เพียงแต่นัมเบอร์ตู้ต้องเป็นนัมเบอร์ถัดจากเคเบิลเส้นที่ 01 ในทำนองเดียวกันในเคเบิลเส้นอื่น ๆ ก็ทำเช่นเดียวกัน

4. เคเบิลปลายทาง (SECONDARY CABLE) กำหนดเป็นเลข 2 ตัว เช่น

01 เป็นลำดับเคเบิลเส้นที่ 1 ที่ออกจากตู้คอยดิน

02 เป็นลำดับเคเบิลเส้นที่ 2 ที่ออกจากตู้คอยดิน

5. ตู้พักปลายทาง (DISTRIBUTION TERMINAL) กำหนดเป็นเลข 3 ตัว เช่น

001 เป็นนัมเบอร์ตู้ที่ 1

002 เป็นนัมเบอร์ตู้ที่ 2

วิธีกำหนดตู้พักปลายทางก็ทำในทำนองเดียวกับการกำหนดตู้คอยดิน เพียงแต่ในตู้คอยดินเดียวกับนัมเบอร์ตู้พักปลายทางจะเริ่มจากตู้ 001, 002 เรื่อย ๆ ไปจนหมดในตู้คอยดินนั้น ถ้าเริ่มตู้คอยดินใหม่ให้เริ่มต้นตู้ 001 ใหม่แล้วเรียงต่อไปเรื่อย ๆ

หมายเหตุ สำหรับในระบบข่ายสายแบบอเมริกันก็ทำในทำนองเดียวกัน คือ เริ่มต้นจากตู้ 001 ในปลายทางของเคเบิลเส้นที่ 01 แล้วเรียงนัมเบอร์ตู้เข้าหาชุมสาย สำหรับในเส้นเคเบิลเส้นที่ 02 ก็ให้เริ่มจากปลายทางแต่นัมเบอร์ตู้ต้องเรียงต่อกันไป ในเส้นเคเบิลอื่นๆ ก็ทำในทำนองเดียวกันจนหมดทั้งชุมสาย

2.3.3.7 วิธีการวางแผนข่ายสายท้องถิ่น

ข้อควรพิจารณาในการวางแผนข่ายทางสาย

1. สถานที่ตั้งชุมสาย
2. ชนิด, ขนาด, สถานที่ตั้งของตู้พักปลายทาง และระยะทางสาย DROP WIRE
3. จำนวนเคเบิลที่แขวนกับ เสาและความโตของเคเบิล (เส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 48.2 mm)
4. ความจำเป็นที่คิดไม้กางเขน
5. ขนาดของสายสะพาน และการพันควบ
6. ขนาดของ LASHING WIRE ที่ใช้พันเคเบิล

7. ควรคำนึงถึงเคเบิลเก่าถ้ามีขนาดเล็กๆ หลายเส้นที่แขวนไปในแนวเดียวกันควรยกเลิกและรวมสายคู่สายเข้ามาเป็นเคเบิลใหญ่เพียงสายเดียว
8. สถานที่ที่จะทำ RISER
9. สถานที่ที่จะลง GROUND
10. สถานที่ตั้งตู้คอยคิน และขนาดของตู้คอยคิน
11. แนวทางสายใต้ดิน (CONDUCT ROUTE)
12. สถานที่ปักเสา, ขนาดเสา และความสูงของเคเบิลที่เสา
13. ระยะห่างระหว่างเคเบิลและสายไฟฟ้า
14. ควรพิจารณาถึง TRANSSSION และ SIGNALLING ของทางสาย

ตารางที่ 2.5 แสดงขนาดของที่ใช้พันเคเบิล

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเคเบิล	ขนาด LASHING WIER	1 ม้วนพันได้ระยะทาง
0.1 " – 1 "	0.045 "	200 เมตร
1 " – 2 "	0.045 "	170 เมตร
2 " – 3 "	0.045 "	120 เมตร

ถ้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเคเบิล 2 "- 3 " ถ้าใช้ LASHING WIRE 0.045 " ให้พัน LASHING WIER 2 เส้น ถ้าใช้ LASHING WIRE 0.065 " ใช้ LASHING WIRE 1 เส้น

ตารางที่ 2.6 แสดงระยะห่างระหว่างเคเบิลและสายไฟฟ้า

ขนาดของแรงดัน(กิโลโวลต์)	ระยะห่าง(เมตร)
<1	1.20
11,22,33	1.80
69	2.10
115	2.60
230	4.10

วิธีดำเนินการในการวางแผนข่ายทางสาย

1. ควรศึกษาแผนที่บริเวณชุมสาย และทำการออกสำรวจปริมาณความต้องการของผู้เช่า
2. ทำการหาที่ตั้งชุมสาย (WIRE CENTRE)

3. ทำการรวมผู้เช่า (GROUP UP) เพื่อกำหนดขนาดของตู้ปลายทาง โดยแยกผู้เช่าออกเป็นระยะเวลา PRESENT DEMAND, 5 ปี, 10 ปี
4. รวมความต้องการของผู้เช่าแต่ละตู้ปลายทางเพื่อจะได้ขนาดของ SECONDARY CABLE
5. ทำการแบ่งผู้เช่าออกเป็น BLOCK AREA (ประมาณ 300-600 เลขหมาย) เพื่อจะได้ขนาดของ PRIMARY โดยคิดผู้เช่าปีที่ 5 ในระบบยุโรป และปีที่ 10 ในระบบอเมริกัน
6. ร่างแนวทางสาย SECONDARY และ PRIMARY และกำหนดคู่สายของตู้ปลายทาง และกำหนดคู่สายเคเบิล โดยให้คู่สายที่มีคู่สาย (COUNT) ต่ำอยู่ไกลสุดจากชุมสาย และทำการกำหนดขนาดของเคเบิลและกำหนดนับเบอร์ตู้ปลายทาง ตู้คอนดิน รวมทั้งเคเบิล
7. ในบริเวณชุมสายประมาณ 500 เมตร ควรออกแบบเป็นระบบอเมริกัน
8. ควรพิจารณาการออกแบบให้มีการยึดหุ่นตัวของข่ายทางสาย เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงภายในอนาคต
9. ออกหารายละเอียด (DETAIL) ของข่ายทางสายทั้งหมดที่ทำการออกแบบ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประมาณการของใช้ต่าง ๆ ในการทำงาน
10. ทำการกำหนดขนาดของเส้นลวดตัวนำ โดยให้ตัวนำขนาดเล็กเริ่มต้นจากชุมสายแล้วโตขึ้นตามความต้องการ (0.3 , 0.4 , 0.5 , 0.65 , 0.9)
11. กำหนดค่าความต้านทานของทางสายไม่เกิน 1500 โอห์ม และค่าสูญเสียของทางสายไม่ควรเกิน 7 dB (ค่า LOSS)
12. กำหนดระยะทางของการลง GROUND ประมาณ 200 – 250 เมตร และ ค่าความต้านทานไม่ควรเกิน 10 โอห์ม
13. คิดประมาณการค่าแรงและวัสดุต่าง ๆ เพื่อใช้ในการดำเนินการสร้างต่อไป

ข้อห้ามและข้อควรปฏิบัติในการวางแผนข่ายทางสาย

1. ห้ามลง GROUND ร่วมกับ GROUND ของการไฟฟ้า
2. ถ้ามีการลง GROUND ที่เสาไฟฟ้าควรปัก GROUND ROD ห่างจากเสาไฟฟ้าประมาณอย่างน้อย 3 เมตร
3. ถักระยะห่างของเสาไฟฟ้า 50 เมตรในนครหลวง และ 60 – 70 เมตรในภูมิภาคการแขวนสายเคเบิลโทรศัพท์ต้องปักเสา 8 เมตร แซมช่วงระหว่างกลางเสาคู่ นั้น
4. ห้ามแขวนสายเคเบิลโทรศัพท์เสาดันที่มีหม้อแปลงไฟฟ้า
5. ห้ามตั้งตู้ปลายทางเสาดันที่มีหม้อแปลงไฟฟ้า
6. การแขวนสายเคเบิลโทรศัพท์กับเสาไฟฟ้าให้แขวนได้ระดับเดียว ถ้าติดตั้งกับเสาไฟฟ้าโดยตรงห้ามแขวนทั้งสองด้านของเสา (แขวนขนานเสา)

7. เสาที่ปักคร่อมซอย หรือ ถนนที่มีผิวจราจรกว้างพอที่รถบรรทุกขนาดใหญ่สามารถวิ่งเข้าออกได้ ให้ใช้เสาขนาด 10 เมตร เพื่อให้ระดับความสูงของสายเคเบิลจากผิวจราจรตามข้อกำหนด คือ 5.70 เมตร

8. ห้ามทำ CABLE RISER ที่เสาไฟฟ้าทุกขนาด ให้ทำที่เสาองค์การโทรศัพท์ ถ้าจำเป็นต้องปักเสาใหม่ ควรปักเสาทำ RISER ห่างจากเสาไฟฟ้าอย่างน้อย 3 เมตร และให้อยู่แนวเดียวกับเสาไฟฟ้า

9. ตู้ผ่านกับจุดทำ RISER ควรห่างกันประมาณอย่างน้อย 2 เมตร แต่ต้องไม่เกิน 10 เมตร

10. ในบริเวณที่เป็นทางแยกควรกำหนดที่ตั้งตู้ผ่านห่างจากทางแยกอย่างน้อย 20 เมตร

11. ในกรณีทางเท้า ควรตั้งตู้ผ่านห่างจากขอบทางเท้าประมาณ 0.5 – 1 เมตร และให้ความกว้างของตู้ขนานกับถนน

12. ไม่ควรกำหนดจุดตัดต่อเคเบิลให้อยู่กลางสี่แยกหรืออยู่กลางถนน

13. ในการกำหนดจุดปักเสาและตั้งตู้ผ่านหน้าอาคาร ควรกำหนดจุดให้อยู่ในแนวเดียวกับเสาของอาคารหรือจุดต่อระหว่างอาคาร

2.4 หลักการพื้นฐานของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

2.4.1 สัญญาณรูปไซน์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในภาวะอยู่ตัว

เนื่องจากการใช้ไฟฟ้าตามบ้านพักอาศัย จะมีโหลดแบบต่างๆไม่ว่าจะเป็นโหลดแบบ ความต้านทาน (Resistance:R), ขดลวดเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Inductance:L) และโหลดที่เป็นความจุไฟฟ้า (Capacitor:C) ต่ออยู่ด้วยไม่ว่าจะเป็นการต่อโหลดชนิดเดียว หรือต่อแบบอนุกรมและขนาน จึงควรที่จะทราบลักษณะของสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการใช้โหลดจำพวกนี้เสียก่อน เพื่อที่จะนำไปใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องต่อไป

2.4.1.1 สัญญาณรูปไซน์ที่เกิดจากโหลดที่เป็นความต้านทาน พิจารณาจากรูปที่ 2.8 เป็นวงจรไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายให้กับโหลดที่เป็นความต้านทานเพียงอย่างเดียว
วงจรความต้านทานไฟฟ้า (R)

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

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

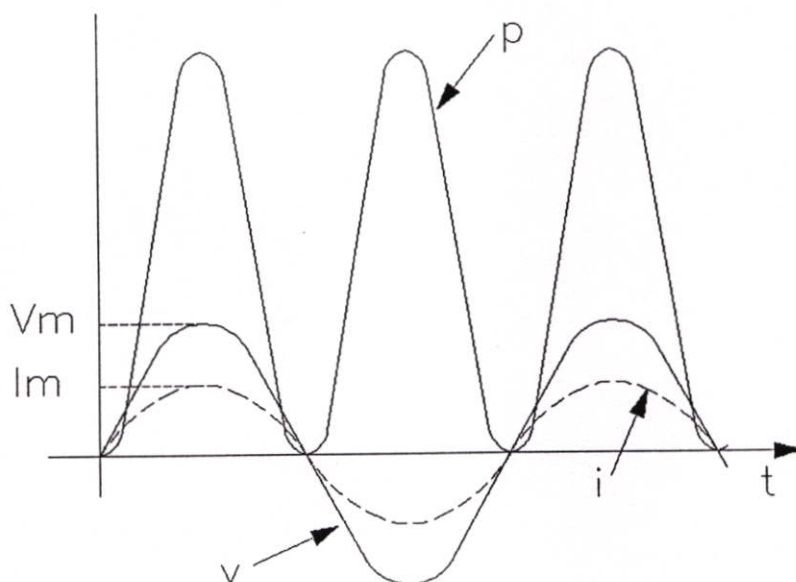
จากสมการที่ 2.1 และ 2.2 และสัญญาณในรูปที่ 2.9 สัญญาณของกระแสและแรงดันจะมีความต่างเฟสเท่ากับศูนย์ ($\theta = 0$) หมายความว่า สัญญาณกระแสจะมีลักษณะเช่นเดียวกับแรงดันเสมอ

นั่นคือ เมื่อแรงดันเป็นศูนย์ กระแสจะเป็นศูนย์ เมื่อแรงดันเป็นค่าบวก กระแสก็จะเป็นค่าบวก และเมื่อแรงดันเป็นค่าลบ กระแสก็จะเป็นลบเช่นเดียวกัน จากเหตุผลดังกล่าว สามารถที่จะหาค่ากำลังไฟฟ้าได้จากสมการดังนี้

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



รูปที่ 2.8 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน

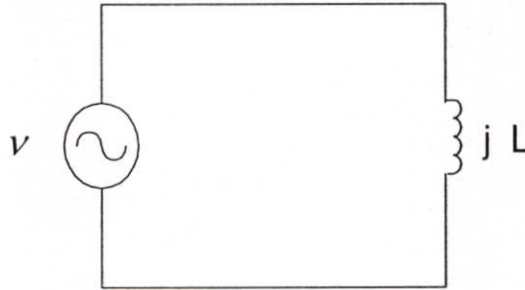


รูปที่ 2.9 สัญญาณรูปคลื่นของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน

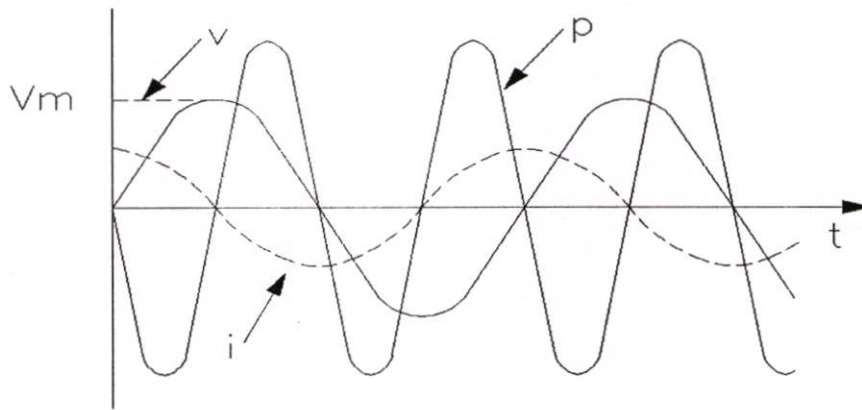
เนื่องจาก $\cos \theta = 1$ ดังนั้น

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

2.4.1.2 สัญญาณรูปไซน์ที่เกิดจากโหนดที่เป็นขดลวดเหนี่ยวนำ จากรูปที่ 2.10 เป็น วงจรไฟฟ้ากระแสสลับจ่ายให้กับโหนดที่เป็นตัวเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียว ในรูปที่ 2.11 จะแสดงให้เห็นถึงรูปสัญญาณที่เกิดขึ้นในวงจรนี้



รูปที่ 2.10 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหนดเป็นขดลวดเหนี่ยวนำ



รูปที่ 2.11 สัญญาณรูปคลื่นของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหนดเป็นขดลวดเหนี่ยวนำ

วงจรความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Inductance :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 2.11 กระแสจะตามหลัง (lag) แรงดันและมีความต่างเฟสเท่ากับ 90° ($\theta = -90^\circ$) หมายความว่า สัญญาณกระแส จะมีลักษณะไม่เหมือนกับแรงดันที่เวลาเดียวกัน นั่นคือ เมื่อแรงดันเป็นศูนย์ กระแสจะมีค่าเป็นบวกหรือลบมากที่สุด เมื่อแรงดันมีค่าเป็นบวกมากที่สุด หรือลบมากที่สุด กระแสก็จะมีค่าเป็นศูนย์

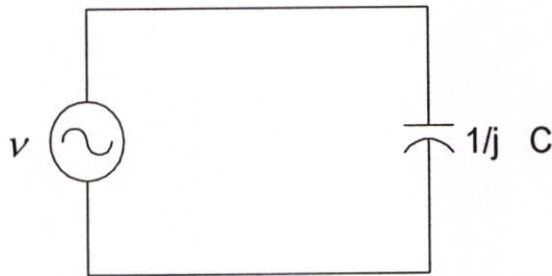
2.4.1.3 สัญญาณรูปไซน์ที่เกิดจากโหลดที่เป็นความจุไฟฟ้า จากรูปที่ 2.12 เป็นวงจรไฟฟ้า กระแสสลับที่จ่ายให้กับโหลดที่เป็นความจุไฟฟ้า ในรูปที่ 2.13 จะแสดงให้เห็นถึงรูปสัญญาณที่เกิดขึ้นในวงจรนี้

วงจรความจุไฟฟ้า (Capacity)

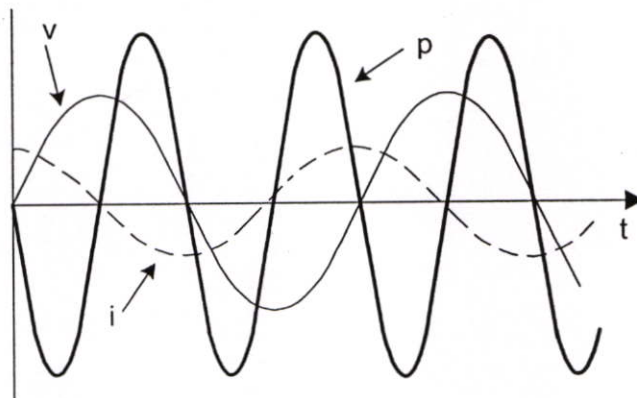
$$v = V_m \sin \omega t \quad (2.7)$$

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

จากสมการที่ 2.7, 2.8 และสัญญาณในรูปที่ 2.12 กระแสจะนำหน้า (lead) แรงดันและมีความต่างเฟสเท่ากับ 90° ($\theta = +90^\circ$) หมายความว่า สัญญาณกระแส จะมีลักษณะไม่เหมือนกับแรงดันที่เวลาเดียวกัน นั่นคือ เมื่อแรงดันเป็นศูนย์ กระแสจะมีค่าเป็นบวกหรือลบมากที่สุด เมื่อแรงดันมีค่าเป็นบวกมากที่สุด หรือลบมากที่สุด กระแสก็จะมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งเหมือนกับกรณีวงจรที่เป็นความเหนี่ยวนำไฟฟ้า แต่จะแตกต่างกันในลักษณะที่สัญญาณกระแสจะนำหน้าแรงดัน



รูปที่ 2.12 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นความจุไฟฟ้า

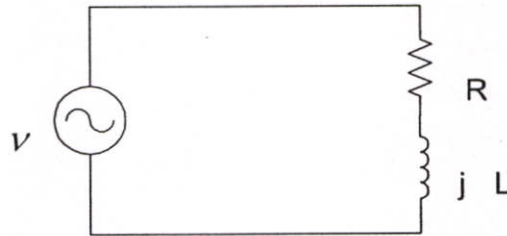


รูปที่ 2.13 รูปคลื่นของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นความจุไฟฟ้า

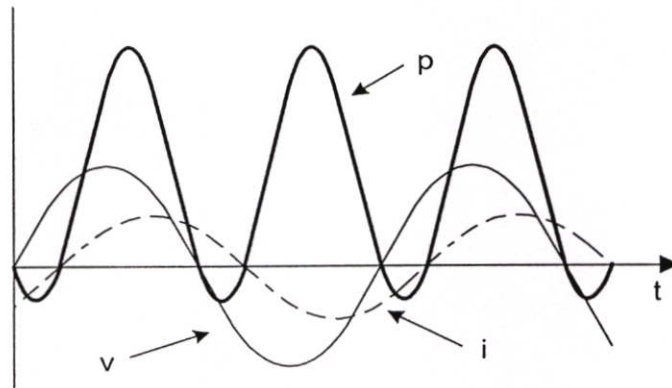
2.4.1.4 สัญญาณรูปไซน์ที่เกิดจากโหลดที่เป็นความต้านทานและขดลวดเหนี่ยวนำ (R-L) จากรูปที่ 2.14 เป็นวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายให้กับโหลดที่เป็นความต้านทาน และขดลวดเหนี่ยวนำต่ออนุกรมอยู่ด้วยกัน ในรูปที่ 2.15 จะแสดงให้เห็นถึงรูปสัญญาณที่เกิดขึ้นในวงจรนี้ วงจรอนุกรม (R-L)

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

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



รูปที่ 2.14 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นความต้านทานและขดลวดเหนี่ยวนำ



รูปที่ 2.15 สัญญาณรูปคลื่นของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นความต้านทานและขดลวดเหนี่ยวนำ

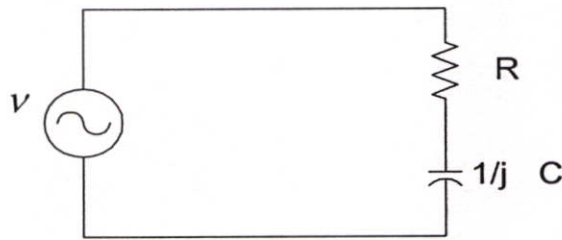
จากสมการที่ 2.9, 2.10 และสัญญาณในรูปที่ 2.15 จะเห็นได้ว่ากระแสจะตามหลังแรงดัน และมีความต่างเฟส (θ) เท่ากับ $-\tan^{-1} \omega L/R$ เนื่องมาจาก วงจรเป็นลักษณะของค่าความต้านทานและความเหนี่ยวนำไฟฟ้า ซึ่งมุมของความต่างเฟสนี้จะมีค่ามากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนของค่า ωL กับค่า R เช่น ถ้าค่า $\omega L \ll R$ มุม θ จะเข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่ามีลักษณะเป็นความต้านทานไฟฟ้ามากกว่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า และถ้าค่า $\omega L \gg R$ มุม θ จะเข้าใกล้ 90° แสดงว่ามีลักษณะเป็นความเหนี่ยวนำไฟฟ้ามากกว่าความต้านทานไฟฟ้า

2.4.1.5 สัญญาณรูปไซน์ที่เกิดจากโหนดที่เป็นความต้านทานและความจุไฟฟ้า (R-C) จากรูปที่ 2.16 เป็นวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายให้กับโหนดที่เป็นความต้านทาน และความจุไฟฟ้าต่ออนุกรมอยู่ด้วยกัน ในรูปที่ 2.17 จะแสดงให้เห็นถึงรูปสัญญาณที่เกิดขึ้นในวงจรนี้ วงจรอนุกรม (R-C)

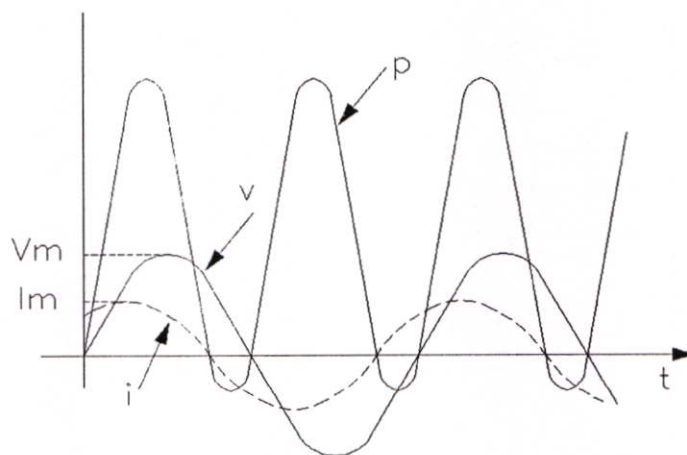
$$v = V_m \sin \omega t \quad (2.11)$$

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

จากสมการที่ 2.11, 2.12 และสัญญาณในรูปที่ 2.17 จะเห็นได้ว่ากระแสจะตามหลังแรงดัน และมีความต่างเฟส (θ) เท่ากับ $\tan^{-1} 1/\omega CR$ เนื่องจาก วงจรเป็นลักษณะของค่าความต้านทานและความจุไฟฟ้า ซึ่งมุมของความต่างเฟสนี้จะมีค่ามากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนของค่า $1/\omega C$ กับค่า R เช่น ถ้าค่า $1/\omega C \ll R$ มุม θ จะเข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่ามีลักษณะเป็นความต้านทาน-



รูปที่ 2.16 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหนดเป็นความต้านทานและความจุไฟฟ้า



รูปที่ 2.17 สัญญาณรูปคลื่นของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหนดเป็นความต้านทานและความจุไฟฟ้า

ไฟฟ้ามากกว่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า และถ้าค่า $1/\omega C \gg R$ มุม θ จะเข้าใกล้ 90° แสดงว่ามีลักษณะเป็นความจุไฟฟ้ามากกว่าความต้านทานไฟฟ้า

ความสัมพันธ์ของสมการแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วยความต้านทานไฟฟ้า, ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า และความจุไฟฟ้า เมื่อกำหนดให้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นรูปไซน์ สมการกระแสไฟฟ้าที่ได้จะแสดงในตารางที่ 2.7 และเมื่อกำหนดให้สัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นรูปไซน์ สมการแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นรูปไซน์

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 2.8 แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นรูปไซน์

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	$V_C = \frac{1}{C} \int i dt$	$V_C = \frac{I_m}{\omega C} (-\cos \omega t)$	$V_C = \frac{I_m}{\omega C} \sin \omega t$

2.4.2 กำลังไฟฟ้าและค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าเป็นสิ่งที่ต้องเกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้าซึ่งเป็นผลมาจากค่าแรงดัน และกระแสไฟฟ้า พิจารณาจากรูปที่ 2.18 เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้า v ให้กับวงจรจะทำให้เกิดค่ากระแสไฟฟ้า i ขึ้น โดยขนาดของกระแสจะขึ้นอยู่กับลักษณะของส่วนประกอบต่างๆ ในวงจร ซึ่งผลคูณของแรงดันและกระแสไฟฟ้า ที่เวลาใดเวลาหนึ่งจะเป็นค่ากำลังไฟฟ้าชั่วขณะ (p) ดังสมการที่ 2.13

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

กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ (p) จะมีค่าเป็นบวกหรือลบ จะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่จะพิจารณา ถ้ากำลังไฟฟ้าชั่วขณะ มีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่าพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดจ่ายให้กับวงจรไฟฟ้า และถ้า

ค่ากำลังไฟฟ้าชั่วขณะ มีค่าเป็นลบ แสดงให้เห็นว่าพลังงานไฟฟ้าจากวงจรไฟฟ้า จ่ายกลับให้แหล่งกำเนิด

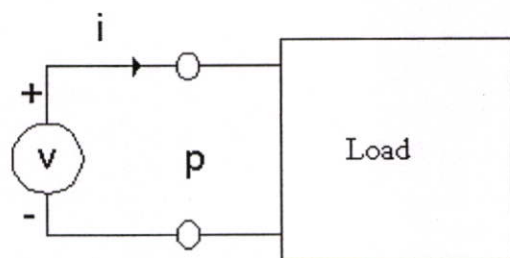
2.4.2.1 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power: P) ซึ่งบางครั้งจะเรียกว่ากำลังแอกทีฟ (Active power) หรือ กำลังไฟฟ้าจริง (True power) ในกรณีที่วงจรไฟฟ้าเป็นค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่เป็นฟังก์ชันไซน์ ดังสมการที่ 2.5 สัญญาณกระแสในวงจร จะอยู่ในรูปสมการดังนี้

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

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 2.18 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

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

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

ดังนั้นวงจรไฟฟ้าที่มีส่วนประกอบต่างๆ ค่ากำลังไฟฟ้าชั่วขณะจะอยู่ในรูปสมการ

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

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

2.4.2.2 กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent power: S) จากลักษณะการเกิดค่ากำลังไฟฟ้าในวงจรที่มีส่วนประกอบต่างๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะกำหนดให้ผลคูณของค่าประสิทธิภาพของแรงดันกับกระแสไฟฟ้า จะเรียกชื่อว่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ มีหน่วยเป็น โวลต์-แอมแปร์ (VA)

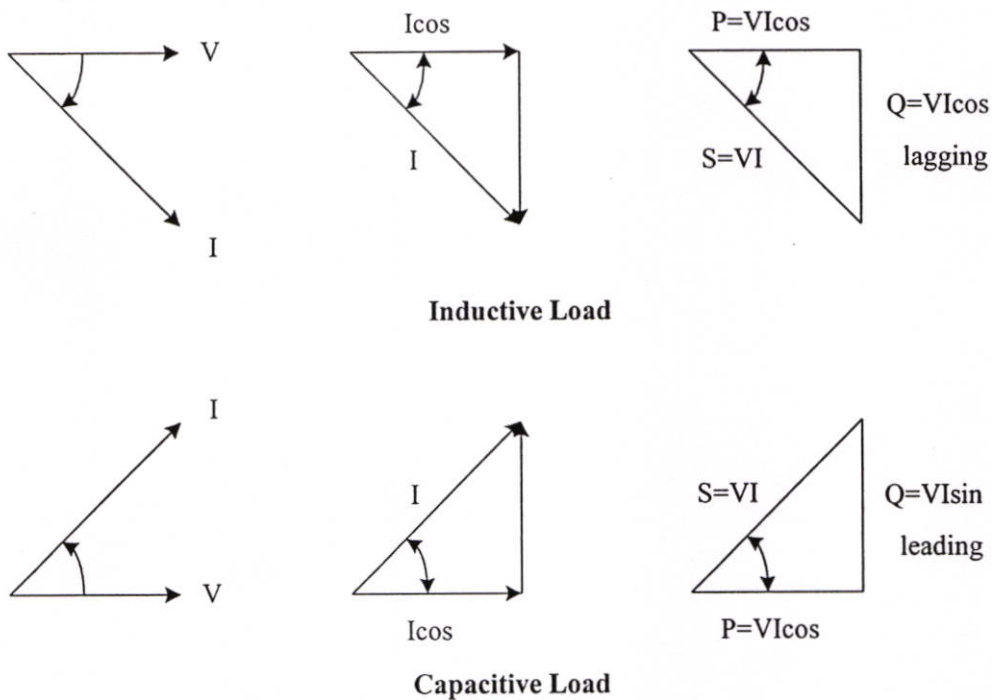
$$S = VI \quad (2.22)$$

เมื่อ V คือ แรงดันอาร์เอ็มเอส(V_{rms})

I คือ กระแสอาร์เอ็มเอส(I_{rms})

2.4.2.3 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 2.19 ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้า S , P และ Q

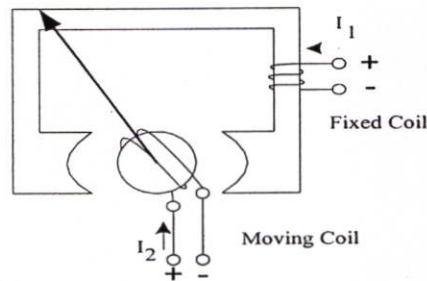
รูปที่ 2.19 แสดงให้เห็นถึง ความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ, กำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือน สามารถที่จะแสดงให้อยู่ในรูปของสามเหลี่ยมมุมฉากได้ ซึ่งเรียกว่า สามเหลี่ยมกำลัง (Power triangle)

2.5 เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า

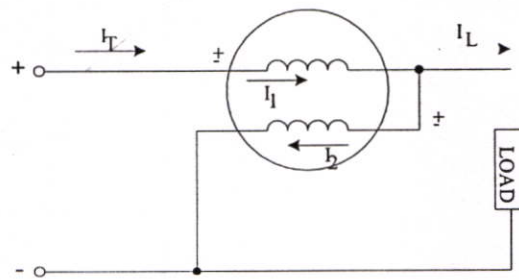
การที่จะหาขนาดของกำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน จะใช้วัตต์มิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งในปัจจุบันก็มีวัตต์มิเตอร์อยู่มากมายหลายแบบหลายแบบ เช่น วัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนามิก, วัตต์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า ซึ่งมีการนำหลักการของมิเตอร์เหล่านี้ไปประยุกต์ใช้งานสามารถที่จะนำมาใช้หาจำนวนหน่วยการใช้งานหรือที่เรียกว่า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

2.5.1 วัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนามิก (Electro Dynamic Wattmeter)

โครงสร้างของวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนามิกจะประกอบด้วยขดลวด 2 ขด ขดหนึ่งเป็นขดลวดเคลื่อนที่ (Moving Coil) อีกขดหนึ่งคือขดลวดอยู่กับที่ (Fixed Coil) ขดลวดทั้ง 2 จะมีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของเข็มชี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 โครงสร้างของวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนามิก



รูปที่ 2.21 การต่อวัตต์มิเตอร์เข้ากับโหลด

จากรูปที่ 2.21 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

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

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

$$I_2 \text{ แปรผัน } V_s \quad (2.27)$$

$$\text{ดังนั้น การเบี่ยงเบนของเข็มแปรผันกับ } I_T V_s \quad (2.28)$$

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

$$\text{การเบี่ยงเบนของเข็มแปรผันตาม } P \quad (2.30)$$

ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง กำลังที่วัดได้ก็คือผลคูณของแรงดันและกระแส ดังนั้นแรงบิดเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังไฟฟ้า แต่สำหรับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับนั้นแรงบิดเบี่ยงเบนชั่วขณะหนึ่งจะมีค่าดังนี้

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

T_{inst} = แรงบิดเบี่ยงเบนชั่วขณะหนึ่ง

เมื่อ v = ค่าแรงดันชั่วขณะที่ป้อนให้กับขดลวดเคลื่อนที่

i = ค่ากระแสชั่วขณะที่ไหลผ่านขดลวดอยู่กับที่

เนื่องจากวัตต์มิเตอร์จะวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย (Average power) ดังนั้น

$$\text{แรงบิดเบี่ยงเบนเฉลี่ย } T_m = \text{ค่าเฉลี่ยของ } vi \quad (2.32)$$

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

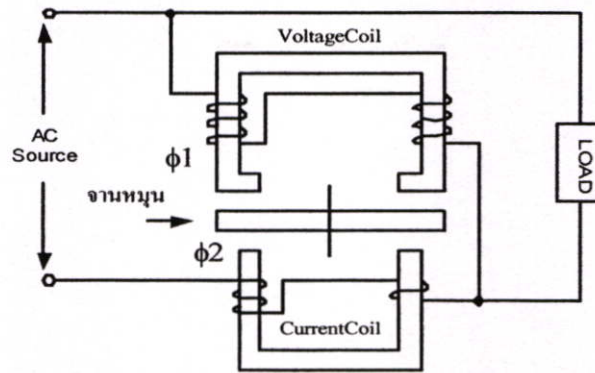
$$i = I_{\max} \sin(\theta - \phi) \quad (2.34)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad T_m = VI \cos \phi \quad (2.35)$$

