

เครื่องวัด วัตต์ วาร์ และเพาเวอร์แฟกเตอร์ แบบดิจิทัล

Watt VAR and Power Factor Digital Meter

นายจรัส	ขวัญหอม	รหัส 45362696
นายณัฐภัทร	มัทย์พงษ์ถาวร	รหัส 45362779
นายภัทวัฒน์	กระแชรัมย์	รหัส 45362910

5075658

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 15 พ.ย. 2549
เลขทะเบียน..... 4900175
เลขเรียกหนังสือ..... 0.158
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ 0548

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ปีการศึกษา 2548



ใบรับรองโครงการวิศวกรรม

หัวข้อโครงการ	เครื่องวัด วัดต์ วาร์ และเพาเวอร์แฟกเตอร์ แบบดิจิทัล		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายจรัส	ขวัญหอม	รหัส 45362696
	นายณัฐภัทร	มัทย์พงษ์ดาวาร	รหัส 45362779
	นายณัฐวัฒน์	กระเชรัมย์ย์	รหัส 45362910
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ สมยศ เกียรติวนิชวิไล		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2548		

.....
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบรังษาร อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
 การศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
 คณะกรรมการสอบ โครงการวิศวกรรม

.....
 ประธานกรรมการ
 (อาจารย์ สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

.....
 กรรมการ
 (อาจารย์ นายพนัส นัถฤทธิ)

.....
 กรรมการ
 (อาจารย์ ปิยคนัย ภาชนะพรรัตน์)

หัวข้อโครงการ	เครื่องวัด วัดต์ วาร์ และเพาเวอร์แฟคเตอร์ แบบดิจิตอล		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายจรัส	ขวัญหอม	รหัส 45362696
	นายณัฐภัทร	มัทย์พงษ์ถาวร	รหัส 45362779
	นายณัฏวัฒน์	กระเชรัมย์ย์	รหัส 45362910
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2548		

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการออกแบบสร้างเครื่องมือวัดองค์ประกอบของปริมาณทางไฟฟ้าต่างๆ ได้แก่ วัดต์ วาร์ เพาเวอร์แฟคเตอร์ กระแสและแรงดัน โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89S52 เป็นส่วนรับข้อมูลและประมวลผล พร้อมแสดงค่าของปริมาณทางไฟฟ้าผ่านจอ LCD โดยฟังก์ชันของการวัดสูงสุด เท่ากับ 220V, 5A, 50Hz 1Phase

ผลที่ได้จากการทำโครงการนี้คือได้อุปกรณ์ที่สามารถวัดองค์ประกอบของปริมาณทางไฟฟ้า ที่สามารถอ่านค่าสะดวก ถูกต้องแม่นยำ และสามารถนำค่าที่วัดได้ไปใช้เป็นข้อมูลในการตรวจสอบและปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

Project Title	Watt Var and power factor digital meter		
Name	Mr.Jarus	Khunhom	ID.45362696
	Mr.Nutthapat	Matphongtavorn	ID.45362779
	Mr.Nutthawat	Krachaeram	ID.45362910
Project Advisor	Somyot Kaitwanidvilai		
Major	Electrical Engineering		
Department	Electrical and Computer Engineering		
Academic year	2005		

.....

ABSTRACT

This project studies the electrical instrument and measurement. The developed instrument can measure electrical quantities such as active power (Watt), reactive power (VARs), power factor, current and voltage by using microcontroller AT89S52 for data receiving processing and display values via LCD. The rated of our developed instrument is 220 V, 5 A, 50 Hz, 1 phase.

The developed instrument is designed for measuring electrical quantities in general power system. The measurement values can be used for checking and improving an electrical system.

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำปริญญาบัตรครั้งนี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยดี โดยได้รับคำแนะนำตลอดจนความช่วยเหลือทางด้านความรู้ ข้อเสนอแนะในการแก้ไขปัญหาต่างๆ จากอาจารย์ สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์, อาจารย์ สมยศ เกียรติวนิชวิไล รวมทั้งเพื่อนๆ และภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ความสะดวกในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ จนจัดทำปริญญาบัตรสำเร็จ ซึ่งผู้จัดทำขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายสุดขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้อง ที่คอยดูแล คอยเป็นกำลังใจและเป็นผู้สนับสนุนในด้านต่างๆ มาโดยตลอดในการทำปริญญาบัตรนี้ และขอขอบคุณบุคคลต่างๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึงและรวม ถึงแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องการทำปริญญาบัตรในครั้งนี้ด้วย



นายจรัส

ขวัญหอม

นายณัฐภัทร

มัทย์พงษ์ถาวร

นายณัฐวัฒน์

กระเชรมย์

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการวิจัย	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบข่ายของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	3
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.7 งบประมาณที่ใช้	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและการหาค่ากำลังไฟฟ้า	5
2.1 ความหมายของกำลังไฟฟ้า	5
2.1.1 กำลังในกรณีไฟฟ้ากระแสตรง	6
2.1.2 กำลังในกรณีไฟฟ้ากระแสสลับ	7
2.1.3 กำลังเฉลี่ยของสัญญาณไซน์	8
2.2 เครื่องวัดปริมาณไฟฟ้าชนิดต่างๆ	13
2.2.1 วัดวัตต์มิเตอร์ (Watt meter)	13
2.2.2 วาร์มิเตอร์ (VAR meter)	16
2.2.3 เพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์ (Power factor meter)	17
2.3 ค่าประสิทธิภาพ (Effective Values) หรือค่าอาร์เอ็มเอส (RMS Values) ของกระแสและแรงดัน	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.1 ค่าประสิทธิภาพของสัญญาณชายน์	2
2.3.2 กำลังปรากฏ (Apparent power) และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (power factor)	23
2.3.3 กำลังเชิงซ้อน (Complex power)	25
บทที่ 3 การทดลอง	28
3.1 การทดลอง	28
3.2 การทดลองกับเครื่องมือวัดอ้างอิง เครื่อง AMPROBE MODEL: PF1050	29
3.3 การทดลองกับเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น	31
3.4 ค่าที่วัดได้จากการทดลอง	33
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	40
4.1 ผลการทดลองวัดค่า กระแส แรงดัน และ ตัวประกอบกำลัง	40
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	44
4.2.1 วิเคราะห์ผลการทดลองกระแส	44
4.2.2 วิเคราะห์ผลการทดลองแรงดัน	45
4.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลองตัวประกอบกำลัง	46
4.2.4 วิเคราะห์ผลการทดลองกำลังปรากฏ (S)	47
4.2.5 วิเคราะห์ผลการทดลองกำลังจริง (P)	48
4.2.6 วิเคราะห์ผลการทดลองกำลังรีแอกทีฟ (Q)	49
4.3 การตรวจสอบวัดค่าสัญญาณขององค์ประกอบทางไฟฟ้า	50
4.3.1 ลักษณะสัญญาณที่ออกจากตัวจับกระแส	50
4.3.2 ลักษณะสัญญาณที่ออกจากหม้อแปลงแรงดัน	51
4.3.3 ลักษณะสัญญาณกระแสที่ออกจาก ไอซี LM 358	52
4.3.4 ลักษณะสัญญาณแรงดันที่ผ่าน ไอซี LM 358	53
4.3.5 เปรียบเทียบลักษณะสัญญาณกระแสและแรงดันที่ออกจาก ไอซี LM 358	54
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	55
5.1 สรุปผลการทดลอง	55
5.2 ประเมินผล	56

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3 ปัญหา ข้อเสนอแนะ และแนวทางแก้ไข	56
5.4 แนวทางในการพัฒนาต่อไป	57
เอกสารอ้างอิง	58
ภาคผนวก	59
ภาคผนวก ก	60
ภาคผนวก ข	75
ประวัติผู้เขียน โครงการ	79



สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.8	ตัวอย่างตารางแสดงการวัดกระแส (I) ที่โหลด R-L ปรับที่ 70%	44
4.9	ตัวอย่างตารางแสดงการวัดแรงดัน (V) ที่โหลด R-L ปรับที่ 50%	45
4.10	ตัวอย่างตารางแสดงการวัดตัวประกอบกำลัง ($P.F.$) ที่โหลด R-L ปรับที่ 70%	46
4.11	ตัวอย่างตารางแสดงการวัดกำลังปรากฏ (S) ที่โหลด R-L ปรับที่ 60%	47
4.12	ตัวอย่างตารางแสดงการวัดกำลังจริง (Watt) ที่โหลด R-L ปรับที่ 60%	48
4.13	ตัวอย่างตารางแสดงการวัดกำลังรีแอกทีฟ (Var) ที่โหลด R-L ปรับที่ 70%	49



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงอุปกรณ์หรือโหนดคุกกำลังจากแหล่งพลังงานภายนอก	6
2.2	แสดงสัญญาณกำลังชั่วขณะ $p(t)$ ที่มีลักษณะซ้ำกันทุกๆ คาบเวลา T	8
2.3	แสดงเฟสเซอร์ระหว่างกระแสและแรงดันกรณีโหนดตัวต้านทานอย่างเดียว	10
2.4	แสดงเฟสเซอร์ระหว่างกระแสและแรงดันกรณีโหนดตัวเหนี่ยวนำอย่างเดียว	11
2.5	แสดงเฟสเซอร์ระหว่างกระแสและแรงดันกรณีโหนดเป็นตัวเก็บประจุอย่างเดียว	11
2.6	แสดงรูปคลื่นสัญญาณกระแสและกำลังที่เกิดขึ้นที่โหนดตัวต้านทาน R	12
2.7	แสดงลักษณะวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ โครโคนา โมมิเตอร์	13
2.8	แสดงวงจรภายในของวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ โครโคนา โมมิเตอร์	14
2.9	แสดงเฟสเซอร์ของกระแสและแรงดันที่โหนด	15
2.10	แสดงวิธีการต่อวัตต์มิเตอร์ใช้วัดกำลังเฉลี่ยของโหนด	16
2.11	แสดงลักษณะขดลวดภายในวาร์มิเตอร์	17
2.12	แสดงลักษณะ โครงสร้างพื้นฐานของเพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์	17
2.13	แสดงลักษณะขดลวดภายในเพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์	18
2.14	แสดงโหนดตัวต้านทาน R ต่ออยู่กับแหล่งจ่าย	19
2.15	แสดงเฟสเซอร์ของกระแสและแรงดันชายันซ์ของโหนดใดๆ	23
2.16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฟสเซอร์ของกำลังไฟฟ้า S , P , และ Q	26
3.1	โหนดความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ	28
3.2	เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น	28
3.3	AMPROBE MODEL: PF1050	29
3.4	ตัวอย่างค่ากระแสจากเครื่องมือวัดอ้างอิง	29
3.5	ตัวอย่างค่าแรงดันจากเครื่องมือวัดอ้างอิง	30
3.6	ตัวอย่างค่าตัวประกอบกำลังจากเครื่องมือวัดอ้างอิง	30
3.7	ปลั๊กที่เป็นตัวรับค่ากระแสผ่านไปยังตัวเซ็นเซอร์จับกระแส	31
3.8	ตัวอย่างค่าแรงดันและกระแสจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น	31
3.9	ตัวอย่างค่ากำลังจริงและกำลังเสมือนจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น	32
3.10	ตัวอย่างค่ากำลังปรากฏและค่าตัวประกอบกำลังจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น	32
3.11	ไฟล์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรม	38
3.12	ไฟล์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรม (ต่อ)	39

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	ตัวอย่างกราฟแสดงการวัดค่ากระแส I ที่โหลด R-L ปรับที่ 70%	51
4.2	ตัวอย่างกราฟแสดงการวัดค่าแรงดัน V ที่โหลด R-L ปรับที่ 50%	52
4.3	ตัวอย่างกราฟแสดงการวัดตัวประกอบกำลัง ($P.F.$) ที่โหลด R-L ปรับที่ 70%	53
4.4	ตัวอย่างกราฟแสดงการวัดกำลังปรากฏ (S) ที่โหลด R-L ปรับที่ 60%	54
4.5	ตัวอย่างกราฟแสดงการวัดกำลังจริง (Watt) ที่โหลด R-L ปรับที่ 60%	55
4.6	ตัวอย่างกราฟแสดงการวัดกำลังปรากฏ (VA) ที่โหลด R-L ปรับที่ 70%	56
4.7	แสดงที่ออกจากตัวจับกระแส โหลด R-L	57
4.8	แสดงที่สัญญาณที่ออกจากหม้อแปลงแรงดัน	58
4.9	ลักษณะสัญญาณกระแสที่ผ่าน ไอซี LM 358 ที่โหลด R-L	59
4.10	ลักษณะลักษณะสัญญาณแรงดันที่ผ่าน ไอซี LM 358 ที่โหลด R-L	60
4.11	เปรียบเทียบลักษณะสัญญาณกระแสและแรงดันที่ออกจากไอซี LM 358 ที่โหลด R-C	61

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันการวัดนับเป็นรากฐานที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาการ ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พัฒนาการของวิทยาศาสตร์สมัยใหม่เกิดขึ้นและพัฒนาอย่างรวดเร็ว ก็เนื่องจากมนุษย์สามารถสังเกตและบันทึกปรากฏการณ์ธรรมชาติต่างๆ ได้ ในเชิงปริมาณสิ่งนี้ทำให้การพัฒนาการ ความสัมพันธ์ของปรากฏการณ์ต่างๆ เป็นไปได้และสามารถตรวจสอบได้ในทำนองเดียวกัน เทคโนโลยีสมัยใหม่ อาทิ การผลิตชิพ ไอซี (IC) ที่ต้องการความละเอียดแม่นยำถึงหนึ่งในล้านเมตร ก็ต้องอาศัยความสามารถในการวัดที่มีความละเอียดแม่นยำถึงหนึ่งในล้านเมตร หรือยิ่งกว่านั้น

ในการวัดองค์ประกอบทางไฟฟ้าที่มีอยู่หลายองค์ประกอบ เช่น ค่าวัตต์ วาร์ เพาเวอร์แฟกเตอร์ กระแสและแรงดันนั้นด้วยเครื่องมือวัดแบบอนาลอก จะต้องใช้เครื่องมือวัดจำนวนมาก ทำให้เกิดความยุ่งยากในการต่อเครื่องมือวัด และเสียเวลาในการวัดและอ่านค่ามาก ดังนั้น จึงต้องมีการประดิษฐ์เครื่องมือที่สามารถวัดค่าองค์ประกอบต่างๆทางไฟฟ้าได้ในเครื่องเดียวกัน ที่เป็นแบบดิจิทัลเพื่อลดความยุ่งยาก ในการต่อเครื่องมือวัดและเป็นการลดเวลาในการวัดและอ่านค่าด้วย

ดังนั้นโครงการนี้จึงเป็นการสร้างอุปกรณ์วัดองค์ประกอบต่างๆ ทางไฟฟ้า 1 เฟส โดยสามารถแสดงผลได้ทางจอแสดงผล LCD บนบอร์ด MCS-51 ซึ่งองค์ประกอบทางไฟฟ้าเหล่านี้ ได้แก่ แรงดัน กระแส เพาเวอร์แฟกเตอร์ กำลังจริง (Watt) กำลังรีแอกทีฟ (VAR) กำลังปรากฏ (VA) โดยอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้ จะประกอบไปด้วย ส่วนต่างๆ เช่น หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า อุปกรณ์ฮอลล์ (Hall Device) หรือ หม้อแปลงกระแสจรรยาบรรณแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D Converter) หน่วยประมวลผล และโปรแกรมการคำนวณและแสดงผล ออกผ่านทางจอแสดงผล LCD ของบอร์ด MCS-51

ผลที่ได้จากการทำโครงการนี้ก็คือ ได้อุปกรณ์ที่สามารถวัดองค์ประกอบทางไฟฟ้า ให้อยู่ในรูปของข้อมูลที่สามารถอ่านและเข้าใจได้ง่าย พร้อมทั้งสามารถแสดงผลออก ผ่านมาทางจอแสดงผล LCD ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อสามารถสร้างอุปกรณ์วัดองค์ประกอบต่างๆ ทางไฟฟ้า แสดงองค์ประกอบต่าง ๆ ทางไฟฟ้า เช่น กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power), กำลังไฟฟ้าจริง (Real Power), กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ (Reactive Power), ตัวประกอบกำลัง (Power factor), กระแส, แรงดัน และให้โปรแกรมที่ใช้แสดงผลออกมาได้

1.2.2 เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter)

1.2.3 เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจในการใช้ภาษาซี สำหรับ MCS-51 ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรม

1.3 ขอบข่ายของโครงการ

ใช้วัดองค์ประกอบต่างๆ ทางไฟฟ้า (1 เฟส) เช่น กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน กำลังไฟฟ้าปรากฏ กระแส แรงดัน และตัวประกอบกำลัง ภายในบ้านหรือสถานที่ที่ใช้ไฟฟ้าพิกัดสูงสุดไม่เกิน 220 โวลต์ 5 แอมแปร์

1.4 ขั้นตอนของการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาเรื่องเครื่องวัดและการวัดองค์ประกอบทางไฟฟ้า
- 1.4.2 ศึกษาเรื่องของหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดัน
- 1.4.3 ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์และการนำไปใช้
- 1.4.4 ศึกษาการเขียนภาษาซีร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.4.5 ออกแบบวงจรและสร้างโปรแกรม
- 1.4.6 ทดสอบฮาร์ดแวร์กับซอฟต์แวร์
- 1.4.7 วิเคราะห์และสรุปผล

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้ความรู้เกี่ยวกับเครื่องมือวัดและวงจรต่างๆ ระบบดิจิทัล ภาษาแอสซีและมีความเข้าใจในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ เข้าใจหลักการทำงานของหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดัน

1.6.2 เพื่อสามารถสร้างอุปกรณ์วัดองค์ประกอบต่างๆ ทางไฟฟ้า แสดงองค์ประกอบต่าง ๆ ทางไฟฟ้า เช่น กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power), กำลังไฟฟ้าจริง (Real Power), กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ (Reactive Power), ตัวประกอบกำลัง (Power factor), กระแส, แรงดัน และให้โปรแกรมที่ใช้แสดงผลออกมาได้

1.6.3 เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter)

1.6.4 เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจในการใช้ภาษาซี สำหรับMCS-51 ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรม

1.7 งบประมาณที่ต้องใช้

1.7.1 ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่ม

1.7.2 ค่าหนังสือข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรมต่างๆ ที่ใช้ในการทำโครงงาน

1.7.3 ค่าหมึกพิมพ์

1.7.4 อื่นๆ เช่น ค่าอุปกรณ์เครื่องวัด

รวมเป็นเงิน 3,000 บาท (สามพันบาทถ้วน)

บทที่ 2

ทฤษฎีและการหาค่ากำลังไฟฟ้า

2.1 ความหมายของกำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงานต่อหนึ่งหน่วยเวลาดังสมการที่ (2.1)

$$p = \frac{E}{t} \quad (2.1)$$

โดยที่ $p =$ กำลัง	มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)
$E =$ พลังงาน	มีหน่วยเป็นจูล (J)
$t =$ เวลา	มีหน่วยเป็นวินาที (s)

กำลังในทางไฟฟ้านั้นสามารถเขียนอยู่ในรูปของกระแสและแรงดันได้ โดยแรงดันจะมาจากนิยามที่ว่า แรงดันคือ พลังงาน 1 จูล ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ประจุ 1 คูลอมบ์จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งนั้นคือ

$$v = \frac{E}{q} \quad (2.2)$$

หรือ $E = vq$

และจากนิยามของกระแสซึ่งคือ อัตราการถ่ายเทประจุ 1 คูลอมบ์ในเวลา 1 นาที

$$i = \frac{q}{t} \quad (2.3)$$

แทนสมการ (2.2) และ (2.3) ในสมการ (2.1) จะได้

$$p = \frac{vq}{q/i} = iv \quad (2.4)$$

2.1.1 กำลังในกรณีไฟฟ้ากระแสตรง

จากสมการ (2.4) ทำให้ทราบว่ากำลังไฟฟ้าที่หาได้จากผลคูณของกระแสและแรงดันที่โหลด และจากกฎของโอห์มสามารถเขียนกำลังอยู่ในรูปกระแสหรือแรงดันกับความต้านทานได้เป็น

$$P = I^2 R \quad (2.5)$$

และ
$$P = \frac{V^2}{R} \quad (2.6)$$

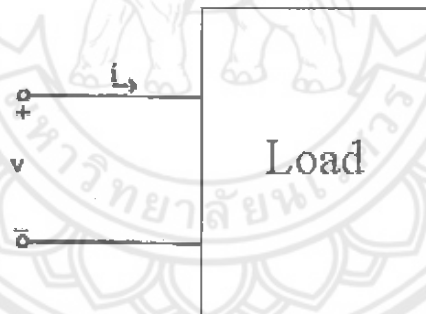
โดยที่ P = กำลัง มีหน่วยเป็นจูลต่อวินาที หรือ วัตต์

I = กระแส มีหน่วยเป็นคูลอมบ์ต่อวินาที หรือ แอมแปร์

V = แรงดัน มีหน่วยเป็นจูลต่อคูลอมบ์ หรือ โวลต์

R = ความต้านทานของโหลด

จะเห็นว่าในกรณีไฟฟ้ากระแสไฟฟ้ากระแสตรง เราสามารถหาค่ากำลังได้ โดยการวัดกระแสและแรงดันที่โหลด ซึ่งทำได้ง่าย ๆ โดยใช้แอมป์มิเตอร์และโวลต์มิเตอร์กระแสตรง



รูปที่ 2.1 แสดงอุปกรณ์หรือ โหลดดูดกำลังจากแหล่งพลังงานภายนอก

ถ้ากระแสและแรงดันมีทิศทางรูปที่ 2.1 แสดงว่าแหล่งพลังงานภายนอกได้จ่ายพลังงานให้แก่โหลดหรือกล่าวได้ว่าโหลดเป็นตัวดูดกลืนพลังงาน (absorber) แต่ถ้ากระแสมีทิศกลับจากรูปที่ 2.1 แสดงว่าแหล่งพลังงานภายนอกดูดกลืนพลังงานจากโหลดหรือกล่าวได้ว่าโหลดเป็นตัวจ่ายพลังงาน (deliver) กลับคืนให้แก่แหล่งพลังงานภายนอกที่มันต่ออยู่นั้น ซึ่งประโยชน์จากตรงนี้ทำให้เราทราบได้ว่า โหลดของเรามีลักษณะเป็นพวกมอเตอร์หรือเครื่องกำเนิด

