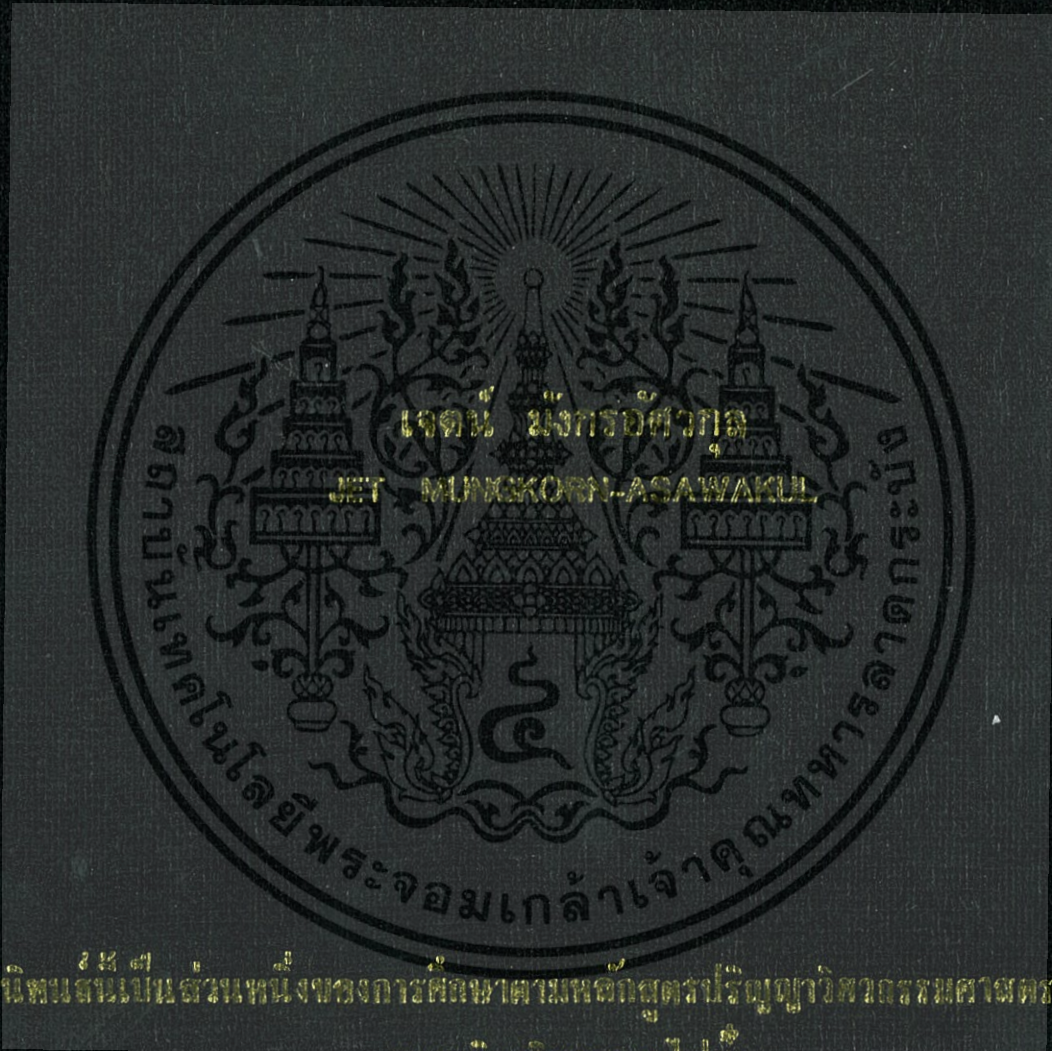


ต้นแบบเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าเพื่อรองรับระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ
โดยใช้โปรแกรมแลปวิวและระบบจัดเก็บข้อมูลต้นทุนต่ำ

A SMART RECORDING POWER ANALYZER PROTOTYPE USING
LABVIEW™ AND LOW-COST DATA ACQUISITION (DAQ) IN BEING
A SMART RENEWABLE MONITORING SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

KMITL-2013-EN-M-020-055

ต้นแบบเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าเพื่อรองรับระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ
โดยใช้โปรแกรมแลปวิวและระบบจัดเก็บข้อมูลต้นทุนต่ำ

A SMART RECORDING POWER ANALYZER PROTOTYPE USING
LABVIEW™ AND LOW-COST DATA ACQUISITION (DAQ) IN BEING
A SMART RENEWABLE MONITORING SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

KMITL-2013-EN-M-020-055

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A SMART RECORDING POWER ANALYZER PROTOTYPE USING
LABVIEW™ AND LOW-COST DATA ACQUISITION (DAQ) IN BEING
A SMART RENEWABLE MONITORING SYSTEM



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

2013

KMITL-2013-EN-M-020-055

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2013

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ต้นแบบเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าเพื่อรองรับระบบไฟฟ้าอัจฉริยะโดยใช้โปรแกรมแลปวิว และระบบจัดเก็บข้อมูลต้นทุนต่ำ

Thesis Title A Smart Recording Power Analyzer Prototype Using LabVIEW™ and Low-Cost Data Acquisition (DAQ) in Being a Smart Renewable Monitoring System

นักศึกษา นายเจตน์ มังกรอัสวกุล

รหัสประจำตัว 54610615

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2013-EN-M-020-055

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์	
ดร.สมภาพ ผลไม้	
รศ.ดร.กิริติ ชยะกุลศิริ	
ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2556 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(ศาสตราจารย์ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ต้นแบบเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าเพื่อรองรับระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ โดยใช้โปรแกรมแลปวิวและระบบจัดเก็บข้อมูลต้นทุนต่ำ
นักศึกษา	นาย เจตน์ มังกรอัสวกุล
รหัสประจำตัว	54610615
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2556
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินไหว

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้นำเสนอต้นแบบเครื่องมือวัดและวิเคราะห์คุณภาพทางไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยขอบเขตของงานจะเน้นให้ครอบคลุมระบบไฟฟ้าสามเฟสที่พิกัดแรงดันสูงสุด $350 V_{rms}$ และพิกัดกระแสสูงสุด $400 A_{rms}$ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการทำงานร่วมกันระหว่าง ตัวรับรู้ (Sensors), ตัวเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติ (DAQ) และชุดพัฒนาแอปพลิเคชันโดยใช้โปรแกรม LabVIEW เวอร์ชัน 2011 (Student Edition) โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ งานวิจัยที่ได้สามารถนำมาต่อยอดเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์แบบพกพาในเชิงพาณิชย์ได้ มีความถูกต้องแม่นยำ สามารถวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าได้อย่างครอบคลุมและหลากหลาย ต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดที่มีศักยภาพและขีดความสามารถในระดับเดียวกัน รวมถึงรองรับการทำงานในระบบสมาร์ทกริดของประเทศไทยในอนาคตด้วย อุปกรณ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้มีความสามารถในการ วัด, วิเคราะห์, บันทึก และแสดงผลได้ทั้งข้อมูลประเภทตัวเลข และข้อมูลที่อยู่ในรูปของรูปคลื่นสัญญาณ สามารถควบคุมการทำงานจากระยะไกลได้ สามารถเพิ่มเติมหรือปรับแก้ฟังก์ชันการทำงานให้เหมาะกับงานเฉพาะทางที่ต้องการทำการวัดได้ จุดเด่นอีกประการหนึ่งคือสามารถทำงานได้ในโหมดเวลาจริงและโหมดการตรวจวัดต่อเนื่อง นอกจากนี้เมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังสามารถที่จะแจ้งเตือนและบันทึกค่าความผิดปกติและเวลาที่เกิดความผิดปกติได้อย่างอัตโนมัติ พารามิเตอร์ที่สามารถทำการวัด ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า (V), กระแสไฟฟ้า (I), กำลังไฟฟ้าปรากฏ (S), กำลังไฟฟ้าจริง (P), กำลังไฟฟ้าเสมือน (Q), พลังงานไฟฟ้า (kWhr), ตัวประกอบกำลัง (PF), ความเพี้ยนฮาร์มอนิก (THD_v & THD_i), ส่วนประกอบฮาร์มอนิก (1st-50th), แรงดันเกินและแรงดันตก, แรงดันไม่สมดุล, องค์ประกอบสมมาตรทางไฟฟ้า และ ดัชนีไฟกระพริบ (Pst & Plt) ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้อธิบายขั้นตอนการออกแบบของทั้งชุดอุปกรณ์และรายละเอียดการเขียนโปรแกรม การตรวจสอบความถูกต้องของชุดอุปกรณ์ที่ได้จากงานวิจัยทำโดยนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐานหลายตัวที่มีใบรับรองความถูกต้องของทุกๆตัว ทั้งในห้องปฏิบัติการและระบบไฟฟ้าจริง ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการแสดงให้เห็นว่าชุดอุปกรณ์ที่นำเสนอสามารถทำงานได้ตามฟังก์ชันที่ออกแบบและมีความแม่นยำถูกต้องในระดับสูง ผลการทดลองในระบบไฟฟ้าจริงได้นำไปวัดที่ โรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 160 kW และโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1 MW โดยนำผลมาเปรียบเทียบกับระบบวัดที่ถูกติดตั้งไว้ในโรงไฟฟ้าทั้งสองโรง จากผลการทดลองทั้งหมดพบว่าค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิงมีค่าน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์

Thesis	A Smart Recording Power Analyzer Prototype Using LabVIEW™ and Low-Cost Data Acquisition (DAQ) in Being a Smart Renewable Monitoring System
Student	Mr.Jet Mungkornasawakul
Student ID.	54610615
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2013
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Chow Choompoo-inwai

Abstract

This thesis proposes a smart recording power analyzer prototype (SRPA). The scope of work focuses on Thailand's three-phase power system. The maximum rated voltage and current up is to $350 V_{rms}$ and $400 A_{rms}$, respectively. The proposed SRPA composes of the combination of sensors, data acquisition board (DAQ) and LabVIEW 2011 (Student Edition). The main objective is to use the proposed SRPA as a portable device in a commercially high-end disturbance meter. The SRPA has abilities to measure, analyze, record and display all kind of numerical data and waveforms both in real-time and continuous monitoring modes. A big plus is that the SRPA functionalities can be remotely controlled and modified for specific needs in the future. When faults occur in power system, this device can be alarm and automatically save data in every event. The measuring capabilities of the proposed SRPA are voltage (V), current (I), apparent power (S), real power (P), reactive power (Q), power factor (PF), energy consumption (kWhr), harmonic distortion (THD_v & THD_i), harmonic component (1^{st} - 50^{th}), overvoltage and under voltage, voltage unbalance, symmetrical component and flickers (Pst & Plt). The SRPA hardware configurations and LabVIEW algorithms will be thoroughly elaborated in this thesis. The accuracy verification process has been strictly done under various controllable conditions by comparing the results of the SRPA with the standard measuring units in both laboratory environment and two renewable energy power plants. Experimental results in the laboratory illustrate that the proposed SRPA is comparable in accuracy and far superior to several references in terms of functionalities and flexibilities. Experimental results from the two renewable power plants: (1) a 160 kW-biogas pig farm power plant and (2) a 1 MW solar power plant demonstrate that the proposed SRPA is highly efficient and reliable compared to the factory-installed measuring units. The average percent errors all of experimental results are less than 5%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประสบความสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะทางวิชาการ และการสนับสนุนในด้านต่างๆ ตลอดถึงความเอาใจใส่เป็นอย่างดีจาก ผศ. ดร.เชาว์ ชมภูอินทร์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ทางผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้และคำแนะนำทางวิชาการในด้านต่างๆ ที่เป็นประโยชน์และส่งเสริมในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ อาจารย์นราดล โชติวรรณพร พี่ๆ และเพื่อนๆ ทุกคน ในห้องปฏิบัติการ ศูนย์วิจัยพลังงานและวิศวกรรมการส่องสว่าง Energy System and Illumination Research Center (ESIRC) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือทั้งด้านความรู้, อุปกรณ์สำหรับทำการวิจัย และกำลังใจในการทำงานวิจัย จนสำเร็จบรรลุผลได้ด้วยดี รวมทั้งบริษัท เบทาโกร จำกัด จังหวัดปราจีนบุรี ผู้เอื้อเฟื้อสถานที่โรงงานผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และบริษัท นำแสงจักรกล จำกัด ผู้เอื้อเฟื้อการทดสอบอินเวอร์เตอร์ขนาด 250 กิโลวัตต์ ให้ทางผู้วิจัยทดสอบเก็บข้อมูล

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดผู้ให้กำเนิดและดูแลเอาใจใส่ผู้วิจัยมาโดยตลอด ก็คือ คุณพ่อกานต์ มังกรอัสวกุล คุณแม่ชญญา มังกรอัสวกุล อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้วิจัยมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่สม่ำเสมอ ในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ความดีงามอันเกิดจากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้เขียนขอมอบแต่ บิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ขอระลึกในพระคุณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

เจตน์ มังกรอัสวกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูปภาพ.....	XI

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	5
2.1 พารามิเตอร์พื้นฐานและกำลังทางไฟฟ้าสามเฟส (Three phase basic and power parameter).....	6
2.1.1 พารามิเตอร์พื้นฐานทางไฟฟ้าสามเฟส.....	6
2.1.1.1 แรงดันไฟฟ้า (Voltage).....	6
2.1.1.2 กระแสไฟฟ้า (Current).....	6
2.1.2 พารามิเตอร์กำลังไฟฟ้าสามเฟส.....	7
2.1.2.1 กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power: S).....	7
2.1.2.2 กำลังไฟฟ้าจริง (Real Power: P).....	7
2.1.2.3 กำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power: Q).....	7
2.1.2.4 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor, PF).....	10
2.1.2.5 ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (Total Energy Consumption, kWhr).....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality).....	11
2.2.1 ภาวะชั่วคราว (Transient)	13
2.2.2 การเปลี่ยนแปลงแรงดันช่วงระยะสั้น (Short Duration Voltage Variation)..	14
2.2.3 การเปลี่ยนแปลงแรงดันช่วงระยะยาว (Long Duration Voltage Variation) .	16
2.2.4 แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล (Voltage Unbalance).....	19
2.2.5 องค์ประกอบไฟตรง (DC offset).....	21
2.2.6 ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonics Distortion, THD).....	22
2.2.6.1 หลักการวัดกระแสฮาร์มอนิกส์.....	23
2.2.6.2 หลักการวัดแรงดันฮาร์มอนิกส์.....	23
2.2.6.3 ปัญหาฮาร์มอนิกที่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า.....	24
2.2.6.4 แนวทางในการแก้ไขปัญหาฮาร์มอนิก.....	25
2.2.7 อินเตอร์ฮาร์มอนิก (Interharmonic).....	26
2.2.8 คลื่นรอยบาก (Notching).....	27
2.2.9 สัญญาณรบกวน (Noise).....	27
2.2.10 แรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation).....	28
2.2.11 ความถี่ไฟฟ้าไม่คงที่ (Frequency Variation).....	28
2.2.12 ส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส (Symmetrical Component).....	29
2.3 การวัดและการเก็บข้อมูลทางไฟฟ้า.....	31
2.3.1 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า (Electrical Instrument).....	31
2.3.1.1 ประเภทเครื่องมือวัดไฟฟ้าแบ่งตามหน้าที่ที่วัดปริมาณทางไฟฟ้า.....	31
2.3.1.2 ประเภทเครื่องมือวัดไฟฟ้าแบ่งตามหลักการทำงาน.....	33
2.3.1.3 ประเภทเครื่องมือวัดไฟฟ้าแบ่งตามชนิดของไฟฟ้าที่จะวัด.....	34
2.3.1.4 ประเภทเครื่องมือวัดไฟฟ้าแบ่งตามลักษณะการแสดงผลปริมาณไฟฟ้าที่ทำการวัด.....	34
2.3.1.5 แบ่งตามลักษณะการนำไปใช้งาน.....	35
2.3.2 การวัดทางไฟฟ้า (Electrical Measurement).....	37
2.3.3 การเก็บข้อมูล (Data Acquisition).....	39
2.3.3.1 องค์ประกอบของระบบการเก็บข้อมูล.....	39

2.3.3.2 ลักษณะสัญญาณในระบบการเก็บข้อมูล.....	41
2.3.3.3 การวัดสัญญาณในระบบการเก็บข้อมูล.....	41
บทที่ 3 การออกแบบโปรแกรมและชุดอุปกรณ์.....	49
3.1 การออกแบบโปรแกรม.....	49
3.1.1 ส่วนควบคุม (Control).....	51
3.1.1.1 ส่วนเลือกสัญญาณอินพุต.....	51
3.1.1.2 ส่วนควบคุมสัญญาณจำลอง.....	51
3.1.2 หน้าจอแสดงผล (Monitoring).....	53
3.1.2.1 หน้าจอหลัก Main Monitor.....	53
3.1.2.2 หน้าจอแสดงสถานะ (Status).....	56
3.1.2.3 หน้าจอแสดงข้อมูลและสัญญาณทางไฟฟ้าของแต่ละเฟส.....	57
3.1.2.4 หน้าจอแสดงข้อมูลและสัญญาณทางไฟฟ้าสามเฟส.....	62
3.1.2.5 หน้าจอวิเคราะห์ผลทางฮาร์โมนิก.....	64
3.1.2.6 หน้าจอวิเคราะห์ดัชนีไฟกระพริบ.....	65
3.1.2.7 หน้าจอแสดงข้อมูลสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส.....	69
3.1.2.8 หน้าจอแสดงผลข้อมูลการวัดแบบเรียลไทม์ (Real time Measurement).....	70
3.1.3 การบันทึกข้อมูล (Data storage).....	71
3.1.3.1 การบันทึกค่าตามความถี่และระยะเวลาที่กำหนด.....	72
3.1.3.2 การบันทึกค่าเมื่อมีความผิดปกติทางสัญญาณไฟฟ้า.....	73
3.1.4 การอ่านข้อมูล (Read).....	74
3.1.5 การควบคุมระยะไกลผ่านระบบออนไลน์ (On-line Monitoring).....	76
3.2 การออกแบบชุดอุปกรณ์.....	80
3.2.1 ชุดหม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformer).....	81
3.2.2 ชุดหม้อแปลงกระแส (Current Transformer).....	81
3.2.3 วงจรรักษาระดับแรงดัน (Zener Diode).....	83

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	85
4.1 ทดสอบความถูกต้องของชุดอุปกรณ์.....	86
4.1.1 การหาค่าแก้อัตราส่วนของชุดอุปกรณ์.....	86
4.1.2 การหาค่าแก้มุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส.....	89
4.1.3 ตรวจสอบหาย่านการทำงานของ Zener Diode.....	90
4.1.4 การลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจาก DAQ.....	91
4.2 ผลการทดลองของชุดอุปกรณ์.....	93
4.2.1 การทดสอบขณะทำการวัด Basic Linear Load.....	93
4.2.2 การทดสอบเก็บข้อมูลแบบต่อเนื่องกับ Non-Linear Load.....	96
4.2.3 การทดสอบหาค่าความผิดเพี้ยนแรงดันและกระแสฮาร์มอนิก.....	97
4.2.4 การทดสอบเมื่อเปลี่ยนแปลงแรงดัน.....	98
4.2.5 การทดสอบเมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่.....	99
4.2.6 การทดสอบเมื่อ Open Circuit 1 เฟส และ 3 เฟส.....	101
4.2.7 การหาความต่างเฟสเมื่อโหลดเป็น RC และ RL.....	102
4.2.8 การทดสอบหาความถูกต้องของไฟกระพริบ.....	104
4.2.8.1 เปรียบเทียบค่า P_{inst} กับมาตรฐาน.....	104
4.2.8.2 เปรียบเทียบค่า P_{st} กับมาตรฐาน.....	106
4.3 การทดสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์กับสถานที่จริง.....	107
4.3.1 ทดสอบการวัดกับโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล.....	107
4.3.2 ทดสอบการวัดกับอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส.....	110
4.3.2.1 ข้อมูลทั่วไป.....	113
4.3.2.2 การเข้ากันได้กับระบบโครงข่ายไฟฟ้า (Utility compatibility).....	115
4.3.2.3 ระบบอุปกรณ์ป้องกัน.....	124
4.3.3 ทดสอบกับการวัดอุปกรณ์ทางไฟฟ้าต่างๆ.....	130
4.4 การเปรียบเทียบชุดอุปกรณ์กับเครื่องวัดทางไฟฟ้าชนิดอื่นๆ.....	136
บทที่ 5 บทสรุป.....	139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง.....	141
ภาคผนวก ก. – LabVIEW.....	145
ภาคผนวก ข. – DAQ (Data Acquisition).....	162
ภาคผนวก ค. – อุปกรณ์เครื่องวัดต่างๆ.....	168
ภาคผนวก ง. – บทความทางวิชาการ.....	187
ประวัติผู้เขียน.....	209



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 ประเภทและลักษณะทั่วไปของปรากฏการณ์ในระบบไฟฟ้ากำลัง	12
ตารางที่ 2.2 ค่าบัฟเฟอร์ที่สัมพันธ์กับอัตราการสุ่มของโปรแกรม LabVIEW	45
ตารางที่ 4.1 ค่าแรงดันเอาต์พุตสามเฟสที่ได้จากหม้อแปลงกระแส รุ่น MSQ-40	87
ตารางที่ 4.2 ค่าอัตราส่วนใหม่ของหม้อแปลงกระแสทั้งสามเฟส รุ่น MSQ-40	87
ตารางที่ 4.3 ค่าแรงดันเอาต์พุตสามเฟสที่ได้จากหม้อแปลงแรงดัน	87
ตารางที่ 4.4 ค่าอัตราส่วนใหม่ของหม้อแปลงแรงดันทั้งสามเฟส	88
ตารางที่ 4.5 ค่าอัตราส่วนใหม่ของหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดันที่ใช้	88
ตารางที่ 4.6 ความต่างเฟสที่บันทึกได้ก่อนทำการแก้ไข	89
ตารางที่ 4.7 ความต่างเฟสที่บันทึกได้หลังทำการแก้ไข	89
ตารางที่ 4.8 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จาก Zener Diode เมื่อเปลี่ยนแรงดันอินพุต	90
ตารางที่ 4.9 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจาก Power Meter PX120 เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 17.00 น.	93
ตารางที่ 4.10 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจาก Power Meter PX120 เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 17.01 น.	94
ตารางที่ 4.11 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจาก Power Meter PX120 เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 17.02 น.	94
ตารางที่ 4.12 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจาก Power Meter PX120 เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 17.03 น.	94
ตารางที่ 4.13 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจาก Power Meter PX120 เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 17.04 น.	95
ตารางที่ 4.14 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่บันทึกได้เปรียบเทียบกับแรงดันอินพุต	99
ตารางที่ 4.15 แสดงความถี่อินพุตเปรียบเทียบกับความถี่ที่บันทึกได้	99
ตารางที่ 4.16 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่บันทึกได้เมื่อโหลดเป็น RC	103
ตารางที่ 4.17 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่บันทึกได้เมื่อโหลดเป็น RL	103
ตารางที่ 4.18 เปรียบเทียบค่า P_{inst} ที่วัดได้กับมาตรฐาน	105
ตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบค่า P_{st} ที่วัดได้กับมาตรฐาน	106
ตารางที่ 4.20 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจากตู้ Main Distribution Board เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 16.48 น.	108
ตารางที่ 4.21 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจากตู้ Main Distribution Board เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 16.53 น.	108

ตารางที่ 4.22 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจากตู้ Main Distribution Board เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 16.58 น.	108
ตารางที่ 4.23 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจากตู้ Main Distribution Board เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 17.03 น.	109
ตารางที่ 4.24 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจากตู้ Main Distribution Board เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 17.08 น.	109
ตารางที่ 4.25 ระดับแรงดันไฟฟ้า ณ จุดเชื่อมต่อในสภาวะปกติและสภาวะฉุกเฉิน	113
ตารางที่ 4.26 ผลการทดสอบแรงดันและความถี่ใช้งาน	113
ตารางที่ 4.27 ผลการทดสอบค่าความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม (THDv)	115
ตารางที่ 4.28 ผลการทดสอบค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม (THDi)	115
ตารางที่ 4.29 ค่าความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม (THDv) ลำดับที่ 0 ถึง 50.....	118
ตารางที่ 4.30 ค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม (THDi) ลำดับที่ 0 ถึง 50.....	119
ตารางที่ 4.31 ค่าดัชนีไฟกระพริบที่วัดได้.....	120
ตารางที่ 4.32 ค่าดัชนีไฟกระพริบระยะสั้นที่วัดได้.....	121
ตารางที่ 4.33 ค่าดัชนีไฟกระพริบระยะยาวที่วัดได้.....	122
ตารางที่ 4.34 ผลการทดสอบการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	123
ตารางที่ 4.35 แสดงผลการทดสอบการป้องกันแรงดันต่ำและแรงดันเกิน	124
ตารางที่ 4.36 แสดงผลการทดสอบการป้องกันความถี่ต่ำและความถี่เกิน.....	127
ตารางที่ 4.37 แสดงผลการทดสอบการป้องกันการจ่ายไฟฟ้าแบบระบบไฟฟ้าแยกโดด	128
ตารางที่ 4.38 แสดงผลการทดสอบการเชื่อมต่อกลับคืนเข้าสู่ระบบโครงข่าย.....	129
ตารางที่ 4.39 ผลการทดสอบเครื่องสำรองไฟ	135
ตารางที่ 4.40 เปรียบเทียบความสามารถในการวัดทางไฟฟ้าระหว่างชุดอุปกรณ์ที่ได้นำเสนอ กับเครื่องวัดทางไฟฟ้าชนิดอื่น	136
ตารางที่ 4.41 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่าง DAQ and LabVIEW กับ เครื่องวัดทางไฟฟ้าชนิดอื่น.....	137

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1	ขั้นตอนการศึกษาทฤษฎีและหลักการในการวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า..... 5
รูปที่ 2.2	สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า..... 6
รูปที่ 2.3	สามเหลี่ยมกำลัง (Power Triangle)..... 8
รูปที่ 2.4	RLC อุปกรณ์พื้นฐานในวงจรไฟฟ้า..... 8
รูปที่ 2.5	รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อโหลดเป็นตัวต้านทาน..... 9
รูปที่ 2.6	รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อโหลดเป็นขดลวดเหนี่ยวนำ..... 9
รูปที่ 2.7	รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อโหลดเป็นตัวเก็บประจุ 10
รูปที่ 2.8	อิมพัลส์ชั่วคราว..... 13
รูปที่ 2.9	ออสซิลเลทชั่วคราว 13
รูปที่ 2.10	แรงดันตกช่วงสั้น..... 14
รูปที่ 2.11	แรงดันเกินช่วงสั้น..... 15
รูปที่ 2.12	ไฟดับช่วงสั้น..... 15
รูปที่ 2.13	แรงดันตก..... 16
รูปที่ 2.14	แรงดันเกิน..... 17
รูปที่ 2.15	ไฟดับ..... 18
รูปที่ 2.16	เฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้าสามเฟส..... 19
รูปที่ 2.17	แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance)..... 20
รูปที่ 2.18	แรงดันที่มีแรงดันไฟตรงปะปน..... 21
รูปที่ 2.19	ตัวอย่างรูปคลื่นแรงดันที่มีฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 และ 5..... 22
รูปที่ 2.20	แรงดันไฟฟ้าที่มีอินเทอร์ฮาร์โมนิกที่ 125 Hz..... 26
รูปที่ 2.21	แรงดันไฟฟ้าที่มีคลื่นรอยบาก..... 27
รูปที่ 2.22	แรงดันไฟฟ้าที่มีสัญญาณรบกวน..... 27
รูปที่ 2.23	ตัวอย่างสัญญาณแรงดันไฟกระเพื่อม..... 28
รูปที่ 2.24	รูปคลื่นแรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่..... 28
รูปที่ 2.25	ส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส..... 29
รูปที่ 2.26	แสดงเฟสเซอร์แรงดันของระบบสมดุล..... 30
รูปที่ 2.27	แสดงเฟสเซอร์แรงดันของระบบไม่สมดุล..... 30
รูปที่ 2.28	เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบ่งตามหน้าที่..... 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.29 เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบ่งตามหลักการทำงาน.....	33
รูปที่ 2.30 เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบ่งตามชนิดของไฟฟ้าที่วัด	34
รูปที่ 2.31 เครื่องวัดไฟฟ้าแบ่งตามการแสดงผล	35
รูปที่ 2.32 เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบ่งตามการนำไปใช้งาน	36
รูปที่ 2.33 การแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอล.....	37
รูปที่ 2.34 การสุ่มสัญญาณจากสัญญาณต้นฉบับ.....	38
รูปที่ 2.35 ไดอะแกรมการทำงานของระบบการเก็บข้อมูล	39
รูปที่ 2.36 รูปแบบของระบบการเก็บข้อมูลโดยใช้คอมพิวเตอร์	39
รูปที่ 2.37 ข้อมูลเอาต์พุตที่เกิดขึ้นในระบบการเก็บข้อมูล	41
รูปที่ 2.38 พื้นฐานการวัดสัญญาณในระบบการเก็บข้อมูล.....	41
รูปที่ 2.39 การวัดสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียล (Differential)	42
รูปที่ 2.40 การวัดสัญญาณแบบซิงเกิล-เอนด์ เทียบกราวด์ (RSE)	42
รูปที่ 2.41 การวัดสัญญาณแบบซิงเกิล-เอนด์ ไม่เทียบกราวด์ (NRSE).....	42
รูปที่ 2.42 การดึงสัญญาณก่อนทำการประมวลผลในโปรแกรม	43
รูปที่ 2.43 การตั้งค่า DAQ Assistant ในงานวิจัย	44
รูปที่ 2.44 โค้ดในการตรวจสอบสัญญาณ.....	45
รูปที่ 2.45 หน้า Front Panel ของชุดทดสอบ.....	46
รูปที่ 2.46 ผลการทดสอบที่ 2,000 จุด.....	46
รูปที่ 2.47 ผลการทดสอบที่ 10,000 จุด.....	47
รูปที่ 2.48 ผลการทดสอบที่ 100,000 จุด.....	47
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมและอุปกรณ์.....	49
รูปที่ 3.2 หัวข้อที่ทำการออกแบบในโปรแกรม	50
รูปที่ 3.3 ตัวอย่าง Front Panel ของโปรแกรมที่ออกแบบ	50
รูปที่ 3.4 สวิตช์เปลี่ยนชนิดของสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณจริงจากชุดอุปกรณ์	51
รูปที่ 3.5 Front Panel ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณจำลอง.....	52
รูปที่ 3.6 Block Diagram ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณจำลอง.....	53
รูปที่ 3.7 หน้าจอ Main Monitor	54
รูปที่ 3.8 Block Diagram ที่ใช้เขียนหน้าจอ Main Monitor.....	55
รูปที่ 3.9 หน้าจอแสดงสถานะ	56
รูปที่ 3.10 การเขียนหน้าจอแสดงสถานะ	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11	หน้าจอแสดงข้อมูลและสัญญาณทางไฟฟ้าของแต่ละเฟส.....	58
รูปที่ 3.12	Block Diagram ของสัญญาณทางไฟฟ้าของแต่ละเฟส.....	58
รูปที่ 3.13	ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของสัญญาณทางไฟฟ้า.....	59
รูปที่ 3.14	กำลังทางไฟฟ้าในแต่ละเฟส.....	59
รูปที่ 3.15	การเขียนการหาค่ากำลังทางไฟฟ้า.....	60
รูปที่ 3.16	หน้าจอแสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์แรงดันตกและแรงดันเกิน	60
รูปที่ 3.17	Block Diagram ของการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์แรงดันตกและแรงดันเกิน	60
รูปที่ 3.18	แสดงรูปคลื่นสัญญาณของแรงดันและกระแส	61
รูปที่ 3.19	Block Diagram หน้าจอแสดงรูปคลื่นสัญญาณของแรงดันและกระแส	61
รูปที่ 3.20	หน้าจอแสดงข้อมูลและสัญญาณทางไฟฟ้าสามเฟส	62
รูปที่ 3.21	Block Diagram ของรูปสัญญาณทางไฟฟ้าสามเฟส.....	63
รูปที่ 3.22	หน้าจอวิเคราะห์ผลทางฮาร์มอนิก	64
รูปที่ 3.23	Block Diagram ของการวิเคราะห์ผลทางฮาร์มอนิก	64
รูปที่ 3.24	UIE/IEC flicker meter functional diagram.....	65
รูปที่ 3.25	การตอบสนองความถี่ของตัวกรองแบบถ่วงน้ำหนัก	66
รูปที่ 3.26	Block Diagram ของการวิเคราะห์ผลทางดัชนีไฟกระพริบ	67
รูปที่ 3.27	หน้าจอวิเคราะห์ผลทางดัชนีไฟกระพริบ.....	68
รูปที่ 3.28	หน้าจอแสดงข้อมูลสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส.....	69
รูปที่ 3.29	Block Diagram ของการหาสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส	69
รูปที่ 3.30	หน้าจอแสดงผลข้อมูลการวัดแบบเรียลไทม์	70
รูปที่ 3.31	Block Diagram ของการแสดงผลข้อมูลการวัดแบบเรียลไทม์.....	70
รูปที่ 3.32	หน้าจอของการบันทึกข้อมูล.....	71
รูปที่ 3.33	หน้าจอของการบันทึกค่าตามความถี่และระยะเวลาที่กำหนด.....	72
รูปที่ 3.34	Block Diagram ของการบันทึกข้อมูล	72
รูปที่ 3.35	การบันทึกค่าเมื่อมีความผิดปกติทางสัญญาณไฟฟ้า.....	73
รูปที่ 3.36	Block Diagram ของการบันทึกข้อมูลเมื่อมีความผิดปกติของสัญญาณ.....	73
รูปที่ 3.37	หน้าจอส่วนที่ใช้อ่านข้อมูล	74
รูปที่ 3.38	Block Diagram ส่วนที่ใช้อ่านข้อมูล.....	75
รูปที่ 3.39	เมนู Tools	76
รูปที่ 3.40	หน้าจอ Web Publishing Tools.....	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.41 หน้าจอ Document URL.....	77
รูปที่ 3.42 หน้าจอเมื่อทำการเชื่อมต่อ	77
รูปที่ 3.43 โปรแกรม TeamViewer	78
รูปที่ 3.44 หน้าจอเมื่อทำการควบโปรแกรมผ่านโปรแกรม TeamViewer.....	78
รูปที่ 3.45 ตัวอย่างโปรแกรม Data Dashboard for LabVIEW	79
รูปที่ 3.46 เชื่อมต่อเข้ากับมือถือผ่านโปรแกรม Teamviewer	79
รูปที่ 3.47 ขั้นตอนการออกแบบชุดอุปกรณ์.....	80
รูปที่ 3.48 แผนภาพการเชื่อมต่อชุดอุปกรณ์	80
รูปที่ 3.49 หม้อแปลงแรงดัน	81
รูปที่ 3.50 หม้อแปลงกระแส	82
รูปที่ 3.51 แสดงการออกแบบวงจรป้องกันแรงดันเกิน.....	83
รูปที่ 3.52 วงจรป้องกันแรงดันเกินที่เสร็จสมบูรณ์.....	83
รูปที่ 3.53 ภาพการเชื่อมต่อของชุดอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบ	84
รูปที่ 4.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการปฏิบัติงาน.....	85
รูปที่ 4.2 แสดงวิธีการหาค่าแก้อัตราส่วนของชุดอุปกรณ์.....	86
รูปที่ 4.3 แทนค่าแก้อัตราส่วนลงในโปรแกรม	88
รูปที่ 4.4 แทนค่าแก้มุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแสลงในโปรแกรม.....	89
รูปที่ 4.5 แสดงวงจรการทดสอบ	90
รูปที่ 4.6 การลดสัญญาณรบกวน	92
รูปที่ 4.7 แสดงวงจรการทดสอบกับโหลดหลอดไฟ (โหลดเชิงเส้น).....	93
รูปที่ 4.8 แสดงวงจรการทดสอบกับ Non-Linear Load.....	96
รูปที่ 4.9 แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าที่บันทึกได้.....	96
รูปที่ 4.10 (ก) แสดงค่า THD_V จากโปรแกรม (ข) แสดงค่า THD_V จากเครื่องPZ-4000	97
รูปที่ 4.11 (ก) แสดงค่า THD_I จากโปรแกรม (ข) แสดงค่า THD_I จากเครื่องPZ-4000.....	97
รูปที่ 4.12 การทดสอบเมื่อเปลี่ยนแรงดัน	98
รูปที่ 4.13 ความถี่ที่บันทึก.....	100
รูปที่ 4.14 แสดงกราฟสัญญาณขณะที่ Open Circuit 1 เฟส.....	101
รูปที่ 4.15 แสดงกราฟสัญญาณขณะที่ Open Circuit 3 เฟส.....	101
รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบกราฟสัญญาณความต่างเฟส	102
รูปที่ 4.17 สัญญาณแรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบ Rectangular.....	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารร่างหรือการเรียงพิมพ์อย่างไม่สมบูรณ์ ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.18 ผลการทดลองการเทียบค่า <i>Pinst</i> กับมาตรฐาน	105
รูปที่ 4.19 โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล จังหวัดปราจีนบุรี.....	107
รูปที่ 4.20 ไดอะแกรมการทดสอบอินเวอร์เตอร์	110
รูปที่ 4.21 การเชื่อมต่อเครื่องวัดเพื่อทำการทดสอบอินเวอร์เตอร์.....	111
รูปที่ 4.22 Main Monitoring ของเครื่องวัดขณะทำการทดสอบอินเวอร์เตอร์.....	111
รูปที่ 4.23 แรงดันไฟฟ้าสามเฟสที่วัดได้จากอินเวอร์เตอร์.....	112
รูปที่ 4.24 กระแสไฟฟ้าสามเฟสที่วัดได้จากอินเวอร์เตอร์.....	112
รูปที่ 4.25 หน้า Front Panel ที่ใช้วัดแรงดันและความถี่ทั้งสามเฟส	114
รูปที่ 4.26 แรงดันไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสที่วัดได้จากอินเวอร์เตอร์.....	114
รูปที่ 4.27 ความถี่ที่วัดได้จากอินเวอร์เตอร์.....	114
รูปที่ 4.28 ค่าความผิดพลาดแรงดันฮาร์มอนิกรวม (<i>THDV</i>) ที่วัดได้จากอินเวอร์เตอร์.....	116
รูปที่ 4.29 สเปกตรัมของส่วนประกอบแรงดันฮาร์มอนิก.....	116
รูปที่ 4.30 ค่าความผิดพลาดกระแสฮาร์มอนิกรวม (<i>THDI</i>) ที่วัดได้จากอินเวอร์เตอร์.....	117
รูปที่ 4.31 สเปกตรัมของส่วนประกอบกระแสฮาร์มอนิก.....	117
รูปที่ 4.32 Front Panel ขณะทำการวัดแรงดันกระแสเพื่อ.....	120
รูปที่ 4.33 ค่าดัชนีไฟกระพริบระยะสั้น.....	121
รูปที่ 4.34 ค่าดัชนีไฟกระพริบระยะยาว	122
รูปที่ 4.35 ค่าไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากอินเวอร์เตอร์	123
รูปที่ 4.36 วงจรการทดสอบอุปกรณ์ป้องกัน	124
รูปที่ 4.37 การป้องกันแรงดันต่ำ ($V < 50\%$).....	125
รูปที่ 4.38 การป้องกันแรงดันต่ำ ($50\% \leq V \leq 90\%$).....	125
รูปที่ 4.39 การป้องกันแรงดันเกิน ($90\% \leq V \leq 110\%$).....	126
รูปที่ 4.40 การป้องกันแรงดันเกิน ($V \geq 120\%$)	126
รูปที่ 4.41 วงจรการทดสอบการป้องกันการจ่ายไฟฟ้าแบบระบบไฟฟ้าแยกโดด.....	128
รูปที่ 4.42 สัญญาณในการทดสอบการป้องกันการจ่ายไฟฟ้าแบบระบบไฟฟ้าแยกโดด	129
รูปที่ 4.43 โมเดลของไฟสำรองในแต่ละรุ่น	130
รูปที่ 4.44 ช่วงเวลาในการส่องสว่างแบบต่อเนื่องของรุ่น Dichoric Halogen 2x50W	131
รูปที่ 4.45 ภาพถ่ายการวัดอุณหภูมิจากเครื่อง <i>Fluke Ti10 Thermal Imager</i>	131
รูปที่ 4.46 ด้านหน้าและด้านบนของหลอดไฟรุ่น Dichoric Halogen 2x50W	131
รูปที่ 4.47 ช่วงเวลาในการส่องสว่างแบบต่อเนื่องของรุ่น LED NICHIA 2x3W.....	132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.48	ภาพถ่ายการวัดอุณหภูมิจากเครื่อง <i>Fluke Ti10 Thermal Imager</i>	132
รูปที่ 4.49	ด้านหน้าและด้านหลังของหลอดไฟรุ่น LED NICHIA 2x3W	132
รูปที่ 4.50	ช่วงเวลาในการส่องสว่างแบบต่อเนื่องของรุ่น LED NICHIA 2x9W.....	133
รูปที่ 4.51	ภาพถ่ายการวัดอุณหภูมิจากเครื่อง <i>Fluke Ti10 Thermal Imager</i>	133
รูปที่ 4.52	ด้านหน้าและด้านหลังของหลอดไฟรุ่น LED NICHIA 2x9W	133
รูปที่ 4.53	ช่วงเวลาในการส่องสว่างแบบต่อเนื่องของรุ่น LED NICHIA 2x12W.....	134
รูปที่ 4.54	ภาพถ่ายการวัดอุณหภูมิจากเครื่อง <i>Fluke Ti10 Thermal Imager</i>	134
รูปที่ 4.55	ด้านหน้าและด้านหลังของหลอดไฟรุ่น LED NICHIA 2x12W	134
รูปที่ 4.56	แสดงเครื่องวัด	137



บทที่ 1

บทนำ

เครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้ามีหน้าที่ตรวจสอบและชี้วัดคุณภาพทางไฟฟ้าในระบบ ว่าระบบมีปัญหาทางไฟฟ้าหรือไม่ เพื่อให้ระบบไฟฟ้ามีความน่าเชื่อถือและมีความปลอดภัย แต่เครื่องวัดที่มีอยู่ในปัจจุบันมีราคาสูง ทำให้เป็นปัญหาในการตรวจวัดคุณภาพทางไฟฟ้า ที่จำเป็นต้องมีการบันทึกข้อมูลที่วัดได้ เพื่อนำมาวิเคราะห์ โดยการเก็บข้อมูลแบบง่ายที่สุด เช่น การเก็บข้อมูลด้วยตัวเองโดยใช้กระดาษและดินสอ, การอ่านข้อมูลจากมัลติมิเตอร์หรือเครื่องวัดชนิดต่างๆ สำหรับการใช้งานในบางโอกาสอาจจะเพียงพอ อย่างไรก็ตาม การบันทึกข้อมูลที่ต้องการอ่านข้อมูลที่มีขนาดใหญ่และมีการบันทึกหลายๆครั้ง ต่างมีความจำเป็นที่จะต้องมียุคเครื่องมือเครื่องวัดที่สามารถบันทึกข้อมูลได้อย่างแม่นยำและต่อเนื่อง

การวัดและตรวจจับสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อนำมาวิเคราะห์ในส่วนกำลังทางไฟฟ้าผ่านโปรแกรมแลปวิว ประกอบด้วยส่วนของโปรแกรม และส่วนของอุปกรณ์ โดยส่วนของโปรแกรมสามารถตรวจวัดค่าพารามิเตอร์พื้นฐานสามเฟส และความผิดปกติทางไฟฟ้าสามเฟสต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยส่วนของหน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ หน้าจอควบคุมสัญญาณ หน้าจอตั้งค่าการบันทึกโปรแกรม หน้าจอแสดงคลื่นสัญญาณ และหน้าจอเลือกสัญญาณอินพุตโดยสัญญาณอินพุตเลือกได้ทั้งสองทางคือ สัญญาณที่จำลองจากโปรแกรมและสัญญาณวัดค่าจริงที่รับจาก DAQ (Data Acquisition) ที่ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ โดย DAQ จะรับค่าผ่านหม้อแปลงกระแส และหม้อแปลงแรงดัน เพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลผ่านเข้า DAQ โดยมีวงจร Zener Diode ป้องกันแรงดันเกินผ่านเข้า DAQ และส่งข้อมูลไปยังโปรแกรมเพื่อประมวลผลการวัด และวิเคราะห์ค่าต่อไปโดยข้อมูลที่วัดได้สามารถแสดงผลข้อมูลเชิงคุณภาพได้ ทำให้การวิเคราะห์ผลจากการวัดและแสดงผลมีประสิทธิภาพ โปรแกรม LabVIEW และอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบ ผ่านกระบวนการทดสอบและนำไปทดลองความถูกต้องพบว่าผลการวัดค่าทดสอบต่างๆ สามารถนำไปใช้ได้จริงและค่าใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดโดยทั่วไป

งานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะนำเสนอการพัฒนาเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรมแลปวิวในการเขียนโปรแกรมในการวิเคราะห์การวัดทางไฟฟ้า โดยทำการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณทางไฟฟ้า มีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับชุดเครื่องวัดอื่นๆ โดยผลที่ได้จากการตรวจวัดของเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้านี้มีความถูกต้องและแม่นยำ โดยมีรายละเอียดของการศึกษาดังนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการวัดและตรวจจับสัญญาณต่างๆ ทางไฟฟ้า อุปกรณ์ที่ใช้เป็นแบบชนิดดิจิทัลและอนาล็อก เช่น โวลต์มิเตอร์ แอมป์มิเตอร์ ซึ่งในการใช้งานดังกล่าวนั้นต้องดำเนินการวัด ณ ที่ใช้งาน (On-site measuring) เพราะไม่มีความสามารถในการควบคุมระยะไกล และอีกทั้งราคาอุปกรณ์ที่เพิ่มสูงขึ้นในปัจจุบัน นอกจากนี้แล้วการแสดงผลของอุปกรณ์ส่วนใหญ่จะแสดงผลเฉพาะข้อมูลเชิงปริมาณเท่านั้น ไม่สามารถแสดงผลข้อมูลเชิงคุณภาพได้ทำให้การวิเคราะห์ผลการวัดและแสดงผลไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เพราะในเครื่องมือวัดจริงพื้นฐานไม่สามารถเก็บข้อมูลเป็นแบบ Data Logger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ตีพิมพ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ โดยข้อมูลที่จัดเก็บประกอบด้วย แรงดัน, ความถี่, กำลังจริง, กำลังเสมือน, กำลังปรากฏ, ตัวประกอบกำลัง, ฮาร์มอนิก, โฟลว์พรีดิคชัน และความผิดปกติทางไฟฟ้าต่าง ๆ

ปัจจุบันแนวโน้มในการให้ความสนใจในด้านพลังงานทดแทนมีอัตราที่สูงขึ้น และผู้คนอยากใช้พลังงานสะอาดเพื่อลดมลภาวะที่เกิดขึ้น ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานลม รวมถึงพลังงานทดแทนต่างๆ มากขึ้น เพื่อนำมาเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าที่อยู่เดิมและสามารถติดตั้งใช้เองตามความต้องการได้ ซึ่งก่อนที่จะทำการเชื่อมต่อนั้นทางการไฟฟ้าก็ได้มีข้อกำหนดและเงื่อนไขทางเทคนิคในการเชื่อมต่อเข้ากับระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยเจ้าของผู้ผลิตไฟฟ้า หรือผู้ใช้ไฟฟ้าต้องผ่านการทดสอบและมีคุณสมบัติทางด้านเทคนิคตามที่ได้กำหนดไว้ในข้อกำหนด จึงจะอนุญาตให้เชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าได้

ผู้วิจัยได้เห็นความสำคัญดังกล่าว โดยได้ศึกษาและพัฒนาต่อจากโครงงานเดิมของผู้ทำงานวิจัย ให้ครอบคลุมกับเนื้อหาในการตรวจวัดคุณภาพทางไฟฟ้า ซึ่งโครงงานนี้ได้ออกแบบโปรแกรมแลปวิวและอุปกรณ์ให้สามารถใช้กับไฟฟ้าสามเฟส และยังมีฟังก์ชันการทำงานเพิ่มมากขึ้นทำให้โปรแกรมและชุดอุปกรณ์มีความสามารถ และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือ

1. ศึกษาการใช้งานโปรแกรมแลปวิวเพื่อนำมาสร้างชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้ากำลัง
2. ออกแบบอุปกรณ์ที่นำมาตรวจวัดสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อนำมาเชื่อมต่อกับโปรแกรม
3. เพื่อศึกษาคุณภาพทางไฟฟ้าและวิเคราะห์เอาต์พุตที่ได้จากการบันทึกผล
4. เพื่อพัฒนาชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น
5. นำเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าที่ได้ออกแบบไปตรวจวัดกับระบบไฟฟ้าในสถานที่จริง

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

เมื่อทำการศึกษาในหัวข้อ การวัดสัญญาณทางไฟฟ้า, คุณภาพทางไฟฟ้า, โปรแกรมแลปวิว และการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาใช้ในการวัดสัญญาณแล้ว จึงเริ่มทำการออกแบบเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าโดยเริ่มจากการออกแบบโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพ เพราะตัวโปรแกรมสามารถจำลองสัญญาณและวัดพารามิเตอร์ได้ตามที่ต้องการตามที่ได้เปรียบเทียบกับเครื่องวัดที่มีตามท้องตลาด พร้อมทั้งมีความถูกต้องเมื่อเทียบกับมาตรฐานในด้านการวัดคุณภาพทางไฟฟ้า เมื่อออกแบบตัวโปรแกรมได้อย่างถูกต้องก็ทำการออกแบบชุดอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อกับโปรแกรม เพื่อทำการดึงสัญญาณทางไฟฟ้ามาวิเคราะห์ในคอมพิวเตอร์แล้วทำการบันทึก แล้วนำเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้านี้ไปทำการทดลองจริง แล้วเปรียบเทียบผลที่ตรวจวัดได้กับเครื่องวัดอื่นๆ เพื่อให้อุปกรณ์ที่ได้นำเสนอนี้มีประสิทธิภาพที่ดี สามารถวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าได้หลากหลาย และราคาประหยัดกว่าเครื่องวัดชนิดอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าในปัจจุบัน โดยแยกตามคุณสมบัติและความสามารถของแต่ละเครื่อง
2. มาตรฐานพารามิเตอร์และคุณภาพทางไฟฟ้า ยกตัวอย่าง เช่น IEEE, IEC และคู่มือคุณภาพไฟฟ้าของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ เป็นต้น
3. การเขียนโปรแกรมแลปวิวที่เป็นเครื่องมือเสมือนจริง เป็นเทคโนโลยีที่เปลี่ยนวิธีการทำงานของวิศวกรและนักวิทยาศาสตร์ในการใช้งานระบบเครื่องมือวัด

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ทำการศึกษาการใช้งานโปรแกรมแลปวิวและค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่จะทำการวัดทั้งหมดแล้วทำการทดลองเขียนโปรแกรมในส่วนของพารามิเตอร์ที่จะวัด ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาโดยทดลองรันโปรแกรมแล้ววิเคราะห์ค่าที่ได้โดยเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณจากทฤษฎี จากนั้นทำการวัดสัญญาณจริงในระบบไฟฟ้า 3 เฟส โดยตรวจจับสัญญาณผ่านอุปกรณ์ DAQ ทำการสร้างชุดอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ประกอบด้วยหม้อแปลงกระแส หม้อแปลงแรงดันและวงจรป้องกันแรงดันเกิน แล้วทำการทดลองวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วย

1. พารามิเตอร์พื้นฐานในระบบไฟฟ้าสามเฟส เช่น แรงดัน, กระแส, ความต่างของมุมเฟส และความถี่
2. พารามิเตอร์กำลังไฟฟ้าสามเฟส เช่น กำลังไฟฟ้าสามเฟส, ตัวประกอบกำลัง, และพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น
3. สัญญาณความผิดปกติของระบบไฟฟ้า เช่น ฮาร์มอนิก, ไฟกระพริบ, ความผิดปกติในภาวะชั่วคราว, การเปลี่ยนแปลงแรงดัน, การเปลี่ยนแปลงความถี่ และส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส เป็นต้น

วิเคราะห์ผลที่ได้ว่ามีความถูกต้องหรือไม่โดยเปรียบเทียบผลกับออสซิลอสโคปและเครื่องมือวัดต่างๆ ที่มีอยู่ในห้องตลาด ก่อนจะนำไปตรวจวัดกับระบบไฟฟ้าจริง

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาการเขียนโปรแกรมแลปวิวเริ่มจากพื้นฐาน เพื่อทำความรู้จักวิธีการเขียนโค้ดที่ตัวโปรแกรมแลปวิวจะแตกต่างกับโปรแกรมอื่น คือใช้รูปภาพในการเขียนโค้ดแทนการเขียนด้วยตัวหนังสือเป็นบรรทัด ตัวโปรแกรมยังมีชุดฟังก์ชันที่สามารถนำมาประยุกต์และวิเคราะห์ผล ทำให้ผู้ใช้สามารถพัฒนาโปรแกรมที่ออกแบบได้ตามที่ต้องการ
2. ศึกษาพารามิเตอร์และคุณภาพทางไฟฟ้าที่ต้องการวัด โดยดูจากความสามารถของเครื่องมือต่างๆ ซึ่งมีทั้ง พารามิเตอร์พื้นฐาน, พารามิเตอร์กำลังทางไฟฟ้า, คุณภาพทางไฟฟ้า และการจัดเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการจำลองสัญญาณไฟฟ้าสามเฟสและการตรวจวัดพารามิเตอร์ ในโปรแกรมแลปวิว ให้ครอบคลุมกับความต้องการเมื่อเทียบกับเครื่องวัดต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษา โดยออกแบบโปรแกรมให้ผู้ใช้หรือผู้ที่สนใจเข้าใจได้ง่าย
4. นำผลที่ตรวจวัดได้จากสัญญาณจำลองไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน เพื่อตรวจสอบว่าโปรแกรมที่ออกแบบมามีความถูกต้องแม่นยำหรือไม่ พร้อมทั้งแก้ไขโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น
5. เมื่อเขียนโปรแกรมเสร็จก็ทำการออกแบบชุดอุปกรณ์ ให้สามารถตรวจจับสัญญาณทางไฟฟ้าในระบบได้ ประกอบด้วยแรงดันและกระแสสามเฟส โดยเริ่มจากศึกษาอุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับโปรแกรมได้ ว่าสามารถรับสัญญาณอินพุตได้ที่ช่อง ระดับแรงดันเท่าไร จากนั้นจึงหาชุดที่ใช้ตรวจจับสัญญาณแรงดันและกระแสที่เหมาะสม
6. ทำการเชื่อมต่อโปรแกรมและชุดอุปกรณ์ แล้วทำการทดลอง จากนั้นนำผลที่วัดได้ไปเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิงและมาตรฐานตามที่ได้ศึกษา เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องวัดที่ได้ออกแบบ
7. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง พร้อมทั้งแนะนำการพัฒนาในอนาคต

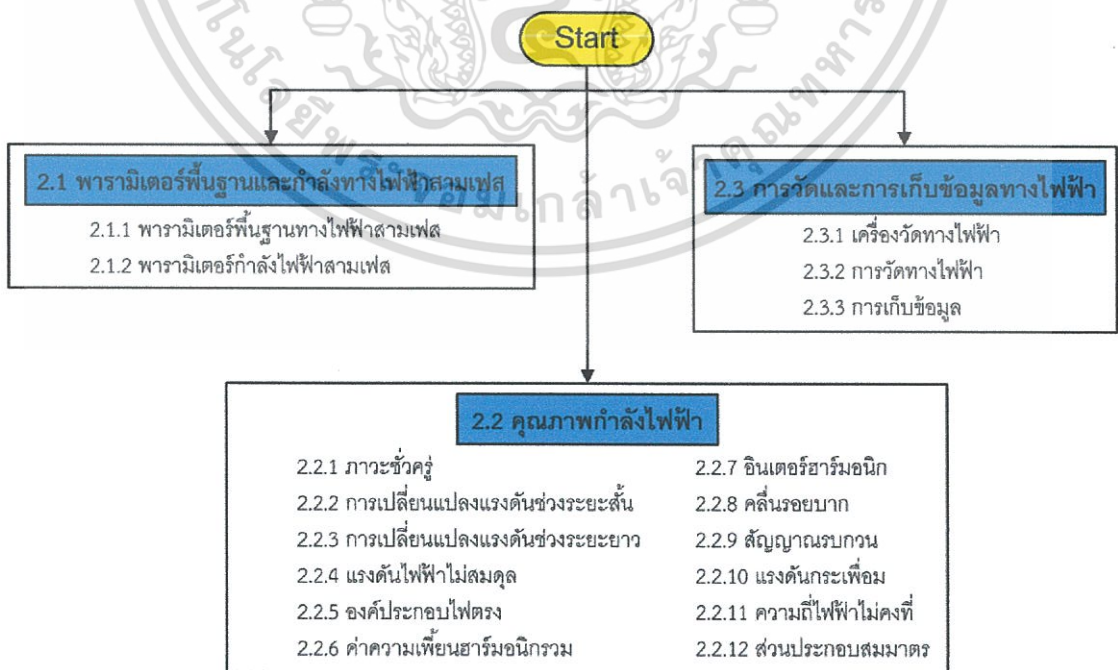


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในการศึกษาทฤษฎีและหลักการ ของการวัดพารามิเตอร์ต่างๆ และความผิดพลาดทางไฟฟ้า เพื่อชี้วัดคุณภาพทางไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าสามเฟส สามารถแบ่งได้ 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนแรก พารามิเตอร์ต่างๆ และคุณภาพทางไฟฟ้า สิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า หมายถึง ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น แล้วส่งผลกระทบต่อรูปคลื่นสัญญาณของแรงดันและกระแส ทำให้มีรูปร่างและขนาดเปลี่ยนไป ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าจากการศึกษาพบว่า การเกิดสิ่งผิดปกติที่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟบ่อยครั้งที่สุด คือ การเกิดการลดลงของระดับแรงดันชั่วขณะ หรือที่เรียกว่า Voltage Sag โดยมีหลายสาเหตุด้วยกัน เช่น การสตาร์ทของมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ หรือการปลดสับสวิทช์ของอุปกรณ์ตัดตอน แต่สาเหตุจากการเกิดการลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นสาเหตุหลัก ซึ่งอาจจะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียหายได้ ส่วนสิ่งผิดปกติที่ทำให้เกิดการเพิ่มของระดับแรงดัน ก็ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าเช่นเดียวกัน ความผิดปกติของสัญญาณทางไฟฟ้า (Disturbances) ที่เกิดขึ้นโดยทั่วไป ดังเช่น ฮาร์โมนิก (Harmonics), แรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation), ความผิดปกติในภาวะชั่วคราว (Transients), การเปลี่ยนแปลงแรงดัน (Voltage Variation) และการเปลี่ยนแปลงความถี่ (Frequency Variation) ที่เป็นไปตามมาตรฐานโดยอ้างอิงจาก IEEE Std 1159-1995 [1] จากนั้น ทำการศึกษาในหัวข้อที่สอง คือ เครื่องวัดทางไฟฟ้าชนิดต่างๆ เพื่อให้มีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับ หลักการทำงานเบื้องต้น การแบ่งประเภท โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องวัด หัวข้อสุดท้ายที่ ทำการศึกษา คือ การเก็บข้อมูล ที่สามารถเก็บรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูลจริงในการวัด ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยรูปที่ 2.1 ได้แสดงขั้นตอนการศึกษาทฤษฎีและหลักการตามหัวข้อต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสาร **รูปที่ 2.1** ขั้นตอนการศึกษาทฤษฎีและหลักการในการวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ขนด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 พารามิเตอร์พื้นฐานและกำลังทางไฟฟ้าสามเฟส (Three phase basic and power parameter)

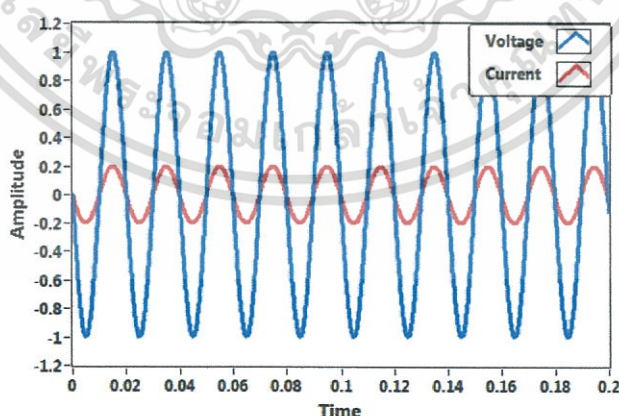
2.1.1 พารามิเตอร์พื้นฐานทางไฟฟ้าสามเฟส

2.1.1.1 แรงดันไฟฟ้า (Voltage)

กระแสไฟฟ้าเกิดจากการที่มีอิเล็กตรอนไหลในสายไฟ ซึ่งการที่อิเล็กตรอนไหลหรือเคลื่อนที่ได้ นั้นจะต้องมีแรงมากระทำต่ออิเล็กตรอนทำให้เกิดกระแสไหล แรงดังกล่าวนี้เรียกว่า แรงดันไฟฟ้า หรือ ศักย์ไฟฟ้า แรงขับเคลื่อนทางไฟฟ้า หมายถึง แรงที่สร้างให้เกิดแรงดันไฟฟ้าซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระตลอดเวลา กระแสไฟฟ้าจึงไหลตลอดเวลา แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้อาจเกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, แบตเตอรี่, ถ่านไฟฉาย และเซลล์เชื้อเพลิง ฯลฯ หน่วยของแรงดันไฟฟ้า หรือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า มีหน่วยเดียวกัน คือ โวลต์ (Voltage ซึ่งแทนด้วย V)

2.1.1.2 กระแสไฟฟ้า (Current)

จากปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าต่างๆ ที่เกิดขึ้น จะพบว่ามีสาเหตุมาจากการไหลของไฟฟ้า ไฟฟ้าที่เคลื่อนที่ได้จะมีคุณสมบัติตรงข้ามกับไฟฟ้าสถิตย์ เรียกว่า ไฟฟ้าเคลื่อนไหว สายไฟทั่วไปทำด้วยลวดตัวนำ คือ โลหะทองแดงและอะลูมิเนียม อะตอมของโลหะมีอิเล็กตรอนอิสระ ไม่ยึดแน่นกับอะตอม จึงเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ ถ้ามีประจุลบเพิ่มขึ้นในสายไฟ อิเล็กตรอนอิสระ 1 ตัวจะถูกดึงเข้าหาประจุไฟฟ้าบวก แล้วรวมตัวกับประจุไฟฟ้าบวกเพื่อเป็นกลาง ดังนั้น อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ เมื่อเกิดสภาพขาดอิเล็กตรอนจึงจ่ายประจุไฟฟ้าลบบอกไปแทนที่ ทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนในสายไฟ จนกว่าประจุไฟฟ้าบวกจะถูกทำให้เป็นกลางหมด การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนหรือการไหลของอิเล็กตรอนในสายไฟนี้เรียกว่า กระแสไฟฟ้า (Electric Current) ขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายไฟฟ้านั้น กำหนดได้จากปริมาณของประจุไฟฟ้าที่ไหลผ่านจุดใดๆ ในเส้นลวดใน 1 วินาที มีหน่วยเป็น แอมแปร์ (Ampere ซึ่งแทนด้วย A)



รูปที่ 2.2 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า

ค่าอาร์เอ็มเอส เป็นค่าสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับของแรงดันหรือกระแส ที่ถูกใช้งานทั่วไป ค่าอาร์เอ็มเอส (RMS = Root Mean Square) หรืออาจเรียกว่าค่าประสิทธิผล (Effective Value) เป็นค่าที่บอกไว้ใช้งานของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับต่าง ๆ ค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันหรือกระแสไฟฟ้ากระแสสลับใช้อักษรย่อ V_{rms} และ I_{rms} การหาค่าอาร์เอ็มเอสของกระแสหรือแรงดัน หา

ได้โดยการยกกำลังสองของค่าเฉลี่ย และนำมาถอดรากที่สองของค่าเฉลี่ยอีกครั้งหนึ่ง ตามสมการที่ 2.1 และ 2.2

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2 dt} \quad (2.1)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2 dt} \quad (2.2)$$

2.1.2 พารามิเตอร์กำลังไฟฟ้าสามเฟส

สามารถแบ่งออกเป็น 5 ส่วน คือ

2.1.2.1 กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power: S)

คือ กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรหรือ โหลดมีหน่วยเป็น โวลต์-แอมป์ (VA)

2.1.2.2 กำลังไฟฟ้าจริง (Real Power: P)

คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง เช่น การ ขับเคลื่อนลิฟท์ขนของ การขับเคลื่อนสายพาน เป็นต้น มีหน่วยเป็นวัตต์ (W) หรือ กิโลวัตต์ (kW) ซึ่งสามารถวัดได้จากวัตต์มิเตอร์ (Wattmeter)

2.1.2.3 กำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power: Q)

คือ พลังงานที่ใช้ในการสร้าง สนามแม่เหล็กเป็นกำลังไฟฟ้าที่ไม่สามารถนำไปใช้ ประโยชน์ได้ หรือเป็นกำลังไฟฟ้าที่สูญเสีย ไป เช่น พลังงานที่ไหลผ่านแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าหรือผ่าน Air Gap ของอินดักชันมอเตอร์ (Induction motor) เป็นต้น มีหน่วยเป็น วาร์ (VAR) หรือกิโลวาร์ (kVAR) สามารถวัดได้ จากวาร์มิเตอร์ (VARmeter)

โดยสูตรที่ใช้ในการคำนวณหากำลังไฟฟ้าสามเฟสเป็นดังสมการที่ 2.3, 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ

$$S_{3\phi} = 3V_{rms} I_{rms} \angle(\delta - \beta) \quad (2.3)$$

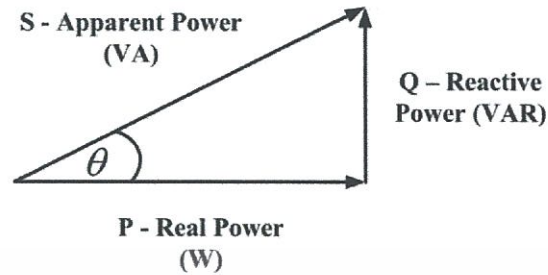
$$P_{3\phi} = 3V_{rms} I_{rms} \cos(\delta - \beta) \quad (2.4)$$

$$Q_{3\phi} = 3V_{rms} I_{rms} \sin(\delta - \beta) \quad (2.5)$$

ซึ่งในสมการที่ 2.2 ในส่วนของ $\cos(\delta - \beta)$ เรียกว่า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) โดยทั้ง S , P และ Q มันจะมีความสัมพันธ์กัน กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรไฟฟ้าเป็นผลที่มาจากค่า แรงดันและกระแสไฟฟ้า เมื่อจ่ายแรงดันให้กับวงจร จะทำให้เกิดกระแสโดยขนาดของกระแสจะขึ้นอยู่กับลักษณะของส่วนประกอบต่างๆ ในวงจร ซึ่งสามารถที่จะพิจารณาความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้า

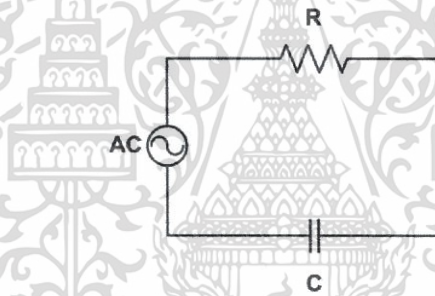
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ยูห้เห็นประโยชน์ของเอกสารนี้ กรุณา
ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S , P และ Q ได้ในรูปของสามเหลี่ยมมุมฉาก หรือที่เรียกว่า สามเหลี่ยมกำลัง (power triangle) ดังรูปที่ 2.3



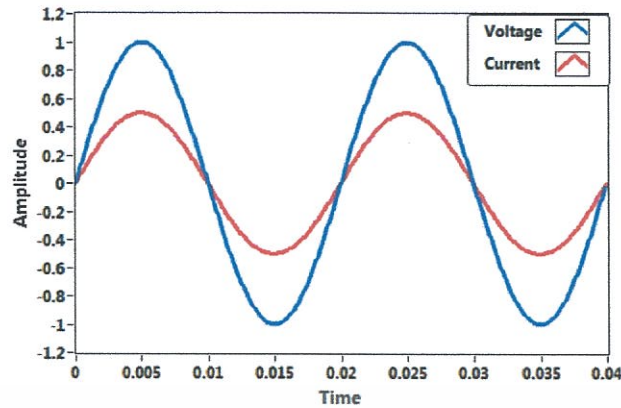
รูปที่ 2.3 สามเหลี่ยมกำลัง (Power Triangle)

Passive elements มีอยู่ 3 ตัว คือ R L C ดังรูปที่ 2.4 เป็นอุปกรณ์พื้นฐานในทางวงจรไฟฟ้า เมื่อเราป้อนแหล่งจ่ายไฟที่เป็นรูปคลื่นไซน์ (ไฟฟ้ากระแสสลับ) จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่ออุปกรณ์ทั้ง 3 ตัว ที่ไม่เหมือนกัน สามารถสรุปได้คร่าวๆ ดังนี้



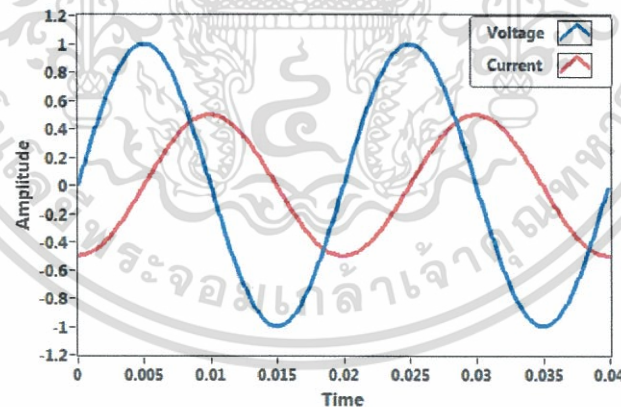
รูปที่ 2.4 RLC อุปกรณ์พื้นฐานในวงจรไฟฟ้า

R คือ ตัวต้านทาน (Resistor) เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ไม่ว่าจะเป็ไฟฟ้ากระแสสลับหรือไฟฟ้ากระแสตรง จะทำให้เกิดงานในรูปความร้อนสูญเสียออกไป และค่าความต้านทานนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ของแหล่งจ่าย ถ้ากล่าวในกรณีทั่วๆ ไป ยกเว้น กรณีที่มีกระแสไฟฟ้าความถี่สูงๆ ไหลผ่าน จะเกิดผลที่เรียกว่า Skin Effect คือ กระแสจะไปไหลที่บริเวณผิวของตัวนำแทนที่แกนกลางทำให้ความต้านทานมีค่าสูงขึ้น ได้ที่ค่าความถี่สูงๆ กำลังงานที่ตัวต้านทานนี้ คือ กำลังงานที่เราสามารถเอามาใช้ได้จริง เช่น ขดลวดความร้อนของกาต้มน้ำไฟฟ้า เป็นต้น ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน กำลังงานนี้ จะเรียกว่า กำลังไฟฟ้าจริง ที่มีหน่วยเป็น Watt



รูปที่ 2.5 รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อโหลดเป็นตัวต้านทาน

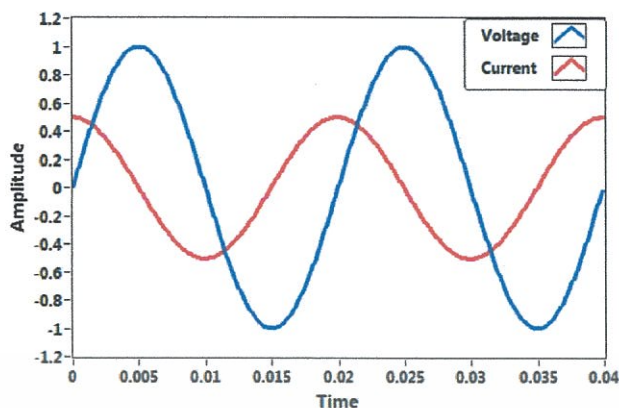
L คือ ขดลวดเหนี่ยวนำ (Inductor) เมื่อมีกระแสไฟฟ้าที่แปรค่าตามเวลา (ตัวอย่างเช่นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีคลื่นรูปไซน์) ไหลผ่าน จะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กขึ้นรอบๆ ขดลวด พลังงานไฟฟ้าจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานสนามแม่เหล็กของตัวอยู่รอบๆ ขดลวด ไม่ได้เกิดการสูญเสียพลังงานแต่อย่างใด เนื่องจากไฟฟ้ากระแสสลับจะมีสองลูกคลื่น ที่เป็นบวกและลบ ทำให้เกิดการสร้างฟลักซ์แม่เหล็กเมื่อมีการอัดกระแสให้กับตัวเหนี่ยวนำ ในครึ่งคาบที่เหลือ เมื่อเกิดการกลับทิศทางของแหล่งจ่าย พลังงานที่สะสมอยู่ในรูปสนามแม่เหล็กจะถูกปลดปล่อยออกมา กำลังงานไฟฟ้าแบบนี้ ไม่สามารถเอาไปใช้งานได้ เป็นกำลังงานที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็ก ที่ต้องจ่ายให้กับตัวขดลวดเหนี่ยวนำ กำลังงานนี้ก็คือน กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ มีหน่วยเป็น VAR (Volt-ampere reactive)



รูปที่ 2.6 รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อโหลดเป็นขดลวดเหนี่ยวนำ

C คือ ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ประกอบไปด้วยขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ววางขนานกัน โดยมีสารไดอิเล็กตริกเป็นตัวคั่น ปกติจะมีคุณสมบัติในการบล็อกกระแสไฟฟ้าตรง ไม่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน แต่เมื่อมีการป้อนแรงดันที่แปรค่าตามเวลา เช่นไฟฟ้ากระแสสลับรูปไซน์ จะทำให้เกิดกระแสไหลขึ้น เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นในเนื้อสารไดอิเล็กตริก พลังงานในส่วนนี้ก็จะคล้ายๆ กับตัวขดลวดเหนี่ยวนำ คือ เป็นพลังงานที่จ่ายเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าสะสมในตัวเก็บประจุ พลังงานนี้ จะถูกถ่ายเทกลับมาในระบบในช่วงครึ่งคาบที่เหมาะสม เรียกว่า กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ มีหน่วยเป็น VAR เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารพลังงานไฟฟ้าสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 รูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าเมื่อโหลดเป็นตัวเก็บประจุ

2.1.2.4 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor, PF)

ตัวประกอบกำลัง คือ อัตราส่วนระหว่างค่ากำลังจริงทั้งหมดในหน่วยวัตต์กับค่ากำลังปรากฏทั้งหมดในหน่วยโวลต์-แอมแปร์ (อาร์เอ็มเอส) ตัวประกอบกำลัง $\cos(\delta - \beta)$ มีค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยมีค่าเป็น 0 ในกรณีที่วงจรมีความจุหรือความเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียว และมีค่าเป็น 1 ในกรณีที่วงจรมีความต้านทานเพียงอย่างเดียว แต่ในวงจรทั่วไปที่ใช้งานจริงจะมีทั้งความต้านทาน และความจุหรือความเหนี่ยวนำ จึงทำให้ค่าของตัวประกอบกำลังน้อยกว่า 1

- Power Factor (Leading) เฟสเซอร์ของกระแสไฟฟ้านำเฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้า
- Power Factor (Lagging) เฟสเซอร์ของกระแสไฟฟ้าตามเฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้า
- Power Factor (Unity) เฟสเซอร์ของกระแสไฟฟ้าอินเฟสกับเฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้า

2.1.2.5 ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (Total Energy Consumption, kWh)

ปริมาณการใช้ไฟฟ้า คือ กำลังไฟฟ้าที่นำไปใช้ในระยะเวลาหนึ่ง มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือยูนิท โดยซื้อมาจากหน่วยงานที่ผลิตกระแสไฟฟ้าออกจำหน่าย เช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิต การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้านครหลวง เป็นต้น พลังงานไฟฟ้าไม่ได้จัดเป็นหน่วย SI แต่มีความสัมพันธ์กับหน่วยระบบ SI ซึ่งสามารถวัดได้ด้วย Watt-hour meter หรือ kWh meter ซึ่งเป็นมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้าน โดยมีสมการดังนี้ [2-3]

$$W(kWh) = P(kW) \times t(h) \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality)

คุณภาพกำลังไฟฟ้า หรือที่เรียกกันว่า PQ เป็นคำที่พูดถึงบ่อยในเรื่องของความมั่นคงการจ่ายไฟฟ้าของระบบจากการไฟฟ้า และกรณีเมื่อเกิดปัญหาอุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาด หรือหยุดการทำงานจากผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งเห็นได้ว่าค่านิยมของคำว่าคุณภาพกำลังไฟฟ้าระหว่างการไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟจะพูดถึงในกรณีที่แตกต่างกันไป แต่ในความเป็นจริงแล้วมีความหมายเดียวกันซึ่งนิยามของคุณภาพกำลังไฟฟ้า ตามมาตรฐานสากล IEC และ IEEE ให้ความหมายของคุณภาพกำลังไฟฟ้า คือ คุณลักษณะกระแสแรงดัน และความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสภาวะปกติไม่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการเสียหาย ซึ่งอาจให้นิยามโดยอ้างอิงกับเรื่องความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า (System reliability) ปัจจุบันทั้งการไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าต่างให้ความสำคัญกับปัญหาเรื่อง “คุณภาพกำลังไฟฟ้า” มากขึ้น จึงมีการพูดถึงกันอย่างมากตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1980 เป็นต้นมา และเป็นคำที่รวมเรื่องราวต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการรบกวน (Disturbance) ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า เรื่องคุณภาพไฟฟ้าไม่ใช่เรื่องใหม่แต่เป็นเรื่องที่ผู้ที่เกี่ยวข้อง เช่น วิศวกรไฟฟ้าพยายามที่จะจัดการกับเรื่องนี้อย่างเป็นระบบมากกว่าที่จะจัดการปัญหาที่ละเรื่องแยกกันเหมือนในอดีตที่ผ่านมา

คุณภาพกำลังไฟฟ้าเป็นเรื่องที่ถูกนำมาพิจารณาและให้ความสำคัญมากขึ้นเรื่อยๆ ด้วยเหตุผลหลัก 4 ประการ คือ

1. อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ มีความไวต่อการแปรเปลี่ยนของคุณภาพไฟฟ้ามากกว่าอุปกรณ์ที่ถูกใช้งานในอดีต อุปกรณ์สมัยใหม่จำนวนมากมีส่วนประกอบของไมโครโปรเซสเซอร์และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์กำลังซึ่งไวต่อสิ่งรบกวนต่างๆ
2. การให้ความสำคัญกับการเพิ่มประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าเป็นผลให้มีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ใหม่อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เช่น การประยุกต์ใช้ชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีประสิทธิภาพสูง การดำเนินการดังกล่าวทำให้ระดับฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าสูงขึ้น ทำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องต้องกลับมาพิจารณาถึงผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า
3. ผู้ใช้ไฟฟ้าให้ความตระหนักในเรื่องคุณภาพไฟฟ้ามากขึ้นกว่าในอดีต ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับข้อมูลข่าวสารมากขึ้น เช่น สถิติไฟดับ และมีการเรียกร้องให้การไฟฟ้าปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าของระบบให้สูงขึ้น
4. ระบบไฟฟ้ามีการต่อเป็นโครงข่ายใหญ่ขึ้น การทำงานผิดพลาดหรืออุปกรณ์เสียหายที่จุดใดจุดหนึ่ง อาจส่งผลกระทบต่อในวงกว้าง

ในประเทศไทยก็เริ่มมีการพูดถึงกันมากขึ้น ซึ่งสมัยก่อนทางการไฟฟ้าได้ออกกฏด้านฮาร์มอนิก ซึ่งเป็นเรื่องหนึ่งของคุณภาพไฟฟ้า มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1998 เพียงแต่ยังไม่ได้บังคับใช้จริงจังเพราะปัญหาที่เกิดขึ้นยังไม่รุนแรง ในปัจจุบันเนื่องจากการนำพลังงานทดแทนเข้ามาใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังมากขึ้น ทำให้ต้องมีกฎ หรือมาตรฐานที่สามารถรองรับคุณภาพไฟฟ้า ก่อนเชื่อมต่อเข้ากับระบบ เพื่อให้การส่งจ่ายและใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีคุณภาพ ตารางที่ 2.1 แสดงประเภทและลักษณะทั่วไปของปรากฏการณ์ในระบบไฟฟ้ากำลัง [1, 33]

ตารางที่ 2.1 ประเภทและลักษณะทั่วไปของปรากฏการณ์ในระบบไฟฟ้ากำลัง

ประเภท	รูปแบบ	ระยะเวลา	ขนาดแรงดัน
1.0 Transients			
1.1 Impulsive			
1.1.1 Nanosecond	5 ns rise	< 50 ns	
1.1.2 Microsecond	1 ms rise	50 ns-1 ms	
1.1.3 Millisecond	0.1 ms rise	> 1 ms	
1.2 Oscillatory			
1.2.1 Low frequency	< 5 kHz	0.3-50 ms	0-4 p.u.
1.2.2 Medium frequency	5-500 kHz	20 ms	0-8 p.u.
1.2.3 High frequency	0.5-5 MHz	5 ms	0-4 p.u.
2.0 Short duration variations			
2.1 Instantaneous			
2.1.1 Sag		0.5-30 cycles	0.1-0.9 p.u.
2.1.2 Swell		0.5-30 cycles	1.1-1.8 p.u.
2.2 Momentary			
2.2.1 Interruption		0.5 cycles-3 s	< 0.1 p.u.
2.2.2 Sag		30 cycles-3 s	0.1-0.9 p.u.
2.2.3 Swell		30 cycles-3 s	1.1-1.4 p.u.
2.3 Temporary			
2.3.1 Interruption		3 s-1 min	< 0.1 p.u.
2.3.2 Sag		3 s-1 min	0.1-0.9 p.u.
2.3.3 Swell		3 s-1 min	1.1-1.2 p.u.
3.0 Long duration variations			
3.1 Interruption, sustained		> 1 min	0.0 p.u.
3.2 Undervoltages		> 1 min	0.8-0.9 p.u.
3.3 Overvoltages		> 1 min	1.1-1.2 p.u.
4.0 Voltage imbalance		steady state	0.5-2%
5.0 Waveform distortion			
5.1 DC offset		steady state	0-0.1%
5.2 Harmonics	0-100th H	steady state	0-20%
5.3 Interharmonics	0-6 kHz	steady state	0-2%
5.4 Notching		steady state	
5.5 Noise	broad-band	steady state	0-1%
6.0 Voltage fluctuations	< 25 Hz	intermittent	0.1-7%
7.0 Power frequency variations			

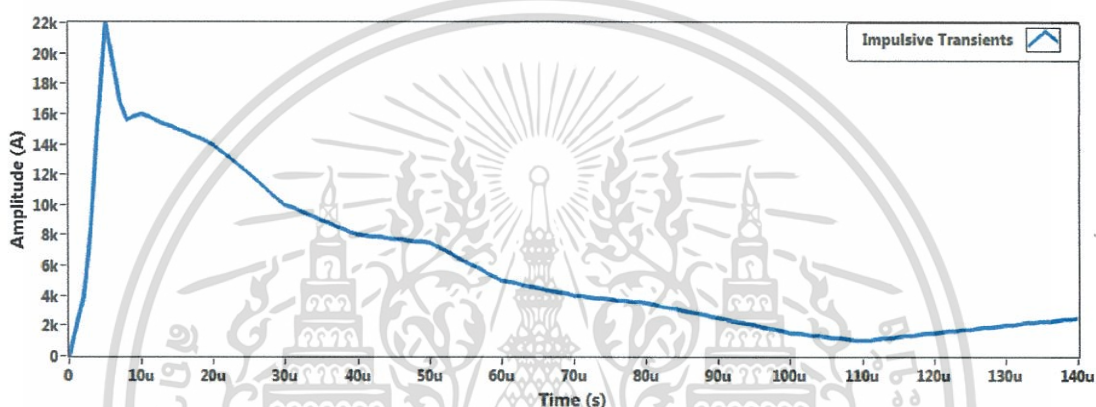
เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ วัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุย< 10 s ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ภาวะชั่วคราว (Transient)

คือปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงของสภาพไฟฟ้าทั้งแรงดันและกระแส ในเวลาทันทีทันใด จากสภาพปกติแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ อิมพัลส์ชั่วคราวและออสซิลเลชันชั่วคราว

2.2.1.1 อิมพัลส์ชั่วคราว (Impulsive Transients)

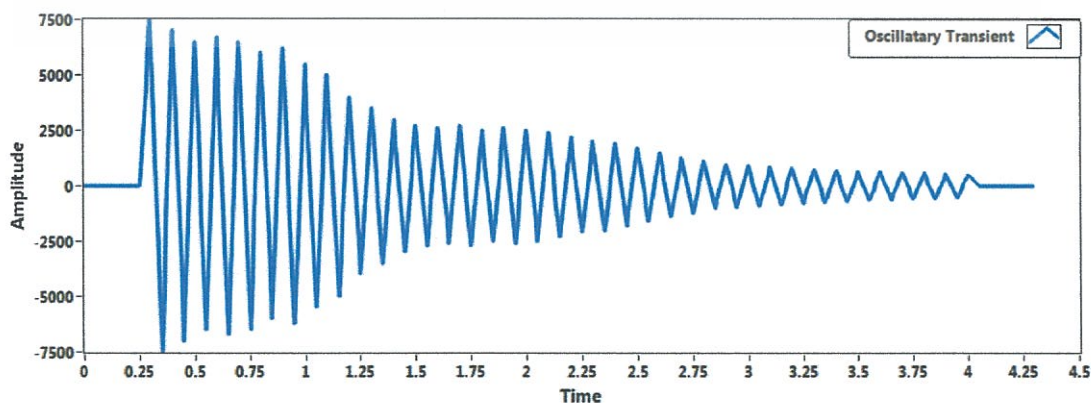
คือขนาดกระแสและแรงดันที่มีค่าความชันสูงมาก เกิดขึ้นในทันทีทันใดไม่มีความถี่เปลี่ยนแปลงกำหนดให้มีชั่วคราวทางเดียวหรือเรียกว่าเสิร์จ (Surge) มีสาเหตุเกิดจากฟ้าผ่า ซึ่งอาจเกิดได้โดยตรงหรือในบริเวณใกล้เคียง ผลทำให้อุปกรณ์ในระบบได้รับความเสียหายจากแรงดันไฟฟ้าเกิน มาตรฐาน IEEE std. 1159 - 1995 มีการกำหนดค่าอิมพัลส์ตามช่วงระยะเวลาที่เกิดกับค่าระยะเวลาที่แรงดันเริ่มสูงขึ้น (rise time) ดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.8 อิมพัลส์ชั่วคราว

2.2.1.2 ออสซิลเลชันชั่วคราว (Oscillatory Transient)

คือลักษณะของแรงดันหรือกระแสแรงดันมีค่าสูง เกิดขึ้นในทันทีทันใด ไม่มีความถี่เปลี่ยนแปลง มีการเปลี่ยนแปลงชั่ว (บวก ลบ) ของรูปคลื่นอย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 2.9 มีสาเหตุเกิดจากการสวิตซ์ของอุปกรณ์ในระบบ ผลทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าได้รับความเสียหาย และฉนวนของอุปกรณ์มีการเสื่อมสภาพหรือมีการสูญเสียความเป็นฉนวนเร็วขึ้น มาตรฐาน IEEE std. 1159 - 1995 มีการแบ่งการเกิดออสซิลเลชันในภาวะชั่วคราวตามขนาดแรงดันและช่วงระยะเวลาการเกิดตามความถี่ ดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.9 ออสซิลเลชันชั่วคราว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

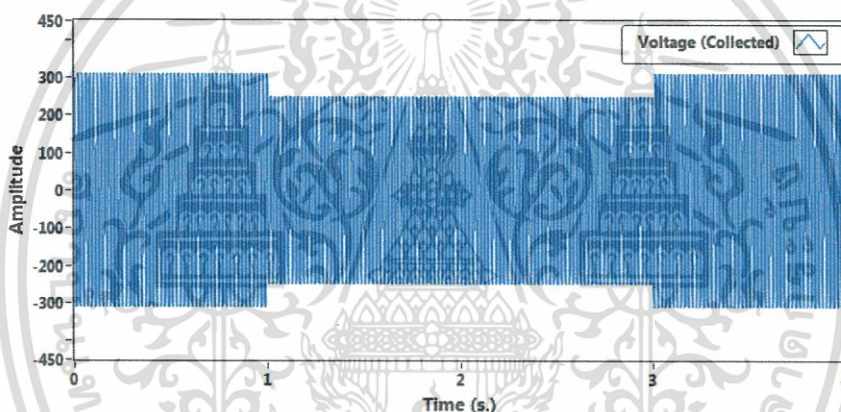
2.2.2 การเปลี่ยนแปลงแรงดันช่วงระยะสั้น (Short Duration Voltage Variation)

คือการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันอาร์เอ็มเอส ที่มีระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงค่าไม่เกิน 1 นาที มีสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากสภาวะความผิดปกติของทางไฟฟ้า ทำให้เกิดเหตุการณ์แรงดันตก (Voltage Sag หรือ Voltage Dip) แรงดันเกิน (Voltage Swell) และไฟดับ (Interruptions)

ตามมาตรฐาน IEEE Std. 1159-1995 มีการเรียกชื่อแรงดันดังกล่าวตามระยะเวลาที่เกิดคือ เวลาทันทีทันใด (Instantaneous) ชั่วขณะ (Momentary) และชั่วคราว (Temporary) ดังตารางที่ 2.1

2.2.2.1 แรงดันตกช่วงสั้น (Voltage Sag)

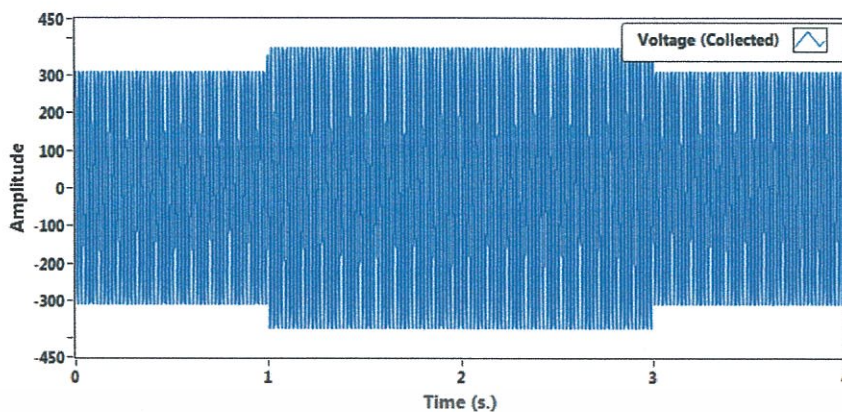
คือค่าแรงดันอาร์เอ็มเอส มีขนาดลดลงระหว่าง 0.1-0.9 p.u. ในช่วงเวลาระหว่าง 10 ms – 1 min. ดังรูปที่ 2.10 มีสาเหตุส่วนใหญ่ เกิดขึ้นกับเฟสที่เกิดความผิดปกติของทางไฟฟ้า ทำให้แรงดันมีค่าลดลงเหลือ 0.2 p.u. ของแรงดันปกติ (80% Sag) ในช่วงเวลา 3 ไซเคิล มีผลทำให้อุปกรณ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของแหล่งจ่ายไฟ มีการทำงานผิดพลาดหรือหยุดการทำงาน



รูปที่ 2.10 แรงดันตกช่วงสั้น

2.2.2.2 แรงดันเกินช่วงสั้น (Voltage Swell)

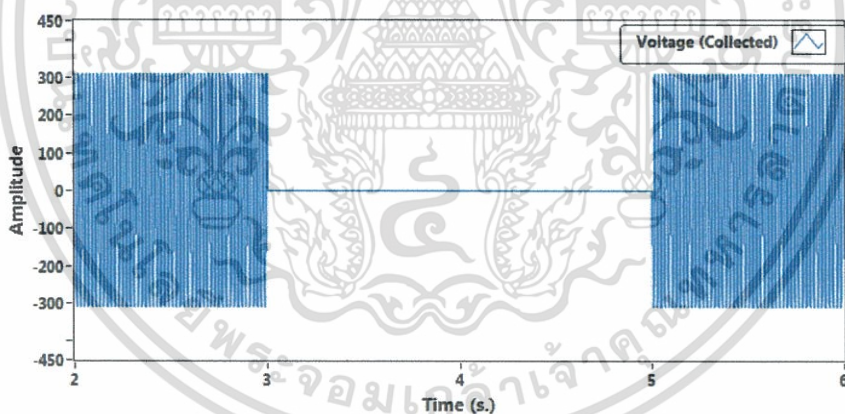
คือค่าแรงดันอาร์เอ็มเอส มีขนาดเพิ่มขึ้นระหว่าง 1.1-1.8 p.u. ในช่วงเวลาระหว่าง 10 ms – 1 min. ดังรูปที่ 2.11 มีสาเหตุส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นกับเฟสที่ไม่ได้เกิดความผิดปกติของทางไฟฟ้าโดยตรง หรืออาจเกิดจากการปลดโหลดขนาดใหญ่ออกจากระบบ หรือมีการต่อคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่เข้าระบบ ผลทำให้อุปกรณ์ได้รับความเสียหาย หรือทำให้อุปกรณ์ ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของแหล่งจ่ายไฟมีการทำงานผิดพลาดหรือหยุดการทำงาน



รูปที่ 2.11 แรงดันเกินช่วงสั้น

2.2.2.3 ไฟดับช่วงสั้น (Voltage Interruption)

