



สำนักพิมพ์



ดิจิตอลมิเตอร์สำหรับวัดค่าทางไฟฟ้า 1 เฟส

A SINGLE PHASE DIGITAL METER



นายบัณฑิต กล้าใจดี รหัส 54363910

นายบรรยง กันธง รหัส 54364061 ชุด มหาวิทยาลัยนเรศวร

นายณัฐิต นาคะบุตร รหัส 54363866

..... 2.0. ๓๘. 25๕๐
เลขทะเบียน..... ๑๗๑๑๑๑๑๑
เลขเรียกหนังสือ..... ๑๕

๒๕๖๑

๒๕๕๗

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร


ปีการศึกษา 2557

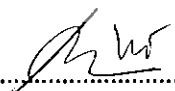


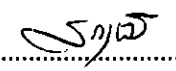
ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ ดิจิตอลมิเตอร์สำหรับวัดค่าทางไฟฟ้า 1 เฟส
ผู้ดำเนินโครงการ นายบัณฑิต กล่าวใจดี รหัส 54363910
 นายขรรยง กันธง รหัส 54364061
 นายอนุชิต นาคะบุตร รหัส 54363866
ที่ปรึกษาโครงการ ดร. ปิยฉนัย ภาชนะพรรณ
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร. ปิยฉนัย ภาชนะพรรณ)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย)


.....กรรมการ
(ดร. สราวุธ วัฒนวงศ์พิทักษ์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	ดิจิทัลมิเตอร์สำหรับวัดค่าทางไฟฟ้า 1 เฟส		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายบัณฑิต	กล้าใจดี	รหัส 54363910
	นายบรรยง	กันธง	รหัส 54364061
	นายณัฐิต	นาคะบุตร	รหัส 54363866
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร. ปิยนัยภานุชนะพรรณ		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2557		

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเครื่องวัดปริมาณทางไฟฟ้าแบบดิจิทัลโดยใช้บอร์ด Arduino ใช้วัดปริมาณทางไฟฟ้า 1 เฟส ได้แก่ กระแส แรงดัน ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าปรากฏ โดยจะใช้บอร์ด Arduino เป็นตัวอ่านค่าและจะแสดงผลออกทางหน้าจอ LCD โดยสัญญาณแรงดันจากหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดันส่วนหนึ่งจะถูกแปลงเป็นสัญญาณกระแสตรงเพื่อทำการวัดค่ากระแสและแรงดันและคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏอีกส่วนหนึ่งจะผ่านวงจรซีโรครอสซึ่งดีเทคเตอร์เพื่อเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันและกระแสเพื่อทำการหาค่าตัวประกอบกำลัง จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นนั้นยังไม่สามารถวัดค่าโหลดที่เป็นฮาร์มอนิกส์ได้ เนื่องจากมีความเพี้ยนของสัญญาณกระแสจึงทำให้ค่าที่วัดได้มีความผิดพลาดสูง

Project title A Single Phase Digital Meter

Name Mr. Bandit Klamjaidee ID. 54363910

 Mr. Yunyong Kunthong ID. 54364061

 Mr. Naruchit Nakabut ID. 54363866

Project advisor Dr.Piyadanai Pachanapan

Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic year 2014

Abstract

A single phase digital meter using with Arduino board is implemented in this project for measuring current , voltage , power factor and apparent power. Then, the results are displayed on the LCD screen. The current transformer (CT) and voltage transformer (VT) are used as the sensor devices. The AC Voltage from CT and VT are converted to DC Voltages for calculating the values of Current , Voltage and Apparent power. On the other hand, the AC Voltages from CT and VT are also sent through the Zero Crossing detector circuit to compare the time different between Voltage and Current signals for calculating the value of power factor. However, this meter can't be used for Harmonic load due to distortion of Current signal that result in highly mistake.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินโครงการขอขอบคุณ ดร. ปิยคนัย ภาชนะพรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ซึ่งเป็นผู้ที่เอาใจใส่ในทุกรายละเอียดของการดำเนินโครงการ โดยให้ทั้งความรู้และคำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งโครงการสำเร็จลุล่วง รวมถึงแนะนำการเขียนปริญญา นิพนธ์การใช้ภาษา และตรวจทานแก้ไขอย่างละเอียดจนได้ปริญญาานิพนธ์เป็นรูปเล่มสมบูรณ์

ขอขอบคุณ นายเศรษฐา ตั้งคำวานิช ที่สละเวลาส่วนตัวเพื่อให้ความรู้และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการเลือกใช้อุปกรณ์และการสร้างวงจร ให้ความรู้เกี่ยวกับภาษาที่ใช้ในการเขียน โปรแกรม ทำให้ผู้ดำเนินงานมีแนวทางในการสร้างชิ้นงานให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของโครงการที่ตั้งไว้

และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้อบรมเรื่องวัดในการทดสอบ ชิ้นงานที่สร้างขึ้น โดยเฉพาะที่ร้อยตรีธานี โกสุม (พี่ต้น) ซึ่งเป็นรุ่นพี่สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และปัจจุบันเป็นครูช่างของภาควิชาที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและการยืมใช้ เครื่องมือวัดจนกระทั่งการทดสอบต่างๆ สิ้นสุดลง

รวมทั้งขอขอบคุณรัฐบาลไทยที่จัดตั้งกองทุนเงินให้กู้ยืมเพื่อการศึกษา (กยศ.) ซึ่งสนับสนุนให้ทุนการศึกษาแก่คณะผู้ดำเนินโครงการตลอดระยะเวลาการศึกษาในระดับปริญญาตรี

ในท้ายที่สุดนี้ เหนือสิ่งอื่นใด ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ซึ่งให้การสนับสนุนในทุกด้านเกี่ยวกับการศึกษาของผู้ดำเนินโครงการ รวมทั้งมอบความเมตตา และคอยเป็นกำลังใจให้จนประสบความสำเร็จในวันนี้

นายบัณฑิต กล้าใจดี

นายชรรยง กั้นธง

นายณฤชิต นาคบุตร

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบข่ายของงาน.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 งบประมาณ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ออปแอมป์.....	4
2.2 วงจรขยายที่ประกอบด้วยออปแอมป์.....	7
2.3 ทรานซิสเตอร์.....	9
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega 328.....	11
2.5 หม้อแปลงกระแส.....	13
2.5.1 โครงสร้างของหม้อแปลงกระแส.....	13
2.5.2 หลักการทำงานของหม้อแปลงกระแส.....	14
2.5.3 หลักการพันทรอบของ หม้อแปลงกระแส.....	14
2.6 วงจรซีโรครอสซิงค์ดีเทคเตอร์.....	15

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การทดลอง.....	18
3.1 การทดลอง.....	18
3.2 การทดลองกับเครื่องมือวัดอ้างอิง.....	19
3.3 การทดลองกับเครื่องมือที่สร้างขึ้น.....	21
3.4 วงจรเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น.....	22
3.5 สมการที่เกี่ยวข้อง.....	26
3.6 แสดงการทำงานของโปรแกรม.....	30
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	36
4.1 ผลการทดลองวัดค่า กระแส แรงดัน และกำลังปรากฏ.....	36
4.2 ผลการทดลองวัดค่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า.....	38
4.3 แสดงกราฟรูปคลื่นสัญญาณไซน์ และรูปคลื่นจากวงจรซีโรครอสซิง.....	39
4.4 วิเคราะห์ผลการทดลองค่าตัวประกอบกำลังที่อ่านค่าจากกราฟ.....	49
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	50
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	50
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข.....	51
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป.....	51
เอกสารอ้างอิง.....	52
ภาคผนวก ก โฉดโปรแกรมในการวัดค่า.....	53
ภาคผนวก ข รายละเอียดของอปแอมป์.....	62
ภาคผนวก ค วิธีใช้เครื่องมือวัด.....	77
ภาคผนวก ง คำดัชนีเครื่องมือวัด Power Quality Analyzer.....	82
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	85

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิง	38
4.2 ตารางค่าตัวประกอบกำลังที่อ่านได้จากกราฟ	49



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ออปแอมป์เบอร์ LM 358 ตัวถังแบบ DIP(Dual Inline Package)	4
2.2 วงจรภายในออปแอมป์เบอร์ LM358	4
2.3 สัญลักษณ์ของออปแอมป์	5
2.4 วงจรสมมูลอย่างง่ายของออปแอมป์.....	5
2.5 วงจรสมมูลอย่างง่ายของออปแอมป์อุคมกติ	6
2.6 วงจรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ	7
2.7 ตัวอย่าง 1 วงจรขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ	7
2.8 แทนออปแอมป์ด้วยวงจรมูล.....	8
2.9 วงจรจากตัวอย่างที่ 1	8
2.10 โครงสร้างทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และ โครงสร้างทรานซิสเตอร์ชนิด PNP	10
2.11 แผงวงจร Arduino	11
2.12 หน่วยประมวลผลกลาง ATmega328 ขนาด 28 ขา	13
2.13 สัญลักษณ์ของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า.....	14
2.14 แสดงรูปแบบการหันของ CT ที่ฝั่ง ปฐมภูมิ	15
2.15 วงจรซีโรครอสซึ่งคิเทคเตอร์	16
2.16 แสดงสัญญาณไซน์เมื่อผ่าวงจรซีโรครอสซึ่ง	16
2.17 วงจรขยายโดยใช้ทรานซิสเตอร์	17
3.1 โหลดความต้านทานที่เป็นโหลดไฟขนาด 100 วัตต์.....	18
3.2 โหลดตัวเหนี่ยวนำ (Inductor).....	18
3.3 โหลดที่เป็นตัวเก็บประจุ (Capacitor).....	19
3.4 การวัดค่าของกระแสโดยใช้เครื่อง Power Quality Analyzer	19
3.5 การวัดค่าแรงดันโดยใช้เครื่อง Power Quality Analyzer	20
3.6 การแสดงค่า แรงดัน และกระแส บนหน้าจอของเครื่อง Power Quality Analyzer	20
3.7 เครื่องออสซิลโลสโคปDL1520	21

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 เป็นการวัดระยะห่างของกราฟระหว่างแรงดันกับกระแส	21
3.9 แสดงผลบนหน้าจอ LCD	22
3.10 ภาพรวมของวงจรที่สร้างขึ้น	23
3.11 แสดงวงจรการวัดค่า กระแส และวงจรซีโรครอสซิงของกระแส.....	24
3.12 สัญญาณก่อนผ่านวงจรขยายสัญญาณทรานซิสเตอร์.....	24
3.13 สัญญาณหลังผ่านวงจรขยายสัญญาณทรานซิสเตอร์	25
3.14 แสดงวงจรการวัดค่ากระแส และวงจรซีโรครอสซิงของกระแส.....	26
3.15 โพล์ซาร์ตแสดงการคำนวณหาค่ากระแสยกกำลังสอง	27
3.16 โพล์ซาร์ตแสดงภาพรวมการทำงานของโปรแกรม	31
3.17 โพล์ซาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมในส่วนการหาค่า แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า ปรากฏ.....	32
3.18 โพล์ซาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมในส่วนการหาค่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า.....	34
3.18 (ต่อ)โพล์ซาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมในส่วนการหาค่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	35
4.1 แสดงค่ากระแสขอ โหลดฮาร์มอนิกส์.....	37
4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ฮาร์มอนิกส์.....	37
4.3 สัญญาณไซน์ของตัวต้านทาน (R).....	39
4.4 แสดงสัญญาณที่ออกจากวงจรซีโรครอสซิงของตัวต้านทาน (R).....	40
4.5 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่แสดงผลออกจากจอ LCD	40
4.6 ค่าตัวประกอบกำลัง ไฟฟ้าที่แสดงผลออกจากเครื่องมือวัดอ้างอิง	41
4.7 สัญญาณไซน์ของตัวเหนี่ยวนำ (L).....	42
4.8 แสดงสัญญาณที่ออกจากวงจรซีโรครอสซิงของตัวเหนี่ยวนำ (L).....	42
4.9 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่แสดงผลออกทางจอ LCD	43
4.10 สัญญาณ ไซน์ของตัวเก็บประจุ (C).....	43
4.11 แสดงสัญญาณที่ออกจากวงจรซีโรครอสซิงของตัวเก็บประจุ (C).....	44
4.12 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่แสดงผลออกทางจอ LCD	44
4.13 สัญญาณ ไซน์ของตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ (RL).....	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 แสดงสัญญาณที่ออกจากวงจรซีโรครอสซึ่งของตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ (RL)	45
4.15 สัญญาณไซน์ของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ (RC)	46
4.16 แสดงสัญญาณที่ออกจากวงจรซีโรครอสซึ่งของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ (RC)	47
4.17 สัญญาณไซน์ของโพลซาร์โมนิกส์	48
4.18 สัญญาณจากวงจรซีโรครอสซึ่งของโพลซาร์โมนิกส์	48



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันการวัดนับเป็นรากฐานที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พัฒนาการทางวิทยาศาสตร์สมัยใหม่เกิดขึ้นและพัฒนาอย่างรวดเร็ว ก็เนื่องจากมนุษย์สังเกตและบันทึกปรากฏการณ์ธรรมชาติต่างๆ ได้ในเชิงปริมาณสิ่งนี้ทำให้การพัฒนาการและความสัมพันธ์ของปรากฏการณ์ต่างๆ เป็นไปได้ และสามารถตรวจสอบได้ในทำนองเดียวกัน เทคโนโลยีสมัยใหม่ ในการวัดองค์ประกอบทางไฟฟ้าที่มีอยู่หลายองค์ประกอบ เช่น กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าจินตภาพ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า กระแสและแรงดันนั้นด้วยเครื่องมือวัดแบบอนาลอก จะต้องใช้เครื่องมือวัดจำนวนมาก ทำให้เกิดความยุ่งยากในการต่อเครื่องมือวัดเพราะมีขนาดที่ใหญ่ และเสียเวลาในการวัดและอ่านค่ามาก

ดังนั้นโครงการนี้จึงประดิษฐ์เครื่องมือที่สามารถวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าได้โดยใช้บอร์ด Arduino ที่เป็นแบบดิจิทัลเพื่อลดความยุ่งยากในการต่อเครื่องมือวัดและเป็นการลดเวลาในการวัดและอ่านค่าด้วย บวกกับไมโครคอนโทรลเลอร์มีราคาที่ถูกลงใช้งานง่ายมีประสิทธิภาพสูง และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านการวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้า ซึ่งเป็นการสร้างอุปกรณ์วัดค่าปริมาณทางไฟฟ้า 1 เฟส โดยสามารถแสดงผลได้ทางจอแสดงผล Liquid Crystal Display (LCD) บนบอร์ด Arduino ซึ่งปริมาณทางไฟฟ้าเหล่านี้ได้แก่ แรงดัน กระแส ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และ กำลังไฟฟ้าปรากฏ โดยอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ เช่น หม้อแปลงแรงดัน (Voltage Transformer) หม้อแปลงกระแส (Current Transformer)

ผลที่ได้จากการทำโครงการนี้คือ ได้อุปกรณ์ที่สามารถวัดปริมาณทางไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของข้อมูลที่เป็นดิจิทัลที่สามารถอ่านค่าปริมาณทางไฟฟ้าและเข้าใจได้ง่าย พร้อมทั้งสามารถแสดงผลแรงดัน กระแส ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และ กำลังไฟฟ้าปรากฏ ออกผ่านทางจอแสดงผล Liquid Crystal Display (LCD) ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อสามารถสร้างอุปกรณ์วัดค่าปริมาณทางไฟฟ้า 1 เฟส และแสดงผลค่าปริมาณทางไฟฟ้า เช่น กำลังไฟฟ้าปรากฏ ตัวประกอบกำลัง กระแส แรงดัน พร้อมทั้งสามารถแสดงผลออกผ่านทางจอแสดงผล Liquid Crystal Display (LCD) ได้

1.3 ขอบเขตของโครงการ

สร้างเครื่องมือวัดและแสดงผลค่าปริมาณทางไฟฟ้า 1 เฟส เช่น กำลังไฟฟ้าปรากฏ กระแส แรงดัน และตัวประกอบกำลัง ภายในบ้านหรือสถานที่ที่ใช้ไฟฟ้าพิกัดสูงสุดไม่เกิน 230 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ที่พิกัดกระแสสูงสุด 10 แอมแปร์

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	พ.ศ. 2558						
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
1) ศึกษาเรื่องเครื่องวัดและการวัดปริมาณทางไฟฟ้า							
2) ศึกษาเรื่องของวงจรซีไรโครสซิ่ง และการวัดเฟส							
3) ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของบอร์ด Arduino และการนำไปใช้							
4) ออกแบบวงจรและพัฒนาโปรแกรม							
5) ทดสอบและวัดค่า							
6) วิเคราะห์และสรุปผล							
7) จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์							

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- 1) ได้เครื่องวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้า แสดงค่าปริมาณทางไฟฟ้า เช่น กำลังไฟฟ้าปรากฏ ตัวประกอบกำลัง กระแส แรงดัน และให้โปรแกรมที่ใช้แสดงผลออกมาได้
- 2) ได้ความรู้ความเข้าใจในการใช้บอร์ด Arduino และวิธีการนำไปใช้
- 3) ได้ความรู้ความเข้าใจในการใช้ภาษาซี สำหรับบอร์ด Arduino ใช้สำหรับเขียน โปรแกรม
- 4) ได้เทคนิคการหาตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยใช้บอร์ด Arduino
- 5) ได้เทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณกระแสโดยใช้ Current Transformer

1.6 งบประมาณ

- 1) อุปกรณ์ในการต่อวงจร 1,700 บาท
 - 2) อื่นๆ เช่น ค่าถ่ายเอกสาร ,ค่าเดินทาง 500 บาท
 - 3) ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริญญาบัตร 800 บาท
- รวมทั้งสิ้นเป็นเงิน (สามพันบาทถ้วน) 3,000 บาท
- หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

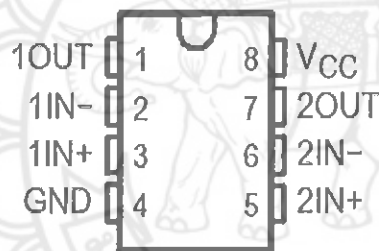
บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการสร้างเครื่องมือวัดแบบดิจิทัลโดยใช้บอร์ด Arduino จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ และ วงจรอื่นต่อร่วมด้วยเพื่อให้มีการทำงานและการอ่านค่าที่ถูกต้อง เช่น ออปแอมป์ วงจรขยาย วงจรซีโรครอสซึ่ง ทรานซิสเตอร์ เป็นต้น ซึ่งจะถูกอธิบายรายละเอียดในบทนี้

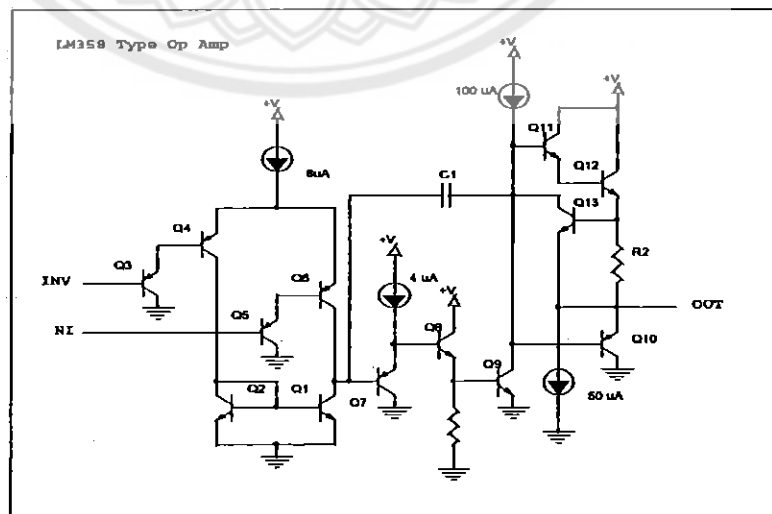
2.1 ออปแอมป์

ออปแอมป์หรือวงจขยายสัญญาณเชิงดำเนินการ (operational amplifier: Op Amp) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2 เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่ภายในประกอบด้วย ทรานซิสเตอร์จำนวนหนึ่งทำหน้าที่เป็น วงจขยายสัญญาณแรงดันค่านินพุต โดยมีเอาต์พุต เป็นแรงดัน (ประพกติตัวคล้ายเป็นแหล่งจ่าย แรงดันที่ถูกควบคุมด้วยแรงดัน)



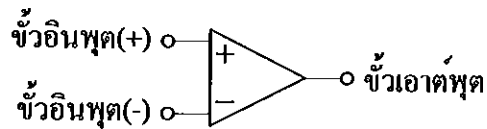
รูปที่ 2.1 ออปแอมป์เบอร์ LM 358 ตัวถังแบบ DIP (Dual Inline Package)

ที่มา <http://www.intersil.com>



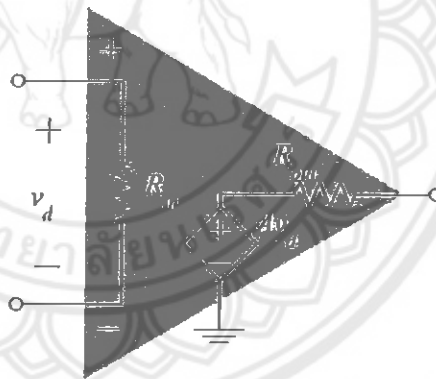
รูปที่ 2.2 วงจรภายในออปแอมป์เบอร์ LM358 ที่มา: <http://www.intersil.com>

สัญลักษณ์ของออปแอมป์จะเป็นรูปสามเหลี่ยม โดยมีขาอินพุตสองขาและขาเอาต์พุต 1 ขั้ว ดังรูปที่ 2.3 โดยขาอินพุตสองขาได้แก่ ขาอินพุตบวก (non-inverting input) และ ขาอินพุตลบ (inverting input)

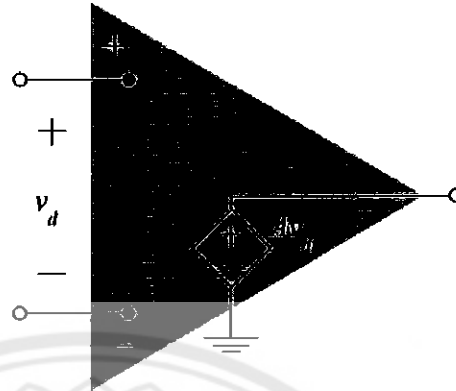


รูปที่ 2.3 สัญลักษณ์ของออปแอมป์

วงจรภายในออปแอมป์ซึ่งประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์จำนวนหนึ่งตามตัวอย่างในรูปที่ 2.2 นั้น สามารถเขียนแทนได้ด้วยวงจรมูลอย่างง่ายได้ดังรูปที่ 2.4 โดย R_{in} คือความต้านทานทางขาอินพุต (input resistance) เป็นความต้านทานที่ต่ออยู่ที่ขาอินพุตทั้งสอง R_{out} คือ ความต้านทานทางขาเอาต์พุต (output resistance) และ A คืออัตราขยายแรงดันไฟฟ้าวงรอบเปิด (open loop voltage gain)



รูปที่ 2.4 วงจรมูลอย่างง่ายของออปแอมป์



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลอย่างง่ายของออปแอมป์อุดมคติ

เมื่อกำหนดให้ออปแอมป์เป็นอุดมคติจะได้คุณสมบัติต่างๆของออปแอมป์ดังนี้

$R_{in} = \infty$	ความต้านทานทางด้านอินพุตมีค่าเป็นอนันต์
$R_{out} = 0$	ความต้านทานทางด้านอินพุตมีค่าเป็นศูนย์
$A = \infty$	อัตราขยายแรงดันไฟฟ้าวงรอบเปิดมีค่าเป็นอนันต์

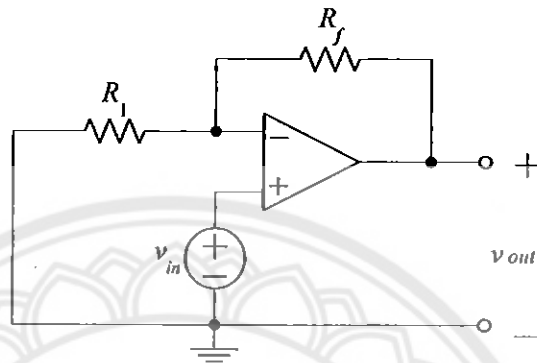
ดังนั้นจะได้วงจรสมมูลของออปแอมป์อุดมคติดังรูปที่ 2.5 ซึ่งในการวิเคราะห์วงจรที่ประกอบด้วยออปแอมป์จะใช้วงจรสมมูลของออปแอมป์อุดมคติในการวิเคราะห์ โดยการแทนที่ออปแอมป์ในวงจรด้วยวงจรสมมูลดังรูปที่ 2.5

ในส่วนของค่าอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าวงรอบเปิดนั้นถ้าเป็นออปแอมป์ในอุดมคติจะมีค่าเป็นอนันต์ตามที่กล่าวถึงข้างต้น แต่เนื่องจากในโปรแกรม PSpice 10 ไม่สามารถใส่ค่าอัตราขยายที่เป็นอนันต์ได้ จึงกำหนดให้อัตราขยายมีค่าที่สูงมากๆ เช่นมากกว่า 100000 ขึ้นไป เป็นต้น

2.2 วงจรขยายที่ประกอบด้วยออปแอมป์

วงจขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ

วงจขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ (non-inverting amplifier) แสดง ได้ดังรูปที่ 2.6