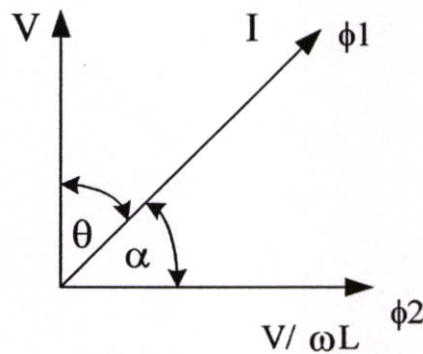
จะเห็นว่า เมื่อวัดคีมเตอร์ใช้วัดกำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ค่าแรงบิดเฉลี่ย T_m จะแปรผันโดยตรงกับค่า $VI \cos \phi$ หรือกำลังไฟฟ้า วัดคีมเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนามิกนี้ สามารถนำไปวัดได้ทั้งกำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ เพราะว่าขดลวดทั้งสองสามารถใช้ได้ทั้งวงจรไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ แต่ต้องระวังไม่ให้กระแสที่ไหลผ่านขดลวดกระแสเกินกว่าพิกัดด้วย ในการวัดจึงควรมีเครื่องวัดกระแสต่อร่วมอยู่ด้วย เพื่อเป็นตัวแสดงค่าของกระแสทั้งหมดที่ผ่านขดลวดกระแสของวัดคีมเตอร์

2.5.2 วัดคีมเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Induction Wattmeter)

วัดคีมเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้านี้ ทำงานโดยอาศัยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กที่เกิดขึ้นกับจานหมุนเมื่อขดลวดกระแส (Current Coil) และขดลวดแรงดัน (Voltage Coil) ได้รับกระแส และทำให้เกิดการเหนี่ยวนำกับจานหมุนซึ่งติดตั้งเข็มชี้ไว้ เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านโพลที่ทำการวัด ขดลวดกระแสจะสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_1 ขึ้นมา ดังนั้น ϕ_1 จึงแปรผันกับกระแส (I) และมีเฟสเดียวกับกระแสด้วย ถ้ากระแสของโพล (Current: I) ถ้าหลังแรงดัน (Voltage: V) ด้วยมุม θ เส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_1 ก็จะล่าหลังด้วยมุม θ ด้วยเช่นกัน ส่วนขดลวดแรงดันจะออกแบบให้มีอินดักแตนซ์ (Inductance :L) สูงมาก ทำให้ความต้านทานของขดลวดแรงดันมีค่าน้อยมาก ซึ่งขดลวดแรงดันนี้จะต่อขนานกับแรงดัน ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านจึงแปรผันกับ $\frac{V}{\omega L}$ และกระแสไฟฟ้าจำนวนนี้จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_2 ขึ้นมา เมื่อกระแสไหลผ่านขดลวดแรงดันมุมที่ได้จะล่าหลังด้วยมุม 90 องศา ดังนั้น ϕ_2 จึงล่าหลังหรือมีมุมต่างเฟสกับแรงดันด้วยมุม 90 องศาด้วย ดังนั้น ϕ_2 จึงแปรผันกับ $\frac{V}{\omega L}$ ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.22 โครงสร้างของวัตต์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า



รูปที่ 2.23 ลักษณะของมุมที่เกิดขึ้นในวัตต์มิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า

แรงบิดเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นบนจานอลูมิเนียมของวัตต์มิเตอร์แบบนี้ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

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

$$T = VI \cos \theta \quad (2.38)$$

$$T = \text{กำลังไฟฟ้าของโหลด} \quad (2.39)$$

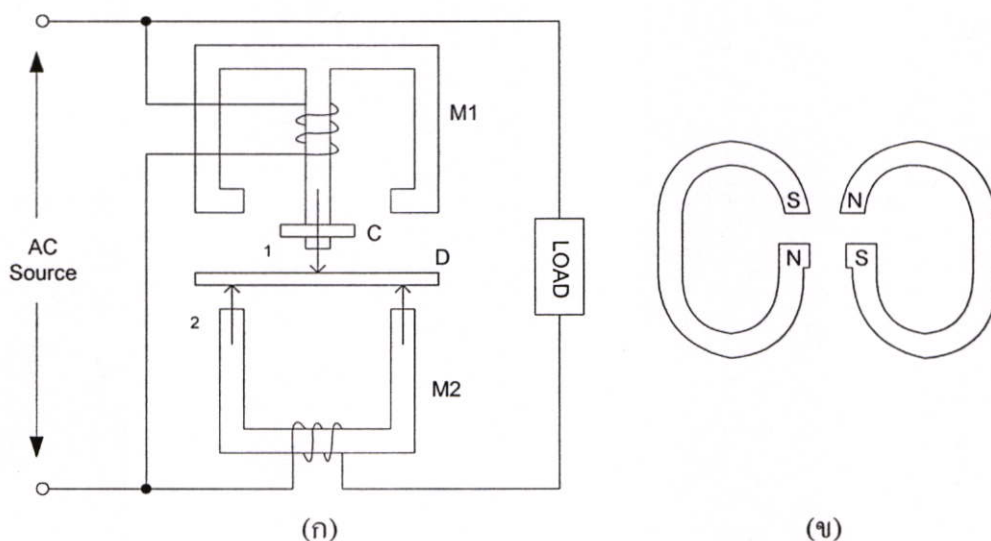
จะเห็นได้ว่า แรงบิดเบี่ยงเบนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังไฟฟ้าของโหลด และเมื่อใช้สปริงเป็นตัวทำให้เกิดแรงบิดควบคุม ดังนั้น T_c จะแปรผันตรงกับ θ เมื่อเข็มชี้หยุดนิ่งแล้ว

θ แปรผันกับกำลังไฟฟ้าของโหลด (Power) หมายความว่า มุมที่เข็มชี้เบี่ยงเบนไปนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ

2.5.3 วัดค่าชั่วโมงมิเตอร์เฟสเดียวแบบอาศัยการเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Induction type single phase watt-hour meter)

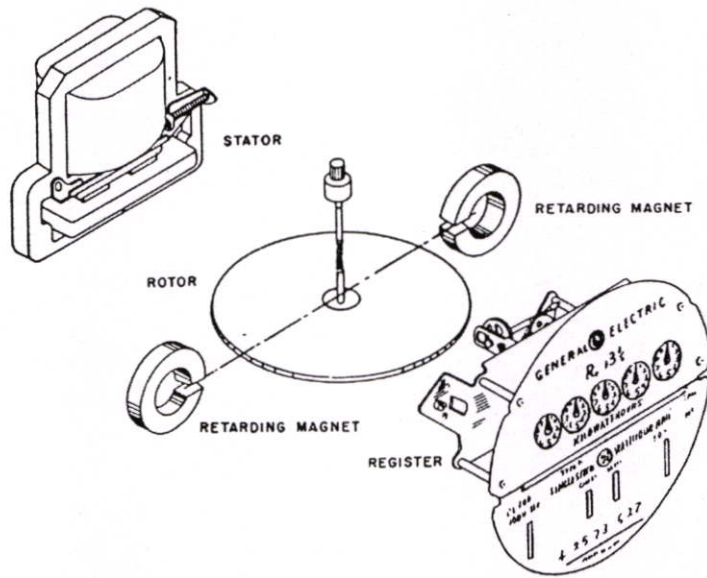
เครื่องวัดค่าชั่วโมงมิเตอร์เฟสเดียวแบบอาศัยการเหนี่ยวนำไฟฟ้านี้ จะอาศัยหลักการการทำงานเหมือนกับวัดค่าชั่วโมงมิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่ได้กล่าวมาก่อนหน้า แต่เครื่องนี้จะสามารถวัดพลังงานไฟฟ้าในหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง หรือจำนวนยูนิตได้ ซึ่งจะมีส่วนประกอบที่เหมือนกันก็คือ ขดลวดกระแส และขดลวดแรงดัน ส่วนที่แตกต่างกันออกไปคือ ในเครื่องวัดค่าชั่วโมงมิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้าจะใช้สปริงและเข็มชี้ แต่ในวัดค่าชั่วโมงมิเตอร์จะใช้แม่เหล็กหน่วงและชุดของเฟืองในการทำงาน แม่เหล็กหน่วงจะทำให้เกิดกระแสไหลวนขึ้นในจานอลูมิเนียมที่หมุนตลอดเวลา แทนที่จะให้จานเคลื่อนไปเป็นมุมหนึ่งมุมใดเหมือนวัดค่าชั่วโมงมิเตอร์

ในรูปที่ 2.24 จะแสดงถึงส่วนประกอบของวัดค่าชั่วโมงมิเตอร์แบบนี้ 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 ϕ_2 ขึ้นมา และแม่เหล็ก M_1 จะสร้างเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_1 ขึ้นมา ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ϕ_2 จะแปรผันโดยตรงกับกระแสของโหลด และมีเฟสเดียวกับกับ



รูปที่ 2.24 (ก) แสดงภาพโครงสร้างของวัดค่าชั่วโมงมิเตอร์แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า

(ข) แสดงภาพแม่เหล็กหน่วง



รูปที่ 2.25 ส่วนประกอบภายในของกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์

กระแสด้วย ส่วน ϕ_1 จะแปรผันโดยตรงกับแรงดันของโหลด และมีมุมต่างเฟส 90 องศา ซึ่งจะล่าหลังกับแรงดันของโหลด มุมต่างเฟสนี้สามารถที่จะปรับแต่งได้โดยการปรับตำแหน่งของแหวนทองแดง C ที่สวมอยู่ที่แกนกลางของแม่เหล็กขานาน M_1

เส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_1 ส่วนใหญ่จะเคลื่อนผ่านช่องว่างไปยังแกนด้านข้างของแม่เหล็ก M_1 แต่มีเส้นแรงแม่เหล็กอีกจำนวนหนึ่งซึ่งมีจำนวนน้อยที่เคลื่อนที่ผ่านแกน D และเป็นเส้นแรงแม่เหล็กส่วนที่ทำให้เกิดแรงบิดเบี่ยงเบนขึ้น เส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_1 และ ϕ_2 จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในแกน D และจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลวนขึ้นในแกน D ด้วย ปฏิสัมพันธ์ระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองจำนวนกับกระแสไหลวนทั้งสอง จะทำให้เกิดแรงบิด หรือแรงขับขึ้นที่แกน D ส่วนแรงหน่วงหรือแรงบิดควบคุม เกิดขึ้นได้จากแม่เหล็กถาวรหนึ่งคู่ดังรูปที่ 2.23 (ข) ซึ่งติดตั้งเป็นแนวเส้นตรงตามแนวเส้นผ่าศูนย์กลางของแกน และให้มีทิศทางของอำนาจแม่เหล็กต้านกันกับอำนาจแม่เหล็กของ M_1 และ M_2 ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะลดปฏิสัมพันธ์ระหว่างอำนาจแม่เหล็กของ M_1 และ M_2

เมื่อขอบของแกน D เคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างขั้ว N และ S ของแม่เหล็กหน่วง จะทำให้เกิดกระแสไฟไหลวนเหนี่ยวนำขึ้นในแกน กระแสไฟจำนวนนี้จะทำให้เกิดแรงหน่วงขึ้น ซึ่งแรงหน่วง T_B จะมีค่าดังนี้

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

เนื่องจาก ϕ และ r จะมีค่าคงที่เสมอ

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

- เมื่อ ϕ คือ เส้นแรงแม่เหล็กของแม่เหล็กหมุน
 N คือ ความเร็วของจานหมุน
 R คือ ความต้านทานของวงจรกระแสไหลวนในจาน

ดังที่ได้อธิบายมาก่อนหน้านี้แล้วว่า แรงบิดเบี่ยงเบนหรือแรงขับของเครื่องวัดแบบนี้จะเป็นสัดส่วนกับกำลังของไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้านั้นๆ

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

เมื่อความเร็วของเครื่องวัดคงที่

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

จากสมการที่ 2.37 และ 2.38

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

$$T_d = \text{กำลังไฟฟ้า (Watt: W)} \quad (2.45)$$

หรือ

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

ดังนั้น

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

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

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

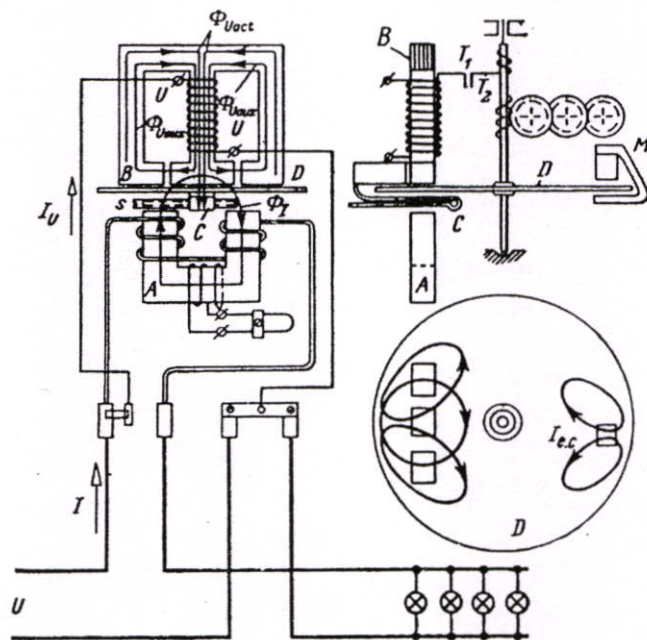
เมื่อ K คือ ค่าคงที่ของเครื่องวัด (จำนวนรอบ/กิโลวัตต์ชม.)

2.5.4 ดิจิตอลกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์

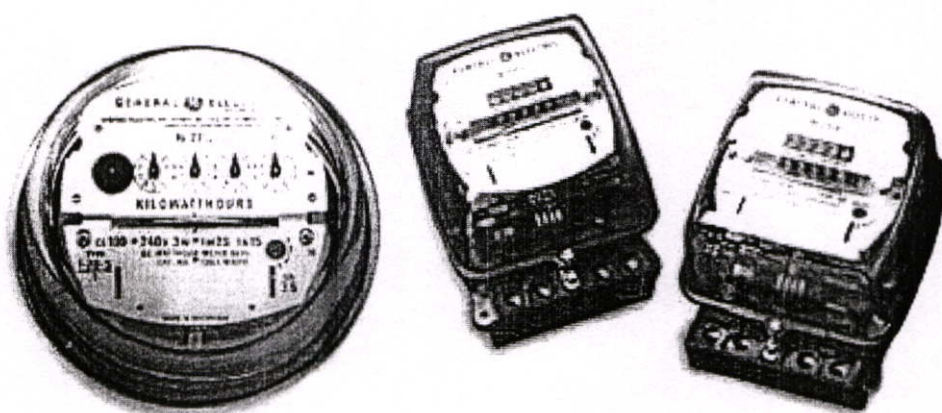
ในปัจจุบันเริ่มมีการเปลี่ยนจากกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์แบบเหนี่ยวนำ มาใช้เป็นแบบดิจิตอลกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ ซึ่งมีเตอร์แบบนี้มีความสามารถในการทำงานเพิ่มขึ้นมากมาย เช่น สามารถที่จะแสดงค่าต่างๆบนหน้าจอได้ ไม่ว่าจะเป็นค่าแรงดัน (Volt), กระแส (Current: I), ความถี่ (Frequency :f), วัตต์ (Watt), จำนวนหน่วยการใช้งาน (Kk.h) เป็นต้น ทำให้ผู้ใช้งานทราบปริมาณการใช้ไฟในที่ต่างๆได้อย่างสะดวก นำไปสู่การคำนวณหาความต้องการทางไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆได้

อย่างถูกต้องมากขึ้น ทำให้ผู้ใช้สามารถจัดความจำเป็นในการใช้ไฟฟ้าได้ตามความต้องการ ในแต่ละช่วงเวลาได้อย่างเหมาะสม

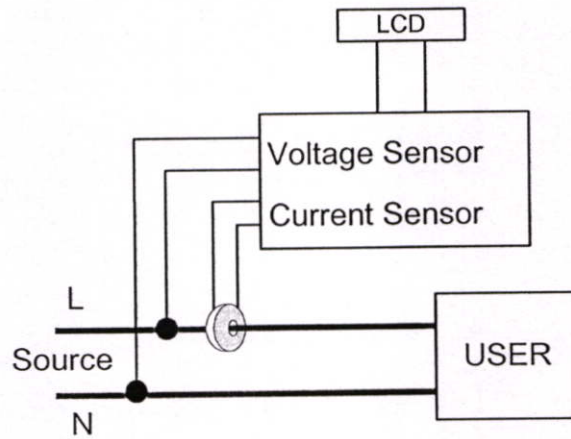
รูปที่ 2.26 แสดงให้เห็นถึงหลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องคิตติคอลกิโวลต์คัทซ์ชั่วโมงมิเตอร์ โดยทั่วไป จะนำสัญญาณแรงดัน และสัญญาณกระแส เข้ามายังไมโครคอนโทรเลอร์เพื่อทำการคำนวณค่าต่างๆออกมา จากนั้นจะนำค่าที่คำนวณได้นี้ มาแสดงบนหน้าจอแสดงผล เพื่อให้ผู้ใช้งานได้ทราบค่าต่างๆที่ต้องการได้อย่างสะดวก



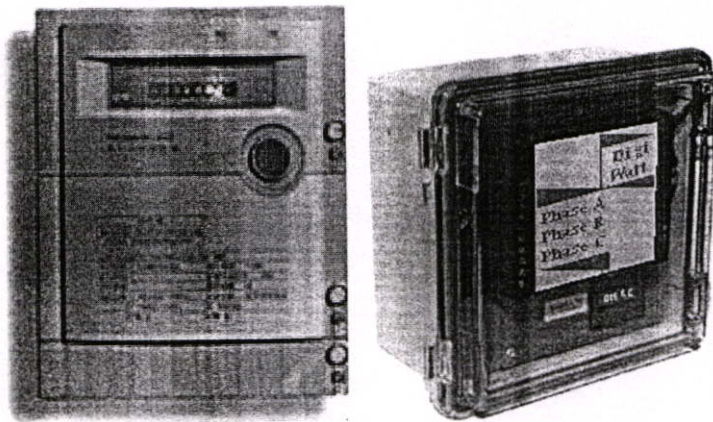
รูปที่ 2.26 วงจรการต่อกิโวลต์คัทซ์ชั่วโมงมิเตอร์แบบหนึ่งเฟส



รูปที่ 2.27 กิโวลต์คัทซ์ชั่วโมงมิเตอร์แบบเหนี่ยวนำ



รูปที่ 2.28 หลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องดิจิทัลกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์



รูปที่ 2.29 เครื่องดิจิทัลกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์

เครื่องดิจิทัลกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่ ถึงแม้จะมีความสามารถต่างๆ เพิ่มขึ้นมาก แต่ก็ทำได้เพียงแค่แสดงค่าต่างๆ ได้เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ไม่สามารถทำการจ่ายเงินและตัดต่อไฟฟ้าได้ เครื่องกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาให้สามารถทำการคำนวณหาจำนวนหน่วยการใช้งาน, ค่าไฟฟ้า และสามารถทำการชำระเงินได้อีกด้วย ซึ่งที่กล่าวมานี้จะรวมทั้งหมดอยู่ภายในเครื่องเดียว ทำให้ช่วยลดขั้นตอนและต้นทุนในการดำเนินการต่างๆ ได้อย่างมาก

บทที่ 3

การออกแบบและหลักการทำงาน

3.1 บทนำ

ในงานวิจัยนี้ ได้แบ่งการทำงานของระบบออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ โครงข่ายคู่สายเช่า (Leased Line Network ; DDN: Digital data Network) เครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ (Kilo Watt-Hour Meter) และเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร (Ft Changer Machine) โดยที่เครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ จะทำการหาค่าต่างๆออกมาเพื่อนำมาคำนวณหาจำนวนยูนิต และค่าไฟฟ้าที่ใช้ไป เพื่อที่จะนำไปหักกับยอดเงินที่มีอยู่ในเครื่อง ส่วนเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร จะมีหน้าที่ส่งข้อมูลของค่าอัตราผันแปรที่เปลี่ยนแปลง (Ft), วัน/เดือน/ปี เรียกค่าต่างๆ และเวลา ผ่านโครงข่ายคู่สายเช่าไปยังเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์เพื่อทำการเปลี่ยนข้อมูลเหล่านั้นให้ถูกต้องตามต้องการ และยังสามารถเพิ่มจำนวนเงินเข้าไปในบัตรสมาร์ตการ์ดได้อีกด้วย

3.2 โครงข่ายคู่สายเช่า

การทำงานของโครงข่ายคู่สายเช่า เครื่องมาสเตอร์ที่ต้นทางจะรับ-ส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ต RS - 485 และตัวคอนเวอร์เตอร์ เพื่อแปลงพอร์ต RS - 485 ไปเป็นพอร์ต RS -232 ไปยังตัวเครื่องเอ็มทียูแล้วส่งผ่าน ทางโครงข่ายคู่สายเช่าดีดีเอ็น ไปยังเครื่องลูกข่ายที่ปลายทาง ดังรูปที่ 3.1

3.2.1 ลักษณะของบริการคู่สายเช่า

ผู้ใช้บริการ ได้รับการกำหนดเส้นทางการเชื่อมโยง จากต้นทางถึงปลายทางในโครงข่ายดีดีเอ็น ใว้อย่างถาวร

สัญญาณจากผู้ใช้บริการจะวิ่งผ่านเส้นทางใดบ้าง และใช้ช่องสัญญาณไหน ได้รับการกำหนดไว้ตามตัวตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทาง ผู้อื่นไม่สามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณนั้น ๆ ได้ เส้นทางได้รับการกำหนดไว้คงที่แล้ว ผู้ใช้บริการสามารถส่งผ่านข้อมูลได้ทุกเวลาที่ต้องการ ไม่ต้องทำการหมุนเลขหมายก่อนไม่มีปัญหาช่องสัญญาณ ไม่ว่าจะความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลขึ้นอยู่กับความเร็วที่ขอใช้บริการ

3.2.2รูปแบบการให้บริการคู่สายเช่า

1. บริการคู่สายเช่าแบบส่งผ่านข้อมูลแบบต่อจุด หรือ Point to Point

1.1 เชื่อมเครือข่ายคอมพิวเตอร์ระหว่างสำนักงานสาขาต่างๆ กับสำนักงานใหญ่โดยตรงเพื่อให้สามารถส่งผ่านข้อมูลระหว่างกันได้

1.2 บริษัททั่วไปเชื่อมต่อ Internet ผ่านผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต หรือ ISP เป็นการส่งผ่านข้อมูลจะเป็นแบบ 2 ทาง เหมาะกับการ online ข้อมูล แบบต่อเนื่องเป็นประจำ ความเร็วคงที่

2.บริการคู่สายเช่าแบบจุดต่อหลายจุด หรือ Point to Multipoint

2.1 การเชื่อมต่อแบบ Fan – Out เป็นการเชื่อมต่อ สำนักงานใหญ่ กับสาขาได้มากกว่า 1 แห่ง ตามที่ต้องการได้ เช่น ตู้ ATM (สื่อสาร 2 ทาง)

2.2 การเชื่อมต่อแบบ Broadcast เป็นการสื่อสารแบบทางเดียว โดยสถานีควบคุมกลาง จะส่งข้อมูลแบบกระจายออกไปให้สาขาต่าง ๆ พร้อม ๆ กัน เช่น การควบคุมสัญญาณจราจร (สื่อสารทางเดียว พร้อมกัน)

3.ขนาดความเร็วของคู่สายเช่า

- 3.1 ขนาดความเร็ว 9.6 Kb/s
- 3.2 ขนาดความเร็ว 19.2 Kb/s
- 3.3 ขนาดความเร็ว 64 Kb/s
- 3.4 ขนาดความเร็ว 128 Kb/s
- 3.5 ขนาดความเร็ว 192 Kb/s
- 3.6 ขนาดความเร็ว 256 Kb/s
- 3.7 ขนาดความเร็ว 384 Kb/s
- 3.8 ขนาดความเร็ว 512 Kb/s
- 3.9 ขนาดความเร็ว 786 Kb/s
- 3.10 ขนาดความเร็ว 1.024 Mb/s
- 3.11 ขนาดความเร็ว 1.536 Mb/s
- 3.12 ขนาดความเร็ว 2.048 Mb/s
- 3.13 ขนาดความเร็ว 8 Mb/s
- 3.14 ขนาดความเร็ว 34 Mb/s
- 3.15 ขนาดความเร็ว 140 Mb/s

3.2.3 หลักการทำงานของดีดีเอ็น

อุปกรณ์ รับ-ส่งข้อมูลของผู้ใช้บริการ ทั้งต้นทางและปลายทางหรือ Router Network Terminal Unit (NTU) จะแปลงสัญญาณและเชื่อมโยงผู้ใช้เข้ากับโครงข่าย จัดอยู่ในประของคู่สายเช่าและวงจรเช่าระบบดิจิทัล ซึ่งเกิดจากการนำเอาโครงข่ายหลักขององค์การโทรศัพท์(TOT) ที่ระดับความเร็ว 2 Mb/s(IE1) มาสร้างเป็นโครงข่ายสื่อสารไว้รับส่งข้อมูลแบบดิจิทัล ที่สนอง

ความต้องการใช้งานของผู้ใช้งาน ซึ่งระดับความเร็วสามารถผู้ใช้สามารถเลือกใช้ได้ตามความต้องการ คือ

- 1.ขนาดความเร็ว 9.6 Kb/s
- 2.ขนาดความเร็ว 64 Kb/s
- 3.ขนาดความเร็ว 128 Kb/s
- 4.ขนาดความเร็ว 256 Kb/s
- 5.ขนาดความเร็ว 512 Kb/s
- 6.ขนาดความเร็ว 1 Mb/s

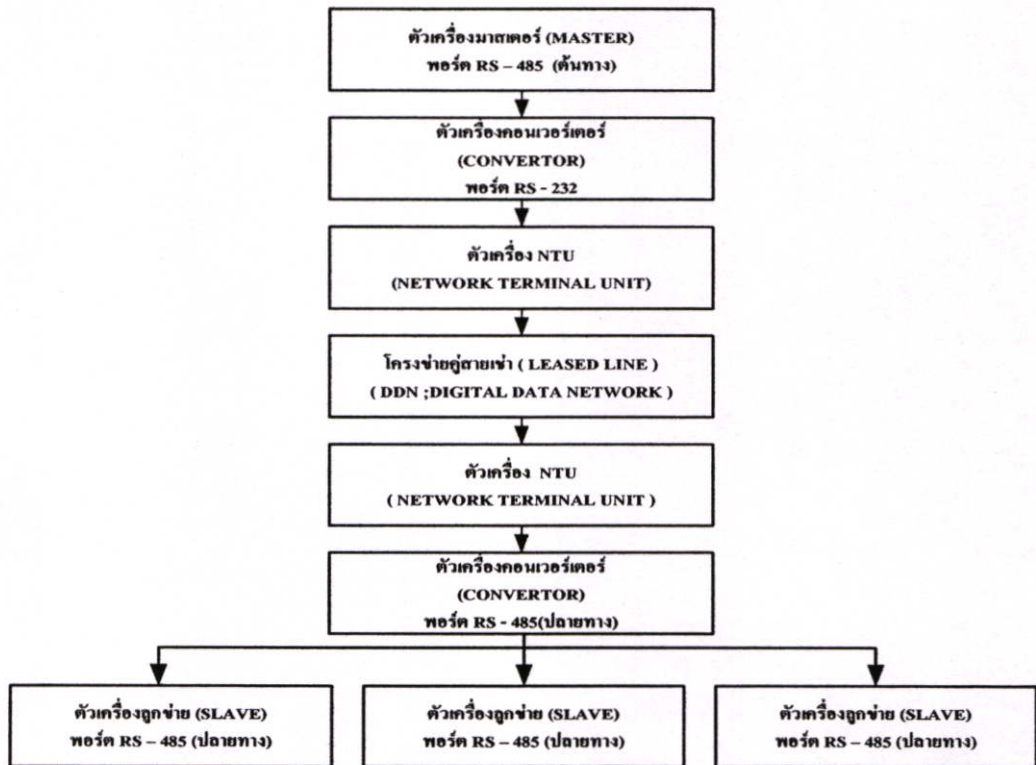
2.3.4 ส่วนประกอบโครงข่าย ดีดีเอ็น

ในการทำงานของ โครงข่ายดีดีเอ็น จะประกอบด้วยอุปกรณ์หลายส่วน คือ

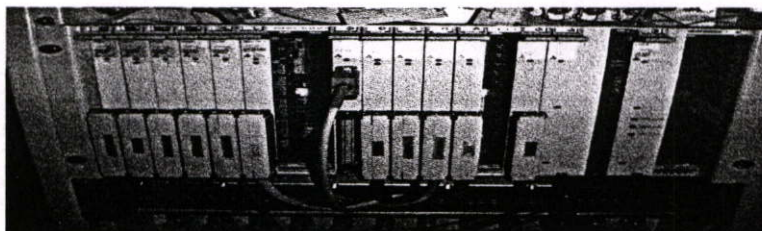
1. ข่ายสายโทรศัพท์ (Telephone Network)
2. เครื่องอุปกรณ์รับ-ส่งของกลุ่มสายเช่า (Leased Line Node)
3. ตัวเครื่องเอ็นทียู NTU (Network Terminal Unit)
4. ระบบควบคุมบำรุงดูแลรักษา NMS (Network Management System)
5. ระบบสื่อสารสัญญาณ (Transmission System)

อุปกรณ์ต้นทางและปลายทาง ซึ่งอุปกรณ์ทั้งสองจะเชื่อมต่อกันโดยใช้สายโทรศัพท์ที่เป็นสายทองแดง ส่วนชุดอุปกรณ์อุปกรณ์มัลติเพล็กซ์ (Multiplexing) และดีมัลติเพล็กซ์ (de-multiplexing) จะเชื่อมโยงด้วยระบบสื่อสารสัญญาณ มีทั้งที่เป็นสื่อสารสัญญาณทางสายปัจจุบันใช้สายใยแก้วนำแสง ส่วนแบบไร้สายจะใช้คลื่นวิทยุไมโครเวฟทั้งสองแบบสามารถรับส่งสัญญาณได้ในระยะไกลมากแต่จะต้องมีสถานีทวนสัญญาณ

อุปกรณ์มัลติเพล็กซ์ (Multiplexing) และดีมัลติเพล็กซ์ (de-multiplexing) ที่ทำหน้าที่ส่งออกสัญญาณที่ต้นทาง สัญญาณจากผู้ขอใช้บริการ จะมีความเร็วตั้งแต่ 9.6 Kb/s -140 Mb/s แล้วรวมสัญญาณระดับต่างๆ เข้าด้วยกันแล้วทำงานที่รับสัญญาณเข้าอีกที่ปลายทางซึ่งขนาดของความเร็วสามารถกำหนดได้จากตัวเอ็นทียูต้นทางและปลายทาง ส่วนระบบควบคุมบำรุงดูแลรักษา NMS (Network Management System)ก็สามารใช้กำหนดความเร็วได้นอกเหนือจากการกำหนดเส้นทางและพอร์ต แต่งานวิจัยนี้เลือกใช้ขนาดความเร็วที่ 9.6 Kb/s ซึ่งเป็นขนาดความเร็วต่ำสุด เพราะว่าปริมาณของข้อมูลที่ใช้ในการรับ-ส่งระหว่างตัวเครื่องมาสเตอร์และเครื่องกิโวลต์ชั่วโวมินเตอร์มีปริมาณน้อยมาก



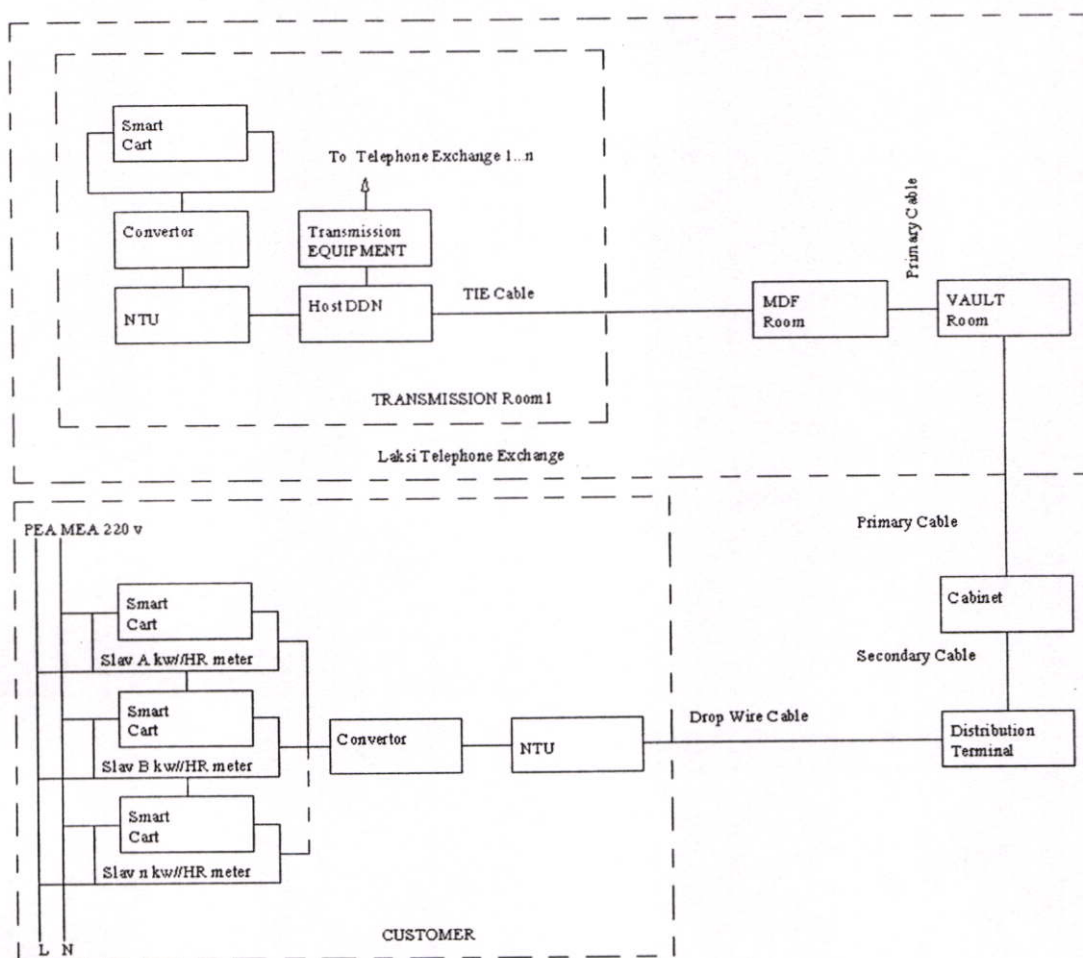
รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนของการรับ - ส่งข้อมูลระยะไกลระหว่างตัวเครื่องมาสเตอร์(Master) กับเครื่องลูกข่าย(Slave)โดยผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า(Leased Line Network)และเครื่องลูกข่ายกับเครื่องลูกข่าย