2.1.2 กำลังในกรณีไฟฟ้ากระแสสลับ

เนื่องจากในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ สัญญาณกระแสและแรงดันจะเป็นฟังก์ชันของเวลาหรือกล่าวว่ายู่ในเทอมของโดเมนของไทม์โดเมน (Time domain) ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นกำลังที่เกิดขึ้นจึงมีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาด้วย เราจึงเรียกกำลังที่เกิดขึ้นนี้ว่ากำลังชั่วขณะ (Instantaneous power) และค่ากำลังชั่วขณะนี้มีประโยชน์และมีความสำคัญมาก เพราะค่านี้จะเป็นตัวกำหนดว่าอุปกรณ์หรือโหลดของเราจะทนกำลังสูงสุดได้เท่าใด เพื่อที่เวลาใช้งานจริงเราจะได้อุปกรณ์ไม่ให้อุปกรณ์ของเราล้มค่ากำลังเกินค่านี้ เพราะถ้ากระแสหรือแรงดันที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าเกินค่านี้ไปจะทำให้ให้อุปกรณ์เสียหายได้และค่ากำลังชั่วขณะนี้สามารถหาได้จาก

$$p(t) = i(t) \times v(t) \quad (2.7)$$

จะเห็นว่าค่ากำลังในสมการ (2.7) ต่างจากสมการ (2.4) ตรงที่สมการ (2.7) จะเป็นฟังก์ชันของเวลา ถ้าหากต้องการหาค่ากำลังเฉลี่ย (Average power) ก็สามารทำได้โดยการอินทิเกรต ค่ากำลังชั่วขณะ ในช่วงเวลาใดๆ ตามสมการที่ (2.8)

$$P = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt \quad (2.8)$$

โดยที่ P = กำลังเฉลี่ย
 t_1, t_2 = ช่วงเวลาที่ต้องการหาค่ากำลังเฉลี่ย

สำหรับกำลังชั่วขณะที่เป็นฟังก์ชันคาบเวลา (Periodic function) ซึ่งเขียนได้เป็น

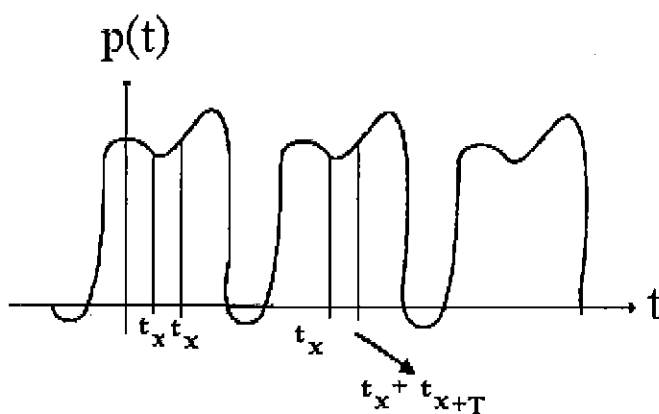
$$p(t) = p(t + T) \quad (2.9)$$

ซึ่ง T คือคาบเวลา (period) สมการ (2.9) นี้จึงหมายถึง ค่ากำลังชั่วขณะจะมีลักษณะซ้ำกันทุกช่วงเวลา T ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.2

เราสามารถหาค่ากำลังเฉลี่ยในหนึ่งคาบระหว่างเวลา T_1 ถึง T_2 โดยกำหนดให้ $t_2 = t_1 + T$

ดังนั้นจะได้

$$P_1 = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} p(t) dt \quad (2.10)$$



รูปที่ 2.2 แสดงสัญญาณกำลังชั่วขณะ $p(t)$ ที่มีลักษณะซ้ำกันทุกๆ คาบเวลา T

หรือจะหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในหนึ่งคาบเวลาใดๆ ระหว่างเวลา $t_x + t_{x+T}$ ก็จะได้

$$p_1 = \frac{1}{T} \int_{t_x}^{t_x+T} p(t) dt \quad (2.11)$$

จะเห็นว่าสมการ(2.10) กับ(2.11) เท่ากัน นั่นคือ $t_1 = t_x$ ดังนั้นสรุปได้ว่า ค่ากำลังเฉลี่ยหาได้จาก การอินทิเกรตค่ากำลังชั่วขณะนั้นใน 1 ช่วงคาบใดๆ แล้วหารด้วยคาบ ดังสมการ (2.10) หรือ (2.11) จากสมการ (2.10) และ (2.11) สามารถเขียนสมการทั่วไปสำหรับหาค่าเฉลี่ยได้ดังนี้คือ

$$p = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt \quad (2.12)$$

2.1.3 กำลังเฉลี่ยของสัญญาณไซน์

พิจารณาในกรณีสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่ภาวะคงตัว (Steady State) สมมติว่าเมื่อมีแรงดันตกคร่อมโหลดคือ

$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \alpha) \quad (2.13)$$

จะทำให้มีกระแสไหลผ่านโหลดเป็น

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \alpha - \theta) \quad (2.14)$$

ดังนั้นกำลังชั่วขณะคือ

$$\begin{aligned}
 P(t) &= i(t) \frac{1}{2} V_m \times I_m \cos \theta \times v(t) \\
 &= I_m \cos(\omega t + \alpha) \times V_m \cos(\omega t + \alpha - \theta) \\
 &= V_m \times I_m \cos(\omega t + \alpha) \times \cos(\omega t + \alpha - \theta) \\
 &= \frac{1}{2} V_m \times I_m \cos \alpha + \frac{1}{2} V_m \times I_m \cos(2\omega t + 2\alpha - \theta)
 \end{aligned} \tag{2.15}$$

และค่ากำลังเฉลี่ยหาได้จากการอินทิเกรตสมการ (2.15)

$$\text{จะได้ } p = \frac{1}{T} \int_0^T \left[\frac{1}{2} V_m \times I_m \cos \alpha + \frac{1}{2} V_m \times I_m \cos(2\omega t + 2\alpha - \theta) \right] dt \tag{2.16}$$

$$P = \frac{1}{T} \left[\frac{T}{2} V_m \times I_m \cos \alpha + 0 \right]$$

$$P = \frac{1}{2} V_m \times I_m \cos \alpha$$

สังเกตว่าเทอมที่ 2 ของสมการ (2.16) มีลักษณะเป็นฟังก์ชันไซน์ เมื่อทำการอินทิเกรตเทอมที่ 2 ในช่วงเวลา T จึงมีค่าเป็นศูนย์ ส่วนเทอมแรกเป็นค่าคงที่ซึ่งไม่ขึ้นกับเวลา ดังนั้นเมื่อทำการอินทิเกรตเทอมแรกนี้ในช่วงเวลา 1 คาบ T แล้วหารด้วยคาบ จึงได้ค่าเท่าเดิม

จากสมการ (2.16) ข้างต้นจะได้

$$P = \frac{1}{2} V_m \times I_m \cos \theta \tag{2.17}$$

โดยที่ P = กำลังเฉลี่ย (average power)

V_m = ค่าแรงดันสูงสุด (peak voltage)

I_m = ค่ากระแสสูงสุด (peak current)

θ = มุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแส

จากสมการ (2.17) ข้างต้นจะเห็นว่าค่า P จะมีค่าเป็นบวกเสมอเพราะ $\cos \theta \geq 0$ เสมอ และสมการ (2.17) นี้เป็นสมการสำหรับหาค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณไซน์ที่ปรากฏอยู่ที่โหลดใดๆ รวมทั้งโหลดแบบ R, L และ C ด้วยดังแสดงต่อไปนี้

กรณีโหลดเป็นตัวความต้านทาน (Resistive load)

เฟสเซอร์ของกระแสและแรงดันกรณีโหลดเป็นความต้านทานอย่างเดียว (Pure resistive load) จะอินเฟสกันเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ดังนั้นมุม $\theta = 0^\circ$

จากสมการ (2.17) จะได้

$$P_R = \frac{1}{2} V_m \times I_m \cos 0^\circ$$

$$= \frac{1}{2} V_m \times I_m \quad (2.18)$$



รูปที่ 2.3 แสดงเฟสเซอร์ระหว่างกระแสและแรงดันกรณีโหลดตัวต้านทานอย่างเดียว

เพราะว่า $V_m = I_m \times R$ ดังนั้นจากสมการ (2.18) เขียนใหม่ได้เป็น

$$P_R = \frac{1}{2} I_m^2 \times R \quad (2.19)$$

หรือ

$$P_R = \frac{1}{2} \frac{V_m^2}{R} \quad (2.20)$$

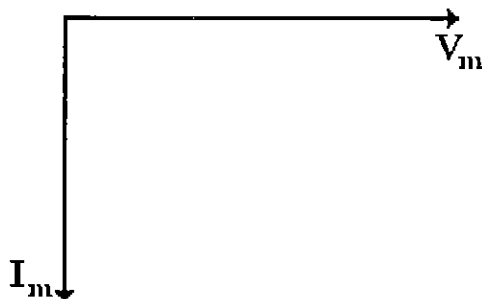
กรณีโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำ (Inductive load)

โหลดที่เป็นตัวเหนี่ยวนำอย่างเดียว (Pure inductive load) จะมีเฟสเซอร์ของแรงดันนำหน้ากระแสอยู่ 90° เสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 นั่นคือมุม $\theta = 90^\circ$

เพราะฉะนั้นจากสมการ (2.17) จะได้

$$P_L = \frac{1}{2} V_m \times I_m \cos 90^\circ$$

$$= 0$$
(2.21)



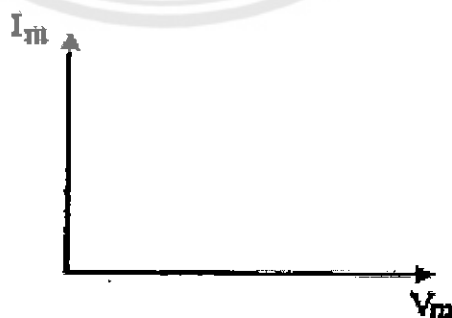
รูปที่ 2.4 แสดงเฟสเซอร์ระหว่างกระแสและแรงดันกรณีโหลดตัวเหนี่ยวนำอย่างเดียว

นั่นคือกำลังเฉลี่ยของวงจรที่มีแหล่งจ่ายชาชน์และมีโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำจะเป็นศูนย์เสมอ ซึ่ง เป็นคุณสมบัติของตัวเหนี่ยวนำคือเป็นเพียงการสะสมพลังงานแต่ไม่ได้ใช้ นั่นคือพลังงานที่ถูกสะสมไว้ในตัวเหนี่ยวนำจะถูกถ่ายเทออกมาสลับกัน ไปตลอดเวลา

กรณีโหลดเป็นตัวเก็บประจุ (Capacitive load)

โหลดที่เป็นตัวเก็บประจุอย่างเดียว (Pure capacitive load) จะมีเฟสเซอร์ของแรงดันตามหลัง กระแสอยู่ 90° เสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 นั่นคือ มุม $\theta = -90^\circ$ เพราะฉะนั้นจากสมการ (2.17) จะ ได้

$$P_C = \frac{1}{2} V_m \times I_m \cos(-90^\circ) = 0$$
(2.22)

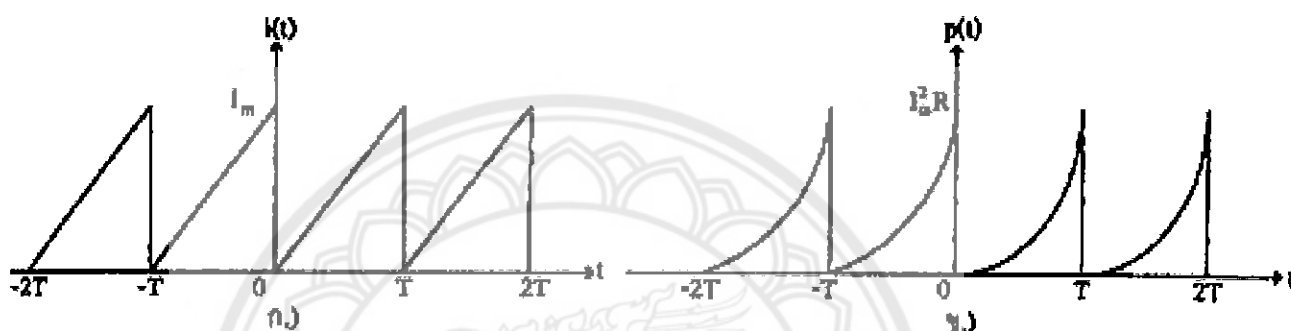


รูปที่ 2.5 แสดงเฟสเซอร์ระหว่างกระแสและแรงดันกรณีโหลดเป็นตัวเก็บประจุอย่างเดียว

นั่นคือกำลังเฉลี่ยของวงจรที่มีแหล่งจ่ายชาวน์และมีโหลดเป็นตัวเก็บประจุจะเป็นศูนย์เสมอ ซึ่งเป็นคุณสมบัติของตัวเก็บประจุ ก็คือ เป็นเพียงการสะสมพลังงาน แต่ไม่ได้ใช้เพราะจะมีการถ่ายเทพลังงานเข้าและออกสลับกันไปตลอดจึงทำให้กำลังเฉลี่ยเป็นศูนย์

กรณีรูปคลื่นใดๆ ค่ากำลังเฉลี่ยจะไม่เป็นดังค่าในสมการ (2.18) เช่น ในกรณีที่กระแสที่โหลดมีลักษณะเป็นสัญญาณฟันเลื่อย ดังตัวอย่าง ต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 1 กรณีสัญญาณกระแสที่โหลดตัวต้านทาน R เป็นสัญญาณฟันเลื่อย ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงรูปคลื่นสัญญาณกระแสและกำลังที่เกิดขึ้นที่โหลดตัวต้านทาน R

ก) รูปคลื่นสัญญาณกระแสฟันเลื่อยที่โหลดตัวต้านทาน R

ข) รูปคลื่นสัญญาณกำลังที่โหลดตัวต้านทาน R เนื่องจากสัญญาณกระแสฟันเลื่อย

จากรูปข้างต้นจะได้

$$i(t) = \frac{I_m}{T} \times t \quad 0 < t \leq T \quad (2.23)$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} p(t) &= i^2(t) \times R \\ &= \left(\frac{I_m}{T} \times t \right)^2 \times R \\ &= \frac{I_m^2}{T^2} \times R \times t^2 \quad 0 < t \leq T \quad (2.24) \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น ค่ากำลังเฉลี่ยในช่วง $t = 0$ และ $t = T$ คือ

$$P_R = \int_0^T \left[\frac{I_m^2}{T^2} \times R \times t^2 \right] dt$$

$$= \frac{1}{3} I_m^2 \times R \quad (2.25)$$

จะเห็นว่าค่าที่ได้จากสมการ (2.25) นี้ต่างจากค่าในสมการ (2.18) เพราะสมการ (2.25) นี้มาจากสัญญาณที่ไม่ใช่รูปคลื่นไซน์ ดังนั้นในการหาค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณแรงดันหรือกระแสใดๆ ที่ไม่ใช่รูปคลื่นไซน์หาได้จากสมการ (2.12)

2.2 เครื่องวัดปริมาณไฟฟ้าชนิดต่างๆ

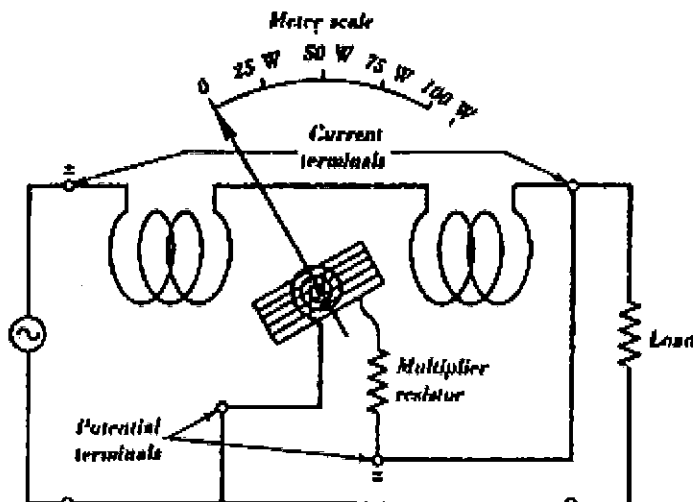
2.2.1 วัดวัตต์มิเตอร์ (Watt meter)

วัตต์มิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดกำลังไฟฟ้า โดยส่วนมากวัตต์มิเตอร์แบบมีเข็มเบี่ยงเบนนั้นสามารถวัดปริมาณกำลังไฟฟ้าได้ทั้งกระแสตรงและกระแสสลับที่มีความถี่ต่ำกว่า 400 Hz และวัตต์มิเตอร์ที่พบมากที่สุดจะเป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ ไดนาโมมิเตอร์ ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ ไดนาโมมิเตอร์

เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ ไดนาโมมิเตอร์ดังรูปที่ 2.7 มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ขดลวดสนามแม่เหล็กอยู่กับที่ และขดลวดเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงวงจรภายในของวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์โครไดนาโมมิเตอร์

ขดลวดสนามแม่เหล็กอยู่กับที่ (Stationary field coil) จะต่ออนุกรมอยู่กับโหลด ที่ต้องการวัดกำลังไฟฟ้า ดังนั้นฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่ขดลวดสนามแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับกระแสของโหลด บางครั้งจึงเรียกขดลวดสนามแม่เหล็กอยู่กับที่นี้ว่า ขดกระแส (Current coil)

ขดลวดเคลื่อนที่ (Moving coil) จะต่อคร่อมกับโหลด จึงทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดเคลื่อนที่เป็นสัดส่วนกับกระแสในขดลวดเคลื่อนที่นั้น และที่ขดลวดเคลื่อนที่นี้จะมีตัวต้านทานมัลติพลาย (multiplier resistor) ที่มีค่าสูงๆ ต่ออยู่ด้วยเพื่อจำกัดปริมาณกระแส ซึ่งขดลวดเคลื่อนที่นี้บางทีเรียกว่า ขดแรงดัน (Potential coil)

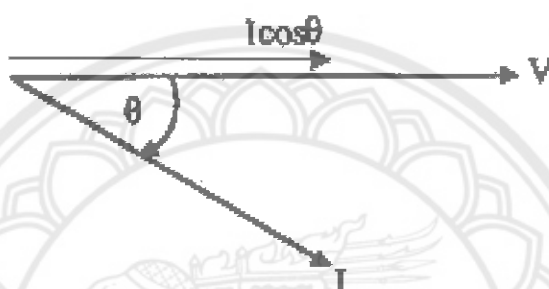
ส่วนขดลวดกระแสจะมีขนาดของขดลวดใหญ่กว่าและพันด้วยจำนวนรอบน้อยกว่า เพื่อให้มีความต้านทานๆ เนื่องจากขดลวดกระแสจะมีกระแสไหลผ่านเป็นปริมาณมาก ส่วนขดลวดแรงดันจะมีจำนวนรอบมากและพันด้วยลวดเส้นเล็กกว่าเพื่อให้มีความต้านทานสูงๆ

เนื่องจากแรงบิด ($torque, T_D$) ที่ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนเข็มของเครื่องวัดแบบอิเล็กทรอนิกส์โครไดนาโมมิเตอร์ จะขึ้นอยู่กับฟลักซ์แม่เหล็ก กระแสในขดลวด, ขนาดของขดลวด และจำนวนรอบของขดลวด แต่อย่างไรก็ตามฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดสนามแม่เหล็กอยู่กับที่ก็เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสที่ไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กอยู่กับที่ $I_{field\ coil}$ และฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดเคลื่อนที่ก็เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสที่ผ่านขดลวดเคลื่อนที่ $I_{moving\ coil}$ นั่นคือแรงบิดที่ทำให้เข็มของมิเตอร์เบี่ยงเบนไปขึ้นกับผลคูณกระแสทั้ง 2 ดังสมการที่ (2.26)

$$T_D \propto I_{field\ coil} \times I_{moving\ coil} \tag{2.26}$$

ซึ่งกระแสที่ไหลในขดลวดเคลื่อนที่นั้น จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานมัลติพลายซึ่งมีค่าเท่ากับแรงกัมที่ไหล ทำให้สามารถใช้วัดค่ากำลังของไหลได้เพราะเท่ากับผลคูณของกระแสและแรงดันที่ไหล

การใช้วัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์วัดองค์ประกอบทางไฟฟ้ากระแสสลับนั้น ในกรณีที่กระแสและแรงดันที่ไหลมีเฟสไม่ตรงกัน คือมีมุมระหว่างเฟสของกระแสและแรงดันต่างกันเป็นมุม θ ซึ่ง มุม θ จะมีผลต่อการเบี่ยงเบนเข็มวัตต์มิเตอร์ด้วย เนื่องจากการเบี่ยงเบนเข็มวัตต์มิเตอร์จะขึ้นกับผลคูณของกระแสและแรงดันที่อินเฟสกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ทำให้ค่าที่วัดได้จากวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์นี้เป็นกำลังเฉลี่ยที่ไหล



รูปที่ 2.9 แสดงเฟสเซอร์ของกระแสและแรงดันที่ไหล

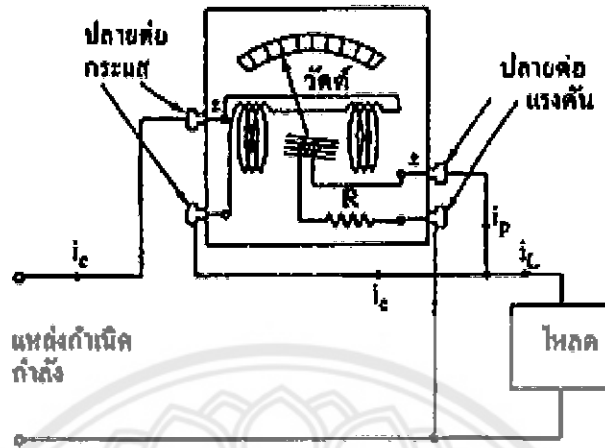
จากที่กล่าวมาข้างต้น เข็มของวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์จะเบี่ยงเบนไปตามสมการ (2.27)

$$\theta_m = K_m VI \cos \theta \quad (2.27)$$

- โดยที่ θ_m = มุมเบี่ยงเบนของเข็ม
 K_m = ค่าคงที่ของเครื่องวัด
 V = ค่าแรงดันอาร์เอ็มเอสที่ขดลวดแรงดัน
 I = ค่ากระแสอาร์เอ็มเอสที่ขดลวดกระแส
 θ = มุมต่างเฟสระหว่างกระแสและแรงดัน