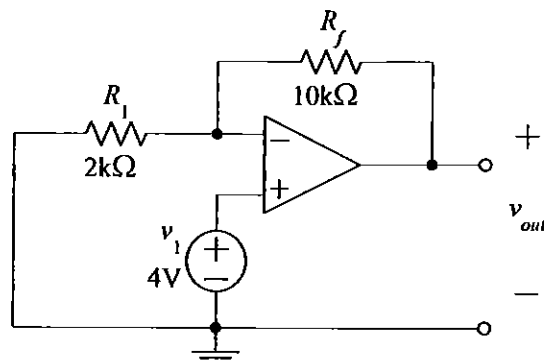
รูปที่ 2.6 วงจขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ

วงจขยายไม่กลับขั้วสัญญาณนี้จะมีแรงดันทางด้านเอาต์พุตเป็น

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) V_{in} \quad (2.1)$$

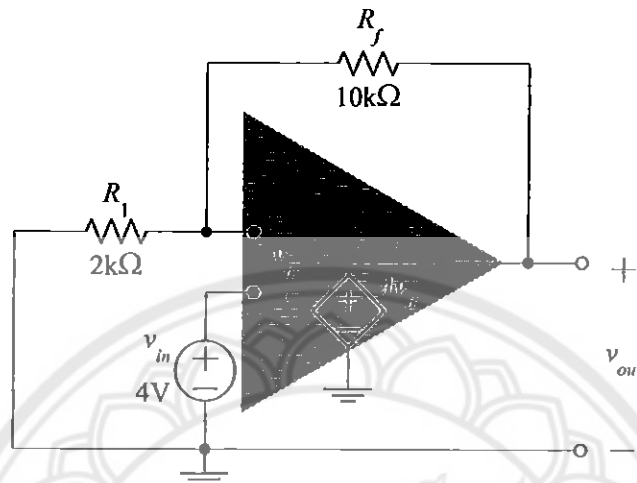
ดังนั้นวงจนี้จะมีอัตราขยายเป็น $1 + R_f / R_1$ ซึ่งเราสามารถปรับอัตราขยายได้ตามค่าของ R_1 และ R_f นั้นเอง โดยอัตราขยายที่เป็นบวกแสดงถึงการไม่กลับขั้วของสัญญาณ คือถ้าแรงดันอินพุตมีค่าเป็นบวกแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าเป็นบวกในทางกลับกันถ้าแรงดันอินพุตมีค่าเป็นลบแรงดันเอาต์พุตก็จะมีค่าเป็นลบ

ตัวอย่างที่ 1 วงจขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ

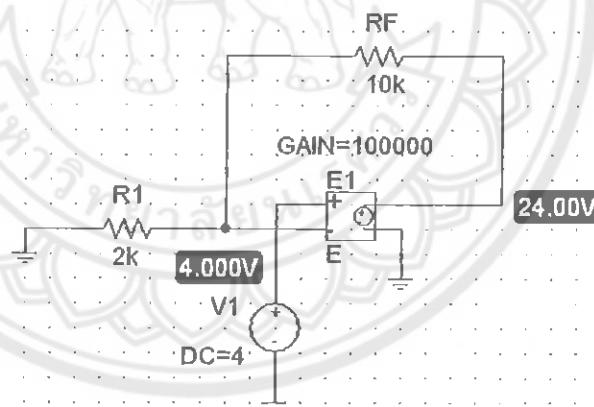


รูปที่ 2.7 ตัวอย่าง 1 วงจขยายไม่กลับขั้วสัญญาณ

แทนออปแอมป์ในวงจรรูปที่ 2.7 ด้วยวงจรสมมูลรูปที่ 2.5 จะได้วงจรดังรูปที่ 2.8 ซึ่งสามารถวาดเป็นรูปวงจรในโปรแกรม PSIM 10 ได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 แทนออปแอมป์ด้วยวงจรสมมูล

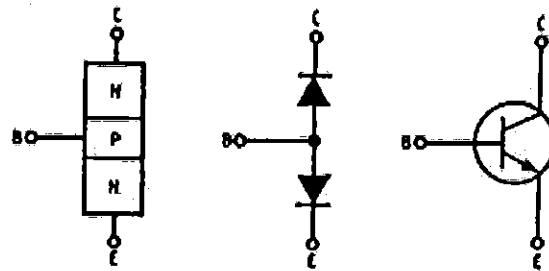


รูปที่ 2.9 วงจรจากตัวอย่างที่ 1

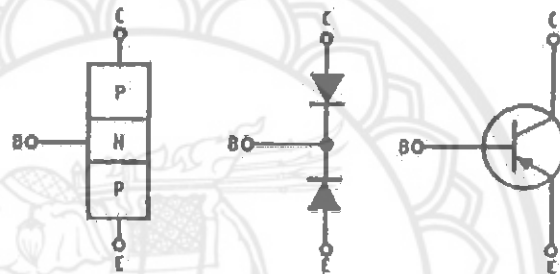
จากรูปที่ 2.9 โดยการจำลองวงจรบนโปรแกรม PSpice จะได้แรงดัน v_{out} มีค่าเป็น 24 โวลต์ ซึ่งตรงกับที่คำนวณได้ตามสมการที่ (2.1)

2.3 ทรานซิสเตอร์ (Transistor)

ทรานซิสเตอร์ (Transistor) คือสิ่งประดิษฐ์ทำจากสารกึ่งตัวนำมีสามขา Three Leads กระแส หรือแรงเคลื่อน เพียงเล็กน้อยที่ขาหนึ่งจะควบคุมกระแสที่มีปริมาณมากที่ไหลผ่านขาทั้งสองข้าง ได้หมายความว่าทรานซิสเตอร์เป็นทั้งเครื่องขยาย (Amplifier) และสวิตช์ทรานซิสเตอร์ ทรานซิสเตอร์ชนิดสองรอยต่อเรียกด้วยตัวย่อว่า BJT (Bipolar Junction Transistor) ทรานซิสเตอร์ (BJT) ถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น วงจรขยายในเครื่องรับวิทยุและเครื่องรับโทรทัศน์หรือนำ ไปใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ (Switching) เช่น เปิด-ปิด รีเลย์ (Relay) เพื่อ โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ประกอบด้วย สารกึ่งตัวนำ 2 ชนิด ประกบกัน 3 ชั้นวางสลับกันระหว่าง สาร P (P-type) และ สาร N (N-type) จากนั้นต่อขาออกมาใช้งานลักษณะการซ้อนกันนี้ ถูกนำมาแบ่งเป็น ชนิดของทรานซิสเตอร์ ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN โครงสร้างของมันก็คือ สาร P ประกอบด้วยสาร N ทั้งสองข้าง ดังรูปที่ 2.10 (ก) จากนั้นต่อขาจากสารกึ่งตัวนำทั้งสามชั้นออกใช้งาน ขาที่ต่อจากชั้นสารที่อยู่ตรงกลาง เรียกว่า ขาเบส (B, Base) ส่วนขาริมทั้งสอง คือขาคอลเล็กเตอร์ (C, Collector) และขาอีมิเตอร์ (E, Emitter) ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP โครงสร้างประกอบด้วย สาร N ประกอบด้วยสาร P ขาที่ต่อออกจากชั้นสารที่อยู่ตรงกลางเรียกว่า ขาเบส (B) สองขาที่เหลือคือ ขาคอลเล็กเตอร์ (C) และขาอีมิเตอร์ (E) ดังรูปที่ 2.10 ข)



ก) โครงสร้างชนิด NPN



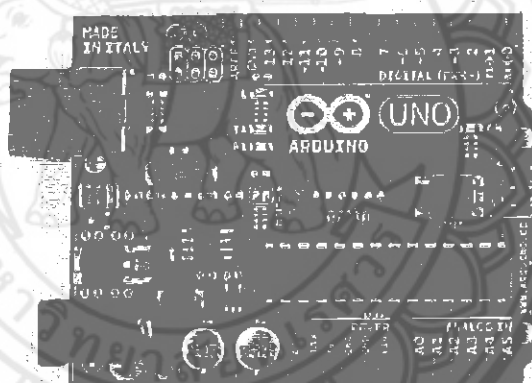
ข) โครงสร้างชนิด PNP

รูปที่ 2.10 โครงสร้างทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และ โครงสร้างทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

รูปที่ 2.10 ก) จะเป็น โครงสร้างของทรานซิสเตอร์ ถึงแม้สารที่ถูกต้องจะเป็นขา C และ E เป็นชนิดเดียวกันก็ตาม แต่ที่จริงแล้วคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างกัน เพราะฉะนั้นจึงจำเป็น อย่างยิ่ง ในเวลาประกอบทรานซิสเตอร์ลงในโครงงานต้องดูตำแหน่งขาให้ถูกต้อง ถ้าประกอบผิดก็อาจ ทำให้วงจรที่สร้างเสียหายได้ความแตกต่างของ 2 ชนิด ทรานซิสเตอร์มีสองชนิดเป็นการแบ่งทาง โครงสร้างของมัน ด้วยโครงสร้างที่แตกต่างกันนี้ พอจะเปรียบเทียบได้กับ ไดโอดสองตัวต่อกัน ซึ่งทำให้เข้าใจโครงการสร้างดีขึ้น ทิศทางของกระแสที่ไหลเข้าออกจากตัวทรานซิสเตอร์ สังเกต ได้ว่า กระแสไหลจาก ทิศทางของหัวลูกศรของทรานซิสเตอร์ (กระแสในที่นี้หมายถึง กระแส นิยมที่ไหลจากขั้วบวกไปขั้วลบ) ทรานซิสเตอร์ทั้งสองชนิดมีทิศทางกระแสการไหลของ กระแส กลับกัน จากรูปกล่าวได้ว่า กระแสที่ไหลผ่านขา E จะมีค่าเท่ากับกระแสที่ขา C รวมกับที่ขา B เป็นกระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ แต่กระแสที่ขา C เท่ากับ กระแสที่ขา B คุณด้วยอัตราขยาย ของทรานซิสเตอร์ (HFE)

2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega 328

ในโครงการนี้เลือกใช้บอร์ด Arduino Uno 3 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล (AVR) ขนาด 28 ขา หมายเลข ATmega328 แสดงดังรูปที่ 2.11 โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เป็นแพลตฟอร์ม (Platform) ของอินพุตและเอาต์พุต (I/O) ขึ้นพื้นฐานที่พอเพียงกับการใช้งานและการเรียนรู้โดยตัวแผงวงจรมีชุดคำสั่งที่ใช้ควบคุมพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตไม่ว่าจะเป็นพอร์ตดิจิทัล พอร์ตแอนะล็อกพีดีบีเบิลยูเอ็ม และ พอร์ตอนุกรม ซึ่งบอร์ด Arduino ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถรับสัญญาณจากภายนอกและส่งสัญญาณไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ตัวแผงวงจรมีโปรแกรมพัฒนาสำหรับเขียนโปรแกรมให้บอร์ด Arduino สามารถรับสัญญาณจากสวิทช์หรือตัวรับรู้และควบคุมหลอดไฟมอเตอร์หรืออุปกรณ์อื่นๆบอร์ด Arduino สามารถทำงานอิสระหรือทำงานติดต่อกับโปรแกรมที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.11 แผงวงจร Arduino

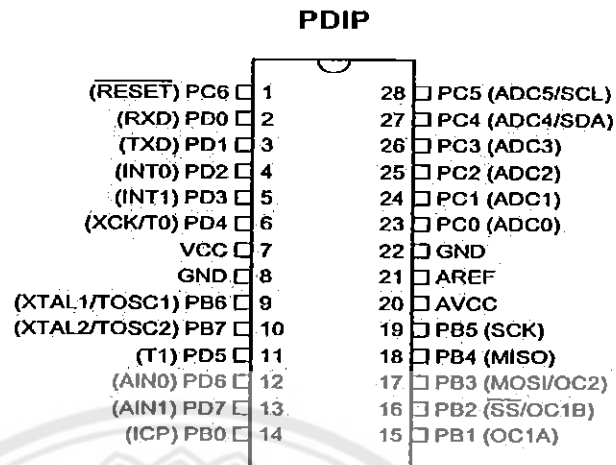
ที่มา:<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/LiquidCrystal>

บอร์ด Arduino ซึ่งมีจุดเด่นในเรื่องของความง่ายต่อการเรียนรู้และใช้งาน เนื่องจากมีการออกแบบคำสั่งต่างๆเพื่อสนับสนุนการใช้งานด้วยรูปแบบที่ง่ายไม่ซับซ้อนคือเน้น โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหลัก บอร์ด Arduino เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้ (AVR) ขนาดเล็กซึ่งเป็นตัวประมวลผลและสั่งงานเหมาะสำหรับนำไปใช้ในการศึกษาเรียนรู้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ และนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตต่างๆได้มากมายทั้งในแบบที่เป็นการทำงานเดี่ยวอิสระ หรือเชื่อมต่อกับงานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆเช่น คอมพิวเตอร์ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าบอร์ด Arduino สนับสนุนการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต ต่างๆได้มากมาย ทั้งแบบดิจิทัล (Digital)และแอนะล็อก (Analog)เช่น การ

รับค่าจากสวิตช์หรือตัวรับรู้แบบต่างๆรวมไปถึงการควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุตต่างๆ ส่วนภาษาในการเขียนโปรแกรมลงบนบอร์ด Arduino นั้นใช้ภาษา C++ ซึ่งเป็นรูปแบบของโปรแกรมภาษาซีประยุกต์แบบหนึ่ง ทีมโครงสร้างของตัวภาษาโดยรวมใกล้เคียงกันกับภาษาซีมาตรฐาน (ANSI-C) แต่ได้มีการปรับปรุงการเขียนโปรแกรมบางส่วนที่คิดเพิ่มไปจาก ANSI-C เล็กน้อยเพื่อช่วยลดความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรมและยังสามารถเขียนโปรแกรมได้ง่ายและสะดวกมากขึ้นกว่าการเขียนภาษาซีตามแบบมาตรฐานของ ANSI-C โดยตรง

ตัวบอร์ด Arduino ที่ใช้ในโครงงานนี้จะกล่าวถึงสถาปัตยกรรมของเอวีอาร์(AVR) ขนาด 8 บิต โดยเป็นซีพียูแบบ RISC (Reduced Instruction Set Computer) มีสถาปัตยกรรมการต่อหน่วยความจำแบบฮาร์วาร์ด(Harvard) ซึ่งแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกันโดยเด็ดขาด ดังแสดงในรูปที่ 2.10 โดยใช้หน่วยความจำแบบแฟลช(Flash) สำหรับเป็นหน่วยความจำโปรแกรม และใช้หน่วยความจำแบบ SRAM สำหรับหน่วยความจำข้อมูลและนอกจากนี้ยังมีหน่วยความจำแบบ EEPROM ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลเอาไว้ได้โดยไม่จำเป็นต้องมีไฟเลี้ยงอีกด้วย ATmega328 ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งมีคุณสมบัติเด่น ดังนี้

- 1) ทำงานได้ตั้งแต่ย่านแรงดัน 1.8-5.5 V
- 2) หน่วยความจำข้อมูลแบบ SRAM ขนาด 2 kb
- 3) หน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM ขนาด 1 kb
- 4) สนับสนุนการเชื่อมต่อแบบ I2C bus
- 5) พอร์ตอินพุตเอาต์พุตจำนวน 23 bit
- 6) วงจรสื่อสารอนุกรม
- 7) ตัวจับเวลา/ตัวนับขนาด 8 บิตจำนวน 2 ตัวและ U3586 ขนาด 16 บิตจำนวน 1 ตัว
- 8) สนับสนุนช่องสัญญาณสำหรับสร้างสัญญาณที่ดับเบิลยู (PWM) จำนวน 6 ช่อง
- 9) วงจรแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิตในตัวจำนวน 8 ช่อง



รูปที่ 2.12 หน่วยประมวลผลกลาง ATmega328 ขนาด 28 ขา

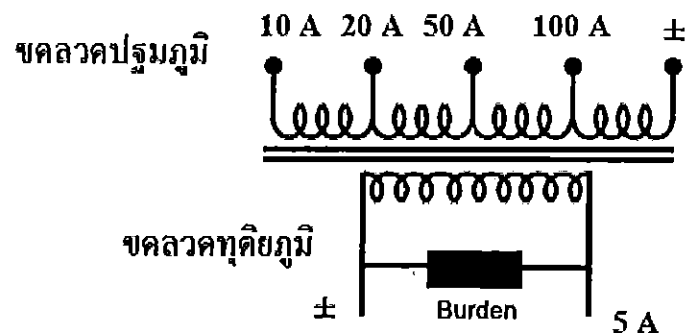
ที่มา: http://www.semi-shop.com/knowledge/knowledge_detail.php?sk_id=86

2.5 หม้อแปลงกระแส (Current transformer)

หม้อแปลงกระแสมีหน้าที่คือ แปลงขนาดกระแสของระบบไฟฟ้า ค่าสูงให้เป็นค่าต่ำ เพื่อประโยชน์ในการวัดและการป้องกัน แยกวงจร ทดสอบภูมิ ออกจากวงจร ปฐมภูมิ เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน ทำให้สามารถใช้กระแสมาตรฐานทางด้าน ทดสอบภูมิ ได้กรณีใช้งานกับไฟแรงสูง จำเป็นต้องมีฉนวนที่สามารถทนต่อแรงดันใช้งานและแรงดันผิดปกติ ที่อาจเกิดขึ้นในระบบ

2.5.1 โครงสร้างของหม้อแปลงกระแส

โครงสร้างของหม้อแปลงกระแส ดังรูปที่ 2.13 ซึ่งประกอบด้วยขดลวด 2 ชุดคือ ขดปฐมภูมิ ซึ่งพันลวดเส้นใหญ่จำนวนรอบน้อย และขดทุติยภูมิพันด้วยลวดเส้นเล็กจำนวนรอบมาก



รูปที่ 2.13 สัญลักษณ์ของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า

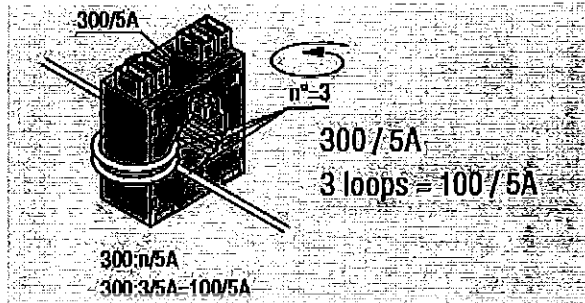
2.5.2 หลักการทำงานของ หม้อแปลงกระแส

หลักการทำงานของหม้อแปลงกระแส คือ ขดลวดปฐมภูมิต่ออนุกรมกับโหลดของวงจรทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นทางด้านขดลวดปฐมภูมิไปเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น ทางด้านขดลวดทุติยภูมิ ทำให้เข็มชี้ของแอมมิเตอร์เกิดการบ่ายเบน ค่าที่อ่านได้ทางด้านขดลวดทุติยภูมิสามารถนำไปคำนวณหาค่ากระแสที่ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิได้ โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสไฟฟ้าในขดลวดทั้งสอง การใช้งานหม้อแปลงกระแสมีเหตุผล 2 ประการคือ

1. เพื่อป้องกันอันตรายจากการต่อแอมมิเตอร์หรือขดลวดกระแสของเครื่องวัดไฟฟ้า โดยตรงกับสายไฟฟ้าแรงสูง
2. แปลงกระแสไฟฟ้าในระบบให้ต่ำลง เพื่อให้เหมาะสมกับขานการวัดของแอมมิเตอร์และวัตต์มิเตอร์

2.5.3 หลักการพันทรอบของหม้อแปลงกระแส

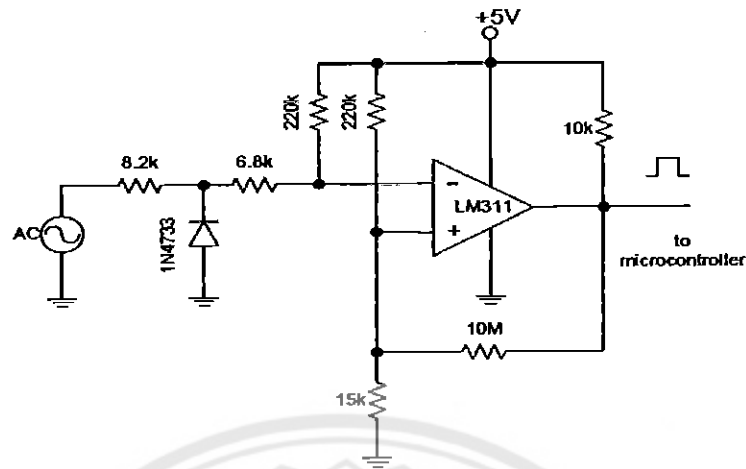
การจะลดกระแสของ CT นั้นทำได้โดยการพัน CT ที่ฝั่ง ปฐมภูมิ ซึ่งการลดกระแสจะขึ้นอยู่กับจำนวนการพันของ CT ที่ฝั่ง ปฐมภูมิ เช่นเรามี CT 100/5A แต่เราต้องการใช้กับกระแสเพียง 20A ก็สามารทำได้โดยไม่ต้องซื้อ CT ใหม่เพียงแต่พัน CT ที่ฝั่ง ปฐมภูมิ 100/20=5 รอบ เพียงเท่านั้น ก็สามารถใช้ CT ตัวเดิมได้และหากใช้กระแสค่าอื่นก็สามารถทำได้โดยค่ากระแสที่ต้องการวัด จำนวนรอบการพันดังรูปที่ 2.14



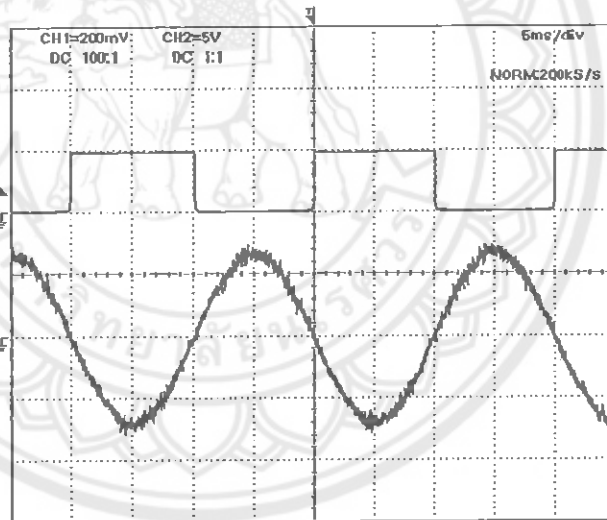
รูปที่ 2.14 แสดงรูปแบบการพันของ CT ที่ฝัง ปฐมภูมิ

2.6 วงจรซีโรครอสซิงดีเทคเตอร์ (Zero-Crossing detector)

การทำงานของวงจรซีโรครอสซิงดีเทคเตอร์นั้นจะทำงาน โดยการนำสัญญาณแรงดันที่ออกมาจากหม้อแปลงแรงดันและสัญญาณแรงดันที่ออกมาจากหม้อแปลงกระแส มาต่อเข้ากับอินพุตของวงจรซีโรครอสซิง ซึ่งขนาดของแรงดันนั้นต้องทำการลดระดับแรงดันลงจาก 220 V ลดลงเหลือ 4.5-5 V สาเหตุที่ต้องลดระดับแรงดันลงก่อนนั้น เนื่องจากบอร์ด Arduino นั้นสามารถทนแรงดันได้ไม่เกิน 5 V จึงต้องทำการลดระดับลงให้ไม่เกิน 5 V เสียก่อน สัญญาณก่อนเข้าวงจรซีโรครอสซิงนั้นจะเป็นรูปสัญญาณไซน์แต่สัญญาณที่ออกจากวงจรซีโรครอสซิงนั้นจะเป็นสัญญาณในรูปแบบพัลส์ ทั้งสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแสดังรูปที่ 2.15