รูปที่ 3.2 ตัวเครื่องอุปกรณ์รับ-ส่ง คีคิเอ็น



รูปที่ 3.3 ตัวเครื่องเอ็นทียูต้นทางและปลายทาง

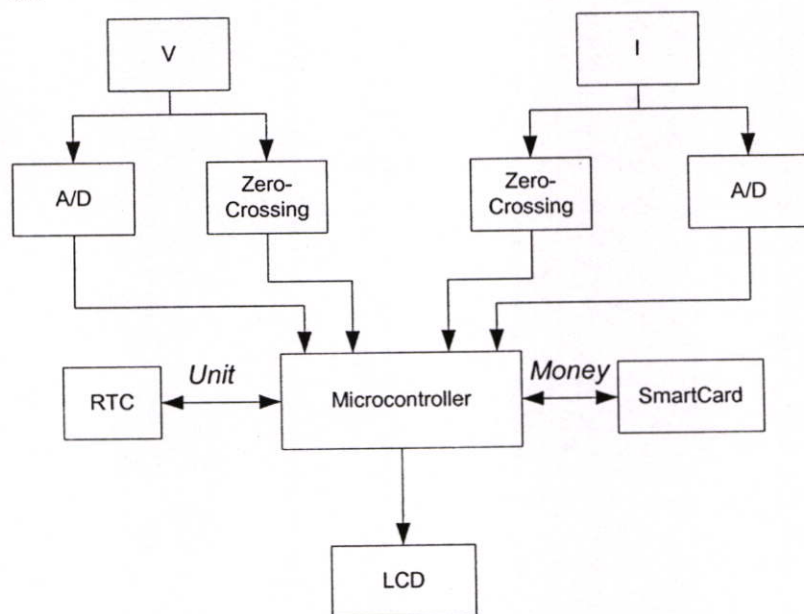


รูปที่ 3.4 การรับ-ส่งข้อมูลระยะไกลระหว่างเครื่องมาสเตอร์กับเครื่องลูกข่ายโดยผ่าน โครงข่ายคู่สาย
เช่าดีซีเอ็นและเครื่องลูกข่ายกับเครื่องลูกข่าย

3.3 เครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์

หลักการงานเบื้องต้นของเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.5 การหาขนาดของแรงดันจะใช้หม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformer) ทำการลดระดับแรงดันจาก 220 V ลดลงเหลือ 4.5 Volt ในส่วนของการหาค่ากระแส จะใช้หม้อแปลงกระแส (Current Transformer) ซึ่งสัญญาณแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงแรงดัน และหม้อแปลงกระแส จะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจึงต้องทำการเปลี่ยนให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเสียก่อน เนื่องจากสัญญาณอินพุทของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลที่ใช้นั้นจะรับเฉพาะแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง(DC) จึงต้องใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นมาทำการแปลงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นจึงนำสัญญาณที่ได้มาต่อเข้ากับอานาล็อกคูดิจิตอลคอนเวอร์เตอร์ (Analog to Digital Converter) ซึ่งจะทำ การส่งสัญญาณดิจิตอลเข้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการคำนวณหาขนาดของแรงดัน

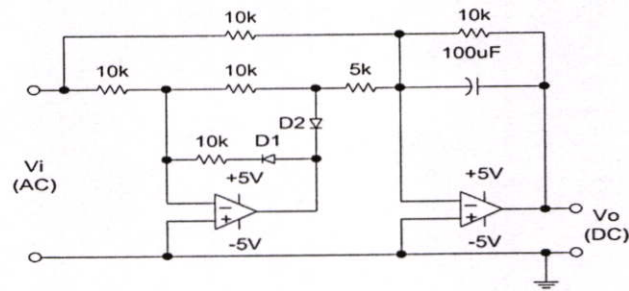
และกระแส ส่วนการหาค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์นั้น จะนำสัญญาณจากหม้อแปลงแรงดัน และหม้อแปลงกระแส มาต่อเข้ากับวงจรซีโร-ครอสซิงดีเทคเตอร์ (Zero-Crossing detector) โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการจับเวลาของสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแสเพื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของมุมเฟสระหว่างแรงดัน และกระแสที่เกิดขึ้น ทำให้สามารถคำนวณหาค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ออกมาได้ จากนั้นนำค่าที่ได้เหล่านี้ไปคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน เมื่อได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้งานแล้ว นำค่าที่ได้มาคำนวณหาจำนวนยูนิตที่ใช้งาน จากนั้นนำจำนวนยูนิตที่คำนวณได้ ไปทำการคำนวณค่าไฟฟ้าตามประเภทการใช้งาน เพื่อที่จะนำค่าไฟฟ้าที่คำนวณได้นี้ไปหักกับจำนวนเงินที่มีอยู่ในเครื่องกิโวลต์ชั่วโมง-มิเตอร์ ซึ่งจำนวนเงินที่อยู่ในเครื่องนี้ได้มาจากบัตรสมาร์ตการ์ด



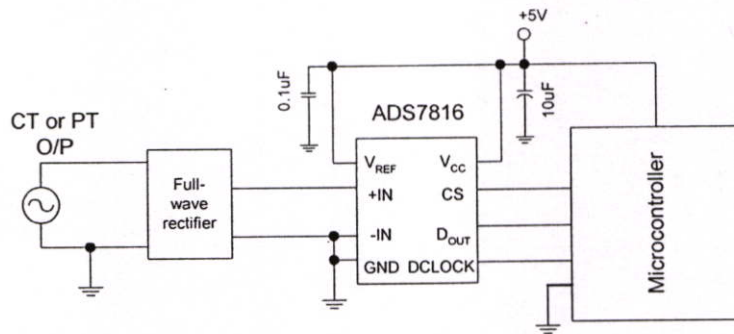
รูปที่ 3.5 หลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์

3.3.1 การหาขนาดแรงดัน

การหาขนาดแรงดันสามารถทำได้โดยการใช้หม้อแปลงแรงดัน มาทำการลดระดับแรงดันลง จาก 220 V ลดลงเหลือ 4.5 V สาเหตุที่ต้องลดระดับแรงดันลงก่อน เนื่องจากวงจรอะนาล็อกทูลิ ดิจิตอลคอนเวอร์เตอร์ สามารถทนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านขาเข้าได้ไม่เกิน 5 V จึงต้องทำการลดระดับลงให้ไม่เกิน 5 V เสียก่อน เมื่อลดระดับแรงดันได้แล้ว แรงดันที่ได้ยังเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอยู่ จึงต้องทำการแปลงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเสียก่อน โดยใช้วงจรเรียงกระแสแบบเต็มลูกคลื่นดังรูปที่ 3.6 จากนั้นจึงนำระดับแรงดันที่ได้มาต่อเข้ากับวงจรอะนาล็อกทูลิ ดิจิตอลคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งจะทำการแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลแล้วส่งสัญญาณนี้เข้าไปยังตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการคำนวณหาขนาดแรงดันต่อไป ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มลูกคลื่น



รูปที่ 3.7 วงจรการต่ออะนาล็อกทูดิจิตอลคอนเวอร์เตอร์

ในการคำนวณหาขนาดแรงดัน โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำการเทียบอัตราส่วนโดยกำหนดให้แรงดันที่เข้าวงจรอะนาล็อกทูดิจิตอลคอนเวอร์เตอร์ 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

3.3.2 การหาขนาดกระแส

การหาขนาดกระแสที่ใช้งาน สามารถหาได้โดยใช้หม้อแปลงกระแส (CT) ดังรูปที่ 3.8 หลักการทำงานของหม้อแปลงกระแสกล่าวคือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านเส้นลวดตัวนำ (I_o) จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบๆตัวนำ ทำให้เกิด ฟลักซ์ขึ้นในแกนเหล็ก ขดลวดทางด้านทุติยภูมิที่พันอยู่รอบๆแกนเหล็กนี้ก็จะมีความดัน (E_o) เกิดขึ้นมา ถ้ากำหนดให้เส้นลวดตัวนำทางด้านปฐมภูมิมีค่าเท่ากับ 1 รอบ สามารถเขียนสมการออกมาได้ดังสมการที่ 3.2

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

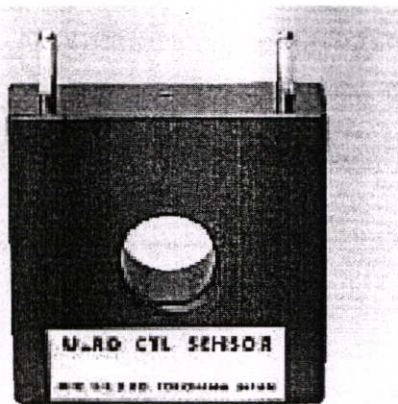
E_o คือ แรงดันทางด้านเอาต์พุต (V_{rms})

K คือ อัตราการขยายหาได้จากคู่มือของหม้อแปลงกระแส

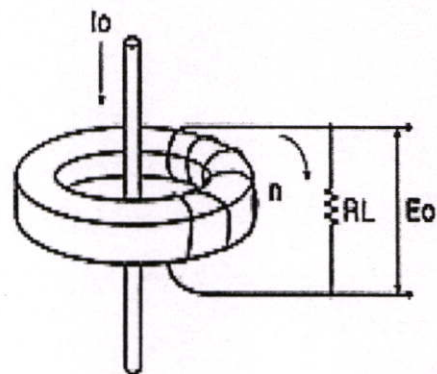
I_o คือ กระแสที่ผ่านลวดตัวนำทางด้านปฐมภูมิ (A_{rms})

R_L คือ ตัวต้านทานที่ต่อทางด้านทุติยภูมิ (Ω)

n คือ จำนวนรอบของขดลวดทางด้านทุติยภูมิ



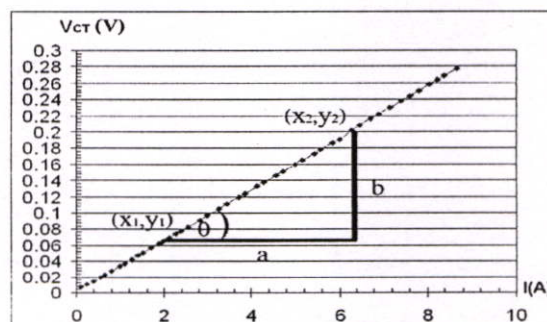
(ก)



(ข)

รูปที่ 3.8 (ก) หม้อแปลงกระแส

(ข) หลักการพื้นฐานของหม้อแปลงกระแส



รูปที่ 3.9 กราฟแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแสเทียบกับกระแสโหลด

เนื่องจากแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแส นั้นเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ จึงต้องทำการแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงก่อนที่จะเข้าวงจรอะนาล็อกทูลิจิตอลคอนเวอร์เตอร์ โดยใช้วงจร

เรียงกระแสแบบเต็มลูกคลื่นเหมือนการหาขนาดแรงดันที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้า จากนั้นทำการวัดเปรียบเทียบแรงดันที่ได้กับกระแสที่ใช้งาน ดังรูปที่ 3.9 จากนั้นนำค่าที่ได้นี้หาขนาดมุมความชันที่เกิดขึ้น เนื่องจากแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแสไม่เป็นเชิงเส้นเท่าที่ควร จึงต้องทำการแบ่งกลุ่มตามความชันเพื่อคำนวณหาขนาดของกระแสที่ใช้งานขณะนั้น สามารถหาขนาดมุมความชันได้โดยใช้สมการที่ 3.3

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

เมื่อหาขนาดมุมได้แล้ว สามารถที่จะหาขนาดของกระแสได้โดยใช้สมการที่ 3.4

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

เมื่อ V_{CT} คือ แรงดันที่ออกมาจากหม้อแปลงกระแส

y_1 คือ แรงดันเริ่มต้นของแต่ละกลุ่ม

x_1 คือ กระแสเริ่มต้นของแต่ละกลุ่ม

I คือ กระแสที่คำนวณหาได้

3.3.3 การหาค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์

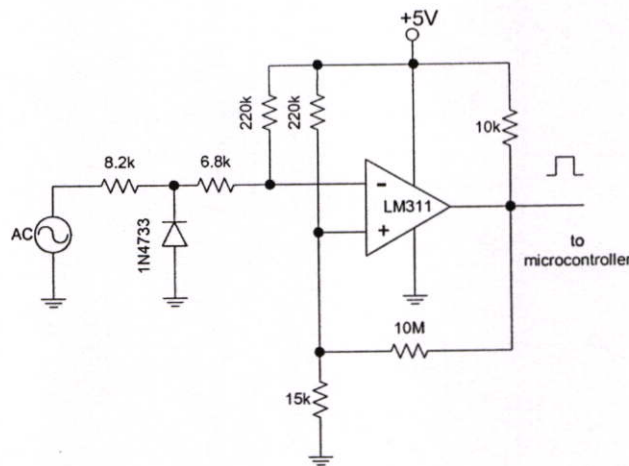
การหาค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ สามารถหาได้โดยนำสัญญาณแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงแรงดันและหม้อแปลงกระแส มาต่อเข้ากับวงจรรีโครอสซิงคิเทคเตอร์ ดังรูปที่ 3.10 สัญญาณที่ออกมาจะเป็นสัญญาณพัลส์ (pulse) ของแรงดันและกระแส ดังรูปที่ 3.11 จากนั้นนำเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการนับสัญญาณแต่ละช่วง โดยกำหนดให้ 1 คาบเวลา (T) ที่ 50 Hz มีค่าเท่ากับ 20 ms เทียบได้เป็น 360 องศา เมื่อทราบช่วงระยะเวลาที่ต่างกันแล้ว นำไปแทนค่าลงในสมการที่ 3.5 จะทำให้ทราบค่าองศาที่ต่างกัน นำองศาที่ได้นี้มาใส่ใน $\cos \theta$ ทำให้ได้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ออกมา

ในการทดลองพบว่า การหาค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์จะมีปัญหาได้ เมื่อผู้ใช้ไฟต่อโหลดที่ใช้กระแสไฟฟ้าต่ำ ส่งผลให้แรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแสจะมีค่าน้อยมาก สัญญาณที่ออกมาจากรีโครอสซิงคิเทคเตอร์จึงผิดรูปแบบไป ดังรูปที่ 3.8 สามารถแก้ไขได้โดยนำสัญญาณแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแสก่อนเข้าวงจรรีโครอสซิงคิเทคเตอร์ มาต่อเข้ากับวงจรมหาสัญญาณเสียก่อน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ไอซีเบอร์ INA 217 มาเป็นตัวขยายสัญญาณที่ออกจากหม้อแปลง

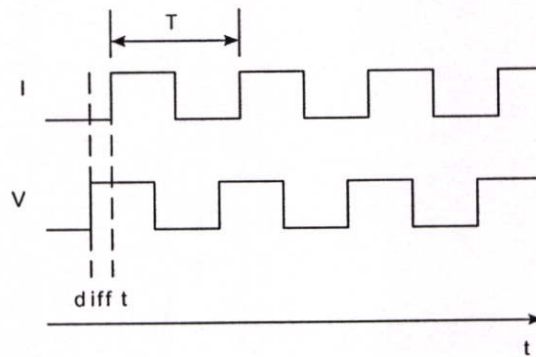
กระแส ทำให้วงจรซีโรครอสซิงดีเทคเตอร์สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องมากขึ้น การหาค่าเฟาเวอร์ แฟกเตอร์ก็จะมีค่าถูกต้องมากขึ้นไปด้วย ดังรูปที่ 3.13

จากรูปที่ 3.14 จะแสดงถึงสัญญาณแรงดัน และกระแสที่กลับเฟส ในการต่อใช้งานจริงสัญญาณแรงดัน และกระแสอาจมีการสลับเฟสกันได้ [5] เนื่องจากเราไม่สามารถที่จะทราบได้ว่า ผู้ใช้ไฟจะต่อสัญญาณแรงดัน และกระแสเข้าทางขั้วไหน จึงต้องนำรูปแบบทั้ง 8 มาพิจารณา ในการคำนวณสามารถที่จะใช้สมการที่ 3.5 มาคำนวณหามุมที่ต่างกันของแรงดัน และกระแสได้เหมือนเดิม

จากรูปที่ 3.11 จะแสดงการเปรียบเทียบของสัญญาณที่ออกจากวงจรซีโรครอสซิงดีเทคเตอร์ โดยเส้นบนจะเป็นสัญญาณแรงดัน ส่วนเส้นล่างจะเป็นสัญญาณกระแส



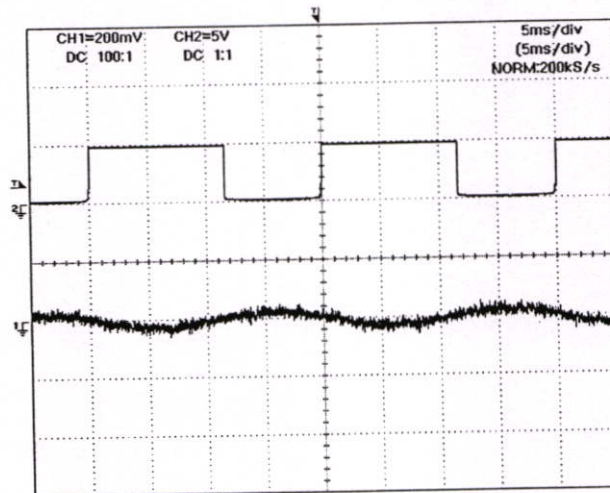
รูปที่ 3.10 วงจรซีโรครอสซิงดีเทคเตอร์



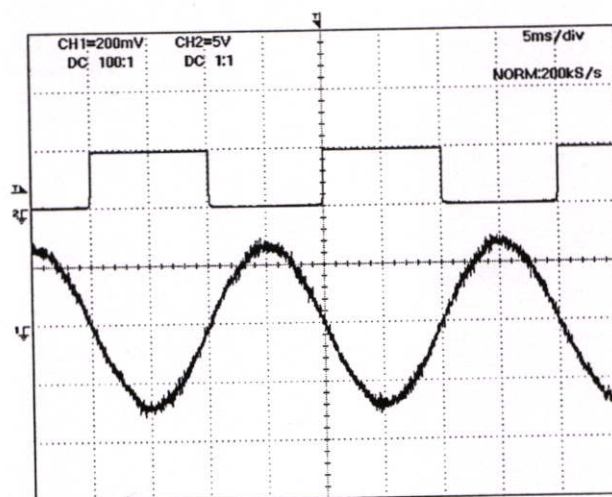
รูปที่ 3.11 การหามุมเฟสระหว่างแรงดัน และกระแส

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

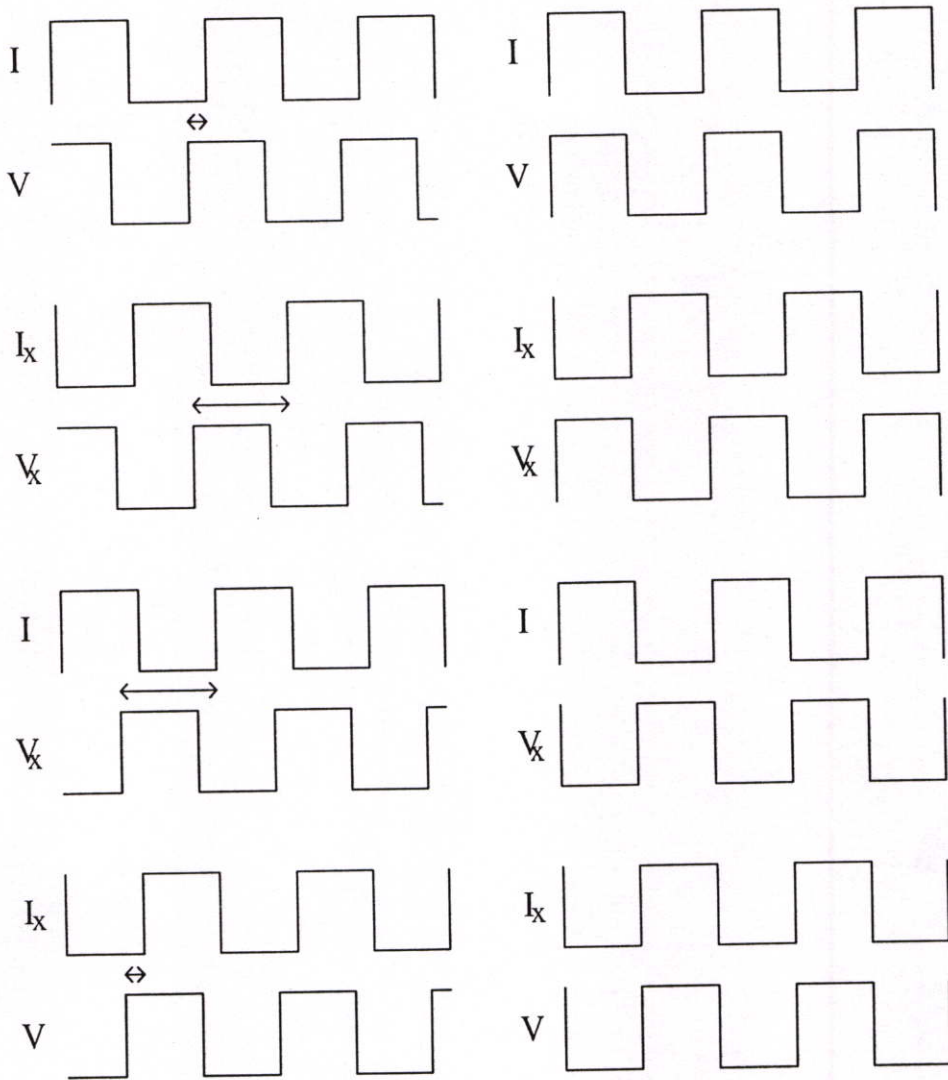
เมื่อ θ คือ ขนาดมุมที่ต่างกันของแรงดันและกระแส
 T คือ คาบเวลา
 $diff t$ คือ ช่วงเวลาที่ต่างกันของแรงดันและกระแส



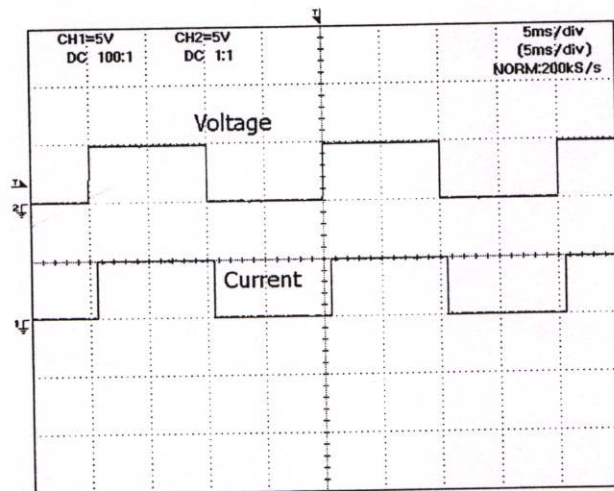
รูปที่ 3.12 สัญญาณกระแสที่ยังไม่ผ่านวงจรขยาย
 บน: สัญญาณที่ออกจากวงจรซีโรครอสซิง
 ล่าง: สัญญาณกระแสที่ยังไม่ผ่านวงจรขยาย



รูปที่ 3.13 สัญญาณกระแสที่ผ่านวงจรขยาย
 บน: สัญญาณจากวงจรซีโรครอสซิง
 ล่าง: สัญญาณกระแสที่ผ่านวงจรขยาย



รูปที่ 3.14 สัญญาณแรงดันและกระแสในรูปต่างๆ



รูปที่ 3.15 เปรียบเทียบมุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแส

3.3.4 การหาค่ากำลังไฟฟ้า

เมื่อหาค่าแรงดัน, กระแส และเพาเวอร์แฟกเตอร์ได้แล้ว เราก็สามารถที่จะนำค่าเหล่านั้นมาทำการคำนวณหาโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน โดยนำค่าที่ได้มาคำนวณในสมการที่ 3.6 เพื่อที่จะนำไปหาจำนวนยูนิตที่ใช้งานต่อไป [1]

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

3.3.5 การหาจำนวนยูนิตที่ใช้งาน

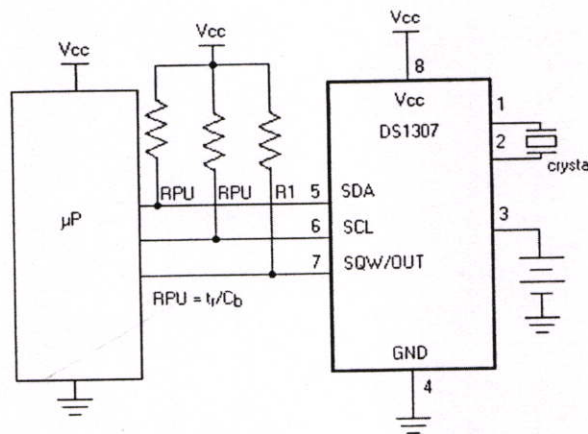
เมื่อได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้งานแล้ว นำค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ มาคำนวณหาจำนวนยูนิตที่ใช้งาน โดยใช้สมการที่ (3.7)

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

เมื่อ W_p คือ จำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์/ชั่วโมง หรือ 1 หน่วย

P คือ กำลังไฟฟ้า (Watt)

T คือ จำนวนเวลาที่ใช้ (Hour)



รูปที่ 3.16 วงจรการต่อ RTC เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

เนื่องจากการคำนวณโดยใช้เครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ จะทำการคำนวณทุกๆ 1 วินาที จึงต้องทำการเปลี่ยนแปลงจำนวนเวลาที่ใช้งานให้เป็น 1 วินาที จึงทำให้ T มีค่าเท่ากับ 1/3600 ชั่วโมง เมื่อคำนวณหาจำนวนยูนิตได้ ก็จะนำข้อมูลที่ได้นี้ไปเก็บไว้ใน RTC เบอร์ DS1307 เพื่อรอ

การคำนวณค่าไฟต่อไป ในรูปที่ 3.16 จะแสดงให้เห็นถึงวงจรการต่อเพื่อทำการรับส่งข้อมูลระหว่าง RTC กับไมโครคอนโทรเลอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

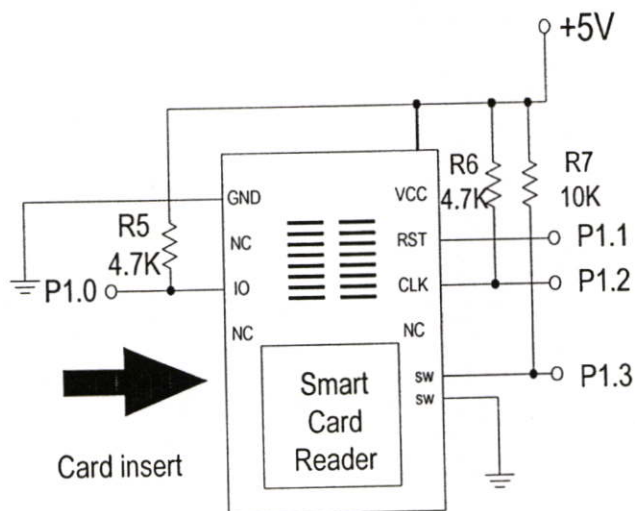
3.3.6 การเพิ่มจำนวนเงินเข้าไปยังเครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์

จำนวนเงินที่เพิ่มเข้าไปยังเครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์นี้จะได้จาก บัตรสมาร์ตการ์ดที่ได้รับ การใส่จำนวนเงินเข้าไปในบัตร จากเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร(Ft) การจะอ่านข้อมูลจากบัตรสมาร์ตการ์ดนั้น จะต้องมีเครื่องอ่านสมาร์ตการ์ดต่อเข้ากับไมโครคอนโทรเลอร์ดังรูปที่ 3.17(ก) เมื่อสอดบัตรสมาร์ตการ์ดเข้าไป จากนั้นเครื่องจะทำการอ่านข้อมูลว่าบัตรที่ใส่เข้าไปนั้นเป็นบัตรที่เข้ารหัสเดียวกับเครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์หรือไม่ ถ้าไม่ใช่บัตรที่ใช้กับเครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์ก็จะไม่สามารถเติมเงินเข้าไปได้ แต่ถ้ารหัสบัตรตรวจสอบแล้วว่าตรงกันเครื่องก็จะทำการตรวจสอบว่ามีจำนวนเงินอยู่ในบัตรสมาร์ตการ์ดหรือไม่ ถ้ามีก็จะปรากฏข้อความ Transfer? ขึ้นมาที่หน้าจอ LCD เพื่อที่จะถามว่าต้องการโอนเงินเข้าไปในเครื่องทั้งหมดหรือไม่ เมื่อกดสวิทช์ที่ต่อเข้ากับขา P2.0 ของไมโครคอนโทรเลอร์ เครื่องก็จะทำการโอนเงินจากบัตรสมาร์ตการ์ดเข้าไปยังเครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์ โดยจะนำจำนวนเงินที่ได้นี้ไปเก็บไว้ใน RTC (Real-Time Clock) เบอร์ DS1307 หากเกิดไฟดับ ข้อมูลก็ยังมิเก็บไว้ในนี้อยู่เนื่องจากมีแบตเตอรี่สำรองคอยจ่ายไฟอยู่ ดังรูปที่ 3.16 พร้อมทั้งทำการหักจำนวนเงินที่มีอยู่ในบัตรออกไป

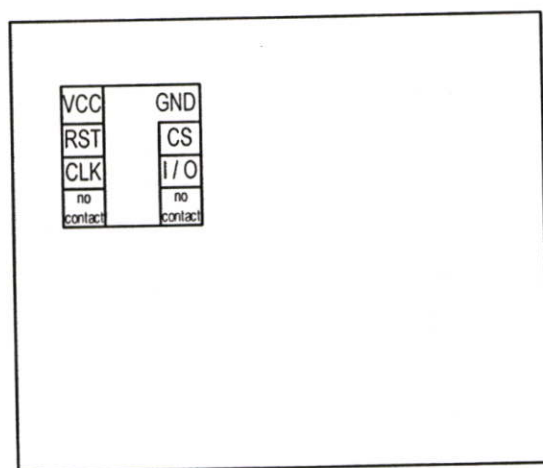
3.3.7 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราไฟฟ้าผันแปร

ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ เนื่องจากราคาเชื้อเพลิงมีราคาไม่แน่นอน การไฟฟ้าจึงต้องมีการเปลี่ยนค่าอัตราผันแปร เพื่อให้การคิดค่าคำนวณไฟฟ้าเหมาะสมกับต้นทุนในช่วงเวลานั้น ในงานวิจัยนี้เครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์ สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงอัตราผันแปรที่ใช้ในการคำนวณ

ค่าไฟฟ้าได้โดยการรับข้อมูล จากเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร(Ft) ผ่านพอร์ตRS-485 ไมโครคอนโทรเลอร์จะทำการรับ-ส่งข้อมูลผ่านไอซีเบอร์ SN65HVD3082E ซึ่งสามารถทำการรับส่งข้อมูลโดยใช้สายไฟเพียง 2 เส้นคือ สายส่ง (TxD) และสายรับ (RxD) ตามมาตรฐาน EIA/TIA-485 และสามารถต่อได้ถึง 256 จุด สายส่งสัญญาณสามารถส่งได้ยาวถึง 4,000 ฟุต โดยที่เครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์แต่ละตัวที่ต่ออยู่ในโครงข่าย ก่อนที่จะมีการรับ-ส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายคู่สายเข้าจะกำหนดรหัสประจำตัวของแต่ละเครื่องเอาไว้ ดังรูปที่ 3.18 เครื่องปรับค่าอัตราผันแปรจะกำหนดว่าต้องการเปลี่ยนค่าอัตราผันแปรในเครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์หมายเลข 02 เครื่องก็ทำการส่งข้อมูลไปยังทุกเครื่องที่ต่ออยู่ร่วมกัน แต่มีเพียงเครื่องหมายเลข 02 เท่านั้นที่ทำการรับข้อมูลได้ เนื่องจากมีการกำหนดเอาไว้ว่ารับได้เฉพาะเครื่องหมายเลข 02 การรับ-ส่งข้อมูลจากเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร(Ft)ไปยังแต่ละเครื่อง โดยกำหนดหมายเลขแบบนี้ทำให้สามารถที่จะตรวจสอบได้ว่าการส่งข้อมูลไปนั้นถูกต้องสมบูรณ์หรือไม่



(ก) วงจรการต่อเครื่องอ่านบัตรสมาร์ทการ์ด

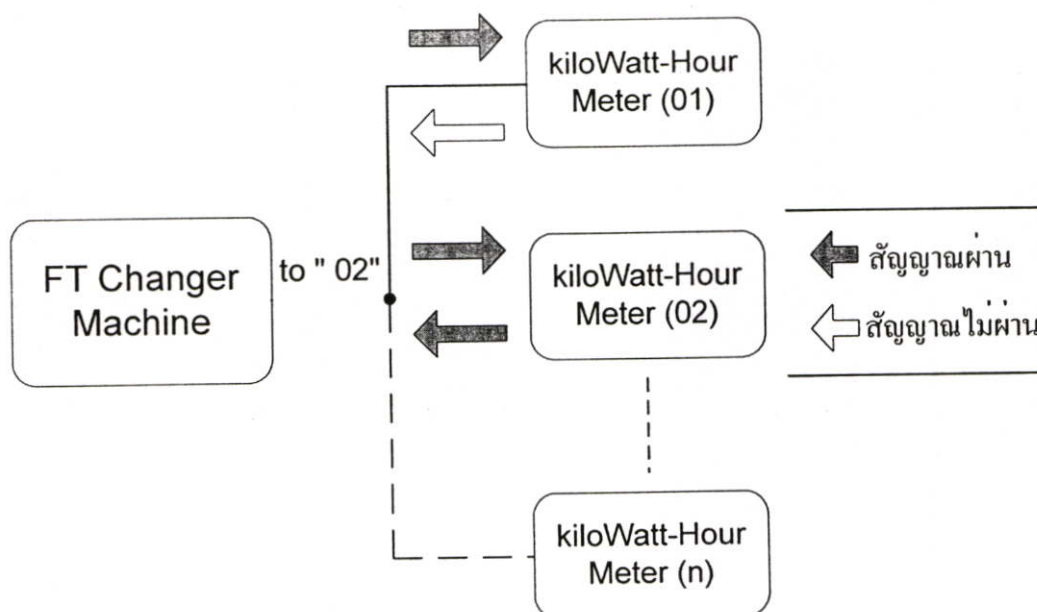


(ข) หน้าสัมผัสบัตรสมาร์ทการ์ด

รูปที่ 3.17 (ก)วงจรการต่อเครื่องอ่านบัตรสมาร์ทการ์ดและ (ข) หน้าสัมผัสบัตรสมาร์ทการ์ด