คือค่าแรงดันอาร์เอ็มเอส มีค่าลดลงต่ำกว่า 0.1 p.u. ในช่วงระหว่าง 10 ms - 1 min ดังรูปที่ 2.12 มีสาเหตุเกิดจากสภาวะความผิดปกติทางไฟฟ้าในระบบ ทำให้อุปกรณ์ป้องกันมีการตัดวงจรแหล่งจ่ายไฟออก แสดงการเกิดไฟดับช่วงระยะเวลาสั้นๆ ประมาณ 2 sec จากการทำงานของรีโคลสเซอร์ตัดวงจรแหล่งจ่ายออกจากระบบก่อนจะมีการต่อวงจรเข้าไปดังเดิมอีกผลทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าหยุดการทำงาน



รูปที่ 2.12 ไฟดับช่วงสั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงแรงดันช่วงระยะเวลา (Long Duration Voltage Variation)

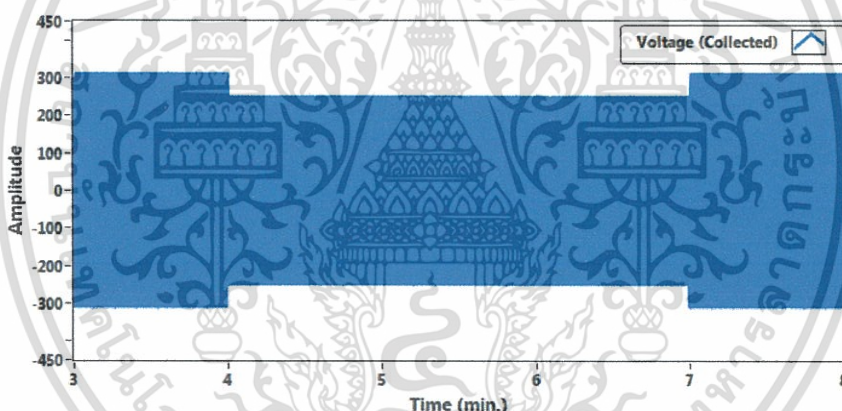
คือการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันอาร์เอ็มเอส ที่มีระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงค่าเกิน 1 นาที มีสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงการทำงานของโหลดขนาดใหญ่ ทำให้เกิดเหตุการณ์แรงดันตก (Undervoltage) แรงดันเกิน (Overvoltage) และไฟดับ (Sustained Interruptions)

2.2.3.1 แรงดันตก (Undervoltage)

คือค่าแรงดันอาร์เอ็มเอส มีขนาดลดลงระหว่าง 0.8-0.9 p.u. ในช่วงเวลานานกว่า 1 นาที มีสาเหตุเกิดขึ้นจากผลของการสวิตซ์โหลดขนาดใหญ่เข้าระบบ หรือมีการปลดคปาซิเตอร์ออกจากระบบ ผลทำให้อุปกรณ์ได้รับความเสียหาย เนื่องจากเกิดการรับภาระเกิน (Overload) ตามมาตรฐานของ NEMA กำหนดไว้ว่าไม่ควรต่ำกว่า 90% ของพิกัด โดยเป็นมาตรฐานที่โปรแกรมตั้งไว้ โดยสูตรที่ใช้คำนวณแรงดันตกเป็นดังสมการ

$$\%V_{under} = \frac{|V - V_{ref}|}{V_{ref}} \times 100\%$$

(2.7)



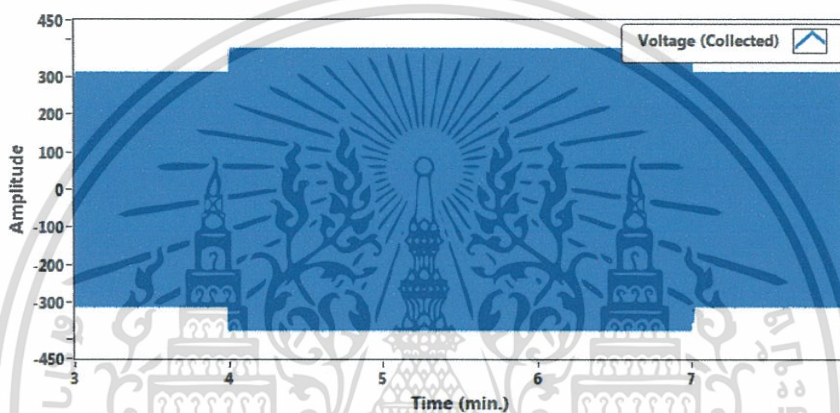
รูปที่ 2.13 แรงดันตก

นอกจากนี้ นิยามของแรงดันไฟฟ้าตก ที่ให้ไว้โดย IEEE Std. 1100-1992 คือ การลดลงของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ณ ความถี่กำลังไฟฟ้า (50 Hz) เป็นช่วงเวลานานกว่า 2-3 วินาที แรงดัน Sag เองก็จัดอยู่ในกลุ่มปัญหาเรื่องแรงดันไฟฟ้าตกเช่นกัน แต่แยกแรงดัน Sag ออกไปต่างหากจากนิยามของแรงดันไฟฟ้าตก สำหรับสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาในเรื่องแรงดันไฟฟ้าตก สามารถจำแนกออกได้ 2 สาเหตุใหญ่ ระยะห่างระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้า (สถานีการไฟฟ้า) กับระบบงานมีมากเกินไป ส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมอยู่ตามสายตัวนำที่เกิดจากโหลดที่ใช้กำลังไฟฟ้าสูง ผลกระทบจากปัญหาในเรื่องแรงดันไฟฟ้าตก ส่งผลให้เกิดความร้อนที่สูงเกินขีดปกติที่มอเตอร์ไฟฟ้า หรือสามารถส่งผลให้ระบบงานหยุดทำงาน (Shutdown) ได้ เป็นต้น

2.2.3.2 แรงดันเกิน (Overvoltage)

คือค่าแรงดันอาร์เอ็มเอส มีขนาดเพิ่มขึ้นระหว่าง 1.1-1.2 p.u. ในช่วงเวลานานกว่า 1 นาที มีสาเหตุเกิดขึ้นจากผลของการปลดโหลดขนาดใหญ่ออกจากระบบ หรือมีการสวิตซ์ซึ่งคาปาซิเตอร์เข้าระบบ หรือการปรับแทปหม้อแปลงไม่เหมาะสมกับระบบ ผลทำให้อุปกรณ์ได้รับความเสียหายเนื่องจากแรงดันเกิน ตามมาตรฐานของ NEMA (The National Electric Manufacturer's Association) ที่ได้ตั้งไว้ในโปรแกรม โดยกำหนดไว้ไม่เกิน 110% ของค่าพิกัด โดยสูตรที่ใช้คำนวณแรงดันตกเป็นดังสมการ

$$\%V_{over} = \frac{|V - V_{ref}|}{V_{ref}} \times 100\% \quad (2.8)$$



รูปที่ 2.14 แรงดันเกิน

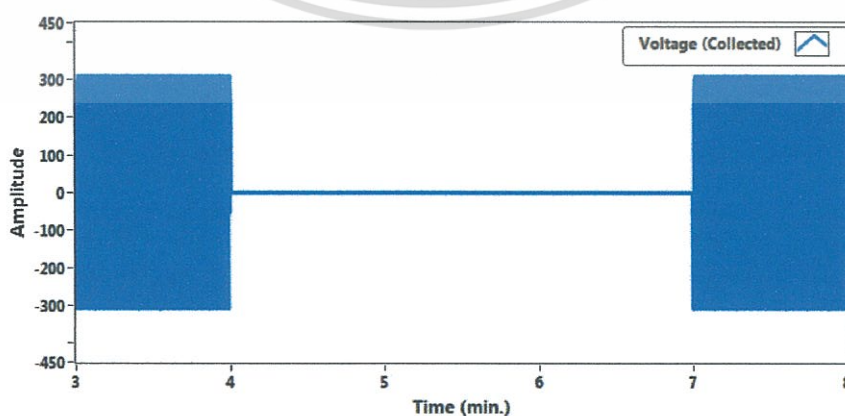
นอกจากนี้แล้วนิยามของแรงดันไฟฟ้าเกิน หากอ้างอิง IEEE Std. 1100-1992 จะได้ว่า การเพิ่มสูงขึ้นของแรงดันไฟฟ้ากระแส-สลับ (AC) ที่ความถี่กำลังไฟฟ้า (50 Hz) โดยมีช่วงเวลาก่อเกิดขึ้นนาน มากกว่า 2-3 วินาทีหากไม่สนใจนิยามแรงดันไฟฟ้าเกิน ที่ให้ไว้ โดย IEEE Std. 1100-1992 ซึ่งเราจะให้ความสนใจแต่เพียงค่าขนาดแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่าค่าระดับแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟสเพียงเท่านั้นผลที่ตามนั้นก็คือ จะเกิดความหลากหลายเป็นอย่างมากสำหรับลักษณะของแรงดันไฟฟ้าเกิน ไม่ว่าจะเป็นลักษณะของรูปคลื่น ซึ่งมีทั้งลักษณะทรานเซียนต์หรือเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ (ไมโครวินาที-มิลลิวินาที) และลักษณะที่เกิดขึ้นเป็นช่วงเวลานานๆ (มากกว่าครึ่งไซเคิล-3วินาที) นอกจากลักษณะของรูปคลื่นที่แตกต่างกันไปแล้วแหล่งก่อกำเนิดหรือสาเหตุก็ยังคงมีความแตกต่างกันไปอีกด้วย ด้วยความหลากหลายของลักษณะแรงดันไฟฟ้าเกิน จึงจำเป็นที่จะต้องกำหนดนิยามลักษณะของแรงดันไฟฟ้าเกินที่มีความแตกต่างกันออกไป ตัวอย่างเช่น แรงดันทรานเซียนต์ที่เกิดจากกระแสฟ้าผ่า (หรืออื่นๆ) ปรากฏตามสายตัวนำ จะเรียกว่า ไฟกระชอก (Surge) แรงดันทรานเซียนต์ที่เกิดจากการปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าของวัสดุเก็บพลังงานไฟฟ้าเมื่อเกิดการพอลต์ จะเรียกว่า แรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะฟื้นตัวกลับ (Transient Recovery Voltage) เป็นต้น สาเหตุที่ต้องจำแนกแรงดันไฟฟ้าเกินออกมาเป็นชนิดต่าง ๆ เพราะว่าด้วยเหตุผลที่ว่าเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ในงานการป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินแต่ละชนิด มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันนั่นเองตัวอย่างเช่น การนำ MOV (metal oxide varistor) กับรีเลย์ป้องกัน (Relay Protection) มาใช้ในงานการป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกิน โดย

เอกสารตัว MOV จะทำหน้าที่เบี่ยงเบน (Diverter) รัศมีทิศทางกระแส หรือมีความสามารถค่า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Clamping แรงดันไฟฟ้าเกินได้ในช่วงเวลาสั้นๆ (ไฟ-กระชอก, Spike หรือทรานเซียนต์นั่นเอง) ได้อย่างมีคุณภาพ แต่ถ้าหากแรงดันไฟฟ้าเกินที่ปรากฏขึ้นมีคาบเวลาในการเกิดนานๆ (วินาที) ตัว MOV ก็จะได้รับคามเสียหาย (ระเบิด) ในที่สุด แต่ถ้าเป็นตัวรีเลย์ป้องกันจะสามารถทำหน้าที่ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินที่มีคาบเวลาการเกิดนานๆได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในทางกลับกัน ถ้าแรงดันไฟฟ้าเกินมีลักษณะการเกิดในช่วงเวลาสั้นๆ (ไฟกระชอก) ตัวรีเลย์ป้องกันจะมีผลการตอบสนองต่อการปรากฏขึ้นได้ไม่ไวพอ และตัวรีเลย์ป้องกันเองสามารถได้รับความเสียหายได้ปัญหาทางด้านคุณภาพกำลังไฟฟ้าจากเหตุผลและตัวอย่างที่ยกขึ้นมาสนับสนุน จึงเป็นเรื่องที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจำแนกลักษณะของแรงดันไฟฟ้าเกินออกเป็นชนิดต่างๆ เพื่อนำไปสู่การวางแผนทางการป้องกันอย่างเกิดประสิทธิผล โดยไม่ก่อให้เกิดการทับซ้อนของปัญหาอันนำไปสู่การสูญเสียงบประมาณโดยไม่เกิดประสิทธิภาพสำหรับสาเหตุของการเกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน (ยึดแรงต่ำ) สามารถจำแนกได้ 2 สาเหตุใหญ่ๆ ด้วยกัน ได้แก่ การเกิดกราวด์ฟอลต์และการหยุดทำงานของโหลดหรือระบบงานขนาดใหญ่ การเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินจาก 2 สาเหตุดังกล่าวนี้ ส่งผลกระทบต่อโดยตรงต่อวัสดุประเภท Surge Arrester ทั้งหลาย (ภาคอินพุทของเครื่อง UPS, Stabilizer เป็นต้น)

2.2.3.4 ไฟดับ (Voltage Sustained Interruption)

คือค่าแรงดันอาร์เอ็มเอส มีค่าลดลง 0.0 p.u. ในช่วงเวลาเกินกว่า 1 นาที มีสาเหตุเกิดจากสถานะความผิดปกติของไฟฟ้าในระบบทำให้อุปกรณ์ป้องกันมีการตัดวงจรแหล่งจ่ายไฟออกถาวรเกิดไฟดับช่วงระยะยาวจากการทำงานของรีเคลสเซอร์ตัดวงจรแหล่งจ่ายออกจากระบบถาวร เมื่อสถานะความผิดปกติของไฟฟ้ายังอยู่ในระบบ เป็นผลทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าหยุดการทำงาน ปัญหาเรื่องไฟดับถือเป็นปัญหาหนึ่งในงานคุณภาพกำลังไฟฟ้า เพราะปัญหานี้ส่งผลให้ระบบงานไม่สามารถดำเนินงานได้โดยนิยามของไฟดับสามารถให้ความหมายได้ว่า การสูญเสียกำลังไฟฟ้าในสายตัวนำตลอดคาบเวลาอย่างสมบูรณ์ หรือพิจารณาอย่างง่าย ๆ นั่นก็คือ ไม่มีกำลังไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฯ จ่ายสู่ระบบงานของเรา ส่วนสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาไฟดับ สามารถจำแนกออกได้อย่างหลากหลาย เช่น เครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้า(การไฟฟ้าฯ) เสียหายหม้อแปลงไฟฟ้าเสียหาย อุบัติเหตุต่างๆ ที่ก่อให้เกิดความเสียหายกับระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า เป็นต้น สำหรับการแก้ไขปัญหาในเรื่องไฟดับ สามารถดำเนินการได้โดยการติดตั้งเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าในระบบงาน ได้แก่ Generator , UPS เป็นต้น



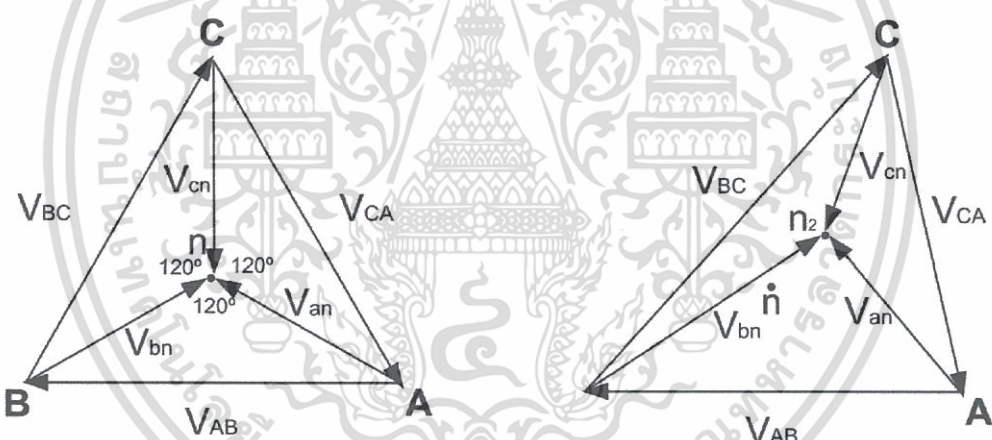
รูปที่ 2.15 ไฟดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล (Voltage Unbalance)

โดยทั่วไปผู้ที่ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดสามเฟส ต้องการใช้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายจากการไฟฟ้าจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่มีทั้งขนาดและมุมระหว่างเฟสของแรงดันไฟฟ้าที่เท่ากัน ดังรูปที่ 2.16 (ก) เห็นได้ว่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสมีค่าเท่ากัน และมุมระหว่างเฟสจะห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า และเมื่อเทียบกับจุดเป็นกลาง หรือ นิวทรัล (Neutral) ก็จะมีคุณสมบัติด้วยเช่นกัน ทำให้แรงดันทั้งสามเฟสมีความสมดุล แต่ถ้าหากแรงดันไฟฟ้าทั้งสามเฟสไม่สมดุล ดังรูปที่ 2.16 (ข) จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสทั้งสามไม่สมดุลกันทั้งขนาดและมุม ส่งผลให้ค่าแรงดันไฟฟ้า Phase-to-Neutral เกิดความไม่สมดุลกันตามไปด้วย โดยสังเกตจากจุดเป็นกลาง n ย้ายไปอยู่ตำแหน่ง n_2 แทน ซึ่งผลของการเกิดแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล จะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดสามเฟส เช่น มอเตอร์ไฟฟ้าเหนียวน่า, มอเตอร์ที่ปรับความเร็ว มีประสิทธิภาพลดลง ชำรุดเสียหาย หรือหยุดทำงานได้ โดยที่การหาค่าแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลกันสามารถคำนวณได้จาก

$$\%Unbalance = \frac{\text{Maximum deviation from the average}}{\text{Average of the three phase-to-phase voltages}} \times 100\% \quad (2.9)$$



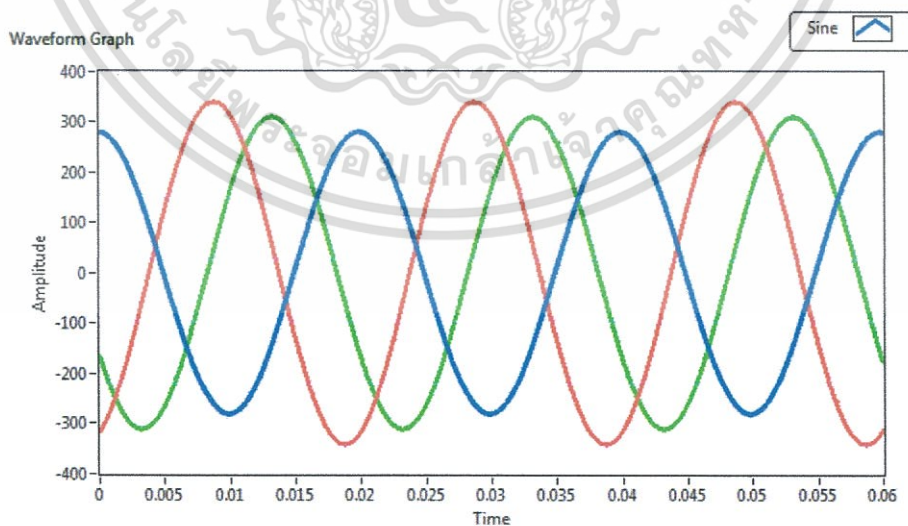
(ก) แรงดันสามเฟสสมดุล

(ข) แรงดันสามเฟสไม่สมดุล

รูปที่ 2.16 เฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้าสามเฟส

สาเหตุหลักของการเกิดแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล จะเกิดจากการใช้กระแสไฟฟ้าที่ไม่สมดุล (Unbalance Currents) ตั้งแต่ 15-20 % ขึ้นไป ซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมนอกจากจะใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดสามเฟสแล้ว ยังใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดโหลดแบบเฟสเดียวต่อรวมอยู่ในวงจรด้วย เช่น อุปกรณ์สำนักงาน ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง มอเตอร์เฟสเดียว รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟสไม่สมดุล เป็นสาเหตุให้มอเตอร์ไฟฟ้าร้อน และลดประสิทธิภาพการทำงานลง ทั้งนี้ NEMA กำหนดไว้ว่า มอเตอร์ไฟฟ้าไม่ควรต่ออยู่กับระบบที่เกิดแรงดันไม่สมดุลเกิน แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล คือปรากฏการณ์ที่แรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสมีค่าไม่เท่ากันโดยมีค่าสมมาตรลำดับเฟสลบ (Negative Sequence) เกิดขึ้นในระบบ ทำให้ค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าหรือมุมทางไฟฟ้าไม่เท่ากันทั้ง 3 เฟส ซึ่งจะถูกวัดออกมาในรูปแบบร้อยละของอัตราส่วนระหว่างสมมาตรลำดับเฟสลบต่อสมมาตรลำดับเฟสบวก หรือร้อยละของ

อัตราส่วนระหว่างค่าเบี่ยงเบนสูงสุดจากค่าเฉลี่ยของแรงดัน ไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส ต่อค่าเฉลี่ยของแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส ซึ่งสาเหตุของแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลเกิดจากการใช้ไฟฟ้าไม่สมดุลกัน ทั้ง 3 เฟส หรือการจัดวางสายไฟฟ้าไม่สมดุลเป็นระยะทางยาวดังนั้นค่าแรงดันไฟฟ้าที่ไม่สมดุลนี้จะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ดังนี้เกิดกระแสไหลในสายนิวทรัล พลังงานไฟฟ้าสูญเสียทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าสั้นลง ทำให้ความสามารถในการใช้พลังงานจากหม้อแปลงไฟฟ้าลดลงทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ปลดวงจร ทำให้มอเตอร์ชำรุดเสียหาย ความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้ายังหมายถึงค่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า 3 เฟส โดยแต่ละเฟสมีค่าแตกต่างกันออกไป ดังนั้นต้องพิจารณาลักษณะของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าพร้อมด้วย ส่วนสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า เกิดจากความไม่สมดุลของโหลดในแต่ละเฟส ผลเสียที่เกิดขึ้นกับระบบงานจากปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า จะทำให้เกิดความร้อนที่สูงเกินขีดปกติที่โหลดชนิด สามเฟส ตัวอย่างเช่น หม้อแปลงไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้า รีเลย์ เร็ชตีไฟเออร์สามเฟส เป็นต้น ความร้อนที่เกิดขึ้นกับโหลดเหล่านี้ ซึ่งมีการทำงานที่ต่อเนื่องได้รับความเสียหายได้ และจะส่งผลกระทบเป็นลูกโซ่ต่อระบบไฟฟ้าในลำดับถัดไป ความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้ายังมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องรีคตีไฟเออร์สามเฟส โดยเอาท์พุทจะมีค่าริเบิล (Ripple) ที่สูงขึ้น กรณีการเกิดสภาวะแรงดันไม่สมดุล มักเกิดจากโหลดชนิด 1 เฟสในแต่ละเฟสไม่เท่ากัน หรือมีโหลดชนิดสามเฟสไม่สมดุลเชื่อมต่อในระบบ หรือเกิดจากเฟสใดเฟสหนึ่งของระบบไฟฟ้าหายไป เช่นการทำงานของ พิวส์แรงสูง เพื่อเคลียร์ฟอลต์ในระบบไฟฟ้าหรือเกิดจากการเกิดแรงดันตก เมื่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าเกิดสภาวะแรงดันไม่สมดุล อุปกรณ์ที่จะได้รับผลกระทบมากที่สุด คือ มอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งทำให้อายุการใช้งานของมอเตอร์ลดลง เนื่องจากเมื่อเกิดแรงดันไม่สมดุล จะทำให้เกิดกระแสไม่สมดุลในโรเตอร์ และสเตเตอร์ของมอเตอร์ ส่งผลทำให้มอเตอร์มีอุณหภูมิสูงขึ้นและเกิดความสูญเสีย อุปกรณ์ป้องกันมอเตอร์ทำงานทำให้กระบวนการผลิตหยุดชะงัก [4]



รูปที่ 2.17 แรงดันไม่สมดุล (Voltage Unbalance)

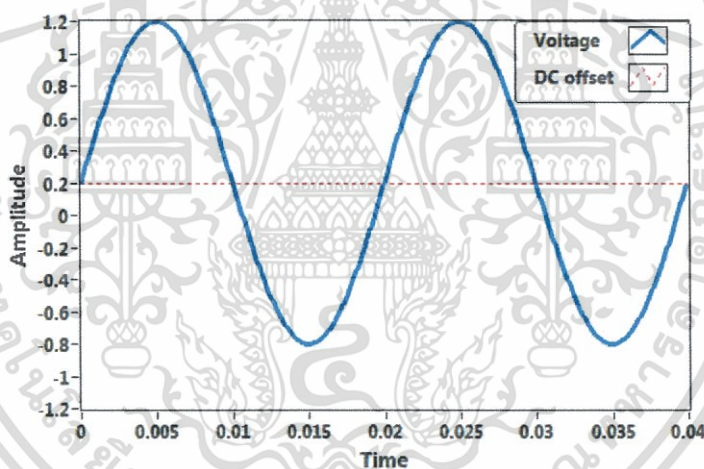
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการแก้ไข ย้ายภาระไฟฟ้าที่เป็นแบบซิงเกิลเฟสให้มีความสมดุลในจัดวาง แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลในระบบ 3 เฟสมีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลคือค่าแรงดันไฟฟ้าแต่ละเฟสไม่เท่ากัน หรือมุมของแต่ละเฟสห่างกันไม่เท่ากับ 120 องศา เกิดจากการต่อโหลด 1 เฟสในระบบจำหน่าย 3 เฟสทำให้ขนาดแรงดันไม่เท่ากันผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า 3 เฟสที่เกิดจากแรงดันไม่สมดุลสรุปได้ดังนี้

1. กระแสไฟฟ้าไม่สมดุลในกรณีใช้โหลดเต็ม ที่กระแสไฟฟ้าไม่สมดุลจะมีค่า 6 - 10 เท่าของแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเกิดความร้อนสูงเกินทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์สั้นลง
2. เมื่ออุณหภูมิเพิ่มแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลเพียง 4% จะทำให้อุณหภูมิของอุปกรณ์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นถึง 25%

2.2.5 องค์ประกอบไฟตรง (DC offset)

การที่มีกระแสหรือแรงดันไฟตรงปะปนอยู่ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับเป็นผลมาจากการใช้อุปกรณ์เรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half-wave Rectifier) เป็นผลทำให้เกิดความร้อน และค่ากำลังสูญเสียของหม้อแปลงและอาจจะทำให้เกิดการผูกרוןของแท่งกราวด์ได้



รูปที่ 2.18 แรงดันที่มีแรงดันไฟตรงปะปน

2.2.6 ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonics Distortion, THD)

ฮาร์มอนิก คือส่วนประกอบในรูปสัญญาณคลื่นไซน์ของสัญญาณหรือปริมาณเป็นคาบใดๆ ซึ่งมีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่หลักมูล (Fundamental Frequency) ตัวอย่างเช่น ส่วนประกอบที่มีความถี่ 3 เท่าของความถี่หลักมูลจะเรียกว่า ฮาร์มอนิกที่ 3 (Third Harmonic) ค่าที่ใช้ชี้วัดความผิดเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม คือ อัตราส่วนระหว่างค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสอง (Root-Sum-Square) ของค่าอาร์เอ็มเอส ของส่วนประกอบฮาร์มอนิก (Harmonic Component) กับค่าอาร์เอ็มเอส ของส่วนประกอบความถี่หลักมูล (Fundamental Component) เทียบเป็นร้อยละ แสดงในสมการ [5]

ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม

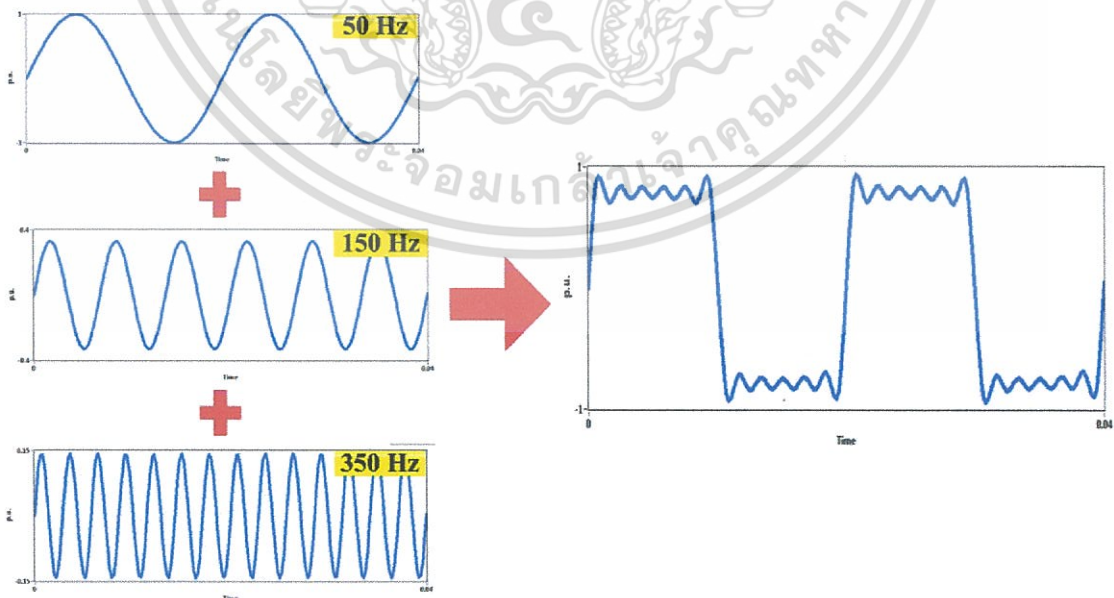
$$\%THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_{h(rms)}^2}}{I_{1(rms)}} \times 100\% \quad (2.10)$$

ค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวม

$$\%THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_{h(rms)}^2}}{V_{1(rms)}} \times 100\% \quad (2.11)$$

โดยที่

- $V_h(rms)$: ค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันฮาร์มอนิกลำดับที่ h
- $I_h(rms)$: ค่าอาร์เอ็มเอสของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ h
- $V_1(rms)$: ค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันที่ความถี่หลักมูล
- $I_1(rms)$: ค่าอาร์เอ็มเอสของกระแสที่ความถี่หลักมูล



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างรูปคลื่นแรงดันที่มีฮาร์มอนิกลำดับที่ 3 และ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดค่าฮาร์โมนิกในที่นี้ มีจุดประสงค์เพื่อการสำรวจระดับความรุนแรงของฮาร์โมนิก ณ จุดวัดว่าอยู่ในระดับใด จะมีผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ หรือไม่ จะพิจารณาความรุนแรงได้จากการเปรียบเทียบข้อมูลที่วัดได้กับค่าจำกัดที่ระบุไว้ในข้อกำหนดหรือมาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์โมนิกประเภทธุรกิจ และอุตสาหกรรมที่จัดทำโดยคณะทำงานจากสมาคมไฟฟ้า (กฟผ. กฟน. และ กฟภ.) หรือ มาตรฐาน IEEE-519 หรือ Engineering Recommendation G 5/3 เป็นต้นอย่างไรก็ตามสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่งคือ ต้องทราบข้อมูลที่ได้จากการวัดนั้นถูกต้อง เพียงพอสำหรับการนำไปประเมินระดับของความรุนแรง

2.2.6.1 หลักการวัดกระแสฮาร์โมนิกส์

วงจรสำหรับวัดกระแสฮาร์โมนิก ทัวไปแล้วจะใช้ต่อกับ Current Transformer (C.T.) ในกรณีที่จุดวัดเป็นวงจรที่มีกำลังไฟฟ้าไม่สูงนักจะใช้ C.T. ที่เป็นชนิด current clamps คล้องกับสายไฟได้เลย ส่วนกรณีที่ระดับแรงดันสูง จะต้องทำการวัดผ่าน C.T. อาจต้องใช้ transducer ทำการปรับระดับกระแสให้เหมาะสมกับเครื่องวัด เนื่องจาก C.T. เป็นหม้อแปลงประเภท magnetic เช่นเดียวกันจึงต้องพิจารณาเรื่องความแม่นยำของลำดับต่างๆ ด้วย ซึ่งจากโครงสร้างของ C.T. จะสามารถครอบคลุมได้ถึง 2 kHz ดังนั้นจึงไม่ต้องกังวลต่อการตอบสนองทางความถี่มากนัก อย่างไรก็ตามคุณลักษณะของ C.T. จะมีผลกระทบต่อมุมเฟส (phase angle) มากกว่าขนาดของกระแสฮาร์โมนิก ซึ่งบางครั้งก็เป็นปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูลและการออกแบบอุปกรณ์ รวมถึงการออกแบบเขียนโปรแกรมบน LabVIEW ตลอดจนรวมทั้งการตรวจสอบทิศทางกระแสของกระแสฮาร์โมนิก เป็นต้น

2.2.6.2 หลักการวัดแรงดันฮาร์โมนิกส์

โดยทั่วไปแล้วเครื่องวัดจะถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานในระดับแรงดันต่ำเท่านั้น ดังนั้นถ้าเป็นการวัดแรงดันฮาร์โมนิก ที่ระดับแรงดันดังกล่าว ก็สามารถที่จะต่อวงจรวัดแรงดัน ระหว่างจุดวัด (bus bar) กับเครื่องวัดได้โดยตรง ในกรณีที่ระดับแรงดันสูงขึ้นไป จะต้องต่อวงจรผ่านหม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformer ; P.T.) เพื่อปรับระดับ แรงดัน ให้เหมาะสมกับเครื่องวัด ในโครงงานนี้ก็จะวัดผ่าน P.T. ที่ออกแบบได้เลย และสิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษ คือ การตอบสนองทางความถี่ของ P.T. ต้องดีและครอบคลุมเพียงพอสำหรับย่านความถี่ของแรงดันฮาร์โมนิกอันดับต่างๆ ที่ต้องการจะวัด ถ้าหากการตอบสนองทางความถี่ดังกล่าว มีความแม่นยำต่ำเกินไป ก็จะทำให้ค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง โดยทั่วไปแล้ว P.T. ที่เป็น ชนิดที่ใช้การเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีอิทธิพลจากโครงสร้างภายในของ P.T. ต่อการตอบสนอง จึงไม่สามารถสรุปในภาพรวมได้ จึงควรกำหนดลำดับ ที่ไม่สูงมากนัก เช่นที่ลำดับ 1-13 เป็นต้น และทดสอบให้แน่ใจก่อน ในกรณีที่ระดับแรงดันสูงมากตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป หม้อแปลงแรงดันส่วนใหญ่จะเป็นประเภท CVT (capacitor voltage transformer) แต่เนื่องจากคุณลักษณะของ CVT นั้นถูกออกแบบมาให้มีการตอบสนองกับความถี่ได้ดีเฉพาะที่ความถี่หลักของระบบไฟฟ้า (fundamental frequency) ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมที่จะนำ CVT มาใช้สำหรับวัดแรงดันฮาร์โมนิก นอกจากจะทราบวิธีชดเชยค่าผิดเพี้ยนทางความถี่ดังกล่าว

สาเหตุ ซึ่งมีสาเหตุอยู่หลายประการที่ทำให้เกิดฮาร์โมนิกส์ขึ้นในระบบตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear load) เช่น อินเวอร์เตอร์, คอนเวอร์เตอร์ หรืออุปกรณ์สวิตชิงอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ, เตาหลอมไฟฟ้า (Electric Furnance), เครื่องเชื่อมอาร์ค (Arc Welder) ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบ ปัญหาฮาร์มอนิกที่ทำให้เกิดผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าออกเป็น 2 กรณี คือ

- ทำให้อุปกรณ์ในระบบมีการทำงานผิดพลาดด้วยผลของค่าแรงดันและกระแสฮาร์มอนิกที่มีขนาดและ รูปคลื่นสัญญาณไซน์ผิดเพี้ยนไป
- ทำให้อุปกรณ์ในระบบมีอายุการใช้งานน้อยลงหรือเกิดการชำรุดเสียหาย เนื่องจากมีค่า rms ของแรงดันหรือกระแส สูงขึ้นที่เกิดจากค่าฮาร์มอนิก หรือมีการขยายของแรงดันและกระแสฮาร์มอนิก ที่เกิดจากฮาร์มอนิก รีโซแนนซ์

2.2.6.3 ปัญหาฮาร์มอนิกที่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า

1. ผลของฮาร์มอนิกเรโซแนนซ์เกิดขึ้นในกรณีที่ความถี่เรโซแนนซ์ของระบบไปตรงกับความถี่ฮาร์มอนิกทำให้เกิดการขยายขนาดของแรงดันและกระแสฮาร์มอนิก เป็นผลทำให้อุปกรณ์ได้รับความเสียหายเนื่องจากได้รับกระแส และแรงดันเกินปกติ

2. ผลของกระแสฮาร์มอนิกที่ไหลอยู่ในระบบจำหน่ายและสายส่งทำให้เกิดค่ากำลังสูญเสียในสายมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพ การส่งจ่ายลดลง เนื่องจากกระแสฮาร์มอนิกทำให้ค่าอาร์เอ็มเอส ของกระแสและความต้านทานของสายสูงขึ้น

3. ผลของกระแสฮาร์มอนิก Triple n (ลำดับที่ 3, 6, 9...) จัดอยู่ในกลุ่มที่มีลำดับเป็นศูนย์ (Zero Sequence) ในระบบ 3 เฟส 4 สาย ฮาร์มอนิกกลุ่มนี้จะรวมกันกันไหลอยู่ในสายนิวทรัล อาจทำให้สายนิวทรัลหรือหม้อแปลงเสียหายได้หากไม่มี การออกแบบรองรับ

4. ผลของกระแสฮาร์มอนิกทำให้กำลังสูญเสียขณะมีโหลดและกำลังสูญเสีย สเตรย์ฟลักซ์ (Stray Flux Loss) ของหม้อแปลงมีค่าเพิ่มขึ้น และทำให้ประสิทธิภาพการในรับโหลดของหม้อแปลงลดลงไป (derating) ผลของแรงดันฮาร์มอนิกทำให้เกิดกำลังสูญเสียกระแสไหลวน (Eddy Current Loss) และกำลังสูญเสียฮิสเทอรีซิส (Hysteresis -Loss) เพิ่มขึ้น

5. ผลของกระแสฮาร์มอนิกทำให้เกิดความร้อนและความเครียดไดอิเล็กตริก (Dielectric Stress) กับตัวคาปาซิเตอร์ และอาจทำให้พิวส์ของตัวคาปาซิเตอร์ขาดง่ายกว่าการใช้งานปกติ ผลของแรงดันฮาร์มอนิกทำให้เกิดค่ากำลังสูญเสียในคาปาซิเตอร์ และผลจากภาวะเรโซแนนซ์ที่ตัวคาปาซิเตอร์ทำให้เกิดขยายกระแสและแรงดันฮาร์มอนิกขนาดใหญ่ ดังนั้น เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานของคาปาซิเตอร์สามารถทนต่อค่ากระแสและแรงดันฮาร์มอนิก คาปาซิเตอร์ที่ออกแบบสร้างจากผู้ผลิตได้กำหนดตามมาตรฐาน มาตรฐาน IEEE Std. 18-1992

6. ผลของกระแสฮาร์มอนิกทำให้เกิดความร้อนในตัวพิวส์เพิ่มขึ้น ทำให้ลักษณะเวลา-กระแส (Time-Current Characteristic) ของพิวส์เปลี่ยนไป กรณีที่มีฟอลต์ระดับต่ำเกิดขึ้นพิวส์จะขาดก่อน ในเวลาที่กำหนด หรือในกรณีที่พิวส์ขาดโดยไม่ทราบสาเหตุจะเป็นเหตุมาจากฮาร์มอนิกในกรณีที่เกิดภาวะเรโซแนนซ์ได้เช่นกัน

7. ผลของฮาร์มอนิกทำให้การทำงานของรีเลย์ผิดพลาดซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการทำงาน ของชนิดรีเลย์ การทำงานของรีเลย์ชนิด Electromagnetic ขึ้นอยู่กับค่ากระแสและแรงดัน RMS ส่วน การทำงานของรีเลย์ชนิด Digital ขึ้นอยู่กับค่าแรงดันยอดคลื่น (Crest Voltage) จากการ sampling และตรวจค่า Zero Crossing ค่ากระแสหรือแรงดันที่ศูนย์ โดยลักษณะที่ทำให้รีเลย์ทำงานผิดพลาด ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำให้รีเลย์มีการทำงานช้าลง หรือทำงานด้วยค่า (Pickup Values) ที่สูง โดยปกติรีเลย์จะทำงานอย่างรวดเร็วและทำงาน ด้วยค่าเริ่มต่ำๆ

- กรณีที่มีกระแสฮาร์โมนิก Triple n มากพออาจทำให้กราวด์รีเลย์ทำงานผิดพลาด (False Trip)

- ทำให้รีเลย์ระยะทาง (Distance Relay) ทำงานผิดพลาด ด้วยผลของกระแสฮาร์โมนิกที่ทำให้อิมพีแดนซ์เพิ่มขึ้นต่างจากค่าอิมพีแดนซ์ ที่ทำการเซตตั้งที่ความถี่หลักมูล

- ทำให้รีเลย์สถิตแบบความถี่ต่ำ (Static Under frequency Relay) มีความไวกว่าปกติ อาจทำให้เกิดการทริปผิดพลาด

- ทำให้รีเลย์กระแสและแรงดันเกิน (Overcurrent and Overvoltage Relay) ทำงานผิดพลาดตามคุณสมบัติที่ตั้งไว้

- ทำให้ความเร็วในการทำงานของรีเลย์ชนิดผลต่าง (Differential Relay) ทำงานช้าลง

8. ผลของกระแสฮาร์โมนิกมีผลกระทบต่อความสามารถในการตัดกระแส (Current Interruption Capacity) ของอุปกรณ์สวิตช์เกียร์ คือทำให้ขนาดของอัตราค่ากระแสเทียบกับเวลา di/dt มีค่าสูงในขณะที่กระแสมีค่าเป็นศูนย์ เป็นผลทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่สามารถตัดกระแสได้เมื่อมีฮาร์โมนิก ซึ่งปัญหานี้จะเกิดกับอุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ตัดกระแสได้เช่นกัน

9. ผลของฮาร์โมนิกทำให้มิเตอร์วัดค่าไฟฟ้า (Watt - Hour Meter) ซึ่งเป็นมิเตอร์ประเภทจานเหนี่ยวนำ (Induction Disk) ทำการวัดค่าผิดพลาดได้ ซึ่งโดยปกติการปรับแต่งมิเตอร์นั้นจะทำการปรับแต่งที่ความถี่หลักมูล

10. ผลของฮาร์โมนิกต่อเครื่องจักรไฟฟ้า ทำให้กำลังสูญเสียเพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้เครื่องจักรร้อนกว่าปกติ ทำให้มอเตอร์ เหนี่ยวนำ สามเฟสเกิดปรากฏการณ์ค็อกกิ้ง (Cogging) คือไม่สามารถสตาร์ทมอเตอร์ได้ จากการที่ความเร็วมอเตอร์ต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัส และทำให้เกิดการออสซิลเลตทางกลของเครื่องจักรไฟฟ้า ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพและแรงบิดของ เครื่องจักร

11. ผลของฮาร์โมนิกทำให้เกิดสัญญาณรบกวน (Noise) ในระบบสื่อสารเช่นในระบบโทรศัพท์ จากสาเหตุดังกล่าวส่งผลทำให้การทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ผิดพลาดเช่น อุปกรณ์สื่อสาร, อุปกรณ์ระบบควบคุมและป้องกัน อีกทั้งยังทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน ซึ่งอยู่ในรูปของความร้อน เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า, มอเตอร์ไฟฟ้า, สายไฟฟ้า และเซอร์กิตเบรกเกอร์ และยังเป็นเหตุให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าลดลงด้วย เป็นต้น

มาตรฐาน IEC และ IEEE ใช้ค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกส์: %THD (Total Harmonic Distortion) เป็นค่าบอกระดับความเพี้ยนฮาร์โมนิก โดยเทียบจากอัตราส่วนระหว่าง ค่ารากที่สองของผลบวกกำลังสองของส่วนประกอบฮาร์โมนิกกับค่าของส่วนประกอบ ความถี่หลักมูลเทียบเป็นร้อยละ ซึ่งจะแยกออกเป็น ค่าความเพี้ยนกระแสฮาร์โมนิกรวม และค่าความเพี้ยนแรงดันฮาร์โมนิกรวม

2.2.6.4 แนวทางในการแก้ไขปัญหาฮาร์โมนิก

a) ปัญหาฮาร์โมนิกในระดับต่ำ

สำหรับปัญหาฮาร์โมนิกที่เกิดในระดับต่ำ จะไม่เกิดผลกระทบต่อระบบหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าใดๆ ระบบไฟฟ้าที่มีปัญหาในระดับนี้จึงไม่จำเป็นต้องทำการแก้ไข

b) ปัญหาฮาร์มอนิกในระดับกลาง

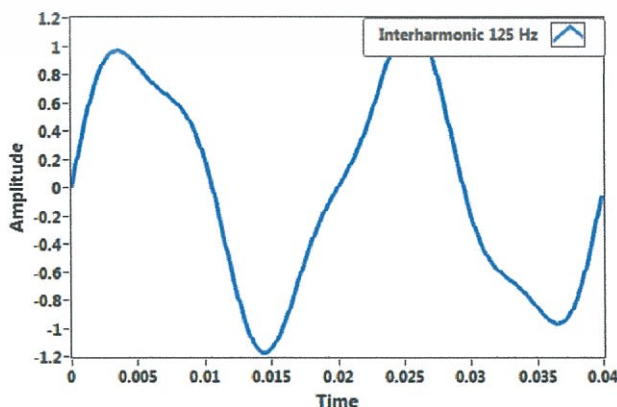
จะมีปัญหาในด้านคุณภาพไฟฟ้าในระบบมากขึ้น แต่ก็ยังไม่ก่อให้เกิดปัญหาที่รุนแรงต่อระบบหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า แต่สำหรับระบบไฟฟ้าที่มีการติดตั้งตัวเก็บประจุ เพื่อทำการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง อาจเกิดปัญหาเรโซแนนซ์ตามมา ซึ่งอาจกลายเป็นปัญหาที่รุนแรงได้ การแก้ไขจึงทำได้โดยการเปลี่ยนขนาด หรือตำแหน่งของตัวเก็บประจุ หรือทำการติดตั้งวงจรกรองเพื่อกรองสัญญาณฮาร์มอนิกบางส่วนออกไป ซึ่งจะช่วยป้องกันการเกิดเรโซแนนซ์ในระบบไฟฟ้าได้

c) ปัญหาฮาร์มอนิกในระดับรุนแรง

สำหรับปัญหาฮาร์มอนิกที่เกิดในระดับรุนแรงนั้น จะทำให้เกิดความเสียหายรุนแรงต่อระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้า ในกรณีที่เกิดปัญหาระดับรุนแรงขึ้น จะต้องทำการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าอย่างละเอียด เพื่อหาสาเหตุและแหล่งกำเนิดของฮาร์มอนิก เพื่อที่จะสามารถกำจัดแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิกที่เข้ามารบกวนระบบไฟฟ้าได้ โดยวิธีการกำจัดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้านั้น มีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การใช้ตัวกรองแบบพาสซีฟ (Passive Filter), วิธีการชดเชยกระแสซึ่งจะใช้ตัวกรองแบบแอคทีฟ (Active Filter) นอกจากนี้ ยังมีวิธีการลดฮาร์มอนิก โดยการหลีกเลี่ยงผลกระทบที่อาจทำให้เกิดความเสียหายจากฮาร์มอนิกได้ เช่น การลดขนาดพิกัดหม้อแปลงและเพิ่มขนาดของสายนิวทรัลให้เกินพิกัด แต่วิธีการนี้จะใช้ได้เพียงบางกรณีเท่านั้น ถ้าระบบไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงซึ่งอาจทำให้ปริมาณของฮาร์มอนิกเปลี่ยนไปด้วย วิธีการดังกล่าวก็จะไม่สามารถใช้ได้อีกต่อไป ส่วนวิธีการใช้ตัวกรองแบบพาสซีฟนั้น มีข้อดีคือสามารถขจัดฮาร์มอนิกที่มาจากแหล่งกำเนิดในระบบได้ แต่อย่างไรก็ตามตัวกรองชนิดนี้ได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ใน ช่วงที่ออกแบบไว้เท่านั้น ยังไม่สามารถแก้ไขฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นภายหลังเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระบบได้ ส่วนการใช้งานตัวกรองแบบแอคทีฟและวงจรที่ชดเชยกระแสฮาร์มอนิกในการจัดการฮาร์มอนิกก่อนที่จะเข้าสู่ระบบนั้น โดยทั่วไปแล้วจะมีต้นทุนที่สูงและยังไม่มีประสิทธิภาพที่ดีนัก ดังนั้นกระบวนการวิเคราะห์สัญญาณไฟฟ้าก่อนการเลือกใช้วิธีการต่างๆ ในการแก้ไขปัญหาจึงมีความสำคัญ เพื่อให้รู้ระดับความรุนแรงและช่วงความถี่ฮาร์มอนิกที่ต้องการแก้ไข ซึ่งจะช่วยให้สามารถเลือกใช้วิธีการในการแก้ไขได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมต่อไป

2.2.7 อินเทอร์ฮาร์มอนิก (Interharmonic)

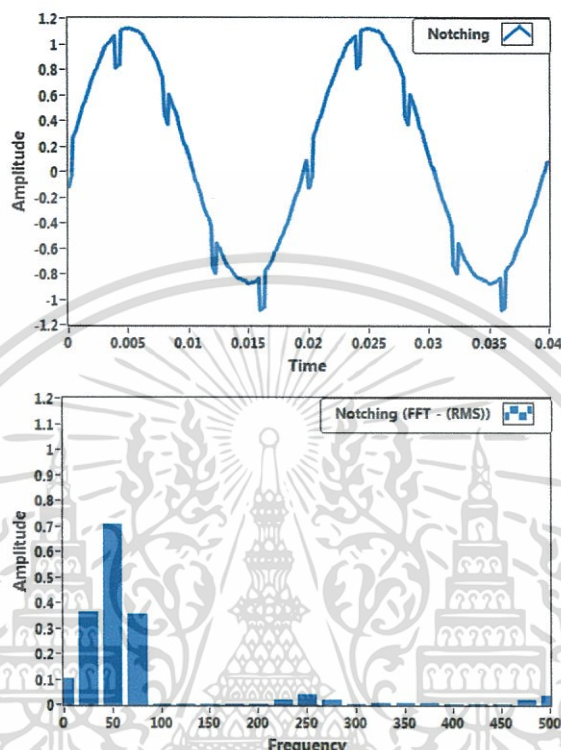
กระแสหรือแรงดันไฟฟ้าที่มีความถี่เป็นจำนวนเท่าที่ไม่เป็นจำนวนเต็มของความถี่มูลฐาน 50 Hz เช่น 2.5 เท่า หรือ 125 Hz เป็นต้น โดยอาจเกิดจากเตาหลอมไฟฟ้า (Arc Furnace) ลักษณะการเกิดและผลกระทบจะมีลักษณะเช่นเดียวกับฮาร์มอนิก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ที่ 2.20 แรงดันไฟฟ้าที่มีอินเทอร์ฮาร์มอนิกที่ 125 Hz ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.8 คลื่นรอยบาก (Notching)

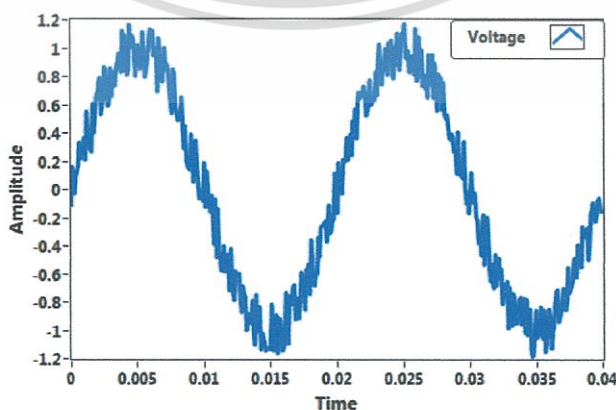
ความผิดปกติทางแรงดันไฟฟ้าแบบเป็นคาบที่เกิดจากการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเมื่อกระแสถูกเปลี่ยนจากเฟสหนึ่งไปยังอีกเฟสหนึ่ง เช่น ไทริสเตอร์ไดรฟ์โดยทั่วไปมีความถี่สูงมากและตรวจวัดได้ยาก เป็นผลทำให้อุปกรณ์ทำงานผิดพลาด



รูปที่ 2.21 แรงดันไฟฟ้าที่มีคลื่นรอยบาก

2.2.9 สัญญาณรบกวน (Noise)

สัญญาณรบกวนทางไฟฟ้าความถี่สูงในรูปของกระแสและแรงดันจากอุปกรณ์ที่ใช้อิเล็กทรอนิกส์กำลัง การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่ไม่ถูกต้อง หรือ เต้าหลอมไฟฟ้าที่สามารถรบกวนการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือ คอมพิวเตอร์ให้ทำงานผิดพลาดหรือไม่สามารถทำงานได้

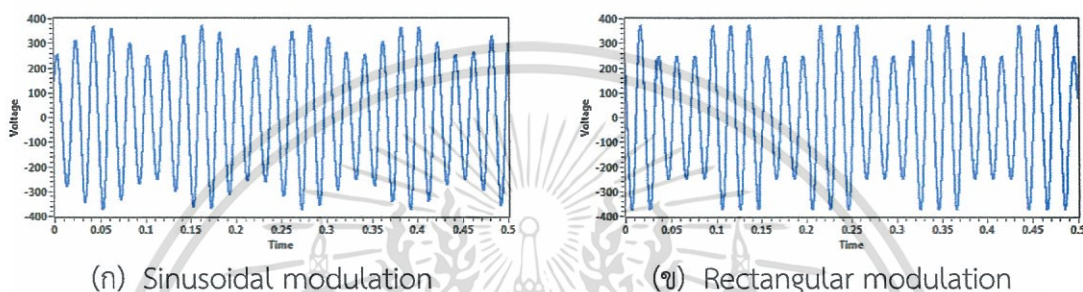


รูปที่ 2.22 แรงดันไฟฟ้าที่มีสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.10 แรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation)

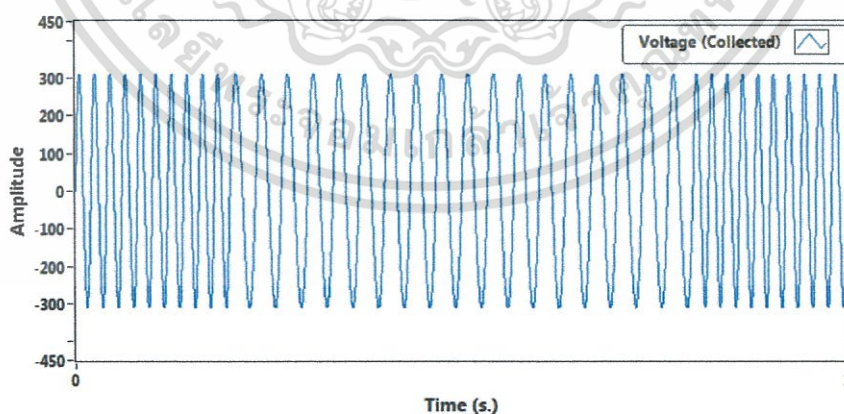
แรงดันกระเพื่อมสามารถให้คำนิยามได้ว่า การผันแปรอย่างซ้ำๆ และซ้ำไปซ้ำมาของแรงดันไฟฟ้า โดยมีค่าความถี่ต่ำกว่า 30 Hz สำหรับสาเหตุที่ทำให้เกิดแรงดันกระเพื่อม มาจากผลการทำงานของโหลดที่ใช้กำลังไฟฟ้า เช่น เต้าหอลอม เครื่องเชื่อม เป็นต้น ซึ่งผลกระทบจากแรงดันกระเพื่อม ที่ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า เราสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าจากการทำงานของโหลดที่ให้แสงสว่าง หรืออ่านค่าตรรกษนิไฟกระพริบระยะสั้น และระยะยาวได้จากเครื่องวัดไฟกระพริบ (Flickermeter) รูปที่ 2.23 แสดงตัวอย่างสัญญาณของแรงดันกระเพื่อมทั้งในรูปแบบ Sinusoidal และ Rectangular ตามลำดับ [6]



รูปที่ 2.23 ตัวอย่างสัญญาณแรงดันไฟกระเพื่อม

2.2.11 ความถี่ไฟฟ้าไม่คงที่ (Frequency Variation)

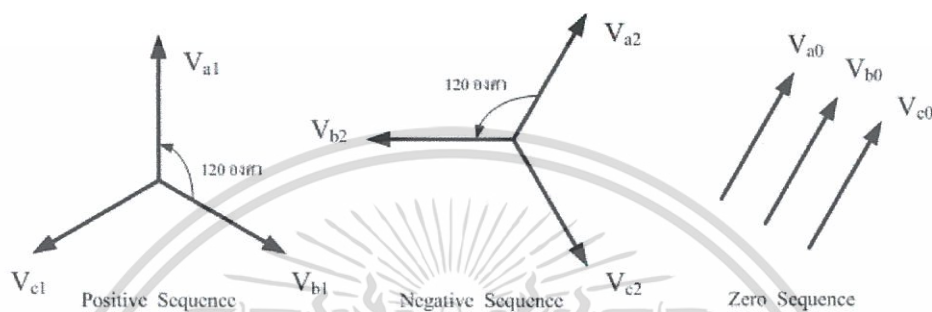
การที่ความถี่ไฟฟ้าในระบบไม่เท่ากับ 50Hz อันอาจเกิดจากการลัดวงจรอย่างรุนแรงในระบบส่งกำลังไฟฟ้า หรือการตัดโหลดปริมาณมากจากระบบไฟฟ้า จนทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตอบสนองไม่ทันจนความถี่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้มีผลกระทบเป็นอย่างมากสำหรับระบบที่มีการทำงานสัมพันธ์กับความถี่ เช่น โหลดประเภทเชิงกล



รูปที่ 2.24 รูปคลื่นแรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่

2.2.12 ส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส (Symmetrical Component)

ส่วนประกอบสมมาตรนำมาใช้ในการวิเคราะห์แรงดันและกระแสไฟฟ้าสามเฟสในขณะที่เกิดระบบไม่สมดุล โดยกรณีที่ระบบสามเฟสสมดุล (Balance system) ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบและลำดับเฟสศูนย์มีค่าเป็นศูนย์ ส่วนกรณีระบบไม่สมดุล (Unbalance system) ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบและลำดับเฟสศูนย์ไม่เป็นศูนย์ โดยใช้การอ้างอิงของส่วนประกอบ 3 ส่วน ซึ่งระบบไฟฟ้าสามเฟสสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.25 [2]



รูปที่ 2.25 ส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส

ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสบวก (Positive-sequence component) ประกอบด้วย 3 เฟสเซอร์ (phasors) ที่มีขนาดเท่ากัน มุมเฟสต่างกัน 120 องศา

ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบ (Negative-sequence components) ประกอบด้วย 3 เฟสเซอร์ (phasors) ที่มีขนาดเท่ากัน มุมเฟสต่างกัน 120 องศา แต่มีลำดับเฟสตรงข้ามกับส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสบวก

ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสศูนย์ (Zero-sequence component) ประกอบด้วย 3 เฟสเซอร์ ที่มีขนาดเท่ากันและมีมุมเฟสเท่ากัน (in phase) ดังนั้นสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ของแรงดันแต่ละเฟสได้ดังนี้

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \quad (2.12)$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \quad (2.13)$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0} \quad (2.14)$$

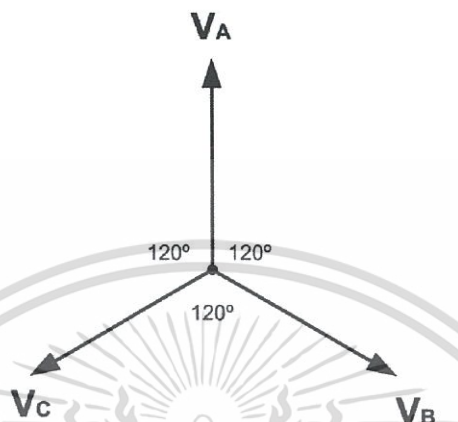
และสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ด้านกระแสได้เช่นเดียวกัน

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0} \quad (2.15)$$

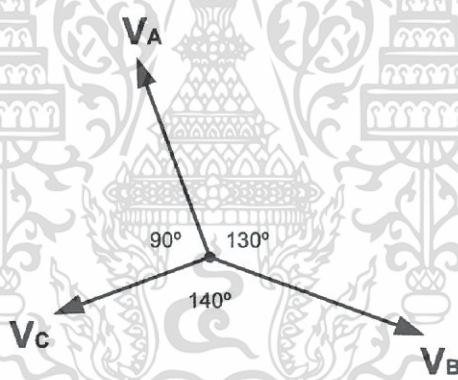
$$I_b = I_{b1} + I_{b2} + I_{b0} \quad (2.16)$$

$$I_c = I_{c1} + I_{c2} + I_{c0} \quad (2.17)$$

ในกรณีที่ระบบสมดุล (Balance system) ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบและลำดับเฟสศูนย์ มีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นผลรวมทางเฟสเซอร์ แสดงดังภาพประกอบ 2.26 ส่วนกรณีระบบไม่สมดุล (Unbalance system) ส่วนประกอบสมมาตรลำดับเฟสลบและลำดับเฟสศูนย์ไม่เป็นศูนย์ ดังนั้นผลรวมทางเฟสเซอร์ แสดงดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.26 แสดงเฟสเซอร์แรงดันของระบบสมดุล



รูปที่ 2.27 แสดงเฟสเซอร์แรงดันของระบบไม่สมดุล

เราสามารถนำทฤษฎีของส่วนประกอบสมมาตร มาใช้ในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า เช่น การวิเคราะห์การลัดวงจร การวิเคราะห์แรงดันไม่สมดุล เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การวัดและการเก็บข้อมูลทางไฟฟ้า

การวัดทางไฟฟ้า หมายถึง การเปรียบเทียบปริมาณทางไฟฟ้าที่ต้องการวัดกับปริมาณไฟฟ้ามาตรฐานที่กำหนดไว้

2.3.1 เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า (Electrical Instrument)

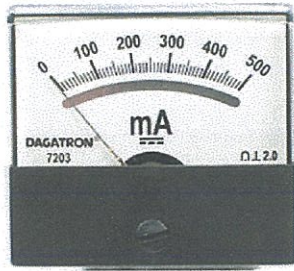
เครื่องมือวัดไฟฟ้า เป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับช่างไฟฟ้าหรือวิศวกรและผู้ที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้า เนื่องจากเครื่องมือวัดไฟฟ้าสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานวัดและทดสอบ งานตรวจเช็ค เพื่อตรวจสอบซ่อมบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า ตลอดจนงานควบคุมปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านพักอาศัย และโรงงานอุตสาหกรรมขนาดต่าง ๆ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้งานทั่วไปมีอยู่หลายชนิด แต่ละชนิดใช้งานแตกต่างกัน เช่น เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า เรียกว่า แอมป์มิเตอร์ เครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้า เรียกโวลต์มิเตอร์ เป็นต้น ประเภทเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ดังต่อไปนี้ [7-10]

2.3.1.1 ประเภทเครื่องมือวัดไฟฟ้าแบ่งตามหน้าที่ใช้วัดปริมาณทางไฟฟ้า

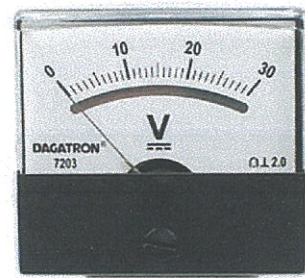
ประเภทเครื่องมือวัดไฟฟ้าแบ่งตามหน้าที่ใช้วัดปริมาณทางไฟฟ้า สามารถแบ่งออกได้เป็นหลายชนิด ดังต่อไปนี้

- a) แอมมิเตอร์ (Ammeter) เป็นเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่ใช้ทำหน้าที่วัดปริมาณกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.28 (ก)
- b) โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter) เป็นเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่ใช้ทำหน้าที่วัดปริมาณแรงดันไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.28 (ข)
- c) โอห์มมิเตอร์ (Ohmmeter) เป็นเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่ใช้ทำหน้าที่วัดปริมาณความต้านทานไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.28 (ค)
- d) วัตต์มิเตอร์ (Wattmeter) เป็นเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่ใช้ทำหน้าที่วัดปริมาณกำลังไฟฟ้าจริง ดังรูปที่ 2.28 (ง)
- e) วาร์มิเตอร์ (VAR meter) เป็นเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่ใช้ทำหน้าที่วัดปริมาณกำลังไฟฟ้าต้านกลับ ดังรูปที่ 2.28 (จ)
- f) กิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์ (Kilo Watt Hour meter) เป็นเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่ใช้ทำหน้าที่วัดปริมาณพลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.28 (ฉ)
- g) เครื่องมือวัดความถี่ไฟฟ้า (Frequency meter) เป็นเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่ใช้ทำหน้าที่วัดปริมาณความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับ ดังรูปที่ 2.28 (ช)
- h) เครื่องมือวัดความเป็นฉนวน (Insulator meter) เป็นเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่ใช้ทำหน้าที่วัดปริมาณความเป็นฉนวนไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.28 (ซ)
- i) เครื่องมือวัดปริมาณแสง (Lux meter) เป็นเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่ใช้ทำหน้าที่วัดปริมาณความเข้มของแสงสว่าง ดังรูปที่ 2.28 (ฌ)
- j) เครื่องมือวัดมัลติมิเตอร์ (Multi meter) เป็นเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่ใช้ทำหน้าที่วัดปริมาณไฟฟ้าได้หลายอย่าง เช่นกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และความต้านทานไฟฟ้า เป็นต้น ดังรูปที่ 2.28 (ฎ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แอมมิเตอร์



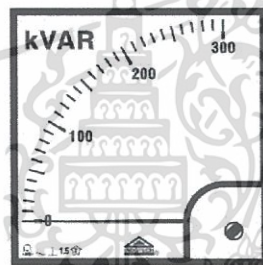
(ข) โวลต์มิเตอร์



(ค) โอห์มมิเตอร์



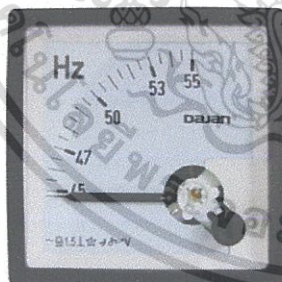
(ง) วัตต์มิเตอร์



(จ) วาร์มิเตอร์



(ฉ) กิโลวัตต์ชั่วโมงมิเตอร์



(ช) เครื่องมือวัดความถี่ไฟฟ้า



(ซ) เครื่องมือวัดความเป็นฉนวน



(ณ) เครื่องมือวัดปริมาณแสง



(ญ) เครื่องมือวัดมัลติมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ**รูปที่ 2.28** เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบ่งตามหน้าที่
 ใ้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

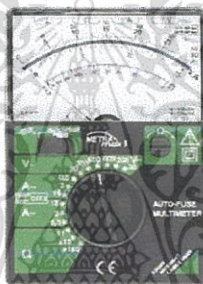
2.3.1.2 ประเภทเครื่องมือวัดไฟฟ้าแบ่งตามหลักการทำงาน

ประเภทเครื่องมือวัดไฟฟ้าแบ่งตามหลักการทำงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

a) เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์ (Electromechanic Instruments) หมายถึง เครื่องมือวัดไฟฟ้าที่มีหลักการทำงานโดยการเปลี่ยนปริมาณไฟฟ้าที่วัดให้เป็นปริมาณทางกล แล้วทำให้ส่วนเคลื่อนที่ เคลื่อนที่พาเข็มชี้ออกจากตำแหน่งเดิมไปชี้ค่าบนสเกล ดังรูปที่ 2.29 (ก)

b) เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบดิจิทัล (Digital Instruments) เป็นเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่มีหลักการทำงานโดยการเปลี่ยนปริมาณไฟฟ้าที่วัดให้เป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วแสดงผลปริมาณที่วัดออกมาเป็นตัวเลข ดังรูปที่ 2.29 (ข)

c) เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบชี้ค่าศูนย์ (Null Type Instruments) หมายถึง เครื่องมือวัดไฟฟ้าที่มีหลักการทำงานโดยการเปรียบเทียบปริมาณที่ทำการวัดกับปริมาณอ้างอิงที่ทราบค่าแล้ว โดยเมื่อการวัดสิ้นสุดลงหรือเสร็จสิ้นแล้ว ส่วนที่แสดงค่าของเครื่องวัด (หรือเข็มชี้) จะชี้ที่ค่าศูนย์ ตัวอย่างเช่น เครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้าแบบวีทสโตนบริดจ์ ดังรูปที่ 2.29 (ค)



(ก) เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์



(ข) เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบดิจิทัล



(ค) เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบชี้ค่าศูนย์

รูปที่ 2.29 เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบ่งตามหลักการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

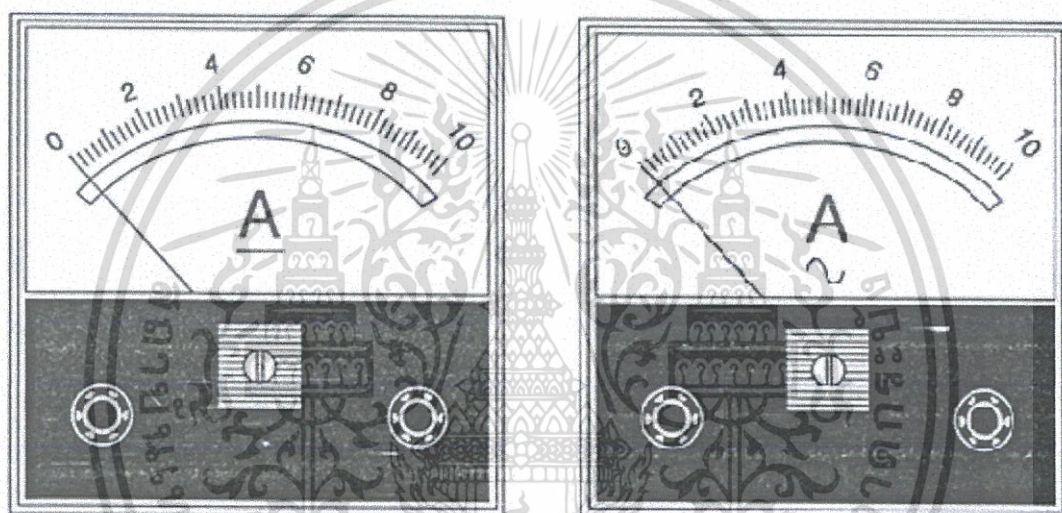
2.3.1.3 ประเภทเครื่องมือวัดไฟฟ้าแบ่งตามชนิดของไฟฟ้าที่จะวัด

ประเภทเครื่องมือวัดไฟฟ้าแบ่งตามชนิดของไฟฟ้าที่จะวัดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด

ดังนี้

a) เครื่องมือวัดไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Instruments) หมายถึง เครื่องมือวัดไฟฟ้าที่ใช้วัดได้เฉพาะปริมาณไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น ตัวอย่างเครื่องมือวัดไฟฟ้าชนิดนี้ได้แก่ แอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้น ดังรูปที่ 2.30 (ก)

b) เครื่องมือวัดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Instruments) หมายถึง เครื่องมือวัดไฟฟ้าที่ใช้วัดได้เฉพาะปริมาณไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น ตัวอย่างเครื่องมือวัดไฟฟ้าชนิดนี้ได้แก่ แอมมิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ โวลต์มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.30 (ข)



(ก) เครื่องมือวัดไฟฟ้ากระแสตรง

(ข) เครื่องมือวัดไฟฟ้ากระแสสลับ

รูปที่ 2.30 เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบ่งตามชนิดของไฟฟ้าที่วัด

2.3.1.4 ประเภทเครื่องมือวัดไฟฟ้าแบ่งตามลักษณะการแสดงผลปริมาณไฟฟ้าที่ทำการวัด

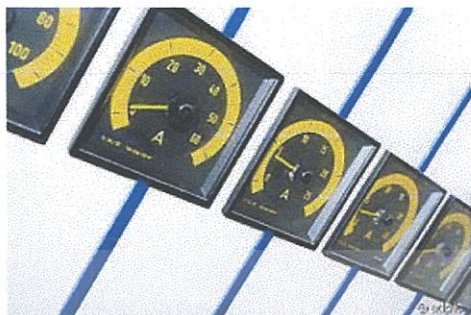
ประเภทเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่แบ่งตามลักษณะการแสดงผลปริมาณไฟฟ้าที่ทำการวัด สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

a) เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบชี้ค่า (Indicating Instruments) หมายถึง เครื่องวัดไฟฟ้าที่แสดงผลการวัดออกมาขณะที่ทำการวัด แต่เมื่อหยุดทำการวัดแล้ว การแสดงผลการวัดจะหยุดทันที เช่น ขณะทำการวัดกระแสไฟฟ้าเข็มชี้จะเคลื่อนที่ไปชี้ค่าบนสเกล แต่เมื่อหยุดทำการวัด เข็มชี้จะหยุดชี้ค่าบนสเกลและจะเคลื่อนที่กลับสู่ตำแหน่งเดิมทันที ตัวอย่างเครื่องมือวัดไฟฟ้าชนิดนี้ได้แก่ แอมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.31 (ก)

b) เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบบันทึกค่า (Recording Instruments) หมายถึง เครื่องวัดไฟฟ้าที่แสดงผลการวัดออกมาโดยการบันทึกปริมาณที่วัดออกมาเป็นกราฟ ตัวอย่างเครื่องมือวัดชนิดนี้ได้แก่ เรคคอร์ดเดอร์มิเตอร์ ดังรูปที่ 2.31 (ข)

c) เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบสะสมค่า (Integrating Instruments) หมายถึง เครื่องวัดไฟฟ้าที่แสดงผลการวัดโดยการสะสมปริมาณไฟฟ้าที่วัดตั้งแต่ขณะเริ่มต้นทำการวัดจนกระทั่ง

สิ้นสุดการวัด ตัวอย่างเครื่องมือวัดชนิดนี้ได้แก่ เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าชนิดกิโลวัตต์ฮาร์วมิเตอร์ หรือวัตต์ชั่วโมง ดังรูปที่ 2.31 (ค)



(ก) เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบชี้ค่า



(ข) เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบบันทึกค่า



(ค) เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบสะสมค่า

รูปที่ 2.31 เครื่องวัดไฟฟ้าแบ่งตามการแสดงผล

2.3.1.5 แบ่งตามลักษณะการนำไปใช้งาน

ประเภทเครื่องมือวัดไฟฟ้าแบ่งตามลักษณะการนำไปใช้งาน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด

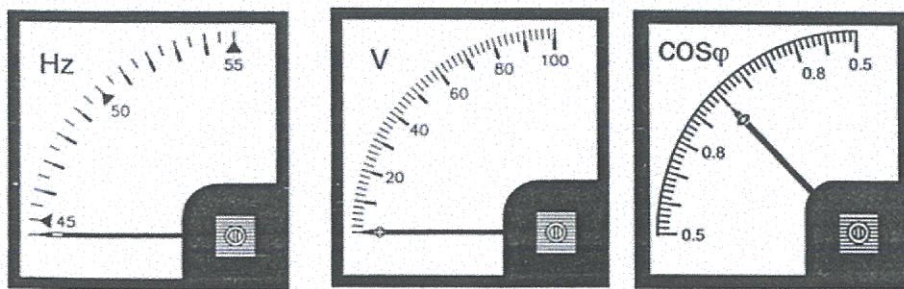
ดังนี้

a) เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบติดตั้ง (Panel Instruments) หมายถึง เครื่องมือวัดไฟฟ้าที่นำไปใช้งาน โดยการยึดติดเข้ากับผนังของตู้ควบคุมไฟฟ้า (Main Distribution Board) โดยทั่วไปจะมีลักษณะรูปทรงแบนเพื่อเหมาะสำหรับการยึดติดเข้ากับผนัง ตัวอย่างเช่น แอมมิเตอร์แบบติดตั้ง โวลต์มิเตอร์แบบติดตั้ง หรือเครื่องวัดความถี่แบบติดตั้ง เป็นต้น ดังรูปที่ 2.32 (ก)

b) เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบพกพา (Portable Instruments) หมายถึง เครื่องมือวัดไฟฟ้าที่สามารถเคลื่อนย้ายไปมาได้อย่างสะดวก ขณะนำไปใช้งาน ตัวอย่างเช่น แอมมิเตอร์แบบคล้อง (Clamp on meter) แอนาล็อกมัลติมิเตอร์ หรือดิจิตอลมัลติมิเตอร์ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.32 (ข)

c) เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบตั้งโต๊ะ (Desktop Instruments) หมายถึง เครื่องมือวัดไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ นำติดตัวไปใช้งานไม่สะดวก เหมาะสมหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ เช่น เครื่องมือวัดรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า มิเตอร์แบบตั้งโต๊ะ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.32 (ค)

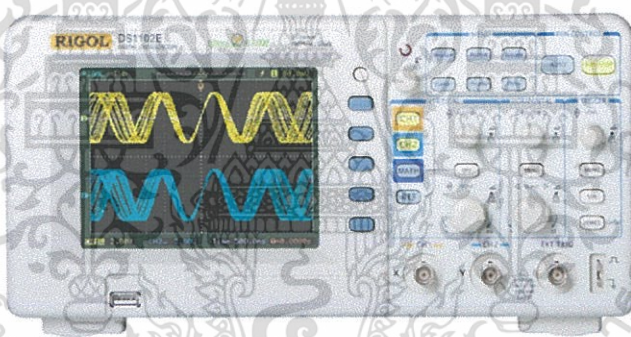
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบติดแผง



(ข) เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบพกพา



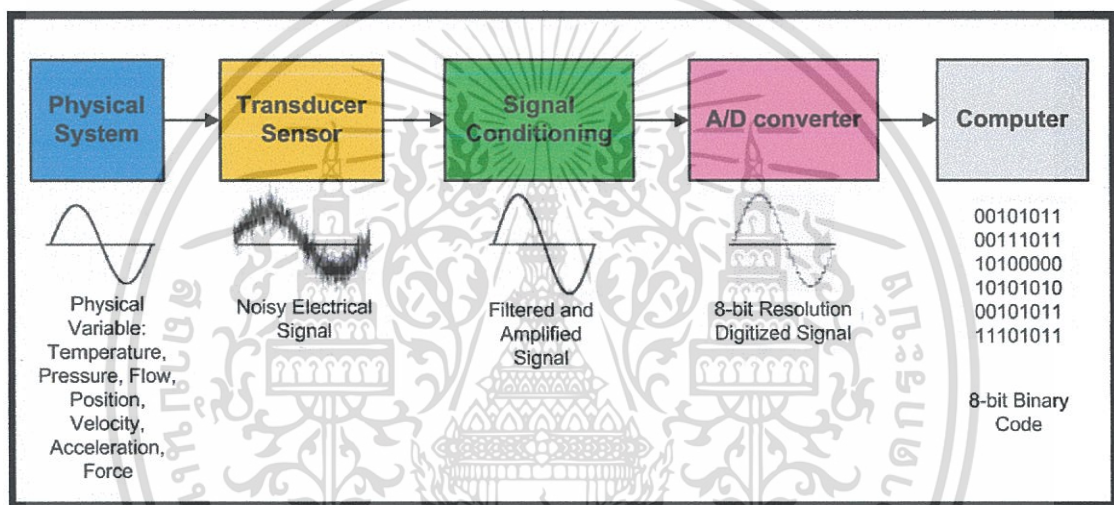
(ค) เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบตั้งโต๊ะ

รูปที่ 2.32 เครื่องมือวัดไฟฟ้าแบ่งตามการนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

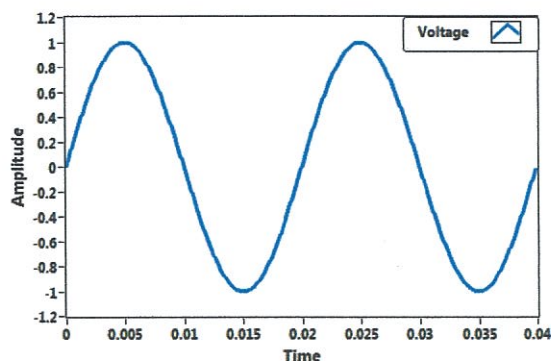
2.3.2 การวัดทางไฟฟ้า (Electrical Measurement)

ในการจับสัญญาณทางไฟฟ้า ที่ประกอบด้วยสัญญาณของแรงดัน และกระแสไฟฟ้าเป็นหลัก ต้องมีการชุดอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณที่ต้องการ ซึ่งเป็นสัญญาณอนาลอก จากนั้นนำสัญญาณที่ได้มาเข้าสู่กระบวนการตรวจวัดในโปรแกรม ที่จำเป็นต้องใช้สัญญาณดิจิทัล ทำให้ต้องมีการแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิทัล โดยจะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่เรียกว่า A/D converter หรือ Analog to Digital converter โดยอุปกรณ์นี้จะตรวจจับสัญญาณที่ได้จากหัววัดสัญญาณ จากนั้นจะแปลงค่าต่างๆ ที่สุ่มได้เป็นค่านับวัดในระบบดิจิทัลตามระดับที่กำหนดด้วยค่า Bit ที่ใช้ เรียกการแปลงค่านี้ว่า Digitization และค่า Bit ที่ใช้ในการกำหนดจำนวนระดับของค่าดิจิทัลหรือรายละเอียดที่ต้องการเรียกว่า Bit depth ซึ่งเป็นค่าบ่งบอกความละเอียดของสัญญาณหรือรายละเอียดของภาพ (Spatial resolution) นั้นเอง [9]

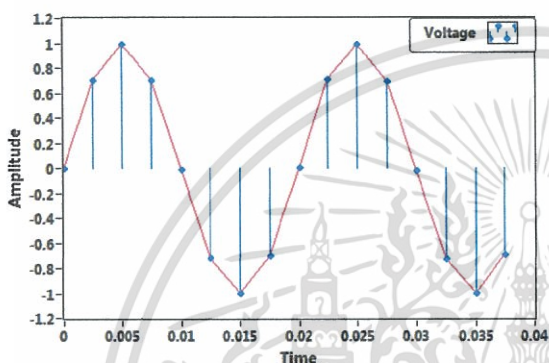


รูปที่ 2.33 การแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิทัล

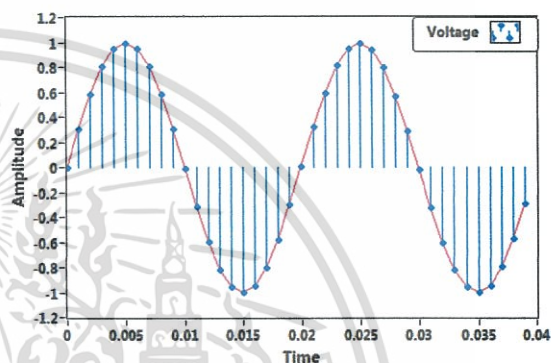
การแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิทัลจะถูกสุ่มค่าจากสัญญาณไฟฟ้าตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป (Data sampling) ซึ่งตัวเลขสุ่มที่ได้แต่ละค่าจะกำหนดเป็นระดับค่าดิจิทัลตามระดับเทียบเท่ากับระบบ bit ที่ใช้ ซึ่งหากสุ่มจำนวนที่เหมาะสมพอดีค่าดิจิทัลที่ได้เมื่อนำไปสร้างภาพจะแปลงเป็นภาพได้สมบูรณ์มีรายละเอียดที่ครบถ้วนตามต้องการ แต่หากสุ่มน้อยเกินไปภาพที่ได้จะเกิดความคลาดเคลื่อนในการแปลงภาพ ทำให้ภาพผิดไปจากความเป็นจริง แต่ถ้าสุ่มจำนวนมากเกินไปแล้วเมื่อนำไปสร้างภาพแม้จะได้ภาพที่มีรายละเอียดต่างๆ สมบูรณ์เหมือนภาพต้นแบบแต่จะทำให้เวลาที่ใช้ในการประมวลผลมากเกินไป ความเร็วในการสุ่มสัญญาณนี้เรียกว่า Sampling rate มีหน่วยเป็นจุดต่อวินาที (Sample/s) หรือ Hz ก็ได้ ซึ่งความถี่ที่ใช้สุ่มข้อมูล (Sampling frequency) ที่เหมาะสมเรียกว่า Nyquist frequency ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2 เท่าของความถี่สัญญาณต้นฉบับ เพื่อให้สามารถนำจุดข้อมูลเหล่านั้นมาสร้างเวฟฟอร์มกลับมาให้เหมือนกับสัญญาณต้นฉบับได้ ดังรูปที่ 2.34 (ก) แสดงสัญญาณอนาลอกต้นฉบับ รูปที่ 2.34 (ข) คือสัญญาณสุ่มที่มีความถี่ในการสุ่มน้อย ส่วนรูปที่ 2.34 (ค) คือสัญญาณสุ่มที่มีความถี่ในการสุ่มมาก (มากกว่า 2.34 (ข) อยู่ 10 เท่า)



(ก) สัญญาณอนาล็อกต้นฉบับ 50 Hz



(ข) สัญญาณสุ่มที่มีความถี่ในการสุ่ม 400 S/s



(ค) สัญญาณสุ่มที่มีความถี่ในการสุ่ม 1,000 S/s

รูปที่ 2.34 การสุ่มสัญญาณจากสัญญาณต้นฉบับ

จะเห็นได้ว่าถ้าหากสุ่มสัญญาณเร็ว จุดที่ได้จากการสุ่มก็จะหนามากขึ้น ซึ่งถ้าเราใช้ Sampling rate เป็นสองเท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณพอดิ ตามทฤษฎีของ Nyquist เราอาจจะได้ข้อมูลทางความถี่ของสัญญาณที่ถูกต้อง แต่จะไม่สามารถเก็บรายละเอียดของรูปทรงของกราฟได้ทั้งหมด เพราะฉะนั้นในทางปฏิบัติเราควรใช้ sampling rate ที่ประมาณ 5-10 เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณ เพื่อให้ได้รูปทรงของกราฟที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น [11-13]

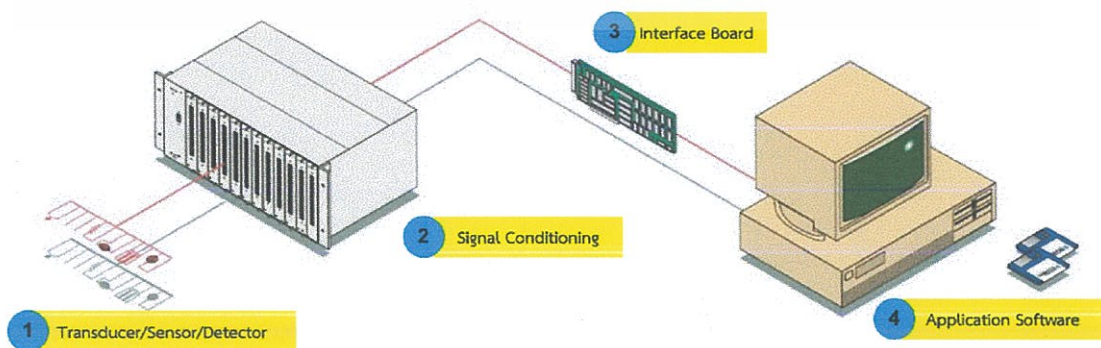
2.3.3 การเก็บข้อมูล (Data Acquisition)

ระบบการเก็บข้อมูล เป็นการเก็บรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูลจริงในงานทดลองทางวิทยาศาสตร์ผ่านคอมพิวเตอร์ โดยจะต่างจากการใช้งานคอมพิวเตอร์ทั่วไปโดย มีตัวตรวจรับรู้ (Sensor) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณทางกายภาพให้เป็นปริมาณทางไฟฟ้า แล้วแปลงสัญญาณนั้นให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล เข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ผ่านซอฟต์แวร์ประยุกต์ในลักษณะเวลาจริง (Real time) [11]

2.3.3.1 องค์ประกอบของระบบการเก็บข้อมูล



รูปที่ 2.36 แสดงไตอะแกรมการทำงานเบื้องต้นของระบบการเก็บข้อมูล ซึ่งมีส่วนสำคัญ 4 ส่วนคือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยรูปแบบของระบบการเก็บข้อมูลโดยใช้คอมพิวเตอร์ซึ่งประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ส่วนการตรวจวัดสัญญาณทางกายภาพ (Transducer/Sensor/Detector)
 ในที่นี่จะใช้ตัวตรวจจับ (Detector) ตัวรับรู้ (Sensor) หรือ ตัวแปลงปริมาณ (Transducer) เพื่อแปลงปริมาณทางกายภาพให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า

2) ส่วนปรับสภาพสัญญาณ (Signal conditioning)

ในส่วนนี้จะเป็นการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณไฟฟ้าที่มาจากส่วนการตรวจวัดสัญญาณทางกายภาพการที่จะส่งสัญญาณต่อไปยังส่วนควบคุมการเก็บข้อมูล และการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

โดยหน้าที่เด่นของส่วนนี้ คือ การขยายขนาดสัญญาณ เนื่องจากสัญญาณส่วนใหญ่ที่ได้จากส่วนการตรวจวัดสัญญาณทางกายภาพจะมีขนาดสัญญาณที่ต่ำมาก (ประมาณ มิลลิโวลต์) และมักมีสัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่ายไฟ ทำให้ค่าสัญญาณที่วัดได้ไม่ถูกต้องและไม่เที่ยงตรง

นอกจากนี้วงจรปรับสภาพสัญญาณยังใช้ในการแปลงสัญญาณไฟฟ้าที่ไม่ได้อยู่ในรูปของความต่างศักย์ไฟฟ้า ให้มาอยู่ในรูปของความต่างศักย์ไฟฟ้าเพื่อทำการแปลงสัญญาณนั้นให้เป็นสัญญาณดิจิทัล เช่น การแปลงค่ากระแสไฟฟ้า 4-20 mA จากตัวตรวจรับรู้ให้เป็นความต่างศักย์กระแสตรง 0-5 V เป็นต้น

3) ส่วนควบคุมการเก็บข้อมูล และการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (Interface board)

ส่วนการควบคุมการเก็บข้อมูล และการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์นี้มีอยู่ 2 แบบ คือ แบบการ์ดเสียบ และแบบเชื่อมต่อภายนอก โดยที่แบบการ์ดเสียบจะติดตั้งบนสล็อตขยายของเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งติดต่อผ่านบัส PCI ส่วนการเชื่อมต่อภายนอกจะใช้พอร์ตสื่อสารมาตรฐาน ได้แก่ พอร์ตอนุกรม RS-232 พอร์ตขนาน IEEE 1284 (พอร์ตเครื่องพิมพ์), พอร์ตขนาน IEEE 488 หรือบัส GPIB รวมถึงบัสแบบ VXI

โดยในส่วนควบคุมการเก็บข้อมูล และเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์นี้ อาจกำหนดให้ทำหน้าที่อย่างเดี่ยว หรือมากกว่า เพื่อรับค่าสัญญาณแอนะล็อกอินพุต , ส่งค่าสัญญาณแอนะล็อกเอาต์พุต รับค่าสัญญาณดิจิทัลอินพุต, ส่งค่าสัญญาณดิจิทัลเอาต์พุต และทำการนับจำนวนหรือจับเวลา

4) ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูล (Application software)

ส่วนนี้จะขึ้นกับการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในจุดประสงค์ใด โดยในการพัฒนาซอฟต์แวร์จะพิจารณาข้อจำกัด 3 ประการคือ

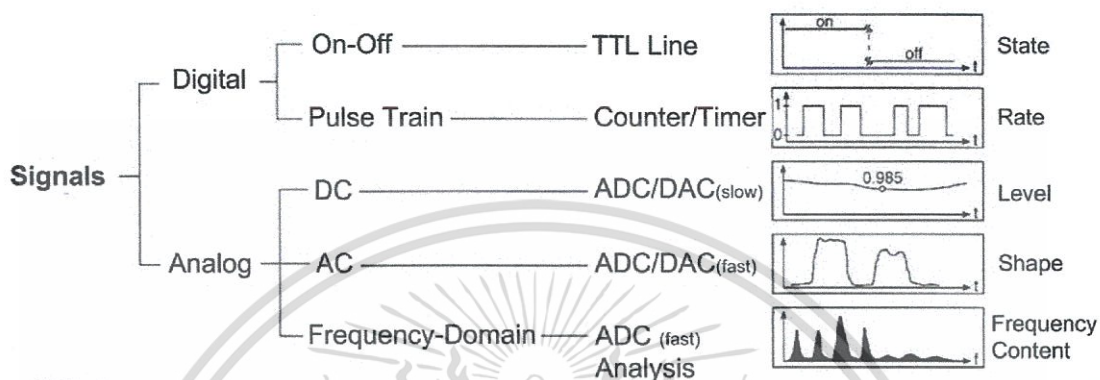
1. ระบบปฏิบัติการที่ใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ว่าเอื้อความสะดวกในการพัฒนาซอฟต์แวร์มากน้อยเพียงใด

2. ความเชี่ยวชาญในการเขียนโปรแกรม และการใช้ซอฟต์แวร์

3. ความสามารถเข้ากันได้ระหว่างซอฟต์แวร์ และฮาร์ดแวร์

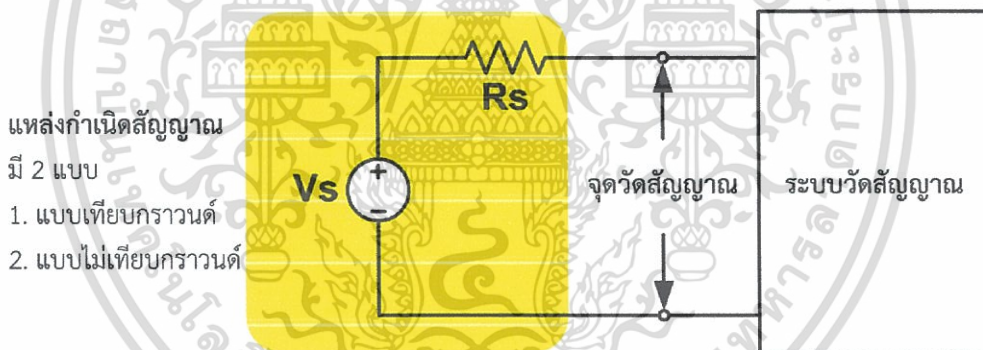
2.3.3.2 ลักษณะสัญญาณในระบบการเก็บข้อมูล

เพื่อให้เข้าใจในการทำควมเข้าใจ จะเปรียบเทียบระบบการเก็บข้อมูลเป็นเหมือนบล็อกการคำนวณทางฟิสิกส์ หรือโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่เมื่อมีอินพุตใดๆส่งเข้ามาที่บล็อกนี้ จะได้ข้อมูลเอาต์พุต 5 ลักษณะคือ ค่าสถานะดิจิทัล(State), อัตราส่วน (Rate), ระดับสัญญาณ (Level), รูปร่าง (Shape) และความถี่ (Frequency content) แสดงดังรูปที่ 2.37