โดยปกติแล้วขดลวดทั้งสองของวัตต์มิเตอร์ จะมีเครื่องหมายแสดงอยู่ที่ปลายข้างหนึ่งของแต่ละขดว่าเป็นขั้วอะไร และเพื่อให้เข็มของวัตต์มิเตอร์เบนไปถูกทางต้องทำให้ทิศของขั้วบวกของขดลวดกระแสและขดแรงดันมีลักษณะดังรูปที่ 2.10 ถ้ากลับทิศทางของขดใดขดหนึ่งจะทำให้เข็มของวัตต์

มิเตอร์จะเบนไปในทิศทางตรงกันข้ามกัน แต่หากกลับทิศทางของทั้งสองขดพร้อมกันเข็มของวัตต์มิเตอร์จะเบนในทิศทางปกติ



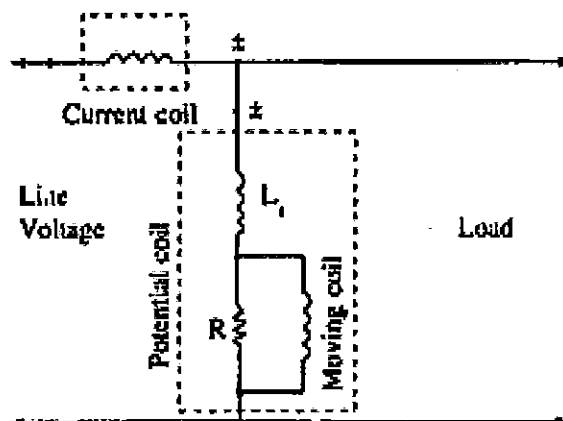
รูปที่ 2.10 แสดงวิธีการต่อวัตต์มิเตอร์ใช้วัดกำลังเฉลี่ยของโหลด

2.2.2 วาร์มิเตอร์ (VAR meter)

ใช้วาร์มิเตอร์ในกาวัดกำลังรีแอกทีฟของโหลด ซึ่งค่านี้มีความสำคัญมากเพราะในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านั้น จะส่งกำลังออกไปตามสายส่งจำหน่ายให้กับผู้ใช้ ซึ่งการคิดเงินจะแบ่งเป็น 2 ประเภท ประเภทแรกเป็นผู้บริโภคขนาดเล็กซึ่งการไฟฟ้าจะไม่เรียกเก็บเงินสำหรับกำลังรีแอกทีฟ และประเภทที่ 2 เป็นผู้บริโภคนขนาดใหญ่ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งผู้บริโภคนี้อาจจะผลิตรวาร์เข้าสู่ระบบมาก การไฟฟ้าจึงมีข้อกำหนดมิให้โรงงานอุตสาหกรรมมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำกว่าที่การไฟฟ้ากำหนดและจะเรียกเก็บเงินจากวาร์ที่ผลิต

วาร์มิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดแบบอิเล็กทรอนิกส์ ไดนาโมมิเตอร์เช่นเดียวกับวัตต์มิเตอร์ แต่ต่างกันตรงที่ในขดลวดเคลื่อนที่จะมีตัวเหนี่ยวนำค่าสูงๆ ต่ออนุกรมอยู่กับขดลวดเคลื่อนที่ แทนความต้านทานค่าสูง เพื่อให้กระแสที่ไหลในขดลวดเคลื่อนที่มีเฟสเซอร์ล่าหลังแรงดันที่ป้อน 90° ดังรูปที่ 2.11

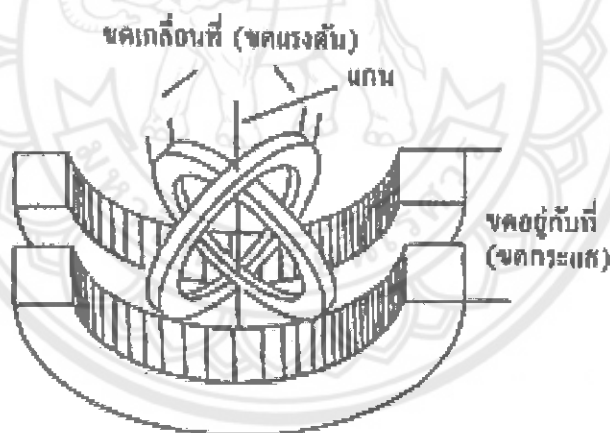
ซึ่งก็มีหลักการทำงานคล้ายกับวัตต์มิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ ไดนาโมมิเตอร์ คือ อาศัยแรงบิดที่เกิดจากกระแสในขดลวดเคลื่อนที่และขดลวดสนามแม่เหล็กอยู่กับที่



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะขดลวดภายในวาร์มิเตอร์

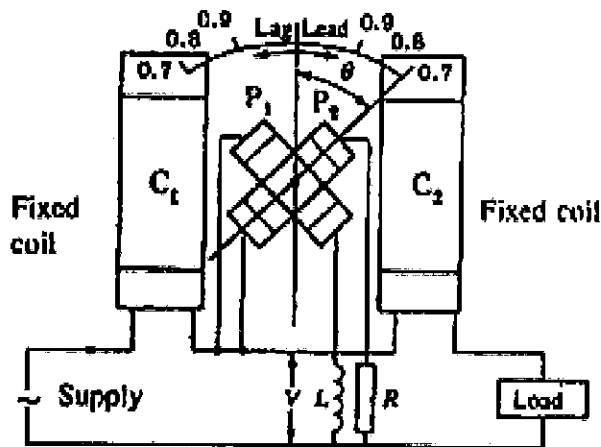
2.2.3 เพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์ (Power factor meter)

เพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์เป็นเครื่องวัดที่ดัดแปลงจากเครื่องวัดแบบอิลีกโตรไดนาโมมิเตอร์ โดยติดตั้งขดลวดเคลื่อนที่ 2 ชุด ไขว้คร่อมตั้งฉากซึ่งกันและกันอยู่ในขดลวดที่อยู่กับที่ตั้งรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของเพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์

เมื่อขดลวดเคลื่อนที่อยู่ในตำแหน่งสมดุลแรงบิดที่เกิดขึ้นที่ขดลวดเคลื่อนที่แต่ละชุดจะเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงกันข้ามกัน จากหลักการนี้ได้นำมาใช้ในเพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์ โดยนำตัวต้านทาน (R) มาต่ออนุกรมกับขดลวดเคลื่อนที่ชุดหนึ่ง และนำตัวเหนี่ยวนำ (L) มาต่ออนุกรมกับขดลวดเคลื่อนที่อีกชุด เพื่อให้เฟสเซอร์ของกระแสในขดลวดเคลื่อนที่ทั้ง 2 ชุดห่างกัน 90° ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะขดลวดภายในเพาเวอร์แฟคเตอร์มิเตอร์

ชุดขดลวดอยู่กับที่จะต่ออนุกรมกับโหลด ดังนั้นกระแสในขดลวดอยู่กับที่จะตรงเฟสกับกระแสโหลด ถ้าหากโหลดมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เป็น 1.0 กระแสในขดลวดเคลื่อนที่ที่อนุกรมกันความต้านทาน (P_2) จะอินเฟสกับกระแสในขดลวดอยู่กับที่ (C_2) และแรงบิดที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงระหว่างขดลวดทั้งสอง (P_2 กับ C_2) จะทำให้ขดลวดเคลื่อนที่หมุนไปจนกระทั่งแกนของขดลวดทั้งสองขนานกันที่ตำแหน่งนี้แกนของ P_2 จะตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กเนื่องจากขดลวดอยู่กับที่ และทำให้เข็มชี้ไปที่เพาเวอร์แฟคเตอร์ 1.0 ส่วนกระแสในขดลวดเคลื่อนที่กับขดลวดอยู่กับที่อีกชุดหนึ่ง (P_1 กับ C_1) จะต่างเฟสไป 90° เนื่องจากผลของ L ทำให้ไม่มีแรงบิดจากขดลวดชุดนี้

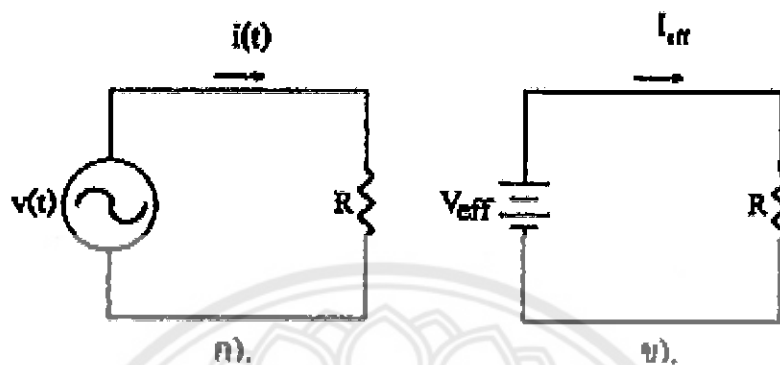
กรณีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เป็นศูนย์ กระแสในขดลวดเคลื่อนที่ ที่ต่ออนุกรมกับ L (P_1) จะอินเฟสกับกระแสในขดลวดอยู่กับที่ (C_1) จึงมีแรงบิดเกิดขึ้นเนื่องจากขดลวดทั้งสองและทำให้ ขดลวดเคลื่อนที่หมุนไปจนแกนของขดลวดทั้งสอง (P_1 กับ C_1) ขนานกัน ส่วนกระแสที่ขดลวดเคลื่อนที่ที่ต่ออนุกรมกับ R กับกระแสที่ผ่านขดลวดอยู่กับที่ต่างเฟสกัน 90° ดังนั้นจึงไม่มีแรงบิดเกิดขึ้นที่ขดลวดทั้งสองนี้ และกรณีที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ค่าอื่นๆ ก็อาศัยหลักการเดียวกันนี้

2.3 ค่าประสิทธิผล (Effective Values) หรือค่าอาร์เอ็มเอส (RMS Values) ของกระแสและแรงดัน

ในหัวข้อที่ผ่านมาสามารถหาค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณไซน์ที่ง่ายให้แก่ โหลดตัวต้านทาน ใดๆ ได้แล้ว ต่อมาถ้าหากเราต่อแหล่งจ่ายไซน์เข้ากับตัวต้านทาน ใดๆ แล้ววัดกำลังเฉลี่ยที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระแสไซน์ที่ง่ายให้กับตัวต้านทาน ว่าเป็นเท่าใด ต่อมาเอาแหล่งจ่ายไซน์นี้ออก แล้วต่อแหล่งจ่ายกระแสตรงเข้ากับตัวต้านทาน เดียวกันนี้ แล้วปรับค่าแรงดันจนได้กำลังที่ตัวต้านทาน นี้เท่ากับค่ากำลังเฉลี่ยที่วัดได้ในกรณีที่ย่าง่าย ซึ่งค่ากระแสและแรงดันที่วัดได้ในกรณีแหล่งจ่ายกระแสตรงนี้ก็คื ค่า

ประสิทธิภาพของกระแสและแรงดัน หรือบางทีอาจเรียกว่า ค่ากระแสและแรงดันประสิทธิภาพก็ได้ ซึ่งใช้สัญลักษณ์เป็น I_{eff} (Effective current) และ V_{eff} (Effective voltage) ดังแสดงในรูปที่ 2.14

ดังนั้นค่ากระแสประสิทธิภาพของสัญญาณกระแสใดๆ ก็คือค่ากระแสที่ทำให้เกิดกำลังเฉลี่ยที่โหลดตัวต้านทาน เท่ากับกำลังเฉลี่ยที่เกิดจากกระแสตรงนั่นเอง



รูปที่ 2.14 แสดงโหลดตัวต้านทาน R ต่ออยู่กับแหล่งจ่าย

ก). แหล่งจ่ายขายน้

ข). แหล่งจ่ายกระแสตรง

จากรูปที่ 2.14 ก). ให้ $i(t)$ เป็นกระแสขายน้ที่มีคาบ T และกำลังเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากกระแสนี้จ่ายให้แก่โหลดตัวต้านทาน R คือ

$$P_1 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) R dt$$

$$P_1 = \frac{R}{T} \int_0^T i^2(t) dt$$

และจากรูปที่ 2.14 ข.) กำลังที่เกิดขึ้นที่ตัวต้านทาน R เนื่องจากกระแสตรง I_{eff} คือ

$$P_2 = I_{eff}^2 \times R$$

เมื่อกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่โหลดตัวต้านทาน R เนื่องจากแหล่งขายน้และกระแสตรงเท่ากัน นั้น
คือ

จาก

$$P_1 = P_2$$

$$I_{eff}^2 \times R = \frac{R}{T} \int_0^T i^2(t) dt$$

$$\therefore I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} \quad (2.28)$$

จะเห็นว่าค่า I_{eff} นี้ไม่ขึ้นกับตัวต้านทาน R

ทำนองเดียวกันเราสามารถหาค่าประสิทธิผลของสัญญาณแรงดันที่เป็นคาบโดยการแทน $i(t)$
และ I_{eff} ด้วย $v(t)$ ในสมการ V_{eff} ในสมการ (2.28) ตามลำดับก็จะได้

$$V_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} \quad (2.29)$$

จากสมการที่ (2.28) และ (2.29) การจะหาค่า I_{eff} หรือ V_{eff} ของสัญญาณกระแส $i(t)$ หรือ
แรงดัน $v(t)$ ใดๆนั้นเราจะทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

- 1) หาค่ากำลังสอง (Square) ของ $i(t)$ หรือ $v(t)$ ได้เป็น $i^2(t)$ หรือ $v^2(t)$
- 2) หาค่าเฉลี่ย (Average หรือ Mean) ของ $i^2(t)$ หรือ $v^2(t)$ ในหนึ่งคาบ
- 3) หาค่ารากที่สอง (Square Root) ของค่าที่หาได้ในข้อ 2).

จากการหาค่าประสิทธิผลของกระแสหรือแรงดันตามขั้นตอนข้างต้นนั้น ทำให้บางที่เราเรียกค่า
ประสิทธิผลนี้ว่าค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง หรือค่าอาร์เอ็มเอส (RMS value) ซึ่งมาจาก
ภาษาอังกฤษว่า Root Mean Square

ดังนั้นจึงเรียกค่ากระแสประสิทธิผลอีกชื่อว่า กระแสอาร์เอ็มเอส และเขียนสัญลักษณ์เป็น I_{rms}
ส่วนค่าแรงดันประสิทธิผลก็เรียกอีกชื่อว่า แรงดันอาร์เอ็มเอส และเขียนสัญลักษณ์เป็น V_{rms}

2.3.1 ค่าประสิทธิผลของสัญญาณขายน้

ให้กระแสขายน้เป็น

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

ซึ่งมีคาบเป็น

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

แทนค่า $T = \frac{2\pi}{\omega}$ ในสมการ (2.28) จะได้

$$\begin{aligned} I_{eff} &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t dt} \\ &= I_m \sqrt{\frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos(2\omega t) \right] dt} \\ &= I_m \sqrt{\frac{\omega}{2\pi} \left[\frac{t}{2} \right]_0^{\frac{2\pi}{\omega}}} \end{aligned}$$

$$\therefore I_{eff} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m \quad (2.30)$$

ทำนองเดียวกันจาก (2.29) จะได้

$$V_{eff} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707 V_m \quad (2.31)$$

จากสมการ (2.19) จะได้ กำลังเฉลี่ยที่ตัวต้านทาน R เป็น

$$P_R = \frac{1}{2} I_m^2 \times R \quad (2.32)$$

และจากสมการ (2.30) สามารถเขียนกำลังเฉลี่ยในเทอมของค่า eff หรือ rms ได้เป็น

$$P_R = I_{eff}^2 \times R$$

$$\text{หรือ} \quad P_R = I_{rms}^2 \times R \quad (2.33)$$

หรือจากสมการ (2.31) จะเขียน P_R ได้เป็น

$$P_R = \frac{V_{eff}^2}{R} \quad (2.34)$$

$$\text{หรือ} \quad P_R = \frac{V_{rms}^2}{R} \quad (2.35)$$

สำหรับในกรณีที่กระแสหรือแรงดันไม่ใช่สัญญาณชายนี การหาค่าประสิทธิภาพจะหาได้จากสมการ (2.28) หรือ (2.29) เช่น จากตัวอย่างที่ 1 ที่มีสัญญาณ $i(t)$ เป็นสัญญาณฟันเลื่อย ซึ่ง

$$i(t) = \frac{I_m}{T} \times t$$

$$i^2(t) = \frac{I_m^2}{T^2} \times t^2$$

$$\begin{aligned} \therefore I_{eff} &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{I_m^2}{T^2} t^2 \right) dt} \\ &= \frac{I_m}{\sqrt{3}} = 0.577 I_m \end{aligned} \quad (2.36)$$

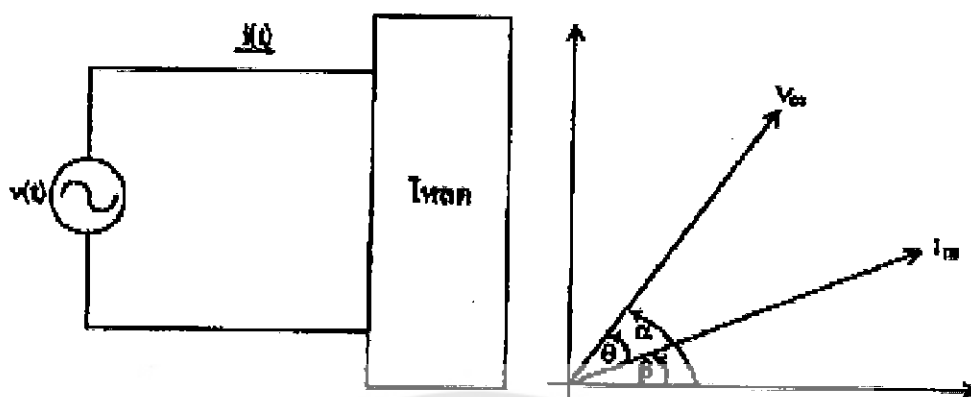
ซึ่งจะได้ค่ากำลังเฉลี่ยที่โหลดตัวต้านทาน R คือ

$$P_R = I_{eff}^2 \times R$$

$$\text{หรือ} \quad P_R = \frac{1}{3} I_m^2 \times R \quad (2.37)$$

ซึ่งค่าในสมการ (2.37) นี้จะได้เท่ากับค่าที่หาได้จากสมการ (2.25)

2.3.2 กำลังปรากฏ (Apparent power) และค่าเฟาเวอร์แฟกเตอร์ (power factor)



รูปที่ 2.15 แสดงเฟสเซอร์ของกระแสและแรงดันขายน้ของ โหลดใดๆ

จากรูปที่ 2.15 เราให้สัญญาณแรงดันเป็น

$$v(t) = v_m \cos(\omega t + \alpha) \quad (2.38)$$

และสัญญาณกระแสขายน้ที่ผ่าน โหลด จะ ได้เป็น

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \beta) \quad (2.39)$$

ดังนั้นมุมเฟสที่แรงดันนำหน้ากระแสมีค่า

$$\alpha - \beta = \theta \quad (2.40)$$

เพราะฉะนั้นค่ากำลังเฉลี่ยที่จ่ายให้กับ โหลดจะเป็น

$$P = \frac{1}{2} V_m \times I_m \cos \theta \quad (2.41)$$

หรือเขียนในเทอมของค่าประสิทธิผล ได้เป็น

$$P = V_{eff} \times I_{eff} \cos \theta \quad (2.42)$$

จะเห็นว่าถ้าแรงดันและกระแสในสมการ (2.42) เป็นสัญญาณกระแสตรง ค่ากำลังเฉลี่ยก็จะเท่ากับผลคูณของ $V_{eff} \times I_{eff}$ ซึ่งจะเหมือนกับค่าที่ได้จากสมการ (2.4) เพราะว่ามีมุมต่างเฟสระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าเป็น 0° ซึ่งค่า $\cos 0^\circ$ จะได้เท่ากับ 1.0 อย่างไรก็ตามค่า P ที่ได้จากสมการ (2.42) เป็นค่ากำลังเฉลี่ยที่เกิดขึ้นที่โหลดและเป็นค่ากำลังที่นำไปใช้งานจริงจึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ค่ากำลังจริง (Real power) หากเป็นกรณีแหล่ง

จ่ายกระแสตรงค่ากำลังจริงนี้จะเท่ากับ $V_{eff} \times I_{eff}$ เพราะผลคูณของ $V_{eff} \times I_{eff}$ เปลี่ยนไปเป็นพลังงานใช้งานจริงทั้งหมด แต่ในกรณีแหล่งจ่ายชาชนี้จะไม่เป็นเช่นนั้น เพราะค่ากำลังจริงเป็นเพียงส่วนหนึ่งของผลคูณ $V_{eff} \times I_{eff}$ (คือเป็น $V_{eff} \times I_{eff} \cos \theta$) ด้วยเหตุนี้ในกรณีสัญญาณชาชนี้เราจึงเรียกผลคูณของ $V_{eff} \times I_{eff}$ ว่าเป็นกำลังปรากฏ (Apparent power) หากเราต้องการทราบค่ากำลังเฉลี่ยที่เปลี่ยนไปใช้งานจริงแล้วต้องเอา $\cos \theta$ คูณกับกำลังปรากฏ ดังนั้นในกรณีแหล่งจ่ายชาชนี้จึงเรียกค่า $\cos \theta$ นี้ว่า ตัวประกอบกำลังหรือค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power factor) และนิยมใช้ตัวย่อว่า P.F. หรือ p.f. เพราะเป็นค่าคงที่ และมีมุม θ เรียกว่ามุมเพาเวอร์แฟคเตอร์ (power factor angle) ซึ่งค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์นี้มีประโยชน์มากในการที่จะใช้บอกให้เราทราบว่า โหลดของเราให้กำลังออกมาเท่าใด และยังช่วยบอกให้เราทราบว่า โหลดของเรามีประสิทธิภาพหรือน้อยอย่างไร โดยโหลดที่มีตัวประกอบกำลังมากก็จะมีประสิทธิภาพมาก ซึ่งโหลดในทางอุดมคติจะมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เป็น 1.0 นั่นคือ หมายความว่ากำลังที่โหลดเปลี่ยนไปเป็นกำลังใช้งานจริงทั้งหมด ดังนั้นจึงมีการแก้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของโหลดให้มีค่าใกล้เคียงหนึ่งมากที่สุด