จากรูปที่ 3.17 (ข) หน้าที่การทำงานของแต่ละหน้าสัมผัสดังนี้

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



รูปที่ 3.18 การรับ-ส่งข้อมูลการเปลี่ยนค่าอัตราผันแปร

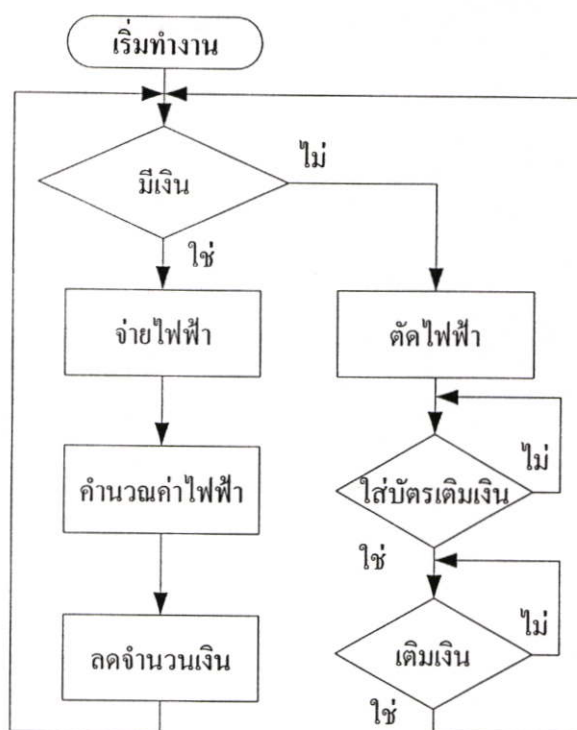
3.3.8 การคำนวณค่าไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้ได้นำมาทดลองต่อเข้ากับบ้านอยู่อาศัย [1.1] จึงได้ใช้การคำนวณค่าไฟฟ้าตามอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1.1 ดังตารางที่ 3.1

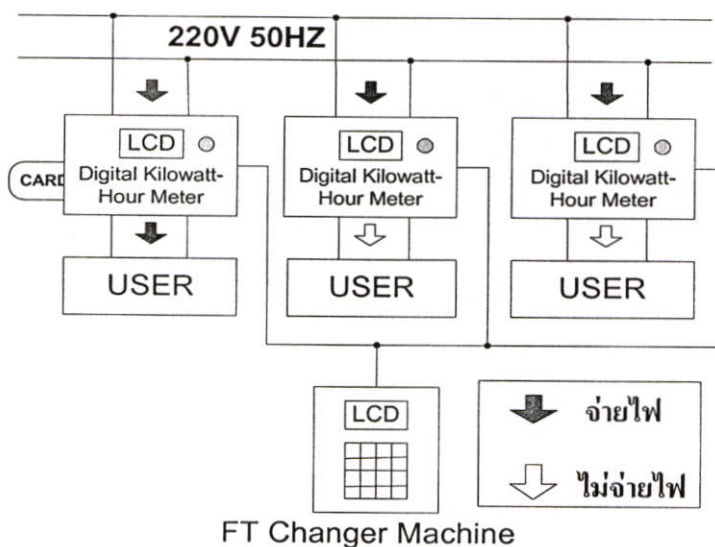
ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1.1 บ้านอยู่อาศัย

	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
ค่าบริการ		8.19
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 (Ft) ซึ่งสามารถเปลี่ยนค่าอัตราผันแปรได้โดยใช้เครื่องปรับค่าอัตราผันแปร ส่งข้อมูลการเปลี่ยนแปลงมายังเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์โดยที่เครื่องจะทำการคำนวณจำนวนเงินรวมกันไปเรื่อยๆจนครบหลักหน่วย จากนั้นจะทำการลดจำนวนเงินที่มีอยู่ในเครื่องตามการคำนวณที่ได้ลงไปเรื่อยๆจนหมด



รูปที่ 3.19 แผนผังการทำงานของเครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์



รูปที่ 3.20 การทำงานของเครื่องปรับค่าอัตราผันแปรและเครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์

รูปที่ 3.15 แสดงถึงแผนผังการทำงานของเครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์ เมื่อเริ่มทำงาน เครื่องจะทำการตรวจสอบว่ามียอดเงินอยู่หรือไม่ ถ้ามียอดเงินอยู่ เครื่องก็จะจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟ แต่ถ้าหากไม่มียอดเงินอยู่เลย เครื่องจะทำการตัดไฟไม่จ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟ จนกว่าจะมีการเติมเงินจากบัตรเติมเงินเพื่อให้มีเงินอยู่ในเครื่องเสียก่อน เมื่อเริ่มมีการใช้งานเกิดขึ้น เครื่องจะทำการคำนวณหาค่าไฟฟ้า และจะเริ่มลดจำนวนเงินที่มีอยู่ในเครื่องไปเรื่อยๆ โดยเครื่องจะทำการ

ตรวจสอบว่ายังมีจำนวนเงินเหลืออยู่ไม่ ถ้าหาจำนวนเงินถูกลดไปจนหมด เครื่องก็จะไม่จ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าได้ใช้งานจนกว่าจะมีการเติมเงินเข้าไปในเครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์ จึงจะเริ่มจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าได้ใช้งานต่อไป

3.4 เครื่องปรับค่าอัตราผันแปร

เครื่องปรับค่าอัตราผันแปร จะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงค่าอัตราผันแปร, วัน/เดือน/ปี เรียกค่าต่างๆ และเวลา ให้กับเครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์ โดยจะทำการรับ-ส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ต RS-485 RS-232 ตัวคอนเวอร์เตอร์แล้วส่งผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า และยังทำหน้าที่เพิ่มเงินให้กับบัตรสมาร์ตการ์ดอีกด้วย

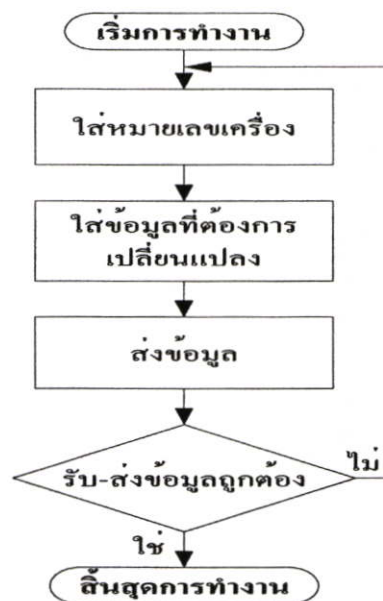
3.4.1 การเปลี่ยนแปลงข้อมูลและการเรียกดูข้อมูล

การเปลี่ยนแปลงข้อมูลโดยใช้เครื่องปรับค่าอัตราผันแปรนี้ สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงค่าอัตราผันแปร, วัน/เดือน/ปี เรียกค่าต่างๆ และเวลาให้กับเครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์ โดยส่งผ่านโครงข่ายคู่สายเช่าดังแสดงในรูปที่ 3.4 จะต่อสายไฟเข้ากับพอร์ต ตัวคอนเวอร์เตอร์ RS-232 RS-485 ของเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร และเครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์เข้าด้วยกันแล้วใช้โครงข่ายคู่สายเช่าเป็นตัวเชื่อมโยงระหว่างเครื่องทั้งสอง ดังรูปที่ 3.2 เมื่อเริ่มการทำงาน เราจะต้องกำหนดก่อนว่าเราต้องการแก้ไขที่เครื่องหมายเลขใด จากนั้นก็ทำการเลือกว่าต้องการเปลี่ยนแปลงข้อมูลใดแล้วทำการใส่ข้อมูลที่ต้องการเปลี่ยนแปลง เมื่อใส่ข้อมูลเรียบร้อยแล้วก็ทำการส่งข้อมูลไปยังเครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์ ที่ต้องการเปลี่ยนแปลงข้อมูล หรือเรียกค่าต่างๆ เครื่องจะทำการตรวจสอบว่าข้อมูลที่ส่งไปนั้น ถูกต้องสมบูรณ์หรือไม่ ถ้าหากการส่งข้อมูลถูกต้องสมบูรณ์ เครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์ก็จะทำการส่งสัญญาณกลับมายังเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร(Ft) ดังรูปที่ 3.22 ที่หน้าจอ LCD ของเครื่องปรับค่าอัตราผันแปรก็จะแสดงให้ผู้ทำการส่งได้ทราบว่าการส่งข้อมูลสำเร็จเรียบร้อยแล้ว แต่ถ้าหากการส่งข้อมูลไม่สมบูรณ์ เครื่องปรับค่าอัตราผันแปรก็จะแสดงให้ผู้ส่งได้เห็นว่ามีการส่งข้อมูลผิดพลาด ทำให้เราทราบว่ามีการผิดพลาดเกิดขึ้นทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลไปได้ จึงต้องทำการตรวจสอบหาข้อผิดพลาดแล้วทำการส่งข้อมูลไปใหม่

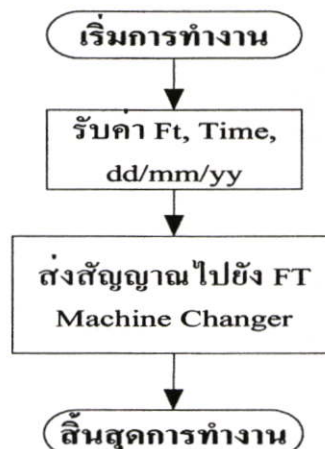
ในการเรียกดูค่ายูนิทและจำนวนเงินที่เหลือ ในเครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์สามารถเรียกดูได้ที่เครื่องมาสเตอร์หรือเครื่องปรับอัตราผันแปร เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3.23 แสดงภาพแผนผังการเรียกดูจำนวนเงิน และ3.24 แสดงภาพแผนผังการเรียกดูค่ายูนิท เมื่อเริ่มการทำงานเราจะต้องกำหนดก่อนว่าเราต้องการเรียกดูค่ายูนิทหรือจำนวนเงินที่เหลือที่เครื่องหมายเลขใด จากนั้นเครื่องก็ทำการส่งคำสั่งไปยังเครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์หลังจากนั้นเครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์ก็จะส่งข้อมูลที่ต้องการเรียกดู มายังเครื่องมาสเตอร์หรือเครื่องปรับอัตราผันแปรแสดงผลที่หน้าจอ

3.4.2 การเพิ่มจำนวนเงินในบัตรสมาร์ทการ์ด

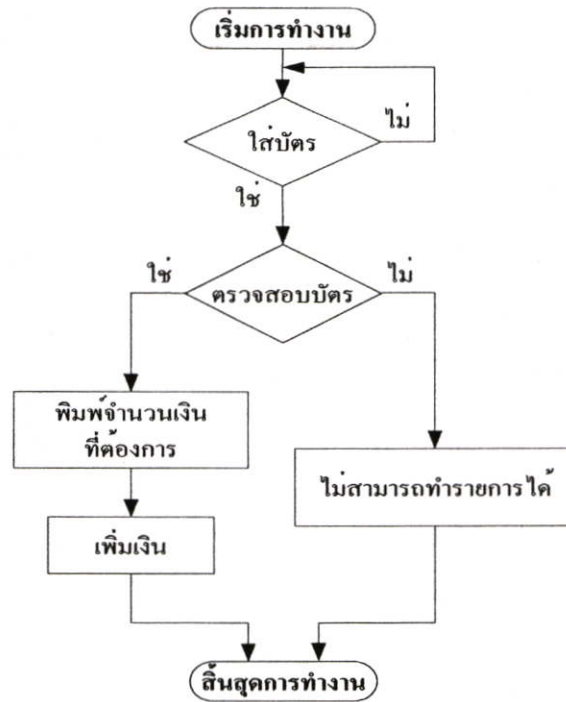
ในงานวิจัยนี้ได้นำบัตรสมาร์ทการ์ดมาใช้แทนเงินสด การจะทำให้บัตรสมาร์ทการ์ดมีจำนวนเงินอยู่ภายในบัตรได้ จะต้องมีเครื่องที่ทำหน้าที่เพิ่มจำนวนเงินเข้าไปในบัตรเสียก่อน ซึ่งการทำงานในส่วนของการเติมเงินนี้ จะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.22 เมื่อทำการใส่บัตรสมาร์ทการ์ดเข้าไปในช่องใส่บัตร เครื่องจะทำการเปลี่ยนการทำงานมาที่โหมดการเติมเงิน และจะทำการตรวจสอบว่ารหัสของบัตรตรงกับที่เครื่องกำหนดไว้หรือไม่ ถ้าไม่ตรงเครื่องจะไม่สามารถเติมเงินเข้าไปในบัตรได้ แต่ถ้าบัตรนั้นมีรหัสตรงกับที่เครื่องกำหนดไว้ เราก็สามารถพิมพ์จำนวนเงินที่ต้องการเพิ่มเข้าไปในบัตรสมาร์ทการ์ดและทำการเพิ่มเงินเข้าไปได้



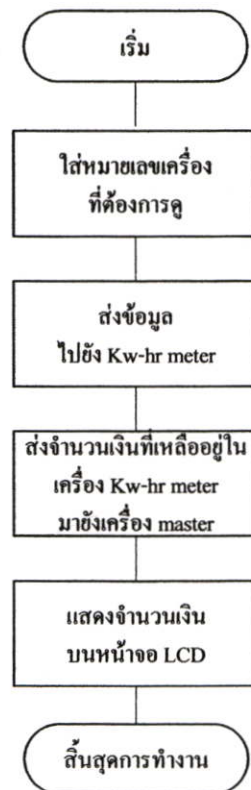
รูปที่ 3.21 แผนผังการส่งข้อมูลที่ต้องการเปลี่ยนแปลงของเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร(Ft)



รูปที่ 3.22 แผนผังการรับ-ส่งข้อมูลของเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์



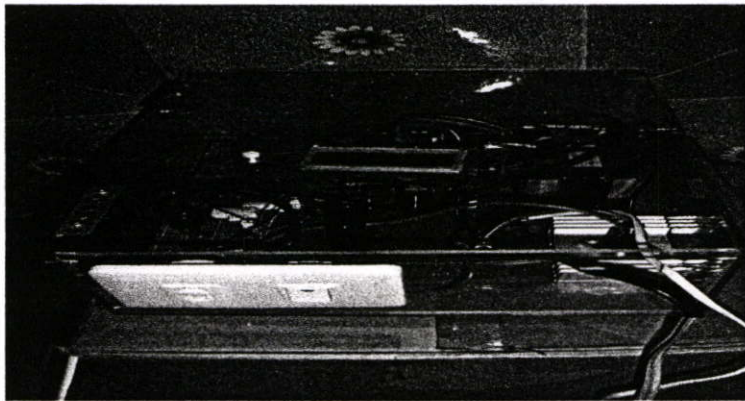
รูปที่ 3.23 แผนผังการเติมเงินให้กับบัตรสมาร์ทการ์ด



รูปที่ 3.24 แผนผังการเรียกดูจำนวนเงิน



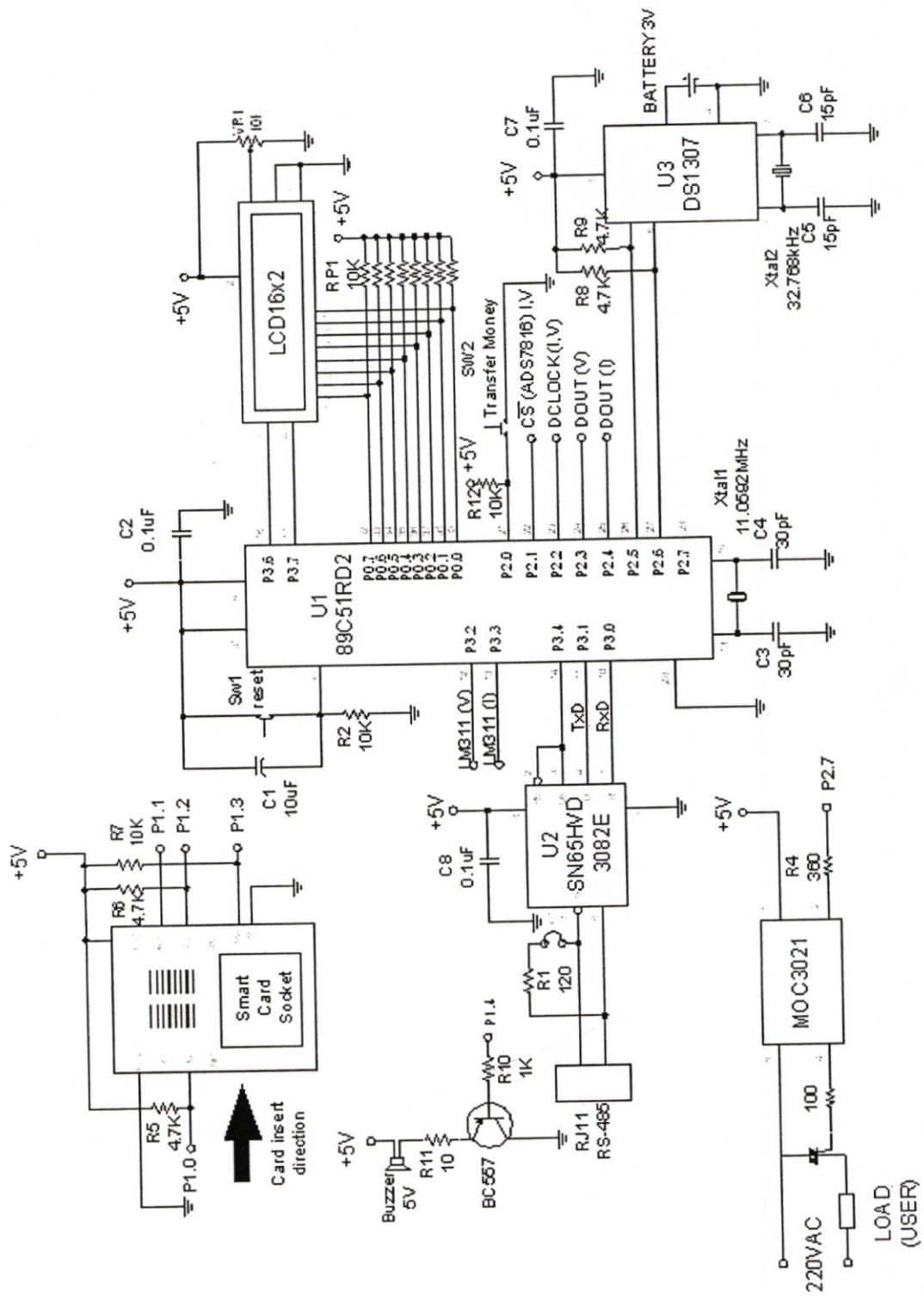
รูปที่ 3.25 แผนผังการเรียกดูค่าหน่วย



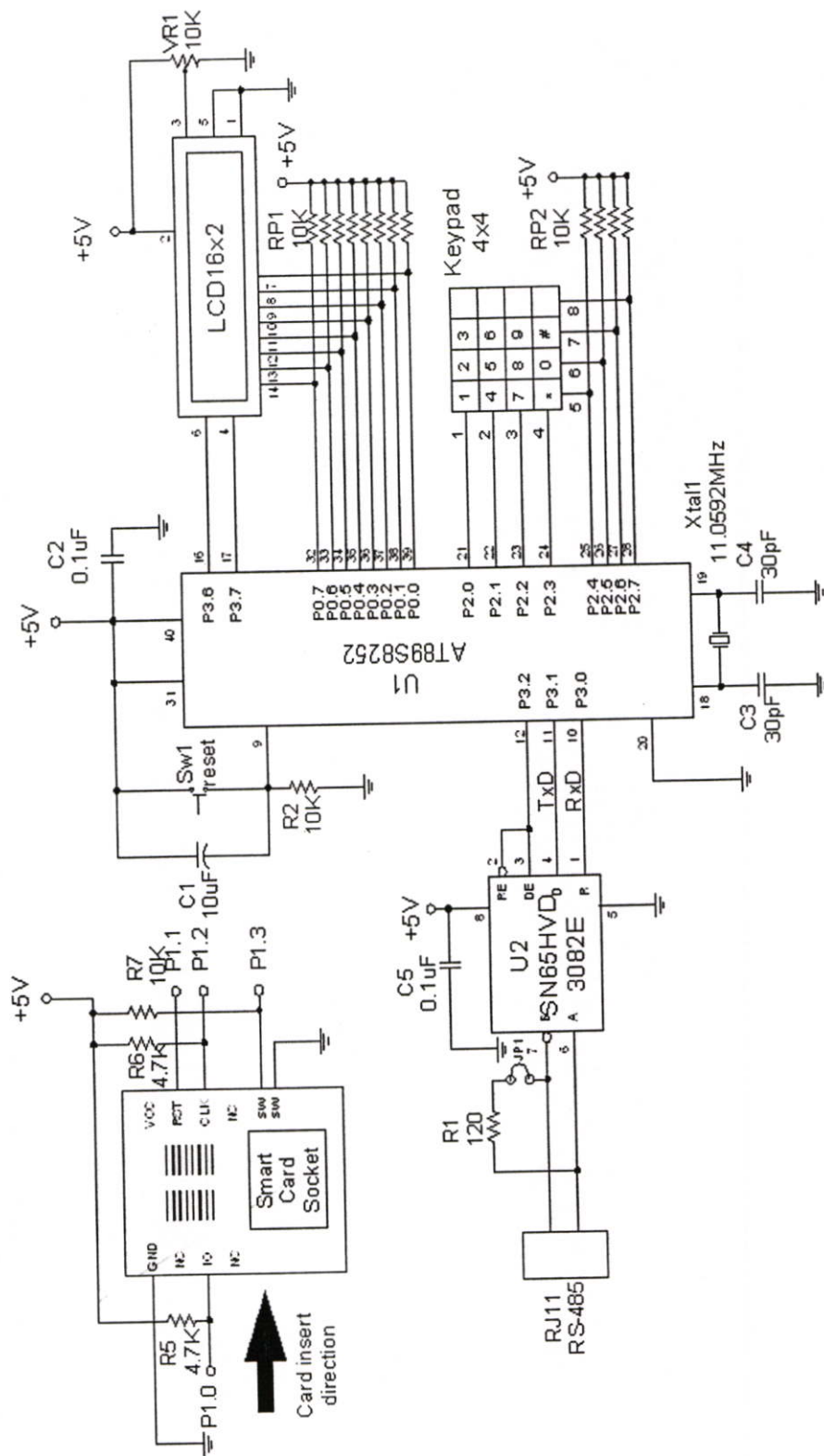
รูปที่ 3.26 เครื่องกิโลวัตต์ - ชั่วโมงมิเตอร์



รูปที่ 3.27 เครื่องปรับค่าอัตราผันแปร(Ft)



รูปที่ 3.28 วงจรเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์



รูปที่ 3.29 วงจรเครื่องปรับค่าอัตราฟันแปร (Fi)

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองโครงข่ายคู่สายเช่า

ในการทดลองนี้ จะมีการกำหนดคู่สายทองแดงของข่ายสายโทรศัพท์ที่จะนำมาใช้ เป็นคู่สายเช่า ในโครงข่ายคู่สายเช่า วงจรดีซีเอ็นจำนวน 3 ลิงค์ เพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องปรับเปลี่ยนค่าอัตราไฟฟ้าผันแปรกับเครื่องกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ โดยที่กำหนดห้องโทรคมนาคม 1 ชุมสายโทรศัพท์หลักซึ่งเป็น โนคดีซีเอ็น ของชุมสายโทรศัพท์หลักแล้วทำการติดตั้งเครื่องเอ็นทียูต้นทางและลิงค์จากต้นทางไปยังปลายทาง แล้วแบ่งการทดสอบเป็นจำนวน 3 อย่าง ซึ่งจะทำการกำหนดเส้นทางของคู่สายทองแดงทั้ง 3 ลิงค์ ในแต่ละลิงค์ที่จะนำมาใช้ในการทดสอบจะต้องมีการกำหนดหมายเลขของเคเบิลต้นทาง ปลายทางตู้ผ่าน ตู้ปลายและสายกระจาย รายระเอียด คือ

ลิงค์ที่ 1 เคเบิลต้นทาง เส้นที่ 17 คู่ที่ 611 เคเบิลปลายทาง เส้นที่ 01 คู่ที่ 16 ตู้ผ่านที่ LKS 068 และตู้ปลายที่ 002 หมวด 1

ลิงค์ที่ 2 เคเบิลต้นทาง เส้นที่ 08 คู่ที่ 1621 เคเบิลปลายทาง เส้นที่ 01 คู่ที่ 218 ตู้ผ่านที่ LKS 048 และตู้ปลายที่ 018 หมวด 3

ลิงค์ที่ 3 เคเบิลต้นทาง เส้นที่ 11 คู่ที่ 835 เคเบิลปลายทาง เส้นที่ 01 คู่ที่ 339 ตู้ผ่านที่ LKS 083 และตู้ปลายที่ 016 หมวด 9

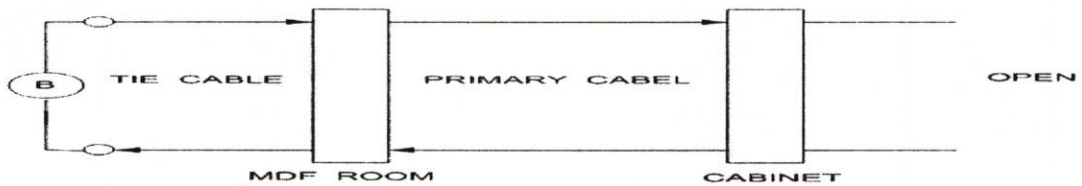
โดยที่การทดสอบคุณสมบัติของคู่สายทองแดงของข่ายสายโทรศัพท์ ที่จะนำมาใช้เป็นคู่สายเช่า จะต้องมีการทดสอบค่าต่างๆ คือ

1. ค่าระยะทางของคู่สายทองแดง
2. ค่าความต้านทานของคู่สายทองแดง
3. ค่าความต้านของฉนวน
4. ค่า Errors และ Bit Test

โดยที่ในการทดสอบค่าต่างๆ จะใช้เครื่องมือวัดและลักษณะการต่อของวงจรที่แตกต่างกัน กล่าวคือ การวัดระยะทางจะใช้เครื่องทดสอบระยะทางคู่สายทองแดงยี่ห้อ BICCOTEST รุ่น T535 ค่าความต้านทานใช้มิเตอร์ยี่ห้อ SANWA รุ่น YS -360TRD ค่าความต้านของฉนวนใช้เครื่อง INSULATION RESISTANCE TESTER ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น 3213 และการทดสอบค่า Errors และ Bit Test ของคู่สายทองแดงใช้เครื่องทดสอบ BERT TEST ยี่ห้อ PUMA รุ่น 4300 E

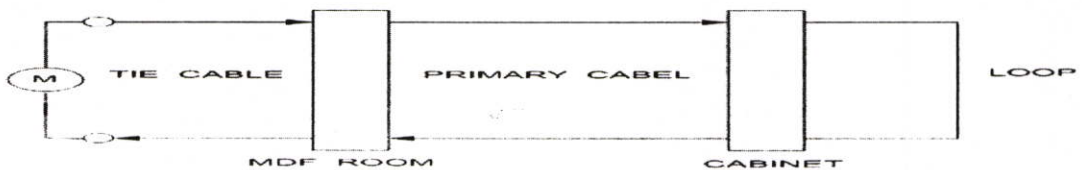
4.1.1 การทดสอบหาค่าระยะทาง ค่าความต้านทาน และค่าความต้านทานของฉนวนของเคเบิลต้นทาง ช่วงห้องโทรคมนาคม 1 ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ผ่านห้องเคเบิล ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ ไปยังตู้ผ่าน

การทดสอบค่าระยะทาง ค่าความต้านทาน และค่าความต้านทานของฉนวนของเคเบิลต้นทาง ช่วงห้องโทรคมนาคม1 ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ไปยังตู้ผ่าน ของคู่สายทองแดงตั้งแต่ต้นทางถึงตู้ปลายก่อนที่จะนำมาใช้กับคู่สายเช่า ดีดีเอ็น เพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องมาสเตอร์กับตัวเครื่องลูกข่าย โดยใช้เครื่องทดสอบตามวงจรดังรูปที่ 4.1 4.2 และ4.3 ในตารางที่ 4.1 จะแสดงผลการทดลองค่าวัดค่า ของคู่สายทองแดงจากต้นทางถึงตู้ผ่าน พบว่าคู่สายทองแดงทั้ง 3 อยู่ในสภาพที่ สามารถนำไปใช้เป็นคู่สายเช่าได้ ค่าความต้านทานแปรผันตามค่าระยะทาง ส่วนค่าความต้านทานของฉนวนของของคู่สายทองแดงวัดค่าอินฟินิตี้



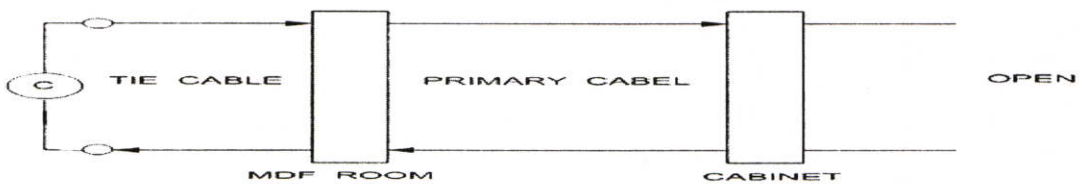
หมายเหตุ B คือ เครื่องทดสอบระยะทางคู่สายทองแดงยี่ห้อ BICCOTEST รุ่น T535

รูปที่4.1 วงจรการทดลองหาค่าระยะทางของเคเบิลต้นทางช่วงห้อง โทรคมหลักสี่ไปยังตู้ผ่าน



หมายเหตุ M คือ เครื่องทดสอบค่าความต้านทานของคู่สายทองแดงใช้มิเตอร์ยี่ห้อ SANWA รุ่น YS-360TRD

รูปที่4.2 วงจรการทดลองหาค่าความต้านทานของเคเบิลต้นทางช่วงห้อง โทรคมหลักสี่ไปยังตู้ผ่าน



หมายเหตุ C คือ เครื่องทดสอบระยะทางคู่สายทองแดงยี่ห้อ BICCOTEST รุ่น T535

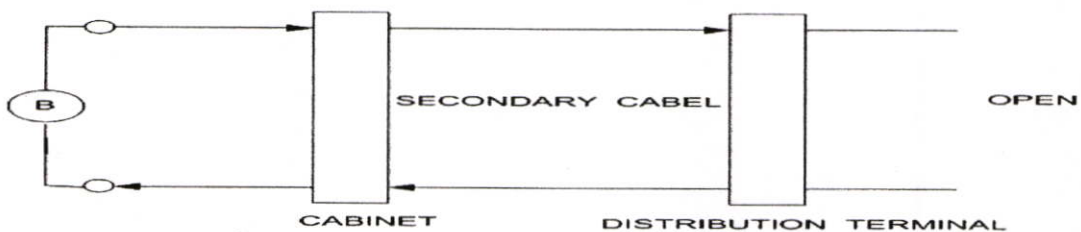
รูปที่4.3 วงจรการทดลองหาค่าความต้านทานของฉนวนของเคเบิลต้นทางช่วงห้อง โทรคมหลักสี่ไป
ยังตู้ผ่าน

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวัดระยะทาง,ค่าความต้านทานและความต้านทานของฉนวนของเคเบิล
ต้นทางจากช่วงห้องโทรคมนาคม 1 ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ผ่านห้องเคเบิล ที่
ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ ไปยังตู้ผ่าน

ลำดับคู่สาย	ระยะทาง (Km.)	ค่าR (Ω)	ค่าRของฉนวน (M Ω)
ลิงค์ที่ 1	1.29	350	∞
ลิงค์ที่ 2	1.90	514	∞
ลิงค์ที่ 3	4.32	698	∞

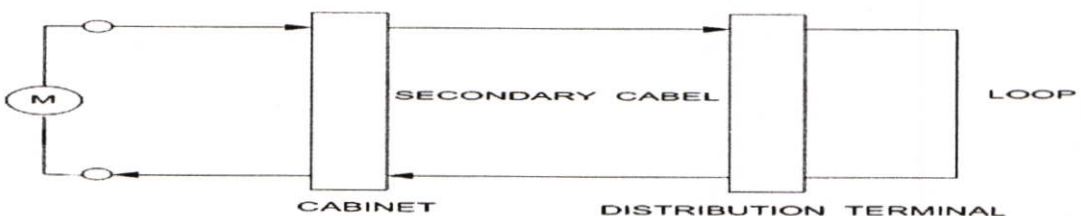
4.1.2 การทดสอบหาค่าระยะทาง ค่าความต้านทาน และค่าความต้านทานของฉนวนของ เคเบิลต้นทาง ช่วงตู้ผ่าน ไปยังตู้ปลาย

การทดสอบค่าระยะทาง ค่าความต้านทาน และค่าความต้านทานของฉนวนของเคเบิลต้น
ทาง ช่วงตู้ผ่านไปยังตู้ปลาย ของคู่สายทองแดงตั้งแต่ต้นทางถึงปลายทางก่อนที่จะนำมาใช้กับคู่สาย
เช่า คีดีเอ็น เพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องมาสเตอร์กับตัวเครื่องลูกข่าย โดยใช้เครื่อง
ทดสอบ ต่อตามวงจรดังรูปที่ 4.4 4.5 และ 4.6 ในตารางที่ 4.2 จะแสดงผลการทดลองค่าวัดค่า ของ
คู่สายทองแดงจากตู้ผ่านถึงตู้ปลาย พบว่าคู่สายทองแดงทั้ง 3 อยู่ในสภาพที่ สามารถนำไปใช้เป็น
คู่สายเช่าได้ ค่าความต้านทานแปรผันตามค่าระยะทาง ส่วนค่าความต้านทานของฉนวนของของ
คู่สายทองแดงวัดค่าอินฟินิตี้



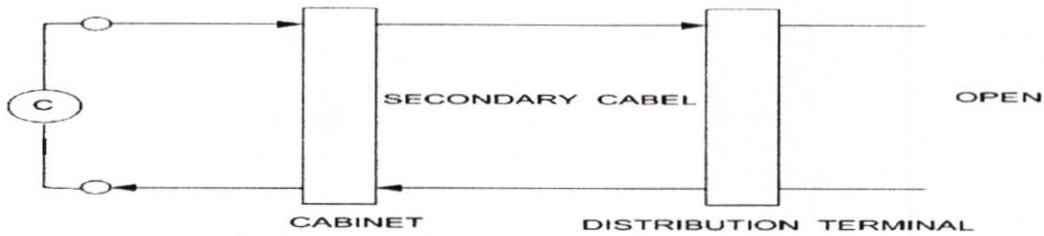
หมายเหตุ B คือ เครื่องทดสอบระยะทางคู่สายทองแดงยี่ห้อ BICCOTEST รุ่น T535

รูปที่ 4.4 วงจรการทดลองหาค่าระยะทางของเคเบิลต้นทางช่วงจากช่วงตู้ผ่าน ไปยังตู้ปลาย



หมายเหตุ M คือ เครื่องทดสอบค่าความต้านทานของคู่สายทองแดงใช้มีเตอร์ยี่ห้อ SANWA รุ่น YS-360TRD

รูปที่ 4.5 วงจรการทดลองหาค่าความต้านทานของเคเบิลต้นทางช่วงจากช่วงตู้ผ่านไปยังตู้ปลาย