รูปที่ 2.37 ข้อมูลเอาต์พุตที่เกิดขึ้นในระบบการเก็บข้อมูล

2.3.3.3 การวัดสัญญาณในระบบการเก็บข้อมูล



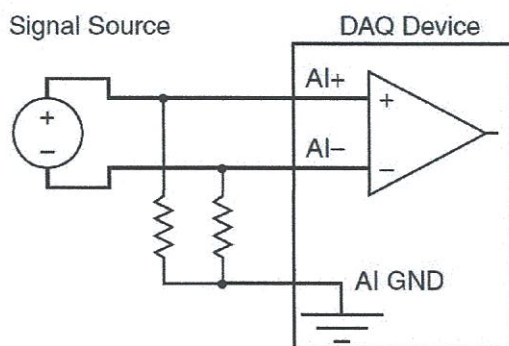
รูปที่ 2.38 พื้นฐานการวัดสัญญาณในระบบการเก็บข้อมูล

จากรูปที่ 2.38 หลักการวัดสัญญาณสามารถทำได้ 3 ลักษณะ คือ

1. ดิฟเฟอเรนเชียล (Differential)
2. ซิงเกิล-เอนด์แบบเทียบกราวด์ (Reference single-ended: RSE)
3. ซิงเกิล-เอนด์แบบไม่เทียบกราวด์ (Non-reference single-ended: NRSE)

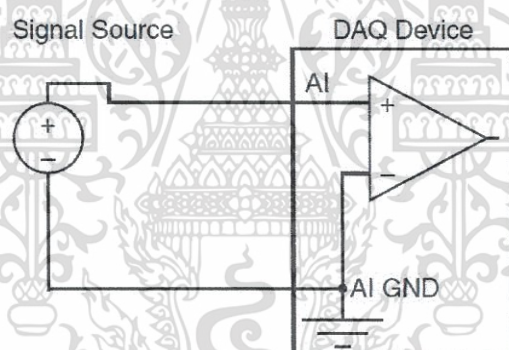
โดยปกติส่วนปรับสภาพสัญญาณ และการควบคุมการเก็บข้อมูลมักจะประกอบด้วยวงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์ และวงจรขยายสัญญาณ เพื่อรองรับสัญญาณอนาล็อกอินพุตที่มีมากกว่า 1 สัญญาณ โดยถ้าหากเป็นการจัดวงจรพื้นฐานมักใช้อินพุตเทียบกราวด์ เพื่อให้ได้จำนวนช่องสูงสุด ตัวอย่างเช่น ถ้าวงจรแปลงสัญญาณมีสัญญาณอนาล็อกอินพุต 16 ช่องเมื่อใช้กราวด์ร่วมกัน จะสามารถแบ่งช่องสัญญาณเป็น 8 คู่สัญญาณ คือช่องอินพุตบวก และอินพุตลบ ดังรูปที่ 2.39 ซึ่งการเชื่อมต่อในลักษณะนี้จะลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากสัญญาณอินพุตแต่ละช่องไม่มีจุดสัญญาณร่วมกันเลย

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินส่วนตัวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



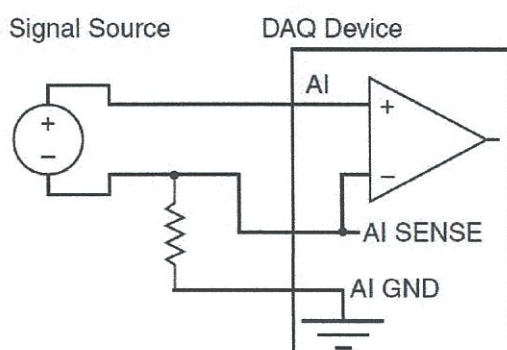
รูปที่ 2.39 การวัดสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียล (Differential)

ส่วนการวัดแบบซิงเกิล-เอนด์เทียบกราวด์สามารถแสดงดังรูปที่ 2.40 ซึ่งเป็นรูปแบบการวัดพื้นฐาน โดยนำสัญญาณอินพุตเข้าไปในแต่ละช่อง โดยมีจุดกราวด์เป็นจุดเทียบ ซึ่งวิธีนี้อาจมีโอกาสเกิดกราวด์ลูป (Ground loop) และมีสัญญาณรบกวนได้ จึงต้องมั่นใจว่าสัญญาณอินพุตที่ให้แบบกราวด์ลอย และสายสัญญาณที่วัดควรมีความยาวไม่เกิน 15 ฟุต และมีสายชิลด์หุ้มสายสัญญาณไว้ด้วย



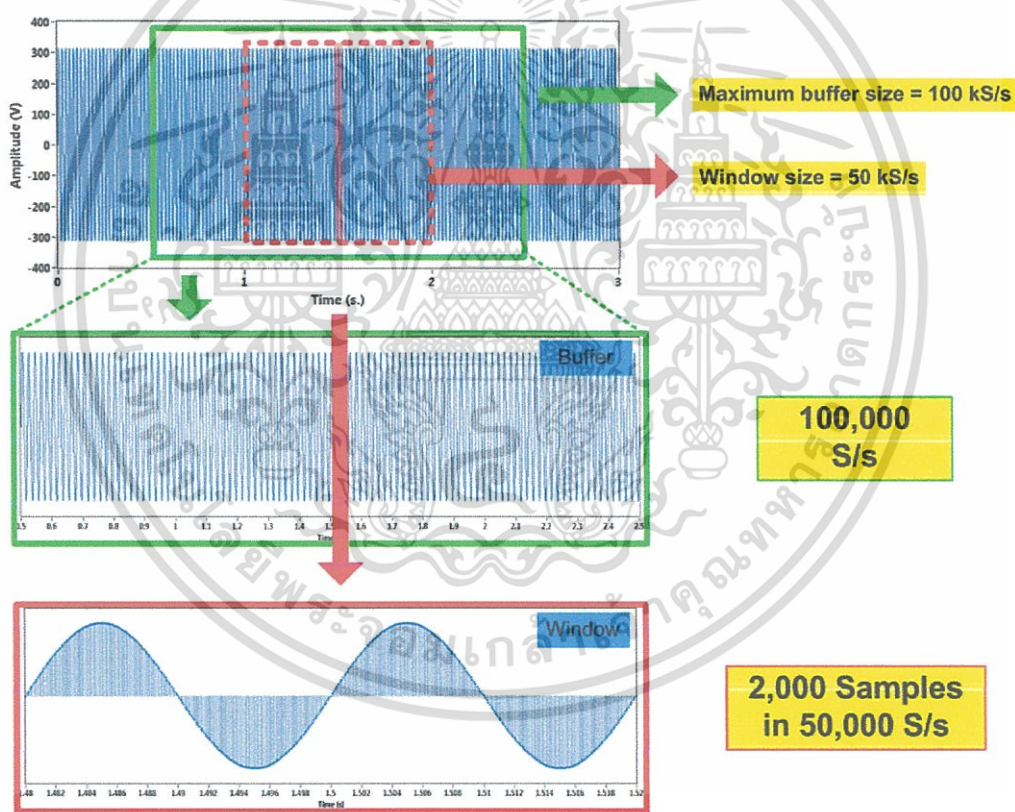
รูปที่ 2.40 การวัดสัญญาณแบบซิงเกิล-เอนด์ เทียบกราวด์ (RSE)

ในขณะที่การวัดแบบซิงเกิล-เอนด์ไม่เทียบกราวด์ เป็นการแยกสัญญาณขั้วลบของภาคขยายออกจากกราวด์ของระบบดังรูปที่ 2.41 จะเป็นการช่วยลดกราวด์ลูป แต่วิธีนี้ไม่เป็นที่ยอมรับ [12-13]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.41 การวัดสัญญาณแบบซิงเกิล-เอนด์ ไม่เทียบกราวด์ (NRSE)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

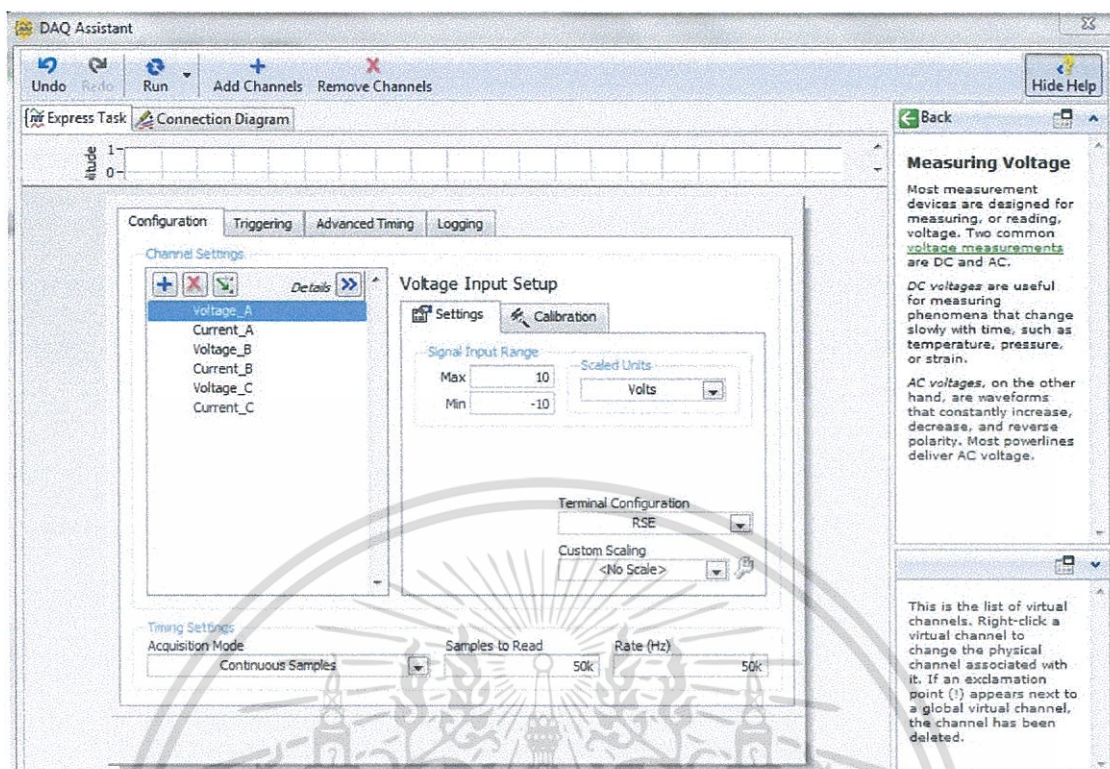
ในการตรวจวัดสัญญาณที่มีความต่อเนื่องนั้น จำเป็นต้องมีการดึงสัญญาณที่ถูกดองและเหมาะสม เพื่อทำการวิเคราะห์อย่างถูกต้อง โดยไม่มีสัญญาณที่ขาดหายไป ดังนั้นโปรแกรมที่ใช้ทำการประมวลผลจำเป็นต้องมีบัฟเฟอร์ (Buffer) ที่ใช้ในการพักสัญญาณต้นฉบับไว้ ก่อนที่จะถูกส่งไปทำการประมวลผลในโปรแกรม บัฟเฟอร์จะถูกใช้ก็ต่อเมื่อ มีความแตกต่างของความเร็วในการส่งข้อมูล กับความเร็วที่สามารถประมวลผลข้อมูลนั้นได้ ซึ่งถ้าบัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่ก็สามารถทำการส่งข้อมูลเพื่อทำการประมวลผลได้รวดเร็วยิ่งขึ้น และในการส่งข้อมูลจะมีขอบเขตในการส่งที่เรียกว่าวินโดว์ (Window size) คือ เมื่อทำการส่งข้อมูลไปและมีการยืนยันข้อมูลกลับมาวินโดว์จะเลื่อนตำแหน่ง เพื่อทำการส่งข้อมูลถัดไปได้ โดยการส่งข้อมูลจะส่งได้ตามขนาดของวินโดว์ หรืออัตราการสุ่มตามที่ได้ตั้งไว้ โดยรูปที่ 2.42 เป็นตัวอย่างการส่งข้อมูลที่ได้รับมาจากสัญญาณต้นฉบับจากชุดโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบไว้ในงานวิจัย โดยใช้อัตราการสุ่มที่ 50,000 kS/s ในการจับสัญญาณ และจะมีขนาดของบัฟเฟอร์อยู่ที่ 100,000 S เมื่อทำการวัดสัญญาณแบบต่อเนื่องจะพบได้ว่าสัญญาณที่ได้รับค่ามามีความต่อเนื่องเช่นเดียวกับสัญญาณต้นฉบับ



รูปที่ 2.42 การดึงสัญญาณก่อนทำการประมวลผลในโปรแกรม

ในระบบ NI-DAQ ที่มีอยู่เดิม ผู้ใช้ต้องมีการตั้งค่าหน่วยความจำสำหรับบัฟเฟอร์ผ่านการตั้งค่าที่หลากหลายของโค้ดในโปรแกรมต่างๆ ทำให้ผู้ใช้ไม่ทราบว่าจะต้องใช้บัฟเฟอร์เท่าไรเพื่อให้แน่ใจว่ามีขนาดใหญ่พอสำหรับข้อมูลที่ต้องการ แต่ในปัจจุบันการตั้งค่าหน่วยความจำในโปรแกรมนี้นี้ไม่จำเป็นต้องได้รับการตั้งค่าด้วยตัวเอง และทำการเก็บข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง โดยจะใช้ DAQ Assistant มาสาธิตการตั้งค่าฟังก์ชันต่างๆ ในการเก็บข้อมูล ดังรูปที่ 2.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.43 การตั้งค่า DAQ Assistant ในงานวิจัย

- 1) Channel Setting: ใช้ในการเลือกสัญญาณจากแชนเนลที่ต้องการปรับค่า จากรูปที่ 2.43 เห็นได้ว่ามี การเลือกสัญญาณทั้งหมด 6 แชนเนล คือ แรงดันและกระแสทั้งสามเฟสที่ทำ การวัด
- 2) Signal Input Range: ใช้ในการปรับค่า Range ให้เล็กลงเพื่อให้การวัดสัญญาณขนาดเล็กมี คุณภาพแม่นยำมากขึ้น
- 3) Scale Units: แสดงหน่วยที่ใช้ในการรับสัญญาณ
- 4) Terminal Configuration: เลือกระบบในการต่อสัญญาณ ทั้งแบบ DIFF, RSE และ NRSE ตามที่ได้ทำการติดตั้ง
- 5) Custom Scaling: ใช้ในการแปลงหน่วย จากหน่วยทางไฟฟ้าให้เป็นหน่วยทางวิศวกรรมอื่นๆ ได้
- 6) Acquisition Mode: คือการระบุความเร็วในการดึงสัญญาณ โดยมี 4 วิธี คือ
 - 1 Sample (On Demand): คือการดึงสัญญาณครั้งละหนึ่งจุดตามคำสั่งของซอฟต์แวร์ เช่น ดึงตามความเร็วรูปในโปรแกรม (จับเวลาด้วยซอฟต์แวร์)
 - 1 Sample (H/W Demand): คือการดึงสัญญาณครั้งละหนึ่งจุดตาม sample clock ของฮาร์ดแวร์ (จับเวลาด้วยฮาร์ดแวร์) ซึ่งต้องระบุ Rate ด้วย และเวลาจะแม่นยำมากกว่า
 - N Sample: คือการดึงสัญญาณด้วย sample clock เป็นจำนวน N จุดเพียงข้อ เดียว โดยระบุ Rate และจำนวนจุดที่ต้องการอ่านด้วย (Samples to Read)
 - Continuous Samples: คล้ายกับการดึงแบบ N Sample แต่จะดึงแบบต่อเนื่องซึ่ง จะต้องร่อนอยู่ในรูปเสมอ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นจุดของข้อมูลที่มีความต่อเนื่อง ไม่มี

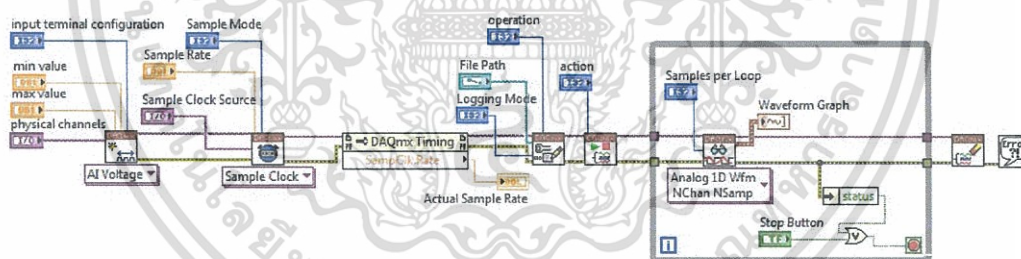
การขาดตอนแม้จะเป็นรอยต่อระหว่างลูป เพราะข้อมูลจะถูกดึงอย่างต่อเนื่องและเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ก่อนที่จะปล่อยออกมาเข้าคอมพิวเตอร์ครั้งละหนึ่งชุด เราเรียกวิธีการดึงสัญญาณแบบนี้ว่า buffered acquisition ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกวิธีนี้ในการดึงสัญญาณ

ถ้าในการเก็บข้อมูลเป็นแบบจำกัด (Finite Sample) โปรแกรมจะอนุญาตให้บัฟเฟอร์มีค่าเท่ากับค่าของอัตราการสุ่มต่อแชนเนลตามที่ตั้งไว้โดยไม่เกินขีดจำกัดของซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ แต่ถ้าการเก็บข้อมูลเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous Samples) โปรแกรมจะให้ขนาดบัฟเฟอร์เป็นไปตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าบัฟเฟอร์ที่สัมพันธ์กับอัตราการสุ่มของโปรแกรม LabVIEW

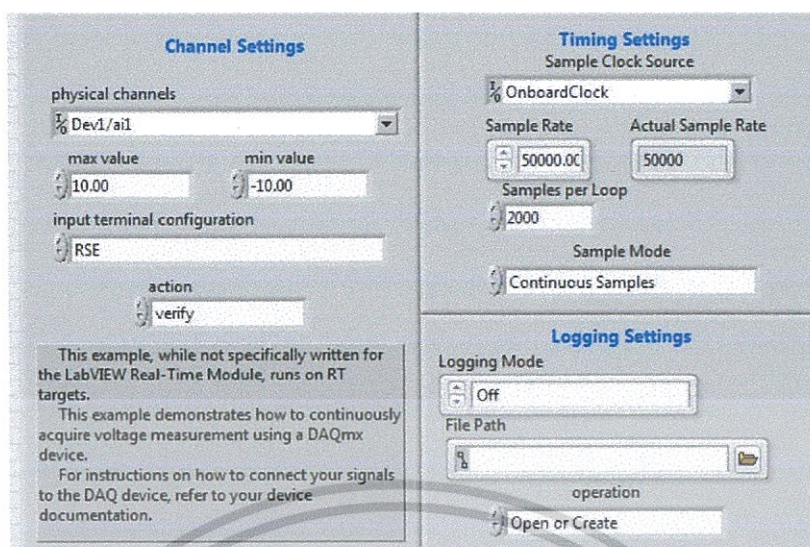
Sample Rate	Buffer Size
0 – 100 S/s	1 kS
100 – 10,000 S/s	10 kS
10,000 – 1,000,000 S/s	100 kS
> 1,000,000 S/s	1 MS

จากนั้นทำการทดสอบชุดอุปกรณ์ว่าสามารถดึงข้อมูลได้ตามที่ได้กล่าวหรือไม่ โดยทำการเขียนโปรแกรมในการดึงสัญญาณ ที่ได้รับโค้ดจาก www.ni.com ใช้ในการตรวจสอบการสัญญาณว่าได้ตามที่ตั้งค่าไว้หรือไม่ ดังรูปที่ 2.44



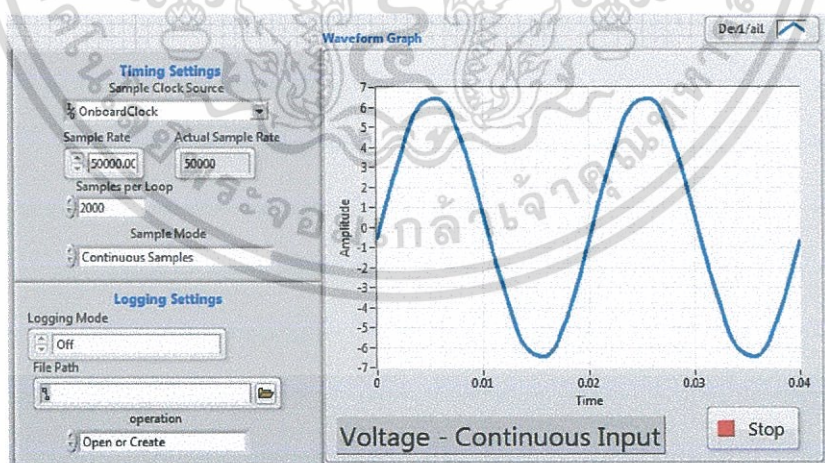
รูปที่ 2.44 โค้ดในการตรวจสอบสัญญาณ

ในโปรแกรมที่ทำการทดสอบได้ใช้อัตราสุ่มที่ 50,000 kS/s เท่ากับอัตราสุ่มที่ใช้กับโปรแกรมที่ได้ออกแบบในงานวิจัย จากนั้นก็นำมาตรวจสอบที่แชนเนล Dev1/ai1 ที่ใช้สำหรับวัดแรงดันเฟส a ในรูปที่ 2.45 แสดงการเลือกค่าอินพุตในหน้า Front Panel โดยทำการเลือกแชนเนลที่ Physical channels เพื่อเลือกแชนเนลที่ต้องการทำการตรวจสอบ max-min value เลือกย่านการทำงานของขนาดแรงดันที่ทำการวัด input terminal configuration ทำการเลือกแบบที่ใช้ในการวัดสัญญาณ จากนั้นทำการป้อนค่าอัตราสุ่มที่ช่อง Sample Rate และอ่านค่าอัตราสุ่มที่วัดได้จริงที่ช่อง Actual Sample Rate เพื่อตรวจสอบว่าสามารถสุ่มสัญญาณได้ตามที่ป้อนค่าไว้ จากนั้นก็ทำการป้อนค่าที่ Samples per Loop เพื่อดูว่ารูปคลื่นที่ทำการดึงสัญญาณเป็นไปตามความต้องการหรือไม่



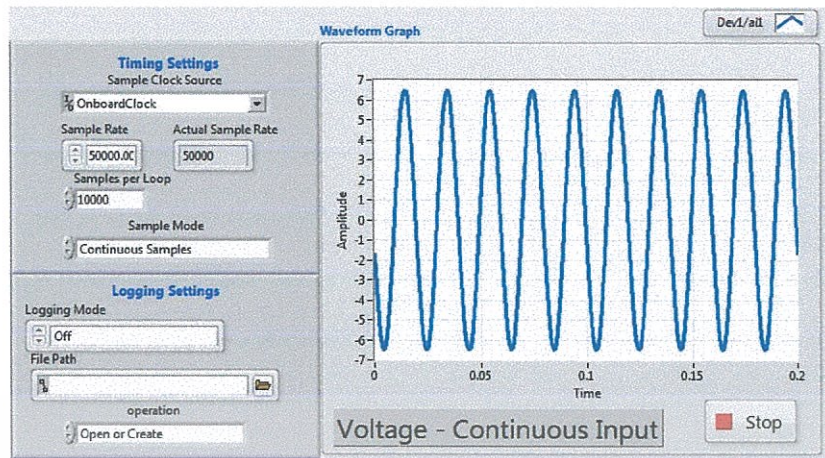
รูปที่ 2.45 หน้า Front Panel ของชุดทดสอบ

ทำการทดสอบโดยการป้อนค่าในช่อง Samples per Loop เท่ากับ 2,000, 10,000 และ 100,000 เพื่อตรวจสอบว่าแรงดันที่ทำการวัดมีส่วนที่ขาดหายไปหรือไม่ ซึ่งจะพบว่าที่ 2,000 และ 10,000 จุดโปรแกรมสามารถตรวจจับสัญญาณได้ไม่มีปัญหา ดังรูปที่ 2.46 และ 2.47 ตามลำดับ ส่วนที่ 100,000 เป็นการดึงสัญญาณที่มีขนาดมากกว่าอัตราสุ่มที่ได้ทำการป้อนไปถึง 2 เท่า ผลจากการทดสอบเห็นได้ว่าสัญญาณที่ทำการสุ่ม 100,000 จุด หรือ 50,000 จุด จำนวน 2 ชุด ไม่มีการขาดหายของสัญญาณ สังเกตระหว่างจุดที่เชื่อมต่อกันระหว่างข้อมูล 2 ชุด (ที่วินาทีที่1) ดังรูปที่ 2.48 แสดงการทำงานของโปรแกรมว่าสามารถนำสัญญาณที่ดึงมาวิเคราะห์ได้อย่างต่อเนื่อง และไม่มีการขาดหายของสัญญาณ

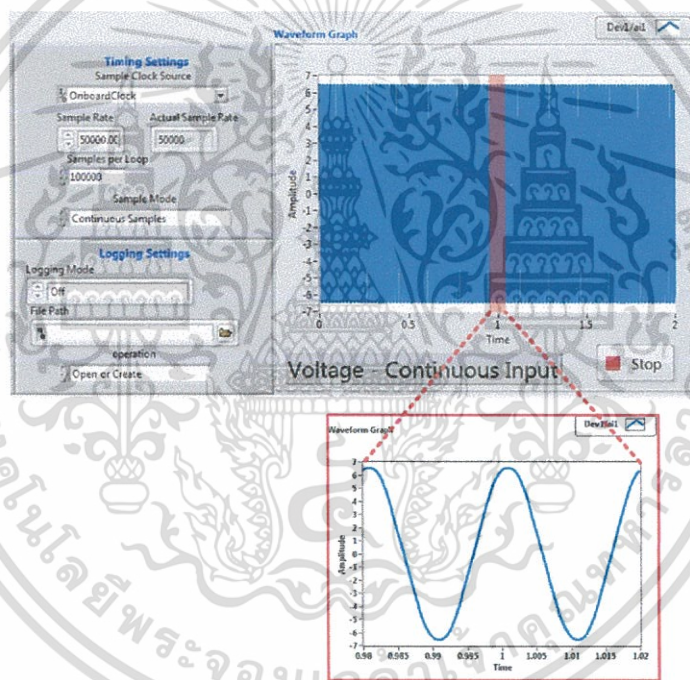


รูปที่ 2.46 ผลการทดสอบที่ 2,000 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.47 ผลการทดสอบที่ 10,000 จุด



รูปที่ 2.48 ผลการทดสอบที่ 100,000 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปบทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

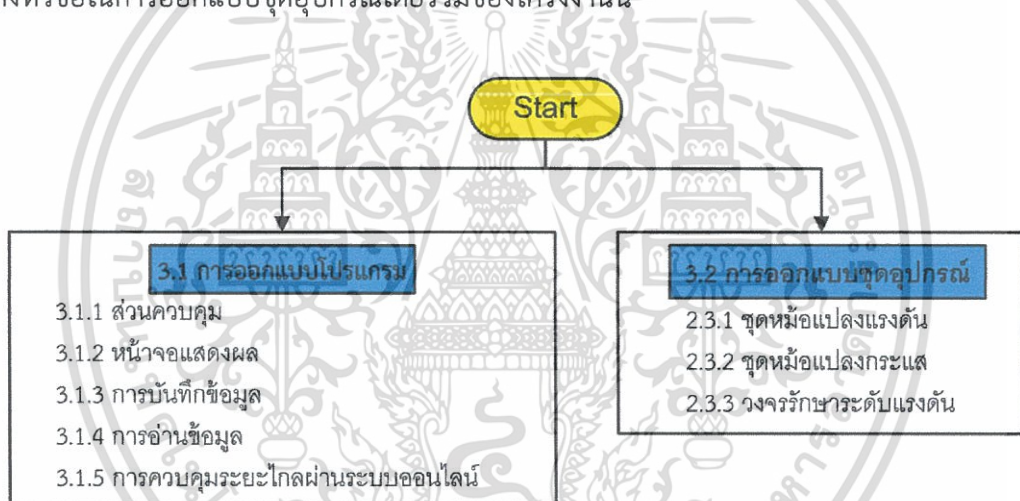
ในบทนี้ได้นำเสนอถึงทฤษฎีที่นำมาใช้ในการออกแบบชุดอุปกรณ์เพื่อทำการวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า โดยมี 3 หัวหลักข้อ คือ

1. พารามิเตอร์พื้นฐานและกำลังไฟฟ้าสามเฟส บอกถึงพารามิเตอร์พื้นฐานของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เช่น ค่าอาร์เอ็มเอส ที่ใช้บอกค่าสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ และได้กล่าวถึงกำลังทางไฟฟ้า เช่น กำลังไฟฟ้าปรากฏ กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ไป
2. ทฤษฎีคุณภาพกำลังไฟฟ้า ที่บอกถึงความสำคัญของคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่เป็นตัวชี้วัดถึงความน่าเชื่อถือในระบบไฟฟ้า โดยได้แบ่งความผิดปกติต่างๆ ตามมาตรฐาน IEEE 1159-1995
3. ทฤษฎีการวัดและการเก็บข้อมูลทางไฟฟ้า ได้ยกตัวอย่างประเภทของเครื่องมือวัดแต่ละชนิดพร้อมกับคุณสมบัติในการวัดปริมาณทางไฟฟ้า จากนั้นได้กล่าวถึงการแปลงสัญญาณอนาล็อกที่วัดได้เป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อทำการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อนำไปประมวลผลต่อไป

จากทฤษฎีที่ได้กล่าว สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อทำการออกแบบโปรแกรมและชุดอุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัด, วิเคราะห์ และเก็บข้อมูลทางไฟฟ้า ซึ่งรายละเอียดในการออกแบบทั้งหมดจะได้นำเสนอต่อไปในบทที่ 3

การออกแบบโปรแกรมและชุดอุปกรณ์

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบโปรแกรมและชุดอุปกรณ์ เพื่อใช้ในการวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการสร้างโปรแกรมที่ใช้ในการรับค่า, วิเคราะห์ และบันทึกข้อมูล ทำให้สามารถจำลองสัญญาณในโปรแกรมเพื่อทำการศึกษาตามทฤษฎี จากนั้นก็ออกแบบตัวโปรแกรมให้เหมาะสมกับการนำไปวัดสัญญาณไฟฟ้าจริงในระบบ รวมถึงวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสัญญาณ, แสดงผลจากการวิเคราะห์, บันทึกผลข้อมูล, นำข้อมูลที่บันทึกได้มาวิเคราะห์ทั้งค่าพารามิเตอร์ของระบบไฟฟ้าทั้งในสภาวะปกติและสภาวะที่เกิดความผิดปกติของทางไฟฟ้า โดยทำการออกแบบเพื่อให้มีความถูกต้องในการวัดที่เป็นไปตามมาตรฐาน รวมถึงสามารถนำไปใช้งานได้ง่ายไม่มีความยุ่งยากซับซ้อนและสามารถพกพาชุดอุปกรณ์ไปวัดค่าตามสถานที่ต่างๆ ได้อย่างสะดวก [13-21] รูปที่ 3.1 ได้แสดงหัวข้อในการออกแบบชุดอุปกรณ์โดยรวมของโครงการนี้

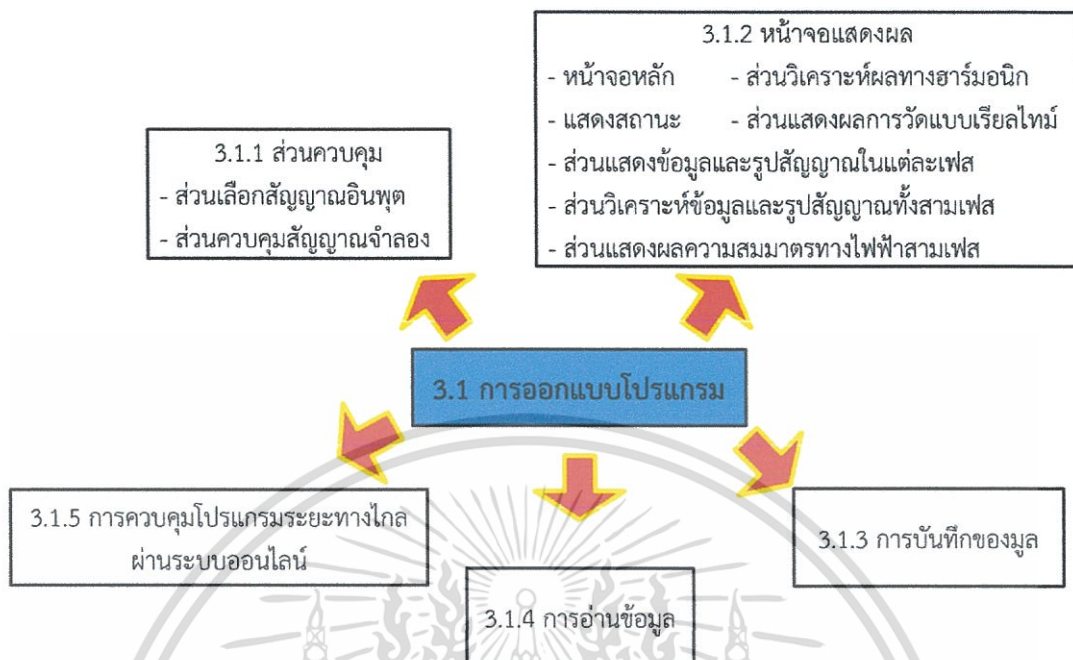


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมและอุปกรณ์

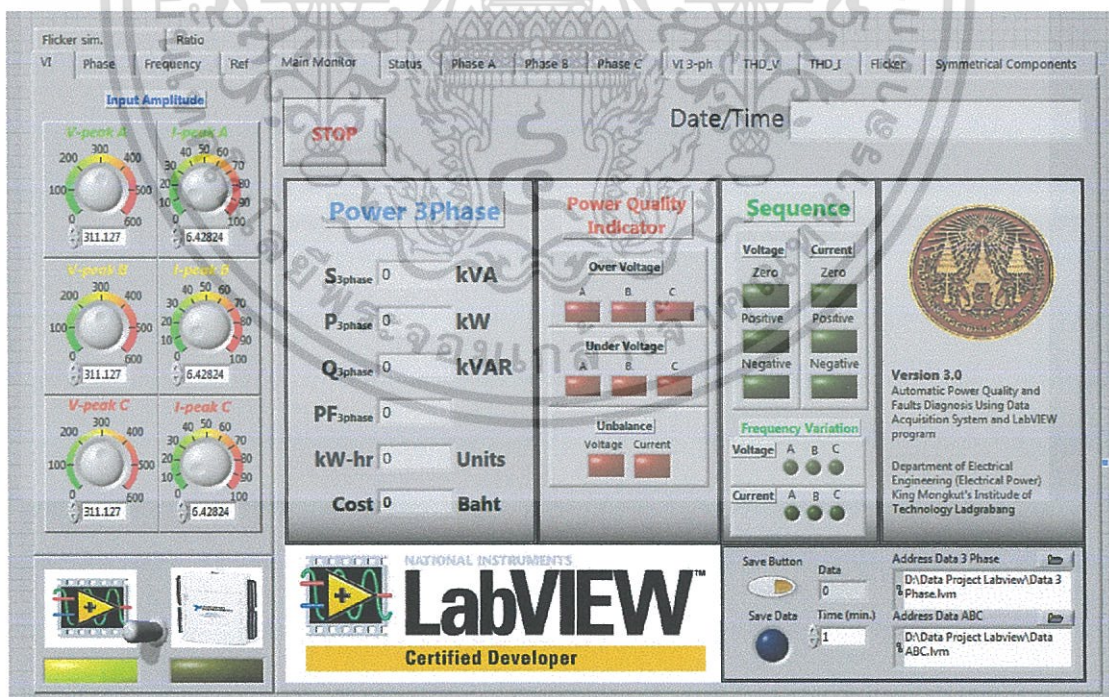
3.1 การออกแบบโปรแกรม

ในการออกแบบโปรแกรมทางผู้จัดทำได้ออกแบบให้ Front Panel ของโปรแกรมมีความเป็นระเบียบเรียบร้อย ผู้ใช้สามารถเข้าใจและใช้งานได้ง่าย โดยแบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลัก โดยส่วนแรกคือ ส่วนควบคุมเป็นส่วนที่ใช้เลือกสัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณจำลองและสัญญาณจริงที่ได้จากชุดอุปกรณ์ รวมถึงส่วนที่ใช้ปรับค่าของสัญญาณจำลองด้วย ในส่วนที่ 2 จะเป็นการแสดงผลบนหน้าจอในรูปแบบสัญญาณไฟเตือน, การวิเคราะห์และคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ รวมถึงฟังก์ชันอื่นๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยจะอยู่ภายในของ Tab Control ที่ประกอบไปด้วย Main Monitor, Status, Phase A, Phase B, Phase C, VI 3-ph, THD_V, THD_I, Flicker และ Symmetrical Component ส่วนที่ 3 เป็นส่วนที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล ส่วนที่ 4 เป็นส่วนรายงานผล และส่วนที่ 5 คือ ส่วนในการควบคุมโปรแกรมระยะทางไกลผ่านระบบออนไลน์ ซึ่งมี Flow Chart และตัวอย่างโปรแกรมที่ออกแบบ ดังรูปที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่อนุญาตให้ใช้ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 หัวข้อที่ทำการออกแบบในโปรแกรม



รูปที่ 3.3 ตัวอย่าง Front Panel ของโปรแกรมที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 ส่วนควบคุม (Control)

ใช้ในการเลือกสัญญาณอินพุตระหว่างสัญญาณจริงที่ทำการวัดหรือสัญญาณที่จำลองขึ้นมาด้วยโปรแกรม LabVIEW และส่วนที่ใช้ปรับค่าสัญญาณจำลองประกอบด้วยขนาด มุมเฟส ความถี่ของแรงดันและกระแสไฟฟ้าสามเฟส

3.1.1.1 ส่วนเลือกสัญญาณอินพุต

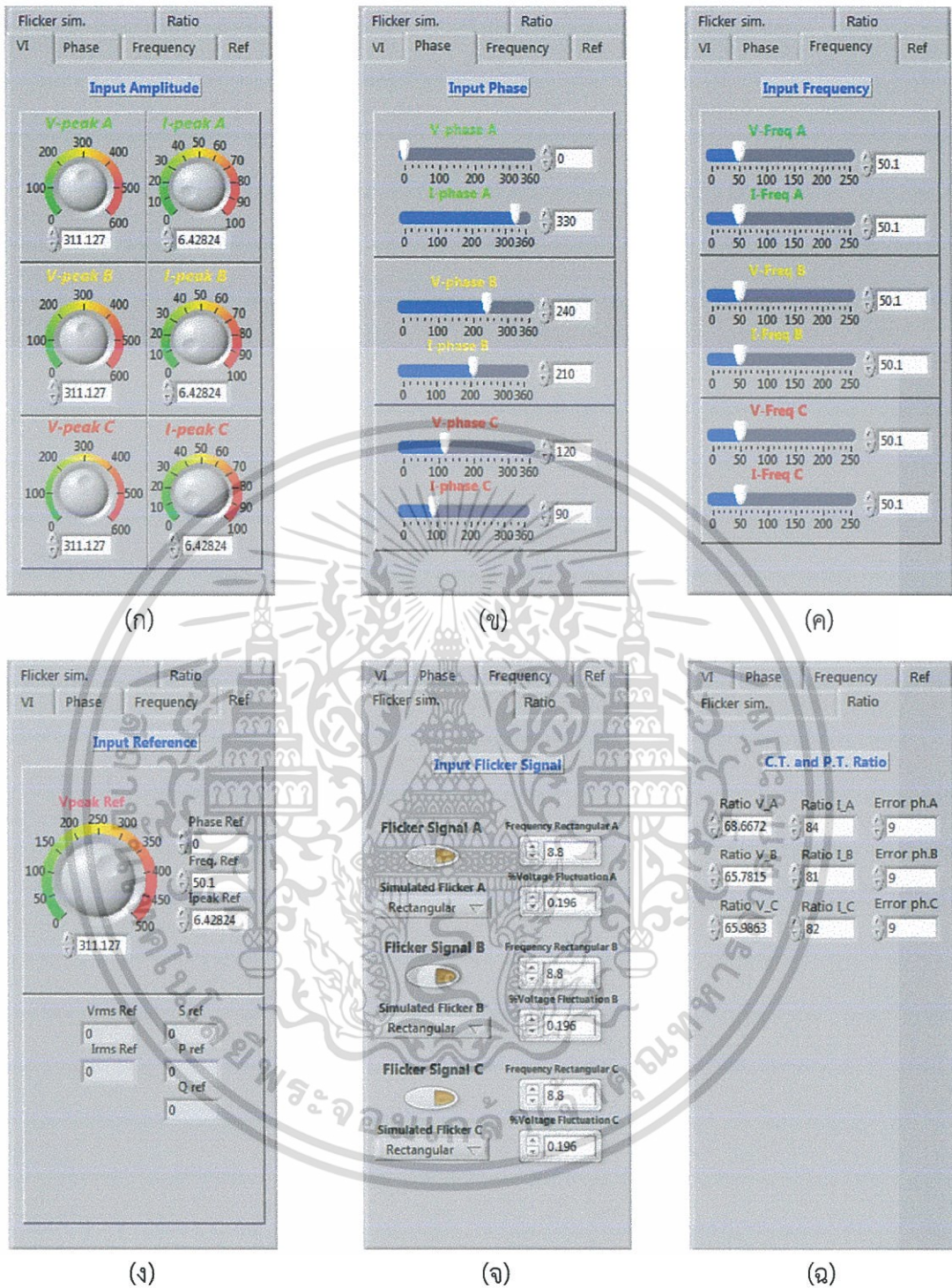
โดยในส่วนของสัญญาณอินพุตสามารถเปลี่ยนแหล่งของสัญญาณอินพุตจากสัญญาณจำลองมาเป็นสัญญาณจริงที่วัดได้จากชุดอุปกรณ์ได้โดยการกดสวิตช์ซึ่งจะอยู่ทางด้านล่างซ้าย หรือดูได้จากรูปที่ 3.4 (ก) ในการเขียน Block Diagram ของสวิตช์นี้ดูได้จากรูป 3.4 (ข) โดยจะทำการต่อสวิตช์ชั้นโยกที่ชื่อ *Switch Sim-DAQ* เข้ากับหลอดไฟที่ชื่อ *DAQ* กับ *SIM* เมื่อสวิตช์โยกอยู่ด้านซ้ายหลอดไฟของสัญญาณจำลองก็จะติด (เขียวอ่อน) และเมื่อสวิตช์โยกอยู่ด้านขวาหลอดไฟของ *DAQ* จะติดแทนส่วนหลอดไฟของสัญญาณจำลองก็จะดับ (เขียวแก่)



รูปที่ 3.4 สวิตช์เปลี่ยนชนิดของสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณจริงจากชุดอุปกรณ์

3.1.1.2 ส่วนควบคุมสัญญาณจำลอง

ภายในโปรแกรมแลปวิวสามารถจำลองสัญญาณทางไฟฟ้าชนิดต่างๆขึ้นมา เพื่อใช้คำนวณและตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมในส่วนที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลได้ โดยจะใช้ตัวจำลองสัญญาณที่มีชื่อว่า *Simulate Signal* แทนแหล่งกำเนิดแรงดันและกระแสทั้งสามเฟส ซึ่งสามารถปรับพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการควบคุมลักษณะของรูปคลื่นสัญญาณที่จำลองได้ใน Front Panel และมี Block Diagram ดังรูปที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ

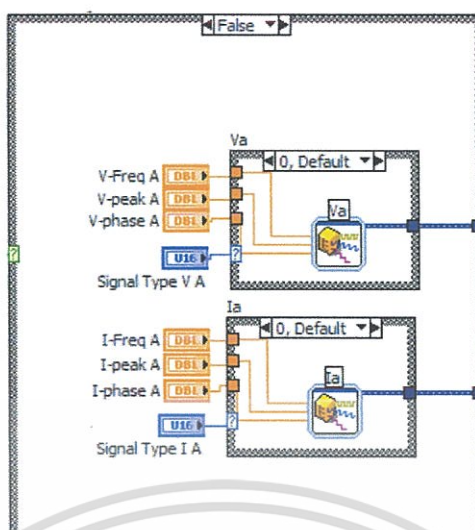


รูปที่ 3.5 Front Panel ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณจำลอง

โดยที่

- (ก) ค่ายอดของสัญญาณจำลองของแรงดัน (โวลต์) และกระแส (แอมป์),
 (ข) มุมเฟส(องศา), (ค) ความถี่ (Hz), (ง) พารามิเตอร์ของสัญญาณอ้างอิง,
 (จ) สัญญาณกระแสเฟือง และ (ฉ) อัตราค่าแก้ของชุดอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 Block Diagram ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณจำลอง

ในส่วนของการควบคุม จำเป็นต้องมีการสร้างสัญญาณเพื่อรองรับการจำลองสัญญาณแรงดันและกระแสทางไฟฟ้า เพื่อใช้ทดสอบการวิเคราะห์ทางไฟฟ้าประเภทต่างๆ เช่น การหาค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันและกระแส, ความต่างเฟส และความถี่ ซึ่งจะนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงที่สามารถตั้งค่าตัวแปรต่างๆ ตามมาตรฐาน ในส่วนของการสร้างสัญญาณแรงดันกระแสเพื่อมเพื่อใช้วัดดัชนีไฟกระพริบ มีสัญญาณให้เลือก 2 แบบ คือ Sinusoidal และ Rectangular โดยสามารถตั้งค่าความถี่และขนาดของแรงดันกระแสเพื่อมได้ จากนั้นก็ยังมีกรใส่ค่าแก้อัตราส่วนของชุดอุปกรณ์ เพื่อแก้ไขค่าความผิดพลาดของชุดอุปกรณ์ ให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด

3.1.2 หน้าจอแสดงผล (Monitoring)

ในส่วนของการสร้างหน้าจอแสดงผลนั้น เป็นส่วนที่ใช้แสดงผลของการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ รวมถึงรูปคลื่นสัญญาณ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ที่สนใจ สามารถกดเลือกได้ที่แท็บด้านบน [22-23] ตามรูปที่ 3.7 จะเห็นว่าทั้งหมด 10 แท็บ โดยจะแบ่งเป็น 8 ส่วนหลักดังนี้

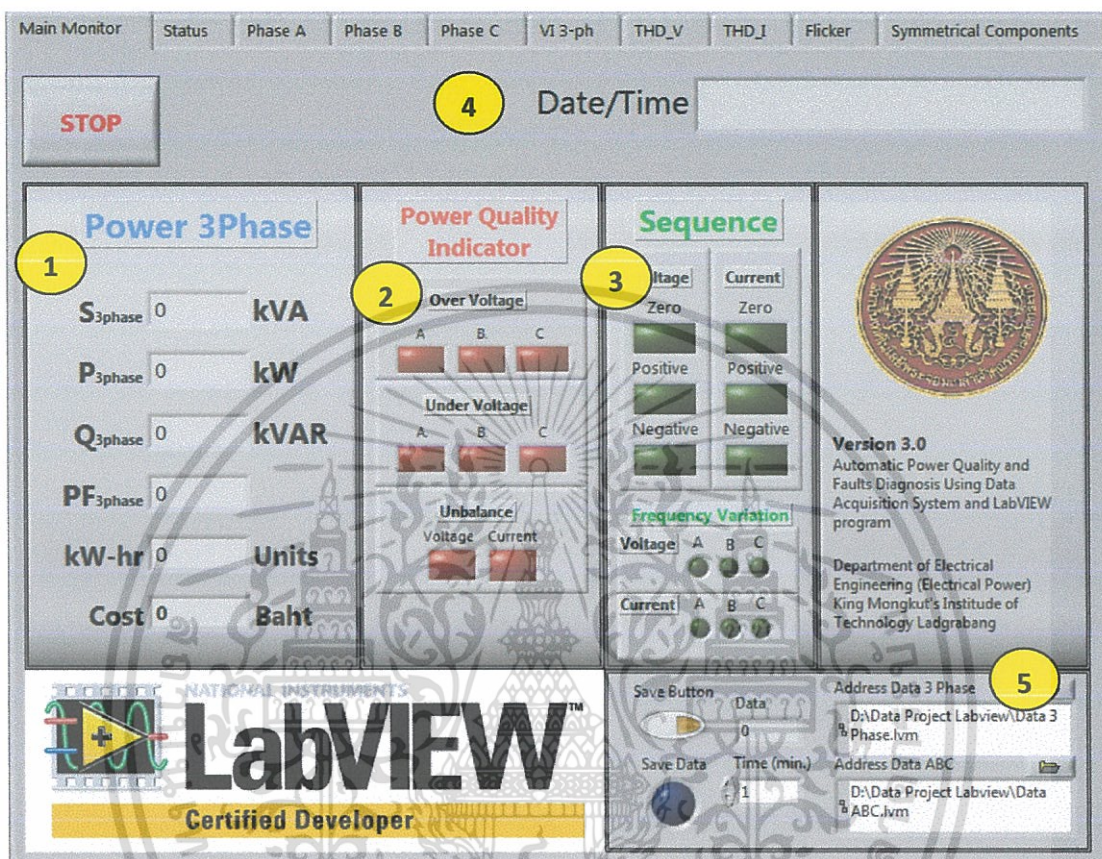
3.1.2.1 หน้าจอหลัก Main Monitor

เป็นส่วนที่ใช้แสดงผลการคำนวณหาค่ากำลังทางไฟฟ้าสามเฟส, แจ้งเตือนความผิดปกติและส่วนของการบันทึกข้อมูลของสัญญาณไฟฟ้าสามเฟส รวมถึงหน้าจอที่แสดงวันเวลา ในขณะที่โปรแกรมกำลังทำงานอยู่ ตามรูปที่ 3.7

- หมายเลข 1: เป็นส่วนแสดงการคำนวณหาค่ากำลังทางไฟฟ้าสามเฟสโดยนำค่าของกำลังไฟฟ้าปรากฏ, กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน ในแต่ละเฟสของสัญญาณไฟฟ้าทั้งสามเฟสมารวมกัน
- หมายเลข 2: เป็นการแจ้งเตือนความผิดปกติของสัญญาณไฟฟ้าในระบบ ประกอบด้วยแรงดันเกิน, แรงดันตก และแรงดันไม่สมดุล
- หมายเลข 3: เป็นการแจ้งเตือนสมมาตรทางไฟฟ้าว่าผิดปกติหรือไม่ และความผิดปกติด้านความถี่ของสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟส
- หมายเลข 4: แสดงวันและเวลาที่ทำการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หมายเลข 5: แสดงสถานะของการเก็บข้อมูล โดยจะมีปุ่มกดเพื่อทำการบันทึก สามารถตั้งเวลาที่ทำการบันทึกได้มีหน่วยเป็นนาที เมื่อทำการบันทึกก็จะมีการนับจำนวนชุดข้อมูลที่บันทึก และสามารถกำหนดที่อยู่ของชุดข้อมูลให้บันทึกตำแหน่งใดในคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.7 หน้าจอ Main Monitor

โดยที่ (1) แสดงผลการคำนวณหา กำลังทางไฟฟ้าสามเฟส, (2) และ (3) หลอดไฟแสดงสัญญาณเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติทางไฟฟ้า, (4) แสดงวันและเวลา, (5) แสดงสถานะของการเก็บข้อมูล

ในส่วนการเขียน Block Diagram ของหน้าจอ Main Monitor จะประกอบไปด้วย

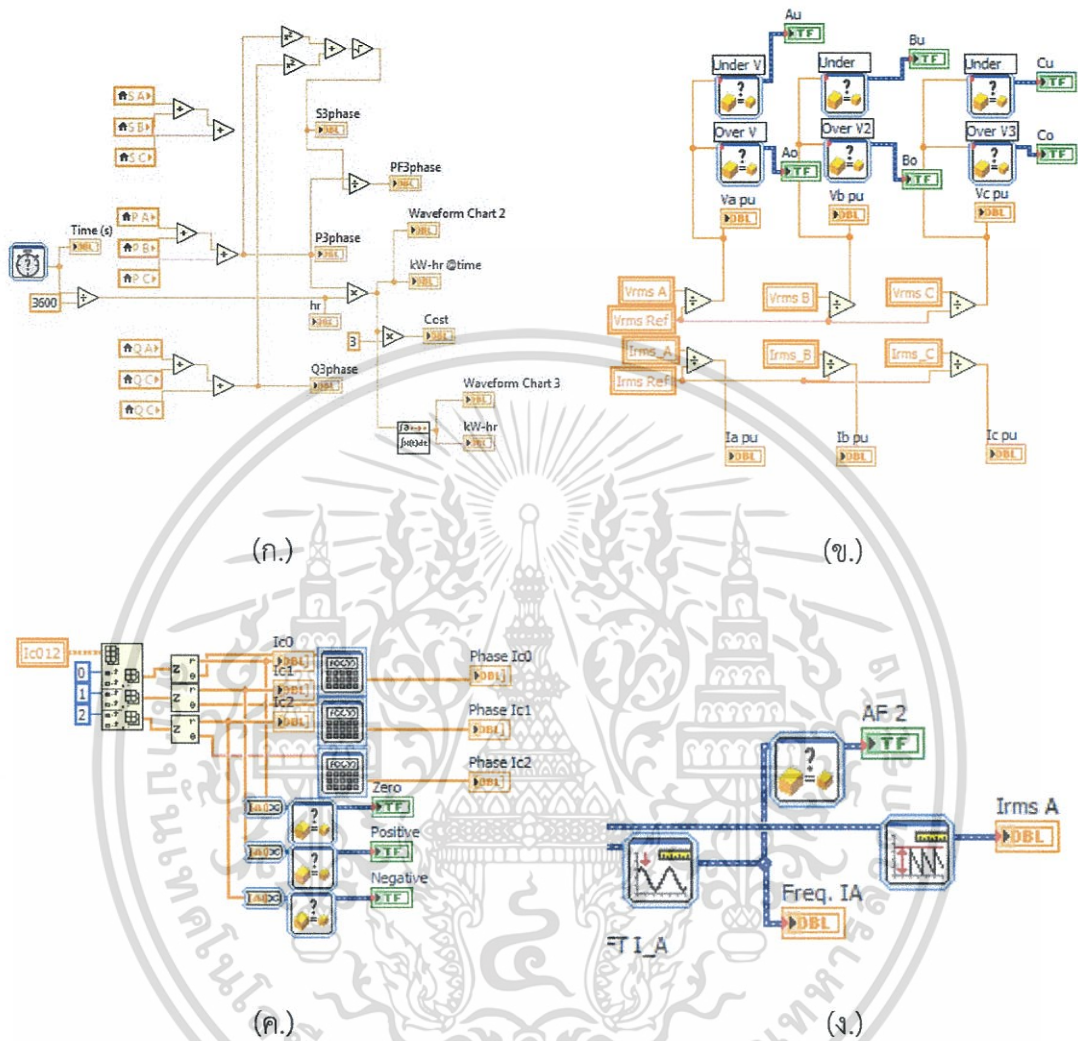
1. การคำนวณหา กำลังทางไฟฟ้าสามเฟส เริ่มจากการนำกำลังไฟฟ้าปรากฏ, กำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือน ของสัญญาณไฟฟ้าทั้งสามเฟส มารวมกัน แล้วให้แสดงค่าที่ *Numerical Indicator* และมีการคิดหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ไปในหน่วย kWhr โดยนำค่ากำลังไฟฟ้าจริงคูณด้วยเวลาในหน่วยชั่วโมง ดังรูปที่ 3.8 ก.

2. สัญญาณเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติทางไฟฟ้าใช้ตัว *comparison* ที่เป็น Express VI (พื้นหลังสีฟ้า) ในการเปรียบเทียบเพื่อส่งผลไปยังหลอดไฟในหน้า Main Monitor เมื่อค่า Per Unit ของแรงดันและกระแสมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าตามที่มาตรฐานได้กำหนดไว้ ดังรูปที่ 3.8 ข.

3. สมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟสใช้ตัว *comparison* เปรียบเทียบขนาดของส่วนประกอบเฟสลำดับศูนย์และลบ (มีค่าเมื่อแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล) ก่อนส่งผลไปยังหลอดไฟ ดังรูปที่ 3.8 ค.

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อเผยแพร่ในวงจำกัดเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเปลี่ยนแปลงของความถี่ใช้ตัว *comparison* เปรียบเทียบความถี่ที่ตั้งค่าไว้คือ 50Hz ก่อนส่งผลไปยังหลอดไฟ ดังรูปที่ 3.8 ง.



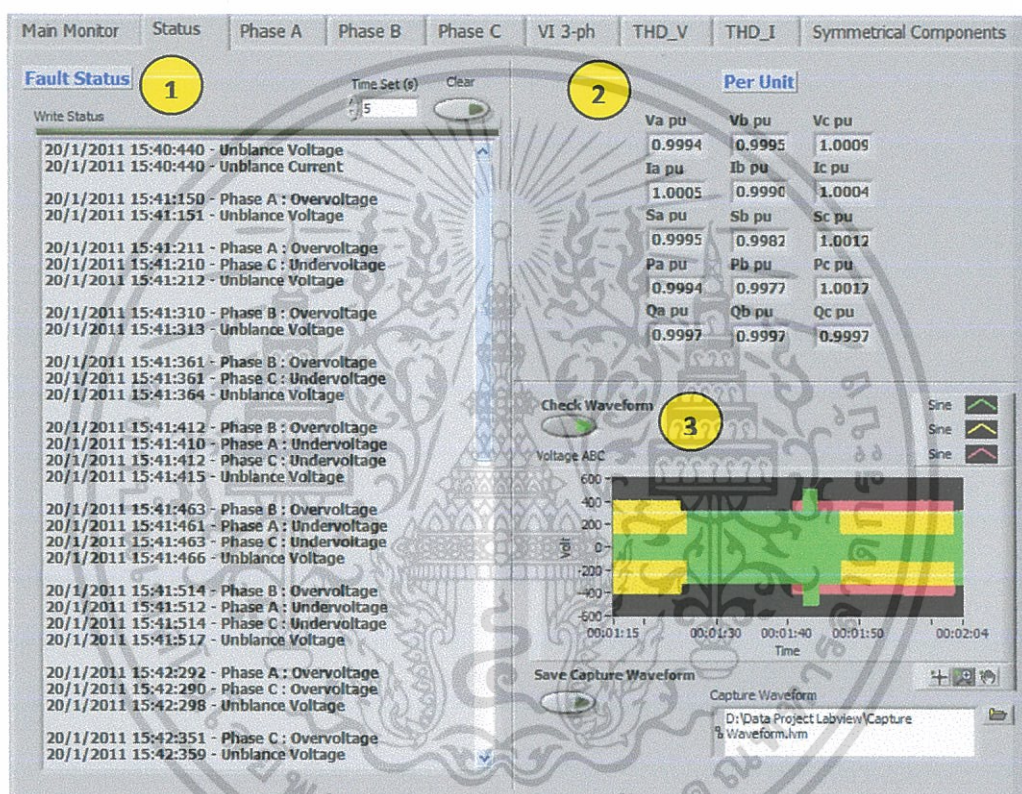
รูปที่ 3.8 Block Diagram ที่ใช้เขียนหน้าจอ Main Monitor

โดยที่ (ก.) การคำนวณหากำลังทางไฟฟ้าสามเฟส, (ข.) สัญญาณเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติทางไฟฟ้า, (ค.) สมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส, (ง.) การเปลี่ยนแปลงของความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.2 หน้าจอแสดงสถานะ (Status)

ด้านซ้ายเป็นส่วนที่แสดงสถานะความผิดปกติของสัญญาณต่างๆ โดยจะบอกวันและเวลาของการเกิดความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งสามารถตั้งเวลาในการแจ้งเตือนและลบข้อความที่เตือนขึ้นมาได้ ส่วนด้านขวาบนแสดงผลการคำนวณในหน่วย Per Unit ของแรงดัน, กระแส และกำลังทางไฟฟ้าทั้งสามเฟส ส่วนด้านล่างขวาเป็นพื้นที่ใช้ในการตรวจสอบรูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแสที่เกิดขึ้นในขณะนั้น โดยกดปุ่ม *Check Waveform* และสามารถบันทึกที่รูปคลื่นสัญญาณนั้นได้โดยกดปุ่ม *Save Capture Waveform* ในขณะที่ทำการรันโปรแกรม ไฟล์ที่ทำการบันทึกจะใช้นามสกุล *.lvm ตามรูปที่ 3.9

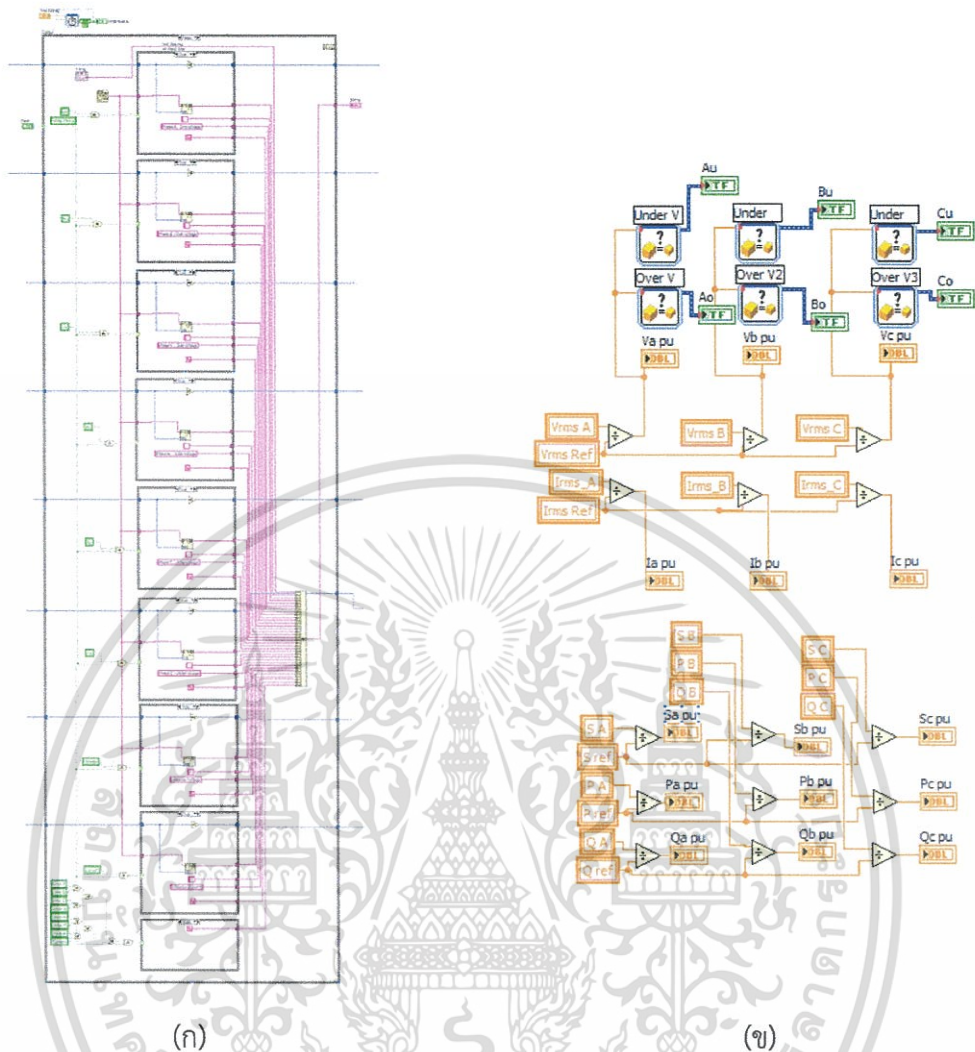


รูปที่ 3.9 หน้าจอแสดงสถานะ

โดยที่ (1) แสดงสถานะความผิดปกติของสัญญาณต่างๆ, (2) แสดงผลการคำนวณในหน่วย Per Unit, (3) ส่วนของการตรวจสอบรูปคลื่นสัญญาณ

ในการเขียน Block Diagram ของหน้าจอแสดงสถานะจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ หน้าจอแสดงสถานะเมื่อเกิดความผิดปกติของสัญญาณ (รูปที่ 3.10 ก.) และในส่วนของ Per Unit (รูปที่ 3.10 ข.) ซึ่งในส่วนแรกจะเป็นการใช้ *Case Structure* ในการสร้างเงื่อนไขของความผิดปกติต่างๆ ร่วมกับเวลาที่จะใช้ในการพิมพ์ข้อความ โดยข้อความที่พิมพ์นั้นจะแสดงวัน, เวลาและชนิดของความผิดปกติที่เกิดขึ้นในแต่ละเฟส ในส่วนที่สองจะนำค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันและกระแสทั้งสามเฟสมาหารกับค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันและกระแสอ้างอิง เพื่อหาค่าแรงดันและกระแสในหน่วยของ Per Unit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



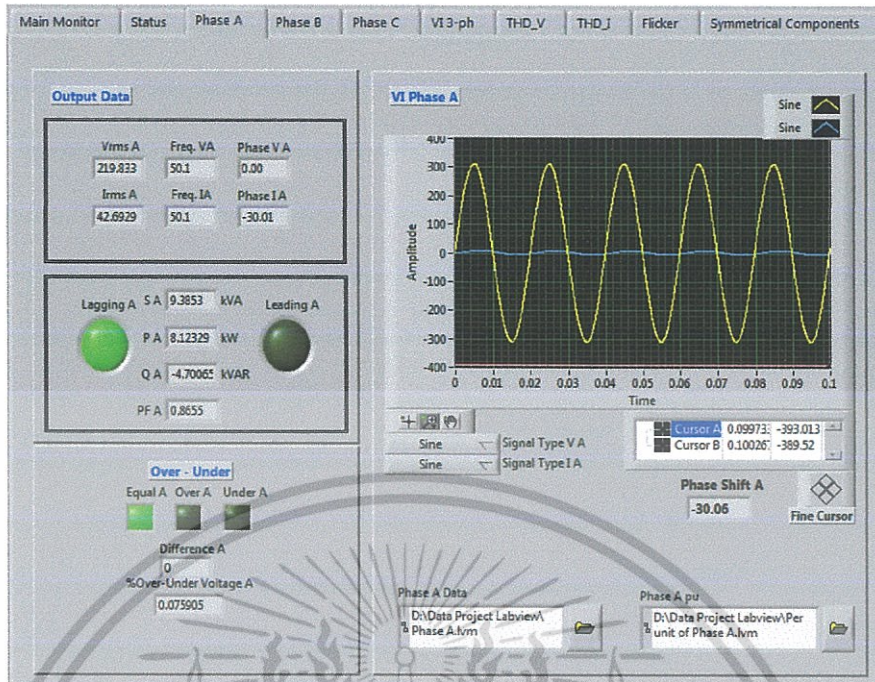
รูปที่ 3.10 การเขียนหน้าจอแสดงสถานะ

โดยที่ (ก) Block Diagram หน้าจอแสดงสถานะ (ข) Block Diagram ของการทำ Per Unit

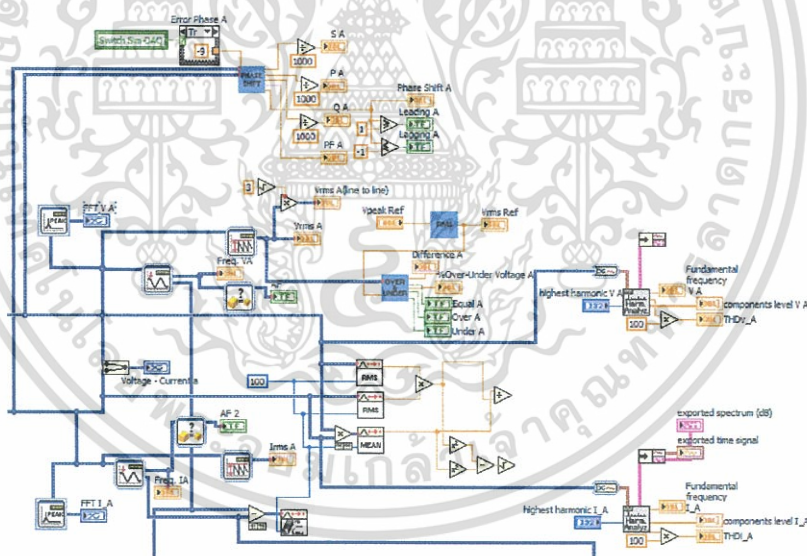
3.1.2.3 หน้าจอแสดงข้อมูลและสัญญาณทางไฟฟ้าของแต่ละเฟส

เป็นส่วนแสดงข้อมูลในแต่ละเฟส โดยประกอบไปด้วย ค่าแรงดัน (อาร์เอ็มเอส), ค่ากระแส (อาร์เอ็มเอส), ความถี่ของแรงดันและกระแส, มุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแส, กำลังไฟฟ้าปรากฏ, กำลังไฟฟ้าจริง, กำลังไฟฟ้าเสมือน, ตัวประกอบกำลัง, รูปคลื่นของสัญญาณแรงดันและกระแส รวมถึงการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์แรงดันตกและแรงดันเกินดังรูปที่ 3.11 โดยเมื่อมีค่ามากกว่า 1.1 p.u. หรือน้อยกว่า 0.9 p.u. ก็จะทำให้หลอดไฟหน้าจอหลัก Main Monitor ทำงาน ด้านล่างของกราฟจะมี File Path Control ที่ใช้ในการแสดงตำแหน่งข้อมูลที่ทำการบันทึก โดยหน้าจอแสดงข้อมูลแต่ละเฟสมี Block Diagram ดังรูปที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 หน้าจอแสดงข้อมูลและสัญญาณทางไฟฟ้าของแต่ละเฟส



รูปที่ 3.12 Block Diagram ของสัญญาณทางไฟฟ้าของแต่ละเฟส

ในส่วนการออกแบบ Front Panel และเขียน Block Diagram ของหน้าจอ Phase A, B และ C ประกอบไปด้วย

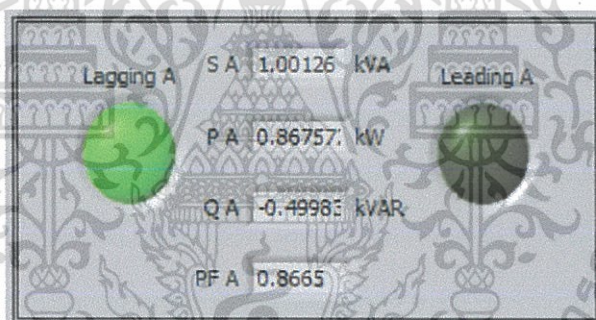
1. การหาค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของสัญญาณทางไฟฟ้า เช่น แรงดันและกระแส(อาร์เอ็มเอส), ความถี่และมุมเฟสในแต่ละเฟส ดังรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

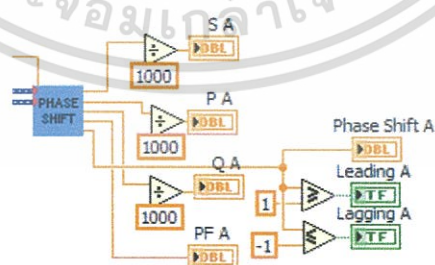
Output Data		
Vrms A	Freq. VA	Phase V A
220.151	50.1	0.00
Irms A	Freq. IA	Phase I A
4.54986	50.1	-29.95

รูปที่ 3.13 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของสัญญาณทางไฟฟ้า

2. การหาค่ากำลังทางไฟฟ้าในแต่ละเฟส โดยแยกเป็นกำลังไฟฟ้าปรากฏ, กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน โดยแสดงค่าของตัวประกอบกำลังพร้อมทั้งหาค่าไฟแสดงประเภทของตัวประกอบกำลัง ดังรูปที่ 3.14 ซึ่งภายใน Block Diagram จะใช้ SubVI ที่ชื่อ *Phase Shift* ในการหาค่ากำลังทางไฟฟ้า, ตัวประกอบกำลังและมุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแส ดังรูปที่ 3.15 (ก.) โดยภายใน SubVI นี้จะเป็นไปดังรูปที่ 3.15 (ข.)

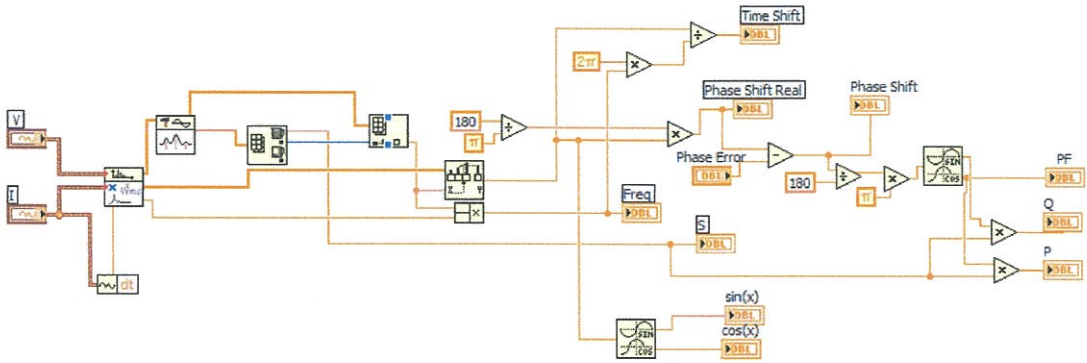


รูปที่ 3.14 กำลังทางไฟฟ้าในแต่ละเฟส



(ก.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข.)

รูปที่ 3.15 การเขียนการหาค่ากำลังทางไฟฟ้า

โดยที่

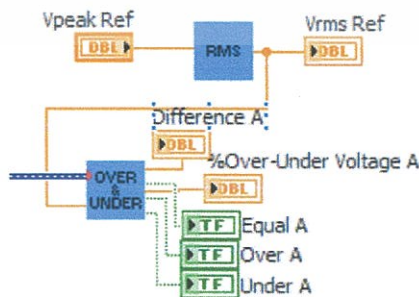
(ก.) Block Diagram ของการหาค่ากำลังทางไฟฟ้าในแต่ละเฟส,

(ข.) Block Diagram ภายใน SubVI Phase Shift

3. การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์แรงดันตกและแรงดันเกิน โดยมีหลอดไฟแสดงสถานะของความผิดปกติของแรงดันไว้ด้วย ดังรูปที่ 3.16 ภายใน Block Diagram จะใช้ SubVI ที่ชื่อ *Over&Under* เพื่อใช้ในการคำนวณ ดังรูปที่ 3.17



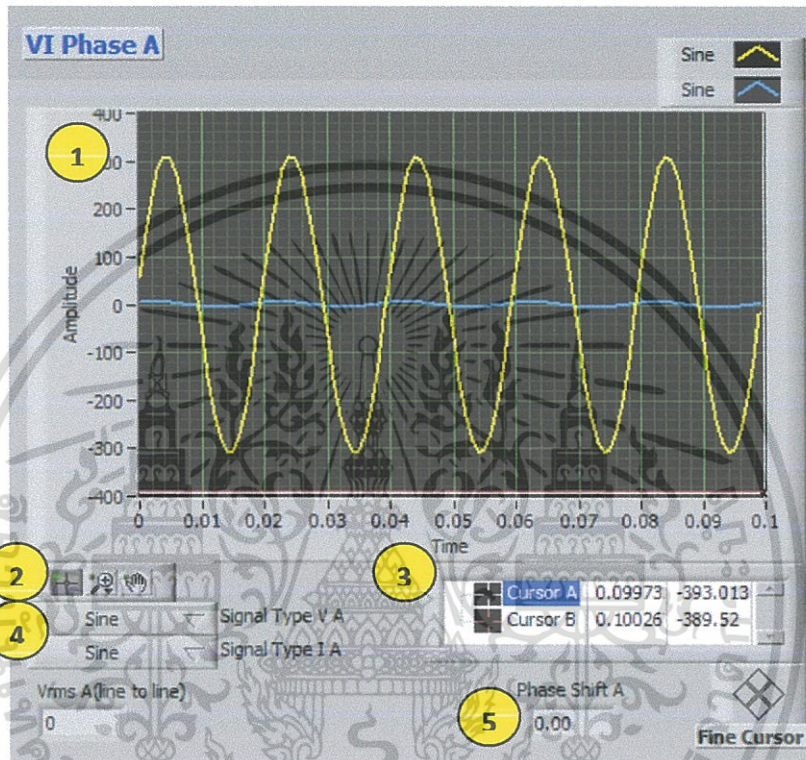
รูปที่ 3.16 หน้าจอแสดงผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์แรงดันตกและแรงดันเกิน



รูปที่ 3.17 Block Diagram ของการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์แรงดันตกและแรงดันเกิน

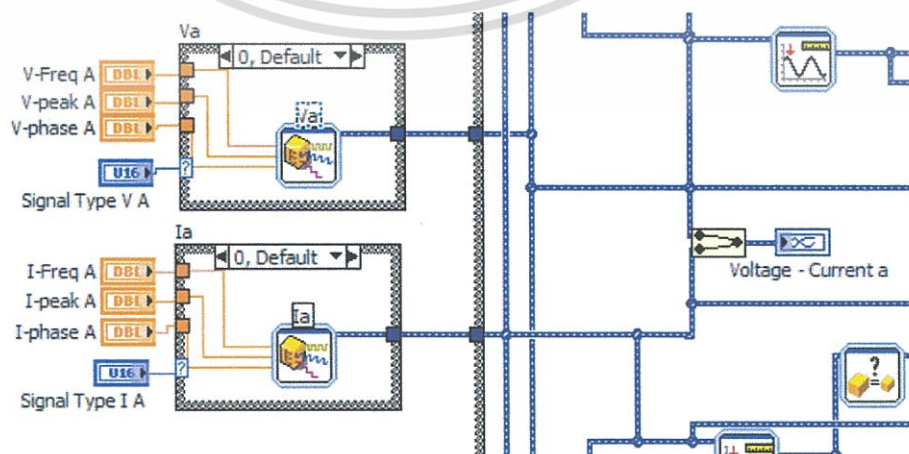
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หน้าจอที่ใช้แสดงรูปคลื่นสัญญาณของแรงดันและกระแส ด้านล่างของรูปคลื่นสัญญาณมี *Ring Constant* เพื่อใช้เปลี่ยนลักษณะของรูปคลื่นสัญญาณและเครื่องมือที่จะช่วยในการวิเคราะห์สัญญาณของแรงดันและกระแส โดยสามารถปรับให้เป็นสัญญาณ Sine, Square, Triangle, Sawtooth และ Sine with noise ดังรูปที่ 3.18 และมีการเขียน Block Diagram ดังรูปที่ 3.19 เป็นการใช *Case Structure* ในการสร้างเงื่อนไขในการเลือกสัญญาณชนิดต่างๆ โดยมีอินพุตคือ *Signal Type* ของสัญญาณแรงดันและกระแสในแต่ละเฟส เป็นตัวปรับเปลี่ยนเงื่อนไขของสัญญาณ



รูปที่ 3.18 แสดงรูปคลื่นสัญญาณของแรงดันและกระแส

โดยที่ (1) รูปคลื่นสัญญาณของแรงดันและกระแส, (2) และ (3) ชุดเครื่องมือวิเคราะห์สัญญาณ, (4) *Ring Constant* ที่ใช้เปลี่ยนชนิดของสัญญาณ, (5) มุมระหว่างแรงดันและกระแส

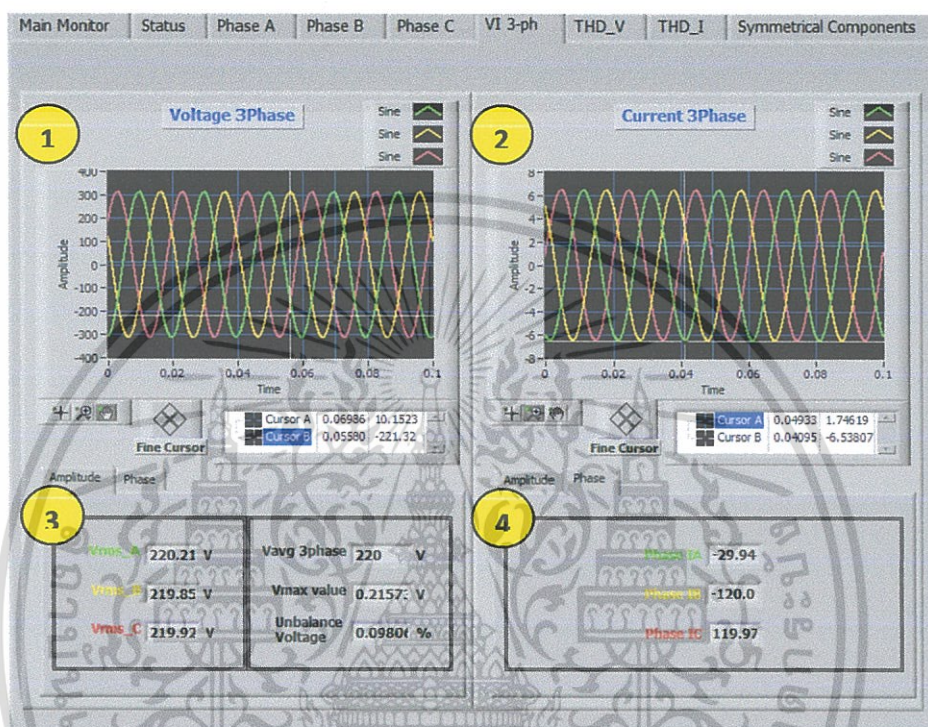


รูปที่ 3.19 Block Diagram หน้าจอแสดงรูปคลื่นสัญญาณของแรงดันและกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และห้ามการนำออกนอกห้องเรียนโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร การนำออกนอกห้องเรียนโดยไม่ได้รับอนุญาตจะถือว่าผิดกฎหมายและต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.4 หน้าจอแสดงข้อมูลและสัญญาณทางไฟฟ้าสามเฟส

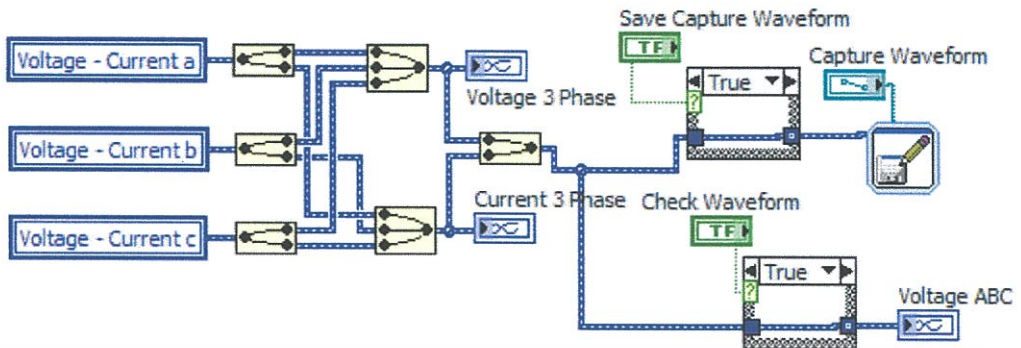
แสดงรูปคลื่นสัญญาณของแรงดันและกระแสไฟฟ้าทั้งสามเฟส มีการแสดงค่าอาร์เอ็มเอส ของสัญญาณ และมุมเฟสที่แตกต่างจากสัญญาณอ้างอิง รวมถึงการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์แรงดันและกระแสไม่สมดุล เมื่อมีค่ามากกว่า 5% จะทำให้หลอดไฟในหน้าจอหลัก Main Monitor ทำงาน [4] ซึ่งมี Front Panel และ Block Panel ดังรูปที่ 3.20 และ 3.21 ตามลำดับ



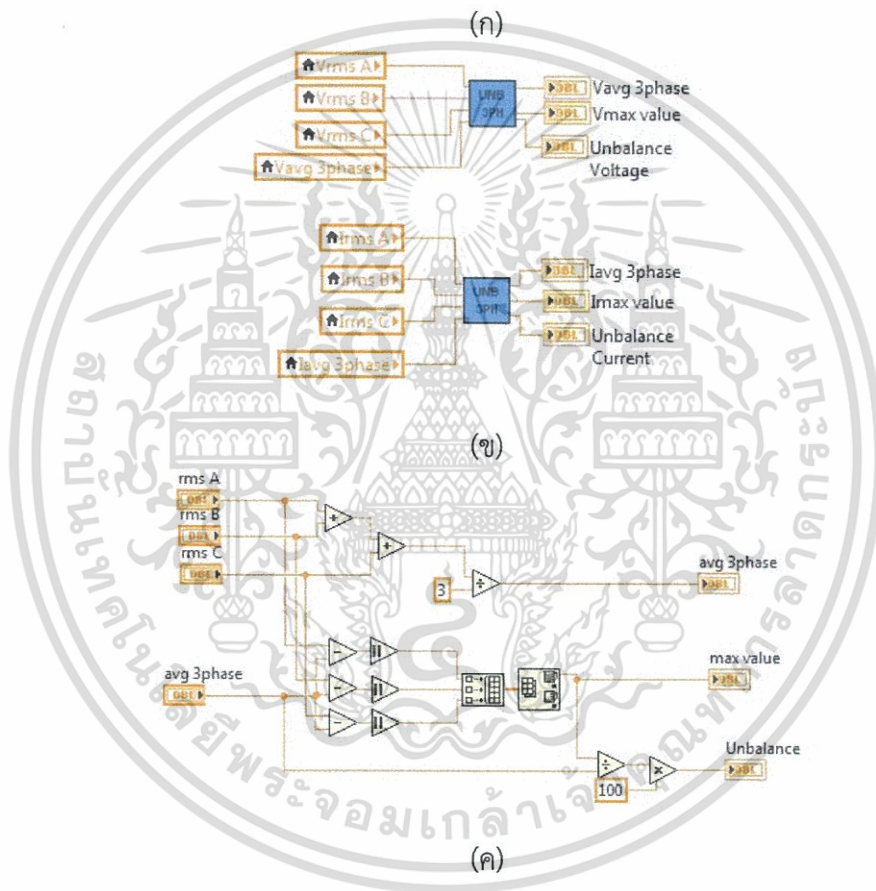
รูปที่ 3.20 หน้าจอแสดงข้อมูลและสัญญาณทางไฟฟ้าสามเฟส

โดยที่

- (1) และ (2) รูปคลื่นของแรงดันและกระแสทั้งสามเฟส
- (3) ค่าอาร์เอ็มเอสของแรงดันและการคำนวณแรงดันไม่สมดุล



(ก)



(ค)

รูปที่ 3.21 Block Diagram ของรูปสัญญาณทางไฟฟ้าสามเฟส

โดยที่

(ก) แสดงรูปคลื่นของแรงดันและกระแสไฟฟ้าทั้งสามเฟส

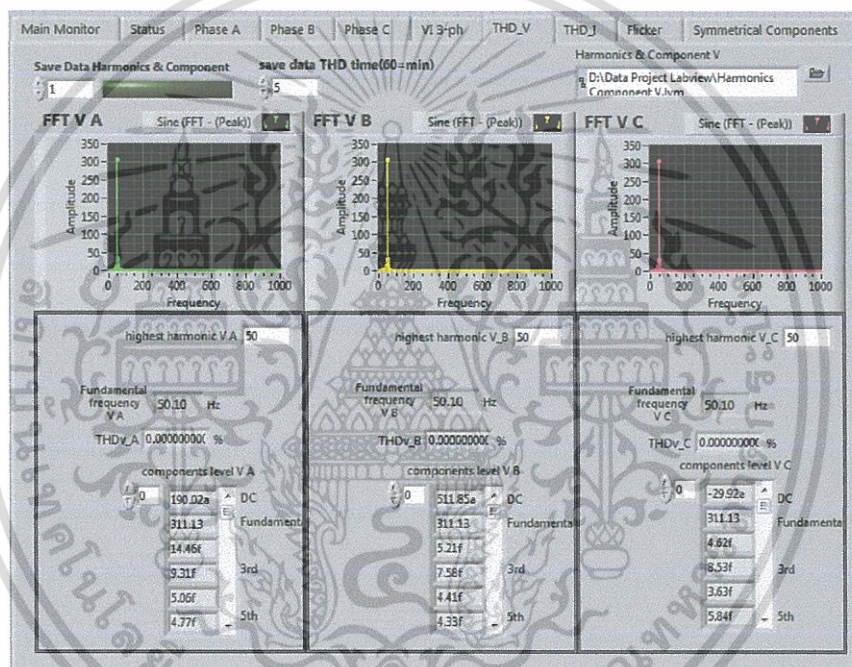
(ข) การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์แรงดันและกระแสไม่สมดุลโดยใช้ SubVI UNB 3PH

(ค) ภายในของ SubVI UNB 3PH ที่ใช้คำนวณหาเปอร์เซ็นต์แรงดันและกระแสไม่สมดุล

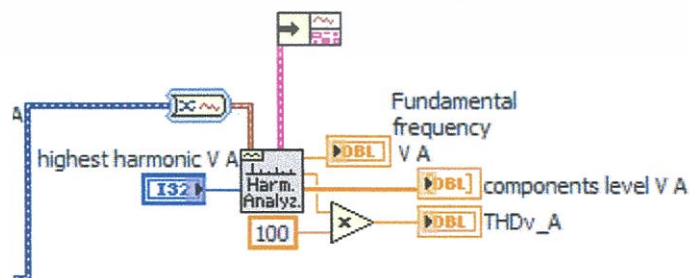
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.5 หน้าจอวิเคราะห์ผลทางฮาร์มอนิก

ในส่วนนี้เป็นการแสดงผลการวิเคราะห์ความผิดเพี้ยนค่าฮาร์มอนิก ของแรงดันและกระแสโดยจะแสดงค่าเป็นแบบกราฟ FFT ดังรูปที่ 3.22 สามารถตั้งเวลาในการบันทึกค่าฮาร์มอนิกได้ที่ *Save Data Harmonics & Component* โดยสามารถกำหนดหน่วยของเวลาได้ที่ *save data THD time* ถ้าป้อนเลข 60 ก็จะมีค่าเท่ากับ 1 นาที ได้กราฟมีการบอกค่าความถี่ของสัญญาณความถี่มูลฐาน, ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดเพี้ยนของสัญญาณ และองค์ประกอบฮาร์มอนิกที่มีจำนวนลำดับตามที่ตั้งไว้ที่ *highest harmonic* โดยทั่วไปแล้วส่วนประกอบฮาร์มอนิกส์อันดับที่สูง ๆ (สูงกว่าอันดับที่ 25th ถึง 50th ขึ้นอยู่กับแต่ละระบบ) ส่วนใหญ่เราจะไม่นำมาพิจารณา เนื่องจากไม่ค่อยสร้างความเสียหายให้แก่ระบบไฟฟ้ากำลังมากเท่าใดนัก ในส่วนของการคำนวณจะใช้ฟังก์ชัน *Harmonic Distortion Analyzer* ดังรูปที่ 3.23 ในการวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาค่า %THD และขนาดของความถี่มูลฐานที่เกิดขึ้นภายในสัญญาณ [24]



รูปที่ 3.22 หน้าจอวิเคราะห์ผลทางฮาร์มอนิก

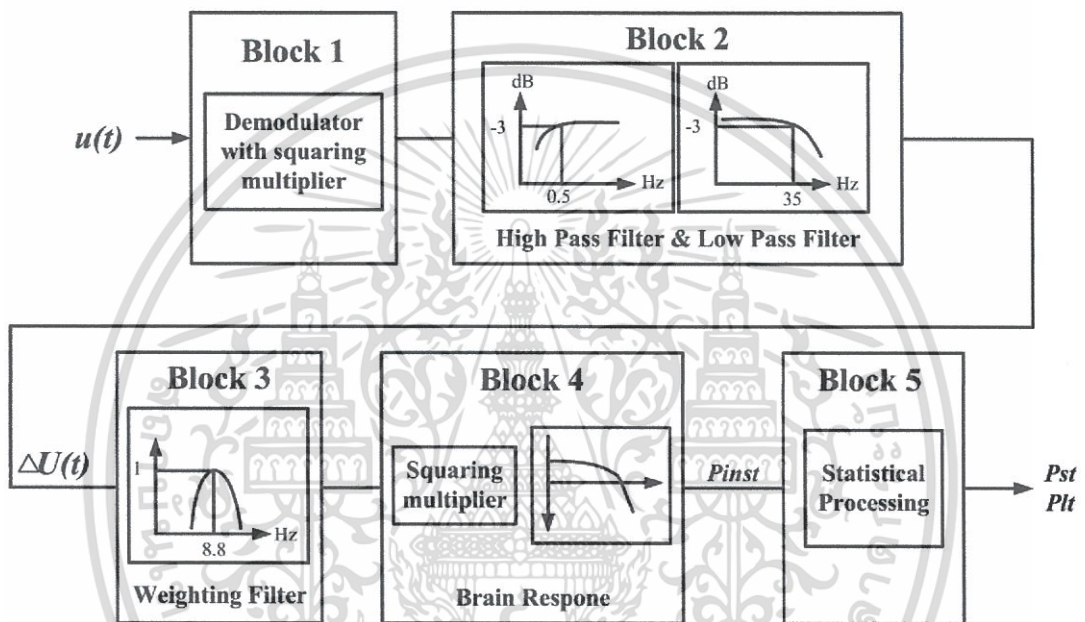


รูปที่ 3.23 Block Diagram ของการวิเคราะห์ผลทางฮาร์มอนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