จะพบว่าในกรณีที่มีโหลดมีลักษณะเป็นความต้านทาน (R) อย่างเดียวจะได้มุม $\theta = 0^\circ$ และ P.F.=1 แสดงว่าโหลดใช้กำลังทั้งหมด ส่วนในกรณีที่โหลดมีลักษณะตัวเก็บประจุ (C) หรือ ตัวเหนี่ยวนำ (L) อย่างเดียว มุม $\theta = -90^\circ$ และ $\theta = +90^\circ$ ตามลำดับ ดังนั้นค่า P.F. จึงเท่ากับศูนย์เสมอ นั่นคือ โหลดไม่ได้ใช้กำลังเลย

ส่วนในกรณีที่มีโหลดทั้ง R, L และ C รวมอยู่ด้วยกัน มุม θ จะไม่เป็น 0° แต่จะมีค่าอยู่ระหว่าง $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ จึงทำให้ P.F. มีค่าระหว่าง $0 \leq P.F. \leq 1$ เช่น ถ้าหากกล่าวค่า P.F.= 0.5 จะหมายความว่า $\theta = 60^\circ$ หรือ -60° โดยกรณี $\theta = 60^\circ$ จะหมายถึงโหลดมีลักษณะเป็นตัวเหนี่ยวนำคือจะมีเฟสเซอร์ของแรงดันนำหน้ากระแสอยู่ 60° และในกรณีที่ $\theta = -60^\circ$ จะหมายถึงโหลดมีลักษณะเป็นตัวเก็บประจุคือจะมีเฟสเซอร์ของแรงดันตามหลังกระแสอยู่ 60° ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดความสับสนเมื่อเรากล่าวถึงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ เราจะต้องระบุด้วยว่าเป็นชนิดนำหน้า (Leading power factor) หรือเป็นชนิดล่าหลัง (Lagging power factor) โดยทั่วไปนิยมเรียกย่อๆว่า lead สำหรับการนำหน้า และ lag สำหรับการล่าหลัง โดยที่การนำหน้าหรือล่าหลังนั้นจะหมายถึง เฟสเซอร์ของกระแสหน้าหรือล่าหลังเฟสเซอร์ของแรงดันนั่นเอง

ดังนั้นจากที่กล่าวมาแล้วค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์คือค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังเฉลี่ยต่อกำลังปรากฏ ($V_{eff} \times I_{eff}$) นั่นคือ

sl, 4900175

9/58ค

$$P.F. = \frac{P}{V_{eff} \times I_{eff}} \quad (2.43)$$

2548

c.2

i 5075658

ถึงแม้ค่ากำลังปรากฏจะเป็นผลคูณระหว่างแรงดันและกระแสประสิทธิผล แต่เนื่องจากไม่ได้เปลี่ยนไปเป็นพลังงานใช้งานจริงหมด เราจึงไม่ใช้หน่วยวัดกับค่ากำลังปรากฏ แต่จะใช้หน่วย VA แทน ซึ่งอ่านว่า วีเอ หรือ โวลต์-แอมป์ (Volt-Amp) ซึ่งค่า VA นี้มีประโยชน์ในการใช้บอกพิกัดของเครื่องจักร เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือหม้อแปลงไฟฟ้าที่มักจะบอกพิกัดมาเป็น 1000 VA 200 V แสดงว่าเครื่องกำเนิดเครื่องนี้สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมาได้สูงสุด 5 A ที่แรงดันพิกัด 200 V เป็นต้น

2.3.3 กำลังเชิงซ้อน (Complex power)

กำลังเชิงซ้อน คือกำลังที่เขียนอยู่ในรูปของกำลังเชิงซ้อน โดยมีส่วนจริงเป็นกำลังเฉลี่ยและส่วนจินตภาพเป็นกำลังรีแอกทีฟ และเขียนแทนกำลังเชิงซ้อนด้วย S

$$S = P + jQ \quad (2.44)$$

โดยที่

P = กำลังเฉลี่ย มีหน่วยเป็นวัตต์

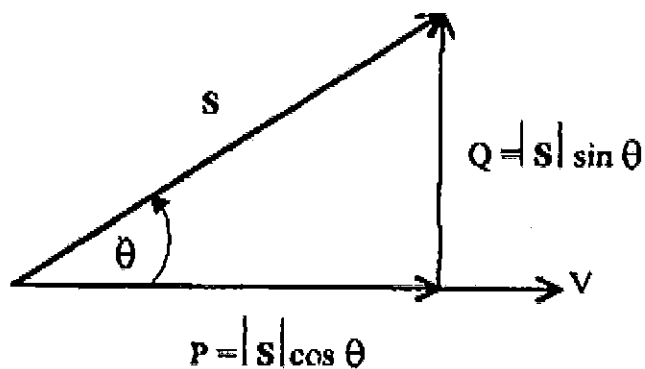
Q = กำลังรีแอกทีฟ มีหน่วยเป็นวาร์

S = กำลังเชิงซ้อน ซึ่งมีขนาดเท่ากับกำลังปรากฏมีหน่วยเป็น VA

นั่นคือ

$$|S| = V_{eff} \times I_{eff} \quad (2.45)$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง S, P และ Q สามารถเขียนเป็นเฟสเซอร์ไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเฟสเซอร์ของกำลังไฟฟ้า S , P และ Q

จากรูปจะได้ว่า $P = |S| \cos \theta$ (2.46)

และ $Q = |S| \sin \theta$ (2.47)

โดยที่ θ คือมุมต่างเฟสระหว่างแรงดันกับกระแส ($\theta_v - \theta_i$)

และจาก $S = P + jQ$

จะได้ว่า $|S| = |P + jQ|$

$$\therefore S^2 = P^2 + Q^2$$

$$Q^2 = S^2 - P^2$$

$$\therefore Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (2.48)$$

จากสมการ (2.34) จะเห็นว่าค่า P มีค่าเป็นบวกเสมอ และจากสมการ (2.35) ค่า Q จะเป็นบวกหรือลบก็ได้ขึ้นอยู่กับว่าโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำหรือตัวเก็บประจุ

ในกรณีโหลดที่มีลักษณะเป็นตัวเหนี่ยวนำจะมีเฟสเซอร์ของแรงดันนำหน้ากระแสอยู่ นั่นคือ $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ จึงทำให้ค่า Q จึงมีค่าเป็นบวก และสำหรับกรณีโหลดที่มีลักษณะเป็นคาปาซิทีฟจะมีเฟสเซอร์ของแรงดันตามหลังกระแส นั่นคือ $-90^\circ \leq \theta \leq 0^\circ$ ค่า Q จึงมีค่าเป็นลบ และจากสมการข้างต้นเราสามารถหาค่า Q ได้จาก S และ P ดังสมการ (2.36) จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนี้เราสามารถสรุปการหาค่าต่างๆ ได้ดังนี้

ค่ากำลังเฉลี่ย (P)

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt \quad (2.49)$$

ค่าประสิทธิภาพ (eff หรือ rms)

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} \quad (2.50)$$

$$V_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt} \quad (2.51)$$

ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (P.F)

$$P.F. = \frac{P}{V_{eff} \times I_{eff}} \quad (2.52)$$

หรือ

$$P.F. = \frac{P}{|S|}$$

ค่ากำลังปรากฏ (S)

$$|S| = V_{eff} \times I_{eff} \quad (2.53)$$

ค่ากำลังรีแอกทีฟ (Q)

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (2.54)$$

บทที่ 3

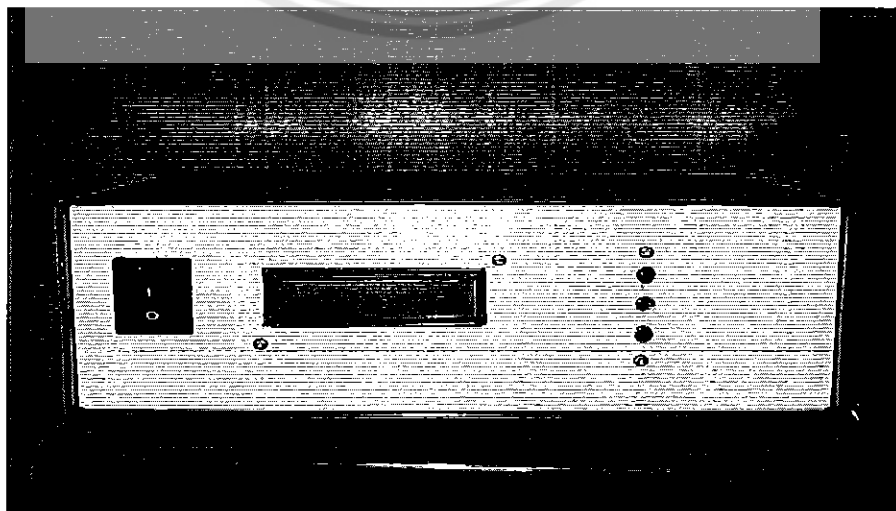
การทดลอง

3.1 การทดลอง

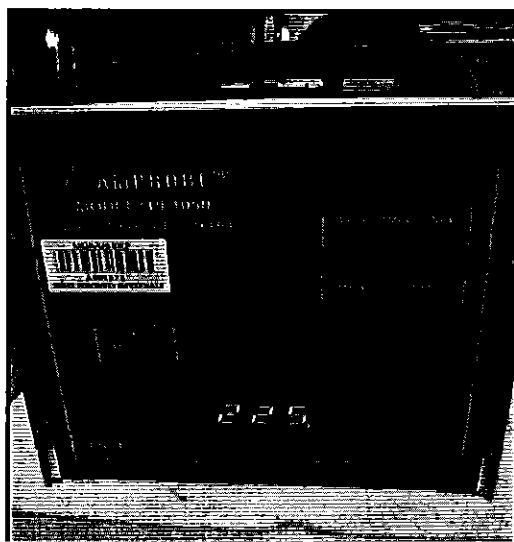
ในการทำการทดลอง ใช้อุปกรณ์โหลดความต้านทาน (R) โหลดตัวเหนี่ยวนำ (L) ดังรูปที่ 3.1 และโหลดตัวเก็บประจุ (C) ที่ปรับค่าได้ เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำ และวัดความคลาดระหว่าง เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นมา ดังรูปที่ 3.2 กับ เครื่องมือวัดอ้างอิง คือ เครื่อง AMPROBE MODEL: PF1050 ดังรูปที่ 3.3 โดยอุปกรณ์ต่างๆ ภายในบ้านส่วนใหญ่จะเป็นโหลดความต้านทาน กับ โหลดตัวเหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.1 โหลดความต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ



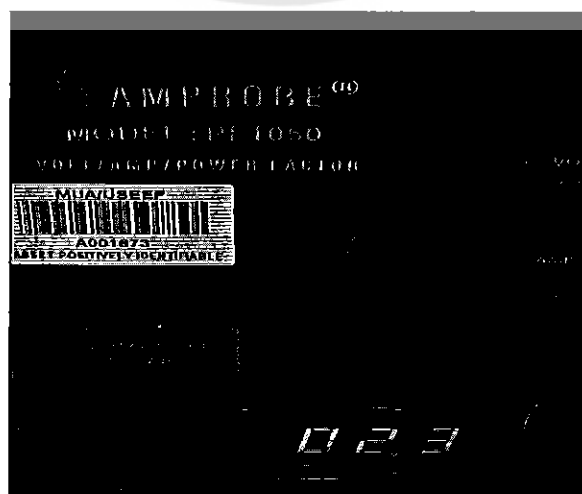
รูปที่ 3.2 เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น



รูปที่ 3.3 AMPROBE MODEL: PF1050

3.2 การทดลองกับเครื่องมือวัดอ้างอิง เครื่อง AMPROBE MODEL: PF1050

นำโหลดความต้านหรือโหลดตัวเหนี่ยวนำ มาต่ออนุกรมกับโหลดตัวเก็บประจุ ในที่นี้จะมีผลกระทบอะไร เนื่องจากโหลดตัวเก็บประจุไม่มีคุณสมบัตินำหรือตามกระแส แต่นำมาเพื่อช่วยลดค่ากระแสให้ต่ำลง โดยจะทำการวัดที่ระดับแรงดันไฟฟ้าบ้าน คือ 1 เฟส สายไฟจากเครื่องจะมีจะใช้ไลน์ (Line) คือ สายที่นำไฟ กับ สายนิวทรอน (N) ไปคร่อมเพื่อหาค่าของกระแส ส่วนค่าแรงดันจะได้จากการนำอุปกรณ์ที่อ้างอิงเสียบปลั๊กต่อกับแรงดันไฟฟ้าบ้าน ซึ่งจะได้ค่าแรงดันอยู่ที่ระหว่างแรงดันไฟฟ้าบ้าน 1 เฟส เสมอ จากนั้นนำสายไฟต่อเข้ากับขั้วของโหลดที่ต้องการวัดค่า โดยจะสามารถปรับค่าได้จากตัวเลือกปรับ (Select) หมุนปรับเปลี่ยนค่าแล้วนำค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดอ้างอิงเก็บบันทึกค่า ซึ่งปุ่มเลือกบนอุปกรณ์ที่อ้างอิงจะมีให้เลือก 3 คือ กระแส แรงดัน และค่าขอตัวประกอบกำลัง



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างค่ากระแสจากเครื่องมือวัดอ้างอิง



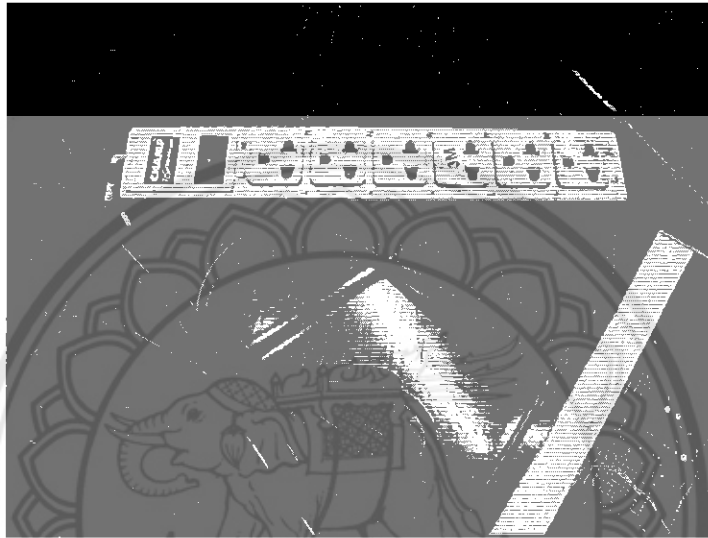
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างค่าแรงดันจากเครื่องมือวัดข้างอิง



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างค่าตัวประกอบกำลังจากเครื่องมือวัดข้างอิง

3.3 การทดลองกับเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น

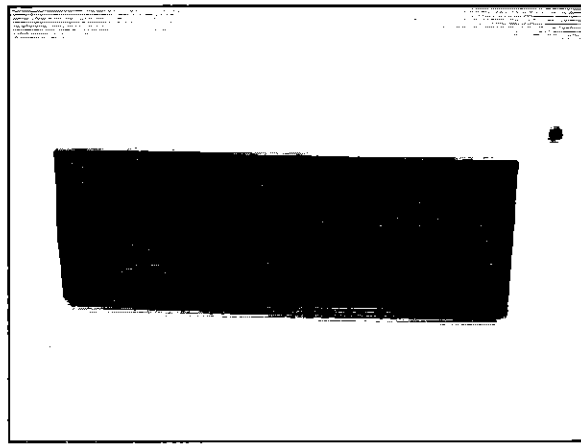
การต่อสายไฟที่โหลดจะคล้ายกับการต่อของเครื่องมือวัดที่อ้างอิง แต่จะมีแตกต่างกันตรงการวัดของกระแส ซึ่งการวัดกระแสจะใช้สายไฟมาเสียบเข้ากับปลั๊ก ที่เปรียบเสมือนเป็นตัวคัลลิ่งคล้ายกับตัวคัลลิ่งของ เครื่อง AMPROBE MODEL: PF1050 ดังรูปที่ 3.7 ส่วนค่าแรงดันก็จะเท่ากับแรงดันไฟบ้านเนื่องจากนำไปต่อกับระดับแรงดันที่ไฟบ้าน ค่าของตัวประกอบกำลังก็จะขึ้นอยู่กับค่าของโหลดที่นำมาต่อเข้ากับเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น



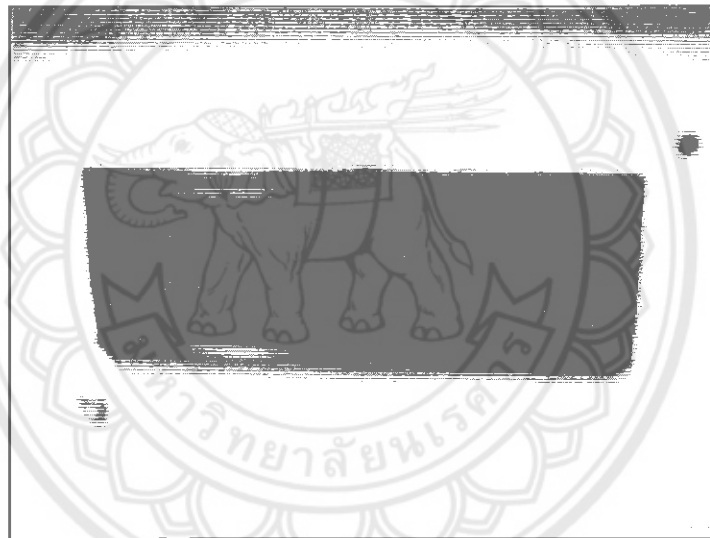
รูปที่ 3.7 ปลั๊กที่เป็นตัวรับค่ากระแสผ่านไปยังตัวเซ็นเซอร์จับกระแส



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างค่าแรงดันและกระแสจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างค่ากำลังจริงและกำลังเสมือนจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างค่ากำลังปรากฏและค่าตัวประกอบกำลังจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น

3.4 ค่าที่วัดได้จากการทดลอง

ซึ่งจากค่าที่บันทึกได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือวัดอ้างอิง มีค่าได้ดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าต่างๆที่วัดจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิง
ที่โหลด R-C ปรับที่ 70%

การ ปรับตัว C	เครื่องอ้างอิง						เครื่องที่สร้าง					
	I	V	PF	S	P	Q	I	V	PF	S	P	Q
1	0.09	229	-	20.61	-	-	-	223.0	-	-	-	-
2	0.17	229	0.35	38.93	12.84	36.75	-	223.0	-	-	-	-
3	0.21	229	0.48	48.09	23.08	42.19	0.20	223.0	0.50	44.6	22.3	38.6
4	0.27	229	0.61	61.83	37.71	48.99	0.25	223.0	0.62	55.7	34.5	43.3
5	0.30	229	0.70	68.7	48.09	49.06	0.29	222.9	0.77	64.6	49.7	41.2
6	0.33	229	0.76	75.57	57.43	49.11	0.30	222.9	0.82	66.8	54.37	38.3
7	0.35	229	0.83	80.15	64.92	47.00	0.31	223.0	0.86	69.1	58.7	36.4
8	0.37	229	0.84	84.73	71.17	45.97	0.32	222.9	0.88	71.3	62.7	33.9

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าต่างๆที่วัดจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น เทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิง
ที่โหลด R-C ปรับที่ 60%

การ ปรับตัว C	เครื่องอ้างอิง						เครื่องที่สร้าง					
	I	V	PF	S	P	Q	I	V	PF	S	P	Q
1	0.10	227	-	22.7	-	-	-	222.9	-	-	-	-
2	0.17	227	-	38.59	-	-	0.16	222.9	0.40	35.6	14.2	32.6
3	0.23	227	0.29	52.21	15.14	49.97	0.23	222.9	0.45	51.2	23.0	45.7
4	0.29	229	0.38	66.41	25.24	61.43	0.28	222.9	0.48	62.4	29.2	54.7
5	0.35	229	0.47	80.15	37.67	70.74	0.32	222.9	0.50	73.3	35.6	61.7
6	0.41	229	0.54	93.89	50.70	79.02	0.40	222.9	0.52	89.1	46.3	76.1
7	0.45	229	0.61	103.05	62.86	81.66	0.43	222.9	0.61	95.8	58.4	75.9
8	0.49	229	0.67	112.21	75.18	83.30	0.44	222.9	0.70	98.0	68.6	69.9

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าต่างๆที่วัดจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบ กับเครื่องมือวัดอ้างอิง
ที่โหลด R-C ปรับที่ 50%

การ ปรับตัว C	เครื่องอ้างอิง						เครื่องที่สร้าง					
	I	V	PF	S	P	Q	I	V	PF	S	P	Q
1	0.09	227	-	20.43	-	-	-	222.9	-	-	-	-
2	0.17	227	-	38.59	-	-	0.16	222.9	0.39	35.6	13.5	32.9
3	0.23	227	-	52.21	-	-	0.23	222.8	0.43	51.2	22.0	46.2
4	0.31	227	0.32	70.37	22.52	66.67	0.29	222.8	0.46	64.6	29.7	57.3
5	0.37	227	0.39	83.99	32.76	77.34	0.33	222.8	0.48	73.5	35.2	64.5
6	0.42	227	0.46	95.34	43.86	84.65	0.42	222.8	0.50	93.5	46.7	81.0
7	0.47	227	0.53	106.69	56.54	90.47	0.44	222.8	0.52	98.0	50.9	83.7
8	0.51	227	0.58	115.7	67.15	94.31	0.46	222.8	0.57	102.4	57.3	84.8

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าต่างๆที่วัดจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบ กับเครื่องมือวัดอ้างอิง
ที่โหลด R-L ปรับที่ 70%