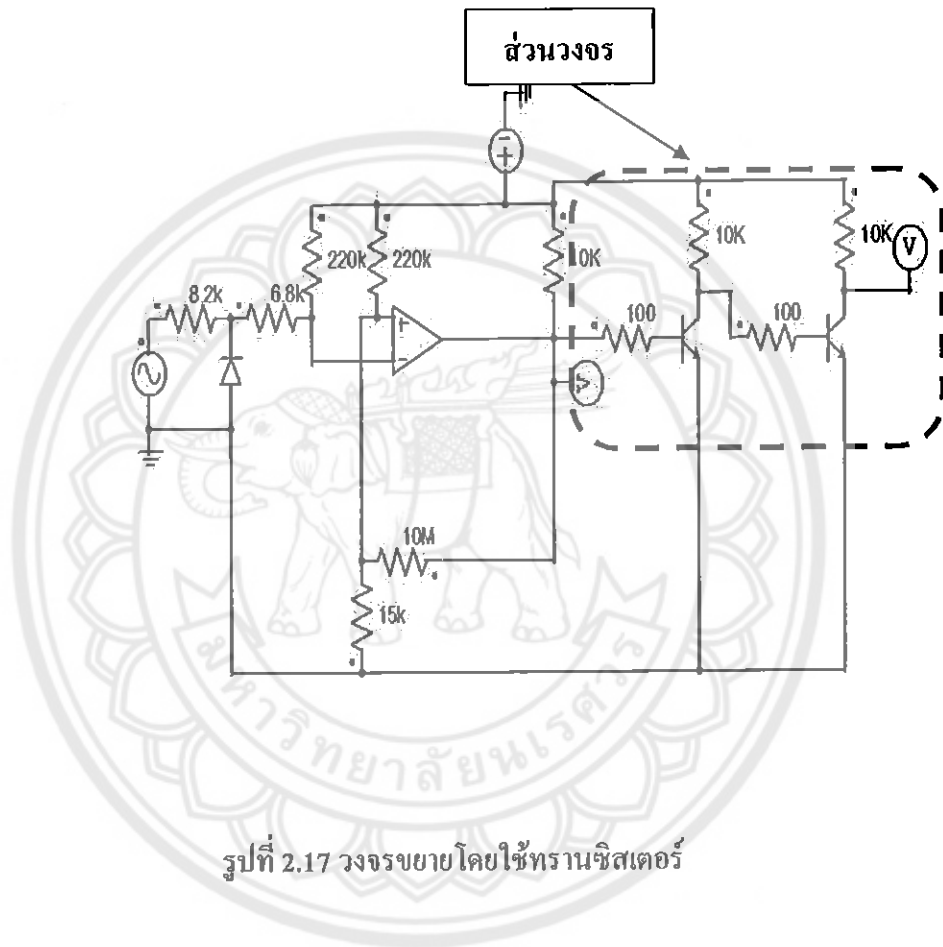
รูปที่ 2.15 วงจรซีโรครอสซิงดิเทกเตอร์



รูปที่ 2.16 แสดงสัญญาณ ไซน์เมื่อผ่านวงจรถึงซีโรครอสซิง

จากรูปจะเห็นได้ว่าลักษณะของสัญญาณของอินพุตที่เป็นสัญญาณ ไซน์นั้นเมื่อผ่านวงจรถึงซีโรครอสซิงแล้วสัญญาณที่ออกมาเป็นสัญญาณพัลส์จะมีการอินเวอร์สสัญญาณ โดยที่ซิกนอลของสัญญาณ ไซน์เมื่อผ่านวงจรถึงซีโรครอสซิงแล้วจะเป็นค่าศูนย์ดังรูปที่ 2.16 สัญญาณที่ได้ นั้นจะนำเข้าสู่อินพุตของบอร์ด Arduino เพื่อทำการนับสัญญาณแต่ละช่วง โดยกำหนดให้ 1 คาบเวลา(T) ที่ 50 Hz มีค่าเท่ากับ 20 ms เทียบได้เป็น 360° เมื่อทราบช่วงเวลาที่ต่างกันระหว่างสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแสจะทำให้ทราบค่าองศาออกมา

จากรูปที่ 2.17 แสดงภาพวงจรขยายสัญญาณโดยใช้ทรานซิสเตอร์ต่อกันสองตัวดังรูป เนื่องจากสัญญาณที่ออกมาจากวงจรซีโรครอสซึ่งมีรูปคลื่นของสัญญาณมีค่าไม่อยู่ในช่วงศูนย์กับห้าโวลต์จึงทำให้ยากต่อการคำนวณจึงต้องนำสัญญาณที่ออกมาจากวงจรซีโรครอสซึ่งมาต่อผ่านวงจรขยายสัญญาณก่อนเข้าบอร์ด Arduino เพื่อความง่ายต่อการคำนวณ



รูปที่ 2.17 วงจรขยายโดยใช้ทรานซิสเตอร์

บทที่ 3

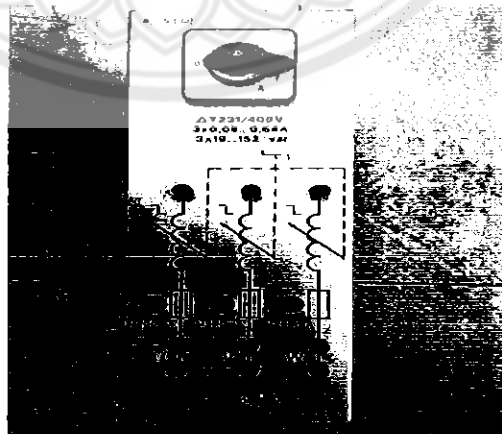
การทดลอง

3.1 การทดลอง

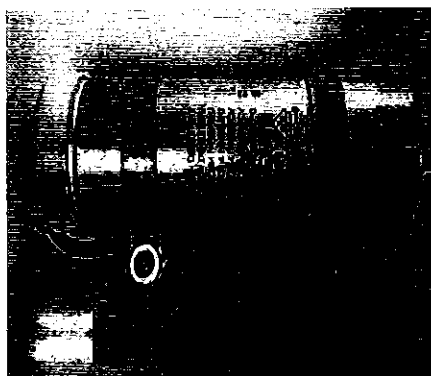
ในการทำการทดลอง ใช้อุปกรณ์โหลดความต้านทานที่เป็นหลอดไฟขนาด 100 วัตต์ ดังรูปที่ 3.1 โหลดตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) ดังรูปที่ 3.2 และโหลดที่เป็นตัวเก็บประจุ (Capacitor) ดังรูปที่ 3.3 เพื่อการตรวจสอบความถูกต้อง และวัดความคลาดเคลื่อนระหว่าง เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นกับ เครื่องมือวัดที่อ้างอิง คือ เครื่อง Power Quality Analyzer ยี่ห้อ Kyoritsu รุ่น KEW 6310 [1]



รูปที่ 3.1 โหลดความต้านทานที่เป็นหลอดไฟขนาด 100 วัตต์



รูปที่ 3.2 โหลดตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)



รูปที่ 3.3 โหลดที่เป็นตัวเก็บประจุ (Capacitor)

3.2 การทดลองกับเครื่องมือวัดอ้างอิงเครื่อง Power Quality Analyzer ยี่ห้อ Kyoritsu รุ่น KEW 6310

นำโหลดไฟขนาด 100 วัตต์ โหลดเหนี่ยวนำ และ โหลดที่เป็นตัวเก็บประจุ มาต่อเข้ากับวงจรที่ออกแบบ โดยนำสายไฟต่อเข้ากับขั้วของโหลดที่ต้องการวัดค่าและนำเครื่องมือวัดอ้างอิงมาทำการวัดค่าของกระแส โดยนำสายมากล่องสายไฟฟ้าขั้วใดขั้วหนึ่งของโหลดดังรูปที่ 3.4 ส่วนแรงดันจะนำสายไฟฟ้าไปวัดพร้อมขั้วโหลดที่ต้องการวัดค่าดังรูปที่ 3.5 โดยจะทำการวัดที่ไฟระดับ 1 เฟสที่มีพิกัดแรงดันสูงสุด 230 โวลต์ และที่พิกัดกระแสสูงสุด 10 แอมแปร์ แล้วนำค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดอ้างอิงมาเก็บบันทึกค่าลงในตาราง ซึ่งจะแสดงผลบนหน้าจอของเครื่องมือวัดอ้างอิง ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.4 การวัดค่าของกระแสโดยใช้เครื่อง Power Quality Analyzer



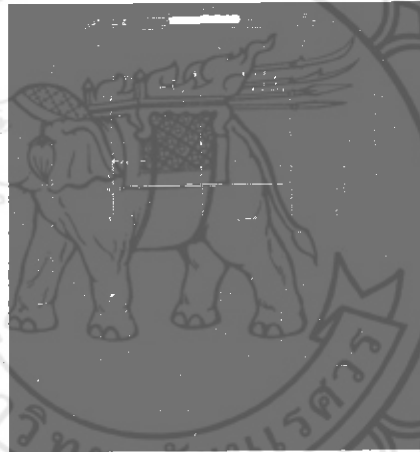
รูปที่ 3.5 การวัดค่าแรงดัน โดยใช้เครื่อง Power Quality Analyzer



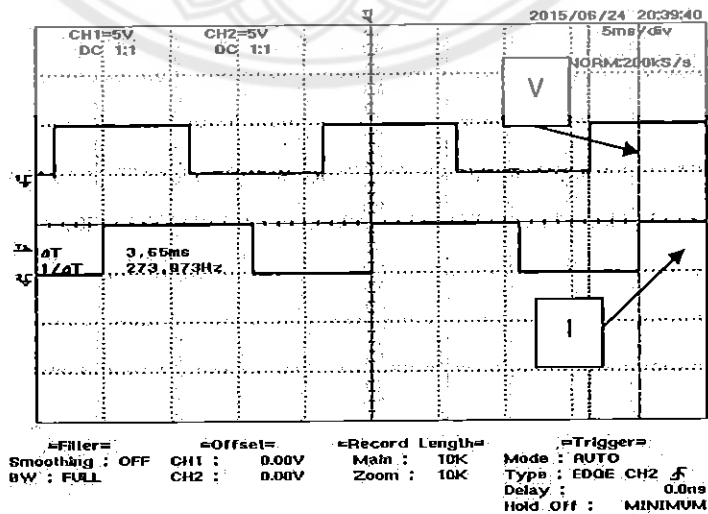
รูปที่ 3.6 การแสดงค่า แรงดัน และกระแส บนหน้าจอของเครื่อง Power Quality Analyzer

3.3 การทดลองกับเครื่องมือที่สร้างขึ้น

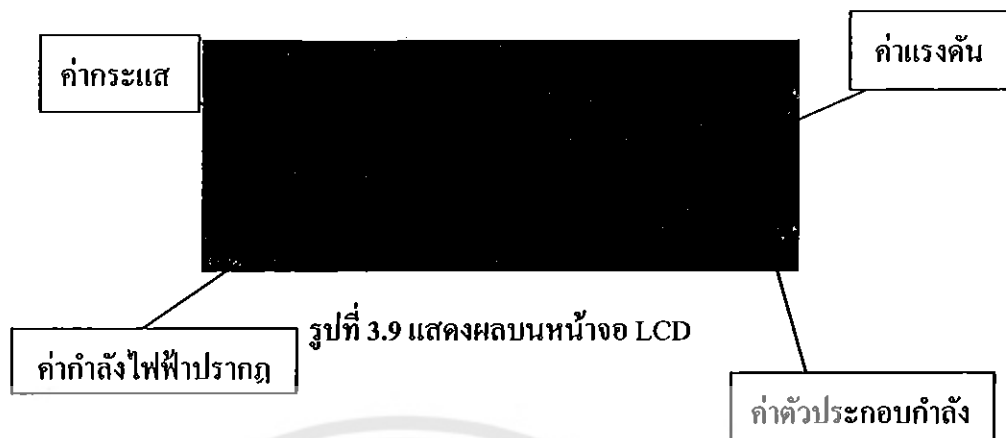
นำหลอดไฟขนาด 100 วัตต์ โหลดเหนี่ยวนำ และโหลดที่เป็นตัวเก็บประจุ มาต่อเข้ากับ วงจรที่ออกแบบโดยนำสายไฟต่อเข้ากับขั้วของโหลดที่ต้องการวัดค่าซึ่งการวัดกระแสจะได้ค่า มา จาก CT ที่ต่อกับขั้วของโหลดขั้วใดขั้วหนึ่งของโหลดคังรูปที่ 3.7 นำค่าแรงดันที่ได้ไปคำนวณหา ค่ากระแสการวัดแรงดันจะได้มาจากวงจรเรกติไฟเออร์ซึ่งจะต่อกับวงจรแบ่งแรงดัน เพื่อลดค่า แรงดันให้มีค่าไม่เกิน 5 โวลต์และค่ากระแสและแรงดันจะแสดงผลทางมอนิเตอร์ของโปรแกรม Arduino ส่วนการเปรียบเทียบของตัวประกอบกำลังไฟฟ้านั้นจะใช้เครื่องออสซิลโลสโคป DL1520 คังรูปที่ 3.7 โดยจะนำสายไปจับกับส่วนที่ต้องการวัดค่าและทำการวัดระยะห่างของกราฟระหว่าง แรงดันกับกระแส นำค่าที่ได้มาจากเครื่องออสซิลโลสโคป DL1520 คังรูปที่ 3.8 มาเปรียบเทียบกับ เครื่องมือที่สร้างขึ้น โดยมีการแสดงผลออกทาง LCD คังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.7 เครื่องออสซิลโลสโคป DL1520



รูปที่ 3.8 การวัดระยะห่างของกราฟระหว่างแรงดันกับกระแส

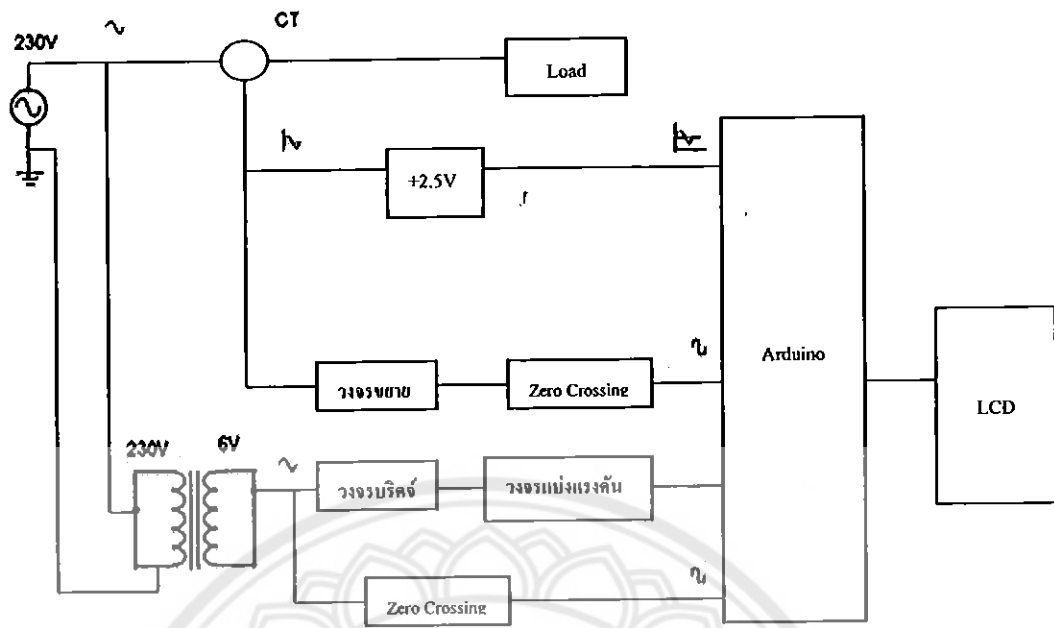


รูปที่ 3.9 แสดงผลบนหน้าจอ LCD

โดยที่ IN = เฟสตรงกัน LD = นำหน้า และ LG = ดำหลัง

3.4 วงจรเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น

จากวงจรที่ถูกรออกแบบนั้นทำงาน โดยการรับค่าอินพุตแรงดันและกระแสโดยที่แรงดันจะรับค่าจากหม้อแปลงไฟฟ้าลดระดับแรงดันจาก 230 V ลดลงเหลือ 6 V เนื่องจากบอร์ด Arduino ทนแรงดันกระแสตรงได้ไม่เกิน 5 V จากนั้นจะผ่านวงจรบริดจ์เพื่อให้เป็นกระแสตรงและผ่านวงจรแบ่งแรงดันเพื่อลดระดับแรงดันลงเหลือ 3.5 V เพื่อเข้าบอร์ด Arduino และสัญญาณแรงดันที่ใช้ในการหาความต่างของมุมเฟสนั้นจะต่อมาจากหม้อแปลงไฟฟ้าด้านทุติยภูมิผ่านวงจรซีโรครอสซึ่งและสัญญาณกระแสนั้นจะได้อมาจากหม้อแปลงกระแส โดยจะนำแรงดันของหม้อแปลงกระแสมาต่อวงจรขยายสัญญาณเนื่องจากสัญญาณมีค่าน้อยมากจึงต้องทำการขยายสัญญาณก่อนที่จะเข้าวงจรซีโรครอสซึ่ง ในส่วนของกระแสจะผ่านวงจรขยายสัญญาณ โดยที่แรงดันกระแสสลับที่ออกจาก CT บวกกับแรงดันกระแสตรง 2.5 V เพื่อทำให้เป็นสัญญาณกระแสตรง เพื่อทำการคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสตามแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไป สัญญาณไซน์ของแรงดันและสัญญาณไซน์ของกระแสที่ผ่านวงจรซีโรครอสซึ่งแล้วจะเป็นสัญญาณพัลส์ที่เป็นกระแสตรง โดยที่สัญญาณทั้งสองจะเข้าบอร์ด Arduino เพื่อทำการคำนวณค่าต่อไปแสดงดังรูปที่ 3.10



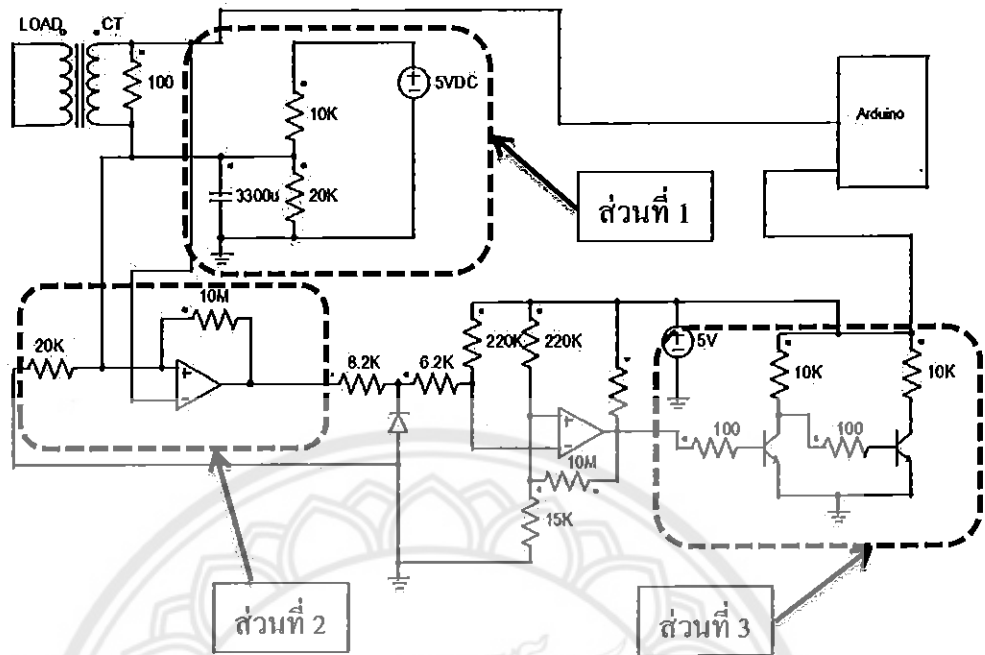
รูปที่ 3.10 ภาพรวมของวงจรที่สร้างขึ้น

จากวงจรที่สร้างขึ้นนั้นจะมีหลายวงจรที่ต่อร่วมกัน เช่น วงจรขยายแรงดัน วงจรซีโรครอสซิง วงจรบริดจ์ วงจรขยายสัญญาณ เป็นต้น

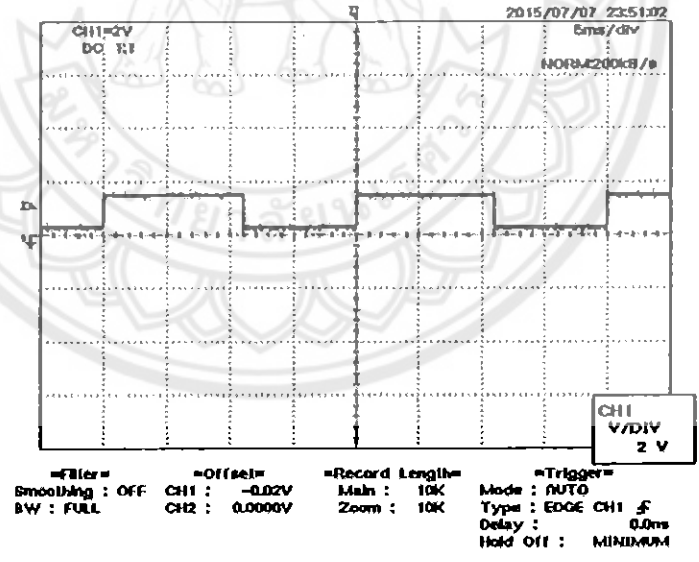
ส่วนที่ 1 เป็นวงจรที่ทำให้ค่าของอินพุตที่จะเข้าบอร์ด Arduino มีค่าเพิ่มขึ้นไปอีก 2.5 โวลต์ เพราะถ้าไม่มีการเพิ่มแรงดันสัญญาณที่เป็นค่าลบจะถูกบอร์ด Arduino มองเห็นเป็นศูนย์ซึ่งจะทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนได้ จึงต้องมีการเลื่อนค่าสัญญาณให้สัญญาณที่เข้ามาเป็นค่าบวกแสดงในรูปที่ 3.11

ส่วนที่ 2 เป็นวงจรขยายแรงดันเพิ่มแรงดันขึ้นเนื่องจากแรงดันที่ออกมาจาก CT นั้นมีค่าน้อยมากจึงต้องมีการต่อเข้ากับวงจรขยายแบบไม่กลับเฟสก่อนที่จะต่อเข้ากับวงจรซีโรครอสซิง โดยแสดงดังรูปที่ 3.11

ส่วนที่ 3 วงจรขยายสัญญาณเป็นการต่อทรานซิสเตอร์สองตัวเข้าด้วยกันดังรูปที่ 3.11 ส่วนที่ 3 เป็นวงจรขยายสัญญาณที่ออกจากวงจรซีโรครอสซิงเนื่องจากสัญญาณที่ออกจากวงจรซีโรครอสซิงนั้นมีค่าออกคคถี่ไม่อยู่ในช่วงศูนย์กับ 5 โวลต์จึงทำให้ขาดการคำนวณจึงต้องต่อกับวงจรขยายสัญญาณเพื่อขยายสัญญาณให้อยู่ในช่วง 0-5 V แสดงในรูปที่ 3.12 และรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.11 แสดงวงจรการวัดค่า กระแส และวงจรซีโรครอสซิงของกระแส



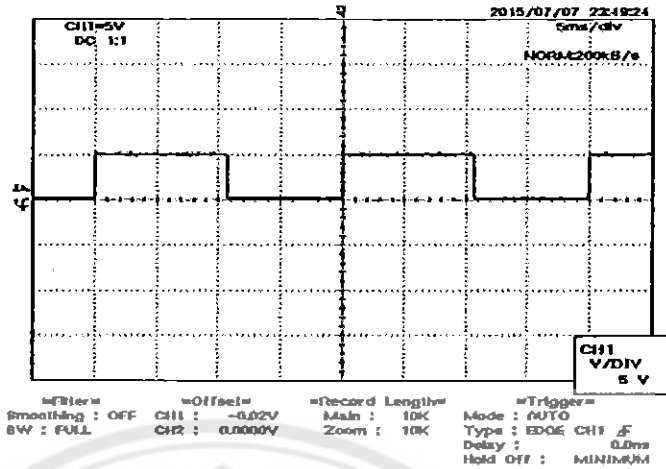
รูปที่ 3.12 สัญญาณก่อนผ่านวงจรขยายสัญญาณทรานซิสเตอร์

1999326
20 ต.ค. 2560

ป
ข.5570
2557



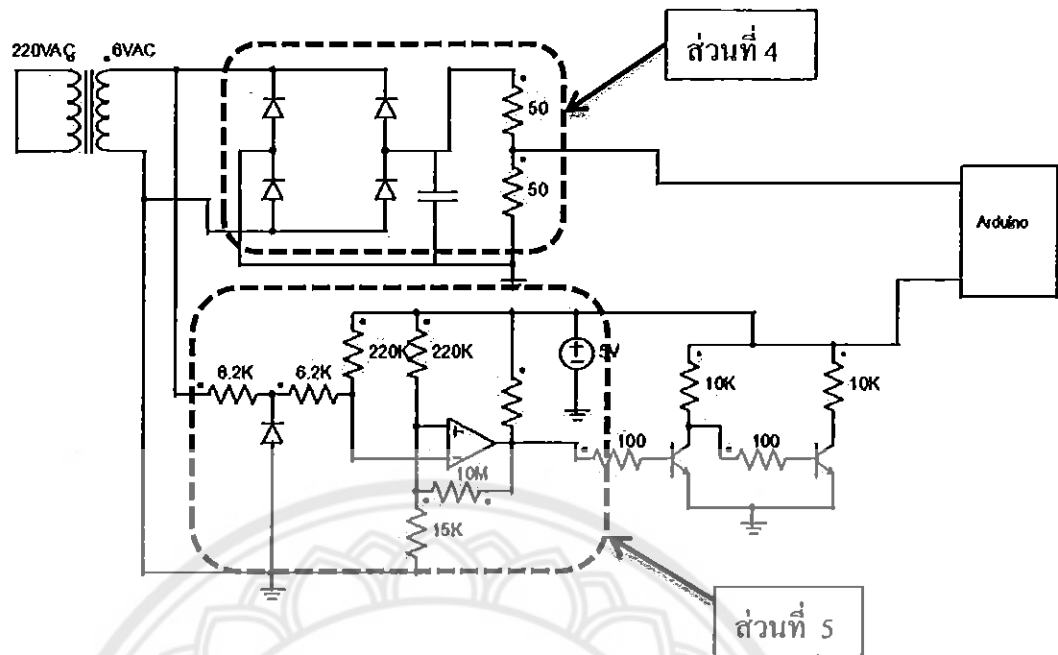
สำนักหอสมุด



รูปที่ 3.13 สัญญาณหลังผ่านวงจรขยายสัญญาณทรานซิสเตอร์

ส่วนที่ 4 วงจรบริดจ์หรือวงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuit) คือวงจรไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติในการแปลงสัญญาณกระแสสลับให้กลายเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งเป็นการทำงานของ ไดโอด 4 ตัว ไดโอดจะยอมให้สัญญาณกระแสสลับที่ผ่านเข้ามานั้นผ่านได้เฉพาะซีกเดียวเท่านั้น เพื่อให้สัญญาณเป็นสัญญาณกระแสตรงแสดงในรูปที่ 3.14