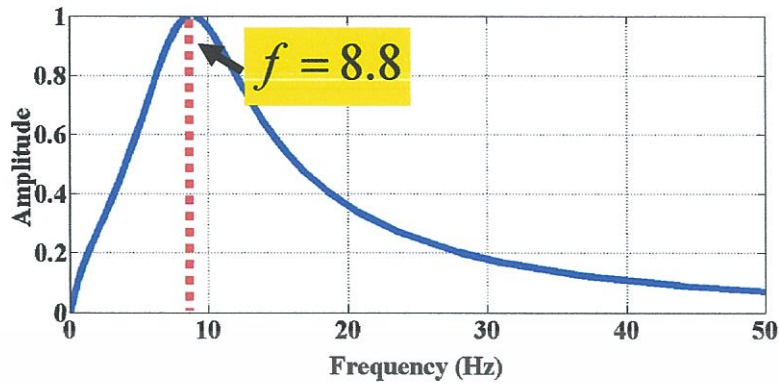
3.1.2.6 หน้าจอวิเคราะห์หัดซ์นี้ไฟกระพริบ

ส่วนนี้เป็นการแสดงผลการวิเคราะห์หัดซ์นี้ไฟกระพริบ ที่ใช้ตรวจวัดระบบไฟฟ้าที่มีการกระเพื่อมของแรงดันหากเกิดขึ้นเป็นเวลานานอาจสร้างการรบกวน และระคายเคืองต่อสายตาของผู้ใช้หลอดไฟในบริเวณนั้นได้ โดยไฟกระพริบ (Light Flicker) เป็นผลตอบสนองของระบบส่องสว่างซึ่งเมื่อคนมองแสงแล้วจะรู้สึกไม่สบายตา ตามมาตรฐาน IEC 61000-4-15 ได้กำหนดค่าตรรชนีไฟกระพริบระยะสั้น (Short term severity level; P_{st}) และระยะยาว (Long term severity level; P_{lt}) ที่จะทำการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าควรมีค่าไม่เกิน 1.0 และ 0.8 ตามลำดับ ขั้นตอนในการคำนวณหาค่าดัชนีไฟกระพริบระยะสั้น หรือ P_{st} ถูกกำหนดไว้ตามบล็อกไดอะแกรมตามรูปที่ 3.24 [25-31]



รูปที่ 3.24 UIE/IEC flicker meter functional diagram

โดยมีสัญญาณอินพุตเป็นแรงดันตลอดระยะเวลา 10 นาที ผ่านบล็อกไดอะแกรมแรกซึ่งมีหน้าที่นอร์มอลไลซ์สัญญาณเพื่อปรับค่าแรงดันขาเข้าให้ต่ำลงเทียบกับแรงดันอ้างอิง รวมถึงทำการยกกำลังสองเป็นการจำลองพฤติกรรมของหลอดไฟชนิดหลอดไส้ จากนั้นส่งค่าไปยังบล็อกที่ 2 โดยส่วนของค่า DC component จะถูกกำจัดโดยตัวกรองความถี่สูง (1st order, 0.05 Hz cut-off frequency) ในขณะที่ส่วนประกอบของความถี่ จะถูกกรองออกโดยตัวกรองความถี่ต่ำ (6th order Butterworth, 35 Hz cut-off frequency) ดังนั้น เอาร์ทพุทที่ได้จากบล็อกไดอะแกรมที่สองก็จะเหลือแต่ ค่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณรูปคลื่น ในช่วงความถี่ระหว่าง 0.5 ถึง 35 เฮิรตซ์ ในส่วนของบล็อกไดอะแกรมที่ 3 คือ ตัวกรองแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighting filter) ที่มีการตอบสนองความถี่ตามรูปที่ 3.25 ซึ่งจะเห็นได้ว่าจุดสูงสุดของเส้นโค้งอยู่ที่ 8.8 เฮิรตซ์ ซึ่งตัวกรองดังกล่าวมีฟังก์ชันถ่ายโอนตามสมการที่ 3.1 ในบล็อกที่ 4 เอาร์ทพุทที่ได้จากฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักจะถูกนำไปยกกำลังสองซึ่งเป็นการจำลองความไม่เป็นเชิงเส้นทางสายตา และผ่านบล็อกไดอะแกรมตัวกรองความถี่ต่ำ (1st order lag with time constant of 300 ms) ซึ่งแทนแนวโน้มของความจำในสมองของมนุษย์ ผลลัพธ์ที่ได้คือ ค่าตรรชนีไฟกระพริบที่แปรผันกับระยะเวลา P_{inst} (Instantaneous flicker sensation)



รูปที่ 3.25 การตอบสนองความถี่ของตัวกรองแบบถ่วงน้ำหนัก

$$F(s) = \frac{k\omega_1 s}{s^2 + 2\lambda s + \omega_1^2} \times \frac{1 + s/\omega_2}{(1 + s/\omega_3)(1 + s/\omega_4)} \quad (3.1)$$

โดยที่ s เป็นตัวแปรลพลาซ

$$k = 1.74802, \lambda = 2\pi 4.05981$$

$$\omega_1 = 2\pi 9.15494 \text{ rad/s}, \omega_2 = 2\pi 2.27979 \text{ rad/s}$$

$$\omega_3 = 2\pi 1.22535 \text{ rad/s} \text{ และ } \omega_4 = 2\pi 21.9 \text{ rad/s}$$

บล็อกที่ 5 เป็นการวิเคราะห์ทางสถิติที่เรียกว่า Cumulative probability function (CPF) โดยการคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่ไฟกระพริบระยะสั้น P_{st} นั้นต้องผ่านการประมวลผลทางสถิติของค่าความน่าจะเป็นที่แปรผันกับระยะเวลาจากบล็อกที่ 4 ลำดับแรกคือการเก็บค่าของ P_{inst} ตามระยะเวลาที่วัดได้จากนั้นนำไปคำนวณตามสมการที่ 3.2 ตามที่มาตรฐานได้กำหนดไว้ โดยที่ $P_{0.1}$, P_1 , P_3 , P_{10} และ P_{50} เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ได้จากการหาโดยวิธี CPF

$$P_{st} = \sqrt{0.0314 \cdot P_{0.1s} + 0.0525 \cdot P_{1s} + 0.0657 \cdot P_{3s} + 0.28 \cdot P_{10s} + 0.08 \cdot P_{50s}} \quad (3.2)$$

$$\text{โดยที่ } P_{50s} = (P_{30} + P_{50} + P_{80}) / 3$$

$$P_{10s} = (P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17}) / 5$$

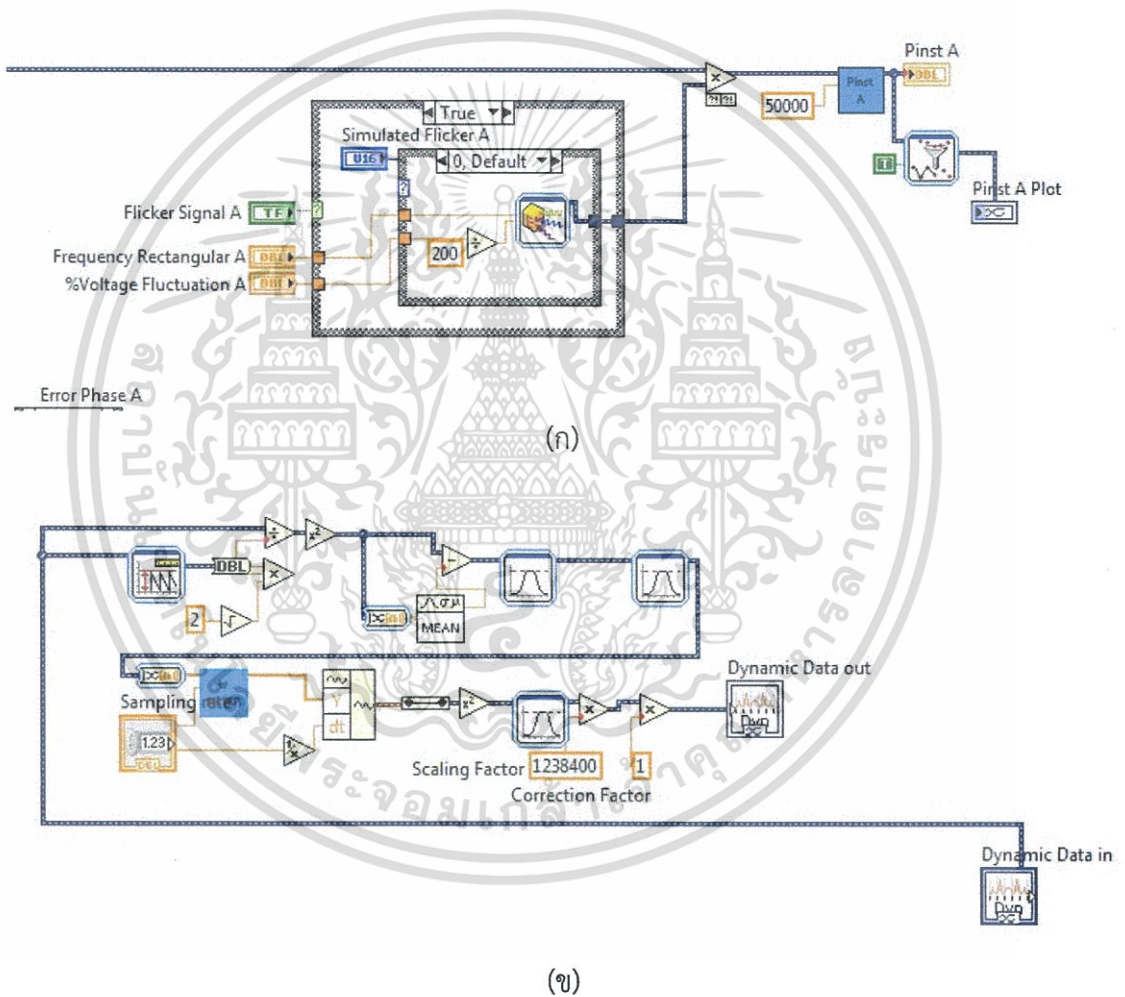
$$P_{3s} = (P_{2.2} + P_3 + P_4) / 3$$

$$P_{1s} = (P_{0.7} + P_1 + P_{1.5}) / 3$$

ส่วนขั้นตอนในการคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่ไฟกระพริบระยะยาว Plt จะเป็นไปตามวิธีค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของค่า P_{st} ที่วัดได้ 12 ค่า ในระยะเวลา 2 ชั่วโมงตามที่มาตรฐานได้แนะนำ โดยใช้สมการที่ 3.3 ในการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} P_{st,i}^3} \quad (3.3)$$

จากนั้นทำการออกแบบในโปรแกรม LabVIEW โดยให้สามารถวัดและคำนวณค่าตรรกษณไฟ กระทบทั้ง 3 เฟส โดยสามารถเลือกสัญญาณอินพุตได้ 2 แบบ คือ จากการจำลองของโปรแกรม และจาก อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดจริง จากนั้นทำการคำนวณเพื่อหาค่าตรรกษณไฟกระทบระยะสั้น และระยะยาว ซึ่ง ภายในโปรแกรมยังสามารถบันทึกค่าพารามิเตอร์ที่วัดและคำนวณได้ด้วย ตามรูปที่ 3.26 แสดงตัวอย่าง ของ block diagram ที่ได้ออกแบบ

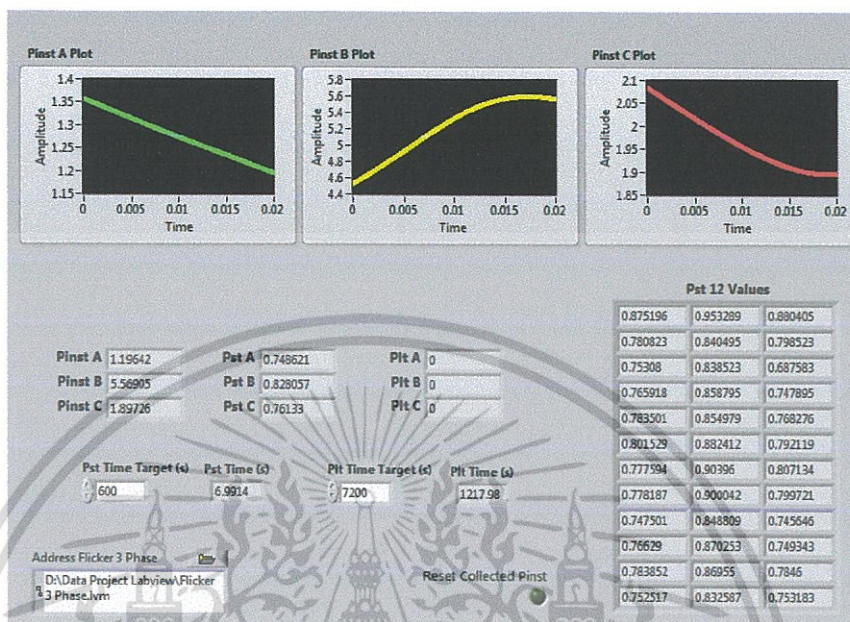


รูปที่ 3.26 Block Diagram ของการวิเคราะห์ผลทางดัชนีไฟกระทบ

โดยที่ (ก) แสดงการเชื่อมต่อสัญญาณแรงดันที่ทำการวัดกับสัญญาณไฟกระทบ
(ข) การหาค่า Pinst โดยใช้ SubVI ที่ชื่อ Pinst

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.27 แสดงหน้าจอ Front Panel ของการวิเคราะห์ดัชนีไฟกระพริบตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยแสดงกราฟดัชนีของแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านการกรองจากตัวกรองความถี่ มีการแสดงค่า Pinst, Pst และ Plt ในแต่ละเฟส

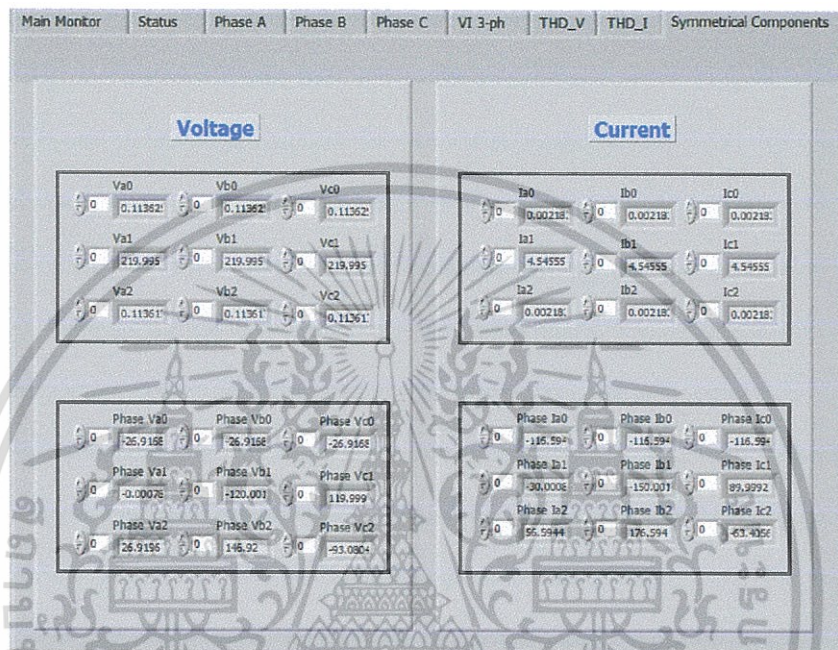


รูปที่ 3.27 หน้าจอวิเคราะห์ผลทางดัชนีไฟกระพริบ

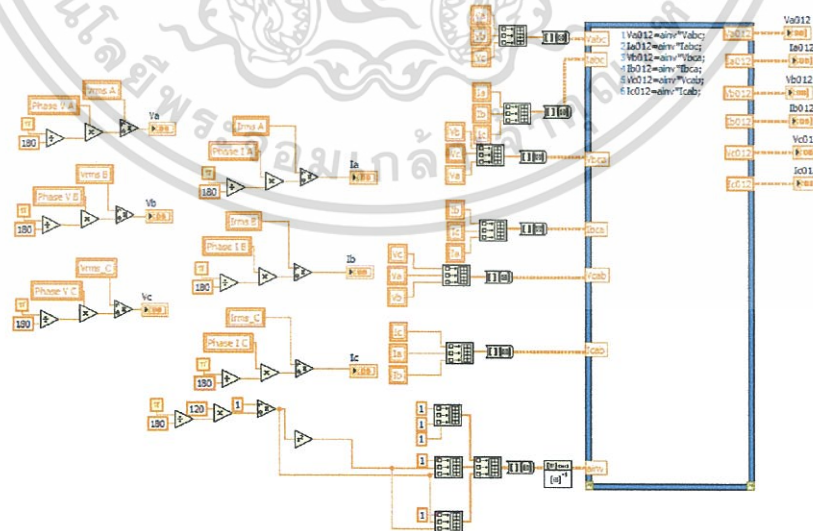
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.7 หน้าจอแสดงข้อมูลสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส

แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟสในรูปแบบของเมทริกซ์(Matrix) โดยจะแยกเป็นสองส่วนคือ แรงดันและกระแส ดังรูปที่ 3.28 โดยเมทริกซ์ด้านบนแสดงขนาดของส่วนประกอบเฟสลำดับศูนย์, บวกและลบ ในแต่ละเฟส เมทริกซ์ด้านล่างแสดงมุมเฟสของส่วนประกอบเฟสในแต่ละเฟสเช่นกัน มี Block Diagram ที่ใช้ในการคำนวณดังรูปที่ 3.29 ซึ่งจะใช้ *MathScript* ในการเขียนสูตรเพื่อแปลงให้แรงดันและกระแสมาอยู่ในรูปของส่วนประกอบสมมาตร [2]



รูปที่ 3.28 หน้าจอแสดงข้อมูลสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส

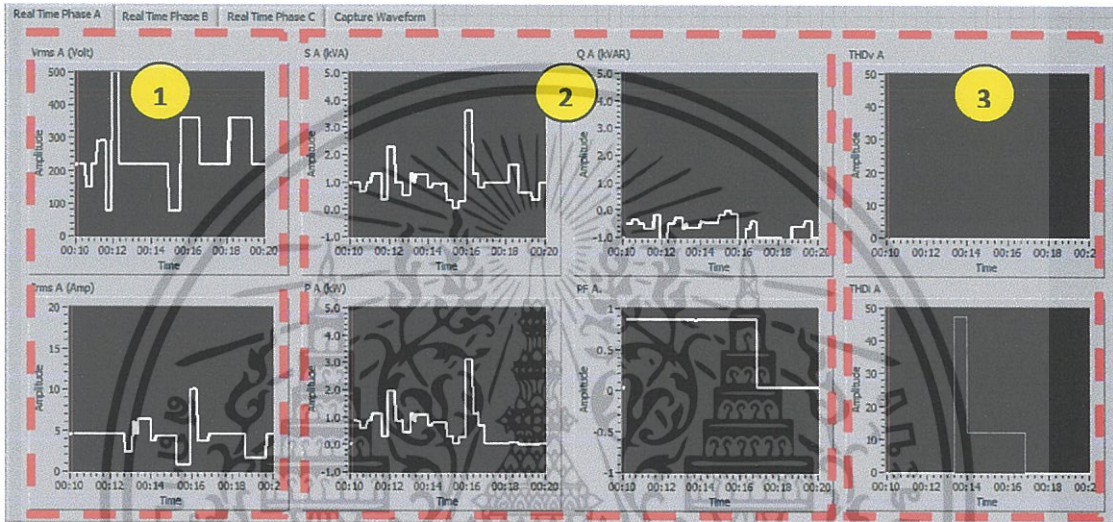


รูปที่ 3.29 Block Diagram ของการหาสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

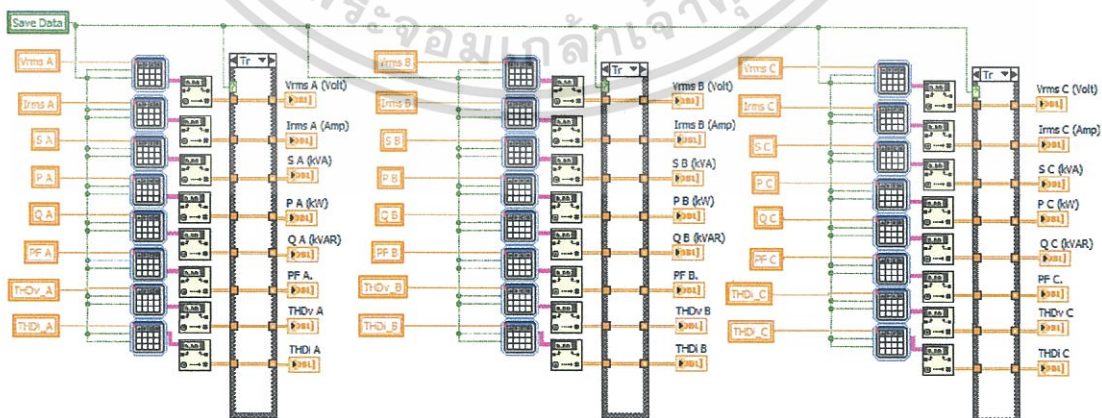
3.1.2.8 หน้าจอแสดงผลข้อมูลการวัดแบบเรียลไทม์ (Real time Measurement)

ในส่วนของการแสดงผลข้อมูลการวัดแบบเรียลไทม์ได้ออกแบบให้นำค่าต่างๆที่วัดได้มาพล็อตลงบนกราฟเพื่อแสดงผลในเชิงสถิติ ดังรูปที่ 3.30 โดยความถี่ในการเก็บข้อมูลสามารถปรับเปลี่ยนตามความเหมาะสมได้จากเวลาที่ตั้งเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลในหน้า Main Monitor ส่วน Block Diagram ที่ใช้จะประกอบไปด้วยส่วนของ *Build Table* ดังรูปที่ 3.31 เพื่อรับค่าและสัญญาณในการบันทึกข้อมูล ซึ่งเอาท์พุทที่ออกจาก *Build Table* จะเป็นข้อมูลชนิด *String* ดังนั้นต้องใช้ *Fract/Exp String To Number* เพื่อที่จะเปลี่ยนชนิดข้อมูลจาก *String* กลับมาเป็น *Number* จากนั้นก็ส่งค่าให้แสดงผลบน *Chart Waveform*



รูปที่ 3.30 หน้าจอแสดงผลข้อมูลการวัดแบบเรียลไทม์

โดยที่ (1) ข้อมูลสถิติของแรงดันและกระแสอาร์เอ็มเอส, (2) ข้อมูลสถิติของกำลังทางไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลัง, (3) ข้อมูลสถิติของความผิดเพี้ยนค่าฮาร์มอนิก

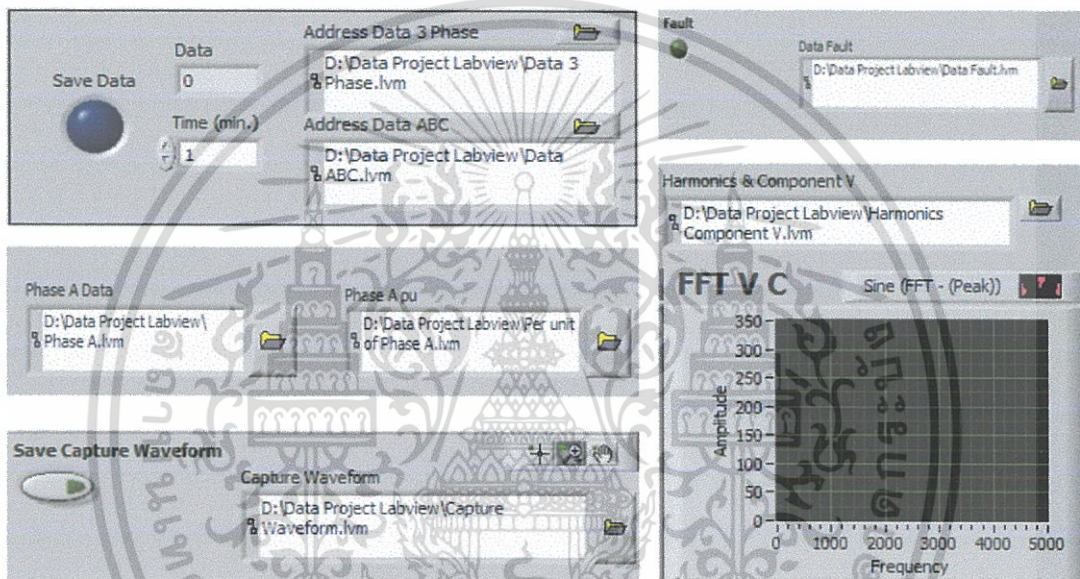


รูปที่ 3.31 Block Diagram ของการแสดงผลข้อมูลการวัดแบบเรียลไทม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การบันทึกข้อมูล (Data storage)

ในการบันทึกข้อมูลของโปรแกรมจะแบ่งไฟล์ที่ใช้บันทึกข้อมูลในแต่ละส่วนตามหน้าจอที่แสดงผลการควบคุม ซึ่งสามารถเขียนที่อยู่ของไฟล์ที่ต้องการบันทึกลงบน *File Path Indicator* ตามหน้าจอที่แสดงผลนั้นๆ ดังรูปที่ 3.32 ซึ่งภายในหน้า Main Monitor จะเป็นการเก็บข้อมูลของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แบบสามเฟสและแบบแยกแต่ละเฟส ในหน้า Status จะเก็บข้อมูลเมื่อเกิดความผิดปกติของสัญญาณและรูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแสทั้งสามเฟส เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์สัญญาณรูปคลื่นในภายหลังได้ในหน้า Phase A, B, C เป็นส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลในแต่ละเฟสโดยแยกเป็น ค่าที่วัดได้ตามหน่วยของพารามิเตอร์และค่าที่วัดได้ในหน่วย Per Unit ในหน้า THD_V และ THD_I ใช้เก็บข้อมูลความผิดปกติทางฮาร์มอนิกในแต่ละเฟส

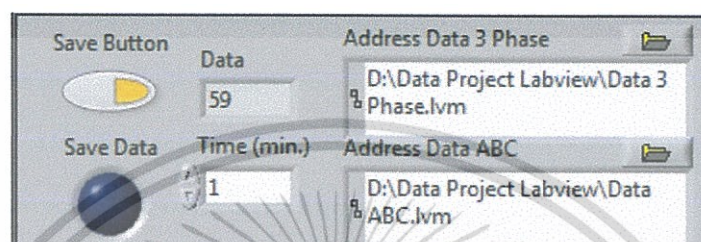


รูปที่ 3.32 หน้าจอของการบันทึกข้อมูล

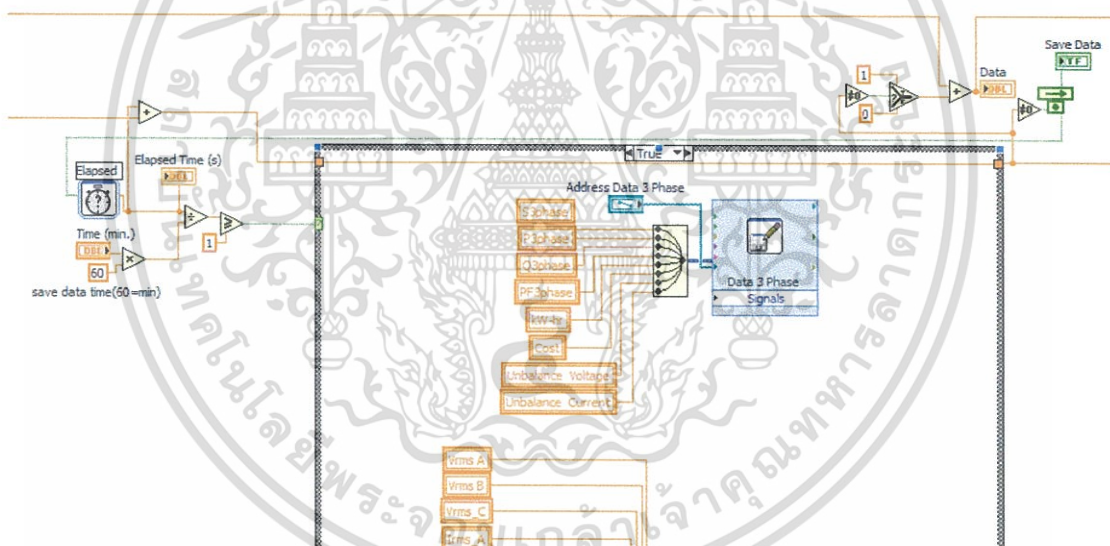
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.1 การบันทึกค่าตามความถี่และระยะเวลาที่กำหนด

เมื่อกดปุ่ม *Save Button* ชุดโปรแกรมจะมีการบันทึกข้อมูล โดยหลอดไฟ *Save Data* จะสว่าง เป็นสีฟ้าอ่อนและตัวเลขจำนวนข้อมูลที่ทำการบันทึกจะแสดงอยู่ในช่อง *Data* สามารถปรับเปลี่ยนจำนวน ความถี่ที่ใช้ในการบันทึกได้ภายในช่อง *Time (min.)* และมีช่องใส่ตำแหน่งของไฟล์ข้อมูลที่ทำกรบันทึก อยู่ทางด้านขวา ดังรูปที่ 3.33 ในส่วนของ Block Diagram จะใช้ *Elapsed Time* ในการเช็ตเวลาที่ใช้ในการ บันทึกข้อมูล และใช้ *Write to Measurement File* ในการเก็บข้อมูลให้อยู่ในไฟล์ *.lvm ดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.33 หน้าจอของการบันทึกค่าตามความถี่และระยะเวลาที่กำหนด

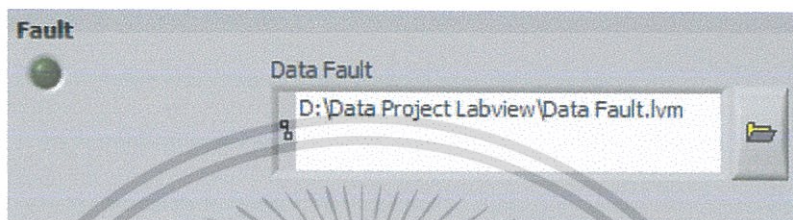


รูปที่ 3.34 Block Diagram ของการบันทึกข้อมูล

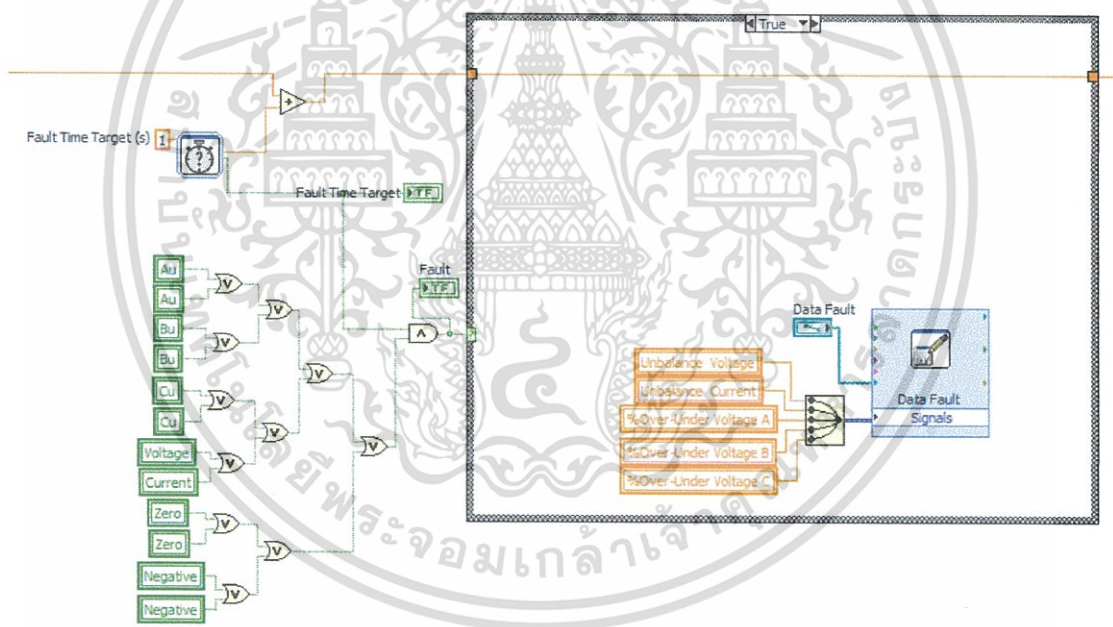
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3.2 การบันทึกค่าเมื่อมีความผิดปกติทางสัญญาณไฟฟ้า

เป็นหน้าที่จะทำการบันทึกข้อมูลเมื่อเกิดความผิดปกติของสัญญาณ อยู่ในหน้า Status ของโปรแกรม ดังรูปที่ 3.35 เมื่อมีการบันทึกข้อมูลตลอดไฟ Fault จะติดไฟเป็นสีเขียวอ่อน จนสัญญาณกลับมาเป็นปกติตลอดไฟจะดับแล้วหยุดการบันทึกข้อมูล เมื่อเกิดความผิดปกติของสัญญาณอีกครั้ง โปรแกรมก็จะทำการบันทึกข้อมูลเพิ่มต่อไป ภายใน Block Diagram จะใช้เงื่อนไขต่างๆของสัญญาณที่ผิดปกติมา เข้าด้วยกันเพื่อให้โปรแกรมในส่วนนี้ทำงานเมื่อเกิดความผิดปกติของสัญญาณตามที่ต้องการ โดยใช้โลจิกที่ชื่อ OR ดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.35 การบันทึกค่าเมื่อมีความผิดปกติทางสัญญาณไฟฟ้า

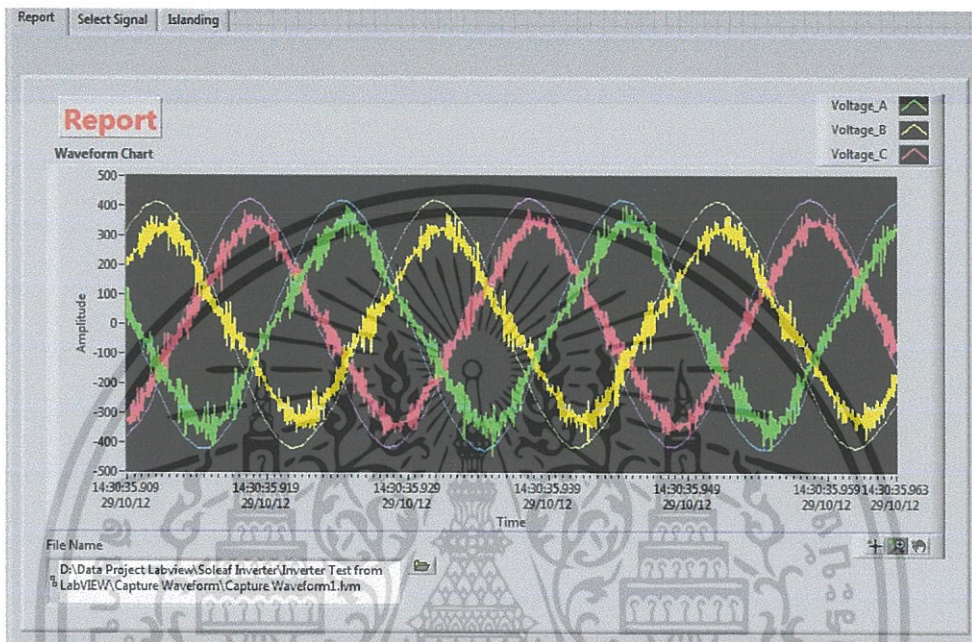


รูปที่ 3.36 Block Diagram ของการบันทึกข้อมูลเมื่อมีความผิดปกติของสัญญาณ

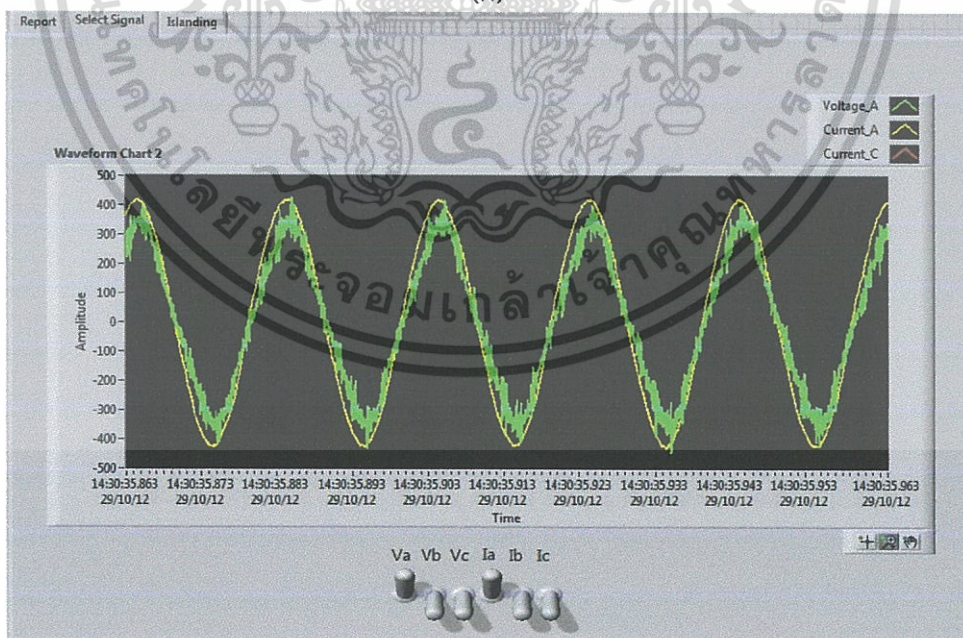
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 การอ่านข้อมูล (Read)

ในส่วนของการอ่านข้อมูลที่บันทึกในโปรแกรม LabVIEW สามารถอ่านไฟล์ *.lvm ได้โดยใส่ชื่อไฟล์ลงใน File Name แล้วกดรันโปรแกรม ก็จะได้เห็นข้อมูลที่บันทึกแสดงผลอยู่บนกราฟ ดังรูปที่ 3.37 จากนั้นสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้โดยคลิกขวาที่รูปภาพแล้วไปที่ Visible Items เพื่อเรียกชุดอุปกรณ์ Graph Palette และ Cursor Legend ขึ้นมา สามารถเลือกเฉพาะสัญญาณที่ต้องการโดยการกดที่แท็บ Select Signal แล้วโยกปุ่มสัญญาณที่ต้องการ



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.37 หน้าจอส่วนที่ใช้อ่านข้อมูล

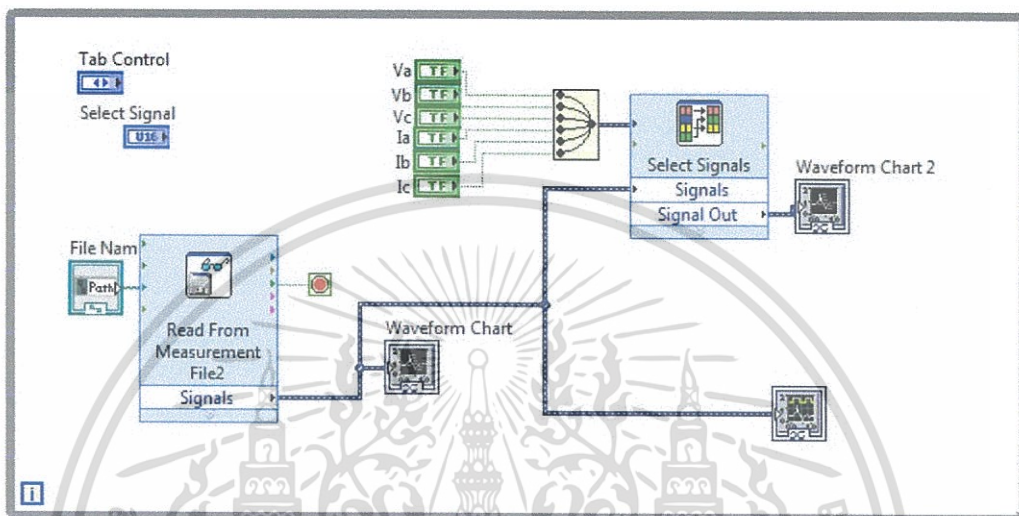
โดยที่

(ก) แสดงสัญญาณทั้งหมด

(ข) เลือกเฉพาะสัญญาณที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเขียน Block Diagram นั้นเป็นไปตามรูปที่ 3.38 ซึ่งประกอบไปด้วย *File Path Indicator*, *Read From Measurement File* และ *Waveform Chart* เมื่อกดปุ่มรัน โปรแกรมจะอ่านไฟล์พร้อมทั้งส่งข้อมูลแสดงบน *Waveform Chart* โปรแกรมจะหยุดทำงานก็ต่อเมื่ออ่านไฟล์ข้อมูลเสร็จหรือหยุดโปรแกรม จากนั้นก็สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้นบน *Waveform Chart* ที่หน้าจอ Front Panel ส่วน Express VI ที่ชื่อ *Select Signal* จะเป็นตัวที่ใช้เลือกสัญญาณที่ต้องการ

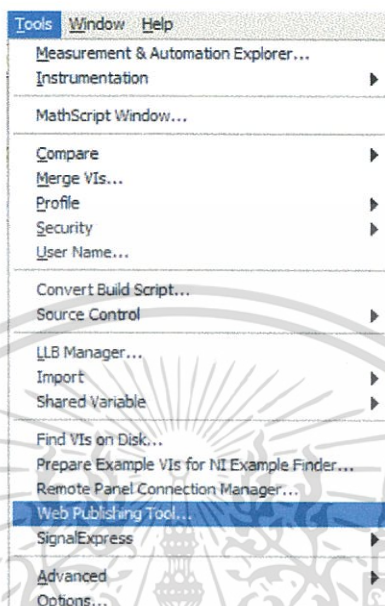


รูปที่ 3.38 Block Diagram ส่วนที่ใช้อ่านข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

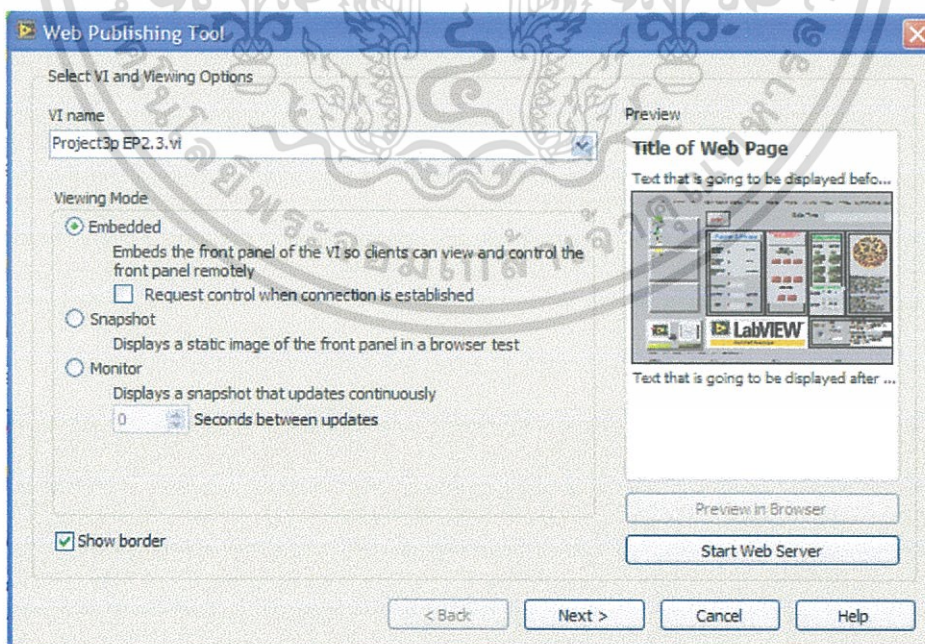
3.1.5 การควบคุมระยะไกลผ่านระบบออนไลน์ (On-line Monitoring)

โปรแกรม LabVIEW สามารถทำการควบคุม Front Panel ของเราผ่านเว็บได้ ซึ่งทำให้คอมพิวเตอร์เครื่องอื่นสามารถในเน็ตเวิร์กสามารถเข้ามาดูและควบคุมมอนิเตอร์ของโปรแกรมได้ โดยทำการเลือกเมนู Tools >> Web Publishing Tools ดังรูปที่ 3.39 [20]



รูปที่ 3.39 เมนู Tools

เราจะได้นหน้าจอ Web Publishing Tools ดังรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.40 หน้าจอ Web Publishing Tools

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

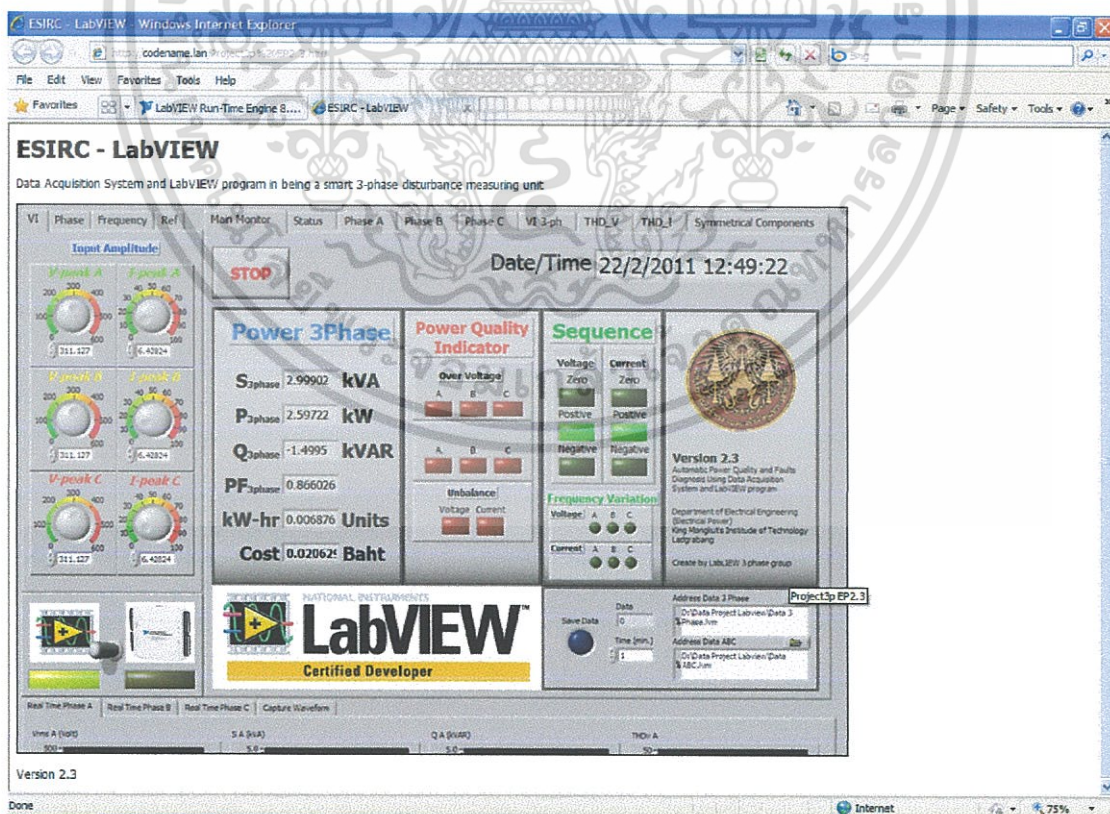
ทำการเลือกชื่อ VI ที่ต้องการและเลือก Viewing Mode ซึ่งมีให้เลือกสามโหมด ได้แก่

- Embedded : เป็นการฝัง LabVIEW Front Panel เข้าไปในเว็บเบราว์เซอร์ซึ่งสามารถมองเห็นและควบคุมการใช้งาน VI นี้ได้เหมือนกับเครื่องที่รันจริงๆ
- Snapshot : ทำการส่งภาพนิ่งออกไปเพียงภาพเดียว
- Monitor : ทำการส่งภาพนิ่งเช่นกัน แต่สามารถอัปเดตได้ตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้

เลือกโหมดที่ต้องการแล้วกดปุ่ม Next จะเจอหน้าจอ Select HTML Output เพื่อพิมพ์หัวเรื่องและรายละเอียดตามที่ต้องการจากนั้นกดปุ่ม Next เพื่อทำการบันทึกเอกสาร HTML ให้เลือกชื่อไฟล์ตามที่ต้องการแล้วกด Save to Disk แล้วกด Connect ดังรูปที่ 3.41 แล้วจะหน้าเว็บดังรูปที่ 3.42



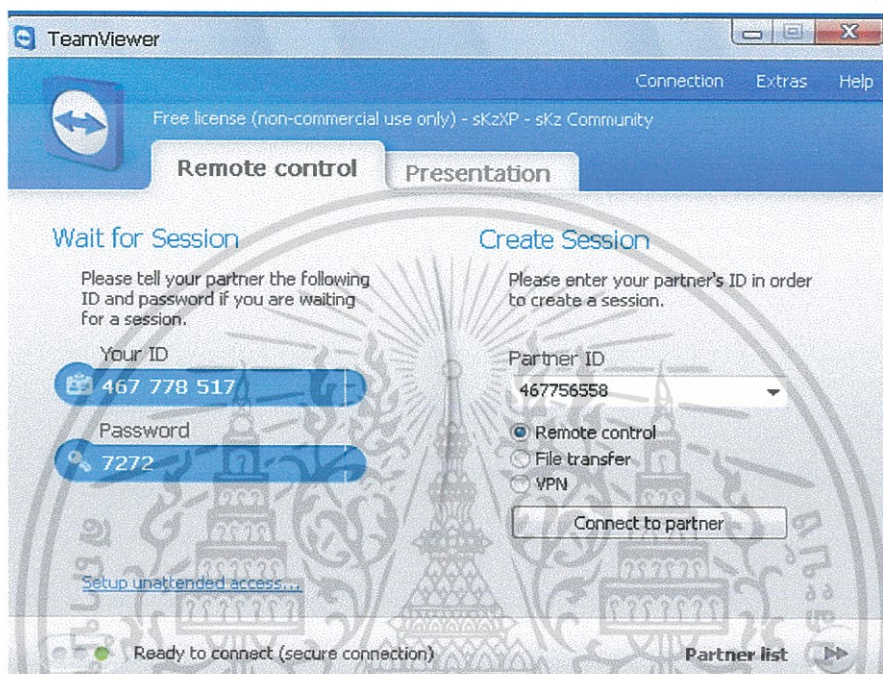
รูปที่ 3.41 หน้าจอ Document URL



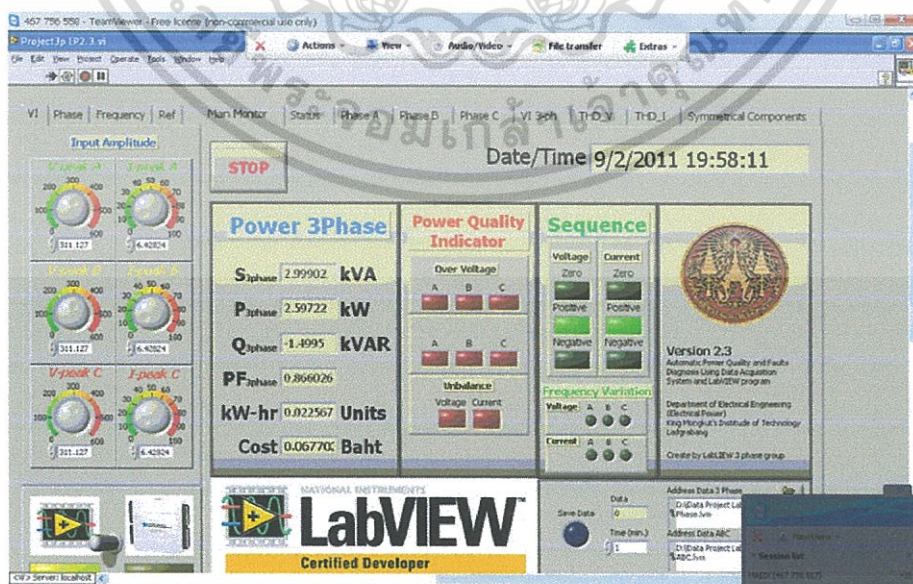
รูปที่ 3.42 หน้าจอเมื่อทำการเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เนื่องจากโปรแกรมที่ผู้จัดทำสามารถทำการเล่นได้แค่ภายในเครื่องเนื่องจากไม่มี LabVIEW License ที่ใช้กับพีเจอาร์นี้ ดังนั้นทางผู้จัดทำจึงได้นำโปรแกรม TeamViewer มาประยุกต์เพื่อให้โปรแกรม LabVIEW สามารถทำการควบคุมระยะไกลได้เช่นกัน โดยที่คอมพิวเตอร์อีกเครื่องสามารถควบคุมและดูผลโดยไม่จำเป็นต้องมีโปรแกรม LabVIEW เพียงแค่ทำการติดตั้งโปรแกรม TeamViewer ทั้งสองเครื่องแล้วทำการเชื่อมต่อกันโดยผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ดังรูปที่ 3.43 และ 3.44 [32]

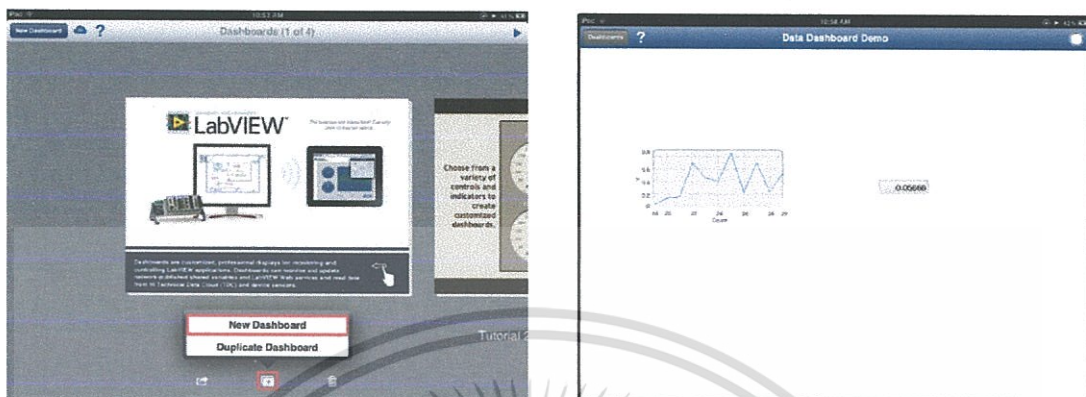


รูปที่ 3.43 โปรแกรม TeamViewer



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 3.44 หน้าจอเมื่อทำการควบโปรแกรมผ่านโปรแกรม TeamViewer โยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันทางบริษัท National Instruments ที่เป็นเจ้าของโปรแกรม LabVIEW ได้มีการพัฒนาแอปพลิเคชันในมือถือ ทั้งระบบ iOS และ Android โดยมีชื่อว่า Data Dashboard for LabVIEW ที่กำลังพัฒนาอยู่ ดังรูปที่ 3.45



รูปที่ 3.45 ตัวอย่างโปรแกรม Data Dashboard for LabVIEW

เนื่องจากแอปพลิเคชัน Data Dashboard for LabVIEW กำลังพัฒนาอยู่ ผู้จัดทำจึงใช้แอปพลิเคชัน Teamviewer ที่สามารถหาโหลดได้ในมือถือเช่นกันมาทดสอบ ดังรูปที่ 3.46 สามารถแสดงค่าตาม Front Panel บนมือถือ และควบคุมการกดปุ่มต่างๆได้ ถือว่ามีประโยชน์กับงานที่ต้องการวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าในระยะไกล



รูปที่ 3.46 เชื่อมต่อเข้ากับมือถือผ่านโปรแกรม Teamviewer

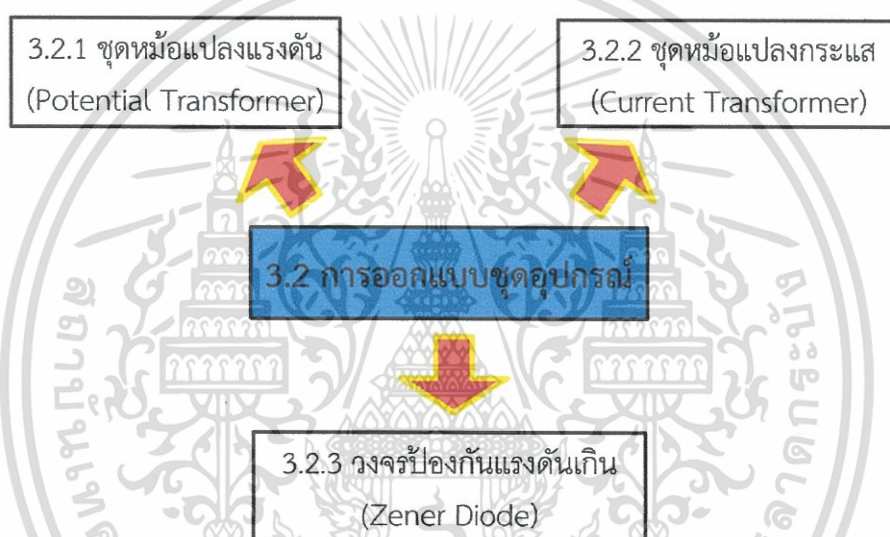
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบชุดอุปกรณ์

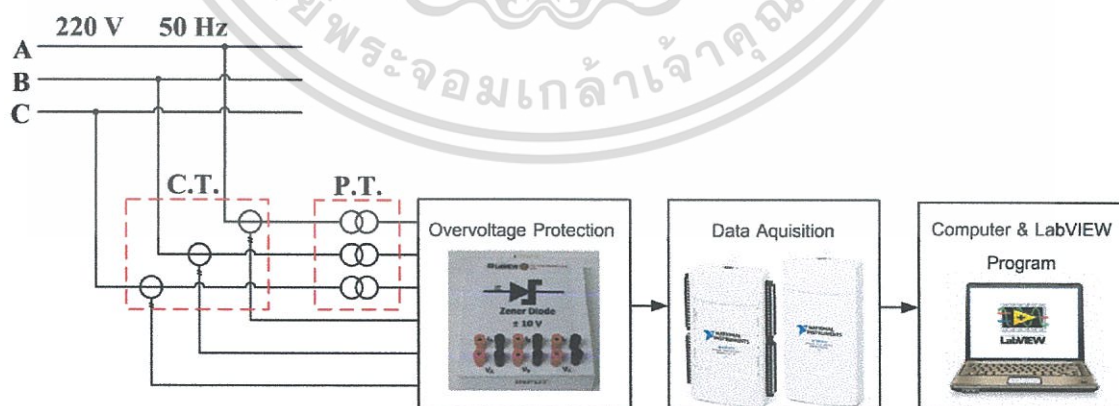
เมื่อต้องการทำการวัดสัญญาณจากระบบไฟฟ้าสามเฟส ดังนั้นต้องมีชุดอุปกรณ์ที่ใช้จับสัญญาณแรงดันและกระแส โดยชุดอุปกรณ์ที่ต้องทำการออกแบบมีดังนี้

1. ชุดหม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformer)
2. ชุดหม้อแปลงกระแส (Current Transformer)
3. วงจรป้องกันแรงดันเกิน (Zener Diode)

โดยนำชุดอุปกรณ์นี้มาเชื่อมต่อกันก่อนที่จะนำสัญญาณเข้า DAQ จากนั้นต่อสาย USB จาก DAQ เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อนำสัญญาณมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม LabVIEW ที่ทางผู้จัดทำได้เขียนไว้ มีขั้นตอนการออกแบบชุดอุปกรณ์และแผนภาพการเชื่อมต่อชุดอุปกรณ์ ดังภาพที่ 3.47 และ 3.48 ตามลำดับ [17-18]



รูปที่ 3.47 ขั้นตอนการออกแบบชุดอุปกรณ์

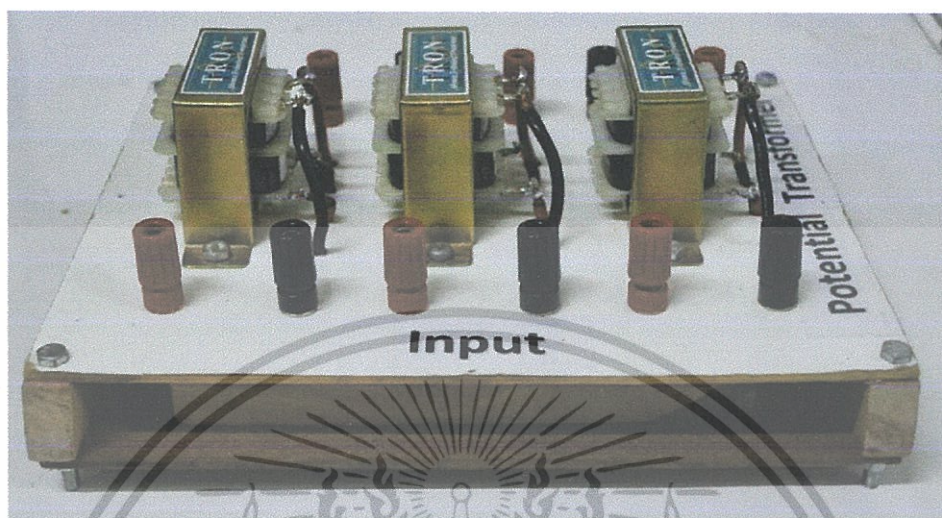


รูปที่ 3.48 แผนภาพการเชื่อมต่อชุดอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ชุดหม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformer)

หม้อแปลงแรงดันที่ใช้เป็นหม้อแปลงชนิด Isolated ที่ผลิตโดย THAI TRANSFORMER COMPANY LIMITED มี Ratio เท่ากับ 800/16 V ดังรูปที่ 3.49



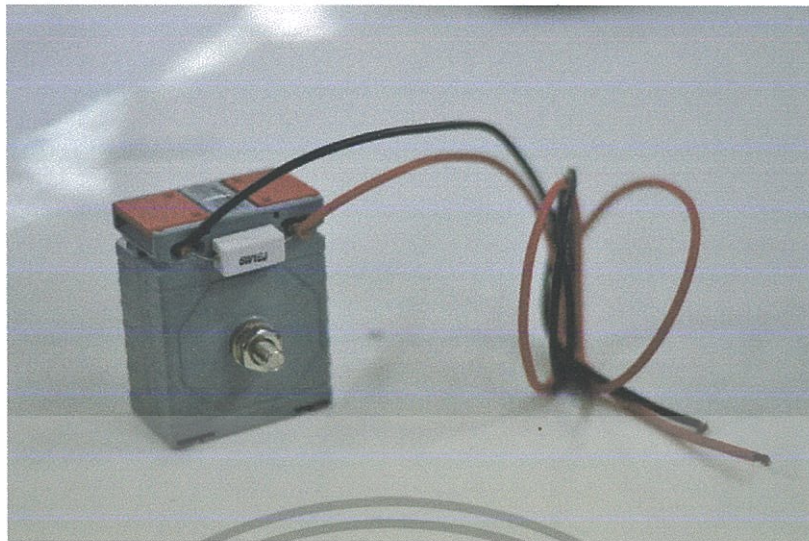
รูปที่ 3.49 หม้อแปลงแรงดัน

3.2.2 ชุดหม้อแปลงกระแส (Current Transformer)

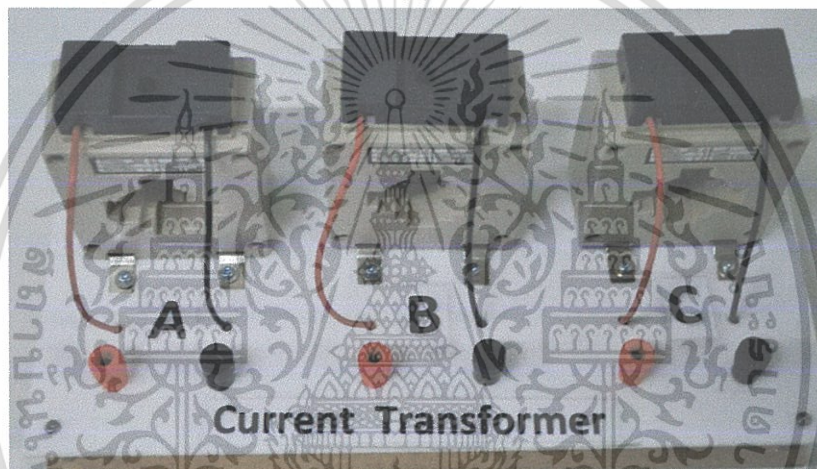
หม้อแปลงกระแสที่ใช้ในการวัดมี 3 ขนาด โดยแต่ละชนิดจะเหมาะกับการวัดตามพิกัดของกระแสในระบบไฟฟ้าที่ทำการวัด ซึ่งทั้ง 3 ขนาดนี้เป็นหม้อแปลงของ SALZER 3 รุ่น ได้แก่

- CP-62/WS มี Current Ratio เท่ากับ 50/5 A ชนิด Wound Primary CT class 0.5 เป็นหม้อแปลงกระแสขนาดเล็กเหมาะกับการวัดโหลดที่มีพิกัดกระแสไม่มาก เพื่อสามารถวัดรูปคลื่นของกระแสจากโหลดนั้นได้อย่างถูกต้อง ไม่ผิดเพี้ยน ดังรูปที่ 3.50 (ก)
- MSQ-40 มี Current Ratio เท่ากับ 200/5 A ขนาด 41x10 mm. นำหม้อแปลงกระแสทั้ง 3 ตัว มายึดติดบนบอร์ดแล้วทำการต่อตัวต้านทาน 1 Ω ขนานกับขั้ว Secondary ของหม้อแปลงกระแส ทำให้สามารถวัดแรงดันที่มีค่าเท่ากับกระแสที่ถูกแปลงออกมาได้ ดังรูปที่ 3.50 (ข)
- TP-58 มี Current Ratio เท่ากับ 400/5 A ขนาด 50x80 mm. class 0.5 เป็นหม้อแปลงกระแสแบบ Spilt core ที่สามารถเปิดขั้วของหม้อแปลงกระแสได้ ทำให้นำไปคล้องกับสายไฟได้ง่าย ดังรูปที่ 3.50 (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



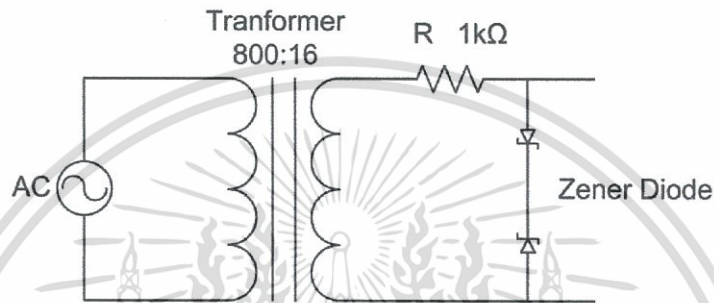
(ค)

รูปที่ 3.5 หม้อแปลงกระแส

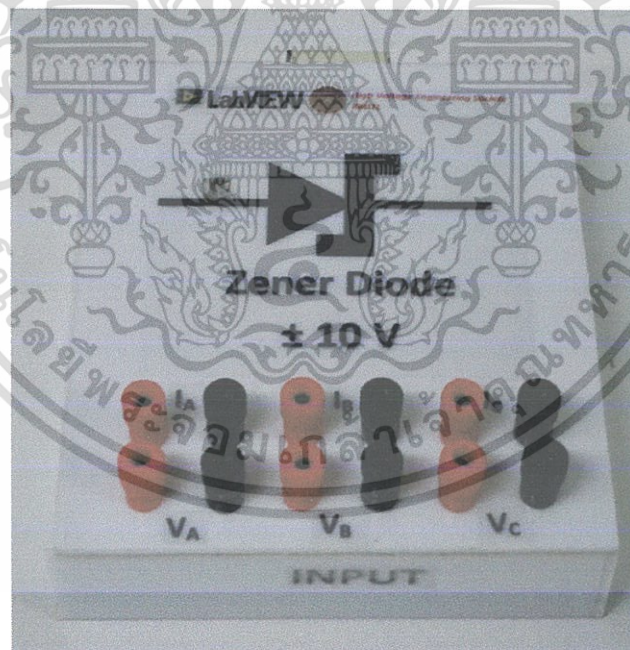
โดยที่เอกสารที่ส่งจนไว้สำหรับ (ก) CP-62/WS, (ข) MSQ-40 และ (ค) TP-58 หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 วงจรรักษาระดับแรงดัน (Zener Diode)

เนื่องจาก DAQ มีช่วงแรงดันที่สามารถรับได้ไม่เกิน ± 10 โวลต์ กระแสไม่เกิน 4 mA ทำให้ต้องมีวงจรที่คอยป้องกันไม่ให้ DAQ ได้รับความดันเกิน ดังนั้นทางผู้จัดทำจึงได้สร้างชุดวงจรป้องกันแรงดันเกินที่ประกอบไปด้วย Zener Diode ขนาดพิคัด 10 โวลต์ และ ตัวต้านทานขนาด 1 k Ω โดยนำประกอบเป็นวงจรตามรูปที่ 3.51 จากนั้นก็ออกแบบวงจรป้องกันแรงดันเกินที่จะนำมาใช้กับชุดหม้อแปลงแรงดันและหม้อแปลงกระแส โดยให้มี Input 6 คู่ เพื่อรับแรงดันจากชุดหม้อแปลงแรงดันและหม้อแปลงกระแสแล้วมี Output ออกเป็นสายแพเพื่อนำไปเชื่อมต่อกับ DAQ ดังรูปที่ 3.52



รูปที่ 3.51 แสดงการออกแบบวงจรป้องกันแรงดันเกิน

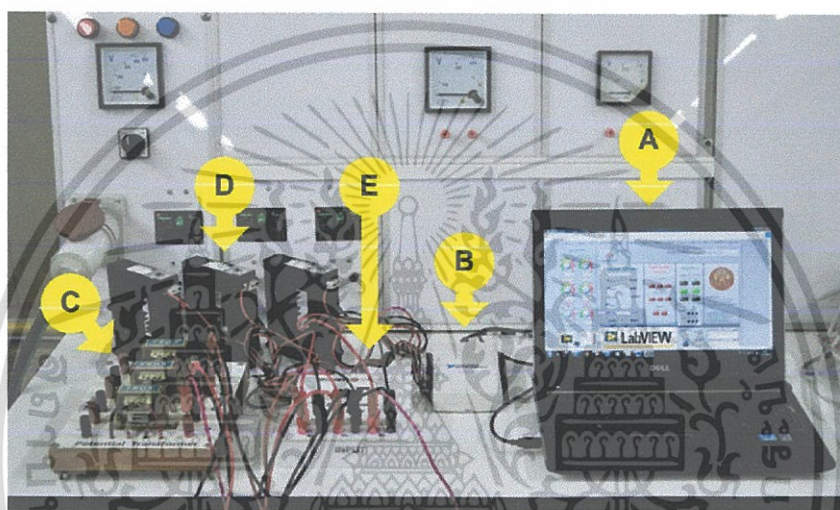


รูปที่ 3.52 วงจรป้องกันแรงดันเกินที่เสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการออกแบบชุดอุปกรณ์ได้ทั้ง 3 แบบ จากนั้นทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดเข้ากับ DAQ และคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรม LabVIEW ดังรูปที่ 3.53 ซึ่งต่อตามแผนภาพที่ได้ออกแบบไว้ (รูปที่ 3.48) โดยที่

- A: คอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรม LabVIEW
- B: USB DAQ-6212
- C: หม้อแปลงแรงดัน
- D: หม้อแปลงกระแส รุ่น TP-58
- E: วงจรรักษาระดับแรงดัน



รูปที่ 3.53 ภาพการเชื่อมต่อของชุดอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบ

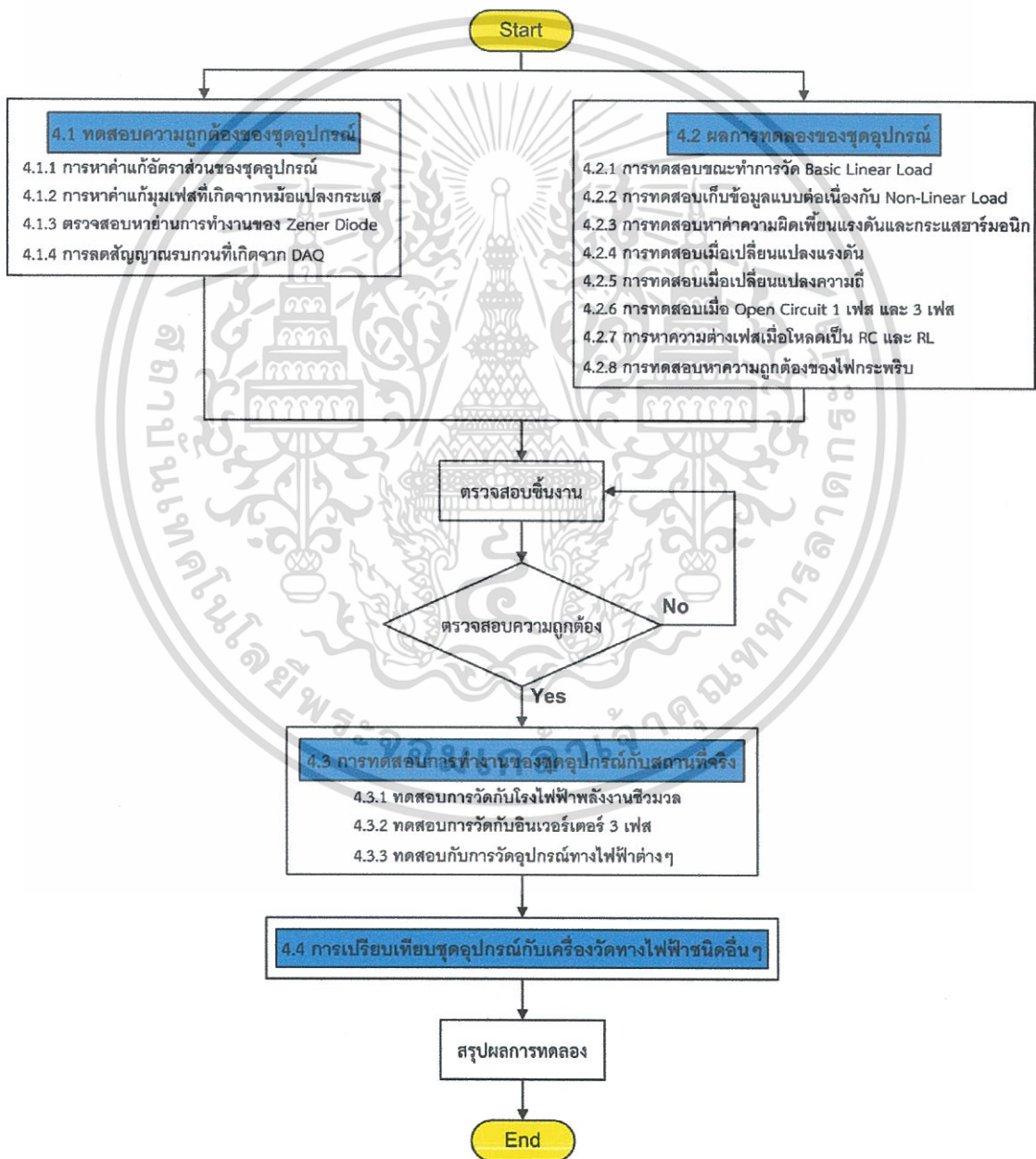
สรุปบทที่ 3 การออกแบบโปรแกรมและชุดอุปกรณ์

ในบทนี้ได้นำเสนอถึงการออกแบบของเครื่องมือวัดที่ได้นำเสนอในงานวิจัย โดยแยกเป็นสองส่วนคือ ออกแบบโปรแกรมและออกแบบชุดอุปกรณ์ การออกแบบโปรแกรมได้ทำการออกแบบหน้าจอให้สามารถสื่อสารกับผู้ใช้งานได้ง่ายไม่ซับซ้อน มีการแสดงค่าพารามิเตอร์ที่วัดและวิเคราะห์ที่ได้ออกมาในรูปของตัวเลขและกราฟ ส่วนการออกแบบชุดอุปกรณ์ จะประกอบไปด้วย 4 ส่วน คือ (1) หม้อแปลงแรงดัน (2) หม้อแปลงกระแส ที่ใช้จับสัญญาณแรงดันและกระแสในระบบ (3) ชุดป้องกันแรงดันเกิน ± 10 โวลต์ เพื่อป้องกันชุดอุปกรณ์ไม่ให้เกิดความเสียหาย และ (4) USB-DAQ 6212 ที่ใช้แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล พร้อมทั้งทำการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ที่ได้ทำการออกแบบโปรแกรมไว้ โดยในส่วนของผลการทดลองของเครื่องมือวัด จะนำเสนอต่อไปในบทที่ 4

บทที่ 4

ผลการทดลอง

เพื่อให้ชุดอุปกรณ์มีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปใช้งานได้จริง ผู้จัดทำจึงทำการทดลองและทดสอบความถูกต้องของชุดอุปกรณ์ตรวจวัด โดยนำค่าที่วัดได้จากการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าในชุดอุปกรณ์ไปเปรียบเทียบมาตรฐาน และเครื่องวัดอ้างอิงต่างๆ ในแต่ละหัวข้อของคุณภาพทางไฟฟ้า เมื่อตัวโปรแกรมและชุดอุปกรณ์มีความถูกต้องแม่นยำจึงนำไปทดสอบการวัดทางไฟฟ้าในสถานที่จริง โดยขั้นตอนการทดลองเป็นไปตาม Flow chart ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการปฏิบัติงาน

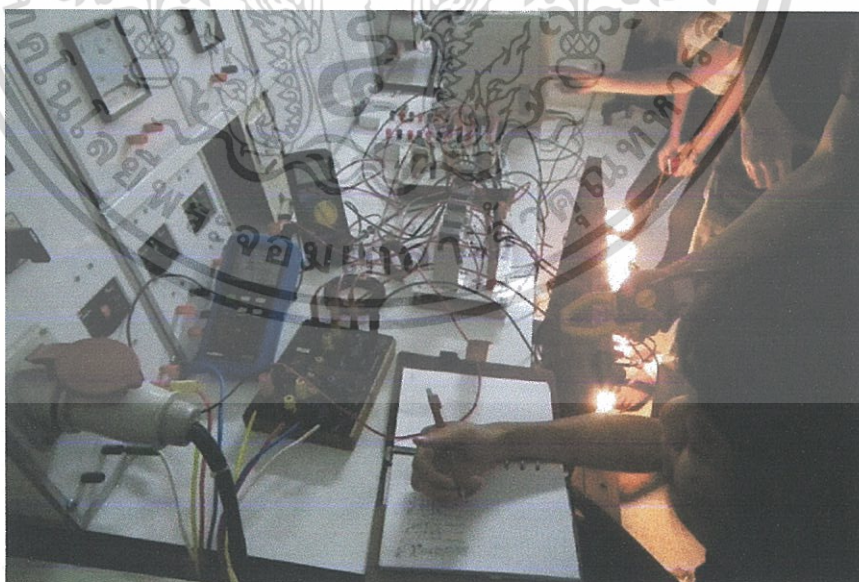
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ทดสอบความถูกต้องของชุดอุปกรณ์

เนื่องจากชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าประกอบด้วยอุปกรณ์หม้อแปลงกระแส หม้อแปลงแรงดัน และวงจรป้องกันแรงดันเกิน โดยหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดันจะประกอบไปด้วยแกนเหล็กและขดลวดจำนวนมาก ทำให้เกิดการสูญเสียที่ขดลวดอันเนื่องมาจากกระแสไหลวน ถ้านำชุดอุปกรณ์ไปใช้โดยไม่ได้แก้ไขค่าในโปรแกรมก่อนจะทำให้ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่ตรวจจับได้มีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าจริง ส่วนวงจรป้องกันแรงดันเกินก็จะประกอบด้วยตัวต้านทานและซีเนอร์ไดโอด ดังนั้นก่อนที่จะนำชุดอุปกรณ์มาใช้งานจะต้องทำการทดลองเพื่อหาค่าแก้ของชุดอุปกรณ์นั้นก่อน

4.1.1 การหาค่าแก้อัตราส่วนของชุดอุปกรณ์

ทำการหาค่าความคลาดเคลื่อนของหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดันเพื่อให้ค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้มีความถูกต้องโดยในการทดลองหาค่าแก้นี้จะใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าสามเฟสต่อผ่านหม้อแปลงแรงดัน และหม้อแปลงกระแส ใช้โหลดเป็นหลอดไฟสามเฟสต่อแบบสตาร์ ทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับโหลดหลอดไฟที่ระดับแรงดัน 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 และ 200 โวลต์ บันทึกค่ากระแสจริงที่ได้จากแคลมป์กับกระแสเอาต์พุตที่ได้จากหม้อแปลงกระแสทั้งสามเฟส แสดงดังตารางที่ 4.1 จะได้อัตราส่วนใหม่ของหม้อแปลงกระแส รุ่น MSQ-40 ทั้งสามเฟส ดังตารางที่ 4.2 ส่วนการหาค่าแก้อัตราส่วนของหม้อแปลงแรงดันก็ทำเหมือนหม้อแปลงกระแสโดยค่าแรงดันเอาต์พุตสามเฟสที่ได้จากหม้อแปลงแรงดันและค่าอัตราส่วนใหม่ของหม้อแปลงแรงดันทั้งสามเฟส แสดงดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ จะพบว่าค่าแก้ที่ได้ใหม่จะเป็นดังตารางที่ 4.5 และรูปวงจรการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงวิธีการหาค่าแก้อัตราส่วนของชุดอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าแรงดันเอาต์พุตสามเฟสที่ได้จากหม้อแปลงกระแส รุ่น MSQ-40

Input Voltage	Primary Current			Secondary Current		
	A	B	C	A	B	C
25	0.6000	0.560	0.6000	0.0123	0.0125	0.0127
50	0.7400	0.7900	0.8100	0.0174	0.0174	0.0178
75	0.9500	0.9600	0.9900	0.0215	0.0217	0.0223
100	1.1400	1.1500	1.1800	0.0255	0.0259	0.0267
125	1.2500	1.2700	1.3200	0.0284	0.0289	0.0297
150	1.3800	1.4000	1.4600	0.0317	0.0323	0.0332
175	1.5000	1.5200	1.5700	0.0344	0.0350	0.0360
200	1.6200	1.6200	1.7300	0.0371	0.0377	0.0389

ตารางที่ 4.2 ค่าอัตราส่วนใหม่ของหม้อแปลงกระแสทั้งสามเฟส รุ่น MSQ-40

Input Voltage	Phase	A	B	C
	25		48.78	44.80
50		45.40	45.40	45.50
75		44.65	44.24	44.39
100		44.70	44.40	44.19
125		44.01	43.94	44.44
150		43.53	43.34	43.97
175		43.60	43.42	43.61
200		43.66	42.97	44.47
เฉลี่ย		44.79	44.06	44.72

ตารางที่ 4.3 ค่าแรงดันเอาต์พุตสามเฟสที่ได้จากหม้อแปลงแรงดัน

Input Voltage	Primary Current			Secondary Current		
	A	B	C	A	B	C
50	1.029	1.020	1.016	1.029	1.012	1.016
100	2.044	2.040	2.045	2.040	2.040	2.040
150	3.059	3.054	3.056	3.060	3.050	3.050
200	4.078	4.102	4.104	4.080	4.100	4.100
250	5.108	5.112	5.114	5.110	5.110	5.110
283	5.783	5.793	5.811	5.780	5.790	5.800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

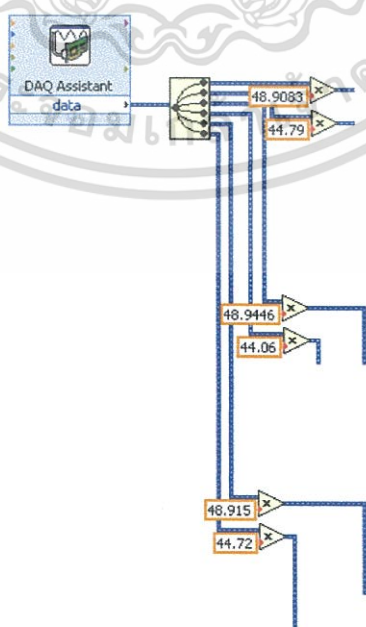
ตารางที่ 4.4 ค่าอัตราส่วนใหม่ของหม้อแปลงแรงดันทั้งสามเฟส

Phase Input Voltage	A	B	C
50	48.60	49.04	49.20
100	48.92	49.02	48.90
150	49.02	49.11	49.08
200	49.04	48.75	48.73
250	48.94	48.90	48.88
283	48.93	48.85	48.70
เฉลี่ย	48.91	48.94	48.92

ตารางที่ 4.5 ค่าอัตราส่วนใหม่ของหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดันที่ใช้

Phase	ค่าแก้ไขโปรแกรม			
	PT		CT	
	Actual Ratio	New Ratio	Actual Ratio	New Ratio
A	50	48.90	40	44.79
B	50	48.94	40	44.06
C	50	48.91	40	44.72

จากผลการทดสอบในการหาค่าแก้ไขของชุดอุปกรณ์ทำให้ได้ค่าอัตราส่วนใหม่ตามตารางที่ 4.5 ซึ่งจะนำค่าอัตราส่วนในตารางนี้ไปใช้แก้ค่าในโปรแกรม ดังรูปที่ 4.3 เพื่อให้ค่าที่วัดได้จากชุดอุปกรณ์มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.3 แทนค่าแก้้อตราส่วนลงในโปรแกรมให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การหาค่าแก้มุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแส

เนื่องจากค่าความต่างเฟสที่บันทึกได้จากชุดอุปกรณ์ในกรณีที่ใช้โหลดเป็นตัวต้านทาน ด้านทานอนุกรมกับตัวเก็บประจุ และด้านทานอนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ มีความคลาดเคลื่อนไปเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่บันทึกได้จากออสซิลโลสโคปแสดงดังตารางที่ 4.6 จึงต้องทำการหาค่าแก้เพื่อให้มุมเฟสที่บันทึกได้จากชุดอุปกรณ์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นโดยเปรียบเทียบค่ากับออสซิลโลสโคปซึ่งจะพบว่าค่าแก้ใหม่ที่ต้องนำมาลบออกจากเดิมคือ 9 องศา เมื่อแก้ค่าแล้วจะพบว่าความต่างเฟสที่บันทึกได้จากชุดอุปกรณ์มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่บันทึกได้จากออสซิลโลสโคปมากขึ้นแสดง ดังตารางที่ 4.7

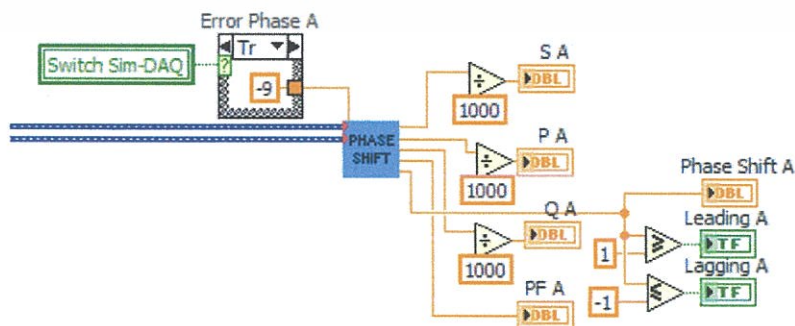
ตารางที่ 4.6 ความต่างเฟสที่บันทึกได้ก่อนทำการแก้ไข

Input Voltage (V)	Phase Shift (degree)					
	R Load		RC Load		RL Load	
	Scope	LabVIEW	Scope	LabVIEW	Scope	LabVIEW
50	18.00	27.17	32.40	37.83	48.00	59.10
100	18.00	26.39	32.40	34.28	36.00	46.08
150	18.00	26.04	28.80	32.55	32.40	38.14
200	12.00	25.76	28.80	31.48	25.20	32.44

ตารางที่ 4.7 ความต่างเฟสที่บันทึกได้หลังทำการแก้ไข

Input Voltage (V)	Phase Shift (degree)					
	R Load		RC Load		RL Load	
	Scope	LabVIEW	Scope	LabVIEW	Scope	LabVIEW
50	18.00	18.17	32.40	28.83	48.00	50.10
100	18.00	17.39	32.40	25.28	36.00	37.08
150	18.00	17.04	28.80	23.55	32.40	29.14
200	12.00	16.76	28.80	22.48	25.20	23.44

หลังจากทำการแก้ไขมุมต่างเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแสพบว่าเมื่อทดสอบกับโหลด R และ RL ผลความต่างเฟสระหว่างออสซิลโลสโคปและชุดอุปกรณ์ LabVIEW มีความใกล้เคียงมากกว่าขึ้นกว่าก่อนที่ทำการแก้ไข โดยมุมที่ใช้ในการแก้คือ -9 องศา ตามรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แทนค่าแก้มุมเฟสที่เกิดจากหม้อแปลงกระแสลงในโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ตรวจสอบหาย่านการทำงานของ Zener Diode

วงจรรักษาระดับแรงดันโดยใช้ซีเนอริไดโอดจะต่ออยู่ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากับโหลดซึ่งจะทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันให้คงตัวขณะที่

1. โหลดเปลี่ยนนั่นคือกระแสขาออกเปลี่ยน
2. แรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้าไม่คงที่ เปลี่ยนแปลงรวมถึงระลอกคลื่นด้วย
3. อุณหภูมิของวงจรเปลี่ยน

จากการป้อนแรงดันด้านอินพุตให้มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจะพบว่าแรงดันด้านเอาต์พุตจะมีค่าใกล้เคียงกับแรงดันอินพุตที่ป้อนให้โหลด จนเมื่อมีค่าเข้าใกล้ 10 โวลต์จะพบว่าแรงดันด้านเอาต์พุตจะมีค่าต่ำกว่าแรงดันด้านอินพุตเล็กน้อยและเมื่อแรงดันอินพุตเพิ่มขึ้นสูงกว่า 10 โวลต์ วงจรก็จะรักษาระดับแรงดันด้านเอาต์พุตให้มีค่าคงที่ (ไม่เกิน 10 volt) เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ DAQ พังเสียหาย แต่ในช่วงแรงดันอินพุตที่มีค่ามากกว่า 8 โวลต์จะเห็นว่าแรงดันเอาต์พุตจะมีค่าต่ำกว่าแรงดันอินพุตมากทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนตั้งนั้ย่านการทำงานที่ดีที่สุดของซีเนอริไดโอดคืออินพุตไม่เกิน 8 โวลต์ ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้แสดงว่าวงจรรักษาระดับแรงดันนี้สามารถทำงานได้ถูกต้อง แสดงภาพวงจรการทดสอบดังรูปที่ 4.5 (ก) และ (ข) โดยตารางผลการทดลองการหาย่านการทำงานของซีเนอริไดโอดแสดงตามตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.5 แสดงวงจรการทดสอบ

ตารางที่ 4.8 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จาก Zener Diode เมื่อเปลี่ยนแรงดันอินพุต

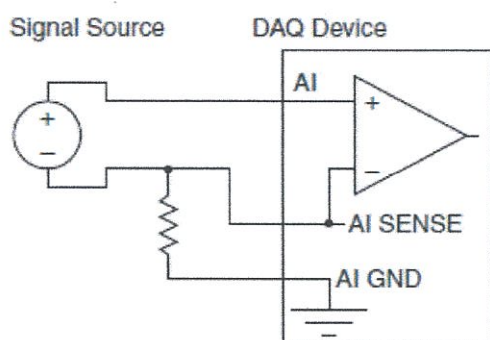
Input Voltage (V)	Output Voltage(V)					
	1	2	3	4	5	6
2.9	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
6.0	6.05	6.05	6.04	6.03	6.03	6.01
7.2	7.23	7.24	7.23	7.23	7.23	7.22
8.3	8.03	8.04	8.06	8.03	8.04	7.98
9.1	8.37	8.35	8.36	8.36	8.38	8.32
12.3	9.11	9.09	9.11	9.11	9.12	9.04
15.0	9.48	9.45	9.47	9.48	9.49	9.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบพบว่าย่านการทำงานของซีเนอร์ไดโอดที่ยังรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้เท่ากับแรงดันอินพุตคือช่วงที่มีแรงดันอินพุตไม่เกิน 7.2 Vrms หรือเท่ากับ 10.18 Vpeak ซึ่งเป็นไปตามพิกัดของซีเนอร์ไดโอดที่ใช้นั่นเอง

4.1.4 การลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจาก DAQ

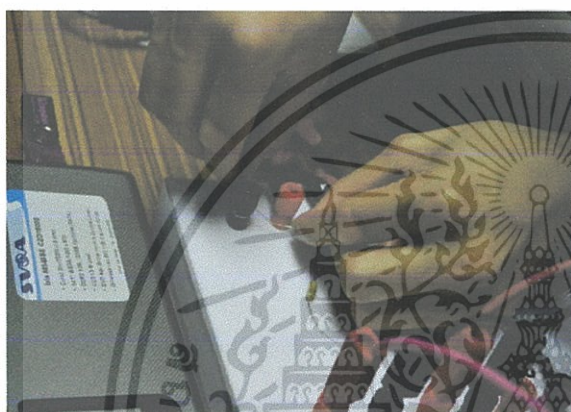
ในการแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัลนั้นจะต้องต่อผ่านตัวแปลงสัญญาณ DAQ ซึ่งจากรูปที่ 4.6 (ก) เป็นวิธีการต่อวงจรกับ DAQ ที่เรียกว่า Differential หรือ DIFF คือการวัดสัญญาณที่ขาบวกและขาลบของแหล่งสัญญาณไม่ได้ต่อกับจุดอ้างอิงใดๆ ในการต่อสัญญาณแบบ DIFF จะทำให้จำนวนช่องสัญญาณอินพุตลดลงให้สามารถใช้ได้เพียงครึ่งเดียว ซึ่งเราจะใช้การต่อแบบ DIFF กับสัญญาณกระแสไฟฟ้าเท่านั้น เพราะสัญญาณแรงดันสามารถใช้กราวด์ร่วมกันได้โดยใช้การต่อแบบ Referenced Single-Ended หรือ RSE ตามที่ได้กล่าวในบททฤษฎี ส่วนของการวัดกระแสเราจะต่อตัวต้านทานขนาด 1 วัตต์ 1 โอห์ม ระหว่างขั้วลบของช่องกระแสและกราวด์ร่วมของ DAQ และรูปที่ 4.6 (ข) และ (ค) เป็นวิธีการต่อตัวต้านทานจะพบว่าก่อนต่อตัวต้านทานฮาร์มอนิกของแรงดันและกระแส จะมีค่าสูงซึ่งรูปคลื่นที่บันทึกได้จะเป็นดังรูปที่ 4.6 (ง) แต่พอทำการต่อตัวต้านทานแล้วจะพบว่าสามารถลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นได้ ทำให้ค่าความผิดพลาดของกระแสและแรงดันฮาร์มอนิกมีค่าลดลง และรูปคลื่นสัญญาณที่ได้ก็มีความถูกต้องมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับรูปคลื่นจากเครื่อง Power Analyzer PZ-4000 แสดงดังรูปที่ 4.6 (จ) และ (ฉ) ตามลำดับ



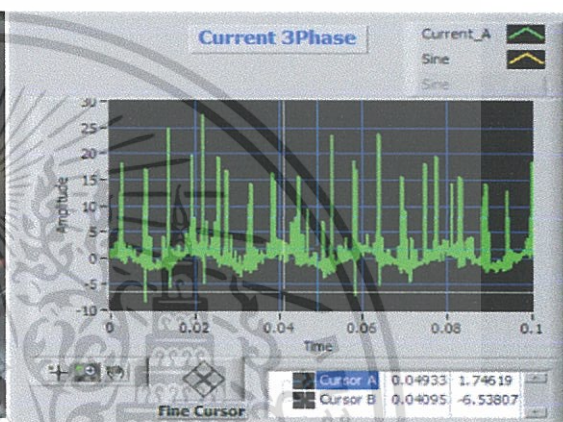
(ก)



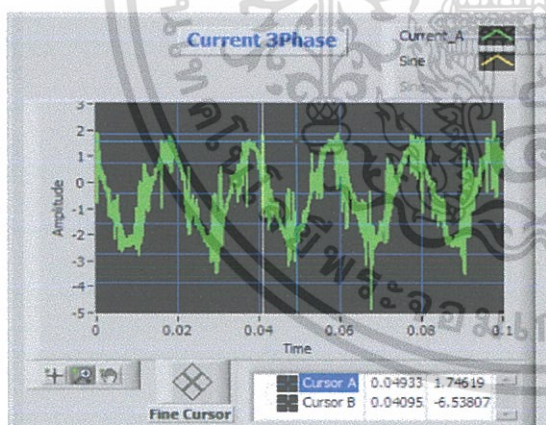
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.6 การลดสัญญาณรบกวน

โดยที่

- (ก) วงจรการต่อ DAQ (ข) และ (ค) วิธีการต่อตัวต้านทาน
- (ง) แสดงกราฟสัญญาณก่อนแก้ไข (จ) แสดงกราฟสัญญาณหลังแก้ไข
- (ฉ) รูปคลื่นสัญญาณจากเครื่อง PZ-4000

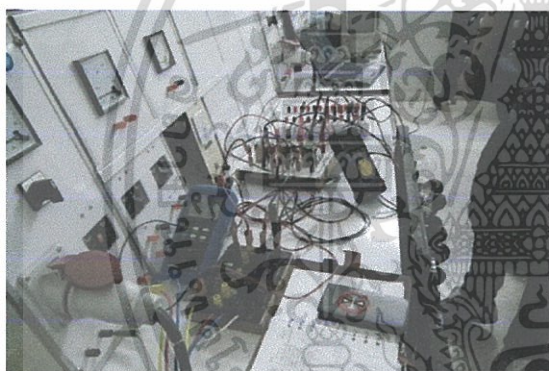
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองของชุดอุปกรณ์

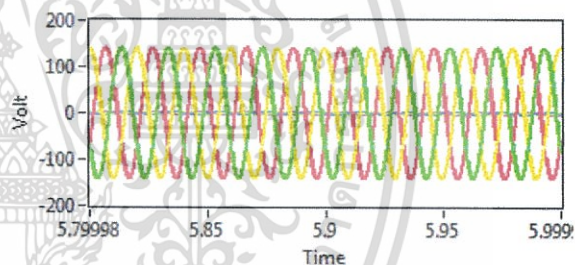
หลังจากชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่สร้างขึ้น ได้ทำการแก้ไขอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดัน รวมถึงมุมเฟส ให้มีความถูกต้องแม่นยำแล้ว ก็ทำการทดลองในส่วนของ การวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ของคุณภาพทางไฟฟ้า เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบ ดังต่อไปนี้

4.2.1 การทดสอบขณะทำการวัด Basic Linear Load

ทำการทดลองโดยการใช้โหลดที่เป็นเชิงเส้น (มีค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1) ในที่นี้จะใช้หลอดไฟไส้เป็นโหลดต่อแบบสตาร์สามเฟสเพื่อตรวจสอบว่ามีค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1 หรือไม่ โดยทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าขนาด 100 โวลต์ให้กับโหลดแล้วบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าปรากฏ กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือนและตัวประกอบกำลังจากเครื่อง Power Meter PX120 ทุกๆนาที่ ขณะเดียวกันก็บันทึกค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้จากโปรแกรม LabVIEW ด้วย โดยวงจรการทดลองและรูปคลื่นกำลังไฟฟ้าสามเฟสในกรณี Basic Linear Load สามารถแสดงดังรูปที่ 4.7 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ส่วนค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกได้ตลอด 5 นาทีแสดงดังตารางที่ 4.9 ถึง 4.13



(ก) วงจรการต่อโหลดเชิงเส้น



(ข) รูปคลื่นแรงดันสามเฟส

รูปที่ 4.7 แสดงวงจรการทดสอบกับโหลดหลอดไฟ (โหลดเชิงเส้น)

ตารางที่ 4.9 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจาก Power Meter PX120 เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 17.00 น.