การ ปรับตัว L	เครื่องอ้างอิง						เครื่องที่สร้าง					
	I	V	PF	S	P	Q	I	V	PF	S	P	Q
1	0.09	227	-	20.43	-	-	0.10	223.1	-	22.31	-	-
2	0.17	227	0.39	38.59	15.05	35.53	0.17	223.1	0.35	37.9	14.0	35.2
3	0.23	227	0.50	52.21	26.10	45.22	0.23	223.0	0.46	53.5	24.6	47.5
4	0.27	227	0.59	61.29	36.16	49.48	0.28	223.0	0.56	62.4	34.9	51.2
5	0.31	227	0.67	70.37	47.15	52.24	0.30	223.0	0.64	66.4	42.8	51.4
6	0.35	227	0.73	79.45	57.99	54.30	0.32	222.9	0.70	71.3	49.9	50.9
7	0.37	227	0.77	83.99	64.67	53.59	0.33	222.9	0.74	73.5	54.3	50.9
8	0.39	227	0.80	88.53	70.82	53.12	0.40	222.8	0.78	89.1	69.4	55.8

ตารางที่ 3.5 แสดงค่าต่างๆที่วัดจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิง
ที่โหลด R-L ปรับที่ 60%

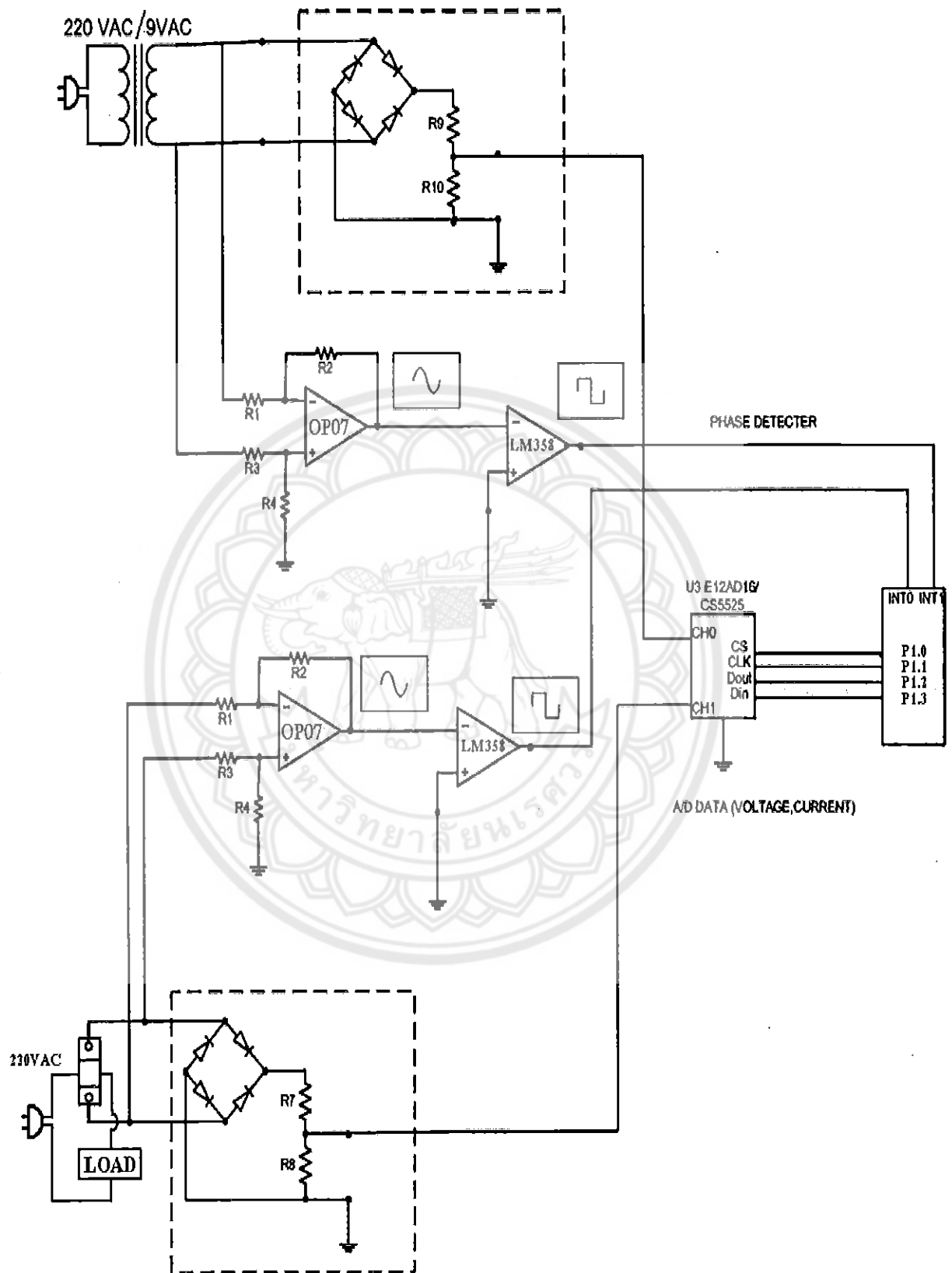
การ ปรับตัว L	เครื่องอ้างอิง						เครื่องที่สร้าง					
	I	V	PF	S	P	Q	I	V	PF	S	P	Q
1	0.10	227	-	22.7	-	-	0.10	223.0	-	22.3	-	-
2	0.17	227	0.28	38.59	10.8	37.04	0.18	223.0	0.31	40.1	12.4	38.1
3	0.25	227	0.36	56.75	20.43	52.94	0.24	223.0	0.39	55.7	21.7	51.2
4	0.31	227	0.44	70.37	30.39	63.19	0.29	222.9	0.48	66.9	32.1	58.6
5	0.37	227	0.53	83.99	44.57	71.22	0.39	223.0	0.56	86.9	48.6	72.0
6	0.42	227	0.58	95.34	55.30	77.66	0.42	222.9	0.62	93.5	57.9	73.4
7	0.45	227	0.63	102.15	64.35	79.33	0.44	222.7	0.66	97.9	64.6	73.5
8	0.49	227	0.68	111.23	75.64	81.55	0.45	222.7	0.79	100.2	70.1	71.5

ตารางที่ 3.6 แสดงค่าต่างๆที่วัดจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิง
ที่โหลด R-L ปรับที่ 50%

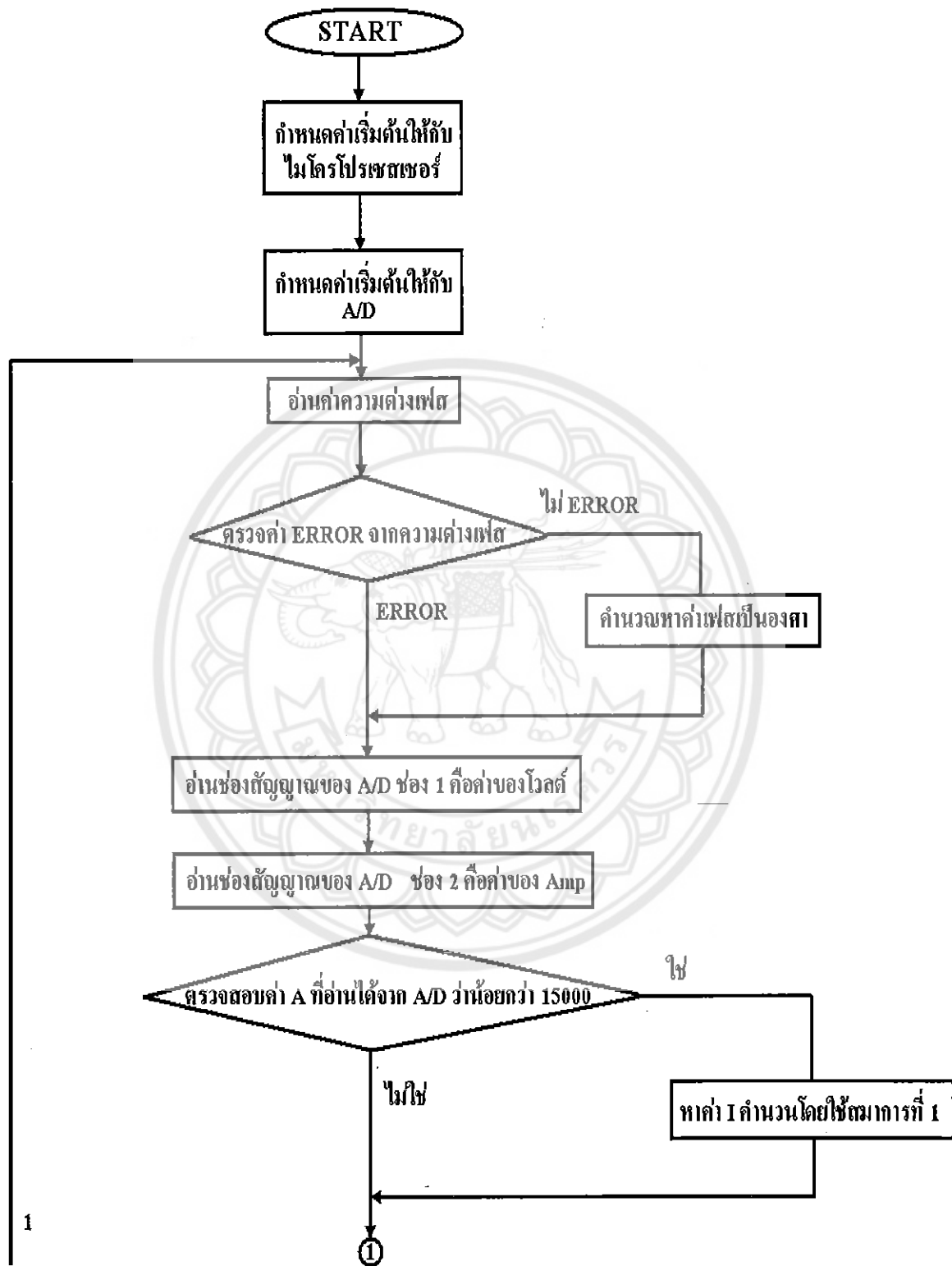
การ ปรับตัว L	เครื่องอ้างอิง						เครื่องที่สร้าง					
	I	V	PF	S	P	Q	I	V	PF	S	P	Q
1	0.09	228	-	20.52	-	-	-	222.9	-	-	-	-
2	0.19	228	0.27	43.51	11.75	41.89	0.18	222.9	0.30	40.1	12.0	38.2
3	0.25	229	0.32	57.25	18.32	54.54	0.25	222.8	0.34	55.7	20.6	51.7
4	0.33	227	0.39	75.57	29.47	69.58	0.30	222.9	0.46	66.9	30.7	59.4
5	0.39	227	0.46	89.31	41.08	79.30	0.39	222.7	0.53	91.4	48.4	77.5
6	0.46	227	0.52	105.34	54.78	85.98	0.44	222.9	0.58	98.1	56.8	79.9
7	0.50	227	0.56	114.5	64.12	94.86	0.46	223.0	0.62	102.6	63.6	80.5
8	0.55	227	0.62	125.95	76.83	99.80	0.50	223.0	0.67	133.8	88.3	100.5

ตารางที่ 3.7 แสดงค่าต่างๆที่วัดจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น เทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิง
ที่โหลดเครื่องใช้ไฟฟ้า (R)

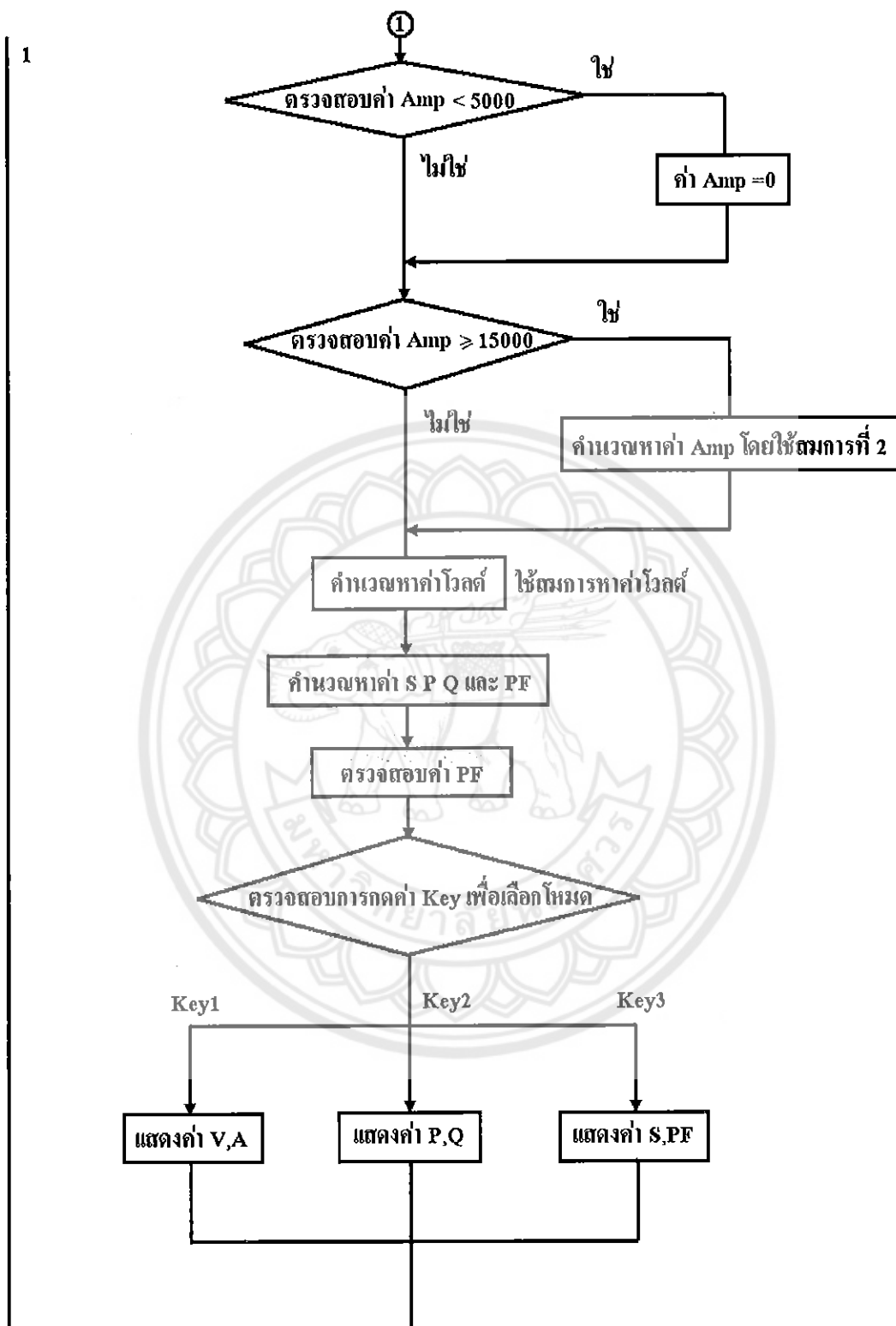
ชนิดของโหลด	AMPROBE			เครื่องวัด วัดต์ วาร์ เพาเวอร์แฟกเตอร์ แบบดิจิตอล					
	I	V	PF	I	V	PF	W	S	Q
1. กัดม้มน้ำ MATSU รุ่น MP-A16 ขนาด1.5 ลิตร 220 V 620 W	2.79	221	0.99	2.8	221.7	0.98	608.345	620.76	123.529
2. หม้อหุงข้าว MARFLEX รุ่น LP- 868 ขนาด 650 W	3.01	221	0.99	3.0	221.7	0.98	651.798	665.1	132.353
3. เตารีด KANDO AUTOMATIC DRY IRON TYPE 1 รุ่น RFC-230 220 V 50 Hz 1000 W	4.6	221	0.99	4.5	221.7	0.97	967.721	997.65	242.534
4. กระทะไฟฟ้าลัก กีเฟลม 1000 W	4.7	221	0.99	4.7	221.7	0.98	1021.150	1041.99	207.353



รูปที่ 3.11 แสดงวงจรของเครื่องวัด วัตต์ วาร์ เพาเวอร์แฟคเตอร์ แบบดิจิทัล



รูปที่ 3.12 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 3.12(ต่อ) โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรม

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองวัดค่า กระแส แรงดัน และ ตัวประกอบกำลัง

ในการทำการทดลอง จะทดลองกับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆภายในบ้านโดยทำการทดลองที่ ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ 1 เฟส 220 โวลต์ กระแส 5 แอมป์ และอุปกรณ์โหลดความต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุที่ค่าต่างๆ โดยได้ทำการทดลองค่ากระแส แรงดัน และตัวประกอบกำลังทางไฟฟ้า เปรียบเทียบกันระหว่าง เครื่องที่สร้างขึ้น ก็คือ เครื่องวัด วัดค่า วาร์ และเพาเวอร์แฟคเตอร์แบบดิจิตอล กับเครื่องมือวัดอ้างอิง ก็คือ เครื่อง AMPROBE MODEL: PF1050 โดยสามารถวัดค่า กระแส แรงดัน และตัวประกอบกำลังทางไฟฟ้าได้ ซึ่งเครื่องมือวัดที่นำมาอ้างอิงนี้ มีมาตรฐานในการวัดที่เที่ยงตรงและเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการวัด เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือที่สร้างขึ้น

ในการทำการทดลอง หากต้องการวัดค่าตัวเหนี่ยวนำ จะนำโหลดความต้านทานต่ออนุกรมกับ โหลดตัวเหนี่ยวนำ และหากต้องการวัดค่าตัวเก็บประจุ ก็จะทำโหลดความต้านทานต่ออนุกรมกับ โหลดตัวเก็บประจุ ส่วนการวัดความต้านทานจะทดสอบกับ โหลดอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ภายในบ้าน

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าต่างๆที่วัดจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น เทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิง ที่โหลด R-C
ปรับที่ 70%

การ ปรับตัว C	เครื่องมือวัดอ้างอิง						เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น					
	I	V	PF	S	P	Q	I	V	PF	S	P	Q
1	0.09	229	-	20.61	-	-	-	223.0	-	-	-	-
2	0.17	229	0.35	38.93	12.84	36.75	-	223.0	-	-	-	-
3	0.21	229	0.48	48.09	23.08	42.19	0.20	223.0	0.50	44.6	22.3	38.6
4	0.27	229	0.61	61.83	37.71	48.99	0.25	223.0	0.62	55.7	34.5	43.3
5	0.30	229	0.70	68.7	48.09	49.06	0.29	222.9	0.77	64.6	49.7	41.2
6	0.33	229	0.76	75.57	57.43	49.11	0.30	222.9	0.82	66.8	54.37	38.3
7	0.35	229	0.83	80.15	64.92	47.00	0.31	223.0	0.86	69.1	58.7	36.4
8	0.37	229	0.84	84.73	71.17	45.97	0.32	222.9	0.88	71.3	62.7	33.9

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าต่างๆที่วัดจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น เทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิง ที่โหลด R-C
ปรับที่ 60%

การ ปรับตัว C	เครื่องมือวัดอ้างอิง						เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น					
	I	V	PF	S	P	Q	I	V	PF	S	P	Q
1	0.10	227	-	22.7	-	-	-	222.9	-	-	-	-
2	0.17	227	-	38.59	-	-	0.16	222.9	0.40	35.6	14.2	32.6
3	0.23	227	0.29	52.21	15.14	49.97	0.23	222.9	0.45	51.2	23.0	45.7
4	0.29	229	0.38	66.41	25.24	61.43	0.28	222.9	0.48	62.4	29.2	54.7
5	0.35	229	0.47	80.15	37.67	70.74	0.32	222.9	0.50	73.3	35.6	61.7
6	0.41	229	0.54	93.89	50.70	79.02	0.40	222.9	0.52	89.1	46.3	76.1
7	0.45	229	0.61	103.05	62.86	81.66	0.43	222.9	0.61	95.8	58.4	75.9
8	0.49	229	0.67	112.21	75.18	83.30	0.44	222.9	0.70	98.0	68.6	69.9

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าต่างๆที่วัดจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น เทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิง ที่โหลด R-C
ปรับที่ 50%

การ ปรับตัว C	เครื่องมือวัดอ้างอิง						เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น					
	I	V	PF	S	P	Q	I	V	PF	S	P	Q
1	0.09	227	-	20.43	-	-	-	222.9	-	-	-	-
2	0.17	227	-	38.59	-	-	0.16	222.9	0.39	35.6	13.5	32.9
3	0.23	227	-	52.21	-	-	0.23	222.8	0.43	51.2	22.0	46.2
4	0.31	227	0.32	70.37	22.52	66.67	0.29	222.8	0.46	64.6	29.7	57.3
5	0.37	227	0.39	83.99	32.76	77.34	0.33	222.8	0.48	73.5	35.2	64.5
6	0.42	227	0.46	95.34	43.86	84.65	0.42	222.8	0.50	93.5	46.7	81.0
7	0.47	227	0.53	106.69	56.54	90.47	0.44	222.8	0.52	98.0	50.9	83.7
8	0.51	227	0.58	115.7	67.15	94.31	0.46	222.8	0.57	102.4	57.3	84.8

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าต่างๆที่วัดจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น เทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิง ที่โหลด R-L
ปรับที่ 70%

การ ปรับตัว L	เครื่องมือวัดอ้างอิง						เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น					
	I	V	PF	S	P	Q	I	V	PF	S	P	Q
1	0.09	227	-	20.43	-	-	0.10	223.1	-	22.31	-	-
2	0.17	227	0.39	38.59	15.05	35.53	0.17	223.1	0.35	37.9	14.0	35.2
3	0.23	227	0.50	52.21	26.10	45.22	0.23	223.0	0.46	53.5	24.6	47.5
4	0.27	227	0.59	61.29	36.16	49.48	0.28	223.0	0.56	62.4	34.9	51.2
5	0.31	227	0.67	70.37	47.15	52.24	0.30	223.0	0.64	66.4	42.8	51.4
6	0.35	227	0.73	79.45	57.99	54.30	0.32	222.9	0.70	71.3	49.9	50.9
7	0.37	227	0.77	83.99	64.67	53.59	0.33	222.9	0.74	73.5	54.3	50.9
8	0.39	227	0.80	88.53	70.82	53.12	0.40	222.8	0.78	89.1	69.4	55.8