หมายเหตุ C คือ เครื่องทดสอบระยะทางคู่สายทองแดงยี่ห้อ BICCOTEST รุ่น T535

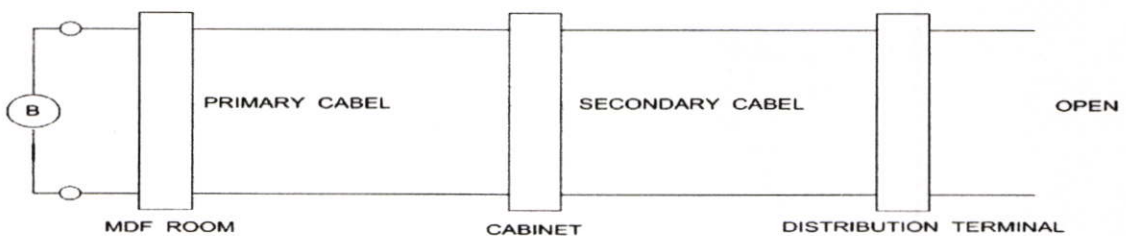
รูปที่ 4.6 วงจรการทดลองหาค่าความต้านทานของฉนวนของเคเบิลต้นทางจากช่วงตู้ผ่าน ไปยังตู้ปลาย

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวัดระยะทาง ,ค่าความต้านทานและความต้านทานของฉนวน ของเคเบิล ปลายทาง จากช่วงตู้ผ่าน ไปยังตู้ปลาย

ลำดับคู่สาย	ระยะทาง (Km.)	ค่า R (Ω)	ค่า R ของฉนวน (M Ω)
ลิงค์ที่ 1	0.323	101	∞
ลิงค์ที่ 2	0.419	157	∞
ลิงค์ที่ 3	0.535	189	∞

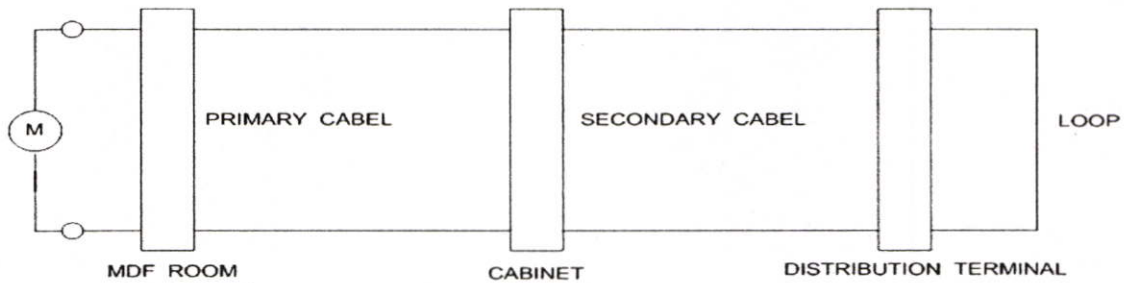
4.1.3 การทดสอบหาค่าระยะทาง ค่าความต้านทาน และค่าความต้านทานของฉนวนของ เคเบิลต้นทาง ช่วงห้องโทรคมนาคม1 ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ไปยังตู้ปลาย

การทดสอบค่าระยะทาง ค่าความต้านทาน และค่าความต้านทานของฉนวนของเคเบิลต้นทาง ช่วงห้องโทรคมนาคม1 ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ไปยังตู้ปลาย ของคู่สายทองแดงตั้งแต่ต้นทาง ถึงปลายทางก่อนที่จะนำมาใช้กับคู่สายเช่า คีดีเอ็น เพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่อง มาตรฐานกับตัวเครื่องลูกข่าย โดยใช้เครื่องทดสอบ ต่อตามวงจรดังรูปที่ 4.7 4.8 และ 4.9 ในตาราง ที่ 4.3 จะแสดงผลการทดลองค่าวัดค่า ของคู่สายทองแดงจากต้นทางถึงตู้ปลาย พบว่าคู่สาย ทองแดงทั้ง 3 อยู่ในสภาพที่ สามารถนำไปใช้เป็นคู่สายเช่าได้ ค่าความต้านทานแปรผันตามค่า ระยะทาง ส่วนค่าความต้านทานของฉนวนของของคู่สายทองแดงวัดค่าอินฟินิตี้



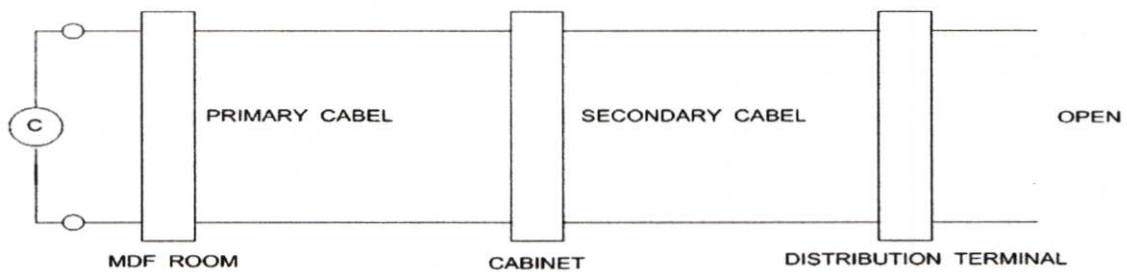
หมายเหตุ B คือ เครื่องทดสอบระยะทางคู่สายทองแดงยี่ห้อ BICCOTEST รุ่น T535

รูปที่ 4.7 วงจรการทดลองหาค่าระยะทางของเคเบิลต้นทางและเคเบิลปลายทาง จากช่วงห้อง โทรคมนาคม1 ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ไปยังตู้ปลาย



หมายเหตุ M คือ เครื่องค่าความต้านทานใช้มิเตอร์ยี่ห้อ SANWA รุ่น YS -360TRD

รูปที่ 4.8 วงจรการทดลองหาค่าความต้านทานของเคเบิลต้นทางและเคเบิลปลายทาง จากช่วงห้องโทรคมนาคม1 ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ไปยังตู้ปลาย



หมายเหตุ C คือ เครื่องทดสอบระยะทางคู่สายทองแดงยี่ห้อ BICCOTEST รุ่น T535

รูปที่ 4.9 วงจรการทดลองหาค่าความต้านทานของฉนวนของเคเบิลต้นทางและเคเบิลปลายทาง จากช่วงห้องโทรคมนาคม1 ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ไปยังตู้ปลาย

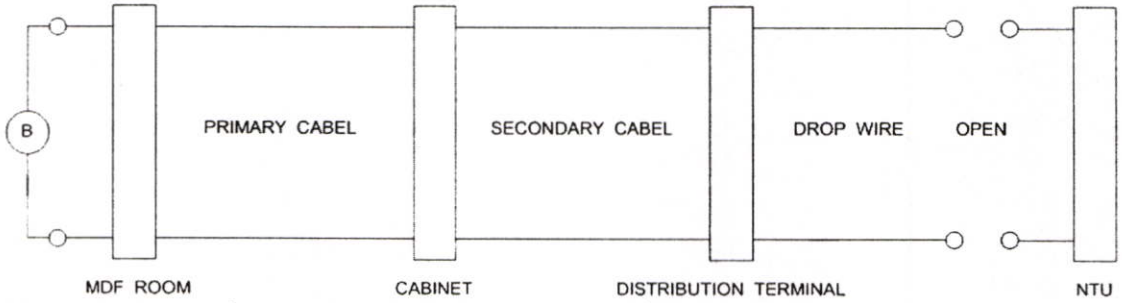
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองวัดระยะทาง,ค่าความต้านทานและความต้านทานของฉนวน ของเคเบิลต้นทางและเคเบิลปลายทาง จากช่วงห้องโทรคมนาคม1 ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ไปยังตู้ปลาย

ลำดับคู่สาย	ระยะทาง(Km.)	ค่าR (Ω)	ค่าRของฉนวน (M Ω)
ลิงค์ที่ 1	1.452	451	∞
ลิงค์ที่ 2	2.326	671	∞
ลิงค์ที่ 3	4.851	887	∞

4.1.4 การทดสอบหาค่าระยะทาง ค่าความต้านทาน และค่าความต้านทานของฉนวนของเคเบิลต้นทาง ช่วงห้องโทรคมนาคม1 ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ไปยังตัวเอ็นทียู

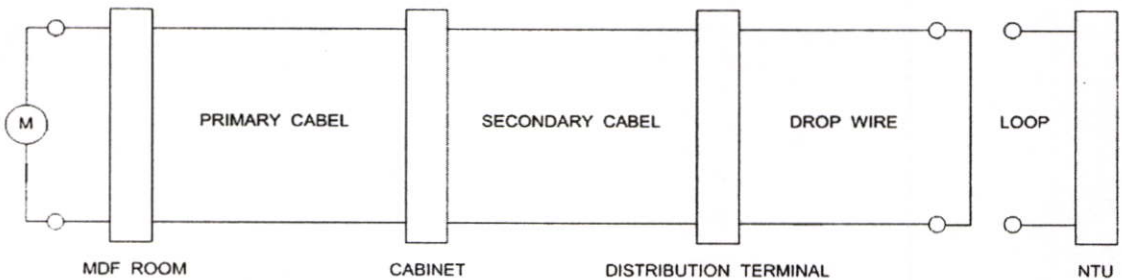
การทดสอบค่าระยะทาง ค่าความต้านทาน และค่าความต้านทานของฉนวนของเคเบิลต้นทาง ช่วงห้องโทรคมนาคม1 ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ไปยังตัวเอ็นทียู ของคู่สายทองแดงตั้งแต่ต้นทางถึงปลายทางก่อนที่จะนำมาใช้กับคู่สายเช่า ดิจิตอล เพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่อง

มาตรฐานกับตัวเครื่องลูกข่าย โดยใช้เครื่องทดสอบ ต่อตามวงจรดังรูปที่ 4.10 4.11 และ 4.12 ในตารางที่ 4.4 จะแสดงผลการทดลองค่าวัดค่า ของคู่สายทองแดงจากต้นทางถึงปลายทางก่อนต่อเข้าตัวเอ็นทียู พบว่าคู่สายทองแดงทั้ง 3 อยู่ในสภาพที่สามารถนำไปใช้เป็นคู่สายเช่าได้ เนื่องจากค่าระยะทาง ไม่เกิน 5,000 เมตร ค่าความต้านทาน ไม่เกิน 1 K และค่าความต้านทานของฉนวนของคู่สายทองแดงสูงกว่า 500 M



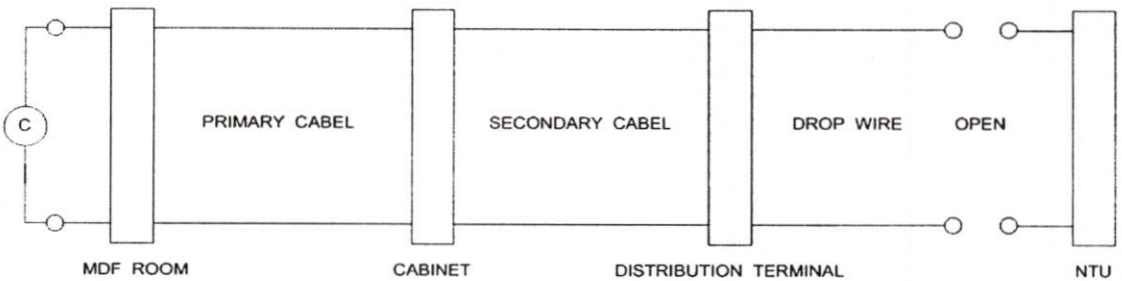
หมายเหตุ B คือ เครื่องทดสอบระยะทางคู่สายทองแดงยี่ห้อ BICCOTEST รุ่น T535

รูปที่ 4.10 วงจรการทดลองหาค่าระยะทางของเคเบิลต้นทางและเคเบิลปลายทาง จากช่วงห้องเคเบิล ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ ไปยังเครื่องเอ็นทียู



หมายเหตุ M คือ เครื่องค่าความต้านทานใช้มิเตอร์ยี่ห้อ SANWA รุ่น YS -360TRD

รูปที่ 4.11 วงจรการทดลองหาค่าความต้านทานของเคเบิลต้นทางและเคเบิลปลายทาง จากช่วงห้องเคเบิล ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ ไปยังเครื่องเอ็นทียู



หมายเหตุ C คือ เครื่องทดสอบระยะทางคู่สายทองแดงยี่ห้อ BICCOTEST รุ่น T535

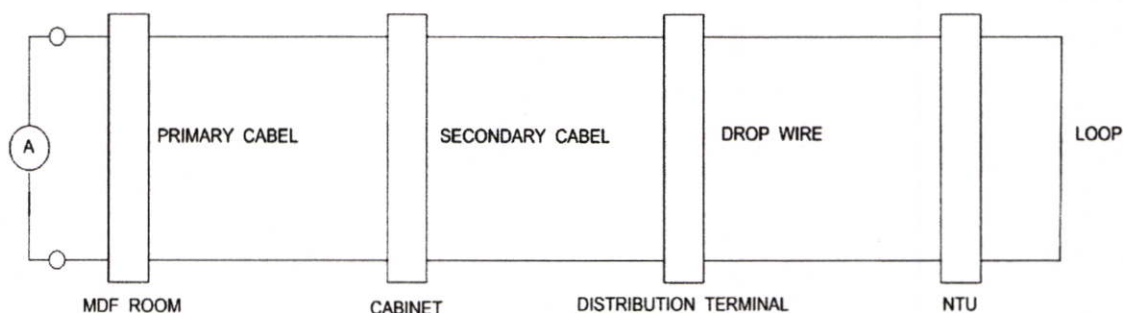
รูปที่ 4.12 วงจรการทดลองหาค่าความต้านทานของฉนวนของเคเบิลต้นทางและเคเบิลปลายทาง จากช่วงห้องเคเบิล ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ ไปยังเครื่องเอ็นทียู

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองวัดระยะทาง,ค่าความต้านทานและความต้านทานของฉนวน ของเคเบิล
 ดันทางและเคเบิลปลายทาง จากช่วงห้องเคเบิล ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ ไปยังเครื่อง
 เอ็นทียู

ลำดับคู่สาย	ระยะทาง(Km.)	ค่าR (Ω)	ค่าRของฉนวน (M Ω)
ลิงค์ที่ 1	1.531	491	∞
ลิงค์ที่ 2	2.405	838	∞
ลิงค์ที่ 3	4.924	999	∞

4.1.5 การทดสอบหาค่า ERRORS และ BERT TEST ช่วงห้องโทรคมนาคม1 ที่
 ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ไปยังตัวเอ็นทียู

การทดสอบค่า ERRORS และ BERT TEST ของคู่สายทองแดงตั้งแต่ต้นทางถึงปลายทาง
 ก่อนที่จะนำมาใช้กับคู่สายเช่า ดีดีเอ็น เพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องมาสเตอร์กับ
 ตัวเครื่องลูกข่าย โดยใช้เครื่องทดสอบ BERT TEST ยี่ห้อ PUMA รุ่น 4300 E ซึ่งทำการ LOOP
 BACK ตัวเอ็นทียูไว้ที่ปลายทางแล้วใช้เครื่องทดสอบ BERT TEST วัดที่ตัว เอ็นทียูต้นทาง ใน
 ห้องเอ็มดีเอฟ ดังรูปที่ 4.13 ในตารางที่ 4.5 จะแสดงผลการทดลองค่าวัดค่า ERRORS และ BERT
 TEST ของคู่สายทองแดงจากต้นทางถึงปลายทาง ตัวเอ็นทียู พบว่าค่า BIT TEST และค่า ERRORS
 ของคู่สายทองแดงทั้ง 3 ลิงค์ อยู่ในสภาพดี เนื่องจากไม่มีค่า ERRORS และค่า BERT TEST
 เท่ากับ 0 สามารถนำไปใช้เป็นคู่สายเช่าได้



หมายเหตุ A คือ เครื่อง BERT TEST ยี่ห้อ PUMA รุ่น 4300 E

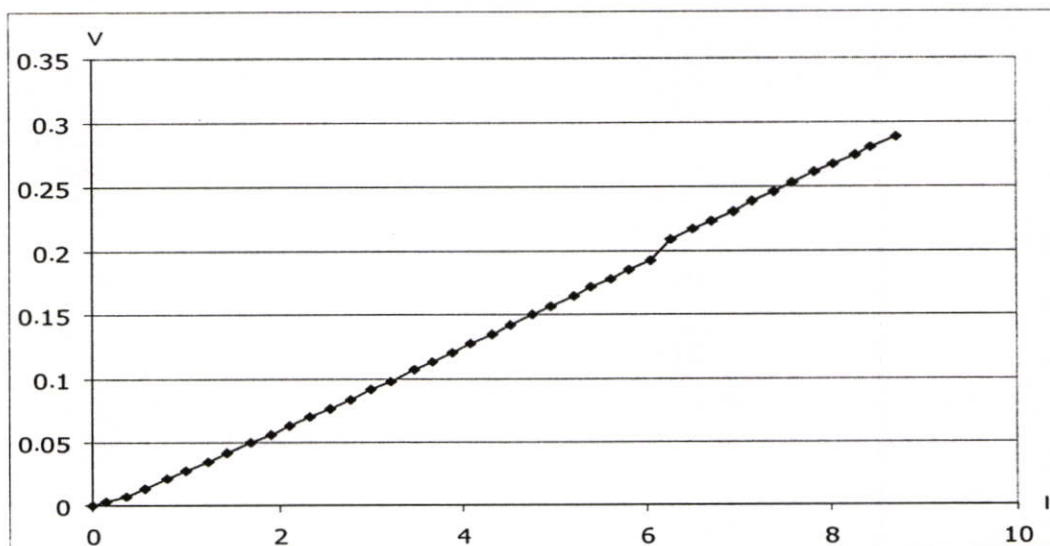
รูปที่4.13 วงจรการทดลองหาค่า ERRORS และ BERT TEST ของคู่สายทองแดงจากต้นทางห้อง
 MDF ถึงปลายทางตัวเอ็นทียู

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองวัดวัดค่า ERRORS และ BERT TEST ของคู่สายทองแดงจากต้นทางถึงปลายทาง ตัวเอ็นทียู

ลำดับคู่สาย	ค่าเวลาที่Test (S)	ค่า Bit Test	ค่า Errors
ลิงค์ที่ 1	120	0	No Errors
ลิงค์ที่ 2	120	0	No Errors
ลิงค์ที่ 3	120	0	No Error

4.2 การทดสอบหาค่าแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแส

การทดลองนี้ จะใช้ออสซิลอสโคปทำการวัดแรงดันที่ออกจากวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นซึ่งแรงดันขาเข้าจะได้รับมาจากหม้อแปลงกระแส โดยจะเปรียบเทียบกับขนาดของกระแสที่ใช้ในงานในขณะนั้น ซึ่งวัดได้จากมิเตอร์ขั้วห่อ FLUKE รุ่น 43B ดังรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟที่ได้ยังไม่เป็นเชิงเส้นเท่าที่ควร จึงควรทำการแบ่งกลุ่มเพื่อหาค่ากระแสตามความชันให้เหมาะสม



รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแสและกระแสที่ใช้งาน

4.3 การทดสอบหาค่าแรงดันและกระแส

การทดลองนี้จะทำการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ กับมิเตอร์ขั้วห่อ FLUKE รุ่น 43B ในตารางที่ 4.6 จะทำการทดลองหาค่าแรงดันขณะไม่มีโหลด โดยใช้วาริแอกทำการปรับแรงดันในระดับต่างๆ แล้วนำ FLUKE 43 B ทำการวัดที่จุด A และ B ดังรูปที่ 4.15 ในตารางที่ 4.6 จะแสดงถึงผลการทดลองที่ได้ ในตารางที่ 4.7 เป็นการทดลองหาค่ากระแส โดยใช้

หลอดไส้ขนาด 100 W ต่อขนานกันเป็นโหนดในการทดลอง โดยจะเพิ่มจำนวนหลอดไส้ขึ้นไปเรื่อยๆ จากนั้นทำการวัดแรงดัน และกระแสที่ได้ขณะทดลองบันทึกผลลงในตารางที่ 4.7 เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากทั้ง 2 มิเตอร์พบว่าแรงดันและกระแสที่ได้ ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง ซึ่งสามารถปรับค่าให้ถูกต้องมากขึ้นได้ โดยทำการแบ่งกลุ่มตามความชันในรูปที่ 4.14 ให้ละเอียดและเหมาะสมขึ้น ส่งผลให้การคำนวณหาค่ากระแสละเอียดและถูกต้องมากขึ้น แต่ถ้าหากแบ่งจำนวนกลุ่มมากเกินไป ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำงานหนักจนเกิดอาการรวนขึ้นได้

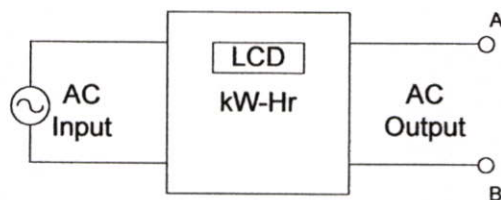
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบแรงดันขณะไม่มีโหนด

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

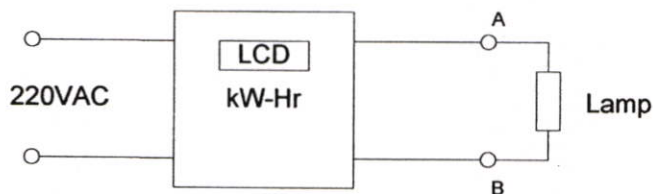
หมายเหตุ Kw-Hr คือ Kilo Watt-Hour meter

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบแรงดันและกระแสขณะมีโหนด

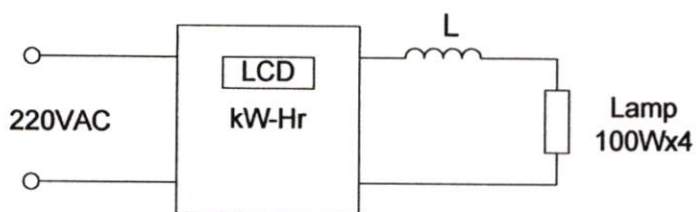
W	Current (A)		Voltage (V)	
	Kw-Hr	Fluke	Kw-Hr	Fluke
0	0	0	226	226.7
200	0.84	0.82	226	226.7
400	1.71	1.71	226	226.7
600	2.6	2.59	225	226.3
800	3.46	3.48	226	227.1
1000	4.41	4.40	224	223.8
1200	5.22	5.20	223	223.5
1400	6.07	6.04	222	221.6
1600	6.95	6.93	221	221.2
1800	7.80	7.78	220	220.3
2000	8.53	8.50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



รูปที่ 4.15 ทดลองหาค่าแรงดันขณะไม่มีโหลด



รูปที่ 4.16 วงจรการทดลองหาค่าแรงดันและกระแสขณะมีโหลด



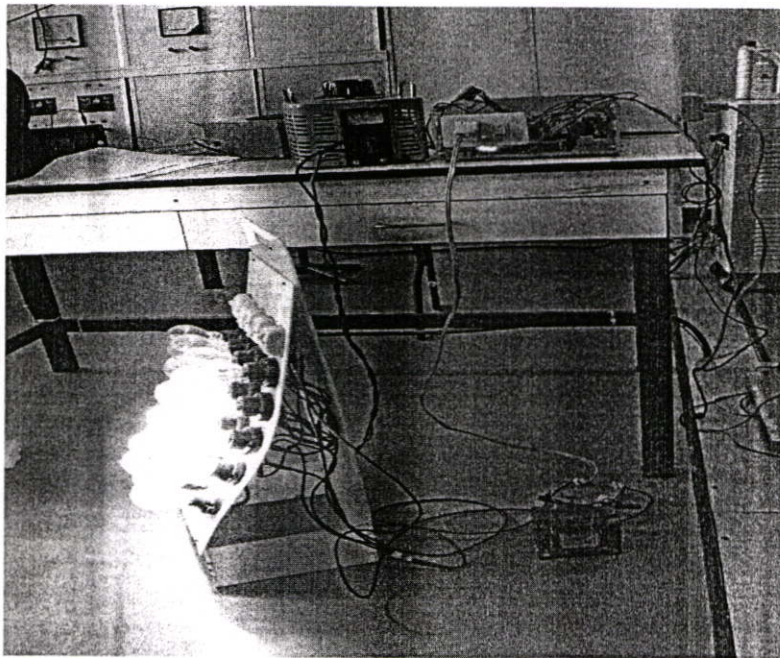
รูปที่ 4.17 วงจรการทดลองหาค่ากระแสและเพาเวอร์แฟกเตอร์

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบกระแสและเพาเวอร์แฟกเตอร์

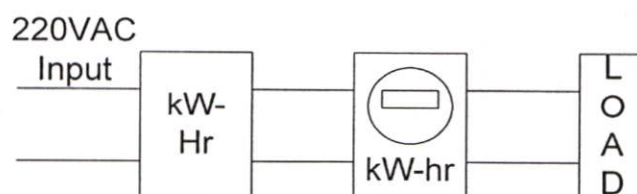
L (mH)	Current		Power factor	
	Kw-Hr	Fluke 43 B	Kw-Hr	Fluke 43 B
4.21	1.71	1.72	0.987	0.98
4.80	1.72	1.72	0.976	0.97
5.12	1.72	1.72	0.968	0.96
9.01	1.72	1.72	0.915	0.91
9.33	1.71	1.70	0.909	0.90
9.92	1.71	1.71	0.900	0.90
14.13	1.71	1.71	0.847	0.85

4.4 การทดสอบหาค่ากระแสและเพาเวอร์แฟกเตอร์

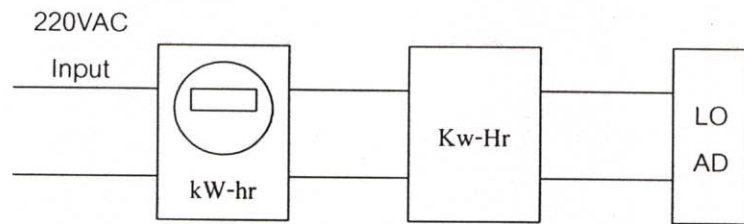
การทดลองนี้ได้นำโหลดชนิดความต้านทานและเหนี่ยวนำมาต่ออนุกรมกัน ดังรูปที่ 4.17 โดยใช้หลอดไส้ 100 W ต่อขนานกันจำนวน 4 หลอด เป็นโหลดความต้านทานคงที่ ทำการเปลี่ยนค่าตัวเหนี่ยวนำ เพื่อให้ได้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่หลากหลาย และวัดกระแสที่ไหลผ่านโหลด จากนั้นบันทึกผลที่ได้ในตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่า ถึงแม้จะเปลี่ยนค่าตัวเหนี่ยวนำ แต่กระแสไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนัก อาจเป็นเพราะแรงดันที่จ่ายให้กับโหลดมีการแกว่งไปมา และปริมาณของโหลดชนิดความต้านทานใช้กระแสไฟฟ้าไม่มากนัก ทำให้ความแตกต่างที่เกิดขึ้นมีเพียงเล็กน้อย เนื่องจากขนาดของตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในการทดลองนี้สามารถทนกระแสได้ไม่มากนัก ในการทดลองนี้จึงไม่สามารถเพิ่มขนาดของโหลดชนิดความต้านทานให้ใช้กระแสไฟฟ้ามากขึ้นได้



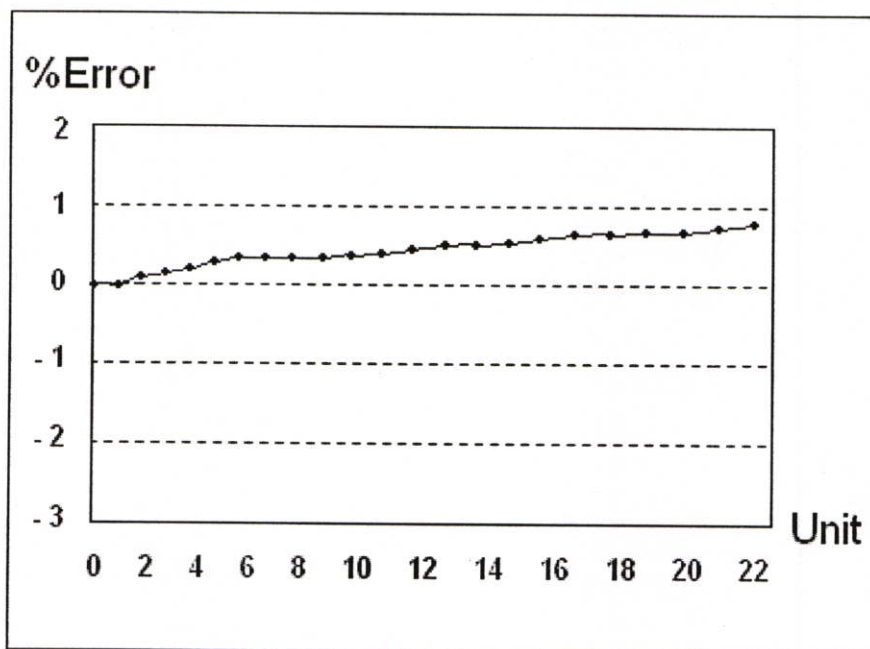
รูปที่ 4.18 การทดสอบต่อวงจรหาค่าต่างๆ



รูปที่ 4.19 วงจรการทดลองหาจำนวนหน่วยใช้งานในห้องทดลอง



รูปที่ 4.20 วงจรการทดลองหาจำนวนยูนิตในบ้านพักอาศัย

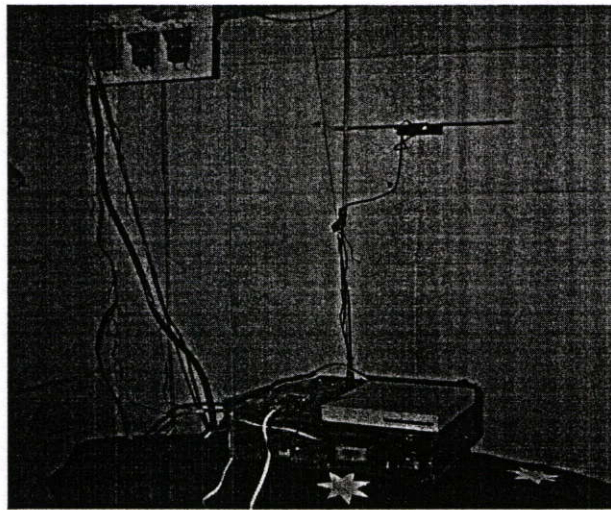


รูปที่ 4.21 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์เทียบกับเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์

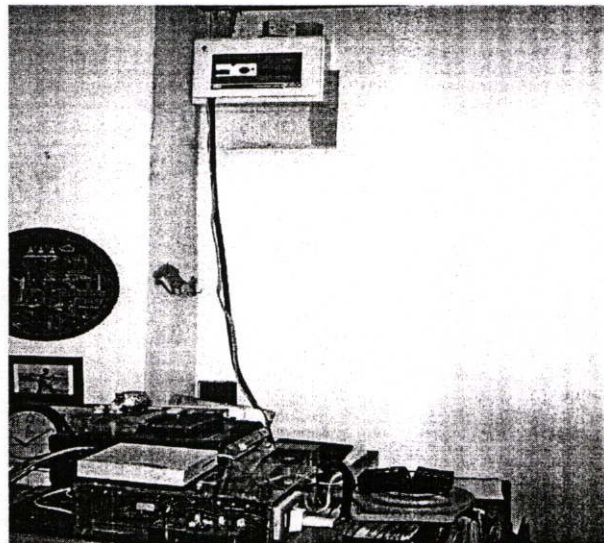
4.5 การหาจำนวนยูนิตใช้งาน

การทดลองจะใช้เครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์เปรียบเทียบกับ เครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ ยี่ห้อ SONGXIZ TYPE DD28 ในการทดลอง จะจ่ายไฟให้กับเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ของการไฟฟ้าก่อน โดยที่เครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์จะต่ออยู่ด้านหลังอีกที่ ดังรูปที่ 4.19 สาเหตุที่ต้องต่อลักษณะนี้ เนื่องจากเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์มีการใช้ไฟฟ้าเพื่อเลี้ยงวงจรอยู่ตลอดเวลา ทำให้ผลการทดลองที่ได้จะเกิดการผิดเพี้ยนไปจึงต้องทำการต่อในแบบที่กล่าวมา โดยทำการต่อเข้ากับโหลดตลอดใส่ 1000 W เป็นเวลาประมาณ 20 ชม. คิดเป็นจำนวน 20 ยูนิต ผลที่ได้จากการทดสอบออกมาใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.21 จากนั้นทำการทดสอบโดยนำเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ ดังรูปที่ 4.20 มาต่อเข้ากับบ้านพักอาศัย 3 หลังและต่อโครงข่ายคู่สายเข้าจำนวน 3

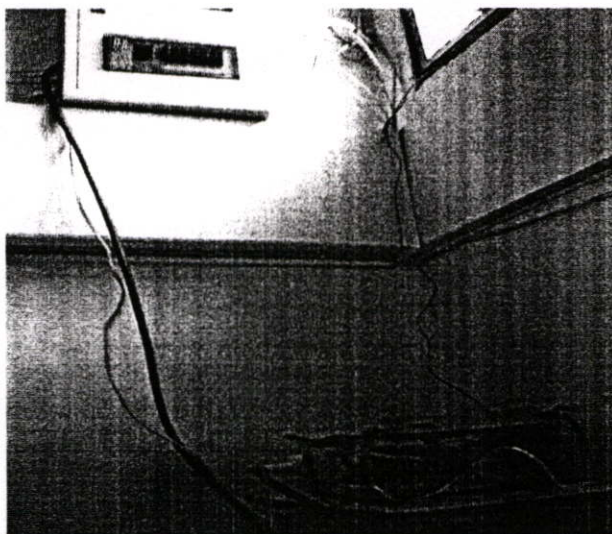
ลิ่งค์ แบ่งเป็นหลังละ 1 ลิ่งค์ เพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนค่าต่างๆ เพื่อทำการเปรียบเทียบกับเครื่อง กิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ของการไฟฟ้า(kW-Hr) ในการทดลองพบว่า จำนวนยูนิตที่ได้มีความแตกต่างกัน เนื่องจากเครื่องกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ต่ออยู่หลังจากเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ของการไฟฟ้า ทำให้เครื่องของการไฟฟ้าคิดจำนวนการใช้ไฟฟ้าของเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ไปด้วย ซึ่งใช้ไฟฟ้าประมาณ 0.0076หน่วย/ชม. เมื่อเพิ่มจำนวนการใช้ไฟฟ้าของเครื่อง-กิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์เข้าไป ในตารางที่ 4.9 พบว่าจำนวนยูนิตที่ได้ยังมีความแตกต่างกันอยู่บ้าง อาจเป็นเพราะการ หาค่าแรงดัน, กระแส และเพาเวอร์แฟกเตอร์ ยังไม่เที่ยงตรงเท่าที่ควร ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้ทำให้การหาจำนวนยูนิตเกิดความคลาดเคลื่อนสะสมมากขึ้นเรื่อยๆ ค่าที่ได้จึงไม่ตรงกันเท่าใดนัก