Parameter	Reference*			LabVIEW Data			%error		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
V	101.50	101.80	101.50	96.37	98.16	97.56	5.05	3.57	3.88
I	1.71	1.75	1.74	1.75	1.72	1.74	2.34	1.71	0.00
S	173.70	177.30	171.70	168.65	169.28	170.23	2.90	4.52	0.85
P	174.00	177.10	171.50	159.60	162.50	162.20	8.27	8.24	5.42
Q	0.00	0.00	0.00	50.00	40.00	50.00	-	-	-
PF	1.00	1.00	1.00	0.94	0.96	0.95	6.00	4.00	5.00

*Power Meter PX120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจาก Power Meter PX120 เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 17.01 น.

Parameter	Reference*			LabVIEW Data			%error		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
V	100.50	101.90	101.60	96.28	98.27	97.66	4.19	3.56	3.87
I	1.71	1.74	1.69	1.74	1.72	1.74	1.75	1.14	2.95
S	174.50	177.30	171.70	168.20	169.50	170.40	3.61	4.39	0.75
P	174.80	177.39	171.48	159.20	162.80	162.50	8.92	8.22	5.23
Q	0.00	0.00	0.00	50.00	40.00	50.00	-	-	-
PF	1.00	1.00	1.00	0.94	0.96	0.95	6.00	4.00	5.00

ตารางที่ 4.11 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจาก Power Meter PX120 เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 17.02 น.

Parameter	Reference*			LabVIEW Data			%error		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
V	101.00	102.20	101.60	96.45	98.39	97.85	4.50	3.72	3.69
I	1.71	1.70	1.73	1.74	1.72	1.74	1.75	2.35	0.57
S	175.00	173.74	175.77	168.70	169.90	171.00	3.60	2.21	2.71
P	175.00	173.67	175.57	159.60	163.20	163.00	8.80	6.02	7.15
Q	0.00	0.00	0.00	50.00	40.00	50.00	-	-	-
PF	1.00	1.00	1.00	0.94	0.96	0.95	6.00	4.00	5.00

ตารางที่ 4.12 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจาก Power Meter PX120 เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 17.03 น.

Parameter	Reference*			LabVIEW Data			%error		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
V	101.30	102.20	101.50	96.53	98.49	97.93	4.70	3.63	3.51
I	1.71	1.71	1.69	1.75	1.72	1.74	2.33	0.58	2.95
S	174.1	174.76	171.54	168.90	170.20	171.10	2.98	2.61	0.25
P	175.5	174.65	171.40	159.90	163.40	163.10	8.88	6.44	4.84
Q	0.00	0.00	0.00	50.00	47.00	51.00	-	-	-
PF	1.00	1.00	1.00	0.94	0.96	0.95	6.00	4.00	5.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

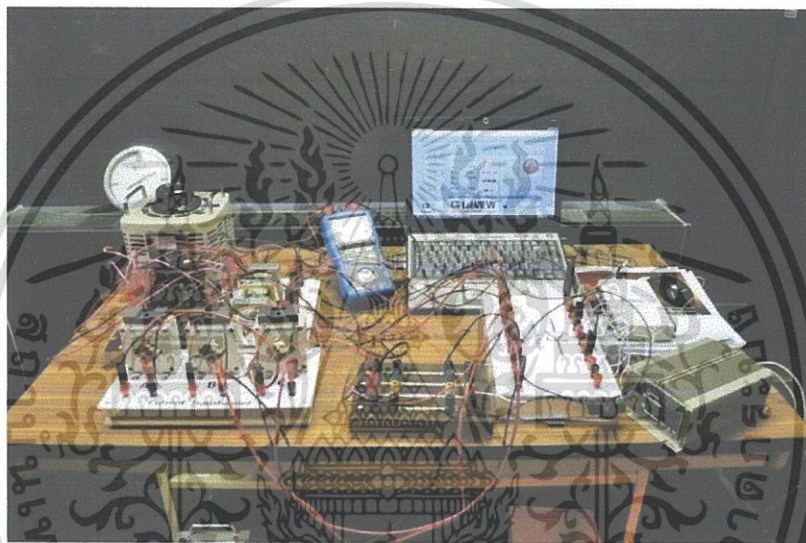
ตารางที่ 4.13 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจาก Power Meter PX120 เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 17.04 น.

Parameter	Reference*			LabVIEW Data			%error		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
V	100.20	101.20	100.60	95.86	97.76	97.12	4.33	3.39	3.45
I	1.68	1.69	1.69	1.74	1.72	1.74	3.57	1.77	2.95
S	172.70	171.03	170.01	167.20	168.20	168.90	3.18	1.65	0.65
P	173.00	171.24	170.28	158.30	161.60	161.10	8.49	5.62	5.39
Q	0.00	0.00	0.00	54.10	46.80	51.10	-	-	-
PF	1.00	1.00	1.00	0.94	0.96	0.95	6.00	4.00	5.00

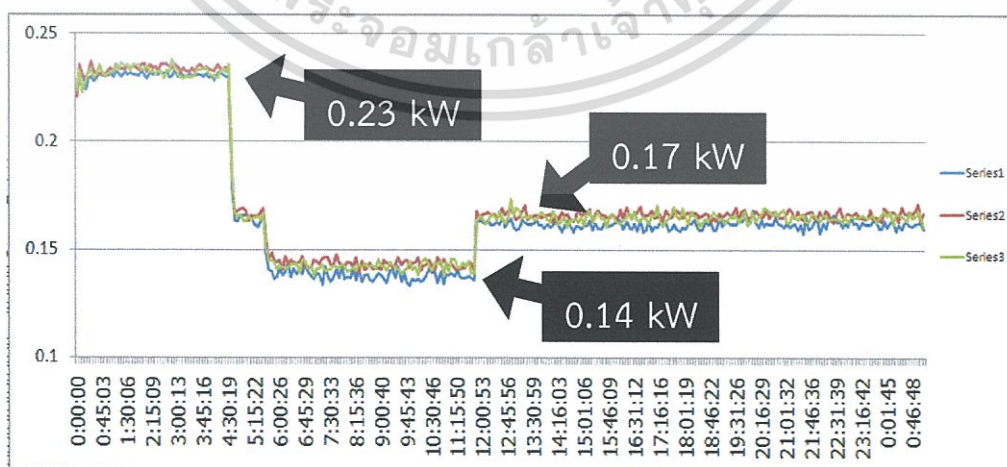
ซึ่งจากผลการทดลองข้างต้นจะพบว่าค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกได้จากชุดอุปกรณ์ทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ยังมีข้อผิดพลาดที่การหาความต่างของมุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแส เพราะเป็นการทดลองแรกที่ใช้วัด Basic Linear Load ซึ่งตัวประกอบกำลังควรมีค่าเท่ากับ 1 หรือเฟสของแรงดันและกระแสมีค่าไม่ต่างกัน แต่ตัวชุดโปรแกรมกลับเห็นความต่างเฟสของสัญญาณทั้งสอง ทำให้ค่าที่วัดได้มีความผิดพลาด ทางผู้จัดทำจึงนำไปปรับปรุงแก้ไขการออกแบบตัวโปรแกรมต่อไป

4.2.2 การทดสอบเก็บข้อมูลแบบต่อเนื่องกับ Non-Linear Load

เพื่อทำการยืนยันว่าการทำงานของ High performance Electronics Ballast เป็นไปตามสเปก จึงทำการวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าในกรณีที่ใช้โหลดเป็นคอมไฟนอนและใช้บัลลาสต์เป็น High performance Electronics Ballast ของ Kraft โดยรันโปรแกรมเพื่อจัดเก็บข้อมูลทางไฟฟ้าตลอด 24 ชั่วโมง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 0.23 kW, 0.17 kW และ 0.14 kW ซึ่งก็เป็นไปตามมาตรฐานของบัลลาสต์ชนิดนี้ ที่กำลังไฟฟ้าจะลดลงเมื่อเวลาใช้งานนานขึ้น โดยวงจรที่ทำการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.8 ส่วนค่าพารามิเตอร์กำลังทางไฟฟ้าที่บันทึกได้ก็นำมาพล็อตระหว่างกำลังไฟฟ้ากับเวลาเพื่อความสะดวกและง่ายต่อการวิเคราะห์ก็สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 แสดงวงจรการทดสอบกับ Non-Linear Load

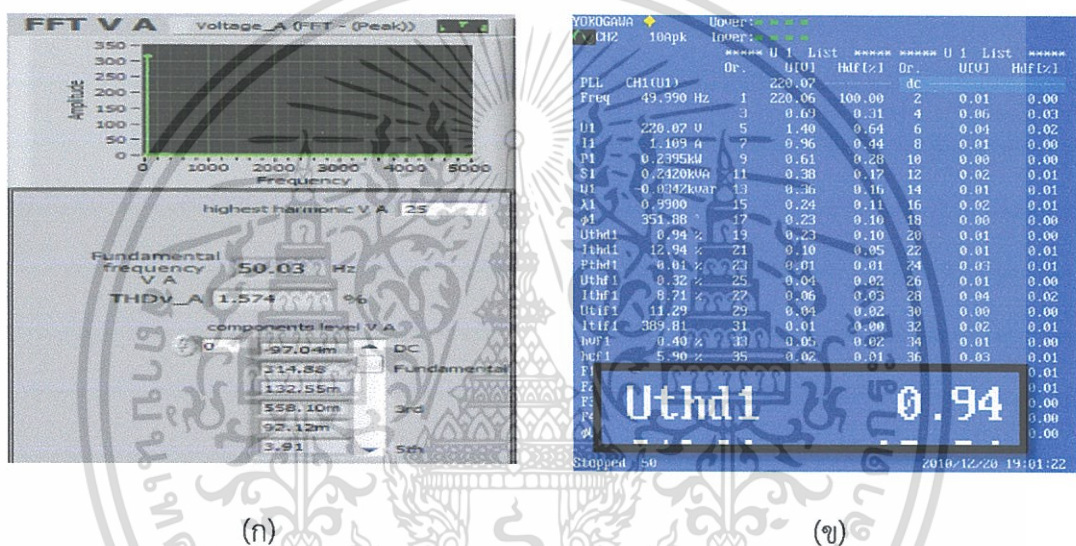


รูปที่ 4.9 แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าที่บันทึกได้

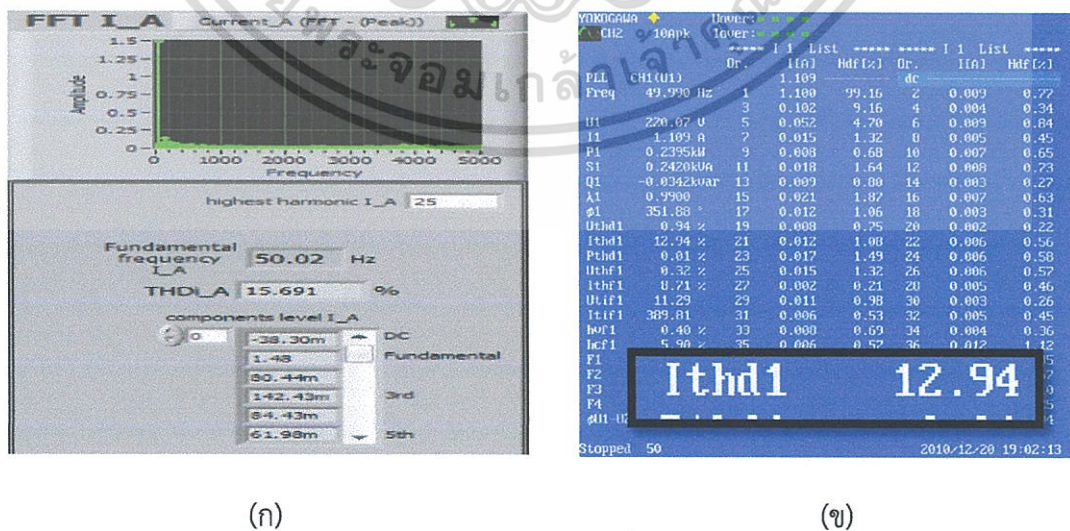
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การทดสอบหาค่าความผิดเพี้ยนแรงดันและกระแสฮาร์มอนิก

เพื่อทดสอบว่าชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าสามารถตรวจวัดฮาร์มอนิกได้อย่างถูกต้อง จึงทำการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกของแรงดันและกระแสโดยใช้โพลดิโคมโพลนอนที่ใช้บัลลาสต์ชนิด High performance Electronics Ballast ของ Kraft จากการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกของโพลดิโคมโพลนอนที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยโปรแกรมแลปวิวเปรียบเทียบกับเครื่อง Power Analyzer (PZ4000) จะพบว่าความผิดเพี้ยนแรงดันและกระแสฮาร์มอนิกรวมที่วัดได้จากทั้งสองเครื่องมีค่าใกล้เคียงกัน โดยความผิดเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิกรวมจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.10 (ก) และ (ข) ส่วนความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวมจะแสดงดังรูปที่ 4.11 (ก) และ (ข) โดยความผิดเพี้ยนของแรงดันฮาร์มอนิกรวมจะมีค่าต่ำกว่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวม



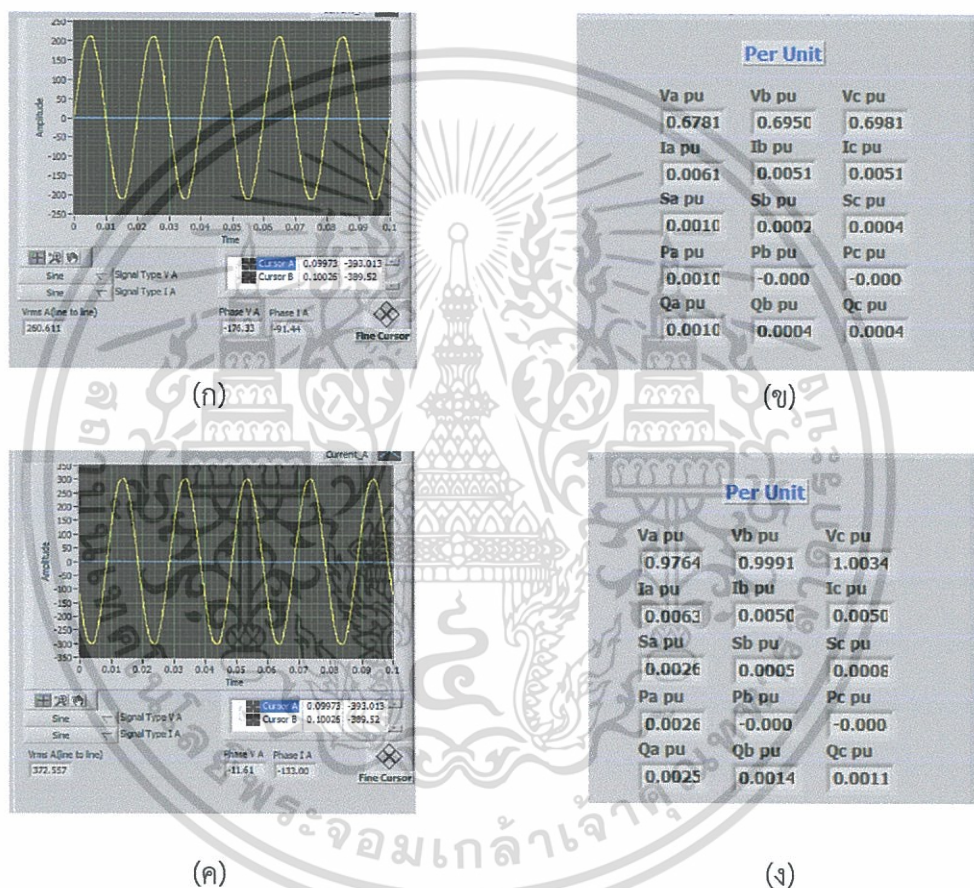
รูปที่ 4.10 (ก) แสดงค่า THD_v จากโปรแกรม (ข) แสดงค่า THD_v จากเครื่อง PZ-4000



รูปที่ 4.11 (ก) แสดงค่า THD_i จากโปรแกรม (ข) แสดงค่า THD_i จากเครื่อง PZ-4000
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การทดสอบเมื่อเปลี่ยนแปลงแรงดัน

เพื่อทำการตรวจสอบว่าชุดอุปกรณ์สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันอินพุตได้อย่างรวดเร็วโดยทำการทดลองป้อนแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตด้วยวารีแอกให้กับโหลดตั้งแต่ระดับแรงดัน 22 โวลต์จนถึง 286 โวลต์ ซึ่งจากผลการทดลองจะพบว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้าอินพุตมีค่าเพิ่มขึ้นชุดอุปกรณ์สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันด้านอินพุตได้โดยสังเกตได้จากรูปคลื่นสัญญาณที่บันทึกได้และค่าแรงดันไฟฟ้าเปอร์ยูนิตแสดงดังรูปที่ 4.10 (ก), (ข), (ค) และ (ง) ส่วนค่าแรงดันเอาต์พุตที่บันทึกได้เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องเพาเวอร์มิเตอร์ที่มีอยู่จะพบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันแสดงดังตารางที่ 4.14



รูปที่ 4.12 การทดสอบเมื่อเปลี่ยนแรงดัน

โดยที่ (ก) แสดงกราฟแรงดันที่ 0.7 เพอร์ยูนิต (ข) ค่าแรงดันที่ 0.7 เพอร์ยูนิต
(ค) แสดงกราฟแรงดันที่ 1.0 เพอร์ยูนิต (ง) ค่าแรงดันที่ 1.0 เพอร์ยูนิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ค่าแรงดันเอาต์พุตที่บันทึกได้เปรียบเทียบกับแรงดันอินพุต

Voltage _{input}	Per-Unit	V _A	V _B	V _C
22	0.1	21.22	22.65	21.92
44	0.2	44.44	44.73	44.71
66	0.3	64.59	66.70	66.57
88	0.4	85.93	88.36	88.42
110	0.5	108.05	111.34	111.14
132	0.6	128.35	131.27	131.91
154	0.7	150.26	153.95	154.97
176	0.8	171.29	176.14	176.46
198	0.9	191.95	196.99	197.70
220	1.0	215.09	220.34	220.85
242	1.1	235.53	241.78	242.57
264	1.2	256.64	263.72	264.25
286	1.3	278.35	285.93	285.60

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.14 พบว่าที่แรงดันต่ำกว่า 198 โวลต์ หรือ 0.9 เพอร์ยูนิต ทำให้หลอดไฟ Under Voltage ที่หน้าจอ Main monitor ติดไฟ ส่วนที่แรงดันมากกว่า 242 โวลต์ หรือ 1.1 เพอร์ยูนิต ทำให้หลอดไฟ Over Voltage ที่หน้าจอ Main Monitor ติดไฟ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE std. 1159-1995

4.2.5 การทดสอบเมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่

เพื่อทำการตรวจสอบว่าชุดวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่สร้างขึ้นสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของความถี่ได้จริงและมีความถูกต้อง สิ่งที่ทำคือการทดลองคือใช้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ในการสร้างสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ต่างๆ ในการเปลี่ยนความถี่ไฟฟ้าโดยเริ่มจากความถี่ 50 Hz, 150 Hz, 1500 Hz, 5000 Hz จนถึง 10000 Hz แล้วทำการบันทึกค่าความถี่ที่ตรวจจับได้จากชุดอุปกรณ์ ซึ่งจะพบว่าค่าความถี่ที่บันทึกได้จากชุดอุปกรณ์จะมีค่าตรงกันกับความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปตามการปรับความถี่ของอุปกรณ์ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ แสดงดังตารางที่ 4.15 และภาพความถี่ที่บันทึกได้จากชุดอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.15 แสดงความถี่อินพุตเปรียบเทียบกับความถี่ที่บันทึกได้

Inverter Frequency(Hz)	Data Frequency(Hz)
50	50.09
150	150.01
1500	1506.29
5000	5042.40
10000	10179.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Output Data		
Vrms A	Freq. VA	Phase V A
0.14583:	50.0714	75.02
Irms A	Freq. IA	Phase I A
0.12663:	50.0977	91.94

(ก)

Output Data		
Vrms A	Freq. VA	Phase V A
0.14549:	149.972	-2.45
Irms A	Freq. IA	Phase I A
0.13862:	150.015	23.26

(ข)

Output Data		
Vrms A	Freq. VA	Phase V A
0.14487:	1506.32	-81.99
Irms A	Freq. IA	Phase I A
0.16088:	1506.29	-95.31

(ค)

Output Data		
Vrms A	Freq. VA	Phase V A
0.14451:	5042.41	-1.57
Irms A	Freq. IA	Phase I A
0.16259:	5042.4	-22.12

(ง)

Output Data		
Vrms A	Freq. VA	Phase V A
0.14384:	10179.8	172.35
Irms A	Freq. IA	Phase I A
0.16226:	10179.8	175.31

(จ)

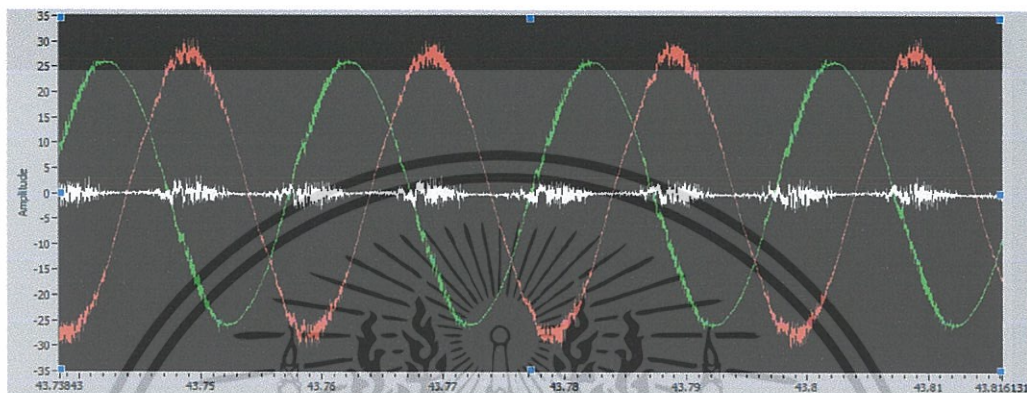
รูปที่ 4.13 ความถี่ที่บันทึก

โดยที่ (ก) 50 Hz, (ข) 150 Hz, (ค) 1500 Hz, (ง) 5000 Hz และ (จ) 10000 Hz

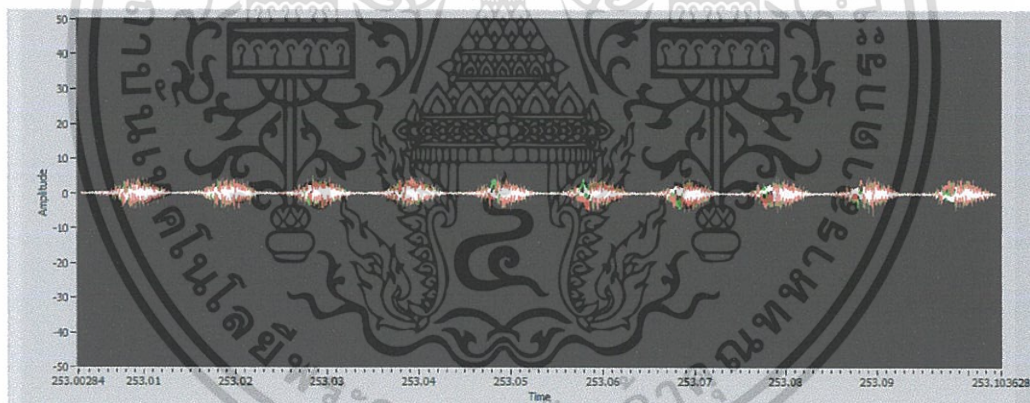
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 การทดสอบเมื่อ Open Circuit 1 เฟส และ 3 เฟส

เพื่อตรวจสอบว่าชุดอุปกรณ์สามารถตรวจจับสัญญาณได้จริงจึงทำการทดลองป้อนแรงดันไฟฟ้าสามเฟสให้กับโหลดโดยต่อเข้าวงจร Magnetic Contactor ก่อนจะผ่านโหลด จากนั้นทำการ Open Circuit 1 เฟสและ Open Circuit 3 เฟสจะพบว่าเมื่อทำการ Open Circuit 1 เฟส รูปคลื่นสัญญาณที่ตรวจจับได้จะเป็นดังรูปที่ 4.14 และเมื่อ Open Circuit 3 เฟสรูปคลื่นสัญญาณที่ตรวจจับได้จะเป็นดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.14 แสดงกราฟสัญญาณขณะที่ Open Circuit 1 เฟส

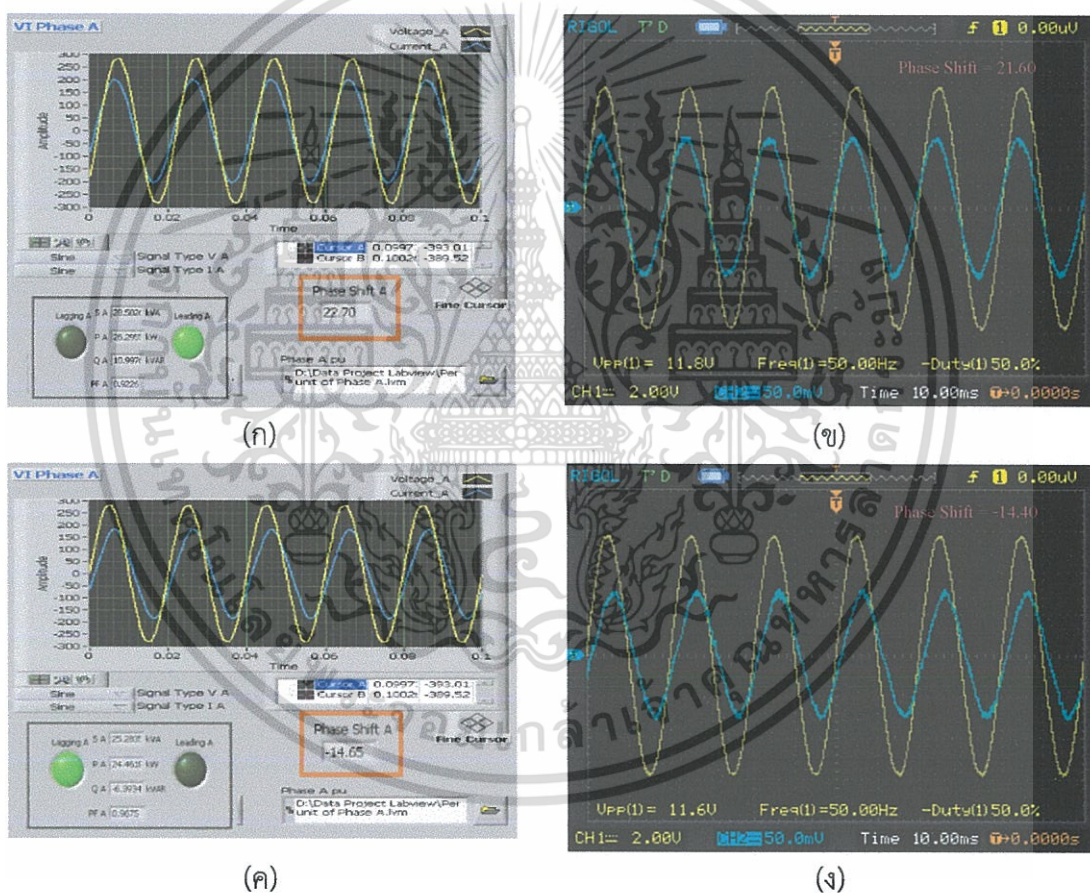


รูปที่ 4.15 แสดงกราฟสัญญาณขณะที่ Open Circuit 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 การหาความต่างเฟสเมื่อโหลดเป็น RC และ RL

ในการหาความต่างเฟสระหว่างมุมของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเพื่อตรวจสอบว่ามุมของแรงดันไฟฟ้าอินเฟสกับมุมของกระแสไฟฟ้าหรือมุมของแรงดันไฟฟ้านำหน้ามุมของกระแสไฟฟ้าหรือมุมของแรงดันไฟฟ้าล่าหลังมุมของกระแสไฟฟ้า ซึ่งมุมที่เกิดขึ้นก็จะขึ้นอยู่กับลักษณะของโหลดว่าเป็นตัวต้านทาน (R) ตัวเหนี่ยวนำ (L) หรือตัวเก็บประจุ (C) เมื่อโหลดเป็น R มุมของกระแสจะอินเฟสกับมุมของแรงดัน เมื่อโหลดเป็น RC มุมกระแสจะนำหน้ามุมแรงดัน และเมื่อโหลดเป็น RL มุมกระแสจะล่าหลังมุมแรงดัน จากการทดลองก็จะพบว่ารูปคลื่นที่บันทึกได้เป็นไปตามทฤษฎี โดยทำการดูความต่างเฟสจากโปรแกรมเปรียบเทียบความถูกต้องกับออสซิลอโคปเป็น แสดงดังรูปที่ 4.16 (ก) และ (ข) เมื่อโหลดเป็น RC และรูปที่ 4.16 (ค) และ (ง) เมื่อโหลดเป็น RL ตามลำดับจะเห็นว่ามิต่ำใกล้เคียงกัน และค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่บันทึกได้เมื่อโหลดเป็น RC และ RL แสดงตามตารางที่ 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบกราฟสัญญาณความต่างเฟส

โดยที่

- (ก) แสดงกราฟสัญญาณที่ตรวจจับได้จากชุดอุปกรณ์เมื่อโหลดเป็น RC
- (ข) แสดงกราฟสัญญาณที่ตรวจจับได้จากสโคปเมื่อโหลดเป็น RC
- (ค) แสดงกราฟสัญญาณที่ตรวจจับได้จากชุดอุปกรณ์เมื่อโหลดเป็น RL
- (ง) แสดงกราฟสัญญาณที่ตรวจจับได้จากสโคปเมื่อโหลดเป็น RL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่บันทึกได้เมื่อโหลดเป็น RC

V	I	S	P	Q	PF
50	1.18	60.10	59.40	8.00	0.99
100	1.71	172.30	171.70	17.20	0.99
150	2.13	321.2	320.6	26.40	1.00
200	2.48	497.00	496.40	35.60	1.00

ตารางที่ 4.17 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่บันทึกได้เมื่อโหลดเป็น RL

V	I	S	P	Q	PF
50	0.82	41.30	20.60	35.80	0.50
100	1.37	137.00	96.60	97.20	0.70
150	1.84	278.10	218.60	170.90	0.79
200	2.21	443.50	369.90	243.50	0.84

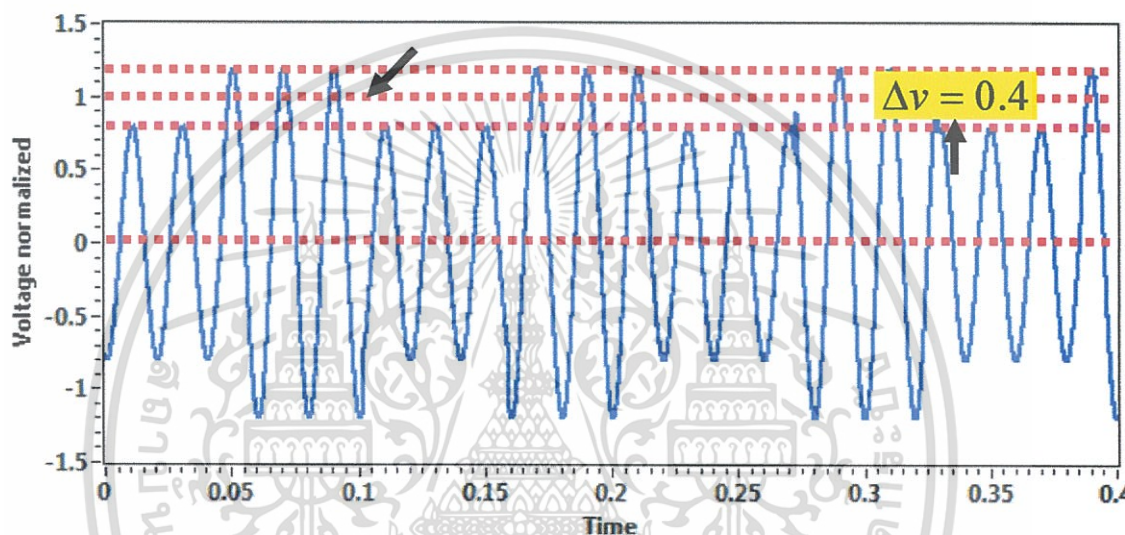


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8 การทดสอบหาความถูกต้องของไฟกระพริบ

ทำการตรวจสอบค่าความถูกต้องของการตอบสนอง และแอมป์ของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น โดยนำค่า P_{inst} และ P_{st} ที่วัดได้จากสัญญาณที่จำลองจากสมการที่ 4 ซึ่งเป็นสัญญาณตัวอย่างที่มีความถี่หลักที่ 50 เฮิร์ตซ์ ขนาดแรงดันเท่ากับ 1 ซึ่งสัญญาณได้มีการเปลี่ยนแปลงแรงดัน $\Delta U/U$ เท่ากับ 40% ที่ความถี่ 8.8 เฮิร์ตซ์ ในรูปแบบ Rectangular โดยแสดงรูปของสัญญาณดังรูปที่ 4.17 ซึ่งในการทดลองจะนำค่าที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับค่าทดสอบของ Flickermeter ตามมาตรฐาน IEC 61000-4-15 [6] ซึ่งระบบที่ทำการทดสอบคือ 230 V ที่ความถี่ 50 Hz

$$u(t) = 1 \times \sin(2\pi 50t) \times \left\{ 1 + \left(\frac{40}{100} \times \frac{1}{2} \text{signum}[\sin(2\pi 8.8t)] \right) \right\} \quad (4.1)$$



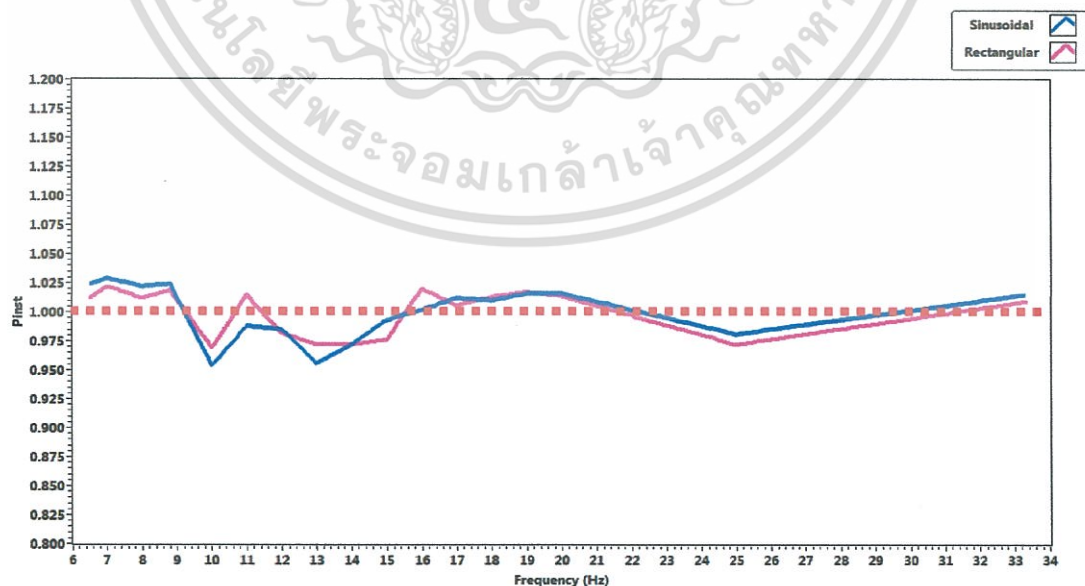
รูปที่ 4.17 สัญญาณแรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบ Rectangular $\Delta U/U = 40\%$, 8.8 Hz, 17.6 changes/second

4.2.8.1 เปรียบเทียบค่า P_{inst} กับมาตรฐาน

ทำการเปรียบเทียบค่า $P_{inst,max}$ ที่วัดได้เมื่อนำค่าความถี่ และค่าแรงดันกระพริบ ตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 1 และ 2 ในมาตรฐาน IEC 61000-4-15 จากนั้นนำค่าที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับค่า $P_{inst,max}$ ของมาตรฐาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 และค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้คือ 8% จากผลการทดลองในตารางที่ 4.18 พบว่าค่า P_{inst} ที่ได้มีค่าที่ยอมรับได้

ตารางที่ 4.18 เปรียบเทียบค่า *Pinst* ที่วัดได้กับมาตรฐาน

Hz	Sinusoidal Modulation			Rectangular Modulation		
	<i>Pinst</i>		%error	<i>Pinst</i>		%error
	Reference	Proposed		Reference	Proposed	
6.5	1.000	1.024	2.4	1.000	1.012	1.2
7.0	1.000	1.029	2.9	1.000	1.022	2.2
8.0	1.000	1.022	2.2	1.000	1.012	1.2
8.8	1.000	1.024	2.4	1.000	1.019	1.9
10.0	1.000	0.954	4.5	1.000	0.969	3.1
11.0	1.000	0.988	1.2	1.000	1.015	1.5
12.0	1.000	0.985	1.5	1.000	0.982	1.8
13.0	1.000	0.956	4.4	1.000	0.972	2.8
14.0	1.000	0.972	2.8	1.000	0.976	2.4
15.0	1.000	0.993	0.7	1.000	1.002	0.2
16.0	1.000	1.002	0.2	1.000	1.020	2.0
17.0	1.000	1.012	1.2	1.000	1.006	0.6
18.0	1.000	1.010	1.0	1.000	1.013	1.3
19.0	1.000	1.016	1.6	1.000	1.017	1.7
20.0	1.000	1.016	1.6	1.000	1.014	1.4
25.0	1.000	0.981	1.9	1.000	0.972	2.8
33.3	1.000	1.015	1.5	1.000	1.009	0.9



รูปที่ 4.18 ผลการทดลองการเทียบค่า *Pinst* กับมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8.2 เปรียบเทียบค่า P_{st} กับมาตรฐาน

ทำการเปรียบเทียบค่า P_{st} โดยใช้สัญญาณ Rectangular ที่มีการเปลี่ยนแปลง ตามตารางที่ 4.19 ในมาตรฐาน ซึ่งจะให้ค่า P_{st} เท่ากับ 1 และอนุญาตให้มีค่าความผิดพลาดได้ไม่เกิน $\pm 5\%$ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของค่าดัชนีไฟกระพริบระยะสั้น

ตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบค่า P_{st} ที่วัดได้กับมาตรฐาน

Rectangular Change per minute	% $\Delta U/U$	P_{st}	%error
1,620	0.407	0.968	3.2
4000	2.343	0.988	1.2

ซึ่งจากการทดลองพบว่าโปรแกรมนี้สามารถทำการวัดดัชนีไฟกระพริบได้อย่างถูกต้องและใช้งานได้จริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์กับสถานที่จริง

เมื่อทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการแล้วจึงได้ลองนำเครื่องวัดที่ได้ทำการออกแบบไปวัดกับระบบไฟฟ้าในสถานที่จริง คือ โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลและการตรวจสอบคุณภาพทางไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ขนาด 250 kW เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและการปรับปรุงความผิดพลาดของเครื่องวัด

4.3.1 ทดสอบการวัดกับโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล

เมื่อวันที่ 30 มกราคม พ.ศ. 2554 ได้นำชุดอุปกรณ์ไปตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าไปตรวจวัดที่โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล จังหวัดปราจีนบุรี ซึ่งอยู่ภายในฟาร์มเลี้ยงหมู โดยนำมูลของสุกรมาหมักให้เกิดก๊าซแล้วนำก๊าซที่ผลิตได้ไปปั่นเจนเนอเรเตอร์ดังรูปที่ 4.19 (ก) ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกจ่ายให้กับโหลดที่อยู่ภายในฟาร์มเลี้ยงหมู โดยเจนเนอเรเตอร์ที่ใช้มี Name Plate ดังนี้

Measurement Model: DEEP SEA ELETRONIC DSE 7520

CT: Ratio 1 250/5 CT: Ratio 2 200/5

Generator AVR: Mx341 KVA: 140.0 Hz: 50

PF: 0.8 RPM: 1500 PHASE: 3 Volt: 230/400

จากการทดสอบการทำงานจริง โดยนำชุดอุปกรณ์ไปทำการวัดที่ตู้ Main Distribution Board ดังรูปที่ 4.19 (ข) โดยมีผลเปรียบเทียบกับตารางที่ 4.20 ถึง 4.24



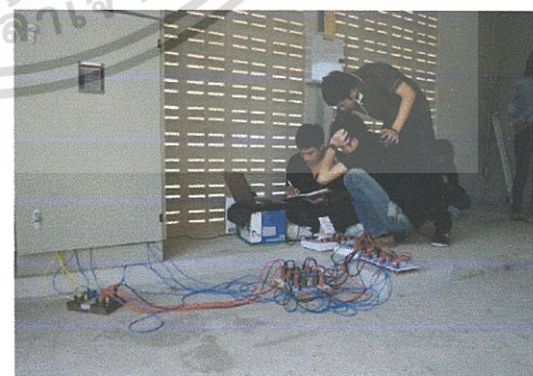
(ก) ที่เก็บก๊าซชีวมวลจากการหมักของมูลสุกร



(ข) ห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



(ค) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในโรงไฟฟ้าชีวมวล



(ง) การต่อชุดอุปกรณ์หน้างานจริง

รูปที่ 4.19 โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล จังหวัดปราจีนบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจากตู้ Main Distribution Board เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 16.48 น.

Parameter	Reference*				LabVIEW Data			
	A	B	C	3phase	A	B	C	3phase
Vrms	237	238	236	-	237.81	236.02	235.30	-
Irms	88	87	99	-	138.21	89.02	104.18	-
S	21.2	21.1	23.9	66.6	24.64	20.87	24.41	69.94
P	17.2	17.8	19.8	54.3	23.51	20.06	23.07	66.65
Q	12.4	12.3	13.6	37.5	-7.38	-5.77	-7.98	-23.36
PF	0.81	0.85	0.84	0.87	0.95	0.96	0.94	0.95
Freq.	-	-	-	50.07	-	-	-	-

*ตู้ Main Distribution Board

ตารางที่ 4.21 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจากตู้ Main Distribution Board เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 16.53 น.

Parameter	Reference*				LabVIEW Data			
	A	B	C	3phase	A	B	C	3phase
Vrms	243	242	241	-	238.10	236.41	235.82	-
Irms	91	90	99	-	121.88	89.10	102.14	-
S	22.1	21.7	21.8	67.6	22.78	20.95	23.99	67.73
P	17.7	18.3	19.8	55.5	21.67	20.05	22.64	64.36
Q	12.1	11.2	12.0	37.8	-7.05	-6.07	-7.92	-22.90
PF	0.8	0.83	0.82	0.82	0.95	0.95	0.94	0.95
Freq.	-	-	-	50.06	-	-	-	-

ตารางที่ 4.22 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจากตู้ Main Distribution Board เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 16.58 น.

Parameter	Reference*				LabVIEW Data			
	A	B	C	3phase	A	B	C	3phase
Vrms	241	241	239	-	238.67	237.16	236.35	-
Irms	86	87	95	-	120.94	86.92	99.42	-
S	21.2	23.2	22.8	6.2	22.07	20.48	23.38	65.94
P	17.0	17.7	19.2	54.3	21.34	19.96	22.48	63.79
Q	11.6	11.6	12.7	35.8	-5.62	-4.58	-6.40	-18.44
PF	0.81	0.85	0.84	0.83	0.96	0.97	0.96	0.96
Freq.	-	-	-	50.02	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจากตู้ Main Distribution Board เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 17.03 น.

Parameter	Reference*				LabVIEW Data			
	A	B	C	3phase	A	B	C	3phase
<i>Vrms</i>	241	241	240	-	239.25	237.64	237.11	-
<i>Irms</i>	95	92	100	-	136.22	105.99	119.49	-
<i>S</i>	22.6	22.3	24.8	72.7	27.44	25.08	28.24	80.76
<i>P</i>	18.6	19.2	20.5	57.7	26.63	24.58	27.21	78.43
<i>Q</i>	13.2	12.9	14.3	41.3	-6.58	-5.01	-7.53	-21.65
<i>PF</i>	0.80	0.84	0.82	0.83	0.97	0.97	0.96	0.97
<i>Freq.</i>	-	-	-	50.06	-	-	-	-

ตารางที่ 4.24 ค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกจากตู้ Main Distribution Board เปรียบเทียบกับค่าจากโปรแกรม LabVIEW ที่เวลา 17.08 น.

Parameter	Reference*				LabVIEW Data			
	A	B	C	3phase	A	B	C	3phase
<i>Vrms</i>	239	239	238	-	237.09	235.25	235.05	-
<i>Irms</i>	85	87	94	-	122.78	90.24	100.16	-
<i>S</i>	20.7	20.9	22.5	64.4	22.98	21.12	23.44	67.54
<i>P</i>	17.5	18.8	19.9	55.9	22.01	20.49	22.58	65.10
<i>Q</i>	11.5	11.8	12.8	36.0	-6.58	-5.09	-6.27	-19.13
<i>PF</i>	0.82	0.86	0.85	0.84	0.95	0.97	0.96	0.96
<i>Freq.</i>	-	-	-	49.99	-	-	-	-

*ค่าของเฟส A เกิดสัญญาณรบกวน สาเหตุมาจากตัวต้านทานของอุปกรณ์ Zener Diode หลุดจากวงจร

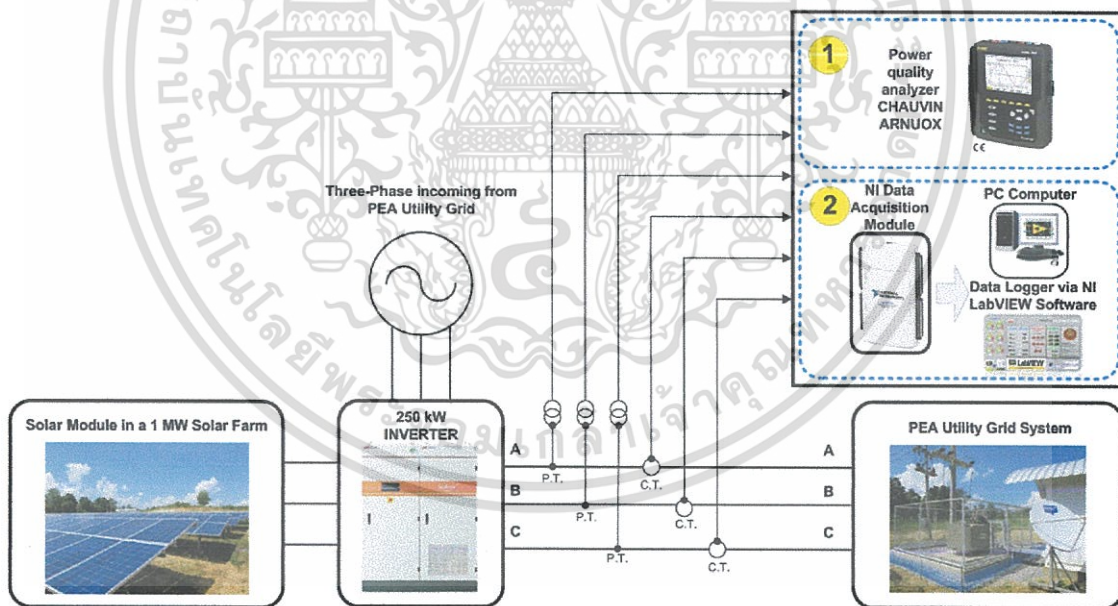
จากผลการทดลองพบว่าค่าที่วัดได้จากชุดอุปกรณ์ในเฟส A มีความคลาดเคลื่อนไปเมื่อเปรียบเทียบกับค่าจากตู้ Main Distribution Board (MDB) เนื่องจากระหว่างการเดินทางตัวต้านทานที่ต่อระหว่างกราว์นของกระแสหลอด ส่วนค่าที่วัดได้จากชุดอุปกรณ์ในเฟส B และ C จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่บันทึกได้จากตู้ MDB แต่ก็อาจจะมีค่าความผิดพลาดมาก เนื่องจากตอนทำการทดสอบประสบปัญหาในการคล้องหม้อแปลงกระแสที่ตู้ MDB ทำให้ต้องคล้องผ่านหม้อแปลงกระแสที่ติดกับตู้ MDB อีกครั้งทำให้ รูปคลื่นสัญญาณอาจเกิดความผิดเพี้ยนจากที่ตั้งค่าแก้ไข รวมถึงการออกแบบโปรแกรมในตอนนั้นยังไม่ได้ตั้งค่าได้ที่ Front Panel แบบทันที เมื่อพบปัญหานี้ทางผู้จัดทำจึงนำโปรแกรมมาปรับแก้หลังจากทำการทดสอบนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

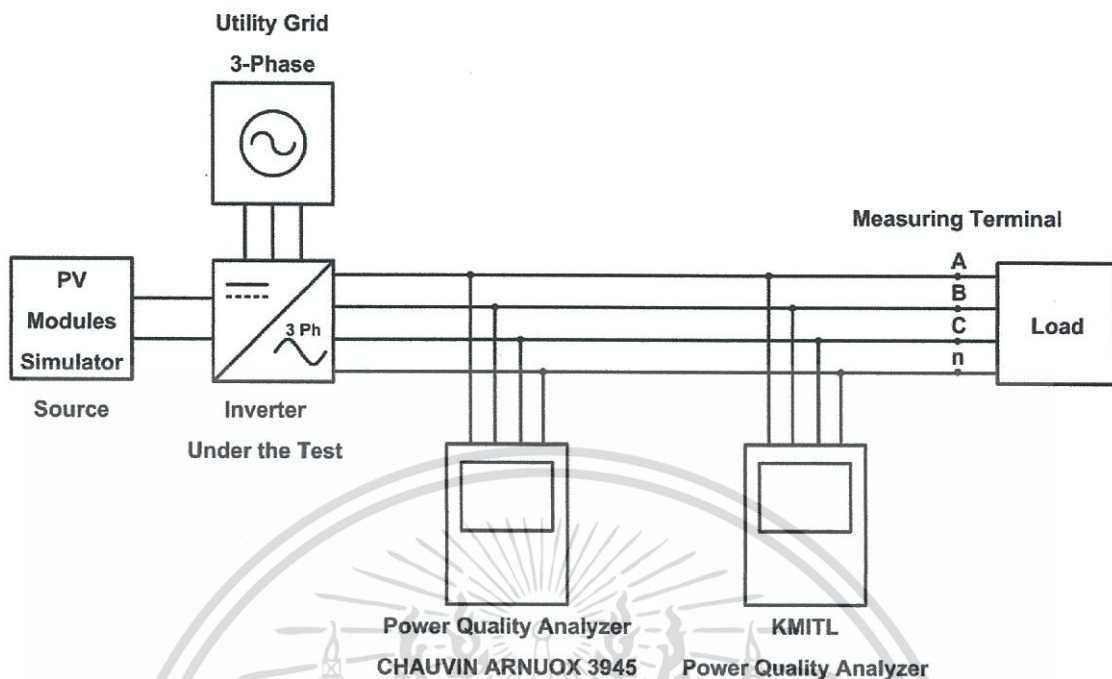
4.3.2 ทดสอบการวัดกับอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

นำชุดอุปกรณ์ไปตรวจสอบคุณภาพทางไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ขนาด 250 kW ของบริษัท DASS Tech รุ่น DSP-33250K ว่าผ่านตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าเพิ่มเติม พ.ศ. 2555 [34] สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าประเภทที่ใช้อินเวอร์เตอร์ของการไฟฟ้าภูมิภาคหรือไม่ เพื่อจะได้รองรับการเชื่อมต่อไฟฟ้าที่ได้จากโรงไฟฟ้าโซลาร์เซลล์เข้ากับระบบไฟฟ้าเดิมของการไฟฟ้า เพื่อให้ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP) หรือผู้ใช้ไฟฟ้า ที่มีอินเวอร์เตอร์สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า (Grid-connected Inverter) ใช้เป็นหลักเกณฑ์และเงื่อนไขในการจัดหาอินเวอร์เตอร์รวมถึงกำหนดการแนวทางการทดสอบอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้มั่นใจว่าอินเวอร์เตอร์เหล่านี้เมื่อเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าแล้ว มีความปลอดภัยและไม่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบของ กฟภ. รวมถึงผู้ใช้ไฟฟ้าด้วย [35-45]

ทำการทดสอบโดยใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากโซลาร์เซลล์ ผ่านเข้าอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ที่เชื่อมต่อกับไฟของการไฟฟ้า (Utility Grid) เพื่อทำการเปรียบเทียบแรงดัน, ความถี่ และ มุมเฟส จากนั้นอินเวอร์เตอร์ก็จะทำการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้รับออกเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ แล้วจ่ายไปยังโหลดที่จุดเชื่อมต่อร่วม (Point of common coupling) ก่อนทำการวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าทั้งสามเฟส ดังรูปที่ 4.20 จากนั้นทำการบันทึกผลตามมาตรฐานที่การไฟฟ้าต้องการเป็นระยะเวลา 2-3 ชั่วโมง โดยการเชื่อมต่อเครื่องวัดเพื่อทำการทดสอบเป็นไป ดังรูปที่ 4.21 และรูปที่ 4.22 แสดง Front Panel ในหน้า Main Monitoring ขณะทำการวัดอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 4.20 โดอะแกรมการทดสอบอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 4.21 การเชื่อมต่อเครื่องวัดเพื่อทำการทดสอบอินเวอร์เตอร์

STOP Date/Time 29/10/12 14:33:59

Power 3Phase		Power Quality Indicator		Sequence	
S_{3phase}	197.884 kVA	Over Voltage	A B C	Voltage	Current
P_{3phase}	197.686 kW	Under Voltage	A B C	Zero	Zero
Q_{3phase}	-8.86196 kVAR	Unbalance	A B C	Positive	Positive
PF_{3phase}	0.998997	Voltage	Current	Negative	Negative
kW-hr	4109.52 Units			Frequency Variation	
Cost	64.3142 Baht			Voltage	A B C
				Current	A B C

Version 3.0
Automatic Power Quality and Faults Diagnosis Using Data Acquisition System and LabVIEW program
Department of Electrical Engineering (Electrical Power)
King Mongkut's Institute of Technology Ladgrabang

LabVIEW™
Certified Developer

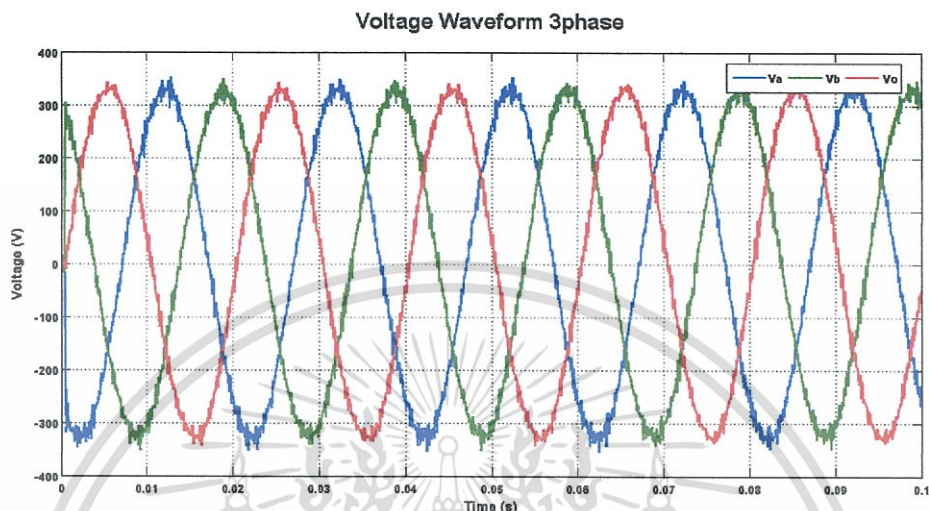
Save Button Data 59
Save Data Time (min.) 1
Address Data 3 Phase
D:\Data Project Labview\Data 3 Phase.lvm
Address Data ABC
D:\Data Project Labview\Data ABC.lvm

รูปที่ 4.22 Main Monitoring ของเครื่องวัดขณะทำการทดสอบอินเวอร์เตอร์

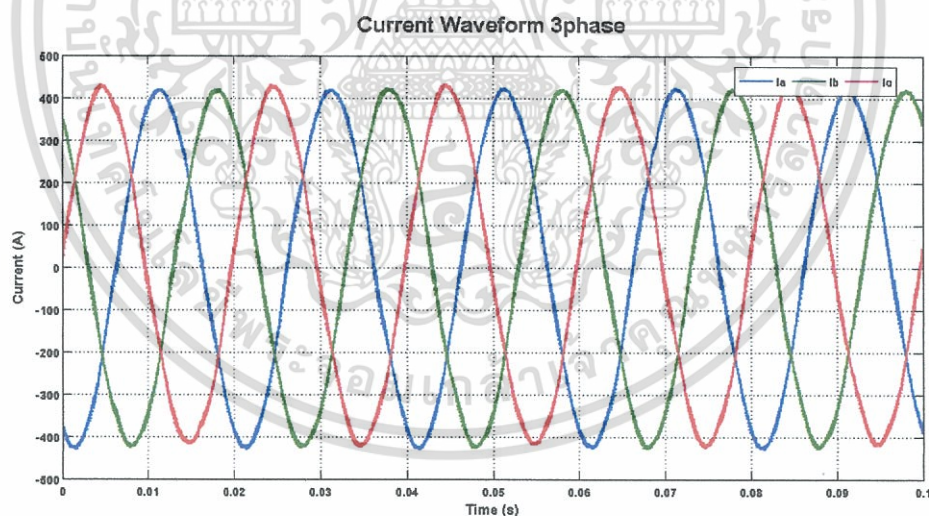
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ

เมื่อทำการวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าโดยใช้อุปกรณ์ที่ได้นำเสนอ ก็ได้ทำการบันทึกพารามิเตอร์ต่างๆ รวมทั้งรูปคลื่นของสัญญาณแรงดันและกระแสตลอดการทดสอบ โดยรูปที่ 4.23 และ 4.24 ได้แสดงรูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าตามลำดับ



รูปที่ 4.23 แรงดันไฟฟ้าสามเฟสที่วัดได้จากอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 4.24 กระแสไฟฟ้าสามเฟสที่วัดได้จากอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.1 ข้อมูลทั่วไป

a) ระดับแรงดันใช้งาน

- 1) ระดับแรงดันใช้งานปกติของ กฟภ. ประกอบด้วยแรงดัน 115 kV, 69 kV, 33 kV, 22 kV, 380 V และ 220 V
- 2) ในสภาวะปกติและสภาวะฉุกเฉิน แรงดันไฟฟ้า ณ จุดเชื่อมต่อ จะต้องเบี่ยงเบนได้ไม่เกินค่าตามตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 ระดับแรงดันไฟฟ้า ณ จุดเชื่อมต่อในสภาวะปกติและสภาวะฉุกเฉิน

ระดับแรงดัน	ภาวะปกติ		ภาวะฉุกเฉิน	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
115 kV	120.7	109.2	126.5	103.5
69 kV	72.4	65.5	75.9	62.1
33 kV	34.7	31.3	36.3	29.7
22 kV	23.1	20.9	24.2	19.8
380 V	418	342	418	342
220 V	240	200	240	200

*อินเวอร์เตอร์ที่ทำการทดสอบมีพิกัดแรงดันที่ 220 Vrms

b) ระดับความถี่ใช้งาน

ความถี่ใช้งานปกติในระบบไฟฟ้าของ กฟภ. เท่ากับ 50 Hz ดังนั้นจะต้องมีการควบคุมความถี่ ณ จุดเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า ให้อยู่ในเกณฑ์ 50 ± 0.5 Hz

เมื่อทำการวัดพารามิเตอร์แรงดันอาร์เอ็มเอสและความถี่ตลอด 2 ชั่วโมง แล้วนำมาหาเฉลี่ยตามตารางที่ 4.26 พบว่าแรงดันและความถี่อยู่ในสภาวะปกติตาม รูปที่ 4.25 แสดง Front Panel ของแรงดันและความถี่ในแต่ละเฟส รูปที่ 4.26 และ 4.27 แสดงแรงดันไฟฟ้า อาร์เอ็มเอสและความถี่ทั้งสามเฟสตามทีวัดได้จากอินเวอร์เตอร์นี้

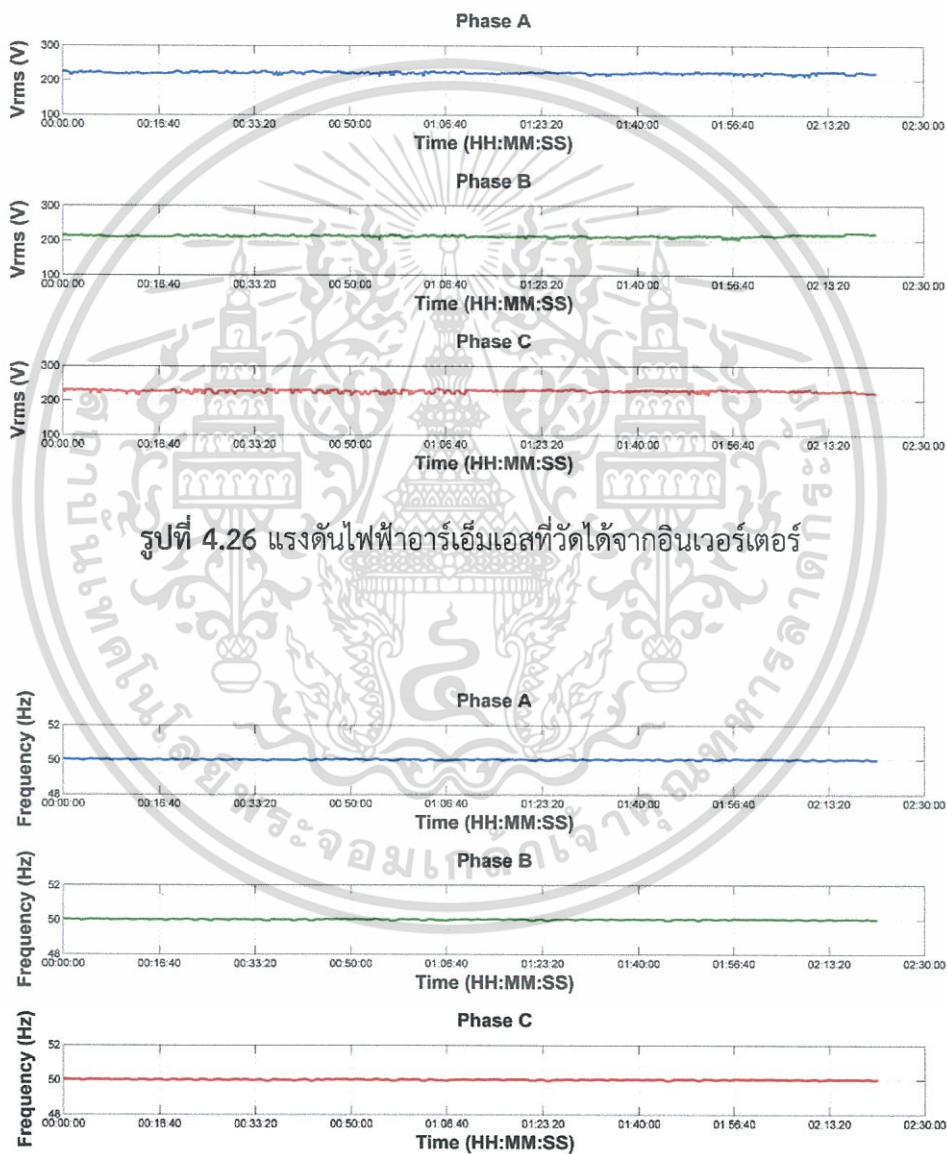
ตารางที่ 4.26 ผลการทดสอบแรงดันและความถี่ใช้งาน

Voltage		ผลการทดสอบ	Frequency		ผลการทดสอบ
V _{AN}	221.2818 V	✓	Freq-A	50.02040 Hz	✓
V _{BN}	213.0141 V	✓	Freq-B	50.02042 Hz	✓
V _{CN}	227.6526 V	✓	Freq-C	50.02034 Hz	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vrms A	Freq. VA	Vrms B	Freq. VB	Vrms C	Freq. VC
228.344	49.9973	212.263	50.007	224.747	50.0106
Irms A	Freq. IA	Irms B	Freq. IB	Irms C	Freq. IC
296.772	49.9891	292.653	50.0083	284.517	50.0115

รูปที่ 4.25 หน้า Front Panel ที่ใช้วัดแรงดันและความถี่ทั้งสามเฟส



รูปที่ 4.26 แรงดันไฟฟ้าอาร์เอ็มเอสที่วัดได้จากอินเวอร์เตอร์

รูปที่ 4.27 ความถี่ที่วัดได้จากอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.2 การเข้ากันได้กับระบบโครงข่ายไฟฟ้า (Utility compatibility)

a) ฮาร์โมนิก (Harmonic)

อินเวอร์เตอร์จะต้องไม่สร้างแรงดันและกระแสฮาร์โมนิกจ่ายเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเกินขีดจำกัด ตามตารางที่ 4.27 และตารางที่ 4.28 ทั้งนี้ขีดจำกัดความเพี้ยนแรงดันฮาร์โมนิก (THDv) จะต้องไม่เกิน 4.0 % ของแรงดันพิกัดอินเวอร์เตอร์ และกระแสฮาร์โมนิก (THDi) จะต้องไม่เกิน 5.0 % ของกระแสพิกัดอินเวอร์เตอร์

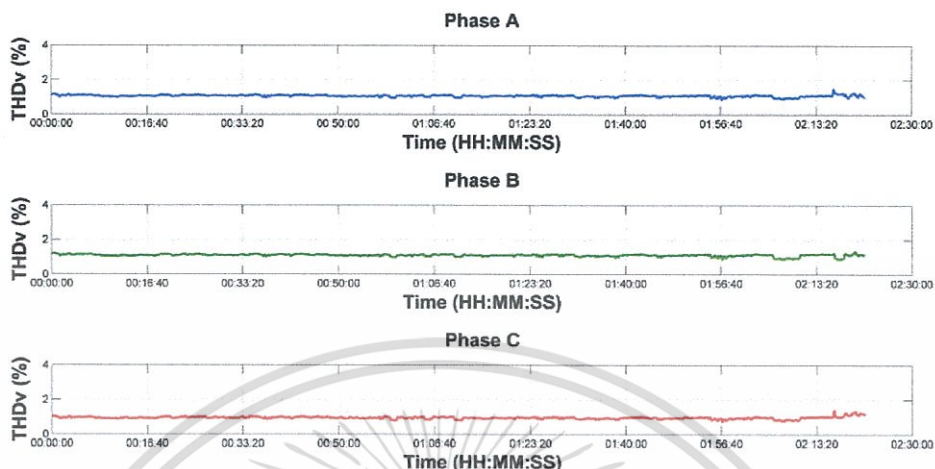
ตารางที่ 4.27 ผลการทดสอบค่าความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์โมนิกรวม (THDv)

THDv	ขีดจำกัด (%)	ผลที่วัดได้			ผลการทดสอบ
		A (%)	B (%)	C (%)	
Total	4	1.109	1.161	1.238	✓
Odd	3	0.652	0.853	0.951	✓
Even	1.75	0.615	0.528	0.641	✓

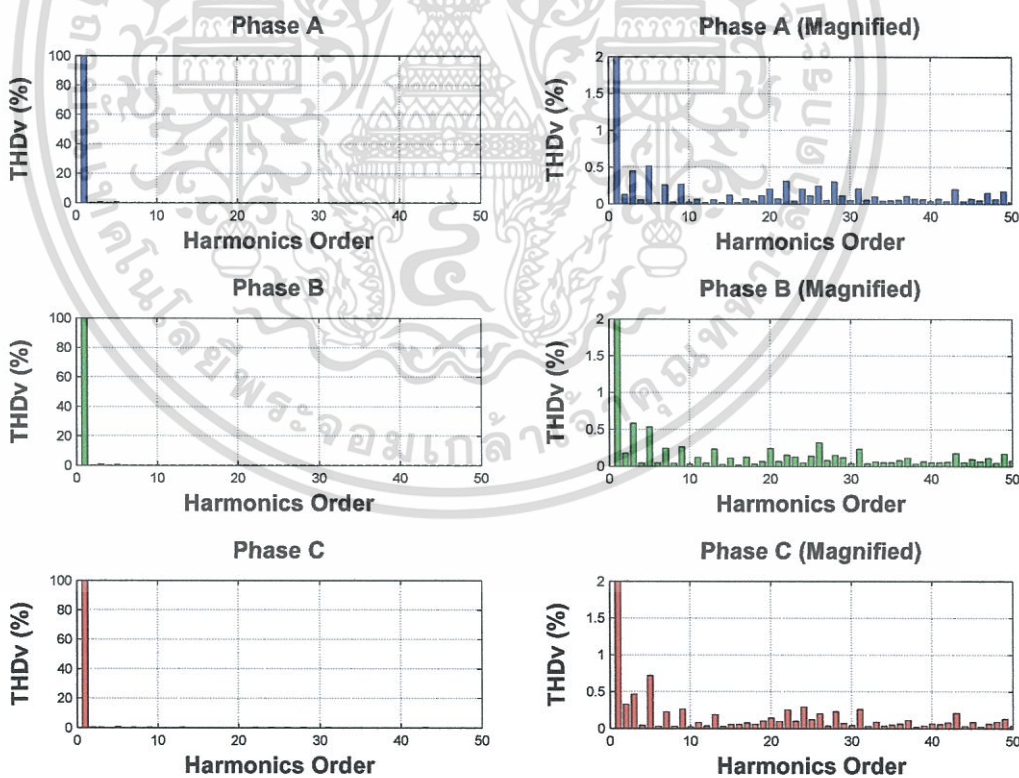
ตารางที่ 4.28 ผลการทดสอบค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์โมนิกรวม (THDi)

ลำดับฮาร์โมนิก	ขีดจำกัด (%)	ผลที่วัดได้			ผลการทดสอบ
		A (%)	B (%)	C (%)	
Total Harmonic Current Distortion (THDi)					
	5.0	1.689	1.852	2.038	✓
Odd Harmonics					
3-9	4.0	1.528	1.646	1.705	✓
11-15	2.0	0.072	0.111	0.097	✓
17-21	1.5	0.150	0.128	0.117	✓
23-33	0.6	0.046	0.046	0.046	✓
Even Harmonics					
2-8	1.0	0.692	0.823	1.000	✓
10-32	0.5	0.073	0.075	0.072	✓

จากตารางที่ 4.27 และ 4.28 จะพบว่าค่าความผิดเพี้ยนฮาร์โมนิกรวมทั้งแรงดันและกระแสมีค่าไม่เกินพิกัดตามที่ กฟผ ได้กำหนดไว้ รูปที่ 4.28 และ 4.30 แสดงค่าความผิดเพี้ยนแรงดันและกระแสฮาร์โมนิกรวม ตามที่โปรแกรมได้บันทึกไว้ โดยตั้งค่าให้บันทึกค่าทุกๆ 30 วินาที เป็นระยะเวลา 140 นาที รูปที่ 4.29 และ 4.31 แสดงสเปกตรัมของส่วนประกอบแรงดันและกระแสฮาร์โมนิก

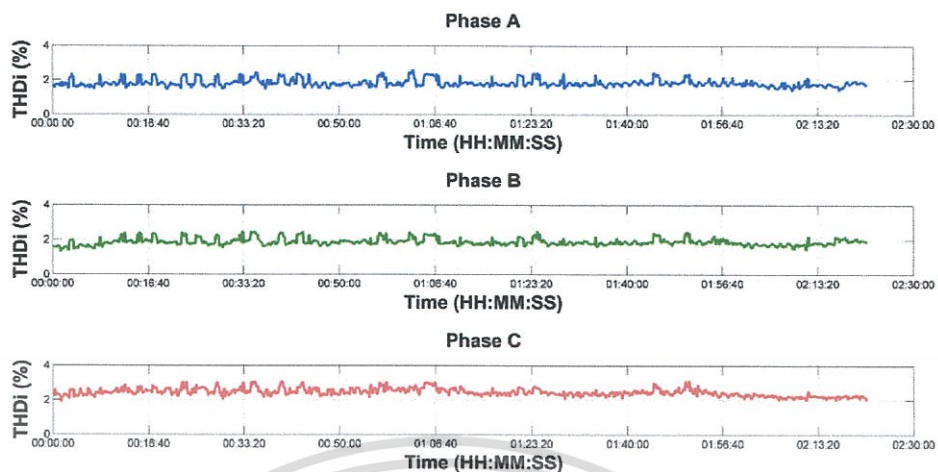


รูปที่ 4.28 ค่าความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์โมนิกรวม (THDv) ที่วัดได้จากอินเวอร์เตอร์

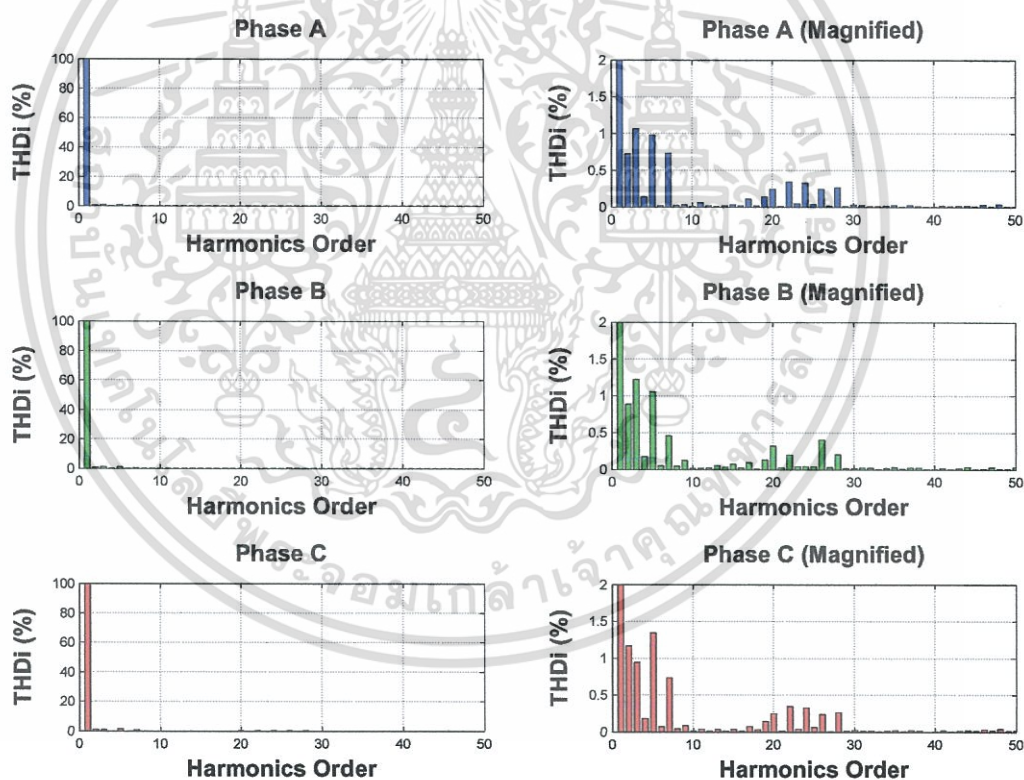


รูปที่ 4.29 สเปกตรัมของส่วนประกอบแรงดันฮาร์โมนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 ค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์โมนิกรวม ($THDi$) ที่วัดได้จากอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 4.31 สเปกตรัมของส่วนประกอบกระแสฮาร์โมนิก

ตารางที่ 4.29 และ 4.30 แสดงค่าความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์โมนิกรวม ($THDv$) และค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์โมนิกรวม ($THDi$) ลำดับที่ 0 ถึง 50 ตามที่โปรแกรมได้ตั้งค่าไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.29 ค่าความผิดเพี้ยนแรงดันฮาร์โมนิกรวม (THDv) ลำดับที่ 0 ถึง 50

Phase A THDv = 1.109 % Fundamental voltage = 222.3529 V		Phase B THDv = 1.161 % Fundamental voltage = 220.5696 V		Phase C THDv = 1.238 % Fundamental voltage = 223.714 V	
Order	%	Order	%	Order	%
0	-0.059	0	-0.034	0	-0.044
1	99.994	1	99.993	1	99.992
2	0.126	2	0.178	2	0.326
3	0.447	3	0.585	3	0.467
4	0.053	4	0.041	4	0.041
5	0.518	5	0.533	5	0.719
6	0.017	6	0.047	6	0.030
7	0.259	7	0.241	7	0.227
8	0.024	8	0.037	8	0.030
9	0.270	9	0.261	9	0.262
10	0.029	10	0.026	10	0.024
11	0.060	11	0.119	11	0.084
12	0.016	12	0.042	12	0.036
13	0.055	13	0.230	13	0.189
14	0.017	14	0.024	14	0.029
15	0.118	15	0.113	15	0.057
16	0.020	16	0.017	16	0.055
17	0.071	17	0.121	17	0.077
18	0.038	18	0.027	18	0.060
19	0.111	19	0.063	19	0.104
20	0.205	20	0.239	20	0.144
21	0.068	21	0.062	21	0.096
22	0.308	22	0.152	22	0.255
23	0.041	23	0.126	23	0.099
24	0.204	24	0.046	24	0.292
25	0.113	25	0.137	25	0.123
26	0.248	26	0.319	26	0.201
27	0.048	27	0.078	27	0.034
28	0.301	28	0.147	28	0.227
29	0.113	29	0.116	29	0.072
30	0.049	30	0.036	30	0.044
31	0.207	31	0.233	31	0.256
32	0.054	32	0.036	32	0.031
33	0.099	33	0.061	33	0.089
34	0.042	34	0.050	34	0.036
35	0.045	35	0.049	35	0.048
36	0.054	36	0.080	36	0.062
37	0.105	37	0.112	37	0.112
38	0.072	38	0.031	38	0.019
39	0.060	39	0.066	39	0.038
40	0.035	40	0.048	40	0.068
41	0.066	41	0.049	41	0.057
42	0.035	42	0.058	42	0.081
43	0.201	43	0.173	43	0.207
44	0.034	44	0.052	44	0.032
45	0.069	45	0.094	45	0.087
46	0.044	46	0.064	46	0.020
47	0.150	47	0.112	47	0.064
48	0.064	48	0.047	48	0.089
49	0.173	49	0.171	49	0.130
50	0.026	50	0.075	50	0.035

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

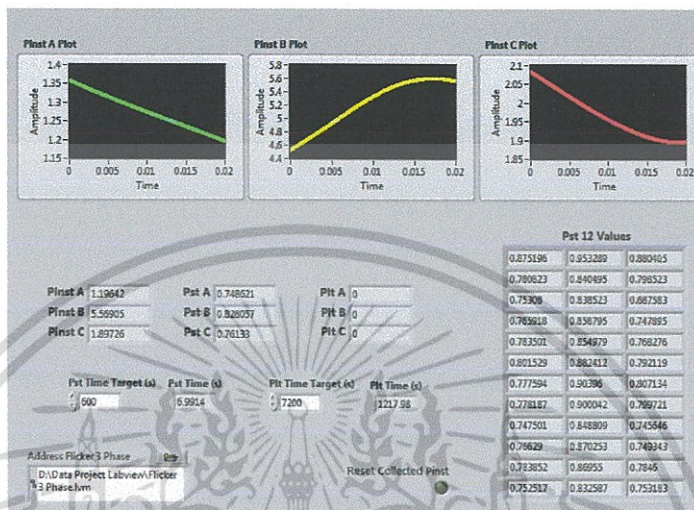
ตารางที่ 4.30 ค่าความผิดเพี้ยนกระแสฮาร์โมนิกรวม (THDi) ลำดับที่ 0 ถึง 50

Phase A THDi = 1.689 % Fundamental current = 293.6981 A		Phase B THDi = 1.852 % Fundamental current = 292.9899 A		Phase C THDi = 2.038 % Fundamental current = 292.0833 A	
Order	%	Order	%	Order	%
0	-0.015	0	-0.022	0	-0.017
1	99.986	1	99.983	1	99.979
2	0.680	2	0.806	2	1.086
3	0.908	3	1.046	3	0.799
4	0.126	4	0.162	4	0.161
5	1.044	5	1.213	5	1.368
6	0.019	6	0.040	6	0.056
7	0.646	7	0.360	7	0.625
8	0.018	8	0.031	8	0.038
9	0.051	9	0.125	9	0.092
10	0.009	10	0.011	10	0.020
11	0.052	11	0.037	11	0.058
12	0.011	12	0.030	12	0.005
13	0.043	13	0.091	13	0.073
14	0.013	14	0.016	14	0.017
15	0.023	15	0.052	15	0.027
16	0.016	16	0.020	16	0.018
17	0.108	17	0.086	17	0.063
18	0.008	18	0.011	18	0.007
19	0.104	19	0.092	19	0.098
20	0.017	20	0.016	20	0.017
21	0.013	21	0.027	21	0.016
22	0.037	22	0.033	22	0.036
23	0.023	23	0.013	23	0.023
24	0.048	24	0.038	24	0.043
25	0.028	25	0.025	25	0.015
26	0.021	26	0.028	26	0.014
27	0.007	27	0.027	27	0.016
28	0.008	28	0.013	28	0.016
29	0.017	29	0.015	29	0.024
30	0.007	30	0.005	30	0.009
31	0.020	31	0.018	31	0.022
32	0.008	32	0.012	32	0.014
33	0.008	33	0.009	33	0.009
34	0.010	34	0.011	34	0.009
35	0.018	35	0.016	35	0.008
36	0.006	36	0.007	36	0.008
37	0.016	37	0.009	37	0.008
38	0.006	38	0.008	38	0.004
39	0.006	39	0.008	39	0.014
40	0.011	40	0.010	40	0.009
41	0.009	41	0.013	41	0.007
42	0.007	42	0.004	42	0.008
43	0.018	43	0.003	43	0.016
44	0.013	44	0.016	44	0.014
45	0.008	45	0.009	45	0.014
46	0.010	46	0.013	46	0.009
47	0.008	47	0.017	47	0.012
48	0.016	48	0.003	48	0.017
49	0.010	49	0.009	49	0.007
50	0.006	50	0.010	50	0.009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b) แรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation)

อินเวอร์เตอร์จะต้องไม่ก่อให้เกิดแรงดันกระเพื่อมเกินขีดจำกัดตามที่กำหนดไว้ คือ $Pst = 1.0$ และ $Plt = 0.8$ ตามมาตรฐานที่ กพท. ได้อ้างถึง คือ PRC/PGQ-02/1998. รูปที่ 4.32 แสดงหน้าจอ Front Panel ขณะทำการวัดแรงดันกระเพื่อม ซึ่งค่าดัชนีไฟกระพริบระยะสั้นและระยะยาวได้แสดงตามตารางที่ 4.31



รูปที่ 4.32 Front Panel ขณะทำการวัดแรงดันกระเพื่อม

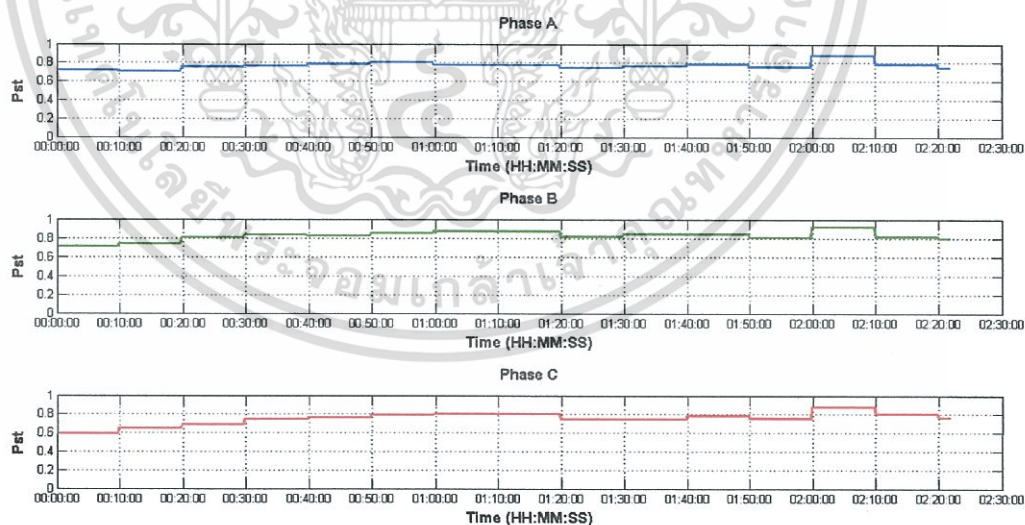
ตารางที่ 4.31 ค่าดัชนีไฟกระพริบที่วัดได้

พารามิเตอร์ที่วัด	ผลการทดสอบ
Pst-Max = 0.923289	✓
Plt-Max = 0.787936	✓

เนื่องจากในการคำนวณหาค่า Plt จำเป็นต้องใช้ค่า Pst อย่างน้อย 12 ค่า ตามที่ได้กล่าวไว้ในบทฤษฎี ทำให้ต้องทำการวัดแบบต่อเนื่องอย่างน้อย 2 ชั่วโมง ซึ่งการทดสอบครั้งนี้เราได้บันทึกผลทั้งหมดเป็นระยะเวลา 140 นาที ทำให้ได้ค่า Pst ทั้งหมด 15 ค่า เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการวัดค่า Plt โดยค่า Pst ทั้งหมดที่วัดได้แสดงตามตารางที่ 4.32 และรูปที่ 4.33 แสดงการพล็อตกราฟของดัชนีไฟกระพริบระยะสั้น

ตารางที่ 4.32 ค่าดัชนีไฟกระพริบระยะสั้นที่วัดได้

ลำดับที่	ค่า P_{st}		
	A	B	C
1	0.713071	0.713557	0.594461
2	0.711079	0.739709	0.649592
3	0.753080	0.808523	0.687583
4	0.765918	0.828795	0.747895
5	0.783501	0.824979	0.768276
6	0.801529	0.852412	0.792119
7	0.777594	0.873960	0.807134
8	0.778187	0.870042	0.799721
9	0.747501	0.818809	0.745646
10	0.766290	0.847025	0.749343
11	0.783852	0.839550	0.784600
12	0.752517	0.802587	0.753183
13	0.875196	0.923289	0.880405
14	0.780823	0.810495	0.798523
15	0.748621	0.798057	0.761330



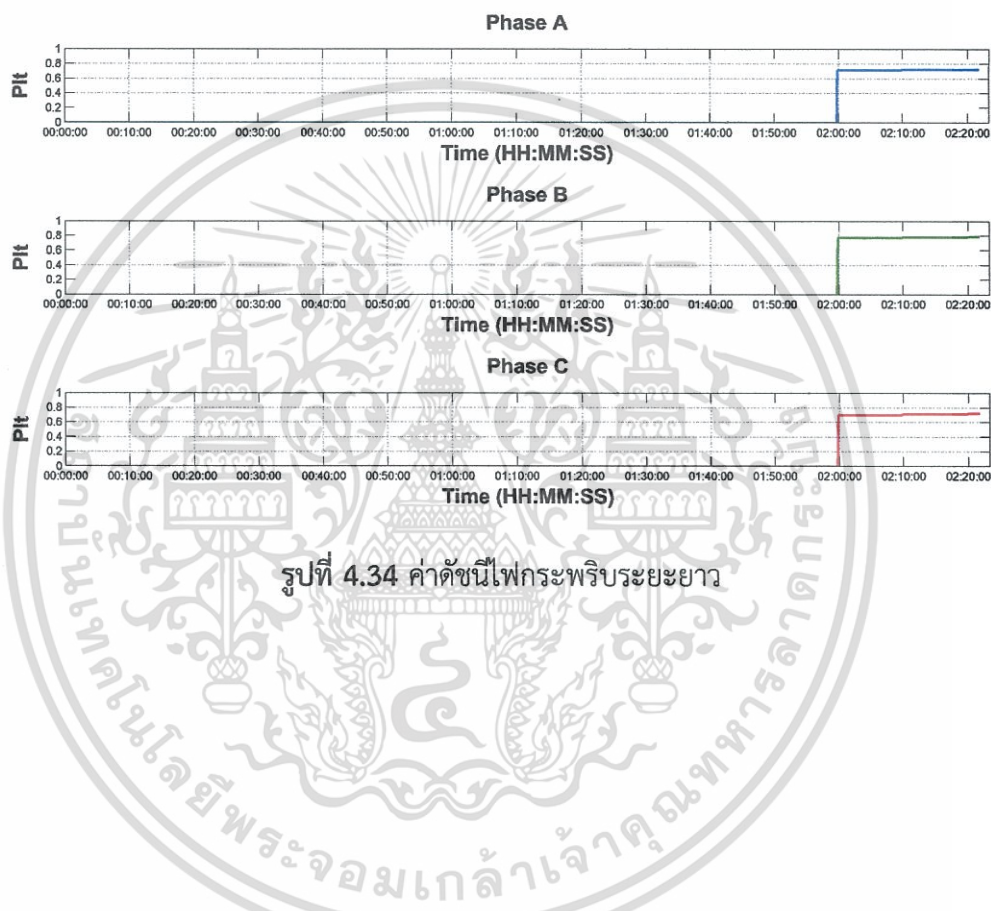
รูปที่ 4.33 ค่าดัชนีไฟกระพริบระยะสั้น

เมื่อได้ดัชนีไฟกระพริบระยะสั้นแล้ว ก็นำมาคำนวณหาค่าดัชนีไฟกระพริบระยะยาวตามสูตรที่ได้กล่าวไว้ในบททฤษฎี ซึ่งในการทดลองนี้มีค่า P_{st} 15 ค่า เราจึงสามารถคำนวณค่า P_{lt} ได้ทั้งหมด 3 ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.33 ค่าดัชนีไฟกระพริบระยะยาวที่วัดได้