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าต่างๆที่วัดจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น เทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิง ที่โหลด R-L
ปรับที่ 60%

การ ปรับตัว L	เครื่องมือวัดอ้างอิง						เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น					
	I	V	PF	S	P	Q	I	V	PF	S	P	Q
1	0.10	227	-	22.7	-	-	0.10	223.0	-	22.3	-	-
2	0.17	227	0.28	38.59	10.8	37.04	0.18	223.0	0.31	40.1	12.4	38.1
3	0.25	227	0.36	56.75	20.43	52.94	0.24	223.0	0.39	55.7	21.7	51.2
4	0.31	227	0.44	70.37	30.39	63.19	0.29	222.9	0.48	66.9	32.1	58.6
5	0.37	227	0.53	83.99	44.57	71.22	0.39	223.0	0.56	86.9	48.6	72.0
6	0.42	227	0.58	95.34	55.30	77.66	0.42	222.9	0.62	93.5	57.9	73.4
7	0.45	227	0.63	102.15	64.35	79.33	0.44	222.7	0.66	97.9	64.6	73.5
8	0.49	227	0.68	111.23	75.64	81.55	0.45	222.7	0.79	100.2	70.1	71.5

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าต่างๆที่วัดจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น เทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิง ที่โหลด R-L
ปรับที่ 50%

การ ปรับตัว L	เครื่องมือวัดอ้างอิง						เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น					
	I	V	PF	S	P	Q	I	V	PF	S	P	Q
1	0.09	228	-	20.52	-	-	-	222.9	-	-	-	-
2	0.19	228	0.27	43.51	11.75	41.89	0.18	222.9	0.30	40.1	12.0	38.2
3	0.25	229	0.32	57.25	18.32	54.54	0.25	222.8	0.34	55.7	20.6	51.7
4	0.33	227	0.39	75.57	29.47	69.58	0.30	222.9	0.46	66.9	30.7	59.4
5	0.39	227	0.46	89.31	41.08	79.30	0.39	222.7	0.53	91.4	48.4	77.5
6	0.46	227	0.52	105.34	54.78	85.98	0.44	222.9	0.58	98.1	56.8	79.9
7	0.50	227	0.56	114.5	64.12	94.86	0.46	223.0	0.62	102.6	63.6	80.5
8	0.55	227	0.62	125.95	76.83	99.80	0.50	223.0	0.67	133.8	88.3	100.5

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าต่างๆที่วัดจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิง
ที่โหลดเครื่องใช้ไฟฟ้า (R)

ชนิดของโหลด	เครื่องมือวัดอ้างอิง			เครื่องมือวัด วัตต์ วาร์ เพาเวอร์แฟกเตอร์ แบบดิจิทัล					
	I	V	PF	I	V	PF	W	S	Q
1. กาดม้มน้ำ MATSU รุ่น MP-A16 ขนาด 1.5 ลิตร 220 V 620 W	2.79	221	0.99	2.8	221.7	0.98	608.345	620.76	123.529
2. หม้อหุงข้าว MARFLEX รุ่น LP- 868 ขนาด 650 W	3.01	221	0.99	3.0	221.7	0.98	651.798	665.1	132.353
3. เตารีด KANDO AUTOMATIC DRY IRON TYPE 1 รุ่น RFC-230 220 V 50 Hz 1000 W	4.6	221	0.99	4.5	221.7	0.97	967.721	997.65	242.534
4. กระทะไฟฟ้าล็ก กึ่งเฟลม 1000 W	4.7	221	0.99	4.7	221.7	0.98	1021.150	1041.99	207.353

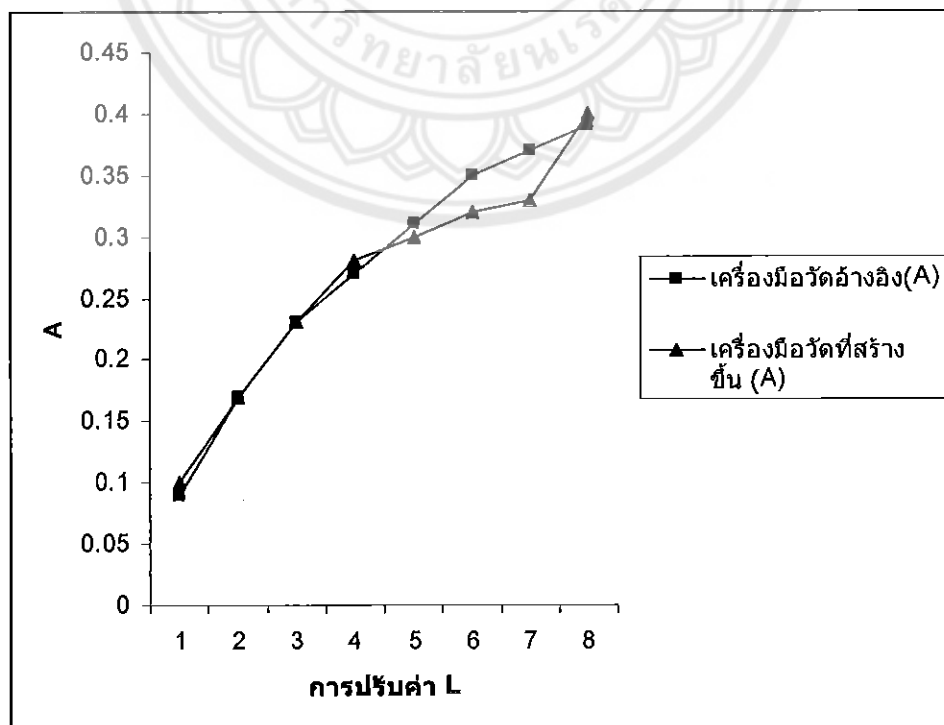
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

นำค่าจากผลการทดลองมาวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าทางปริมาณทางไฟฟ้าแต่ละค่า โดยเทียบระหว่างเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น เครื่องวัด วัดต์ วาร์ และและตัวประกอบกำลัง แบบดิจิทัล กับแอมป์โพรบซึ่งเป็นเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิงดังนี้

4.2.1 วิเคราะห์ผลการทดลองกระแส

ตารางที่ 4.8 ตัวอย่างตารางแสดงการวัดกระแส (I) ที่โหลด R-L ปรับที่ 70%

การปรับค่า L	เครื่องมือวัดอ้างอิง(A)	เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น (A)	%ความคลาดเคลื่อน
1	0.09	0.10	-11.111
2	0.17	0.17	0.000
3	0.23	0.23	0.000
4	0.27	0.28	-3.704
5	0.31	0.30	3.226
6	0.35	0.32	8.571
7	0.37	0.33	10.811
8	0.39	0.40	-2.564

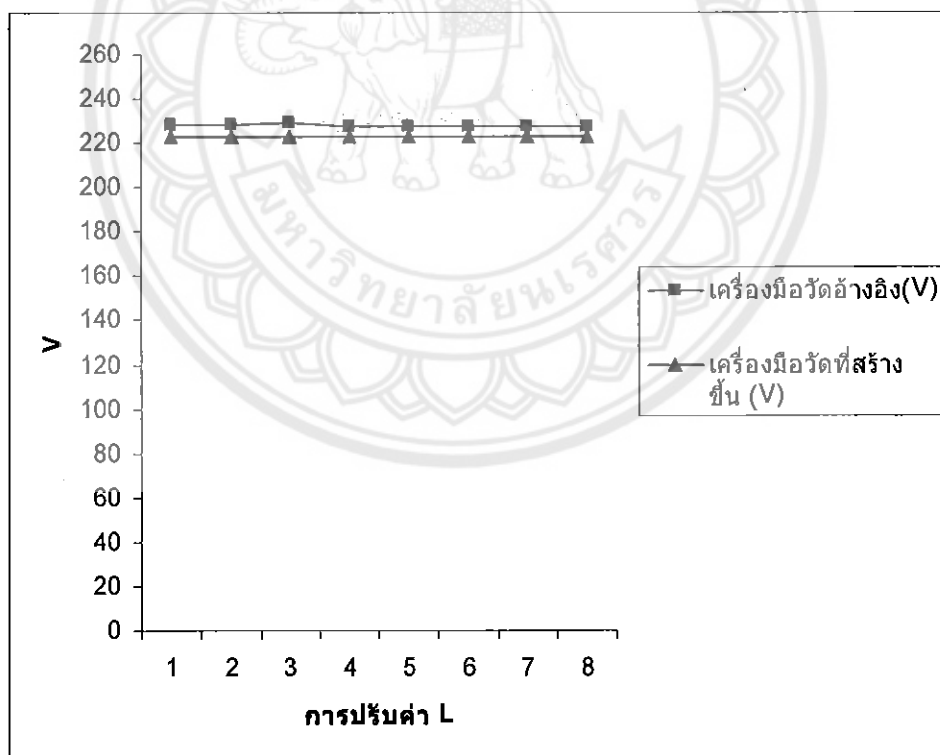


รูปที่ 4.1 ตัวอย่างกราฟแสดงการวัดค่ากระแส I ที่โหลด R-L ปรับที่ 70%

4.2.2 วิเคราะห์ผลการทดลองแรงดัน

ตารางที่ 4.9 ตัวอย่างตารางแสดงการวัดแรงดัน (V) ที่โหลด R-L ปรับที่ 50%

การปรับค่า L	เครื่องมือวัดอ้างอิง(V)	เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น (V)	%ความคลาดเคลื่อน
1	228	222.9	2.236842
2	228	222.9	2.236842
3	229	222.8	2.707424
4	227	222.9	1.806167
5	227	222.7	1.894273
6	227	222.9	1.806167
7	227	223.0	1.762115
8	227	223.0	1.762115

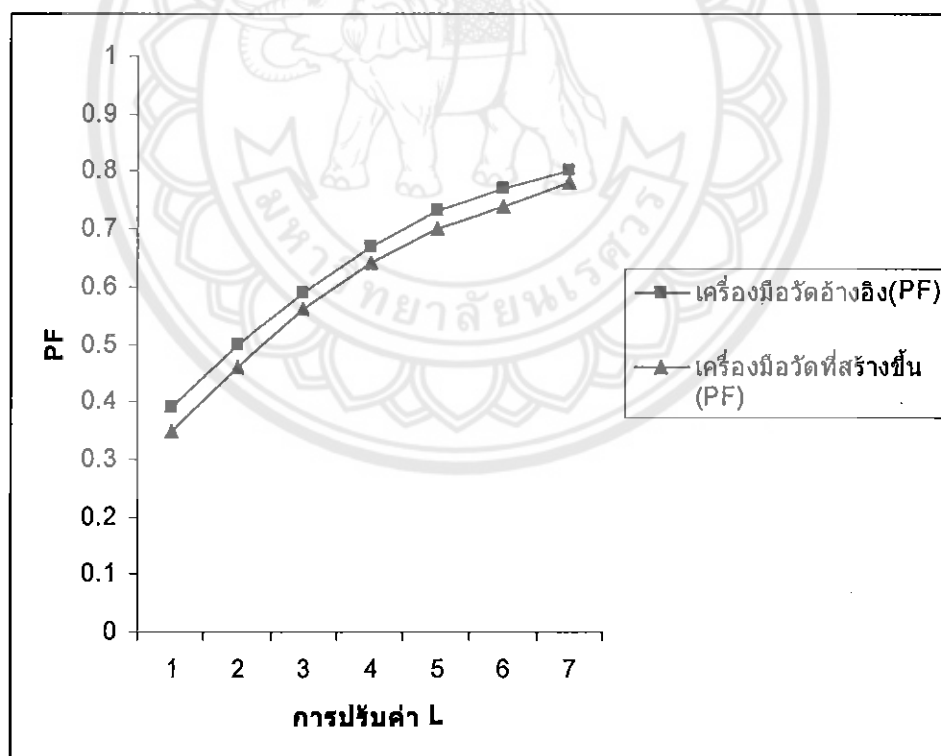


รูปที่ 4.2 ตัวอย่างกราฟแสดงการวัดค่าแรงดัน V ที่โหลด R-L ปรับที่ 50%

4.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลองตัวประกอบกำลัง

ตารางที่ 4.10 ตัวอย่างตารางแสดงการวัดตัวประกอบกำลัง ($P.F.$) ที่โหลด R-L ปรับที่ 70%

การปรับค่า L	เครื่องมือวัดอ้างอิง (PF)	เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น (PF)	%ความคลาดเคลื่อน
1	-	-	-
2	0.39	0.35	10.25641
3	0.50	0.46	8
4	0.59	0.56	5.084746
5	0.67	0.64	4.477612
6	0.73	0.70	4.109589
7	0.77	0.74	3.896104
8	0.80	0.78	2.5

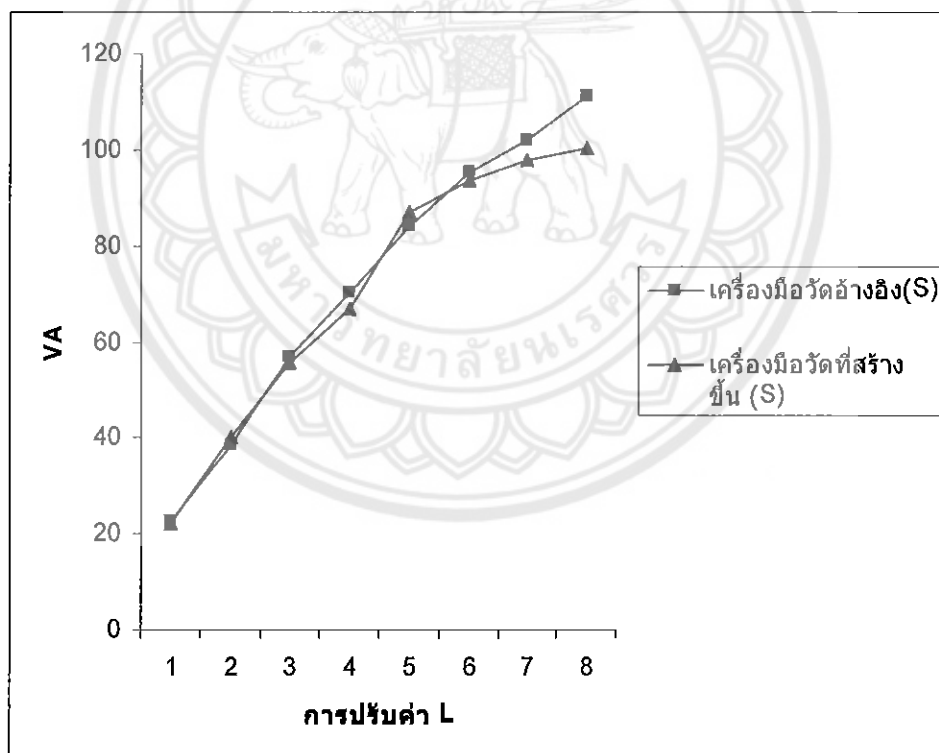


รูปที่ 4.3 ตัวอย่างกราฟแสดงการวัดตัวประกอบกำลัง ($P.F.$) ที่โหลด R-L ปรับที่ 70%

4.2.4 วิเคราะห์ผลการทดลองกำลังปรากฏ (S)

ตารางที่ 4.11 ตัวอย่างตารางแสดงการวัดกำลังปรากฏ (S) ที่โหลด R-L ปรับที่ 60%

การปรับค่า L	เครื่องมือวัดอ้างอิง(S)	เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น (S)	%ความคลาดเคลื่อน
1	22.7	22.3	1.762
2	38.59	40.1	-3.913
3	56.75	55.7	1.850
4	70.37	66.9	4.931
5	83.99	86.9	-3.465
6	95.34	93.5	1.930
7	102.15	97.9	4.161
8	111.23	100.2	9.916

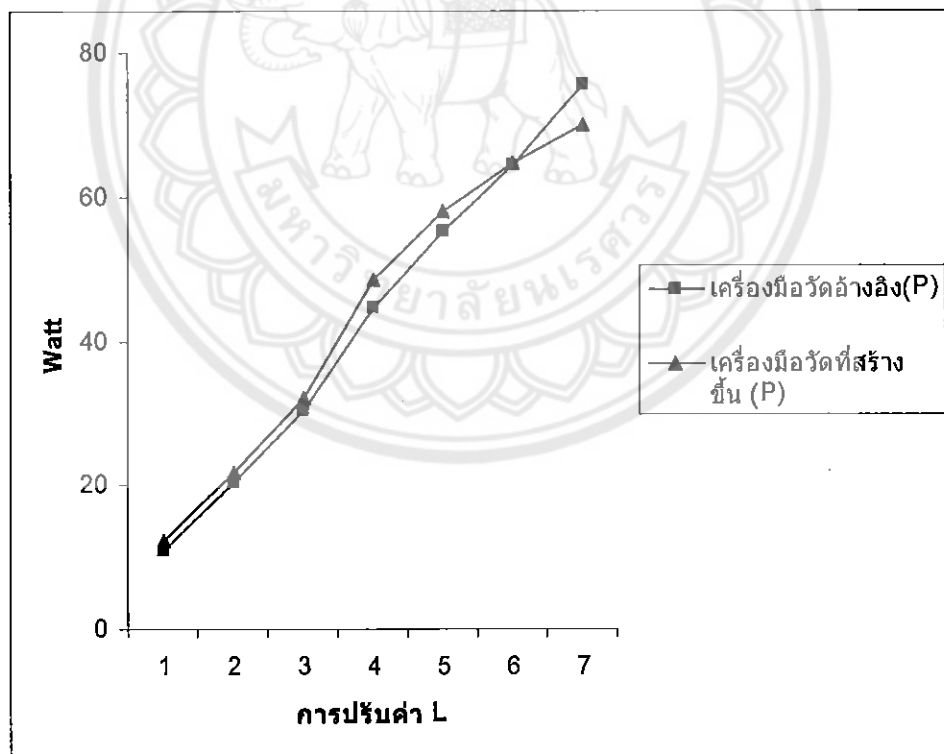


รูปที่ 4.4 ตัวอย่างกราฟแสดงการวัดกำลังปรากฏ (S) ที่โหลด R-L ปรับที่ 60%

4.2.5 วิเคราะห์ผลการทดลองกำลังจริง (P)

ตารางที่ 4.12 ตัวอย่างตารางแสดงการวัดกำลังจริง (Watt) ที่โหลด R-L ปรับที่ 60%

การปรับค่า L	เครื่องมือวัดอ้างอิง(P)	เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น (P)	%ความคลาดเคลื่อน
1	-	-	-
2	10.8	12.4	-14.815
3	20.43	21.7	-6.216
4	30.39	32.1	-5.627
5	44.57	48.6	-9.042
6	55.30	57.9	-4.702
7	64.35	64.6	-0.389
8	75.64	70.1	7.324

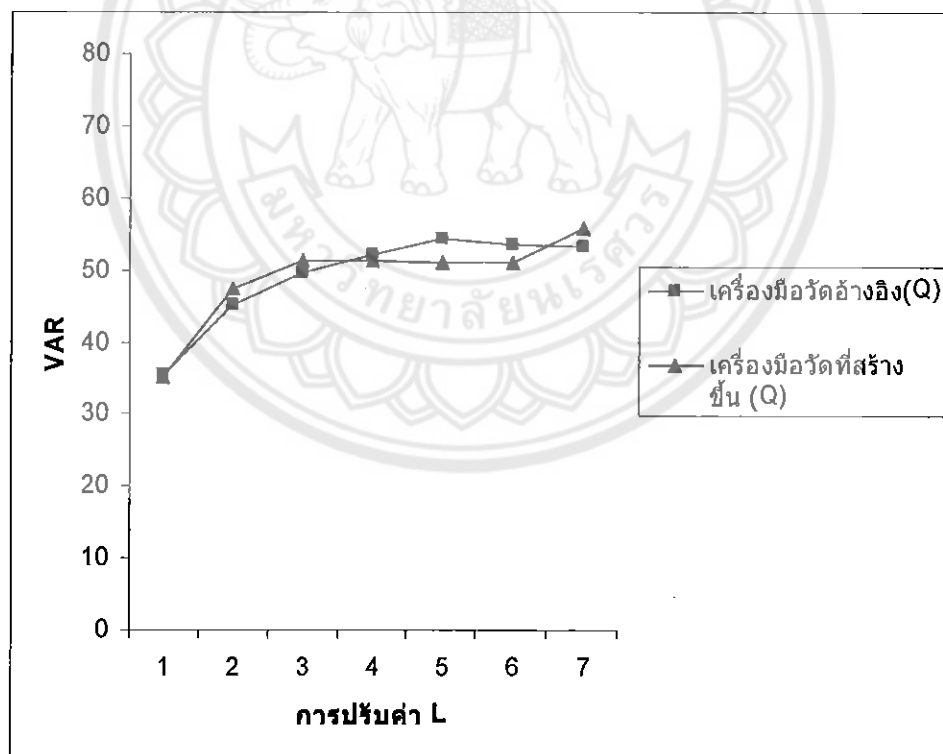


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการวัดกำลังจริง (Watt) ที่โหลด R-L ปรับที่ 60%

4.2.6 วิเคราะห์ผลการทดลองรีแอกทีฟ (Q)