ส่วนที่ 5 วงจร ซีโรครอสซิง (Zero crossing) เป็นวงจรที่ตรวจจับสัญญาณที่ตำแหน่งศูนย์ เมื่อมีสัญญาณไซน์เข้ามาผ่านวงจรซีโรครอสซิง จะทำการตรวจจับสัญญาณออกมาในรูปแบบคลื่น ที่เป็นสัญญาณพัลส์ ที่มีเฉพาะซีกบวกเท่านั้นแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงวงจรการวัดค่ากระแส และวงจรซีโรครอสซิง ของกระแส

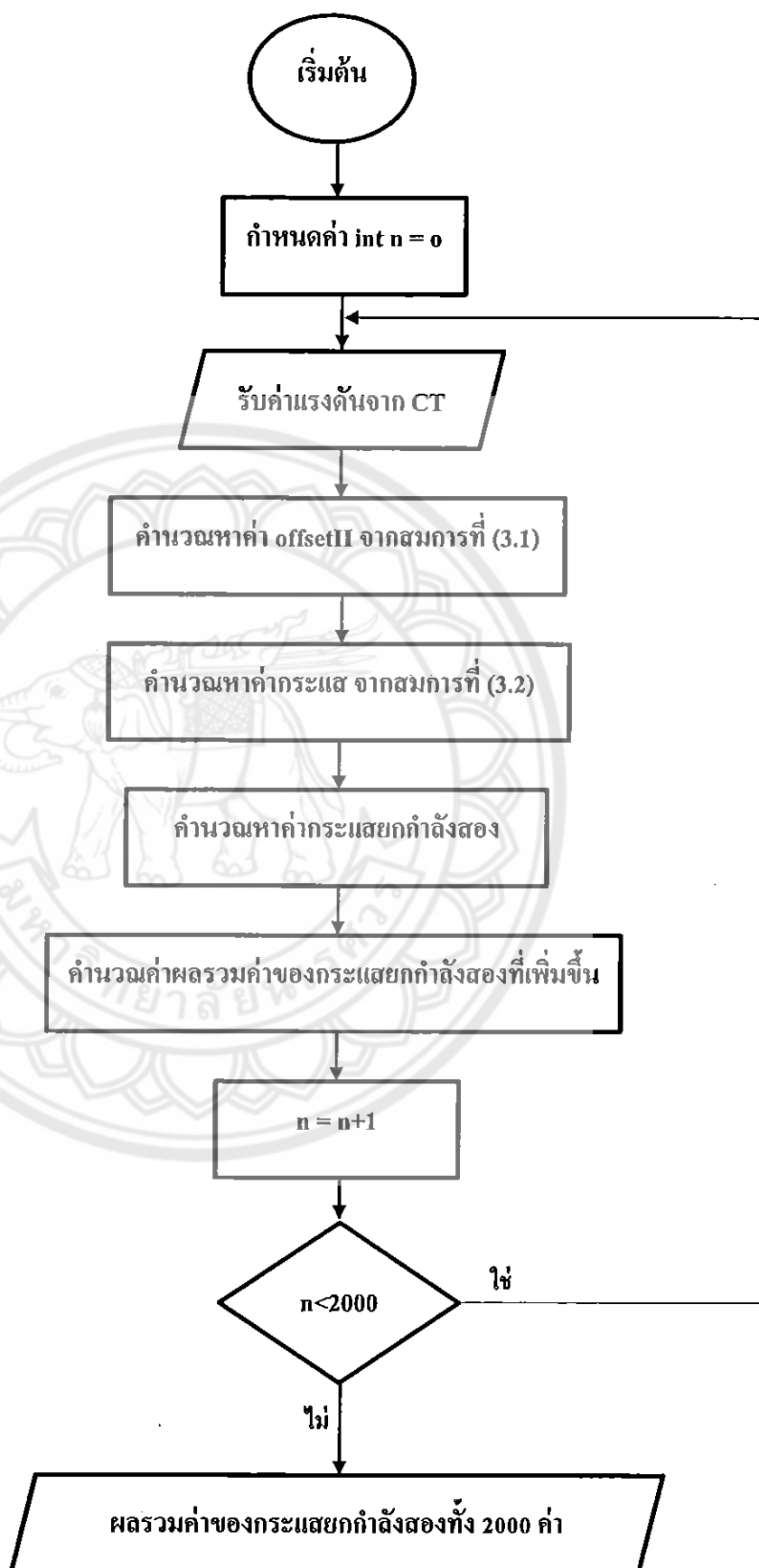
3.5 สมการที่เกี่ยวข้อง

สมการหากระแส เป็นสมการที่หาค่ากระแสซึ่งจะมีสองส่วนคือ หาค่าเฉลี่ยกระแส rms และค่า I_RATIO ซึ่งในส่วนของหาค่ากระแส นั้น จะมีการกำหนดให้มีการรับค่าแรงดันจาก CT จำนวน 2000 ค่า มาคำนวณหากระแส rms โดยจะมีการรับค่าแรงดันจากมารวมกับแรงดัน DC offset ขนาด 2.5 โวลต์เพื่อต่อเข้าบอร์ด Arduino ซึ่งจะหลีกเลี่ยงค่าแรงดันที่ต่ำกว่าศูนย์ จึงต้องทำให้มีค่าไปด้านบวก ซึ่งจะได้ค่ากระแสจริงต้องมีการลบค่า offsetII ดังสมการดังนี้

$$\text{offsetII} = \text{offsetI} + ((\text{sampleI} - \text{offsetI}) / 1024) \quad (3.1)$$

$$\text{filteredI} = \text{sampleI} - \text{offsetII} \quad (3.2)$$

ซึ่งค่า offsetII ที่ได้จากสมการ (3.1) ค่า DC offset ที่มีการปรับขนาดให้สอดคล้องกับแรงดันอินพุตที่เข้ามา โดยจะมีสัญญาณ AC ซ้ำพร้อมสัญญาณ DC อยู่ เมื่อได้ค่ากระแสจริง (filteredI) จากสมการ (3.2) นำไปยกกำลังสองจะได้ค่ากระแสยกกำลังสองเพื่อจะไปหาค่าเฉลี่ยต่อไป ดังโฟลว์ชาร์ตแสดงการคำนวณหาค่ากระแสยกกำลังสอง



รูปที่ 15 โฟลว์ชาร์ตแสดงการคำนวณหาค่ากระแสยกกำลังสอง

เมื่อได้ค่ากระแสยกกำลังสอง ทั้ง 2000 ค่า ก็นำมาหาค่าเฉลี่ยโดย $\sqrt{\text{sumI}/2000}$ ก็จะได้ค่าเฉลี่ย rms นำไปคูณกับ I_RATIO จะได้ค่ากระแสที่ต้องการ ดังสมการต่อไปนี้

$$I_{rms} = I_RATIO * [\text{ค่ากระแส rms}] \quad (3.3)$$

โดยค่าของ I_RATIO หาได้จากอัตราส่วน CT $\rightarrow 10 \text{ A} : 1 \text{ V}$

และแปลงค่ากระแสเป็นบิต $\rightarrow (10 \text{ A} / 1 \text{ V}) * (5 \text{ V} / 1024 \text{ bit}) = 0.0488$

แต่แรงดันที่สามารถวัดได้จริงไม่ได้มีค่าเท่ากับ 1 โวลต์ มีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.85 โวลต์ ซึ่งเป็นผลจากการใส่ Burden 100 โอห์ม จึงทำให้ต้องมีการปรับค่าเสียก่อน โดย $10 \text{ A} / 1 \text{ V}$ ตัวคูณ / 0.85 V จะได้ค่าตัวคูณประมาณ 11.7522 A ทำให้ค่า I_RATIO มีค่าเท่ากับ 0.0574

สมการหาแรงดัน จะเป็นสมการที่หาค่าของแรงดัน โดยจะมีสองส่วนคือ สมการที่แปลงค่าที่บอร์ด Arduino อ่านได้ซึ่งอยู่ในรูปเลขบิตมาเป็นแรงดัน โดยมีสมการดังนี้

$$\text{voltage} = \text{sensorValue} * \text{อัตราส่วน} (5 \text{ V} / 1024 \text{ bit}) \quad (3.4)$$

โดยที่ sensorValue จะเป็นค่าที่บอร์ด Arduino อ่านได้โดยมีค่าอยู่ในรูปเลขบิต

อัตราส่วนจะเป็นการแปลงเลขบิตให้เป็นแรงดันจริงโดย 1024 บิต 5 โวลต์

เมื่อนำทั้งสองค่าดังกล่าวไปเข้าสมการ(3.4) จะได้ค่าแรงดันจริงที่บอร์ด Arduino อ่านได้

$$\text{Voltage}_{rms} = \text{voltage} * (230/3.5) \quad (3.5)$$

และนำแรงดันจากสมการ voltage มาหาค่าที่เป็นแรงดันจริง โดยมีสมการ (3.5) โดยค่า 3.5 เป็นค่าแรงดันจริงในขณะที่มีการจ่ายแรงดัน 230 โวลต์ ให้กับโหลด

สมการหาค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ จะเป็นการหาค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ คือนำค่าที่ได้จาก สมการที่ (3.3) และสมการที่ (3.5) มาคูณกันซึ่งมีสมการดังนี้

$$S = \text{Voltage}_{rms} * I_{rms} \quad (3.6)$$

สมการหาค่าผลต่างของเวลา เป็นสมการที่หาค่าผลต่างของเวลาของกระแสและแรงดัน ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\text{Deltatime} = \text{time I} - \text{time V} \quad (3.7)$$

Deltatime จะเป็นผลต่างของเวลา โดยมีการนำค่าเวลาของกระแสมาลบด้วยค่าเวลาของแรงดัน ในกรณีที่โหลดเป็นชนิด R-L และ L จะมีค่าเป็นบวกซึ่งกระแสจะตามหลังแรงดัน ในกรณีที่โหลดเป็นชนิด R-C และ C จะมีค่าเป็นลบซึ่งกระแสจะนำแรงดัน และในกรณีที่โหลดเป็นชนิด R จะมีค่าเป็นเท่ากับศูนย์ซึ่งกระแสและแรงดันจะตรงกัน โดยค่าเวลาจะมีการดึงค่ามาจากฟังก์ชัน blink ของแต่ละตัว ซึ่งมีโค้ดดังต่อไปนี้

```
void blinkI(){timeI=millis();myfles=1;} (3.8)
```

โดยจะเป็นการสั่งให้บอร์ด Arduino มีการนับค่าไปเรื่อยๆ จนมีการเปลี่ยนแปลงของขอบขาขึ้นจึงมีการนำเวลาขณะนั้นมาเก็บค่า และไปคำนวณต่อไป

สมการหาตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ของโหลดชนิด R-L และ L โดยจะเลือกค่าผลต่างของเวลาที่มีค่ามากกว่าศูนย์เข้ามาคำนวณ โดยมีสมการดังนี้

$$PF = \cos\left(\frac{(\text{Deltatime} * 360) / 20 * 3.142}{180}\right) \quad (3.9)$$

ในการหาตัวประกอบกำลังทางไฟฟ้านั้นจะต้องมีการหามุมเฟสเสียก่อน โดยมีการนำค่าผลต่างทางเวลา จะมีค่าอยู่ 0 - 5 เพราะในอุดมคติ กระแส และแรงดัน นั้นจะมีการนำหรือตามกัน ไม่เกิน 90 องศา การแปลงเวลาให้เป็นมุมโดย 20 ms \rightarrow 360 องศา จะได้ค่าเท่ากับ 18 แล้วนำค่าผลต่างทางเวลามาคูณ ก็จะได้มุมที่นำไปคำนวณ ตัวอย่างเช่น

ผลต่างทางเวลานั้นมีค่าเท่ากับ 2 เมื่อนำ ไปคูณกับ 18 จะได้ค่าเท่ากับ 36 องศา

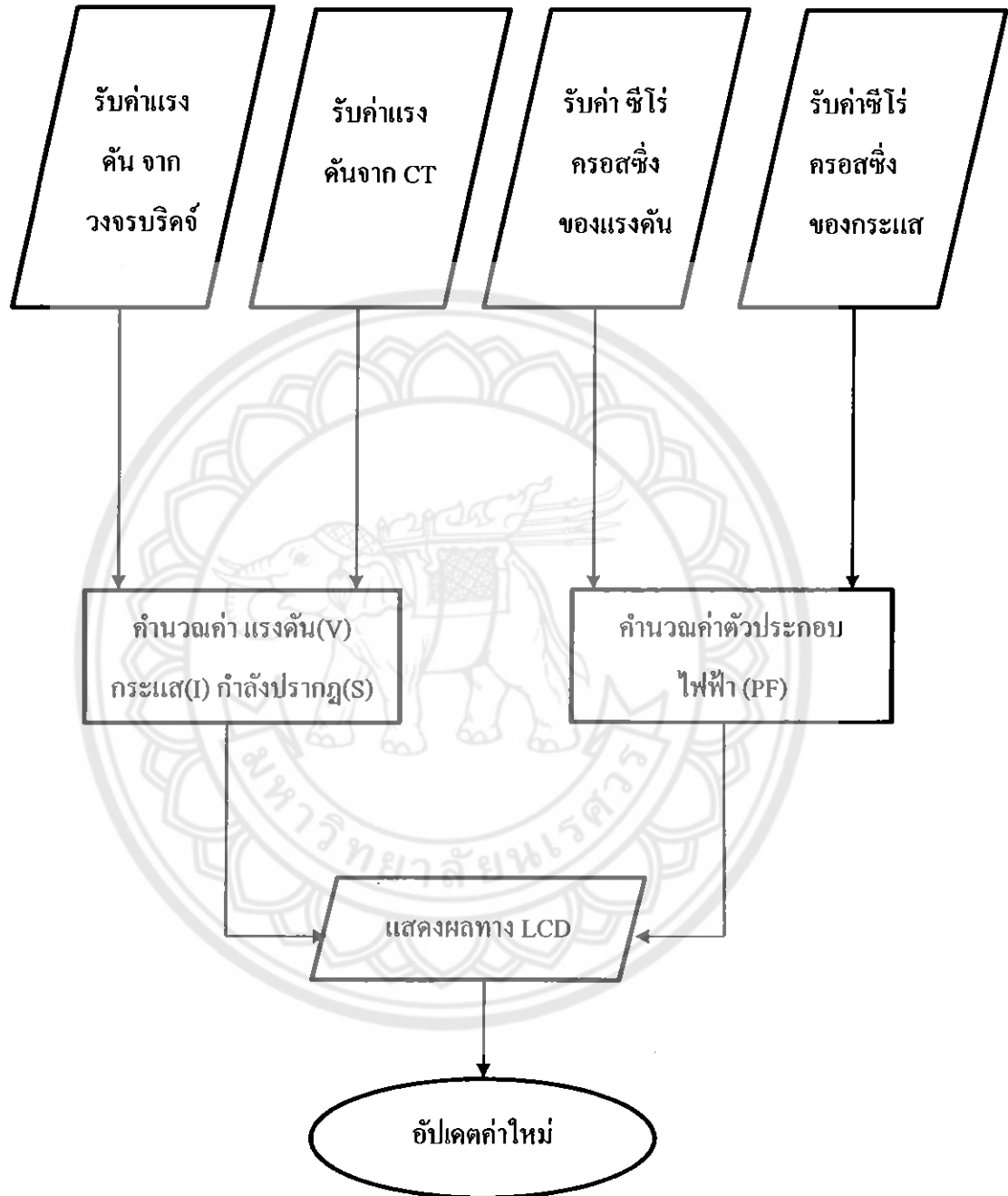
คำสั่ง cos() ค่าที่อยู่ในวงเล็บจะเป็นค่าเรเดียนซึ่งสมการนี้จะต้องแปลงหน่วยจากเรเดียนให้เป็นองศา จึงต้องมีการ คูณค่า 3.142 (π) และหารด้วย 180

ในการหาตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของโหลดชนิด R-C และ C ซึ่งจะมีการใช้สูตรและคำนวณเหมือนกับสมการที่ (3.9) แต่จะต่างกันที่จะเลือกค่าผลต่างทางเวลาที่มีค่าน้อยกว่าศูนย์เข้ามาคำนวณในสมการ เช่นเดียวกับโหลดชนิด R ซึ่งจะมีการใช้สูตรและคำนวณเหมือนกับสมการที่ (3.9) แต่จะต่างกันที่จะเลือกค่าผลต่างทางเวลาที่มีค่าเฟสตรงกันเข้ามาคำนวณในสมการ

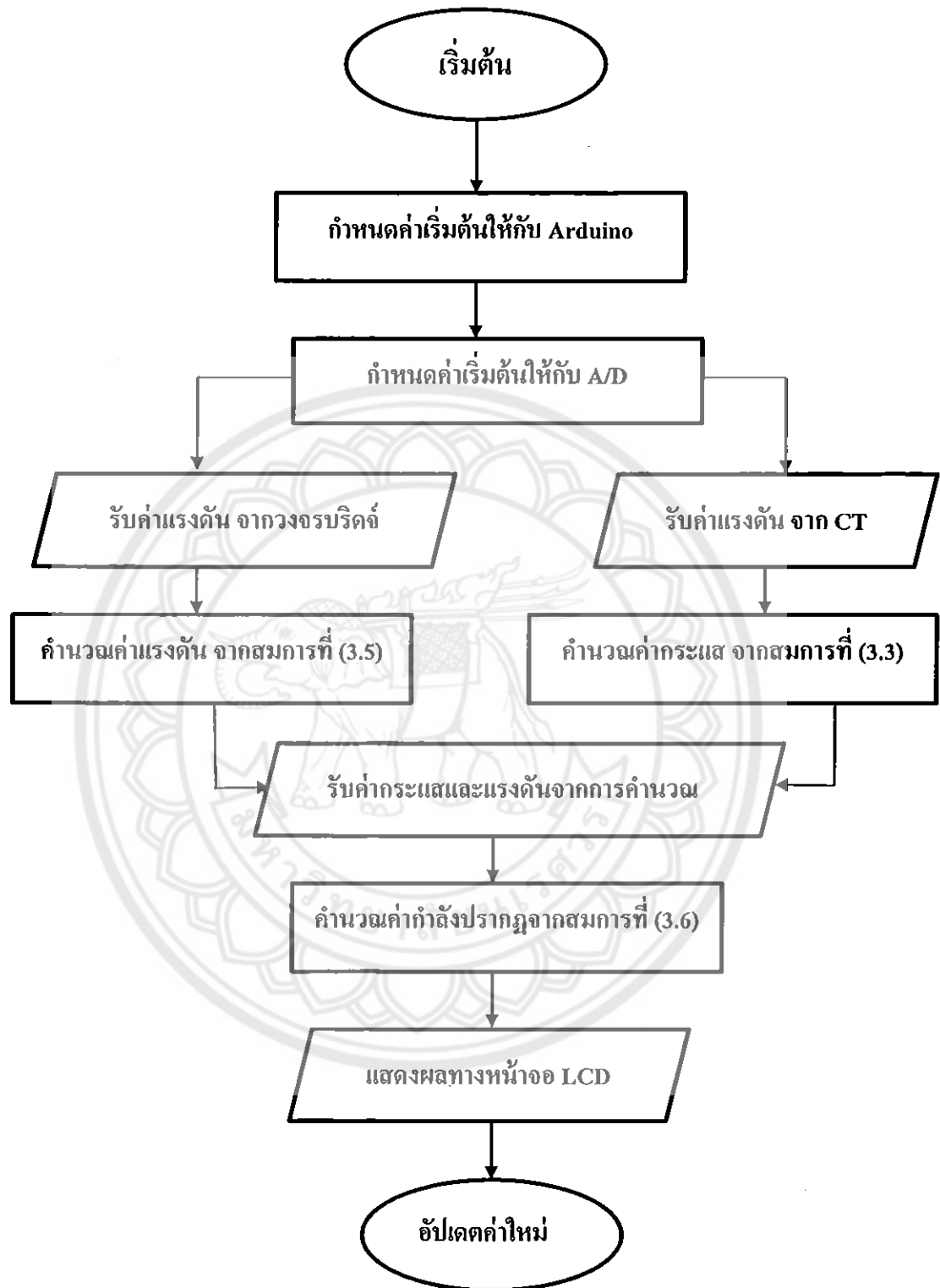
3.6 แสดงการทำงานของโปรแกรม

ในการทำงานในส่วนแรกจะเป็นการคำนวณหาค่าแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าปรากฏ โดยการกำหนดค่าเริ่มต้น เช่น ตัวแปร ค่าคงที่ต่างในการคำนวณและหาค่า จากนั้นจะรับค่าจาก วงจรบริดจ์ค่าที่ได้จากวงจรบริดจ์นั้นจะไปคำนวณหาค่าแรงดัน โดยการหาค่าโดยการเปรียบเทียบ ค่าอัตราส่วนของแรงดันที่บอร์ด Arduino สามารถอ่านได้เทียบกับค่าสัญญาณแรงดันที่เข้ามาจะได้ แรงดันจริงที่ต้องการวัด ส่วนกระแส นั้นจะรับค่ามาจากหม้อแปลงกระแสสัญญาณที่ได้จะทำการ คำนวณหาค่า โดยการเปรียบเทียบอัตราส่วนของ CT กับค่าอัตราส่วนของบอร์ด Arduino สามารถ อ่านได้เทียบเป็นแรงดันและคำนวณออกมาเป็นกระแส จากนั้นจะคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ ออกมา โดยการนำกระแสคูณกับแรงดันแสดงดังรูปที่ 3.15 และรูปที่ 3.16



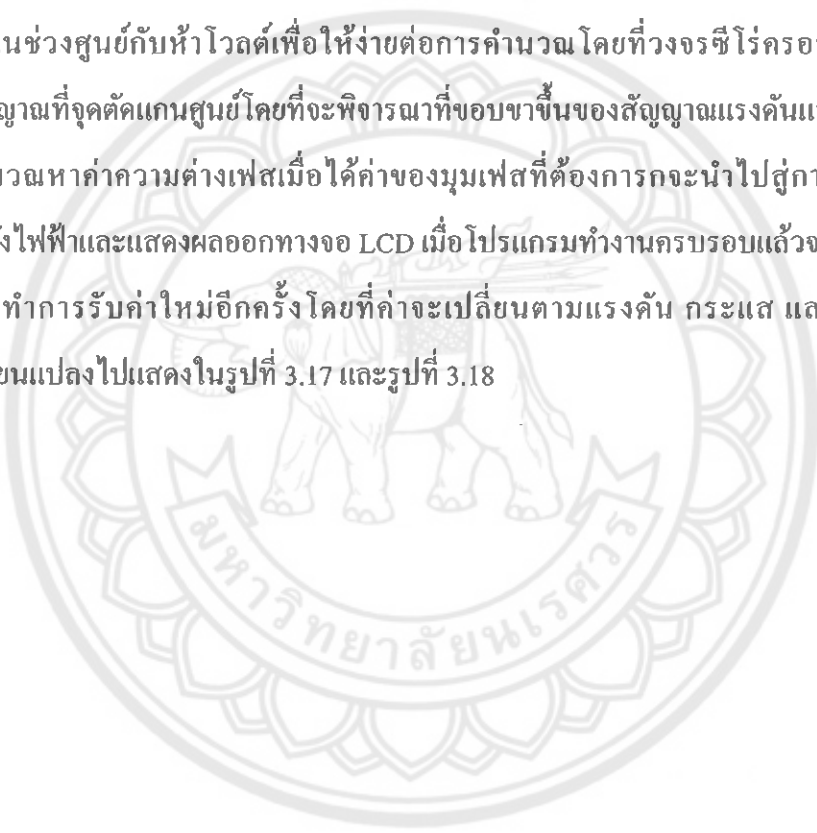


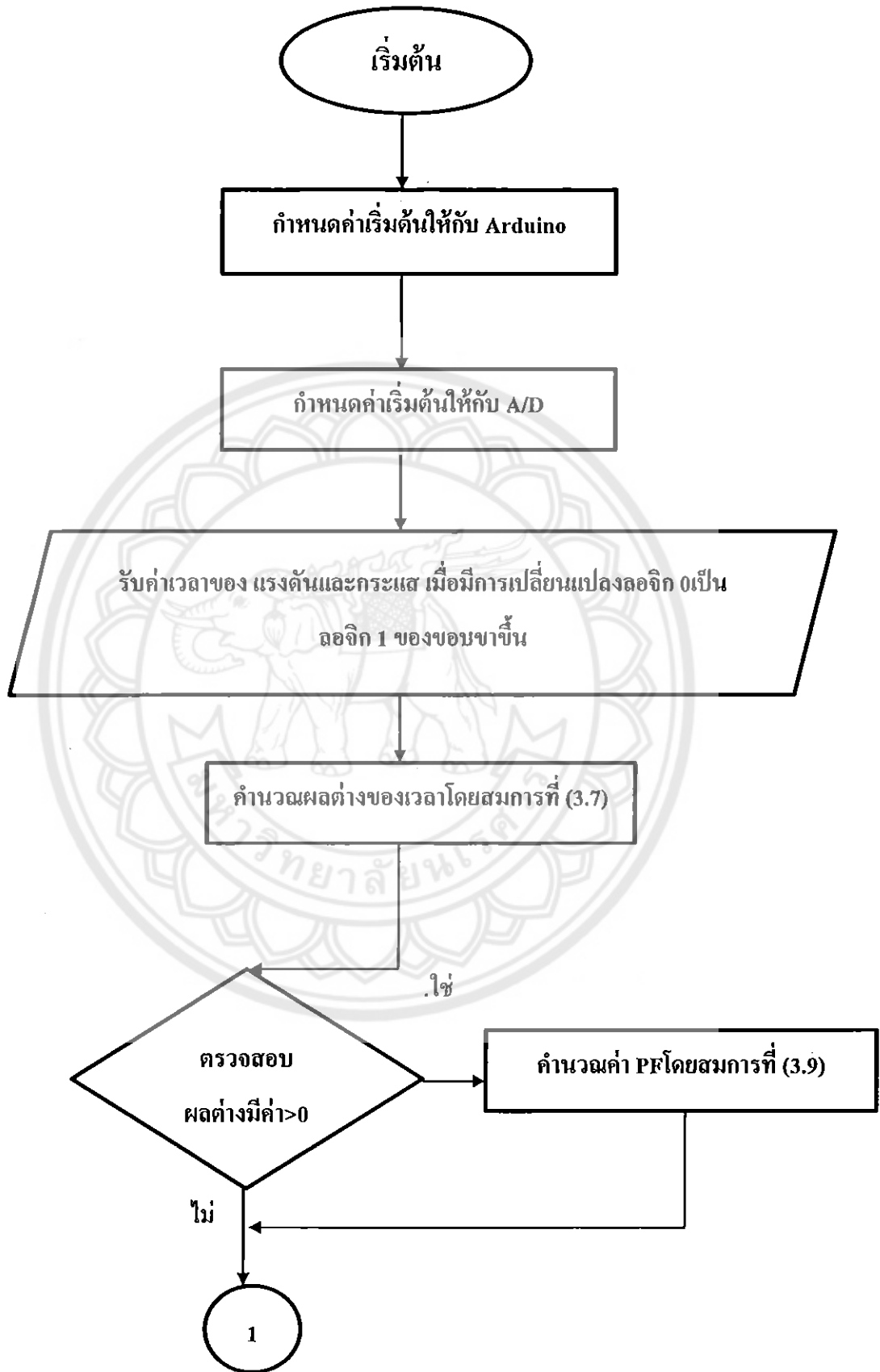
รูปที่ 3.16 โฟลว์ชาร์ตแสดงภาพรวมการทำงานของโปรแกรม