ลำดับที่	ค่า Plt		
	A	B	C
1	0.715933	0.772389	0.696278
2	0.722327	0.782882	0.711577
3	0.725855	0.787936	0.719882



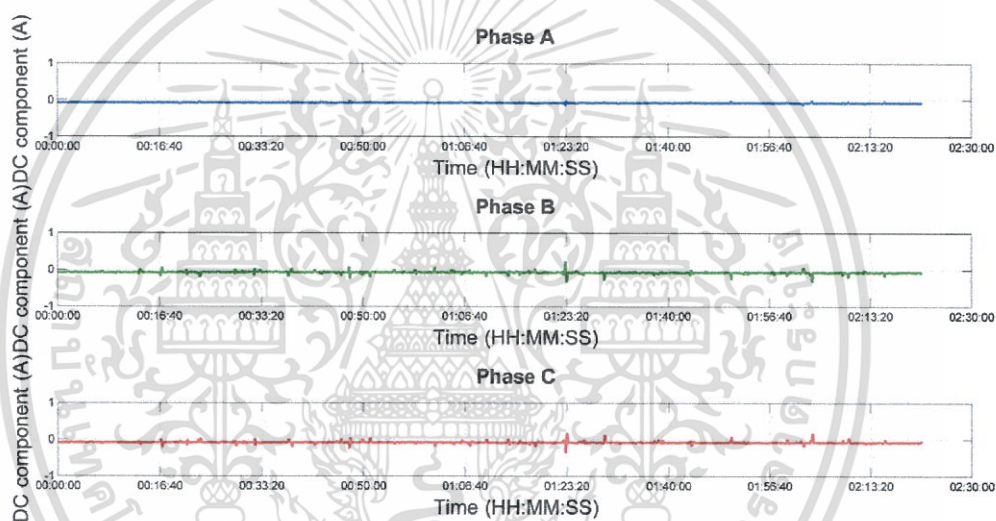
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

c) การจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Injection)

อินเวอร์เตอร์จะต้องไม่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเกินกว่า 0.5 % ของกระแสฟลักอินเวอร์เตอร์

ตารางที่ 4.34 ผลการทดสอบการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

เฟส	ค่าไฟฟ้ากระแสตรง (A)	เทียบกับฟลักอินเวอร์เตอร์ (%)	ผลการทดสอบ
A	-0.0756	0.018 %	✓
B	-0.0759	0.018 %	✓
C	-0.0823	0.019 %	✓

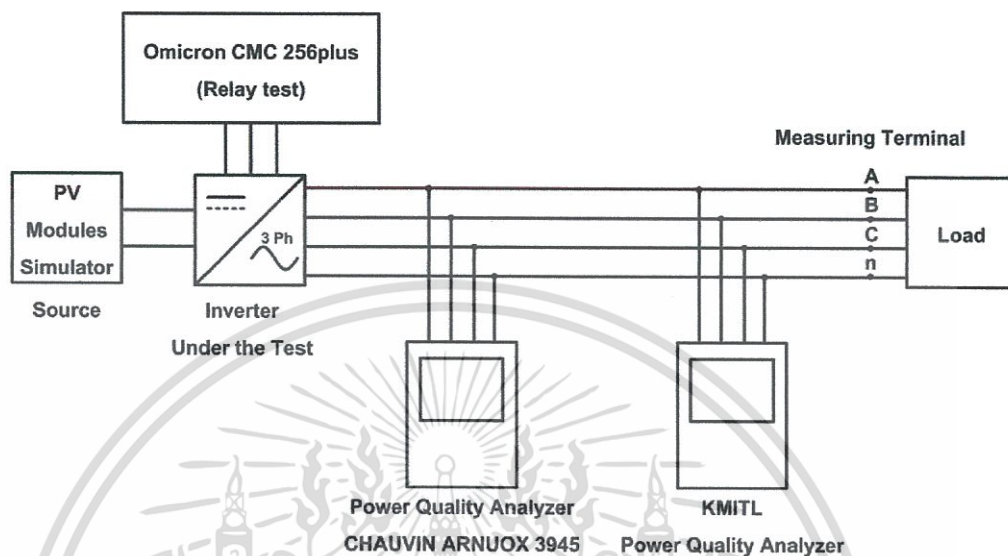


รูปที่ 4.35 ค่าไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.3 ระบบอุปกรณ์ป้องกัน

ทดสอบการป้องกันเมื่ออินเวอร์เตอร์ได้รับความผิดปกติของสัญญาณ โดยใช้ตัว Relay test ของ Omicron CMC 256plus ในการจ่ายสัญญาณผิดปกติเข้าสู่อินเวอร์เตอร์ เพื่อให้รีเลย์ในอินเวอร์เตอร์ทำงานตามเวลาที่ได้กำหนด



รูปที่ 4.36 วงจรการทดสอบอุปกรณ์ป้องกัน

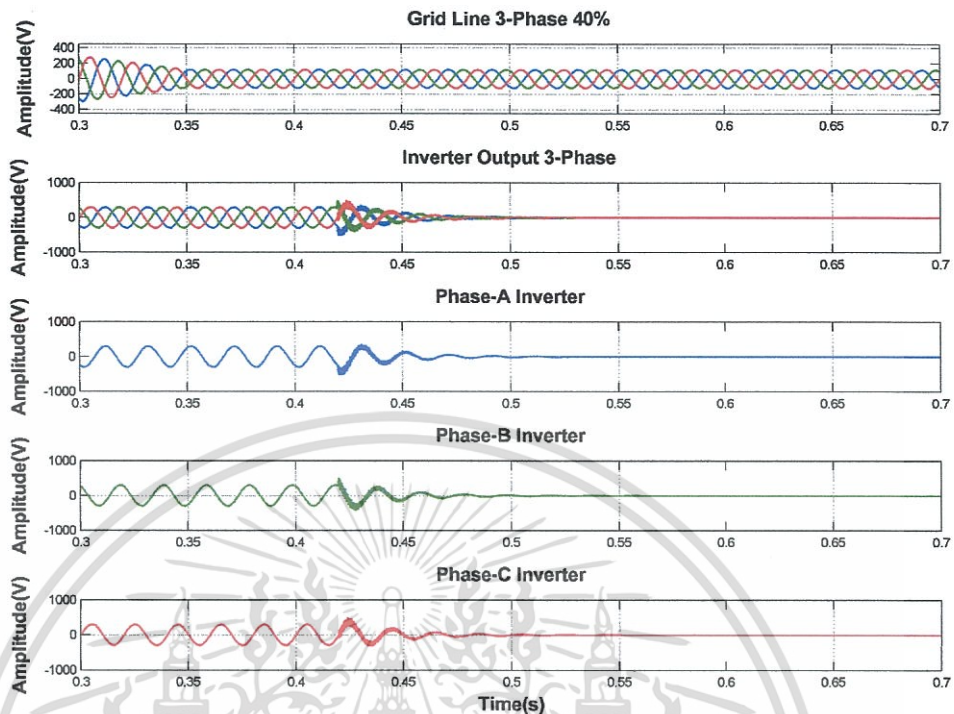
a) การป้องกันแรงดันต่ำและแรงดันเกิน (Under and Over voltage protection)

อินเวอร์เตอร์จะต้องปลดวงจรออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อ มีค่าอยู่ในช่วงที่ระบุไว้ในตารางที่ 4.35 แสดงผลการทดสอบการป้องกันแรงดันต่ำและแรงดันเกิน

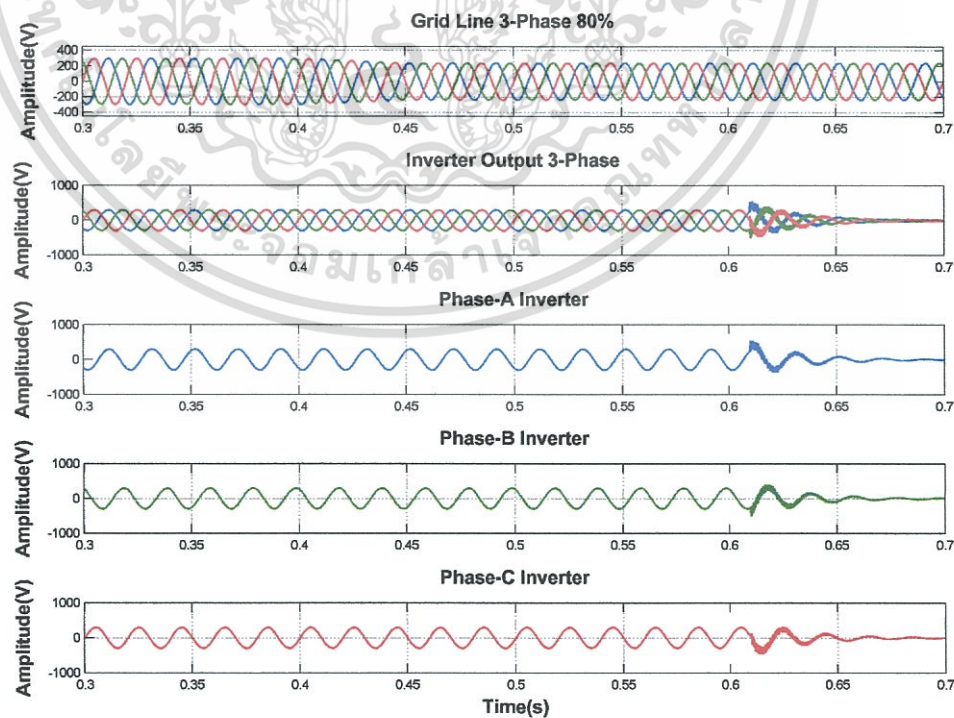
ตารางที่ 4.35 แสดงผลการทดสอบการป้องกันแรงดันต่ำและแรงดันเกิน

แรงดัน	เวลาสูงสุดที่กำหนด (s)	เวลาที่วัดได้ (s)			ผลการทดสอบ
		A	B	C	
$V < 50\%$	0.30	0.065	0.065	0.065	✓
$50\% \leq V \leq 90\%$	2.00	0.160	0.160	0.160	✓
$90\% \leq V \leq 110\%$	ทำงานแบบต่อเนื่อง	ทำงานแบบต่อเนื่อง			✓
$110\% \leq V \leq 120\%$	1.00	0.140	0.140	0.140	✓
$V \geq 120\%$	0.16	0.065	0.065	0.065	✓

รูปที่ 4.37, 4.38, 4.39 และ 4.40 แสดงสัญญาณการปลดวงจรออกจากระบบเมื่อแรงดันต่ำและแรงดันเกิน

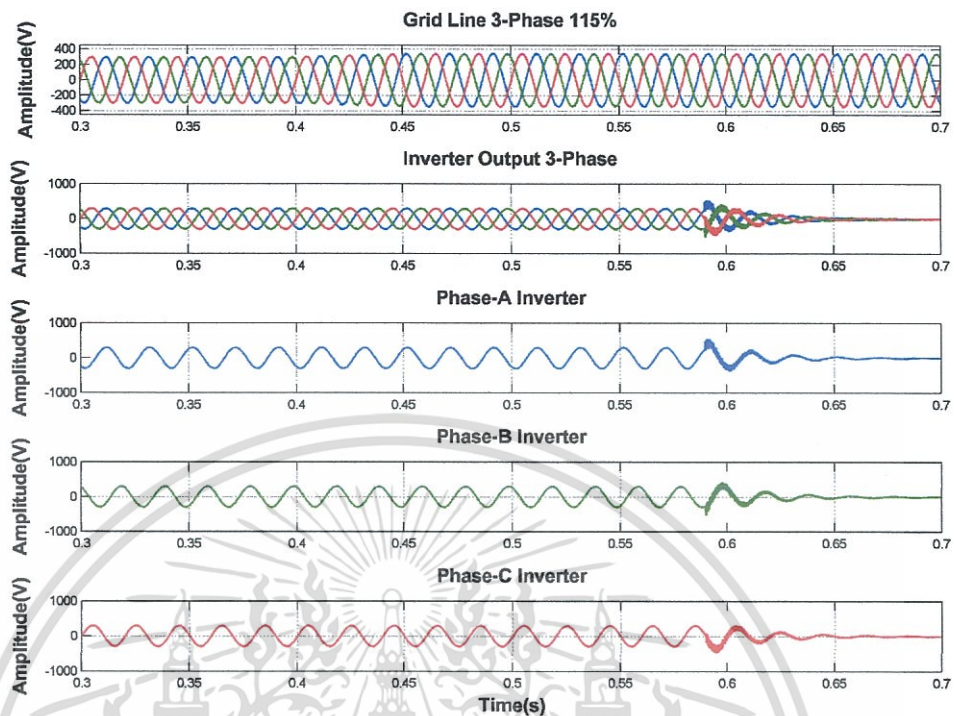


รูปที่ 4.37 การป้องกันแรงดันต่ำ ($V < 50\%$)

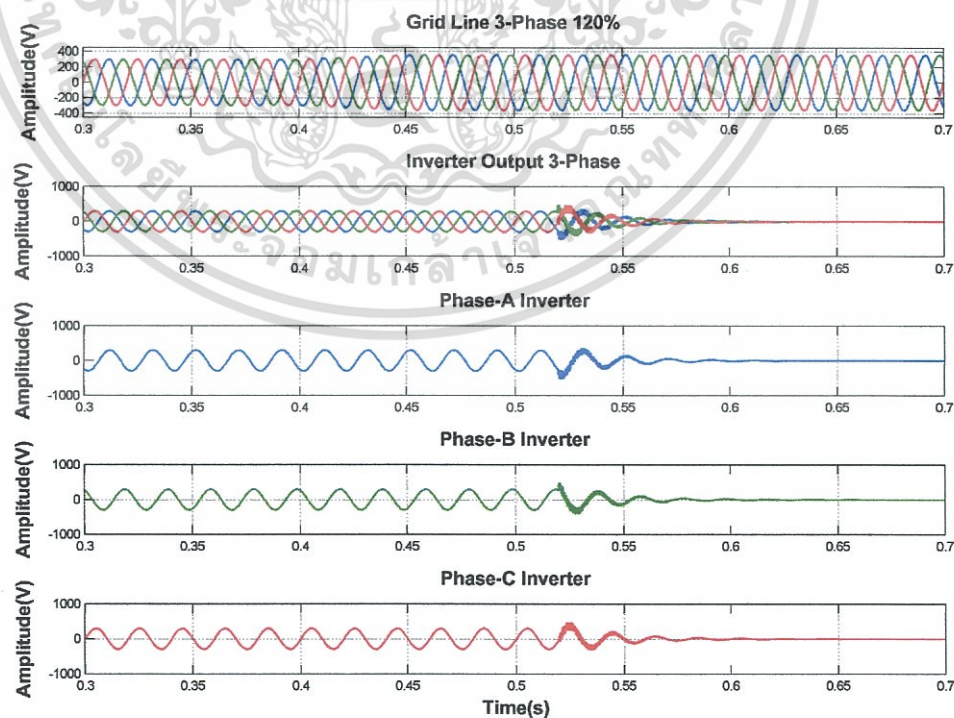


รูปที่ 4.38 การป้องกันแรงดันต่ำ ($50\% \leq V \leq 90\%$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 การป้องกันแรงดันเกิน ($90\% \leq V \leq 110\%$)



รูปที่ 4.40 การป้องกันแรงดันเกิน ($V \geq 120\%$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b) การป้องกันความถี่ต่ำและความถี่เกิน (Under and Over frequency protection)
อินเวอร์เตอร์จะต้องปลดวงจรออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าภายใน 200 มิลลิวินาที
เมื่อความถี่ที่จุดเชื่อมต่อมีค่าไม่อยู่ในช่วง 49.5-50.5 Hz ตารางที่ 4.36 แสดงค่าที่บันทึกได้
จากการทดสอบนี้

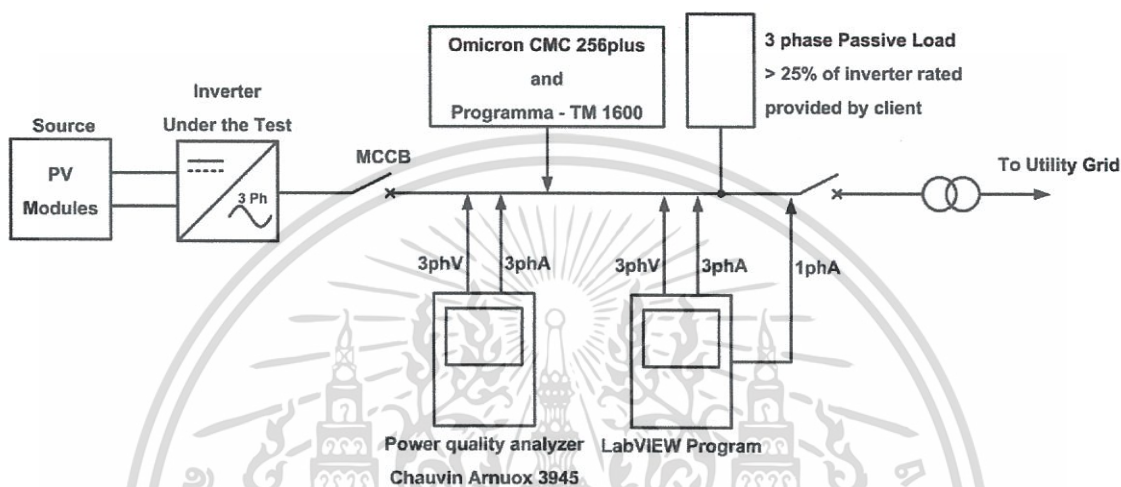
ตารางที่ 4.36 แสดงผลการทดสอบการป้องกันความถี่ต่ำและความถี่เกิน

ความถี่ (Hz)	สถานะใน การ ทดสอบ	เวลาสูงสุด ในการ ปลด (ms)	เวลาในการปลดที่วัดได้ (ms)			ผลการ ทดสอบ
			A	B	C	
47.0	ปลด	200	125	120	120	✓
48.0	ปลด	200	125	120	120	✓
49.0	ปลด	200	125	120	120	✓
49.2	ปลด	200	145	140	140	✓
49.4	ปลด	200	145	140	140	✓
49.6	ทำงาน	ทำงาน	-	-	-	✓
49.8	ทำงาน	ทำงาน	-	-	-	✓
50.0	ทำงาน	ทำงาน	-	-	-	✓
50.2	ทำงาน	ทำงาน	-	-	-	✓
50.4	ทำงาน	ทำงาน	-	-	-	✓
50.6	ปลด	200	145	140	140	✓
50.8	ปลด	200	145	140	140	✓
51.0	ปลด	200	125	120	120	✓
52.0	ปลด	200	125	120	120	✓
53.0	ปลด	200	125	120	120	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

c) การป้องกันการจ่ายไฟฟ้าแบบระบบไฟฟ้าแยกโดด (Anti-Islanding)

เพื่อไม่ให้เกิดการจ่ายไฟฟ้าแบบระบบไฟฟ้าแยกโดดในขณะที่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าไม่มีไฟ ให้อินเวอร์เตอร์ปลดวงจรออกจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าภายในเวลาที่กำหนด โดยแบ่งตามระดับที่เชื่อมต่อกับ ระบบของ กฟผ. เมื่อเกิดสภาวะการจ่ายไฟแบบแยกตัวอิสระควรมีการตัดวงจรภายใน 0.35 วินาที รูปที่ 4.41 เป็นวงจรที่ใช้ทดสอบการป้องกันการจ่ายไฟฟ้าแบบระบบไฟฟ้าแยกโดด ตารางที่ 4.37 แสดงผลที่วัดได้จากการทดสอบนี้ และรูปที่ 4.42 แสดงสัญญาณที่วัดได้

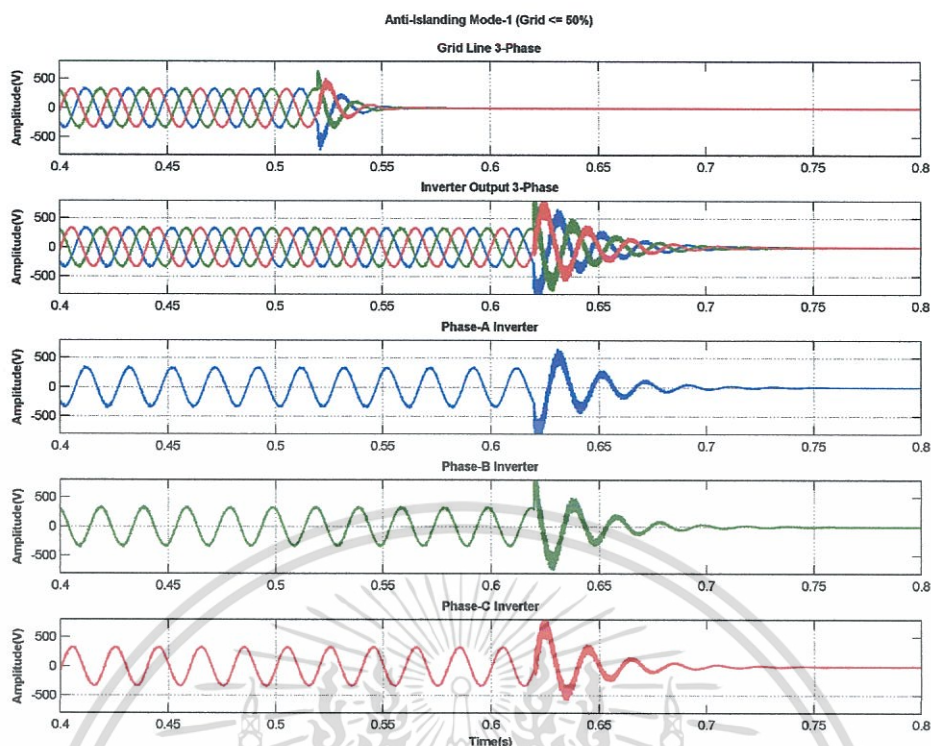


รูปที่ 4.41 วงจรการทดสอบการป้องกันการจ่ายไฟฟ้าแบบระบบไฟฟ้าแยกโดด

ตารางที่ 4.37 แสดงผลการทดสอบการป้องกันการจ่ายไฟฟ้าแบบระบบไฟฟ้าแยกโดด

ระดับแรงดัน	เวลาสูงสุดในการปลด (s)	เวลาที่วัดได้ (s)			ผลการทดสอบ
		A	B	C	
22 kV	0.35	0.100	0.100	0.100	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.42 สัญญาณในการทดสอบการป้องกันการจ่ายไฟฟ้าแบบระบบไฟฟ้าแยกโดด

d) การเชื่อมต่อกลับคืนเข้าสู่ระบบโครงข่าย (Response to utility recovery)

ภายหลังจากที่อินเวอร์เตอร์ปลดวงจร เนื่องจากเกิดไฟฟ้าดับหรือแรงดันและความถี่ไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด เมื่อระบบโครงข่ายไฟฟ้ากลับเข้าสู่ภาวะปกติแล้ว อินเวอร์เตอร์จะต้องหน่วงเวลาการเชื่อมต่อกลับเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นเวลาอย่างน้อย 3 นาที ซึ่งผลที่วัดได้แสดงในตารางที่ 4.38

ตารางที่ 4.38 แสดงผลการทดสอบการเชื่อมต่อกลับคืนเข้าสู่ระบบโครงข่าย

เวลาอย่างน้อยที่กำหนด (นาที)	เวลาที่ตั้งที่อินเวอร์เตอร์ (นาที)	เวลาที่วัดได้ (นาที)	ผลการทดสอบ
3	3	3 min 2 sec	✓
3	5	5 min 1 sec	✓
3	10	10 min 4 sec	✓

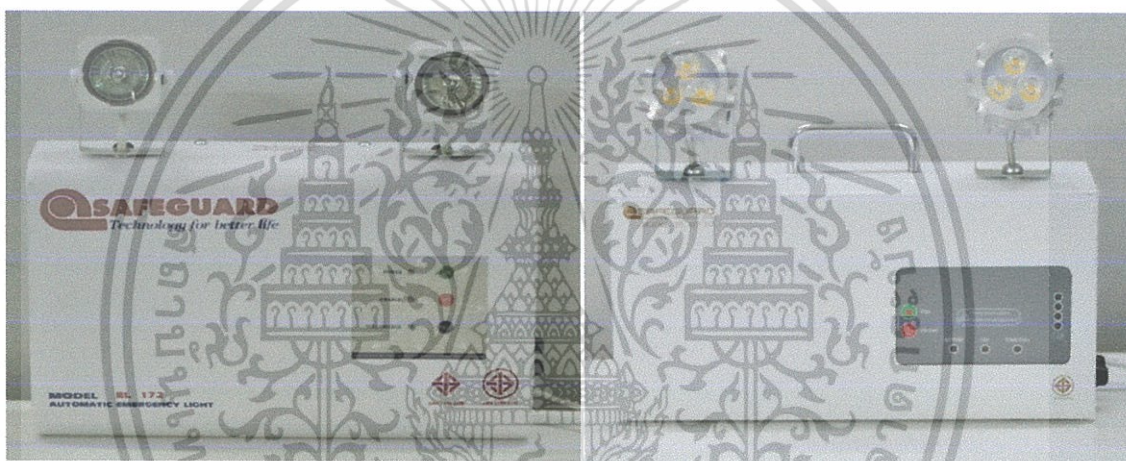
จากการทดสอบการวัดพารามิเตอร์คุณภาพไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ขนาด 250 kW แสดงให้เห็นถึงความสามารถของเครื่องมือวัดว่ามีประสิทธิภาพครอบคลุมกับความต้องการในการวัดเพื่อตรวจคุณภาพทางไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ และมีศักยภาพเทียบเท่ากับเครื่องมือวัดที่มีราคาสูงในปัจจุบัน

4.3.3 ทดสอบกับการวัดอุปกรณ์ทางไฟฟ้าต่างๆ

นอกจากนี้ชุดอุปกรณ์นี้ยังสามารถวัดคุณสมบัติของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าประเภทต่างๆ ยกตัวอย่าง เช่น เครื่องสำรองไฟ และหลอดไฟ LED ซึ่งทางห้องปฏิบัติการ ESIRC ได้ทำการทดสอบว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านั้นเป็นไปตามคุณสมบัติที่ได้กล่าวมาหรือไม่ เพื่อรองรับความถูกต้องของเครื่องสำรองไฟ โดยทำการตรวจวัดระยะเวลาการทำงานของเครื่องสำรองไฟในแต่ละรุ่น

- เครื่องสำรองไฟ LED (EMERGENCY LIGHT SAFEGUARD TEST REPORT)

ทำการทดสอบเครื่องสำรองไฟของบริษัท SAFEGUARD เพื่อตรวจสอบว่า เครื่องสำรองไฟที่เปลี่ยนหลอดมาใช้เป็นหลอด LED สามารถส่องสว่างได้นานตามรุ่นที่บอกหรือไม่ ซึ่งได้มีการนำเครื่องสำรองไฟรุ่นเก่าที่เป็นหลอดฮาโลเจน ดังรูปที่ 4.43 (ก) มาเปรียบเทียบกับ เครื่องสำรองไฟรุ่นใหม่ ที่เปลี่ยนเป็น LED ถึง 3 รุ่น ดังรูปที่ 4.43 (ข), 4.43 (ค) และ 4.43 (ง) โดยหลอดไฟจะมีโวลต์ที่แตกต่างกันคือ 100 โวลต์, 6 โวลต์, 18 โวลต์ และ 24 โวลต์ ตามลำดับ



(ก). EL172P – Dichoric Halogen 2x50W

(ข). IPL127-212 LED – LED NICHIA 2x3W



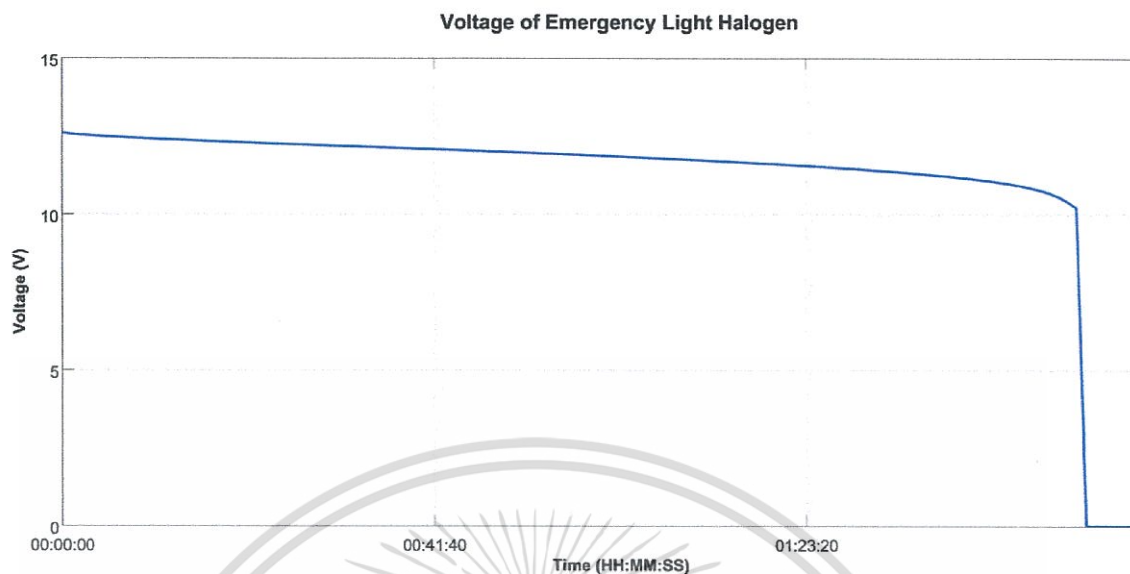
(ค). IPL127-212 LED – LED NICHIA 2x9W

(ง). IPL127-212 LED – LED NICHIA 2x12W

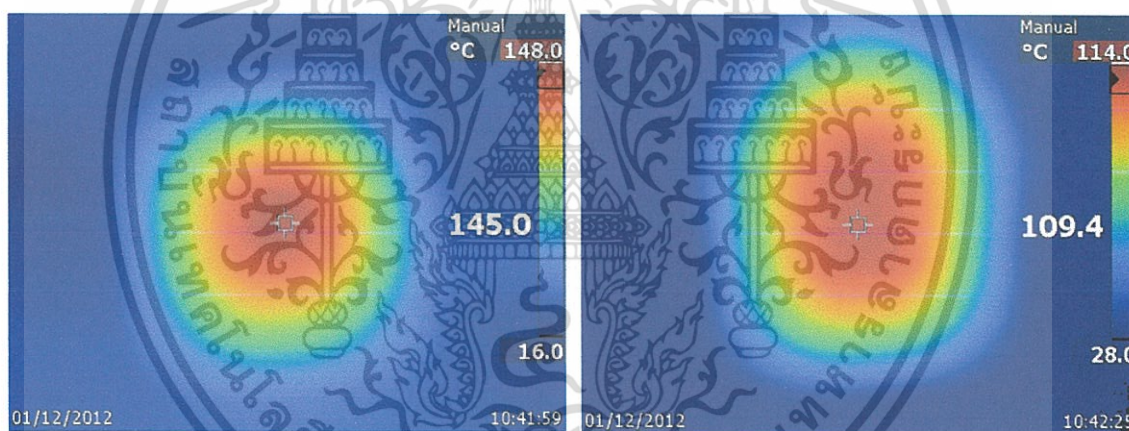
รูปที่ 4.43 โมเดลของไฟสำรองในแต่ละรุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I. Emergency light SAFEGUARD model EL172P – Dichoric Halogen 2x50W Duration 2 hrs.



รูปที่ 4.44 ช่วงเวลาในการส่องสว่างแบบต่อเนื่องของรุ่น Dichoric Halogen 2x50W



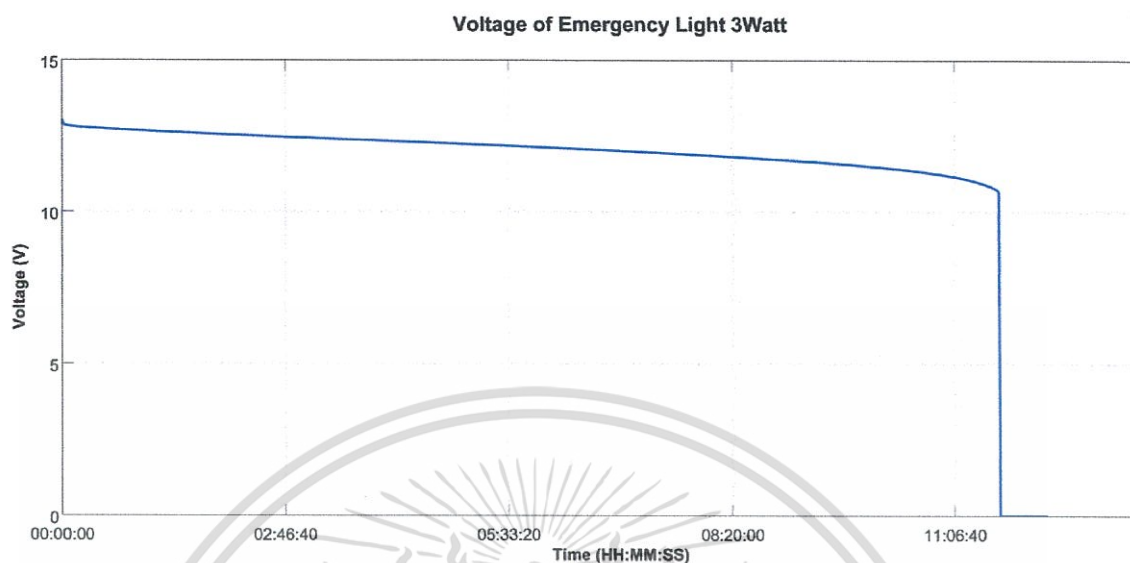
รูปที่ 4.45 ภาพถ่ายการวัดอุณหภูมิจากเครื่อง Fluke Ti10 Thermal Imager



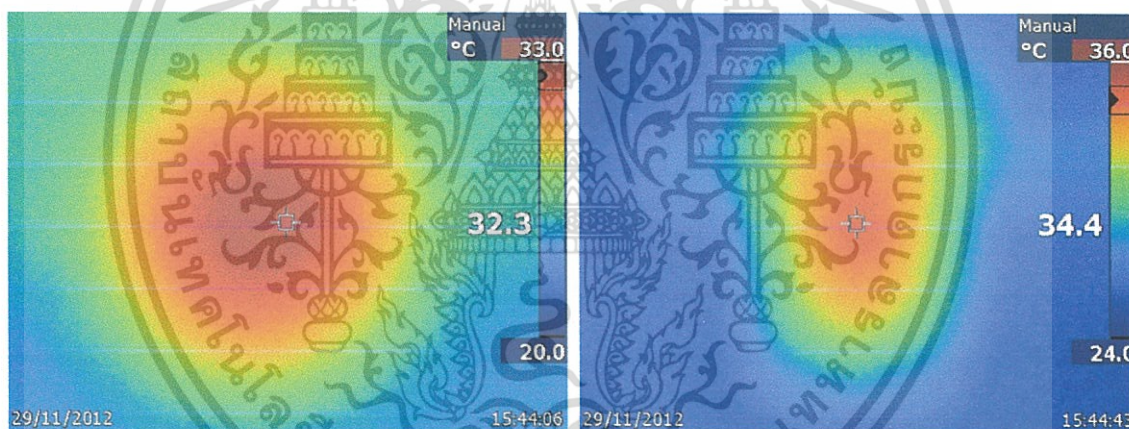
รูปที่ 4.46 ด้านหน้าและด้านหลังของหลอดไฟรุ่น Dichoric Halogen 2x50W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

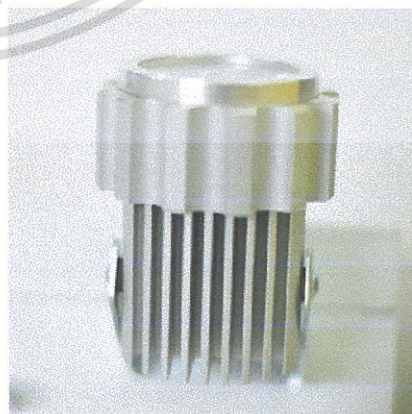
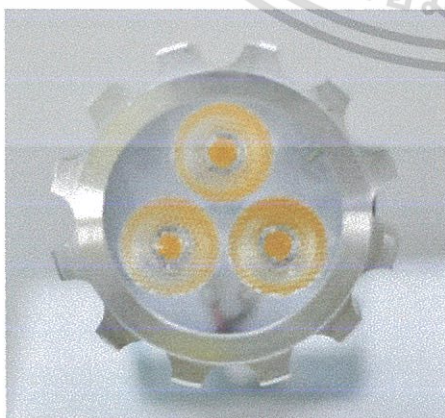
II. Emergency light SAFEGUARD model IPL127-212 LED – LED NICHIA 2x3W Duration 12 hrs.



รูปที่ 4.47 ช่วงเวลาในการส่องสว่างแบบต่อเนื่องของรุ่น LED NICHIA 2x3W



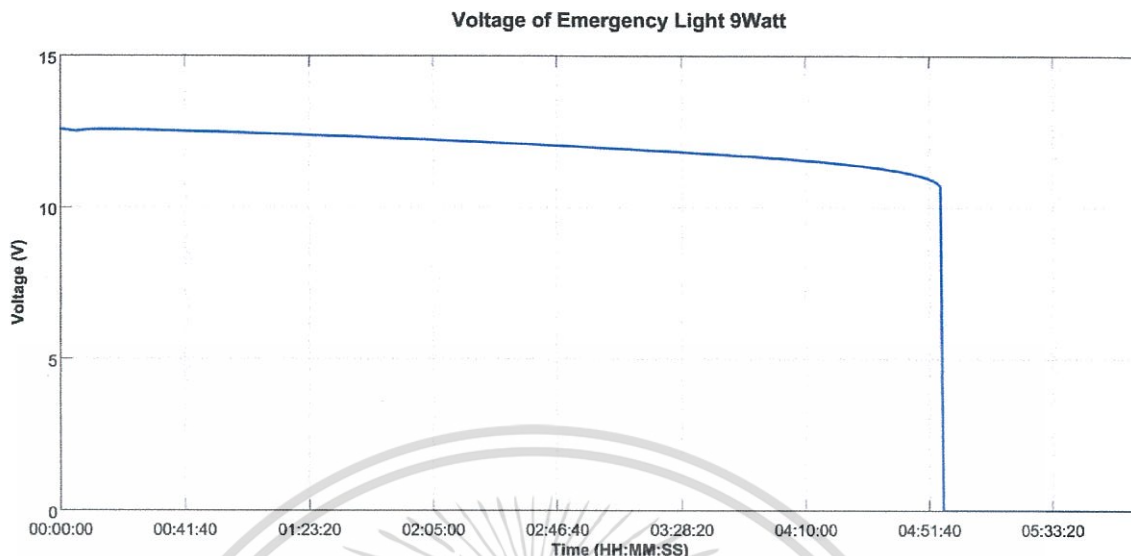
รูปที่ 4.48 ภาพถ่ายภาพความร้อนจากเครื่อง Fluke Ti10 Thermal Imager



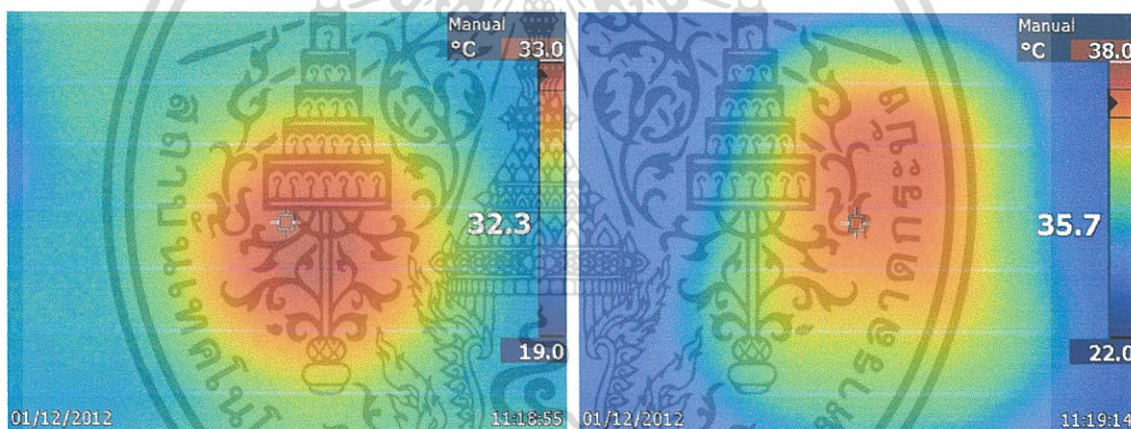
รูปที่ 4.49 ด้านหน้าและด้านหลังของหลอดไฟรุ่น LED NICHIA 2x3W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

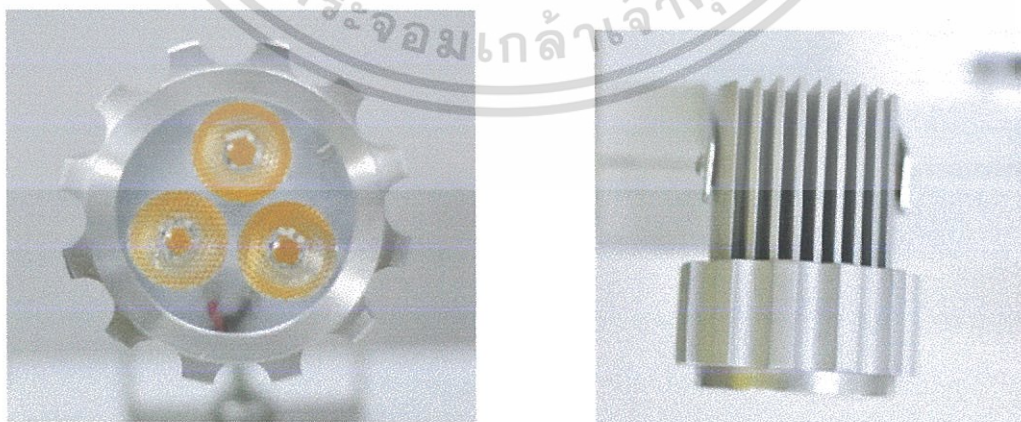
III. Emergency light SAFEGUARD model IPL127-212 LED – LED NICHIA 2x9W Duration 4 hrs.



รูปที่ 4.50 ช่วงเวลาในการส่องสว่างแบบต่อเนื่องของรุ่น LED NICHIA 2x9W



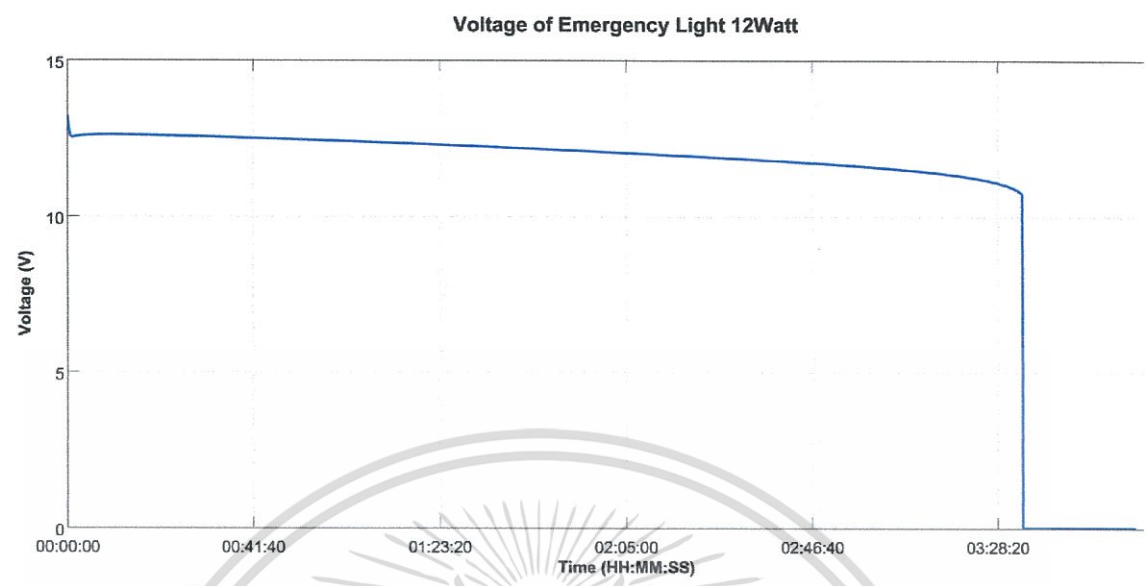
รูปที่ 4.51 ภาพถ่ายการวัดอุณหภูมิจากเครื่อง Fluke Ti10 Thermal Imager



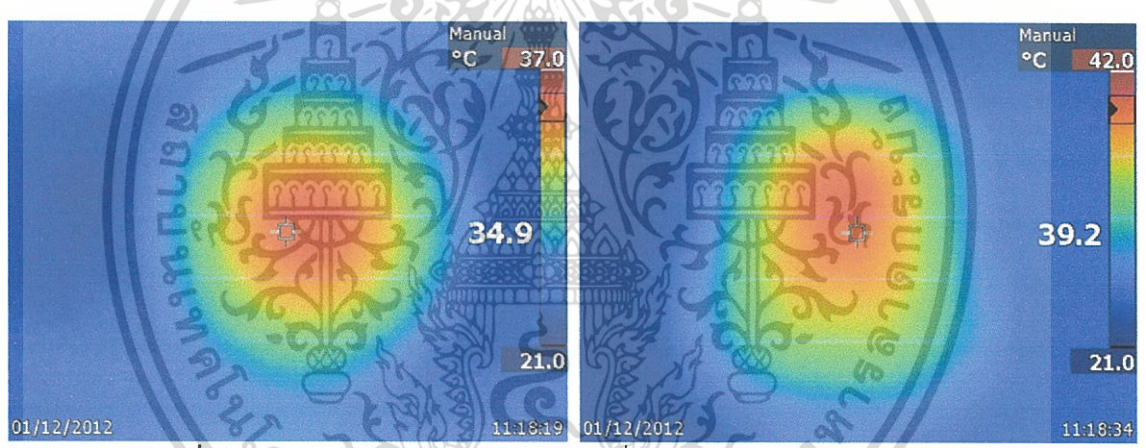
รูปที่ 4.52 ด้านหน้าและด้านหลังของหลอดไฟรุ่น LED NICHIA 2x9W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IV. Emergency light SAFEGUARD model IPL127-212 LED – LED NICHIA 2x12W Duration 3 hrs.



รูปที่ 4.53 ช่วงเวลาในการส่องสว่างแบบต่อเนื่องของรุ่น LED NICHIA 2x12W



รูปที่ 4.54 ภาพถ่ายการวัดอุณหภูมิจากเครื่อง Fluke Ti10 Thermal Imager



รูปที่ 4.55 ด้านหน้าและด้านหลังของหลอดไฟรุ่น LED NICHIA 2x12W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบจะพบว่าเครื่องส่องไฟแต่ละรุ่น สามารถส่องสว่างได้ตามที่ได้กำหนดไว้ตามตารางที่ 4.39

ตารางที่ 4.39 ผลการทดสอบเครื่องส่องไฟ

ชื่อรุ่น เครื่องส่องไฟ	ระยะเวลาที่เครื่อง กำหนดไว้ (Hrs.)	ระยะเวลาในการส่อง สว่าง (Hrs.)	ผลการทดสอบ
Dichoric Halogen 2x50W	02:00:00	01:53:00	ใกล้เคียง
LED NICHIA 2x3W	12:00:00	11:50:40	ใกล้เคียง
LED NICHIA 2x9W	4:00:00	04:57:13	✓
LED NICHIA 2x12W	3:00:00	03:36:20	✓

จากการทดสอบนี้จะเห็นได้ว่าชุดอุปกรณ์สามารถนำไปประยุกต์ หรือเพิ่มเติมความสามารถต่างๆ ให้กับเครื่องมือวัดได้ ยกตัวอย่างเช่น การวัดระยะเวลาการทำงาน, อุณหภูมิ, ความเข้มแสง, ความเร็วของลม และทิศทางของลม ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าจะนำไปพัฒนาโปรแกรมต่อไปในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การเปรียบเทียบชุดอุปกรณ์กับเครื่องวัดทางไฟฟ้าชนิดอื่นๆ

จากผลการทดลองทั้งหมดตามที่ได้ทำการวัดคุณภาพทางไฟฟ้า จะพบว่าชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า 3 เฟสตามที่ได้นำเสนอ สามารถทำงานได้เป็นอย่างดี และค่าพารามิเตอร์ที่บันทึกได้ก็ยังมีค่าใกล้เคียงกับอุปกรณ์วัดที่ใช้อยู่ทั่วไปซึ่งมีความน่าเชื่อถือ ดังนั้นชุดอุปกรณ์นี้จึงเหมาะที่จะนำมาใช้แทนอุปกรณ์วัดแบบเดิมเนื่องจากมีข้อดีที่เหนือกว่า โดยสามารถแสดงตารางการเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียระหว่างชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า 3 เฟสโดยใช้โปรแกรมแลปวิวกับเครื่องวัดชนิดอื่นๆ สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 4.40 ซึ่งเห็นได้ว่าชุดอุปกรณ์ที่ได้นำเสนอนี้ ไม่เพียงแต่มีความสามารถในการวัดคุณภาพทางไฟฟ้าครบตามมาตรฐาน แต่ยังมีคุณสมบัติช่วยในการเพิ่มความสามารถใหม่ ได้ในอนาคต

ตารางที่ 4.40 เปรียบเทียบความสามารถในการวัดทางไฟฟ้าระหว่างชุดอุปกรณ์ที่ได้นำเสนอ กับเครื่องวัดทางไฟฟ้าชนิดอื่น

No.	Desired Capabilities	Proposed SRPA	Power Meter PX 120	Power Analyzer Fluke-43B	Yokogawa DLM2054	PQ Analyzer Chauvin P3945
1.	Basic Parameter Measurement					
	Numerical: V, I, S, P, Q, PF, Freq	✓	✓	✓	✓	✓
	Power Consumption (kWhr)	✓	○	○	○	○
	Waveform Capturing: V, I, Faults	✓	○	○	○	○
	Continuous Measurement	✓	○	✓	○	✓
	Data Storage	✓	○	✓	✓	✓
2.	Power Quality Measurement and Faults Detection					
	THD _v , THD _i	✓	○	✓	○	✓
	Flickers : P _{inst} , P _{st} , P _{lt}	✓	○	○	○	✓
	Frequency Fluctuation Detection	✓	○	○	○	○
	Voltage Fluctuation Detection	✓	○	○	○	○
	Voltage Unbalance Detection	✓	○	○	○	○
	Symmetrical Component	✓	○	○	○	✓
	Transient Voltage and Current	✓	○	○	○	○
3.	Special Features					
	Automatic Fault Events Record	✓	○	○	○	✓
	Automatic Fault Data and multi-cycles waveform Record	✓	○	○	○	○
	Customizable Features	✓	○	✓	○	○
	Networking support	✓	○	○	○	○
	On-line Monitoring	✓	○	○	○	○

** ✓ = สามารถทำได้, ○ = สามารถทำได้ในทางอ้อมโดยการคำนวณด้วยมือหรือใช้โปรแกรมเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นก็นำไปเปรียบเทียบจุดเด่นอื่นๆ กับเครื่องวัดที่ใช้เปรียบเทียบซึ่งในที่นี้จะใช้เครื่อง Dranetz-BMI PX5-Xfast และ Fluke 43B โดยจะเปรียบเทียบทั้ง ราคา, อัตราการสุ่ม รวมถึงจุดเด่นต่างๆ ของแต่ละเครื่องวัด ดังตารางที่ 4.41

ตารางที่ 4.41 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียระหว่าง DAQ and LabVIEW กับ เครื่องวัดทางไฟฟ้าชนิดอื่น

หัวข้อ	Dranetz-BMI PX5-Xfast	Fluke 43B	DAQ and LabVIEW
1. ราคาของชุดอุปกรณ์	400,000 Bth	170,000 Bth	65,000 Bth
2. อัตราการสุ่ม (Sampling Rate)	1,000,000 S/s	5,000,000 S/s	400,000 S/s
3. การบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่อง	ทำได้ (ขึ้นกับ Data Card)	ทำได้ (ขึ้นกับความจุ Harddisk)	ทำได้ (ขึ้นกับความจุ Harddisk)
4. การบันทึกข้อมูลกรณีเกิดความผิดปกติทางไฟฟ้า	ทำได้	ทำไม่ได้	ทำได้
5. การควบคุมระยะไกล	ทำไม่ได้	ทำไม่ได้	ทำได้
6. ความยืดหยุ่นในการใช้งาน	จำกัด	จำกัด	ไม่จำกัด
7. ค่าความแม่นยำในการวัด	แม่นยำสูง	แม่นยำสูง	แม่นยำ

โดยมีรูปของเครื่องมือวัดแต่ละชนิดที่นำมาเทียบแสดงดังรูปที่ 4.55



รูปที่ 4.56 แสดงเครื่องวัด

(ก) Dranetz-BMI PX5-Xfast, (ข) Fluke 43B และ (ค) DAQ and LabVIEW

จากการเปรียบเทียบชุดอุปกรณ์ พบว่า DAQ and LabVIEW มีจุดเด่นที่มีราคาถูก, สามารถควบคุมระยะไกลได้ และ สามารถปรับปรุงและพัฒนาฟังก์ชันในการทำงานเพื่อให้มีความเหมาะสมกับงานที่ทำกรวัดได้ตลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปบทที่ 4 ผลการทดลอง

บทนี้ได้นำเสนอถึงผลการทดลองหาค่าความถูกต้องแม่นยำและน่าเชื่อถือได้ของเครื่องมือวัดที่ได้ทำการออกแบบในงานวิจัย เริ่มจากทดสอบหาค่าความถูกต้องของชุดอุปกรณ์ทั้งการแก้อัตราส่วนและมุมเฟสที่ถูกต้องของหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดัน การหาอ่านการทำงานของชุดป้องกันแรงดัน และการลดสัญญาณรบกวนที่ได้จาก DAQ จากนั้นก็นำเครื่องมือวัดไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อทำการตรวจสอบว่าสามารถวัดและวิเคราะห์ผลพารามิเตอร์ตามที่ได้ออกแบบเมื่อนำค่าที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดอ้างอิงจะพบว่าค่าที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน สุดท้ายก็นำเครื่องมือวัดไปทดสอบกับระบบไฟฟ้าจริง เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของชุดอุปกรณ์ว่าสามารถวัดได้จริง จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเครื่องมือวัดที่ได้ออกแบบมีความแม่นยำและเชื่อถือได้ โดยในส่วนของบทสรุปจะถูกเสนอต่อไปในบทที่ 5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอวิธีการวัดปริมาณทางไฟฟ้าและการบันทึกข้อมูลทางไฟฟ้าในระบบสามเฟส โดยใช้โปรแกรมแลปวิวในการออกแบบ ถือเป็นงานนำเอาเทคโนโลยีใหม่ๆมาช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งเครื่องมือวัดที่ออกแบบนี้จะช่วยให้สามารถวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าได้มากขึ้นภายในเครื่องเดียว โดยชุดอุปกรณ์สามารถจำลองสัญญาณแล้วทำการวิเคราะห์สัญญาณตามที่ต้องการได้ หรืออาจวิเคราะห์สัญญาณจากภายนอกโดยผ่านตัวแปลงสัญญาณ DAQ จากการทดลองตามที่ได้นำเสนอทั้งหมด สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. เครื่องวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่ได้ออกแบบสามารถวัดพารามิเตอร์พื้นฐานได้ เช่น แรงดันอาร์เอ็มเอส, กระแสอาร์เอ็มเอส, ความถี่ และมุมต่างเฟสของแรงดันและกระแส สามารถวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้ากำลังได้ เช่น กำลังไฟฟ้าจริง, กำลังไฟฟ้าเสมือน, กำลังไฟฟ้าปรากฏ, ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าทั้งแบบนำและแบบตาม และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ในส่วนของคุณภาพทางไฟฟ้า ได้แก่ แรงดันตก, แรงดันเกิน, แรงดันไม่สมดุล, ดัชนีไฟกระพริบ, ฮาร์มอนิก และองค์ประกอบสมมาตรทางไฟฟ้า โดยสามารถวัดระบบไฟฟ้าได้ทั้ง 1 เฟส และ 3 เฟส ภายในเครื่องมือวัดเดียว
2. การบันทึกข้อมูลก็สามารถทำได้ สองรูปแบบ ส่วนแรกคือ การบันทึกค่าแบบต่อเนื่อง ซึ่งสามารถตั้งเวลาที่บันทึกข้อมูลได้ตามความต้องการ จากนั้นหน้าจอจะแสดงจำนวนครั้งที่บันทึก วันที่และเวลาที่บันทึก ส่วนที่สองคือ การบันทึกค่าเฉพาะเวลาที่เกิดความผิดปกติทางไฟฟ้า พร้อมทั้งแสดงสัญญาณไฟแจ้งเตือน เมื่อระบบไฟฟ้ามีความผิดปกติโปรแกรมก็จะทำการแสดงผลและบันทึกความผิดพลาดทันที
3. สามารถควบคุมระยะไกลได้ โดยใช้โปรแกรม Team Viewer ในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ ทำให้ตรวจสอบค่าที่ทำการวัดและควบคุมการทำงานของโปรแกรมในระยะไกลได้
4. ตามที่ได้ออกแบบชุดอุปกรณ์ ประกอบด้วย หม้อแปลงแรงดัน หม้อแปลงกระแส และวงจรป้องกันแรงดันเกิน เพื่อทำการวัดสัญญาณจริงจากระบบไฟฟ้าสามเฟส มีความคล่องตัว เมื่อนำไปวัด ณ สถานที่จริง ก็สามารถพกพาติดตั้งได้ง่ายไม่ยุ่งยาก
5. โปรแกรมแลปวิวสามารถปรับเปลี่ยนเพิ่มเติมฟังก์ชันได้ทันที ทำให้โปรแกรมที่ได้ออกแบบสามารถเพิ่มฟังก์ชัน เพื่อรองรับกับรูปแบบของสถานที่ที่จะทำการวัดได้อย่างอิสระ
6. เมื่อเปรียบเทียบทางด้านราคา พบว่าเครื่องมือวัดที่ได้ออกแบบมีราคาถูกกว่าเครื่องมือวัดแบบเดิมที่มีศักยภาพในการวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าสามเฟสใกล้เคียงกัน
7. รองรับระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ เนื่องจากเครื่องมือวัดที่ได้ออกแบบนี้
 - สามารถสื่อสารแบบเวลาจริงและเป็นแบบอัตโนมัติทำให้เพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบการผลิต ส่งจ่าย และการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้
 - สามารถรองรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนต่างๆ เช่น แสงอาทิตย์ ลม ฯลฯ ที่เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าไม่คงที่ ต่อเข้ากับระบบโครงข่ายไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า โดยมีกลไกในการนำระบบกลับในสถานะผิดปกติของทางไฟฟ้า กลับสู่สภาวะปกติได้เองโดยอัตโนมัติ เนื่องจากสามารถออกแบบโปรแกรมให้ระบบทำการควบคุมชุดอุปกรณ์ได้

ผลจากการทดลองในการวัดปริมาณทางไฟฟ้าทั้งหมดพบว่าชุดอุปกรณ์สามารถทำงานได้จริง, ค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้มีความแม่นยำ และมีความหลากหลายของค่าที่ต้องการวัดมากกว่าอุปกรณ์ตรวจวัดทางไฟฟ้าแบบเดิมๆ อีกทั้งยังมีจุดเด่นของชุดอุปกรณ์ที่เหนือกว่า สามารถควบคุมด้วยระยะไกลได้อย่างดีมีประสิทธิภาพโดยควบคุมผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์อีกเครื่องหนึ่ง เมื่อเทียบราคากับคุณสมบัติของชุดอุปกรณ์แล้วจะเห็นว่ามีความคุ้มค่ากว่าอุปกรณ์ตรวจวัดทางไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และยังสามารถประยุกต์ใช้ในงานทางด้านไฟฟ้าได้อีกหลากหลายชนิด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] IEEE std. 1159-1995, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, IEEE PES Technical Committee Meeting, Las Vegas, NV, 2003.
- [2] H. Saadat, "Power System Analysis", 2nd ed.: McGrawHill, 2004.
- [3] Alexandra von Meier, "ELECTRIC POWER SYSTEMS A CONCEPTUAL INTRODUCTION", A JOHN WILEY & SONS, INC., 2006.
- [4] Motors and Generators, ANSI/NEMA Standard MG1-1993.
- [5] IEC 61000-4-7: Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 4-7: Testing and measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto.
- [6] IEC 61000-4-15: Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 4-15: Testing and measurement techniques - Flickermeter - Functional and design specifications.
- [7] Walt Boyes, "Instrumentation Reference Book, 3rd Edition", Butterworth-Heinemann, 2003.
- [8] Alan S. Morris, "Measurement and Instrumentation Principles, 3rd Edition", Butterworth-Heinemann, 2001.
- [9] S. Tumanski, "Principles of Electrical Measurement", Taylor & Francis Group, 2006.
- [10] มงคล ชูระ, "เครื่องวัดไฟฟ้า", กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2000.
- [11] Data Acquisition hand book, Measurement Computing Corporation, the United States of America, 2012.
- [12] NI USB-621x User Manual Bus-Powered M Series USB Devices, National Instruments Corporation, 2009
- [13] กิจไพบูลย์ ชีวพันธ์ศรี, "LabVIEW ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนาาระบบการวัดและควบคุม", บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2011.
- [14] Robert H. Bishop, "LabVIEW7 Express", Student ed., Upper Saddle River, N.J.: Prentice-Hall, 1993.
- [15] Ertugrul N, "LabView for Electric Circuits, Machines, Drives, and Laboratories", Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, 2002.
- [16] J. Travis and J. Kring, "LabVIEW for Everyone," Graphical Programming Made Easy and Fun, 3rd ed.: Prentice-Hall, 2006.
- [17] พิทยา หงสกุล, ภัคพล สุขุมาลัย, ภูซงค์ เจริญประสพสุข, "ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ความผิดปกติทางไฟฟ้าโดยใช้ โปรแกรม LabVIEW", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าทหารลาดกระบัง, 2009.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [18] เกรียงไกร อยู่สุวรรณ, จักรกฤษณ์ รัตนพันธ์, เจตน์ มังกรอัสวกุล, ฉัตรชัย บุญยืน, “ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าชนิดสามเฟสโดยใช้โปรแกรมแลปวิว”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าทหารลาดกระบัง, 2010.
- [19] R. Pecan, MD Salim and A. Zora, “A LabView Based Instrumentation System for a Wind-Solar Hybrid Power Station”, Journal of Industrial Technology, Volume 20, Number 3, June-August 2004.
- [20] National Instruments Academic Resources, (2003). [Available online] ni.com/academic
- [21] National Instruments LabVIEW Manual, National Instruments Corporate Headquarters, Austin, TX, (2002).
- [22] Phang Yoke Yin and M.V. Chilukuri, “Remote Power Quality Monitoring and Analysis System Using LabVIEW Software”, Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2009. I2MTC '09, May. 2009.
- [23] Li Penghui, Zhao Lijie, Bai Haijun and Zhang Yanhua, “Power Quality Monitoring of Power System Based on Spectrum Analysis”, E-Product E-Service and E-Entertainment (ICEEE), 2010 International Conference on, Nov. 2010.
- [24] Limits for Harmonics in the Electricity Supply System, Regulation and Supervision Bureau for the Water and Electricity Sector of the Emirate of Abu Dhabi, 2005.
- [25] P. Jourdan, “Flickermeter Simulator”, [Available Online] <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/24423-flickermeter-simulator>
- [26] Rodney Tan, Bernard Hu Weng Yew, “Power System Flicker Emulator and Measurement System” [Available Online] <https://decibel.ni.com/content/docs/DOC-12324>
- [27] Rong Cai, “Flicker Interaction Studies and Flicker meter Improvement”, Eindhoven University of Technology, 2009.
- [28] Petteri Teikari, “Flicker Metrology”, Helsinki University of Technology, 2006.
- [29] Peter Axelberg, “Measurement Methods for Calculating of the Direction to a Flicker Source”, Chalmers Bibliotek, 2003.
- [30] T. Keppler, N.R. Watson, S. Chen and J. Arrillaga, “Digital Flickermeter Realisations in the Time and Frequency Domains”, Proceedings of the Australasian Universities Power Engineering Conference, 2001.
- [31] J. Drapela and J. Slezinger, “Realization and Verification of Flickermeter Based on Voltage Peak Detection”, Proceedings of the International Congress on Electricity Distribution CIDEL, 2010.

- [32] TeamViewer 8 Remote control, (2012). [Available Online] <http://www.teamviewer.com/en/res/pdf/TeamViewer8-Manual-RemoteControl-en.pdf>
- [33] คู่มือคุณภาพไฟฟ้า, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2011.
- [34] ร่างระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าเพิ่มเติม พ.ศ. 2555 สำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าประเภทที่ใช้อินเวอร์เตอร์, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2555.
- [35] IEC 61727-2004: Photovoltaic (PV) System-Characteristics of the Utility Interface.
- [36] IEC 62116-2008: Test Procedure of Islanding Prevention Measures for Utility interconnected Photovoltaic Inverters.
- [37] IEC 61000-3-2-2009: Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase).
- [38] IEC 61000-3-3-2008: Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 3-3: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and not subject to conditional connection.
- [39] IEC 61000-3-4-1998: Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 3-4: Limits Limitations of emissions of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A.
- [40] IEC 61000-3-5-2009: Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 3-5: Limits – Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 75 A.
- [41] IEC 61000-3-11-2000: Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 3-11: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems-Equipment with rated current ≤ 75 A and subject to conditional connection.
- [42] IEC 61000-3-12-2011: Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 3-12: Limits – Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current >16 A and ≤ 75 A per phase.
- [43] Eung-Sang Kim and Dae-Win Kim, “Performance Testing of Grid-Connected Photovoltaic Inverter Based on an Integrated Electronic Protection Device”, IEEE T&D Asia, 2009.
- [44] Massimo Valentini, Alin Raducu, Dezso Sera and Remus Teodorescu, “PV Inverter Test Setup for European Efficiency, Static and Dynamic MPPT Efficiency Evaluation”, Optimization of Electrical and Electronic Equipment, 2008.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [45] IEEE Std. 1547™, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, IEEE Standards Coordinating Committee 21 on Fuel Cells, Photovoltaics, Dispersed Generation, and Energy Storage, 2008.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LabVIEW

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ซึ่งหมายความว่า เป็นโปรแกรมที่สร้างเครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ดังนั้นจุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมนี้ก็คือการจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัด อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphic User Interface) โดยสมบูรณ์ นั่นคือเราไม่จำเป็นต้องเขียน code หรือคำสั่งใดๆ ทั้งสิ้น และที่สำคัญลักษณะภาษาที่ใช้ในโปรแกรมนี้เราจะเรียกว่าเป็น ภาษารูปภาพ หรือเรียกอีกอย่างว่าภาษา G (Graphical Language) ซึ่งจะแทนการเขียนโปรแกรมเป็นบรรทัดอย่างที่เราคุ้นเคยกับภาษาพื้นฐาน เช่น C, BASIC หรือ FORTRAN ด้วยรูปภาพหรือสัญลักษณ์ทั้งหมด ซึ่งแม้ว่าในเบื้องต้นเราอาจจะสับสนกับการจัดเรียงหรือเขียนโปรแกรมบ้าง แต่เมื่อเราคุ้นเคยกับการใช้โปรแกรมนี้แล้วเราจะพบว่า LabVIEW นี้มีความสะดวกและสามารถลดเวลาในการเขียนโปรแกรมลงไปได้มากโดยเฉพาะในงานเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อใช้ในการวัดและการควบคุม LabVIEW โดยได้มีการบรรจุโปรแกรมจำนวนมาก หรือ Libraries ไม่ว่าจะอุปกรณ์การเชื่อมต่อจะเป็น DAQ (Data Acquisition), GPIB (General Purpose Interface Bus หรือก่อนหน้านั้นรู้จักกันในชื่อ Hewlett Packard Interface Bus, HP-IB), พอร์ตอนุกรม หรือ Serial Port เพื่อใช้ติดต่อกับอุปกรณ์ที่ส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Instrument) รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ด้วยวิธีการต่างๆ นอกจากนี้ใน Libraries เหล่านี้ยังได้บรรจุฟังก์ชันการทำงานที่สำคัญอีกหลายประการเช่น signal generation, signal processing, filters, สถิติ, พีชคณิต และ คณิตศาสตร์อื่นๆ ดังนั้น LabVIEW จึงทำให้การวัดและการใช้เครื่องมือวัดกลายเป็นเรื่องง่ายลงไปมาก โดย LabVIEW จะเขียนโปรแกรมโดยอาศัยรูปภาพ อาศัยหลักการทำงานของเครื่องมือวัดหรือการควบคุมทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบรูปแบบโปรแกรมตามที่ใช้ ต้องการหลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

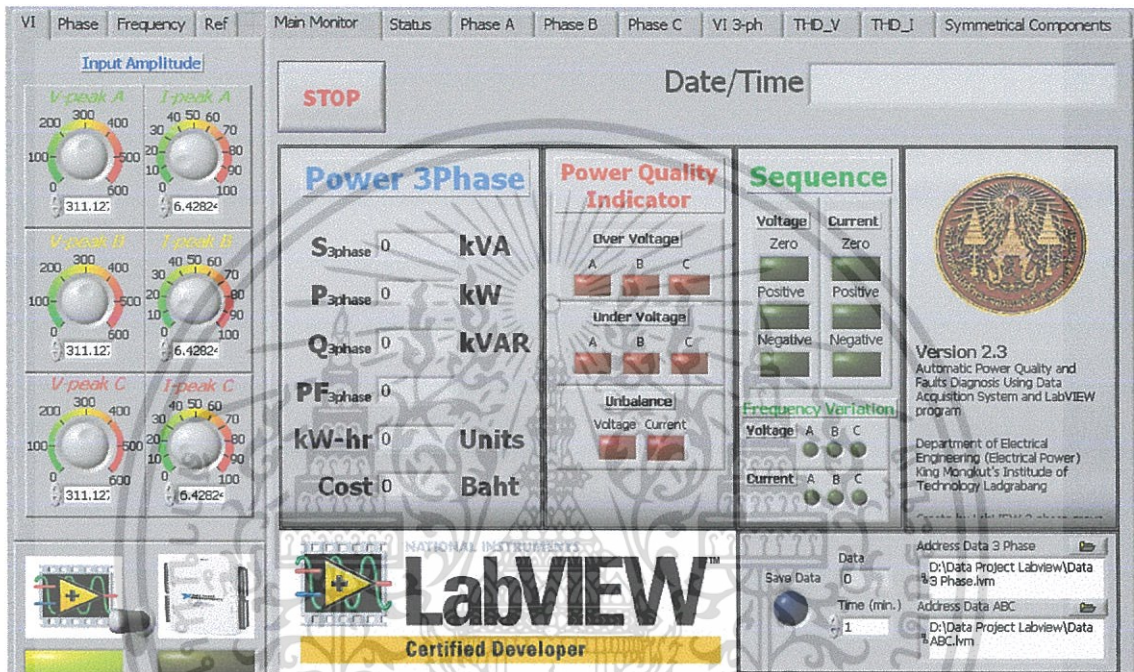
1. Acquisition ซึ่งเป็นส่วนที่รับข้อมูล (Input) มาจากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบ ในที่นี้คือ คอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่เข้าสู่ระบบนี้อาจจะมาจากการ์ด DAQ (สำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า), IMAQ (สำหรับข้อมูลประเภทรูป) หรือ GPIB (สำหรับควบคุมเครื่องมือวัด)
2. หลังจากที่ได้รับข้อมูลแล้วอาจจะผ่าน ฟังก์ชัน Analysis หรือ วิเคราะห์ข้อมูลซึ่งจะแสดงผลในรูปที่ผู้ใช้งานสามารถนำแสดงแทนสื่อที่วัดได้และใช้งานได้
3. Presentation คือ การแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน โดยอาจแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เช่น DMM (Digital Multi-meter) แสดงผลเฉพาะสัญญาณที่วัดได้โดยไม่ต้องจำเป็นต้องรู้ความสัมพันธ์กับเวลา หรือ Oscilloscope แสดงผลของข้อมูลที่สัมพันธ์กับเวลาหรือ spectrum Analyzer จะแสดงในรูปความถี่หรือการพิมพ์ออกมาเป็นรายงานเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์

Virtual Instrument (VI)

โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาโดย LabVIEW เราจะเรียกว่า Virtual Instrument (VI) เพราะลักษณะที่ปรากฏทางจอภาพเมื่อผู้ใช้ใช้งานจะเหมือนกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางวิศวกรรม ในขณะที่เดียวกัน หลังจากของอุปกรณ์เสมือนจริงเหล่านั้นจะเป็นการทำงานของ ฟังก์ชัน, Subroutines โปรแกรมหลัก เหมือนกับภาษาทั่วไป สำหรับ VI หนึ่งๆจะประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญสามส่วนคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Front Panel หรือหน้าปัด จะเป็นส่วนที่ใช้สื่อความกันระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม (หรือที่นิยมเรียก user interface) โดยทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนกับหน้าปัดของของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานด้านการวัดต่างๆ ไป โดยทั่วไปจะประกอบด้วย สวิตช์ปิดเปิด, ปุ่มบิด, ปุ่มกด จอแสดงผลหรือแม้แต่ค่าที่ผู้ใช้สามารถกำหนด ดังนั้นสำหรับผู้ที่คุณเคยกับการเขียนโปรแกรมประเภท Visual ทั้งหลายคงจะเข้าใจถ้าหากบอกว่า Front Panel นี้จะเปรียบเสมือนเป็น GUI ของโปรแกรมหรือ VI นั้นเอง ลักษณะของ Front Panel แสดงในรูปต่อไปนี้

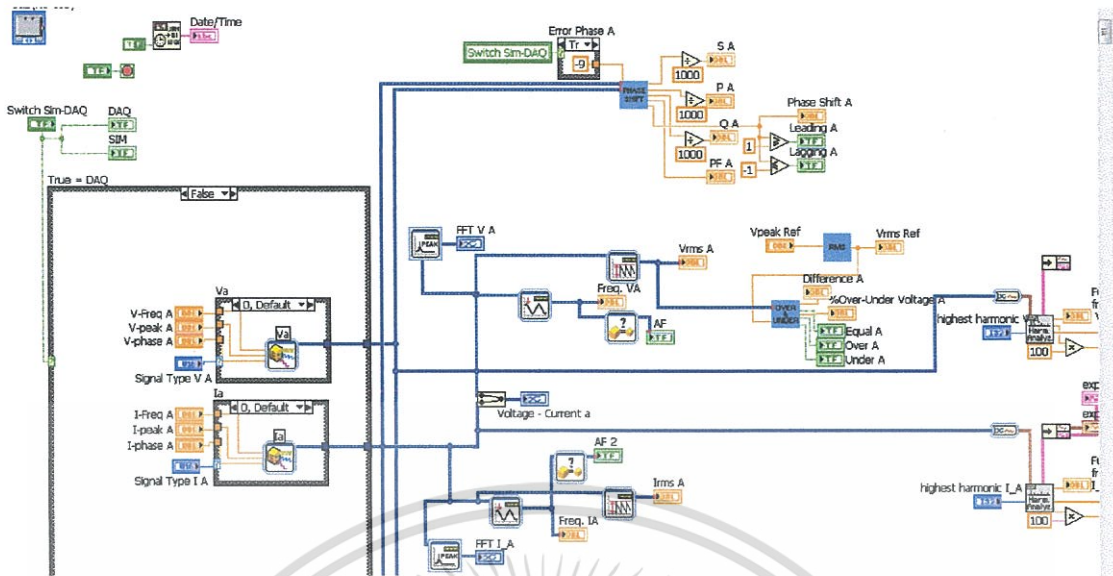


รูปที่ ก.1 Front Panel

2. Block Diagram เพื่อให้เกิดความเข้าใจง่ายขึ้น เราอาจมอง Block Diagram นี้เป็นเสมือนกับ Source Code หรือโปรแกรมของ LabVIEW ซึ่งปรากฏว่าอยู่ในรูปของภาษา G ซึ่ง Block Diagram นี้ ถือว่าเป็น Executable Program คือสามารถที่จะทำงานได้ทันที และข้อดีอีกประการหนึ่งก็คือ LabVIEW จะมีการตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรมตลอดเวลา ทำให้โปรแกรมจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อไม่มีข้อผิดพลาดในโปรแกรมเท่านั้นโดยผู้ใช้สามารถที่จะดูรายละเอียดของความผิดพลาดแสดงให้เห็นได้ตลอดเวลา ทำให้การเขียนโปรแกรมนั้นง่ายขึ้นมาก

ส่วนประกอบภายใน Block Diagram นี้จะประกอบด้วย ฟังก์ชัน ค่าคงที่ โปรแกรมควบคุมการทำงานหรือโครงสร้าง จากนั้นในแต่ละส่วนเหล่านี้ ซึ่งจะปรากฏในรูปของ Block เราจะได้รับ การต่อสาย (wire) สำหรับ Block ที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน เพื่อกำหนดลักษณะการไหลของข้อมูลระหว่าง block เหล่านั้น ทำให้ข้อมูลได้รับการประมวลผลตามที่ต้องการ และแสดงผลออกมาให้ แก่ผู้ใช้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 Block Diagram

3. Icon และ Connector เปรียบเสมือนโปรแกรมย่อย Subroutine ในโปรแกรมปกติทั่วไป โดย icon จะหมายถึง block diagram ตัวหนึ่งที่มีการส่งข้อมูลเข้าและออกผ่านทาง Connector ซึ่งใน LabVIEW เราจะเรียก Subroutine นี้ว่า subVI ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา G นี้ก็คือเราสามารถสร้าง VI ที่ละส่วนขึ้นมาให้ทำงานด้วยตัวเองได้อย่างอิสระ จากนั้นในภายหลังหากเราต้องการเราก็สามารถเขียนโปรแกรมอื่นขึ้นมาเพื่อเรียกใช้งาน VI ที่เราเคยสร้างขึ้นก่อนหน้านี้ทีละตัว ซึ่งทำให้ VI ที่เราเขียนขึ้นก่อนกลายเป็น subVI ไป การเขียนในลักษณะนี้เราเรียกว่า เขียนเป็น module

สำหรับลักษณะทั่วไปของ Icon และ Connector จะแสดงในรูปที่ ก.3 เราจะเห็นว่าเมื่อเราแสดงในรูปของ Connector เราจะพบว่ามีช่องต่อข้อมูลหรือที่เรียกว่า Terminal ปรากฏให้เห็น



รูปที่ ก.3 ลักษณะทั่วไปของ Icon และ Connector

คำศัพท์ต่างๆที่ใช้กันใน LabVIEW นี้ออกจะแตกต่างจากที่เราใช้กันในภาษาการเขียนโปรแกรมตัวหนังสือทั่วไปในหลายๆด้าน ดังนั้นเพื่อให้ผู้ที่เริ่มใช้ LabVIEW เข้าใจถึงศัพท์ต่างๆ ที่ใช้ในโปรแกรมพื้นฐานต่างๆ ไป ตามตารางที่ได้แสดงต่อไปนี้

ตารางที่ ก.1 ศัพท์ที่ใช้ใน LabVIEW

LabVIEW	โปรแกรมพื้นฐาน	หน้าที่
VI	Program	ตัวโปรแกรมหลัก
Function	Function	ฟังก์ชันสำเร็จรูปที่สร้างขึ้นมากับโปรแกรมนั้นเช่น sin, log เป็นต้น
SubVI	Subroutine	โปรแกรมย่อยที่ถูกเรียกใช้โดยโปรแกรมหลัก
Front Panel	user interface	ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้
Block Diagram	Program code	การเขียนตามขั้นตอนของที่แต่ละโปรแกรมกำหนดขึ้น

ความน่าเชื่อถือของ โปรแกรม LabVIEW

โปรแกรมแต่ละโปรแกรมนั้นผู้สร้างมีวัตถุประสงค์ในการจัดทำขึ้นอย่างแน่นอน และมีขอบข่ายของงานที่แน่ชัด ดังนั้นหากเรานำโปรแกรมดังกล่าวไม่ตรงกับวัตถุประสงค์ หรืออยู่นอกขอบข่ายการทำงาน เราก็คงจะไม่สามารถใช้ประโยชน์อย่างสูงสุดจากโปรแกรมนั้นได้

LabVIEW ก็เช่นเดียวกัน โดยจุดประสงค์หลักแล้ว บริษัท National Instrument ได้เริ่มพัฒนาโปรแกรมที่จะนำมาใช้กับระบบเครื่องมือวัดที่มีความง่ายในการเขียนโปรแกรมและมีฟังก์ชันเพื่อจะช่วยให้การวัดทางวิศวกรรมให้มากที่สุด เพราะด้วยความเป็นมาบริษัท National Instrument เริ่มจากการผลิตอุปกรณ์ที่ใช้กับการวัดทางวิศวกรรม ไม่ใช่บริษัทที่เริ่มต้นมาจากการผลิต Software เป็นหลัก ดังนั้นคงไม่ผิดนักสำหรับผู้ที่ต้องการจะใช้ประโยชน์สูงสุดจากโปรแกรม LabVIEW คือผู้ที่ต้องการจะนำข้อมูลจากภายนอกเครื่องคอมพิวเตอร์ เข้ามาในเครื่องเพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลประมวลผล แสดงผลและในหลายกรณีใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์

ข้อได้เปรียบสูงสุดของ LabVIEW คือการพยายามทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ของเราเมื่อรวมกับ LabVIEW และ อุปกรณ์เชื่อมต่อเพื่อการเก็บข้อมูล (Data Acquisition Card) แล้วสามารถเปลี่ยนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลของเราให้กลายเป็นเครื่องมือวัดในหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็น Oscilloscope, Multi-meter, Function Generator, Strain Meter Thermometer หรือเครื่องมือวัดอื่นๆ ตามที่เราต้องการ ทำให้เราสามารถใช้อุปกรณ์ในการทำการวัดและเครื่องมือวัดได้อย่างกว้างขวาง ซึ่งจุดนี้เองที่เป็นที่มาของชื่อ เครื่องมือวัดเสมือนจริง (Virtual Instrument) และข้อได้เปรียบเหนือการใช้อุปกรณ์จริงเหล่านั้นคือ Virtual Instrument สามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับการใช้งานของผู้ใช้แต่ละกลุ่มได้ โดยการเปลี่ยน VI ให้เป็นไปตามต้องการเป็นเรื่องที่ไม่ยุ่งยากนัก

ข้อดีอีกประการหนึ่งในการหนึ่งของการใช้คอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือวัดก็คือ สามารถใช้ทำเป็น Data Logger และ PLC (Programmable Logical Controlled) ได้พร้อมกัน ซึ่งโดยปกติแล้วระบบควบคุมมักจะไม่มีในเครื่องมือวัดจริงขั้นพื้นฐาน หรือ Data Logger แม้จะเก็บข้อมูลได้ แต่การสั่งการทำงานกับอุปกรณ์ตัวอื่น จะมีความยุ่งยากในการสั่งการมาก

กล่าวโดยสรุปก็คือหากเรามี LabVIEW, คอมพิวเตอร์และ DAQ Card (หรือระบบการติดต่อสื่อสารอื่นเช่น GPIB หรือ Serial Port ซึ่งรายละเอียดและความแตกต่างจะกล่าวต่อไปภายหลัง

เราสามารถสร้างเครื่องมือวัดเสมือนจริงได้มากมาย หากเราต้องมี Transducer ที่เหมาะสมประกอบอยู่ด้วย ซึ่งจุดนี้เองคือข้อดีของโปรแกรม

DAQ, GPIB and Serial Communication

ในงานด้านการวัดและเครื่องมือวัดทางวิศวกรรม จะประกอบด้วยขั้นตอนหรือกระบวนการวัดหลักๆ ตามลำดับดังนี้

1. Sensor - Transducer ทำหน้าที่เปลี่ยนปรากฏการณ์ทางธรรมชาติหรือปริมาณต่างๆ ทางฟิสิกส์ให้เป็นปริมาณทางไฟฟ้าที่สามารถตรวจจับได้ ไม่ว่าจะเป็น กระแส ความต่างศักย์ แรงเคลื่อนไฟฟ้า หรือความต้านทานไฟฟ้า

2. Signal Conditioner ทำหน้าที่ปรับแต่งปริมาณสัญญาณที่ได้จากขั้นที่ 1 ให้มีขนาดปริมาณหรือลักษณะที่เหมาะสม เพราะสัญญาณที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 นั้น อาจมีขนาดไม่เหมาะสมหรือมีสัญญาณรบกวนมากเกินไปที่จะนำไปวิเคราะห์ในขั้นที่ได้

3. Data Acquisition ทำหน้าที่ประมวลผลความหมายหรือเปลี่ยนสัญญาณในลักษณะ Analog ให้มาอยู่ในรูปของ digital signal เพื่อประโยชน์ในการตีความหมายและใช้ในการควบคุมหน้าที่ของ DAQ board อาจจะเป็นการอ่านสัญญาณ analog (A/D Conversion) การสร้างสัญญาณแอนาล็อก (D/A conversion) เขียนและอ่านสัญญาณ เพื่อเชื่อมต่อกับ Transducer

เอกสารบางเล่มอาจเรียกขั้นตอนที่ 2 และ 3 อาจเรียกรวมกันว่า Signal Processing และในบางกรณีที่มีสัญญาณที่ได้มาจากการวัดนั้น หากมีขนาดที่เหมาะสมเราอาจไม่ต้องการขั้นตอนการปรับสภาพสัญญาณหรือ Signal Conditioner ก็เป็นไปได้

การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และ Transducer จึงเป็นเรื่องสำคัญสำหรับคอมพิวเตอร์โดยปกติแล้ว สามารถที่จะติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกได้โดยการผ่าน Input/output Board (I/O Board) ซึ่ง I/O board นี้จะมีหลายแบบแต่แบบที่สำคัญและสามารถเชื่อมต่อโดยผ่านคำสั่งของ LabVIEW ได้ทันทีจะประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. DAQ Board
2. GPIB Board
3. Serial Interface

DAQ Board

โดยปกติแล้ว DAQ Board เป็นอุปกรณ์พิเศษ คือไม่ได้เป็นมาตรฐานที่ติดตั้งมากับคอมพิวเตอร์ สำหรับบอร์ดประเภทนี้จะมีผู้ผลิตหลายบริษัท ซึ่งลักษณะการทำงานก็อาจจะแตกต่างกันบ้างตามแต่ผู้ผลิตแต่ละแห่งออกแบบมา ข้อสำคัญที่เราต้องเข้าใจในเบื้องต้นนี้ก็คือไม่ใช่ DAQ Board ทุกแบบจะเหมาะสมกับการทำงานร่วมกับ LabVIEW ทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังได้ใช้ DAQ Board ที่ผลิตโดยบริษัท National Instrument ดังนั้น DAQ Board ทุกแบบที่เรามีอยู่จะสามารถทำงานร่วมกับ LabVIEW ได้อย่างแน่นอน

สำหรับ DAQ Board ที่ผลิตโดยผู้ผลิตไม่ใช่จะไม่สามารถทำงานร่วมกับ LabVIEW ได้ แต่ว่าการที่ DAQ Board ที่ผลิตโดยผู้ผลิตรายอื่นนั้นจะสามารถทำงานร่วมกับ LabVIEW ได้ก็ต่อเมื่อมี Driver ของอุปกรณ์นั้น เพื่อให้ใช้งานร่วมกับ LabVIEW ได้เท่านั้นเท่านั้น ดังนั้นหากว่าทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริษัทผู้ผลิต DAQ Board นั้นไม่มี Driver ที่ใช้งานร่วมกับ LabVIEW มาให้ เราอาจจำเป็นต้องเขียน Driver ขึ้นมาเอง ซึ่งวิธีการนี้ค่อนข้างจะยุ่งยากและเสียเวลามาก

การเลือกใช้ DAQ Board ที่เหมาะสมกับต้นที่จะใช้ถือว่าเป็นเรื่องที่สำคัญมากประการหนึ่ง เพราะราคาของเครื่องมือนี้จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากหากเรากำหนดข้อกำหนดแตกต่างกันออกไป เช่น อัตราการเรียกสุ่มตัวอย่าง (sampling rate) จำนวนช่องรับ-ส่งสัญญาณ (I/O channel) หรืออื่นๆ โดยปกติราคาของ DAQ Board ที่ผลิตโดยบริษัท National Instrument จะมีราคาอยู่ระหว่าง \$700-2000 ขึ้นอยู่กับความต้องการ ซึ่งเป็นราคาที่นับว่าสูงมาก เราอาจจะได้ board ที่ราคาถูกกว่านี้จากผู้ผลิตรายอื่น แต่อาจจะมีปัญหาเรื่องการใช้งานร่วมกับ LabVIEW

หน้าที่ของ DAQ Board นี้จะทำการติดต่อโดยตรงกับ Transducer ซึ่งอาจจะผ่านอุปกรณ์ Signal Conditioner หรือไม่ได้ตามความจำเป็น นอกเหนือจากนั้นแล้วเราไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์อื่นเข้ามาร่วมในการสร้างเครื่องมือวัดเสมือนจริง ซึ่งจุดนี้เป็นจุดได้เปรียบของ DAQ Board นั่นคือแม้ว่าจะมีราคาแพง แต่สามารถจะทดแทนการซื้อเครื่องมือวัดอื่นๆ ได้มากมาย เราจะกล่าวถึง DAQ board อย่างละเอียดอีกครั้งหนึ่งในบทที่กล่าวถึง Data Acquisition Hardware

GPIB

General Purpose Interface Bus เป็นการขนถ่ายข้อมูลระบบใหม่ที่กำลังได้รับความนิยม แม้ว่าจะได้รับการพัฒนาโดยบริษัท Hewlett-Packard ตั้งแต่ปลายทศวรรษ 1960 และได้พัฒนาจนกระทั่งได้รับมาตรฐานจาก Institute of Electrical and Electronic Engineer (IEEE) ในปี 1975 ซึ่งต่อมารู้จักกันในชื่อ IEEE 488 standard

จุดประสงค์แรกๆของ GPIB คือใช้ในการควบคุมเครื่องมือวัดโดยคอมพิวเตอร์ อย่างไรก็ตามจุดประสงค์ได้เปลี่ยนแปลงไปบ้างแล้ว โดยการนำ GPIB มาใช้ควบคุมและติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ด้วยกันหรือระหว่างคอมพิวเตอร์ กับ scanner หรือเครื่องมือวัดอื่นๆ ในระยะ 1-2 ปี ที่ผ่านมาเราจะพบว่าเครื่องคอมพิวเตอร์บางรุ่นเริ่มมี GPIB ติดมาเป็นอุปกรณ์มาตรฐานของเครื่องแล้ว

GPIB เป็นการติดต่อแบบใหม่ที่สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์หลายชิ้นเข้ากับ GPIB Port ตัวเดียวได้ โดยสามารถต่ออุปกรณ์ได้สูงถึง 15 ชิ้น โดยใช้ bus เพียงตัวเดียว ทำให้ประหยัด (และป้องกันเรื่องปวดหัวในการ set อุปกรณ์) ส่วนข้อดีอื่นๆ มีดังนี้

- ส่งผ่านข้อมูลด้วยวิธีแบบขนาน ครั้งละ 1 byte (8-bits)
- Hardware จะเป็นผู้จัดการเรื่อง Handshaking, timing และอื่นๆ
- อัตราการส่งผ่านข้อมูล 800 Kbytes/sec หรือมากกว่า ซึ่งนับว่าเร็วมากเมื่อเทียบกับ port แบบเก่า
- ใช้คำสั่ง ASCII ในการติดต่อและอื่นๆ อีกหลายประการ

ถึงจุดนี้คุณอาจสงสัยว่า ถ้าหากว่าเรามี GPIB Port ซึ่งมีประสิทธิภาพตามที่กล่าวมาแล้วและมีราคาถูกมากหรืออาจติดตั้งมาพร้อมกับคอมพิวเตอร์แล้ว ทำไมเราจะต้องซื้อ DAQ Card มาใช้อีก สิ่งที่เราต้องเข้าใจในอันดับแรกคือ GPIB Port ไม่สามารถทำให้คอมพิวเตอร์ติดต่อโดยตรงกับ Transducer ได้ GPIB Port จะเป็นการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ที่มี GPIB Port เท่านั้น ซึ่งอุปกรณ์ที่มี GPIB Port ติดตั้งอยู่ก็มักจะเป็นอุปกรณ์ประเภทเครื่องมือวัดเช่น Oscilloscope,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Multi-meter ซึ่งเป็น Actual Instrument อยู่แล้ว ดังนั้นการส่งผ่านข้อมูลจึงเป็นข้อมูลที่อ่านค่าได้เรียบร้อยแล้ว เพราะบนเครื่องมือเหล่านั้นจะมีระบบ Signal Processing อยู่ในตัวเองเรียบร้อยแล้ว

อย่างไรก็ตามการที่ LabVIEW ติดต่อกับอุปกรณ์อื่นโดยผ่านทาง GPIB Port ได้ สามารถทำให้เราสามารถเพิ่มศักยภาพของเครื่องมือจริง และสามารถนำค่าที่ได้จากเครื่องมือไปใช้ควบคุมอุปกรณ์อื่นๆ ด้วยคอมพิวเตอร์ได้อีกด้วย