ตารางที่ 4.13 ตัวอย่างตารางแสดงการวัดกำลังรีแอกทีฟ (Var) ที่โหลด R-L ปรับที่ 70%

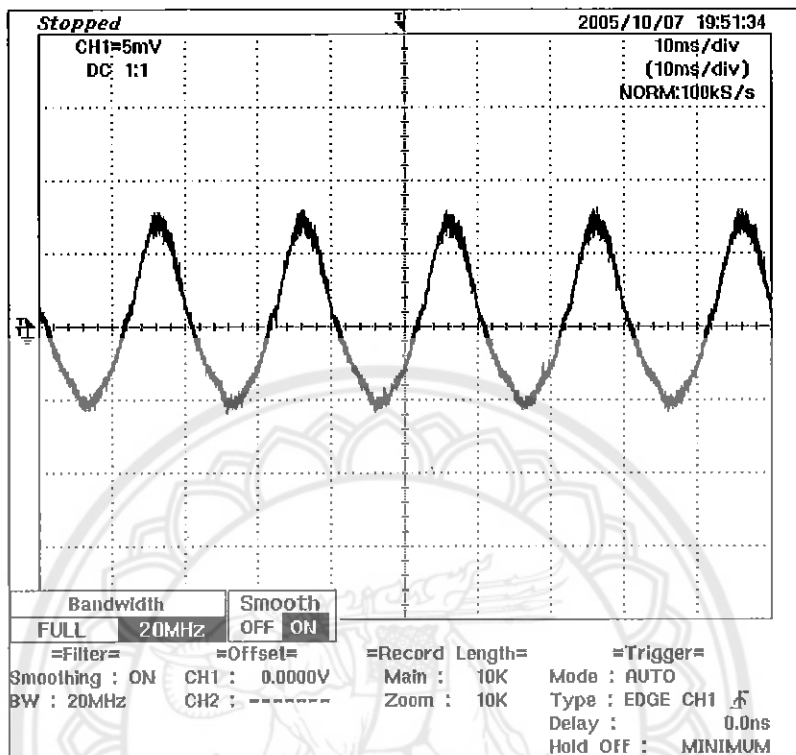
การปรับค่า L	เครื่องมือวัดอ้างอิง(Q)	เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น (Q)	%ความคลาดเคลื่อน
1	-	-	-
2	35.53	35.2	0.928793
3	45.22	47.5	-5.04202
4	49.48	51.2	-3.47615
5	52.24	51.4	1.607963
6	54.30	50.9	6.26151
7	53.59	50.9	5.019593
8	53.12	55.8	-5.04518



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างกราฟแสดงการวัดกำลังปรากฏ (VA) ที่โหลด R-L ปรับที่ 70%

4.3 การตรวจสอบวัดค่าสัญญาณขององค์ประกอบทางไฟฟ้า

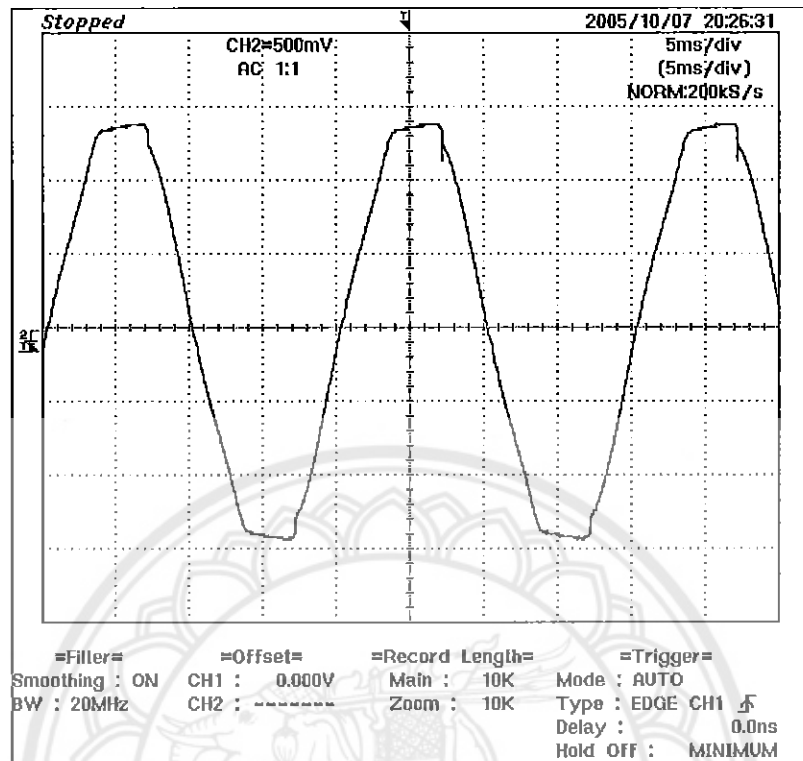
4.3.1 ลักษณะสัญญาณที่ออกจากตัวจับกระแส (Hall Current Sensor)



รูปที่ 4.7 แสดงที่ออกจากตัวจับกระแสโหลด R-L

สัญญาณที่ออกมาจากตัวจับสัญญาณกระแส จะเป็นสัญญาณที่ลดทอนขนาดแรงดันมาเป็นกระแส โดยคุณสมบัติของ Hall Current Sensor ซึ่งจะมากจะน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของโหลด และยิ่งขนาดของกระแสมีค่ามากก็ยิ่งมีความแม่นยำในการวัดมากขึ้น ส่วนถ้ากระแสมีค่าน้อยก็จะมีสัญญาณรบกวน ทำให้การวัดมีความผิดพลาดได้

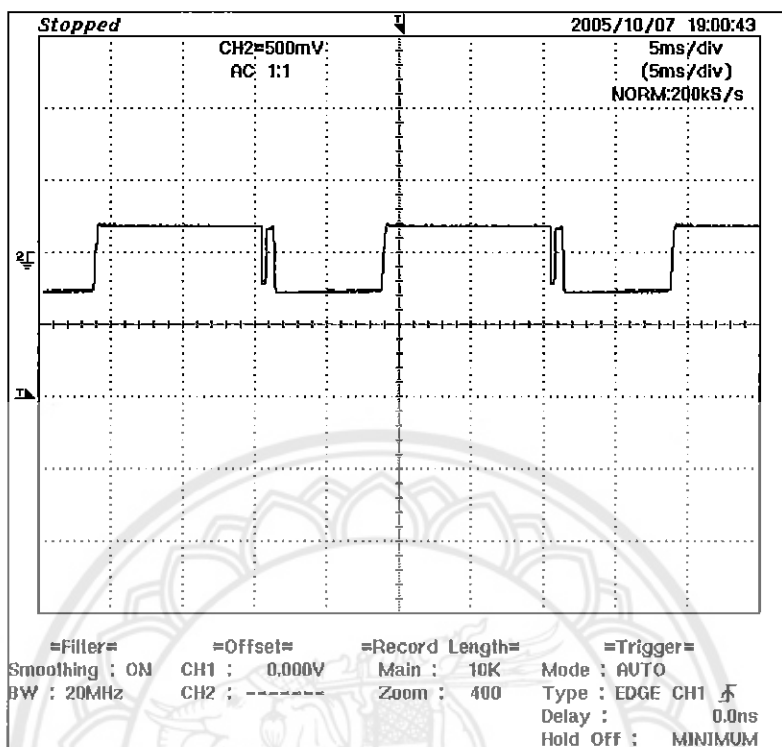
4.3.2 ลักษณะสัญญาณที่ออกจากหม้อแปลงแรงดัน



รูปที่ 4.8 แสดงที่สัญญาณที่ออกจากหม้อแปลงแรงดัน

สัญญาณของแรงดันที่ออกมาจะเป็นลักษณะของคลื่นซายน์ โดยจะแปลงแรงดันลงตามพิกัดของหม้อแปลงแรงดัน ซึ่งจะเห็นว่ามีความถี่สัญญาณรอบกวนทำให้มีความผิดพลาดเกิดขึ้น ในการเทียบเฟสต่อไป โดยแรงดันไฟฟ้าที่เข้ามา จะมากจะน้อยขึ้นอยู่กับทาง กฟภ. หรือ กฟน. ส่งมาและสัญญาณที่รับกวนก็จะขึ้นอยู่กับสภาพการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆภายในพื้นที่นั้น หรือใกล้เคียง

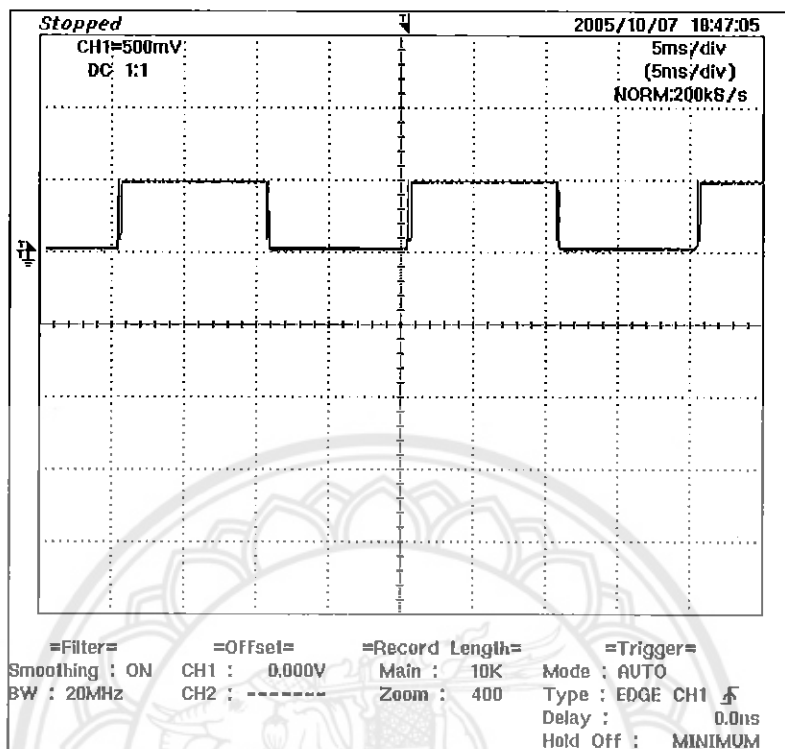
4.3.3 ลักษณะสัญญาณกระแสที่ออกจากไอซี LM 358



รูปที่ 4.9 ลักษณะสัญญาณกระแสที่ผ่านไอซี LM 358 ที่โหลด R-L

สัญญาณกระแสที่ผ่านออกมาจะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ซึ่งมาจากการผ่านตัวไอซี LM 358 โดยจะแปลงสัญญาณชานยีให้เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม สัญญาณของกระแสจะมีตัวรบกวนจะมากขึ้นกับความสามารถของโหลดที่สามารถกินกระแสได้มากน้อยเท่าไร โดยยิ่งค่ากระแสน้อยมีผ่านวงจรของไอซี LM 358 ยังมีสัญญาณรบกวนมาก

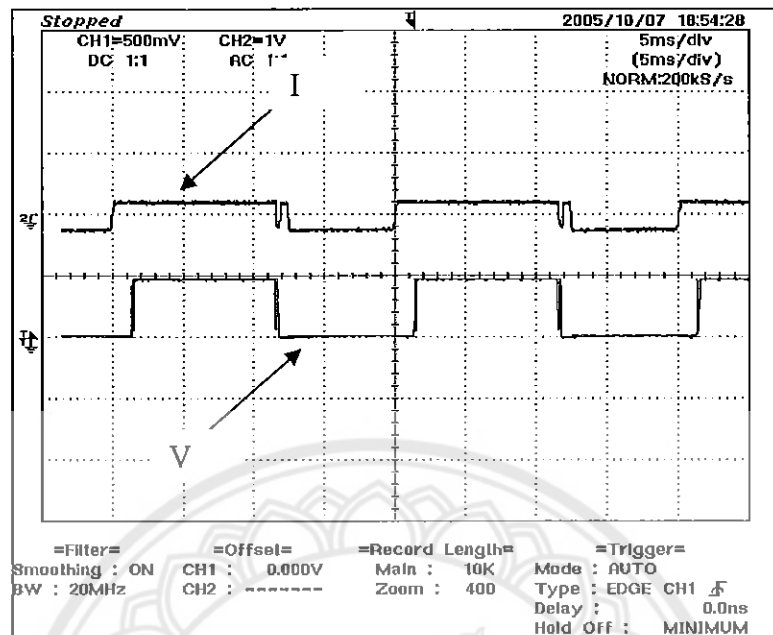
4.3.4 ลักษณะสัญญาณแรงดันที่ผ่านไอซี LM 358



รูปที่ 4.10 ลักษณะสัญญาณแรงดันที่ผ่านไอซี LM 358 ที่โหลด R-L

สัญญาณแรงดันที่ผ่านออกมาจะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมจากคลื่นขานย้ โดยใช้ไอซี LM 358 เป็นตัวแปลงสัญญาณ ซึ่งสัญญาณที่เข้ามาจะเป็นจะมีการเลื่อนเฟสอยู่ และไม่ได้เป็นสัญญาณค่า RMS แต่จะเป็นค่าสัญญาณที่แรงดันตรงที่ผ่านมาจากวงจรบริดจ์ไดโอด หลังจากนั้นก็เข้าไปเพื่อเปรียบเทียบที่วงจรการแปลงจากอนาลอกเป็นดิจิทัล

4.3.5 เปรียบเทียบลักษณะสัญญาณกระแสและแรงดันที่ออกจากไอซี LM 358



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างเปรียบเทียบลักษณะสัญญาณกระแสและแรงดันที่ออกจากไอซี LM 358 ที่โหลด R-C

การเปรียบเทียบความต่างเฟสระหว่างสองสัญญาณ จะพิจารณาจากรูปคลื่นของกระแสและแรงดัน ตัวอย่างเช่น เมื่อมีสัญญาณแรงดันขึ้นเป็นหนึ่งก่อนก็จะเป็นตัวเริ่มนับความต่างเฟสเทียบกับสัญญาณกระแสเมื่อขึ้นเป็นหนึ่งตามหลัง แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณความต่างเฟส ในวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัล

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าต่างๆ ของโหลดความต้าน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆในบ้าน 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต ขนาดกระแสไม่เกิน 5 แอมป์ โดยเปรียบเทียบกับแอมป์โพรบ (AMPROBE) รุ่น PF 1050 ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบอ้างอิง เมื่อเราพิจารณาผลการทดลองพบว่า

ค่ากระแสจากผลการทดลองจะมีค่าแตกต่างกันออกไป โดยจะขึ้นกับโหลดต่างๆที่นำมาต่อกับวงจรของเครื่องไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งค่าของกระแสจากเครื่องที่สร้างขึ้นมานั้น จะมีค่าขนาดใกล้เคียงกับเครื่องมือที่ใช้ในการอ้างอิง มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ ± 10 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากเนื่องมาจากความผิดพลาดจากการอ่านค่า A/D และการขยายสัญญาณจาก หม้อแปลงกระแส โดยยิ่งกระแสน้อยสัญญาณรบกวนก็ยิ่งมากทำให้ความแม่นยำลดลง

ค่าแรงดันโดยค่าแรงดันไฟบ้าน ที่ทางการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคส่งมาจะอยู่ในระดับแรงดัน 220 โวลต์ หรือบวกลบอยู่ในระหว่างประมาณ 200-230 โวลต์ ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ระดับแรงดันจะมีค่าเท่ากับที่ระดับแรงดันที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคส่งมา หรือมีค่าใกล้เคียงมาก โดยจะมีค่าอยู่ในระหว่าง 219-222 โวลต์ ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าแรงดันที่วัดออกมาได้จะไม่ใช่ค่าแรงดัน RMS จริงแต่จะเป็นค่าแรงดันที่ได้จากการเปรียบเทียบในวงจรการแปลงค่าจากอนาลอกมาเป็นดิจิทัล จึงทำให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ้างอิง

ค่าตัวประกอบกำลังจะขึ้นกับอยู่กับค่ากระแสและแรงดัน โดยที่ค่าแรงดันเราจะแปลงค่าจากแรงดันไฟบ้านประมาณ 200-230 โวลต์ โดยใช้หม้อแปลงที่มีขายตามตลาดทั่วไป คือ 220 โวลต์แรงดันทางออก 9 โวลต์ ส่วนค่ากระแสจะขึ้นอยู่กับโหลดที่ต่อแล้วนำเข้ามาแปลงค่ากระแสโดยหม้อแปลงไฟฟ้า แล้วนำค่าแรงดันและกระแสที่แปลงได้ ไปเข้าในวงจรแปลงจากสัญญาณชานซ์เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม แล้วคำนวณหาค่าความต่างเฟส ก็จะได้ค่าของตัวประกอบกำลัง โดยค่าตัวประกอบกำลังจะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ค่าตัวประกอบกำลังของโหลดที่มีคุณสมบัติของความต้านทานจะมีค่า เป็น 1 (เฟสตรงกัน) ส่วนค่าตัวประกอบกำลังของโหลดที่มีคุณสมบัติเป็นตัวเหนี่ยวนำ (เฟสกระแสล้าหลังแรงดัน) และตัวเก็บประจุ(เฟสกระแสนำหน้าแรงดัน) จะมีค่า ตั้งแต่ 0 แต่ไม่ถึง 1 และในการทำการทดลองเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน โหลดส่วนใหญ่ความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ ส่วนโหลดตัวประจุจะมีตามเครื่องใช้ไฟฟ้าตามบ้าน และโหลดต่างๆตามเครื่องใช้ไฟฟ้าตามบ้านจะไม่เป็นโหลดบริสุทธิ์มากนัก แต่ก็จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงของโหลดนั้นๆ เช่น โหลดความต้านทานภายในเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน จะเป็นอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนเป็นส่วนใหญ่ ไม่ว่าจะเป็นเตารีด กระทะไฟฟ้า หม้อหุงข้าว

ค่าตัวประกอบกำลังจะเป็นมีค่าเท่ากับ 1 หรือ มีค่าใกล้เคียงกับ 1 มากๆ ส่วนโหลดที่เป็นตัวเหนี่ยวนำเราจะใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีมอเตอร์อยู่ข้างใน นั่นก็คือ พัดลม ค่าตัวประกอบกำลังก็จะมีค่ากระแสดตามหลังแรงดัน และค่าของตัวประกอบกำลังจากโหลดทดลองจะมีค่าต่ำกว่า 1 และยังมีความคลาดเคลื่อนสูง ทั้งนี้เนื่องจากเกิดจากหม้อแปลงกระแสที่ผ่าน ไอซี LM358 ยังมีสัญญาณรบกวนไม่เป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมสมบูรณ์ และหม้อแปลงแรงดันยังมีการเลื่อนเฟส ทำให้เมื่อคำนวณหามุมต่างเฟสแล้วจึงมีค่าคลาดเคลื่อนสูง

ค่าวัดตัวของโหลดต่างๆ รวมทั้งจากป้ายชื่อ กับเครื่องวัด วัดต์ วาร์ และตัวประกอบกำลัง แบบดิจิตอลจะมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะเป็นผลมาจากการนำค่าของตัวประกอบกำลังมาคิดและถ้ามีการเลื่อนเฟสกัน จะทำให้ความแม่นยำลดลง

ค่ากำลังเชิงซ้อน (VA) ของโหลดต่างๆ เมื่อเทียบกับ AMPROBE จะยังมีความผิดพลาดอยู่ประมาณ ± 10 เปอร์เซ็นต์ เพราะค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น จะเป็นผลมาจากการนำค่ากระแสและแรงดันของเครื่องวัดที่สร้างขึ้น มาคิดคำนวณ โดยการคูณกัน โดยตรง โดยที่เราไม่ได้ใช้ค่าจากเครื่องวัดที่สร้างขึ้น ไปเปรียบเทียบกับเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนจึงมีผลทำให้ความถูกต้องไม่แม่นยำ

ค่ากำลังรีแอกทีฟ (VAR) ของโหลดต่างๆ เมื่อเทียบกับเครื่องวัด วัดต์ วาร์ และตัวประกอบกำลัง แบบดิจิตอลจะยังมีความผิดพลาดอยู่ ประมาณ ± 6 เปอร์เซ็นต์ เพราะค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น จะเป็นผลมาจากการนำค่ากระแสและแรงดันของเครื่องวัดที่สร้างขึ้น มาคิดคำนวณ โดยการคูณกัน โดยตรง โดยที่เราไม่ได้ใช้ค่าจากเครื่องวัดที่สร้างขึ้น ไปเปรียบเทียบกับเครื่องวัดกำลังไฟฟารีแอกทีฟจึงมีผลทำให้ความถูกต้องมีความแม่นยำลดลง

5.2 ประเมินผล

จากการดำเนินงาน โครงการเมื่อเทียบกับวัตถุประสงค์ได้ผลดังนี้

5.2.1 สามารถสร้างอุปกรณ์ที่วัดค่าขององค์ประกอบต่างๆทางไฟฟ้าได้ พร้อมทั้งแสดงค่าได้ โดยมีการแสดงค่า Current, Voltage, Power Factor, Real Power, Reactive Power

5.2.2 ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter) แล้วสามารถนำค่าที่ได้ไปประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

5.2.3 สามารถใช้ภาษาซีในการเขียนคำสั่ง ร่วมกับ MCS-51 ได้

5.3 ปัญหา ข้อเสนอแนะ และแนวทางแก้ไข

5.3.1 ปัญหาจากการหาซื้ออุปกรณ์เพื่อนำมาทำการทดลองไม่ได้ตามที่ต้องการ จึงมีต้องมีการปรับแต่งแก้ไขวงจร หรือหาตัวอุปกรณ์ตัวใหม่มาใช้แทน

5.3.2 ปัญหาเกิดจากการต่อวงจรผิดพลาด ทำให้อุปกรณ์ได้รับความเสียหาย จึงต้องทำการซื้ออุปกรณ์มาใหม่ ทำให้งานที่ออกมาช้ากว่ากำหนด

5.3.3 ปัญหาในการออกแบบวงจรของหม้อแปลงกระแสที่ทำการแปลงสัญญาณแล้วผ่านไปยัง ไอซี LM358 ยังมีสัญญาณรบกวนอยู่ทำให้ค่า เพาเวอร์แฟกเตอร์มีค่าความผิดพลาดสูง ดังนั้นวิธีการแก้ไขก็คือนำตัวเก็บประจุเข้ามาเพิ่มในวงจร เพื่อให้สัญญาณเรียบก่อนเข้าจะเข้า ไอซี LM358

5.3.4 หม้อแปลงแรงดันควรจะใช้โพเทนเชียลทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Potential Transformer) แทนหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าธรรมดา เนื่องจากมีเล็กลงเฟสน้อยกว่า

5.3.5 อุปกรณ์ในการทดลองเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมีไม่ครบ จึงต้องมีการปรับแต่งให้เหมาะสมกับการทดสอบเปรียบเทียบ

5.3.6 ในวงจรของแรงดัน ยังเป็นวงจรที่ไม่ถูกต้องเพราะว่า ไม่ได้วัดค่าของแรงดันเป็นค่าแรงดัน RMS แต่จะวัดแรงดันได้เป็นแรงดันตรง ที่ผ่านวงจรบริดจ์ไดโอด แล้วนำไปเปรียบเทียบค่าออกมาแทน ดังนั้นจึงไม่สมควรทำ ควรแก้ไขวงจรแรงดันใหม่ และนำไปวัดค่าได้โดยตรงโดยไม่ต้องนำไปเปรียบ