รูปที่ 4.22 การทดสอบหาจำนวนยูนิตในบ้านพักอาศัยของลิ่งค์ที่ 1



รูปที่ 4.23 การทดสอบหาจำนวนยูนิตในบ้านพักอาศัยของลิ่งค์ที่ 2



รูปที่ 4.24 การทดสอบหาจำนวนยูนิตในบ้านพักอาศัยของลิ่งค์ที่ 3

4.6 การคิดเงิน

ในการทดลองนี้จะนำเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์มาต่อเข้ากับบ้านพักอาศัย 3 หลัง โดยทำการคำนวณค่าไฟฟ้า ตามอัตราค่าไฟฟ้าในประเภท 1.1 ที่อยู่อาศัย อัตราค่าไฟฟ้าผันแปร(Fv) อยู่ที่ 56.83 สต. /หน่วย [7] ในส่วนของการคิดเงิน เครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ จะเริ่มคิดเงินก็ต่อเมื่อครบ 1 หน่วย และจะแสดงยอดเงินคงเหลือ ในรูปแบบจำนวนเต็มไม่มีทศนิยม โดยยอดเงินที่ได้จะทำการคิดเฉพาะค่าพลังงานไฟฟ้ารวมกับค่าอัตราผันแปร ไม่ได้รวมค่าบริการรายเดือน และภาษีมูลค่าเพิ่ม

ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบการคิดเงินและจำนวนยูนิต

ลำดับคู่สาย	เดือน	ยูนิต		เงิน (บาท)	
		Kw/hr ของ MEA	กิโลวัตต์- ชั่วโมง มิเตอร์	Kw/hr ของ MEA	กิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์
ลิ่งค์ที่ 1	พ.ย.	102	101.5	241.96	241
ลิ่งค์ที่ 2	ธ.ค.	141	140.5	334.59	333
ลิ่งค์ที่ 3	ม.ค.	74	74.0	211.18	211

หมายเหตุ Kw/h ของ MEA คือกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ของการไฟฟ้า

จากตารางที่ 4.9 เนื่องจากจำนวนยูนิตที่เครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์หาออกมาได้ ไม่ตรงกับเครื่องกิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ของการไฟฟ้า ในการทดลองนี้จึงทำการคำนวณหาจำนวนเงินจาก

จำนวนยูนิตที่ได้ โดยเปรียบเทียบกับจำนวนเงินที่เครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์คำนวณออกมาได้ ในการคำนวณหาค่าไฟฟ้าจะคำนวณจากจำนวนยูนิตในรูปแบบจำนวนเต็มไม่มีทศนิยม จะเห็นได้ว่า จำนวนเงินที่คำนวณได้กับที่เครื่องกิโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์คำนวณออกมาได้นั้น ค่าใกล้เคียงกันมากมีความแตกต่างกันเพียงทศนิยม เนื่องจากเครื่อง-กิโวลต์ชั่วโมงมิเตอร์นี้จะทำการตัดจำนวนเงินเมื่อครบจำนวนเต็มแล้วเท่านั้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการชำระค่าไฟฟ้า ในอีกรูปแบบหนึ่งในระบบพีเร็ด ด้วยการนำ บัตรสมาร์ตการ์ดมาใช้แทนเงินสด เพื่อที่จะเป็นการช่วยลดต้นทุนในการให้บริการของผู้ให้บริการ ไฟฟ้า โดยจะแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนคือ โครงข่ายคู่สายเช่า เครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมง มิเตอร์ และเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร

การทดสอบในส่วนของโครงข่ายคู่สายเช่า จะต้องมีการทดสอบข่ายสายโทรศัพท์ซึ่งเป็น คู่สายทองแดงจะต้องมีการทดสอบค่าความต้านทาน ค่าความเป็นฉนวน และค่าระยะทางความยาว ของคู่สายโทรศัพท์ ในส่วนของค่าความต้านทานและค่าความเป็นฉนวนค่าทดสอบ ในแต่ละช่วง ทั้งเคเบิลต้นทางและปลายทาง เพื่อที่จะกำหนดเลือกเส้นและคู่สายของสาย โทรศัพท์ที่เหมาะสม ในการนำมาใช้เป็นคู่สายเช่าไว้รับ-ส่งข้อมูล

เนื่องจากว่าข่ายสายโทรศัพท์ในยุคแรกๆ ได้ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับใช้งานทางเสียงอย่าง เดียว ไม่ได้ออกแบบเพื่อรองรับการใช้งานทางด้านกรับ-ส่งข้อมูล แต่มีการนำมาประยุกต์ใช้กับ การรับ-ส่งข้อมูลภายหลัง และสภาพของคู่สายโทรศัพท์ในแต่ละช่วงก็มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง ที่ไม่เท่ากัน และมีอายุการใช้งานที่ไม่เท่ากัน รวมถึงลักษณะการติดตั้งมีทั้งแบบแขวนบนอากาศ และได้ดิน พบว่าปัญหาของคู่สายโทรศัพท์ที่นำมาใช้งานเป็นคู่สายเช่าไว้รับ-ส่งข้อมูล ส่วน ใหญ่เกิดจากสภาพความเป็นฉนวนมีค่าต่ำ สาเหตุเกิดจากมีน้ำเข้าสายโทรศัพท์บริเวณหัวต่อของ เคเบิลต้นทางและปลายทางทั้งชนิดที่แขวนอากาศและได้ดิน รวมทั้งสาเหตุจากการติดตั้งที่ไม่ถูกวิธี ทำให้ฉนวนที่หุ้มคู่สายสายโทรศัพท์เกิดการถลอกเป็นรอย

การรับส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายคู่สายเช่าผ่านข่ายสายโทรศัพท์ พบว่าจะมีตัวแปรที่สำคัญซึ่ง จะส่งผลให้การรับส่งข้อมูลได้ในระยะทางที่ไกลขึ้นและมีความมั่นคงนั้น จะขึ้นอยู่กับคุณภาพ คู่สายทองแดงของข่ายสายโทรศัพท์ ที่นำมาใช้งานคือค่าความต้านทานของฉนวนและค่าความ ต้านทานของคู่สาย ค่าความต้านทานของคู่สายทองแดงที่นำมาใช้เป็นคู่สายเช่าจะมีค่ามากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับระยะทาง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคู่สายทองแดงและจุดเชื่อมต่อบริเวณตามตู้ ผ่านและตู้ปลายส่วนค่าความต้านทานของฉนวน ของคู่สายทองแดงที่นำมาใช้เป็นคู่สายเช่า จะมีค่า มากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับ อายุการใช้งาน สำหรับระยะทางของโครงข่ายคู่สายเช่าตั้งแต่ห้องเคเบิล มายังตัวโมเด็มปลายทาง คู่สายทองแดงที่จะนำมาใช้เป็นคู่สายเช่าจะต้องมีความยาวไม่เกิน 4-5Km. และค่าความต้านทานของคู่สายทองแดงไม่ควรเกิน $1K\Omega$ ส่วนค่าความความต้านทานของฉนวน ไม่ ควรต่ำกว่า $500 M\Omega$

เครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์พบว่าการหาค่าแรงดัน ยังมีความแตกต่างกันอยู่บ้างเมื่อแรงดันที่วัดห่างจากระดับ 220 โวลต์ แต่ถ้าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับระดับ 220 โวลต์ ค่าที่ได้จะค่อนข้างใกล้เคียงกัน การวัดหาค่ากระแส และเพาเวอร์แฟกเตอร์ พบว่าถ้าหากมีการใช้งานที่มีกระแสใช้งานน้อย ค่าที่วัดได้จะไม่ถูกต้องเท่าที่ควร เนื่องจากแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแสจะมีค่าน้อยมาก แต่ก็สามารถแก้ไขได้โดยการนำแรงดันที่ออกจากหม้อแปลงกระแส มาต่อเข้ากับวงจรขยายสัญญาณเสียก่อน และเนื่องจากใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม ทำให้การเปลี่ยนแปลงข้อมูลเพื่อที่จะใช้ในการคำนวณปรับค่าให้ถูกต้องสามารถทำได้ง่าย ทำให้ค่าที่วัดได้มีผลใกล้เคียงกันมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อภาระงาน ยูนิคที่ใช้งานมีผลถูกต้องมากขึ้นไปด้วย ส่วนผลการทดลองหาจำนวนยูนิค เมื่อนำไปต่อกับบ้านพักอาศัยจะเห็นว่ามีความแตกต่างพอสมควร เนื่องจากเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ต่ออยู่ด้านหลัง เครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ของการไฟฟ้า ทำให้เครื่องของการไฟฟ้าคิดปริมาณการใช้งานของเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ไปด้วย อีกทั้งการหาจำนวนยูนิคจะใช้เวลานาน ความผิดพลาดนี้ก็จะสะสมมากขึ้นไปเรื่อยๆ ทำให้ผลในการหาจำนวนยูนิคที่ใช้งานไม่ตรงกันเท่าที่ควร ในการทดสอบการคำนวณหาค่าไฟฟ้านั้นพบว่าค่าที่ได้มีความถูกต้อง โดยจะทำการลดจำนวนเงินที่มีอยู่ในเครื่องเมื่อครบจำนวนเต็มทุกๆ 1 บาท เมื่อจำนวนเงินถูกลดไปจนหมดเครื่องจะทำการตัดไฟฟ้าที่จ่ายให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าจนกว่าจะมีการเติมเงินจากบัตรสมาร์ทการ์ด จึงจะใช้ไฟต่อไปได้

ในส่วนของการปรับค่าอัตราผันแปร(Ft) จะสามารถเพิ่มจำนวนเงินเข้าไปยังบัตรสมาร์ทการ์ด เพื่อที่จะนำบัตรสมาร์ทการ์ดที่มีเงินอยู่ในบัตรนี้ ไปเติมเงินเข้ายังเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ต่อไป โดยที่อัตราค่าไฟฟ้าผันแปร(Ft) ทางกรไฟฟ้าจะเป็นผู้กำหนดและสามารถปรับเปลี่ยนจากเครื่องปรับค่าอัตราผันแปร(Ft) การทดสอบเปลี่ยนค่าอัตราผันแปร(Ft)กับเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์ ซึ่งสามารถที่จะต่อเป็นโครงข่ายได้ถึง 256 จุด ภายในระยะทาง 4000 ฟุต แต่ในการทดลองจะต่อเครื่องกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์เพียง 2 เครื่อง ในการส่งข้อมูลของเครื่องปรับค่าอัตราผันแปรจะมีการกำหนดแอดเดรสว่าต้องการเปลี่ยนแปลงข้อมูลไปยังเครื่องใด ทำให้ง่ายต่อการตรวจสอบว่า เครื่องที่ต้องการเปลี่ยนข้อมูลนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลได้อย่างถูกต้องหรือไม่ ซึ่งในการทดลองก็สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างถูกต้อง

ในอนาคตการรับส่งข้อมูลผ่านทางโครงข่ายคู่สายเช่า ควรมีการเชื่อมโยงกับโครงข่ายอินเทอร์เน็ตและระบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่3(3G) เพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถที่จะตรวจสอบจำนวนเงินที่เหลือและจำนวนยูนิคที่ใช้งาน เพื่อที่จะนำข้อมูลของผู้ใช้ไฟมาวิเคราะห์ประกอบการทำงานของโรงไฟฟ้าและสามารถศึกษาพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟ มาประกอบการวางแผนในการสร้างโรงไฟฟ้า

บรรณานุกรม

- [1] ศูนย์การฝึกอบรม. คู่มือช่างการติดตั้งโทรศัพท์. องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย
- [2] <http://www.airborn.com.au/layout/232to485.html>
- [3] The “ HDSL – TRANSMISSION System COLT – 2” System Manual – 2 Cap ,Telecom networks from ASCOM For Voice, Imaged And Data
- [4] Keymile Access “UMUX MULTISERVICE ACCESS PLATFORM” Release R6
- [5] นายวุฒิพันธ์ ศิลปวรรณวิวัฒน์ และรศ.มณฑล ติลาจินดาไกรฤกษ์ “ การชำระและคำนวณค่าไฟฟ้า ด้วย สมาร์ทการ์ดและดิจิทัลโวลต์-ชั่วโมงมิเตอร์” วิศวกรรมลาดกระบัง, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ปีที่ 22, ฉบับที่ 2 มิถุนายน 2548
- [6] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. คู่มือชี้แจงอัตราค่าไฟฟ้า. กองอัตราและธุรกิจการไฟฟ้า. ฝ่ายเศรษฐกิจและงบประมาณ. 2546.
- [7] การไฟฟ้านครหลวง. สถิติอัตราค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft). [Online]. Available : http://www.mea.or.th/portal/index.php?option=com_content&task=view&id=78&Itemid=80. 2549.
- [8] พันธุ์ศักดิ์ พุฒิमानิตพงศ์ “ โทรคมนาคมเบื้องต้น” เจริญรุ่งเรืองการพิมพ์ 2546.
- [9] ศูนย์การฝึกอบรม. วงจรเช่าของ ทศท. องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย
- [10] <http://www.sgmltools.org>
- [11] <http://www.camiresearch.com>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
การคำนวณหาค่าไฟฟ้า

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าไฟฟ้าจะสมมุติว่า บ้านหลังหนึ่งใช้ไฟไป 141 หน่วย คิดค่าไฟในประเภทที่ 1.1 บ้านอยู่อาศัย

อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 1.1 บ้านอยู่อาศัย

	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
ค่าบริการ		56.83
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

$$\begin{aligned} \text{หน่วยที่ 0-150} &= 141 * 1.8047 = 254.4627 \text{ บาท} \\ &\text{รวม } 254.4627 \text{ บาท} \end{aligned}$$

1.2 ค่าบริการรายเดือน = 40.90 บาท

$$\text{รวมค่าไฟฟ้าฐาน} = 254.46 + 40.90 = 295.3627 \text{ บาท}$$

2) ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) หน่วยละ 56.83 สตางค์/หน่วย

= หน่วยการใช้ไฟฟ้า * ค่าอัตราผันแปร

$$= 141 * 0.5683 = 80.13 \text{ บาท}$$

3) ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %

= (ค่าไฟฟ้าฐาน+ค่า Ft) * (7/100)

$$= 295.3627 * 0.07 = 20.6754 \text{ บาท}$$

$$\text{รวมเงินที่ต้องชำระ} = 375.49 \text{ บาท}$$

แต่ในส่วนของงานวิจัยนี้ จะทำการคำนวณเฉพาะ ค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าผันแปร

เพราะฉะนั้นจำนวนเงินรวมที่ต้องชำระ

$$= 254.4627 + 80.13$$

$$= 334.59 \text{ บาท}$$

ภาคผนวก ข

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

- [1] บัณฑิต แก้วศรี และศุภิบรรจงจิตร. “สมาร์ตการ์ดคิติดอลกิโวดด์-ซัวโมงมิเตอร์แบบรีโมท ข้อมูลผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า”วารสารวิศวกรรมสาร มก.,ฉบับที่ 57 ,ประจำเดือน ธันวาคม 2548 – มีนาคม 2549



ที่ ศธ 0513.10801/ ๒13 ๒

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

ตู้ ป.ณ. 1032 ไปรษณีย์เกษตรศาสตร์

กรุงเทพมหานคร 10903

1๐ พฤษภาคม 2549

เรื่อง ตอบรับบทความวิจัย

เรียน นายบัณฑิต แก้วศรี

สิ่งที่ส่งมาด้วย -

ตามที่ท่านได้ส่งบทความวิจัยเรื่อง "สมาร์ตการ์ดดิจิทัลโลกิวัตต์ - ชั่วโมงมิเตอร์แบบรีโมท ข้อมูลผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า" มาเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมสาร มก. ดังรายละเอียดที่ทราบแล้วนั้น

ฝ่ายบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมสาร มก. ได้พิจารณาแล้ว เห็นสมควร รับผิดชอบ บทความวิจัยของท่านลงในวารสารวิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 57 ประจำเดือน ธันวาคม 2548 - มีนาคม 2549 ซึ่งขณะนี้กำลังดำเนินการจัดพิมพ์อยู่ ทั้งนี้เมื่อวารสารแล้วเสร็จ คณะฯ จะจัดส่งให้ท่านต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(รศ.ดร.พิชญูทธิ์ ชาญเศรษฐิกุล)

รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบัณฑิตศึกษา

สมาร์ทการ์ด

ดิจิทัลกิโลวัตต์ – ชั่วโมงมิเตอร์แบบรีโมทข้อมูลผ่าน

โครงข่ายคู่สายเช่า

Remote Data Smart Card Digital Kilo
Watt -Hour Meter On Leased Line Network

บัณฑิต แก้วศรี¹

รศ.ศุภี บรรจงจิตร²

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึง สมาร์ทการ์ดดิจิทัลกิโลวัตต์ - ชั่วโมงมิเตอร์แบบรีโมทข้อมูลผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า โดยจะใช้เครื่องมาสเตอร์หรือเครื่องปรับเปลี่ยนค่าอัตราไฟฟ้าผันแปร(Ft) ทำการปรับเปลี่ยนค่าอัตราไฟฟ้าผันแปร(Ft) วัน/เดือนปี และเวลา ซึ่งจะทำการรับ - ส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ต RS - 485 และ พอร์ต RS - 232 แล้วประยุกต์ใช้กับโครงข่ายคู่สายเช่า (Leased line Network, DDN: Digital Data Network) ที่ความเร็ว 9.6 Kb/s ไปยังเครื่องลูกข่ายหรือเครื่องดิจิทัลกิโลวัตต์ - ชั่วโมงมิเตอร์ ได้ในระยะทางไกล เพื่อที่จะนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าไฟฟ้าที่ได้ใช้ไป และทำการหักยอดเงินที่มีอยู่ในบัตรสมาร์ทการ์ด ซึ่งจะเป็นวิธีการชำระเงินค่าไฟแบบล่วงหน้าหรือ ฟรีเพด (Prepaid)

Abstract

This paper presents the Remote Data Smart Card Digital Kilo Watt - Hour Meter On Leased Line Network. Between Master and Slave .For increasing value of smart card Changing Time and Ft rate Transmit - Receive data Via RS-485 and RS - 232 port. It was applied by leased line network at speed 9.6 Kb/s for monitoring electric meter smart card which compare and calculates the electric payment the money in a smart card, and cut off.

Key words: Smart Card, Kilo Watt - Hour Meter, Payment the money, Prepaid, Digital data Network

¹ นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1. บทนำ

ในการชำระเงิน ค่าไฟมีขั้นตอนและกระบวนการที่ยังอยากพอสมควร สร้างความไม่สะดวกให้แก่ผู้ใช้ไฟเนื่องจาก ต้องเดินทางไปชำระเงินค่าไฟที่สำนักงาน ส่วนผู้ให้บริการมีภาระต้นทุน เพราะว่าจะมีการจ้างพนักงาน ถึงแม้ว่าในปัจจุบันนี้จะมีผู้ให้บริการไฟฟ้า ได้มีการนำเอาบัตรสมาร์ทการ์ด [1] มาใช้ในการชำระเงินค่าไฟฟ้า แทนเงินสด แต่ก็ยังมีปัญหาและเกิดความไม่สะดวก เนื่องจากหลักการเดิม ในการทำงานของเครื่องมาสเตอร์ หรือเครื่องปรับเปลี่ยนค่าอัตราไฟฟ้าผันแปร ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเพิ่มมูลค่าเงินให้กับบัตรสมาร์ทการ์ด, ปรับเปลี่ยนค่าอัตราไฟฟ้าผันแปร (Ft) วัน/เดือน/ปี และเวลา ส่วนเครื่องลูกข่ายหรือเครื่องดิจิทัลโวลต์ - ชั่วโมงมิเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้งานและลดมูลค่าของจำนวนเงินที่มีอยู่ในบัตรสมาร์ทการ์ด ในการทำงานทั้ง 2 ส่วนนี้จะต้องทำงานร่วมกัน คือ มีการรับส่งข้อมูลถึงกันโดยใช้พอร์ต RS - 485 แต่ก็ยังมีข้อจำกัดเรื่องระยะทาง ทำให้ไม่สามารถควบคุมและปรับเปลี่ยนค่า ที่ได้กล่าวมาไว้ข้างต้นได้ในระยะไกล ซึ่งอาจจะใช้ได้เฉพาะอาคารชุด, แฟลต และยังคงต้องใช้บุคลากร เดินทางเข้าไปในบริเวณพื้นที่รัศมีทำการ ซึ่งไม่แตกต่างไปจากแบบเดิมเพียงแต่เปลี่ยน จากไปจดบันทึกยูนิตไปเป็นปรับเปลี่ยนค่าต่างๆที่เครื่องมาสเตอร์ ผู้ให้บริการยังคงมีต้นทุน ในด้านพนักงานจึงได้คิดทำงานวิจัยเรื่อง สมาร์ทการ์ดดิจิทัลโวลต์ -

ชั่วโมงมิเตอร์แบบรีโมทข้อมูลผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า เพื่อเป็นการลดต้นทุนของผู้ให้บริการ

2. ทฤษฎีและหลักการ

2.1 หลักการทำงานเบื้องต้น

หลักการทำงานเบื้องต้นการทำงานของระบบจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ แสดงในรูปที่ 2.

2.1.1 การทำงานของเครื่องมาสเตอร์ (Master)

2.1.2 การทำงานของเครื่องลูกข่าย (Slave)

2.1.3 การทำงานของโครงข่ายคู่สายเช่า (Leased Line Network)

2.1.1 การทำงานเครื่องมาสเตอร์ (Master) หรือเครื่องปรับเปลี่ยนค่าอัตราไฟฟ้าผันแปร (Ft) จะทำหน้าที่เพิ่มมูลค่าเงินให้กับบัตรสมาร์ทการ์ด และการปรับเปลี่ยนค่าอัตราไฟฟ้าผันแปร (Ft) วัน/เดือน/ปี และเวลา ของเครื่องลูกข่าย เพื่อที่จะนำค่าไปใช้ ในการคำนวณหาค่าไฟฟ้าต่อไป โดยที่จะกำหนดแอดเดรสของแต่ละเครื่องไว้ เมื่อทำการส่งข้อมูลไปยังเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่อง ก็จะทำการตรวจสอบการรับ-ส่งข้อมูล ว่าสมบูรณ์หรือไม่ ถ้าหากไม่สามารถทำการรับ-ส่งข้อมูลได้ ก็จะมีข้อความเตือน

2.2.2 การทำงานของเครื่องลูกข่าย (Slave) หรือเครื่องดิจิทัลโวลต์ - ชั่วโมงมิเตอร์ ในขั้นแรกจะตรวจสอบว่ามีเงินอยู่หรือไม่ ถ้าหากว่าไม่มี เครื่องลูกข่ายก็จะไม่จ่ายไฟให้กับผู้ใช้ แต่เมื่อเสียบบัตรและโอนเงิน เข้าเครื่องลูกข่ายเรียบร้อยแล้ว เครื่องก็พร้อมที่จะจ่ายไฟให้กับผู้ใช้

ไฟ พร้อมกับทำการคำนวณหาค่า จำนวนยูนิตที่ใช้ไฟ และอัตราค่าไฟฟ้าออกมา โดยจะหักเงินจากยอดเงินที่ได้ทำการบันทึกไว้ในเครื่อง เมื่อมีการใช้งานเกิดขึ้น เครื่องก็จะทำการ คำนวณคิดค่าไฟฟ้าออกมา โดยจะหักยอดเงินที่มีอยู่ในเครื่องลดลงไปเรื่อยๆจนหมดเครื่องดิจิตอลกิโวลต์ - ชั่วโมงมิเตอร์ ก็จะทำการตัดวงจรการจ่ายไฟออก ผู้ใช้ไฟก็จะไม่สามารถใช้ไฟได้จนกว่า ผู้ใช้ไฟจะมีการเติมเงินเข้าไปในเครื่องดิจิตอลกิโวลต์ - ชั่วโมงมิเตอร์ วงจรการจ่ายไฟก็เริ่มจ่ายไฟให้แก่ผู้ใช้ไฟ

หลักการการทำงานแสดงดังรูปที่ 1. การหาขนาดของแรงดันจะใช้หม้อแปลงแรงดัน (PT) ในส่วนของกระแสจะใช้หม้อแปลงกระแส (CT) จากนั้นนำสัญญาณที่มาต่อเข้ากับวงจร A/D คอนเวอร์เตอร์ แล้วส่งสัญญาณดิจิตอลเข้าไปยังตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อคำนวณหาขนาดของแรงดันและกระแสในส่วนของคุณค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ จะนำสัญญาณจาก PT และ CT มาต่อเข้ากับวงจร Zero-Crossing Detector เพื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของมุมเฟสระหว่างแรงดันกับกระแส แล้วนำค่าที่ได้มาแทนลงในสมการที่ (1) จะได้ค่าองศาที่เกิดขึ้น เมื่อนำค่าที่ได้ทั้งหมดที่หามาแทนค่าในสมการที่ (2) ก็จะได้ค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ใช้

การคำนวณหาค่าไฟฟ้า

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

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

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้า (W)
 V คือ แรงดัน (V)
 I คือ กระแส (A)

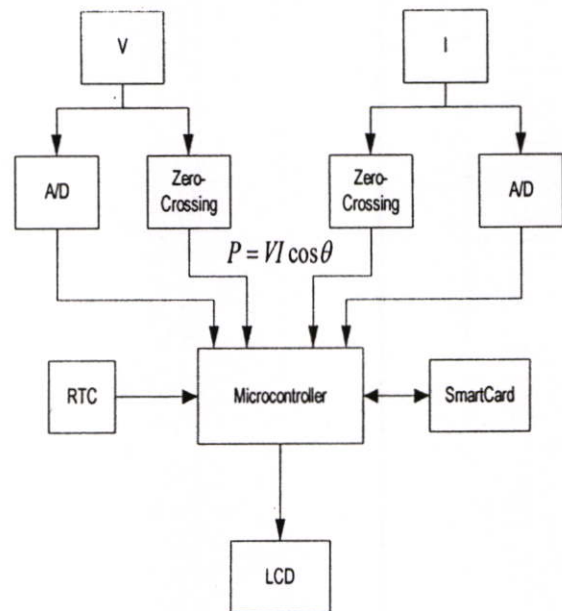
$\cos \theta$ คือ ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์
 เมื่อได้ค่ากำลังไฟฟ้าแล้วก็นำมา

คำนวณหาจำนวนยูนิตที่ใช้จากสมการที่ (3)

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

เมื่อ W_p คือ พลังงานไฟฟ้าหน่วยยูนิต
 P คือ กำลังไฟฟ้า (W)
 T คือ เวลาหน่วยชั่วโมง

จากนั้น นำจำนวนยูนิตที่ได้ไปทำการคำนวณเพื่อหาค่าไฟฟ้า ตามประเภทการใช้งาน



รูปที่ 1.การทำงานเบื้องต้นของเครื่องดิจิตอลกิโวลต์ -- ชั่วโมงมิเตอร์

เมื่อหาขนาดมุมได้แล้ว สามารถที่จะหาขนาดของกระแส โดยใช้แรงดันที่ออกมาจาก CT แปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นทำการหากระแสโดยใช้สมการที่ (4)

$$I = \left[\frac{(V_{CT} - y_1)}{\tan \theta} \right] + x_1 \quad (4)$$

เมื่อ V_{CT} คือ แรงดันที่ออกมาจาก CT

y_1 คือ แรงดันเริ่มต้นที่กำหนดแบ่งช่วงไว้

x_1 คือ กระแสเริ่มต้นที่กำหนดแบ่งช่วงไว้

การหาค่าแรงดันจะใช้หม้อแปลงแรงดัน ทำการลดแรงดันจาก 220 V เหลือ 4.5 V แล้วนำมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าแรงดันโดยเทียบอัตราส่วนกันดังสมการที่ (5)

$$V = V_{pt} \times \left(\frac{220}{4.5} \right) \quad (5)$$

เมื่อ V คือ แรงดันที่คำนวณได้

V_{pt} คือ แรงดันที่ออกจากหม้อแปลงแรงดัน

ในส่วนของการคำนวณค่าไฟนั้น จะมีการคำนวณอยู่ตลอดเวลา และเมื่อเริ่มเดือนใหม่ทุกๆ เดือนจะต้องมีการคิดจำนวนยูนิต รอบใหม่ จะใช้ตัว RTC แทนตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งสามารถนับเวลาเป็นวินาที นาที ชั่วโมง และปี ได้

2.1.3 การทำงานของโครงข่ายคู่สายเช่า (Leased Line) เป็นตัวกลางให้การรับ-ส่งข้อมูลระหว่างเครื่องมาสเตอร์(Master)ที่ต้นทาง โดยจะรับ-ส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ต RS - 485 และตัวคอนเวอร์เตอร์(converter) เพื่อแปลงพอร์ต RS - 485 ไปเป็นพอร์ต RS - 232 ไปยังตัวเครื่องโมเด็มแล้วส่งผ่านทางโครงข่ายคู่สายเช่า(Leased Line) ไปยังเครื่องลูกข่าย(Slave)ที่ปลายทาง ซึ่งจะประกอบด้วย

1. ข่ายสายโทรศัพท์(Telephone Network)
2. เครื่องอุปกรณ์รับ-ส่งของคู่สายเช่า (Leased Line Node) DDN (Digital Data Network)
3. ตัวเครื่องโมเด็มต้นทางและปลายทาง (Modem)
4. ตัวคอนเวอร์เตอร์ (Converter)
5. ระบบควบคุมบำรุงดูแลรักษา NMS (Network Management System)
6. ระบบ สื่อ สัญญาณ (Transmission System)

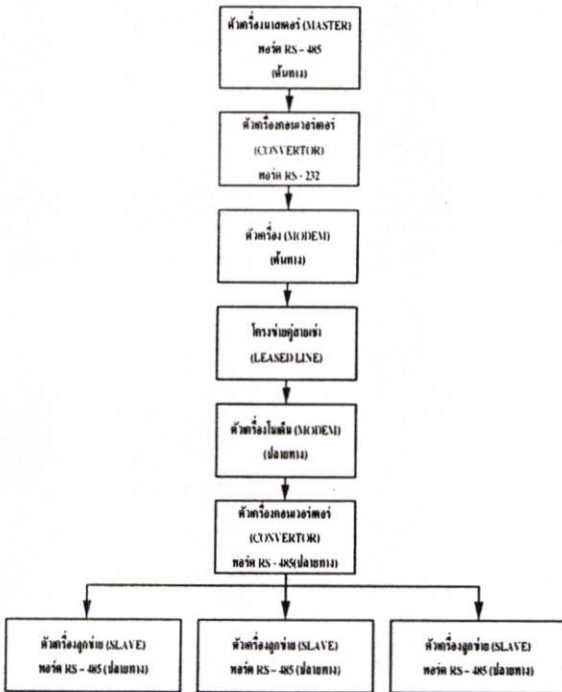
3.การติดตั้งเครื่องสมาร์ตการ์ดดิจิทัล

กิโลวัตต์ - ชั่วโมงมิเตอร์แบบรีโมทข้อมูลผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า

3.1เครื่องมาสเตอร์ปรับเปลี่ยนค่าอัตราไฟฟ้าผันแปร(Ft)

การทดลองผู้ทำวิจัย ได้ใช้ชุมสายโทรศัพท์หลักที่เป็นสถานที่ทำการทดลอง และได้ทำการ

ติดตั้ง เครื่องมาสเตอร์หรือเครื่องปรับเปลี่ยนค่า
อัตราไฟฟ้าผันแปร (Ft) ไว้ที่ห้องโทรคมนาคม 1



รูปที่ 2.แผนผังแสดงขั้นตอนของการรับส่งข้อมูล
ระยะไกลระหว่างตัวเครื่องมาสเตอร์(Master) กับ
เครื่องลูกข่าย (Slave) โดยผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า
(Leased Line Network) และเครื่องลูกข่ายกับ
เครื่องลูกข่าย

3.2 เครื่องลูกข่าย หรือเครื่องดิจิทัลโวลต์ดี
- ชั่วโมเมนต์

ได้ทำการติดตั้งไว้ที่บ้านพักอาศัยจำนวน 3
หลัง

3.3การติดตั้งโครงข่ายคู่สายเช่า (Leased Line
Network)

จะประกอบด้วย 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนที่
หนึ่ง คือส่วนของข่ายสายโทรศัพท์ ส่วนที่สอง คือ
ส่วนของโครงข่าย DDN

1) ส่วนของข่ายสายโทรศัพท์ มีการกำหนดคู่สาย
ทองแดงและหมายเลขเคเบิลไว้ [1] ใช้เป็นสื่อใน
การติดต่อ ตัวเครื่องโมเด็มปลายทางมายัง Node
DDN ต้นทาง โดยกำหนดจากห้องเคเบิล (MDF
Room) ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักไปยังตู้ผ่าน
(Cabinet) และตู้ปลาย (Distribution Terminal)
แล้วต่อไปยังบ้านพักอาศัย ที่จะติดตั้งเครื่องลูก
ข่าย (Slave) โดยกำหนดไว้ใช้ในการทดลอง 3
ลิงค์แบ่งออกเป็นลิงค์และ 1 หลัง คือ

1. ลิงค์ที่ 1 เคเบิลต้นทาง(Primary Cable)
เส้นที่: 17 คู่ที่: ,611 เคเบิลปลายทาง
(Secondary Cable) เส้นที่: 01 คู่ที่: , 16 ตู้ผ่าน
(Cabinet)ที่: LKS 068 , ยังตู้ปลาย(Distribution
Terminal)ที่: 002 หมู่:1 เป็นบ้านหลังที่ 1

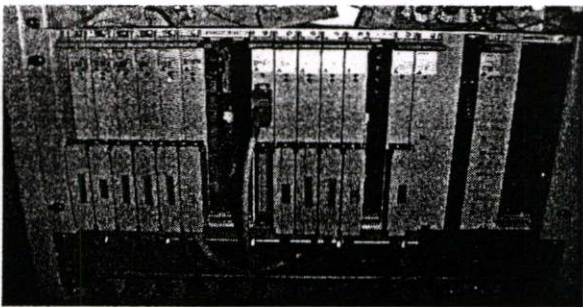
2. ลิงค์ที่ 2 เคเบิลต้นทาง(Primary Cable)
เส้นที่: 08 คู่ที่: 1621 , เคเบิลปลายทาง
(Secondary Cable) เส้นที่: 01 คู่ที่: 218 , ตู้
ผ่าน(Cabinet)ที่: LKS 048 , ยังตู้ปลาย
(Distribution Terminal)ที่: 018 หมู่:3 เป็น
บ้านหลังที่ 2

3. ลิงค์ที่ 3 เคเบิลต้นทาง(Primary Cable)
เส้นที่: 11 คู่ที่: 835 , เคเบิลปลายทาง(Secondary
Cable) เส้นที่: 01 คู่ที่: 339 , ตู้ผ่าน(Cabinet)ที่:
LKS 083 , ยังตู้ปลาย(Distribution Terminal)ที่:
016 หมู่:9 เป็นบ้านหลังที่ 3