Serial Communication

ข้อดีของ Serial communication ผ่านทาง Serial Port หรือพอร์ตอนุกรมก็คือราคาถูก และเครื่องมือมากมายได้ใช้อุปกรณ์นี้เป็นมาตรฐาน ลักษณะการทำงานของพอร์ตก็จะคล้ายกับ GPIB Port เพียงแต่ส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม และมีอัตราการส่งข้อมูลที่ช้ากว่า ซึ่งพอร์ตนี้จะใช้มาตรฐาน RS-232 หรือ RS-485 และการติดต่อข้อมูลจะต้องทำระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ที่มีพอร์ตนี้อยู่ด้วย

LabVIEW มี subVI ที่ใช้ในการติดต่อระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ กับคอมพิวเตอร์ที่สามารถเรียกมาใช้งานได้ทันทีและการ Set Up เครื่องมือจะมีความยุ่งยากน้อยกว่าอุปกรณ์แบบอื่นๆ ข้อสำคัญเราต้องมีความเข้าใจกับ Baud Speed, Parity, Stop Bits และอื่นๆ เป็นต้น อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มว่า GPIB Port จะเข้ามาเป็นมาตรฐานและเข้าแทนที่พอร์ตขนานได้ในอีกไม่นานนัก

กล่าวโดยรวมแล้วการทำงานของ LabVIEW จะมีประสิทธิภาพสูงสุดหากว่าเราใช้เพื่อการติดต่อกับเครื่องมือวัดโดยตรง แม้ว่าการเขียนโปรแกรมขั้นพื้นฐานเราจะไม่ได้อ้างถึงการร่วมใช้กับอุปกรณ์อื่นๆ ก็ตาม การเขียน VI ในเบื้องต้น ผู้ใช้อาจมีความรู้สึกว่ายุ่งยาก ต้องจดจำ icon และระบบควบคุมต่างๆ มากมายแต่ก็จะเหมือนกับโปรแกรมหลายๆ แบบ หลังจากที่เราได้ทำความเข้าใจกับตัวโปรแกรมและการเขียนโปรแกรมพื้นฐานแล้ว เราจะพบว่าการนำ LabVIEW ไปใช้งานไม่ได้มีความยุ่งยากอย่างที่เราคิดเลย

วิวัฒนาการของ LabVIEW

LabVIEW มีจุดกำเนิดขึ้นในปี 1983 โดยทางบริษัท National Instrument ได้เริ่มการค้นคว้าเพื่อจะหาวิธีการที่จะลดภาระและเวลาในการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในงานด้านระบบเครื่องมือวัด ซึ่งเป็นจุดเริ่มของแนวความคิดการสร้าง LabVIEW หลังจากการใช้เวลาทำงาน 3 ปี ในปี 1986 บริษัทได้ปล่อย LabVIEW version 1 สู่อตลาดเพื่อใช้กับคอมพิวเตอร์ Macintosh เท่านั้น เพราะแม้ว่าเครื่อง Macintosh จะไม่เป็นที่ใช้อย่างกว้างขวางในงานด้านการวัดและเครื่องมือวัดทางวิศวกรรม ลักษณะการทำงานด้วยกราฟฟิกของเครื่อง Macintosh เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยี

ที่ใช้กับ LabVIEW สำหรับระบบปฏิบัติการอื่นที่ไม่ใช่ GUI นั้นไม่มีความเหมาะสมที่จะใช้กับ LabVIEW ดังนั้นสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ทาง NI จึงต้องรอให้เทคโนโลยีระบบปฏิบัติการ GUI ของเครื่อง PC พร้อมเสียก่อน ซึ่ง NI ก็ต้องรอจนกระทั่งระบบปฏิบัติการ Windows ประสบผลสำเร็จทั้งในด้านเทคโนโลยีและการตลาด

ในปี 1990 ทาง NI ได้ประสบผลสำเร็จในการนำ LabVIEW version 2 ออกสู่ตลาด โดยได้ปรับแก้และเขียนระบบควบคุมใหม่ทั้งหมด ตามคำแนะนำของผู้ใช้งาน โดยเฉพาะการเขียน Compiler ที่ทำให้เวลาการทำงานของโปรแกรมรวดเร็วขึ้น ทัดเทียมกับการเขียนด้วยภาษาขั้น

พื้นฐาน เช่น C และต่อมาเมื่อเทคโนโลยีด้านระบบปฏิบัติการของ PC มีความพร้อมที่จะใช้งานกับ GUI ทางบริษัทจึงได้ผลิต LabVIEW for Windows และ LabVIEW for SUN เข้าสู่ตลาดในปี 1992

หลังจากนั้นบริษัทก็ได้พัฒนาโปรแกรมให้เหมาะสมกับเทคโนโลยีที่เพิ่มขึ้น ความเร็วของระบบคอมพิวเตอร์ รูปแบบปฏิบัติการที่เปลี่ยนแปลงไปเช่น LabVIEW สำหรับ Windows NT, Windows 95 รวมถึงการสร้าง version ใหม่ เพื่อจัดระบบและการเขียนโปรแกรมให้สะดวกมากขึ้น ตลอดจนสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ มากขึ้น พร้อมทั้งสร้างฟังก์ชันต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานมากขึ้น นอกจากนี้ยังสร้างโปรแกรมที่สามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการอื่นที่ไม่ได้เขียนบนระบบปฏิบัติการนั้นได้ โดยเริ่มจาก LabVIEW 3 ในปี ค.ศ. 1993, LabVIEW 4 ในปี ค.ศ. 1996 และล่าสุด LabVIEW 5 ในปี ค.ศ. 1998 ซึ่งเป็นโปรแกรมล่าสุดและเอกสารชุดนี้จะเขียนตามลักษณะการทำงานของโปรแกรมใน Version 5 นี้

ในปัจจุบันนี้ LabVIEW เป็นโปรแกรมที่นิยมใช้ กันอย่างกว้างขวางทั้งในวงการศึกษ วิจัย และในวงการอุตสาหกรรมเพื่อใช้ในระบบการควบคุมอัตโนมัติ ถ้าหากว่าคุณกำลังมองหาโปรแกรมทางด้านกรวัดและเครื่องมือวัด LabVIEW อาจจะเป็นคำตอบหนึ่งของคุณก็ได้



Software

- Protocol ต่างๆในทางอุตสาหกรรม LabVIEW ก็สามารถติดต่อสื่อสารได้รวมทั้ง PL ยี่ห้อต่างๆ และงาน SCADA LabVIEW ก็สามารถทำได้เหมือนโปรแกรม SCADA ทั่วไป และบริษัท NI ยังมี PLC ของตนเองขายอีก
- ความสามารถในการทำ Image Processing ก็ทำได้ไม่แพ้ Image Processing ในท้องตลาด
- สามารถติดต่อกับ Database มาตรฐานรวมทั้งการควบคุมการทำงานกับโปรแกรม MS-OFFICE และอื่นๆใน windows
- อื่นๆอีกหลากหลายซึ่งความสามารถทั้งหมดมีตัวกลางที่ทำให้ประสานกันได้ด้วย LabVIEW ซึ่งทำให้การจัดทำ Application ง่าย และเบ็ดเสร็จในตัวเอง ในขณะที่โปรแกรมอื่นไม่มีครบได้ถึงขนาดนี้

การประยุกต์ใช้งาน

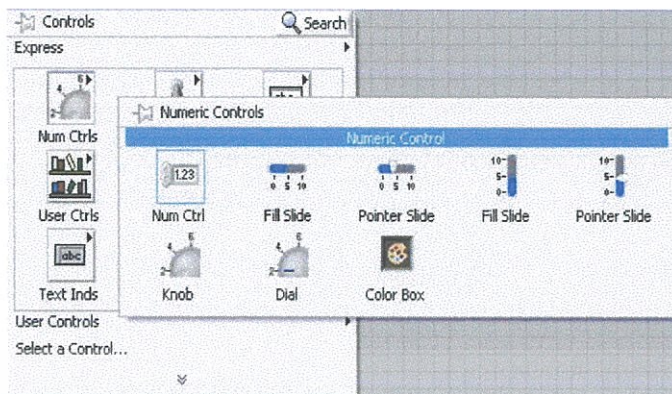
มีการประยุกต์ใช้งานนับไม่ถ้วนทั้งใน NASA, Boeing และอื่นๆแม้แต่ในโรงงานอุตสาหกรรมชั้นนำเช่น Minibea, Western digital, Seagate จนพูดได้ว่างานอะไรที่สามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ หรือ PLC สั่งงาน, ติดต่อสื่อสาร, วัดค่า LabVIEW สามารถเข้าไปช่วยงานได้ทั้งหมด

การสร้าง VI เบื้องต้น

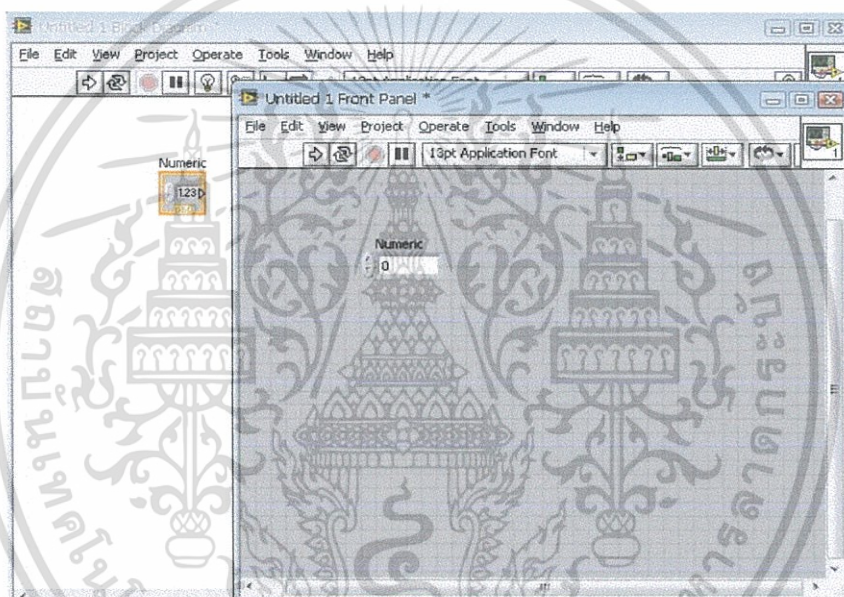
จากการใช้งาน LabVIEW ก็คือต้องการ VI ที่ทำหน้าที่บวกเลขสองจำนวน คือ A, B พร้อมทั้งแสดงผลลัพธ์ C ออกทางหน้าจอด้วย ดังนั้นสิ่งที่เราต้องการก็คือ VI ที่ทำสมการ $A+B = C$ การรับค่าตัวเลขจากหน้าจอจะต้องใช้ Control ที่เป็น Numeric ส่วนการ แสดงผลจะต้องใช้ indicator ที่เป็น numeric เช่นกัน โดยเราเลือกตัวคอนโทรลแบบ numeric คือ  จาก Numeric >> Numeric Control แสดงดังรูปที่ ก.4 และเมื่อวาง  ลงใน Front panel แล้วจะปรากฏ

ฟังก์ชันบล็อก  ในหน้าจอบล็อกไดอะแกรม ดังรูปที่ ก.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



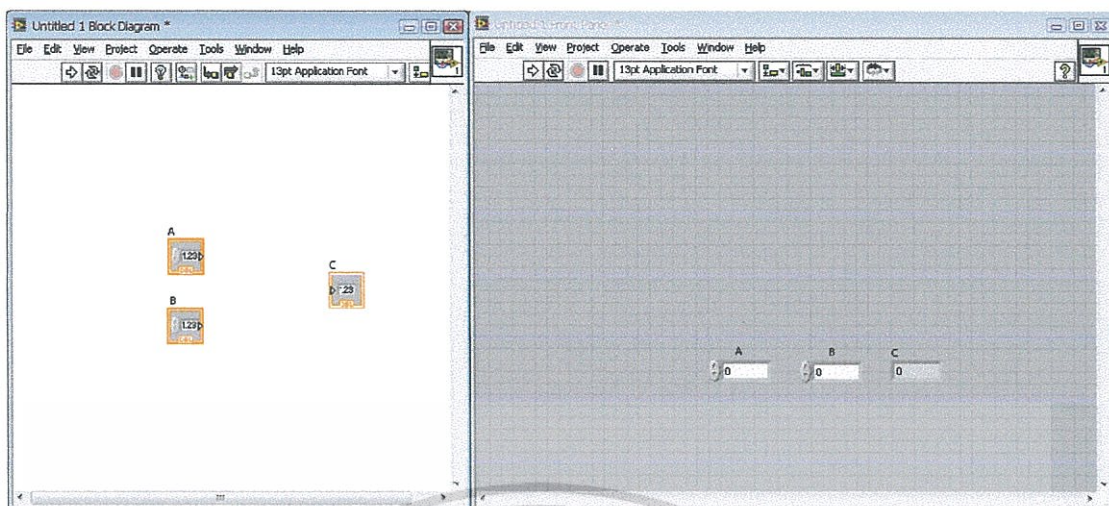
รูปที่ ก.4 Numeric Control จาก Control



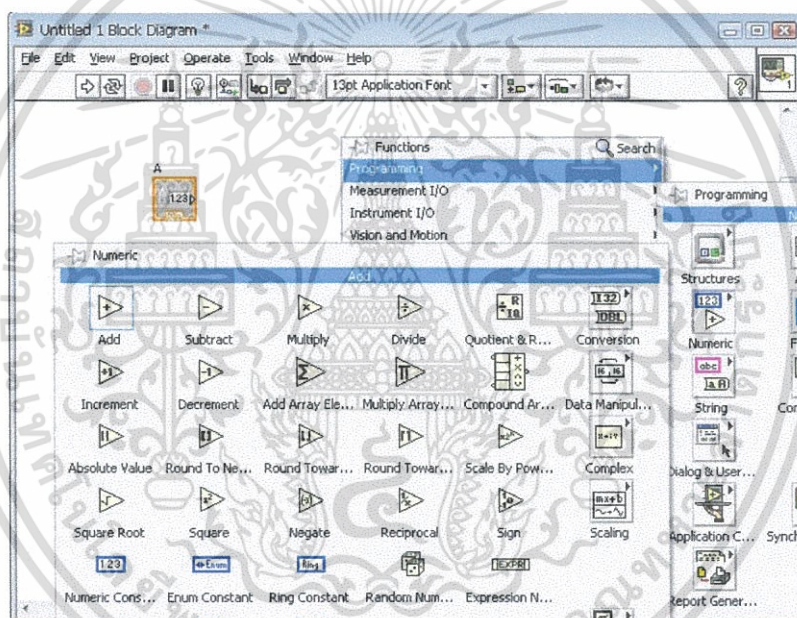
รูปที่ ก.5 Front panel เมื่อวาง Numeric Control และฟังก์ชันบล็อกในท้องจอ Block Diagram

จากนั้นทำซ้ำอีกครั้งสำหรับ Numeric control อีกตัวหนึ่งสำหรับตัวแปร B แต่สำหรับผลลัพธ์ C นั้นเรา จะใช้ indicator โดยเลือกเป็นบล็อก 0 หลังจากนั้นก็ทำการเปลี่ยน label ของทั้ง numeric control และ indicator ให้เป็นตัวอักษรที่มีความหมายเช่น A, B และ C เพื่อที่โปรแกรมจะทำงานให้เป็นตามสมการ $A+B = C$ ซึ่งทำได้โดยการคลิกที่ label แล้วเปลี่ยนเป็นตัวอักษรที่ต้องการ ต่อไปก็เลือกฟังก์ชันการบวกได้จาก Functions>> Numeric >>Add

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



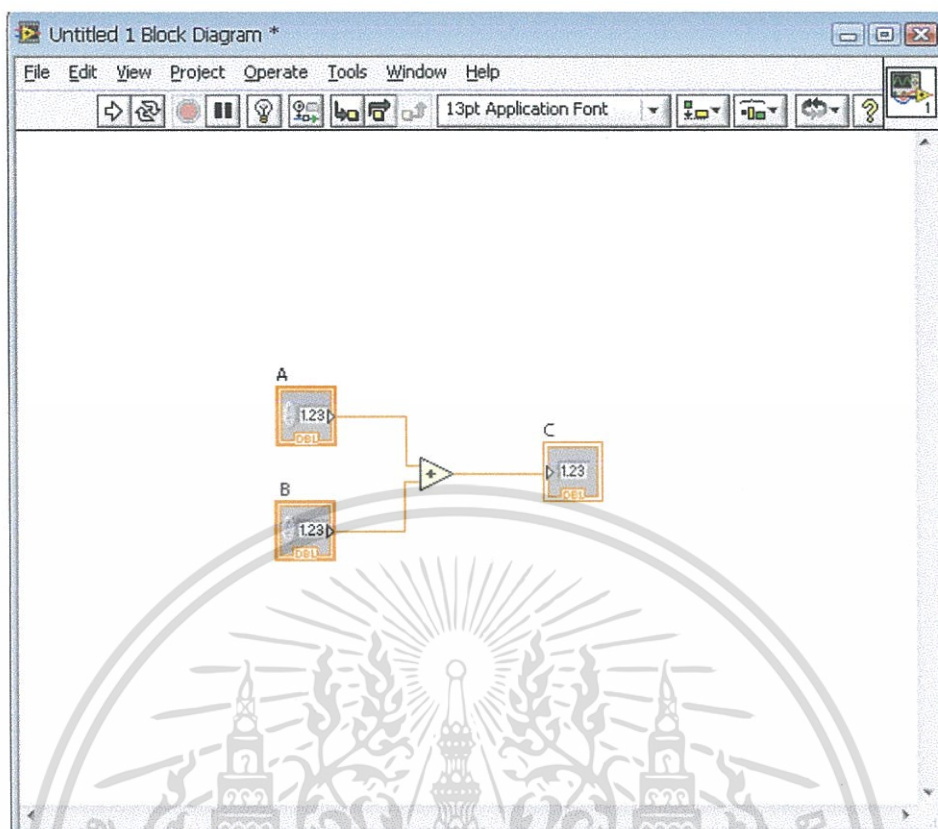
รูปที่ ก.6 Numeric Control และ indicator




รูปที่ ก.7 ฟังก์ชัน Add จาก Programming

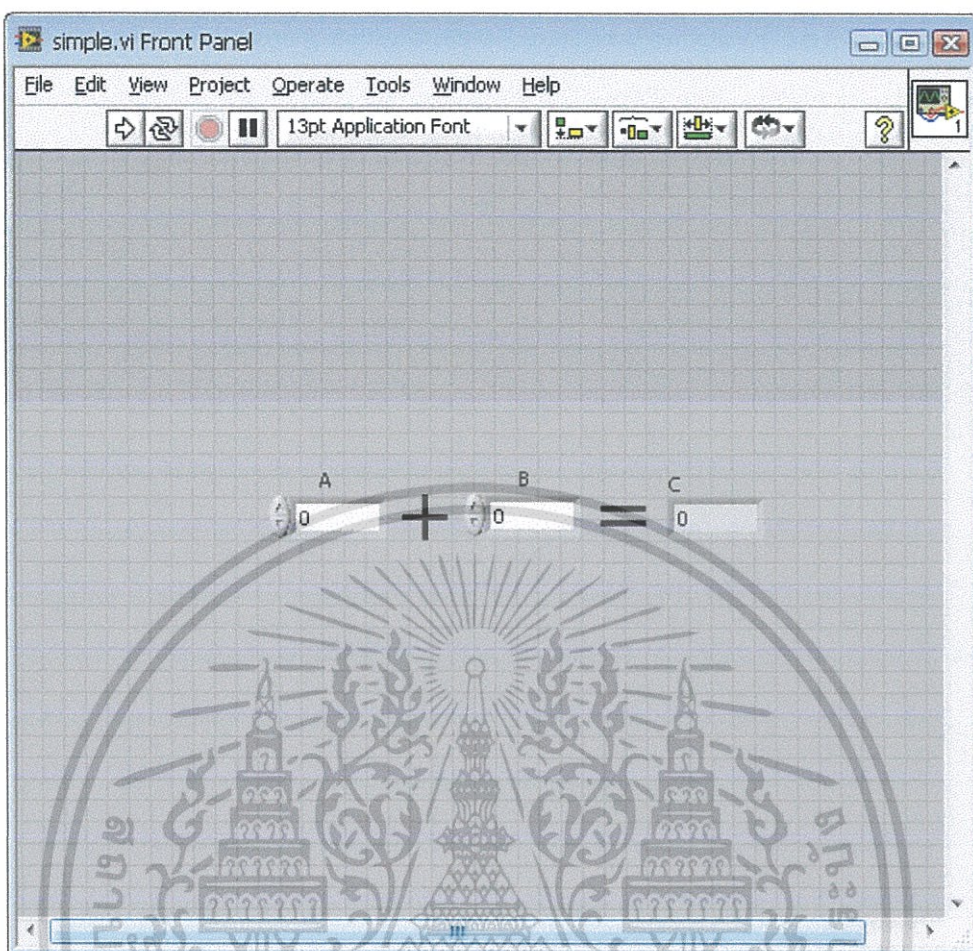
จากนั้นนำฟังก์ชัน Add ไปวางไว้ในหน้าจอบล็อกไดอะแกรม ซึ่งจะเป็นส่วนของการเขียนโปรแกรมของเรา จากนั้นทำการลากสายเชื่อมต่อระหว่างบล็อกทั้งหมด ให้ดูสวยงามเป็นระเบียบดังรูปที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้








รูปที่ ก.8 หน้าจอ Block Diagram เมื่อเชื่อมต่อสายระหว่างบล็อกเรียบร้อยแล้ว

เท่านี้ เราจะได้ VI ที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว โดย VI ที่ได้นี้คือโปรแกรมที่ทำหน้าที่บวก A และ B เพื่อจะได้ค่าผลลัพธ์เป็น C การรันโปรแกรมก็เพียงแค่คลิกปุ่ม Run หรือ  ระบบก็จะทำการบวกให้ โดยผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงค่าของ A และ B ได้จากคอนโทรล A และ B ซึ่งสามารถใส่ค่าลงในช่องได้โดยตรงหรือ การกดเลื่อนค่าจากปุ่มลูกศรจากตัวคอนโทรล จากนั้น save โดยใช้ชื่อโปรแกรมว่า “simple.vi” โดยในหน้าจอ Front panel นั้นเราสามารถตกแต่งเพิ่มเติม เพื่อให้เกิดความสวยงามแต่ที่สำคัญก็คือควรตกแต่ง เพื่อให้เกิดความง่ายแก่การใช้งาน หรือ ให้ผู้ใช้งานเข้าใจได้ทันทีว่าโปรแกรมมีหน้าที่อะไร ตัวอย่าง เช่น การใส่ “+” และ “=” ทำให้ดูแล้วเข้าใจทันทีว่าโปรแกรมทำหน้าที่บวกเลขสองจำนวน



รูปที่ ก.9 หน้าจอ “simple.vi” ที่ตกแต่งเพื่อให้สวยงามและเข้าใจได้ง่าย

การรันโปรแกรมสามารถทำได้โดยกดปุ่มไอคอน  หรือ กด Ctrl+R โดยเราสามารถทดลองรัน “simple.vi” ได้ทันที พร้อมกับทดลองเปลี่ยนค่า ของ A และ B เพื่อดูผลลัพธ์ C ขณะโปรแกรมกำลังรันอยู่ ไอคอน  จะเปลี่ยนรูปร่างเป็น  และหากต้องการให้หยุดการรัน ก็จะต้องคลิกที่ปุ่ม STOP  แต่ตอนนี้การรันโปรแกรม จะเกิดขึ้นเพียงแค่ครั้งเดียว หรือ รอบเดียว หากต้องการให้โปรแกรมสามารถรันได้ต่อเนื่อง ก็จะต้องเลือก  โปรแกรมจะรันต่อเนื่องได้หากมี การเขียนตัวควบคุมการรัน เช่นการใส่ While loop ดังแสดงในหัวข้อถัดไป

เพิ่ม While loop

หากเราต้องการให้โปรแกรมสามารถรันได้อย่างต่อเนื่อง นั้นเราใช้บล็อกที่ทำหน้าที่คอนโทรลการรัน โดยส่วนมากเราใช้ While loop ซึ่งมีความหมายว่าเป็นการ “รันโปรแกรมไปจนกว่าจะพบเงื่อนไขการหยุดที่ถูกต้อง” เงื่อนไขการหยุดที่ว่าอาจจะเกิดจากการทำงานของโปรแกรมเอง หรือจากการรับคำสั่งจากผู้ใช้งาน เช่นการกดปุ่มยกเลิกการทำงาน บล็อก While loop ใน



LabVIEW จะใช้ไอคอนเป็น While Loop จาก Programming>> Structures>> While loop ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ใบอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

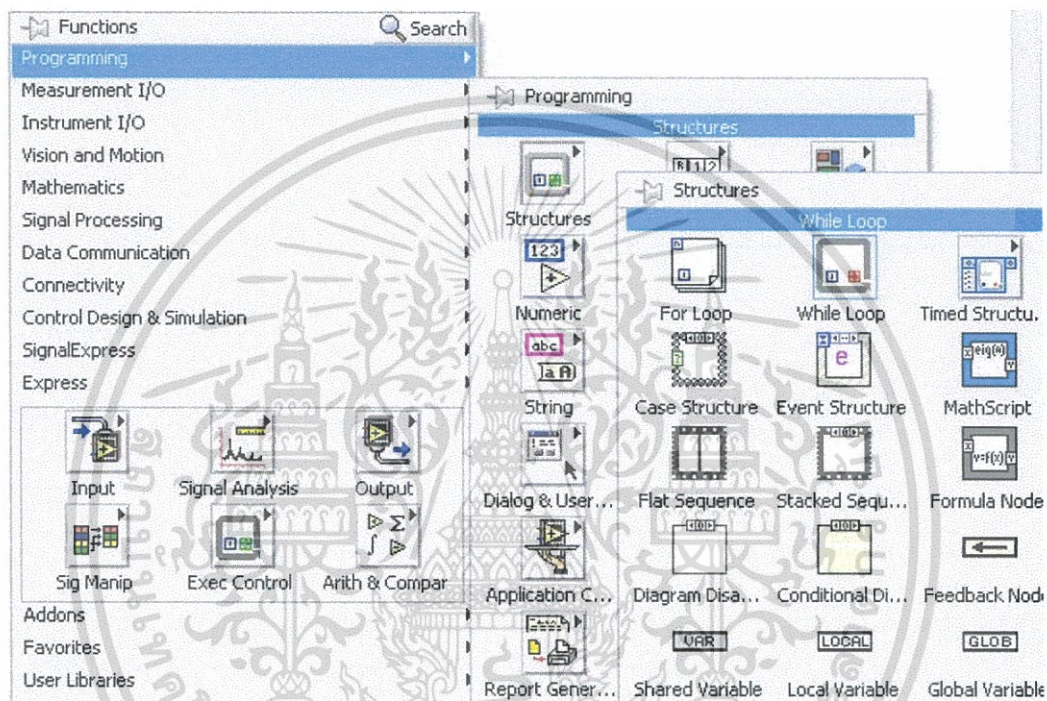
หรือ While [เงื่อนไข][โปรแกรม] end วิธีการใช้ While loop ใน LabVIEW ก็คือการใช้บล็อก



While Loop ครอบลงไป ในส่วนบล็อกที่เราต้องการเช่นเดียวในการเขียนโปรแกรม Text นั้นเอง ดู

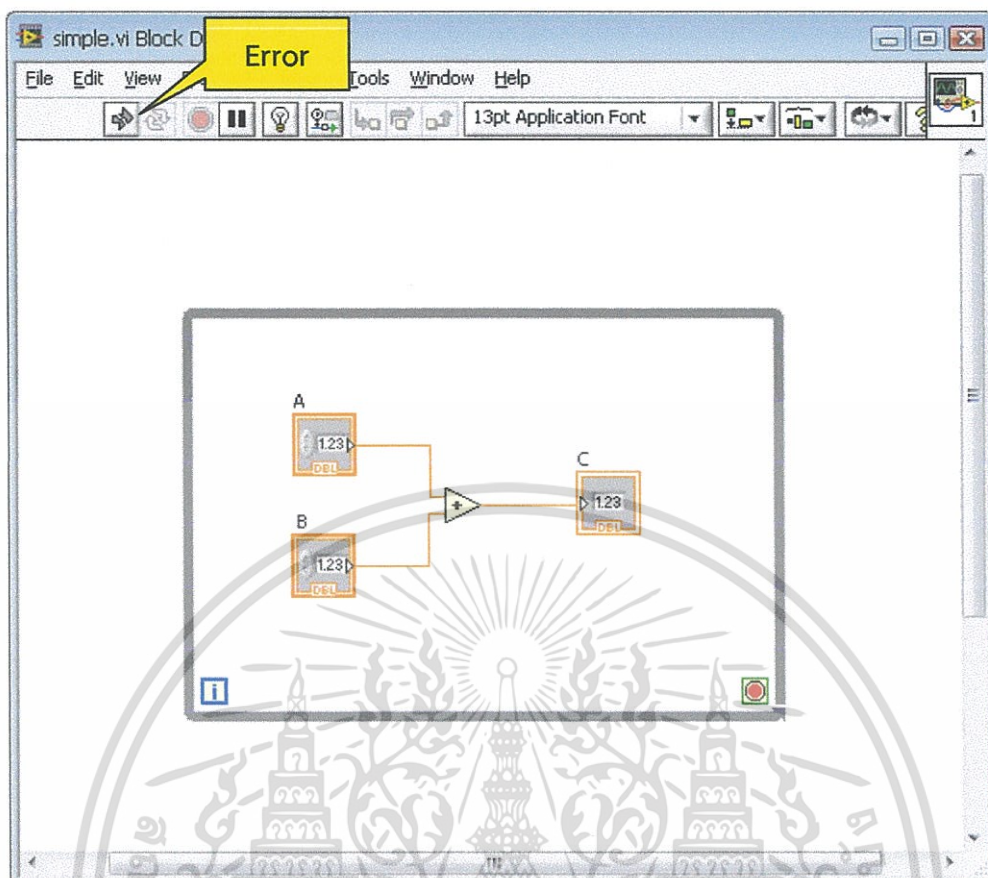


วิธีการใส่ While Loop ใน VI ได้จากรูปที่ ก.10








รูปที่ ก.10 การเลือก While loop

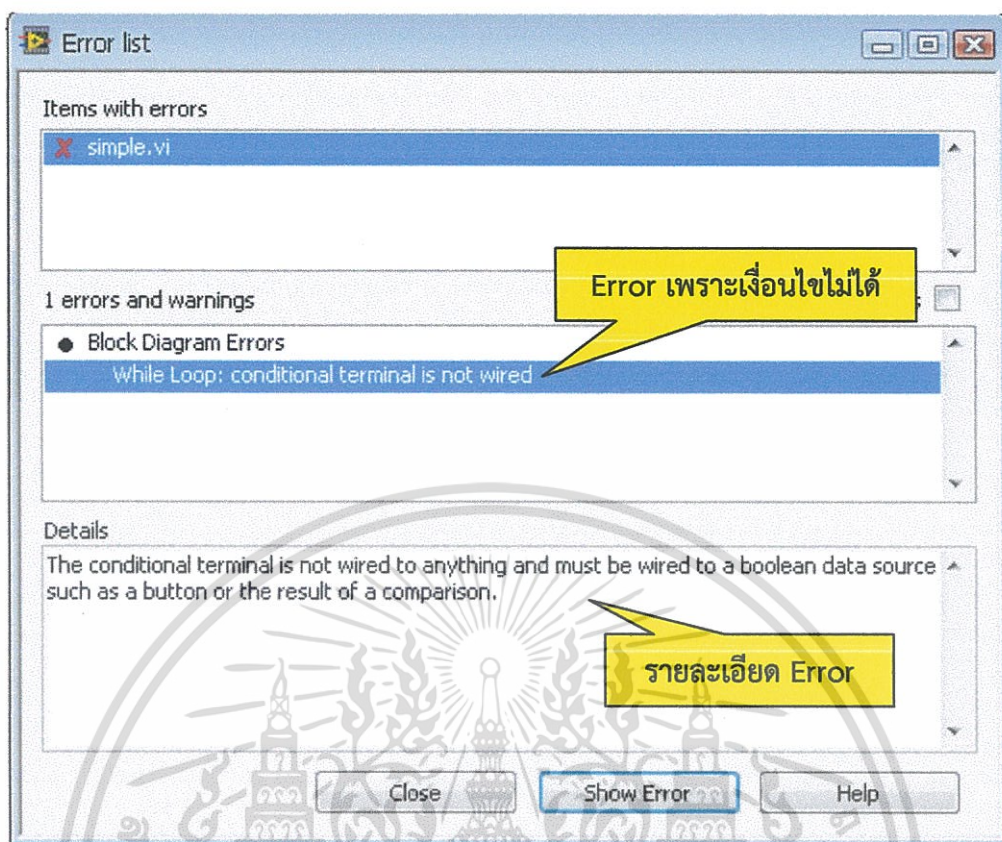
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



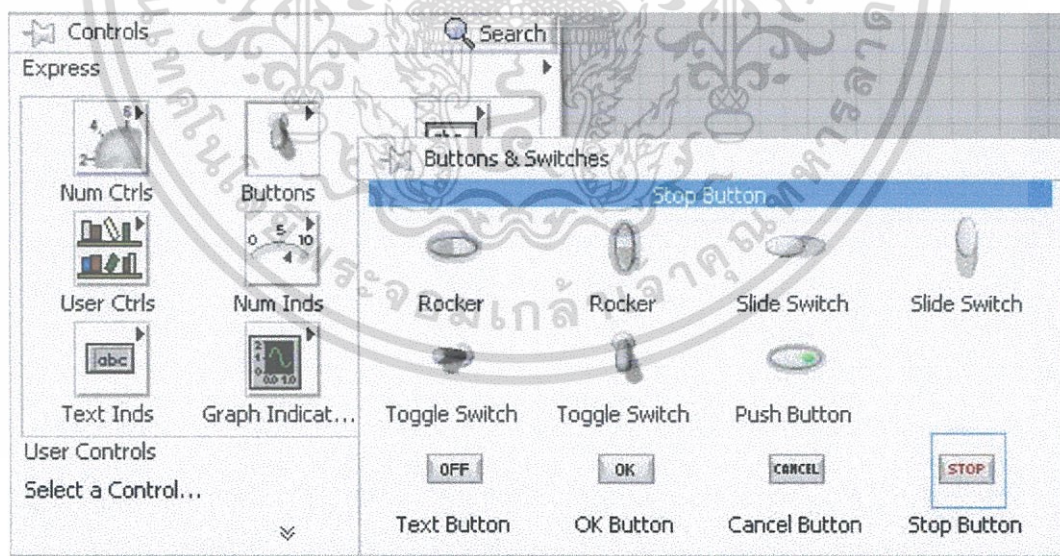
รูปที่ ก.11 การใส่ While loop

แต่ในรูปที่ ก.11 สังเกตว่า หากเราไม่ใส่เงื่อนไขการหยุดการทำงาน ให้กับ While loop แล้วละก็ จะเกิด ความผิดพลาด หรือ Error ขึ้นแสดงด้วยไอคอน  ซึ่งหากเราคลิกเข้าไปดู LabVIEW จะแสดงเหตุผลของ Error ที่เกิดขึ้นโดย Error ในตอนนี้ก็เพราะเนื่องจากตัวแสดงเงื่อนไข Loop condition ที่แสดงด้วย  นั้น ยังไม่ได้รับการกำหนดเงื่อนไข หน้าจอแสดง Error จะอยู่ในภาพที่ 9 การแก้ไข Error นี้ ก็เพียงแค่ใส่ Control เพื่อแสดงเงื่อนไขการทำ While loop ซึ่งเราเลือกเป็นปุ่มกดติดปล่อยดับชื่อ Stop  ที่ได้มาจาก Control>> Boolean>> Stop Button ดังใน ภาพที่ 10 จากนั้นเราก็จะลากบล็อก  ซึ่งเป็น Boolean นั้น ลงมาในส่วน ของ Front panel แล้วลากสายให้เชื่อมต่อกับเงื่อนไขยกเลิกการทำ While loop 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

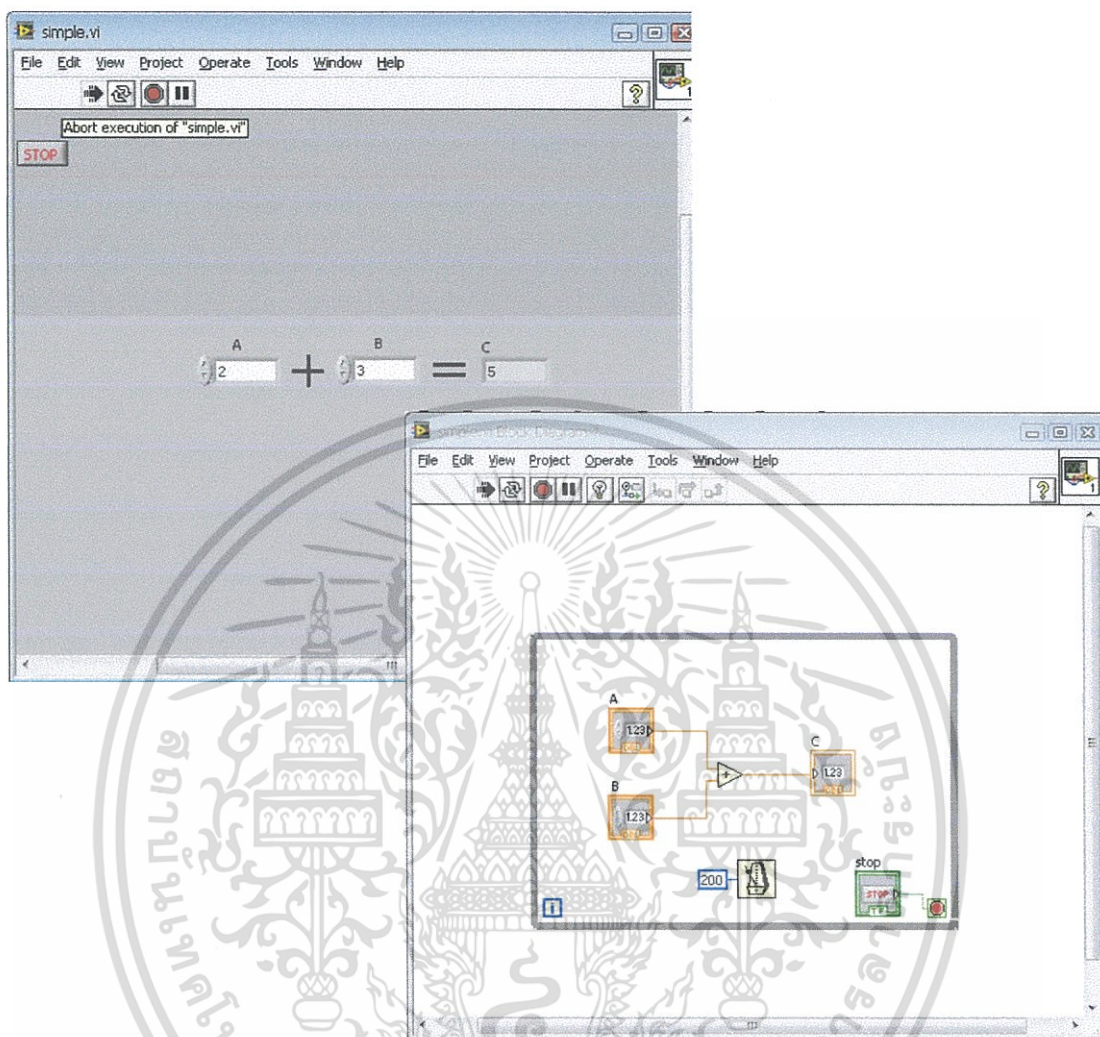


รูปที่ ก.12 หน้าจอแสดงรายการ Error





รูปที่ ก.13 Stop Button

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.14 simple.vi ที่มี While loop ที่มีเงื่อนไขการหยุด

เท่านั้นเราก็จะได้โปรแกรมการบวกที่สามารถรัน เรียบร้อยแล้ว เมื่อกดปุ่ม  ก็จะมีปรากฏ การรันต่อเนื่อง  ขึ้น จนกว่าจะยกเลิก  หรือ stop  บนเมนู สังเกตในรูปที่ ก.14 นั้น จะปรากฏว่ามีบล็อกการตั้งเวลาการทำงานใน while loop ด้วย โดยมีสัญลักษณ์ ของฟังก์ชัน

บล็อกเป็น  บล็อกนี้ได้มาจาก Function>> Programming>> Timing>> Wait until next ms mutiple สาเหตุที่ต้องใช้บล็อกตั้งเวลาก็คือว่า ใน While loop นั้นจะทำงานต่อเนื่องจาก loop ทั่วไป loop ถัดไปโดยไม่มีช่วงหยุดพัก ซึ่งจะทำให้โปรแกรมนี้จองเวลาของ CPU เต็มที่จน ไม่มีเวลาไปทำงานอื่นๆ ได้เลย ดังนั้นจึงควร จะมีส่วนของการตั้งค่านช่วงเวลาของการวนแต่ละ loop ด้วยการตั้งเวลาทำได้จาก การใส่อินพุตเป็นค่าคงที่ซึ่งมีบล็อกเป็น  โดยมีหน่วย มิลลิวินาที

ซึ่งเขียนเป็นชุดบล็อกที่จะเป็นมาตรฐาน เช่น   นั้นหมายความว่า เราตั้งค่าให้มีการรอเป็นเวลา 200 มิลลิวินาที ก่อนที่ loop ถัดไปจะเริ่มทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข. - DAQ (Data Acquisition)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DAQ

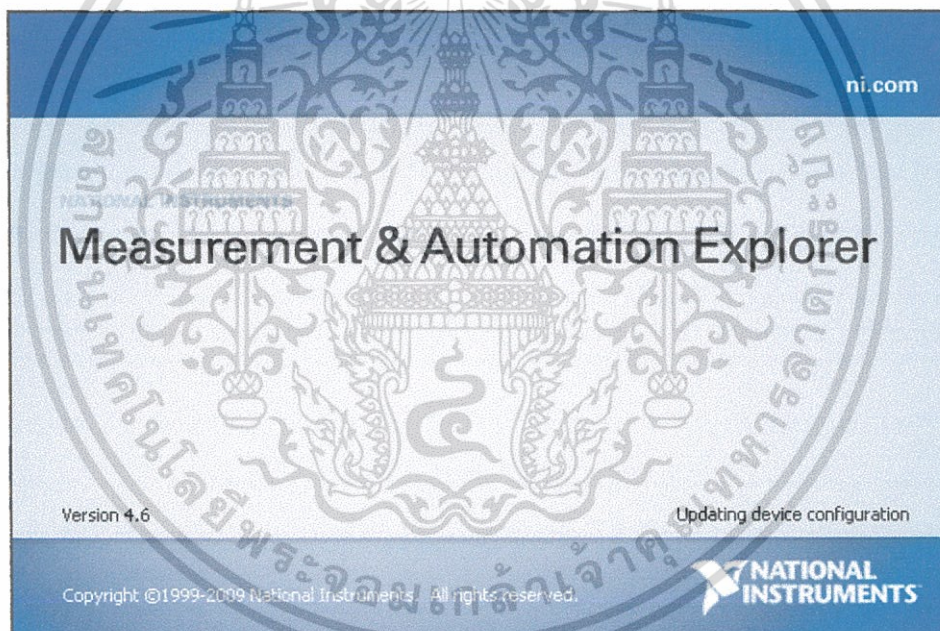
การเชื่อมต่อ DAQ กับ ชุดโปรแกรม

ทำการลง Driver โปรแกรมที่แนบมากับ DAQ รุ่น NI USB-6212 ชื่อโปรแกรม Measurement & Automation รุ่นที่ทำการติดตั้งคือ Version 4.6 จากนั้นทำการเปิดโปรแกรมโดยคลิกที่ Icon ของโปรแกรม Measurement & Automation ดังรูปที่ ข.1



Measurement &
Automation

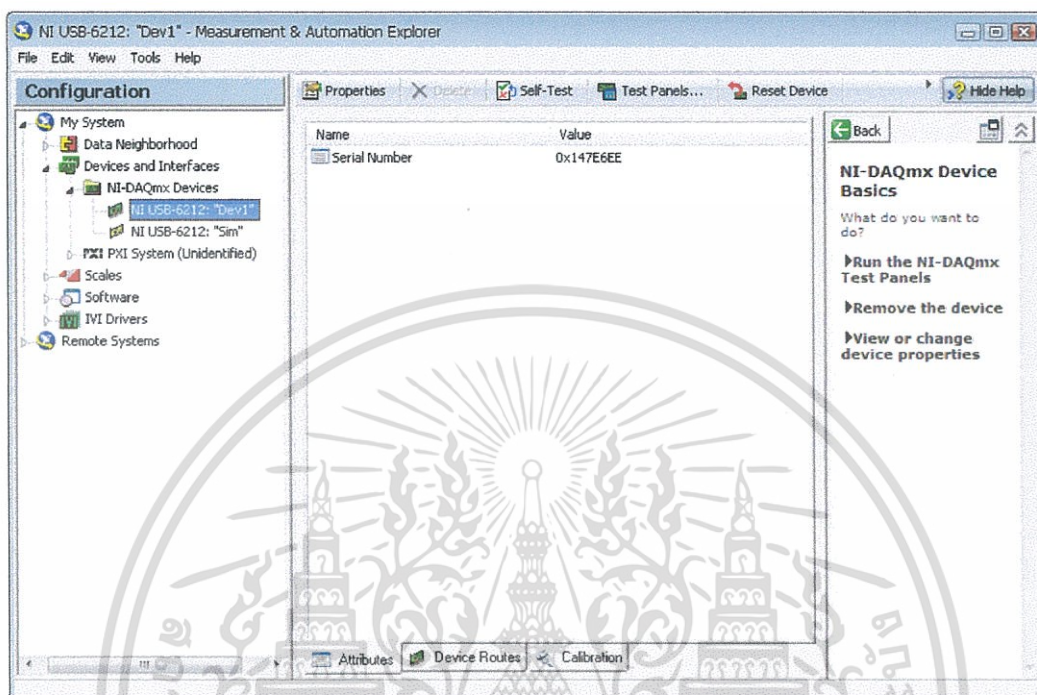
รูปที่ ข.1 Icon ของโปรแกรม Measurement & Automation



รูปที่ ข.2 เข้าโปรแกรม Measurement & Automation Version 4.6

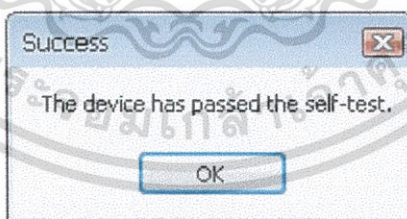
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเข้าโปรแกรมแล้วจะพบหน้าต่าง NI USB-6212: "Dev1" Measurement & Automation Explorer จากนั้นทำการตรวจสอบความผิดปกติของชุดอุปกรณ์ โดยเลือกที่ Self-Test บน Toolbar ของโปรแกรม ดังรูปที่ ข.3



รูปที่ ข.3 หน้าต่างของโปรแกรม Measurement & Automation

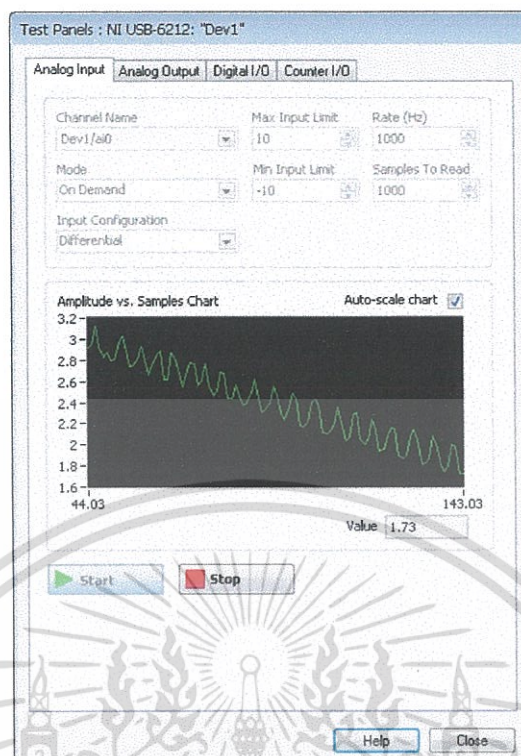
จากนั้นจะปรากฏหน้าต่าง Success ขึ้นมา ดังรูปที่ ข.4 ซึ่งแปลว่าไม่มีความผิดปกติเกิดขึ้นกับชุดอุปกรณ์ หรือสามารถใช้งานได้ปกติ



รูปที่ ข.4 หน้าต่างเมื่อทำการตรวจสอบชุดอุปกรณ์

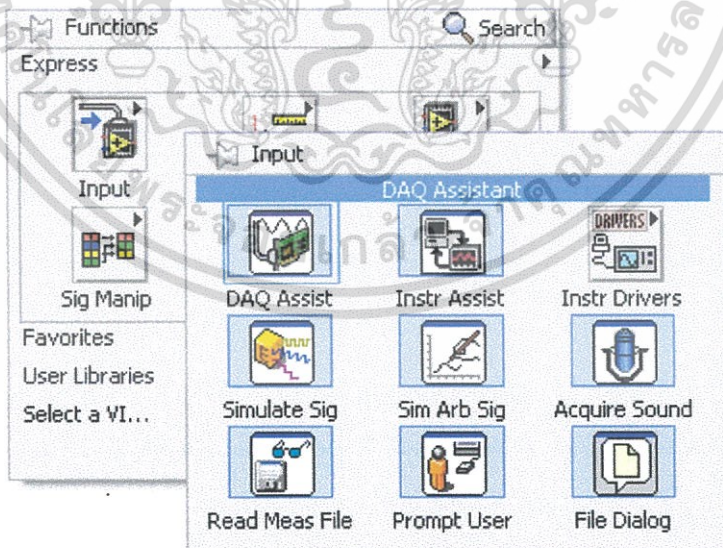
และยังทำการทดสอบแต่ละช่องอุปกรณ์ได้ที่ Test Panels บน Toolbar ในโปรแกรม Measurement & Automation เมื่อกด Test Panel แล้วจะพบกับหน้าต่างที่ใช้ทดสอบช่องอุปกรณ์ต่างๆ ดังรูปที่ ข.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 หน้าต่างของ Test Panels

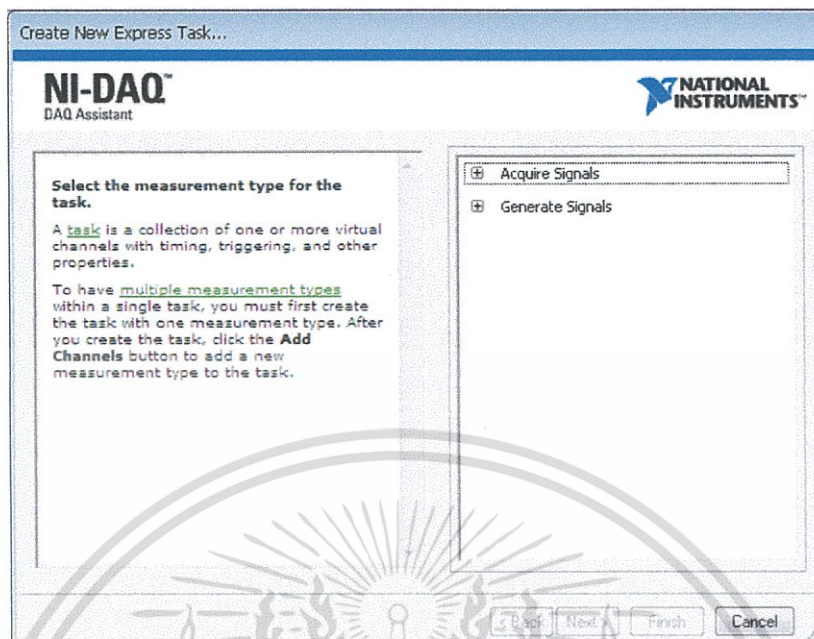
การเชื่อมต่อชุดอุปกรณ์กับโปรแกรม LabVIEW สามารถทำได้โดยเรียก DAQ Assistant จาก Function Palette โดยเลือก Express >> Input >> DAQ Assistant ดังรูปที่ ข.6



รูปที่ ข.6 DAQ Assistant จาก Function Palette

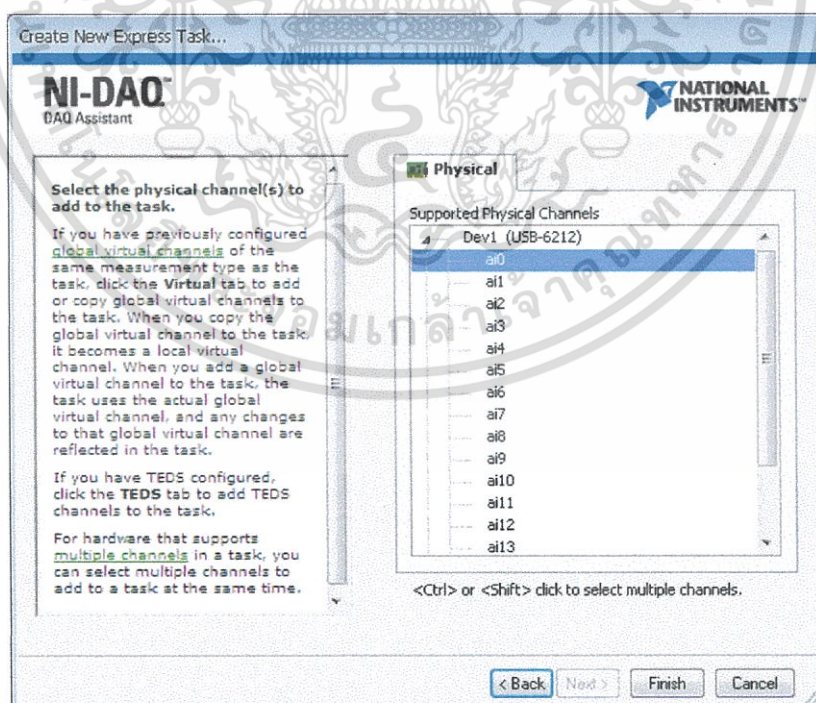
เมื่อเลือก DAQ Assistant แล้วจะปรากฏหน้าต่าง Create New Express Task ดังรูปที่ ข.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.7 หน้าต่าง Create New Express Task

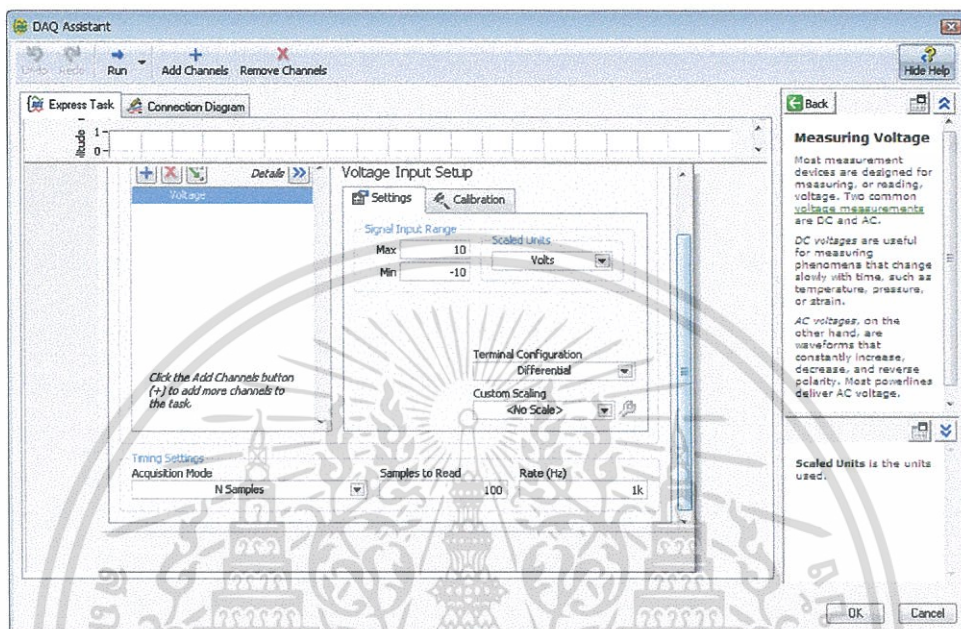
จากนั้นทำการเลือกสัญญาณอินพุตที่ Acquire Signals หรือสร้างสัญญาณเอาต์พุตที่ Generate Signals จากนั้นทำการเลือกช่องสัญญาณของ DAQ ดังรูปที่ ข.8



รูปที่ ข.8 เลือกช่องสัญญาณของ DAQ

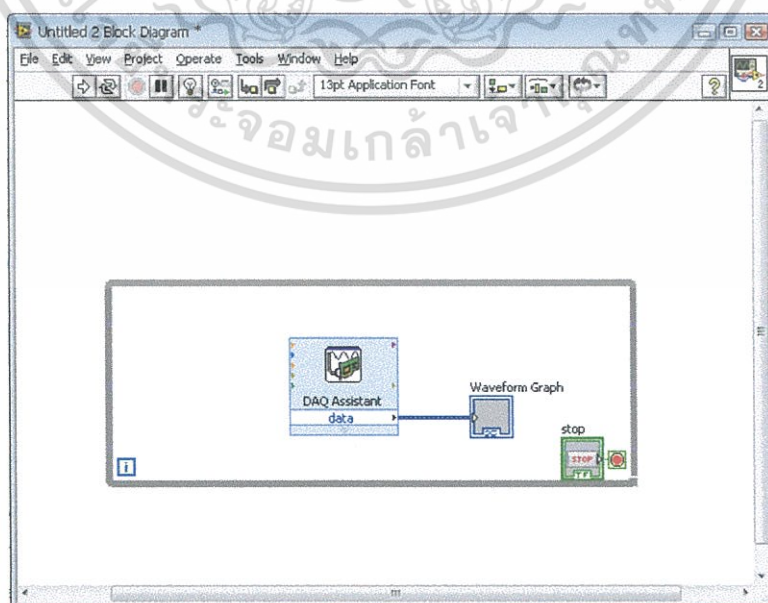
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกดปุ่ม Finish แล้วจะขึ้นหน้าต่าง DAQ Assistant เพื่อทำการตั้งค่า Sampling Rate ที่ช่อง Samples to Read และช่อง Rate (Hz) รวมถึงการเลือกวิธีการเชื่อมต่อที่ช่อง Terminal Configuration จากนั้นทำการกดปุ่ม OK ดังรูปที่ ข.9



รูปที่ ข.9 หน้าจอ DAQ Assistant

จากนั้นก็สามารสร้าง Block Diagram ต่างๆเพื่อนำมาใช้ทำงานกับสัญญาณที่ผ่านจากชุดอุปกรณ์ได้



รูปที่ ข.10 ทำการเขียน Block Diagram โดยรับสัญญาณอินพุตจาก DAQ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

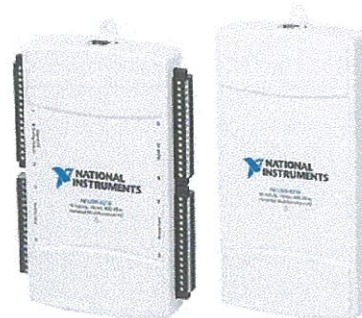


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. NI USB-6212

16-Bit, 400 kS/s M Series MIO DAQ, Bus-Powered

- 16 analog input (16-Bit, 400 kS/s)
- 2 analog output (16-Bit, 250 kS/s); 32 digital I/O; two 32-bit counters
- Bus-powered USB for high mobility; built-in signal connectivity
- NI signal streaming for sustained high-speed data streams over USB; OEM version available
- Compatible with LabVIEW, ANSI C/C++, C#, Visual Basic .NET, and Visual Basic 6.0
- NI-DAQmx driver software and LabVIEW Signal Express LE interactive data-logging software



The National Instruments USB-6212 is a bus-powered USB M Series multifunction data acquisition (DAQ) module optimized for superior accuracy at fast sampling rates. It offers 16 analog inputs; 400 kS/s sampling rate; two analog outputs; 32 digital I/O lines; four programmable input ranges (± 0.2 to ± 10 V) per channel; digital triggering; and two counter/timers.

The NI USB-6212 is designed specifically for mobile or space-constrained applications. Plug-and-play installation minimizes configuration and setup time, while direct screw-terminal connectivity keeps costs down and simplifies signal connections. This product does not require external power.

The USB-6212 also features new NI signal streaming technology, which gives you DMA-like bidirectional high-speed streaming of data across the USB bus. For more information about NI signal streaming, view the Resources tab.

Each module features an OEM version. Check the resources tab or use the left navigation to get pricing and technical information.

Driver Software

NI-DAQmx driver and measurement services software provides easy-to-use configuration and programming interfaces with features such as DAQ Assistant to help

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทและใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ผู้อ่านและผู้ยืมที่นำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

reduce development time. Browse the information in the Resources tab to learn more about driver software or download a driver. M Series devices are not compatible with the Traditional NI-DAQ (Legacy) driver.

Application Software

Every M Series data acquisition device includes a copy of NI LabVIEW SignalExpress LE data-logging software, so you can quickly acquire, analyze, and present data without programming. In addition to LabVIEW SignalExpress, M Series data acquisition devices are compatible with the following versions (or later) of NI application software – LabVIEW 7.1, LabWindows™/CVI 7.x, or Measurement Studio 7.x. M Series data acquisition devices are also compatible with Visual Studio .NET, C/C++, and Visual Basic 6.0.

The mark LabWindows is used under a license from Microsoft Corporation.

Specifications Summary

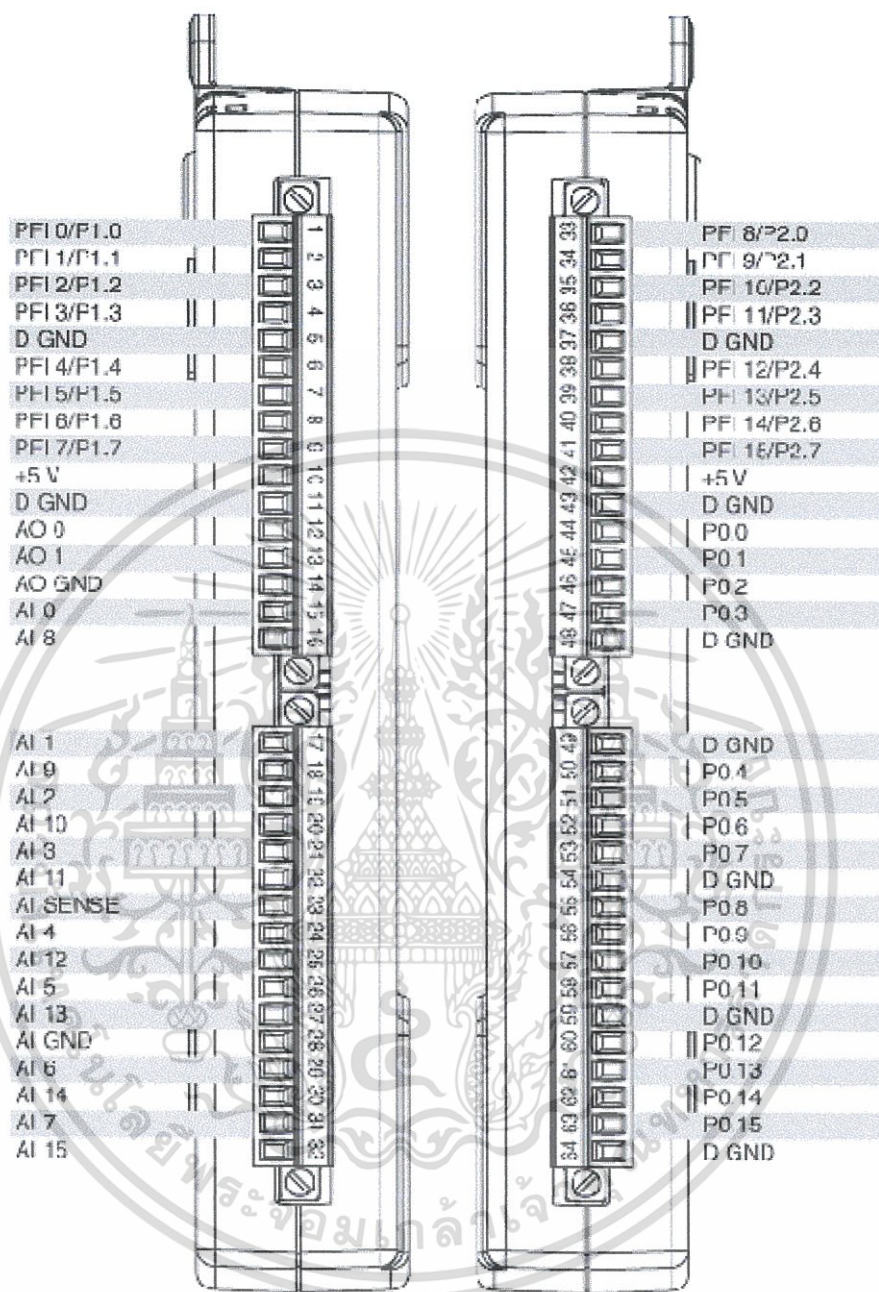
General	
Product Name	USB-6212
Product Family	Multifunction Data Acquisition
Form Factor	USB
Part Number	780107-01
Operating System/Target	Windows
DAQ Product Family	M Series
Measurement Type	Quadrature encoder , Voltage
RoHS Compliant	Yes
Analog Input	
Channels	16 , 8
Single-Ended Channels	16
Differential Channels	8
Resolution	16 bits
Sample Rate	400 kS/s
Max Voltage	10 V

Maximum Voltage Range	-10 V , 10 V
Maximum Voltage Range Accuracy	2.69 mV
Maximum Voltage Range Sensitivity	91.6 μ V
Minimum Voltage Range	-200 mV , 200 mV
Minimum Voltage Range Accuracy	0.088 mV
Minimum Voltage Range Sensitivity	4.8 μ V
Number of Ranges	4
Simultaneous Sampling	No
On-Board Memory	4095 samples
Analog Output	
Channels	2
Resolution	16 bits
Max Voltage	10 V
Maximum Voltage Range	-10 V , 10 V
Maximum Voltage Range Accuracy	3.512 mV
Minimum Voltage Range	-10 V , 10 V
Minimum Voltage Range Accuracy	3.512 mV
Update Rate	250 kS/s
Current Drive Single	2 mA
Current Drive All	4 mA
Digital I/O	
Bidirectional Channels	32
Input-Only Channels	0
Output-Only Channels	0
Number of Channels	32 , 0 , 0
Timing	Software
Logic Levels	TTL
Input Current Flow	Sinking
Output Current Flow	Sourcing
Programmable Input Filters	No
Supports Programmable Power-Up States?	Yes
Current Drive Single	16 mA
Current Drive All	50 mA
Watchdog Timer	No
Supports Handshaking I/O?	No
Supports Pattern I/O?	No

เอกสารนี้เป็นที่สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Input Range	0 V , 5.25 V
Maximum Output Range	0 V , 3.8 V
Counter/Timers	
Counters	2
Buffered Operations	Yes
Debouncing/Glitch Removal	Yes
GPS Synchronization	No
Maximum Range	0 V , 5.25 V
Max Source Frequency	80 MHz
Pulse Generation	Yes
Resolution	32 bits
Timebase Stability	50 ppm
Logic Levels	TTL
Physical Specifications	
Length	16.9 cm
Width	9.4 cm
Height	3.1 cm
I/O Connector	Screw terminals
Timing/Triggering/Synchronization	
Triggering	Digital

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 ตำแหน่ง PIN ของ DAQ รุ่น 6212

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Metrix - PX120 Power Meter

For measurements on-site or in a laboratory, a new concept: the digital power meter.

- DC or AC TRMS networks: balanced single-phase (PX 110) or three-phase (PX 120)
- Voltage, current, active/reactive/apparent powers and power factor measurements
- High degree of sensitivity
- Simple and quick implementation with direct access keys
- Numerous automatic functions: current range switching, HOLD, filtering, starting current, etc.
- Excellent readability: 3 quantities displayed simultaneously with a digit height of 14 mm
- Digital transmissions protected by infrared communication interface
- Mains power supply (optional)



Technical characteristics		PX 120
Network type		single-phase and three-phase 3 balanced wire (T3FE)
Number of counts		3 lines of 4 digits (14 mm)
Bandwidth		DC to 1 kHz
Active power		
Range		10 W to 1 kW – 1 kW to 6 kW
Resolution		0.1 W – 1 W
Basic AC/DC accuracy		1% R ± 2 digits / 2% R ± 3 digits
Apparent/reactive power		
Range		10* to 1 k* – 1k* to 6 k*
Resolution / Basic accuracy		0.1* - 1* / 2% R ± 2 digits
Power factor		
Range		1.00
Resolution		0.01 / 3% R ± 2 digits
Voltage		
Range		0.5 to 600 V RMS
Resolution		100 mV
Basic AC/DC accuracy		0.5% R ± 2 digits / 1% R ± 3 digits
Input impedance		1 MΩ
Current		

Range	10 mA to 2 A - 2 A to 10 A RMS
Resolution	1 mA – 10 mA
Basic AC/DC accuracy	0.5% R \pm 2 digits / 1% R \pm 3 digits
Starting current	
Range	5 A – 65 A (peak)
Resolution / Accuracy	100 mA / 10% R \pm 2 digits

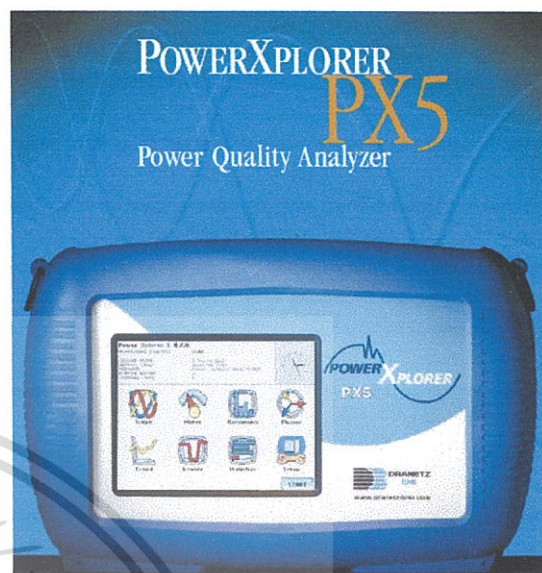
* Apparent power = VA – reactive power = VAR – In three-phase, the measurement is only exact for sinusoidal signals.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Power Xplorer - PX5 Power Quality Analyzer

The PowerXplorer™ PX5 integrates the most advanced feature set available in a power monitoring instrument, with an easy-to-navigate, color graphical user interface. With high-speed sampling and data capture (1 microsecond/channel), this 8-channel workhorse simultaneously captures and characterizes hundreds of parameters, using a range of standard and customizable operating modes. The unique measurement capabilities of the PowerXplorer include capture of low-medium-high frequency transients through peak, waveshape, rms duration and adaptive high-speed sampling, as well as power measurements to clearly characterize non-sinusoidal and unbalanced systems.



Specifications

Measured Parameters
(4) differential inputs, 1-600 Vrms, AC/DC, 0.1% rdg + 0.05% FS, 256 samples/cycle, 16 bit ADC
(4) inputs with CTs 1-6000 Arms CT-dependent, AC/DC, 0.1% rdg + CTs, 256 samples/cycle, 16 bit ADC
1 MHz High Speed Sampling, 14 bit ADC
Frequency Range, 10 mHz resolution, 15-20 Hz, 45-65 Hz or 350-450 Hz
Phase Lock Loop - Generator tracking, Standard PQ mode
Monitoring/Compliance
IEEE 1159
IEC 61000-4-30 Class A
EN50160 Quality of Supply
Current Inrush / Energization
Voltage Fault Recording
Long Term Monitoring w/min/max/avg
Continuous Data Logging
Power Quality Triggers
Cycle-by-cycle analysis
256 samples/cycle; 1/ 2 cycle RMS steps (1)
L-L, L-N, N-G RMS Variations: Sags/swells/interruptions
RMS Recordings V & I (32 pre-fault, 10K post-fault cycles)
Waveshape Recordings (32 pre-fault, 10K post-fault cycles)
Low and Medium Frequency Transients - V & I
High Frequency Transients - V & I, 3% FS trigger (1)

Harmonics Summary Parameters
Cross trigger V & I channels
RMS Event Characterization (IEEE or IEC)
Transient Event Characterization (1)
Distortion/Power/Energy
W, VA, VAR, TPF, DPF, Demand, Energy, etc.
IEEE 1459 Parameters of distorted and unbalanced
Harmonics / Interharmonics per IEC 61000-4-7
THD/Harmonic Spectrum (V,I,W) to 63rd
TID/Interharmonic Spectrum (V,I) to 63rd
Flicker per IEC 61000- 4-15 (Pst,Plt,Sliding Plt)
Crest Factor, K Factor, Transformer Derating Factor,
Telephone Interference Factor
Unbalance (max rms deviation) & sequencing components
5 User Spec Harmonics or Signaling Frequency
Vector/Arithmetic/Coincident Parameters
Available Languages
English, French, Italian, German, Spanish, Swedish
General Specifications
Size (HxWxD): 12" x 2.5" x 8" (30cm x 6.4cm x 20.3cm)
Weight: 4.2 pounds (1.9 kg)
Operating Temperature: 0° to 50° C (32° to 122° F)
Storage Temperature: -20° to 55° C (4° to 131° F)
Humidity: 10 to 90% non-condensing
System Time Clock-Crystal controlled-1 second resolution
Charger / Battery Eliminator: 90-264 VAC 47-63 Hz
Display: LCD color touch screen
Memory options (must have one): 32M-128M removable compact flashcard
Optional Accessories
Current Probes: An extensive selection, including: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Model TR-2510A 0-10 A; up to 0.47" conductors ▪ Model TR-2500A 10-500 A; up to 1/8" diameter or 2.5" x 0.2"conductors ▪ Model TR-2520A 300-3000 A; up to 2.56" diameter or 1.97" x 5.3" (bus bar) ▪ Model TR-2019B 1-300 A; up to 2.0" conductors (requires 116002-G1 adapter) ▪ Flexible probes: ranging in current from 30-6000 A, 24", 36", 48" ▪ Hall Effect Probes for AC/DC applications, 150 A or 1500 A
CT Cable Adapter (CA4300LEM)
Voltage Cable Accessory Pack (VCP4300)
Soft Carrying Case (SCC-4300)
Field Replaceable Battery Pack (BP-PX5)
External Battery Charger (XBC-PX5)
Reusable Shipping Container (RSC-4300)

Weatherproof Container (NEMA4300)
Lockable Portable Case (LPC-4300)
Portable Field Printer (PFP4300)
Communications Interface: <ul style="list-style-type: none"> ▪ RS232 FiberOptic Adapter (COMM-RS232) ▪ USB FiberOptic Adapter (COMM-OUA) ▪ LAN-FiberOptic Adapter (COMM-OEA)
DRAN-VIEW software: Runs under Windows 98, ME, NT, XP
NodeLink® with download, setups and meter
CD-ROM Training Program

1) PX5-400 samples at 32 samples/cycle, 1 cycle steps at 400 Hz.

Certain parameters measured at 45-65 Hz range only.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Fluke 43B

The Fluke 43B has been designed and tested in accordance with the following standards: ANSI/ISA 82.02-01, EN/IEC 61010-1:2001, CAN/CSA-C22.2 No.61010.1-04 (including approval), UL3111-1 (including approval) Safety Requirements for Electrical Equipment for Measurement, Control, and Laboratory Use.



Function Specifications

For all specifications, probe specifications must be added.

Electrical functions	
Specifications are valid for signals with a fundamental between 40 and 70 Hz.	
Minimum input voltage	4 V peak-peak
Minimum input current	10 A peak-peak (1 mV/A)
Input bandwidth	DC to 15 kHz (unless specified otherwise)
Volts / Amps / Hertz	
Readings	V rms (AC+DC), A rms (AC+DC), Hz
Voltage ranges (auto)	5.000 V to 500.0 V, 1250 V $\pm(1\% + 10 \text{ counts})$
Current ranges (auto)	50.00 A to 500.0 kA, 1250 kA $\pm(1\% + 10 \text{ counts})$
Frequency range	10.0 Hz to 15.0 kHz
▪ 40.0 to 70.0 Hz	▪ $\pm(0.5\% + 2 \text{ counts})$
CF Crest Factor range	1.0 to 10.0 $\pm(5\% + 1 \text{ counts})$
Power (1 and 3 Phase, 3 Conductor balanced loads)	
Readings	Watt, VA, VAR, PF, DPF, Hz
Watt, VA, VAR ranges (auto)	250 W to 250 MW, 625 MW, 1.56 GW
▪ when selected: total (%r)	▪ $\pm(2\% + 6 \text{ counts})$
▪ when selected: fundamental (%f)	▪ $\pm(4\% + 4 \text{ counts})$
DPF	0.0 to 1.00
▪ to 0.25	▪ not specified
▪ 0.25 to 0.90	▪ ± 0.04
▪ 0.90 to 1.00	▪ ± 0.03
PF	0.00 to 1.00, ± 0.04
Frequency range	10.0 Hz to 15.0 kHz
▪ 40.0 to 70.0 Hz	▪ $\pm(0.5\% + 2 \text{ counts})$
Harmonics	
Number of harmonics	DC..21, DC..33, DC..51
V rms / I rms	fund. $\pm(3\% + 2 \text{ counts})$, 31st $\pm(5\% + 3 \text{ counts})$, 51st $\pm(15\% + 5 \text{ counts})$
Watt	fund. $\pm(5\% + 10 \text{ counts})$, 31st $\pm(10\% + 10 \text{ counts})$

	counts), 51st $\pm(30\% + 5 \text{ counts})$
Frequency of fundamental	$\pm 0.25 \text{ Hz}$
Phase	fund. $\pm 3^\circ \dots 51\text{st} \pm 15^\circ$
K-factor (in Amp and Watt)	$\pm 10\%$
Sags & Swells	
Recording times (selectable)	4 minutes to 8 days, endless (16 days)
Readings <ul style="list-style-type: none"> ▪ V rms actual, A rms actual (cycle by cycle calculation) ▪ V rms max, A rms max ▪ V rms min, A rms min 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ $\pm(2\% + 10 \text{ count})$ ▪ $\pm(2\% + 10 \text{ counts})$ ▪ $\pm(2\% + 10 \text{ counts})$
Cursor Readings <ul style="list-style-type: none"> ▪ V rms max, A rms max ▪ V rms average, A rms average ▪ V rms min, A rms min 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ $\pm(2\% + 12 \text{ counts})$ ▪ $\pm(2\% + 10 \text{ counts})$ ▪ $\pm(2\% + 12 \text{ counts})$
Transients	
Detection of voltage transients	$> 40 \text{ ns}$
Useful bandwidth input 1 (with test leads TL24)	DC to 1 MHz
Reference signal After START, the V rms and frequency of the signal are measured. From these data a pure sinewave is calculated.	V rms, Hz
Detection when transients exceed specified voltage level (selectable) Voltage levels	20 %, 50 %, 100 %, 200 % of reference signal
Number of transient memories (temporary)	40
Cursor reading Vpeak min, Vpeak max at cursor	$\pm 5\%$ of full scale
Inrush Current	
Current ranges (selectable)	1 A, 5 A, 10 A, 50 A, 100 A, 500 A, 1000 A
Inrush times (selectable)	1 s, 5 s, 10 s, 50 s, 100 s, 5 min
A peak max at cursor 1	$\pm 5\%$ of full scale
A peak max at cursor 2	$\pm 5\%$ of full scale
Time between cursors	$\pm(0.2\% + 2 \text{ pixels})$
Input Impedance	
Input 1	$1 \text{ M}\Omega // 12 \text{ pF} (\pm 2 \text{ pF})$. With BB120: $20 \text{ pF} \pm 3 \text{ pF}$
Input 2	$1 \text{ M}\Omega // 10 \text{ pF} (\pm 2 \text{ pF})$. With BB120: $18 \text{ pF} \pm 3 \text{ pF}$
Horizontal	
Time base modes (selectable)	Normal, Single, Roll

Ranges (selectable within modes) <ul style="list-style-type: none"> In Normal In Single shot In Roll mode 	<ul style="list-style-type: none"> 5 s to 20 ns/div 5 s to 1 μs/div 60 s to 1 s/div
Time base error	< $\pm(0.4 \% + 1 \text{ pixel})$
Maximum sampling rate <ul style="list-style-type: none"> 10 ms to 60 s 20 ns to 10 ms 	<ul style="list-style-type: none"> 5 MS/s 25 MS/s
Trigger source (AUTO, 1/2 AUTO, MANUAL)	Input 1 or Input 2
Vertical	
Voltage ranges <ul style="list-style-type: none"> Trace accuracy 	5.0 mV/div to 500 V/div <ul style="list-style-type: none"> $\pm(1 \% + 2 \text{ pixels})$
Bandwidth input 1 (voltage) <ul style="list-style-type: none"> excluding test leads or probes with test leads TL24 with 10:1 probe VPS100-R (optional) with shielded test leads STL120 (optional) Lower transition point (AC coupling) 	<ul style="list-style-type: none"> DC to 20 MHz (-3 dB) DC to 1 MHz (-3 dB) DC to 20 MHz (-3 dB) DC to 12.5 MHz (-3 dB) DC to 20 MHz (-6 dB) 10 Hz (-3 dB)
Bandwidth input 2 (current) <ul style="list-style-type: none"> with Banana-to-BNC adapter Lower transition point (AC coupling) 	<ul style="list-style-type: none"> DC to 15 kHz 10 Hz (-3 dB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Yokogawa Power Analyzer PZ4000



- Wide measurement bandwidth (DC, up to 2 MHz)
- Accurately capturing of input waveforms using high-speed (maximum 5 MS/s) sampling
- Voltage and current waveform display and analysis functions to enable power calculations on fluctuating inputs
- Harmonic analysis (up to 500th order) and Fast Fourier Transform (FFT) functions to enable high-frequency power spectrum analysis
- Simultaneous measurement of many channels using multiple units and external trigger function
- Environmentally friendly design based on YOKOGAWA's "Guidelines for Designing Products for the Environment" and "Criteria for Environmental Assessment in Product Design."
- Sensor input module enables evaluation of motor efficiency and total efficiency.

Inputs			
		Voltage input	Current input
Input type	Floating input		
	Resistive voltage divider	Direct input: Shunt input External input: Resistive voltage divider	
Rated values (ranges)	Direct inputs: 30, 60, 120, 200, 300, 600, 1200, 2000 Vpk (1000 Vrms)	Direct input	0.1, 0.2, 0.4, 1, 2, 4, 5 A 10 Apk (5 Arms)
		Direct input	1, 2, 4, 10, 20, 40, 100 20 A 100 Apk (20 Arms)
		External input	100, 200, 400, 1000 mVpk (500 mVrms)
		253751: Combination of direct input 5 A and external input	
		253752: Combination of direct inputs 5 A, 20 A, and external input	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Input resistance	Input resistance: Approximately 1 MW Input capacitance: Approximately 5 pF	Direct input 5 A: Approximately 100 mW + 0.07 μ H, Direct input 20 A: Approximately 11 mW + 0.02 μ H External input: Approximately 10 kW
Instantaneous maximum allowable input (1 second)	Peak of 2000 V or rms of 1000 V (whichever is less)	Direct input 5 A: Peak of 30 A or rms of 15 A (whichever is less) Direct input 20 A: Peak of 150 A or rms of 40 A (whichever is less) External input: Peak and rms of 2 V or less
Continuous maximum allowable input	Peak of 2000 V or rms of 1000 V (whichever is less)	Direct input 5 A: Peak of 10 A or rms of 7 A (whichever is less) Direct input 10 A: Peak of 100 A or rms of 30 A (whichever is less) External input: Peak and rms of 2 V or less
Continuous maximum common mode voltage (50/60 Hz)	600 Vrms	
Common mode rejection ratio (600 Vrms)	Voltage input shorted and current input open $10 \text{ Hz} \leq f < 1 \text{ kHz}$: $\pm 0.005\%$ of range or less Other cases: Design value, $\pm ((\text{maximum range rating}) / (\text{range rating}) \times 0.0002 \times f) \%$ of range or less (f is in kHz)	
Input terminal type	Plug-in terminal (safety terminal)	Direct input: Large binding post External input: BNC
A/D converter	Simultaneous voltage and current conversion, 12-bit resolution, maximum 5 MS/s sampling rate	
Line filter	Available cutoff frequencies: OFF, 500 Hz, 20 kHz, 1 MHz	
Zero-cross filter (for HF trigger and frequency detecting for averaging)	Available cutoff frequencies: OFF, 500 Hz, 20 kHz	
Range switching	Available settings for each element: Manual, Automatic, Remote Control	
Auto-range function	Range up: When input peak exceeds 80% of range rating Range down: When input peak falls to 15% or less of range rating	

Frequency measurements	
Measurement type	Reciprocal
Measured parameters	Voltage and current values of all installed power measurement modules (only channels set to SYNC source during harmonic analysis).
Maximum display	99999 (2.5000 MHz max)
Accuracy	For observation period of 2 ms or longer $10 \text{ Hz} \leq f < 10 \text{ kHz}$ $\pm 0.1\%$ of rdg + 1 digit Assumes sine wave with input of at least 15% of range; 5 cycles or more within observation period; and measured frequency no greater than 1/2.5 of sampling rate.
Frequency measurement filter	Set using zero-cross filter.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Harmonic measurement	
Measurement type	PLL synchronization
Measured frequency range	Fundamental wave frequency range of 20 Hz to 6.4 kHz
Measured function items: U, I, P, S, Q, I, f (between V and A) for each order, fU, fI (phase difference for harmonic component relative to fundamental wave), Z , Rs, Rp, Xs, Xp, TOTAL U, I, P, S, Q, I (S calculation possible), and f U, I, and P harmonic distortion factor of each order U, I, and P THD PLL synchronization frequencies UTHF (voltage telephone harmonic factor), ITHF (current telephone harmonic factor), UTIF (voltage telephone influence factor), ITIF (current telephone influence factor), HVF (harmonic voltage factor), HCF (harmonic current factor)	
Set record length	Same as normal.
FFT data points	8192 FFT analysis data starting point in acquisition memory can be set as desired.
FFT processing word length	32 bits
Window function	Rectangular
PLL synchronization options	Either external clock or voltage/current in all installed power measurement modules can be selected. External clock can also be used without PLL. When this is done, the fundamental frequency is 1/4096 of the external clock.
PLL synchronization filter	Set using zero-cross filter.
Anti-aliasing filter	Set using line filter (fc = 20 kHz)

Relationships between sampling rate, window width, and number of analysis orders

Fundamental frequency (Hz)	Sampling rate (Hz)	Window width	Maximum number of analysis orders	Maximum number of analysis orders with accuracy equal to normal measurement accuracy
20 Hz $\leq f < 40$ Hz	$f \times 4096$	2	500	50
40 Hz $\leq f < 80$ Hz	$f \times 2048$	4	500	50
80 Hz $\leq f < 160$ Hz	$f \times 1024$	8	500	50
160 Hz $\leq f < 320$ Hz	$f \times 512$	16	200	25
320 Hz $\leq f < 640$ Hz	$f \times 256$	32	100	25
640 Hz $\leq f < 1.28$ kHz	$f \times 128$	64	50	10
1.28 kHz $\leq f < 2.56$ kHz	$f \times 64$	128	30	10
2.56 kHz $\leq f < 6.4$ kHz	$f \times 32$	256	15	-

Note 1: Hysteresis is applied across each of the above fundamental frequency bands.

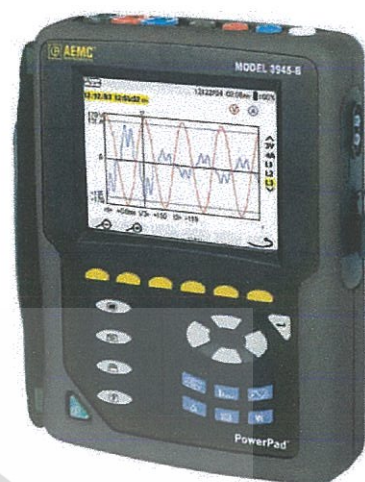
Measurement accuracy	Accuracy for bands where normal measurement accuracy is not applied: Add $[0.001 \cdot f \cdot (\text{order number})\% \text{ of reading}]$ (design value) Where f (in kHz) is the frequency for that order.
----------------------	--

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Three-Phase Power Quality Analyzer PowerPad™ Model 3945

Feature

- True RMS single-, two- and three-phase measurements at 256 samples/cycle, plus DC
- Real-time color waveforms
- Easy-to-use on-screen setup
- Automatic current probe recognition and scaling
- True RMS voltages, amps and power
- Display and capture voltage, current and power harmonics to 50th order, including direction, in real time
- Capture transients down to 1/256th of a cycle
- Phasor diagram display
- Peak voltage and current
- Nominal frequency from 40 to 70 Hz
- VA, VAR and W per phase and total
- kVAh, kVARh and kWh per phase and total
- Neutral current display for three-phase
- Crest factors for current and voltage
- Transformer K-factor display
- Power Factor, displacement PF display
- Captures up to 50 transients
- Short-term flicker display
- Phase unbalance (current and voltage)
- Harmonic Distortion (total and individual) from 1st to 50th
- Alarms, surges and sags
- Records date and characteristics of disturbances
- Immediate printout directly to a printer
- Screen snapshot function captures waveforms or other information on the display
- Optically isolated RS-232 communication port
- Includes DataView® Professional software for data storage, real-time display, analysis and report generation
- EN 61010, 600V Cat. III



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications

Model		3945	
Electrical			
Sampling Frequency	256 samples per cycle		
Data Storage	4 MB partitioned for waveforms, transients, alarms and trend recording		
Voltage (TRMS)	Phase-to-Phase: 960V Phase-to-Neutral: 480V		
Current (TRMS)	MN Clamp: 0 to 6A/120A or 0 to 240A MR Clamp: 0 to 1200Aac, 0 to 1400Aac		
Measurement	Range	Resolution	Accuracy
Single-Phase RMS Voltages	15 to 480V	0.1V	±0.5% ±2cts
Phase-to-Phase RMS Voltages	15 to 960V	0.1V	±0.5% ±2cts
DC Voltage Component	15 to 680V	0.1V	±1% ±2cts
Single-Phase Peak Voltages	15 to 680V	1V	±(1% ±5cts)
Phase-to-Phase Peak Voltages	15 to 1360V	1V	±(1% ±5cts)
Frequency (Hz)	40 to 69Hz	0.01Hz	±0.01Hz
Current Probes (Arms)			
MN Clamp	0 to 240A	0.1A	±(0.5% ±2cts)
SR Clamp	0 to 1200A	0.1A	±(0.5% ±2cts)
AmpFlex Probe	10 to 6500A	0.1A	±(0.5% ±1A)
Active (Real) Power (kW)	0 to 9999kW	4 digits (10,000ct)	±1% ±1ct @ PF ≥0.8
Reactive Power (kVAR)	0 to 9999kVAR	4 digits (10,000ct)	±1% ±1ct @ PF ≤0.8
Apparent Power (kVA)	0 to 9999kVA	4 digits (10,000ct)	±1% ±1ct
Power Factor (PF & DPF)	-1.000 to 1.000	0.001	±(1.5% ±0.01)
Active Energy (kWh)	0 to 9999MWh	4 digits (10,000ct)	±1% ±1ct @ PF ≥0.8
Reactive Energy (kVARh)	0 to 9999MVARh	4 digits (10,000ct)	±1% ±1ct @ PF ≤0.8
Apparent Energy (kVAh)	0 to 9999MVAh	4 digits (10,000ct)	±1% ±1ct
Unbalance (V & A)	0 to 100%	0.1%	±1% ±1ct
Phase Angle (V-A, A-A, V-V)	-179° to +180°	1°	±2° ±1ct
Harmonics (1 st to 50 th) F = 40 to 69 Hz	0 to 999%	0.1%	±1% ±5cts
Total Harmonic Distortion (V&A)	0 to 999%	0.1%	±1% ±5cts
K-factor (Akf)	1 to 99.99	0.01	±5% ±1ct
Flicker (Pst)	0.00 to 9.99	0.01	-
Power Source	9.6V NIMH rechargeable battery pack AC supply: 110/230Vac ±20% (50/60Hz)		
Battery Life	≥8 hrs with display on; ≤35 hrs with display off (record mode)		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง. – บทความทางวิชาการ

- ง.1. “ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าชนิดสามเฟสโดยใช้โปรแกรมแลปวิว”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34 (EECON-34) มหาวิทยาลัยสยาม 30 พฤศจิกายน - 2 ธันวาคม 2554
- ง.2. “Data Acquisition System and LabVIEW Program in Being a Smart and Low Cost Three Phase Disturbance Measuring Unit”, the International Conference on Electrical Engineering 2012 (ICEE 2012), KANAZAWA, JAPAN, July 8-12, 2012.
- ง.3. “A Smart Recording Power Analyzer Prototype Using LabVIEW™ and Low-Cost Data Acquisition (DAQ) in Being a Smart Renewable Monitoring System” , the IEEE Green Technologies Conference, Denver, USA, April 4-5, 2013.