5.4 แนวทางการพัฒนาต่อไป

ผลที่ได้จากการทดลองในโครงการนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาและเป็นแนวทางการออกแบบวงจรของเครื่องมือวัดค่าต่างๆ ทางองค์ประกอบทางไฟฟ้าได้ โดยสามารถวัดได้รวดเร็วและสะดวกในการทำงานทดลอง ส่วนค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าสามารถนำไปพัฒนาให้รู้ว่ากระแสนำแรงดัน (lead) หรือกระแสตามแรงดัน (lag) และให้มีความแม่นยำได้โดยการใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด และเป็นแนวทางการประยุกต์เครื่องมือ 1 เฟส ไปเป็น 3 เฟสในทางอุตสาหกรรมได้ต่อไป ในวงจรของแรงดัน ยังเป็นวงจรที่ไม่ถูกต้องเพราะว่า ไม่ได้วัดค่าของแรงดันเป็นค่าแรงดัน RMS แต่จะวัดแรงดันได้เป็นแรงดันตรง ที่ผ่านวงจรบริดจ์ไดโอด แล้วนำไปเปรียบเทียบค่าออกมาแทน ดังนั้นจึงไม่สมควรทำ ควรแก้ไขวงจรแรงดันใหม่ และนำไปวัดค่าได้โดยตรงโดยไม่ต้องนำไปเปรียบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] ไตรภพ เหลืองรัตนเจริญ. “การวัดและวิเคราะห์ฮามอนิกในระบบไฟฟ้า ด้วยคอมพิวเตอร์พีซี”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยมหาวิทาลัยเกษตรศาสตร์ 2538.
- [2] Cavid A.Bell. “**ELECTRONIC INSTRUMENTATION AND MEASUREMENTS**”. second edition. United State of America. Lambton College of Applied Arts and Technology, prentice-Hall, Inc.1994.
- [3] เฉลิมผล ทัพซ่าย. การเขียนโปรแกรมภาษาซี. กรุงเทพมหานคร: บริษัท 3495 บัญชีเนเตอร์ จำกัด.2538.
- [4] ผศ.เล็ก หล่อสมฤดี. “หม้อแปลงลดค่ากระแส (CT) และหม้อแปลงลดแรงดัน (PT)”. Electrical machines. บทที่ 5. 2539.








```

/*****
/
/*          Watt VAR Power Factor Digital Meter          */
/*****

#include <reg51.h>
#include <absacc.h>
#include <ctype.h>
#include <intrins.h>
#include <math.h>
#include <stdarg.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <lcdh.h>

#define OSET_RD  0x90 /* Offset read command */
#define GAIN_RD  0x92 /* Gain read command */
#define CONF_RD  0x94 /* Config read command */
#define CONV_RD  0x96 /* Data read command */
#define SETU_RD  0x98 /* Setup read command */

#define OSET_WR  0x80 /* Offset Write command */
#define GAIN_WR  0x82 /* Gain Write command */
#define CONF_WR  0x84 /* Config Write command */
#define CONV_WR  0x86 /* Data Write command */
#define SETU_WR  0x88 /* Setup Write command */

#define pi 3.1415926

/*****/
```

```

sbit SCLK = P1^3; /* Shifting data to or from ADC */
sbit SDO = P1^2; /* Transfer data from ADC to CPU */
sbit SDI = P1^1; /* Transfer data from CPU to ADC */
sbit CS = P1^0; /* Chip Select */

// Termocouple Select
sbit b0 = P1^4;
sbit b1 = P1^5;
sbit b2 = P1^6;
sbit b3 = P1^7;
sbit led = P2^7;
sbit SOUNDB = P3^5; /* Sound Bit */
unsigned char lead;
unsigned char LCDBUF[20];
long phase;
/* Global variable declaration */
unsigned char data HIGH,MID,LOW,TEMP;
unsigned char set;

unsigned char LBUF[8];
bit ad;

void sound(unsigned char freq,int time) {
    unsigned char i;
    while (time>0) {
        SOUNDB = 0; /* out signal low */
        for (i=1;i<=freq;i++)
            time--;
        SOUNDB = 1; /* out signal high */
        for (i=1;i<=freq;i++)
            time--;
    }
}

```

```
void beeph(void) {  
    sound(15,10000);  
}
```

```
void beep1(void) {  
    sound(75,15000);  
}
```

```
/* Write single byte */
```

```
void WriteByte(unsigned char dat) {  
    unsigned char clock;  
    for(clock=0; clock<8; clock++) {  
        SDI = (dat & 0x80);  
        dat = (dat << 1);  
        SCLK = 1;  
        SCLK = 0;  
    }  
    SDI = 0;  
}
```

```
/* Read single byte */
```

```
unsigned char ReadByte(void) {  
    unsigned char clock, dat;  
    dat = 0;  
    for(clock=0; clock<8; clock++) {  
        dat = (dat << 1);  
        dat = (dat | SDO);  
        SCLK = 1;  
        SCLK = 0;  
    }  
    return(dat);  
}
```

```
}  
  
/* Write register 3 bytes */  
void WriteReg(unsigned char comm,high,mid,low) {  
    WriteByte(comm);  
    WriteByte(high);  
    WriteByte(mid);  
    WriteByte(low);  
}
```

```
/* Read register 3 bytes */  
void ReadReg(unsigned char comm) {  
    WriteByte(comm);  
    HIGH = ReadByte();  
    MID = ReadByte();  
    LOW = ReadByte();  
}
```

```
void Initialize(void) {  
    unsigned int count;  
    CS = 0;  
    SCLK = 0;  
    SDO = 0;  
    SDI = 0;  
    for(count=0; count<2047; count++) {  
        SCLK = 1;          /* Assert SCLK */  
        SCLK = 0;         /* Deassert */  
    }  
    SDI = 1;              /* Assert SDI */  
    for(count=0; count<255; count++) {  
        SCLK = 1;          /* Assert SCLK */  
        SCLK = 0;         /* Deassert */
```

```

}
SDI = 0;
SCLK = 1;
SCLK = 0;

WriteReg(CONF_WR,0x00,0x00,0x80); /* Reset */
WriteReg(CONF_WR,0x00,0x08,0x00); /* Initialize configuration */
}

/* Read data conversion */
unsigned long ReadConv(void) {
    unsigned long l,i;
    a1;;
    WriteReg(CONF_WR,0x04,0xd8,0x00);
    WriteByte(0xc0);
    //DispStr2(0xce,"*");
    do {
        ReadReg(CONF_RD); /* Read Configuration Register*/
        i=i+10;
        if(i>=55000){Initialize();i=0;goto a1;} // Initialize();
    }while(!(LOW & 0x08));
    //DispStr2(0xce," ");
    ReadReg(CONV_RD);
    l = HIGH;
    l <<= 8;
    l |= MID;
    l <<= 8;
    l |= LOW;
    l >>= 8;
    if(LOW & 0x01) { /* Test OF Flag */
        //beeph();
        //beeph();
    }
}

```

```
}  
if(LOW & 0x02) { /* Test OD Flag */  
    //beep();  
    //beep();  
}  
return(1);  
  
}  
  
void select(bit c0,bit c1,bit c2)  
{  
    b0=c0;  
    b1=c1;  
    b1=c2;  
}  
  
long loopx(void) {  
    long l;  
    l = ReadConv(); /* Read Conversion */  
    l=l+ ReadConv();  
    l=l/2;  
    return(l);  
}  
  
int display(int dass ,long BUFF)  
{  
  
    if(BUFF<0)  
    {  
        BUFF=0;  
    }  
  
    //LBUF[6]=(BUFF%10000000)/1000000 ;  
    //LBUF[5]=(BUFF%1000000)/100000 ;
```

```

//LBUF[4]=(BUFF%100000)/10000 ;
    LBUF[3]=(BUFF%10000)/1000 ;
    LBUF[2]=(BUFF%1000)/100 ;
LBUF[1]=(BUFF%100)/10;
    LBUF[0]=(BUFF%100)%10;
        lcdwi(dass);
        //if (si==1)lcdwd(0x2d);
        //if (si==0)lcdwd(0x2b);
        //lcdwd(LBUF[6]+0x30);
//lcdwd(LBUF[5]+0x30);
//lcdwd(LBUF[4]+0x30);
    lcdwd(LBUF[3]+0x30);
    lcdwd(LBUF[2]+0x30);
    lcdwd(LBUF[1]+0x30);
    lcdwi(dass+4);
    lcdwd(LBUF[0]+0x30);
}
int display2(int dass ,long BUFF)
{
    if(BUFF<0)
    {
        BUFF=0;
    }
    //LBUF[6]=(BUFF%10000000)/1000000 ;
    //LBUF[5]=(BUFF%1000000)/100000 ;
//LBUF[4]=(BUFF%100000)/10000 ;
    LBUF[3]=(BUFF%10000)/1000 ;
    LBUF[2]=(BUFF%1000)/100 ;
LBUF[1]=(BUFF%100)/10;
    LBUF[0]=(BUFF%100)%10;
        lcdwi(dass);

```

```

        //if (si==1)lcdwd(0x2d);
        //if (si==0)lcdwd(0x2b);
        //lcdwd(LBUF[6]+0x30);
//lcdwd(LBUF[5]+0x30);
//lcdwd(LBUF[4]+0x30);
        lcdwd(LBUF[3]+0x30);
        lcdwd(LBUF[2]+0x30);
        lcdwi(dass+3);
        lcdwd(LBUF[1]+0x30);
        lcdwd(LBUF[0]+0x30);
    }

```

```

int display3(int dass ,long BUFF)
{
    if(BUFF<0)
    {
        BUFF=0;
    }
    //LBUF[6]=(BUFF%10000000)/1000000 ;
    //LBUF[5]=(BUFF%1000000)/100000 ;

    LBUF[4]=(BUFF%100000)/10000 ;
        LBUF[3]=(BUFF%10000)/1000 ;
        LBUF[2]=(BUFF%1000)/100 ;
    LBUF[1]=(BUFF%100)/10;
        LBUF[0]=(BUFF%100)%10;
        lcdwi(dass);
        //if (si==1)lcdwd(0x2d);
        //if (si==0)lcdwd(0x2b);
        //lcdwd(LBUF[6]+0x30);

//lcdwd(LBUF[5]+0x30);
    lcdwd(LBUF[4]+0x30);

```



```

        lcdwd(LBUF[3]+0x30);
        lcdwd(LBUF[2]+0x30);
        lcdwd(LBUF[1]+0x30);
        lcdwi(dass+5);
        lcdwd(LBUF[0]+0x30);
    }
int display4(int dass ,long BUFF)
    {

    if(BUFF<0)
        {
            BUFF=0;
        }

        //LBUF[6]=(BUFF%10000000)/1000000 ;
        //LBUF[5]=(BUFF%1000000)/100000 ;
//LBUF[4]=(BUFF%100000)/10000 ;
        LBUF[3]=(BUFF%10000)/1000 ;
        LBUF[2]=(BUFF%1000)/100 ;
LBUF[1]=(BUFF%100)/10;
        LBUF[0]=(BUFF%100)%10;

        lcdwi(dass);
        //if (si==1)lcdwd(0x2d);
        //if (si==0)lcdwd(0x2b);

        //lcdwd(LBUF[6]+0x30);

//lcdwd(LBUF[5]+0x30);

//lcdwd(LBUF[4]+0x30);

        lcdwd(LBUF[3]+0x30);
        lcdwd(LBUF[2]+0x30);

        lcdwi(dass+3);

        lcdwd(LBUF[1]+0x30);
        lcdwd(LBUF[0]+0x30);
    }

```

```
long read_phase(void)
{
    unsigned int tmp;

    //INT0-----v
    //INT1-----A
    TH0=0;
    TL0=0;
    while(INT0==1){}
    while(INT0==0){}
    while(INT0==1){}
while(INT0==0){}
    while(INT1==1){}

    while(INT1==0 & INT0==0){
        //lead=INT1;
    TH0=0;
    TL0=0;
        TR0=1;
        dmsec(5);
    while(INT0==1 | INT1==1){}
    TR0=0;
    tmp=(TH0<<8)+TL0;

    return(tmp);
}

void main(void) {
    long l;
    long l2;
    long pf,i,v,p,q;
```

```

float s;
unsigned char md;
CS=0;
IT0=0x01;
IT1=0x01;
IE=0x00;
IP=0x01;

led=0;
T1=0;
lcdset ();
SCON = 0x52; /* SCON */ /* setup serial port control */
TMOD = 0x21; /* TMOD */ /* hardware (9600 BAUD 11.0592MHZ) */
TH1 = 0xfd; /* TH1 */
TR1 = 1;
for(l=0;l<1000;l++); // Delay
Initialize();
for(l=0;l<2000;l++); // Delay
dmsec(1000);
IE=0x85;
IT0=1;
set=1;
beepI();
beepH();

lcdset ();
dmsec (1000);
md=0;
strcpy (LCDBUF,"V . V ");
DispStr(0x80,LCDBUF);
strcpy (LCDBUF,"I . A ");
DispStr(0xc0,LCDBUF);
while(1)
{

```

```

phase=read_phase();
select(1,0,0);
    dmsec(100);
    l=loopx() ;
dmsec(10);
    select(0,0,0);
dmsec(100);
        l2= loopx() ;

        if(l2>13540)i = (0.0507*l2) - 626.15;
        if(l2<=13540)i=0.025*l2 - 287.5;//y = 0.0255x - 287.5
        if(l2<=13340)i= 0.0095*l2 - 80.304;//y = 0.00955x - 80.304
        if(l2<=12570)i= 0.007*l2 - 54.372;//y = 0.0075x - 54.372
        if(l2<=12140)i= 0.0048*l2 - 26.948;//y = 0.0048x - 26.948
        if(l2<=10880)i= 0.0021*l2 + 2.8426;// y = 0.0021x + 2.8426
        if(l2<=8930)i= 0.0014*l2 + 8.6495;//y = 0.0014x + 8.6495

        if(l2<5000)i=0;

        v=2000+(l*22/2000);
        s=i*v/100;

        if((phase/10)<1600)pf=-0.1895*( phase/10)+ 290.41;//100*cos(ra*pi/180);

        if((phase/10)>1900)
        {
                if(( phase/10)>2209)pf = -0.0971*( phase/10) + 267.47;
                if(( phase/10)<=2209)pf = -0.4743*( phase/10) + 1100.4;
                if(( phase/10)<=2182)pf= -0.3634*( phase/10) + 858.91;
                if(( phase/10)<=2144)pf=-0.1367*( phase/10) + 372.36;
        }

        if(i<15 | pf > 100 )pf=96;

```

```

p=(s*pf)/100;
      q=sqrt((s*s)-(p*p));

      if(i<=0.1){pf=100;p=0;}
if(T0==0)
    {
        md=0;
        strepy (LCDBUF,"V      . V ");
        DispStr(0x80,LCDBUF);
        strepy (LCDBUF,"I      . A ");
        DispStr(0xc0,LCDBUF);
        beeph();
    }
if(b3==0)
    {
        md=1;
        strepy (LCDBUF,"P      . WATT");
        DispStr(0x80,LCDBUF);
        strepy (LCDBUF,"Q      . VAR ");
        DispStr(0xc0,LCDBUF);
        beeph();
    }
if(b2==0)
    {
        md=2;
        strepy (LCDBUF,"S      . VA ");
        DispStr(0x80,LCDBUF);
        strepy (LCDBUF,"PF      . ");
        DispStr(0xc0,LCDBUF);
        beeph();
    }
}

```

```
if(md==0)
{
display(0x86,v);
display4(0xc6,i);
}
```

```
if(md==1)
{
display3(0x85,p);
display3(0xc5,q);
```

```
}
if(md==2)
{
display3(0x85,s);
display2(0xc6,pf);
}
```

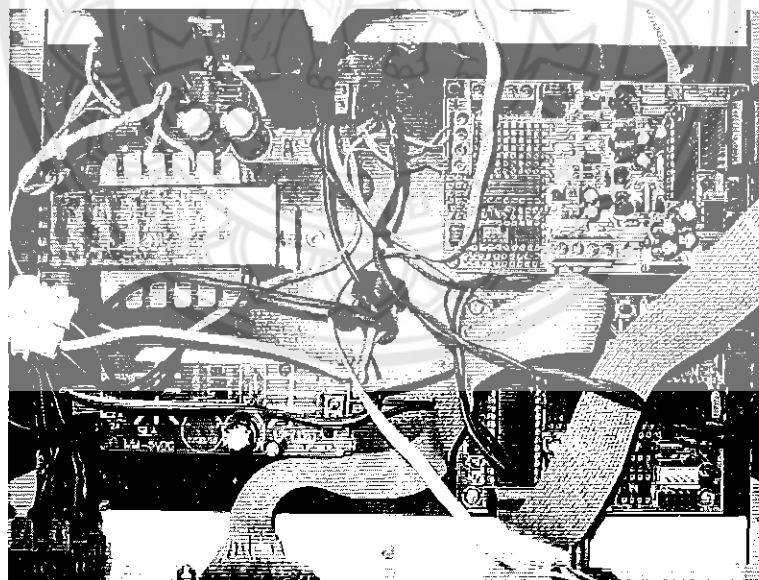
```
}
}
```



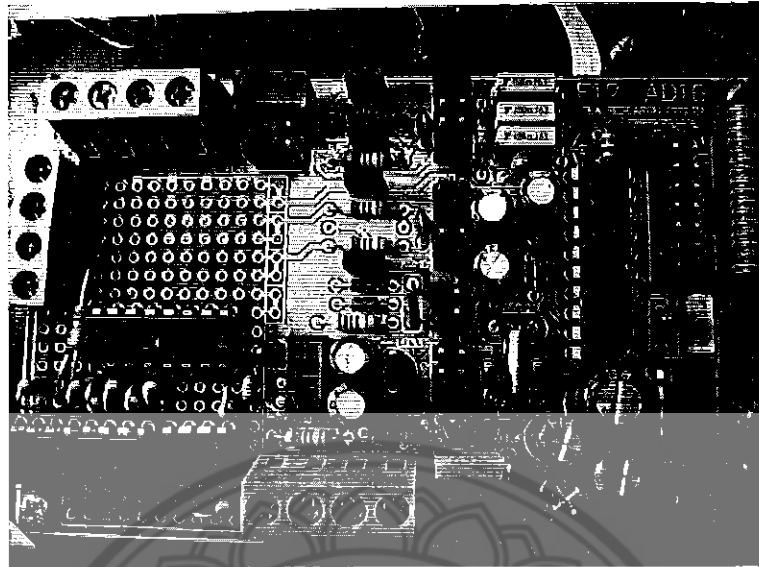




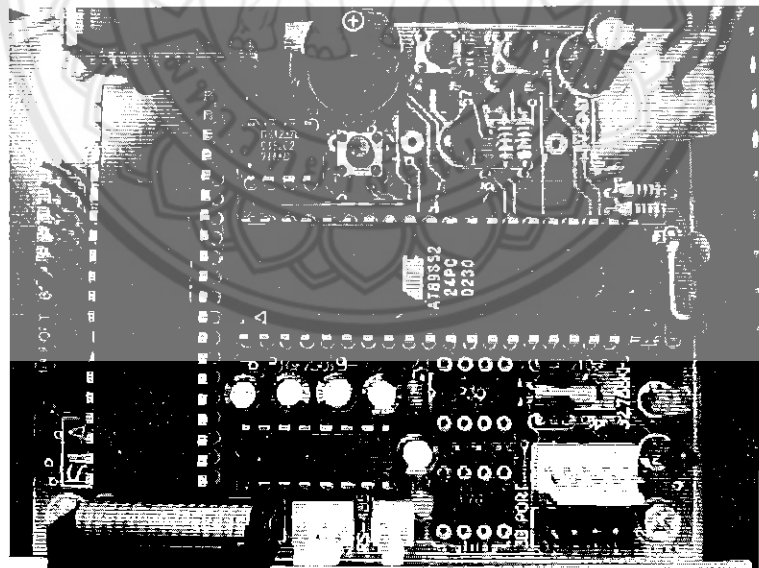
รูปเครื่องวัด วัดต์ วาร์ เพาเวอร์แฟคเตอร์ แบบดิจิตอลแบบเสร็จสมบูรณ์



รูปภาพรวมวงจรภายในเครื่องวัดวัดต์ วาร์ เพาเวอร์แฟคเตอร์
แบบดิจิตอลแบบเสร็จสมบูรณ์



รูปภาพบอร์ด เอทูดี (A/D)



รูปภาพบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89S52



รูปภาพหม้อแปลงกระแสแบบซอลต์ไลน์เซอรั



หม้อแปลงแรงดันพร้อมกับ ไอซี 7805 พร้อมกับแผงระบายความร้อน

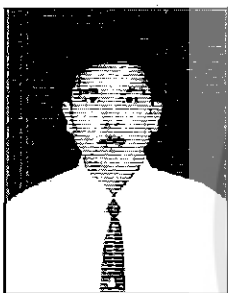
ประวัติผู้เขียนโครงการ



ชื่อ นายจรัส ขวัญหอม
 ภูมิลำเนา 48 หมู่ที่ 2 ต.หลักด่าน อ.น้ำหนาว จ.เพชรบูรณ์
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนศรีจันทร์วิทยาคม ฯ
- ปัจจุบันกำลังในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

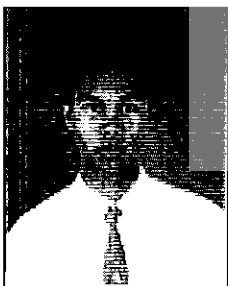
E-mail : songeester@gmail.com



ชื่อ นายณัฐภัทร มัทย์พงษ์ถาวร
 ภูมิลำเนา 72/15 หมู่ที่ 7 ต.วัดจันทร์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนเพชรพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

E-mail : nutthapat_m@hotmail.com



ชื่อ นายณัฐวัฒน์ กระแชรรัมย์
 ภูมิลำเนา 23 หมู่ที่ 17 ต.ตุมใหญ่ อ.คูเมือง จ.บุรีรัมย์
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนตุมใหญ่วิทยา
- ปัจจุบันกำลังในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

E-mail : nutthawat_k@hotmail.com