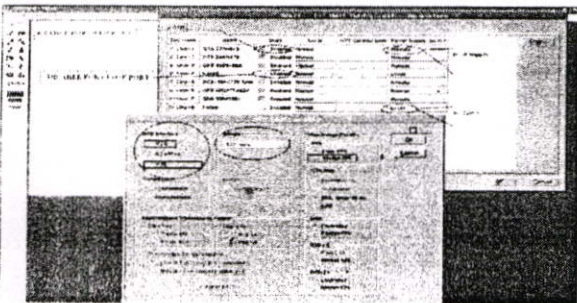
2) ส่วนของโครงข่าย DDN จะ
ประกอบด้วย

2.1) เครื่องรับ-ส่งคู่สายเช่า DDN ที่ใช้เป็น
Node ในการรับ-ส่งข้อมูลแสดงในรูปที่ 3. ซึ่ง

จะต้องมีการกำหนด Node ต้นทางปลายทางและ Port ที่จะใช้งาน ในแต่ละ Grad และการระบุขนาดความเร็วและชนิดของตัวอินเตอร์เฟส โดยในการทดลองนี้จะกำหนดความเร็วที่ 9.6 Kb/s และตัวอินเตอร์เฟส เป็นV.24 ซึ่งจะกำหนดจากระบบควบคุมบำรุงดูแลรักษา NMS (Network Management System) แสดงในรูปที่ 4. [3-4]



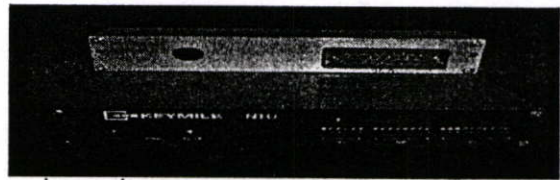
รูปที่ 3.เครื่องรับ-ส่งคู่สายเข้าDDN (Digital Data Network)



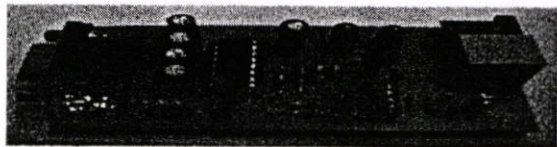
รูปที่ 4. แสดงหน้าจอการกำหนดสำหรับกำหนดความเร็วชนิดของตัวอินเตอร์เฟส ในระบบควบคุมบำรุงดูแลรักษา NMS (Network Management System)ของตัวเครื่องรับ-ส่งคู่สายเข้าDDN (Digital Data Network)

2.2) ตัวเครื่องโมเด็มและตัวคอนเวอร์เตอร์ทำหน้าที่ เป็นตัวแปลงสัญญาณและแปลงพอร์ต

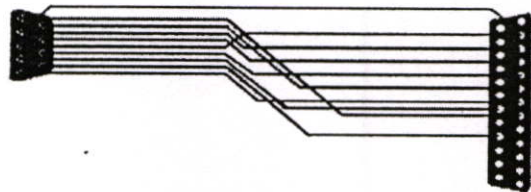
RS-485ไป RS-232แสดงในรูปที่ 5 และ 6. [2]โดยในการเชื่อมต่อ ตัวโมเด็มกับตัวพอร์ต RS-485ไม่สามารถอินเตอร์เฟสกันได้ จึงต้องมีตัวคอนเวอร์เตอร์ไว้เป็นตัวแปลงพอร์ต เพื่อที่สามารถให้พอร์ตRS-485อินเตอร์เฟสกับตัวโมเด็มซึ่งตัวโมเด็มจะใช้V.24เป็นตัวอินเตอร์เฟส ส่วนตัวพอร์ตRS-232 ในการเชื่อมต่อกับตัวโมเด็มจะต้องมีการแปลงขา DB9 ไป DB25 แสดงในรูปที่ 7. เนื่องจากตัวอินเตอร์เฟสคนละชนิดกัน[8]



รูปที่ 5..เครื่องโมเด็ม



รูปที่ 6.เครื่องคอนเวอร์เตอร์ พอร์ตRS-485 ไปพอร์ตRS-232



รูปที่ 7. ภาพแสดง Pin Assignments Adapter DB9 to DB25

4. การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองโครงข่ายคู่สายเช่า (Leased Line Network)

ผลลัพธ์จากการทดลอง กำหนดคู่สายทองแดงของข่ายสายโทรศัพท์ที่จะนำมาใช้ เป็นคู่สายเช่า (Leased Line) ในโครงข่าย DDN โดยใช้เครื่องทดสอบระยะทางยี่ห้อ BICCOTEST รุ่น T535 ค่าความต้านทานใช้มิเตอร์ยี่ห้อ SANWA รุ่น YS - 360TRD ค่าความต้านของฉนวนใช้เครื่อง INSULATION RESISTANCE TESTER ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น 3213

ตารางที่ 1. ผลการทดลองวัดระยะทาง,ค่าความต้านทานและความต้านทานของฉนวนของเคเบิลต้นทาง (Primary Cable) จากช่วงห้องเคเบิล (MDF Room) ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ ไปยังตู้ผ่าน (Cabinet)

ลำดับคู่สาย	ระยะทาง (Km.)	ค่า R (Ω)	ค่า R ของฉนวน (M Ω)
ลิงค์ที่ 1	1.29	350	∞
ลิงค์ที่ 2	1.90	514	∞
ลิงค์ที่ 3	4.32	698	∞

ตารางที่ 2. ผลการทดลองวัดระยะทาง,ค่าความต้านทานและความต้านทานของฉนวน ของเคเบิลปลายทาง (Secondary Cable) จากช่วงตู้ผ่าน (Cabinet) ไปยังตู้ปลาย (Distribution Terminal)

ลำดับคู่สาย	ระยะทาง (Km.)	ค่า R (Ω)	ค่า R ของฉนวน (M Ω)
ลิงค์ที่ 1	0.323	101	∞
ลิงค์ที่ 2	0.419	157	∞
ลิงค์ที่ 3	0.535	189	∞

ตารางที่ 3. ผลการทดลองวัดระยะทาง,ค่าความต้านทานและความต้านทานของฉนวน ของเคเบิลต้นทาง (Primary Cable) และเคเบิลปลายทาง (Secondary Cable) จากช่วงห้องเคเบิล (MDF Room) ที่ชุมสายโทรศัพท์หลักสี่ ไปยังตู้ปลาย (Distribution Terminal)

ลำดับคู่สาย	ระยะทาง (Km.)	ค่า R (Ω)	ค่า R ของฉนวน (M Ω)
ลิงค์ที่ 1	1.452	451	∞
ลิงค์ที่ 2	2.326	671	∞
ลิงค์ที่ 3	4.851	887	1200

การทดสอบค่า Errors และ Bit Test ของคู่สายทองแดงตั้งแต่ต้นทางถึงปลายทาง โดยใช้เครื่องทดสอบ Bert Test ยี่ห้อ PUMA รุ่น 4300 E ซึ่งทำการ Loop Back ตัวโมเด็มไว้ที่ต้นทางแล้วใช้เครื่องทดสอบ Bert Test วัดที่ตัวโมเด็มปลายทาง

ตารางที่ 4. ผลการทดลองวัดค่า Errors และ Bite Test ของคู่สายทองแดง

ลำดับคู่สาย	ค่าเวลาที่ Test (S)	ค่า Bit Test	ค่า Errors
ลิงค์ที่ 1	120	0	No Errors
ลิงค์ที่ 2	120	0	No Errors
ลิงค์ที่ 3	120	0	No Error

4.1 การทดลองคำนวณค่าใช้จ่ายและการคิดเงิน

จากการนำเอาเครื่องสมาร์ตการ์ดดิจิทัล กิโลวัตต์ - ชั่วโมงมิเตอร์แบบรีโมทข้อมูลผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า มาทำการต่อเข้ากับ บ้านพักอาศัยจำนวน 3 หลัง และทดลองปรับเปลี่ยนค่าอัตราไฟฟ้าผันแปร (Ft) วัน/เดือน/ปี และเวลาผ่าน

โครงข่ายคู่สายเช่า โดยจะกำหนดประเภทผู้ใช้ไฟ เป็นประเภท 1.1 บ้านอยู่อาศัย [6-7] ค่าอัตรา ไฟฟ้าผันแปร (Ft) อยู่ที่ 56.83 สต./หน่วย ในส่วน ของการคิดเงินจะทำการคิดเฉพาะ ค่าพลังไฟฟ้า รวมกับค่า Ft แต่ในส่วนของค่าบริการรายเดือน และค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม จะไม่มีการคิดเข้ามารวมอยู่ ด้วย จากค่าที่ได้ในตารางที่ 5. ค่าที่ได้จำนวนยูนิต และจำนวนเงิน มีความใกล้เคียงกันเมื่อ เปรียบเทียบกับมิเตอร์ของการไฟฟ้า

4.2 การคำนวณยูนิตใช้งานและการคิดเงิน

ในการใช้เครื่องดิจิทัลกิโลวัตต์ - ชั่วโมง มิเตอร์เทียบกับกิโลวัตต์ - ชั่วโมงมิเตอร์ของการ ไฟฟ้าพบว่ามีความใกล้เคียงกัน แต่ค่ายูนิตของเครื่อง กิโลวัตต์ - ชั่วโมงมิเตอร์ ของการไฟฟ้ามีค่า มากกว่าเนื่องจากการคำนวณหาค่าแรงดัน กระแส และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ยังมีความผิดพลาดอยู่ บ้างและตัวเครื่องดิจิทัลกิโลวัตต์ - ชั่วโมงมิเตอร์ จะต้องใช้ไฟฟ้าในการทำงานประมาณ 0.0066 หน่วย/ชม.

ในส่วนการคิดเงินของเครื่องดิจิทัลกิโลวัตต์ - ชั่วโมงมิเตอร์จะเริ่มคิดเงินเมื่อครบจำนวน 1 หน่วยเต็มไม่คิดตำแหน่งทศนิยม และจะแสดง ยอดเงินคงเหลือเป็นจำนวนเต็ม และยอดเงินที่คิด จะคิดเฉพาะ ค่าพลังงานไฟฟ้ารวม และค่าอัตรา ไฟฟ้าผันแปร (Ft) ไม่รวมค่าบริการรายเดือนและ ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม

4.3 ข้อเปรียบเทียบ

ในการใช้เครื่องดิจิทัลกิโลวัตต์- ชั่วโมงมิเตอร์ แบบรีโมทข้อมูลผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า จะต้องมี

การลงทุนและการบำรุงดูแลรักษา มากกว่าระบบ เดิม แต่จะช่วยประหยัดต้นทุนด้านพนักงาน สำนักงานและขั้นตอนความยุ่งยากในการชำระเงิน ค่าไฟฟ้า

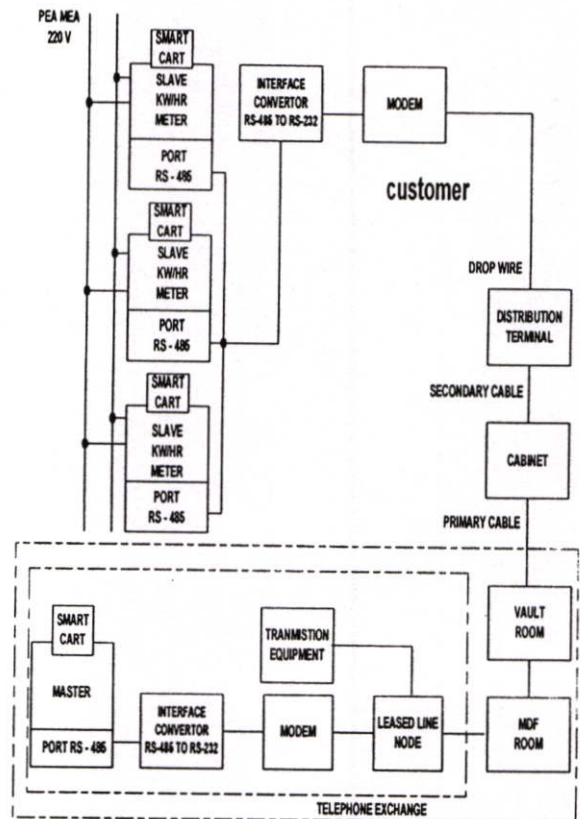
ตารางที่ 5. ผลการทดลองจำนวนยูนิตและการ คิดเงิน หมายเหตุ Kw/hr ของ MEA คือกิโลวัตต์- ชั่วโมงมิเตอร์ของการไฟฟ้า

ลำดับ คู่สาย	เดือน	ยูนิต		เงิน (บาท)	
		Kw/hr ของ MEA	ดิจิทัล- กิโลวัตต์- ชั่วโมง มิเตอร์	Kw/Hr ของ MEA	ดิจิทัล- กิโลวัตต์- ชั่วโมง มิเตอร์
ลิงค์ที่ 1	พ.ย.	102	101.5	241.96	241
ลิงค์ที่ 2	ธ.ค.	141	140.5	334.59	333
ลิงค์ที่ 3	ม.ค.	74	74.0	211.18	211

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอเครื่องดิจิทัลกิโลวัตต์ - ชั่วโมงมิเตอร์แบบรีโมทข้อมูลผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า มาใช้เป็นวิธีการชำระเงินค่าไฟฟ้าล่วงหน้าหรือ แบบพรีเพด โดยใช้บัตรเครดิตมาใช้แทนเงินสด ซึ่งการทำงานของระบบ จะทำการปรับเปลี่ยน ค่าอัตราไฟฟ้าผันแปร(Ft) วัน/เดือน/ปี และเวลา จากเครื่องมาสเตอร์หรือเครื่องปรับเปลี่ยนค่าอัตรา ไฟฟ้าผันแปร(Ft) ไปยังเครื่องลูกข่ายหรือเครื่อง ดิจิทัลกิโลวัตต์ - ชั่วโมงมิเตอร์ โดยในส่วนของ การของการควบคุม และคำนวณจะใช้ไมโครคอน

เลอร์ และส่วนของการรับส่งข้อมูลจะใช้พอร์ตRS-485 ตัวคอนเวอร์เตอร์ และพอร์ต RS-232 แล้วส่งต่อไปยังโครงข่ายคู่สายเช่าDDN เพื่อที่จะสามารถรับส่งข้อมูลได้ ในระยะทางที่ไกลขึ้นและเครื่องลูกข่าย ยังสามารถต่อกันเป็นโครงข่ายได้ เนื่องจากมีพอร์ตRS-485แสดงในรูปที่ 9. ทำให้สามารถปรับเปลี่ยนค่าต่างๆ ได้พร้อมกันหลายเครื่อง ในส่วนของการของการควบคุมและคำนวณใช้ไมโครคอนเลอร์ ส่วนระยะทางระหว่างตัวเครื่องอุปกรณ์ Node DDN กับเครื่องลูกข่ายหรือเครื่องดิจิทัลกิไลด์ต์ - ชั่วโมงมิเตอร์ช่วงที่เป็นข่ายสายโทรศัพท์ นั้นพบว่าจะมีข้อจำกัดระยะทาง คือ คู่สายทองแดงที่จะนำมาใช้ เป็นคู่สายเช่าจะต้องมีความยาวไม่เกิน 5 Km และค่าความต้านทานของคู่สายทองแดงไม่ควรเกิน 1 KΩ ส่วนค่าความความต้านของฉนวน (Insulation Resistance) ไม่สมควรต่ำกว่า 500 MΩ

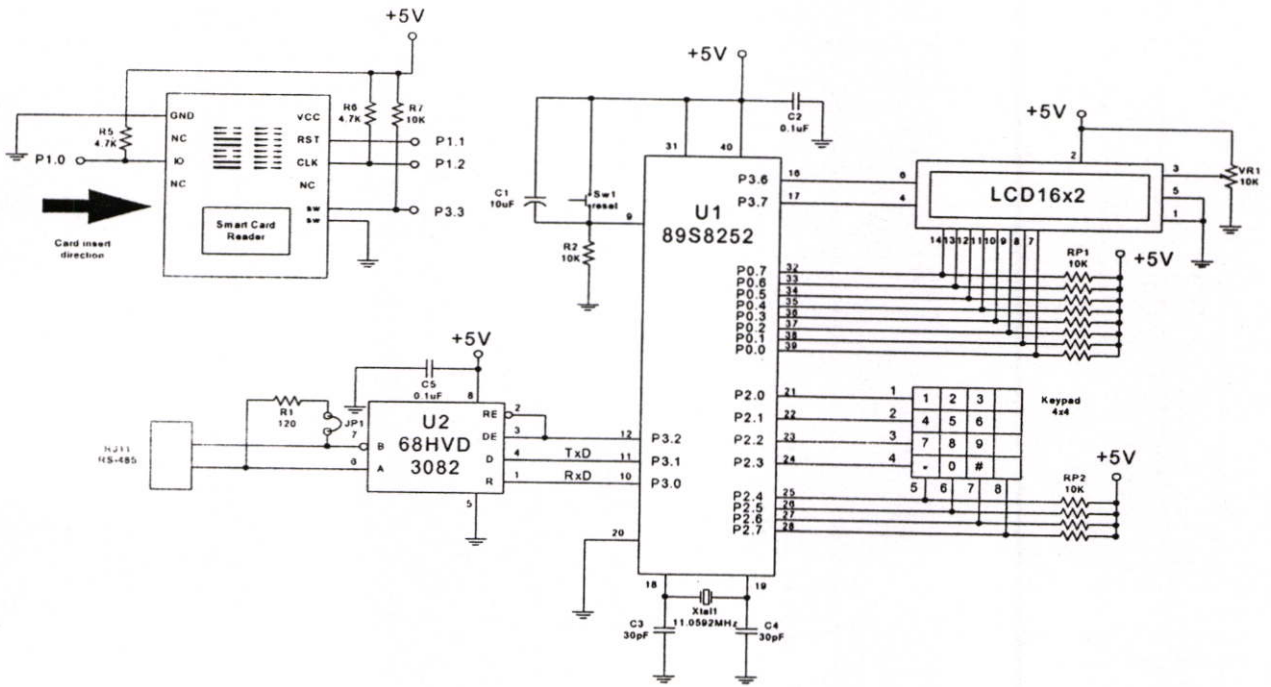


รูปที่8. วงจรแสดงการรับ-ส่งข้อมูลระยะไกลระหว่างเครื่องมาสเตอร์(Master) กับเครื่องลูกข่าย (Slave) โดย ผ่านโครงข่ายคู่สายเช่า (Leased Line Network)

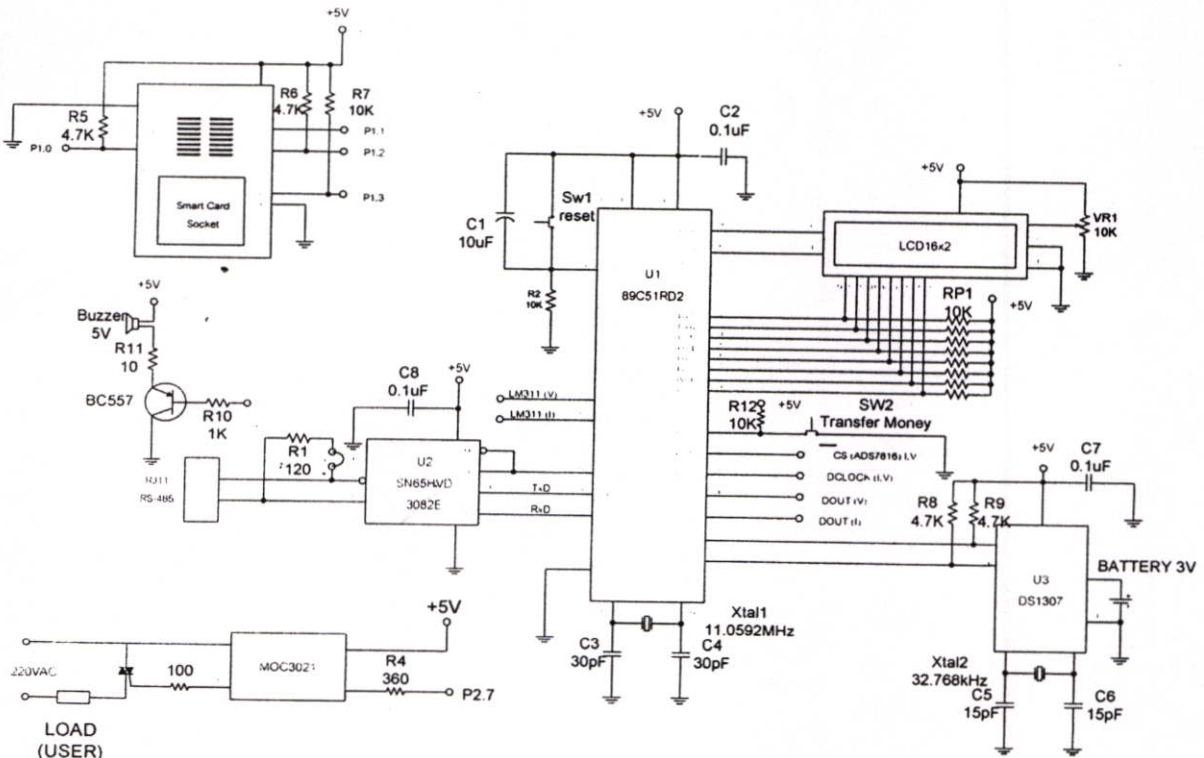
ในส่วนของการคำนวณค่ายูนิตที่ใช้งานจะมีความใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากขึ้น ถ้าหากว่าการหาค่าแรงดัน ค่ากระแส และค่าเพาเวอร์แพกเตอร์ มีความถูกต้องมากขึ้น

6. กิตติมกรรมประกาศ

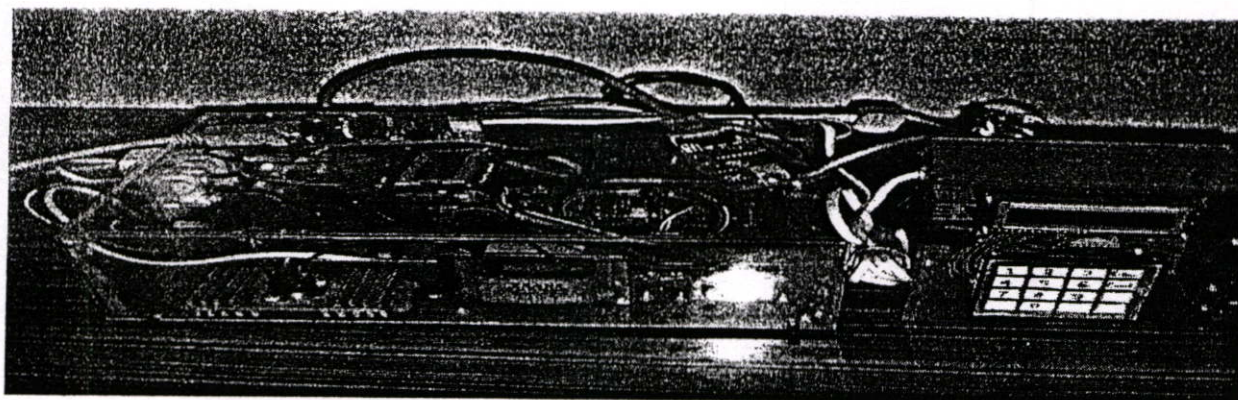
ขอขอบพระคุณ บริษัท ทีไอที จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านอุปกรณ์ และโครงข่าย



รูปที่ 9 วงจรเครื่องมาตรฐานหรือเครื่องปรับเปลี่ยนค่าอัตราไฟฟ้าผ่านแปร(Ft)



รูปที่ 10 วงจรเครื่องลูกข่ายหรือเครื่องติดตลกิโลวัตต์-ชั่วโมงมิเตอร์



รูปที่ 11 เครื่องมาสเตอร์หรือเครื่องปรับเปลี่ยนค่าอัตราไฟฟ้าผันแปร(Ft)
และเครื่องลูกข่ายหรือเครื่องดิจิทัลออลกิโวลต์ต-ซ์วโมงมิเตอร์

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] นายวุฒิพันธ์ ศิลปวรรณวิวัฒน์ และรศ. มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ " การชำระ และคำนวณค่าไฟฟ้าด้วย สมาร์ทการ์ดและดิจิทัลออลกิโวลต์ต-ซ์วโมง มิเตอร์ "2548 วิศวกรรมลาดกระบัง,คณะ วิศวกรรมศาสตร์ , สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,ปีที่ ,22 ฉบับที่ 2 มิถุนายน
- [2] ศูนย์การฝึกอบรม .คู่มือช่างการติดตั้ง โทรศัพท์. องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย
- [3] The " HDSL – TRANSMISSION System COLT – 2" System Manual – 2 Cap ,Telecom networks from ASCOM For Voice, Imaged And Data
- [4] Keymile Access To The World"UMUX MULTISERVICE ACCESS PLATFORM" Release R6
- [5] <http://www.airborn.com.au/layout/232to485.html>
- [6] การไฟฟ้านครหลวง ,<http://www.mea.or.th>
- [7] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, <http://www.pea.co.th/services>
- [8] <http://www.sgmltools.org>
- [9] <http://www.camiresearch.com>

ภาคผนวก ค
DATASHEET



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 WIDEBODY PACKAGES**

APPLICATIONS

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

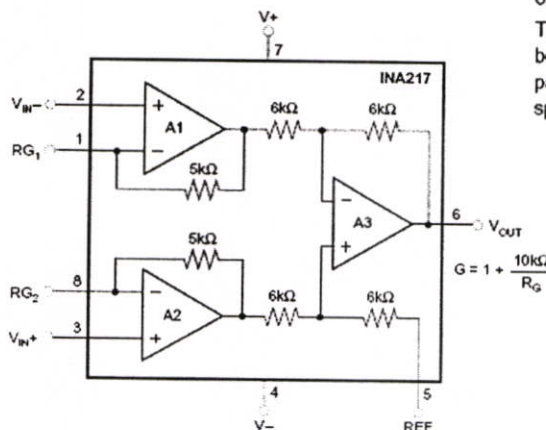
DESCRIPTION

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 200Ω 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°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⁽¹⁾

Supply Voltage, V_+ to V_-	$\pm 18V$
Signal Input Terminals, Voltage ⁽²⁾	$(V_-) - 0.5V$ to $(V_+) + 0.5V$
Current ⁽²⁾	10mA
Output Short-Circuit ⁽³⁾	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)	$+300^\circ C$

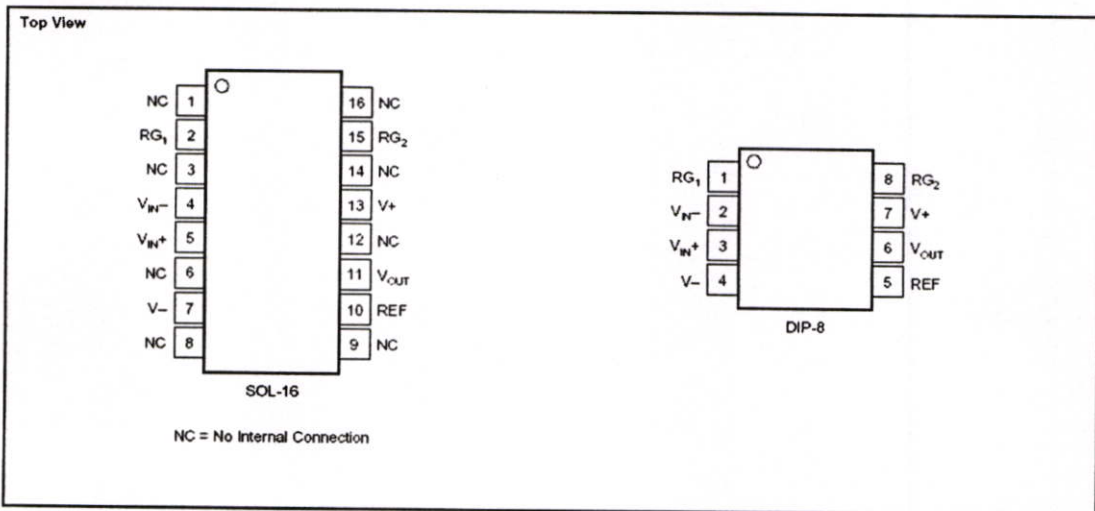
NOTES: (1) Stresses above these ratings may cause permanent damage. Exposure to absolute maximum conditions for extended periods may degrade device reliability. (2) Input terminals are diode-clamped to the power-supply rails. Input signals that can swing more than 0.5V beyond the supply rails should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

PACKAGE/ORDERING INFORMATION⁽¹⁾

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.

PIN CONFIGURATIONS



ELECTRICAL CHARACTERISTICS: $V_S = \pm 15V$

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

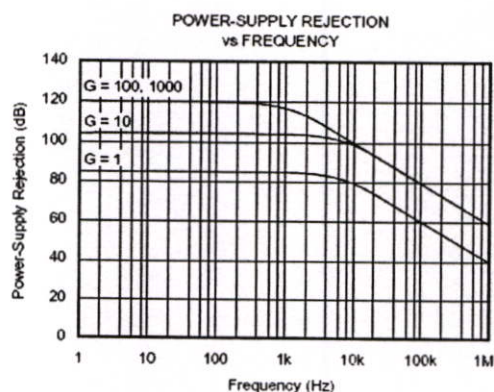
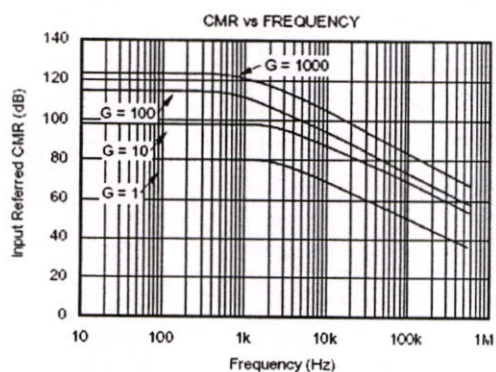
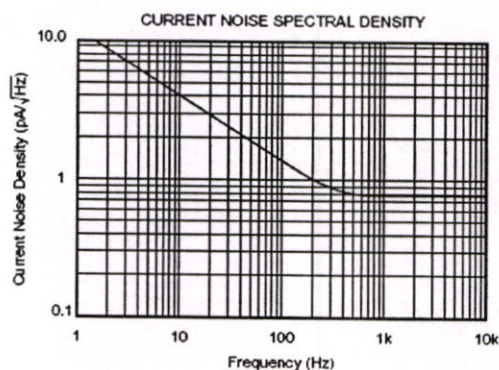
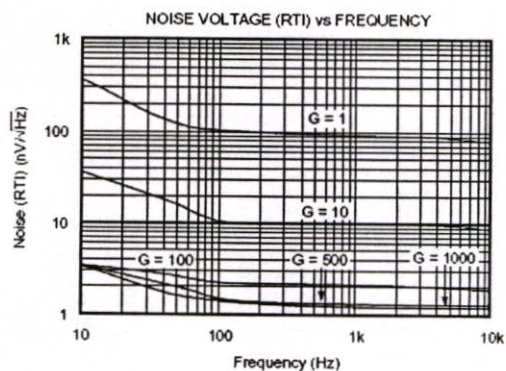
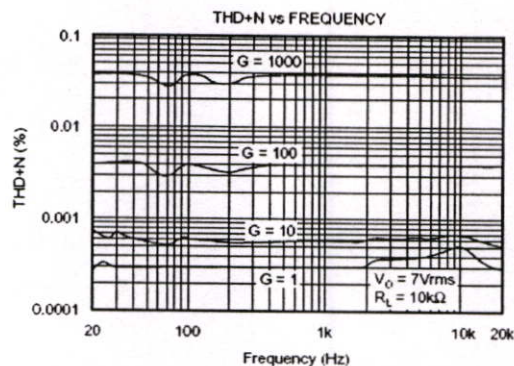
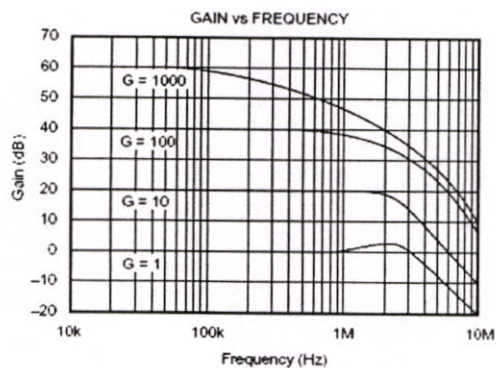
$T_A = +25^\circ\text{C}$, $R_L = 2k\Omega$, $V_S = \pm 15V$, unless otherwise noted.

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

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

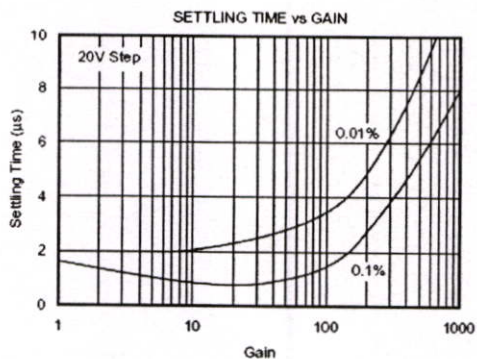
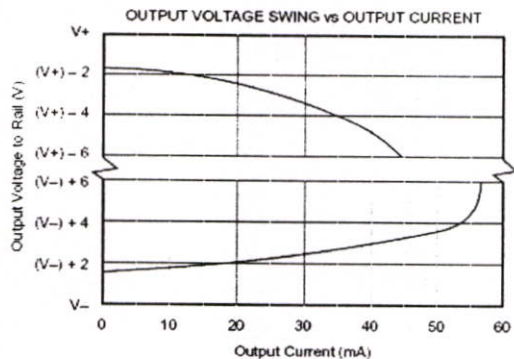
TYPICAL CHARACTERISTICS

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

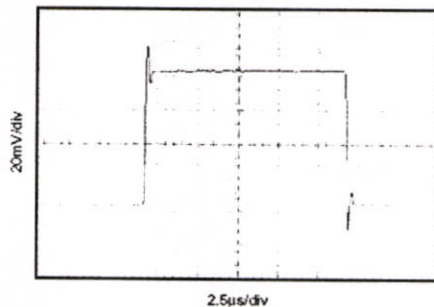


TYPICAL CHARACTERISTICS (Cont.)

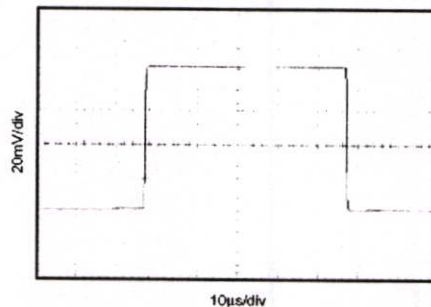
At $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{V}$, $R_L = 2\text{k}\Omega$, unless otherwise noted.



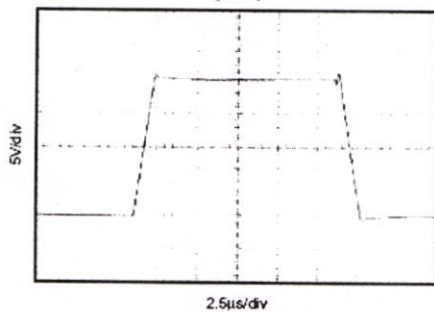
SMALL-SIGNAL TRANSIENT RESPONSE (G = 1)



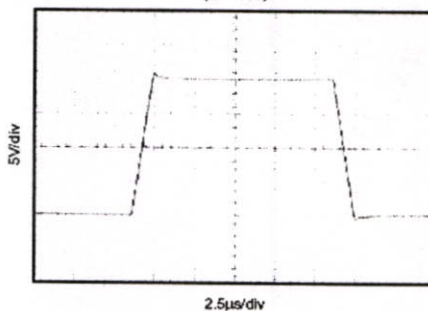
SMALL-SIGNAL TRANSIENT RESPONSE (G = 100)



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.