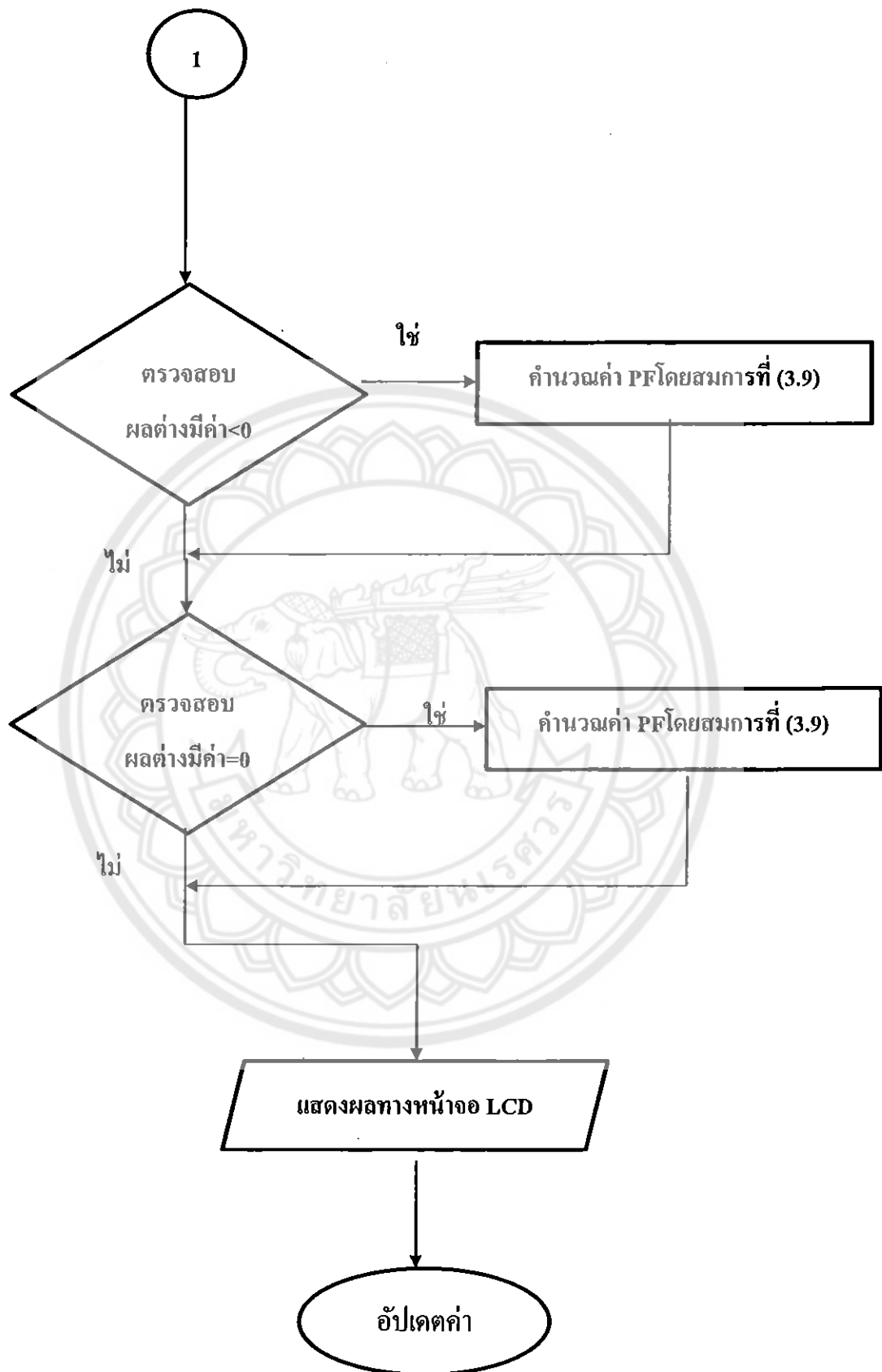
รูปที่ 3.17 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมในส่วนการหาค่า แรงดัน กระแส และ กำลังไฟฟ้าปรากฏ

ในส่วนที่สองจะเป็นการคำนวณหาค่าความต่างเฟสของสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแสเพื่อทำการหาค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า การทำงานคือการกำหนดค่าเริ่ม เช่น ตัวแปร ค่าคงที่ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ จากนั้นบอร์ด Arduino จะรับค่าอินพุตของสัญญาณแรงดันจากหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าจากโดยการผ่านวงจรซีโรครอสซึ่งเพื่อแปลงสัญญาณไซน์ให้เป็นสัญญาณพัลส์ และสัญญาณแรงดันของกระแสนั้นจะได้อามาจาก CT ผ่านวงจรขยายสัญญาณเนื่องจากสัญญาณจาก CT มีค่าน้อยมากจึงทำการขยายก่อนที่จะเข้าบอร์ด Arduino สัญญาณแรงดันและสัญญาณแรงดันของกระแสนั้นเมื่อผ่านวงจรซีโรครอสซึ่งแล้วนั้นจะผ่านวงจรขยายสัญญาณอีกครั้งเพื่อให้สัญญาณมีค่าอยู่ในช่วงศูนย์กับห้าโวลต์เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ โดยที่วงจรซีโรครอสซึ่งจะทำการตีเทคสัญญาณที่จุดตัดแกนศูนย์โดยที่จะพิจารณาที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณแรงดันและกระแสเพื่อทำการคำนวณหาค่าความต่างเฟสเมื่อได้ค่าของมุมเฟสที่ต้องการก็จะนำไปสู่การหาค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและแสดงผลออกทางจอ LCD เมื่อโปรแกรมทำงานครบรอบแล้วจะกลับไปค่าเริ่มต้นเพื่อทำการรับค่าใหม่อีกครั้ง โดยที่ค่าจะเปลี่ยนตามแรงดัน กระแส และชนิดของโหลดที่เปลี่ยนแปลงไปแสดงในรูปที่ 3.17 และรูปที่ 3.18





รูปที่ 3.18. โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมในส่วนการหาค่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 3.19 (ต่อ) โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมในส่วนการหาค่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

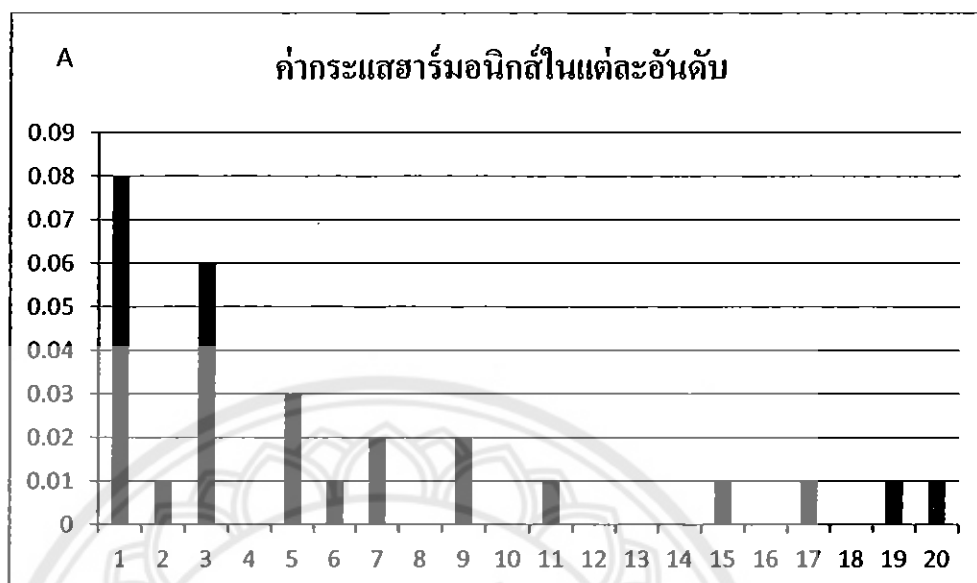
ในการทำการทดลอง จะทดลองกับอุปกรณ์โหลดความต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุที่ค่าต่างๆ โดยมีระดับแรงดันไฟฟ้าที่ 1 เฟส 230 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ กระแสไม่เกิน 10 แอมแปร์ และได้ทำการทดลองค่ากระแส แรงดัน และตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เปรียบเทียบกันระหว่าง เครื่องที่สร้างขึ้น ก็คือ เครื่องวัด แรงดัน กระแส และตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแบบดิจิทัล กับ เครื่องมือวัดอ้างอิงก็คือเครื่อง Power Quality Analyzer โดยสามารถวัดค่า กระแส แรงดัน และตัวประกอบกำลังไฟฟ้าได้ ซึ่งเครื่องมือวัดที่นำมาอ้างอิงนี้ มีมาตรฐานในการวัดที่เที่ยงตรงและเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการวัด เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือที่สร้างขึ้น

4.1 ผลการทดลองวัดค่า กระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าปรากฏ

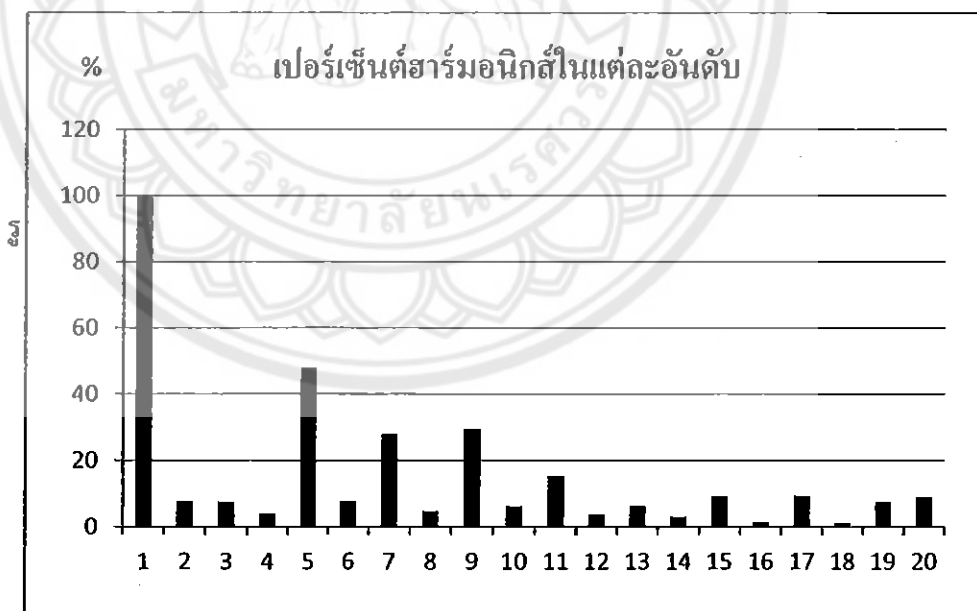
ในการทำการทดลองจะมีทั้ง โหลดตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ ซึ่งประเภท โหลดจะมีอยู่ 6 ประเภทได้แก่

- 1) โหลดตัวต้านทานซึ่งจะใช้หลอดไฟฟ้าขนาด 100 วัตต์
- 2) โหลดตัวเก็บประจุ (C) มีขนาด 25 μF
- 3) โหลดตัวเหนี่ยวนำ (L) มีขนาด 3 Henry
- 4) โหลดประเภท (RL) ซึ่งจะประกอบไปด้วย โหลดตัวเหนี่ยวนำขนาด 3 Henry มาต่อขนานกับ โหลดตัวต้านทานซึ่งจะใช้หลอดไฟฟ้าที่มีขนาด 100 วัตต์
- 5) โหลดประเภท (RC) ซึ่งจะประกอบไปด้วย โหลดตัวเก็บประจุที่มีขนาด 25 μF มาต่อขนานกับ โหลดตัวต้านทาน ซึ่งจะใช้หลอดไฟฟ้าที่มีขนาด 100 วัตต์
- 6) โหลดฮาร์มอนิกส์โดยใช้หลอดคอมแพคต์ ขนาด 5 W

โดยโหนดที่เป็นฮาร์โมนิกส์จะแสดงกระแสฮาร์โมนิกส์และเปอร์เซ็นต์ของฮาร์โมนิกส์ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงค่ากระแสของโหนดฮาร์โมนิกส์



รูปที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ฮาร์โมนิกส์

ทำการวัดค่า กระแส แรงดัน ของแต่ละประเภท แล้วนำค่าที่ได้บันทึกค่าลงตารางที่ 4.1 และหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนได้จาก สมการดังนี้

$$\left| \frac{\text{ค่าที่ได้จากเครื่องมือที่สร้างขึ้น} - \text{ค่าที่ได้จากเครื่องมืออ้างอิง}}{\text{ค่าที่ได้จากเครื่องมืออ้างอิง}} \right| \times 100 \quad (4.1)$$

ตารางที่ 4.1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น เทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิง ที่โหลดต่างๆ

ประเภท โหลด	เครื่องมือที่สร้างขึ้น			เครื่องมืออ้างอิง			% ความคลาดเคลื่อน		
	V	I	S	V	I	S	V	I	S
1	220.00	0.46	101.20	221.50	0.45	99.67	0.68	2.22	1.54
2	223.00	0.89	198.47	223.00	0.90	200.70	0.00	1.11	1.11
3	224.00	0.24	53.76	223.00	0.23	51.29	0.44	4.34	4.81
4	222.00	1.00	222.00	222.40	1.01	224.63	0.18	0.99	1.17
5	224.00	0.53	118.72	223.00	0.52	115.96	0.44	1.92	2.38
6	221.00	0.08	17.68	226.00	0.16	36.16	1.88	50	51.10

4.2 ผลการทดลองวัดค่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ในการทดลองนั้นจะใช้โหลดชนิดเดียวกับหัวข้อที่ 4.1 มาหาค่าผลต่างทางเวลาของแต่ละประเภท โดยจะมีการแสดงผลออกมาเป็นลักษณะกราฟ ในการทดลองจะทำการเปรียบเทียบระหว่างที่เป็น รูปคลื่นสัญญาณไซน์ และรูปคลื่นจากวงจร ซีโรครอสซึ่งโดยจะทำการวัดที่จุดตัดแกนศูนย์ขอบขาขึ้นของแต่ละสัญญาณ และนำมาเทียบกับระหว่างรูปคลื่นของกระแส และรูปคลื่นของแรงดันซึ่งกราฟสัญญาณที่ได้นั้นมาจากเครื่องออสซิลโลสโคป DL1520 ซึ่งจะนำค่าผลต่างทางเวลานั้นมาคำนวณหามุมความต่างเฟส โดยมีสมการดังนี้

$$\theta = \frac{\Delta T}{20ms} \times 360^\circ \quad (4.2)$$

โดยที่

ΔT คือ ระยะห่างทางเวลาขอบขาขึ้นของสัญญาณกระแสและแรงดัน มีหน่วยเป็น (ms)

20 ms คือ 1 คาบเวลา(T)ที่ 50 Hz มีค่าเท่ากับ 20ms เทียบได้เป็น 360 องศา

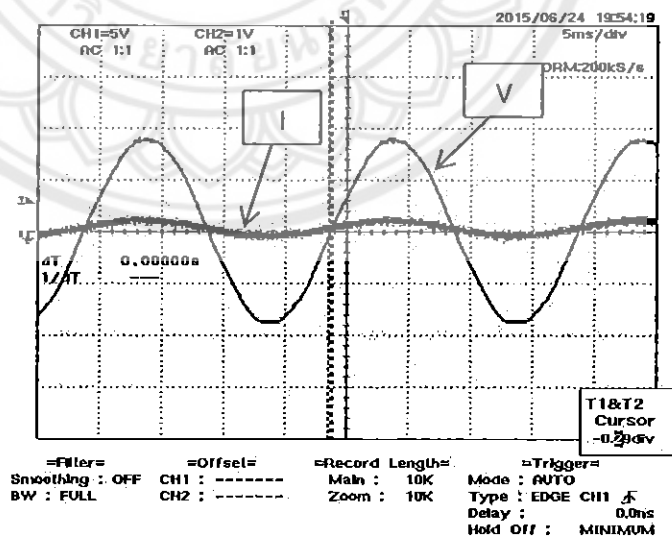
เมื่อได้มุมความต่างเฟสระหว่างรูปคลื่นของกระแส และรูปคลื่นของแรงดัน ก็จะนำมาคำนวณหาตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยใช้สมการดังนี้

$$PF = \cos\theta \quad (4.3)$$

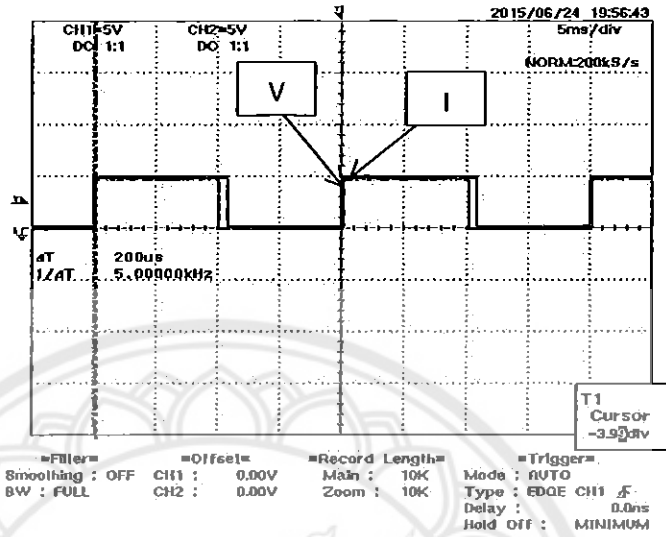
4.3 แสดงกราฟรูปคลื่นสัญญาณไซน์ และรูปคลื่นจากวงจรซีโรคลอสซึ่ง

กรณีที่ 1 แสดงโพลต์ที่เป็นตัวต้านทาน

ในการคำนวณหาตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจะใช้สัญญาณที่ได้จากวงจรซีโรคลอสซึ่งมาคำนวณจากรูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณจากวงจรซีโรคลอสซึ่ง ในการคำนวณหาตัวประกอบกำลังไฟฟ้านั้นจะทำการหาความต่างของมุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแสที่ขอบขาขึ้นของกราฟทั้งสองจากรูปค่าที่ได้คือ ΔT มีค่าเท่ากับ 200 ns เมื่อได้ค่า ΔT แล้วนำไปแทนในสมการที่ (4.2) เมื่อได้ค่ามุมออกมาจะนำค่ามุมไปหาค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยแทนลงในสมการที่ (4.3) จะได้ค่าตัวประกอบกำลังออกมาเนื่องจากโพลต์เป็นตัวแทนจึงมีมุมเฟสที่ตรงกันทำให้ได้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าเท่ากับ 1



รูปที่ 4.3 สัญญาณไซน์ของตัวต้านทาน (R)



รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณที่ออกจากวงจรซีโรโทรสซึ่งของตัวต้านทาน (R)



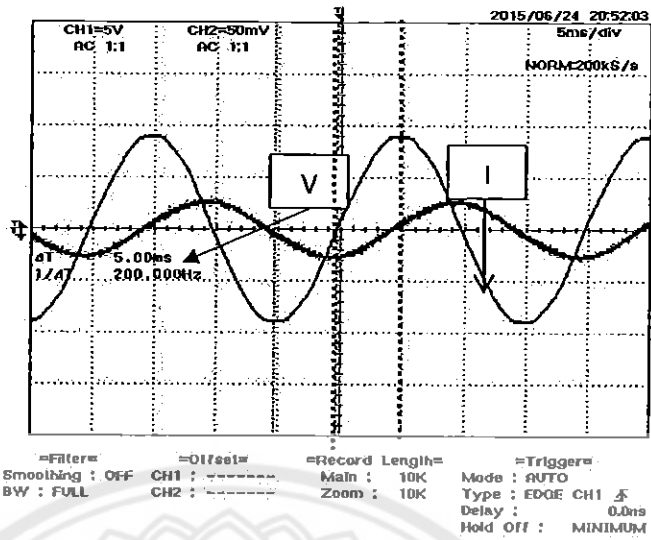
รูปที่ 4.5 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่แสดงผลออกทางจอ LCD



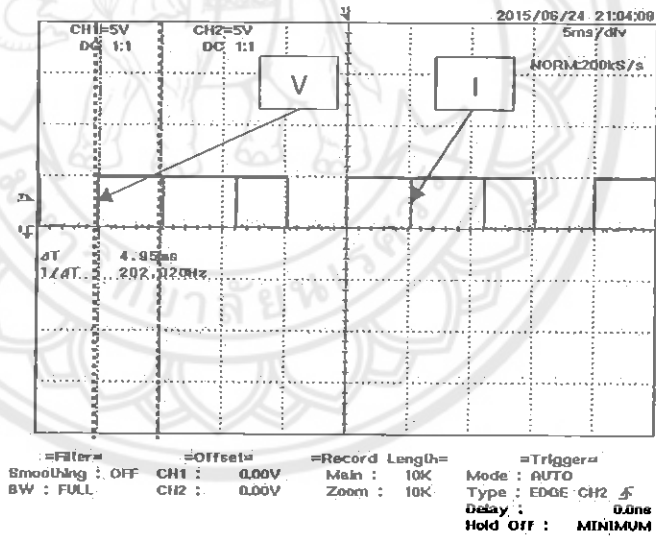
รูปที่ 4.6 ค่าตัวประกอบกำลัง ไฟฟ้าที่แสดงผลออกทางเครื่อง Power Quality Analyzer

กรณีที่ 2 โหลดตัวเหนี่ยวนำ (L)

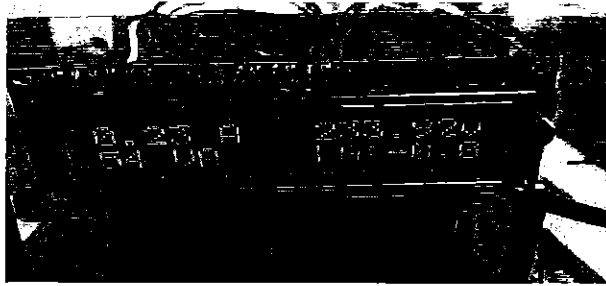
ในการคำนวณตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจะใช้สัญญาณที่ได้จากวงจรซีโรครอสซึ่งมาคำนวณ จากรูปที่ 4.8 แสดงสัญญาณจากวงจรซีโรครอสซึ่ง ในการคำนวณตัวประกอบกำลังไฟฟ้านั้นจะทำการหาความต่างของมุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแสที่ขอบขาขึ้นของกราฟทั้งสอง จากรูปค่าที่ได้คือ ΔT มีค่าเท่ากับ 4.95 ms เมื่อได้ค่า ΔT แล้วนำไปแทนในสมการที่ (4.2) เมื่อได้ค่ามุมออกมาจะนำค่ามุมไปหาค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยแทนลงในสมการที่ (4.3) จะได้ค่าตัวประกอบกำลังออกมาเนื่องจากโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำจึงมีมุมเฟสต่างกันที่ 90 องศา ทำให้ได้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าเท่ากับ 0