กลับสู่สารบัญหลัก

The 34th Electrical Engineering Conference (EECON-34)
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34

Volume I

- ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)

30 พฤศจิกายน - 2 ธันวาคม 2554
ณ โรงแรมแอมบาสเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน พัทยา จังหวัดชลบุรี
ดำเนินการโดย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าชนิดสามเฟสโดยใช้โปรแกรมแลปวิว

Data Acquisition System and LabVIEW program in being a smart 3-phase disturbance measuring unit

เจตน์ มังกรอัสวกุล เกียรติกร อยู่สุวรรณ จักรกฤษณ์ รัตนพันธ์ ฉัตรชัย บุญอิน และเชาว์ ฆมภูอิน ไท

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนตลิ่งชัน แขวงลำปลาหัว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร/โทรสาร. 0-2739-2478 E-Mail: jed_kitty@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอการใช้โปรแกรมแลปวิวและอุปกรณ์ตรวจจับมาใช้ในการสร้างเป็นชุดอุปกรณ์วิเคราะห์พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าสามเฟสซึ่งสามารถให้ทั้งในแบบการแสดงผลขณะทำการวัดค่าและในแบบการบันทึกข้อมูลต่อเนื่องในช่วงเวลาที่กำหนด นอกจากนี้ยังสามารถบันทึกเหตุการณ์และช่วงเวลาที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้าสามเฟสได้อัตโนมัติ อุปกรณ์ที่จัดสร้างมีความสามารถใช้ในการพกพาได้ และยังมีศักยภาพในการควบคุมระยะไกล จากการทดสอบการทำงานในโหมดต่างๆทั้งในห้วงปฏิบัติการและในงานจริงที่โรงไฟฟ้าชีวมวลกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 160 KW พบว่าอุปกรณ์ที่ออกแบบสร้างมีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับดีมาก

คำสำคัญ: แลปวิว, สัญญาณความผิดปกติทางไฟฟ้าสามเฟส

Abstract

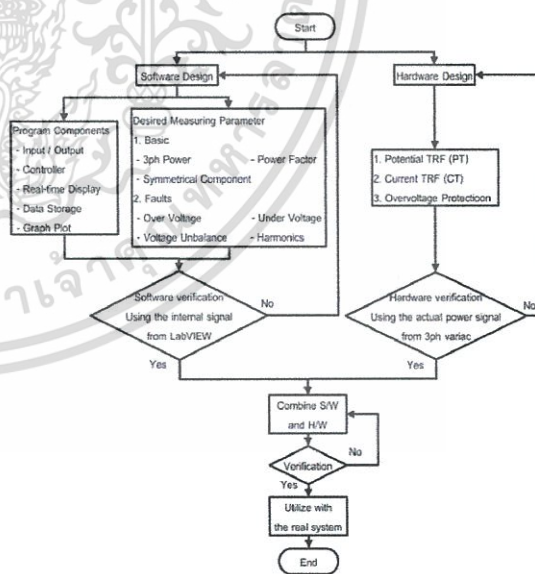
This project presents the use of LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) and digital signal data recording equipment as a smart measuring unit. The main objective is to apply LabVIEW in analyzing the 3-phase parameters in general power system during both normal and faults conditions. This device is not only capable of displaying the real-time measuring parameters and their waveform, but also capable of recording the presented values in any kind of storage devices in order that they can be further analyzed using the other intelligent tools. It also has potential to be portability and remote accessibility through the network in the future. The verification results in both laboratory and fieldwork at biomass power plant with 160 kW generator shows that this device is highly efficient and reliable.

Keyword: LabVIEW, the three-phase fault signal

1. บทนำ

ในการวัดและตรวจจับสัญญาณทางไฟฟ้าชนิดสามเฟสผ่านโปรแกรม LabVIEW ประกอบด้วยส่วนของโปรแกรม และส่วนการของ

ฮาร์ดแวร์ โดยส่วนของโปรแกรมสามารถตรวจวัดค่าพารามิเตอร์พื้นฐานสามเฟส และความคิดปกติทางไฟฟ้าสามเฟสต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยส่วนของหน้าจอแสดงผลแบบเรียลไทม์ หน้าจอควบคุมสัญญาณ หน้าจอตั้งค่าการบันทึก โปรแกรม หน้าจอแสดงคลื่นสัญญาณ และหน้าจอเลือกสัญญาณอินพุต โดยสัญญาณอินพุตเลือกได้ทั้งสองทางคือ สัญญาณที่จำลองจากโปรแกรมและสัญญาณวัดค่าจริงที่รับจาก DAQ (Data Acquisition) ที่ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ โดย DAQ จะรับค่าผ่านหม้อแปลงกระแส และหม้อแปลงแรงดัน เพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลผ่านเข้า DAQ โดยมีวงจรร Zener Diode ป้องกันแรงดันเกินผ่านเข้า DAQ และส่งข้อมูลไปยังโปรแกรมเพื่อประมวลผลการวัด และวิเคราะห์ค่าต่อไปโดยข้อมูลที่วัดได้สามารถแสดงผลข้อมูลเชิงคุณภาพได้ ทำให้การวิเคราะห์ผลการวัดและแสดงผลมีประสิทธิภาพ โปรแกรม LabVIEW และอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่สร้างขึ้นผ่านกระบวนการทดสอบและนำไปทดลองความถูกต้องพบว่าผลการวัดค่าทดสอบต่างๆสามารถนำไปใช้ได้จริงและค่าใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดโดยทั่วไป ซึ่งสามารถอธิบายภาพรวมของโครงการ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 LabVIEW Program

LabVIEW คือ โปรแกรมที่สร้างขึ้นเพื่อนำมาใช้ในด้านกรวัด สำหรับงานทางวิศวกรรมและทางวิทยาศาสตร์ เป็นโปรแกรมประเภทไอ้คือรูปภาพแทนการเขียนโค้ดตัวอักษร

2.2 พารามิเตอร์ที่ทำการวัด

2.2.1 พารามิเตอร์พื้นฐานในระบบไฟฟ้าสามเฟส

แรงดันไฟฟ้า (V), กระแสไฟฟ้า (I), กำลังไฟฟ้าสามเฟสได้แก่ กำลังไฟฟ้าปรากฏ (S), กำลังไฟฟ้าจริง (P), กำลังไฟฟ้าเสมือน (Q), ตัวประกอบกำลัง (PF) และส่วนประกอบสมมาตรทางไฟฟ้าสามเฟส [1]

2.2.2 พารามิเตอร์ความผิดปกติของสัญญาณทางไฟฟ้า

แรงดันเกิน (Overvoltage), แรงดันตก (Undervoltage), แรงดันไม่สมดุล (Voltage unbalance) และฮาร์โมนิก (Harmonic) [2-3]

3. การออกแบบโปรแกรมและชุดอุปกรณ์

3.1 การออกแบบโปรแกรม

ควรออกแบบ Front Panel ให้มีความเรียบร้อยเหมาะสมกับประเภทของงาน และที่สำคัญคือให้ผู้ใช้เข้าใจและใช้งานได้ง่าย

3.1.1 ส่วนควบคุม (Control)

ใช้ในการเลือกสัญญาณอินพุตระหว่างสัญญาณจริงที่ทำการวัดหรือสัญญาณที่จำลองขึ้นมาด้วยโปรแกรม LabVIEW และส่วนที่ใช้ปรับค่าสัญญาณจำลอง ดังรูปที่ 2 (ก) และ (ข)

3.1.2 ส่วนแสดงผล (Display)

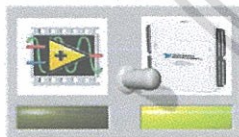
แสดงผลการวิเคราะห์สัญญาณในรูปแบบของตัวเลข ไฟสัญญาณเตือนและรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า ดังรูปที่ 2 (ค) และ (ง)

3.1.3 ส่วนการบันทึกข้อมูล (Data Collection)

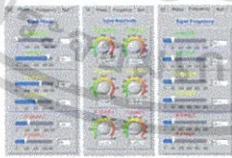
บันทึกข้อมูลเป็นไฟล์ *.lvm (LabVIEW Measurement) ซึ่งเก็บข้อมูลได้สะดวก และมีความต่อเนื่อง ดังรูปที่ 2 (จ) และ (ฉ)

3.1.4 ส่วนรายงานผล (Report)

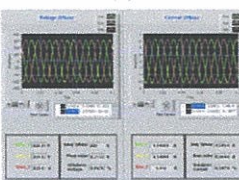
นำไฟล์ *.lvm ที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาพล็อตกราฟเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 2 (ซ)



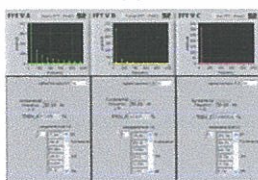
(ก)



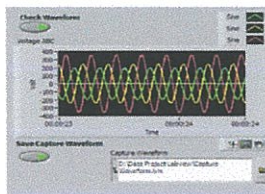
(ข)



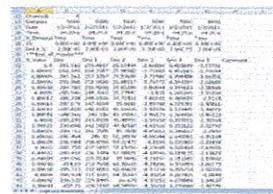
(ค)



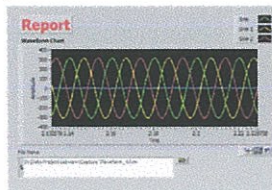
(ง)



(จ)



(ฉ)



(ซ)

รูปที่ 2 (ก) ส่วนเลือกสัญญาณอินพุต (ข) ส่วนควบคุมสัญญาณจำลอง (ค) ตัวอย่างรูปคลื่นสามเฟส (ง) ตัวอย่างผลทางฮาร์โมนิก (จ) ส่วนการบันทึกข้อมูล (ฉ) รูปแบบของไฟล์ *.lvm (ซ) ส่วนรายงานผล

3.2 การออกแบบชุดอุปกรณ์

3.2.1 ชุดหม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformer)

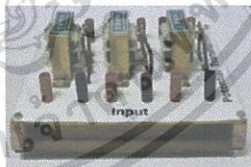
ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลง เพื่อให้เหมาะสมกับขานการทำงานของ DAQ คือประมาณ ± 10 โวลต์ [4] แสดงดังรูปที่ 3 (ก)

3.2.2 ชุดหม้อแปลงกระแส (Current Transformer)

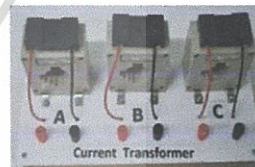
ใช้สำหรับลดกระแสของแหล่งจ่ายที่มีกระแสสูง เพื่อให้เหมาะสมกับขานการทำงานของ DAQ แสดงดังรูปที่ 3 (ข)

3.2.3 ชุดป้องกันแรงดันเกิน (Zener Diode)

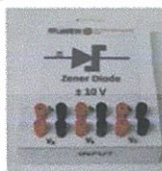
มีหน้าที่รักษาแรงดันเพื่อป้องกัน DAQ ไม่ให้เสียหายถ้าแรงดันเกิน ± 10 โวลต์ ดังรูปที่ 3 (ค) ซึ่งในวงจรจะประกอบด้วยตัวต้านทานขนาด 1 กิโลโอห์มและไดโอดแซนเนอร์ แสดงดังรูปที่ 3 (ง)



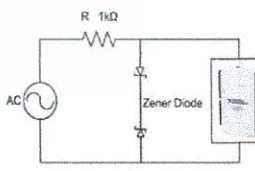
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 3 (ก) หม้อแปลงแรงดัน (ข) หม้อแปลงกระแส (ค) ชุดป้องกันแรงดันเกิน (ง) วงจรป้องกันแรงดันเกิน

4. ผลการทดลอง

เพื่อให้ชุดอุปกรณ์มีความน่าเชื่อถือนำไปใช้ได้จริง มีการทดสอบความถูกต้องของชุดอุปกรณ์และทำการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ทดสอบความถูกต้องของชุดอุปกรณ์

4.1.1 การหาค่าเก็้อตราส่วนของชุดอุปกรณ์

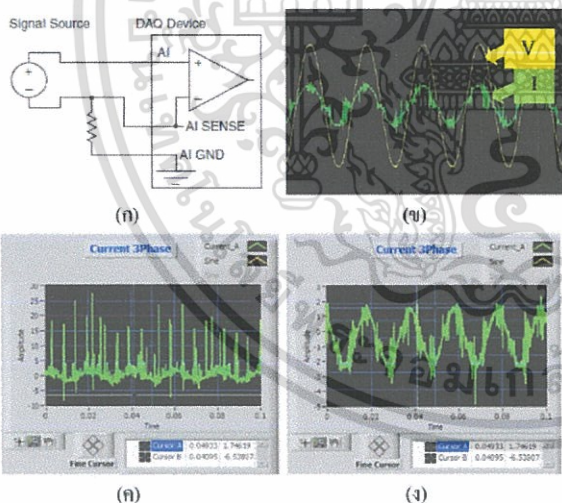
โดยป้อนแรงดันอินพุตให้โหลด บันทึกค่าแรงดันจริง กระแสจริง และบันทึกค่าแรงดันที่ออกจาก PT และ CT หาค่าอัตราส่วนระหว่าง Output กับ Input ได้ค่าแก๊ของ CT และ PT ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การหาค่าแก๊อัตราส่วนของชุดอุปกรณ์

Phase	ค่าแก๊ในโปรแกรม			
	PT		CT	
	Actual Ratio	New Ratio	Actual Ratio	New Ratio
A	50	48.90	40	44.79
B	50	48.94	40	44.06
C	50	48.91	40	44.72

4.1.2 การลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจาก DAQ

โดยทำการต่อตัวต้านทานระหว่างกราวด์ของกระแสดังวงจรในรูปที่ 4 (ก) จะพบว่าสามารถลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นได้และรูปคลื่นสัญญาณที่ได้ก็มีความถูกต้องมากขึ้น โดยเทียบกับรูปคลื่นจากเครื่อง Power Analyzer PZ-4000 แสดงดังรูปที่ 4 (ข), (ค) และ (ง)



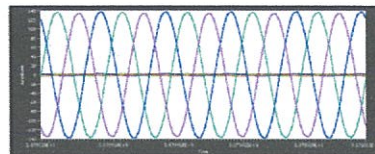
รูปที่ 4 (ก) วงจรการต่อ DAQ (ข) รูปคลื่นสัญญาณจากเครื่อง PZ4000 (ค) ก่อนแก๊ไข (ง) หลังแก๊ไข

4.2 ผลการทดลองของชุดอุปกรณ์

4.2.1 การทดสอบขณะทำการวัด Basic Linear Load

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34 (ECON-34) 30 พฤศจิกายน - 2 ธันวาคม 2554 มหาวิทยาลัยสยาม

จากการวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าในกรณีที่ใช้โหลดเป็นหลอดเผาไส้ต่อแบบสตาร์สามเฟสพบว่ารูปคลื่นขณะทำการวัดเป็นดังรูปที่ 5 และค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่วัดได้แสดงดังตารางที่ 2



รูปที่ 5 สัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าในกรณี Basic Linear Load

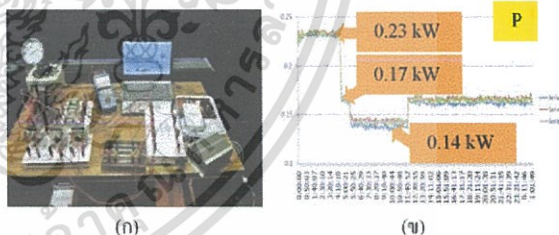
ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่วัดได้ขณะทำการวัด Basic Linear Load

Parameter	Reference*			LabVIEW Data		
	A	B	C	A	B	C
V	100.2	101.2	100.6	95.86	97.76	97.12
I	1.68	1.69	1.69	1.74	1.72	1.74
S	172.7	171.0	170.0	167.2	168.2	168.9
P	173.0	171.0	170.0	158.3	161.6	161.1
Q	0.0	0.0	0.0	54.1	46.8	51.1
PF	1.0	1.0	1.0	0.94	0.96	0.95

*Power Meter PX120

4.2.2 การทดสอบเก็บข้อมูลแบบต่อเนื่องกับ Non-Linear Load

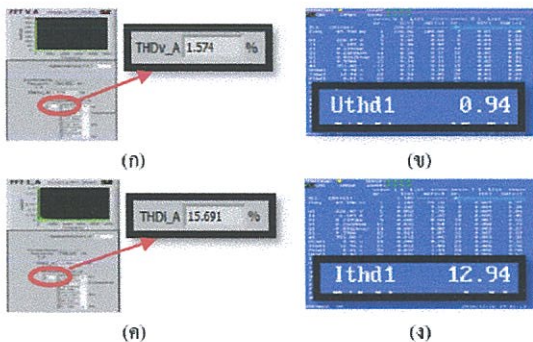
จากการวัดค่ากำลังไฟฟ้าในกรณีที่ใช้โหลดเป็น High performance Electronics Ballast ตลอด 24 ชั่วโมงจะพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าเป็น 3 ระดับ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับมาตรฐานของบัลลาสต์ชนิดนี้ แสดงดังรูปที่ 6 (ก) และ (ข) โดยรูปคลื่นแรงดันและกระแสที่บันทึกได้จากเครื่อง PZ-4000 แสดงดังรูปที่ 4 (ข)



รูปที่ 6 (ก) วงจรการทดสอบ (ข) กราฟกำลังไฟฟ้า

4.2.3 การทดสอบหาค่าความผิดเพี้ยนแรงดันและกระแสฮาร์มอนิก

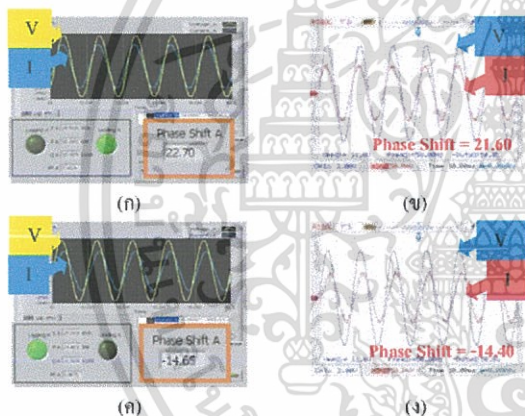
จากการวิเคราะห์ฮาร์มอนิกของโคมไฟถนนที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยโปรแกรมแลปวิวเปรียบเทียบกับเครื่อง Power Analyzer (PZ4000) จะพบว่าความผิดเพี้ยนแรงดันและกระแสฮาร์มอนิกรวมที่วัดได้จากชุดอุปกรณ์ทั้งสอง มีค่าใกล้เคียงกัน เป็นดังรูปที่ 7 (ก), (ข) และ (ค), (ง) ตามลำดับ



รูปที่ 7 (ก) ค่า THD_v จากโปรแกรม (ข) ค่า THD_v จากเครื่อง PZ4000
(ค) ค่า THD_v จากโปรแกรม (ง) ค่า THD_v จากเครื่อง PZ4000

4.2.4 การหาความค่างเฟสเมื่อ โหลดเป็น RC และ RL

ทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับโหลดที่เป็น RC และ RL พบว่าเมื่อโหลดเป็น RC มุมกระแสนำหน้ามุมแรงดัน และเมื่อโหลดเป็น RL มุมกระแสนำหน้าหลังมุมแรงดัน เทียบความค่างเฟสจากโปรแกรมและ Oscilloscope ดังรูปที่ 8 (ก), (ข) และ (ค), (ง)ตามลำดับ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 8 (ก),(ข)เมื่อ โหลดเป็น RC (ค),(ง) เมื่อ โหลดเป็น RL

4.2.5 การนำชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูลในสถานที่จริง

จากการทดสอบการทำงานจริง ณ โรงไฟฟ้าเข็มวาล จังหวัดปราจีนบุรี ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 160 kW โดยนำชุดอุปกรณ์ไปทำการวัดที่ตู้ Main Distribution Board พบว่าค่าที่วัดได้จากชุดอุปกรณ์มีค่าใกล้เคียงกับมิเตอร์ของตู้ โดยมีผลเปรียบเทียบกับตารางที่ 3 และ 4



รูปที่ 9 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในโรงไฟฟ้าเข็มวาล

ตารางที่ 3 ค่าที่วัดได้จากตู้ Main Distribution Board

	Vrms	Irms	S	P	Q	PF	f
A	239.00	85.00	20.70	17.50	11.50	0.89	49.99
B	239.00	87.00	20.90	18.80	11.80	0.86	49.99
C	238.00	94.00	22.50	19.40	12.80	0.85	49.99
3phase	238.67	88.67	64.40	55.90	36.00	0.84	49.99

ตารางที่ 4 ค่าที่วัดได้จากชุดอุปกรณ์

	Vrms	Irms	S	P	Q	PF	f
A*	236.66	120.00	21.28	20.80	5.90	0.96	50.00
B	235.71	84.22	19.20	19.10	4.10	0.97	50.00
C	234.97	94.01	21.66	21.21	5.30	0.97	50.00
3phase	235.83	99.41	76.76	72.45	15.20	0.97	50.00

*ค่าของเฟส A เกิดสัญญาณรบกวน สหพหุมาจากตัวต้านทานของอุปกรณ์ Zener Diode หลุดจากวงจร

5. สรุป

ในบทความฉบับนี้ ได้นำเสนอวิธีการวัดปริมาณทางไฟฟ้าและการบันทึกข้อมูลทางไฟฟ้าในระบบ 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการออกแบบ ถือเป็นกรนำเอาเทคโนโลยีใหม่มาช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งเครื่องมือวัดที่ออกแบบนี้จะช่วยให้สามารถวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าได้มากขึ้นภายในเครื่องเดียว โดยชุดอุปกรณ์สามารถจำลองสัญญาณแล้วทำการวิเคราะห์สัญญาณตามที่ต้องการได้ หรืออาจวิเคราะห์สัญญาณจากภายนอกโดยต่อผ่านตัวแปลงสัญญาณ DAQ ส่วนการบันทึกข้อมูลก็สามารถทำได้ สองรูปแบบคือ การบันทึกค่าแบบต่อเนื่อง ซึ่งจะแสดงจำนวนครั้งที่บันทึก วันที่และเวลาที่บันทึก หรือการบันทึกค่าเฉพาะเวลาที่เกิดความผิดปกติทางไฟฟ้า พร้อมทั้งแสดงสัญญาณไฟแจ้งเตือน ซึ่งจากการทดลองพบว่าโปรแกรมนี้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและใช้งานได้จริง

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Saadat, "Power System Analysis", 2nd ed.: McGrawHill, 2004.
- [2] Motors and Generators, ANSI/NEMA Standard MG1-1993.
- [3] IEEE std 1159-1995, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, IEEE PES Technical Committee Meeting, Las Vegas, NV, 2003.
- [4] พิษชา หงสกุล, ภัคพล สุขุมภักดิ์, ณัฐศักดิ์ เจริญประสพสุข และ เขาว์ชนมอุณิษา "ชุด อุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ความผิดปกติทางไฟฟ้าโดยใช้ โปรแกรม LabVIEW", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าทหารลาดกระบัง, 2009.



The International Conference on Electrical Engineering 2012 (ICEE 2012)

8-12 July 2012 Kanazawa, Japan

Contents

- Home >
- Welcome Message >
- Key Dates >
- About the Organizers >
- Guest of Honour / Honorary Advisors / Committees >
- Objectives / Topics >
- Call for Papers >
- Online Submission >
- Registration >
- Programme >
- Exhibition >
- Optional Technical Visits >
- Venue >
- Hotel Accommodation >
- About Japan / Kanazawa >
- Contact Us >



Copyright : Kanazawa City

Earthquake Updates:

We are extremely saddened by the recent events that have taken place in Japan.

Kanazawa has not been directly effected by the events. We are pleased to welcome you to ICEE 2012 in Kanazawa.

[Message from the Commissioner of Japan Tourism Agency](#) PDF

[Message from the Mayor of Kanazawa City](#) PDF

News

- NEW ▶ 2012-01-7 [Deadline for abstract submission](#) has been extended to January 31, 2012.
- INFO ▶ 2011-12-1 [Abstract submission](#) Starts
- ▶ 2011-07-8 Website Open
- ▶ 2011-07-8 [1st Announcement](#) is published

organized by co-organized by



COPYRIGHT ©2012 ICEE. ALL RIGHTS RESERVED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



No. P-FS2-20

Data Acquisition System and Labview Program In Being a Smart and Low Cost Three Phase Disturbance Measuring Unit

CHOMPOO-INWAI, Chow¹ and MUNGKORNASSAWAKUL, Jadc²

^{1,2} *Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMUTL), Bangkok, Thailand*

Abstract

Nowadays, to indicate the power quality problems, a number of pricy disturbance meters are being used in major areas of Thailand. This article proposes the combination of a low cost data acquisition board and the LabVIEW-algorithm program as an alternative for a commercially high-end disturbance meter. The main goal is that the newly proposed set of equipment has not only the ability to achieve the same functionalities and accuracy of the currently used disturbance meter, but also the advanced features supporting Thailand's future smart grid system. The proposed device is capable of measuring and monitoring in both system operating conditions and when faults occur. The examples of parameters which can be measured are arc voltage (V), current (I), real power (P), reactive power (Q), apparent power (S), energy consumption (kWhr), power factor (PF), Harmonics distortion (IEC61000-4-7, IEEE1159-1995), over and under voltage, symmetrical and unsymmetrical faults, voltage unbalance, Sag, Swell and Flicker (IEC61000-4-15, IEEE1159-1995). In this paper, the designing process, the hardware management and the LabVIEW algorithms are explained. The verification processes were strictly done under various controllable conditions by comparing the results of the proposed set of equipment with the standard measuring units in both of the laboratory environment and in the real power system field. The experimental results in the laboratory illustrate that the proposed set of equipment is far superior to the reference one in terms of functionality and accuracy. The experimental results in the real fieldwork at the 160 kW biomass power plant compared to the factory-installed measuring unit demonstrate that the proposed device is highly efficient and reliable. The average percent errors compared to the reference measuring units are less than 2%.

Keywords: Power quality (PQ, Flickers, THD), Data acquisition system, LabVIEW program, Real time monitoring

1. INTRODUCTION

Power quality in the power system has long been an important issue in the power generation, transmission and distribution systems. Especially, today's trend of having all kind of renewable/alternative energy sources connected to the existing grid system, the importance of understanding and being able to monitor and analyze the power quality of the system is double its roles. Another big issue that is coming in a very near future is called Smart Grid system which refers to an improved electricity supply chain that runs from a major power plant all the way to inside your home. The basic concept of Smart Grid is to add monitoring, analysis, control, and communication capabilities to the national electrical delivery system to maximize the throughput of the system while reducing the energy consumption. The Smart Grid will also allow utilities to move electricity around the system as efficiently and economically as possible. In order to do that, a number of devices that are capable of monitoring, analysis, control and communication all in one functions are mandatory. The adequate amount and capability of the Meter Data Management System (MDMS) server is also a must. The major problem that comes along is

that the limit of such a device that have all the mature technologies to do so. Another important issue is that the price of today's smart-enough devices is quite high to be used in many of the existed generally-small systems.

This research proposes the use of a combination between the low-cost data acquisition system and a commercially used LabVIEW™ program in being a smart and low-cost three phase disturbance measuring unit. The proposed set of equipment is able to do all the functions needed to integrate to the existing systems and the future Smart Grid simpler and cheaper. Later in this paper, how it was designed, how it works, the verification, the experimental results and the conclusions will be presented

2. PRINCIPLES AND BASIC THEORIES

Three main parts are elaborated here. The first one is the introduction to the LabVIEW™ program used in this work from National Instrument Company. Then the basic of data acquisition system and devices will be introduced. The third part in this section briefly discusses all the power quality parameters somehow are mentioned in this paper.

2.1 LabVIEW™ program from National Instrument®
LabVIEW™ is a comprehensive development environment that provides engineers and scientists software and hardware integration and wide-ranging compatibility. LabVIEW™ creates programs, user's interface and algorithms using a graphical language instead of text code in traditional programming like Pascal, C++, Assembly or JAVA [1-3]. The user's interface part is called the Front Panel and the programming part is called the Block Diagram as can be seen in Figure 1.

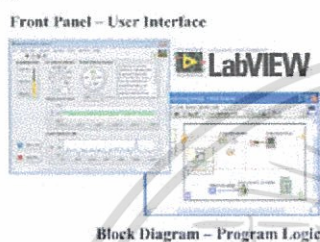


Figure 1. Examples of the LabVIEW™ program interface

2.2 Data Acquisition System

Data acquisition (DAQ) is the process of measuring an electrical or physical phenomenon such as voltage, current, temperature, pressure, or sound with a computer. A DAQ system consists of sensors, DAQ measurement hardware, and a computer with programmable software. Compared to traditional measurement systems, PC-based DAQ systems exploit the processing power, productivity, display, and connectivity capabilities of industry-standard computers providing a more powerful, flexible and cost-effective measurement solution (see also Figure 2). [4-6]

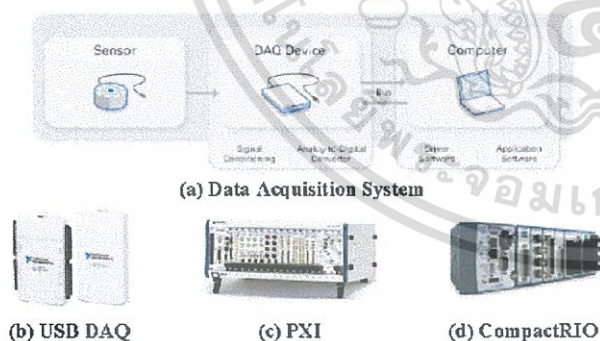


Figure 2. Examples of data acquisition system & devices [6]

2.3 Related Power Quality Parameters

Power quality is the combination of voltage quality and current quality. Voltage quality is concerned with deviations of the actual voltage from the ideal voltage. Current quality is the equivalent definition for the current [7-9].

2.3.1) Three-Phase System Voltage Most power systems consist of three phases. In normal operation, the system voltages should be almost balanced. The ideal voltage is a sinusoidal voltage waveform with constant amplitude and constant frequency, where both amplitude and frequency are equal to their nominal value. All contents throughout this work will be based on the 220 V_{rms}, 50 Hz system.

2.3.2) Three-Phase System Current The ideal current is also of constant amplitude and frequency. In normal operations, the current frequency and phase should be the same as the frequency and phase of the voltage.

2.3.3) Three-Phase System Apparent Power (S : VA) is measured in Volt-Ampere (VA) and is the voltage on an AC system multiplied by all the current flows in it. It is also can be think of as the vector sum of the active and the reactive power—Power Triangle. The formula of the system apparent power can be derived as in Equation (1).

$$S_{3\phi} = 3V_{rms} I_{rms} \angle \theta \quad (1)$$

2.3.4) Three-Phase System Real Power (P : Watt) is measured in watts (W) and is the power drawn by the electrical resistance of a system doing useful work.

$$P_{3\phi} = 3V_{rms} I_{rms} \cos \theta \quad (2)$$

2.3.5) Three-Phase System Reactive Power (Q : Var) is measured in volt-amperes reactive (VAR). Reactive Power is power stored in and discharged by inductance i.e., motors, transformers and solenoids.

$$Q_{3\phi} = 3V_{rms} I_{rms} \sin \theta \quad (3)$$

2.3.6) Power Factor (PF) is the ratio between the applied real power and the apparent power.

$$PF = \cos \theta = \frac{P_{3\phi}}{S_{3\phi}} \quad (4)$$

2.3.7) Total Energy Consumption (kWhr) is a unit of energy equivalent to one kilowatt (1 kW) of power expended for one hour of operation time.

$$kWhr = kW \times hr \quad (5)$$

2.3.8) Three-Phase Symmetrical Component, The method of symmetrical components is a way to describe unbalance in voltage and current in a three-phase system. A balanced set of three-phase voltages only contains a positive-sequence component. The negative-sequence voltage is an indication of the amount of unbalance in the system. The presence of zero-sequence voltage indicates a connection to earth.

2.3.9) Voltage Unbalance is due to unbalance in the load currents and unbalance in the supplying network. The load unbalance is partly due to the natural variation between the single-phase loads in the three phases and partly due to large individual single-phase loads [10]. (See also Table 1)

2.3.10) Sag-Swell Voltage sags are usually associated with system faults but can also be caused by switching of heavy loads or starting of large motors. A swell is defined as an increase in rms voltage or current at the power frequency for durations from 0.5 cycles to 1 minute. Typical magnitudes are between 1.1 and 1.2 p.u. [7]. (See also Table 1)

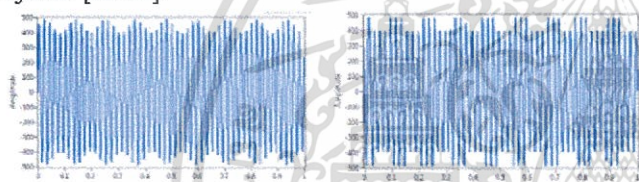


Table 1 Categories and typical characteristics of power system electromagnetic phenomena

Categories	Typical duration	Typical voltage magnitude
Voltage unbalance	steady state	0.5-2%
Voltage Sag	0.5 cycles-1 min	0.1-0.9 p.u.
Voltage Swell	0.5 cycles-1 min	1.1-1.2 p.u.

2.3.11) Total Harmonics Distortion (THD_i, THD_v, Total THD) The THD is a commonly used power quality index to quantify the distortion of a waveform. The THD is defined as the relative signal energy present at non fundamental frequencies [11].

2.3.12) Flicker, phenomena characterized by rapid voltage fluctuations mainly comparing with a light flicker. Figures 3(a) and 3(b) show examples of flicker signals caused by sinusoidal and rectangular voltage fluctuations in a 50 Hz system [12-14].



(a) Sinusoidal modulation (b) Rectangular modulation

Figure 3. Voltage flicker signal of $\Delta U/U = 20\%$, 8.8 Hz

In order to determine the flicker data from any sinusoidal input signal, the recommended block of operation as in IEC-61000-4-15 are used here. Such a block can be seen from Figure 3 below.

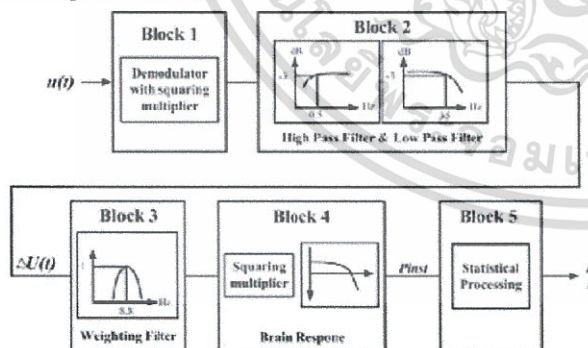


Figure 4. IEC 61000-4-15 flicker meter functional diagram

From the block diagram in Figure 4, there are only three important and interesting output parameters: (1) the instantaneous flicker sensation (P_{inst}) which is used for accuracy verification, (2) Short-term flicker evaluation (P_{st}) and (3) Long-term flicker evaluation (P_{lt}). All three of them can be determined using the proposed set of equipment.

3. PROGRAM AND DEVICES DESIGN PROCESS

This section mainly explains how the LabVIEW program interface was designed including the program structure and the program hierarchy (Section 3.1). In addition, the details

of each device used in this proposed set of equipment will be illustrated (Section 3.2).

3.1 LabVIEW Algorithms

The program hierarchy as shown in Figure 5 represents all the sub-block diagrams in this work. It contains three main parts: (1) the input voltage and current acquisition part, (2) the general power and energy calculation part and (3) The power quality computational part. All the parameters that can be determined are shown in Figure 5.

The program hierarchy as shown in Figure 5 is used as a key concept to design the block diagram and front panel sections in LabVIEW programming. The user interface in this work is divided into 4 main parts as shown in Figure 6.



Figure 5. The proposed LabVIEW™ program hierarchy

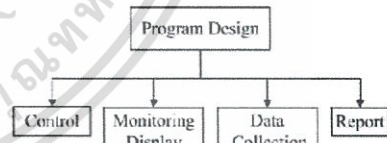


Figure 6. Front panel design in this work

3.1.1) Control Section User can choose between two modes of operations: one is the simulation mode used in the accuracy verification process and the adding/editing function process. In this mode, all parameters in the three-phase system can be simulated and adjusted. Another one is the measuring mode designed to be used as identical as the pricey disturbance meter (see Figure 7).



(a) Input selection (b) Simulation signal control

Figure 7. Control section front panel

3.1.2) Real Time Monitoring Section Display All the real-time acquiring signal will be shown in this multiple-tap panels Figure 8(a) and 8(b) represents just some of them.

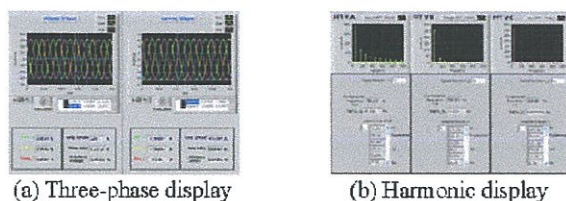


Figure 8. Examples of the real-time monitoring display

3.1.3) Data Collection Section All measured parameters both in normal system operation and when fault occurs will be stored in the text file format called *.lvm (LabVIEW measurement file) as shown in Figure 9. A number of parameters and the frequency of acquiring data can be manually set in the block diagram by user as needed. One of the advantage of a *.lvm file is unlimited storage data.



Figure 9. examples of the data collection front panel

3.1.4) Report Exporting Section User is able to export the interested graph and raw data acquiring by the proposed system via the exporting part as bitmap/jpeg/PNG figure or as the raw text file data *.lvm as many time as he/she want.

3.2 Measuring Devices Used in The Proposed System

The measuring circuit configuration in this system is very simple. Potential transformers (PT) and current transformers (CT) of any desired rated power are connected to the incoming transmission line at the point of operation. The signal from the PTs and CTs will then be transferred as inputs of the DAQ at the input terminals. The acquiring signals from the DAQ will pass into the LabVIEW program to computed all the desired three-phase system parameters including the power quality as illustrated in Figure 10.

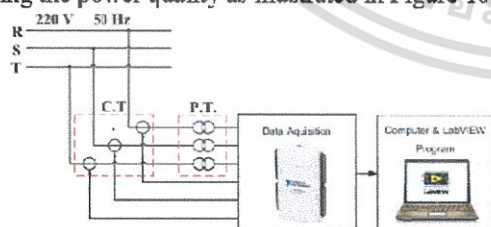


Figure 10. Measuring circuit configuration in this work

3.2.1) Currently-Used Data Acquisition Device As shown in Figure 10, the DAQ device used in this proposed work is the 16 Bits NI-DAQ, Model: USB-6212, with 16 Analog input terminals, Maximum Sampling Frequency is 400 kS/s.

3.2.2) Background Noise Suppression Method This process is done by connecting the very low resistance value to the ground terminal of the DAQ. The experimental results confirm the significantly-reduced of the background noise when acquiring the signal (see Figure 11).

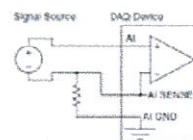


Figure 11. The background noise suppression method

3.2.4) Potential Transformer and Current Transformer

The PTs and CTs are used to step down system voltage and system current levels to be suited with the input terminal of the DAQ.

4. EXPERIMENTAL RESULTS

This section mainly elaborates the experimental process and results to insure that the proposed set of equipment is accurate and liable enough to be used in the real small power system. A variety of experiments are presented here starting from the calibration then the various load experiments will be done. Many comparisons with standard equipment are also done and illustrated in this section. The experimental results confirm that the proposed set of equipment is more-than-enough accurate and liable, also has a big potential to be used in the future to come.

4.1 PTs and CTs ratio calibration All the PTs and CTs used in this work are not identical. The main goal of this process is to determine and define an individual correction factor to each PTs and CTs before using in the actual measuring unit to assure the accuracy of the proposed set of devices.

4.2 Measuring Experiment with Linear Loads

This experiment set up as shown in Figure 12(a) and 12(b). The electrical load in this case is a number of incandescent lamps. The experimental results are shown in Table 2. The average % Error in this case is less than 2%. The reference measuring unit is the Powertek-PX120 power meter.

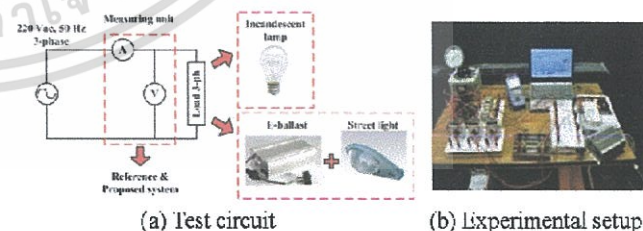


Figure 12. Experiment with the Linear and Non-Linear loads

Table 2. Measurement values from a linear load case

		Parameter					
		V	I	S	P	Q	PF
A	Ref.	101.3	1.7	174.1	173.5	0.0	1.00
	Proposed.	99.5	1.7	169.2	168.7	0.0	0.99
	% Error	1.7	0.0	2.8	2.7	0.0	1.00
B	Ref.	102.2	1.7	174.7	174.6	0.0	1.00
	Proposed.	101.4	1.7	172.2	171.9	0.0	0.99
	% Error	0.7	0.0	1.4	1.5	0.0	1.00
C	Ref.	101.5	1.7	171.5	171.4	0.0	1.00
	Proposed.	100.9	1.7	171.1	169.9	0.0	0.99
	% Error	0.5	0.0	0.2	1.3	0.0	1.00

4.3 Measuring Experiment with Non-Linear Loads

This experiment also set up as shown in Figure 12(a) and 12(b). The electrical load in this case is the electronic ballasts and a 250-watt-street-lighting luminaire. The results are shown in Table 3. The average % Error in this case is less than 1%.

Table 3. Measurement values from a non-linear load case

		Parameter					
		V	I	S	P	Q	PF
A	Ref.	221.1	0.9	200.4	199.5	18.6	0.99
	Proposed.	222.9	0.9	201.1	200.3	17.9	0.99
	% Error	0.7	0.0	0.3	0.4	3.7	0.00
B	Ref.	220.8	0.9	198.6	198.3	20.1	0.99
	Proposed.	222.3	0.9	200.1	197.7	30.0	0.98
	% Error	0.6	0.0	0.7	0.7	29	1.01
C	Ref.	220.6	0.9	200.7	198.0	32.8	0.98
	Proposed.	222.1	0.9	200.1	197.3	33.0	0.98
	% Error	0.8	0.0	0.3	0.3	0.6	0.00

4.3 Symmetrical Components & Voltage Unbalance

This test is done to verify the functionality in determining the symmetrical component ability by feeding the balanced and unbalanced three-phase voltage to the loads and connecting the proposed equipment in the system. The experimental results confirm that when the feed-in system voltage is balanced there will be only positive sequence values appeared without the negative and zero sequence components. But when the feed-in system voltage is unbalanced the negative and zero sequences component will appear in the front panel of the proposed system. Additionally, when feed-in voltage is unbalanced as shown in Figure 13(b), the proposed system front panel will active the alarming indicator as can be seen in Figure 13(d).

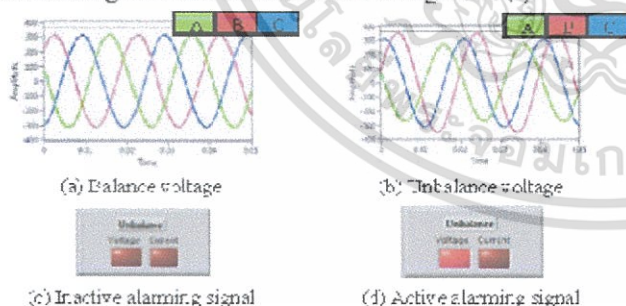


Figure 13. Voltage unbalance test

4.4 Automatic Fault Events Recorder

This feature of the proposed system will be beneficial in the case that we want to monitor the system continuously for a long period of time. Whenever faults occur in the system, the designed program will generate a single data logger file to store all the information related to occurring faults: the occurring time, the duration of faults, type of faults and the faults clearing time. The example is shown in Figure 14.

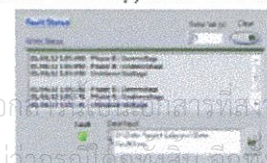


Figure 14. Automatic data

4.5 Harmonics Distortion Measurement

The proposed system is able to acquire and store harmonics information up to 50th order (this limit can be improve using the higher resolution DAQ). The verification is done by comparing the harmonics measuring results with the power analyzer Yokokawa PZ4000. The experimental results when connected to the 250 Watt electronics ballast load at full rated power (repeat the test 10 times and compute the average value) is that the THDv is deviated by -2% from the reference as can be seen in Figure 15 and the THDi is deviated by -1.8% from the reference.



Figure 15. THDv Comparisons between the proposed system and the PZ4000 reference

4.6 Flickers Measurement

The main goal of this test is to verify the program accuracy when there is a flicker input signal passed through the system. The test is strictly done by comparing the Pinst, Pst and PIt mentioned in Section 2.3.12 with the recommended test condition according to the IEC-61000-4-15 standard. Feeding in the simulation signals of various amplitude and frequency such that the Pinst should be unity. The computational results and percentage of error from the proposed system are shown in Table 4. It can be seen that in the case of sinusoidal modulation flicker the average error is less than 2% and for the case of rectangular modulation the average percentage of error is even lower. The similar steps are applied to verify the Pst value. The results are shown in Table 5. The average percentage of error is -2%.

Table 4. Comparison Pinst value with standard

Hz	Sinusoidal Modulation		Rectangular Modulation	
	Pinst	%error	Pinst	%error
6.5	1.074	2.4	1.012	1.2
8.8	1.074	2.4	1.019	1.9
15.0	0.956	4.4	0.972	2.8
15.0	0.993	0.7	1.008	0.2
20.0	1.016	1.6	1.014	1.4
25.0	0.981	1.9	0.972	2.8
33.3	1.013	1.3	1.009	0.9

Table 5. Comparison Pst value with standard

Rectangular Change per minute	% AT/PT	Pst	%error
1,620	0.407	0.258	3.2
4000	2.343	0.258	1.2

5. THE FIELD TEST RESULTS

After being intensively investigated in the laboratory, the proposed device is brought to the field test to assure the capabilities and functionalities of operations. The selected site is the domestic animal farm (pig farm) with 130 kW Biogas-type generator in Pracheenburi province, Thailand. At this site, a grid-tied automatic transfer switch type main distribution board (ATS-MDB) is presented so that the farm will be assured to have the electricity all the time even when the source of renewable energy from the farm is inadequate.

5.1 System Configurations

Figure 16 illustrate the methane-gas-type generator with the rated power output at 130 kWp which was used in this test. The specification of the generator is shown in the nameplate as in Table 6. The proposed system in this experiment is connected to the existing system and start measuring and collecting power flow data for 4 weeks.



Figure 16. a 130 kW methane-gas generator used in this test

Table 6. Nameplate of generator

Measurement Model : DEEP SEA ELETRONIC DSE 7520			
Generator		AVR : Mx341	
CT : Ratio 1	250/5	KVA	140.0
CT : Ratio 2	200/5	PF	0.8
Hz	50	RPM	1500
PHASE	3	Volt	230/400

5.2 Measuring Results

The measuring results as mentioned in Section 5.1 are shown in Table 7. The results from the proposed set of equipment are comparable to the real-time data displayed at the front of the main distribution board (MDB) of the existing system. The average %error using the proposed equipment is less than 2%. The big advantage of the proposed system is that all the data acquired from the field test can be stored and exporting for further analyzed and planning.

Table 7. Measurement values in the field-test

		Vrms	Irms	S	P	Q	PF	F
A	Ref.	239.0	85.0	20.7	17.0	11.8	0.82	49.9
	Proposed.	236.6	86.4	20.5	16.8	11.7	0.82	50.0
	% Error	0.9	1.7	0.9	1.2	0.9	0.00	0.2
B	Ref.	239.0	87.0	20.9	17.4	11.3	0.82	49.9
	Proposed.	235.7	85.2	20.1	16.9	10.8	0.83	50.0
	% Error	1.3	2.1	3.8	1.5	4.4	1.21	0.2
C	Ref.	238.0	94.0	22.4	18.5	12.6	0.82	49.9
	Proposed.	234.9	94.0	22.1	18.2	12.5	0.83	50.0
	% Error	1.2	0.0	1.3	1.6	0.8	1.21	0.2
3-ph	Ref.	238.6	88.6	64.4	55.9	36.0	0.82	49.9
	Proposed.	237.6	88.2	63.7	54.9	35.6	0.83	50.0
	% Error	0.4	0.4	1.1	1.8	1.1	1.21	0.2

6. CONCLUSIONS

It is clear from the laboratory-experimental results that the proposed prototype of a smart and low-cost three phase disturbance measuring unit works exceptionally well. The experimental result in the real fieldwork also confirms the performance of the proposed unit is highly efficient and reliable. The average percentage errors of all aspects compared to the reference measuring units are less than 2%. The proposed unit also has many significant advantages over the standard disturbance meter e.g. the portability, the cost effectiveness, the ability to expand the storage capacity, the upgradable speed, the better and limitless resolutions, real-time-remote-controlled and monitoring capabilities. The proposed sets of prototypes are now being tested under the operating condition in one of the solar plant micro-grid site in Thailand.

Since this research is still in the middle state of being the complete work in the near future. The further development is that to re-arrange the acquired and stored information to be in the standard format i.e., "IEEE-1159.3 Recommended Practice for the Transfer of Power Quality Data". The information in the future-but-soon-to-be-done standard format should be ready for the online transfer via the internet access and for the future to come Thailand's smart grid system.

REFERENCES

- [1] Robert H. Bishop, "LabVIEW7 Express", student ed, Upper Saddle River, N.J.: Prentice-Hall, 1993.
- [2] Ertugrul N, "LabView for Electric Circuits, Machines, Drives, and Laboratories", Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, 2002.
- [3] J. Travis and J. Kring, "LabVIEW for Everyone", Graphical Programming Made Easy and Fun, 3rd ed.: Prentice-Hall, 2006.
- [4] R. Pecan, MD Salim and A. Zora, "A LabView Based Instrumentation System for a Wind-Solar Hybrid Power Station", Journal of Industrial Technology, Volume 20, Number 3, June-August 2004.
- [5] Phang Yoke Yin and M.V. Chilukuri, "Remote Power Quality Monitoring and Analysis System Using LabVIEW Software". Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2009. I2MTC '09, May 2009.
- [6] "How it works", www.ni.com/DataAcquisition, 2012
- [7] IEEE std 1159-1995, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, IEEE PES Technical Committee Meeting, Las Vegas, NV, 2003.
- [8] H. Saadat, "Power System Analysis", 2nd ed.: McGrawHill, 2004.
- [9] Li Penghui, Zhao Lijie, Bai Haijun and Zhang Yanhua, "Power Quality Monitoring of Power System Based on Spectrum Analysis". E-Product E-Service and E-Entertainment (ICEEE), 2010 International Conference on, Nov. 2010.
- [10] Motors and Generators, ANSI/NEMA Standard MG1-1993.
- [11] IEC 61000-4-7: 2002. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 7: General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrument, for power supply systems and equipment connected thereto.
- [12] IEC 61000-4-15: 2010. Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 15: Flicker meter – Functional and design specifications.
- [13] Rong Cai, "Flicker Interaction Studies and Flicker meter Improvement", Eindhoven University of Technology, 2009.
- [14] H. Pichaya, S. Phackapol, C. Puchong and C. Chow, "The study and analysis of the electrical faults using Data Acquisition System and LabVIEW program". Faculty of engineering. King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2009.

BIOGRAPHY



Chow Chompoo-inwai (IEEE Member since 1998) received his B.Eng (hons.) and M.Eng degrees in Electrical Engineering from the King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMIL), Bkk, Thailand. He got his Ph.D. degree in Electrical and Computer engineering from Clarkson University, NY, USA since 2008. He joined KMIL as a faculty member since 1998. He currently works an assistant professor in the Energy System and Illumination Research Center (ESIRC), EE. Department, Faculty of Engineering, KMIL, Bkk, Thailand. His research interests are on various fields in Power Engineering i.e., Renewable Energy Generation & Applications, HV Engineering & Modern diagnostic techniques, Power Systems, Energy Efficient Management, DSP applications in Power Engineering and Illumination Engineering.



Jade Mungkornassawakul, received his B.Eng in Electrical Engineering from King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMIL), BKK, Thailand. Currently, he is now pursuing his master degree in the same institute. His research interests are the LABVIEW & DSP applications in Power Engineering, Power System, Renewable Energy and the Power Quality.



Advancing Green and Clean Energy

IEEE GREENTECH 2013

The 5th Annual IEEE Green Technologies Conference

April 3-5, 2013

Hyatt Regency DTC, Denver, Colorado, USA

8 Keynote Speakers

65+ Technical Papers

Authors from 24 countries

8 Expert Panel Sessions

Topics from policy, business strategy,
to an array of technologies—from
wind, solar, biomass, to transportation

Clean energy investment in
companies and projects reached a
record \$280bn in 2011

Bloomberg New Energy Finance,
November 2012

IEEE GREENTECH 2013 brings together green technology leaders and provides a critical platform for industry, government, academia and the investment community to drive the development and application of clean and alternate energy sources; showcase innovative products and services; and engage in outstanding networking.

IEEE GREENTECH 2013

Thought and Product Leadership,

Idea Exchange,

Global Networking, and

Exceptional Learning

Take advantage of Early Bird Special Discount
Registration by February 9, 2013.

GREENTECH 2013 is the place to be.

Register early for best discounts. Contact us for block registrations (4+) and rates.

Email: info@ieeegreentech.org

For additional information concerning the conference program, registration, patron support.

Visit: <http://ieeegreentech.org>

IEEE GREENTECH 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Smart Recording Power Analyzer Prototype Using LabVIEW™ and Low-Cost Data Acquisition (DAQ) in Being a Smart Renewable Monitoring System

CHOW CHOMPOO-INWAI

Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Ladkrabang, Bangkok, THAILAND.
chowchompoo@me.com, chompoo@gmail.com

JADE MUNGKORNASSAWAKUL

Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Ladkrabang, Bangkok, THAILAND.
jed_kitty@hotmail.com

Abstract—Nowadays, to indicate the quality of Thailand's existing power system including the newly-installed distributed renewable energy sources, a number of pricy power quality analyzers are being used in most areas. This article proposes an alternative of such equipment called a smart recording power analyzer prototype (SRPA) using a combination of LabVIEW™ algorithms and a low-cost data acquisition (DAQ) device. The newly-proposed set of equipment not only has the ability to achieve the same accuracy and functionalities of currently-used power analyzers, but also has the advanced features supporting Thailand's future-to-come smart grid system. The proposed SRPA is capable of simultaneous monitoring/recording both numerical data and waveforms in normal system operating conditions and when fault occurs e.g. voltage, current, frequency, real and reactive power, apparent power, energy consumption, power factor, harmonic distortion, voltage/frequency fluctuation, voltage unbalance, sag-swell, symmetrical components, flickers and many kind of faults detection. In this paper, the SRPA hardware configurations and LabVIEW™ algorithms will be thoroughly elaborated. The accuracy verification process has been strictly done under various controllable conditions by comparing the results of the SRPA with the standard measuring units in both laboratory environment and two renewable energy power plants. Experimental results in the laboratory illustrate that the proposed SRPA is comparable in accuracy and far superior to several references in terms of functionalities and flexibilities. Experimental results from the two renewable power plants: (1) a 130kW-biogas pig farm power plant and (2) a 1MW solar power plant demonstrate that the proposed SRPA is highly efficient and reliable compared to the factory-installed measuring units. The average percent errors are less than 2%. The proposed SRPA also has the ability to be set up as a network which will be potentially beneficial for a future smart grid/micro grid online monitoring system.

Index Terms—Power Quality, LabVIEW™, Data acquisition (DAQ), Total Harmonics Distortion (THD), Flickers, Smart grid, Renewable monitoring system (REMS).

I. INTRODUCTION (HEADING 1)

Power quality measurement and monitoring in the power system has long been an important issue in the power generation, transmission and distribution systems. Especially, today's trend of having all kind of renewable/alternative energy

sources connected to the existing grid system, the importance of understanding and being able to monitor and analyze the power quality of the system is double its roles. Another big issue coming in a very near future is called smart grid system referring to an improved electricity supply chain that runs from a major power plant all the way to inside our home. The principle of a smart grid system is to add a smart monitoring, smart control and smart communication capabilities to the existing grid system to maximize the throughput of the system while reducing the energy consumption. The smart grid will also allow utilities to move electricity around the system as efficient and economical as possible. In order to do that, a number of devices that are capable of doing multi-functions monitoring, analysis, control and communication all in one functions are mandatory. An adequate amount and capability of the Metering Data Management System (MDMS) is also a must. The major problem that comes along is that the limit of such a device that have all the mature technologies to do so. Another big issue is that the price of today's smart-enough devices is quite high to be utilized in many of the existing-and-generally-small systems.

This research proposes the use of a combination between a low-cost data acquisition (DAQ) device and a commercially-used LabVIEW™ program in being a smart renewable monitoring system. The proposed set of equipment is capable of doing all the functions needed by utilities and users in the existing power systems and the future smart grid communities. Later in this paper, how it was designed, how it works, the accuracy verification process, the experimental results and the conclusions will be presented.

II. RELATED PRINCIPLES AND BASIC THEORIES

Four main parts are elaborated here. The first part in this section briefly discusses all the basic power system parameters somehow are mentioned in this paper. The second one mentions the power quality parameters. The third one is the basic of data acquisition devices and system. And the last one is the introduction to the NI-LabVIEW™ platform used in this work from National Instrument®.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A. Related Basic Power System Parameters

Power quality is a combination of voltage quality and current quality. Voltage quality is concerned with deviations of the actual voltage from the ideal system voltage (in Thailand, the 220/380V 3-Phase-4-Wire system is now being used). The current quality is an equivalent definition for the current [1-3].

1) *Three-Phase System Voltage (Volt)*: Most power systems consist of three phases. In normal operation, the system voltages should be almost balanced. The ideal voltage is a sinusoidal voltage waveform with constant amplitude and constant frequency, where both amplitude and frequency are equal to their nominal value. All contents throughout this work will be based on the 220/380 V, 50 Hz system.

2) *Three-Phase System Current (Amp)*: The ideal current is also of constant amplitude and frequency. In normal operation, the current frequency and phase should be the same as the frequency and phase of the voltage.

3) *Three-Phase System Apparent Power (S)*: It is measured in Volt-Ampere (VA) and is the voltage on an AC system multiplied by all the current flows in it. It can also be think of as the vector sum of the active and the reactive power in the power triangle. (see Fig. 1) The formula of the system apparent power can be derived as in Equation 1.

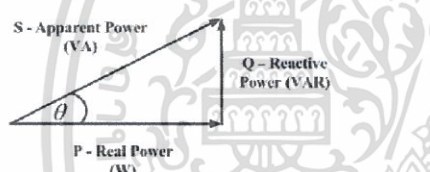
$$S_{3\phi} = 3V_{rms} I_{rms} \angle \theta \quad (1)$$


Fig. 1. A general power triangle in a three-phase system

4) *Three-Phase System Real Power (P)* is measured in watts (W, Watt) and is the power drawn by the electrical resistance of a system doing useful work.

$$P_{3\phi} = 3V_{rms} I_{rms} \cos \theta \quad (2)$$

5) *Three-Phase System Reactive Power (Q)* is measured in Volt-Amperes Reactive (Var). Reactive Power is power stored in and discharged by inductance i.e., motors, transformers and solenoids.

$$Q_{3\phi} = 3V_{rms} I_{rms} \sin \theta \quad (3)$$

6) *Power Factor (PF)* is a ratio between the applied real power and the apparent power.

$$PF = \cos \theta = \frac{P_{3\phi}}{S_{3\phi}} \quad (4)$$

7) *Total Energy Consumption (kWhr)* is a unit of energy equivalent to one kilowatt (1 kW) of power expended for one hour of operation time.

$$kWhr = kW \times hr \quad (5)$$

B. Related Power Quality Parameters

1) *Total Harmonics Distortion (THDi, THDv)*: The THD is a commonly used power quality index to quantify the distortion of a waveform. It is also defined as the relative signal energy present at non fundamental frequencies [4]. It can be derived from Equation 6.

$$\%THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n V_i^2}}{V_1} \times 100, i = 2, 3, 4, \dots, n$$

$$\%THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n I_i^2}}{I_1} \times 100, i = 2, 3, 4, \dots, n \quad (6)$$

2) *Flicker*, phenomena characterized by rapid voltage fluctuations mainly comparing with a light flicker. Figure 2 shows examples of flicker signals caused by sinusoidal and rectangular voltage fluctuations in a 50 Hz system [5-7].

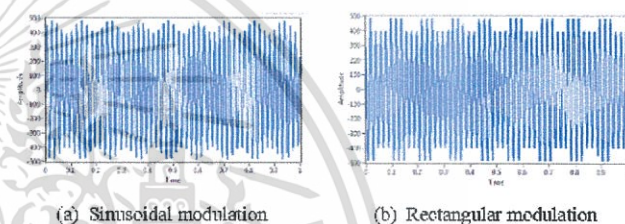


Fig. 2. Voltage flicker signal of $\Delta U/U = 20\%$, 8.8 Hz

In order to determine the flicker data from any sinusoidal input signal, the recommended block of operation as in IEC 61000-4-15 will be used. Such a block can be seen in Fig. 3.

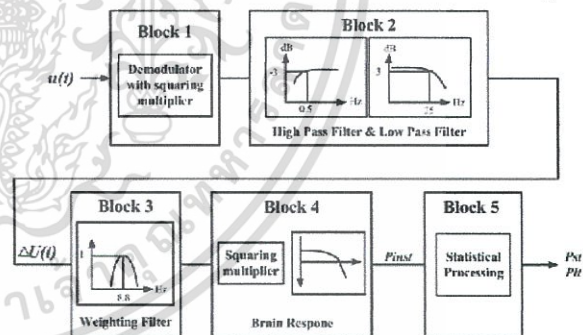


Fig. 3. IEC 61000-4-15 flicker meter functional diagram

From the block diagram in Fig. 3, there are only three important output parameters: (1) the instantaneous flicker sensation (P_{inst}) which is used for accuracy verification, (2) Short-term flicker evaluation (P_{st}) and (3) Long-term flicker evaluation (P_{lt}). All three of them can be determined using the proposed set of equipment.

3) *Three-Phase Symmetrical Component*: The method of symmetrical components is a way to describe an unbalance in voltage and current in a three-phase system. A balanced set of three-phase voltages only contains a positive-sequence

component. The negative-sequence voltage is an indication of the amount of unbalance in the system. The presence of zero-sequence voltage indicates a connection to earth.

4) *Voltage Unbalance* is due to either unbalance in the load currents or unbalance in the supplying network. The load unbalance is partly due to the natural variation between the single-phase loads in the three phases and partly due to large individual single-phase loads [7-8]. (See also Table I)

5) *Sag-Swell*: Voltage sags are usually associated with system faults but can also be caused by switching of heavy loads or starting of large motors. A voltage swell is defined as an increase in rms voltage or current at the power frequency for durations from 0.5 cycles to 1 minute. Typical magnitudes are between 1.1 and 1.2 p.u. [1]. (See also Table I)

TABLE I. TYPICAL CHARACTERISTICS OF POWER SYSTEM FAULTS

Categories	Typical duration	Typical voltage magnitude
Voltage unbalance	steady state	0.5-2%
Voltage Sag	0.5 cycles-1 min	0.1-0.9 p.u.
Voltage Swell	0.5 cycles-1 min	1.1-1.2 p.u.

C. Data Acquisition (DAQ)

DAQ hardware acts as an interface between a computer and signals from many kinds of sensor/transducer. It primarily functions as a device that digitizes incoming analog signals so that a computer can interpret them. A general DAQ system consists of (1) sensors/transducers, (2) DAQ hardware, and (3) a computer with programmable software. Compared to traditional measuring systems, PC/Laptop-based DAQ systems exploit the processing power, productivity, display, and connectivity capabilities of the PC/Laptop providing a more powerful, flexible, and cost-effective measuring solution. The three key components of a DAQ device used for measuring a signal are the signal conditioning circuitry, analog-to-digital converter (ADC), and a computer bus. Many DAQ devices include other functions for automating measurement systems and processes e.g., digital-to-analog converters (DACs) to generate low-power analog output signals, counter, timer, digital I/O and digital pulses [9-11].

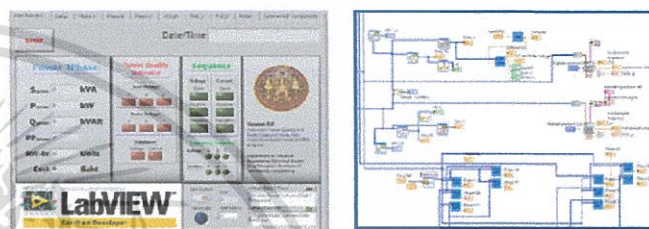


Fig. 4. Examples of DAQ devices from National Instrument®

D. NI-LabVIEW™ Platform

LabVIEW™ is a comprehensive developing platform that applies a graphical language instead of text code in traditional programming i.e., C, Pascal, JAVA [9-11]. It provides a wide-range of compatibilities and flexibilities e.g., the design, control and a variety of test systems. One big advantage is that it provides some virtually-measuring devices for testing the under-developing system to avoid risks of damaging the expensive and actual system. In this platform, a computer with LabVIEW™ program is needed to control an operation of the DAQ from processing, visualizing and storing data.

Two main parts that need to be designed and customizable are (1) the user interface called *Front panel* and (2) the graphical language code called *Block diagram* (see Fig. 5).



(a) Front panel example

(b) Block diagram example

Fig. 5. Examples of the LabVIEW™ program

III. HARDWARE CONFIGURATIONS

The hardware configurations set up in this work is very simple. Potential transformers (PTs) and Current transformers (CTs) are connected to the DAQ. The analog signal from the PTs and CTs will then be transferred as inputs of the DAQ. The digital signals output from the DAQ will then pass into the LabVIEW™ program to be processed. Specifications of each device in this set up are elaborated as follows: (see also Fig. 6)

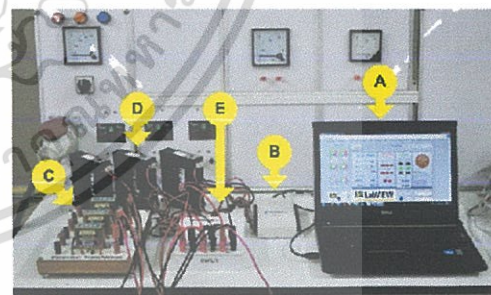


Fig. 6. The proposed SRPA hardware configuration

A. PC/Laptop with already-installed LabVIEW™

In this work, the laptop Make: Dell, Model: Ultrabook-XPS with Intel Quad-Core i3 processor has been used. A hard disk size of this laptop is 500GB with 2GB internal memory. A LabVIEW™2011 version was installed in this laptop. In fact, any version of the LabVIEW™ newer than the LabVIEW™ 8.5 should be able to compile the proposed SRPA algorithm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B. NI-DAQ Model: USB-6212

As shown in Fig. 6, the DAQ device used in this work is a 16-bits DAQ, Make: NI, Model: USB-6212, with 16 Analog input terminals. The maximum sampling frequency is 400 kS/s.

C. Potential Transformers (PTs)

Three of a single-phase PT is used here. Each of them has the PT ratio of 2000/16, 50/60Hz, 2.0kV and BIL=15kV. The PTs are used to step down system voltage levels to be fit with the input terminal of the DAQ. (See Fig. 6C)

D. Current Transformers (CTs)

Three of an IEC 60044-1 Class 0.5, make: SALZER, model: TP-58 current transformers are used in this work. The CT ratio of each is 400/50A. Each CT burden is 5 VA, 50/60 Hz, 0.72/3 kV. (See also Fig. 6D)

E. DAQ system protection

Due to the limitation of the DAQ's input terminal at $10 V_{pp}$, the protection circuit is needed to prevent the damage to the DAQ. This is done by connecting two bi-directional zener diodes in the measuring circuit before the input terminal of the DAQ. When the input signal is greater than $\pm 10 V_p$, it will be clipped at the peak to be at exactly $10 V_{pp}$. If this circumstance occurs, the SRPA software will alarm to indicate that the measuring result is inaccurate. (See also Fig. 6E)

F. Background noise suppression circuit

This process is done by connecting the very low resistance value to the ground terminal of the DAQ. The experimental results later in this paper confirm the significant reduction of the background noise when acquiring the signal (Fig. 7).

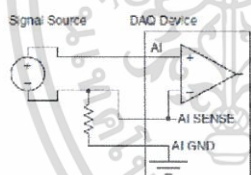


Fig. 7. The background noise suppression method

IV. NI-LABVIEW™ ALGORITHMS

A. The proposed SRPA program structure

The program structure as shown in Fig. 8 summarizes a key concept to design the *multi-tap front panels* and *block diagrams* in LabVIEW™ programming. The user interfaces in this work can be divided into 4 main parts as follows:

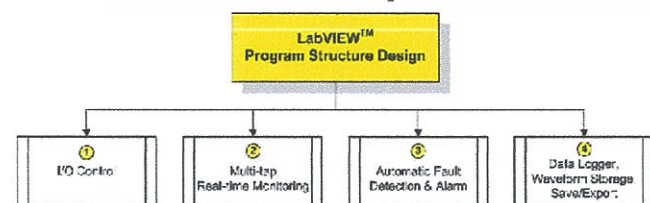
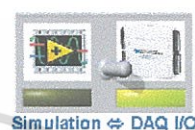


Fig. 8. The proposed LabVIEW™ program structure

1) I/O Control

Users can choose between two modes of operations: one is the *simulation mode* used in the accuracy verification and the adding/editing function process. Another is the *monitoring mode* which is designed to directly acquire the input signals from the DAQ (see Fig. 9(a)). In the *simulation mode*, the input signals will be generated from the internal function blocks of the LabVIEW™ program itself and are customizable by users e.g., input voltage, current, frequency, phase angle etc. In the *monitoring mode*, the acquiring signals from DAQ will be processed in the default multi-tap front panels explained in the following section.



(a) Input selection



(b) Simulation signal control

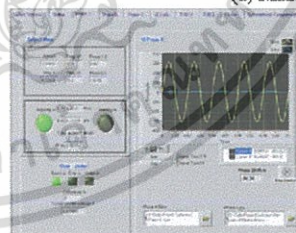
Fig. 9. Control section front panel

2) Multi-tap real-time monitoring

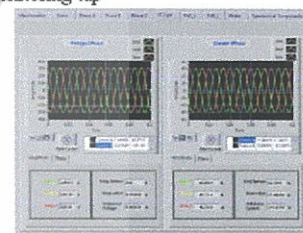
All of the real-time acquiring signals will be shown in the proposed LabVIEW™ multi-tap front panels. Each of them represents one or more measuring features and they are well organized in order to be convenient for even rookie's users. Figure 10 shows examples of how each tap looks like.



(a) Main monitoring tap



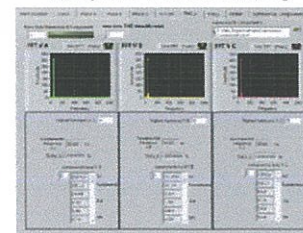
(b) 1-phase V-I monitoring tap



(c) 3-phase V-I monitoring tap

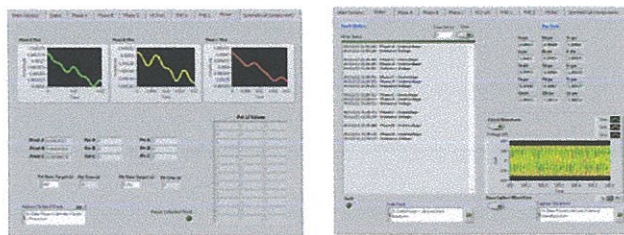


(d) Symmetrical component tap



(e) THD monitoring tap

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(f) Flickers monitoring tap (g) Fault event recording tap

Fig. 10. Examples of multi-tap monitoring front panels

3) Automatic fault detection, alarm and record

This feature takes advantage of an infinite customizability of the proposed SRPA. It is far superior to others existing measuring devices since it is able to continuously monitor and record all the faults data such as time of fault events, faults numerical data and faults waveforms. Furthermore, the proposed SRPA shows the alarming signals when fault occurs as an LED lamp in the main monitoring tap (Fig. 10(a), (g)).

4) Data and Waveform logger, save and export

All of the measuring numerical parameters, waveform data and faults-event data from either normal system operation and when fault occurs will be stored in the *Comma-Separated Values* (CSV) file format called *.csv as shown in Fig. 11. This type of file format can easily be opened in any kind of spreadsheet program like Excel or computational program like MABLAB™ or Mathematica™. The advantages of this file format are simple, post-process capability, unlimited storage capability and very common in many engineering fields.



Fig. 11. Example of the *.csv file format from the proposed algorithm

B. Work-flow Diagram of the proposed SRPA

Figure 12 illustrates how the proposed SRPA LabVIEW™ algorithm works. It is closely related to the program structure shown in Fig. 8. The process starts from letting any users to choose between the two modes of operations: the *simulation mode* and the *measuring mode* in section one. Then the digital power signals will pass through the digital signal processing block to be computed and displayed in each of the multi-tap front panel. The relevant power parameters including the power quality parameters will be continuously monitored. The automatic fault alarm and recording features will start working where there is any kind of unusual signal coming through this block. In the last section, all the data will be continuously saved to the *.csv file format and can be exported to do any kind of post processing techniques.

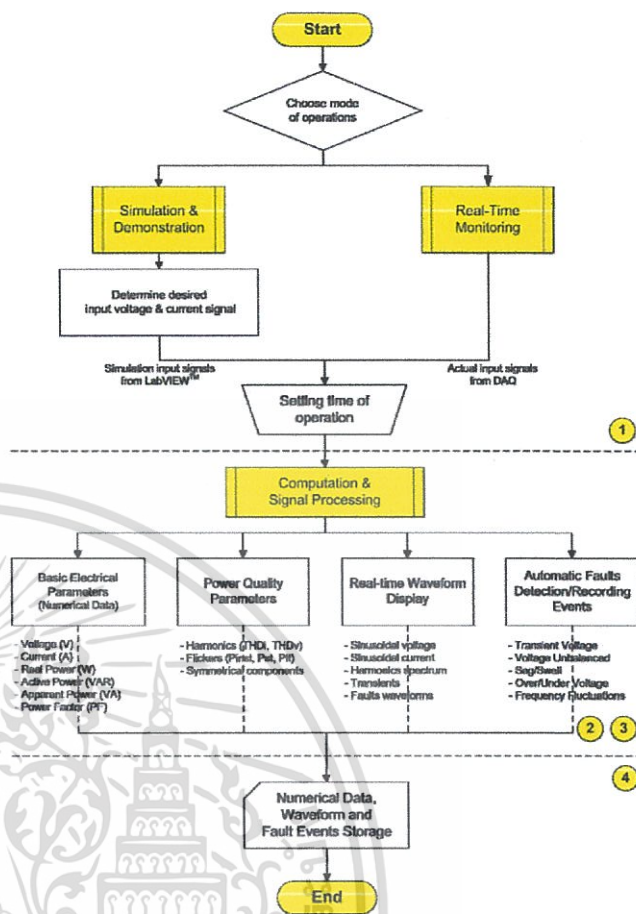


Fig. 12. Work-flow diagram of the proposed LabVIEW™ structure

V. EXPERIMENTAL RESULTS

A. Accuracy Verification in the Laboratory

Three of many laboratory-based experimental results are presented here. The main purpose is to verify the accuracy of the measuring results of the proposed SRPA in terms of both numerical measuring data and waveforms. Only the certified measuring unit has been chosen to be a reference. The acceptable percentage of error allowed for each test configuration is set to be less than 2%. Each test configuration has been done several times. The data presented in Table II and Table III in this section are the average values computed from multiple experiments.

1) Experiment with Linear and Non-Linear Loads

The electrical linear load in this experiment is a number of incandescent lamps shown in Fig. 13(a) and (c). The measuring results are shown in Table II. The average error in this case is less than 2%. The electrical non-linear load in this case is the 250W electronic ballasts and a 250W street-lighting luminaire. The results are shown in Table III. The average error in this case is less than 1%. The reference measuring unit is the Powertek-PX120 power meter.

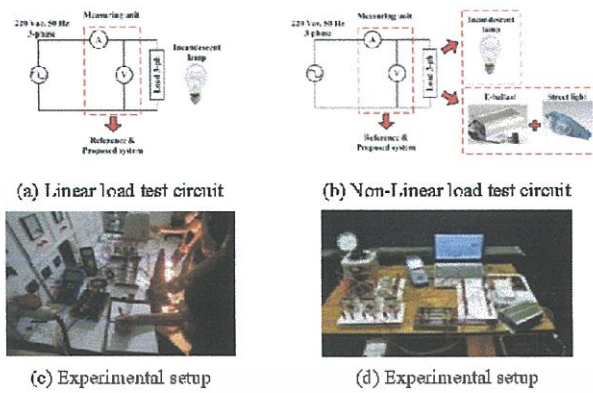


Fig. 13. Experimental configurations with the Linear and Non-Linear loads

TABLE II. MEASURING RESULTS FROM A LINEAR LOAD CASE

		Measuring parameters					
		V	I	S (kVA)	P (kW)	Q (kVar)	PF
A	Ref.	221.10	10.70	2.37	2.36	0.15	1.00
	Proposed.	221.35	10.75	2.3795	2.3750	0.1465	1.00
	% diff	0.11	0.47	0.58	0.64	-2.35	-
B	Ref.	223.10	10.90	2.43	2.43	0.11	1.00
	Proposed.	223.31	10.97	2.4497	2.4473	0.1095	1.00
	% diff	0.09	0.64	0.74	0.30	0.43	-
C	Ref.	221.20	11.10	2.46	2.45	0.11	1.00
	Proposed.	221.54	11.11	2.4613	2.4588	0.1100	1.00
	% diff	0.15	0.09	0.24	0.27	0.04	-

TABLE III. MEASURING RESULTS FROM A NON-LINEAR LOAD CASE

		Measuring parameters					
		V	I	S (kVA)	P (kW)	Q (kVar)	PF
A	Ref.	222.10	5.12	1.14	0.99	0.56	0.87
	Proposed.	222.40	5.13	1.1409	0.9915	0.5645	0.869
	% diff	0.14	0.20	0.35	0.22	0.69	0.11
B	Ref.	219.00	5.12	1.12	0.98	0.55	0.87
	Proposed.	219.35	5.15	1.1297	0.9873	0.5489	0.874
	% diff	0.16	0.59	0.75	1.21	0.71	0.46
C	Ref.	220.50	4.98	1.10	0.95	0.54	0.87
	Proposed.	221.35	5.02	1.1112	0.9545	0.5518	0.868
	% diff	0.39	0.80	1.19	0.56	1.91	-0.23

2) Harmonics Distortion Measurement

Since the numerical measuring of three-phase parameters has been insured from the previous experiment, this test setup will be done only on a single phase system. The experimental setup can be seen in Fig. 14. Two types of loads in this setup are incandescent lamps and a 0.5mH inductance connected in series and operated at the 220V_{AC} nominal voltage. The verification process is done by comparing the harmonics distortion measuring results of the proposed SRPA with (1) Fluke 43B power quality analyzer, (2) Yokogawa mixed signal analyzer, Model: DL2054 and (3) Chauvin power quality analyzer Model: P3945. The experimental results illustrate that the THD_v read from SRPA deviates from other references less than 1% and THD_i read from SRPA deviates from others less than 1.5% (see the example of THD_i comparisons in Table IV). Figure 16 illustrates each order of THD_i comparisons in details from fundamental to 50th order.

TABLE IV. HARMONICS DISTORTIONS COMPARISONS BETWEEN FOUR MEASURING UNITS

No.	Descriptions	Proposed SRPA	Power Analyzer Fluke-43B	Yokogawa DL2054	PQ Analyzer Chauvin P3945
1.	% THD_v	1.4107	1.41	1.42	1.40
2.	% THD_i	2.2963	2.30	2.29	2.31

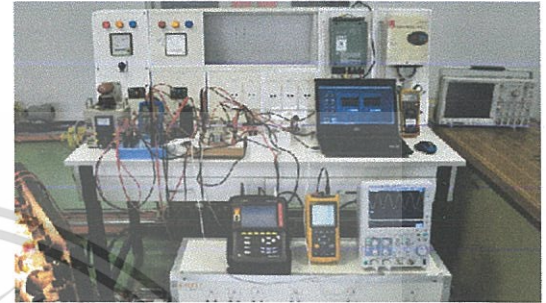
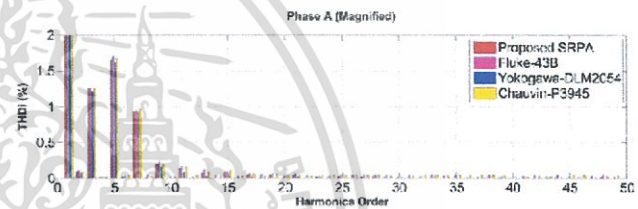


Fig. 14. Experimental setup for the test

Fig. 15. THD_i Comparisons between the proposed SRPA and other references

3) Flickers Measurement

The main goal of this test is to verify the SRPA's accuracy where there is a flicker input signal through the system. The test is strictly done by comparing the P_{inst} , P_{st} and P_H mentioned before with the recommended test condition according to the IEC-61000-4-15 standard. Feeding in the simulation signals of various amplitude and frequency such that the P_{inst} should be unity. The computational results and percentage of error from the proposed SRPA are shown in Table V. It can be seen that in the case of sinusoidal modulation flicker the average error is less than 2% and for the case of rectangular modulation the average percentage of error is even lower. The P_{st} and P_H computations can be done using the values of P_{inst} as stated in the standard.

TABLE V. COMPARISON P_{inst} VALUE WITH STANDARD

Hz	Sinusoidal Modulation			Rectangular Modulation		
	Standard P_{inst}	SRPA P_{inst}	% Error	Standard P_{inst}	SRPA P_{inst}	% Error
6.5	1.000	1.014	1.4	1.000	1.012	1.2
8.8	1.000	1.016	1.7	1.000	1.011	1.1
13.0	1.000	0.996	-0.4	1.000	0.992	-0.8
15.0	1.000	0.997	-0.2	1.000	1.002	0.2
20.0	1.000	1.006	0.6	1.000	1.001	0.1
25.0	1.000	0.995	-0.5	1.000	0.994	-0.6
33.3	1.000	1.005	0.5	1.000	1.003	0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B. On-site Test Results at the 130kW Bio-gas Pig Farm

After being intensively investigated in the laboratory, the proposed SRPA is brought to the field test to assure the capabilities and functionalities in the field of operations. The first selected site is a pig farm with 130 kW Bio-gas diesel generator in Prachinburi province, Eastern part of Thailand. At this selected site, a grid-tied automatic transfer switch main distribution board (ATS-MDB) is presented so that the farm will be assured to have the electricity all the time even when the source of renewable energy from the farm is disappeared. The ATS-MDB has its own measuring unit to monitor the power consumption flow in and out from the farm and the utility grid. Since the ATS-MDB has been installed adjacent to the generator; therefore, it is a very noisy environment in the main control room (see Fig. 16). The proposed SRPA was set next to the existing ATS-MDB in such a room.

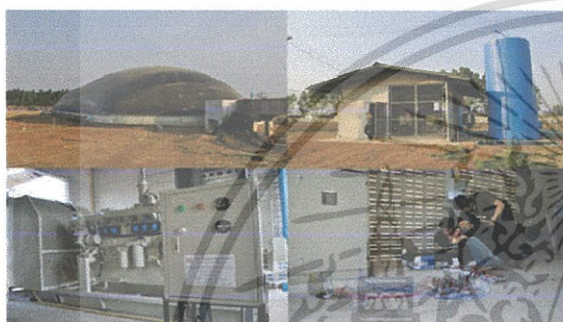


Fig. 16. A 130 kW Bio-gas pig farm power plant in the test

Another goal of this test is to investigate whether the SRPA is able to work in such an extreme environment. The data collection has been done for 6 hours of operations. The measuring data from ATS-MDB has been manually monitored and recorded every 10 minutes then manually computed the average values. The measuring data from proposed SRPA has been automatically monitored and record every 1 second. Table VI presents the average values from six-hour measuring results comparisons between existing ATS-MDB and the proposed SRPA.

TABLE VI. MEASURING RESULTS IN THE BIO-GAS PIG FARM FIELD TEST

		V_{rms} (V)	I_{rms} (A)	S (kVA)	P (kW)	Q (kVar)	PF	F (Hz)
A	ATS-MDB	239	170	40.63	35.75	19.30	0.88	49.9
	Proposed.	236.6	172.8	40.89	36.03	19.35	0.88	50
	% diff	-1.00	1.67	0.65	0.76	0.26	0.11	0.20
B	ATS-MDB	239	174	41.59	37.01	18.96	0.89	49.9
	Proposed.	237.7	173.2	41.17	36.73	18.61	0.89	50
	% diff	-0.54	-0.45	-0.99	-0.77	-1.84	0.22	0.20
C	ATS-MDB	238	188	44.74	39.37	21.25	0.88	49.9
	Proposed.	234.9	189.5	44.53	39.32	20.90	0.88	50
	% diff	-1.30	0.83	-0.48	-0.14	-1.66	0.34	0.20

The measuring results from the proposed SRPA are comparable to the real-time data displayed at the front of the ATS-MDB of the existing system. The average error using the proposed equipment is less than 2%. The big advantage of the proposed system is that all the data acquired from the field test can be stored and exporting for further analyzed and planning.

C. On-site Test Results at the 1MW Solar Farm

The second selected test site is a 1MW solar farm in Lampang province, Northern part of Thailand. This test has been done during the solar plant commissioning process before connecting to Thailand Provincial Electricity Authority (PEA) grid system. The measuring procedures follow the PEA regulation for renewable energy interconnection revision 3-2012. There are five of 3-phase-type 250kW inverters at the site and each of them needs to be tested separately. At the site the proposed SRPA and the power analyzer power pad Chauvin-Armox P3945 are parallel connected together. They are set to measure at the point of common connection (PCC) between a single 250kW solar inverter and PEA grid network. Figure 17 below illustrates the test configuration. The main purpose is to see if the output power of each inverter satisfied the aforementioned PEA regulation. The test results from this setup clearly show not only that the proposed SRPA yields the reliable basic-parameters measuring performance in the test, but also that it can be very beneficial for the special features test e.g. the anti-islanding protection (see Fig. 18), the system recovery time and etc. (see Table VII for selected test results)

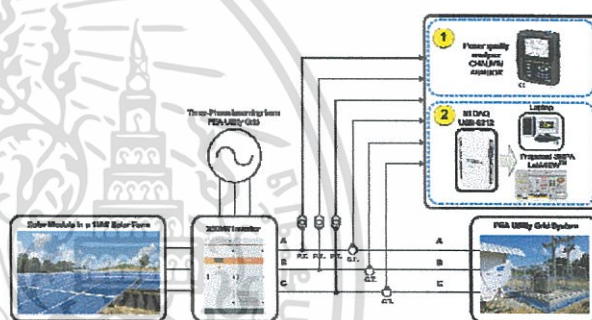


Fig. 17. The solar farm on-site test configuration

TABLE VII. AN EXAMPLE OF A SINGLE 250kW INVERTER IN A 1MW SOLAR FARM TEST RESULTS

No	Descriptions	The proposed SRPA			PQ Analyzer CHAUVIN P3945			
1	Nominal voltage in operation (V) ($V_{A,rms}/V_{B,rms}/V_{C,rms}$)	231.5	230.5	233.2	232.1	231.2	233.5	
2	Nominal current in operation (A) ($I_{A,rms}/I_{B,rms}/I_{C,rms}$)	295.7	292.7	285.3	295.6	292.1	284.9	
3	Nominal frequency (Hz)	50.01	50.01	50.01	50.02	50.01	50.02	
4	3-Phase Apparent Power (VA)	65.45	67.56	66.53	68.61	67.53	66.52	
5	3-Phase Real Power (kW)	67.01	66.13	65.13	67.21	66.18	65.19	
6	3-Phase Reactive Power (VAR)	13.99	13.80	13.60	13.65	13.44	13.24	
7	System Power Factor	0.979	0.979	0.979	0.98	0.98	0.98	
8	THDv (%)	1.109	1.161	1.239	1.12	1.21	1.24	
9	THDi (%)	1.534	1.571	2.461	1.85	1.89	2.56	
10	DC Current Injection (mA)	-75.7	-75.9	-82.5	-77.0	-76.0	-84.0	
11	Flickers (Max)	PF	0.801	0.923	0.795	0.87	0.95	0.89
		THI	0.725	0.515	0.719	0.82	0.83	0.73
12	Waveform capture	Yes (Multiple cycles)			Yes (Single cycle)			
13	Continuous recording period	Every 1 second			Every 1 minute			
14	Sampling Rate (S/s)	50,000			25,600			
15	Anti-Islanding detection	Yes			N/A			
16	Faults recording event & data	Yes			Partial			

* Automatic calculation from every 10 minute set of Pst data for 4 hours

** Manual calculation from every 10 minute set of Pst data for 4 hours

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

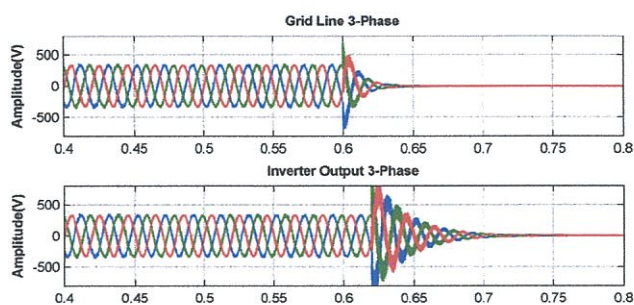


Fig. 18. Waveforms example capturing from SRPA when the grid line is disconnected to test the anti-islanding mode of the solar inverter

D. Key feature comparisons

Since there are many experimental results that have been completely done but cannot be shown in this paper, this section will summarize key features of the proposed SRPA compared to others measuring devices available in the Energy System and Illumination Research Center (ESIRC), Faculty of Engineering, KMITL, Thailand (see Table VIII). The comparison clearly states that the proposed SRPA not only has more capabilities, but also has higher flexibilities of expanding or adding new features in the future.

TABLE VIII. FEATURES COMPARISON BETWEEN THE PROPOSED SRPA VS OTHER EXISTING MEASURING DEVICES

No.	Desired Capabilities	Proposed SRPA	Power Meter FX120	Power Analyzer Fluke-43B	Yokogawa DLM2054	PQ Analyzer Chauvin P3945
1.	Basic Parameter Measurement					
-	Numerical: V, I, S, P, Q, PF, Freq	✓	✓	✓	✓	✓
-	Power Consumption (kWhr)	✓	○	○	○	○
-	Waveform Capturing: V, I, Faults	✓	✓	✓	○	○
-	Continuous Measurement	✓	✓	✓	○	○
-	Data Storage	✓	✓	✓	✓	✓
2.	Power Quality Measurement and Faults Detection					
-	THD _v , THD _i	✓	✓	✓	✓	✓
-	Flickers: P_{max} , P_{st} , P_{lt}	✓	○	○	○	✓
-	Frequency Fluctuation Detection	✓	✓	✓	○	○
-	Voltage Fluctuation Detection (Over/Under/Sag/Swell)	✓	✓	✓	○	○
-	Voltage Unbalance Detection	✓	✓	✓	○	○
-	Symmetrical Component	✓	○	○	○	✓
-	Transient Voltage and Current	✓	○	○	○	○
3.	Special Features					
-	Automatic Fault Events Record	✓	○	○	○	✓
-	Automatic Fault Data and multi-cycles waveform Record	✓	○	○	○	○
-	Customizable Features	✓	○	✓	○	○
-	Networking support	✓	○	○	○	○
-	On-line Monitoring	○	○	○	○	○

✓ – Direct measurement and display capability, ○ – Indirect capability

VI. CONCLUSIONS

It is clear from the experimental results, both in the laboratory and in the field-site test, that the proposed SRPA works exceptionally well with highly efficient and reliable performance. The average errors compared to any kind of standard references are less than 2%. The proposed SRPA also has many significant advantages over the standard references e.g. cost effectiveness, customizability, expandable storage capacity, portability, upgradable speed and resolutions, real-time remote-controlled and monitoring capabilities and more. One set of the proposed SRPA is now being tested under the operating condition in one of the micro-grid sites in Thailand.

Since this research is still in the middle state of work completion in the near future. There are still plenty of rooms for improvements. One of the near future developments is that to add feature of acquiring data from SRPA to be in the standard format i.e., “IEEE-1159.3 Recommended Practice for the Transfer of Power Quality Data”. The information in the standard format should be ready for the online transfer via the internet access. One possibility is to add the new feature to support the remote control and monitor via a smart phone or a tablet PC. Another possibility is that to utilize the satisfied LabVIEW™ algorithm from this work in a form of embedded system with higher grade of equipment to be more reliable for the future-to-come Thailand’s smart grid system.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank KMITL’s Research Funding Department for supporting this work throughout the last two years. The progress report has so far been highly satisfied. The authors also would like to thank all the ESIRC members for their contributions and supports put in this work.

REFERENCES

- [1] IEEE 1159-1995 Standard, “Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality”, 1995.
- [2] H. Saadat, *Power System Analysis*, 2nd Edition, McGraw-Hill, 2004.
- [3] R. Pecen, M. Salim and A. Zora, “A LabView Based Instrumentation System for a Wind-Solar Hybrid Power Station”, *Journal of Industrial Technology*, Vol. 20, No. 3, June-August, 2004.
- [4] IEC 61000-4-7: 2002, “Electromagnetic compatibility (EMC), Part 4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and inter-harmonics measurements and instrument for power supply systems and equipment connected thereto”.
- [5] IEC 61000-4-15: 2010, “Electromagnetic compatibility (EMC), Part 4-15: Testing and measurement techniques – Flicker meter – Functional and design specifications”.
- [6] R. Cai, *Flicker Interaction Studies and Flicker meter Improvement*, Master thesis, Eindhoven University of Technology, Netherlands, 2009.
- [7] P. Hongsakul, P. Yotha and C. Chompoo-inwai, *The study and analysis of the electrical faults using Data Acquisition System and LabVIEW™ program*, Master Thesis, EE. Dept., Faculty of Engineering, KMITL Bangkok, Thailand, 2009.
- [8] Motors and Generators, ANSI/NEMA Standard MG1-1993.
- [9] L. Penghui, Z. Lijie, and Z. Yanhua, “Power Quality monitoring of Power System Based on Spectrum Analysis”, International Conference on E-Product, E-Service and E-Entertainment (ICEEE), China, 2010.
- [10] N. Ertugrul, *LabVIEW™ for Electric Circuits, Machines, Drives, and Laboratories*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2002.
- [11] National Instruments, *LabVIEW™ Completed User Manual for Everyone*, NI-Corporate Headquarters, Austin, TX, 2002.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นาย เจตน์ มังกรอัสวกุล
วัน เดือน ปี เกิด	27 ธันวาคม 2531
สถานที่เกิด	แม่ฮ่องสอน
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2553
ประวัติการทำงาน	ไม่มี
ผลงานทางวิชาการ	<ol style="list-style-type: none"> 1. “ชุดอุปกรณ์ตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าชนิดสามเฟสโดยใช้โปรแกรมแลปวิว”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34 (EECON-34) มหาวิทยาลัยสยาม 30 พฤศจิกายน - 2 ธันวาคม 2554 2. “Data Acquisition System and LabVIEW Program in Being a Smart and Low Cost Three Phase Disturbance Measuring Unit”, the International Conference on Electrical Engineering 2012 (ICEE 2012), KANAZAWA, JAPAN, July 8-12, 2012. 3. “A Smart Recording Power Analyzer Prototype Using LabVIEW™ and Low-Cost Data Acquisition (DAQ) in Being a Smart Renewable Monitoring System”, the IEEE Green Technologies Conference, Denver, USA, April 4-5, 2013.