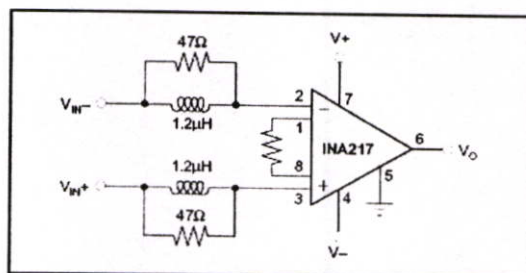


FIGURE 2. Input Stabilization Network.

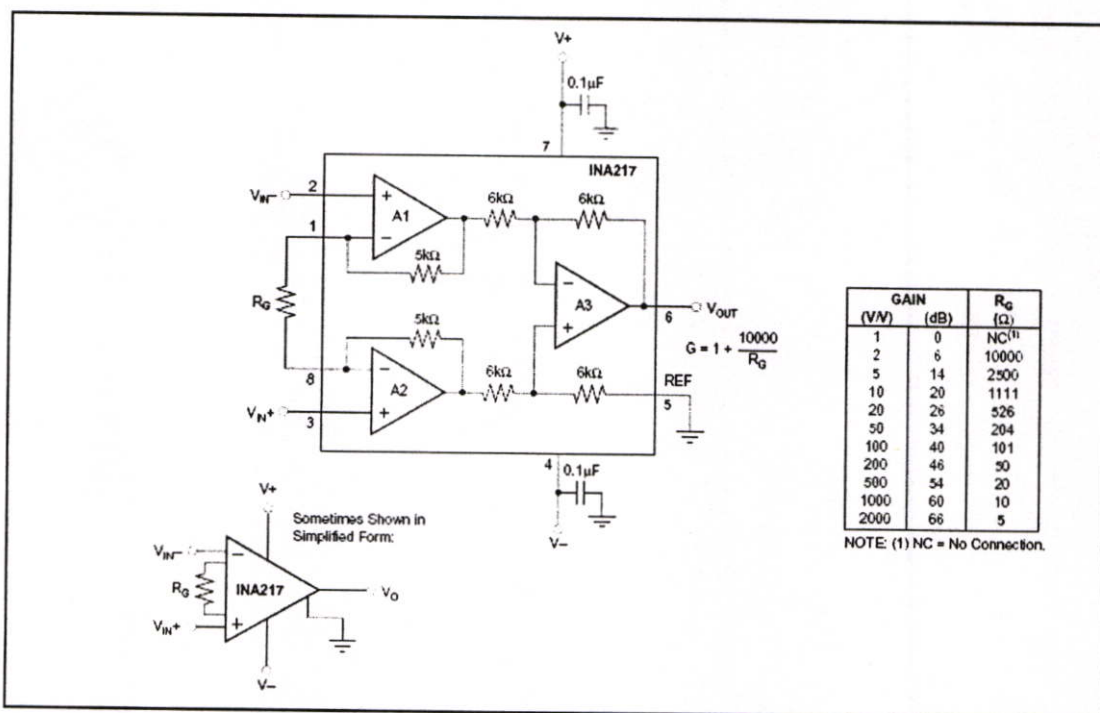


FIGURE 1. Basic Circuit Connections.

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.

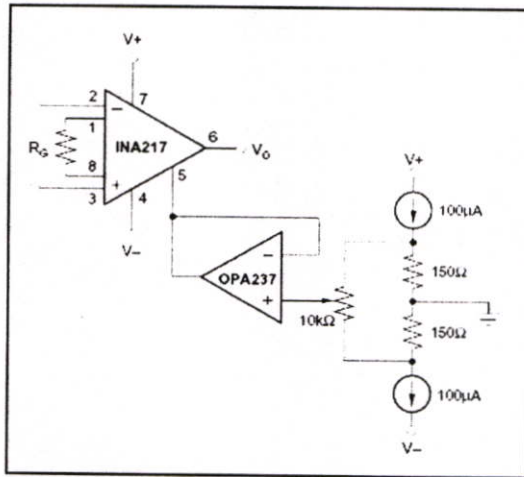


FIGURE 3. Offset Voltage Adjustment Circuit.

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.

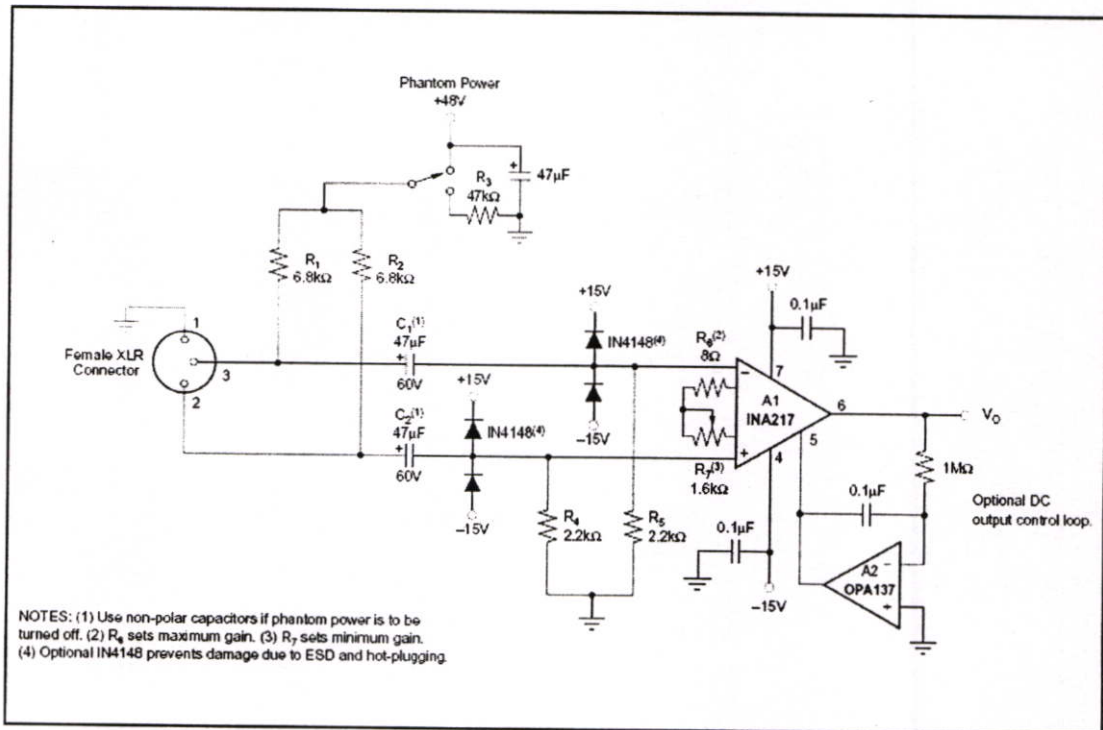


FIGURE 4. Phantom-Powered Microphone Preamp.

PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status ⁽¹⁾	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan ⁽²⁾	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp ⁽³⁾
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

⁽¹⁾ 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.

⁽²⁾ 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)

⁽³⁾ 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.

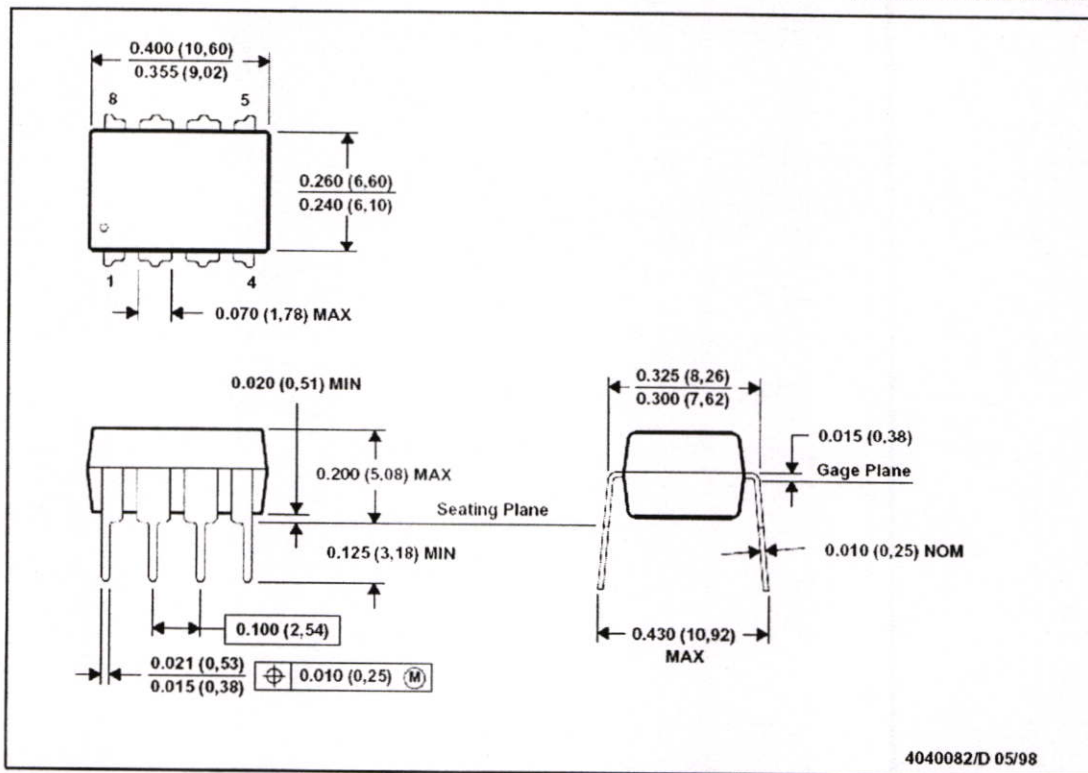
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

MECHANICAL DATA

MPDI001A – JANUARY 1995 – REVISED JUNE 1999

P (R-PDIP-T8)

PLASTIC DUAL-IN-LINE



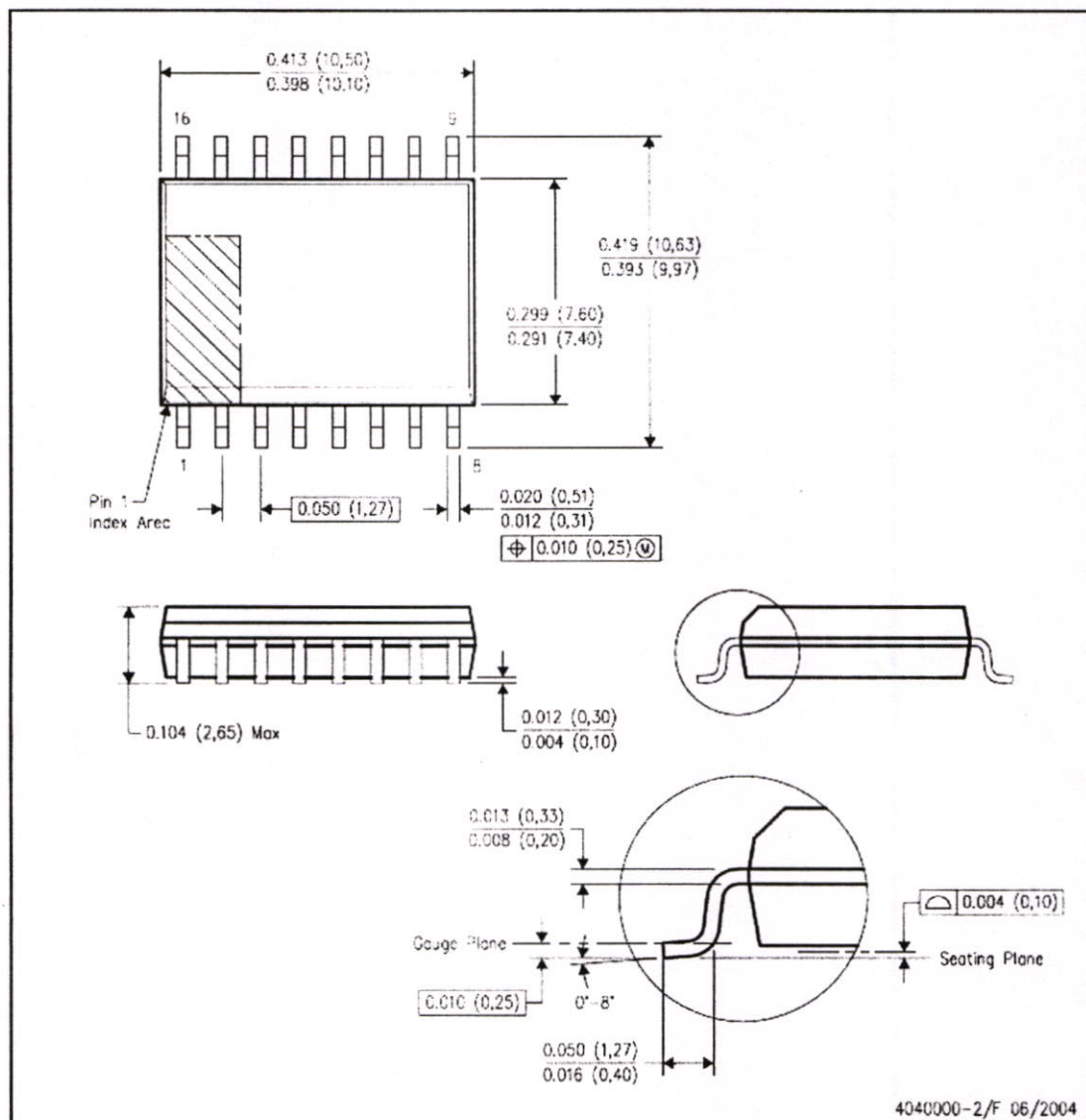
- NOTES: A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 B. This drawing is subject to change without notice.
 C. Falls within JEDEC MS-001

For the latest package information, go to http://www.ti.com/sc/docs/package/pkg_info.htm

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

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

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

INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS							
Parameters	Test Conditions	Symbol	Device	Min	Typ	Max	Units
EMITTER							
Input Forward Voltage	$I_F = 10\text{ mA}$	V_F	All		1.15	1.5	V
Reverse Leakage Current	$V_A = 3\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	I_R	All		0.01	100	μA
DETECTOR							
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, note2)	dv/dt	All		10		V/ μs

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				
			MOC3011M			10	
			MOC3022M				
			MOC3012M			5	
			MOC3023M				
Holding Current, Either Direction		I_H	All		100		μA

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

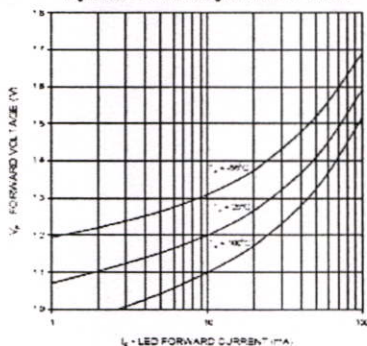


Fig. 2 On-State Characteristics

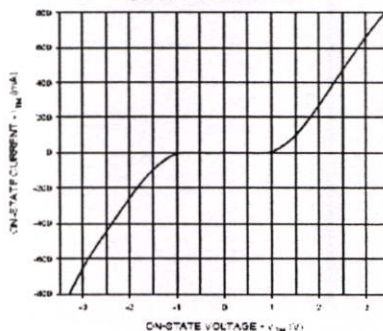


Fig. 3 Trigger Current vs. Ambient Temperature

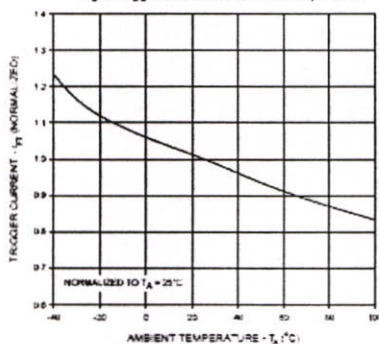


Fig. 4 LED Current Required to Trigger vs. LED Pulse Width

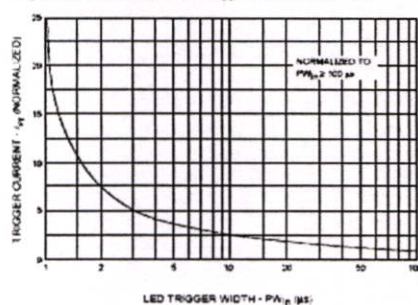


Fig. 5 dV/dt vs. Temperature

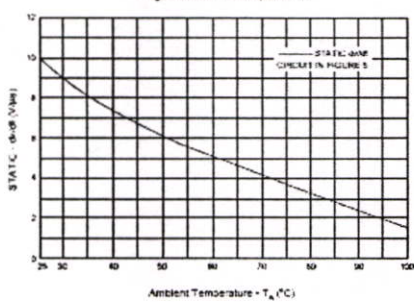
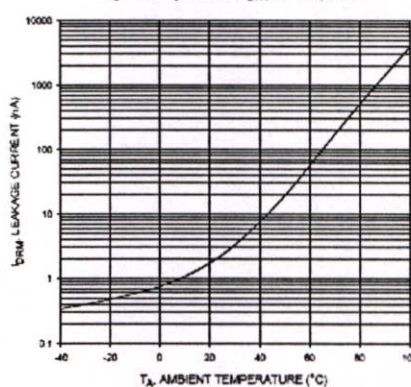


Fig. 6 Leakage Current, I_{PRM} vs. Temperature



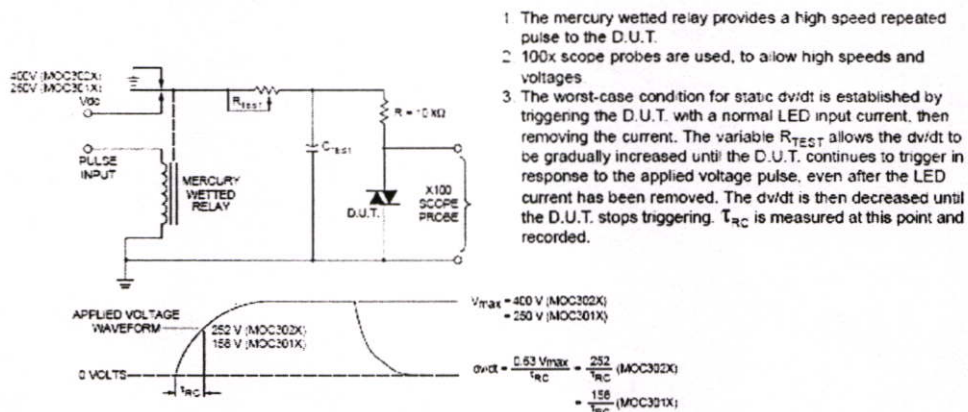
MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M


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.

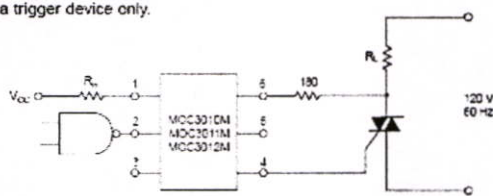
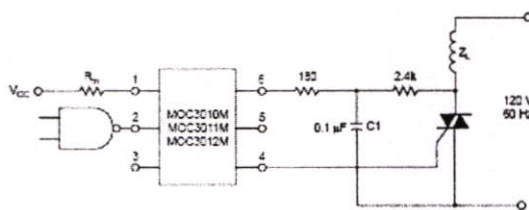


Figure 6. Resistive Load


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

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR™

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

MOC3010M MOC3011M MOC3012M MOC3020M MOC3021M MOC3022M MOC3023M

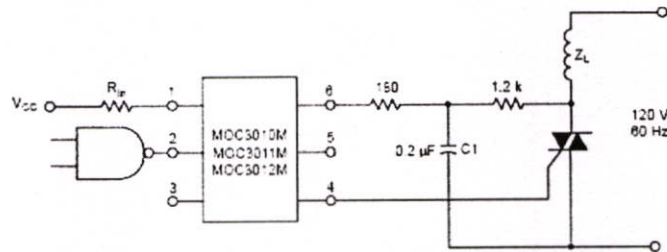
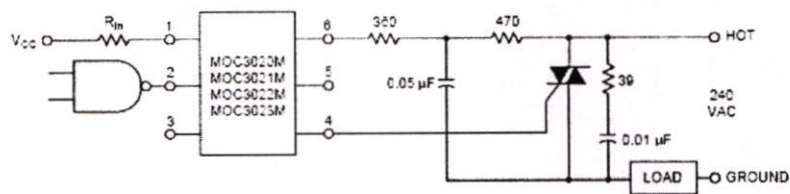


Figure 8. Inductive Load with Sensitive Gate Triac ($I_{GT} \leq 15$ mA)



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

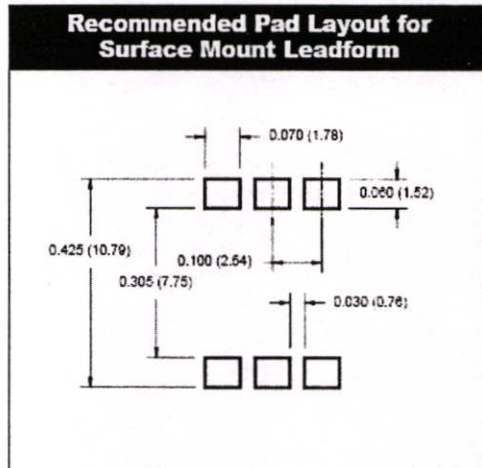
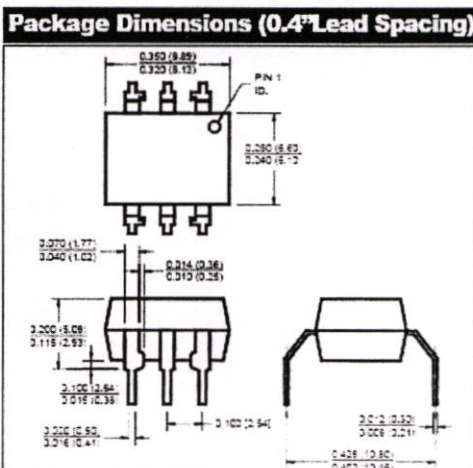
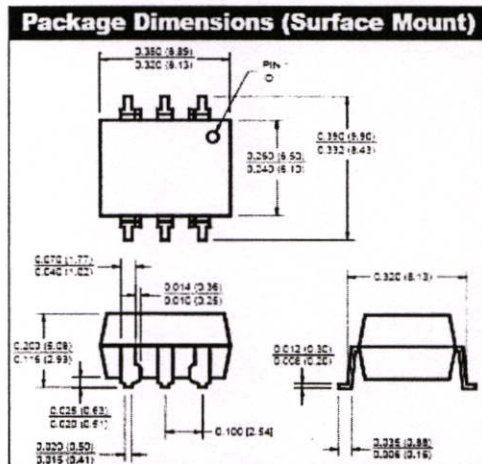
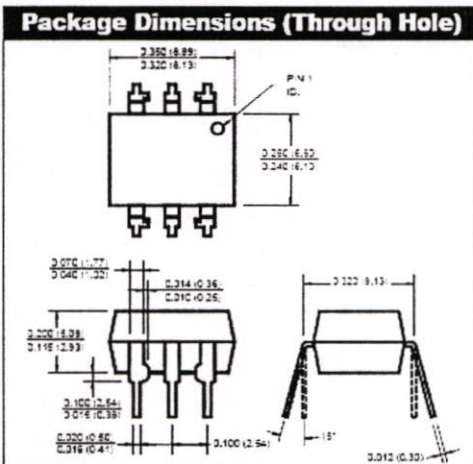
The 39 ohm resistor and 0.01 μ F capacitor are for snubbing of the triac, and the 470 ohm resistor and 0.05 μ F capacitor are for snubbing the coupler. These components may or may not be necessary depending upon the particular and load used.

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™

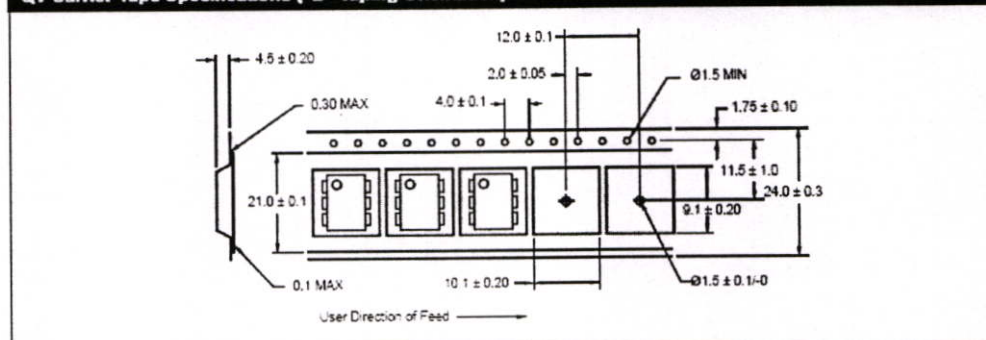
**6-PIN DIP RANDOM-PHASE
OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT
(250/400 VOLT PEAK)**

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)



**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

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

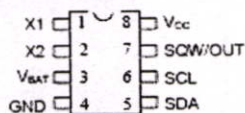
ORDERING INFORMATION

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

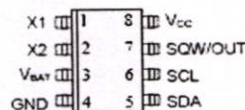
DESCRIPTION

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)

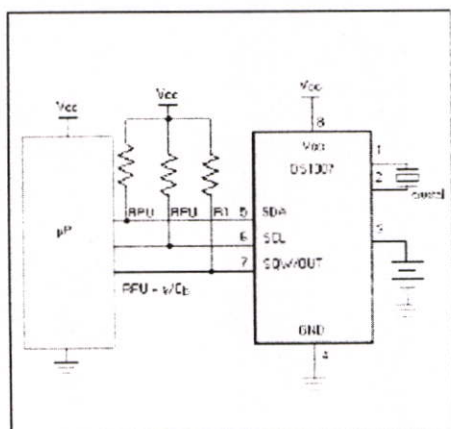


DS1307 8-Pin SOIC (150-mil)

PIN DESCRIPTION

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

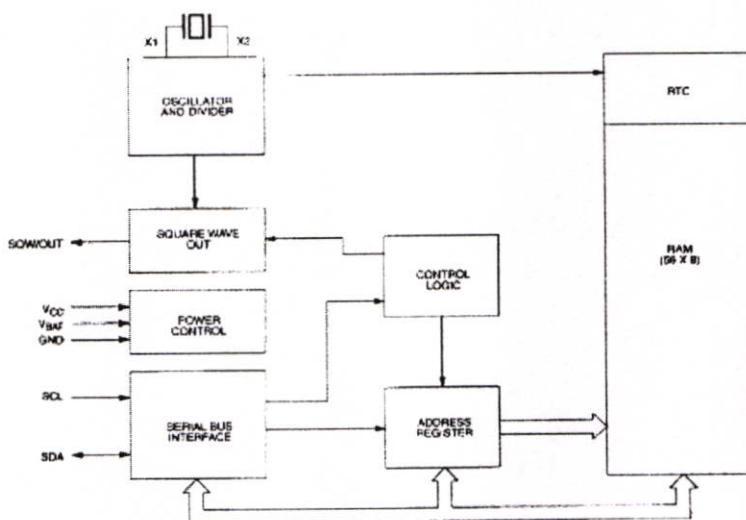
TYPICAL OPERATING CIRCUIT



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_{CC}, GND – DC power is provided to the device on these pins. V_{CC} 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_{CC} is below 1.25 x V_{BAT}, reads and writes are inhibited. However, the timekeeping function continues unaffected by the lower input voltage. As V_{CC} falls below V_{BAT} the RAM and timekeeper are switched over to the external power supply (nominal 3.0V DC) at V_{BAT}.

V_{BAT} – 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_{BAT} 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.

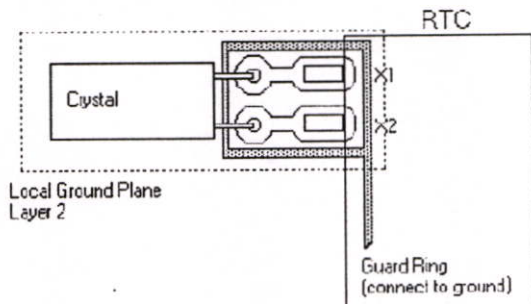
SDA (Serial Data Input/Output) – SDA is the input/output pin for the 2-wire serial interface. The SDA pin is open drain which requires an external pullup resistor.

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_{cc} or V_{bat} 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

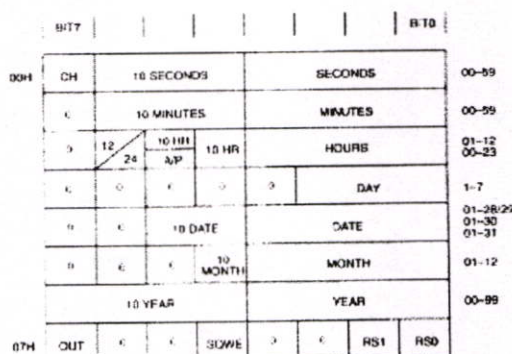
The time and calendar information is obtained by reading the appropriate register bytes. The RTC registers are illustrated in Figure 3. The time and calendar are set or initialized by writing the appropriate register bytes. The contents of the time and calendar registers are in the BCD format. Bit 7 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



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.

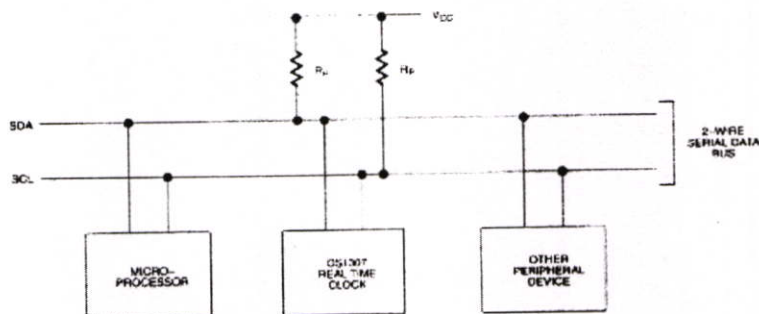
SQUAREWAVE OUTPUT FREQUENCY Table 1

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.

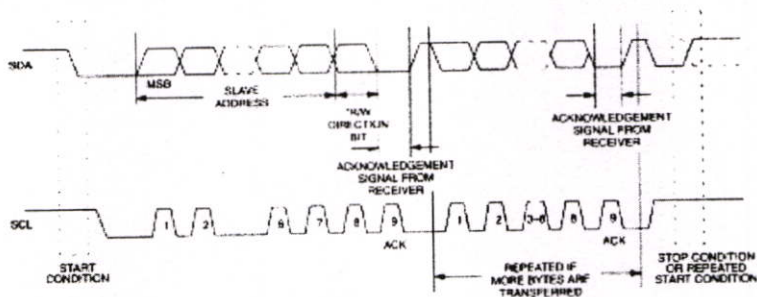
Data valid: The state of the data line represents valid data when, after a START condition, the data line is stable for the duration of the HIGH period of the clock signal. The data on the line must be changed during the LOW period of the clock signal. There is one clock pulse per bit of data.

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:

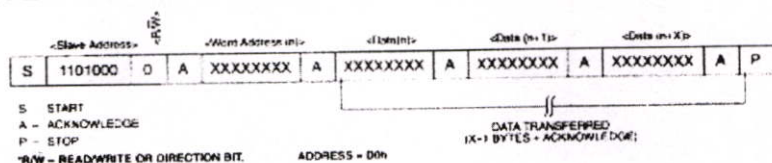
1. **Data transfer from a master transmitter to a slave receiver.** The first byte transmitted by the master is the slave address. Next follows a number of data bytes. The slave returns an acknowledge bit after each received byte. Data is transferred with the most significant bit (MSB) first.
2. **Data 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:

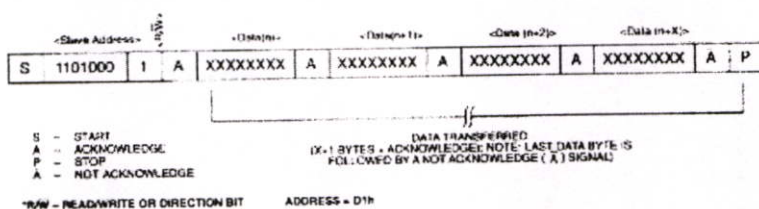
1. **Slave receiver mode (DS1307 write mode):** Serial data and clock are received through SDA and SCL. After each byte is received an acknowledge bit is transmitted. START and STOP conditions are recognized as the beginning and end of a serial transfer. Address recognition is performed by hardware after 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 _{CC}
Commercial	0°C to +70°C	4.5V to 5.5V V _{CC1}
Industrial	-40°C to +85°C	4.5V to 5.5V V _{CC1}

RECOMMENDED DC OPERATING CONDITIONS

(Over the operating range*)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Supply Voltage	V _{CC}	4.5	5.0	5.5	V	
Logic 1	V _{IH}	2.2		V _{CC} + 0.3	V	
Logic 0	V _{IL}	-0.5		+0.8	V	
V _{BAT} Battery Voltage	V _{BAT}	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 _{LI}			1	μA	
I/O Leakage (SDA & SQW/OUT)	I _{LO}			1	μA	
Logic 0 Output (I _{OL} = 5mA)	V _{OL}			0.4	V	
Active Supply Current	I _{CCA}			1.5	mA	7
Standby Current	I _{CCS}			200	μA	1
Battery Current (OSC ON): SQW/OUT OFF	I _{BAT1}		300	500	nA	2
Battery Current (OSC ON): SQW/OUT ON (32kHz)	I _{BAT2}		480	800	nA	
Power-Fail Voltage	V _{PF}	1.216 x V _{BAT}	1.25 x V _{BAT}	1.284 x V _{BAT}	V	8

*Unless otherwise specified.

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			μs	
Hold Time (Repeated) START Condition	$t_{HD,STA}$	4.0			μs	3
LOW Period of SCL Clock	t_{LOW}	4.7			μs	
HIGH Period of SCL Clock	t_{HIGH}	4.0			μs	
Set-up Time for a Repeated START Condition	$t_{SU,STA}$	4.7			μs	
Data Hold Time	$t_{HD,DAI}$	0			μs	4,5
Data Set-up Time	$t_{SU,DAI}$	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			μs	
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:

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

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายบัณฑิต แก้วศรี
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 2 เมษายน 2514
ภูมิลำเนา ที่อยู่ปัจจุบัน	54 ถนนบริรักษ์อุทิศ อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000 99/1142 ซอย 20ข. หมู่บ้านนักกีฬาแหลมทอง ถนนนักกีฬาแหลมทอง แขวงสะพานสูง เขตสะพานสูง กรุงเทพมหานคร 10250
ประวัติการศึกษา	2538 อดุสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จาก มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2544
ประสบการณ์การทำงาน	บริษัท เซ็กโก้ อินเตอร์ เนชั่นแนล จำกัด ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์ บริษัท ทีไอที จำกัด (มหาชน)