รูปที่ 4.7 สัญญาณไซน์ของตัวเหนี่ยวนำ (L)



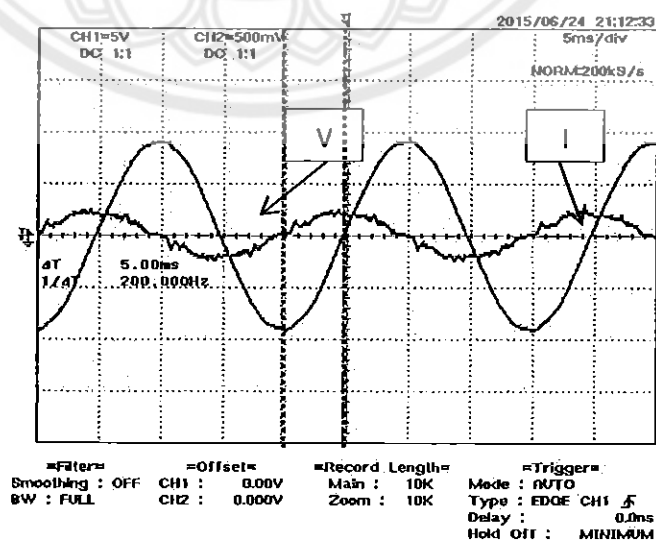
รูปที่ 4.8 สัญญาณจากซีโรครอสซิงของตัวเหนี่ยวนำ (L)



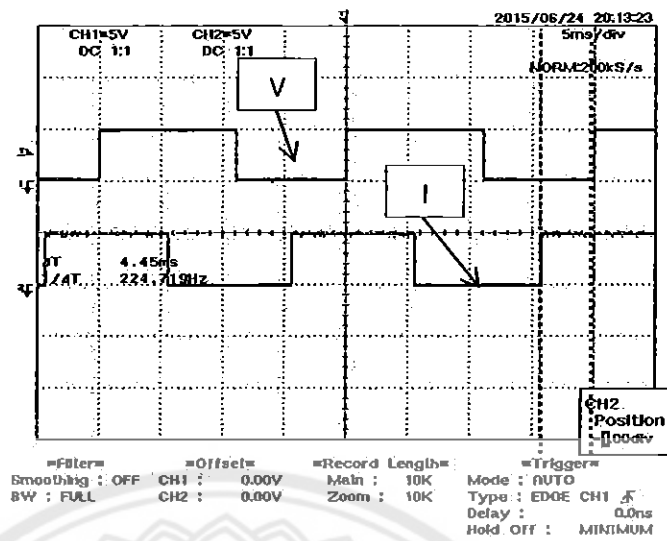
รูปที่ 4.9 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่แสดงผลออกทางจอ LCD

กรณีที่ 3 โหลดที่เป็นตัวเก็บประจุ(C)

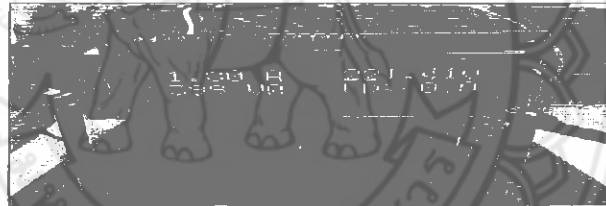
ในการคำนวณตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจะใช้สัญญาณที่ได้จากวงจรซีโรคลอสซึ่งมาคำนวณจากรูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณจากวงจรซีโรคลอสซึ่ง ในการคำนวณตัวประกอบกำลังไฟฟ้านั้นจะทำการหาความต่างของมุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแสที่ขอบขาขึ้นของกราฟทั้งสอง จากรูปค่าที่ได้คือ ΔT มีค่าเท่ากับ 4.45 ms เมื่อได้ค่า ΔT แล้วนำไปแทนในสมการที่ (4.2) เมื่อได้ค่ามุมออกมาจะนำค่ามุมไปหาค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยแทนลงในสมการที่ (4.3) ได้ค่าตัวประกอบกำลังออกมาเนื่องจากโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำจึงมีมุมเฟสต่างกันที่ 90 องศา ทำให้ได้ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าเท่ากับ 0



รูปที่ 4.10 สัญญาณไซน์ของตัวเก็บประจุ (C)



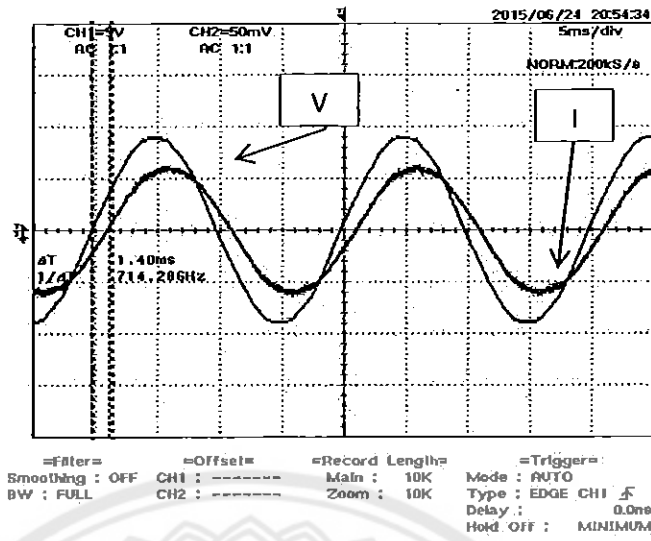
รูปที่ 4.11 สัญญาณจากวงจรซีโรครอสซิงของตัวเก็บประจุ (C)



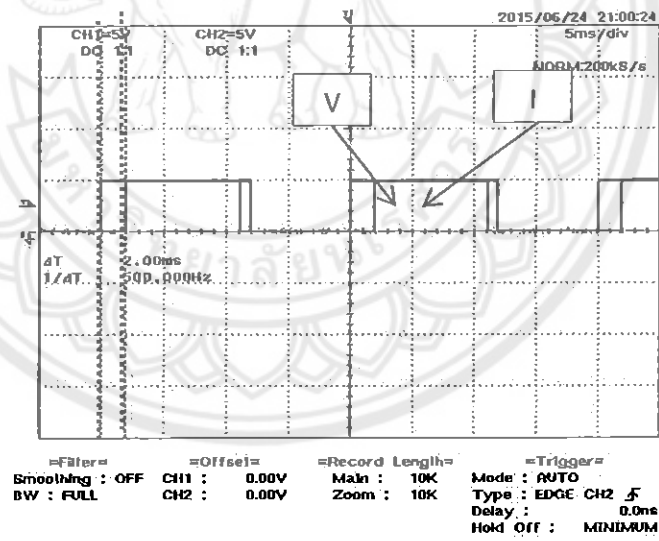
รูปที่ 4.12 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่แสดงผลออกทางจอ LCD

กรณีที่ 4 โหลดชนิดตัวต้านทานต่อขนานกับตัวเหนี่ยวนำ (RL)

ในการคำนวณตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจะใช้สัญญาณที่ได้จากวงจรซีโรครอสซิงมาคำนวณ จากรูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณจากวงจรซีโรครอสซิง ในการคำนวณตัวประกอบกำลังไฟฟ้านั้นจะทำการหาความต่างของมุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแสที่ขอบขาขึ้นของกราฟทั้งสอง จากรูปค่าที่ได้คือ ΔT มีค่าเท่ากับ 2 ms เมื่อได้ค่า ΔT แล้วนำไปแทนในสมการที่ (4.2) เมื่อได้ค่ามุมออกมาจะนำค่ามุมไปหาค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยแทนลงในสมการที่ (4.3) จะได้ค่าตัวประกอบกำลังออกมาเนื่องจากโหลดเป็นตัวต้านทานต่อกับตัวเหนี่ยวนำค่าตัวประกอบกำลังมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.81



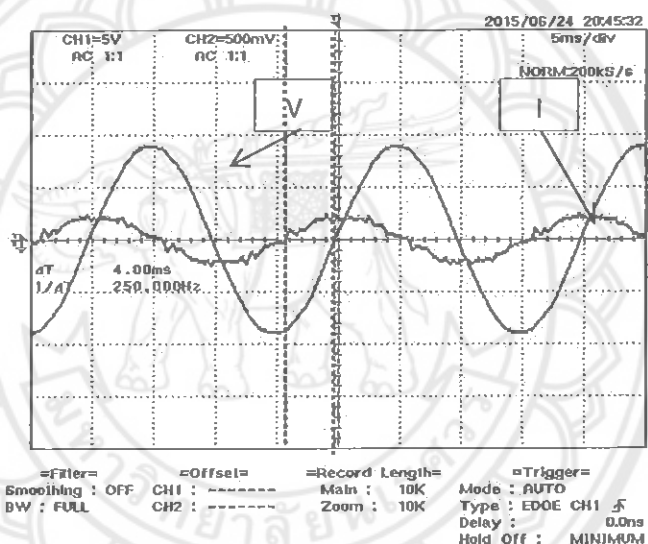
รูปที่ 4.13 สัญญาณไซน์ของตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ (RL)



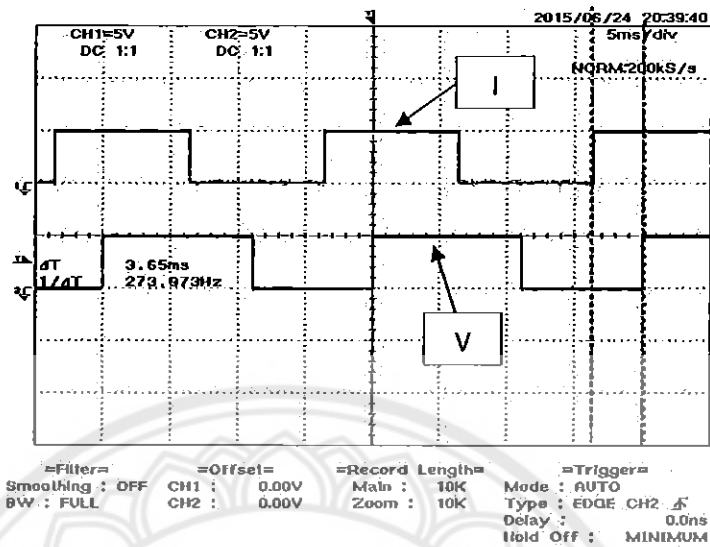
รูปที่ 4.14 สัญญาณจากวงจรซีโรครอสซิงของตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ (RL)

กรณีที่ 5 โหลดชนิดตัวต้านทานต่อขนานกับตัวเก็บประจุ

ในการคำนวณตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจะใช้สัญญาณที่ได้จากวงจรซีโรคลอสซึ่งมาคำนวณจากรูปที่ 4.16 แสดงสัญญาณจากวงจรซีโรคลอสซึ่ง ในการคำนวณตัวประกอบกำลังไฟฟ้านั้นจะทำการหาความต่างของมุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแสที่ขอบขาขึ้นของกราฟทั้งสอง จากรูปค่าที่ได้คือ ΔT มีค่าเท่ากับ 3.65 ms เมื่อได้ค่า ΔT แล้วนำไปแทนในสมการที่ (4.2) เมื่อได้ค่ามุมออกมาจะนำค่ามุมไปหาค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยแทนลงในสมการที่ (4.3) จะได้ค่าตัวประกอบกำลังออกมาเนื่องจากโหลดเป็นตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุทำให้ได้ค่าตัวประกอบกำลังอยู่ที่ประมาณ 0.59



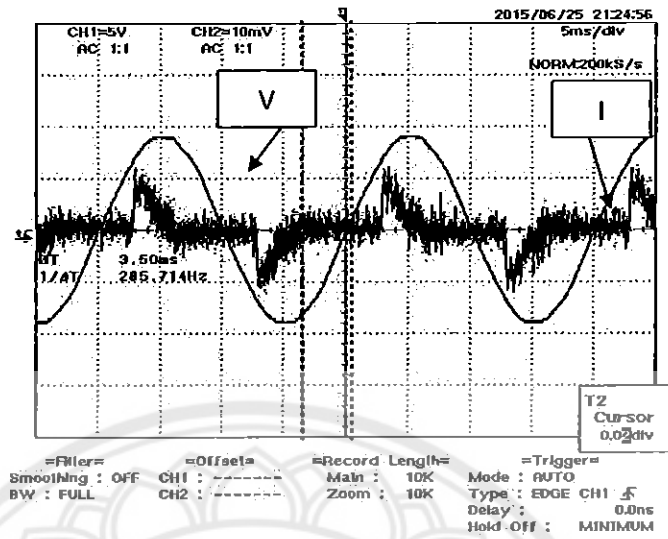
รูปที่ 4.15 สัญญาณไซน์ของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ (RC)



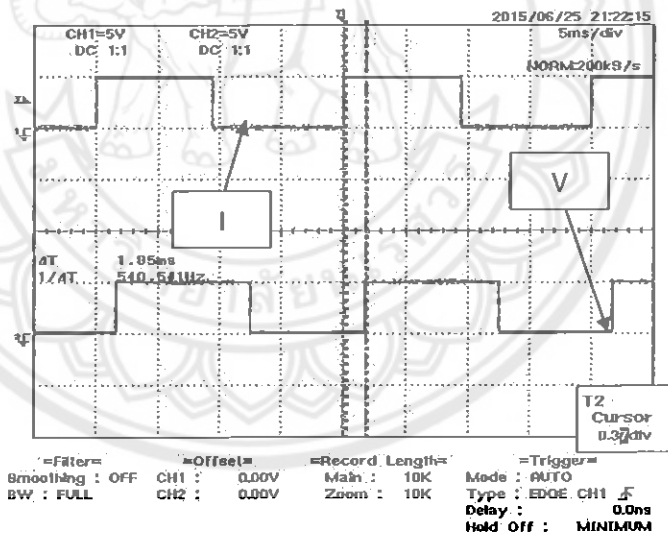
รูปที่ 4.16 สัญญาณจากวงจรซีโรครอสซิงของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ(RC)

กรณีที่ 6 โหลดชนิดฮาร์มอนิกส์

ในการคำนวณตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจะใช้สัญญาณที่ได้จากวงจรซีโรครอสซิงมาคำนวณ จากรูปที่ 4.18 แสดงสัญญาณจากวงจรซีโรครอสซิง ในการคำนวณตัวประกอบกำลังไฟฟ้านั้นจะทำการหาความต่างของมุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแสที่ขอบขาขึ้นของกราฟทั้งสอง จากรูปค่าที่ได้คือ ΔT มีค่าเท่ากับ 1.85 ms เมื่อได้ค่า ΔT แล้วนำไปแทนในสมการที่ (4.2) เมื่อได้ค่ามุมออกมาจะนำค่ามุมไปหาค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยแทนลงในสมการที่ (4.3) จะได้ค่าตัวประกอบกำลังออกมาเท่ากับ 0.45 เนื่องจากเป็นโหลดฮาร์มอนิกส์จึงมีค่าความคลาดเคลื่อนมากจึงทำให้ในการวัดโหลดประเภทฮาร์มอนิกส์จึงยังไม่สามารถวัดค่าได้



รูปที่ 4.17 สัญญาณไซน์ของโหลดฮาร์มอนิกส์



รูปที่ 4.18 สัญญาณจากวงจรซีโรครอสซิงของโหลดฮาร์มอนิกส์

4.4 วิเคราะห์ผลการทดลองค่าตัวประกอบกำลังที่อ่านค่าจากกราฟ

จากตารางที่ 4.2 คือการแสดงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่อ่านค่าจากกราฟไซน์ กราฟซี โรครอสซิ่ง และค่าที่อ่านได้จากจอ LCD จะเห็นได้ว่าโหลด R L และ C นั้นจะมีค่าตัวประกอบกำลังที่ใกล้เคียงกันแต่โหลดฮาร์มอนิกส์นั้นมีค่าที่ห่างกันมากเนื่องจากสัญญาณจากกราฟไซน์ของโหลดฮาร์มอนิกส์นั้นมีความเพี้ยนสูงจึงทำให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านค่า

ตารางที่ 4.2แสดงค่าตัวประกอบกำลังที่อ่านค่าได้จากกราฟ

ชนิด โหลด	ค่าตัวประกอบ กำลังไฟฟ้า จากกราฟไซน์	ค่าตัวประกอบ กำลังไฟฟ้าจาก กราฟซีโรครอสซิ่ง	ค่าตัวประกอบ กำลังไฟฟ้าจาก เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น	ค่าตัวประกอบ กำลังไฟฟ้าจาก เครื่องมืออ้างอิง
R	1.00(อินเฟส)	1.00	1.00	1.00
L	0.00(ตามหลัง)	0.01	0.00	0.00
C	0.00(ตามหลัง)	0.17	0.00	0.00
RL	0.90(ตามหลัง)	0.81	0.81	0.90
RC	0.31(นำหน้า)	0.41	0.59	0.45
ฮาร์มอ นิกส์	0.45(นำหน้า)	0.60	0.31	0.41

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้าต่างๆ เช่น แรงดัน กระแส ค่าตัวประกอบกำลัง และ กำลังไฟฟ้าปรากฏ ของโหลด ความต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ ที่แรงดันไฟฟ้า 230 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ ขนาดกระแสไม่เกิน 10 แอมป์ โดยเปรียบเทียบกับเครื่อง Power Quality Analyzer ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบและอ้างอิง เมื่อพิจารณาผลการทดลองพบว่า

ค่ากระแสจากผลการทดลองจะมีความแตกต่างกันออกไป โดยจะขึ้นอยู่กับโหลดที่นำมาต่อ ซึ่งค่ากระแสที่อ่านค่าได้จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นนั้นมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดอ้างอิงมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนประมาณ ± 5 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากเกิดผลผิดพลาดของการอ่านค่าของบอร์ด Arduino และสัญญาณจาก หม้อแปลงกระแส แรงดัน โดยที่กระแสมีค่าน้อยสัญญาณรบกวนก็จะยิ่งมากทำให้ การอ่านค่าของ บอร์ด Arduino อ่านค่าผิดพลาดทำให้ความแม่นยำลดน้อยลง

ค่าแรงดัน โดยที่ค่าแรงดัน ไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านเรือนทั่วไปที่ทางการ ไฟฟ้าส่วนภูมิภาคส่งมาระดับแรงดันจะอยู่ที่ 220-230 โวลต์ ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ระดับแรงดันจะอยู่ที่ 219-225 โวลต์ ค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าแรงดันที่วัดได้ออกมานั้น ไม่ใช่ค่าที่วัดได้โดยตรงแต่จะเป็นค่าแรงดันที่ได้จากการเปรียบเทียบและคำนวณค่าจากบอร์ด Arduino อาจเกิดความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย

ค่าตัวประกอบกำลังจะขึ้นอยู่กับค่ากระแสและแรงดัน โดยที่ค่าแรงดันจะได้มาจากการหม้อแปลงแรงดันจาก 230 โวลต์มาเป็น 6 โวลต์ ส่วนค่ากระแสนั้นจะใช้ CT เป็นตัววัดค่าที่ได้ออกมานั้นจะเป็นแรงดันที่ตกคร่อมเบอร์เดน และนำปริมาณแรงดันและกระแสที่ได้ นั้นเข้ากับวงจรซีโรครอสซึ่งเพื่อทำการแปลงสัญญาณเพื่อเข้าบอร์ด Arduino ทำการคำนวณค่าตัวประกอบกำลังออกมามาจากผลการทดลองนั้นจะเห็นได้ว่า โหลดตัวต้านทานมีค่าตัวประกอบกำลังอยู่ที่ 1 ซึ่งสัญญาณแรงดันและกระแสนั้นจะมีมุมเฟสตรงกันเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิงแล้วไม่มีความคลาดเคลื่อน โหลดชนิดตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุจะมีค่าตัวประกอบกำลังที่วัดจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นมีค่าเท่ากับ 0 และ โหลดตัวต้านทานและตัวเก็บประจุมีค่าตัวประกอบกำลัง

อยู่ที่วัดจากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.59 และค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดมีค่าเท่ากับ 0.45 มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 31.11 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากเนื่องจากบอร์ด Arduino ไม่สามารถเปรียบเทียบความต่างเฟสของสัญญาณกระแสและแรงดันที่เป็นจุดทศนิยม เช่น ความต่างเฟสที่วัดเท่ากับ 2.5 แต่เมื่อบอร์ด Arduino อ่านค่าจะอ่านค่าได้สองค่าคือ 2 กับ 3 จึงทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดค่าเล็กน้อยทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนมาก เช่นเดียวกับโหลดตัวต้านทานกับตัวเหนี่ยวนำ ส่วนโหลดฮาร์มอนิกสื่อนั้นเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นนั้นไม่สามารถทำการวัดค่าได้เนื่องจากสัญญาณกระแสที่เป็นสัญญาณไซน์ของโหลดฮาร์มอนิกสื่อนั้นมีความเพี้ยนเมื่อสัญญาณไซน์ผ่านวงจรซีโรครอสซึ่งจึงทำให้จุดตัดแกนศูนย์ของวงจรซีโรครอสซึ่งเพี้ยนไปด้วยจึงทำให้บอร์ด Arduino จำนวนหาค่าแล้วทำให้เกิดความเพี้ยนจึงทำให้ไม่สามารถวัดโหลดที่เป็นฮาร์มอนิกส์ได้

5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

1. ในการเปิดเครื่องช่วงแรกค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดจะแสดงค่าที่ยังไม่นิ่งต้องรอประมาณ 5 วินาที เครื่องมือวัดจึงจะแสดงค่าที่นิ่งและถูกต้อง ซึ่งกรณีนี้ต้องแก้ไขโดยการเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีรอบการประมวลผลที่ไวขึ้น
2. ในการใช้หม้อแปลงร่วมกันทั้งวงจรบริดจ์และวงจรซีโรครอสซึ่งนั้นจะทำให้รูปสัญญาณไซน์ของหม้อแปลงไฟฟ้ามีความเพี้ยนเล็กน้อยเนื่องจากความอึดตัวในแกนเหล็ก ซึ่งมีวิธีการแก้ไขโดยการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแยกวงจรละหนึ่งตัว แต่จะทำให้สิ้นเปลืองจำนวนหม้อแปลงไฟฟ้า

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

จากเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นในโครงการนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาและเป็นแนวทางในการต่อยอด โดยอาจจะออกแบบให้เครื่องมือวัดสามารถเก็บบันทึกค่าที่วัดได้ ออกแบบให้สามารถวัดตัวประกอบกำลังที่เป็นโหลดฮาร์มอนิกส์ได้ ออกแบบให้เครื่องมือวัดสามารถวัดได้ที่มีแรงดันสูงๆและสามารถวัดได้ที่มีกระแสสูงๆ และสามารถนำไปเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องมือวัดปริมาณไฟฟ้าแบบ 3 เฟส ในโรงงานอุตสาหกรรม หรืออาจจะทำเป็นแบบ Data logger เป็นการเก็บข้อมูลที่วัดได้จากเครื่องมือวัด อาจจะแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟ หรือ รูปแบบของตารางข้อมูล ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.ee.mut.ac.th/> โดย ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร เรื่อง ออปแอมป์ [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.ee.mut.ac.th/course/eecc0210/eecc0210/lab/lab_c1_3.pdf
- [2] <http://www.thaieasyelec.com/> โดย บริษัท วินัส ซัพพลาย เรื่อง การใช้งาน Current Sensors [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/review-product-article/>
- [3] <https://www.arduino.cc/> โดย บริษัท arduino.cc เรื่อง LiquidCrystal [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/LiquidCrystal>
- [4] <https://www.arduino.cc/> โดย บริษัท arduino.cc เรื่อง attachInterrupt() [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <https://www.arduino.cc/en/Reference/AttachInterrupt>
- [5] <https://www.arduino.cc/> โดย บริษัท arduino.cc เรื่อง cos(rad) [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <https://www.arduino.cc/en/Reference/Cos>




```

//ประกาศตัวแปร

#include <LiquidCrystal.h> //รายละเอียดได้ที่ LiquidCrystal.h ห้ายโปรแกรม

int myfiles,timeV,timeI,Deltatime=0;

double PF=0;

int sensorValue;

double sampleI,filteredI,sqI,sumI,offsetII;

double offsetI=512;

float voltage;

float t;

int P;

int sensorPin = A1; //กำหนดขาเข้าสู่สัญญาณอินพุตของ แรงดัน
double inPinI= A0; //กำหนดขาเข้าสู่สัญญาณอินพุตของ กระแส
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 7, 6); //กำหนดขาของ LCD

```

```

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  lcd.begin(16, 2); //กำหนดการใช้บรรทัดและช่องตัวอักษรของ LCD

  attachInterrupt(0, blinkV, RISING); //รับค่าสัญญาณ Interrupt ของแรงดัน
  attachInterrupt(1, blinkI, RISING); //รับค่าสัญญาณ Interrupt ของกระแส
}

```

```

void loop()
{
    //การคำนวณหาค่ากระแส
    for (unsigned int n = 0; n <2000 ; n++)
        {sampleI = analogRead(inPinI);
        offsetII = offsetI + ((sampleI-offsetI)/1024);
        filteredI = sampleI - offsetII;
        sqI = filteredI * filteredI;
        sumI += sqI;}

    lcd.setCursor(0, 0);
    double I_RATIO = 0.0515;
    double Irms = I_RATIO * sqrt(sumI/2000);
    Serial.print(Irms);
    Serial.println(" A");
    lcd.print(Irms);
    lcd.print(" A ");
    sumI = 0;
}

// การคำนวณหาค่าแรงดัน
sensorValue = analogRead(sensorPin);
voltage= sensorValue * (5.0 / 1024.0);
t=voltage*(230/3.50);
Serial.print(t );
Serial.println("v");
lcd.setCursor(9, 0);
lcd.print(t);
lcd.print("v");

```

```
// การคำนวณหาค่ากำลังปรากฏ
```

```
P=t*Irms;
```

```
Serial.print(P );
```

```
Serial.println("VA");
```

```
lcd.setCursor(0, 1);
```

```
lcd.print(P);
```

```
lcd.print(" VA ");
```

```
// การคำนวณหาค่าตัวประกอบทางไฟฟ้า
```

```
if (myfiles==1)
```

```
{Deltatime=timeI-timeV;
```

```
if(abs(Deltatime)<=5)
```

```
{
```

```
//กรณีที่โหนดอยู่ในสถานะ ถ้าหลัง ค่ามากที่สุดคือ 5 ms
```

```
if(Deltatime>0)
```

```
{Serial.print("Time: ");
```

```
Serial.println(Deltatime);
```

```
PF=cos((((Deltatime*360)/20)*3.142)/180);
```

```
Serial.print("LG: ");
```

```
Serial.println(PF);
```

```
lcd.setCursor(9, 1);
```

```
lcd.print("LG:");
```

```
lcd.print(PF);}
```

//กรณีที่โหนดอยู่ในสถานะ นำหน้า ค่ามากที่สุดคือ -5 ms

```
else if(Deltatime<0)
    {Serial.print("Time: ");
    Serial.println(Deltatime);
    PF=cos((((Deltatime*360)/20)*3.142)/180);
    Serial.print("LD:");
    Serial.println(PF);
    lcd.setCursor(9, 1);
    lcd.print("LD:");
    lcd.print(PF);}
```

//กรณีที่โหนดอยู่ใน เฟสตรงกัน มีค่าเท่ากับ 0 ms

```
else
    {Serial.print("Time: ");
    Serial.println(Deltatime);
    PF=cos((((Deltatime*360)/20)*3.142)/180);
    Serial.print("IN: ");
    Serial.println(PF);
    lcd.setCursor(9, 1);
    lcd.print("IN: ");
    lcd.print(PF);}
```

}//สิ้นสุดของการทำงานของ if(abs(Deltatime)<=5)

myfles=0;

}//สิ้นสุดของการทำงานของ if (myfles==1)

delay(2000);} //แสดงค่าทุกๆ 2 วินาที

```
// ค้างเวลาของ แรงค์ัน
```

```
void blinkI()
```

```
{timeI=millis();myfles=1;}
```

```
// ค้างเวลาของ กระแส
```

```
void blinkV()
```

```
{timeV=millis();myfles=1;}
```

```
//รายละเอียด ที่ LiquidCrystal.h
```

```
#ifndef LiquidCrystal_h
```

```
#define LiquidCrystal_h
```

```
#include <inttypes.h>
```

```
#include "Print.h"
```

```
// commands
```

```
#define LCD_CLEARDISPLAY 0x01
```

```
#define LCD_RETURNHOME 0x02
```

```
#define LCD_ENTRYMODESET 0x04
```

```
#define LCD_DISPLAYCONTROL 0x08
```

```
#define LCD_CURSORSHIFT 0x10
```

```
#define LCD_FUNCTIONSET 0x20
```

```
#define LCD_SETCGRAMADDR 0x40
```

```
#define LCD_SETDDRAMADDR 0x80
```

```
// flags for display entry mode
```

```
#define LCD_ENTRYRIGHT 0x00
```

```
#define LCD_ENTRYLEFT 0x02
```

```
#define LCD_ENTRYSHIFTINCREMENT 0x01
```

```

#define LCD_ENTRYSHIFTDECREMENT 0x00

// flags for display on/off control

#define LCD_DISPLAYON 0x04

#define LCD_DISPLAYOFF 0x00

#define LCD_CURSORON 0x02

#define LCD_CURSOROFF 0x00

#define LCD_BLINKON 0x01

#define LCD_BLINKOFF 0x00

// flags for display/cursor shift

#define LCD_DISPLAYMOVE 0x08

#define LCD_CURSORMOVE 0x00

#define LCD_MOVERIGHT 0x04

#define LCD_MOVELEFT 0x00

// flags for function set

#define LCD_8BITMODE 0x10

#define LCD_4BITMODE 0x00

#define LCD_2LINE 0x08

#define LCD_1LINE 0x00

#define LCD_5x10DOTS 0x04

#define LCD_5x8DOTS 0x00

class LiquidCrystal : public Print {
public:
    LiquidCrystal(uint8_t rs, uint8_t enable,
                 uint8_t d0, uint8_t d1, uint8_t d2, uint8_t d3,
                 uint8_t d4, uint8_t d5, uint8_t d6, uint8_t d7);

    LiquidCrystal(uint8_t rs, uint8_t rw, uint8_t enable,
                 uint8_t d0, uint8_t d1, uint8_t d2, uint8_t d3,
                 uint8_t d4, uint8_t d5, uint8_t d6, uint8_t d7);

```

```
LiquidCrystal(uint8_t rs, uint8_t rw, uint8_t enable,
              uint8_t d0, uint8_t d1, uint8_t d2, uint8_t d3);

LiquidCrystal(uint8_t rs, uint8_t enable,
              uint8_t d0, uint8_t d1, uint8_t d2, uint8_t d3);

void init(uint8_t fourbitmode, uint8_t rs, uint8_t rw, uint8_t enable,
          uint8_t d0, uint8_t d1, uint8_t d2, uint8_t d3,
          uint8_t d4, uint8_t d5, uint8_t d6, uint8_t d7);

void begin(uint8_t cols, uint8_t rows, uint8_t charsize = LCD_5x8DOTS);

void clear();

void home();

void noDisplay();

void display();

void noBlink();

void blink();

void noCursor();

void cursor();

void scrollDisplayLeft();

void scrollDisplayRight();

void leftToRight();

void rightToLeft();

void autoscroll();

void noAutoscroll();

void createChar(uint8_t, uint8_t[]);

void setCursor(uint8_t, uint8_t);

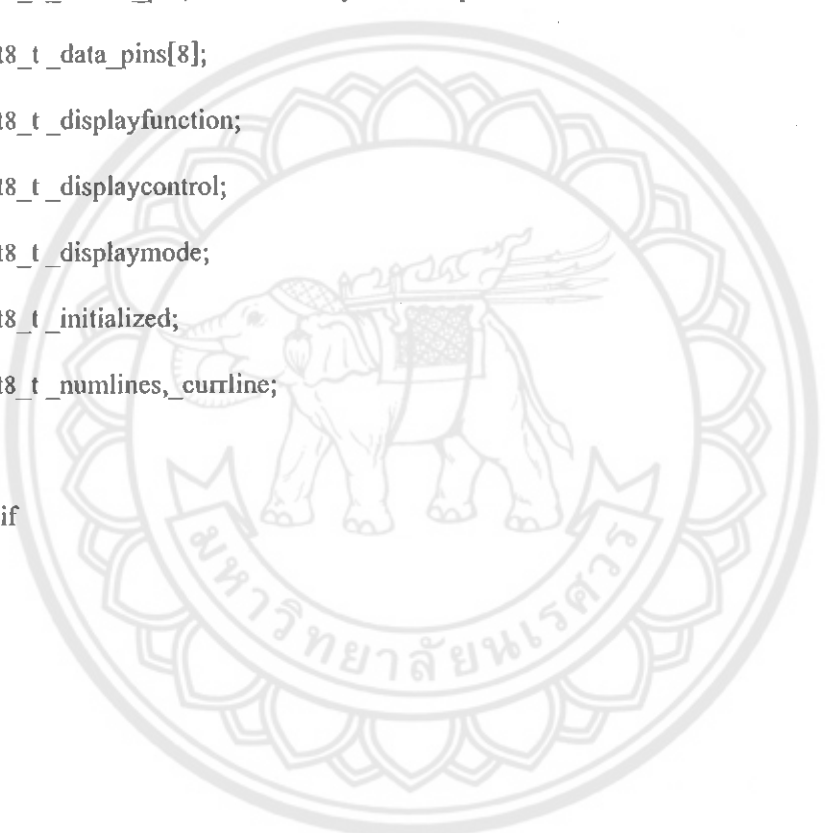
virtual size_t write(uint8_t);

void command(uint8_t);

using Print::write;

private:
```

```
void send(uint8_t, uint8_t);  
  
void write4bits(uint8_t);  
  
void write8bits(uint8_t);  
  
void pulseEnable();  
  
uint8_t _rs_pin; // LOW: command. HIGH: character.  
  
uint8_t _rw_pin; // LOW: write to LCD. HIGH: read from LCD.  
  
uint8_t _enable_pin; // activated by a HIGH pulse.  
  
uint8_t _data_pins[8];  
  
uint8_t _displayfunction;  
  
uint8_t _displaycontrol;  
  
uint8_t _displaymode;  
  
uint8_t _initialized;  
  
uint8_t _numlines, _curline;  
  
};  
#endif
```





FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR*

www.fairchildsemi.com

LM311

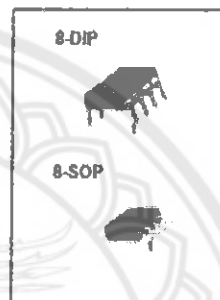
Single Comparator

Features

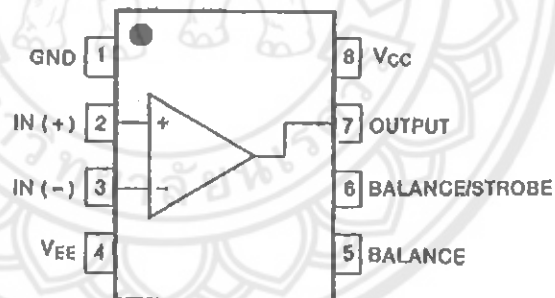
- Low input bias current : 250nA (Max)
- Low input offset current : 50nA (Max)
- Differential Input Voltage : $\pm 30V$
- Power supply voltage : single 5.0V supply to $\pm 15V$.
- Offset voltage null capability.
- Strobe capability.

Description

The LM311 series is a monolithic, low input current voltage comparator. The device is also designed to operate from dual or single supply voltage.



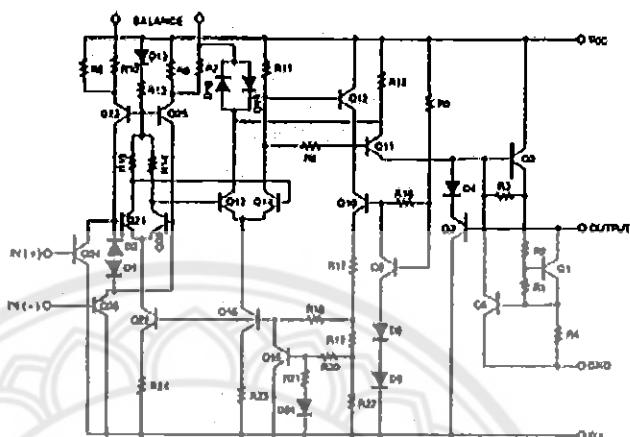
Internal Block Diagram



Rev. 1.0.1

LM311

Schematic Diagram



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Total Supply Voltage	VCC	36	V
Output to Negative Supply Voltage LM311	VO - VEE	40	V
Ground to Negative voltage	VEE	-30	V
Differential Input Voltage	VI(DIFF)	30	V
Input Voltage	VI	±15	V
Output Short Circuit Duration	-	10	sec
Power Dissipation	PD	500	mW
Operating Temperature Range	TOPR	0 ~ +70	°C
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ +150	°C

Electrical Characteristics

(VCC = 15V, TA = 25°C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input Offset Voltage	V _{IO}	R _S ≤ 50KΩ	-	1.0	7.5	mV
			Note 1	-	10	
Input Offset Current	I _{IO}		-	6	50	nA
			Note 1	-	70	
Input Bias Current	I _{BIAS}		-	100	250	nA
			Note 1	-	300	
Voltage Gain	G _V	-	40	200	-	V/mV
Response Time	T _{RES}	Note 2	-	200	-	ns
Saturation Voltage	V _{SAT}	I _O = 50mA, V _I ≤ -10mV	-	0.76	1.6	V
		V _{CC} ≥ 4.5V, V _{EE} = 0V I _O = 8mA, V _I ≤ -10mV, Note 1	-	0.23	0.4	
Strobe "ON" Current	I _{STR(ON)}	-	-	3	-	mA
Output Leakage Current	I _{SNK}	I _{STR} = 3mA, V _I ≥ 10mV V _O = 15V, V _{CC} = ±15V	-	0.2	50	nA
Input Voltage Range	V _{I(R)}	Note 1	-14.5 to 13.0	-14.7 to 13.8	-	V
Positive Supply Current	I _{CC}	-	-	3.0	7.5	mA
Negative Supply Current	I _{EE}	-	-	-2.2	-5.0	mA
Strobe Current	I _{STR}	-	-	3	-	mA

Notes :1. 0 ≤ T_A ≤ +70°C

2. The response time specified is for a 100mV input step with 5mV over drive.

LM311

Typical Performance Characteristics

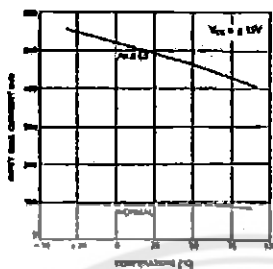


Figure 1. Input Bias Current vs Temperature

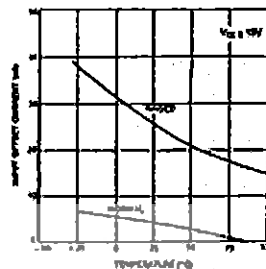


Figure 2. Input Offset Current vs Temperature



Figure 3. Offset Voltage vs Input Resistance

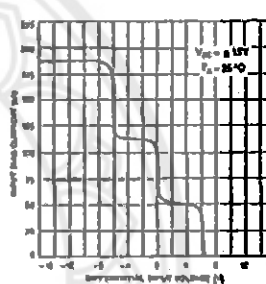


Figure 4. Input Bias Current vs Differential Input Voltage

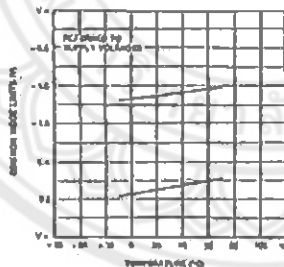


Figure 5. Common Mode Limits vs Temperature

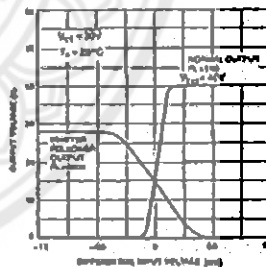


Figure 6. Output Voltage vs Differential Input Voltage

Typical Performance Characteristics (continued)

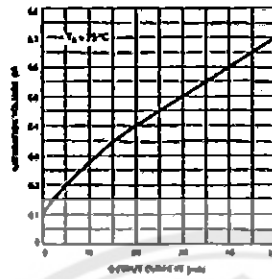


Figure 7. Saturation voltage vs Current

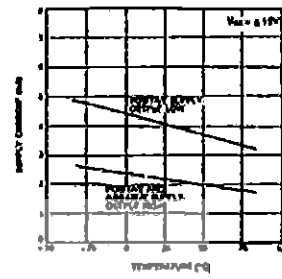


Figure 8. Supply Current vs Temperature

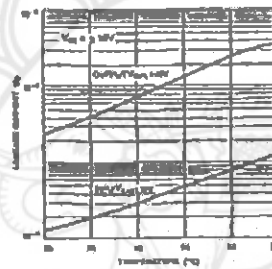


Figure 9. Leakage Current vs Temperature

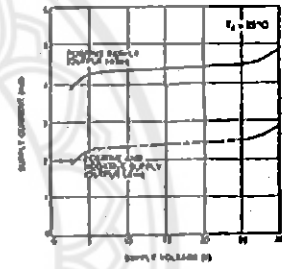


Figure 10. Supply Current vs Supply Voltage

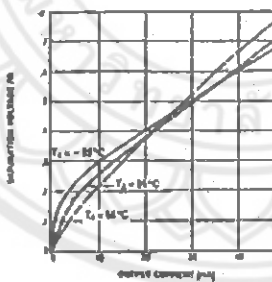


Figure 11. Current Saturation Voltage

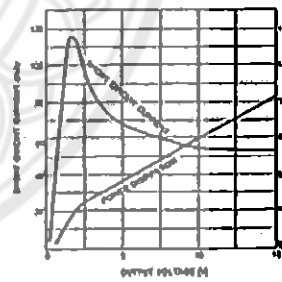


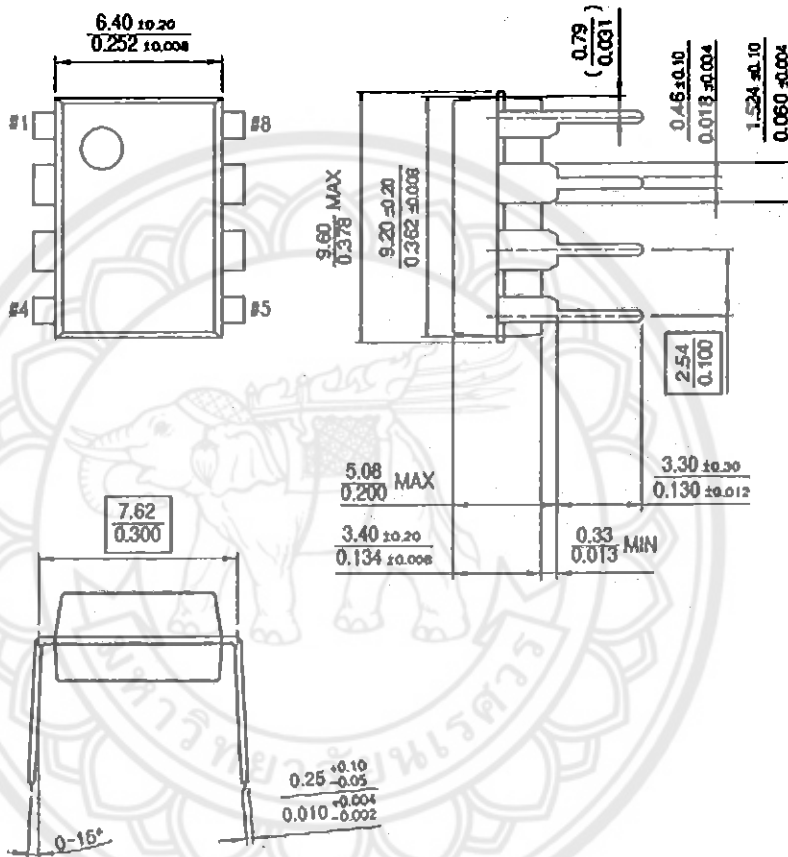
Figure 12. Output Limiting Characteristics

LM311

Mechanical Dimensions

Package

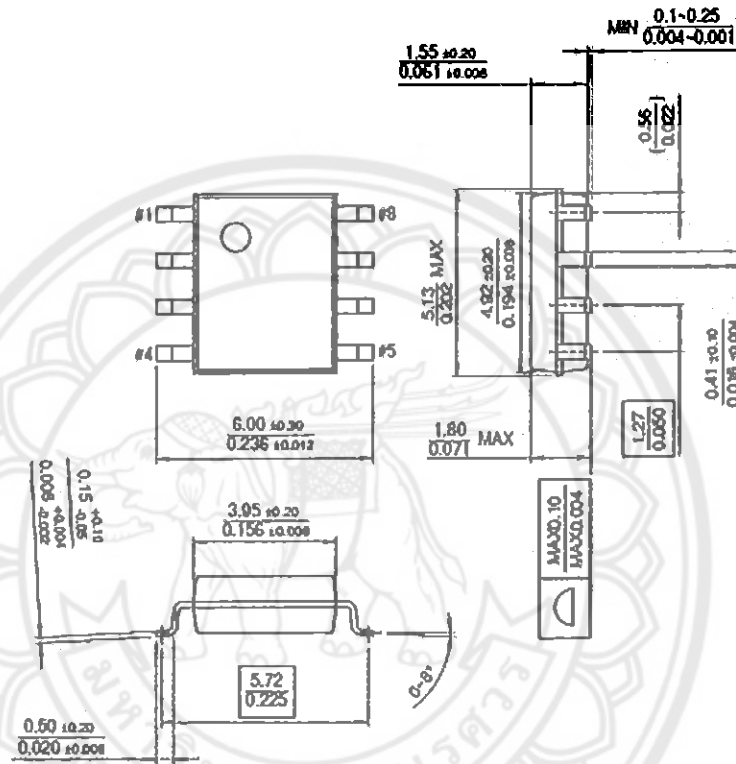
8-DIP



Mechanical Dimensions (Continued)

Package

8-SOP





LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N
SH088731—JANUARY 2000—REVISED DECEMBER 2014

LMx58-N Low-Power, Dual-Operational Amplifiers

1 Features

- Available in 8-Bump DSBGA Chip-Sized Package, (See AN-1112, SNVA009)
- Internally Frequency Compensated for Unity Gain
- Large DC Voltage Gain: 100 dB
- Wide Bandwidth (Unity Gain): 1 MHz (Temperature Compensated)
- Wide Power Supply Range:
 - Single Supply: 3V to 32V
 - Or Dual Supplies: $\pm 1.5V$ to $\pm 16V$
- Very Low Supply Current Drain (500 μA)—Essentially Independent of Supply Voltage
- Low Input Offset Voltage: 2 mV
- Input Common-Mode Voltage Range Includes Ground
- Differential Input Voltage Range Equal to the Power Supply Voltage
- Large Output Voltage Swing
- Unique Characteristics:
 - In the Linear Mode the Input Common-Mode Voltage Range Includes Ground and the Output Voltage Can Also Swing to Ground, even though Operated from Only a Single Power Supply Voltage.
 - The Unity Gain Cross Frequency is Temperature Compensated.
 - The Input Bias Current is also Temperature Compensated.
- Advantages:
 - Two Internally Compensated Op Amps
 - Eliminates Need for Dual Supplies
 - Allows Direct Sensing Near GND and V_{out} Also Goes to GND
 - Compatible with All Forms of Logic
 - Power Drain Suitable for Battery Operation

2 Applications

- Active Filters
- General Signal Conditioning and Amplification
- 4- to 20-mA Current Loop Transmitters

3 Description

The LM158 series consists of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op-amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM158 series can be directly operated off of the standard 3.3-V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional $\pm 15V$ power supplies.

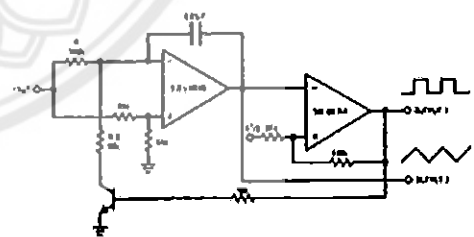
The LM358 and LM2904 are available in a chip sized package (8-Bump DSBGA) using TI's DSBGA package technology.

Device Information⁽¹⁾

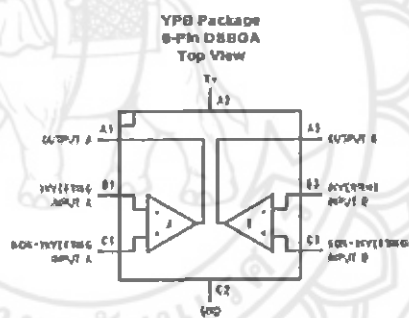
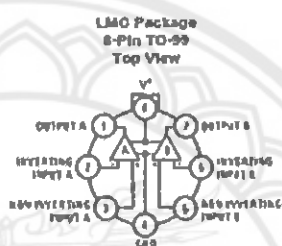
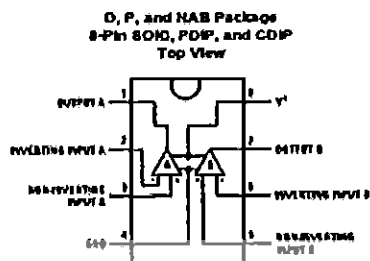
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM158-N	TO-CAN (8)	9.04 mm x 9.09 mm
	COIP (8)	10.16 mm x 6.502 mm
LM258-N	TO-CAN (8)	9.04 mm x 9.09 mm
	DSBGA (8)	1.31 mm x 1.31 mm
LM2904-N	SOIC (8)	4.90 mm x 3.91 mm
	POIP (8)	9.81 mm x 6.35 mm
	TO-CAN (8)	9.04 mm x 9.09 mm
LM358-N	DSBGA (8)	1.31 mm x 1.31 mm
	SOIC (8)	4.90 mm x 3.91 mm
	POIP (8)	9.81 mm x 6.35 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

Voltage Controlled Oscillator (VCO)



5 Pin Configuration and Functions



Pin Functions

DIPLMO NO.	DSBGA NO.	NAME	TYPE	DESCRIPTION
1	A1	OUTA	O	Output, Channel A
2	B1	-INA	I	Inverting Input, Channel A
3	C1	+INA	I	Non-Inverting Input, Channel A
4	C2	GND / V-	P	Ground for single supply configurations, negative supply for dual supply configurations
5	C3	+NB	I	Output, Channel B
6	B3	-NB	I	Inverting Input, Channel B
7	A3	OUTB	O	Non-Inverting Input, Channel B
8	A2	V+	P	Positive Supply



LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N

SNOSB131 – JANUARY 2000 – REVISED DECEMBER 2014

www.ti.com

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings

See Table 6-1.

	LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N		LM258-N		UNIT		
	MIN	MAX	MIN	MAX			
Supply Voltage, V^+		32		26	V		
Differential Input Voltage		32		26	V		
Input Voltage	-0.3	32	-0.3	26	V		
Power Dissipation ⁽¹⁾	PDIP (P)	630		630	mW		
	TO-99 (LMC)		630		mW		
	SOIC (D)		630		mW		
	DSBGA (YFB)		435		mW		
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) ⁽²⁾	$V^+ \leq 15$ V and $T_A = 25^\circ\text{C}$		Continuous				
Input Current ($V_{IN} < -0.3$ V) ⁽³⁾		50		50	mA		
Temperature		-55		125	$^\circ\text{C}$		
	PDIP Package (P): Soldering (10 seconds)		260		200	$^\circ\text{C}$	
		SOIC Package (D)	Vapor Phase (60 seconds)	215		215	$^\circ\text{C}$
	Infrared (15 seconds)		220		220	$^\circ\text{C}$	
Lead Temperature	PDIP (P): Soldering, 10 seconds		260		200	$^\circ\text{C}$	
	TO-99 (LMC): Soldering, 10 seconds		300		300	$^\circ\text{C}$	
Storage temperature, T_{STG}		-65	150		-65	150	$^\circ\text{C}$

- (1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Recommended Operating Conditions indicate conditions for which the device is intended to be functional, but specific performance is not assured. For ensured specifications and the test conditions, see the Electrical Characteristics.
- (2) Refer to RETS166AX for LM158A military specifications and to RETS166X for LM158 military specifications.
- (3) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the TI Sales Office/Distributor for availability and specifications.
- (4) For operating at high temperatures, the LM358/LM358A, LM2904 must be derated based on a 125°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 120°C/W for PDIP, 182°C/W for TO-99, 189°C/W for SOIC package, and 230°C/W for DSBGA, which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM258/LM258A and LM158/LM158A can be derated based on a $+150^\circ\text{C}$ maximum junction temperature. The dissipation is the total of both amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.
- (5) Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V^+ . All values of supply voltage in excess of +15 V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.
- (6) This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the V^+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than -0.3 V (at 25°C).

6.2 ESD Ratings

	VALUE	UNIT	
V_{ESD} Electrostatic discharge	Human-body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC J8-001 ⁽¹⁾	2500	V

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.



www.ti.com

LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N
SNO887B – JANUARY 2000 – REVISED DECEMBER 2014

6.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	MIN	MAX	UNIT
Supply Voltage ($V^+ - V^-$): LM158, LM258, LM358	3 (±1.5)	32 (±10)	V
Supply Voltage ($V^+ - V^-$): LM2904	3 (±1.0)	26 (±13)	V
Operating Temperature: LM158	-55	125	°C
Operating Temperature: LM258	-25	85	°C
Operating Temperature: LM358	0	70	°C
Operating Temperature: LM2904	-40	85	°C

6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾	LM158A	LM258A	LM2904-N	LM158-N	LM258-N	UNIT
	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX
$R_{\theta JA}$ Junction-to-ambient thermal resistance	155	132	230	159	120	°C/W

(1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *IC Package Thermal Metrics* application report, SPRA953.

6.5 Electrical Characteristics: LM158A, LM358A, LM158, LM258

 $V^- = +5.0\text{ V}$. See⁽¹⁾, unless otherwise stated

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM158A		LM358A		LM158, LM258		UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	$I_{in}^{(2)}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	1	2	2	3	2	5	mV
Input Bias Current	I_{B1} or I_{B2} , $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CM} = 0\text{ V}$, ⁽³⁾	20	50	45	100	45	150	nA
Input Offset Current	$I_{B1} - I_{B2}$, $V_{CM} = 0\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	2	10	5	30	3	30	nA
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 10\text{ V}$, ⁽⁴⁾ (LM2904, $V^+ = 26\text{ V}$), $T_A = 25^\circ\text{C}$	0	$V^- - 1.5$	0	$V^- - 1.5$	0	$V^- - 1.5$	V
Supply Current	Over Full Temperature Range							
	$R_L = \infty$ on All Op Amps							
	$V^+ = 30\text{ V}$ (LM2904 $V^+ = 26\text{ V}$) $V^- = 5\text{ V}$	1	2	1	2	1	2	mA
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ (For $V_O = 1\text{ V}$ to 11 V)	80	100	25	100	50	100	V/mV
	Common-Mode	70	85	65	85	70	85	dB
Rejection Ratio	$V_{CM} = 0\text{ V}$ to $V^- - 1.5\text{ V}$							
Power Supply Rejection Ratio	$V^+ = 5\text{ V}$ to 30 V	85	100	65	100	65	100	dB
	(LM2904, $V^+ = 5\text{ V}$ to 26 V), $T_A = 25^\circ\text{C}$							

(1) These specifications are limited to $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ for the LM158/LM158A. With the LM258/LM258A, all temperature specifications are limited to $-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}$, the LM358/LM358A temperature specifications are limited to $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$, and the LM2904 specifications are limited to $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}$.(2) $V_O = 1.4\text{ V}$, $R_L = 0\ \Omega$ with V^+ from 5 V to 30 V ; and over the full input common-mode range (0 V to $V^- - 1.5\text{ V}$) at 25°C . For LM2904, V^+ from 5 V to 26 V .

(3) The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

(4) The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is $V^- - 1.5\text{ V}$ (at 25°C), but either or both inputs can go to 32 V without damage (26 V for LM2904), independent of the magnitude of V^+ .

Copyright © 2000–2014, Texas Instruments Incorporated

Submit Documentation Feedback

5

Product Folder Links: LM158-N LM258-N LM2904-N LM358-N



LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N

DSOE813N – JANUARY 2009 – REVISED DECEMBER 2014

www.ti.com

Electrical Characteristics: LM158A, LM358A, LM158, LM258 (continued)

V⁺ = +5.0 V. See⁽¹⁾, unless otherwise stated

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM158A		LM358A		LM158, LM258		UNIT			
		MIN	TYP/MAX	MIN	TYP/MAX	MIN	TYP/MAX				
Power Supply	V ⁺ = 0 V to 30 V										
Rejection Ratio	(LM2904, V ⁺ = 5 V to 26 V, T _A = 25°C)	65	100	65	100	65	100	dB			
Amplifier-to-Amplifier Coupling	f = 1 kHz to 20 kHz, T _A = 25°C (Input Referred), See ⁽²⁾	-120		-120		-120		dB			
Output Current	Source	V _{IN} ⁺ = 1 V, V _{IN} ⁻ = 0 V, V ⁺ = 15 V, V _O = 2 V, T _A = 25°C		20		40		mA			
		V _{IN} ⁺ = 1 V, V _{IN} ⁻ = 0 V, V ⁺ = 15 V, T _A = 25°C, V _O = 2 V		10		20		mA			
		V _{IN} ⁺ = 1 V, V _{IN} ⁻ = 0 V, T _A = 25°C, V _O = 200 mV, V ⁺ = 15 V		12		50		µA			
	Sink	V _{IN} ⁺ = 1 V, V _{IN} ⁻ = 0 V, T _A = 25°C, See ⁽³⁾ , V ⁺ = 15 V		40		60		mA			
		V _{IN} ⁺ = 1 V, V _{IN} ⁻ = 0 V, T _A = 25°C, See ⁽³⁾ , V ⁺ = 15 V		10		20		mA			
		V _{IN} ⁺ = 1 V, V _{IN} ⁻ = 0 V, T _A = 25°C, V _O = 200 mV, V ⁺ = 15 V		12		50		µA			
Short Circuit to Ground	T _A = 25°C, See ⁽³⁾ , V ⁺ = 15 V	40		60		40		60	mA		
Input Offset Voltage	See ⁽⁴⁾	4		5		7		mV			
Input Offset Voltage Drift	R _S = 0 Ω	7		15		7		µV/°C			
Input Offset Current	I _{B1} - I _{B2}	30		75		100		nA			
Input Offset Current Drift	R _S = 0 Ω	10		200		10		300	µA/°C		
Input Bias Current	I _{B1} or I _{B2}	40		100		40		300	nA		
Input Common-Mode Voltage Range	V ⁺ = 30 V, See ⁽¹⁾ (LM2904, V ⁺ = 26 V)	0		V ⁺ -2		0		V ⁺ -2		V	
Large Signal Voltage Gain	V ⁺ = +15 V	25		15		25		V/mV			
	(V _O = 1 V to 11 V) R _L ≥ 2 kΩ	25		15		25					
Output	V _{OH}	V ⁺ = +30 V, R _L = 2 kΩ		26		26		V			
Voltage	(LM2904, V ⁺ = 26 V)	27		26		27		26	V		
Swing	V _{OL}	V ⁺ = 5 V, R _L = 10 kΩ		5		20		5	20	mV	
Output Current	Source	V _{IN} ⁺ = +1 V, V _{IN} ⁻ = 0 V, V ⁺ = 15 V, V _O = 2 V		10		20		10		20	mA
		V _{IN} ⁺ = +1 V, V _{IN} ⁻ = 0 V, V ⁺ = 15 V, V _O = 2 V		10		15		5		5	mA

(3) Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.
 (4) Short circuits from the output to V⁺ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V⁺. At values of supply voltage in excess of +15 V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.



www.ti.com

LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N
EPOS8731 - JANUARY 2000 - REVISED DECEMBER 2014

6.6 Electrical Characteristics: LM358, LM2904

V⁺ = +5.0 V. See⁽¹⁾, unless otherwise stated

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM158			LM258			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	See ⁽²⁾ , T _A = 25°C	2	7	2	7	mV		
Input Bias Current	(I _{B1}) or (I _{B2}), T _A = 25°C, V _{CM} = 0 V, See ⁽³⁾	45	250	45	250	nA		
Input Offset Current	(I _{OS}) = (I _{B1}) - (I _{B2}), V _{CM} = 0 V, T _A = 25°C	5	50	5	50	nA		
Input Common-Mode Voltage Range	V ⁺ = 30 V, See ⁽⁴⁾ (LM2904, V ⁺ = 26 V), T _A = 25°C	0	V ⁺ -1.5	0	V ⁺ -1.5	V		
Supply Current	Over Full Temperature Range							
	R _L = ∞ on All Op Amps							
	V ⁺ = 30 V (LM2904 V ⁺ = 26 V)	1	2	1	2	mA		
	V ⁺ = 5 V	0.5	1.2	0.5	1.2	mA		
Large Signal Voltage	V ⁺ = 15 V, T _A = 25°C							
Gain	R _L = 2 kΩ, (For V _O = 1 V to 11 V)	25	100	25	100	V/mV		
Common-Mode Rejection Ratio	T _A = 25°C	65	65	60	70	dB		
	V _{CM} = 0 V to V ⁺ -1.5 V							
Power Supply Rejection Ratio	V ⁺ = 5 V to 30 V	65	100	60	100	dB		
	(LM2904, V ⁺ = 5 V to 26 V), T _A = 25°C							
Amplifier-to-Amplifier Coupling	f = 1 kHz to 20 kHz, T _A = 25°C (Input Referred), See ⁽⁵⁾		-120		-120	dB		
Output Current	Source	V _N ⁺ = 1 V, V _N ⁻ = 0 V, V ⁺ = 15 V, V _O = 2 V, T _A = 25°C	20	40	20	40	mA	
		Sink	V _N ⁺ = 1 V, V _N ⁻ = 0 V, V ⁺ = 15 V, T _A = 25°C, V _O = 2 V	10	20	10	20	mA
			V _N ⁺ = 1 V, V _N ⁻ = 0 V, T _A = 25°C, V _O = 200 mV, V ⁺ = 15 V	12	50	12	50	μA
	Short Circuit to Ground		T _A = 25°C, See ⁽⁶⁾ , V ⁺ = 15 V	40	50	40	50	mA
	Input Offset Voltage	See ⁽⁷⁾		5		10	mV	
	Input Offset Voltage Drift	R _S = 0 Ω		7		7	μV/°C	
Input Offset Current	(I _{OS}) = (I _{B1}) - (I _{B2})		150		45	200	nA	
Input Offset Current Drift	R _S = 0 Ω		10		10	μA/°C		
Input Bias Current	(I _{B1}) or (I _{B2})		40		40	500	nA	

(1) These specifications are limited to -55°C ≤ T_A ≤ +125°C for the LM158/LM158A. With the LM258/LM258A, all temperature specifications are limited to -25°C ≤ T_A ≤ 65°C, the LM358/LM358A temperature specifications are limited to 0°C ≤ T_A ≤ 70°C, and the LM2904 specifications are limited to -40°C ≤ T_A ≤ 65°C.

(2) V_O = 1 A V, R_S = 0 Ω with V⁺ from 5 V to 30 V, and over the full input common-mode range (0 V to V⁺-1.5 V) at 25°C. For LM2904, V⁺ from 5 V to 26 V.

(3) The direction of the input current is out of the IO due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

(4) The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.5 V (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is V⁺-1.5 V (at 25°C), but either or both inputs can go to 32 V without damage (26 V for LM2904), independent of the magnitude of V⁺.

(5) Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

(6) Short circuits from the output to V⁺ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V⁺. At values of supply voltage in excess of +15 V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

Copyright © 2000-2014, Texas Instruments Incorporated

Submit Documentation Feedback 7

Product Folder Links: LM158-N LM258-N LM2904-N LM358-N



LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N

SNOS871H – JANUARY 2000 – REVISED DECEMBER 2014

www.ti.com

Electrical Characteristics: LM358, LM2904 (continued)

 $V^- = +5.0\text{ V}$, See^{†††}, unless otherwise stated

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM358			LM2904			UNIT	
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
Input Common-Mode Voltage Range	$V^- = 30\text{ V}$, See ^(†) (LM2904, $V^- = 20\text{ V}$)	0		$V^- - 2$	0		$V^- - 2$	V	
Large Signal Voltage Gain	$V^- = 415\text{ V}$								
	$(V_O = 1\text{ V to } 11\text{ V})$	13			13			V/mV	
	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$								
Output	V_{OH}	$V^- = 30\text{ V}$		$R_L = 2\text{ k}\Omega$	20		22	V	
Voltage		(LM2904, $V^- = 20\text{ V}$)		$R_L = 10\text{ k}\Omega$	27	20	23	24	V
Swing	V_{OL}	$V^- = 0\text{ V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$			0	20	0	100	mV
Output Current	Source	$V_{IN} = 1\text{ V}$, $V_{IN}' = 0\text{ V}$,			10	20	10	20	mA
		$V^- = 15\text{ V}$, $V_O = 2\text{ V}$							
	Sink	$V_{IN} = 1\text{ V}$, $V_{IN}' = 0\text{ V}$,			5	0	0	0	mA
		$V^- = 15\text{ V}$, $V_O = 2\text{ V}$							



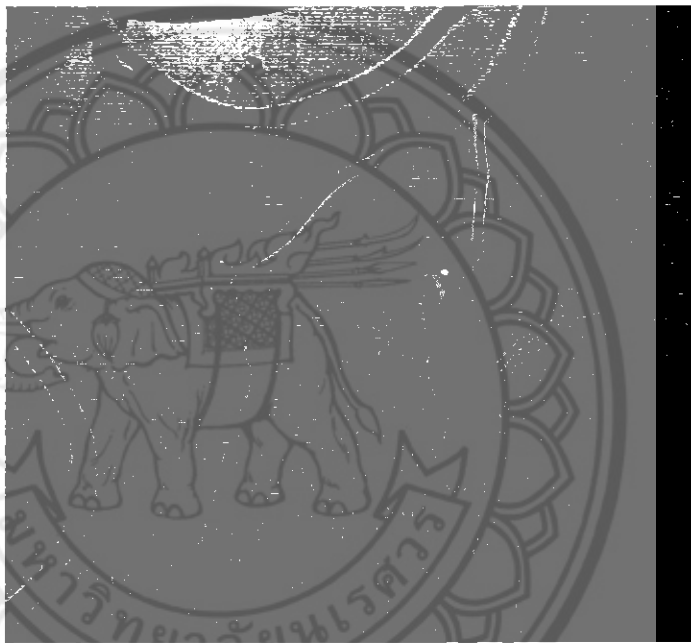
โครงการชิ้นนี้ได้สร้างเครื่องวัดปริมาณทางไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้า 1 เฟส 230 V กระแสไม่
เกิน 10 A จะวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้า เช่น วัดแรงดัน กระแส ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และ
กำลังไฟฟ้าปรากฏ ซึ่งค่าทั้งหมดจะถูกคำนวณค่าในการวัด โดยใช้บอร์ด Arduino เป็นตัว
ประมวลผลและแสดงผลออกทางหน้าจอ LCD โดยมีวิธีการใช้ดังนี้



รูปที่ 1 แสดงเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น

การวัดแรงดันไฟฟ้า

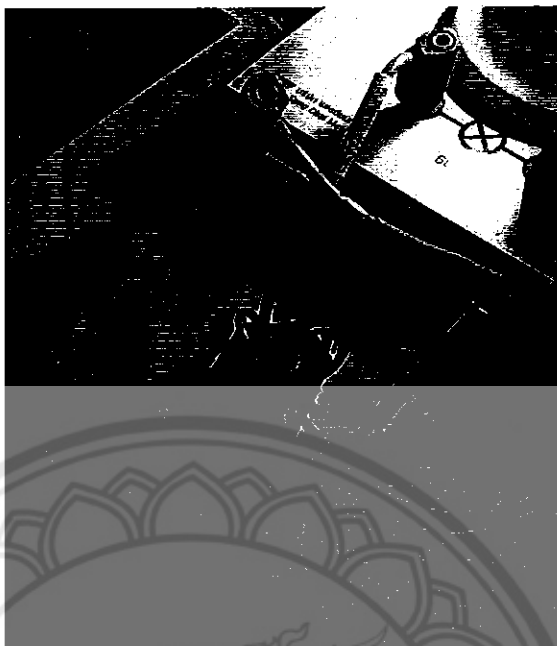
ในการวัดแรงดันจะใช้สายคีบ คีบบริเวณที่ต้องการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าในลักษณะดังรูปที่ 1 โดยแรงดันจะผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าลดแรงดันลงเหลือ 6 V เข้าวงจรบริดจ์แปลงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้าบอร์ด Arduino โดยจะทำการคำนวณหาค่าแรงดันออกมาผ่านทางหน้าจอ LCD



รูปที่ 2 แสดงการวัดแรงดันไฟฟ้า

การวัดกระแส

ในการวัดกระแสนั้นจะใช้ CT เป็นตัวจับค่าโดย CT ที่ใช้ในเครื่องมือวัดนี้จะมีอัตราส่วน IV ต่อ 10A จะสามารถวัดได้ที่มีกระแสไม่เกิน 10 A โดยการวนค่ากระแสนั้นค่าที่ออกมาจาก CT นั้นจะเป็นค่าแรงดันที่ตกคร่อมเบอร์เดนของ CT ผ่านวงจรขยายสัญญาณก่อนเข้าบอร์ด Arduino เนื่องจากสัญญาณมีค่าน้อย โดยที่ Arduino จะทำการคำนวณหาค่าอัตราส่วนของ CT จะได้ค่ากระแสออกมาทางหน้าจอ LCD วิธีการวัดจะแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงการวัดค่ากระแส

ในกรณีเปลี่ยน CT เพื่อให้สามารถวัดค่าที่มีกระแสมากขึ้นหรือน้อยลงสามารถเปลี่ยนค่าอัตราส่วนในโค้ดส่วนที่เป็นการหาค่าของกระแสได้โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของ CT ให้เปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรในโค้ดโปรแกรม I_RATIO ซึ่งมีการคำนวณจาก อัตราส่วนของ CT *5/1024ซึ่งในการทดลองได้มีใช้ค่า อัตราส่วน 10 A > 1V แต่มีการปรับค่าเพราะแรงดันที่ได้จริงนั้นต่ำกว่าจะมีการใช้ 12.0832 จึงทำให้ได้ค่า I_RATIO เท่ากับ 12.0832 *5/1024 ได้ค่าประมาณ 0.0574

ตัวอย่างเช่น ถ้ามีการเปลี่ยนอัตราจาก 10 A > 1V เป็น 30A > 1V จะทำให้ค่า I_RATIO เท่ากับ 30 *5/1024 ได้ค่าโดยประมาณ 0.146 นำค่านั้นไปใส่ในโค้ดโปรแกรม แทนที่ค่าเก่าของ I_RATIO

ในการวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าปรากฏนั้นสามารถทำได้โดยการวัดค่าแรงดันและค่ากระแสพร้อมกัน โดยที่สัญญาณแรงดันและกระแสจะผ่านวงจรซีโรครอสซึ่งเพื่อนตรวจจับสัญญาณที่จุดตัดแกนศูนย์เพื่อหาค่ามูมเฟสที่ต่างกัน โดยที่บอร์ด Arduino จะทำการคำนวณหาค่าตัวประกอบกำลังออกมา โดยค่าทั้งหมดจะถูกแสดงผลออกทางหน้าจอ LCD ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงค่าที่วัดได้ทางหน้าจอ LCD

ในกรณีที่ถอด โหลดออกหมดเมื่อทำการวัดอีกครั้งต้องกดปุ่มรีเซ็ตก่อนทุกครั้ง และรอประมาณ 5 วินาทีเพื่อให้บอร์ด Arduino ทำการประมวลผลจึงจะได้ค่าที่ถูกต้อง



ภาคผนวก ง
คําดําเนินการเครื่องมือนวัด Power Quality Analyzer



รูปที่ 1 แสดงเครื่องมือวัด Power Quality Analyzer

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ใช้เครื่องวัด Power Quality Analyzer เป็นเครื่องมือวัดอ้างอิง เครื่องวัด Power Quality Analyzer เป็นเครื่องมือวัดที่สามารถวัดค่าได้หลายค่า เช่น

- 1) ช่วยในการค้นหา ภาวะการณื ป้องกัน และตรวจแก้ไข ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าในระบบจำหน่าย ไฟฟ้าทั้งชนิด 3 เฟส และ 1 เฟส มีอัลกอริทึมในการหาค่าสูญเสียพลังงานจากฮาร์มอนิกส์และฮาร์โมนิกส์ ลานซ์ เพื่อหาต้นตอของการสูญเสียในระบบได้อย่างแม่นยำ
- 2) กำหนดการสูญเสียพลังงานทั้งจากแอกทีฟและรีแอกทีฟเพนเวอร์ฮาร์โมนิกส์และฮาร์โมนิกส์ พร้อมคิดเป็นตัวเลขจำนวนเงินที่สูญเสียให้เสร็จ
- 3) วัดประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์โดยการวัดกำลัง AC เอาต์พุตและ DC อินพุต พร้อมกัน ของระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (ใช้ DC Clamp เป็นอุปกรณ์เสริม)
- 4) จับสัญญาณด้วย PowerWave สามารถบันทึกข้อมูลสัญญาณรูปคลื่น RMS ได้รวดเร็ว ทั้งครั้ง รูปคลื่นและเต็มรูปคลื่น เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางไดนามิกของระบบ เช่น การสตาร์ทของเจเนอเรเตอร์ การสวิตซ์ของ UPS
- 5) บันทึกรูปคลื่นเหตุการณ์ : บันทึก waveform ของแรงดันและกระแสในแต่ละเหตุการณ์ พร้อมกันทั้ง 3 เฟส โดยอัตโนมัติในทุกโหมดการวัด

- โหมควัดทรานส์เซียนต์ออตโนมติ : วิเคราะห์ข้อมูลรูปคลื่น 200 kHz ทุกเฟสพร้อมกัน ที่แรงดันสูงสุด 6 kV
- 6) วิเคราะห์สัญญาณในสายเมน : วิเคราะห์การรบกวนที่เกิดจากสัญญาณควบคุมแบบรีปเปิ้ลที่ความถี่เฉพาะ ที่ผ่านสายเมนของระบบ
 - 7) ตรวจสอบปัญหาแบบ real-time โดยการวิเคราะห์กราฟแนวโน้มด้วยเครื่องมือเทอร์เซอร์และซูมตลอดภัยสูงสุดสำหรับอุตสาหกรรม : มาตรฐานความปลอดภัย 600 V CAT IV/1000 V CAT III
 - 8) วัดได้พร้อมกัน 3 เฟสและนิวตรอล : ด้วยโพรบวัดกระแสที่มีความยืดหยุ่นสูง ใช้วัดในที่คับแคบได้โดยสะดวก
 - 9) ทำกราฟแนวโน้มอัตโนมัติ : ทุกการวัดจะถูกบันทึกโดยอัตโนมัติสำหรับการตรวจดูกราฟแนวโน้มย้อนหลังได้ทันที โดยไม่ต้องตั้งค่า
 - 10) มอนิเตอร์ระบบ : แสดง 10 พารามิเตอร์ทางคุณภาพไฟฟ้าที่หน้าจอ ตามมาตรฐาน ENS0160 ฟังก์ชันคาล์วดีออกเกอร์กำหนดช่วงเวลาและเงื่อนไขในการเก็บข้อมูลทดสอบตามความต้องการได้ 600 พารามิเตอร์ออกเอกสารรายงาน ได้ดูกราฟ วิเคราะห์ ออกเอกสารรายงาน ด้วยซอฟต์แวร์เครื่อง Power Quality Analyzer จึงมีความน่าเชื่อถือสูงจึงเหมาะแก่เป็นเครื่องมือวัดอ้างอิง